

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII**

**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN  
TIMIȘOARA**

**Facultatea de MECANICĂ**

1  
1978  
1  
1  
BIBLIOTECA UNIVERSITĂȚII  
A. VOINIC  
Căminul \_\_\_\_\_  
Căminul \_\_\_\_\_

**CONTRIBUȚIA LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE  
MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRĂ VÂRFURI**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

**Conducător științific:  
Prof. dr. ing. Tudor ICLĂNZAN**

**Doctorand:  
Ing. Florențiu STAICU**

**2002**

## **CAPITOLUL I**

### **NOȚIUNI INTRODUCATIVE**

#### **1.1. Rectificarea și locul ei în cadrul prelucrărilor prin așchiere. Comanda adaptivă.**

*Rectificarea ca procedeu de prelucrare, s-a impus și se impune în continuare ca fiind un procedeu de bază a tehnologiei de prelucrare prin așchiere. Pe lângă faptul că ea este o operație finală în care rezultă piesa finită, la cerințele de precizie cerute prin proiectare, prin evoluțiile care au avut loc în ultima perioadă, rectificarea se impune tot mai mult și ca o operație de bază, apariția unor noi scule abrazive care permit abordarea unor viteze de așchiere de până la 300 m/s oferind posibilitatea atingerii unor productivități remarcabile.*

*Încă de la începutul apariției rectificării (a doua jumătate a secolului al XIX-lea), în fața constructorilor de mașini s-au impus **trei cerințe majore**:*

- piese cu suprafețe de o **calitate deosebită** în condiții de **precizie ridicată** a cotelor;*
- o **productivitate** cât mai mare;*
- **costuri** cât mai reduse.*

*Trebuie subliniat faptul că obținerea concomitentă a celor trei deziderate, au ridicat în timp probleme deosebit de complexe constructorilor de mașini unelte. Totodată pe lângă necesitatea dezvoltării conceptuale constructive a unor tipuri de mașini de rectificat, în paralel s-a impus continua cercetare și dezvoltare a sculelor aferente folosite în procesul de așchiere.*

*Dezvoltarea și perfecționarea rectificării ca procedeu fundamental de prelucrare în cadrul tehnologiei mecanice s-a făcut și se face și în continuare doar prin tratarea concomitentă a mașinii și a sculei abrazive. Dezvoltarea și*

*perfecționarea unui termen din această "ecuație" mașină-sculă, a condus implicit la dezvoltarea și perfecționarea și celui de al doilea.*

*De la început trebuie precizat că rectificarea este prin natura sa și a mulțimii de factori care o influențează, un procedeu foarte complex, greu de definit într-un regim strict "matematic", ceea ce conduce la necesitatea aprofundării fenomenelor care apar pentru a se putea găsi cele mai bune soluții pentru atingerea cerințelor amintite mai sus.*

*După cum se arată și în [53], [45], [51], în industria modernă se observă ca tendință, creșterea ponderii prelucrărilor prin rectificare, ceea ce va conduce ca aproximativ 25% din volumul prelucrărilor să fie făcut prin acest procedeu. Aceasta se explică prin:*

- necesitatea creșterii **calității** finale a produselor industriale;*
- extinderea metodelor de rectificare la **prelucrări de degroșare**;*
- **reducerea adaosurilor de prelucrare prin perfecționarea metodelor***

*de obținere a semifabricatelor.*

*Atingerea acestui deziderat a impus următoarele **direcții de cercetare**:*

*a. elaborarea unor **noi metode de rectificare** (electrochimică cu vibrații, rectificarea fără centru, rectificarea cu bandă adezivă, etc);*

*b. **perfecționarea sculelor abrazive** prin elaborarea unor noi materiale;*

*c. **perfecționarea constructivă a mașinilor unelte de rectificat** care să permită creșterea vitezei de așchiere (concomitent cu îmbunătățirea proprietăților sculei abrazive) și automatizarea proceselor de lucru inclusiv prin introducerea comenzilor numerice;*

*d. **optimizarea tehnico-economică a proceselor tehnologice de prelucrare mecanică prin rectificare.***

*Lucrarea de față își propune să completeze cercetările făcute în cadrul colectivului de Mașini-Unelte și Agregate din cadrul catedrei de Tehnologia*

*Construcțiilor de Mașini a Universității "Politehnica" din Timișoara, în direcția optimizării procedurii de rectificare prin introducerea comenzii adaptive.*

*Conform [53] prin comandă adaptivă (CA) a unei mașini-unelte se înțelege, "un sistem de automatizare a prelucrării care pe baza informațiilor primite de la mărimile de referință (forțe, puteri, costuri de prelucrare, indici de calitate a piesei, capacitate productivă, etc) și a informațiilor provenite prin măsurarea unor parametri ai regimului de așchiere, chiar în timpul desfășurării procesului, prelucrate potrivit unei anumite strategii, reglează parametri regimului de așchiere astfel ca să se obțină un efect tehnico-economic optim".*

*Introducerea comenzii adaptive la mașinile de rectificat aduce o serie de avantaje evidente:*

- reducerea cheltuielilor de proiectare a proceselor tehnologice;*
- creșterea preciziei de prelucrare;*
- creșterea evidentă a productivității muncii;*
- compensarea automată a erorilor sistematice sau aleatoare;*
- protecția împotriva supraîncărcării sistemului tehnologic elastic STE.*

*Literatura de specialitate oferă ca o primă clasificare a comenzilor adaptive:*

- CA cu valori limită (ACC)*
- CA de optimizare (ACO)*

*Conform [53] o clasificare mai corectă și completă a CA se poate face în funcție de criteriile de optimizare.*

*Criteriile de optimizare acceptate de către majoritatea cercetătorilor și evidențiate în [53], [45], [4], [5], [6], [7], [16], [26], [27], [43] sunt:*

- costul operației de prelucrare [C];*
- atingerea unor anumiți indici de calitate [R];*

*(precizie dimensională, precizia poziției reciproce, precizie de formă, calitatea suprafeței)*

- capacitatea de producție  $[N]$ .

*Criteriile de mai sus pot fi luate individual sau pot fi combinate [53]:*

$$O_1 = f(C); \quad O_2 = f(N); \quad O_3 = f(R); \quad O_4 = f(C,R)$$

$$O_5 = f(N,R); \quad O_6 = f(N,C); \quad O_7 = f(C,N,R)$$

*Cele mai eficiente în practică sunt sistemele care țin seama de 2 sau 3 criterii.*

*Lucrarea de față își propune să studieze un sistem care să asigure optimizarea funcție de costuri, să facă un studiu comparativ și eventual o tratare simultană cu optimizarea realizată în [53] funcție de capacitatea de producție, ambele optimizări făcându-se cu respectarea simultană a indicilor de calitate ( $O_5$  și eventual  $O_6$ ). Totodată se propune înlocuirea sistemului analogic de prelucrare a datelor cu unul digital și o eventuală comparație din punct de vedere a rezultatelor tehnologice obținute.*

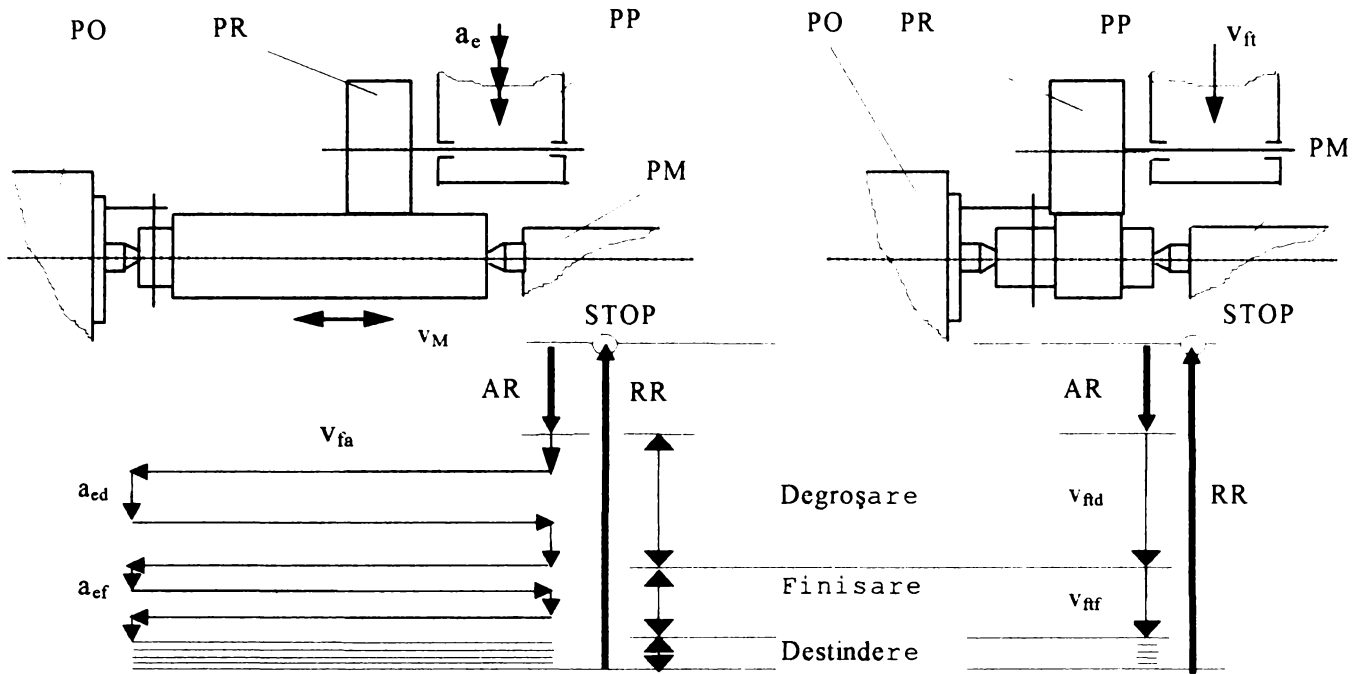
*Introducerea calculatorului electronic și a unui echipament electronic modern va permite dezvoltarea cercetării în continuare a problemelor legate de comanda adaptivă pe mașinile de rectificat rotund exterior între vârfuri.*

## **1.2. Rectificarea cilindrică exterioară. Generalități. Clasificări.**

*Rectificarea rotundă exterioară are următoarele mișcări de bază:*

- mișcarea de rotație a sculei abrazive;
- mișcarea de rotație a piesei;
- mișcarea de avans longitudinal, rectilinie alternativă (executată în general de piesă, dar pot fi întâlnite cazuri când această mișcare o execută și scula);
- mișcarea de avans transversal de pătrundere efectuată la finele cursei longitudinale (cursă dublă sau simplă), mișcare efectuată de sculă.

În fig. 1.1 sunt reprezentate schematic ciclurile de lucru pentru **rectificarea de trecere (a)** respectiv **rectificarea de pătrundere (b)**



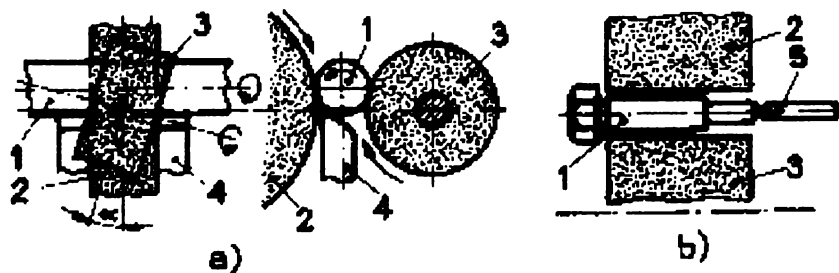
a

b

**Fig. 1.1 Rectificarea rotundă exterioară între vârfuri**

După felul cum este așezată piesa în timpul prelucrării putem avea:

- rectificare rotundă exterioară între vârfuri - fig. 1.1
- rectificare rotundă exterioară fără vârfuri - fig. 1.2



**Fig. 1.2 Rectificarea rotundă exterioară fără vîrfuri**

*Adaosul de prelucrare la rectificarea rotundă exterioară este de maxim 2 mm (proporțional cu diametrul obiectului de prelucrat OP), 80% îndepărtându-se la faza de degroșare și 20% la finisare. După cum se observă și din fig.1.1 în cadrul rectificării rotunde exterioare avem și o a treia fază, cea a destinderii, fază în care nu se mai execută un avans de pătrundere. Procesul se consideră terminat când nu mai apar scântei, în faza de destindere îndepărtându-se material datorită deformațiilor sistemului tehnologic elastic (STE) din timpul fazelor de degroșare și finisare.*

*Analiza studiilor făcute în întreaga bibliografie studiată a arătat că precizia (dimensională, de suprafață, de poziție reciprocă și de formă) este determinată de faza de destindere. Durata acestei faze depinde însă de deformațiile STE și implicit a erorilor induse în faza de degroșare și finisare. După cum se va vedea, introducerea comenzii adaptive CA, va avea un rol major tocmai în reducerea duratei acestei faze, pentru a se putea obține în paralel indici de performanță ai prelucrării ridicați.*

### **1.3. Generalități privind factorii care impun introducerea comenzilor adaptive la mașinile de rectificat**

*Procesul de rectificare, în ansamblul său, este unul foarte complex atât prin numărul mare de parametri care influențează regimul de așchiere cât și prin faptul că, spre deosebire de alte procedee bazate pe așchiere, în acest caz datorită particularităților sculelor folosite și în special a variației continue a caracteristicilor așchietoare ale grăunților abrazive, nu se poate defini clar un algoritm prin care să putem defini cât de cât exact acest gen de prelucrări.*

*După cum se arată sintetic în [53], factorii care influențează procesul de rectificare sunt:*

*a. scula (piatra de rectificat) caracterizată prin:*

*- materialul, dimensiunile și forma granulelor abrazive;*

- *liantul folosit;*
- *structura și duritatea;*
- *dimensiuni și formă;*
- *durabilitatea.*

**b. piesa, caracterizată prin:**

- *natura materialului;*
- *duritatea suprafeței prelucrate;*
- *formă și dimensiuni.*

**c. mașina unealtă cu dispozitivarea aferentă caracterizată prin:**

- *soluție constructivă și implicit posibilități de prelucrare;*
- *precizia și rigiditatea părților componente respectiv a întregului STE;*

**d. regimul propriu-zis de așchiere caracterizat prin:**

- *viteza piesei ( $v_{tp}$ );*
- *viteza sculei ( $v_{sc}$ );*
- *viteza de avans a mesei ( $v_{fa}$ )*
- *adâncimea de așchiere ( $a_e$ )*

**e. natura lichidului de răcire ungere**

**f. regimul de reascuțire a sculei abrazive (natura sculei de corecție, parametrii de regim ai reascuțirii).**

*Avându-se în vedere faptul că avem o variație continuă a rigidității STE în timpul prelucrării, parametri reali și în special adâncimea de așchiere, forța de așchiere respectiv puterea de așchiere sunt mai mici decât cei teoretici. Acest lucru conduce la scăderea indicilor tehnico-economici ai prelucrării.*

*Totodată trebuie arătat că rigiditatea STE este variabilă în lungul piesei conducând implicit la creșterea erorilor sistematice și aleatoare deci și a timpului fazei de destindere, rezultând scăderea capacității productive.*

*Toate aceste neajunsuri pot fi compensate prin introducerea comenzii adaptive (CA), care prin faptul că poate asigura o încărcare constantă în ceea ce*



privește forța de așchiere și în principal a componentei **radiale**  $F_x$ , înlătură deficiențele mai sus amintite, asigurând o precizie ridicată în condițiile creșterii semnificative a productivității. După cum se arată și de către alți autori, acest deziderat se obține prin reducerea spre exemplu de circa 3÷9 ori a timpului necesar măsurătorilor pentru a înlătura erorile de formă, în cazul (CA) faza de destindere fiind necesară în special doar pentru obținerea unei calități a suprafeței corespunzătoare, erorile de formă fiind înlăturate încă din fazele de degroșare și finisare prin variația corespunzătoare a forței radiale  $F_x$ .

Totodată studiile, în special cele experimentale, au arătat că în faza de tensionare a elementelor STE, valorile reale ale adâncimii de așchiere sunt mult mai mici decât cele teoretice, ele ajungând să se egalizeze abia după un timp corespunzător încărcării elementelor STE și deci a preluării tuturor jocurilor și deformațiilor din sistem. De aceea în urma cercetărilor s-a ajuns la concluzia că acest timp poate fi redus cu până la 60% prin creșterea la începutul prelucrării a **avansului transversal** cu valori mai mari de până la 4 ori.

Ca o **idee esențială** care a rezultat din compararea rezultatelor teoretice și experimentale a numeroși cercetători, reiese că **componenta radială**  $F_x$  a forței de așchiere este un parametru care este ușor de corelat cu condițiile tehnico-economice ale procesului de rectificare rotundă exterioară, ceea ce permite o abordare accesibilă a urmăririi procesului efectiv și o reglare continuă a parametrilor pentru creșterea indicilor de performanță tehnico-economici. Spre exemplificare pe lângă cele arătate până acum, s-au dovedit corelații între rugozitatea suprafeței și  $F_x$  sau în cazul în care avem variații ale durității suprafeței exterioare ale piesei, în scopul evitării apariției fisurilor și arsurilor, prin urmărirea și păstrarea valorii componentei  $F_x$  între niște valori limită prestabilite, aceste pericole pot fi evitate.

Introducerea comenzilor numerice CN pe mașini de rectificat, împreună cu comanda adaptivă CA, oferă o soluție pentru stabilirea momentului când se impune corectarea sculei. În condițiile unor prelucrări pe mașini unelte obișnuite,

*nu sunt stabilite precis criteriile obiective care să conducă la stabilirea momentului în care să se facă corecția sculei. În diverse lucrări se prezintă o serie de criterii care au la bază o serie de aprecieri subiective și de aceea introducerea CN și a CA pot reprezenta o soluție viabilă pentru rezolvarea optimă a problemei enunțate.*

#### ***1.4. Stadiul actual al realizării unor mașini unelte de rectificat echipate cu comenzi adaptive. Prezentarea mașinii RE-350CA echipată cu comandă adaptivă.***

*Introducerea comenzii adaptive urmărește creșterea unor indici tehnico-economici (precizie, productivitate, costuri reduse, etc). Tendințele de dezvoltare care s-au manifestat istoric în ceea ce privește mașinile de rectificat au fost în direcții ca: introducerea comenzilor numerice ceea ce a influențat în principal optimizarea ciclului cotelor, creșterea vitezelor de așchiere care s-a obținut prin găsirea unor noi materiale cât și îmbunătățirea soluțiilor constructive ale mașinilor unelte în ideea creșterii în special a rigidității și a puterii de antrenare a pietrei și nu în ultimul rând introducerea comenzilor adaptive cu scopul optimizării parametrilor așchierii.*

*Soluțiile cele mai evolute sunt cele care combină comenzile numerice cu comanda adaptivă.*

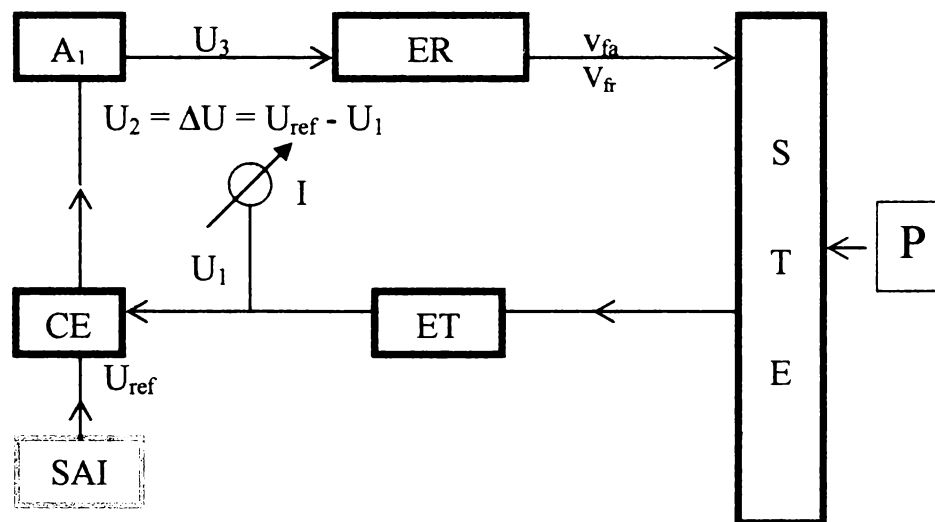
*Mașinile de rectificat față de alte tipuri de mașini-unelte, au avut o dezvoltare mai redusă în ceea ce privește implementarea comenzii adaptive și aceasta datorită multitudinii de parametri care influențează procesul de așchiere și a variației semnificative a acestora în timp, în afara unor modele matematice ușor de definit.*

*În lucrarea [1] autorul face o inventariere a unor tipuri de mașini de rectificat dotate cu CA, realizate la vremea respectivă. Aplicații mai recente au*

dus la realizarea unor sisteme complexe menționate în lucrările [67], [68], [69], [70], [34].

Componenta radială a forței de așchiere este considerată de majoritatea cercetătorilor ca fiind factorul principal admis ca mărime de referință și în funcție de care se modifică valorile parametrilor regimului de așchiere controlate prin CA.

Ceea ce trebuie remarcat că principial o comandă adaptivă se prezintă sub următoarea schemă bloc:



**Fig.1.3 Comandă adaptivă de tipul ACC**

Forța  $F_x$  este măsurată continuu în timpul procesului de așchiere  $P$ , în interiorul sistemului tehnologic elastic  $STE$  cu ajutorul elementului traductor  $ET$ . Semnalul electric  $U_1$  care este proporțional cu forța  $F_x$  este comparat cu semnalul de referință  $U_{ref}$  din sistemul automat de încărcare  $SAI$ .

Rezultatul comparării adică  $U_2 = \Delta U = U_{ref} - U_1$  este amplificat de amplificatorul  $A_1$ , cu semnalul obținut  $U_3$  se va acționa asupra elementului de reglare  $ER$ , care va regla fie viteza mesei longitudinale fie cea a mesei transversale.

*Elementul traductor pentru a avea un randament maxim și pentru a putea asigura o transformare cât mai fidelă a variației forței  $F_x$  în variații de semnal electric trebuie să îndeplinească o serie de cerințe:*

*a. o amplasare cât mai apropiată de punctul de aplicație a forțelor din procesul de așchiere;*

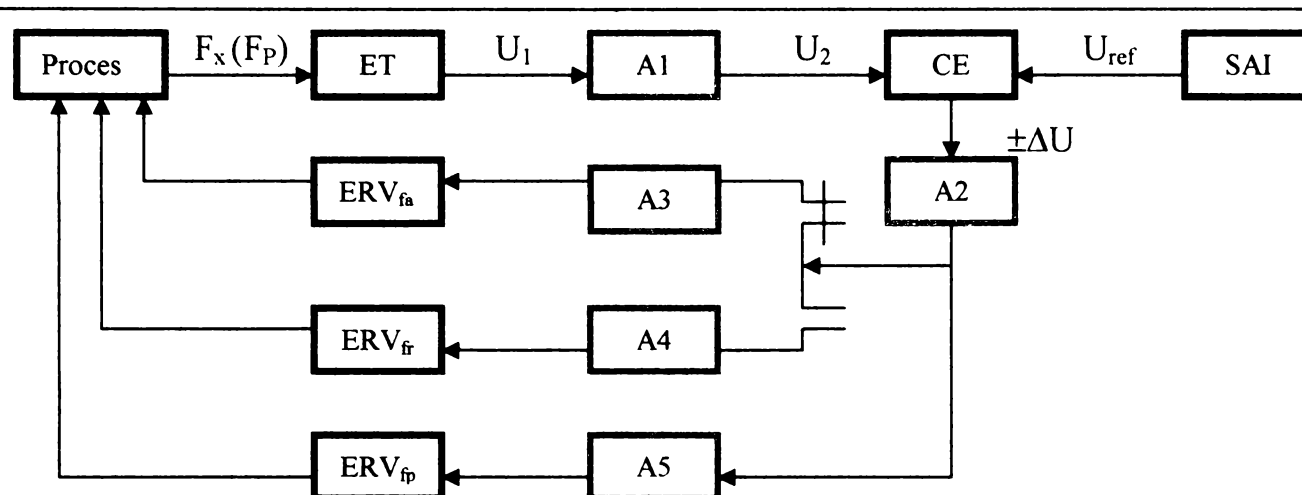
*b. o soluție constructivă cât mai simplă și robustă pentru a nu micșora rigiditatea mașinii unealtă și a STE;*

*c. să nu micșoreze posibilitățile tehnologice ale mașinii-unelte (MU)*

*În continuare vom face referiri directe la mașina de rectificat rotund exterior RE-350 echipată cu comandă adaptivă cu prelucrarea analogică a semnalelor. Comanda adaptivă care a echipat inițial mașina RE-350, s-a bazat pe modificarea vitezei de avans longitudinal sau transversal și modificarea vitezei obiectului de prelucrat cu scopul menținerii constante a deformației sistemului tehnologic elastic ceea ce asigură obținerea unei precizii ridicate și totodată o creștere semnificativă a capacității de producție. Prin asigurarea unei deformații constante a STE, se elimină în special forma de butoi ceea ce conduce la obținerea unei precizii ridicate la sfârșitul fazei de finisare, faza de destindere fiind mult mai scurtă, ea fiind necesară doar pentru obținerea unei rugozități corespunzătoare a suprafeței. Capacitatea de producție crește implicit datorită creșterii volumului de material prelucrat în unitatea de timp (reducerea timpilor necesari așchierii), mașina putând fiind încărcată mai rațional va crește viteza mesei la capete de cursă, fără a exista pericolul supraîncărcării mașinii.*

*În fig. 1.4 se prezintă schema bloc a comenzii adaptive a mașinii RE-350*  
CA

*Forța  $F_x$  este măsurată de elementul traductor ET care o transformă în tensiunea  $U_1$ . Aceasta după amplificarea în amplificatorul  $A_1$  este comparată cu tensiunea de referință  $U_{ref}$  stabilită de sistemul automat de încărcare, compararea*



**Fig. 1.4** Schema bloc a comenzii adaptive care echipează mașina RE-350

făcându-se în comparatorul electronic CE. Semnalul rezultat  $\pm\Delta U$  se transmite astfel:

- a. pentru rectificarea de trecere
  - la elementul de reglare a vitezei mesei longitudinale  $ERV_{fa}$
  - la elementul de reglare a turației obiectului de prelucrat  $ERV_{tp}$
- b. pentru rectificarea de pătrundere
  - la elementul de reglare a vitezei saniei transversale  $ERV_{fr}$
  - la elementul de reglare a turației, obiectului de prelucrat  $ERV_{tp}$

Semnalele sunt prelucrate în amplificatoarele  $A_2, A_3, A_4, A_5$  înainte de a ajunge la elementele de reglare a mărimilor din proces.

Comanda adaptivă funcționează doar în faza de degroșare și cea de finisare, fiind întreruptă în faza de destindere deoarece în această fază, componenta radială  $F_x$  are valori foarte reduse.

În fig. 1.5 se prezintă schema de principiu a comenzii adaptive.

Elementul traductor ET, ca piesă principală a comenzii adaptive este compus din patru traductoare magneto-electrice  $T_1, T_2, T_3, T_4$  legată în punte, precomprimate inițial. Puntea este alimentată la un generator de frecvență. Semnalul obținut prin încărcarea traductoarelor  $T_2$  și  $T_4$  și descărcarea lui  $T_1$  și

$T_3$ , este redresat, filtrat, amplificat, el fiind comparat în comparatorul electronic CO1 cu semnalul provenit de la sistemul de încărcare EP (SAI) unde se introduce mărimea de referință pentru componenta radială  $F_{xref}$ .

Cu ajutorul elementului de comutație EC, rezultatul comparării  $\pm\Delta U$  este transmis elementelor de reglare a parametrilor, respectiv motoarelor electrice  $M_1$  (pentru viteza de rotație a obiectului de prelucrat  $v_{tp}$ ),  $M_2$  (pentru viteza de deplasare a masei longitudinale  $v_{fa}$ ) și  $M_3$  (pentru viteza de deplasare a mesei transversale  $v_{fr}$ ), legătura inversă fiind realizată prin procesul de așchiere. Pe panoul comenzii adaptive, un buton CA-M care permite cuplarea comenzii sau lucrul în regim manual. În cazul comenzii manuale, reglarea parametrilor  $v_{tp}(n_p)$ ,  $v_{fa}(s_l)$  respectiv  $v_{fr}(s_d)$  se realizează cu potențiometrele  $P1'$ ,  $P2'$ ,  $P3'$  și a elementelor electronice de comparare CO2, CO3, CO4, în urma comparării cu semnalele pozițiilor reale ale elementelor de reglare realizate cu  $P1$ ,  $P2$ ,  $P3$ . Prin comparare se efectuează corectarea parametrilor de lucru.

Mașina unealtă este echipată cu un sistem de încărcare, fig.1.6, care poate asigura o încărcare funcție de dimensiunile obiectului de prelucrat ( $L$ ,  $d$ ); materialul prelucrat (oțel, fontă, aliaje); poziția curentă a prelucrării (cota  $Z$  - origine fiind păpușa fixă); tipul prelucrării (degroșare sau finisare); modul de prindere a semifabricatului (între vârfuri sau în mandrină).

Din punct de vedere constructiv avem un **sistem analogic automat**, el generând curbele de variație ale forței  $F_x$  admisă ca mărime de referință, la rectificarea exterioară cu prinderea obiectului de prelucrat între vârfuri. Coordonata  $Z$  (poziția pietrei de rectificat în raport cu păpușa fixă) se introduce prin potențiometrul PL, iar celelalte mărimi cu lungimea  $L$ , modulul de elasticitate  $E$  al materialului rectificat, diametrul  $d$  al OL se introduc manual la începutul procesului cu ajutorul unor potențiometre de  $5 K\Omega$ .

Trecerea de la faza de degroșare la cea de finisare se face tot printr-un potențiometru. Tensiunea  $U_r$  de referință, direct proporțională cu componenta

forței  $F_x$ , se obține la ieșire și se transferă elementului de comparare, rezultând o modificare continuă a mărimii de referință pentru forța  $F_x$ .

Încercările cu sistemul mai sus prezentat au condus la creșterea preciziei de aproximativ 2 ori, a capacității de prelucrare de 4 ori și a calității suprafeței de 1,5 ori.

O componentă esențială a mașinii de rectificat RE-350 echipată cu comandă adaptivă este **subansamblul arborelui principal AP**.

Acesta are o construcție specială după cum se poate observa și din fig. 1.7.

Arborele principal cu lagărele hidrostactice radiale și cel axial este montat în două semicarcase (superioară CS și inferioară CI), care asamblate arată ca în secțiunile A-A, B-B sau C-C. Pentru a se putea măsura forța  $F_x$ , întregul ansamblu CS-CI se poate roti în plan orizontal cu unghiuri foarte mici, prin rotiri asigurându-se pretensionarea traductoarelor magneto-elastice.

Traductoarele se pretensionează inițial cu penele  $P_{nx}$ . Pentru a putea măsura forțe cât mai mici, carcasa CS-CI este lăgăruită în păpușa pietrei cu doi rulmenți radiali axiali cu role conice RC (secțiunea X-X) și ghidată în vederea deplasării cu două căi de ghidare cu role CR (secțiunea B-B). Sistemul de ghidare cu role, prin sistemul de pene și șuruburi  $P_{nx}$  poate asigura eliminarea jocurilor și asigurarea unei prestrângeri a întregului ansamblu după direcția forței de așchiere.

Șaiba de curea SC este lăgăruită astfel încât ea să transmită asupra arborelui principal AP doar momentul de torsiune, evitând încărcarea suplimentară a acestuia cu tensiunea din curea. Astfel pe capătul din dreapta al arborelui principal AP este introdusă bucșa  $B_1$ , fixată axial cu șurubul SP.

Bucșa  $B_1$  este prevăzută cu un canal de pană la interior și caneluri la exterior, prin intermediul cărora se cuplează cu bucșa  $B_2$ . Bucșa  $B_2$  are la rândul său la exterior șaiba de curea SC, ea fiind lăgăruită pe doi rulmenți radiali față de piesa specială PS care este fixată de carcasa păpușii pietrei.

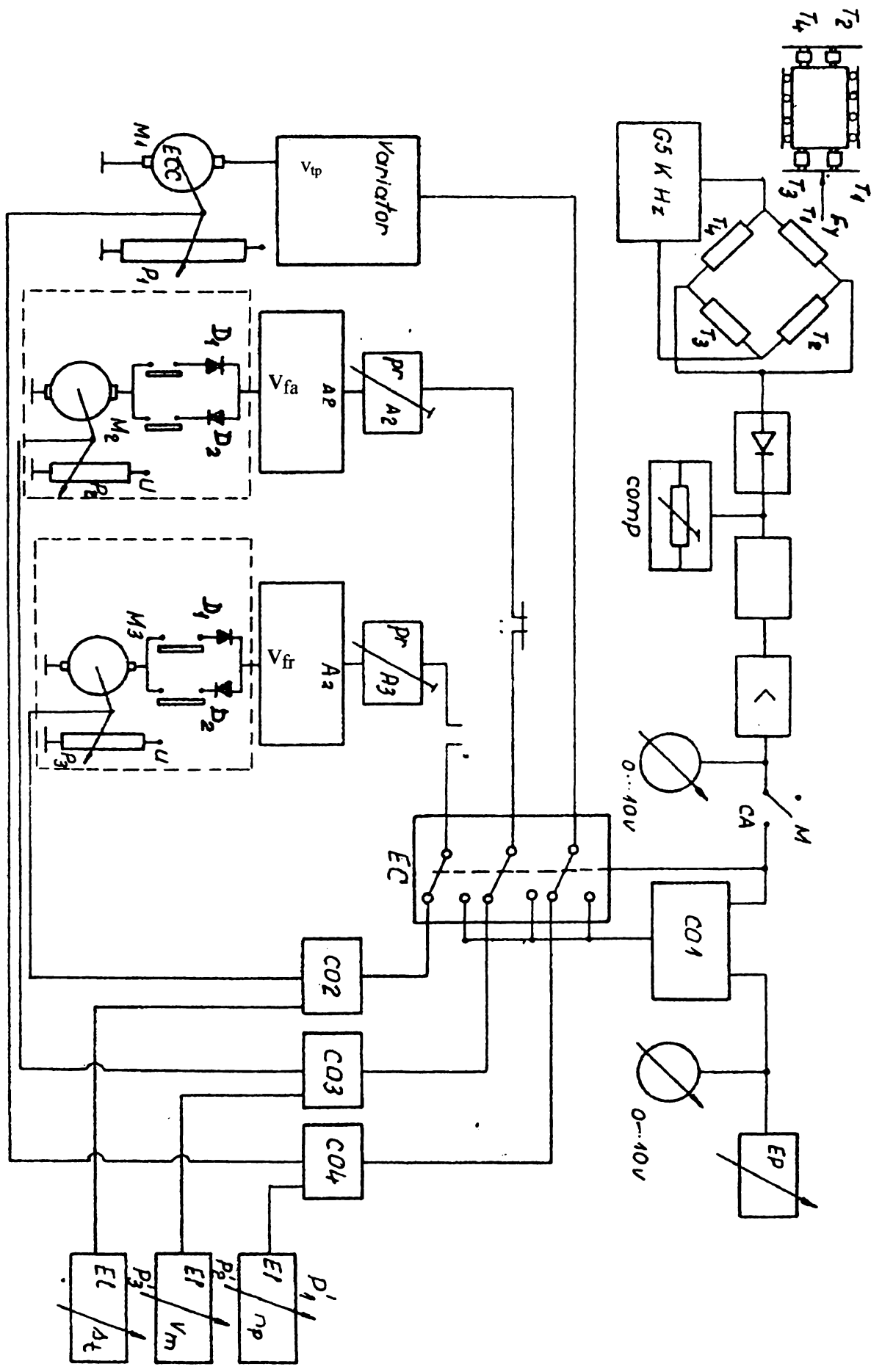


Fig. 1.5 Schema de principiu a CA ce echipează mașina RE-350



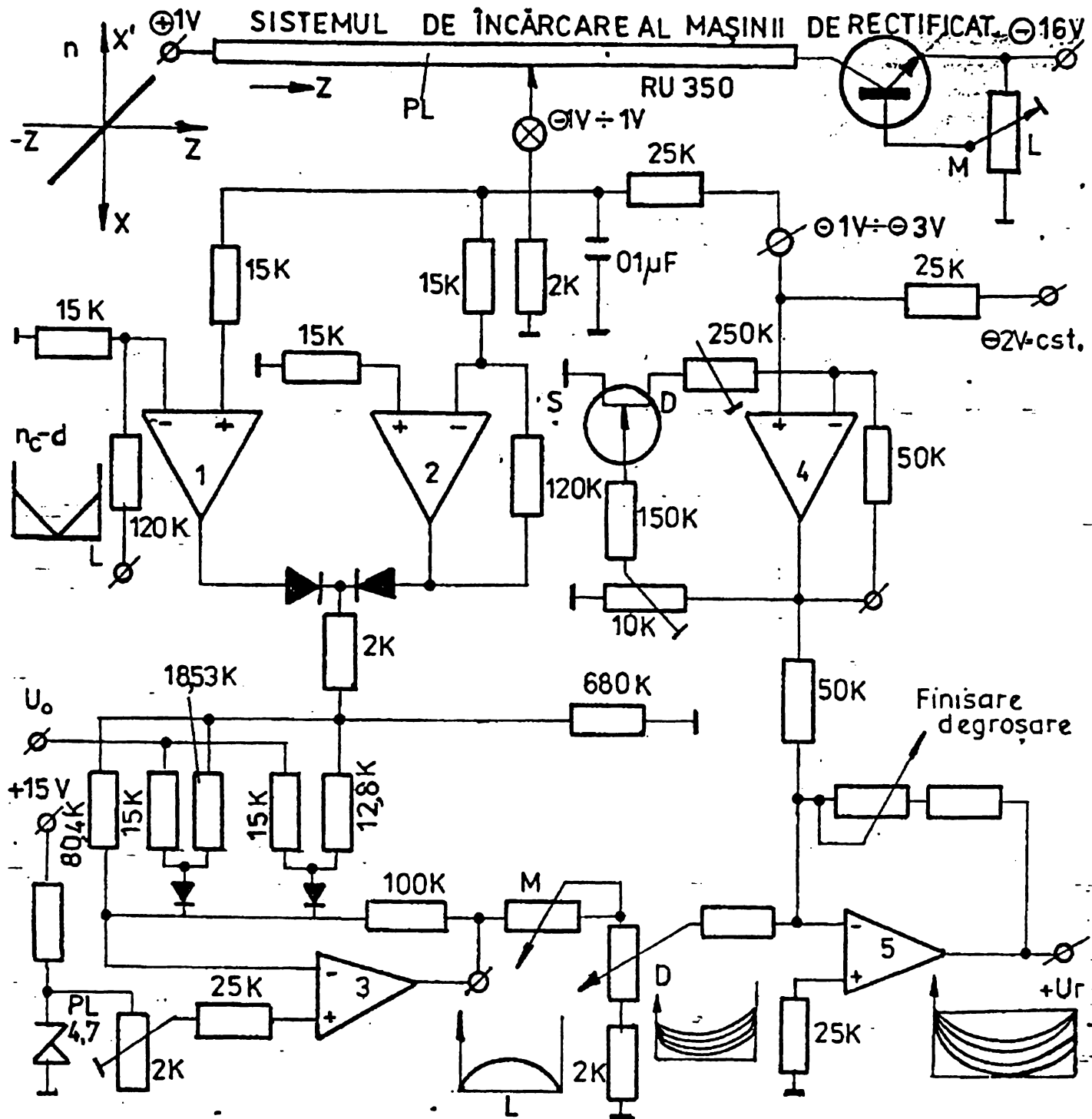


Fig. 1.6 Sistem analogic automat de încărcare a mașinii RE-350

Pentru asigurarea unei funcționări corecte a subansamblului traductor este respectat un joc optim între bucșele  $B_1$  și  $B_2$ , respectiv o centrare riguroasă a acestora prin poziționarea corectă a piesei PS pe carcasa păpușii pietrei.

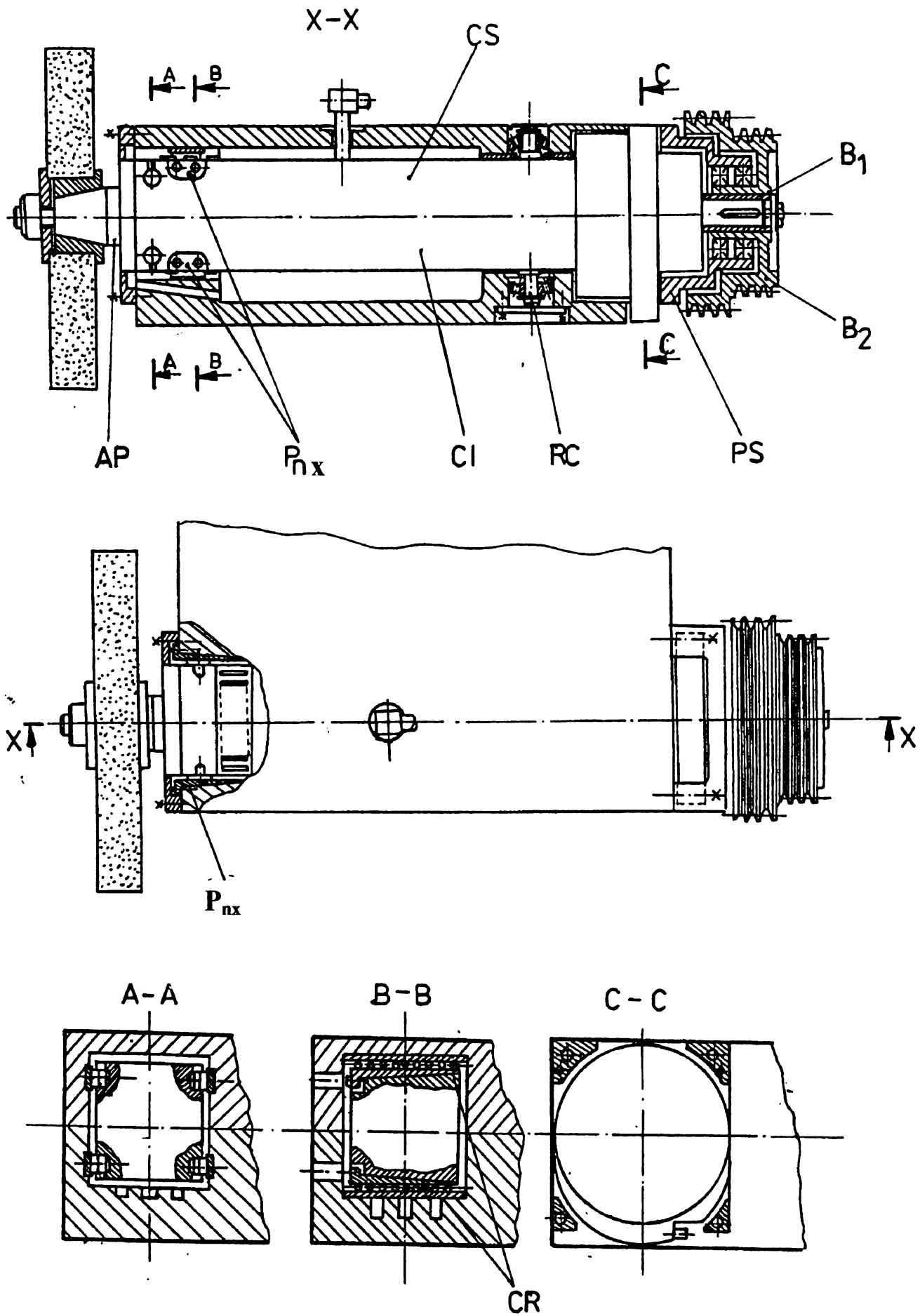
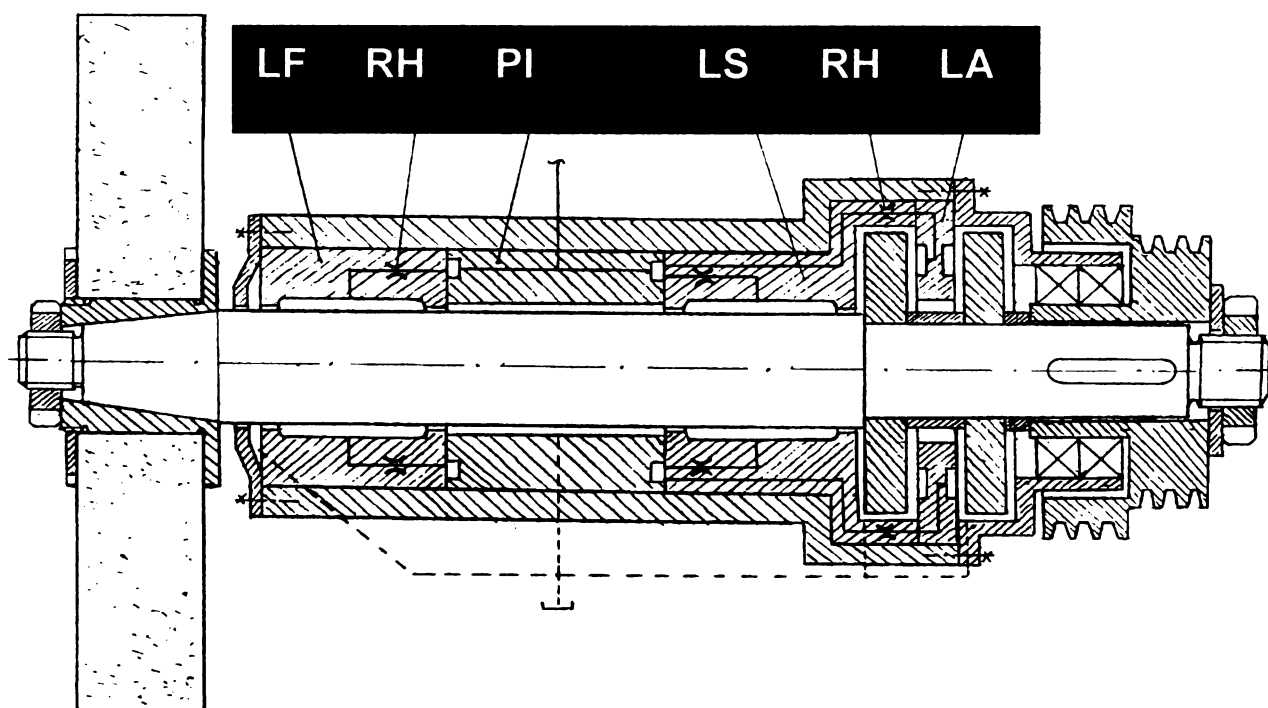


Fig. 1.7 Arborele principal AP al mașinii de rectificat RE-350

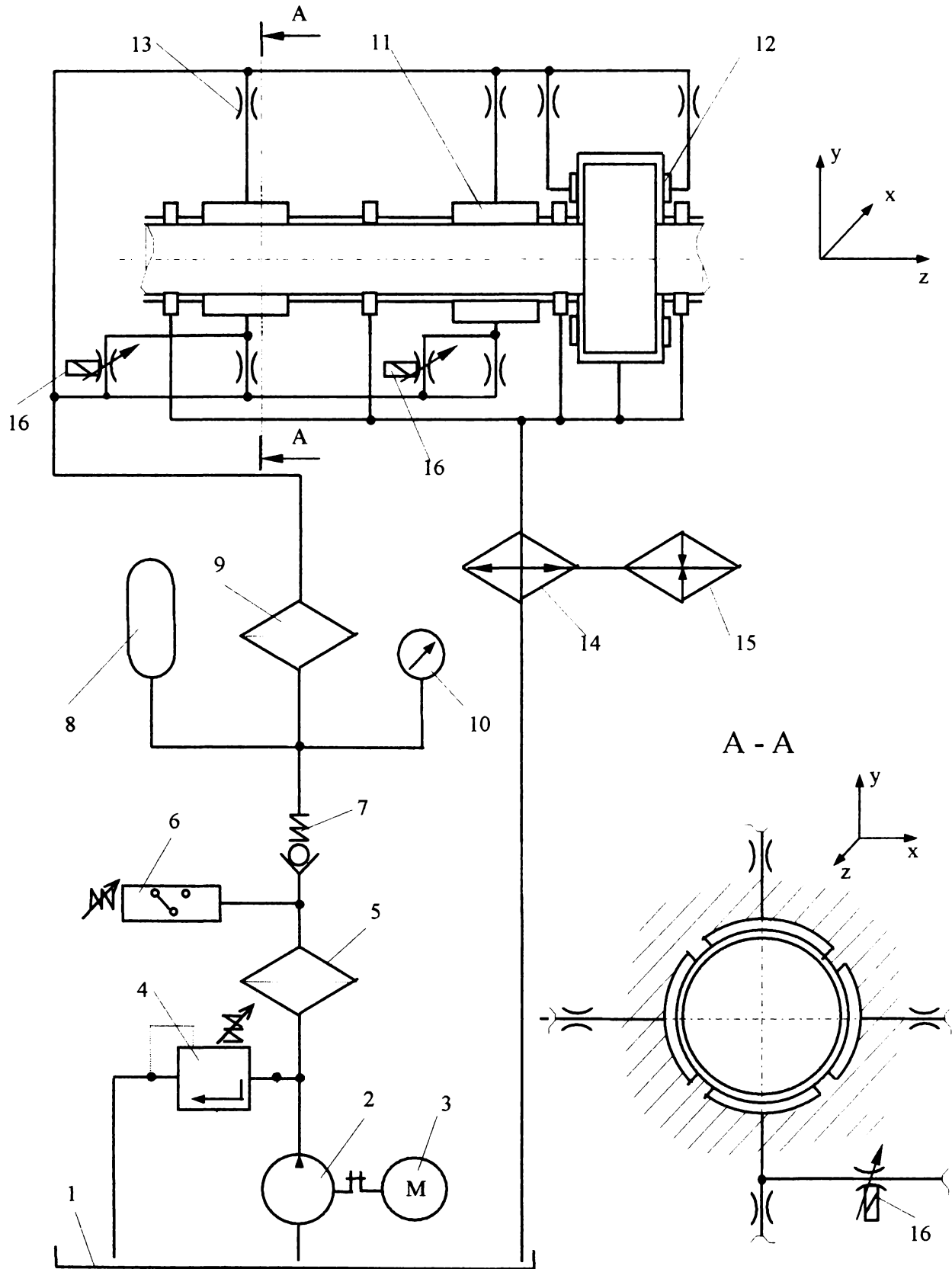
630-12  
 - 69

În figura 1.8 se prezintă soluția constructivă a alimentării lagărelor arborelui principal AP cu sustentație hidrostatică care echipează mașina RE-350. După cum se observă avem atât o sustentație radială cât și una axială. Alimentarea întregului ansamblu se face printr-o piesă intermediară PI intercalată între lagărele radiale față LF respectiv spate LS, distribuirea lichidului hidrostatic atât către buzunarele lagărelor radiale, cât și către buzunarele lagărului axial făcându-se prin niște orificii practicate în corpul piesei PI. În orificiile de alimentare a fiecărui buzunar sunt montate rezistențe hidrostactice fixe RH.

La ora actuală mașina RE-350 echipată cu comandă adaptivă, care va face obiectul studiilor în cadrul lucrării de față, este echipată cu un sistem de lăgăruire hidrostatică care permite o **deplasare micronică** a arborelui principal AP în lagărele acestuia, cât și o comandă adaptivă a rigidității subansamblului arbore principal [51].



**Fig. 1.8** Soluția constructivă a alimentării hidrostactice a AP pentru RE-350



**Fig. 1.9** Schema hidraulică de alimentare a sustentației AP pe mașina RE-350

*În figura 1.9 se prezintă soluția sustentației arborelui principal în care avem:*

- |  |   |
|--|---|
| <i>1 - rezervor</i>  | <i>9 - filtru fin (5 ... 10 <math>\mu\text{m}</math>)</i> |
| <i>2 - pompă</i>   | <i>10 - manometru</i>                                     |
| <i>3 - motorul pompei</i>                                      | <i>11 - lagăr radial</i>                                  |
| <i>4 - supapă de descărcare a presiunii</i>                    | <i>12 - lagăr axial</i>                                   |
| <i>5 - filtru grosier (15 ... 70 <math>\mu\text{m}</math>)</i> | <i>13 - restrictori ficși</i>                             |
| <i>6 - releu de presiune</i>                                   | <i>14 - schimbător de căldură</i>                         |
| <i>7 - supapă de sens</i>                                      | <i>15 - termostat</i>                                     |
| <i>8 - acumulator</i>  | <i>16 - drosele proporționale</i>                         |

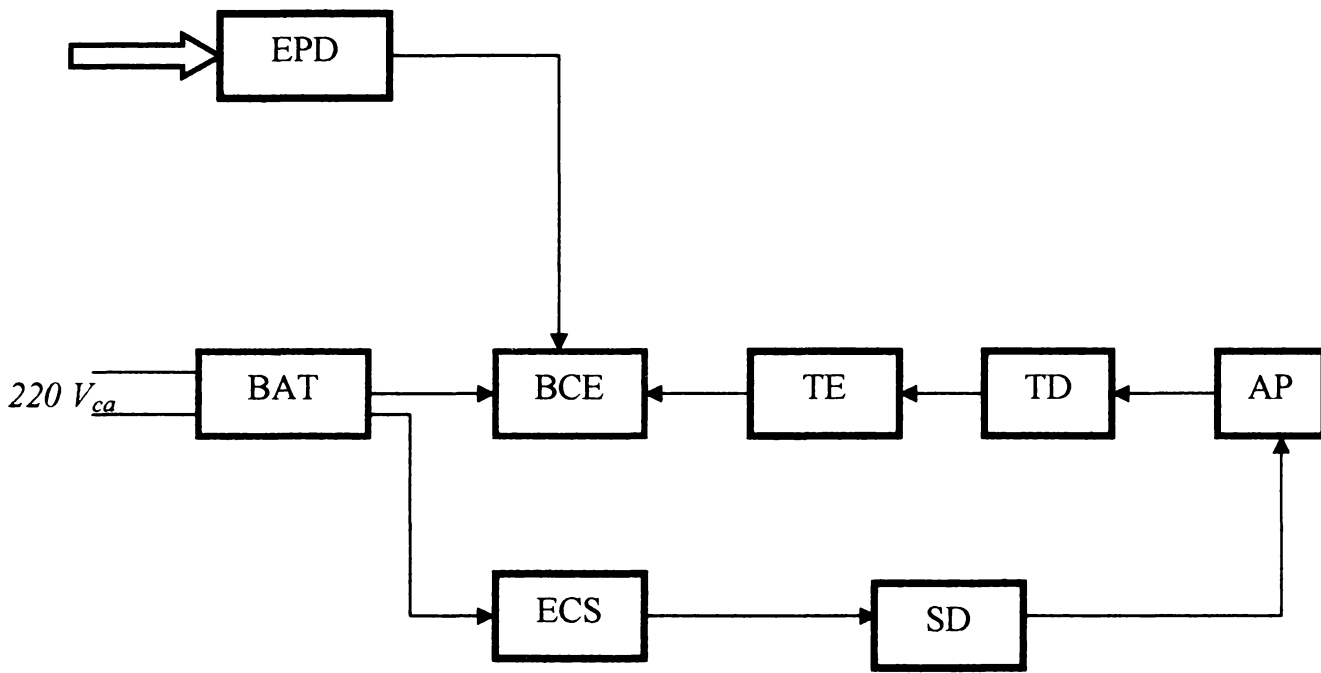
*Rotirea arborelui principal AP nu este permisă până când nu se atinge presiunea necesară sustentației în lagăre comanda fiind dată de releul 6. Astfel se evită frecarea metal pe metal. În cazul unor defecțiuni accidentale legate de oprirea motorului 3, sustentația arborelui principal până la oprirea rotirii pietrei este asigurată de acumulatorul 8.*

*Soluția prezentată este cea clasică care echipa inițial mașina la care s-a adăugat alimentarea suplimentară prin intermediul unor servodrozele pe direcția Oy.*

*Trebuie subliniat că unele deplasări axiale ale AP nu afectează precizia pe direcția radială ceea ce interesează în mod special studiile de față.*

*Schema bloc a sistemului de comandă a microavansurilor transversale este prezentată în figura 1.10.*

*Blocul de comandă propriu-zis, inclusiv elementul de precizie a deplasării EPD reprezintă un circuit comparator, schema de principiu fiind prezentată în figura 1.11.*



**Fig. 1.10** Schema bloc a sistemului de comandă automată a microavansului transversal

unde:

*BAT - sistem de alimentare cu tensiune stabilizată*

*BCE - bloc de comandă electronic*

*ECS - bloc de comandă a servodroselului*

*EPD - element de prescriere a deplasării*

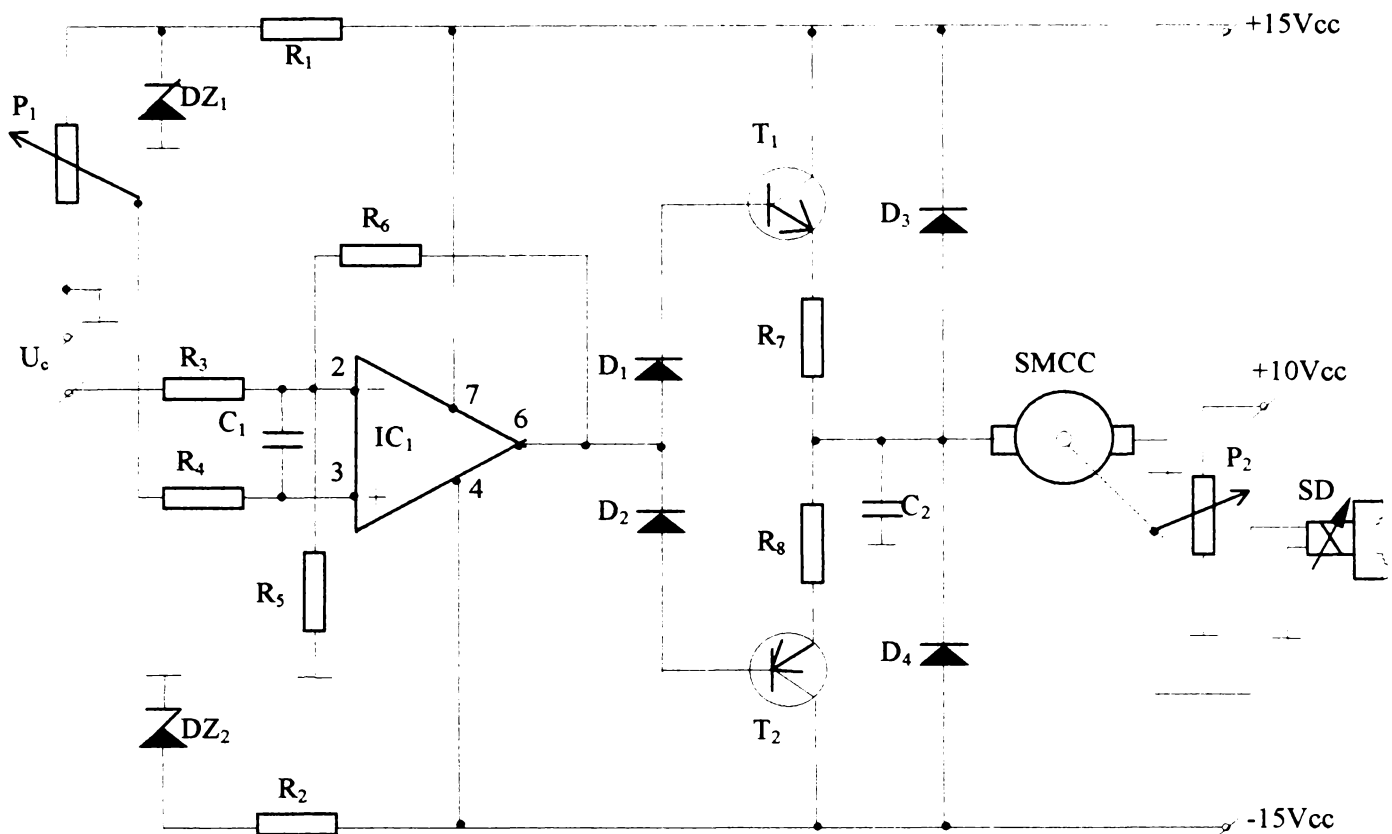
*AP - arborele portpiatră*

*TD - traductor de deplasare*

*TE - tensometrul electronic*

*SD – servodrosel*

*Semnalul care ne oferă poziția reală a arborelui principal AP se obține de la un traductor inductiv diferențial. Prin intermediul potențiometrului  $P_1$  se prescriu valoarea dorită a deplasării AP, care este comparată cu semnalul corespunzător poziției reale a AP ( $U_p$ ), compararea făcându-se cu ajutorul circuitului integrat  $IC_1$ .*



**Fig. 1.11 Blocul de comandă propriu-zis a microdeplasărilor transversale**

În urma comparării este acționat servomotorul de curent continuu SMCC care prin intermediul potențiometrului  $P_2$  modifică tensiunea de alimentare a servodroscelului SD. Prin modificarea poziției sertarului servodroscelului SD, se modifică debitul și implicit presiunea din buzunarele lagărelor radiale cu sustentație hidrostatică, asigurându-se o deplasare micronică a AP care se compară cu cea dorită. În cazul egalității celor două semnale, este întreruptă alimentarea SMCC, potențiometrul  $P_2$  păstrându-și poziția, până la apariția unui eventual dezechilibru cauzat fie de modificarea mărimii de referință prin  $P_1$ , fie prin modificarea poziției reale a AP ca efect a variației forțelor de așchiere.

Utilizarea acestui sistem permite, conform realizatorului lui, realizarea unei rigidități sporite a subansamblului AP în general și a cuplei arbore-lagăr radial în special. Reacția inversă realizată prin TD și TE, permite obținerea pozițiilor dorite ale AP în lagăr. Acest sistem realizează în același timp și o comandă adaptivă a mașinii unelte funcție de variația rigidității subansamblului AP.

## **CAPITOLUL II**

### **STUDIUL PROCESULUI DE RECTIFICARE**

#### **2.1. Aspecte generale privind rectificarea. Parametri regimului de rectificare rotundă exterioară între vârfuri cu avans longitudinal**

*După cum reiese din studiile bibliografice, s-au făcut numeroase aprecieri legate în special de comportarea sculei abrazive în timpul procesului de aşchiere.*

*În cadrul acestui proces de prelucrare, scula aşchietoare are ca și caracteristică esențială faptul că este alcătuită din pulberi abrazive legate printr-un liant ceea ce complică din start lucrurile legate de stabilitatea în timp a formei și dimensiunii sculei, a capacității de aşchiere, a gradului de îmbâcsire, etc.*

*Așa cum se arată în [53], pe periferia discului se află un număr foarte mare de granule abrazive. În prima fază datorită razei de rotunjire (bontire) a granulei de  $20 \div 30 \mu\text{m}$ , granula se târăște pe suprafața semifabricatului, producându-se o strivire a stratului superficial. Pe măsură ce presiunea crește, granula pătrunde în material producând la început o zgâriere apoi o refulare a materialului în față și în lateral, ca apoi să se producă detașarea aşchiei.*

*Strivirea și zgârierea sunt cu atât mai intense cu cât grosimea aşchiei este mai mică și raza de rotunjire a granulelor mai mare. Cu cât viteza de aşchiere este mai mare și avem forțe de frecare mari, se pot atinge temperaturi ridicate de până la  $900 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ , ceea ce poate conduce la transformări structurale de suprafață a semifabricatului. Astfel în cazul oțelurilor, încălzirile care sunt peste punctele critice de transformare  $Ac_1$  și  $Ac_3$  urmate de răciri bruște (datorită lichidului de răcire-ungere LRU), duc la transformări de faze (martensită cubică → austenită la încălzire și austenită → martensită tetragonală la răcire) ceea ce conduce la*



variații de volum, deci implicit la apariția unor tensiuni interne care pot depăși limita de rupere și pot provoca fisuri.

Dacă se lucrează fără răcire, regimurile de așchiere sunt mai "blânde", temperaturile ajungând la limite superioare de 200 - 350 °C favorizând structurile inferioare.

În urma studiilor făcute s-au putut trage o serie de concluzii generale legate de influența unor parametri ai regimului de așchiere asupra temperaturii de așchiere și deci implicit a fenomenelor fizice care pot apărea în timpul așchierii. Dintre acestea putem evidenția:

- temperatura în zona de așchiere crește odată cu creșterea vitezei sculei abrazive  $v_{sc}$  după o lege exponențială (valorile exponenților fiind între 0,25 ... 0,35), în același timp temperatura scăzând cu creșterea diametrului sculei (pietrei) (exponent  $\cong 0,25$ );

- temperatura de așchiere scade cu micșorarea granulației, scăderea durității grăunților și creșterea porozității pietrei.

În general se urmărește scăderea temperaturii ceea ce conduce la scăderea tensiunilor interne și deci la evitarea fisurilor de suprafață sau a eventualelor arsuri. Având în vedere că aceste fisuri de suprafață sunt foarte fine, uneori greu detectabile, pentru a asigura o calitate corespunzătoare suprafeței și o durabilitate în timp se impune alegerea cu grijă a parametrilor regimului de așchiere.

În practica tehnologică se folosesc metodologii consacrate de stabilire a parametrilor de așchiere [63][39], sau pot fi folosite cu succes și cu o tot mai largă utilizare cataloagele producătorilor de mașini-unelte respectiv scule abrazive, care pe baza unor rezultate experimentale în special, oferă valorile cele mai potrivite în funcție de materialul prelucrat, cerințelor impuse de proiectant și oferta tehnologică a atelierului de prelucrare (mașini din dotare, SDV-uri, lichide de răcire-ungere, etc).

*Datele de la care pleacă inginerul tehnolog pentru stabilirea parametrilor regimului de rectificare (în cazul lucrării de față având doar rectificarea rotundă exterioară între vârfuri cu avans longitudinal) sunt:*

- *desenul de execuție al piesei;*
- *caracteristicile mașinii unelte aflate în dotare și pe care se dorește realizarea prelucrării;*
- *caracteristicile sculei abrazive (pietrei).*

*Ca o idee de bază, în general se face o distribuție a adaosului de prelucrare maximă astfel:*

- *(0,7 - 0,8) $A_{p_{max}}$  - pentru prelucrarea de degroșare;*
- *(0,2 - 0,3) $A_{p_{max}}$  - pentru prelucrarea de finisare.*

*Parametrii regimului de așchiere la rectificare pot fi clasificați:*

#### **A. Parametri legați de regimul de prelucrare propriu-zis:**

- a. *avansul longitudinal* -  $f_a$  [mm/rot]
- b. *avansul transversal (în cazul nostru identic cu adâncimea de așchiere  $a_e$ )* -  $f_r$  [mm/cd],  $a_e$
- c. *numărul de treceri* -  $i$
- d. *viteza periferică a pietrei* -  $v_{sc}$  [m/s]
- e. *viteza periferică a piesei* -  $v_{tp}$  [m/min]
- f. *forța principală de așchiere* -  $F_y$  [daN]
- g. *puterea de antrenare a pietrei* -  $P_{sc}$  [kw]
- h. *puterea de antrenare a piesei* -  $P_p$  [kw]
- i. *natura lichidului de răcire-ungere LRU*

#### **B. Parametri legați de piatra de rectificat**

- a. *caracteristicile pietrei de rectificat (material abraziv, liant, porozitate, granulații, etc)*
- b. *durabilitatea pietrei*
- c. *regimul de reascuțire a pietrei*

## 2.2. Alegerea parametrilor de așchiere pentru RREV

În țara noastră calculurile legate de alegerea parametrilor de așchiere se fac după autori consacrați ca: [39], [63], [10], [4], etc.

### 2.2.1. Parametri de așchiere legați de regimul de așchiere propriu-zis

Conform [39] metodologia de stabilire a regimului de așchiere este următoarea:

a. **Stabilirea adâncimii de așchiere  $a_e$**  este egală în cadrul rectificării rotunde exterioare între vârfuri RREV cu avansul de pătrundere  $f_r$ .

$$a_e = f_r$$

deci  $i$ - nr. de treceri va fi

$$i = \frac{Ap_{\max}}{a_e} \quad (2.1)$$

$Ap_{\max}$  - adaos maxim de prelucrare

### b. Stabilirea avansurilor

- **avansul longitudinal**

$$f_a = \beta \cdot B \quad [\text{mm/rot}] \quad (2.2)$$

unde:  $\beta$  = avans longitudinal în fracțiuni din lățimea discului abraziv

$\beta$  va lua valori:

- pentru degroșare -  $\beta = 0,5 \dots 0,8$

- pentru finisare -  $R_a = 1,6 \dots 3,2 \mu\text{m} \Rightarrow \beta = 0,4 \dots 0,6$

-  $R_a = 0,4 \dots 0,8 \mu\text{m} \Rightarrow \beta = 0,25 \dots 0,4$

$B$  = lățimea discului abraziv [mm]

- **avansul de pătrundere** - se recomandă tabelar funcție de **diametrul piesei ( $d_p$ )**, **coeficientul  $\beta$**  și **viteza avansului principal ( $v_{fa}$  - viteza avansului longitudinal al mesei)** în cazul degroșării și **funcție de diametrul piesei  $d_p$** , **avansul longitudinal  $f_a$**  și **viteza de avans longitudinal  $v_{fa}$**  în cazul finisării.

$$f_r \text{ degroșare} = f_2 (d_p, \beta, v_{fa}) k_2 \quad (2.3)$$

$$f_r \text{ finisare} = f_3 (d_p, f_a, v_{fa}) k_3 \quad (2.4)$$

unde  $k_2$  - coeficient de corecție care se alege funcție de diametrul pietrei și natura materialului piesei

$k_3$  - coeficient de corecție care ține seama de precizie, de natura materialului de prelucrat și diametrul pietrei  $D$ .

c. **Viteza de avans principal  $v_{fa}$**

$$v_{fa} = f_1 (d_p, \text{material piesă}) \quad [m/min]$$

- se alege tabelar funcții de diametrul piesei  $d_p$  și tipul materialului de prelucrat.

d. **Viteza de așchiere  $v_{sc}$**  - este considerat la rectificare viteza de rotație a discului abraziv [m/s]. Ea se alege tabelar funcție de tipul rectificării, materialul prelucrat și dacă este faza de degroșare sau de finisare.

e. **Viteza de rotație a piesei  $v_{tp}$  [m/min]** se calculează astfel:

- rectificarea de degroșare

$$v_{tp} = \frac{0,2 \cdot d_p^{0,3}}{T^{0,5} \cdot \beta \cdot f_r} \cdot k_{VT} \quad (2.5)$$

- rectificarea de finisare

$$v_{tp} = \frac{0,1 \cdot d_p^{0,3}}{T^{0,5} \cdot \beta \cdot f_r} \cdot k_{VT} \cdot k_{VB} \quad (2.6)$$

unde:

$d_p$  - diametrul piesei [mm]

$T$  - durabilitatea discului [min]

$k_{VT}$  - coeficient de corecție funcție de durabilitatea discului abraziv

$k_{VB}$  - coeficient de corecție funcție de lățimea discului abraziv

f. **Stabilirea forței principale de așchiere  $F_t$  ( $F_y$ ) [daN]**

$$F_t = C_F \cdot v_{tp}^{0,7} \cdot f_a^{0,7} \cdot a_e^{0,6} \quad (2.7)$$

unde:

$C_F$  - coeficient de corecție care depinde de natura materialului

- pentru oțel călit  $C_F = 2,2$

- pentru oțel necălit  $C_F = 2,1$

- pentru fontă  $C_F = 2,0$

g. **Stabilirea puterii necesare** (este de fapt un calcul de verificare), puterea necesară trebuind să fie mai mică decât cea disponibilă la mașina unealtă)

Pentru rectificarea cu avans axial (longitudinal) avem puterea necesară pentru acționarea piesei care va fi:

$$P_p = 0,15 \cdot v_{ip}^{0,7} \cdot f_a^{0,7} \cdot d_p^{0,25} \cdot B^{0,25} \cdot k_{NT} \cdot k_{NB} \quad [kw] \quad (2.8)$$

unde:

$k_{NT}$  = coeficient de corecție funcție de duritatea discului abraziv

$k_{NB}$  = coeficient de corecție funcție de lățimea discului abraziv

Pentru acționarea sculei puterea necesară va fi:

$$P_{sc} = \frac{F_t \cdot v_{sc}}{100} \quad [KW] \quad (2.9)$$

Pentru puterea necesară rotației piesei se poate folosi și formula

$$P_p = \frac{F_t \cdot v_{tp}}{6000} \quad [KW] \quad (2.10)$$

### i. Natura lichidului de răcire ungere LRU

În bibliografie ca [55], [23], [56], etc, sunt cuprinse indicații de utilizare a lichidului de răcire ungere dându-se o serie de rețete de fabricație a diferitelor tipuri de LRU. Utilizarea acestora se face funcție de materialul de prelucrat și caracteristicile sculei abrazive.

## 2.2.2. Parametri legați de piatra de rectificat

În lucrările [46], [57], s.a, se face un studiu foarte amănunțit a modului de alegere a pietrelor de rectificat.

*Trebuie subliniat încă de la început că recomandările care se fac în diferite lucrări sau cataloage de firmă, sunt în special rezultatele unor încercări experimentale. Cu atât mai mult, sunt foarte multe cazuri în care, la caracteristici de fabricație identice ale unor scule abrazive dar cu producători diferiți, rezultatele practice au diferit. De aceea în general se dispune de fiecare dată efectuarea unor încercări experimentale pentru a se putea obține rezultate maxime în ceea ce privește optimizarea procesului de rectificare.*

*Prelucrarea prin rectificare, cu obținerea unor performanțe maxime în ceea ce privește productivitatea, calitatea suprafeței și durabilitatea discurilor abrazive, este posibilă doar în condițiile cunoașterii exacte a caracteristicilor discurilor abrazive.*

*La alegerea unei scule abrazive se va avea în vedere:*

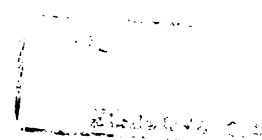
- alegerea granulației;*
- alegerea durității;*
- alegerea structurii;*
- alegerea liantului;*
- stabilirea durabilității sculei;*
- stabilirea regimului de reascuțire a pietrei.*

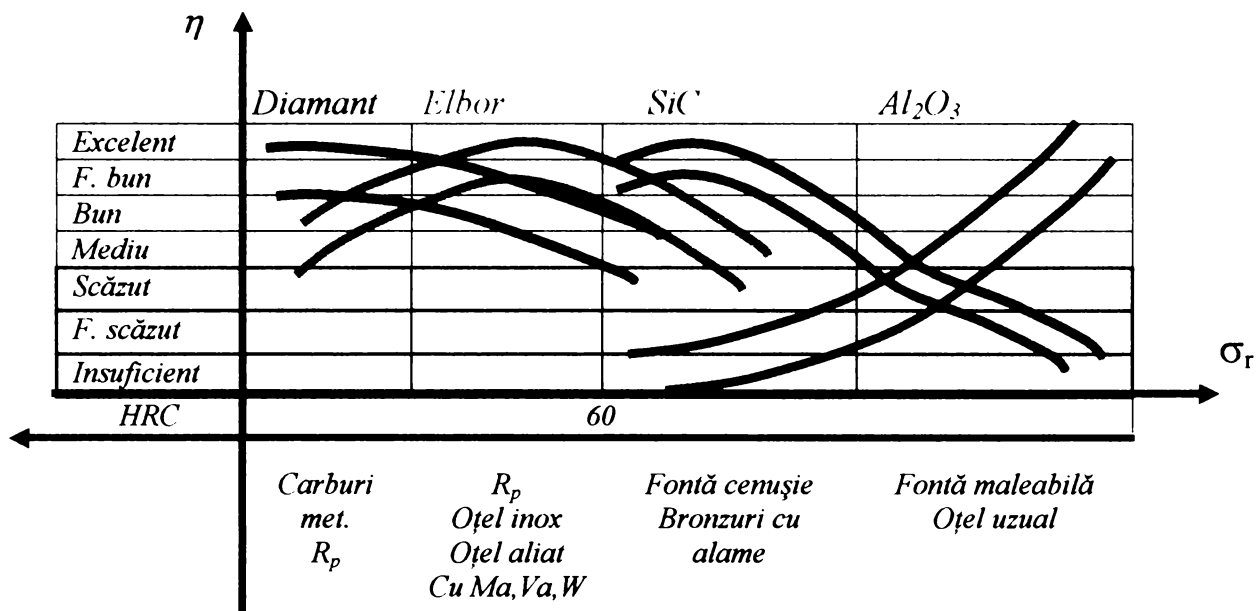
#### ***a. Alegerea materialului abraziv***

*Acesta poate fi în general:*

- oxizi de aluminiu ( $Al_2O_3$ );*
- carburi de siliciu (SiC);*
- nitrat de bor (elbor);*
- diamant.*

*În fig. 2.1 se prezintă sintetic modul de alegere a materialului pietrei în funcție de materialul de prelucrat și randamentul prelucrării.*





**Fig. 2.1. Alegerea materialului sculei abrazive**

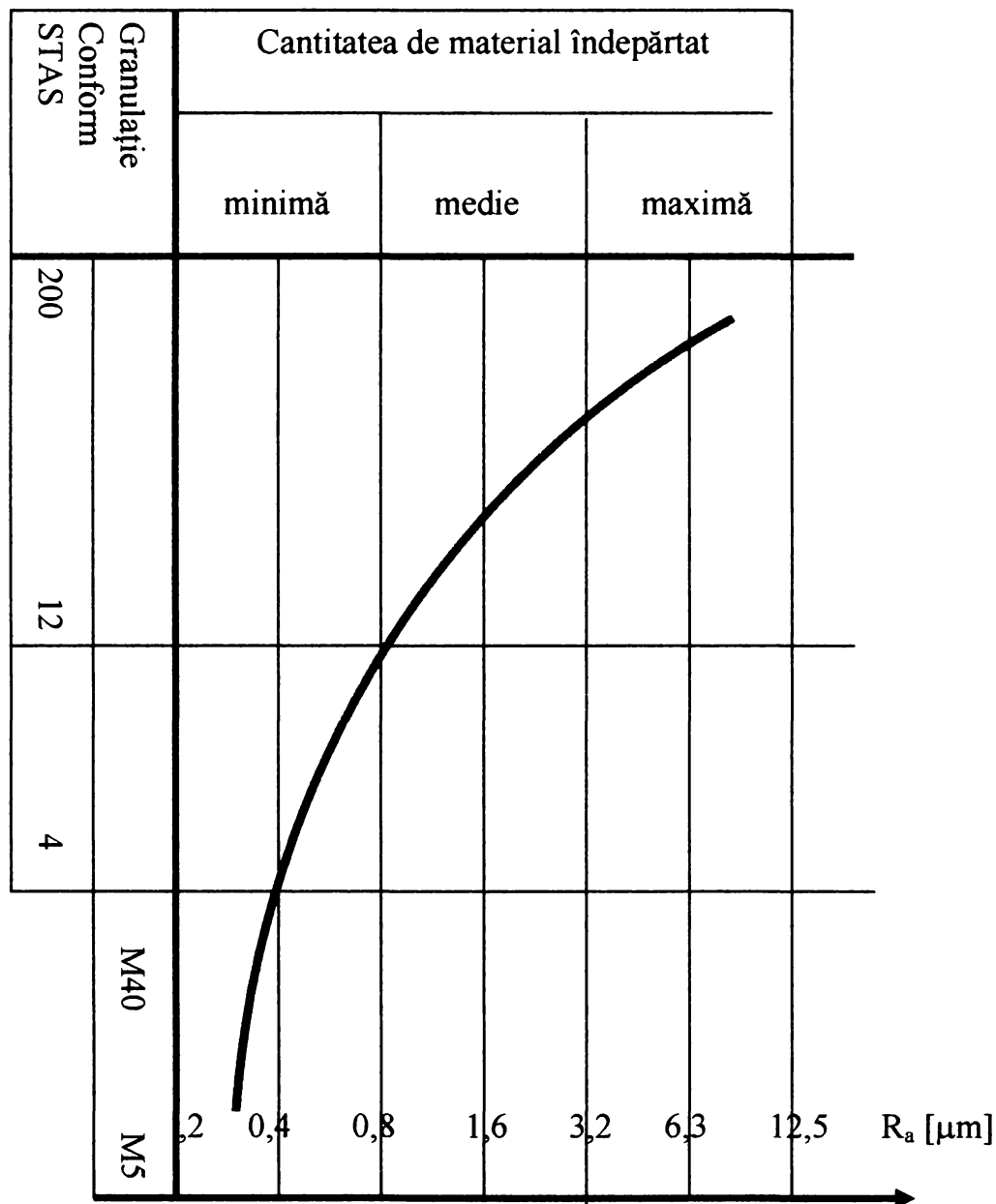
**b. Alegerea granulației pietrei de rectificat se face în funcție de:**

- cantitatea de material ce trebuie îndepărtată în unitatea de timp;
- calitatea suprafeței piesei prelucrate;
- proprietățile materialului piesei.

În fig. 2.2 se prezintă o monogramă după care se poate face alegerea granulației funcție de cantitatea de material îndepărtat și rugozitatea suprafeței.

**c. Alegerea durității discului abraziv se face așa cum se observă și în fig.2.3, după:**

- natura materialului prelucrat;
- proprietățile acestora;
- forma suprafeței prelucrate;
- calitatea suprafeței;
- parametrii regimului de așchiere.



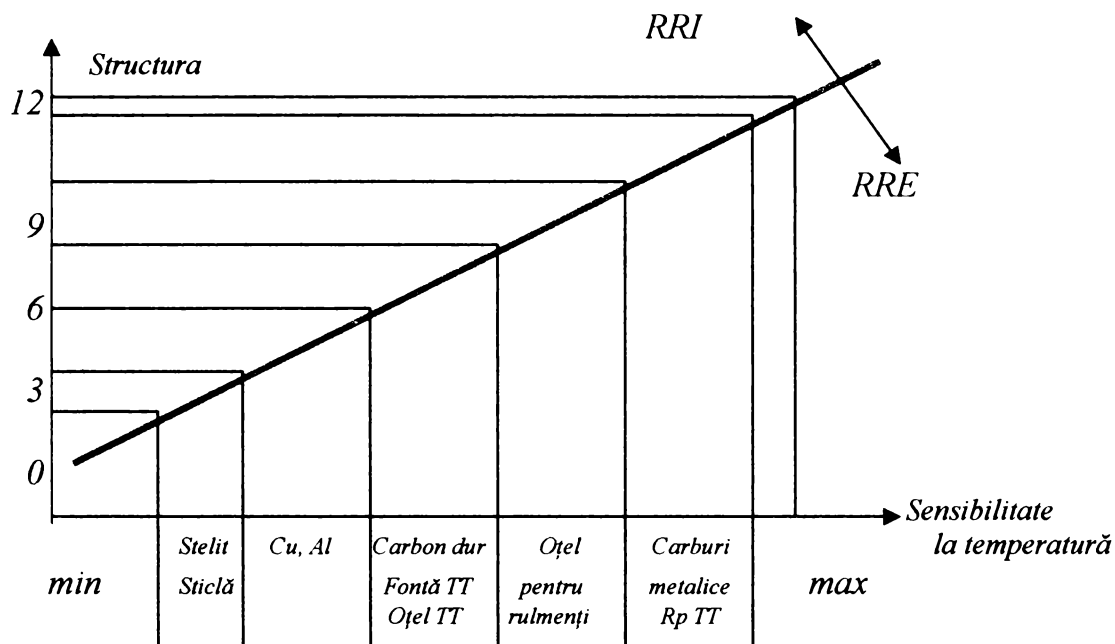
**Fig. 2.2 Alegerea granulației pietrei de rectificat**

| Material prelucrat             |                     | Natura operației |          |       |
|--------------------------------|---------------------|------------------|----------|-------|
|                                |                     | R.R.E            | R. Plană | R.R.I |
| Oțel<br>[daN/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_r < 80$     | L, M, N          | K, L     | K, L  |
|                                | $\sigma_r = 80-140$ | K                | J, K     | J     |
|                                | $\sigma_r > 140$    | J                | I, J     | I     |
| Metale ușoare și aliajele lor  |                     | J                | I, J     | I     |
| Fontă cenușie                  |                     | K                | J        | J     |
| Bronz, alamă, cupru            |                     | L, M             | J, K     | J     |

**Fig. 2.3 Alegerea durității discului abraziv**

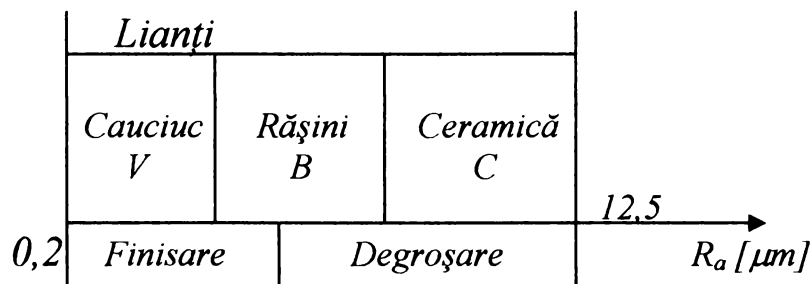


d. **Alegerea structurii discului abraziv se face după sensibilitatea la temperatură a materialului de prelucrat în punctul de contact fig. 2.4.**



**Fig. 2.4 Alegerea structurii discului abraziv**

e. **Alegerea liantului sculei abrazive se poate face funcție de fazele procesului de rectificare (degroșare sau finisare), figura 2.5.**



**Fig. 2.5 Alegerea liantului sculei abrazive**

f. **Alegerea durabilității pietrei abrazive se poate face după unii autori [39] tabelar sau după alții [57] se oferă o relație analitică.**

Când se face alegerea tabelar, se ține seama de:

- faza de degroșare:
  - diametrul discului abraziv
  - lățimea discului abraziv
- faza de finisare:
  - treapta de precizie în care dorește să se realizeze prelucrarea piesei (la rectificările

*cu suprafețe cilindrice cu racordare se ține  
cont și de raza de racordare).*

*O relație analitică a determinării durabilității sculei abrazive în cazul unei  
rectificări cilindrice exterioare cu avans longitudinal este oferită în [31] și este de  
forma:*

$$T = \left( \frac{C}{q \cdot v_{sc}} \right)^{\mu} \cdot \left( \frac{1}{v_{fa}} \right)^{\mu_y} \cdot \left( \frac{1}{v_{fr}} \right)^{\mu_x} \text{ [min]} \quad (2.11)$$

*unde:*

*C - constantă caracteristică tipului de piatră*

*q - echivalent de așchiere*

*$\mu$  - exponent care depinde de materialul prelucrat*

*$\mu_x, \mu_y$  - exponenți funcție de regimul de așchiere*

**g. Alegerea regimului de reascuțire a pietrei**

*Reascuțirea discurilor abrazive se face în scopul restabilirii  
capacității sale inițiale de așchiere, refacerii formei geometrice a sculei și  
refacerii coaxialității dintre axa de rotație a discului și axa arborelui port sculă a  
mașinii.*

*Îndreptarea se poate face cu scule de diamant (creioane cu vârf de diamant  
sau cu sfărâmături de diamant) și cu scule din alte materiale dure ( carbură de  
siliciu, carburi metalice, discuri din oțel călit).*

*Operația de reascuțire are fazele de degroșare și finisare, valorile  
avansurilor longitudinale și transversale fiind determinate tabelar. Tot tabelar se  
alege și mărimea diamantului de îndreptare funcție de diametrul sculei abrazive.*

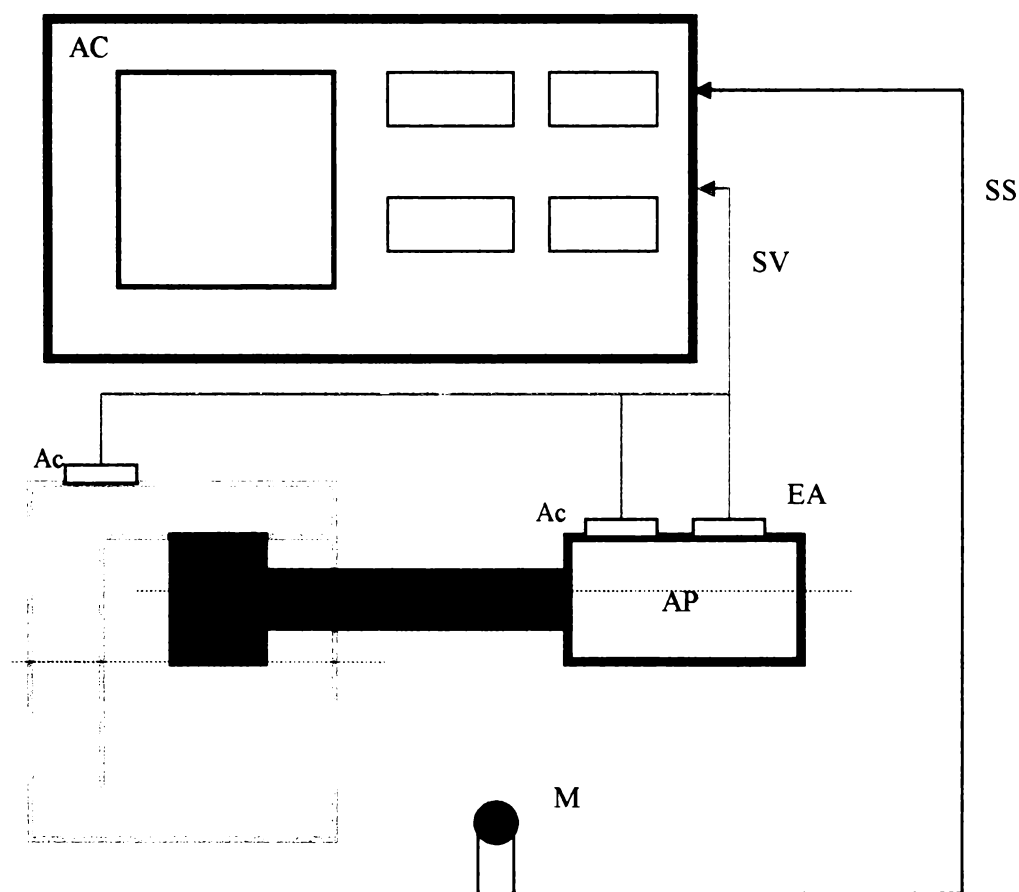
*Cea mai importantă problemă, după cum se arată și în lucrarea [53], este  
cea a determinării momentului în care scula nu mai corespunde din punct de  
vedere a capacității de așchiere respectiv a calității suprafețelor obținute și se  
impune reascuțirea ei.*

*Criteriile vehiculate de majoritatea autorilor și care au condus implicit la  
stabilirea unor tehnologii adecvate sunt:*

- **criteriul modificării rugozității** - necesită sisteme performante de control activ în timpul prelucrării rugozității suprafeței;

- **criteriul creșterii amplitudinii auto-oscilațiilor și zgomotului produs** (vezi fig. 2.5);

- **criteriul cantității limită de material prelevat utilizabil în special pe mașinile echipate cu control numeric, contabilizarea acesteia făcându-se cu ajutorul programului. Este cel mai practic sistem în condițiile existenței comenzii numerice în dotarea mașinii unelte.**



**Fig. 2.5 Determinarea auto-oscilațiilor și a zgomotului la rectificare**

*AP - arbore principal portpiatră*

*SV - semnalul vibrator*

*S - sculă abrazivă*

*SS - semnal de sunet*

*AC - aparat de control*

*M - microfon*

*EA - element de măsurare a semnalului acustic*

*Ac - accelerometru*

*Alți autori au dezvoltat utilizarea unor traductori parametrici sau fotoelectrici pentru determinarea momentului reascuțirii prin măsurarea uzurii liniare a sculei respectiv modificării rugozității suprafeței.*

### **2.3. Analiza ciclului de lucru la rectificarea rotundă exterioară**

*În figura 2.6, se prezintă schematic variația volumului de material îndepărtat respectiv a puterii de așchiere în funcție de fazele prelucrării:*

- OA - apropierea rapidă
- AB - pătrunderea în material
- BC - așchiera cu o forță relativ constantă
- CF - destinderea

*Astfel după apropierea rapidă OA până la apariția primelor scântei, urmează o pătrundere în material AB, în care, datorită faptului că sistemul elastic se tensionează progresiv, avansul transversal real este mai mic decât cel reglat. Pe măsură ce cresc tensionările în STE și cresc deformațiile se preiau toate jocurile tehnologice, iar valoarea avansului transversal real se apropie de cel reglat.*

*După [34] ecuația curbei avansului de pătrundere este:*

$$f_t = f_{t_0} \left( 1 - e^{-\frac{f_{t_0} \cdot j \cdot t}{F_x}} \right) \quad (2.12)$$

*$f_t$  - avansul transversal curent*

*$t$  - timpul*

*$f_{t_0}$  - avans transversal reglat*

*$F_x$  - forța radială (forța pasivă  $F_p$ )*

*$j$  - rigiditatea STE*

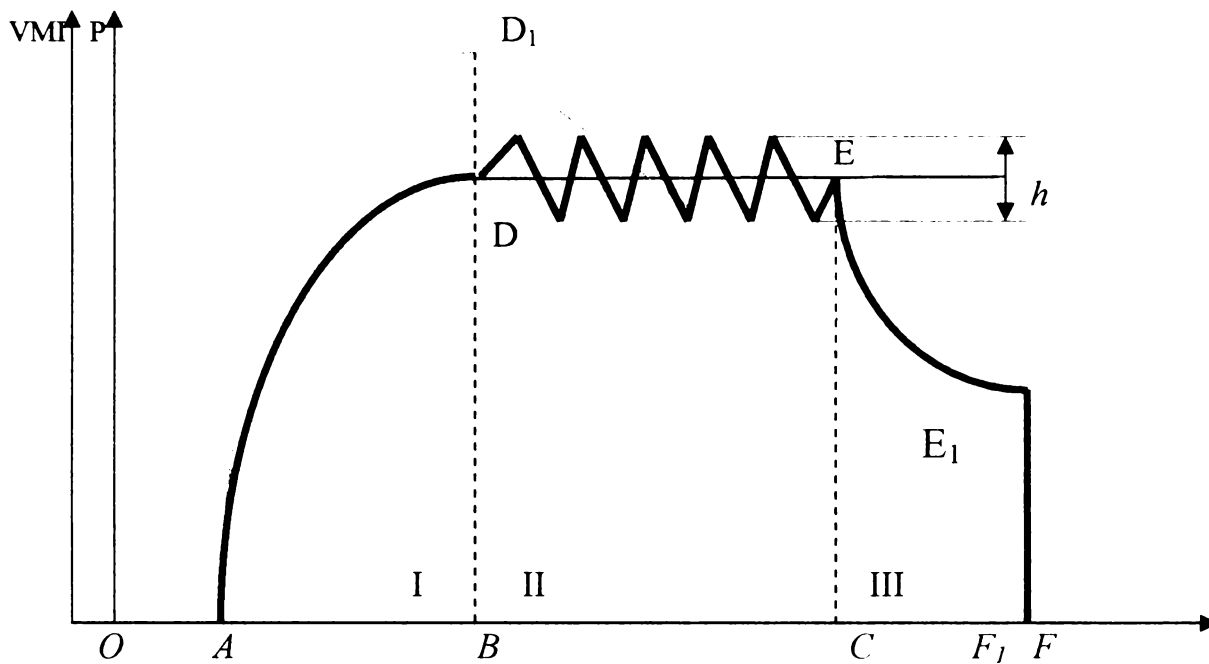


Fig. 2.6 Ciclul de lucru la rectificare

$P$  - putere de așchiere

$VMI$  - volum de material îndepărtat

Pentru ca faza de pătrundere să fie mai scurtă, viteza de deplasare transversală a păpușii pietrei poate fi de  $i$  ori mai mare decât la celelalte etape ( $i = 2 \dots 4$ )

Timpul necesar pătrunderii se poate determina cu o relație de forma:

$$t_p = \frac{1}{2\sqrt{i}} \cdot \frac{F_x}{f_{t_0} \cdot j} \ln \frac{\sqrt{i} + k}{\sqrt{i} - k} \quad (2.13)$$

Același rezultat se poate obține prin creșterea rigidității sistemului tehnologic elastic.

A doua etapă a rectificării, cea cu avans transversal constant (BC), este caracterizată printr-o variație a  $VMI$  sau  $P$  (linia DE), oscilațiile volumului de material îndepărtat, respectiv a puterii de așchiere apărând datorită variației reale a avansului transversal. Amplitudinea oscilațiilor depinde de raportul dintre avansul real și valoarea totală a deformației STE. Conform [53] se arată că prelucrarea cu valori discrete ale avansului transversal, la capete de cursă, produce solicitări necorespunzătoare STE și de aceea s-ar impune rectificarea cu

avans continuu ceea ce ar conduce la eliminarea solicitărilor pulsatorii și la reducerea oscilațiilor.

O altă posibilitate de realizare a etapei a doua conform figurii 2.6, este cea după linia  $D_1E_1$ , ceea ce presupune ca faza de pătrundere să se desfășoare cu un avans rapid și se termină într-un punct deasupra condițiilor medii de îndepărtare a VMI. În etapa a doua viteza avansului transversal se micșorează treptat, ceea ce permite **reducerea timpului fazei de destindere și creșterea preciziei și a calității suprafeței.**

A treia etapă CF, sistemul tehnologic treptat se întoarce la faza inițială netensionată. Ecuația curbei pentru această fază este de forma:

$$x = x_0 \cdot e^{-\frac{f_{t_0} \cdot j \cdot t}{F_x}} \quad (2.14)$$

$x_0$  - deformația sistemului la sfârșitul celei de a doua faze.

Dacă la această fază deformația scade de la  $x_0$  la  $kx_0$  ( $k < 1$ ) rezultă timpul fazei de destindere

$$t = \frac{2F_x}{f_{t_0} \cdot j} \left( \sqrt{\frac{1}{k}} - 1 \right) \quad (2.15)$$

În figura 2.7 respectiv 2.8 se arată variația VMI și a deformației  $x$ , funcție de timpul fazei de destindere respectiv variația timpului de destindere funcție de valorile lui  $k$ .

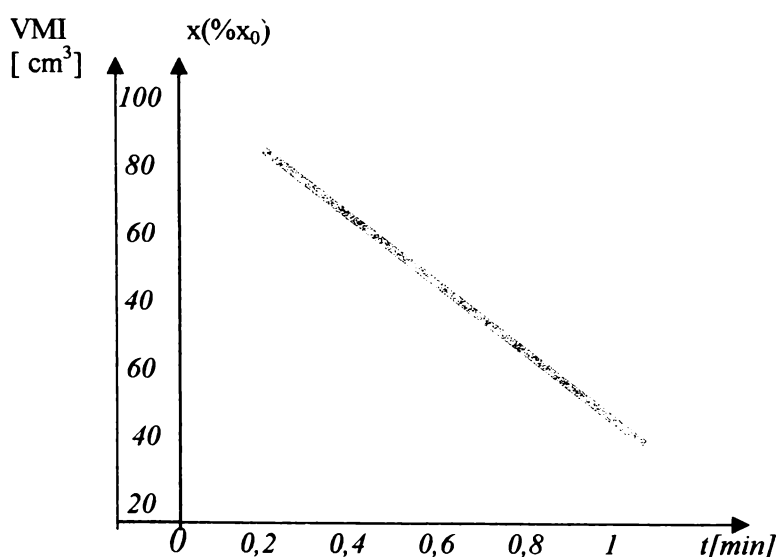


Fig. 2.7 Variația VMI și deformației funcție de timp

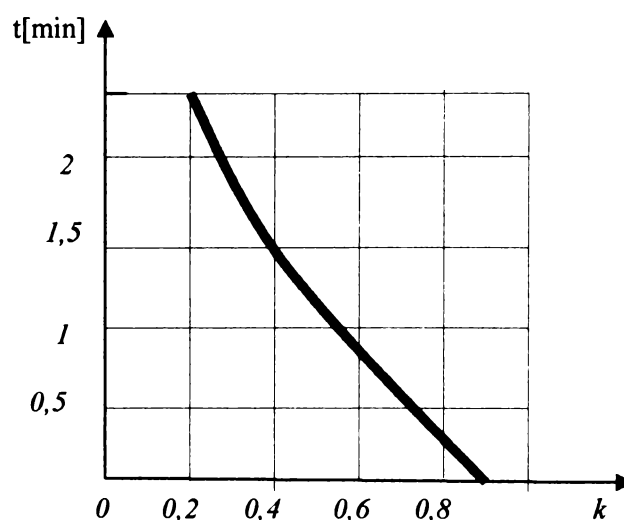


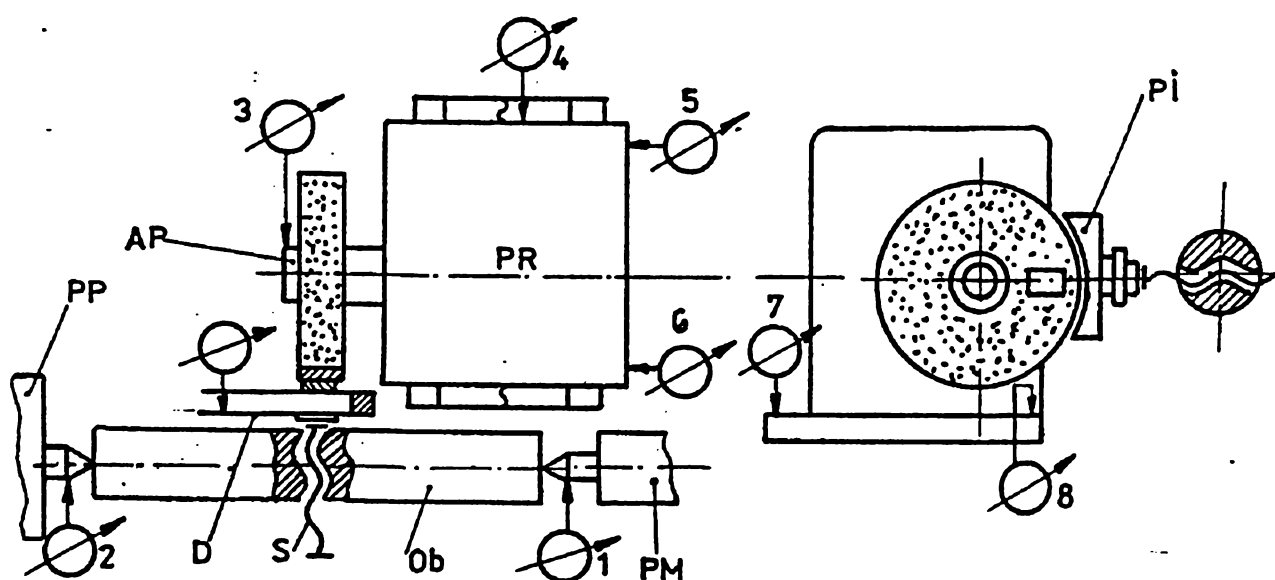
Fig. 2.8 Variația timpului de destindere funcție de coeficientul  $k$

*Analizând cele două grafice se poate concluziona că timpul fazei de destindere depinde de valoarea deformației STE, de rigiditatea acestuia și de cerințele de precizie și calitate a suprafeței. Cu cât rigiditatea STE este mai mare cu atât timpul necesar fazei de destindere scade.*

*Constatările făcute mai sus sunt valabile dacă rigiditatea STE respectiv forța radială (pasivă)  $F_x$  ( $F_p$ ), sunt constante, ceea ce nu este valabil în practică. Introducerea comenzii adaptive CA, permite ca prin variația continuă a forței  $F_x$ , aceasta fiind comparată cu mărimea de referință  $F_{xref}$ , să se ajungă la **reducerea timpului necesar fazei de destindere** deoarece la această fază nu mai avem de îndepărtat erori de formă și dimensiune, urmărindu-se **doar obținerea rugozității prescrise**. Pericolul de supraîncărcare a mașinii este înlăturat în cazul comenzii adaptive deoarece aceasta nu permite în timpul procesului de așchiere forțe mai mari decât forța de referință.*

## **2.4. Determinarea rigidității statice a subansamblelor mașinii**

*Pentru determinarea rigidității mașinii de rectificat, s-a utilizat o instalație prezentată în fig. 2.10.*



**Fig. 2.10** Schema standului pentru determinarea rigidităților statice ale subansamblurilor mașinii de rectificat rotund exterior RE 350 CA

*Standul a fost conceput pentru determinarea rigidităților atât pentru prinderea între vârfuri cât și în cazul prinderii semifabricatului în mandrina universală pentru mașina RE 350 cu arborele principal lăgăruit hidrostatic.*

*După cum se observă, s-a folosit un obiect de prelucrat  $O_b$  cu rigiditate foarte mare, prevăzut la mijloc cu un mecanism șurub piuliță  $S$  care asigură încărcarea STE cu diferite valori ale forței radiale  $F_p$  ( $F_x$ ), valori măsurate de dinamometrul  $D$ .*

*Piesa intermediară  $PI$  asigură transmiterea încărcării asupra pietrei ( $PI$  are aceeași rază cu piatra de rectificat). Cele 8 comparatoare măsoară în microni deformațiile următoarelor subansamble:*

- 1 - păpușa mobilă a  $O_b - x_{PM}$*
- 2 - păpușa fixă a  $O_b - x_{PO}$*
- 3 - arborele principal  $AP - x_{AP}$*
- 4 - mecanismul șurub piuliță -  $x_{SP}$*
- 5,6 - rotirile păpușii pietrei în plan orizontal*
- 7,8 - rotirile păpușii pietrei în plan vertical*

*Încărcarea s-a făcut progresiv din 5 în 5 daN, forța maximă de încărcare fiind  $F_{max} = 40$  daN, forța care este mai mare decât o forță dezvoltată în procesul de așchiere.*

*Valorile obținute pentru rigiditățile statice au fost:*

*daN/ $\mu$ m* *Tabelul 2.1*

| <i>Rigiditatea [daN/<math>\mu</math>m]</i> | <i>Prindere între vârfuri</i> | <i>Prindere în universal</i> |
|--|-------------------------------|------------------------------|
| <i><math>j_{PO}</math></i>                 | <i>1,8</i>                    | <i>2,6</i>                   |
| <i><math>j_{PM}</math></i>                 | <i>6,0</i>                    | <i>-</i>                     |
| <i><math>j_{PR}</math></i>                 | <i>2,0</i>                    | <i>2,0</i>                   |
| <i><math>j_{SP}</math></i>                 | <i>18,0</i>                   | <i>18,0</i>                  |
| <i><math>J_{AP}</math></i>                 | <i>21,0</i>                   | <i>21,0</i>                  |



unde:

- $j_{PO}$  - rigiditatea păpușii fixe
- $j_{PM}$  - rigiditatea păpușii mobile
- $j_{PR}$  - rigiditatea pietrei
- $j_{SP}$  - rigiditatea mecanismului șurub piuliță
- $j_{AP}$  - rigiditatea arborelui portpiatră

## 2.5. Studiul deformațiilor elastice ale sistemului tehnologic în cazul prelucrării prin rectificare rotundă exterioară între vârfuri cu avans longitudinal

Analizând ciclul de rectificare, rezultă ca o concluzie principală faptul că, atât precizia cât și durata prelucrării, deci implicit capacitatea de producție, sunt influențate în mod direct de rigiditatea întregului sistem tehnologic elastic STE compus din piesă și mașină, cât și de abaterile geometrice ale mașinii-unelte.

În fig. 2.9 se prezintă schematic lanțul de dimensiuni în cazul rectificării rotunde exterioare.

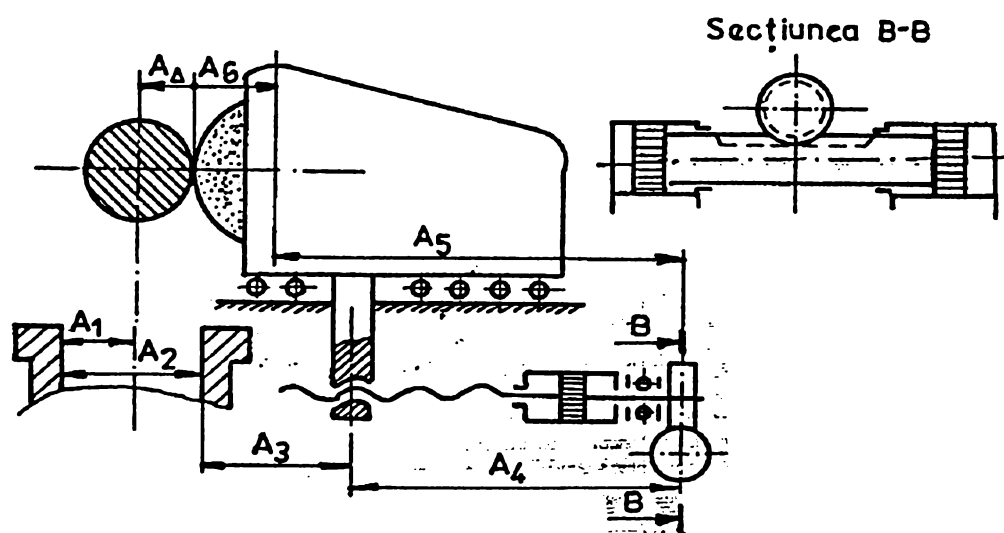


Fig. 2.9 Lanțul de dimensiuni la rectificarea rotundă exterioară

*Cota de închidere a lanțului  $A_{\Delta}$  se poate obține în limitele prescrise doar printr-o cunoaștere atentă a deformațiilor elastice ale sistemului cât și a abaterilor sistematice datorate abaterilor geometrice ale componentelor mașinii-unelte.*

*Pentru a se obține dimensiunea  $A_{\Delta}$  cât mai constantă pe toată lungimea obiectului de prelucrat se impune ca:*

- să se compenseze abaterile geometrice ale STE;*
- deformația STE pe direcția forței radiale  $F_x$  ( pasive  $F_p$ ) să fie constantă.*

*În timpul prelucrării există o serie de factori perturbatori a căror efecte se suprapun. Putem spune că o serie de factori pot fi **aleatori** (neuniformitatea adaosului de prelucrare, variația durității materialului, erori de instalare, etc) iar unii sunt **sistematici** (uzura sculei, schimbarea temperaturii, schimbarea rigidității STE, etc). Dintre erorile sistematice, rigiditatea STE are influența cea mai mare asupra preciziei de prelucrare. Pentru menținerea cât mai constantă a cotei  $A_{\Delta}$  pe toată lungimea piesei, este necesar ca deformația STE sub acțiunea forțelor de așchiere să rămână constantă, adică:*

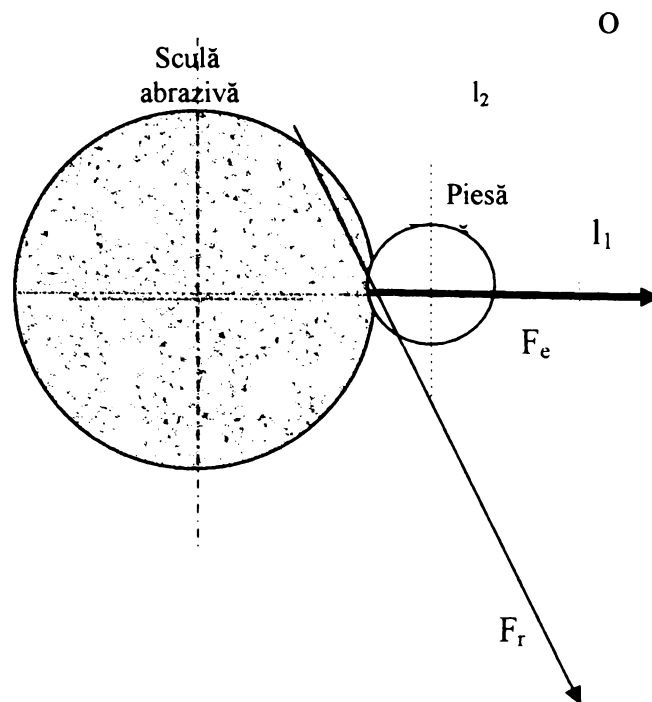
$$x = \frac{F_e}{j_{STE}} = ct \quad (2.16)$$

*$x$  - deformația*

*$j_{STE}$  - rigiditatea sistemului tehnologic elastic*

*$F_e$  - forța echivalentă*

*Pentru a se menține  $x$  constant, având în vedere că  $j_{STE}$  este variabilă rezultă ca o necesitate, posibilitatea variației în timpul procesului de așchiere a forței echivalente. Forța  $F_e$  este reprezentată în fig. 2.11 [53].*



**Fig. 2.11 Forța echivalentă de rectificare**

Dacă se scrie ecuația de momente față de  $O$  (pol momentan de rotație) se obține:

$$F_e = F_r \cdot \frac{l_2}{l_1} = F_r \cdot \varphi; \quad \varphi = \frac{l_2}{l_1} \quad (2.17)$$

$F_r$  - este forța rezultantă a componentelor  $F_x$  și  $F_y$ ,  $F_z$  având influențe neglijabile

Conform [53] se pot determina coordonatele polului momentan  $O$ .

Trebuie să ținem seama că, în cazul mașinilor de rectificat în perioada de durabilitate a sculei, dintre componentele forței de așchiere, doar componenta radială (pasivă)  $F_x$  ( $F_p$ ) influențează decisiv comportamentul sistemului tehnologic elastic STE.

De aceea toți autorii acceptă înlocuirea forței echivalente  $F_e$  cu forța radială (pasivă)  $F_x$  ( $F_p$ ). În continuare se urmărește posibilitatea măririi preciziei de prelucrare prin variația corespunzătoare a forței  $F_x$  în câmpul bidimensional al mașinii.

*Cercetătorii care s-au ocupat de acest studiu au concluzionat că păstrarea constantă a parametrilor regimului de așchiere în timpul procesului de prelucrare nu conduce la indici superiori ai procesului și de aceea **variația** forței radiale pe lungimea semifabricatului în funcție de variația rigidității STE, încercând să păstrăm forța reală spre valorile teoretice, **este optimă**, asigurându-se creșterea substanțială a preciziei și reducerea timpului necesar prelucrării. Dezideratul mai sus menționat poate fi obținut prin introducerea **comenzii adaptive CA**.*

*În [53] sau [51] se face un studiu clar al deformațiilor elastice care apar în STE atât în cazul prelucrării între vârfuri cât și în cazul prinderii în mandrină. Avându-se în vedere că în lucrarea de față ne referim la cazul prinderii între vârfuri (cazul prelucrării în mandrină fiind similar ca fenomen doar cu unele modificări ale soluțiilor matematice), vom prezenta succint concluziile legate de determinarea deformațiilor elastice ale STE pe direcție radială.*

*Indiferent de modul de prindere al semifabricatelor **deformația totală în direcție radială a STE** -  $x_{STE}$  are următoarea expresie:*

$$\mathbf{x}_{STE} = \mathbf{x}_v + \mathbf{x}_p + \mathbf{x}_{PR} + \mathbf{x}_{AP} + \mathbf{x}_{SP} \quad (2.18)$$

$x_v$  - *deformația elastică a axei piesei prinsă între vârfuri dub acțiunea forței radiale*

$x_p$  - *deformația elastică a obiectului de prelucrat*

$x_{PR}$  - *deformația elastică a sculei (pietrei) pe direcție radială*

$x_{AP}$  - *deformația elastică pe direcția radială a arborelui port piatră*

$x_{SP}$  - *deformația elastică a șurubului de antrenare a saniei transversale a păpușii pietrei de rectificat*

*În continuare vom explicita valorile deformațiilor mai sus menționate astfel:*

**a.  $x_v$  - deformația elastică a axei piesei prinsă între vârfuri**

*Sub acțiunea forței radiale (pasive)  $F_p$ , vom avea deformații elastice ale păpușilor fixe respectiv mobile,  $x_{PO}$  și  $x_{PM}$  care depind de mărimea, direcția și punctul de aplicație al forțelor.*

Având în vedere că, după cum s-a mai arătat, forța principală, care influențează deformațiile STE, este forța radială, rezultă că vom considera deformațiile după această direcție.

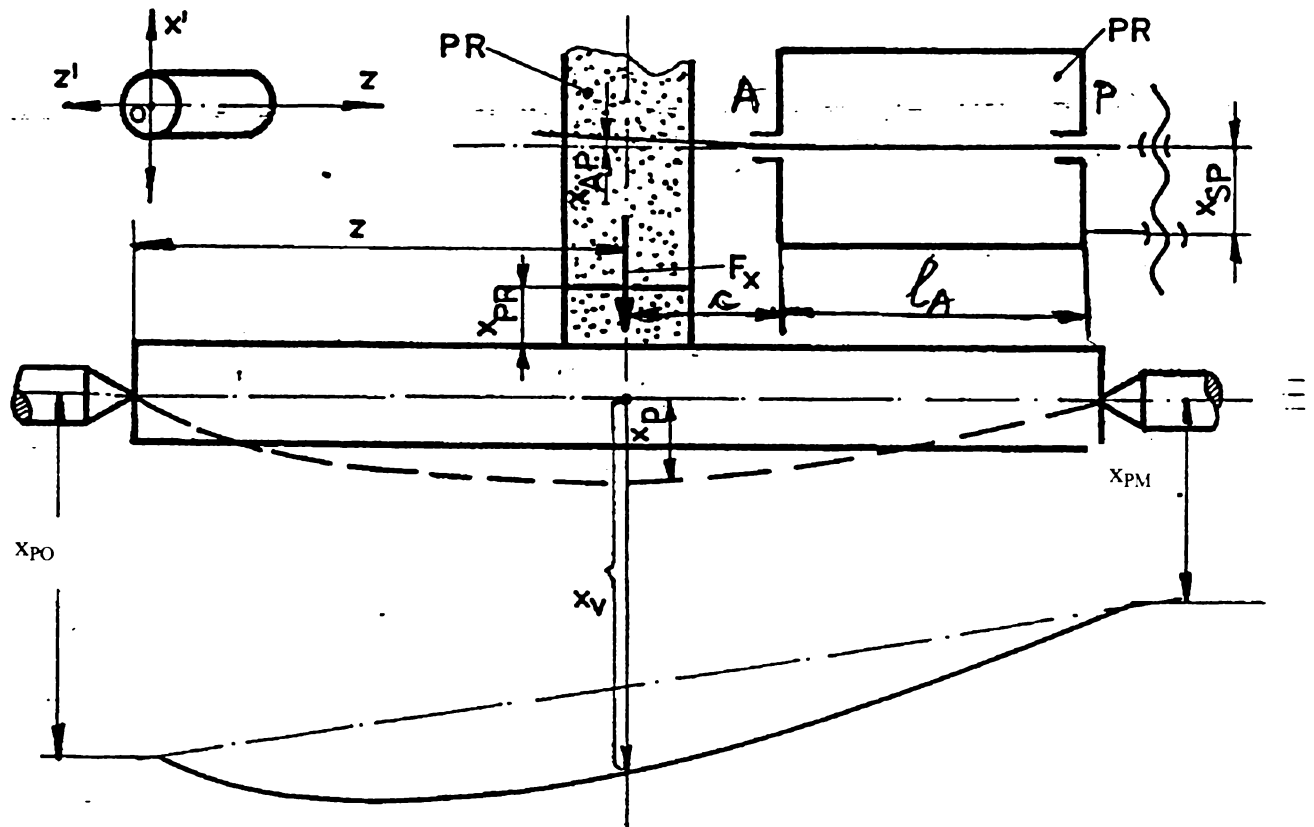


Fig. 2.12 Elementele STE în cazul rectificării între vârfuri

Axa vârfurilor, în funcție de cota  $z$ , va varia după o curbă (parabolă) a cărei ecuație este de forma:

$$x_v = F_p \left[ \left(1 - \frac{z}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{j_{PO}} + \left(\frac{z}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{j_{PM}} \right] \quad (2.19)$$

Coordonatele vârfului parabolei au coordonatele date de relațiile:

$$z_m = l \cdot \frac{x_{PO}}{x_{PO} + x_{PM}}; \quad x_m = \frac{x_{PO} \cdot x_{PM}}{x_{PO} + x_{PM}} \quad (2.20)$$

unde:

$l$  - lungimea obiectului de prelucrat [mm]

$z$  - poziția curentă a punctului de aplicație al forței radiale (considerat la mijlocul lățimii pietrei) [mm]

$j_{PO}$ ,  $j_{PM}$  - rigiditatea păpușii fixe a obiectului, respectiv a păpușii mobile a obiectului de prelucrat OP [daN/ $\mu$ m]

$x_{PO}$ ,  $x_{PM}$  - deformațiile maxime a păpușii fixe ale OP respectiv a păpușii mobile a OP [daN/ $\mu$ m]

**b.  $x_p$  - deformația elastică a obiectului de prelucrat**

Deformația obiectului de prelucrat sub acțiunea forței radiale (pasive) va fi:

$$x_p = F_p \cdot \frac{z^2 (l - z)^2}{3E \cdot I \cdot l} \quad (2.21)$$

**c.  $x_{PR}$  - deformația elastică a pietrei de rectificat**

Relația (2.22) exprimă deformația elastică pe direcție radială a sculei abrazive (piatra de rectificat) [53] [51].

$$x_{PR} = K_1 \cdot F_p \quad (2.22)$$

$K_1$  - coeficient care exprimă cedarea pietrei de rectificat sub acțiunea unei forțe radiale de 1 N.

**d.  $x_{AP}$  - deformația elastică a arborelui portpiatră (arbore principal)**

Pentru calculul acestei deformații se propune o schemă de calcul ca în fig. 2.13.

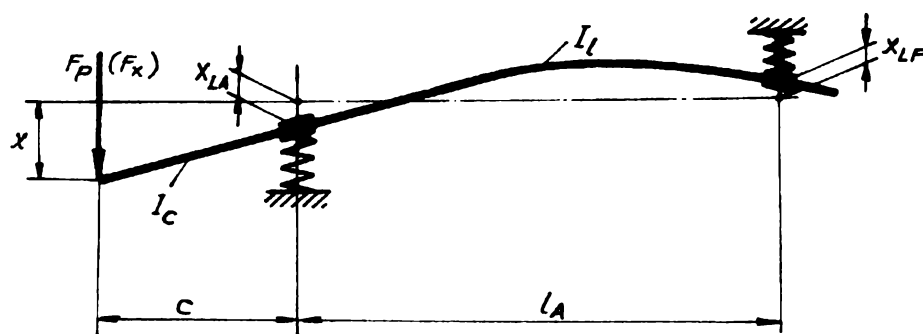


Fig. 2.13 Deformațiile arborelui portpiatră

Conform [36], relația pentru calculul deformației arborelui portpiatră  $x_{AP}$  va avea forma:

$$x_{AP} = F_p \cdot \left[ \frac{c^2}{3 \cdot E} \cdot \left( \frac{l_A}{I_l} + \frac{c}{I_c} \right) + \frac{1}{j_{LA}} \cdot \left( 1 + \frac{c}{l_A} \right)^2 + \frac{1}{j_{LP}} \cdot \left( \frac{c}{l_A} \right)^2 \right] \quad (2.23)$$

unde:

$j_{LA}, j_{LP}$  - sunt rigiditățile lagărului anterior respectiv

posterior a AP în  $[daN/\mu m]$

$l_A, c$  - lungimile arborelui principal între reazeme respectiv în consolă  $[mm]$

$I_l, I_c$  - momentele de inerție ale secțiunilor arborelui între reazeme, respectiv în consolă  $[mm^4]$

$E$  - modul de elasticitate

e.  $x_{sp}$  - deformațiile mecanismului șurub-piuliță ale saniei transversale a păpușii port piatră

Deformațiile elastice considerate și în literatură în cazul acestui mecanism sunt deformațiile de compresiune respectiv de torsiune [53], [51]

$$x_{SP} = \frac{4 \cdot F_p \cdot s \cdot k}{\pi \cdot d_i^2 \cdot E} + \frac{M_t \cdot s^2 \cdot k}{2\pi \cdot G \cdot I_p} \quad (2.24)$$

unde:

$E$  - modul de elasticitate longitudinal, respectiv transversal  $[daN/mm^2]$

$I_p$  - moment de inerție polar  $[mm^4]$

$M_t$  - momentul de torsiune la care este supus mecanismul  $[daNm]$

$s$  - pasul șurubului  $[mm]$

$k$  - nr. de începuturi ale filetelui

Deci expresia totală a deformației elastice a sistemului tehnologic elastic după direcție radială  $x_{STE}$  va avea o expresie de forma:

$$X_{STE} = F_p \cdot \left[ \left( 1 - \frac{z}{l} \right)^2 \cdot \frac{1}{j_{PO}} + \left( \frac{z}{l} \right)^2 \cdot \frac{1}{j_{PM}} + \frac{z^2 \cdot (l-z)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot l} + \frac{1}{j_{PR}} + \frac{1}{j_{AP}} + \frac{1}{j_{SP}} \right] \quad (2.25)$$

Cu relația (2.25) și cu valorile rigidităților date în tabelul 2.1, în condițiile prelucrării unei piese cu lungimea de 1 m cu valorile parametrilor tehnologici dați în fig. 2.14 se poate observa modul în care variază deformația sistemului tehnologic elastic  $x_{STE}$  pentru diferite diametre ale semifabricatului, în cazul prelucrării între vârfuri.

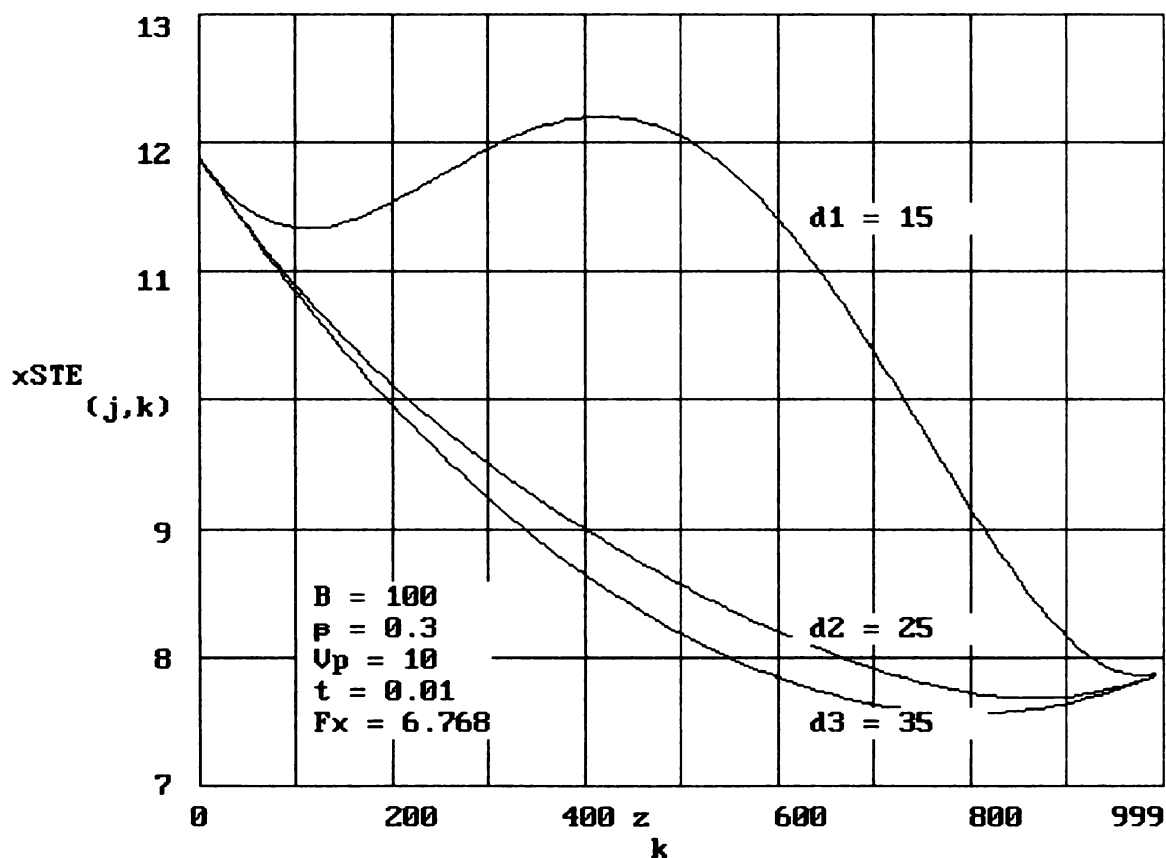


Fig. 2.14 Variația deformației  $x_{STE}$  - pentru diferite valori ale diametrului semifabricatului, în cazul prelucrării între vârfuri

## 2.6. Determinarea abaterilor de precizie geometrică ale elementelor de prindere (fixare) ale obiectului de prelucrat

Aceste determinări s-au făcut conform STAS 2672-87 - Mașini de rectificat rotund exterior (Prescripții de precizie) [72] și STAS 1670/1-83 - Mașini-unelte (Condiții tehnice generale de calitate) [73]. Utilizându-se diverse scheme de



rectificare prevăzute în standardale amintite mai sus cât și în Fișa de recepție a mașinii RE-350.

În cazul **prinderii între vârfuri** s-a determinat deplasarea în plan orizontal conform verificării G3, fixându-se comparatorul pe poziția zero la capătul dinspre păpușa fixă  $h_{p00} = 0$  și determinându-se deplasarea vârfului păpușii mobile în plan orizontal  $h_{pm0}$ .

Pentru planul vertical, s-a aplicat soluția de verificare G18 privind echidistanța arborelui portpiatră AP respectiv a arborelui portpiesă, față de planul mesei longitudinale determinându-se  $h_{pov}$  respectiv  $h_{pmv}$ . Rezultatele sunt prezentate sintetic în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2

| <b>Plan de măsurare</b> | <b>Simbol deplasare</b> | <b>Prindere între vârfuri</b> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Orizontal               | $h_{p00}$ [mm]          | 0                             |
|                         | $h_{pm0}$ [mm]          | 0,004                         |
| Vertical                | $h_{pov}$ [mm]          | -0,050                        |
|                         | $h_{pmv}$ [mm]          | 0,100                         |

## **2.7. Influența parametrilor de așchiere asupra caracteristicilor procesului de rectificare**

### **2.7.1. Influența parametrilor de așchiere asupra componentelor forțelor de așchiere**

Studiul acestor forțe s-a făcut comparând datele experimentale obținute pe un stand de laborator prezentat pe larg în [53].

Lucrările s-au executat în următoarele condiții:

- materialul de prelucrat - OLC 45 călit
- piatra de rectificat - duritate M
- granulație 60
- liant ceramic

- materialul abraziv electrocorindon

S-au calculat valorile teoretice ale componentei  $F_y$  cu formula :

$$F_y = C_F \cdot v_{tp}^{0,7} \cdot f_a^{0,7} \cdot a_e \quad (2.26)$$

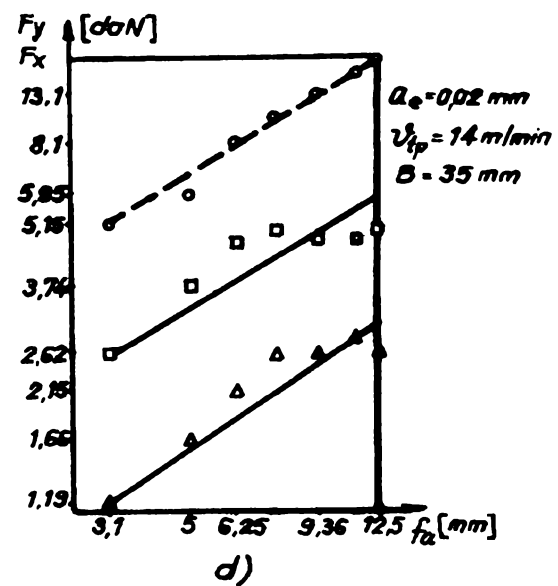
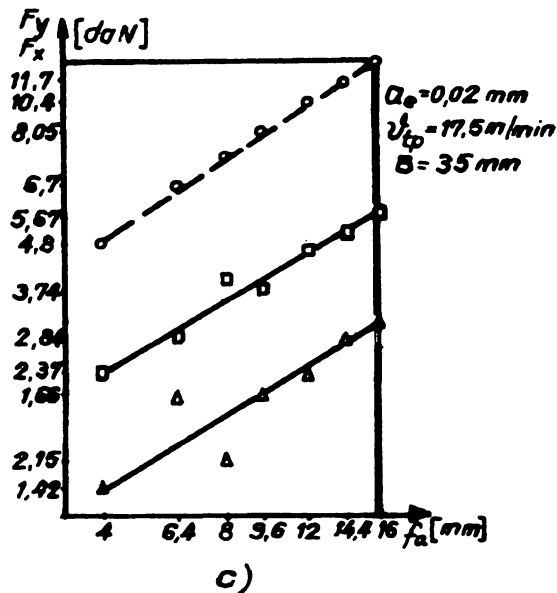
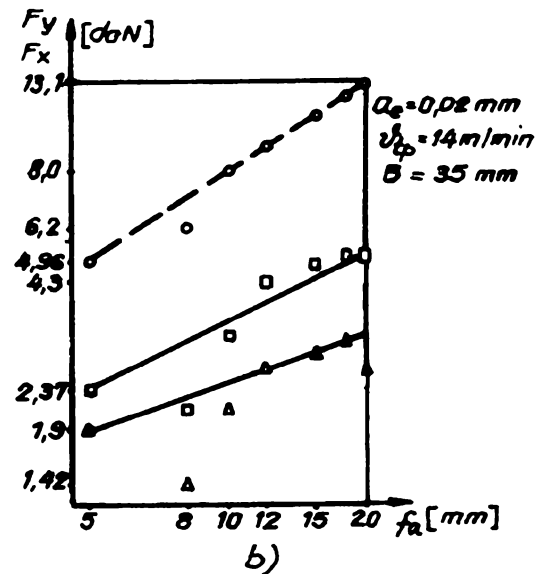
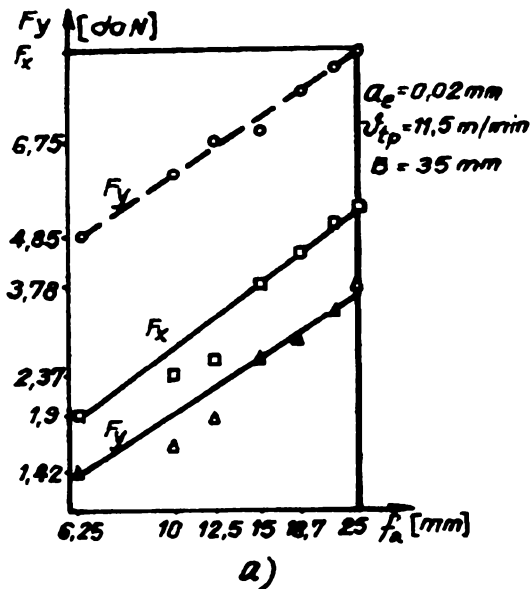
$C_F = 2,0 \dots 2,2$  - coeficient care ține seama de natura materialului

$v_{tp}$  - viteza periferică a piesei [m/min]

$f_a$  - avansul longitudinal [mm/rot]

$a_e$  - adâncimea de așchiere [mm]

În fig. 2.15 a,b,c,d,e,f,g se observă influența pe care o au parametrii de așchiere asupra componentelor  $F_y$ ,  $F_x$  și  $F_z$  ale forței de așchiere. Forțele  $F_y$  teoretice s-au trasat cu linie întrerunită.



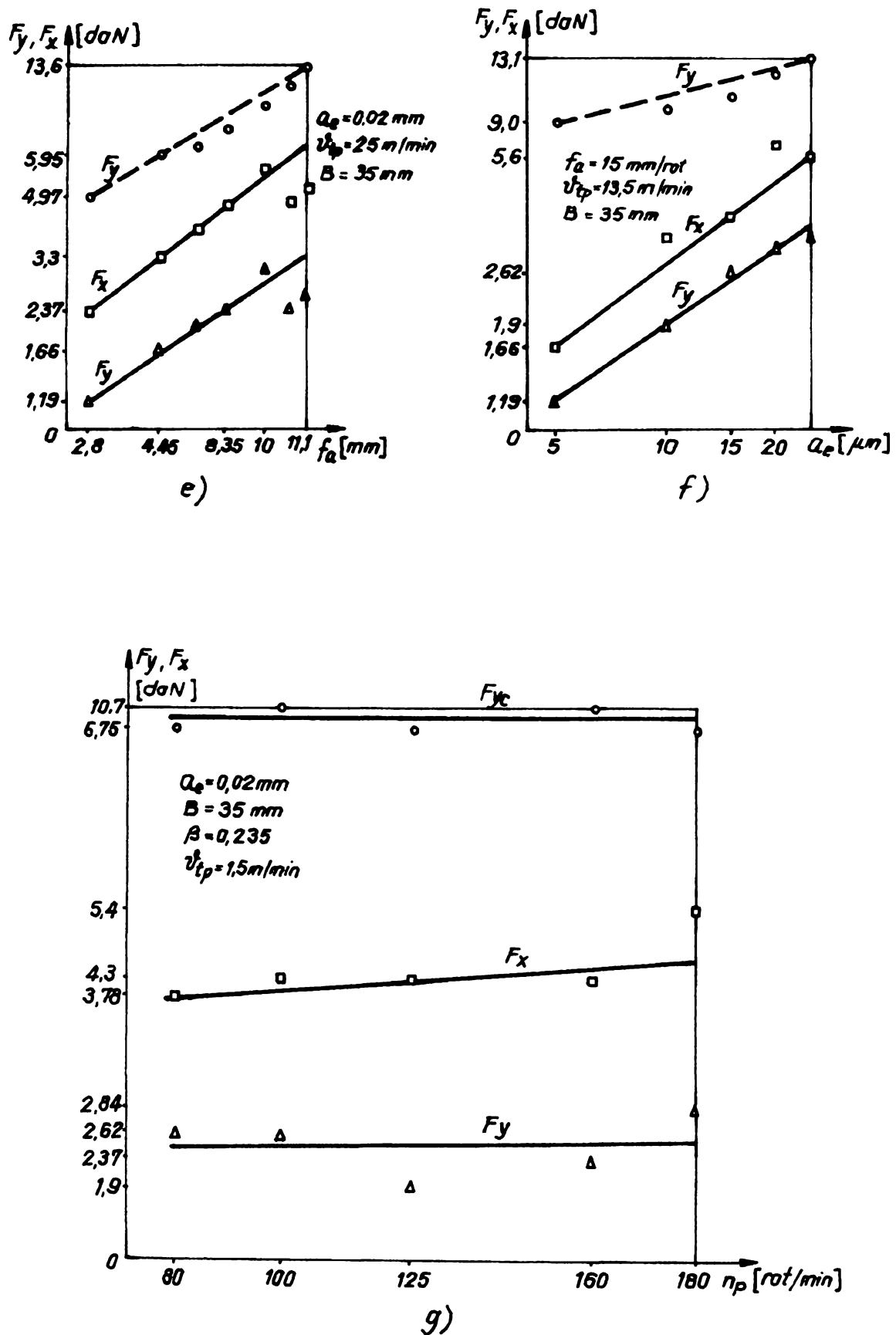


Fig. 2.15 Influența parametrilor de așchiere asupra componentelor  $F_y$  și  $F_x$   
Concluziile care se desprind din analiza acestor diagrame sunt:

1. Valorile reale ale forțelor principale  $F_y$  respectiv radiale  $F_x$  (pasive  $F_p$ ) sunt mult mai mici decât valorile teoretice. Aceasta se datorează în principal deformațiilor sistemului tehnologic elastic.

2. Valorile reale ale forțelor  $F_y$ ,  $F_x$  sunt influențate în mai mare măsură de viteza de deplasare a mesei  $v_{fa}$  (fig. 2.15 a,b,c,d,e) decât de viteza de așchiere a sculei  $v_{sc}$  ( $n_p$ ). Deci se poate spune că, factorul reglabil prin care se poate interveni direct asupra variației forței radiale este viteza de avans a mesei  $v_{fa}$  (implicit avansul longitudinal  $f_a$ ).

Concluzia este foarte importantă și a condus la algoritmul de optimizare al comenzii adaptive prezentat în lucrarea [53].

3. Raportul între componentele  $F_y$  și  $F_x$  este de  $\frac{F_x}{F_y} = 1 \div 3$  (2.27)

Forțele de așchiere mai pot fi influențate decisiv pe lângă rigiditatea STE, sau parametrii regimului de așchiere propriu-zis prezentați mai sus și de natura lichidului de răcire ungere.

În figura 2.16 se prezintă o serie de rezultate obținute de [24] legate de influența lichidului de răcire ungere (soluție chimică respectiv ulei) împreună cu avansul de lucru  $f_a$  și viteza de rotație a piesei asupra componentei  $F_x$ .

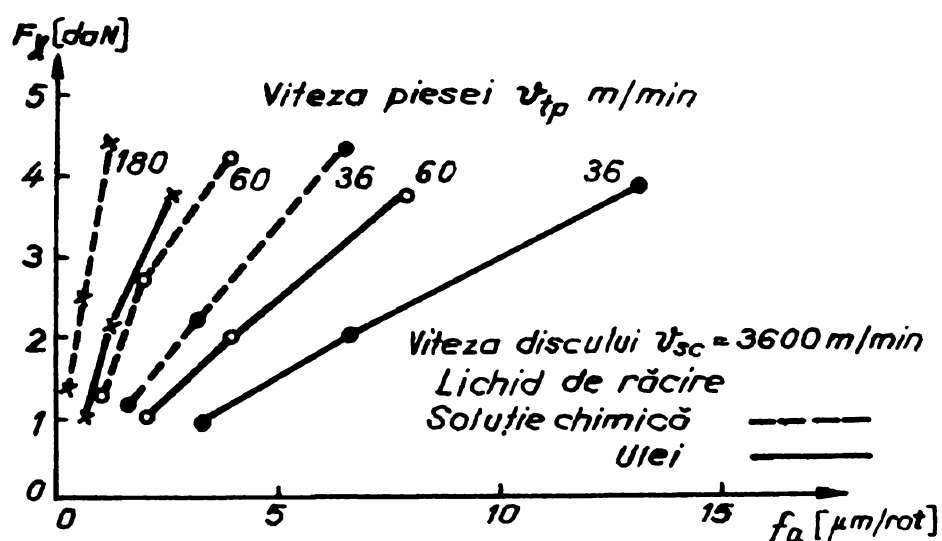


Fig. 2.16 Influența naturii lichidului de răcire ungere LRU asupra componentei  $F_x$  a forței de așchiere

*Se poate observa că forța de rectificare este mai mică în cazul utilizării uleiului ca LRU deși uleiul are o mai slabă capacitate de răcire, prezintă greutate la filtrare, etc.*

### **2.7.2. Influența parametrilor regimului de aşchiere asupra preciziei**

*După cum se arată, într-o serie de studii [43], [32], [24], etc, există o influență directă a parametrilor de aşchiere asupra preciziei de prelucrare, aceasta fiind definită prin precizia dimensională , precizia de formă, precizia poziției reciproce și precizia asupra calității suprafeței.*

*Așa cum s-a arătat și în subcapitolul 2.5 al prezentei lucrări, deformația elastică a sistemului tehnologic STE și impreciziile lanțului cinematic au o influență hotărâtoare asupra preciziei dimensionale.*

*În cazul prelucrării prin rectificare, concomitent cu deformațiile elastice ale STE, mai apar deformații termice și o uzură progresivă a pietrei, deci avem de-a face cu un sistem deosebit de instabil și greu de controlat.*

*Dacă în capitolul 2.5 s-a studiat influența deformațiilor elastice asupra procesului de rectificare și s-a concluzionat că pentru a crește toți indicii de performanță ai prelucrării (productivitate, precizie, etc) este necesară introducerea unei corelații care să păstreze constantă deformația pe direcția radială prin variația continuă a forței radiale (pasive)  $F_x$*

$$x = \frac{F_x}{j_{STE}} = ct. \quad (2.28)$$

*atunci se poate spune că de fapt dimensiunea finală este implicit influențată de parametrii de regim: avansul longitudinal  $f_a$ , adâncimea de aşchiere  $a_e$ , viteza de rotație a piesei  $v_{tp}$ , etc.*

*După unii autori se acceptă că forța maximă de prelucrare poate fi calculată pe baza câmpului de precizie aferent clasei de execuție a piesei și este dependentă de mărimea adaosului de prelucrare. Deformația STE se admite*

$$x = (0,25 \div 0,15) Td \quad (2.29)$$

$Td$  - valoarea câmpului de toleranță,

Temperaturile dezvoltate în zonele de contact pot influența foarte mult precizia dimensională în cazul unor prelucrări, în lucrarea [43] făcându-se o sinteză a modului de tratare teoretică și experimentală a acestei probleme.

Concluziile care reies arată că este necesară o **limitare** a temperaturii locale de contact sub o valoare limită  $\theta_{lim}$ :

$$\theta_{lim} = A_{cr} + (20 \div 30) ^\circ K \quad (2.30)$$

valoare peste care apar transformări structurale.

Din studiul făcut a reieșit de asemenea că este necesar, pentru a nu crește la valori prea mari temperatura din proces, să se limiteze forța radială

$$F_x \leq 40 \text{ daN} \quad (2.31)$$

și raportul 
$$\frac{v_{sc}}{v_{tp}} \leq 50 \quad (2.32)$$

Concomitent cu deformarea STE și variația temperaturii apare o uzură continuă a sculei abrazive, care și ea influențează direct proporțional asupra preciziei dimensionale. După autori ca [32] uzura poate fi exprimată analitic ca:

$$U_{sc} = \int_0^t du \quad (2.33)$$

$$u = C \cdot (f_a)^m \quad (2.34)$$

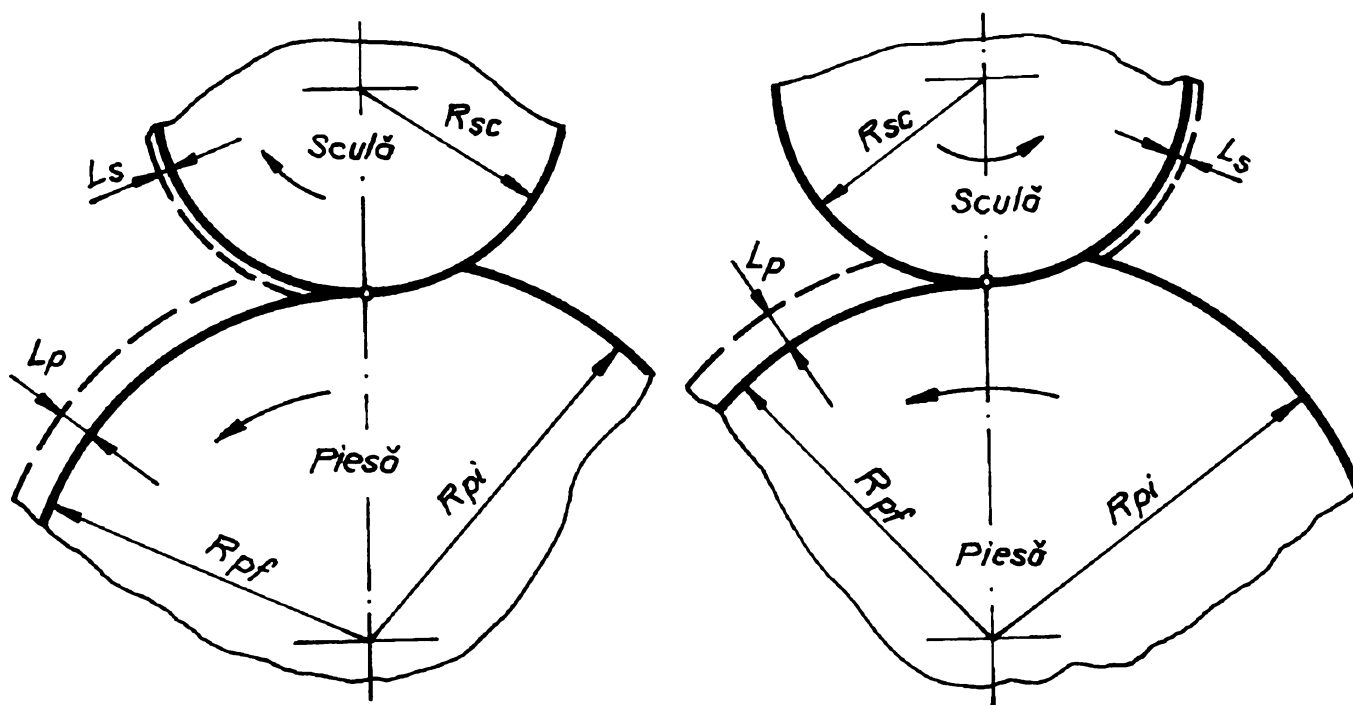
unde:  $C$  - constantă  $f_a$  - avans axial  
 $m$  - exponent  $t$  - timp mașină consumat

**Precizia de formă** este și ea influențată direct de parametrii regimului de așchiere. Prin deformarea STE, în **direcție radială** se obține în timpul prelucrării cu parametrii de regim constanți, o formă de butoi a piesei. Anularea impreciziilor de formă de acest tip are loc la fază de destindere, ceea ce conduce implicit, ca pe lângă o precizie scăzută să avem și o productivitate slabă prin necesitatea creșterii timpilor necesari fazei de destindere.

Introducerea comenzii adaptive, capabile să controleze componenta radială a forței în special, elimină încă din fazele de degroșare și finisare aceste erori de

formă, faza de destindere fiind necesară doar pentru obținerea rugozității prescrise de proiectant.

Tot în ceea ce privește precizia de formă se poate spune că deformațiile apar atât la piesă cât și la sculă, ceea ce conduce implicit la formarea unor lobi în secțiunea radială, după cum se prezintă în figura 2.17. Acești lobi de fapt apar ca niște ondulații de suprafață (poligonalitate).



**Fig. 2.17 Mișcările relative piesă-sculă și mecanismul de formare a lobilor în timpul procesului de rectificare**

Prelucrarea de rectificare fiind o operație în general finală, calitatea suprafeței este una din cerințele majore. În foarte multe lucrări [53],[24],[43], s-a studiat amănunțit influența parametrilor regimului de așchiere, atât a celor legați direct de procesul propriu-zis ( $v_{tp}$ ,  $v_{sc}$ ,  $f_a$ ,  $a_e$ ) cât și a celor legați de piatra de rectificat asupra calității suprafeței.

Utilizarea unor regimuri dure cu forțe mari, deci implicit cu parametrii crescuți, conduce la creșterea rugozității. În schimb creșterea vitezei sculei conduce la scăderea rugozității ceea ce se poate explica fie prin faptul că în

unitatea de timp un volum mai mare de granule abrazive vin în contact cu piesa, ceea ce presupune un volum mai mic de material prelevat pe granulă și deci asperități mai mici, sau prin creșterea vitezei  $v_{sc}$  apar șocuri dinamice care duc la o fărâmițare mai accentuată a grăunților, ceea ce asigură simultan o așchiere foarte bună prin evitarea îmbâcsirii și asigurarea unor particule abrazive mai mici și deci implicit a unor microasperități mai mici pe piesă. În urma unor încercări experimentale pe un semifabricat din OLC45 s-au obținut o serie de rezultate experimentale prezentate în figura 2.18 care ilustrează elocvent cele precizate mai sus.

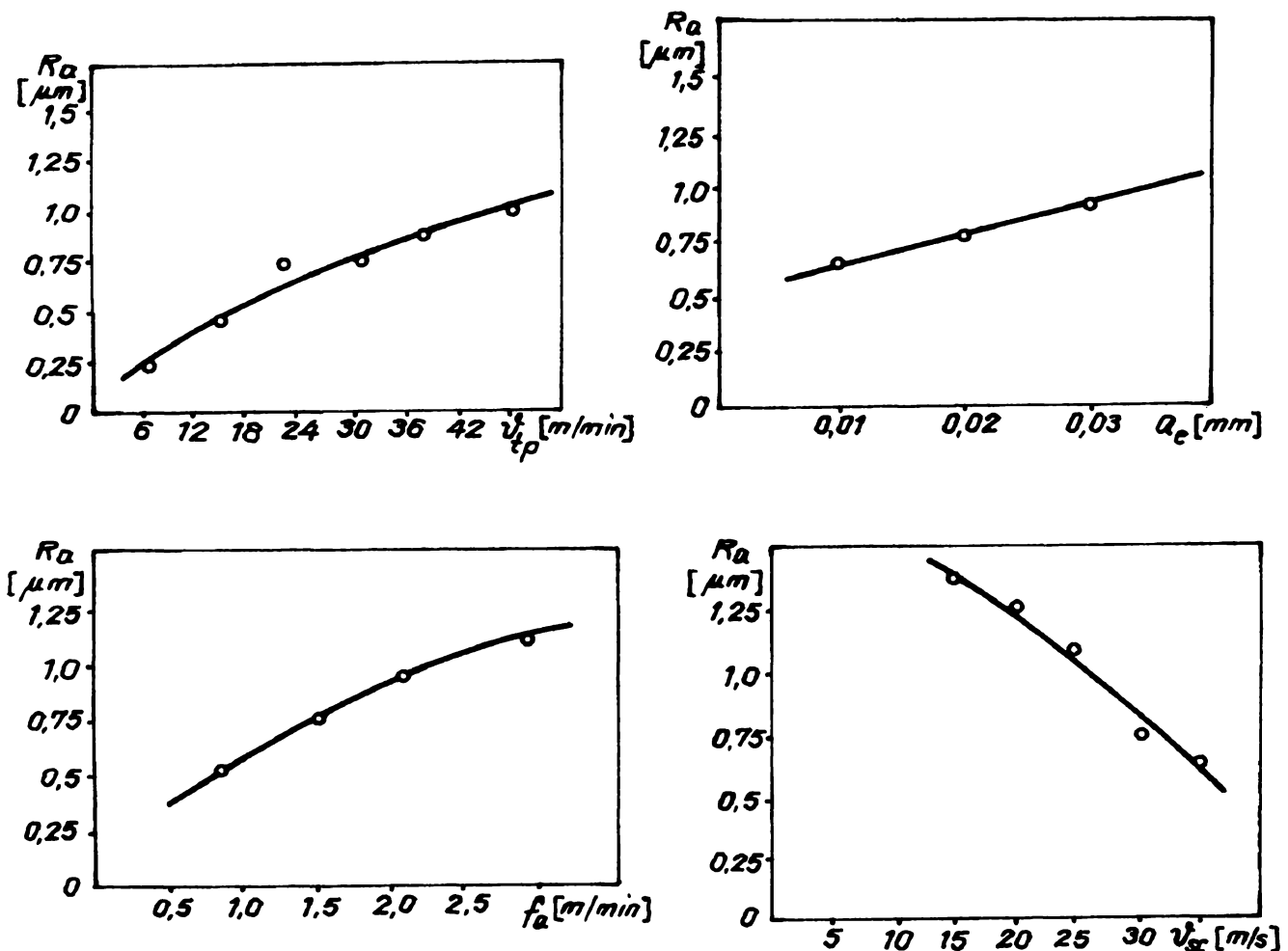


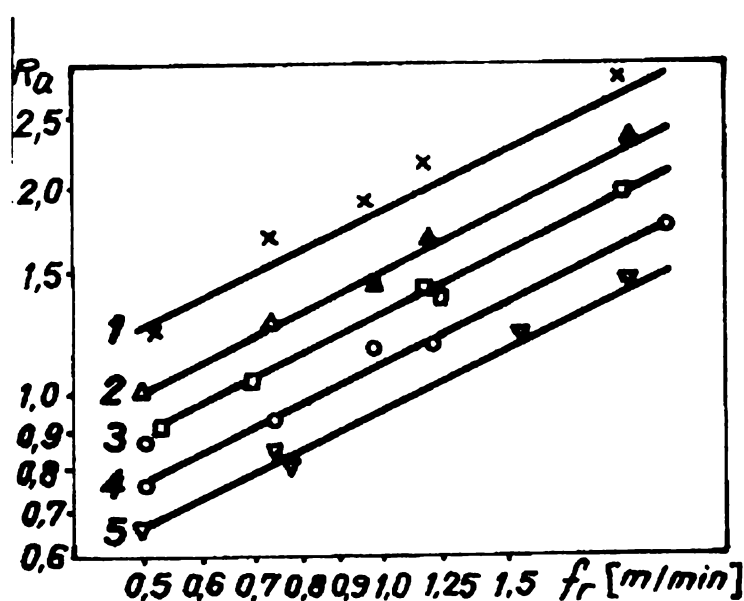
Fig. 2.18 Influența asupra rugozității suprafeței a parametrilor așchierii

După cum s-a mai arătat, calitatea suprafeței poate fi un indiciu clar pentru începerea procedurii de reascuțire a sculei abrazive. Spre sfârșitul perioadei de



durabilitate a sculei, calitatea suprafeței se înrăutățește în mod evident ceea ce se poate constata atât vizual cât și prin intermediul instrumentelor de măsură în cazul în care mașina unealtă este dotată cu aparatură de control activ.

Introducerea comenzilor adaptive permite ca la faza de destindere să se urmărească doar obținerea unei rugozități corespunzătoare. Deci se poate spune că scurtarea timpului de destindere în vederea creșterii productivității este legată direct de cerințele impuse de precizie referitoare la calitatea suprafeței. În figura 2.19 se prezintă grafic dependența dintre rugozitate și timpul de destindere respectiv avansul de pătrundere (prelucrare cu avans transversal).



- 1-rectificare fără destindere
- 2- destindere 3 sec.
- 3- destindere 6 sec.
- 4- destindere 10 sec.
- 5- destindere 15 sec.

Fig. 2.19. Influența timpului de destindere asupra rugozității

O sinteză a cercetărilor legată de influența parametrilor de așchiere asupra rugozității suprafeței sunt prezentate în [24] și [43].

Astfel în [24] se prezintă o serie de concluzii referitoare la variația rugozității analizând influența mai multor parametrii:

$$R_a = f(v_{sc}, v_{tp}) - \text{când } a_e = ct; \quad q = \frac{v_{sc}}{v_{tp}} = ct. \quad (2.35)$$

$$R_a = f(q, V_{op}) - \text{când } a_e = ct \quad v_{sc} = ct. \quad (2.36)$$

$$G = f(f_a) - \text{când } a_e = ct \quad G = \frac{V_{op}}{V_{os}} \quad (2.37)$$

unde -  $V_{op}$  - volumul de material prelucrat pe piesă

$V_{os}$  - volum de material îndepărtat de pe piatra abrazivă

$$G = f(V_{op}) - \text{când } f_a = ct. \quad (2.38)$$

În concluzie se poate prezenta un algoritm foarte util de determinare a rugozității funcție de adâncimea de așchiere sau funcție de avansul longitudinal:

$$R_a = f(a_e); \quad q = ct.; \quad f_a = ct.; \quad v_{sc} = ct. \quad (2.39)$$

$$R_a = f(f_a); \quad q = ct.; \quad a_e = ct. \quad (2.40)$$

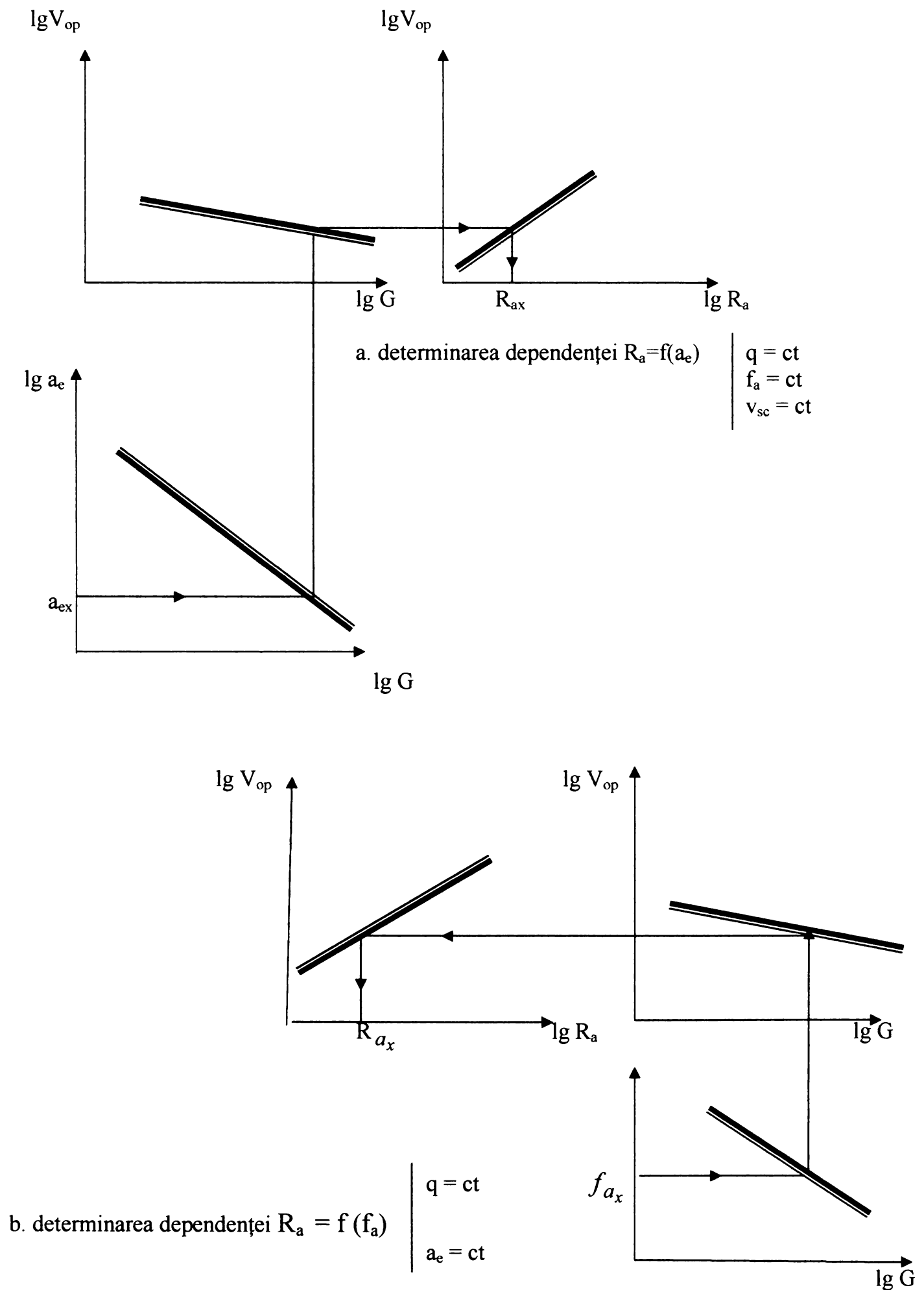
În figura 2.20 se prezintă sintetic modul de aplicare al algoritmului amintit mai sus, în cele două cazuri și după cum se observă în cazul utilizării unor comenzi adaptive evaluate ca în cazul celei prezentate în lucrarea de față, dotată cu aparatură de calcul evoluată și cu comandă numerică, prin introducerea parametrilor generali și a unui soft corespunzător se poate urmări obținerea unei rugozități corespunzătoare prin urmărirea continuă a parametrilor prezentați.

Comanda numerică trebuie să completeze comanda adaptivă deoarece este nevoie de urmărirea continuă a volumului de material prelucrat, ceea ce se poate face foarte ușor în acest caz prin programul de tehnologie..

Lipsa comenzii numerice poate fi suplinită de un control activ, datele fiind prelucrate direct în unitatea de calcul și comandă (calculatorul PC).

### **2.7.3. Influența parametrilor regimului de așchiere asupra capacității de producție, respectiv a costurilor de producție**

Unii autori au încercat o definiție matematică a influenței parametrilor regimului de așchiere asupra capacității de producție respectiv a costurilor de



**Fig. 2.20 Algoritmi pentru determinarea rugozității suprafeței**

producție, pentru a o putea utiliza într-un posibil algoritm a procesului de prelucrare.

**Capacitatea de producție CP**, definită ca producția maximă a unei mașini unelte obținută într-o unitate de timp, poate fi exprimată astfel:

$$CP = I_p \cdot T_{disp} = p_{sp} \cdot t_{disp} \quad (2.41)$$

unde:

$I_p$  - normă de utilizare intensivă  
[unități fizice / unitate de timp]

$p_{sp}$  - productivitate specifică

$T_{disp}$  - normă de utilizare extensivă  
[unitate de timp]

$t_{disp}$  - timp total disponibil

Parametrii de aşchiere pot influența direct doar asupra timpului efectiv de prelucrare din cadrul normei de timp [29].

$$t_{ef} = t_b + t_a = f_p (1+k) \quad (2.42)$$

$$f_p = f(a_c, f_a, f_r, v_{sc}, v_{tp}, Car_{sc}) \quad (2.43)$$

unde:

$t_b$  - timp de bază                       $k$  - coeficient adimensional

$t_a$  - timp auxiliar                       $Car_{sc}$  - caracteristici sculă aşchietoare

Alte lucrări ca [43], încearcă găsirea unei dependențe între productivitate și variația energiei critice, condițiile fiind expuse sintetic și în [43]. Soluțiile matematice sunt destul de complicate, luând în calcul un număr foarte mare de parametri, ceea ce în condițiile unei prelucrări reale este foarte greu de controlat și cuantificat.

**Costul de producție la rectificare**, este pe larg dezvoltat în [43] și [32]. Concluziile pe care le trag autorii menționați sunt că parametrii regimului de aşchiere influențează direct valorile costului de prelucrare între ele existând o relație analitică de forma:

$$C = Q_m \cdot f(v_{sc}, v_{sc_{ec}}, T) \quad (2.44)$$

$C$  - costul de producție

$v_{sc}$  - viteza sculei

$T$  - durabilitatea sculei

$v_{sc_{ec}}$  - viteza economică a sculei

În capitolul al treilea al prezentei lucrări se va încerca o corelare directă între parametrii regimului de așchiere în special al vitezei mesei longitudinale  $v_{fa}$  respectiv turației piesei  $n_p$  implicit a vitezei de rotație a piesei  $v_{tp}$  și costul operației de rectificare, corelare ce va sta la baza unuia din algoritmi de optimizare prin comanda adaptivă.

## **2.8. Influența caracteristicilor mașinii unelte asupra procesului de rectificare**

Mașina unealtă, din punct de vedere constructiv, este proiectată pentru niște valori bine determinate a parametrilor necesari. Aceștia pot varia într-o gamă de valori. Pentru a putea spune că mașina este încărcată la capacitate maximă, deci am obține productivitate maximă, ar însemna să tindem spre regimuri de așchiere cu valori reglate ale parametrilor spre limita superioară. Utilizarea unor astfel de regimuri însă, în cazul prelucrărilor de rectificare, care sunt operații finale și în urma cărora rezultă piese finite care trebuie să îndeplinească o serie de cerințe în ceea ce privește **precizia** (dimensională, de formă, de poziție reciprocă, de calitate a suprafeței) sunt contraindicate, valorile maxime ale parametrilor regimului de așchiere ducând la abateri mari de la valorile cerute.

În general, din punct de vedere constructiv, mașinile unelte de rectificat sunt realizate astfel încât să existe o gamă largă de reglaj a parametrilor, dar gama parametrilor uzuali este mult mai mică decât cea posibil de realizat la mașina unealtă.

Limitarea acestor parametri se va face prin condițiile puse de precizia necesară a se obține (clasa de precizie).

Mașina unealtă poate influența decisiv precizia piesei finite, aceasta putând fi influențată de **precizia geometrică** (constructivă) a componentelor mașinii unelte, **precizia cinematică** a mecanismelor mașinii unelte sau **precizia sub sarcină** a mașinii unelte.

**Precizia geometrică** poate avea o influență negativă mai ales în cazul în care nu se respectă tehnologia de întreținere a mașinii unelte, nu se efectuează reglajele și verificările periodice impuse de constructor, ceea ce poate conduce la apariția unor imprecizii importante la piesă din cauza în special a unor uzuri neuniforme.

**Precizia cinematică** influențează asupra lanțului cinematic al mișcării de deplasare pe direcție transversală. După cum se cunoaște, deoarece avem nevoie pe această direcție de o precizie micronică, o variație de -2 până la +3% poate conduce la rebutarea piesei în cazul în care câmpul de toleranță este foarte strâns.

În cazul celorlalte mișcări (rotația sculei, rotația piesei, mișcarea saniei longitudinale) variațiile parametrilor reglați nu au aceeași influență ca cea a mișcării pe direcție transversală.

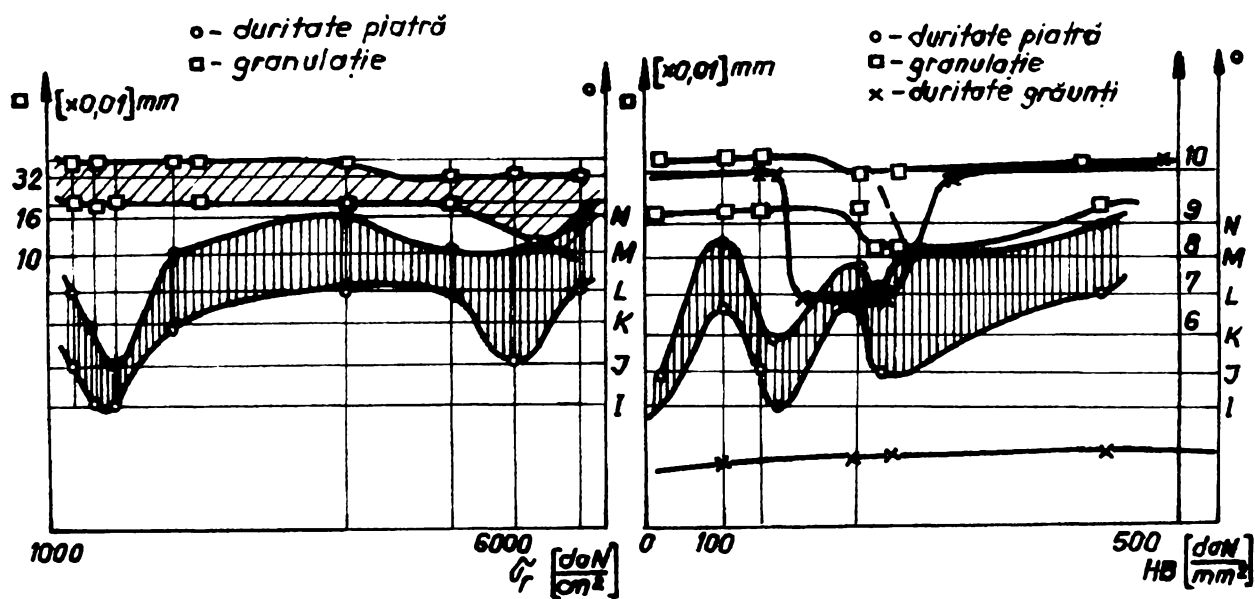
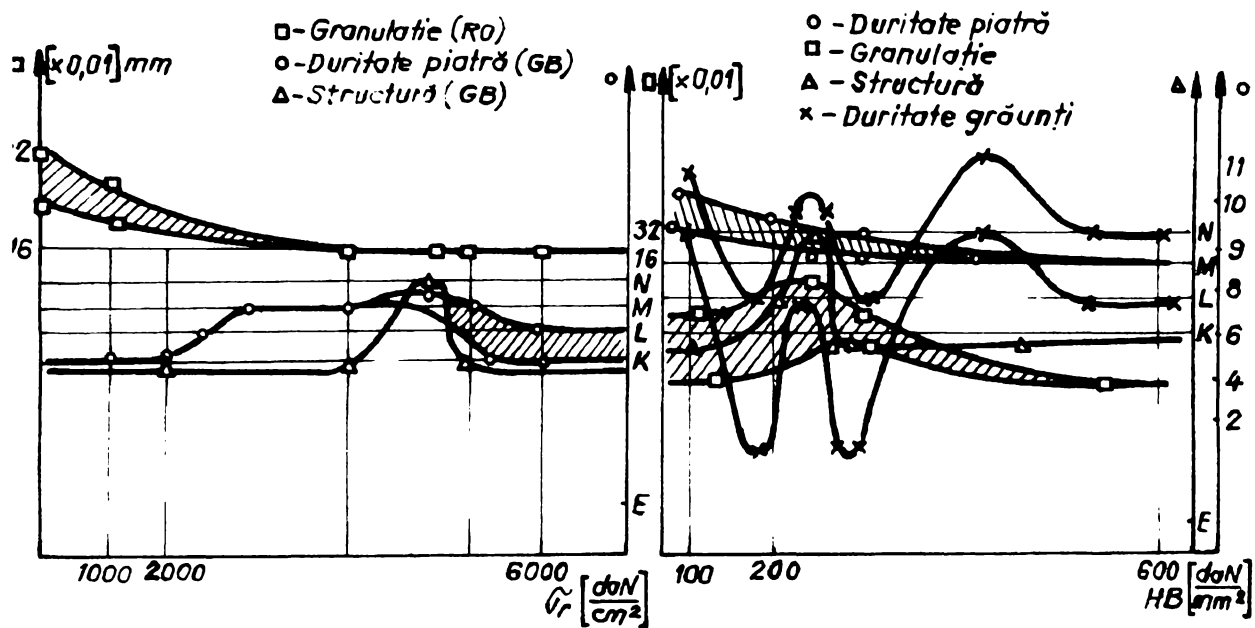
**Rigiditatea sistemului tehnologic elastic**, pe larg studiată în lucrarea de față este un factor determinant în obținerea unor precizii corespunzătoare în condițiile unor productivități ridicate și cu costuri minime. După cum am arătat o rigiditate mai mare a componentelor mașinii unelte conduce implicit la reducerea timpilor prelucrării prin ajungerea mai rapidă a sistemului la starea de încărcare normată astfel încât parametrii reglați să fie și cei reali și prin eliminarea erorilor de formă care în mod normal se înlătură la faza de destindere ceea ce conduce implicit la un timp mai redus necesar pentru această fază.

Multe lucrări de specialitate studiază comportamentul dinamic al mașinilor unelte. Având în vedere că, uzual regimurile de așchiere la rectificare nu sunt foarte dure, nici fenomenele dinamice care apar nu influențează decisiv procesul de așchiere. Totuși se impune respectarea condițiilor necesare pentru a se evita apariția vibrațiilor, a oricărui fenomen aleator perturbator care ar putea afecta în primul rând precizia de prelucrare

## ***2.9. Concluzii generale privitoare la factorii care influențează procesul de prelucrare în cazul rectificării rotunde exterioare între vârfuri cu avans longitudinal***

*Pentru o mai bună înțelegere a modulului în care urmează în capitolul următor al lucrării să se găsească soluții de optimizare a procesului de prelucrare prin utilizarea comenzii adaptive, pentru a se putea pune bazele unor algoritmi științifici, simpli și eficienți (avându-se în vedere multitudinea de factori care influențează procesul de prelucrare), se impune să sintetizăm câteva concluzii esențiale:*

*a. alegerea parametrilor de aşchiere atât a celor legați de procesul de prelucrare propriu-zisă cât și a celor legați de scula abrazivă se poate face în mai multe moduri. O serie de autori sau firme oferă unele soluții analitice, iar alții datorită complexității ridicate, încearcă oferirea unor soluții care au la bază studii experimentale laborioase. Având în vedere că o sculă din aceeași compoziție de bază, cu aceeași structură liant etc, poate avea caracteristici diferite de la un producător la altul, atunci de multe ori se utilizează cataloage de firmă care sintetizează rezultate experimentale pentru diferite feluri de prelucrări și cerințe de precizie, productivitate, costuri, etc. De multe ori se încearcă folosirea aceleiași scule abrazive pentru prelucrarea unor materiale diferite, în condiții diferite legate de precizie, productivitate, etc, încercându-se atingerea condițiilor impuse de proiectant prin variația celorlalți parametri ai regimului de aşchiere. În studiile de specialitate se întâlnesc o varietate foarte mare de concluzii legate de influența diferiților parametri asupra procesului propriu-zis de prelucrare, observându-se că nu se poate defini foarte clar tendința de variație a unui parametru. După cum se poate observa din diagramele prezentate în figura 2.21 exista tendința uneori nejustificată de modificare a unui parametru, dar care este compensată de variația altui parametru.*



**Fig. 2.21** *Diagrame NORTON GRINDING WHEEL COMP. LTD și UNIVERSAL GRINDING WHEEL COMP. LTD*

*Cele două grafice de sus din fig. 2.21 sunt date de firma NORTON iar cele din partea inferioară a figurii de firma UNIVERSAL.*



*.O concluzie deosebit de importantă este aceea că, forța de așchiere prin componentele sale și în special cea radială sunt influențate direct de variația parametrilor regimului de așchiere, concluziile directe fiind prezentate în paragraful 2.7.1.*

*În paragraful 2.7.2 s-a arătat corelația directă între acești parametri și precizia de prelucrare în special rugozitatea suprafeței, existând posibilitatea găsirii unor corelații între parametri reglabili la mașina unealtă ( $v_{tp}$ ,  $v_{sc}$ ,  $v_{fa}$ , etc) și forțele dezvoltate respectiv precizia de prelucrare cerută.*

*Aceleași corelații se pot face între parametri de așchiere și capacitatea de producție (productivitatea) respectiv costurile prelucrării. Aceste observații oferă deschiderea spre găsirea unor algoritmi necesari comenzii adaptive pentru a se asigura optimizarea procesului în funcție de obiectivele pe care ni le propunem.*

*b. rigiditatea sistemului tehnologic elastic influențează în mod categoric întregul proces de prelucrare. Deformația STE este legată direct proporțional de mărimea forțelor din sistem și în mod decisiv de componenta radială (pasivă)  $F_x$ . Deci prin urmărirea permanentă a variației acestei forțe în timpul procesului de așchiere se poate urmări continua deformație a sistemului. În ideea creșterii productivității muncii prin reducerea timpilor necesari încărcării sistemului până când parametri reglați devin egali cu cei reali și totodată prin reducerea timpilor necesari fazei de destindere, creșterea rigidității STE și păstrarea constantă a deformației prin urmărirea și variația componentei radiale a forței se impun ca niște cerințe majore în ideea optimizării procesului de rectificare. Pentru a fi atinse dezideratele arătate mai sus, în faza inițială de tensionare a sistemului se pot utiliza regimuri dure (valori crescute ale parametrilor de până la 4 ori).*

*Literatura de specialitate oferă prea puține soluții analitice în direcția rezolvării problemelor menționate, oferind în special studii experimentale prezentate grafic sau tabelar, ceea ce ridică greutatea în cazul încercării definirii unor algoritmi necesari prelucrării automate a datelor din proces.*

*c. productivitatea respectiv costurile prelucrării pot reprezenta indici importanți de analiză a procesului de prelucrare. Mai sus am arătat o serie de direcții pentru creșterea acestor parametri ai prelucrării. Alte direcții posibile de cercetat sunt cele legate de caracteristicile sculei abrazive care de fapt sunt cele mai greu de controlat în timpul prelucrării, posibilitatea reducerii timpilor de "rectificare a aerului" la ieșirea pietrei la capăt de cursă sau la apropierea inițială de semifabricat, studierea influenței neuniformității adosului de prelucrare, etc .*

*d. alegerea sculei abrazive și stabilirea momentului optim în care să se facă reascuțirea sa este una din cele mai dificile probleme și este abordată în moduri diferite de cercetătorii în domeniu.*

*Utilizarea unor dispozitive care să constate gradul de uzură și îmbâcsire a pietrei (pneumatic., fotoelectric, vibrații) nu pot da rezultate mulțumitoare și de aceea se impune tot mai mult aprecierea momentului reascuțirii prin urmărirea volumului de material îndepărtat, lucru ce se poate face prin utilizarea comenzii numerice simultan cu utilizarea unor dispozitive de măsurare automată a dimensiunii sculei după reascuțire. După cum am precizat mai sus se impune tot mai pregnant găsirea unor corelații cât mai exacte între caracteristicile sculei abrazive și alegerea parametrilor de așchiere, pentru a putea realiza prelucrări cu aceeași sculă în condițiile unor semifabricate cu caracteristici diferite.*

*În acest fel se pot obține costuri mai mici și o productivitate ridicată a prelucrării de rectificare.*

## **2.10 Scopul lucrării. Probleme propuse spre rezolvare în vederea optimizării procesului de prelucrare pe mașini de rectificat rotund între vârfuri.**

- ***Optimizarea procesului de prelucrare pe mașini de rectificat rotund între vârfuri prin introducerea unei comenzi adaptive.***
- ***Identificarea unor criterii de optimizare pentru comanda adaptivă a unei mașini de rectificat rotund între vârfuri de tipul RE-350.***
- ***Studiul comparativ al unor comenzi adaptive existente și evidențierea unor "puncte slabe" care să fie luate în considerare la elaborarea noilor algoritmi de optimizare propuși în prezenta lucrare.***
- ***Studierea variantelor posibile de mărimi de referință și alegerea celei mai potrivite pentru mașina RE-350.***
- ***Definirea unor algoritmi cât mai simpli și fiabili pentru comanda adaptivă care să corespundă criteriilor de optimizare propuse și studierea comparativă a acestora.***
- ***Identificarea unor variante posibile de prelucrare asupra cărora să se facă un studiu de productivitate , precizie și calitate prin aplicarea algoritmilor propuși.***
- ***Studierea posibilității de înlocuire a comenzii analogice cu o comandă digitală prin cuplarea la mașina unealtă a unui calculator electronic echipat corespunzător pentru conducerea unui proces tehnologic.***
- ***Elaborarea unor scheme de comandă și a unui software corespunzătoare pentru criteriile de optimizare și deci implicit algoritmi propuși spre aplicare.***
- ***Studiul comparativ a variantelor experimentate, identificarea „punctelor pozitive” și elaborarea unor recomandări pentru utilizarea acestora.***
- ***Indicarea direcțiilor posibile de lărgire a cercetărilor teoretice și experimentale.***

## **CAPITOLUL III**

### **COMANDA ADAPTIVĂ A MAȘINII RE-350. ALGORITMI DE OPTIMIZARE**

#### **3.1. Comenzi adaptive. Criterii de optimizare. Aplicații la mașini de rectificat**

##### **3.1.1. Clasificarea comenzilor adaptive**

*După cum am mai arătat și în primul capitol, o primă clasificare a comenzilor adaptive se poate face funcție de modul de reglare al sistemului automat. Astfel putem avea:*

*1. Comenzi adaptive cu valori limită ACC, caracterizate prin aceea că se urmărește ținerea constantă în timpul procesului de prelucrare a unei mărimi impuse ca mărime de referință. Menținerea constantă se face prin reglarea unor parametri din proces. În figura 1.3 se prezintă schematic o comandă de tipul ACC.*

*2. Comenzi adaptive de optimizare ACO, caracterizate prin aceea că analizează dinamic un criteriu de optimizare prin readaptarea permanentă a unor parametri ai procesului impusă de modificarea mărimii variabile, variația fiind în funcție de semnalul traductorului. (Figura 3.1)*

*Se observă că semnalul obținut de la elementul traductor ET, devine semnal de intrare atât pentru elementul de programare EP care va calcula în permanență valorile funcției  $F(i)$ , cât și pentru elementul de comparare EC. În rest schema funcționează identic cu cea a unei comenzi ACC.*

*Un alt criteriu de clasificare al CA poate fi cel al criteriului de optimizare, prezentat în capitolul I.*

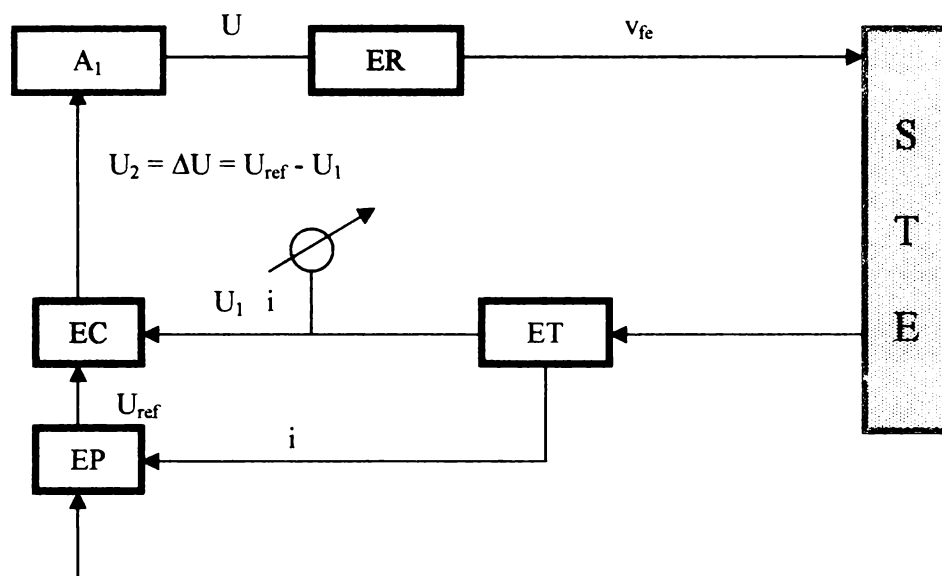


Fig. 3.1. Schema principală a unei comenzi adaptive tip ACO

**Criteriile care pot fi luate în considerare sunt:**

- **costul** -  $C$
- **capacitatea de producție** -  $N$
- **precizia** -  $R$

Comenzile se pot face să optimizeze procesul după un criteriu, două sau chiar trei, prin combinarea celor prezentate. Astfel se pot obține șapte variante de optimizare.

$$\begin{aligned}
 O_1 = f(C); & & O_2 = f(N); & & O_3 = f(R); & & O_4 = f(C,R); & & (3.1) \\
 O_5 = f(N,R); & & O_6 = f(N,C); & & O_7 = f(C,N,R); & & & & 
 \end{aligned}$$

După cum s-a mai arătat cele mai eficiente sisteme sunt cele care țin seama de 2 sau 3 criterii.

**După alegerea mărimii de referință adoptate în proces putem avea:**

- comenzi adaptive cu mărime de referință **forța de așchiere** și în special componenta radială a acesteia;
- comenzi adaptive cu mărime de referință **puterea de așchiere**;

- comenzi adaptive cu mărime de referință **deformația sistemului tehnologic elastic**;

- comenzi adaptive cu mărime de referință **uzura discului abraziv și implicit nivelul autovibrațiilor sau temperatura în zona de așchiere**;

În lucrarea [1] se face o inventariere a câtorva aplicații practice și se explică destul de amănunțit criteriul de optimizare care a fost ales și modul de realizare efectivă a comenzii adaptive. În lucrări ca [43], [51], [4], [68], [70] sunt exemplificate și alte tipuri de aplicații ale comenzii adaptive. În continuare voi căuta să rezum câteva aplicații mai reprezentative pentru diferite tipuri de criterii de optimizare.

### **3.1.2. Comanda adaptivă cu criterii de optimizare capacitatea de producție și rugozitatea suprafeței**

Comanda este prezentată în [66] și este o soluție interesantă care urmărește atingerea productivității maxime concomitent cu atingerea unor condiții impuse pentru calitatea suprafeței.

Domeniul forței este limitat de forța minimă sesizabilă de traductor  $f(\min)$ , respectiv forța maximă impusă de rigiditatea sistemului tehnologic elastic  $f(\max)$  (fig. 3.2). Dreapta  $R_a = ct$  reprezintă dreapta de rugozitate constantă iar dreapta  $T = ct$ , dreapta de durabilitate constantă, pentru obținerea unei productivități maxime. Forța optimă pentru care sunt îndeplinite condițiile atât de precizie cât și de productivitate este cea corespunzătoare punctului de intersecție  $P$ ,  $f(P)$ . Putem avea următoarele cazuri:

$$f(i) > f(P) \Rightarrow f_{\text{optimă}} = f(P) \quad (3.2)$$

$$f(i) < f(P) \Rightarrow f_{\text{optimă}} = f(i)$$

$$f(i) = f(P) \Rightarrow f_{\text{optimă}} = f(P)$$

Deci mărimea care se urmărește în sistem prin intermediul unor traductoare amplasate în lagărele hidrostactice ale arborelui portpiatră este forța

radială. În timpul procesului se urmărește menținerea forței optime pentru a se obține CMMP maximă (productivitate maximă) respectiv  $R_a$  impusă (rugozitate minimă impusă). Comanda adaptivă reglează avansul și viteza de rotație a piesei.

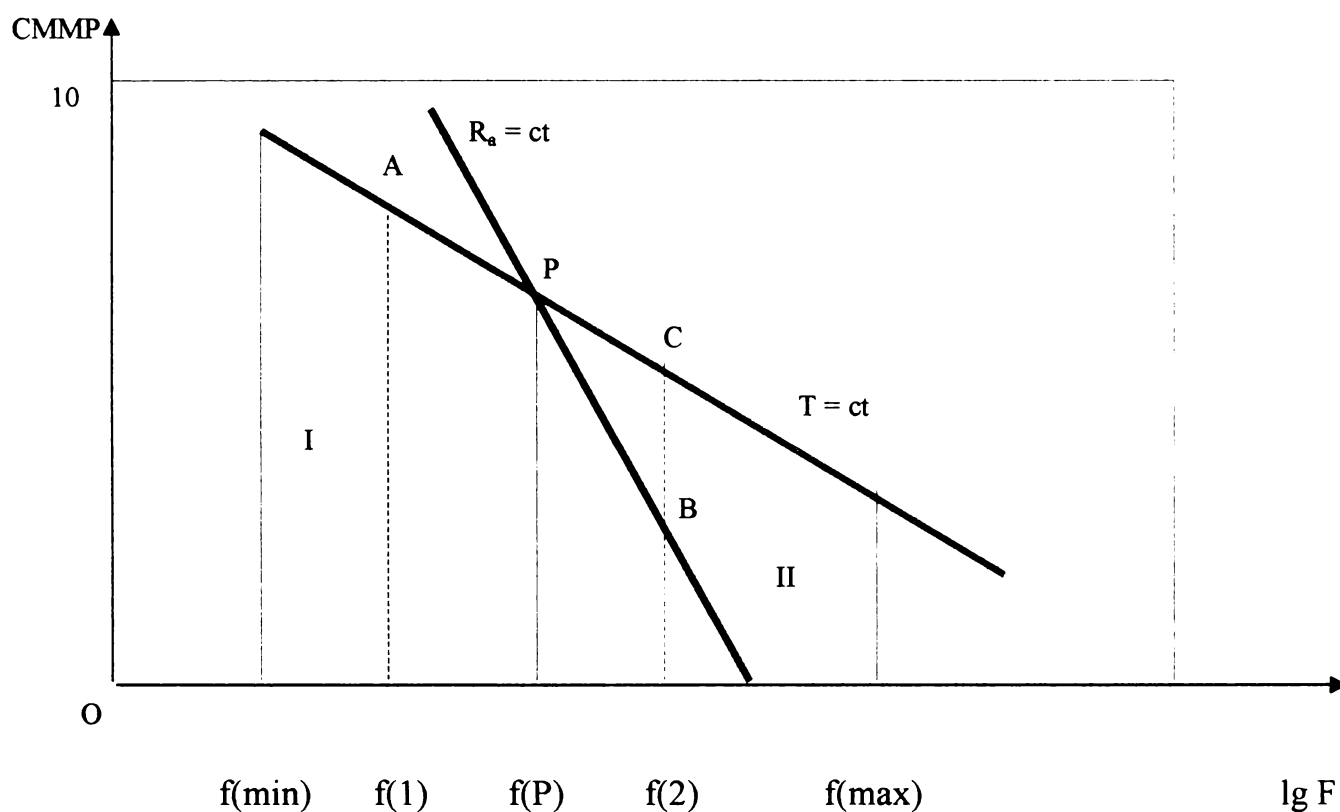
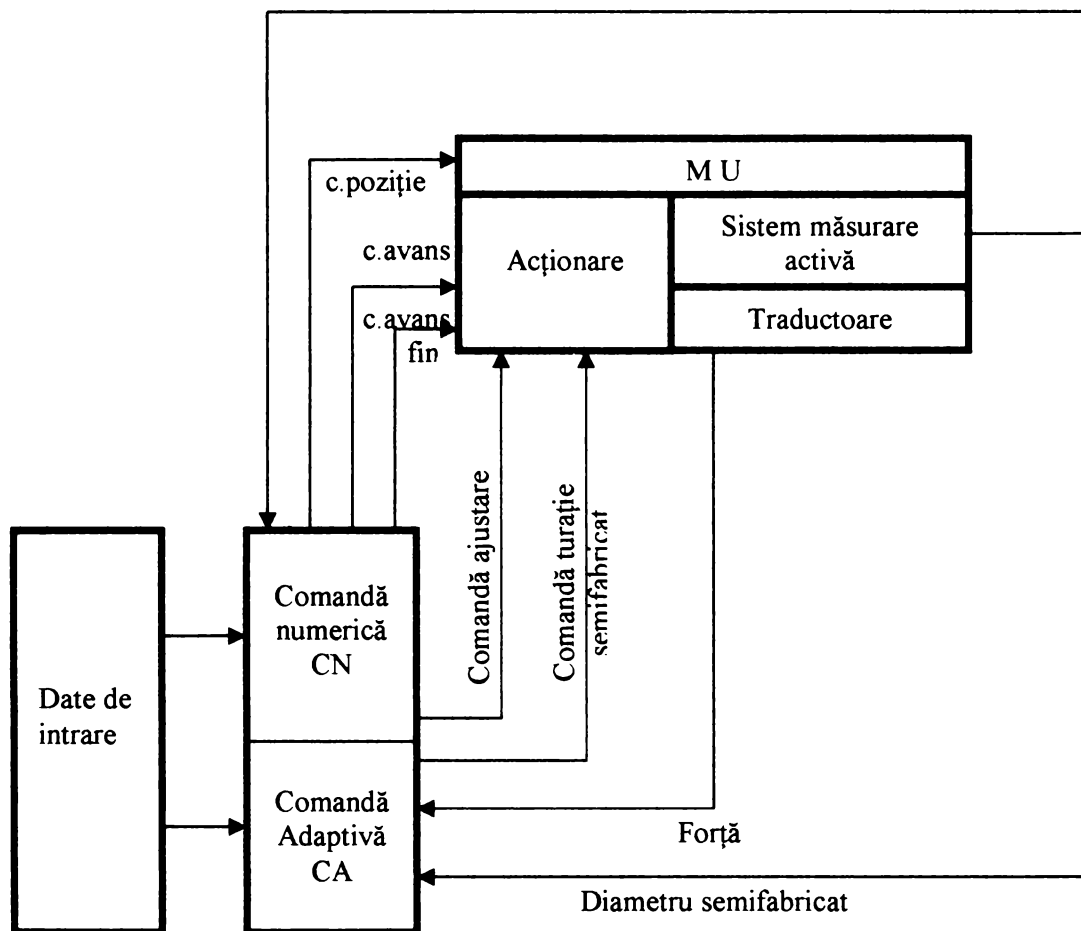


Fig. 3.2 Criterii de optimizare capacitatea respectiv rugozitatea

Pentru a se da comanda de reascuțire a sculei la terminarea duratei de durabilitate a sculei, datorită faptului că mașina are un sistem de control activ al diametrului semifabricatului, prin contabilizarea cantităților de material îndepărtat se poate stabili momentul necesar reascuțirii. În figura 3.3 se prezintă schema bloc a mașinii echipate cu comandă adaptivă care folosește criteriile de optimizare descrise mai sus.



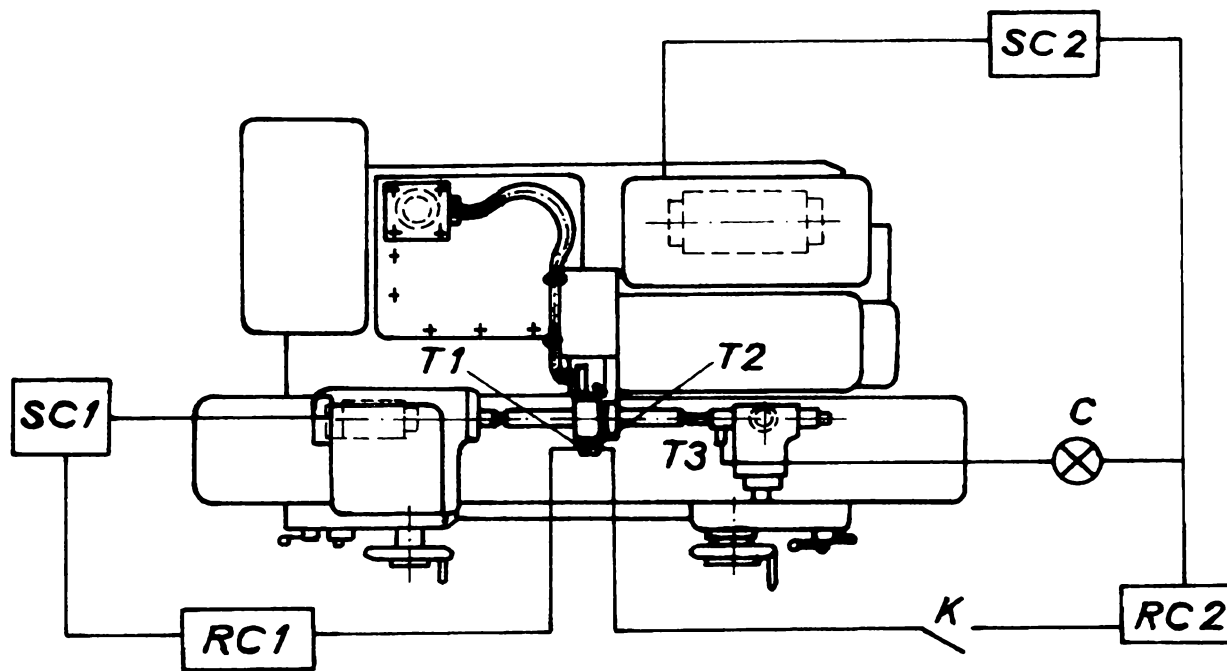
*Fig. 3.3 Schema bloc a mașinii cu comandă adaptivă de tipul  $O_5$*

### ***3.1.3. Comanda adaptivă cu criterii de optimizare, costul și precizia***

*În lucrarea [48] se prezintă o încercare originală de realizare a comenzii adaptive pe o mașină de rectificat rotund exterior, reușindu-se o fundamentare teoretică din partea autorului, dar prin soluțiile tehnice alese și prin mărimile de referință din proces alese, rezultatele practice realizate în faza cercetărilor experimentale nu sunt suficient de convingătoare. Referirile care se fac sunt pentru o rectificare rotundă exterioară cu avans radial.*

*În figura 3.4 se prezintă schema bloc a mașinii pe care s-a introdus comanda amintită mai sus.*





*Fig. 3.4 Schema bloc a unei mașini de rectificat rotund exterior echipată cu comandă adaptivă cu criteriul de optimizare  $O_4$*

*unde:*

*SC1 - bloc de comandă pentru antrenarea piesei*

*SC2 - bloc de comandă pentru deplasarea saniei port-piatră*

*RC1 - bloc de reglare pentru temperatura zonei de lucru*

*RC2 - bloc de reglare pentru rugozitatea suprafeței*

*C - bloc de comparare a amplitudinii vibrațiilor*

*T<sub>1</sub> - traductor de temperatură*

*T<sub>2</sub> - traductor de rugozitate*

*T<sub>3</sub> - traductor de vibrații*

*Criteriile de optimizare utilizate sunt:*

*- criteriul cost ( $O_1$ );*

*- criteriul cost și criteriul preciziei ( $O_4$ ).*

*Vom prezenta în continuare succint ambele modele de optimizare teoretice, gândite pentru această aplicație, deoarece reprezintă un mod original de tratare a comenzilor adaptive pentru mașina de rectificat și reprezintă un reper de*

comparație pentru realizările practice ale lucrării de față care vor fi prezentate în continuare, fiind o bază pentru o serie de aprecieri critice ale fenomenelor care apar.

### I. Criteriile cost

În cazul în care acesta este singurul criteriu care stă la baza optimizării, se pleacă de la o formulă simplificată a costului operației de rectificare:

$$C = C_b + C_{aux} + C_{es} \quad [lei] \quad (3.3)$$

unde:  $C_b$  costul timpului de bază;  $C_{aux}$  - costul timpului auxiliar;

$C_{es}$  - costul exploatării sculei abrazive;

La rândul său costul timpului se exprimă astfel:

$$C_b = \tau_b \cdot C_m \quad (3.4)$$

unde:  $\tau_b$  - timp de bază [min]

$C_m$  - cheltuieli cu prelucrarea de bază [lei/min]

$$C_m = C_{mp} + C_{am} + C_{en} \quad (3.5)$$

unde:  $C_{mp}$  - cheltuieli cu retribuiția       $C_{am}$  - cheltuieli cu amortizarea

$C_{en}$  - cheltuieli cu energia

$$\tau_b = A_r \cdot v_{fr}^{-1} \quad (3.6)$$

unde:  $A_r$  - adaosul de prelucrat

$$C_b = A_r \cdot v_{fr}^{-1} (C_{mp} + C_{am} + C_{en}) \quad (3.7)$$

Costul timpilor auxiliari se exprimă sub forma:

$$C_{aux} = \tau_{aux} \cdot C_{mp} \quad (3.8)$$

Se observă că ambii factori din structura costului timpilor auxiliari nu sunt influențați de parametrii regimului de așchiere.

Costul exploatării sculei așchietoare se exprimă sub forma:

$$C_{es} = \frac{\tau_b}{T} \cdot C_s \quad (3.9)$$

unde:  $T$  - durabilitatea;  $C_s$  - costul unei reascuțiri

$$C_s = \tau_d \cdot C_{mp} \cdot V_{pd} + C_{sî} \quad (3.10)$$

unde:  $\tau_d$  - timpul de ascuțire al sculei [min]

$V_{pd}$  - valoarea materialului abraziv îndepărtat [lei]

$C_{si}$  - cota parte din valoarea sculei de îndreptare ce se transferă piesei prelucrate cu ocazia unei singure îndreptări

Durabilitatea pietrei poate fi exprimată funcție de viteza de avans transversal:

$$T = C_T \cdot v_{fr}^{-x} \quad (3.11)$$

unde:

$C_T$  - coeficient care depinde de condițiile concrete de prelucrare

$x$  - exponent care depinde de condițiile concrete de prelucrare

În final se obține o relație a costului de forma:

$$C = A_r \cdot v_{fr} (C_{mp} \cdot C_{am} + C_{en}) + \tau_{aux} \cdot C_{aux} + A_r \frac{v_{fr}}{C_T} (\tau_d \cdot C_{mp} + V_{pd} + C_{si}) \quad (3.12)$$

Pentru determinarea vitezei optime maxime de avans pe direcția radială se exprimă matematic condițiile de minim pentru cost, adică:

$$\frac{\partial C}{\partial v_{fr}} = 0 \quad \text{și} \quad \frac{\partial^2 C}{\partial^2 v_{fr}} \geq 0 \quad (3.13)$$

rezultând o valoare:

$$v_{fr\ opt} = \left( \frac{C_{mp} + C_{am} + C_{en}}{\tau_d \cdot C_{mp} + V_{pd} + C_{si}} \cdot \frac{C}{x-1} \right)^{\frac{1}{x}} \quad [m/s] \quad (3.14)$$

## II. Criteriul cost și criteriul preciziei

În acest caz se pleacă de la aceeași formulă a costului (3.3) neglijându-se costurile auxiliare care nu sunt influențate de parametrii regimului și folosind alte exprimări pentru costul de bază, respectiv costul de exploatare a sculei abrazive, ajungându-se la o formulă a costului de prelucrare de forma:

$$C = z' \cdot A_r \cdot C_u \cdot B \cdot v_{fr}^{-1} + z' \cdot A_r \cdot C_{Tv}^{-1} \cdot q^{-\gamma} \cdot C_s \cdot v_{fp}^{-\gamma} \cdot v_{fr}^{(x-1)} \quad (3.15)$$

$z'$  - capacitatea de prelucrare specifică

$C_u$  - cost unitar corespunzător detașării unui  $mm^3$  din materialul piesei

$B$  - lățimea sculei

$C_{Tv}$  - constantă a durabilității pietrei care depinde de condițiile de prelucrare

$$q = \frac{v_{sc}}{v_{tp}}$$

$C_s$  - costul unei reascuțiri

$v_{tp}$  - viteza de rotație a piesei

$v_{fr}$  - viteza de avans transversal

În continuare se pun o serie de restricții:

- restricția impusă de **puterea motorului**  $P_{ef} \leq P_{MU}$  (3.16)

- restricția impusă de **capacitatea porilor** sculei abrazive de a putea prelua așchiile din materialul piesei

$$V_{pori} \geq V_{as} \quad (3.17)$$

- restricția privitoare la **rugozitatea suprafeței**

$$R_{aef} \leq R_{a\ lim} \quad (3.18)$$

- restricția referitoare la **temperatura din zona de prelucrare a materialului**

$$\theta_{pmax} \leq \theta_{adm} \quad (3.19)$$

Punându-se condiția de minim pentru costul prelucrării și îndeplinirea restricțiilor mai sus amintite se obține un model matematic de optimizare care va avea la bază relațiile prezentate în continuare:

$$1. v_{fr} \leq \frac{\eta \cdot P_{MU}}{C_F \cdot v_{sc}^{(\beta+1)}}$$

$$2. v_{fr} \leq k \cdot \xi \cdot n_{sc} \cdot G \cdot \frac{d_{sc}}{200d_p}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad v_{fr}^{0,4} &\leq \frac{R_{a\text{lim}}}{G_{Ra}} \cdot v_{sc}^{0,93} \\
 4. \quad v_{f\text{min}} &\leq v_{fr} \leq v_{f\text{max}} \\
 5. \quad v_{fp}^{-1} \cdot v_{fr}^a &\leq \left(\frac{\pi \cdot e}{2}\right)^{0,3} \cdot \frac{B \cdot c \cdot \rho}{C_F \cdot v_{sc}(\beta + 1)} \cdot \theta_{pad}
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

unde:

$\eta$  - randamentul transmisiei mișcării principale

$C_{F, \alpha \beta}$  - constante care depind de condițiile concrete de prelucrare

$k$  - coeficient care ține seama de numărul efectiv de granule  $k \cong 0, 1$

$\xi$  - procentul de pori aflat în masa sculei abrazive

$n_{sc}$  - turația sculei

$G$  - granulația

$d_{sc}$  - diametrul sculei

$d_p$  - diametrul piesei

$C_{Ra}$  - constantă pentru determinarea rugozității

$c$  - căldura specifică a materialului piesei

$\rho$  - densitatea materialului piesei

$B$  - lățimea sculei

$\theta_{pad}$  - temperatura admisibilă corespunzătoare liniei  $AC_1$  din diagrama fier-carbon

Sistemul prezentat optimizează procesul prin variația în timp a parametrilor viteza de avans transversal  $v_{fr}$  și viteza de rotație a piesei,  $v_{fp}$  în funcție de mărimile restrictive impuse. Înainte de prelucrare se stabilesc valorile limită pentru rugozitate, temperatura în zona de așchiere și amplitudinea vibrațiilor. Se calculează și se instalează valorile maxime admise pentru  $v_{fr}$  și  $v_{fp}$ . Sistemul lucrează prin "căutare", valorile măsurate la traductoare fiind mereu comparate cu valorile limită optime. Acest sistem este unul de tip ACC.

Analizând critic soluția prezentată se pot desprinde următoarele concluzii:

1. Prin aplicarea la rectificarea rotundă exterioară cu avans radial a comenzii adaptive prezentate mai sus, se obține o creștere a productivității și preciziei.

2. Echipamentul este relativ simplu dar nu suficient de fiabil pentru prelucrări în masă.

3. Mărimile măsurate în timpul procesului nu sunt suficient de stabile și este destul de greu de asigurat o rigoare științifică necesară unei concluzii eficiente. Este destul de greu de măsurat temperatura în zona de contact cât și rugozitatea sau dimensiunea reală a semifabricatului în timpul procesului de așchiere. Echipamentele necesare în acest sens (senzori de temperatură, sistem de control activ al dimensiunii sau sistemului de măsurare a rugozității) trebuie să fie foarte sensibile și în același timp să aibă o fiabilitate deosebită, ceea ce este greu de obținut în condițiile prelucrării în serie.

4. Măsurarea amplitudinii vibrațiilor nu ridică probleme tehnologice complicate față de măsurarea rugozității. Vibrațiile nu sunt în exclusivitate din zona de prelucrare datorită interacțiunii directe sculă-obiect de prelucrat, ci, pe lângă vibrațiile care pot apărea în acest caz datorită uzurii sculei și a scăderii drastice a capacității ei de prelucrare, pot apărea unele vibrații datorită funcționării necorespunzătoare a unor lanțuri cinematice, a uzurii premature din STE, etc.

5. Instabilitatea mărimilor de referință alese în acest caz, conduce la ideea că alegerea unor alte mărimi de referință, spre exemplu **forța radială**, se impune ca o **alternativă mult mai viabilă** în tentativa de a urmări și conduce procesul de prelucrare în cadrul sistemului tehnologic elastic.

6. După cum s-a mai arătat în prezenta lucrare, procesul de prelucrare prin rectificare este caracterizat printr-o mulțime de parametri care depind unii de procesul de prelucrare propriu-zis, alții de scula abrazivă. Multitudinea acestor parametri și mai ales influența elementului instabil al STE care este scula abrazivă, fac ca orice încercare de stabilirea a corelațiilor sistematice între acești

*parametri să fie destul de inexactă ceea ce conduce la concluzia că prin utilizarea unui număr mai mare de parametri creăm premisele unor inexactități mai mari. De aceea soluția care se va prezenta în continuare va încerca să fie simplă și viabilă.*

## **3.2. Comanda adaptivă a mașinii de rectificat rotund exterior RE-350. Criterii de optimizare.**

### **3.2.1. Alegerea mărimii de referință**

*Rectificarea este o operație finală prin care se urmărește atingerea unor parametri clari legați de precizia dimensională și calitatea suprafeței prelucrate. Mărimile de referință trebuie să fie astfel alese încât să se poată controla parametrii finali ai prelucrării.*

*Din analizele făcute până în acest moment ca parametrii de referință se pot alege: **puterea necesară rectificării, rugozitatea suprafeței, temperatura zonei de contact, autovibrațiile, componenta principală a forței de așchiere și mai ales componenta radială a acestei forțe, etc.***

***Puterea** se recomandă în special pentru mașini de rectificat specializate și eventual degroșări, prezentând dezavantajul că în perioada de durabilitate nu se poate stabili o lege de variație a puterii, neputându-se urmări fidel prin intermediul ei procesul de prelucrare.*

***Rugozitatea, temperatura în zona de contact, autovibrațiile, etc,** după cum s-a arătat în subcapitolul 3.1.2, nu pot fi utile în cazul unor prelucrări pentru producții mari, neexistând echipamente care să aibă o durată de viață corespunzătoare în condițiile concrete de lucru.*

***Componenta principală a forței de așchiere** are aceleași inconveniente ca și **puterea**.*

*Componenta radială a forței de așchiere, după cum se arată în foarte multe studii, inclusiv în lucrarea de față, este până în acest moment, în condițiile posibilităților tehnologice normale pentru prelucrarea în regim de producție și nu experimental, cea mai convenabilă mărime de referință. Elementele care pledează în favoarea acestei alegeri sunt:*

*- posibilități tehnologice relativ ușor abordabile în ceea ce privește măsurarea ei;*

*- prin faptul că ea este componenta forței de așchiere care influențează decisiv deformațiile sistemului tehnologic elastic, rezultă că, prin reglarea ei se pot reduce la minim abaterile dimensionale și de formă ale piesei, ceea ce conduce la reducerea timpilor necesari fazei de destindere, fază în care se obține precizia cerută din punct de vedere al calității suprafeței (rugozitatea). Introducerea comenzii adaptive care permite variația parametrilor de așchiere pentru a modifica implicit componenta radială a forței de așchiere în sensul reducerii abaterilor dimensionale datorate deformațiilor STE, conduce implicit la creșterea productivității în contextul obținerii preciziei prescrise;*

*- cantitatea de material îndepărtat depinde de gradul de tensionare a STE și deci implicit de această componentă a forței;*

*- există posibilitatea variației acestei forțe prin modificarea parametrilor regimului de așchiere;*

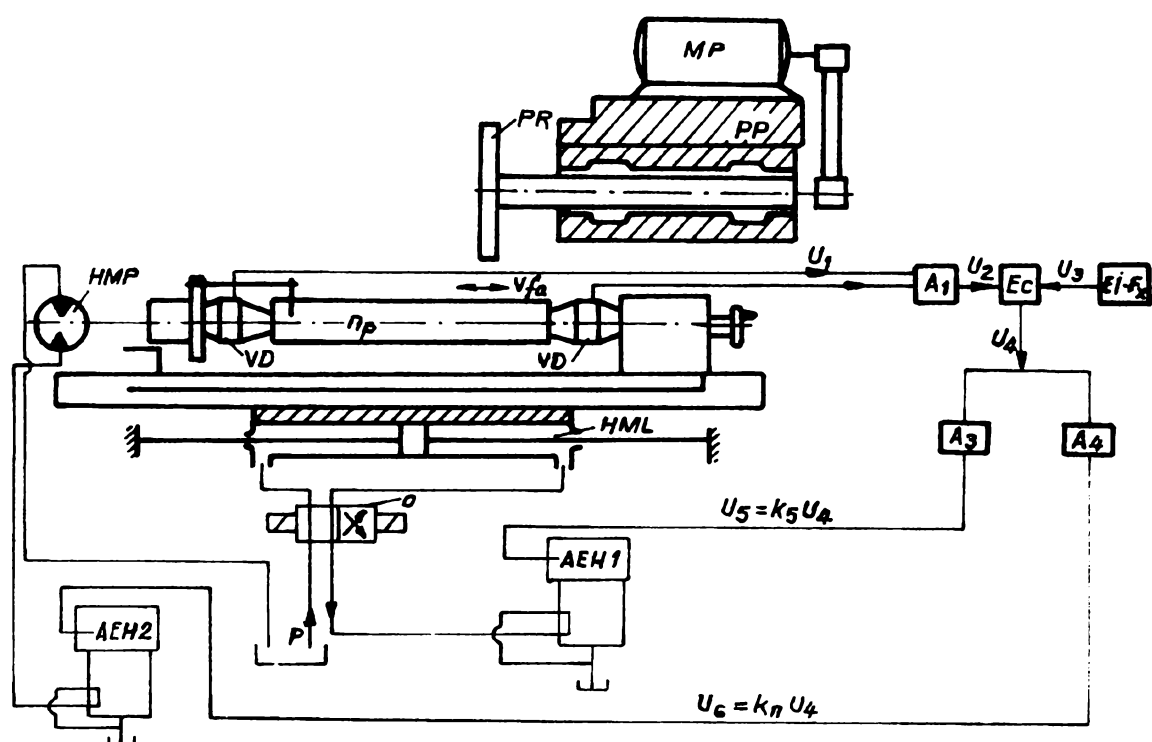
*- există posibilitatea stabilirii unor corelații matematice între această mărime și alte mărimi care caracterizează procesul de așchiere (productivitate, cost, etc).*

*Bineînțeles că în construirea algoritmilor de optimizare intervin și unele mărimi empirice care rezultă în urma studiilor experimentale.*



**3..2.2. Criteriul optimizării prelucrării pe mașina RE-350 CA, urmărindu-se obținerea preciziei și a unei productivități ridicate. Algoritmul I ( AI ).**

Deci putem spune că avem de-a face cu o funcție de optimizare de tipul  $O_5 = f(N,R)$ . Mărimea de referință este componenta radială a forței de așchiere  $F_x$  (numită și forța pasivă  $F_p$ ). Primele încercări de introducere a comenzii adaptive s-au făcut pe mașina BK3, schema comenzii fiind prezentată în figura 3.5.



**Fig. 3.5 Schema bloc a unei mașini de rectificat rotund exterior BK 3 dotată cu comandă adaptivă**

Apoi, utilizând aceeași comandă adaptivă s-au făcut primele încercări pe mașina RE-350, schema de principiu a comenzii fiind prezentată în figurile 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 și 1.9. Ceea ce se poate constata este faptul că în locul sistemului de măsurare cu transductori rezistivi amplasați în vârfulurile dinamometrice VD, s-a recurs la amplasarea unei punți de traductoare magnetostrictive în ansamblul arborelui portpiatră (vezi figurile 1.5 și 1.7) și totodată acționarea piesei în mișcare de rotație nu se mai face cu un motor hidraulic orbital ci cu ajutorul unei acționări formate din motor de curent continuu și variator de turație.

După cum s-a mai arătat, prin urmărirea și variația forței radiale  $F_x$  în timpul procesului se obține o deformare  $x_{STE} = ct$ , ceea ce conduce la diminuarea abaterilor de formă a semifabricatului, reducerea timpului fazei de destindere, asigurarea unei capacități optime de așchiere și deci implicit o productivitate sporită în condițiile unei precizii dimensionale și de formă în limitele prescrise.

În ceea ce privește calitatea suprafeței (rugozitatea) se urmărește menținerea constantă a valorii avansului longitudinal  $f_a$  [mm/rot] pentru a obține o rugozitate uniformă. Parametrii care se reglează sunt viteza de deplasare a mesei longitudinale  $v_{fa}$  și viteza de rotație a piesei  $v_{tp}$  (turația  $n_p$ ).

În literatură sunt o serie de relații de calcul a forței la rectificare pe care o parte le-am prezentat în capitolul II.

O altă exprimare a componentei radiale a forței este dată în [53], [30], [17] și este:

$$F_x = K(Q)^p \quad [daN] \quad (3.21)$$

unde:  $K$  - constantă care depinde de rigiditatea sistemului

$p$  - exponent (0,7 ... 0,85)

$Q$  - volumul specific de material îndepărtat [ $mm^3/min$ ]

La rândul său volumul specific de material îndepărtat se calculează astfel:

$$Q = v_{tp} \cdot f_a \cdot a_e \quad (3.22)$$

$$v_{tp} = \pi \cdot d_p \cdot n_p \quad \text{și} \quad f_a = \frac{v_{fa}}{n_p} \quad (3.23)$$

$d_p$ ,  $n_p$  - diametrul respectiv turația piesei;  $d_p$  [m];  $n_p$  [rot/min];  $v_{tp}$ ,  $v_{fa}$  [m/min]

Deci forța radială se poate exprima:

$$F_x = K(\pi \cdot d_p \cdot v_{fa} \cdot a_e)^p \quad [daN] \quad (3.24)$$

În cazul prelucrării cu avans longitudinal care face obiectul studiului prezentei lucrări putem considera adâncimea de așchiere  $a_e$  și diametrul piesei  $d_p$  aproximativ constante.

În aceste condiții relația (3.24) devine:

$$F_x = K_1 \cdot (v_{fa})^p \quad \text{unde } K_1 = K(\pi \cdot d_p \cdot a_e)^p \quad (3.25)$$

Din (3.25) se poate exprima valoarea de reglare a vitezei longitudinale a mesei  $v_{fa}$  pentru a menține spre valoarea maximă cantitatea de material îndepărtată (conform 3.21), obținând o relație de forma:

$$v_{fa} = \left( \frac{F_x}{K_1} \right)^{\frac{1}{p}} \quad (3.26)$$

Dar odată cu variația vitezei longitudinale a mesei  $v_{fa}$  se modifică și avansul longitudinal  $f_a$  și deci vom avea o rugozitate variabilă de-a lungul piesei.

Se impune, pe lângă condiția păstrării unei forțe radiale care are ca scop menținerea constantă a deformației  $x_{STE}$ , aceasta conducând implicit la creșterea preciziei dimensionale de formă și a productivității muncii și **menținerea constantă a avansului longitudinal**, pentru a se putea obține o rugozitate impusă pe toată lungimea.

$$f_a = ct = \frac{v_{fa}}{n_p} \quad (3.27)$$

După cum am mai arătat, având în vedere că  $v_{fa}$  variază conform relației (3.26), pentru a fi satisfăcută condiția (3.27) trebuie să variem turația obiectului de prelucrat.

$$n_p = \frac{v_{fa}}{f_a} = \frac{1}{f_a} \cdot \left( \frac{F_x}{K_1} \right)^{\frac{1}{p}}; \quad f_a = \beta \cdot B$$

$$n_p = \frac{1}{\beta \cdot B} \cdot \left( \frac{F_x}{K_1} \right)^{\frac{1}{p}} \quad (3.28)$$

Deci, matematic **algoritmul prelucrării în condițiile în care se urmărește atât creșterea preciziei cât și a productivității (A I)** se poate exprima prin relația (3.29).

$$\begin{cases} v_{fa} = \left(\frac{F_x}{K_1}\right)^{\frac{1}{p}} \\ n_p = \frac{1}{\beta \cdot B} \left(\frac{F_x}{K_1}\right)^{\frac{1}{p}} \end{cases} \quad (3.29)$$

- $K_1$  și  $p$  fiind parametrii care se pot determina pentru fiecare prelucrare.

Acest algoritm poate fi exprimat grafic conform figurii 3.6, unde într-un sistem de axe logaritmice sunt reprezentați parametrii  $v_{fa}$ ,  $n_p$  și componenta radială a forței  $F_x$ .

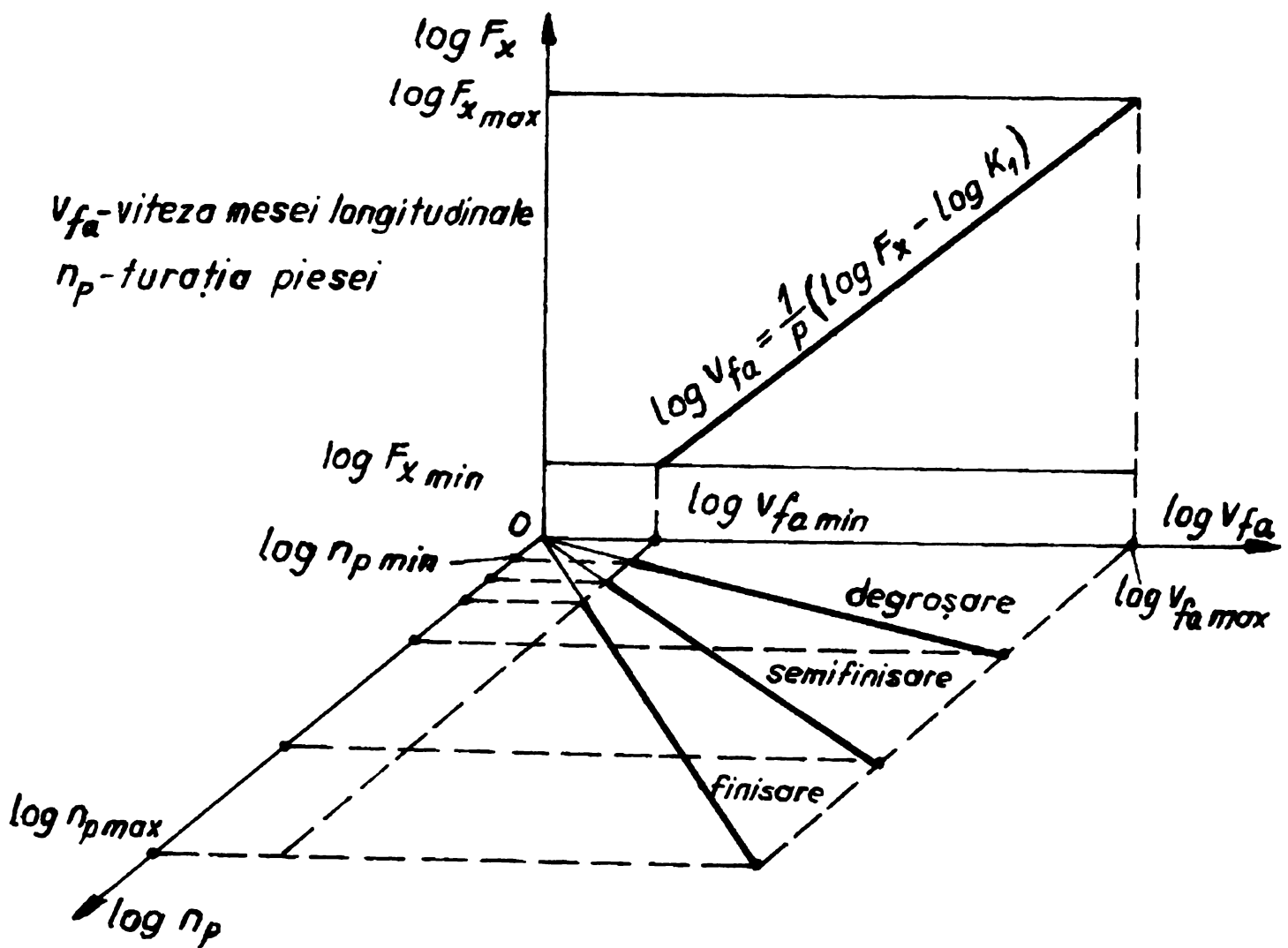


Fig. 3.6 Rețeaua grafică a algoritmului comenzii adaptive

În figura 3.7 se prezintă aceeași reprezentare grafică a algoritmului dar de această dată în condițiile unor determinări experimentale [53].

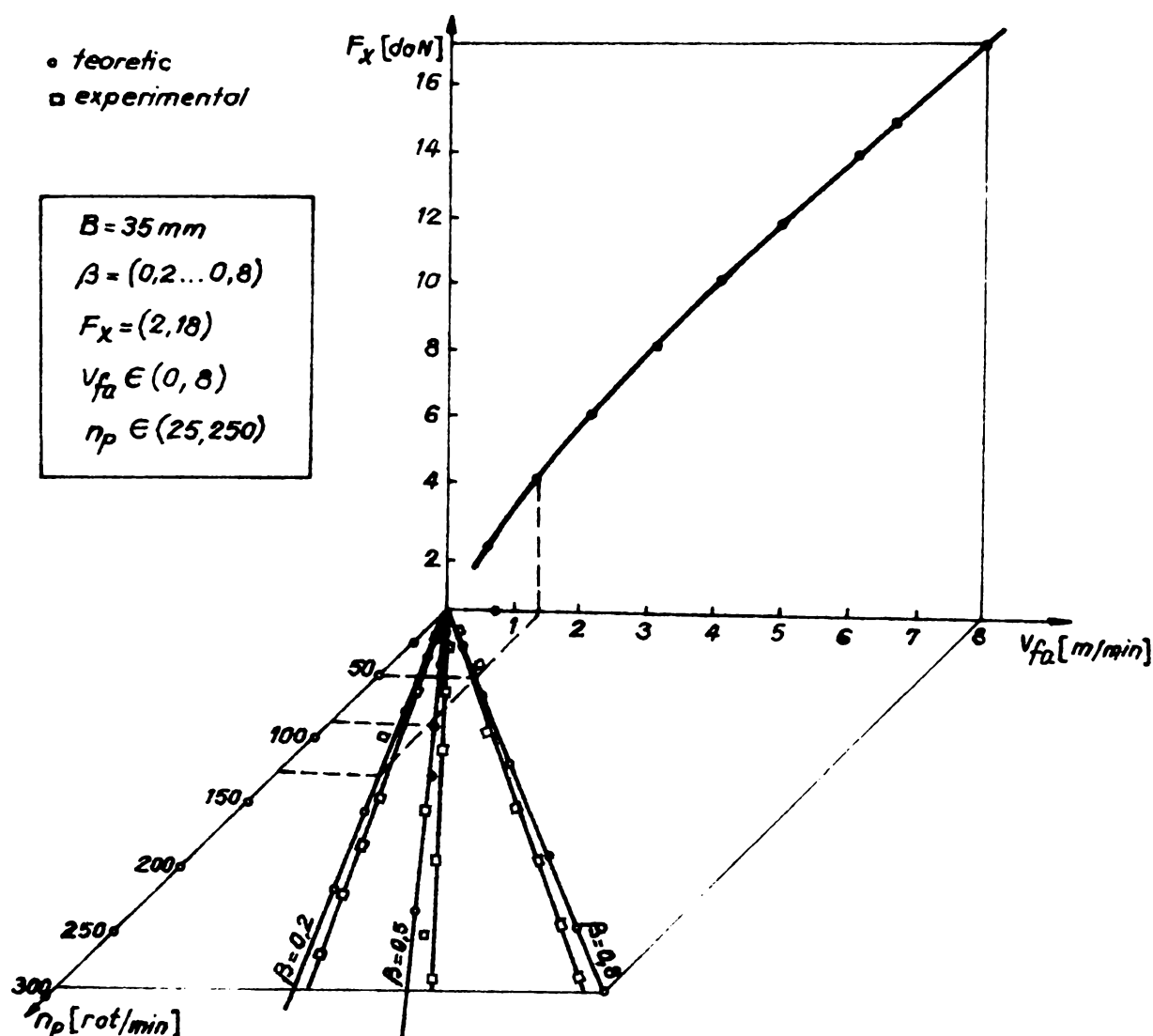


Fig. 3.7 Reprezentarea experimentală a algoritmului comenzii adaptive

Conform acestui prim criteriu de optimizare, care compară în permanență forța radială (pasivă) efectivă cu forța maximă admisă pentru un regim de prelucrare bine definit, se modifică în permanență doi parametri ai regimului de așchiere, viteza de avans a mesei longitudinale  $v_{fa}$  și turația piesei  $n_p$ . După cum s-a mai subliniat și în special în capitolul II, forța radială efectivă este mai mică decât cea teoretică datorată deformației  $x_{STE}$ , a sistemului tehnologic elastic.

Pentru a se obține o deformație constantă este nevoie să încercăm să menținem mereu forța radială la valoarea de referință, în acest fel atingându-se cele două condiții de optim: productivitate și precizie corespunzătoare cerințelor cerute de

proiectant. De remarcat este faptul că față de varianta anterioară în care mașina era echipată cu comandă analogică, în cazul de față în care avem întregul proces comandat de calculator deci vom avea o comandă digitală, vom putea avea o comandă de optimizare ACO față de una cu valori limită ACC. Introducerea calculatorului permite regândirea metodologiei de determinare a unor parametrii și după cum se va vedea în capitolul V unele mărimi ca forța de referință sau coeficienții de tip  $K$  vor fi determinate mult mai precis și într-o mai bună corelare cu fenomenele tehnologice.

După cum se arată și în [51], în contextul în care se dorește prelucrarea cu aceeași sculă a unor tipuri diverse de materiale, în cazul concret al mașinii RE-350 la care turațiile sculei sunt de 1230 rot/min. (pentru diametrul sculei între 280 ÷ 400 mm) respectiv 1535 rot/min (pentru diametrul sculei între 400 ÷ 500 mm), vitezele maxime ale sculei  $v_{sc}$  ajung la 32 m/s. Ținându-se cont de puterea instalată pentru mișcarea principală (de rotație a sculei) de 5,5 KW, rezultă o forță maximă de așchiere de 18 daN, ceea ce conduce pentru componenta radială la valori maxime de 20÷25 daN.

Deci în contextul utilizării unei comenzi adaptive care să aibă la bază algoritmul descris până acum, schema logică a conducerii sistemului va arăta ca în figura 3.9. De menționat că funcțiile comenzii adaptive sunt active doar în faza de degroșare respectiv de finisare, faza de detensionare având rolul de a asigura doar cerințele de calitate a suprafeței.

Pentru a se putea aplica cele spuse mai sus, în faza inițială este necesar să se calculeze parametrii regimului de așchiere, iar pentru aplicațiile experimentale prezentate în această lucrare se vor face calculele pentru un semifabricat din OLC45 călit, cu un diametru de  $\phi 80$ ,  $\phi 60$ ,  $\phi 40$ . Parametrii vor fi calculați conform metodologiei prezentate în [63].

În cazul în care dispunem de programe specializate de calcul a parametrilor de așchiere, acestea pot fi utilizate ca subprograme, ușurându-ne munca de programare inițială. Totodată în acest caz vom considera că rectificarea

are loc cu avans de pătrundere la fiecare capăt al obiectului de prelucrat, considerându-se ca origine a mișcării punctul  $O$  (figura 3.8).

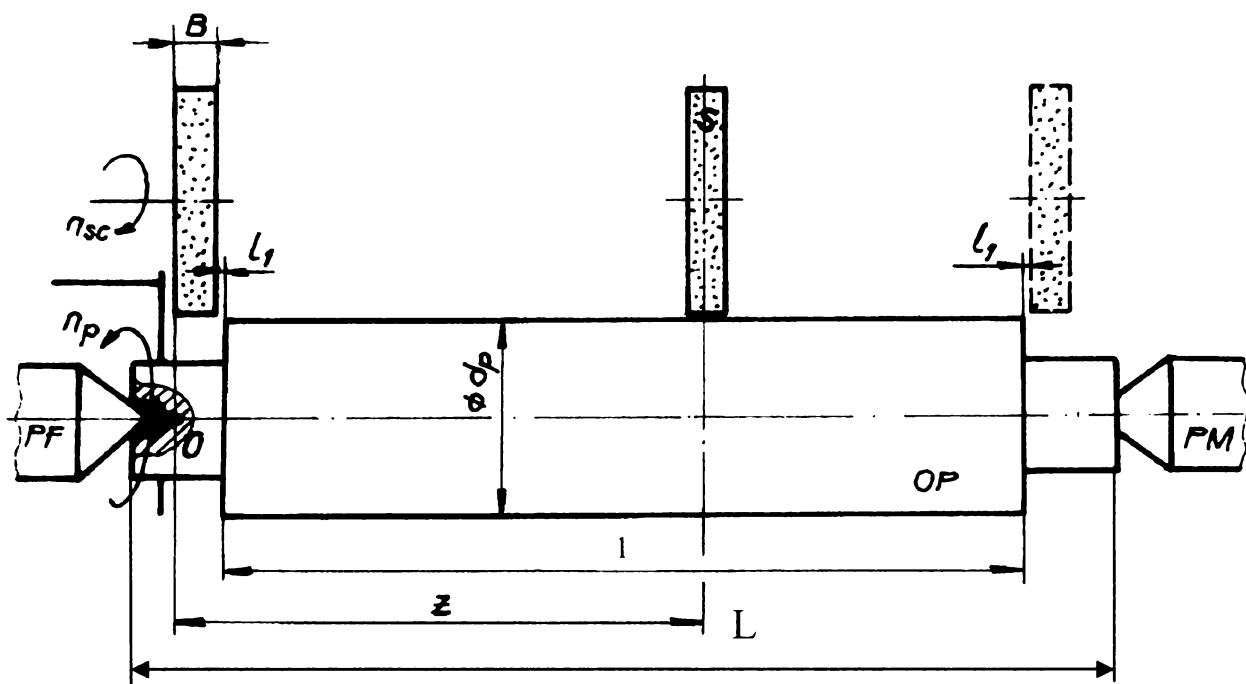


Fig. 3.8 Schema de principiu a prelucrării pentru determinările experimentale

Date inițiale:

- materialul semifabricatului
- dimensiunile ( $d, L, l_1$ ) semifabricatului, cerințe impuse de proiectant
- stabilirea adosului maxim de prelucrare  $A_{pmax}$ 
  - degroșare  $A_d = 0,8 A_{pmax}$
  - finisare  $A_f = 0,2 A_{pmax}$
- adâncimea de așchiere (avans de pătrundere)  $a_e = f_r$  (pentru rectificarea cu avans longitudinal)
  - $a_{ed}$  - adâncimea de așchiere pentru degroșare
  - $a_{ef}$  - adâncimea de așchiere pentru finisare
- avans longitudinal  $f_a$ 
  - $f_{ad}$  - pentru degroșare
  - $f_{af}$  - pentru finisare

- numărul de treceri  $i$

$i_d$  - pentru degroșare

$i_f$  - pentru finisare

$$i = \frac{A_{p\max}}{a_e} \text{ deci } i_d = \frac{A_d}{a_{ed}}; i_f = \frac{A_f}{a_{ef}} \quad (3.30)$$

- viteza de așchiere

$$\text{- pentru degroșare } v_{fpd} = \frac{0,2 \cdot d^{0,3}}{T^{0,5} \cdot \beta \cdot a_{ed}} \cdot K_{VT} \text{ [m/min]}$$

$$\text{- pentru finisare } v_{fpf} = \frac{0,1 \cdot d^{0,3}}{T^{0,5} \cdot \beta \cdot a_{ef}} \cdot K_{VT} \cdot K_{VB} \text{ [m/min]}$$

- forța principală de așchiere

$$F_y = C_F \cdot v_{tp}^{0,7} \cdot f_a^{0,7} \cdot a_{ef}^{0,6} \quad [\text{daN}]$$

$$C_F = 2,2 \text{ - pentru oțel călit}$$

deci

$$\text{- pentru degroșare } F_{yd} = 2,2 \cdot v_{fpd}^{0,7} \cdot f_{ad}^{0,7} \cdot a_{ed}^{0,6}$$

$$\text{- pentru finisare } F_{yf} = 2,2 \cdot v_{fpf}^{0,7} \cdot f_{af}^{0,7} \cdot a_{ef}^{0,6}$$

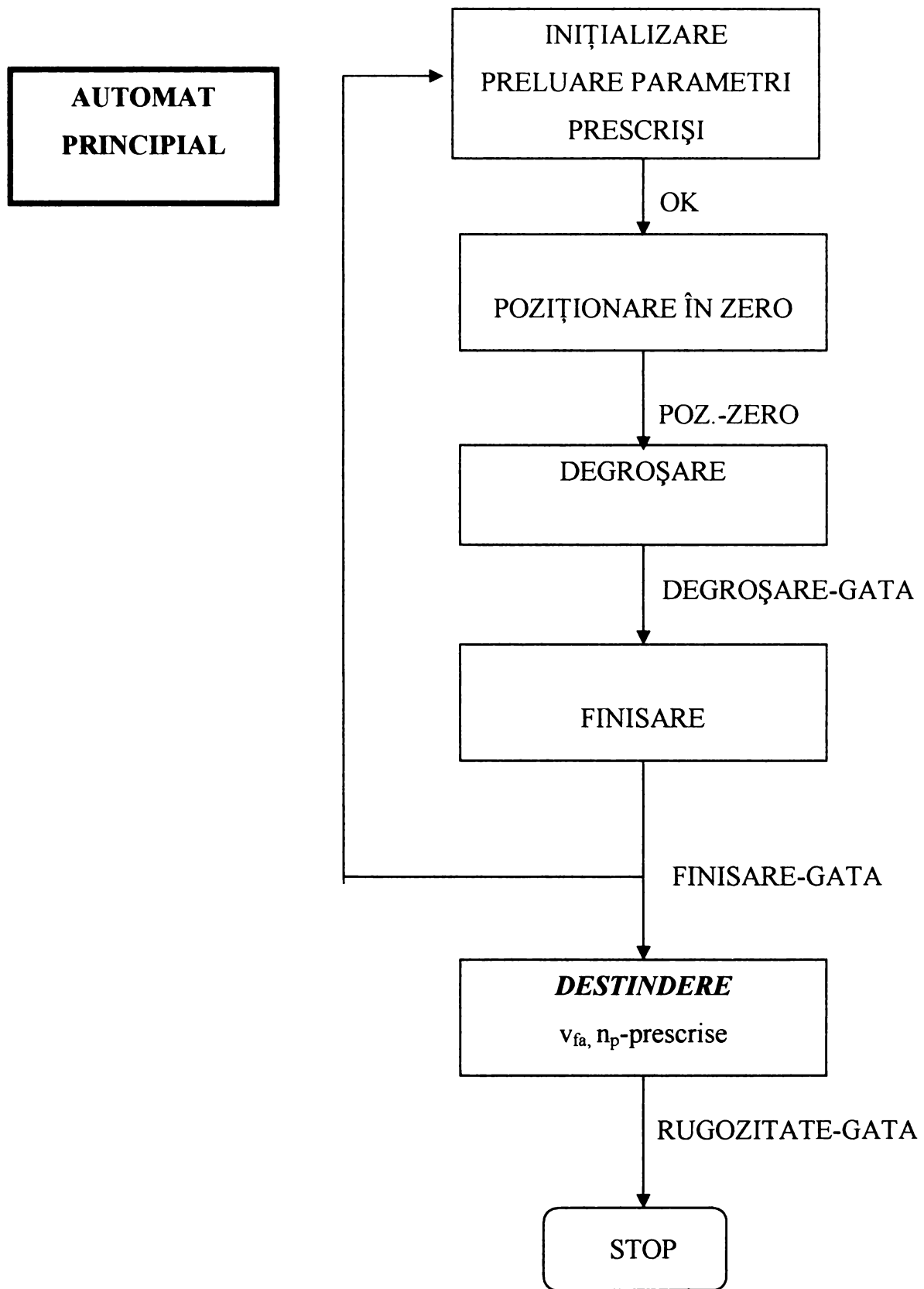
- forța de referință maximă

$$\frac{F_x}{F_y} = 1...3 \Rightarrow F_{x\max} \cong 1,5 \cdot F_y \Rightarrow F_{xd\max}; F_{xf\max} \text{ deci vom avea o forță}$$

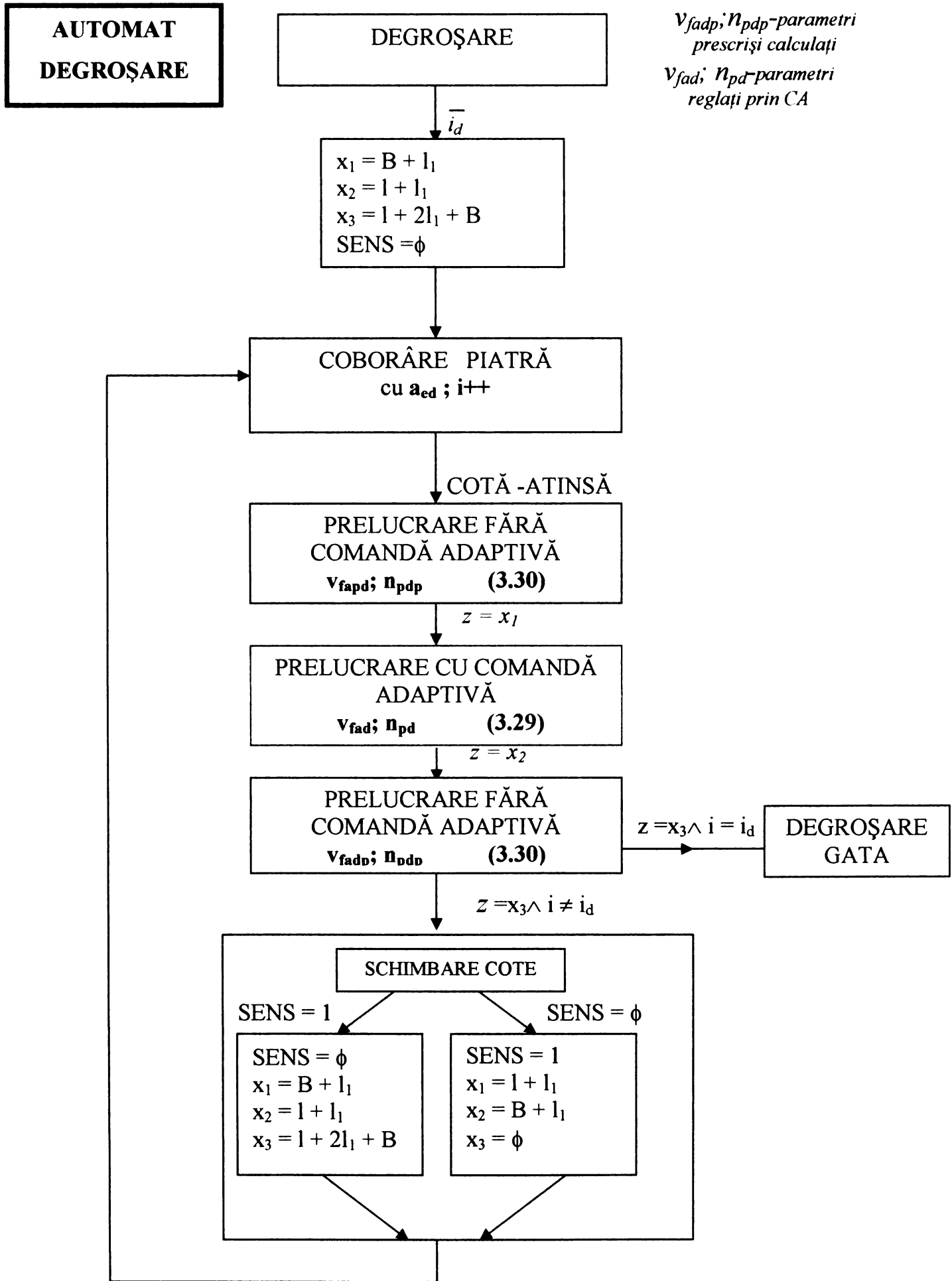
radială pentru faza degroșării și una pentru faza finisării.

Schema bloc secvențială a automatului de conducere a procesului este prezentată în figura 3.9. În figura 3.9. a se prezintă schema principială a întregului automat în figura 3.9.b, schema pentru degroșare iar în 3.9.c, schema pentru finisare.

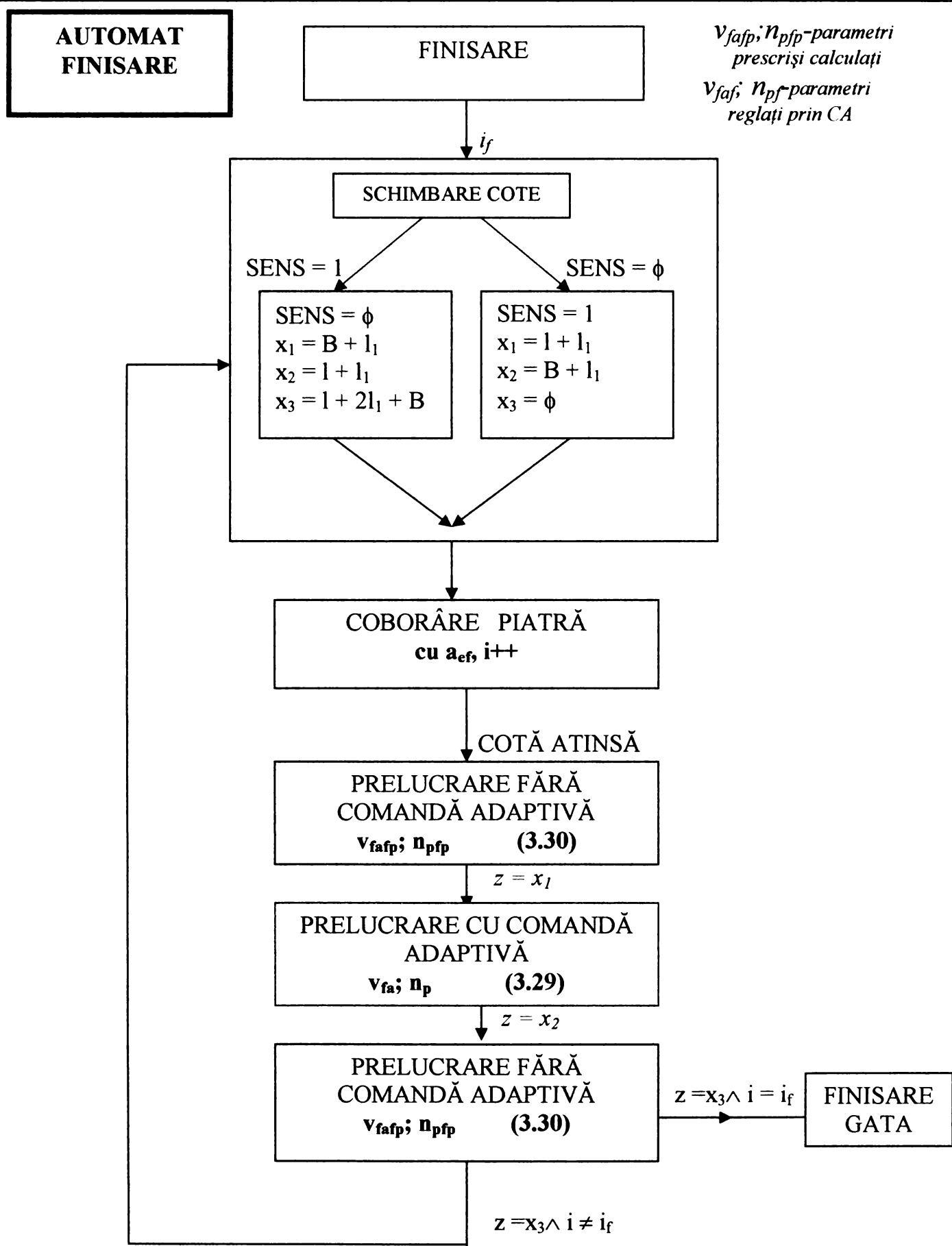




*a. Automat principal*



*b. Automat degroșare*



*c. Automat finisare*

**Fig. 3.9. Comandă adaptivă cu parametri reglați  $v_{fa}$  și  $n_p$  conform algoritmului prezentat în relațiile (3.30), opțiunea II,  $O_5 = f(N,R)$ , Algoritmul I (A I)**

### 3.2.3. Compensarea deformațiilor STE în faza de finisare utilizând microdeplasările arborelui portsculă ( MT )

După cum am arătat în capitolul I, mașina unealtă RE-350 CA a fost echipată cu un sistem de deplasare a arborelui portsculă în lagărul hidrostatic al său, reușindu-se deplasarea micrometrică în timpul prelucrării, în condițiile de rigiditate sporită a sistemului. Prin aceste microdeplasări se încearcă să se mențină constantă deformația  $x_{STE}$  și implicit dimensiunea obiectului de prelucrat. Conform [51] se impune deplasarea radială a arborelui portsculă pentru a se compensa deformațiile elastice ale sistemului și abaterile geometrice ale mașinii pe direcție radială. Lucrarea [51], face un studiu amănunțit privind influența impreciziilor geometrice ale mașinii unelte asupra prelucrării și modul în care acestea pot fi compensate cu ajutorul microdeplasărilor arborelui port-piatră.

În continuare vom considera doar deformațiile elastice, considerând impreciziile geometrice ca fiind sistematice și deci posibil de eliminat prin reglaje. Deci, se poate arăta că forța se poate exprima cu o formulă de forma:

$$F_y = C_F \cdot v_{tp}^{0,7} \cdot f_a^{0,7} \cdot (a_e + x_{STE})^{0,6} \quad (3.31)$$

Pentru fiecare valoare măsurată efectiv a forței radiale  $F_{x_{real}}$  ținând cont că

$$\frac{F_x}{F_y} = 1...3 \quad (F_x \cong 1,5F_y)$$
 rezultă că se poate calcula valoarea deformației

sistemului fie rezolvând ecuația (3.31), fie utilizând relația (3.32)

$$x_{STE} = F_{x_{real}} \left[ \left(1 - \frac{z}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{J_{PO}} + \left(\frac{z}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{J_{PM}} + \frac{z^2(L-z)^2}{3E \cdot I \cdot L} + \frac{1}{J_{PR}} + \frac{1}{J_{AP}} + \frac{1}{J_{SP}} \right] \quad (3.32)$$

Dacă la algoritmul de optimizare prezentat în varianta I, subcapitolul 3.2.2, în faza de finisare vom introduce în funcțiune sistemul de microdeplasări a AP,

vom obține o compensare directă a deformației STE, nemaifiind necesară aplicarea algoritmilor variantei mai sus amintite ca metodă de bază ci doar ca o metodă compensativă, în acest caz urmând ca după deplasarea suplimentară a arborelui portsculă cu  $x_{STE}$ , să se treacă la variația corespunzătoare a  $v_{fa}$  respectiv  $n_p$ . În figura 3.10 se prezintă o schemă logică de comandă a procesului de prelucrare în care în faza de finisare se întrerupe algoritmul din faza de degroșare, se păstrează valorile vitezei de avans longitudinal  $v_{fa}$  și a turației piesei  $n_p$  la valorile optime calculate și se modifică valorile deplasării radiale a arborelui portsculă cu  $x_{STE}$  care depinde de forța măsurată și poziția sculei față de originea deplasării.

În figura 3.11 se prezintă o altă variantă a schemei logice, în care în faza de finisare se consideră algoritmul variantei I (variația  $v_{fa}$  și  $n_p$ ) cu microdeplasarea arborelui principal AP cu  $x_{STE}$ , suprapuse ca efect.

### **3.2.4. Studiu privind funcționarea comenzii adaptive la cap de cursă**

După cum se poate observa dintr-un studiu atent al schemelor secvențiale prezentate în figurile 3.9, 3.10, 3.11, se impune o precizare clară a zonei în care acționează algoritmul comenzii adaptive. Din studiile făcute până acum, reiese clar că la capete de cursă componenta radială a forței va scădea semnificativ tinzând spre 0 la ieșirea sculei din așchiere. Ținând cont de faptul că variația forței radiale (pasive) este elementul de comandă a întregului ciclu de optimizare pe care îl conduce comanda adaptivă, rezultă că la capete de cursă nu există suportul susținerii funcționării comenzii adaptive. După cum reiese și din figurile 3.12, 3.13, considerând aceeași origine a mișcării O ca în figura 3.8, se impune să precizăm clar domeniul de variație al cotei  $z$  în care funcționează algoritmul comenzii adaptive și zonele în care se lucrează cu valorile prescrise prin calcule (3.30) a parametrilor reglați  $v_{fa}$  și  $n_p$ .

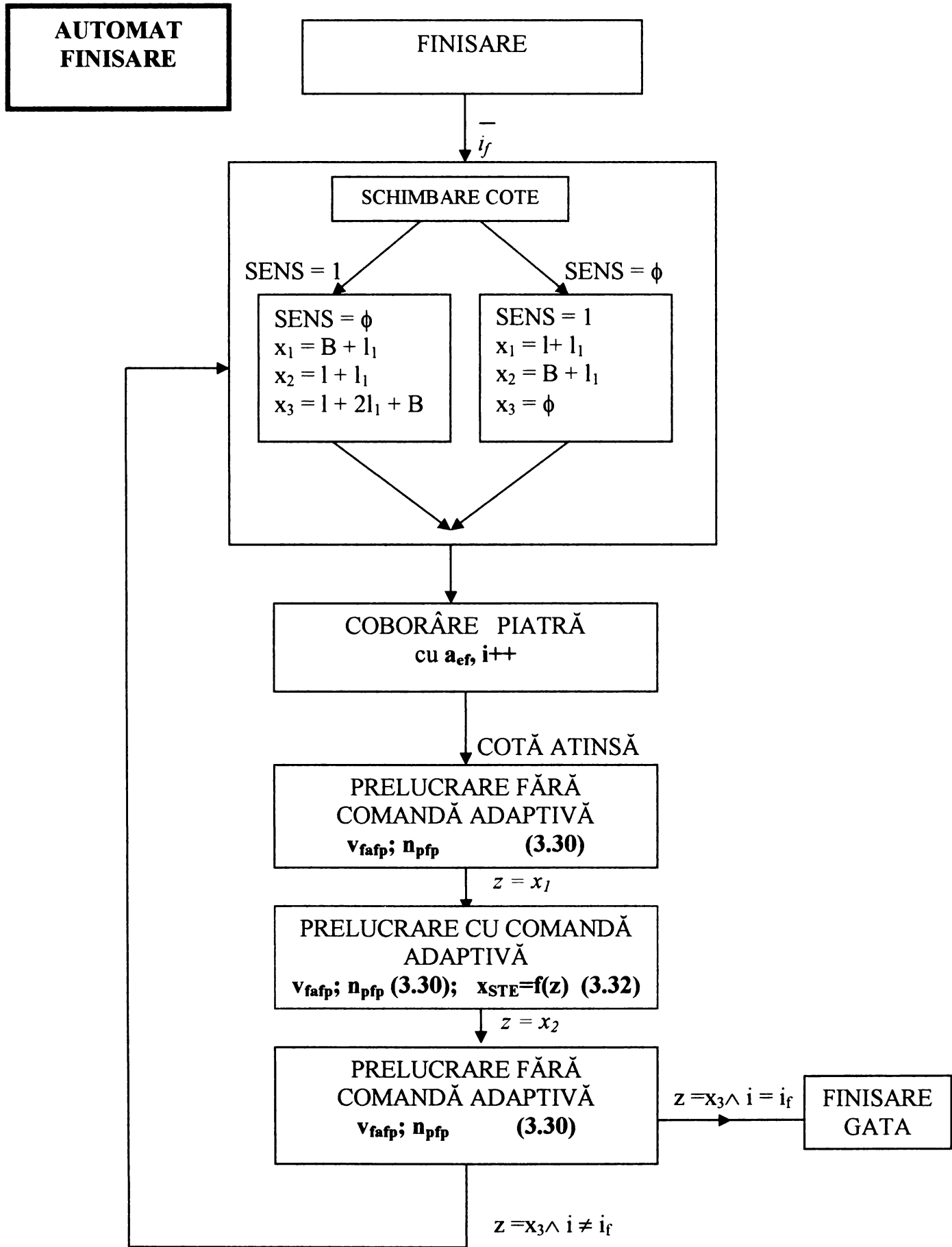


Fig. 3.10 Comandă adaptivă cu microdeplasări transversale a arborelui principal (port-piatră)

$x_{STE}$  (3.32)

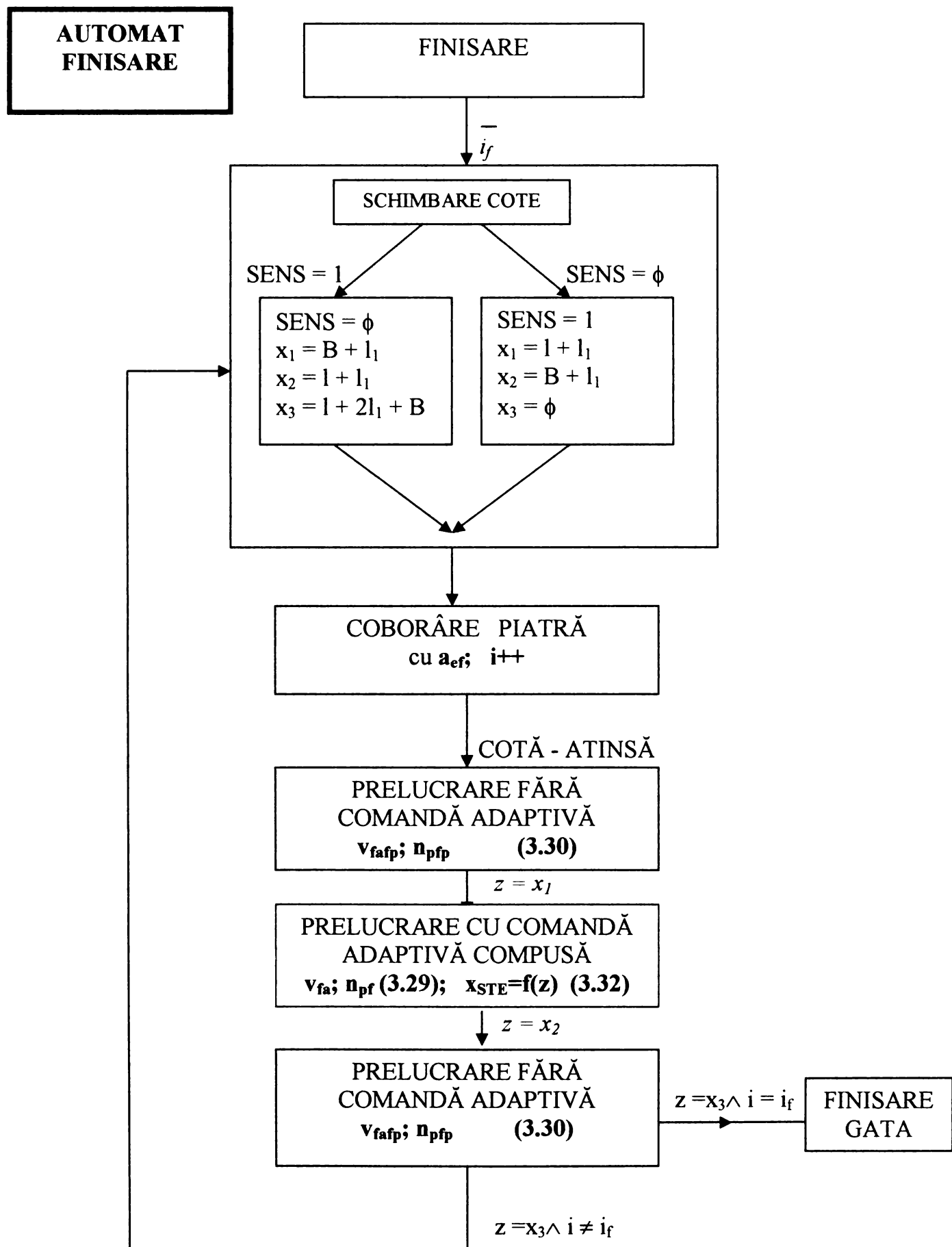
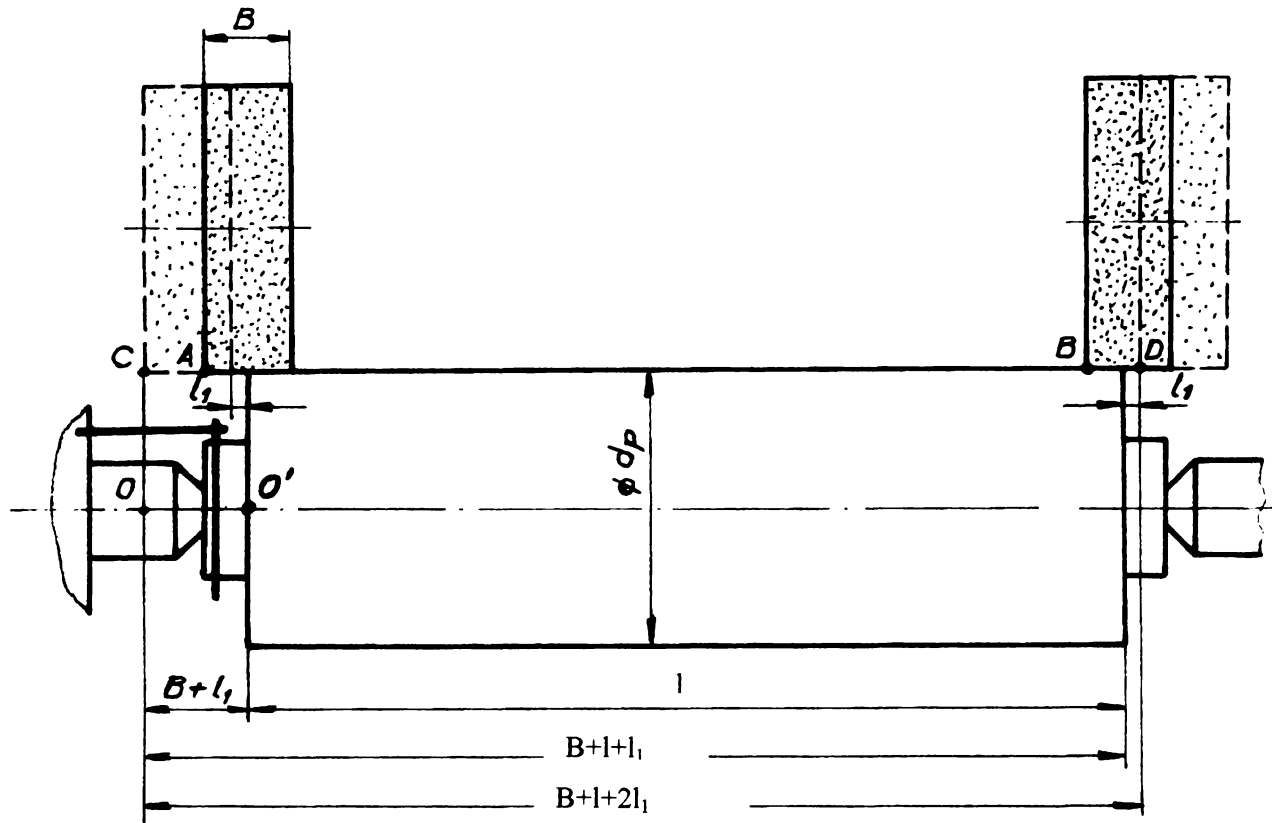
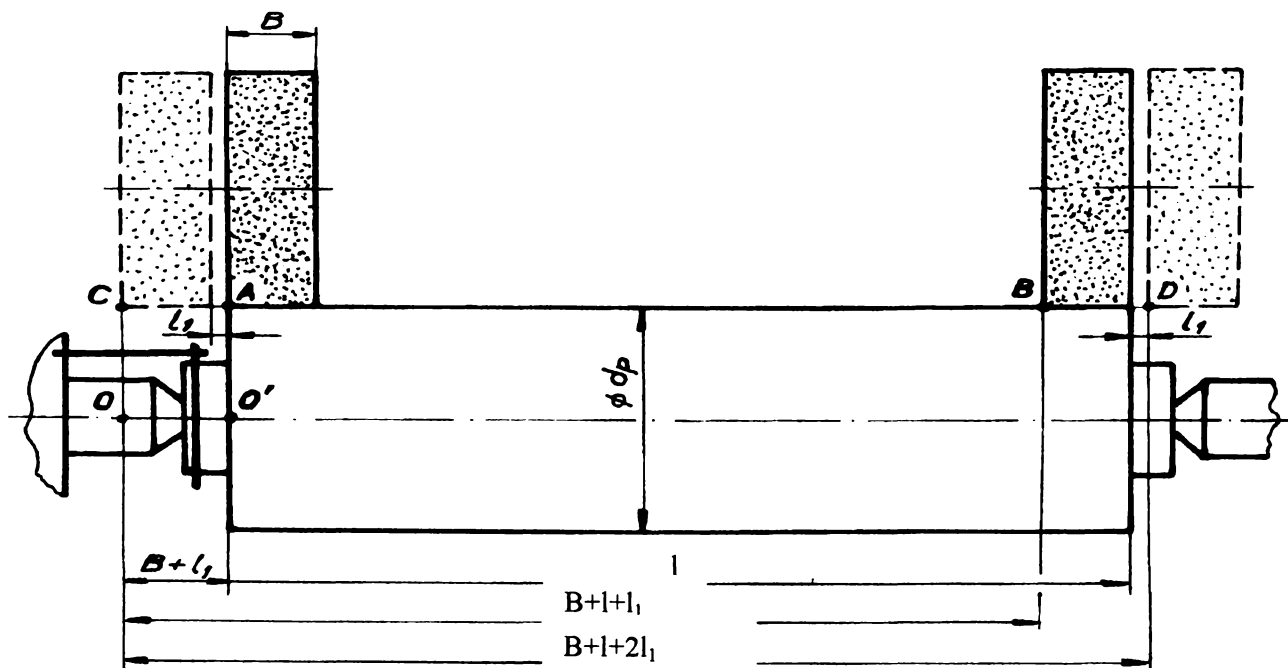


Fig. 3.11 Comandă adaptivă cu parametrii reglați  $v_{fa}$  și  $n_p$  conform (3.29) A I și microdeplasării transversale  $x_{STE}$  (3.32)



*Fig. 3.12 Opțiunea I*



*Fig. 3.13 Opțiunea II*



**Opțiunea I** (fig. 3.12) - se poate considera ca zonă în care **lucrează comanda adaptivă, zona AB**, adică zona până în care scula lucrează cu jumătate din suprafața activă, între CA și BD fiind cuplate valorile prescrise inițial prin relațiile (3.30).

**Opțiunea II** (fig. 3.13) - **comanda adaptivă** să acționeze în **zona AB**, deci zona în care scula prelucrează cu întreaga suprafață activă, iar între CA și BD să fie cuplate valorile prescrise inițial prin relațiile (3.30).

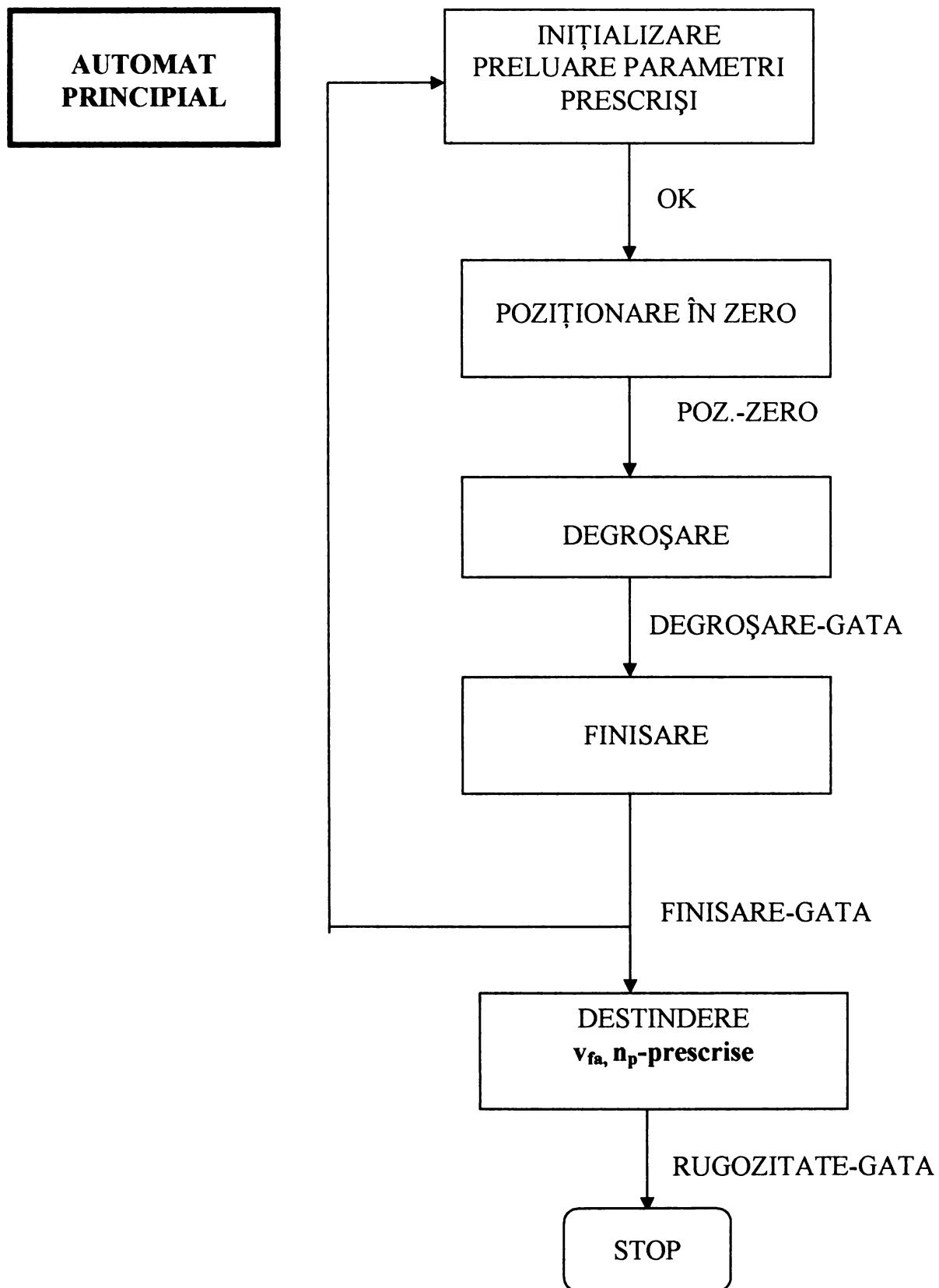
**Opțiunea III** - prelucrarea să se desfășoare cu o cursă a mesei longitudinale între punctele AB fie în varianta din figura 3.12 (**Opțiunea III B**), fie conform figurii 3.13 (**Opțiunea III A**), dar în acest caz la sfârșitul cursei să aibă loc avansul transversal cu valoarea adâncimii de așchiere  $a_e = f_r$ , deci să avem o pătrundere în plin și apoi să se reia ciclul de prelucrare cu avans longitudinal (fără prelucrare "în aer").

În consecință, avem o combinație între rectificarea exterioară cilindrică transversală (de pătrundere) și rectificarea exterioară cilindrică cu avans longitudinal.

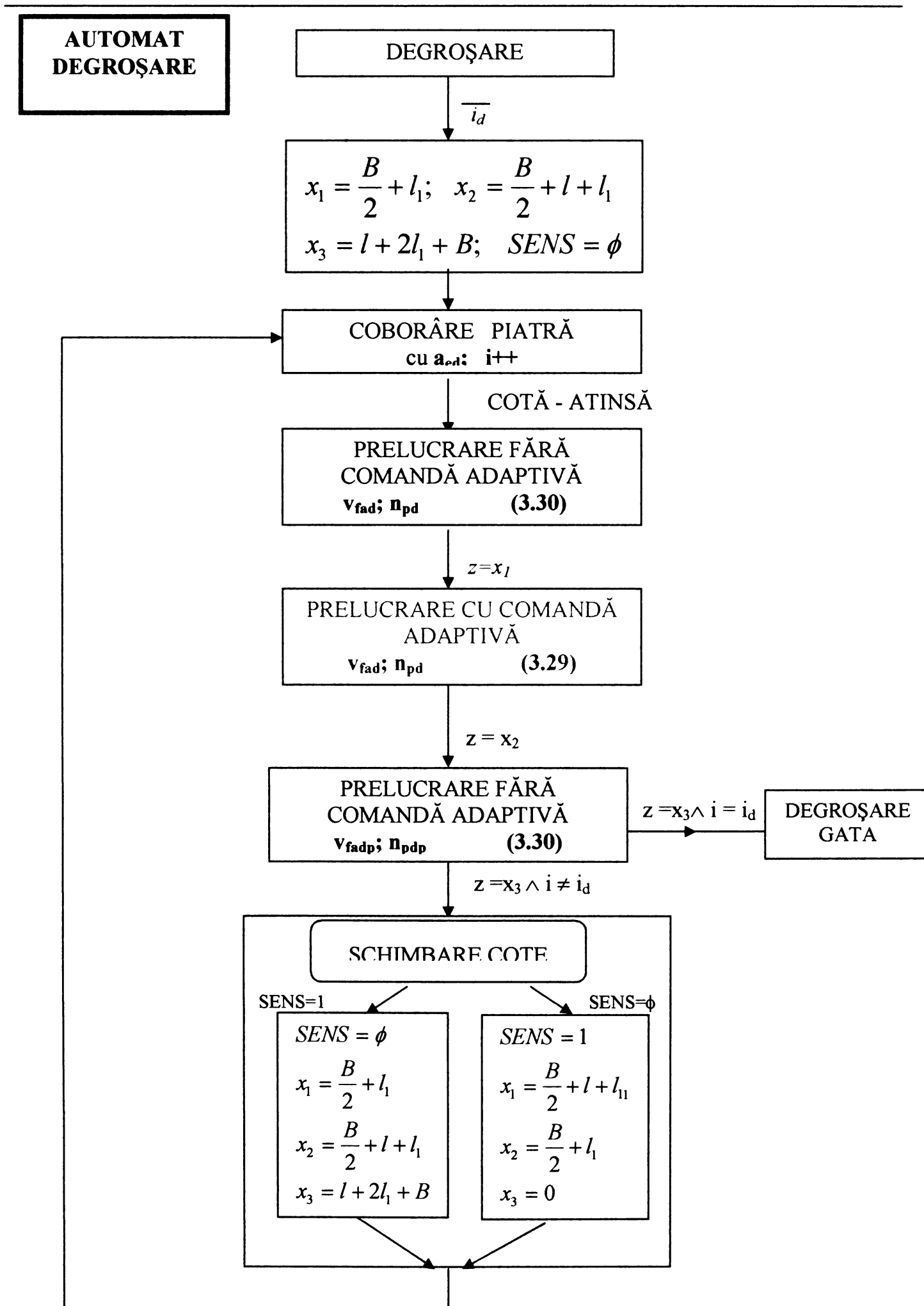
În acest caz prin faptul că nu mai avem perioadele de așchiere la capăt de cursă (CA și BD), există premisele creșterii semnificative a productivității muncii, deoarece vom avea o "prelucrare în plin" coordonată mereu de comanda adaptivă în condițiile stabilite pentru atingerea obiectivelor primare - **productivitatea** respectiv **precizia**.

Schemele prezentate în figurile 3.9, 3.10 și 3.11 sunt valabile pentru opțiunea II corespunzătoare situației prezentată în figurile 3.8 respectiv 3.13.

Pentru opțiunea I schemele secvențiale 3.9 vor deveni conform figurii 3.14. Schemele prezentate în fig. 3.10 și 3.11 se vor transforma modificând cotele între care au loc diferitele tipuri de prelucrări cu sau fără comandă adaptivă.



*a. Automat principal*



*b. Automat degroșare.*

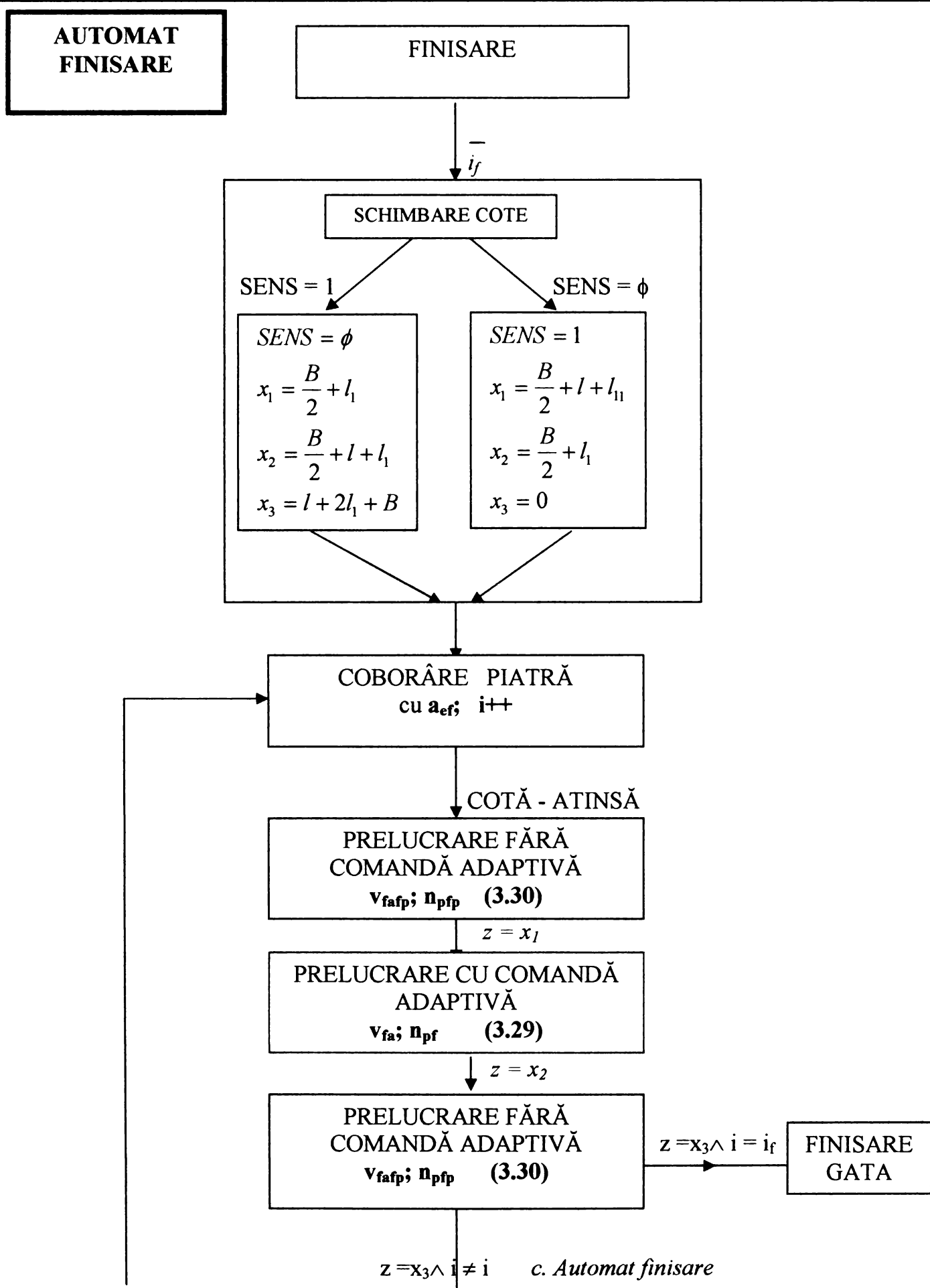
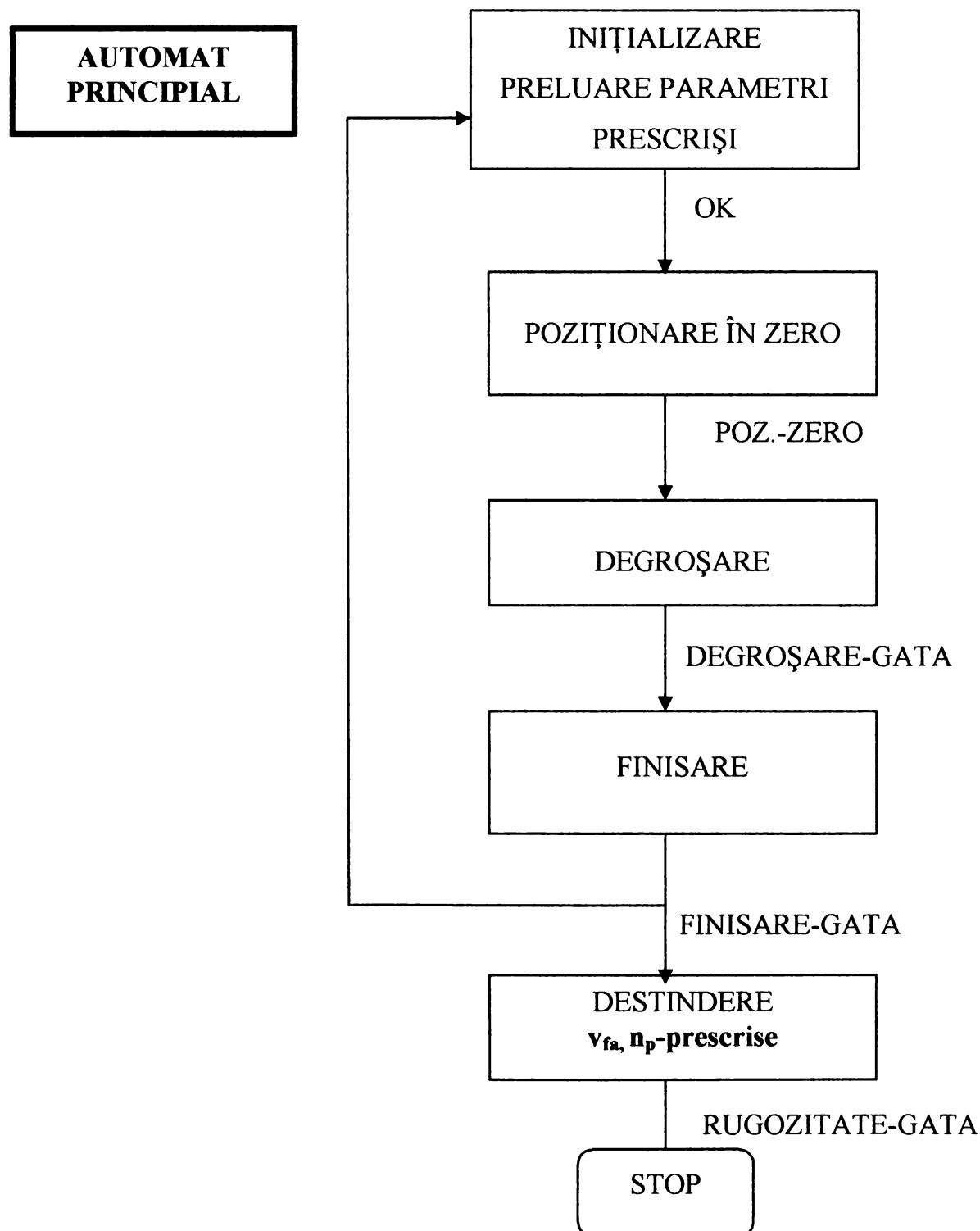


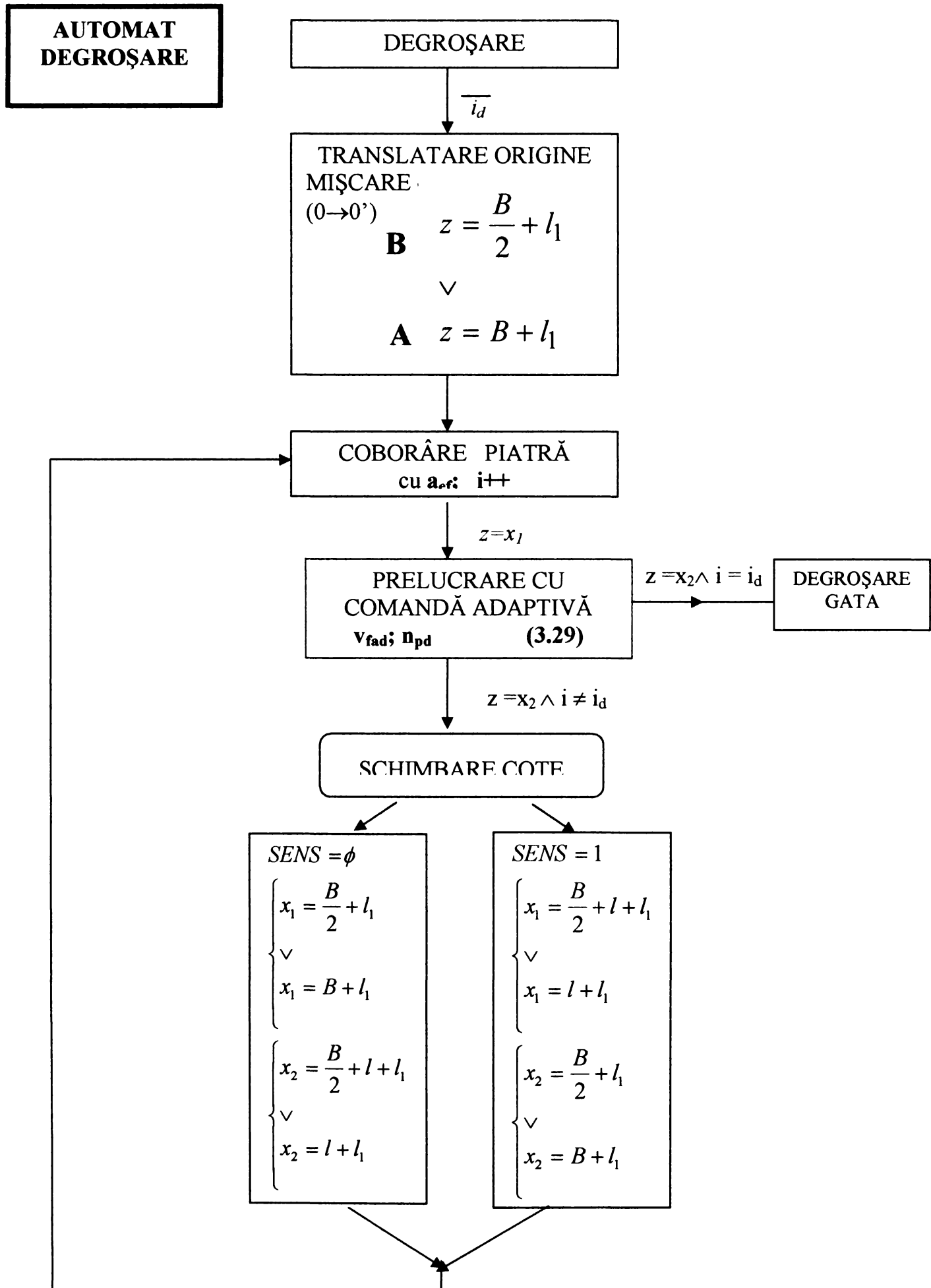
Fig. 3.14 Schema secvențială a algoritmului prelucrării cu comandă adaptivă pentru opțiunea I,  $O_5 = f(N,R)$ , A I

În figura 3.15 se prezintă schema secvențială bloc în cazul opțiunii III. De remarcat că în cazul acestei opțiuni nu vom mai avea zonă de prelucrare fără comandă adaptivă. Vom avea două situații prezentate în figura 3.12 (piatra iese cu jumătate de lățime de pe piatră III B) și în figura (3.13) (piatra nu iese din contact integral cu piesa III A).

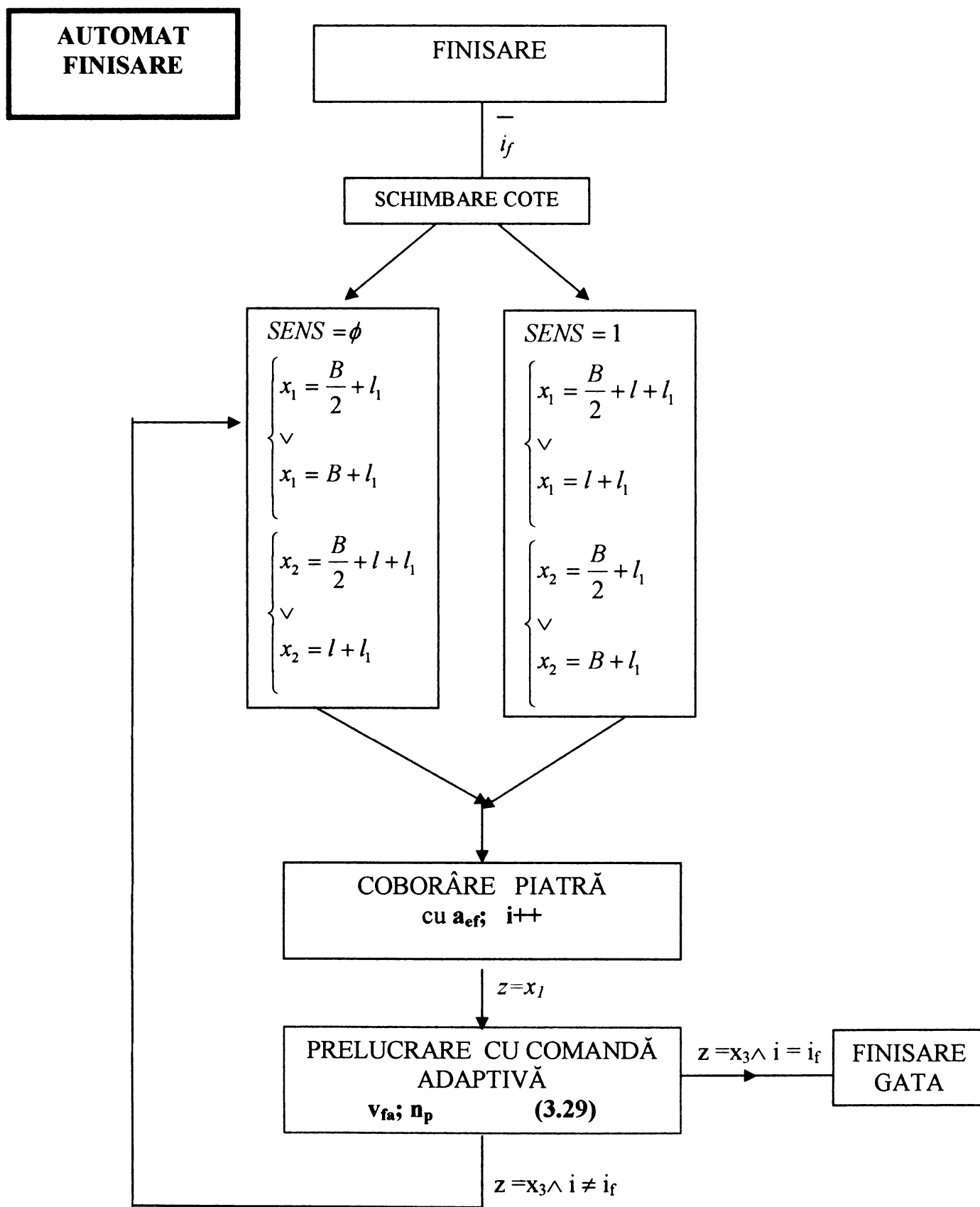
În figura 3.15, la explicitarea cotelor se vor prezenta cotele  $z$  în cele două variante.



a. Automat principal



**b. Automat degroșare**



*c. Automat finisare*

**Fig. 3.15** Schema secvențială a comenzii adaptive pentru opțiunea III;  $O_5 = f(N, R)$ , A I

De remarcat că schemele prezentate în figurile 3.14 și 3.15 pot fi adaptate pentru variantele de comenzi adaptive prezentate schematic în figurile 3.10 și 3.11,

(cu microdeplasări ale arborelui port-piatră în faza de finisare), în acest caz modificându-se doar valorile parametrilor reglați de comanda adaptivă, comparativ cu schema din figura 3.9 (care stă la baza schemelor din fig. 3.10 și 3.11 3.14 și 3.15).

### **3.2.5 Criteriul de optimizare al prelucrării pe mașina RE-350**

**CA, urmărindu-se obținerea unui cost minim. Algoritm II ( A II )**

*Din sintezele unor studii ca [53], [30], [3], [65], [43], [48] prin aplicarea unor algoritmi adaptați comenzii adaptive care echipează mașina RE-350, precum și prin adaptarea la posibilitățile tehnologice ale acesteia, se poate propune un criteriu de optimizare care să aibă ca obiectiv, pe lângă asigurarea productivității și a preciziei, atingerea unui cost minim.*

*Pentru a se putea prezenta algoritmul propus este necesară studierea succesivă a unor elemente ale procesului de prelucrare.*

#### **A. Studiul privind desfășurarea procesului de prelucrare propriu-zisă**

*În figura 3.16 se propune o schematizare a procesului de prelucrare. Se observă că avem o fază de tensionare (degroșare și finisare) în care la fiecare cap de cursă are loc un avans transversal  $f_r = a_e$  și o fază de detensionare în care are loc detensionarea sistemului tehnologic elastic. După cum am mai arătat, în mod normal, faza de destindere este fără avans transversal și are rolul de a asigura precizia finală dimensională, de formă cât și cea legată de calitatea suprafeței. Pentru creșterea productivității, s-a mai arătat că prin introducerea comenzii adaptive, se scurtează substanțial durata fazei de destindere, nemaifiind nevoie să fie înlăturate abaterile de formă, durata fiind determinată eventual de necesitatea obținerii rugozității prescrise.*



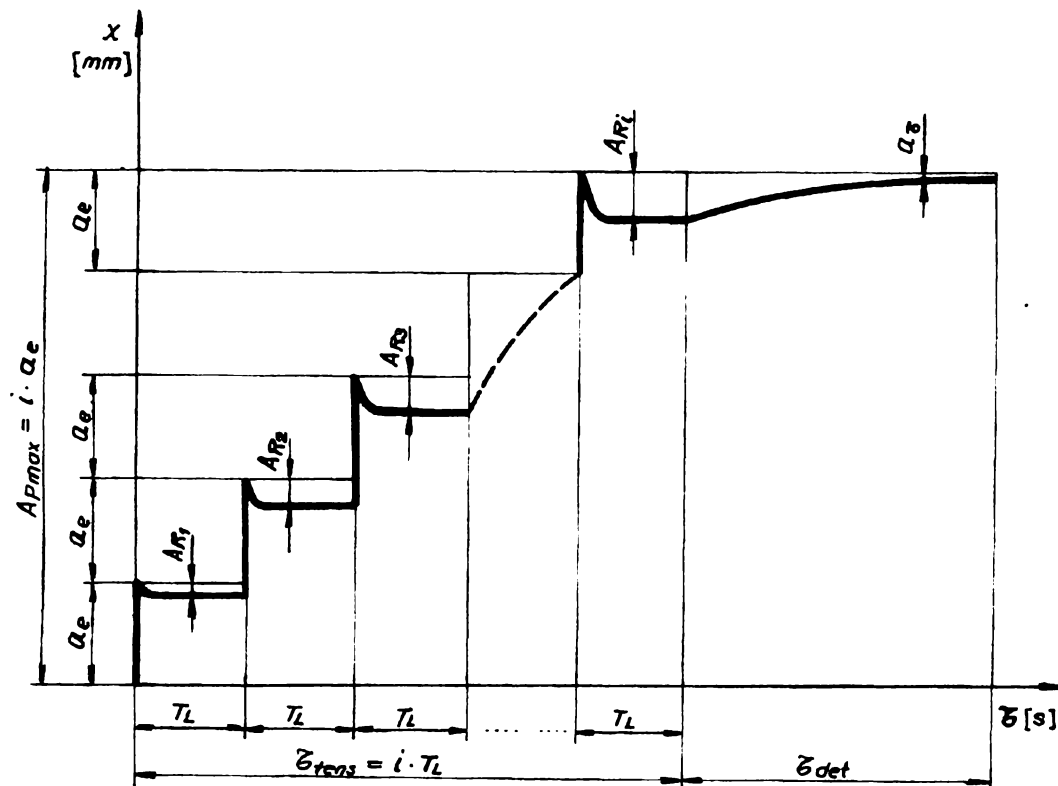


Fig. 3.16 Schematizare a procesului de rectificare

Unde:

$A_{pmax}$  - adaos maxim de prelucrat

$A_R$  - adaos rezidual datorită deformației STE

$a_e$  - adâncimea de așchiere

$i$  - numărul de treceri

$T_L$  - durata cursei longitudinale a mesei

$\tau_{tens}$  - durata de tensionare (pentru fazele de degroșare și finisare)

$\tau_{det}$  - durata de detensionare

$a_\tau$  - adaos rezidual rămas după faza de detensionare

Conform [30] și [53] legea de destindere după care lucrează STE este de forma:

$$x_n = x_{n-1} \cdot e^{-\lambda \cdot T_L} \quad (3.35)$$

$$\lambda = \frac{f_r \cdot j_{STE}}{F_x} \quad (3.36)$$

unde:

$j_{STE}$  - rigiditatea STE

$F_x$  - componenta radială a forței de așchiere

$f_r = a_e$  - adâncimea de așchiere

Prin dezvoltarea matematică în serie putem scrie valorile adaosurilor reziduale:

$$\begin{aligned} A_{R_1} &= a_e \cdot e^{-\lambda \cdot T_L} \\ A_{R_2} &= a_e \cdot e^{-\lambda \cdot 2 \cdot T_L} + a_e \cdot e^{-\lambda \cdot T_L} \end{aligned} \quad (3.37)$$

$$A_{R_i} = a_e \cdot e^{-\lambda \cdot i \cdot T_L} + a_e \cdot e^{-\lambda(i-1)T_L} + \dots + a_e \cdot e^{-\lambda \cdot T_L}$$

$$A_{R_i} = a_e \left[ e^{-\lambda \cdot i \cdot T_L} + e^{-\lambda(i-1)T_L} + \dots + e^{-\lambda \cdot T_L} \right] \quad (3.38)$$

Conform formulei de aproximare pătratică care este o consecință a formulei lui Taylor vom opera în continuare pentru a găsi valoarea aproximativă a expresiei din paranteză:

$$f(T_L) = e^{-\lambda \cdot i \cdot T_L} + e^{-\lambda(i-1) \cdot T_L} + \dots + e^{-\lambda \cdot T_L}$$

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2}(x - x_0)^2$$

pentru  $x = T_L$ ;  $x_0 = 0$  avem:

$$f_1(T_L) = e^{-\lambda \cdot i \cdot T_L}$$

$$f_1'(T_L) = -\lambda \cdot i \cdot e^{-\lambda \cdot i \cdot T_L}$$

$$f_1''(T_L) = \lambda^2 \cdot i^2 \cdot e^{-\lambda \cdot i \cdot T_L}$$

$$f_1(T_L) = f_1(0) + \frac{T_L}{1!} f_1'(0) + \frac{T_L^2}{2!} f_1''(0) = 1 + \frac{T_L}{1!} (-\lambda \cdot i) + \frac{T_L^2}{2!} (\lambda^2 \cdot i^2) = 1 - \lambda \cdot i \cdot \frac{T_L}{1!} + \lambda^2 \cdot i^2 \cdot \frac{T_L^2}{2!} \quad (3.39)$$

$$f_2(T_L) = e^{-\lambda(i-1) \cdot T_L}$$

$$f_2'(T_L) = -\lambda \cdot (i-1) \cdot e^{-\lambda(i-1) \cdot T_L}$$

$$f_2''(T_L) = -\lambda^2 \cdot (i-1)^2 \cdot e^{-\lambda(i-1) \cdot T_L}$$

$$f_2(T_L) = 1 - \lambda(i-1) \frac{T_L}{1!} + \lambda^2(i-1)^2 \cdot \frac{T_L^2}{2!} \quad (3.40)$$

$$f_3(T_L) = e^{-\lambda(i-2) \cdot T_L} = 1 - \lambda(i-2) \frac{T_L}{1!} + \lambda^2(i-2)^2 \cdot \frac{T_L^2}{2!} \quad (3.41)$$

·  
·  
·

$$f_i(T_L) = e^{-\lambda \cdot T_L} = 1 - \lambda \frac{T_L}{1!} + \lambda^2 \frac{T_L^2}{2!} \quad (3.42)$$

Prin însumare se obține:

$$\begin{aligned} f(T_L) &= i - \frac{T_L}{1!} \cdot \lambda \cdot [i + (i-1) + (i-2) + \dots + 1] + \frac{T_L^2}{2!} \cdot \lambda^2 \cdot [2 + (i-1)^2 + (i-2)^2 + \dots + 1] \\ &= i - \frac{T_L \cdot i(i+1)\lambda}{2} + \frac{T_L^2 \cdot i(i+1)(2i+1)\lambda^2}{12} \end{aligned} \quad (3.43)$$

Deci relația (3.38) devine:

$$A_{R_i} = T_L^2 \cdot \frac{a_e \cdot i(i+1)(2i+1)\lambda^2}{12} - T_L \cdot \frac{a_e \cdot i(i+1)\lambda}{2} + i \cdot a_e \quad (3.44)$$

Expresia adaosului rezidual final poate fi aproximat cu o relație de forma:

$$A_{R_i} = a \cdot T_L^2 + b \cdot T_L + c \quad (3.45)$$

unde:

$$a = \frac{a_e}{12} \cdot i \cdot (i+1)(2i+1) \cdot \lambda^2$$

$$b = -\frac{a_e}{2} \cdot i \cdot (i+1) \cdot \lambda$$

$$c = a_e \cdot i$$

În figurile 3.17 și 3.18 se reprezintă grafic variația adaosului rezidual  $A_{R_i}$  funcție de durata cursei longitudinale, pentru valori diferite ale parametrului  $a_e$  (adâncime de așchiere) respectiv  $\lambda$  (3.36).

Adaosul rezidual minim se obține conform (3.46)

$$A_{R_i \min} = \frac{3 \cdot i \cdot a_e \cdot (5i+1)}{2i+1} \quad (3.46)$$

care este corespunzător pentru o valoare a timpului cursei mesei longitudinale

$T_{LAR \min}$  conform (3.47)

$$T_{LAR \min} = \frac{3}{\lambda \cdot (2i+1)} \quad (3.47)$$

Conform figurii 3.16, timpul total necesar prelucrării este:

$$\tau = \tau_{tens} + \tau_{det} \quad (3.48)$$

La rândul său putem exprima timpul necesar tensionării  $\tau_{tens}$  ca fiind:

$$\tau_{tens} = i \cdot T_L \quad (3.49)$$

Pentru a se putea exprima durata necesară detensionării, se consideră că după prelucrare rămâne un adaos rezidual  $a_\tau \neq 0$  (ceea ce se întâmplă de fapt în realitate), pentru că altfel matematic ar fi necesar în faza de detensionare un timp care tinde la infinit.

Considerând că avem nevoie de  $\theta$  treceri pentru faza de destindere, se poate scrie conform relației (3.35):

$$\frac{A_{Ri}}{a_\tau} = e^{-\lambda \cdot \theta \cdot T_L} \quad (3.50)$$

de unde rezultă:

$$\theta = \frac{1}{\lambda \cdot T_L} \ln \frac{A_{Ri}}{a_\tau} \quad (3.51)$$

Obs:

Semnul (-) își pierde semnul, tehnic  $\theta$  reprezentând o mărime pozitivă. Expresia finală a timpului necesar prelucrării va fi de forma:

$$\tau = T_L \cdot i + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{A_{Ri}}{a_\tau} \quad (3.52)$$

### **B. Studii privind structura costurilor prelucrării**

Costul unei prelucrări conform [43] poate fi exprimat ca însumarea unor cheltuieli cu: manopera, energia, pietrele de rectificat, amortizarea mașinii unelte, reascuțirea pietrei, lichidul de răcire ungere, amortizarea dispozitivelor, etc.

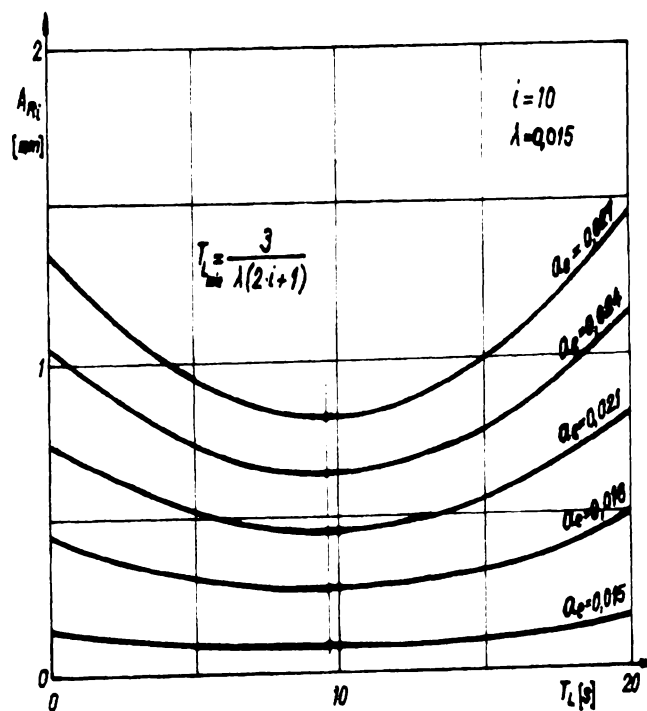


Fig. 3.17 Variația adaosului rezidual

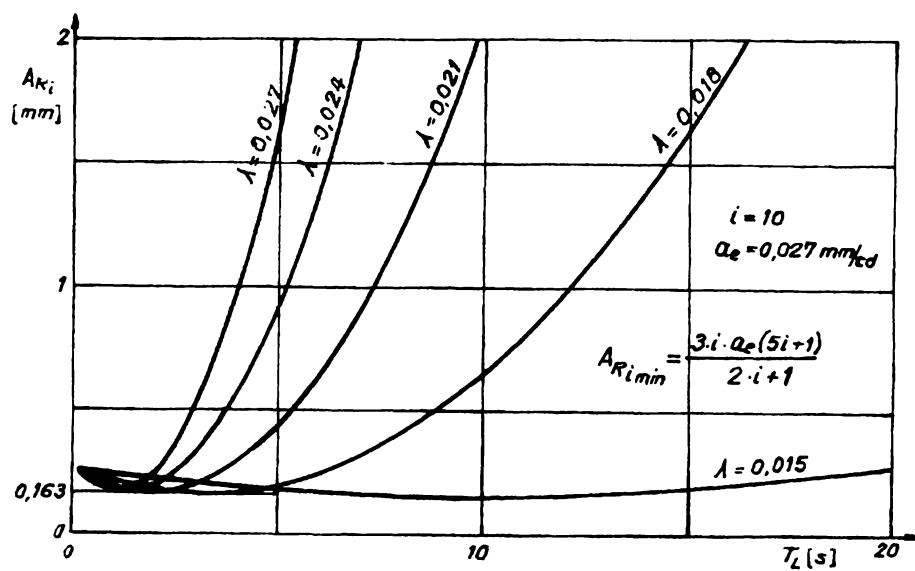


Fig. 3.18 Variația adaosului rezidual

**Costul manoperei**

$$C_{man} = (\tau + t_{on} + t_d + \sum t) \cdot s_m = s_m (\tau + t_{on} + t_d) + k_m \quad (3.53)$$

**Costul energiei**

$$C_e = (\tau + t_a) \cdot P_{MU} \cdot C_{uen} = \tau \cdot E_u + k_{en} \quad (3.54)$$

**Costul pietrei**

$$C_p = \tau \frac{V_p}{(j+1)T_{med}} = \tau \cdot C_{up} \quad (3.55)$$

**Costul reascuțirii pietrei**

$$C_{RP} = \tau \cdot \frac{C_r}{T_{med}} = \tau \cdot C_{u/r} \quad (3.56)$$

**Costul amortizării MU și D (dispozitivelor)**

$$C_{MU\&D} = (\tau + t_a) \cdot C_{uMU\&D} = \tau \cdot C_{uMU\&D} + K_{MU\&D} \quad (3.57)$$

**Costul lichidului de răcire ungere**

$$C_{LRU} = (\tau + t_a) \cdot C_{uLRU} = \tau \cdot C_{uLRU} + K_{LRU} \quad (3.58)$$

**Costul reascuțirii pe unitatea de timp de prelucrare de material**

$$C_{u/r} = \frac{1}{T_{med}} \left[ (C_{umr} + A_{muDr}) \cdot t_r + \frac{C_{msch}}{j} \right] \quad (3.59)$$

**Costul amortizării MU și D pe unitatea de timp**

$$C_{uMU\&D} = \sum_1^i \frac{C_{UL_i} + C_{inst} + C_{intreț} \cdot n_i}{n_i \cdot N_{ZL} \cdot n_s \cdot H_s \cdot 3600} \quad (3.60)$$

unde:

$\sum t$  - suma timpilor auxiliari  $t_a$  și de pregătire încheiere  $t_{pi}$

$s_m$  - salariul muncitorului [lei/s]

$C_{uen}$  - costul unității de energie pe unitatea de putere și unitate de timp [lei/kw·s]

$V_p$  - valoarea pietrei de rectificat

$j$  - numărul de reascuțiri ale pietrei

- $T_{med}$  - durabilitatea medie a pietrei de rectificat [s]  
 $t_r$  - durata reascuțirii [s]  
 $C_{umr}$  - costul manoperei de reascuțire [lei]  
 $A_{muDr}$  - costul amortizării dispozitivului de reascuțire [lei/s]  
 $C_{msch}$  - costul manoperei de schimbare a pietrei [lei]  
 $C_{uLRU}$  - costul lichidului de răcire ungere pe unitatea de timp de prelucrare [lei/s]  
 $i$  - unitatea de lucru (MU, D)  
 $C_{ULi}$  - costul unității de lucru [lei]  
 $C_{inst}$  - costul instalării unității de lucru [lei]  
 $C_{intret}$  - costul anual al întreținerii unității de lucru [lei]  
 $n_I$  - numărul de ani de exploatare a unității  
 $N_{ZL}$  - numărul de zile lucrătoare într-un an calendaristic  
 $n_S$  - numărul de schimburi pe zi  
 $H_S$  - numărul de ore pe schimb [ore]  
 $E_u$  - costul energiei pe unitate de timp de prelucrare

Prin neglijarea termenilor  $k$  din relațiile (3.53)...(3.60), aceștia nefiind dependenți de timpul de prelucrare, prin aproximarea costurilor pe unitatea de timp cu unitatea ca în relația (3.61), prin considerarea unui adaos rezidual  $a_\tau = 0,001$  mm și prin aproximarea din relația (3.62), se obține o relație a costului prelucrării (3.63) direct dependentă de  $T_L$  (durata unei curse longitudinale), parametrul  $\lambda$ , numărul de treceri  $i$ , adâncimea mesei de așchiere  $a_e$ . Această relație, deși obținută în urma unor aproximări, nu alterează sub nici o formă capacitatea de a studia influența asupra costului a unor parametri ca  $T_L$ ,  $\lambda$ ,  $i$  sau  $A_{R_i}$ .

$$s_m = E_u = C_{up} = C_{u/r} = C_{u_{MU\&D}} = C_{u_{LRU}} = 1 \quad (3.61)$$

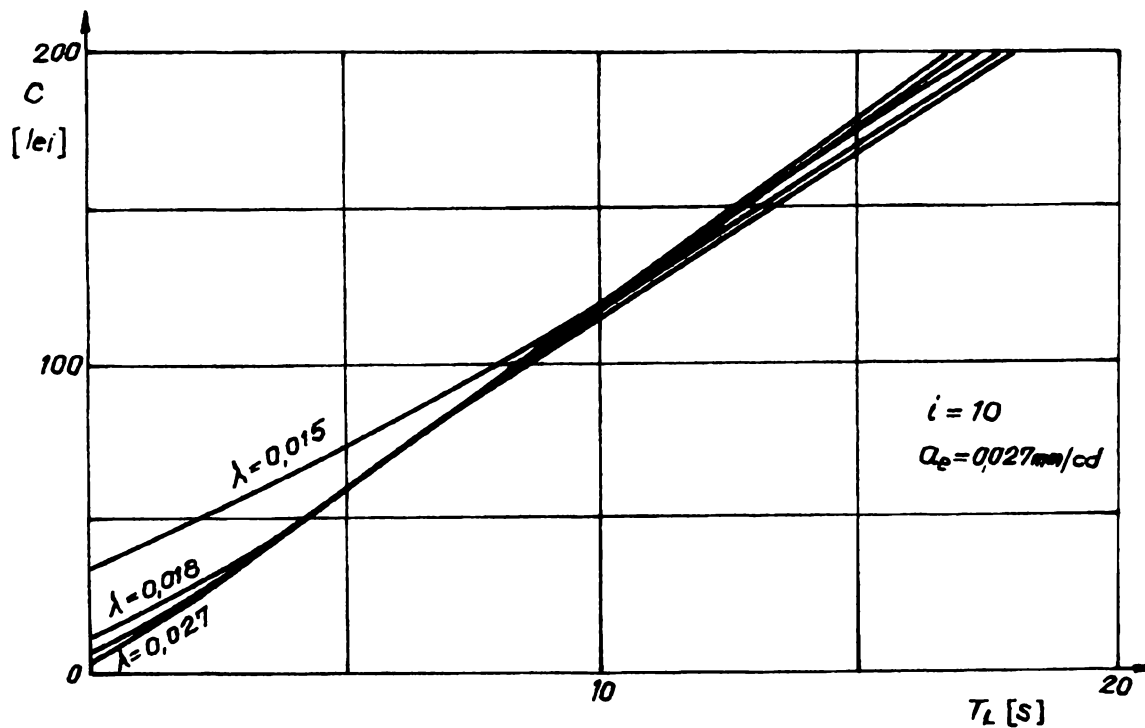
$$t_{on} + t_d = 0,04 \cdot \tau \quad (3.62)$$



$$C = 6,04 \left\{ T_L \cdot i + \frac{\ln \left[ T_L^2 \cdot \lambda^2 \cdot i(i+1)(2i+1) \cdot a_e - 6 \cdot T_L \cdot \lambda \cdot i(i+1) \cdot a_e + 12i \cdot a_e \right]}{\lambda} - \frac{4,42}{\lambda} \right\} \quad (3.63)$$

**C. Determinarea parametrilor procesului de așchiere  $v_{fa}$  și  $n_p$  optimi**

Analizând dependența  $C = f(T_L)$  prezentată în figura 3.19 se constată că funcția cost este strict crescătoare deci nu se poate aprecia deocamdată un optim.



**Fig. 3.19 Variația costului funcție de durata prelucrării**

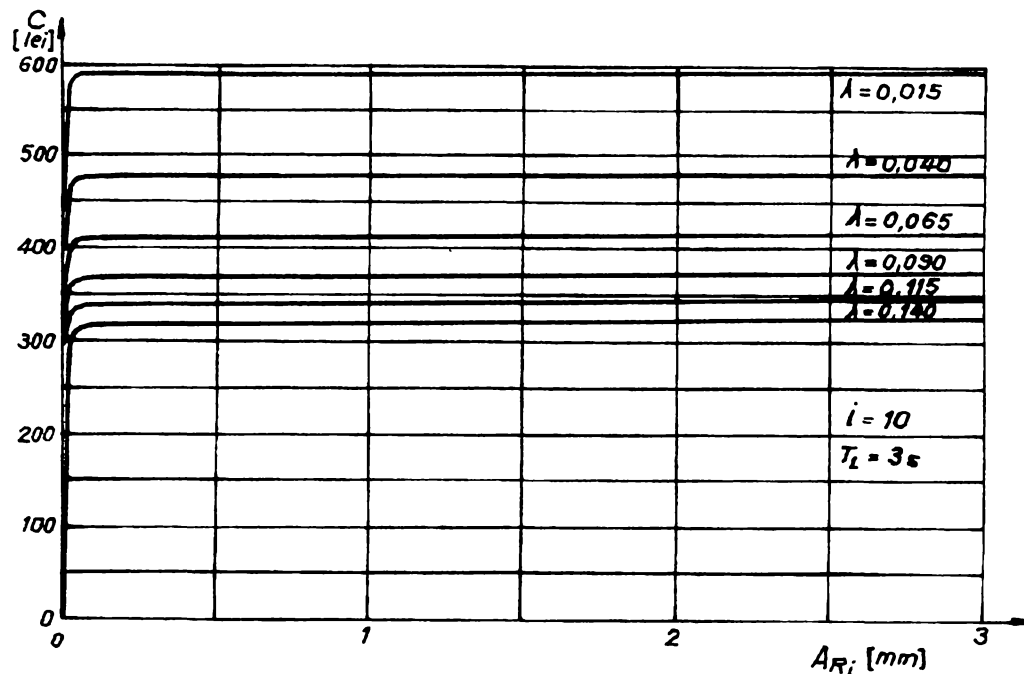


Fig. 3.20 Variația costului funcție de adaosul rezidual

Studiind dependența  $C = f(A_{R_i})$  se obține o variație ca în figura (3.20), constatându-se că funcția cost este la început puternic crescător ca apoi să tindă spre un palier aproximativ constant. Deci dacă atât pentru variația crescătoare a lui  $T_L$  respectiv  $A_{R_i}$  funcția cost  $C$  este strict crescătoare rezultă că un cost minim se obține pentru un timp  $T_L$  minim, deci obținut prin optimizarea adaosului de prelucrare, optimizare studiată în prezentul capitol.

Deci conform (3.48)

$$T_{L_{AR_{\min}}} = \frac{3}{\lambda(2i+1)} \cdot \frac{1}{60} \quad [\text{min}] \quad (3.64)$$

Dar

$$T_L = \frac{L}{v_{fa}} = L \cdot \left( \frac{K_1}{F_x} \right)^{\frac{1}{p}} \quad [\text{min}] \quad (3.65)$$

Unde:

$L$  - lungimea cursei mesei longitudinale

$v_{fa}$  - viteza de avans a mesei longitudinale

$K_{1,p}$  - coeficienți

$F_x$  - forța radială (forța pasivă)

Se observă că valoarea vitezei de avans a mesei longitudinale a fost utilizată cea conformă primului criteriu de optimizare în care se urmărește concomitent productivitatea și precizia. Deci în acest fel se va obține suprapunerea a trei cerințe de prelucrare: **productivitate, precizie și cost minim.**

$$F_{x_{opt}} = K_1 \left[ \frac{\lambda \cdot 60 \cdot (2i+1) \cdot L}{3} \right]^p = K_1 [20 \cdot \lambda(2i+1) \cdot L]^p \quad (3.66)$$

Calculul **parametrilor reglați de proces ( Algoritmul II – A II)** se va face astfel:

$$\begin{cases} v_{fa_{opt}} = k_2 20 \lambda \cdot (2i+1) \cdot L & [m/min] \\ n_{p_{opt}} = \frac{v_{fa_{opt}}}{\beta \cdot B} = \frac{k_2 20 \cdot \lambda(2i+1) \cdot L}{\beta \cdot B} & [rot/min] \end{cases} \quad (3.67)$$

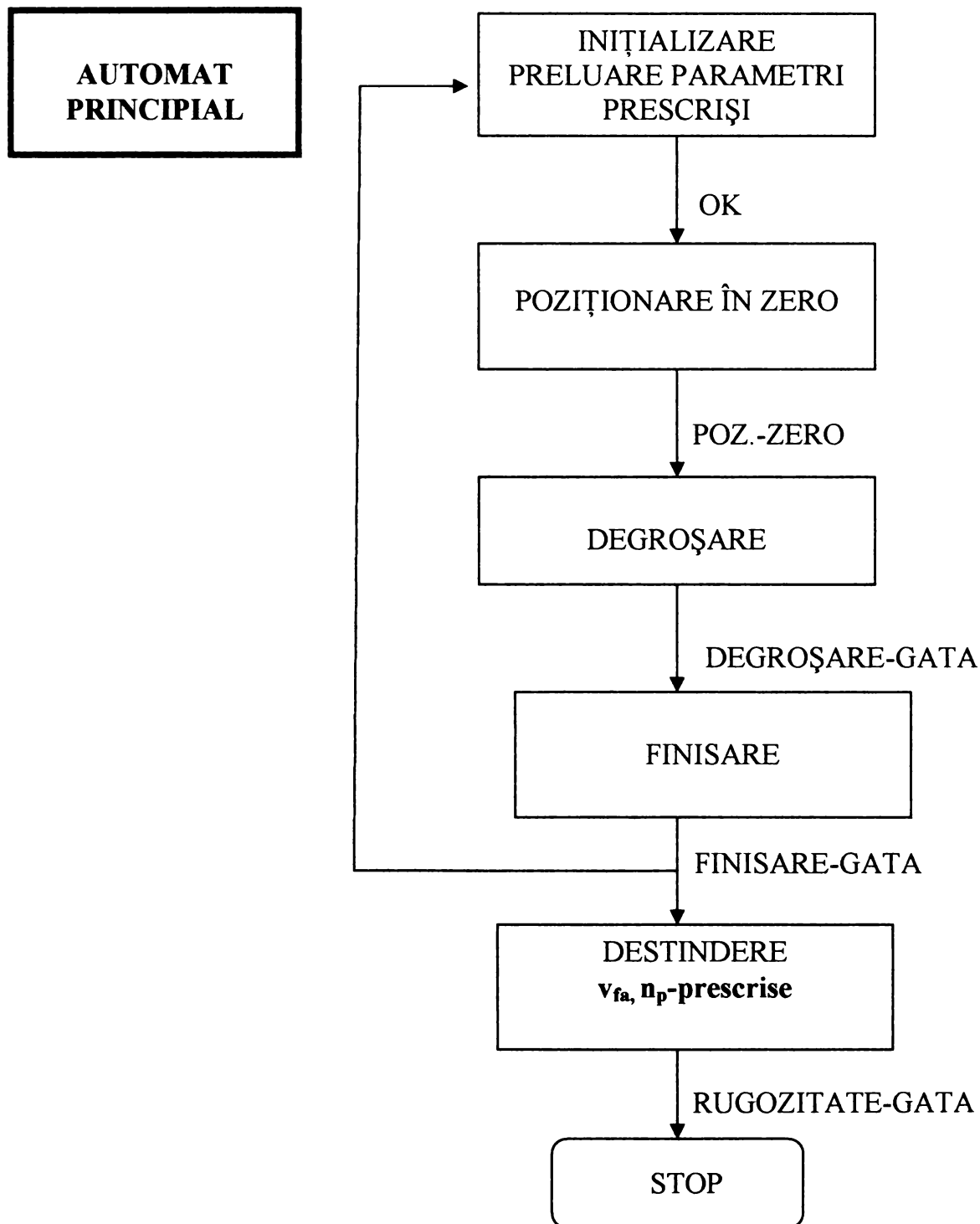
$$\lambda = \frac{a_e \cdot i_{STE}}{F_x} = \frac{a_e}{x_{STE}} \quad (3.68)$$

unde:

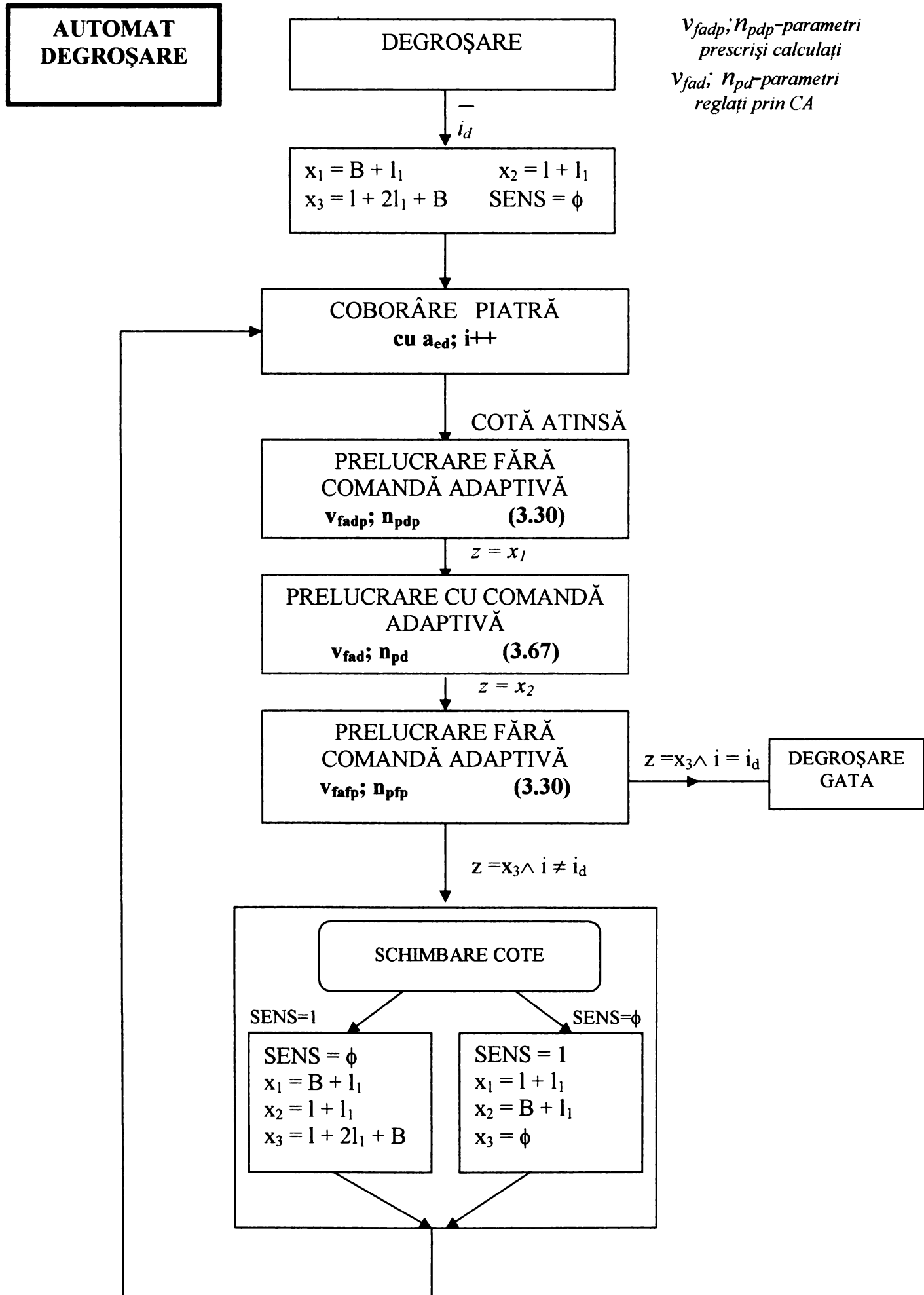
- $x_{STE}$  se poate exprima în funcție de poziția instantanee a pietrei (cota  $z$ ) și forța radială măsurată în STE (3.32).
- $k_2$  - coeficient de corecție

În contextul celor prezentate în acest paragraf corelat cu variantele de prelucrare prezentate în paragrafele anterioare se pot prezenta în continuare o serie de scheme secvențiale valabile pentru diferite moduri de prelucrare, dar în acest caz se urmărește **optimizarea prin atingerea a trei obiective simultan: productivitate, precizie, cost minim  $O_7$ .**

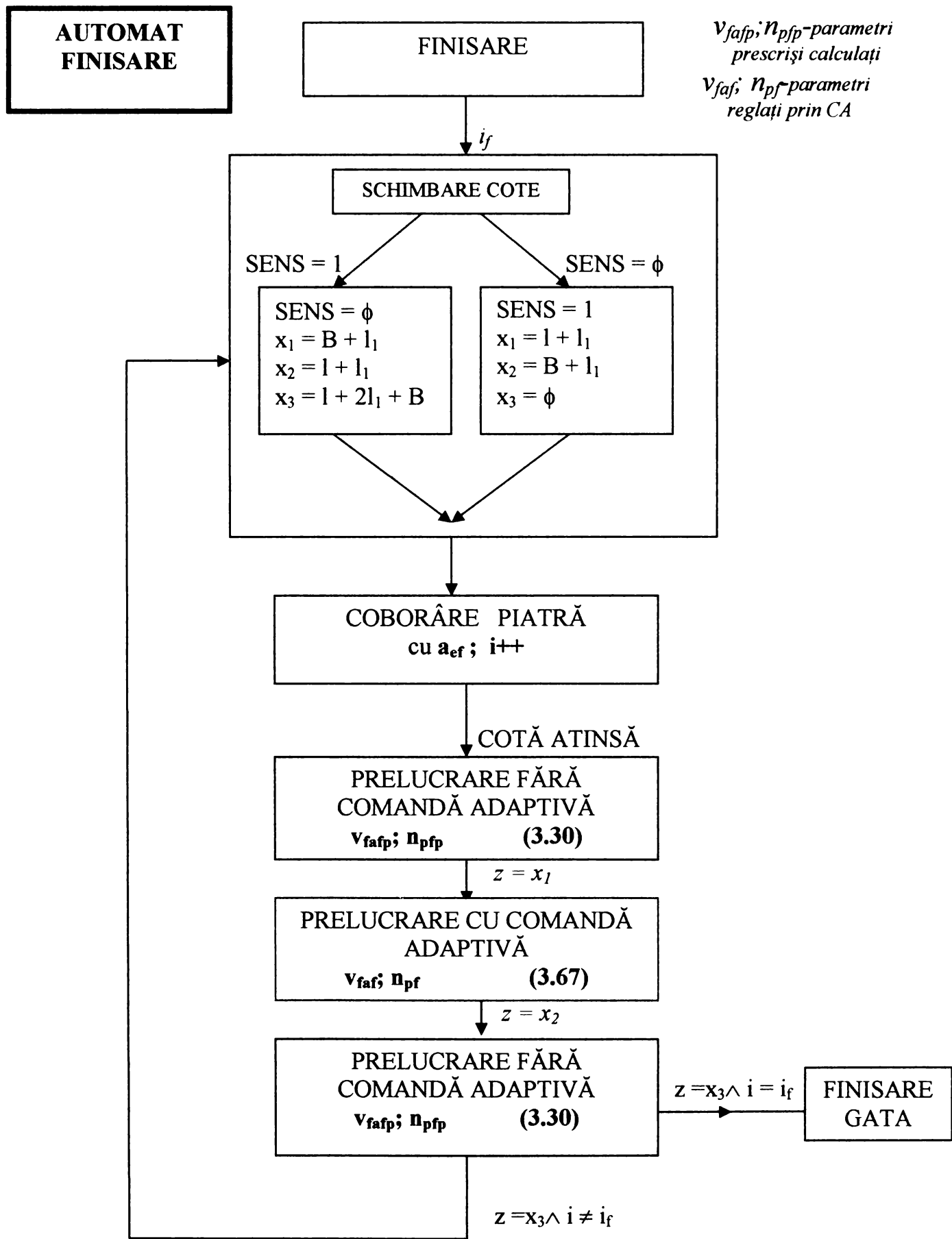
Astfel în figura 3.21 se prezintă schema secvențială a comenzii adaptive pentru cazul opțiunii II, în cazul în care criteriul de optimizare este cel al costului minim în condiții de **productivitate maximă și precizia cerută prin tema de proiectare ( $O_7$ )**. De remarcat că **singura deosebire este faptul că parametrii reglabili în timpul procesului de așchiere  $v_{fa}$  și  $n_p$  în acest caz nu se vor mai calcula conform relațiilor (3.29) ci conform relațiilor (3.67).**



*a. Automat principal O<sub>7</sub>*



*b. Automat degroșare O7*



c. Automat finisare  $O_7$

Fig. 3.21 Schema secvențială a comenzii adaptive (a,b,c) în cazul opțiunii II cu criteriul de optimizare  $O_7 = f(C,N,R)$ , Algoritmul II (A II)

*Schemele prezentate în figurile 3.10, 3.11, 3.14, 3.15, se transformă cu observația făcută mai înainte referitoare la modul de calcul a parametrilor reglabili  $v_{fa}$  și  $n_p$  (viteza de avans a mesei longitudinale, respectiv turația piesei relațiile 3.67 în loc de 3.29).*

### **3.2.6 Variante de prelucrare cu comandă adaptivă pe mașina de rectificat rotund exterior RE-350 CA**

*Deci, sintetizând cele prezentate în subcapitolele anterioare se pot obține o serie de variante tehnologice teoretic posibile de prelucrare pe mașina RE-350 echipată cu comandă adaptivă., pe care le vom prezenta mai jos în tabelul 3.2*

*Tabel 3.2*

| <b>Nr.<br/>Crt.</b> | <b>Variantă prelucrare</b>   | <b>Criteriul de<br/>optimizare</b>   | <b>Obs<br/>Se vor folosi<br/>relațiile</b> |
|---------------------|--|--|--|
| 1                   | <i>Comandă adaptivă, opțiunea I, cu <math>O_5</math> pentru degroșare și finisare</i>    | <i>A I, Opțiunea I<br/><math>O_5 = f(N, R)</math><br/><math>D+F</math></i>     | 3.29                                       |
| 2                   | <i>Comandă adaptivă, opțiunea II, cu <math>O_5</math> pentru degroșare și finisare</i>   | <i>A I, Opțiunea II<br/><math>O_5 = f(N, R)</math><br/><math>D+F</math></i>    | 3.29                                       |
| 3                   | <i>Comandă adaptivă, opțiunea IIIA, cu <math>O_5</math> pentru degroșare și finisare</i> | <i>A I, Opțiunea III A<br/><math>O_5 = f(N, R)</math><br/><math>D+F</math></i> | 3.29                                       |
| 4                   | <i>Comandă adaptivă, opțiunea IIIB, cu <math>O_5</math> pentru degroșare și finisare</i> | <i>A I, Opțiunea III B<br/><math>O_5 = f(N, R)</math><br/><math>D+F</math></i> | 3.29                                       |

|    |   |  |              |
|----|---|--|--------------|
| 5  | Comandă adaptivă, <b>opțiunea I</b> ,<br>cu $O_5$ pentru degroșare și<br><b>microdeplasări transversale</b><br>pentru finisare            | $A I$ , <b>Opțiunea I</b><br>$D \rightarrow O_5 = f(N, R)$<br>$F \rightarrow MT$               | 3.29<br>3.32 |
| 6  | Comandă adaptivă, <b>opțiunea II</b> ,<br>cu $O_5$ pentru degroșare și<br><b>microdeplasări transversale</b><br>pentru finisare           | $A I+MT$<br><b>Opțiunea II</b><br>$D \rightarrow O_5 = f(N, R)$<br>$F \rightarrow MT$          | 3.29<br>3.32 |
| 7  | Comandă adaptivă, <b>opțiunea IIIA</b> ,<br>cu $O_5$ pentru degroșare și<br><b>microdeplasări transversale</b><br>pentru finisare         | $A I+MT$<br><b>Opțiunea III A</b><br>$D \rightarrow O_5 = f(N, R)$<br>$F \rightarrow MT$       | 3.29<br>3.32 |
| 8  | Comandă adaptivă, <b>opțiunea IIIB</b> ,<br>cu $O_5$ pentru degroșare și<br><b>microdeplasări transversale</b><br>pentru finisare         | $A I+MT$<br><b>Opțiunea III B</b><br>$D \rightarrow O_5 = f(N, R)$<br>$F \rightarrow MT$       | 3.29<br>3.32 |
| 9  | Comandă adaptivă, <b>opțiunea I</b> ,<br>cu $O_5$ pentru degroșare și<br>$O_5$ + <b>microdeplasări transversale</b><br>pentru finisare    | $A I+MT$<br><b>Opțiunea I</b><br>$D \rightarrow O_5 = f(N, R)$<br>$F \rightarrow O_5 + MT$     | 3.29<br>3.32 |
| 10 | Comandă adaptivă, <b>opțiunea II</b> ,<br>cu $O_5$ pentru degroșare și<br>$O_5$ + <b>microdeplasări transversale</b><br>pentru finisare   | $A I+MT$<br><b>Opțiunea II</b><br>$D \rightarrow O_5 = f(N, R)$<br>$F \rightarrow O_5 + MT$    | 3.29<br>3.32 |
| 11 | Comandă adaptivă, <b>opțiunea IIIA</b> ,<br>cu $O_5$ pentru degroșare și<br>$O_5$ + <b>microdeplasări transversale</b><br>pentru finisare | $A I+MT$<br><b>Opțiunea III A</b><br>$D \rightarrow O_5 = f(N, R)$<br>$F \rightarrow O_5 + MT$ | 3.29<br>3.32 |



|    |  |  |              |
|----|--|--|--------------|
| 12 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>IIIB</b> , cu $O_5$ pentru degroșare și $O_5$ +microdeplasări transversale pentru finisare | $A I+MT$<br>Opțiunea III B<br>$D \rightarrow O_5 = f(N,R)$<br>$F \rightarrow O_5 + MT$ | 3.29<br>3.32 |
| 13 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>I</b> , cu $O_7$ pentru degroșare și finisare  | $A II$ , Opțiunea I<br>$O_7 = f(C,N,R)$<br>$D + F$                                     | 3.67         |
| 14 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>II</b> , cu $O_7$ pentru degroșare și finisare   | $A II$ , Opțiunea II<br>$O_7 = f(C,N,R)$<br>$D + F$                                    | 3.67         |
| 15 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>IIIA</b> , cu $O_7$ pentru degroșare și finisare   | $A II$ , Opțiunea III A<br>$O_7 = f(C,N,R)$<br>$D + F$                                 | 3.67         |
| 16 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>IIIB</b> , cu $O_7$ pentru degroșare și finisare   | $A II$ , Opțiunea III B<br>$O_7 = f(C,N,R)$<br>$D + F$                                 | 3.67         |
| 17 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>I</b> , cu $O_7$ pentru degroșare și microdeplasări transversale pentru finisare           | $A II+MT$<br>Opțiunea I<br>$D \rightarrow O_7 = f(C,N,R)$<br>$F \rightarrow MT$        | 3.67<br>3.32 |
| 18 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>II</b> , cu $O_7$ pentru degroșare și microdeplasări transversale pentru finisare          | $A II+MT$<br>Opțiunea II<br>$D \rightarrow O_7 = f(C,N,R)$<br>$F \rightarrow MT$       | 3.67<br>3.32 |
| 19 | Comandă adaptivă, opțiunea <b>IIIA</b> , cu $O_7$ pentru degroșare și microdeplasări transversale pentru finisare        | $A II+MT$<br>Opțiunea III A<br>$D \rightarrow O_7 = f(C,N,R)$<br>$F \rightarrow MT$    | 3.67<br>3.32 |

|    |   |   |              |
|----|---|---|--------------|
| 20 | <i>Comandă adaptivă, opțiunea III B, cu <math>O_7</math> pentru degroșare și microdeplasări transversale pentru finisare</i>                  | <i>A II+MT</i><br><i>Opțiunea III B</i><br>$D \rightarrow O_7 = f(C, N, R)$<br>$F \rightarrow MT$       | 3.67<br>3.32 |
| 21 | <i>Comandă adaptivă, opțiunea I, cu <math>O_7</math> pentru degroșare și <math>O_7</math>+microdeplasări transversale pentru finisare</i>     | <i>A II+MT</i><br><i>Opțiunea I</i><br>$D \rightarrow O_7 = f(C, N, R)$<br>$F \rightarrow O_7 + MT$     | 3.67<br>3.32 |
| 22 | <i>Comandă adaptivă, opțiunea II, cu <math>O_7</math> pentru degroșare și <math>O_7</math>+microdeplasări transversale pentru finisare</i>    | <i>A II+MT</i><br><i>Opțiunea II</i><br>$D \rightarrow O_7 = f(C, N, R)$<br>$F \rightarrow O_7 + MT$    | 3.67<br>3.32 |
| 23 | <i>Comandă adaptivă, opțiunea III A, cu <math>O_7</math> pentru degroșare și <math>O_7</math>+microdeplasări transversale pentru finisare</i> | <i>A II+MT</i><br><i>Opțiunea III A</i><br>$D \rightarrow O_7 = f(C, N, R)$<br>$F \rightarrow O_7 + MT$ | 3.67<br>3.32 |
| 24 | <i>Comandă adaptivă, opțiunea III B, cu <math>O_7</math> pentru degroșare și <math>O_7</math>+microdeplasări transversale pentru finisare</i> | <i>A II+MT</i><br><i>Opțiunea III B</i><br>$D \rightarrow O_7 = f(C, N, R)$<br>$F \rightarrow O_7 + MT$ | 3.67<br>3.32 |

- Unde:
- CA – comandă adaptivă
  - $O_5, O_7$  – criterii de optimizare conform subcapitolului 3.1.1.
  - A I, A II – algoritmul I respectiv II
  - D - degroșare
  - F- finisare
  - MT – microdeplasări transversale ale arborelui port-piatră
  - C – cost
  - N – productivitate
  - R – precizie

*În capitolul V al prezentei lucrări se vor face studii experimentale pentru unele variante de prelucrare, urmând a se concluziona asupra oportunității utilizării unei variante anume în condițiile atingerii criteriilor de performanță stabilite conform criteriului de optimizare ales.*

### **3.2.7. Algoritmul comenzii adaptive propriu-zise**

*După cum s-a precizat în subcapitolele anterioare comanda adaptivă propriu-zisă va avea la bază două criterii de optimizare care pot fi combinate cu deplasarea transversală a arborelui port-piatră în faza de finisare, rezultând cele 24 variante de prelucrare prezentate în tabelul 3.2.*

*Cele două criterii de optimizare sunt:*

*a.  $O_5$  – criteriul de optimizare care asigură o productivitate ridicată în condițiile unei precizii corespunzătoare cerințelor tehnice cerute*

$$O_5 = f(N, R)$$

*În subcapitolul 3.2.2 s-a descris pe larg criteriul de optimizare, mărimea de referință fiind componentă radială a forței de așchiere  $F_x$  iar parametri reglați vor fi viteza de avans longitudinal  $v_{fa}$  și turația  $n_p$ . Exprimarea parametrilor reglabili se face conform relațiilor (3.29), reprezentând algoritmul I, pe care le reamintim aici:*

$$\begin{cases} v_{fa} = \left( \frac{F_x}{K_1} \right)^{\frac{1}{p}} \\ n_p = \frac{1}{\beta \cdot B} \left( \frac{F_x}{K_1} \right)^{\frac{1}{p}} \end{cases} \quad (3.29)$$

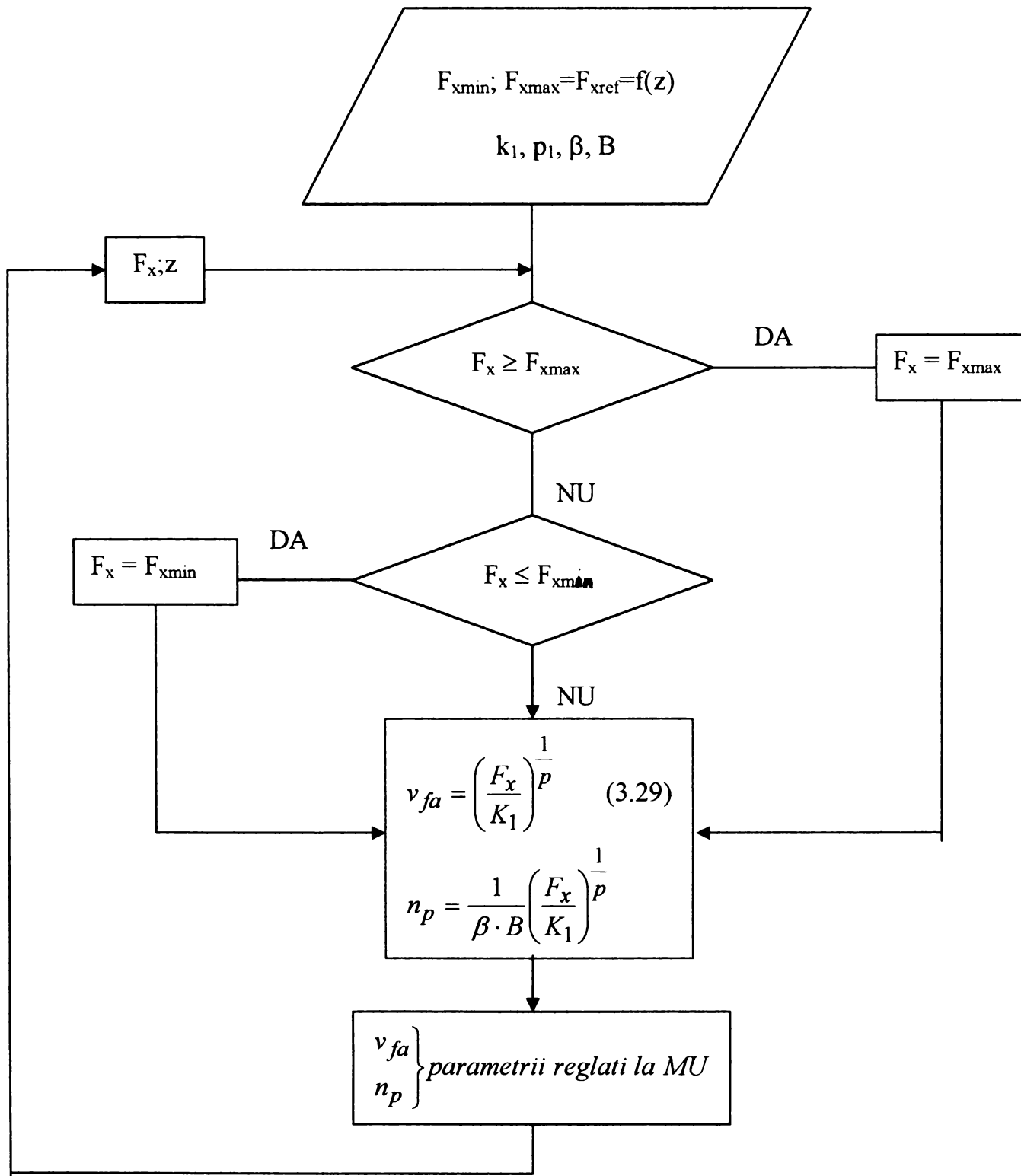


Fig. 3.22 Schema logică a comenzii adaptive pentru cazul aplicării criteriului  $O_5, A I$

Forța radială va putea varia în timpul procesului de așchiere între valorile limită  $F_{x \min}$  – forța care poate fi măsurată de traductori și  $F_{x \max} = F_{xref}$ ,  $F_{xref}$  – forța de referință..

*Schema logică a comenzii adaptive este prezentată în figura 3.22.*

***b.  $O_7$  – criteriul de optimizare care asigură costuri minime, productivitate ridicată și precizie corespunzătoare cerințelor tehnice cerute***

$$O_7 = f(C, N, R)$$

*Acest criteriu a fost descris în subcapitolul 3.2.5.*

*Mărimea de referință fiind tot componenta radială a forței de așchiere  $F_x$  iar viteza de avans longitudinal  $v_{fa}$  și turația piesei  $n_p$  fiind parametri reglați. Pentru calculul parametrilor reglați ai algoritmului II se vor folosi formulele 3.67, 3.68 și 3.32.*

$$\begin{cases} v_{fa_{opt}} = k_2 20 \lambda \cdot (2i + 1) \cdot L & [m/min] \\ n_{p_{opt}} = \frac{v_{fa_{opt}}}{\beta \cdot B} = \frac{20 \cdot \lambda (2i + 1) \cdot L}{\beta \cdot B} & [rot/min] \end{cases} \quad (3.67), (3.68)$$

$$\lambda = \frac{a_e}{x_{STE}}$$

$$x_{STE} = F_{x_{real}} \left[ \left(1 - \frac{z}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{J_{PO}} + \left(\frac{z}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{J_{PM}} + \frac{z^2 (L - z)^2}{3E \cdot I \cdot L} + \frac{1}{J_{PR}} + \frac{1}{J_{AP}} + \frac{1}{J_{SP}} \right] \quad (3.32)$$

*Schema logică în acest caz va fi conform figurii 3.23*

*De remarcat este faptul că schemele prezentate în figurile 3.22 și 3.23 sunt valabile atât pentru faza de degroșare cât și pentru faza de finisare.*

*Pentru cazurile în care, în faza de finisare pe lângă reglarea celor doi parametri se mai intervine cu microdeplasări ale arborelui port-piatră peste algoritmi I sau II sau în exclusivitate se reglează doar microdeplasările, cele două scheme vor deveni conform figurilor 3.24 respectiv 3.25.*

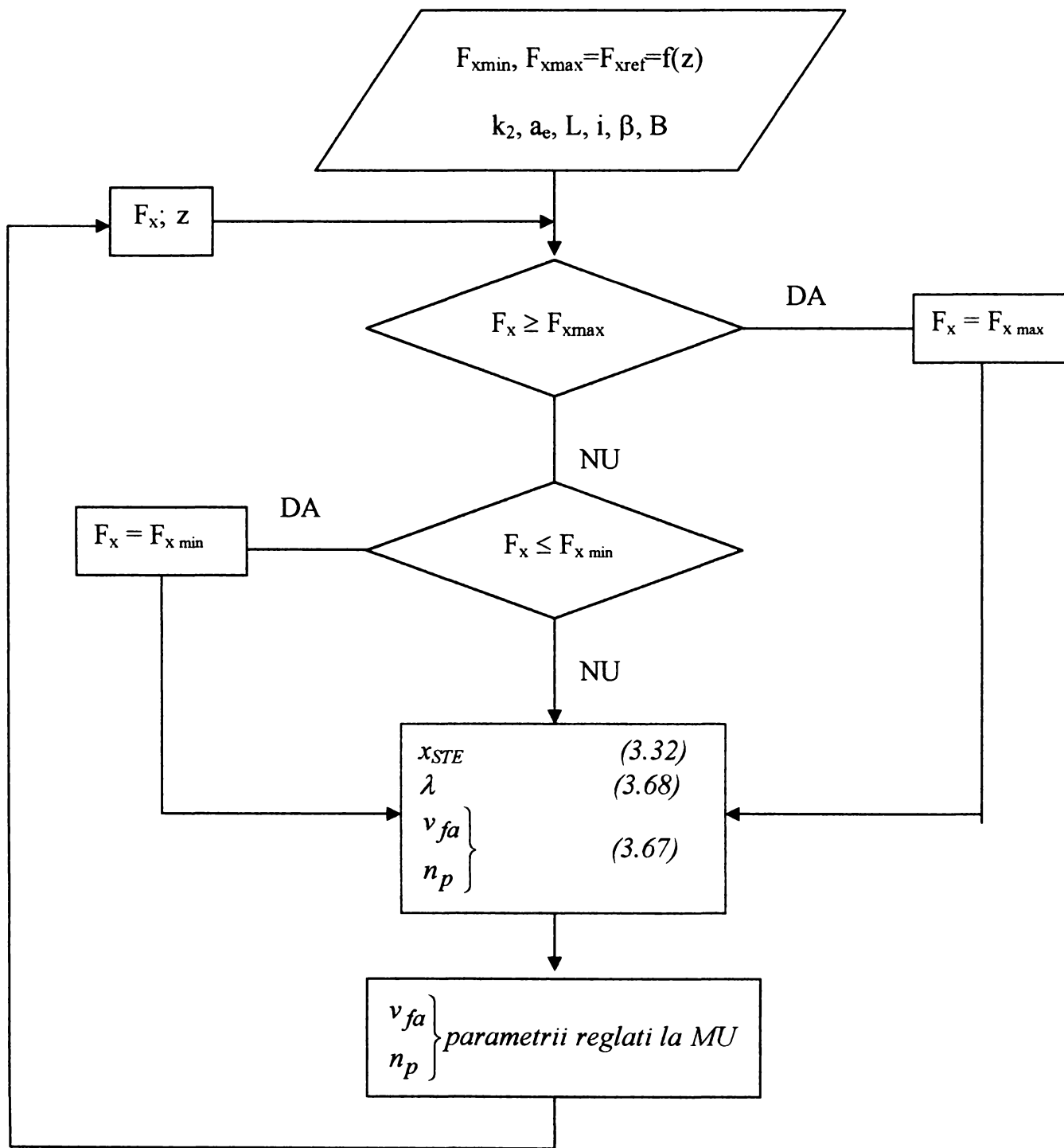
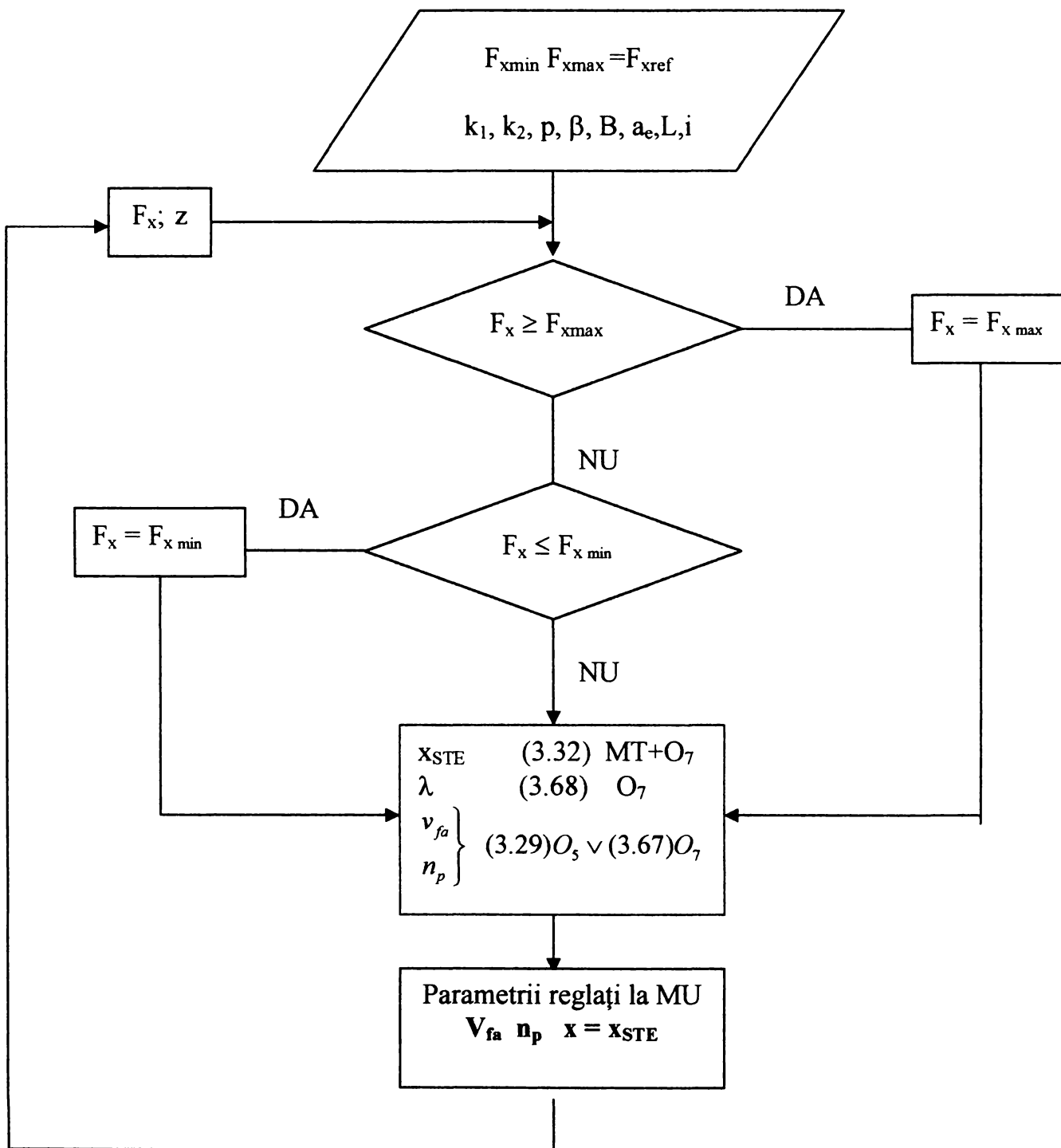
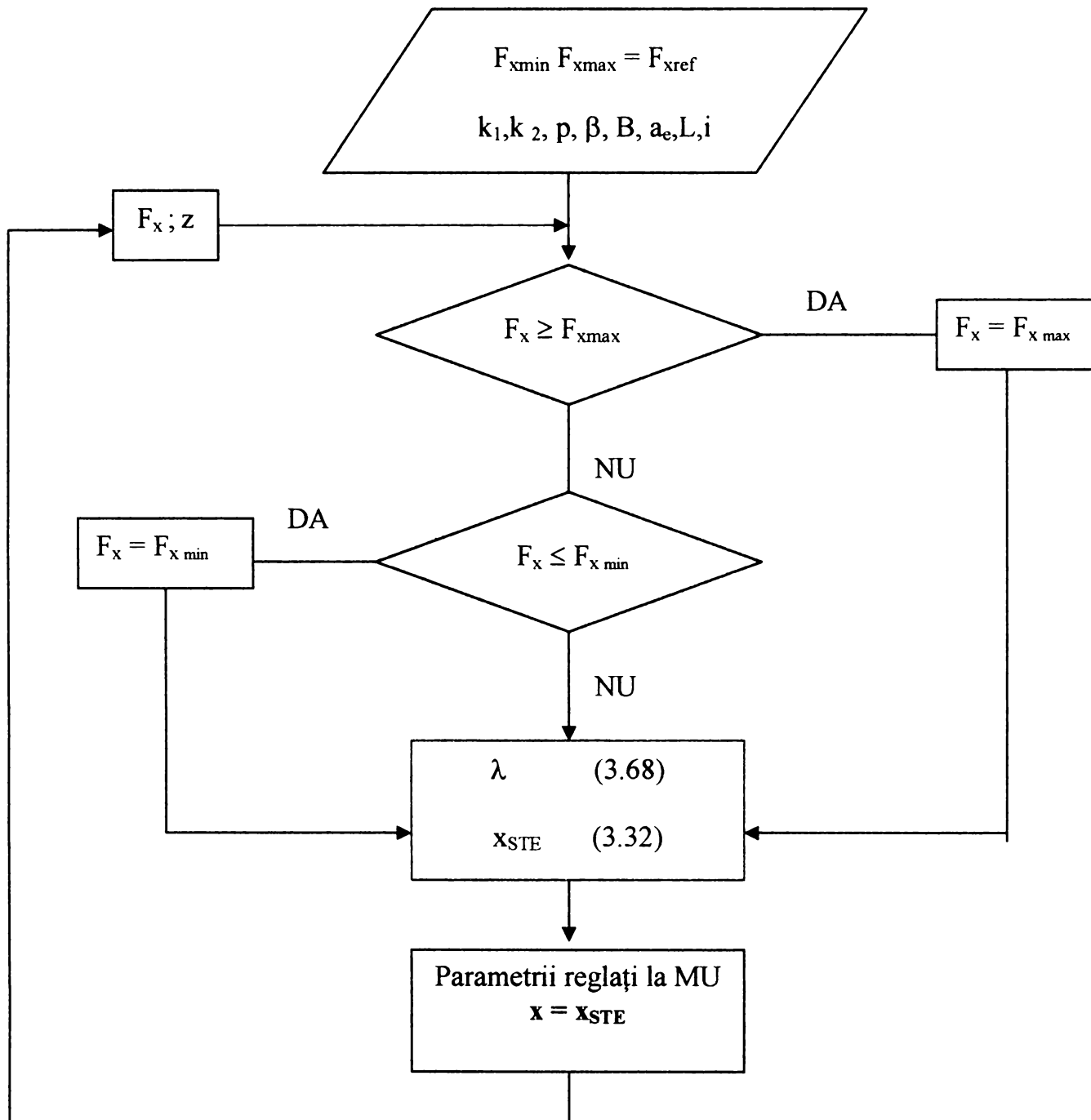


Fig. 3.23 Schema logică a comenzii adaptive pentru cazul aplicării criteriului  $O_{7,A II}$



**Fig. 3.24** Schema logică a comenzii adaptive pentru faza de finisare când se va aplica criteriul  $O_5$  sau  $O_7$  și microdeplasări transversale  $MT$ ,  $A I$  sau  $A II$  și  $MT$



**Fig. 3.25** Schema logică a comenzii adaptive pentru faza de finisare când se vor aplica doar microdeplasări MT ale arborelui port-piatră

### 3.2.8 Determinarea forței de referință $F_{xref}=f(z)$

Pentru determinarea forței de referință se pornește de la premiza anunțată că, pe parcursul prelucrării, se urmărește obținerea unei deformații minime și constante. Conform cu precizările făcute în capitolul II, se poate observa că



rigiditatea maximă a sistemului tehnologic elastic STE este în dreptul păpușii mobile deci implicit aici vom avea deformația minimă ( $x_{PM} = x_{min}$ ).

Condițiile teoretice de prelucrare (parametrii teoretici  $v_{fap}$  și  $n_{pp}$ ), vor fi în capătul piesei dinspre păpușa mobilă și deci deformația în acest punct poate fi exprimată astfel:

$$x_{PM} = x_{min} = F_{xp} / j_{STE}(z_{PM}) \quad (3.69)$$

Deoarece dorim să păstrăm constantă această deformație, relația (3.69) devine:

$$x_{min} = F_{xp} / j_{STE}(z_{PM}) = ct. = F_{xref} / j_{STE}(z) \quad (3.70)$$

deci

$$F_{xref} = f(z) = F_{xp} \cdot j_{STE}(z) / j_{STE}(z_{PM}) \quad (3.71)$$

unde  $F_{xp}$  – forța radială prescrisă (calculată teoretic)

Reprezentarea grafică a relației (3.71) este schematizată în figura 3.26

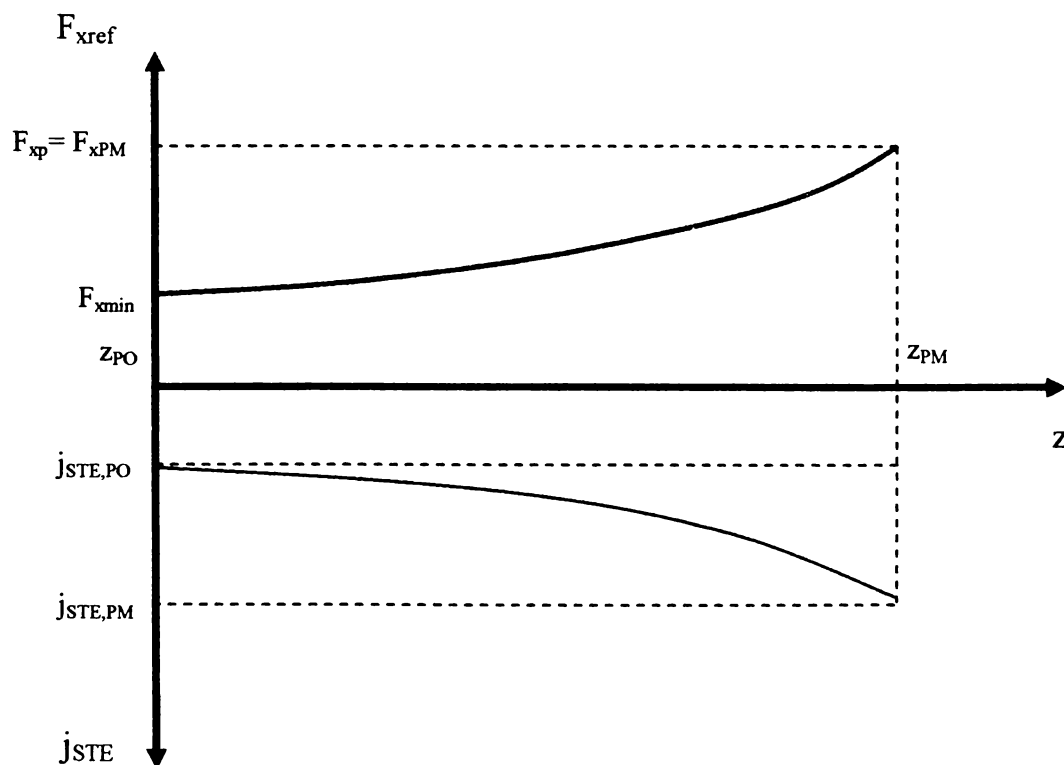


Fig.3.26 Variația rigidității și forței de referință funcție de coordonata z

*Determinarea rigidității sistemului  $j_{STE}(z)$  se determină utilizând relația (2.25).*

### **3.3. Concluzii privind comanda adaptivă și criteriile de optimizare utilizate la mașina de rectificat rotund exterior RE-350**

1. Comenzile adaptive pot fi cu valori limită ACC, caz în care se dorește menținerea constantă a unor mărimi impuse, sau pot fi comenzi adaptive de optimizare ACO, care analizează dinamic procesul de prelucrare în funcție de cerințele de optimizare. Echiparea mașinii cu un calculator pentru conducerea procesului de prelucrare, prelucrarea și comanda digitală a semnalului, permit utilizarea unei comenzi adaptive de tip ACO.

2. Alegerea mărimii de referință, este o etapă esențială în definirea comenzii adaptive. Din studiile amănunțite făcute în prezenta lucrare, cât și de alți autori, mărimea care asigură o urmărire cât mai fidelă a procesului de prelucrare în condiții de fiabilitate și precizie este componenta radială a forței de așchiere  $F_x$  (forța pasivă  $F_p$ ).

3. Optimizarea prelucrării, ținând cont de obținerea unei productivități ridicate și a preciziei impuse ( $O_5$ ) se face prin reglarea a doi parametri: viteza de avans longitudinal  $v_{fa}$  și turația piesei, relațiile 3.29. (Algoritmul I)

4. Optimizarea prelucrării ținând cont de asigurarea unor costuri minime, productivitate maximă și precizia impusă ( $O_7$ ) se face prin reglarea aceluiași parametri ca la paragraful de mai sus dar obținuți în acest caz cu ajutorul relațiilor (3.67). (Algoritmul II)

5. Având în vedere că atât creșterea productivității cât și a preciziei se obține prin compensarea deformațiilor sistemului tehnologic elastic STE încă din fazele de degroșare și finisare, în faza destinderii urmărindu-se doar obținerea rugozității prescrise, ținând cont de posibilitățile tehnologice ale mașinii în ceea ce privește obținerea unor microdeplasări transversale ale arborelui port-piatră,

*în fazele de finisare se pot folosi aceste microdeplasări pentru a compensa deformațiile elastice ale STE, fie singular, fie în combinație cu cele două criterii de optimizare  $O_5$  și  $O_7$ .*

*6. În lucrarea de față au fost prezentate trei opțiuni în ceea ce privește zona din cursa de lucru în care este activă comanda adaptivă zona fiind raportată la pozițiile pietrei la capete de cursă față de semifabricat:*

*- opțiunea I – piatra este în contact cu obiectul de prelucrat cu jumătate din lățime (avans transversal la capăt de cursă în gol)*

*- opțiunea II – piatra este în contact cu obiectul de prelucrat cu întreaga lățime (avans transversal la capăt de cursă în gol)*

*- opțiunea III – piatra este în contact cu obiectul de prelucrat cu întreaga lățime (III A) sau cu jumătate de lățime (III B) , nemaexistând curse în gol, avansul transversal la capăt de cursă având loc în așchiere (în plin).*

*Introducerea acestor opțiuni nu este obligatorie pentru studiul comportării comenzii adaptive, dar teoretic, atunci când piatra nu este în contact cu piesa, forța măsurată este zero și deci viteza longitudinală a mesei respectiv turația piesei vor fi tot zero (A I). Pentru a se evita o astfel de situație teoretică sau încetinirea nejustificată a prelucrării la capete de cursă ( în cazul când scula iese din contact cu piesa și acolo are loc avansul transversal), sau definit opțiunile I sau II. Pentru aceste două opțiuni, deși în vederea creșterii productivității, valorile parametrilor reglați  $v_{fa}$  și  $n_p$  la “cursele în gol“ ar trebui să fie cât mai mari, s-a preferat limitarea acestora la limitele prescrise din motive pur practice: evitarea unor sarcini dinamice ale sistemului prea mari ceea ce ar fi putut conduce la o urmărire necorespunzătoare a sistemului, asigurarea timpului minim necesar efectuării pătrunderilor transversale, etc. În realitate, datorită limitărilor constructive, există o limitare a forței minime  $F_{min}$  , aceasta fiind forța minimă măsurată de traductori . Intuitiv se poate anticipa un studiu între opțiunile II și IIIA ,iar în cazul în care rezultatele nu sunt convingătoare, acesta se poate extinde la toate variantele prezentate în tabelul3.2.*

7. În urma studiului diferitelor posibilități tehnologice de aplicare a criteriilor de optimizare  $O_5$  (AI) sau  $O_7$  (A II), combinarea acestora în faza de finisare integral sau parțial cu microdeplasări transversale MT ale arborelui port-piatră și alegerea uneia din cele 3 opțiuni referitoare la zona din cursa de lucru în care acționează comanda adaptivă, rezultă 24 variante de prelucrare (Tab 3.2).

8. Forța radială de așchiere va putea varia în timpul procesului de așchiere între o limită minimă dictată de sensibilitatea tehnică a traductoarelor și o limită maximă care este valoarea forței de referință calculată conform celor prezentate în subcapitolul 3.2.8 ,  $F_{xmin} < F_x(F_p) < F_{xref}$  unde  $F_{xref}$  se calculează cu relația (3.71).

## **CAPITOLUL IV**

### **SISTEME DE ACHIZIȚIE ȘI PRELUCRARE DIGITALĂ A DATELOR**

#### **4.1 Introducere în sistemele de achiziție și prelucrare a datelor**

Noțiunea **de dată**, constă în valoarea matematică sau logică rezultată dintr-un proces de măsurare. **Datele sunt captate, interpretate, prelucrate și utilizate în scopul obținerii unor informații utile. Datele se vehiculează de la și spre fenomen prin transformări succesive, cu sau fără intervenția operatorului. Prin prelucrarea datelor primare se extrag informațiile utile și se modelează fenomenele, se elaborează strategii și acțiuni optimale sau transformări pentru a obține caracterizări în domeniile timp și frecvență.**

Cea mai simplă achiziție de date constă în măsurarea unor mărimi, iar observatorul citește datele și le transpune pe suport fizic. Datele astfel culese se pot prelucra. De la acest sistem, până la sistemele de achiziție și prelucrare a datelor cu calculatorul, **evoluția a fost influențată de următorii factori:**

- **progresul în tehnica integrării circuitelor;**
- **evoluția rapidă a structurilor hardware de calculatoare (procesoare, memorii, periferice);**
- **apariția unor noi sisteme de operare și software dedicat sistemelor de achiziție;**
- **evoluția generală a traductoarelor pentru măsurare și tendința spre senzori inteligenți;**

- *standardizarea în comunicația datelor;*
- *dezvoltarea inteligenței artificiale.*

*Se poate constata că sistemele de achiziție și prelucrarea datelor (SAPD), constituie un domeniu interdisciplinar care implică utilizarea de mijloace și tehnici de măsurare, electronică analogică și digitală, calculatoare, comunicații de date, procesarea digitală a semnalelor, teoria sistemelor și informatica. Datorită standardizării subansamblelor de măsurare, a interfețelor de comunicație, a controlerelor și elementelor de execuție, numeroase firme produc componente hardware și software compatibile, care ușurează sarcina proiectanților de sistem. După estimări, ponderea costurilor într-un sistem de achiziție și prelucrare pentru date de complexitate medie este de 40-20% circuite electronice, 40-50% software, 15-20% cablaje-conectică și 5-10% întreținere. Structura costurilor pare să se mențină dar costul absolut are o tendință de scădere prin integrarea componentelor, a funcțiilor hardware și prin elaborarea de pachete software dedicate, care asociate corespunzător realizează funcțiile de măsurare - prelucrare - control specifice aplicației concrete.*

#### **4.1.1. Funcțiile sistemelor de achiziție și prelucrarea datelor**

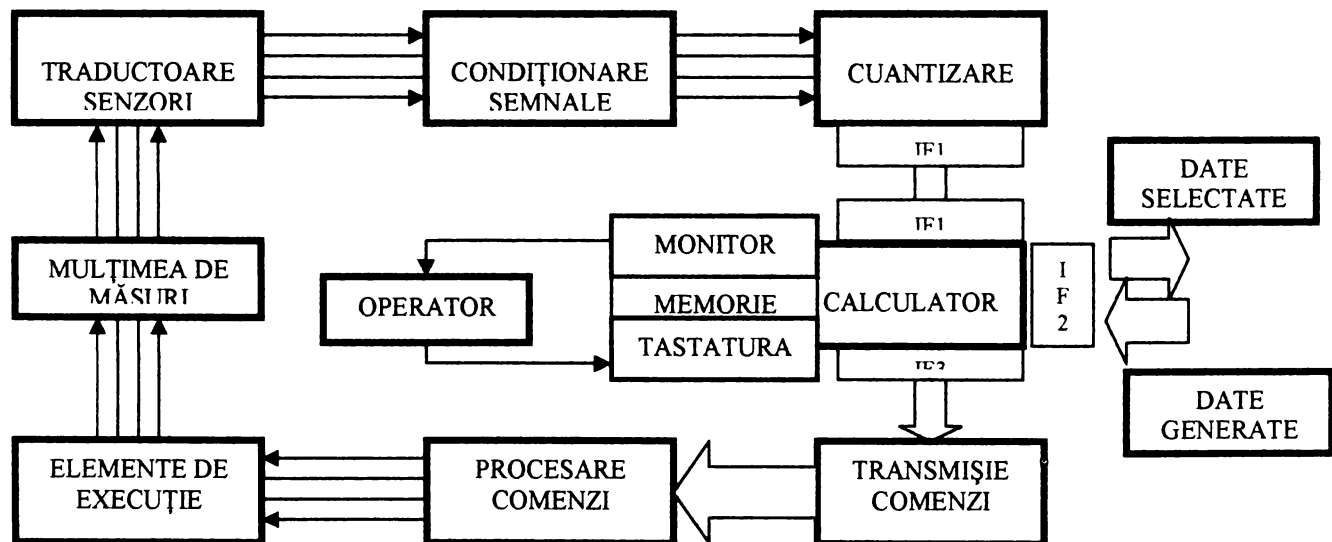
*SAPD sunt sisteme de complexitate variată, realizate, dezvoltate și utilizate în scopul:*

- *urmăririi unor fenomene în contextul influențelor reciproce corelate, pe baza măsurării unei mărimi într-un proces de experimentare;*
- *testării produselor finite;*
- *observării și controlului proceselor de producție precum și monitorizarea acestora.*

În funcție de scop și aplicații, SAPD poate avea în structura sa unul sau mai multe canale de culegere-prelucrare a datelor caracteristice unei mărimi sau/și legături de control prin reacție.

În acest context, canalul de culegere-prelucrare a semnalelor cuprinde:

- traductoare și senzori, care transformă mărimea studiată în semnal electric;
- sisteme de procesare a semnalelor, în care semnalul electric primar este asociat unui cod numeric;
- sistemul de cuantizare a semnalelor, care efectuează prelevarea de eșantioane de semnale și conversia analog-digitală;
- calculatorul, care preia datele primare prin interfața standardizată.



**Fig.4.1 Structura generală a SAPD cu un calculator**

Calculatorul conduce procesul de achiziție, memorează datele, afișează datele primare și prelucrate, primind comenzi de la operator. Printr-o interfață adecvată calculatorul poate comunica datele selectate altor calculatoare de rang ierarhic asemănător, la calculatoare puternice de supervizare și conducere, sau să primească instrucțiuni de la alte calculatoare. (Fig. 4.1)

*Canalul de control este prezent în majoritatea sistemelor SAPD, asigurând conducerea optimală, adaptivă, a procesului, ale cărei mărimi caracteristice au fost culese. Acest canal cuprinde:*

- calculatorul care emite valorile prescrise ale mărimilor reglate;*
- sistemul pentru procesarea comenzilor, care de regulă cuprinde și conversia digital-analogică;*
- elementele de execuție care efectuează acțiunile de corecție ale mărimilor controlate.*

#### **4.1.2. Captarea informației directe asupra unei mărimi**

*Mediul de transmisie, memorare și procesare fiind electric (informația este inclusă într-o caracteristică de semnal electric: amplitudine, nivel logic, frecvența, faza de tensiuni sau curenți electrici, câmp electromagnetic) toate mărimile se introduc în sistemul de achiziție și prelucrare după o primă transformare dintr-o mărime neelectrică în mărime electrică. Unele mărimi electrice sunt compatibile, trebuind doar culese și condiționate (ex. tensiune, curent electric), iar altele (putere electrică, parametri de circuit) trebuie convertite în purtătoarele uzuale de informație (tensiune, curent).*

*O mare parte a mărimilor sunt neelectrice, implicând utilizarea traductoarelor (senzori) care transformă mărimea respectivă într-o reprezentare electrică, ce conține univoc în limite de precizie cunoscute, informația valorică asupra mărimii neelectrice originale.*

*Traductoarele pot realiza:*

- funcția de transformare a mărimii neelectrice în mărime electrică;*
- traducerea și condiționarea semnalului electric obținut (traductoare integrate);*
- traducerea, condiționarea de semnal, conversia analog-digitală și procesarea primară a datelor (traductoare inteligente).*



*Din punct de vedere al principiului de funcționare, traductoarele sunt:*

- *parametrice, având ca mărime electrică de ieșire un parametru de circuit (rezistența, inductanța, capacitate);*
- *generatoare, având ca mărime electrică la ieșire o tensiune sau sarcină electrică;*
- *de radiație, bazate pe interacțiunea dintre diferite forme de radiație (infraroșii, ultrasunete, laser, microunde, nucleare) și mărimea neelectrică de măsurat;*
- *digitale, care produc direct coduri numerice.*

*Traductoarele sunt caracterizate static (limite de măsurare, precizie, sensibilitate, liniaritate) și dinamic (funcție de transfer, timp de răspuns, banda de frecvență). Opțiunea pentru un traductor se face pe baza analizei raportului preț-performanță.*

*O problemă specială o constituie protecția la zgomote a căii de captare și transmisie a semnalului primar prin procedee adecvate de împământare și ecranare.*

#### **4.1.3. Condiționarea semnalelor electrice**

*Semnalul electric obținut direct sau prin intermediul traductoarelor (senzori) are caracteristici particulare variate: amplitudinea tensiunii (uV...V), forma curbei de variație, frecvența semnalului, felul semnalului (sarcina electrică, curent electric, tensiune electrică). Circuitele de cuantizare a semnalelor admit la intrare tensiuni electrice cu limite de variație nominale uzuale de 0...1V, 0...5V, 0...10V, -1...+1V, -5...+5V și -10...+10V, fapt ce impune ca semnalele electrice să fie prelucrate încă în stadiul lor analogic pentru a fi aduse la forme și nivele compatibile cu intrarea circuitelor de cuantizare.*

*Circuitele de condiționare a semnalelor electrice îndeplinesc următoarele funcții:*

- **amplificare;**
- **atenuare;**
- **filtrare;**
- **detecție de valoare efectivă, de vârf și medie;**
- **liniarizare;**
- **operații matematice (multiplicare, sumare, integrare, derivare)**
- **adaptare de impedanță (detecție de nivel) etc.**

*Desigur, toate transformările de semnal implică erori aferente. Proiectarea și execuția riguroasă a circuitelor de condiționare asigură menținerea erorilor de transfer în limitele prescrise, existând numeroase produse dedicate condiționării semnalelor cu funcții de transfer fixe sau ajustabile, care asigură precizii ridicate transformărilor de semnal.*

#### **4.1.4. Eșantionarea și cuantizarea semnalelor**

*Semnalele electrice primare sau prelucrate în circuitele de condiționare pot fi analogice sau digitale. Semnalele digitale se pot introduce direct în calculator prin interfața serială sau se transformă în prealabil în cod numeric spre a fi transferate în calculator.*

*Semnalele analogice se convertesc în cod numeric binar prin intermediul convertoarelor analog-digitale (ADC).*

*În cazul conectării semnalului analogic  $u_i$  direct la convertorul analog-digital ADC - în cadrul unui sistem de achiziție direct - acesta va avea la ieșire numărul  $N$  corespunzător pragului de cuantizare inferior, în limitele a **1 LSB (cel mai puțin semnificativ bit)** (figura 4.2).*

*Astfel cuantizarea este procesul prin care unei mărimi analogice cu un număr infinit de valori într-un interval de variație  $\Delta U$ ,  $i$  se asociază un singur număr, exprimat în cod digital.*

În figura 4.2 s-a considerat un convertor analog-digital pe 3 biți unipolar, în cod binar natural. În ipoteza că tensiunea de intrare  $u_i$  depășește pragurile de cuantizare:

$$q_k = kq \quad \left( q = \frac{V_R}{2^n}, n = 3 \right) \quad (4.1)$$

$k=0, 2^n-1$ , convertorul își modifică imediat ieșirea corespunzător numărului binar  $N_k$ ,  $V_R$  fiind tensiunea de referință aplicată convertorului.

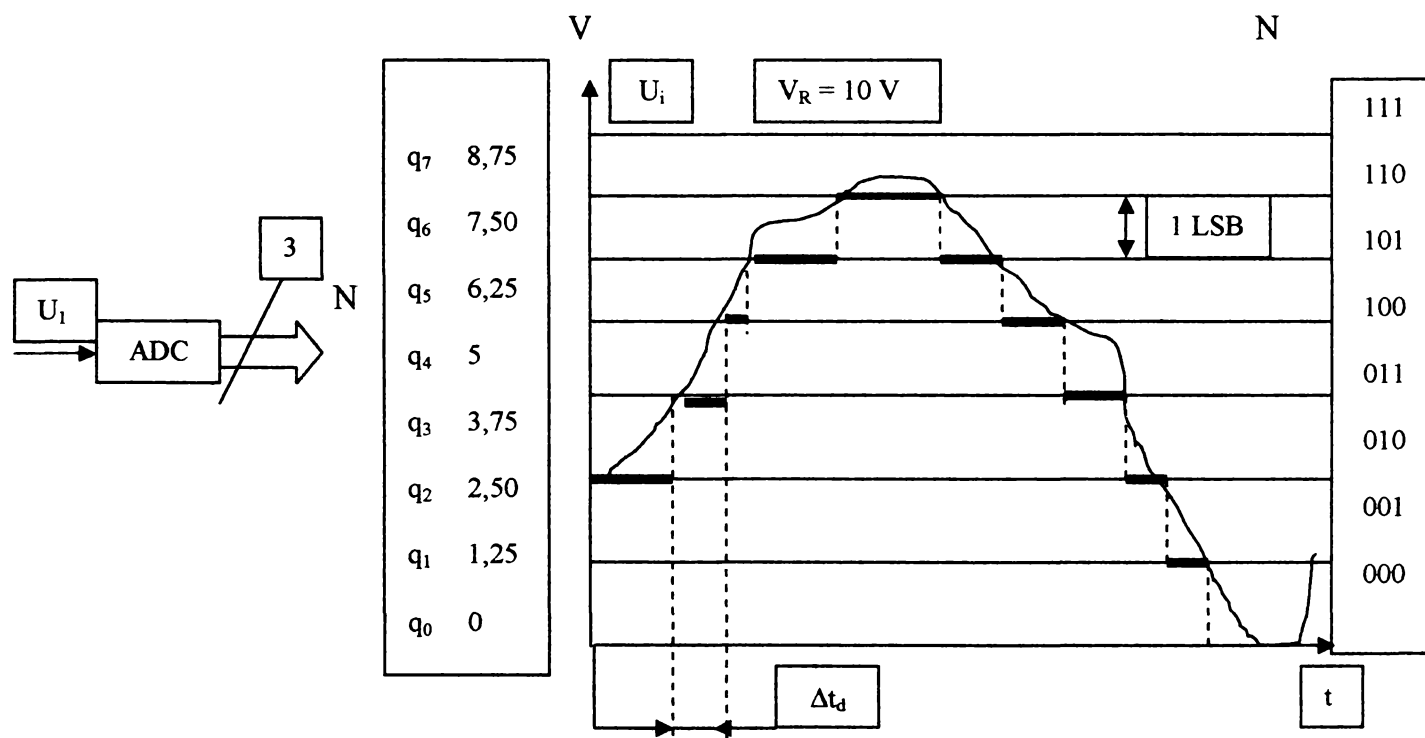


Fig. 4.2 Procesul de cuantizare a unui semnal fără eșantionare

În cazul acestui tip de achiziție se impune condiția ca variația semnalului cuantizat în timp ( $t_c$ ) să fie mai mică de o cuantă (adică variația digitală să fie sub LSB – cel mai puțin semnificativ bit). Aceasta implică necesitatea ca viteza de variație a semnalului  $du/dt$  să fie limitată de condiția  $\Delta t_d \geq t_c$ . Punând condiția ca acesta variație în timpul conversiei  $t_c$  să fie mai mică de o cuantă:

$$\left( \frac{du_i}{dt} \right)_{\max} t_c \leq q \quad (4.2)$$

Majoritatea fenomenelor supuse achiziției și prelucrării digitale au regimuri dinamice rapide. Pentru a se putea cuantiza un semnal ce nu satisface condiția (4.2), convertorul se asociază cu un circuit de eșantionare-memorare (sample and hold **S-H**), conectat înaintea convertorului conform figurii 1.3.

La eșantionarea uniformă cu frecvența de eșantionare  $f_s$ , se extrage câte un eșantion din tensiunea de intrare  $u_i(t)$  la intervale  $t_s=1/f_s$ . Fiecare perioadă  $t_s$ , constă din intervalul de eșantionare  $t_e$ , când tensiunea de ieșire a circuitului S-H,  $(u_i)_k$  devine egală cu valoarea instantanee a tensiunii de intrare  $u_i(t)$ , respectiv cu intervalul de memorare  $t_m$ , când tensiunea  $(U_i)_k$  se menține constantă la intrarea convertorului ADC pe o durată  $t_m \geq t_c$ , unde  $t_c$  este timpul de conversie al convertorului.

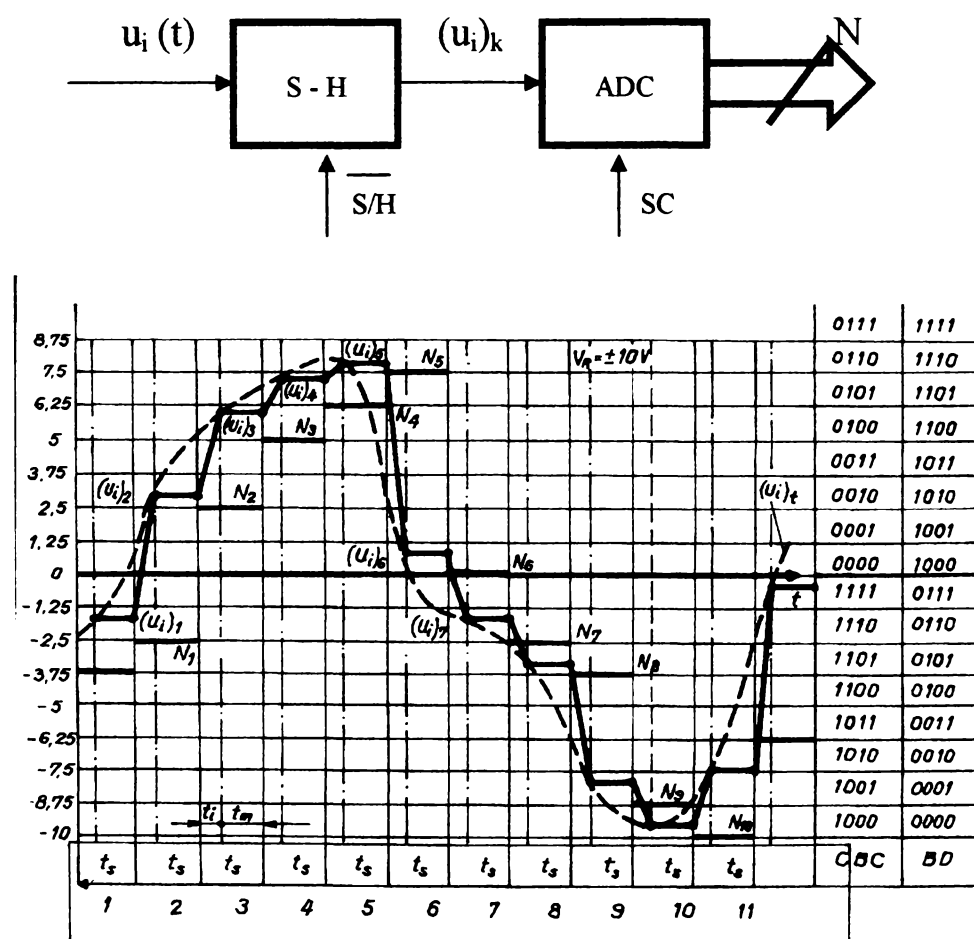


Fig. 4.3 Procesul de eșantionare și memorare –cuantizare în sistemele de achiziție

*Tensiunile memorate  $(u_i)_k$  sunt cuantizate de către convertor în numere binare consecutive  $N_1, N_2, N_3 \dots, N_k, \dots$ . Frecvența de eșantionare a semnalului trebuie să satisfacă condiția din teorema eșantionării (Nyquist sau Shannon-Kotelnikov), conform căreia aceasta trebuie să fie cel puțin dublu celei mai mari frecvențe din spectrul semnalului, pentru ca șirul de eșantioane cuantizate să conțină informație asupra semnalului analogic original.*

*În situații uzuale  $t_e = (0, 1 \dots 0, 3)t_m$ , iar  $t_m = (1, 1 \dots 1, 2)t_c$ .*

#### **4.1.5. Transferul datelor în sistemele de achiziție**

*În sistemele de achiziție și procesare a datelor, informațiile digitale (date, adrese, comenzi) sunt vehiculate între:*

- *convertoarele analog digitale sau memoriile de capacitate mai mică în care se reține un volum redus de date cuantizate și calculatorul coordonator;*
- *calculatorul coordonator și alte calculatoare;*
- *calculatorul coordonator și perifericele de comenzi și execuție din sistemele de reglare.*

*Pentru ca produsele diferitelor firme specializate în echipamente de măsurare, subansamble de achiziție, calculatoare și periferice să fie compatibile, există standarde de interfață și comunicație care prevăd:*

- *specificațiile **constructive** ale comunicației (coduri, cabluri);*
- *specificațiile **electrice** ale comunicației (nivelul tensiunilor și al curenților din sistem, implementarea logică a semnalelor digitale);*
- *specificații privind **structura canalului de comunicație**;*
- *specificații asupra **protocolului de comunicație**.*

## **4.2. Structuri de sisteme pentru achiziția și prelucrarea datelor**

*În principiu, achiziția datelor referitoare la fenomene și procese se face cu următoarele scopuri:*

- constatarea aleatoare sau continuă a stării unor mărimi;*
- culegerea și procesarea corelată de date ale unui sistem în faza de model funcțional, pentru verificarea proiectării și execuției, având ca rezultat omologarea sau aducerea de modificări pentru optimizarea performanțelor;*
- culegerea și procesarea corelată de date asupra unui produs/sistem în scopul testării funcționale la ieșirea din procesul de fabricație;*
- culegerea și prelucrarea de date din procese de producție (electrotehnică, electronică, construcția de mașini) și controlul automat al fazelor de producție (reglaje, faze tehnologice, control activ de calitate, asamblare);*
- controlul proceselor tehnologice prin procesarea datelor în timp real, calculul parametrilor de reglaj pe baza modelelor matematice și a datelor culese și estimarea vectorilor evolutivi ai procesului.*

*Corespunzător scopului urmărit structura sistemelor de achiziție este specifică pentru sistemele de măsurare - testare, care se întind pe distanțe mici (cel mult zeci de metri) fiind sisteme rapide, respectiv pentru sistemele de măsurare și control, care se întind pe distanțe mari (uneori chiar kilometri) având viteza de achiziție - transmisie - control variabil de la o aplicație la alta. În sistemele de achiziție de date și control, structurile au evoluat în paralel cu tehnica de calcul.*

*În structura sistemelor de achiziție se disting în principiu:*

*a. nivelul de control care conține procesele, traductoarele (senzorii), sistemele de condiționare a semnalelor, aparatele/subsistemele de măsurare, elementele de execuție/reglaj a proceselor, ale căror parametrii de acționare sunt prescriși prin controlere de proces;*

**b. nivelul de control direct** în care microcalculatoarele, plasate în vecinătatea unui grupaj de procese, asigură:

- achiziția datelor, care înseamnă culegerea valorilor instantanee ale proceselor (eșantionare), primirea mesajelor de stare din partea elementelor de control din procesul condus, adică toate datele necesare controlului în bucla închisă a proceselor;
- monitorizarea proceselor controlate în urma procesării datelor, luarea de decizii privitor la acțiunile de întreprins (fie pe baza calculelor on-line, fie pe baza modelării proceselor);
- elaborarea de date selectate și de comenzi în urma procesării mărimilor achiziționate.

### **4.3. Sisteme de achiziție și prelucrare cu microcalculator**

Microcalculatorul pe post de coordonator al unui sistem de achiziție și prelucrare de date, întrunește calitățile de accesibilitate cu personal de pregătire medie, fiind extensibil la cele mai variate sarcini, viteză de calcul ridicată, capacitate de memorare mare, grad ridicat de intercomunicare cu operatorul și cu alte sisteme de calcul. Deci, **microcalculatorul reprezintă un mod pentru îndeplinirea funcției de controler și procesor de semnale în sisteme pentru achiziția de date, mici și mijlocii.**

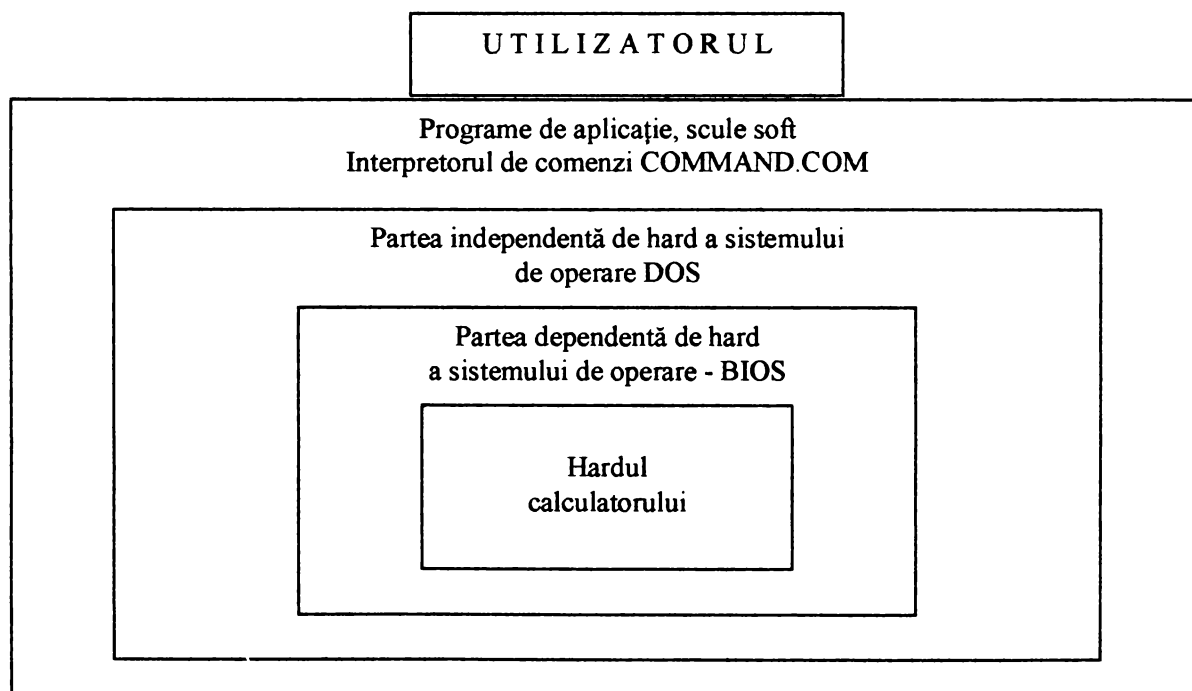
**Avantajele sistemelor de măsurare/achiziție/control cu microcalculator se pot rezuma prin:**

- **flexibilitate și adaptabilitate** (sistemul poate fi extins și reconfigurat pentru o nouă aplicație);
- **costul scăzut** al microcalculatoarelor (costul unui PC este o fracțiune din cel al controlerelor dedicate);
- **posibilitatea de a utiliza o varietate mare de plăci de extensie** de la un număr mare de furnizori;

- *posibilitatea conectării sistemului de achiziție cu microcalculator la un sistem extins prin interfețe standardizate seriale sau magistrală;*
- *acceptă o varietate mare de rețele și standarde de comunicație asincrone;*
- *standardele pentru microcalculatoare sunt acceptate internațional.*

#### **4.4. Software de achiziție și procesare pentru microcalculatoare**

*Sistemul de operare DOS, sub care lucrează majoritatea microcalculatoarelor compatibile IBM-PC, pentru achiziția datelor poate fi structurat pe trei nivele (figura 4.6).*



**Fig. 4.6. Organizarea sistemului de acces la calculatoarele PC**

- *partea sistemului de operare dependentă de hard - BIOS (Basic Input Output System), realizează legăturile cu rutinele BIOS din memoria ROM a calculatorului;*
- *partea sistemului de operare independentă de hard - DOS realizează legătura cu programele utilizator;*



- *partea de interpretor de comenzi - COMMAND.COM, prelucrează comenzile DOS și asigură interfața cu utilizatorul.*

*Multe funcții ale SO plasate la nivelul inferior nu prezintă interes pentru utilizatorul general, sistemul de operare asigurând puntea (interfața) dintre programele aplicație ale utilizatorului și hardul sistemului.*

*Cel care dezvoltă un produs software pentru PC, trebuie să cunoască și funcțiile pe care le pune la dispoziție sistemul de operare, astfel încât să realizeze o aplicație portabilă pe un calculator cu același sistem de operare și procesor mai performant, dar compatibil cu cel din generația anterioară, pe care s-a dezvoltat aplicația. De multe ori este necesar să se combine rutinele scrise în limbaj de nivel înalt, cu cele scrise în limbaj de asamblare folosind o gamă largă de programe utilitare ca: editoare, compilatoare, asamblatoare, editoare de legături sau programe de depanare.*

*În prezent există pachete software gata preparate ("off the shelf" - din raft) care sprijină utilizatorul în dezvoltarea aplicațiilor legate de achiziția și prelucrarea datelor. Aceste pachete software au o interfață grafică foarte prietenoasă cu utilizatorul și permit dezvoltarea rapidă a aplicațiilor. Alteori, fie din considerente economice, fie datorită implicării în activitatea de cercetare, programele specifice trebuiesc scrise complet, începând de la inițializarea componentelor plăcii până la afișarea rezultatelor prelucrării pe ecran și a generării comenzilor necesare.*

*În opțiunea pentru un limbaj de programare trebuie avute în vedere următoarele aspecte:*

*- se adoptă o structură logică de control a procesului industrial sau de măsurare  
- testare, care să înlesnească producerea de coduri structurate de program: structura trebuie să includă funcții și proceduri definite de utilizator (cu sau fără variabile concrete, locale) și structuri de control ca:*

*IF...ELSE...ENDIF*

*DO WHILE ... LOOP*

*SELECT...CASE...END SELECT, etc.*

- *interesează de asemenea ce posibilități există pentru a opera cu intrările ieșirile calculatorului. Astfel, anumite limbaje au funcții și instrucții care ușurează accesul direct la memorie, iar limbajul pentru aplicația de măsurare și control cu microcalculatorul trebuie să aibă instrucțiuni ce permit scrierea/citirea la adresele porturilor I/O;*

- *se pune problema de a combina (interfața) modulele de soft scrise în același limbaj sau în limbaje diferite;*

- *în anumite aplicații apare necesitatea ca utilizatorul să introducă propriile rutine de tratare a întreruperilor;*

- *sistemul are capacitatea de a detecta evenimente și erori. Astfel se includ rutine - capcana de evenimente/erori, pentru ca sistemul să fie robust și accesibil pentru utilizatorii nespecializați, precum și posibilitatea ca aceste rutine să permită raportarea inteligibilă a erorilor;*

- *dacă limbajul permite executarea de sarcini multitask, în aplicații de control, aceasta cerință este obligatorie, căci la programul principal se pot atașa una sau mai multe sarcini ascunse, care să ruleze în paralel cu execuția programului principal.*

*Dezvoltarea softului este un proces de trecere de la general la particular. Fazele procesului de dezvoltare a softului sunt: analiza problemei de rezolvat, care duce la specificații soft, apoi la dezvoltarea unui **algoritm** și definirea unui **program**. Urmează apoi **codificarea programului**, **testarea programului** (față de specificații), apoi **depanarea programului**. Fazele finale sunt **implementarea și evaluarea softului**.*

*Pașii 1 și 2 implică **determinarea, colectarea dorințelor utilizatorului, individualizarea funcțiilor și a rezultatelor așteptate de la soft**. Specificarea problemei se produce în contact direct cu utilizatorul.*

*Pași 3 și 4 (**algoritm și definirea programului**) sunt etape de proiectare. Dezvoltarea algoritmului (3) implică conceptualizarea căii de rezolvare a problemei.*

*Algoritmul este adesea dat în formă de schemă logică (flow-chart) sau diagrama de flux de date și reprezintă ruperea problemei într-un număr de pași mici.*

*Faza a doua a proiectării, **definierea unui program** (4), implică definirea modulelor și a procedurilor de program. De obicei fiecărui modul  $i$  se asociază o afirmație în pseudocod (limbaj structurat). Fiecare pseudocod corespunde la una sau mai multe linii de cod program.*

***Codificarea programului** (5) este transpunerea modulelor de program într-un limbaj de programare interpretabil de către calculator. Programul se dezvoltă modular, iar modulele se pot extrage și din biblioteci standard. Programele modulare se testează și se depanează de mai multe ori (se refac pașii 5,6,7) pentru a elimina erorile logice și de codare. Când un **modul** de program este dezvoltat și testat cu succes, acesta se adaugă la bibliotecile de programe, fiind disponibilă și la alte programe viitoare.*

*După ce s-a produs un program de control funcțional, pasul următor este **implementarea** (8). Întrucât, foarte probabil, softul s-a dezvoltat într-un mediu extras din mediul real în care va fi implementat, trebuie instalat și realizate teste riguroase pe sistemul cu intrări/ieșiri reale. Adesea aceasta este faza critică a întregului proces de dezvoltare a softului și scoate în evidență probleme care nu au fost prevăzute în fazele anterioare. Desigur, în asemenea situații se reia tot procesul de elaborare cu corecțiile de rigoare. **Problemele și dificultățile de implementare apar de obicei din cauza:***

*- vitezei de răspuns - în cazul în care lumea reală este mai rapidă decât mediul de dezvoltare simulat;*

*- zgomotului care apare în semnalele culese.*

*În final este necesară **evaluarea** (9) performanțelor sistemului soft proiectat, comparativ cu specificațiile originale. Evaluarea este:*

*- calitativă - dacă mediul dezvoltat este agreat de utilizator;*

*- cantitativă - cuantizabilă în indicatori, ca timp de răspuns, utilizarea memoriei și a memoriei virtuale.*

*Softul pentru aplicația specifică se poate elabora în:*

*- limbaj de asamblare, în segmente (module) de program ce trebuie să fie compacte, rapide (ex. procedurile I/O);*

*- limbaj de nivel înalt, ca BASIC, PASCAL, C, ADA, PEARL, în funcție de felul aplicației (operare în timp real sau nu, este nevoie sau nu de sistem multitasking);*

*- limbaje neprocedurale, elaborate de firme producătoare de componente hard de achiziție - măsurare - control și de software sub formă de pachete funcționale de soft dedicate, care cuprind biblioteci ce se pot include și combina în structura programului general dorit de utilizator.*

*Pentru ilustrarea celei de-a treia căi de elaborare de soft de aplicație pentru microcalculatoare (PC, Macintosh, Sun) se prezintă un concept unitar de software, care oferă utilizatorilor o gamă complexă de scule pentru instrumente și analiza de date*

*Cu ajutorul softului de comandă a instrumentelor (drivere) se pot programa și controla produsele hardware de achiziție prin intermediul unui limbaj de programare de nivel înalt (C, BASIC, PASCAL) sau pachete soft de aplicație.*

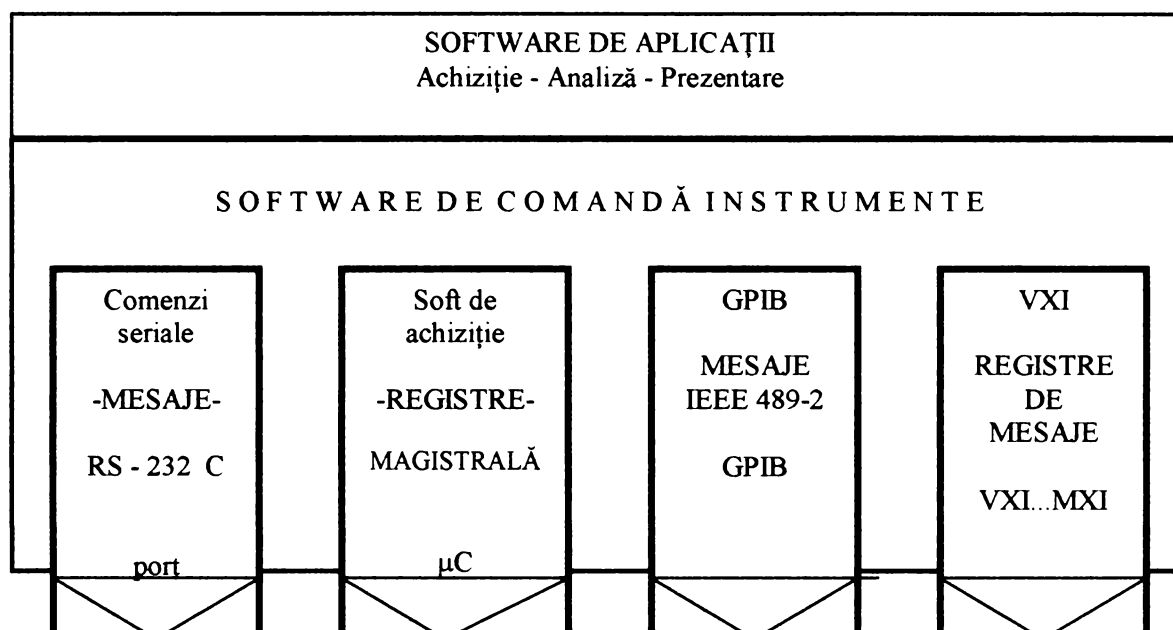
*Softul de aplicație are clase (pachete) de biblioteci pe funcții mari, specifice câte unui domeniu larg de aplicație:*

*a) Pentru sisteme de măsurare și testare*

*- partea de conducere a testului și a măsurării va comanda executarea de acțiuni adecvate cu rezultatele obținute în urma analizei datelor primite de la programul de test. Aceasta înseamnă realizarea de operațiuni ce pot fi de la configurări de hardware prin comutare de elemente și până la accesul la baza de date etc.*

*- partea de prelucrare a datelor brute primite prin achiziție constituie seturile de biblioteci de procesare de date, de accesare a bazei de date.*

*Imbinarea modulelor de soft de aplicație cu cele de comandă a instrumentelor permite acoperirea nevoilor de automatizare a procesului de măsurare de la sistemul de testare în producție de masă până la aparatele singulare de laborator.*



**Fig. 4.7 Structura sistemului complex de software de achiziție-procesare**

b) În sisteme de automatizare industrială utilizarea microcalculatoarelor (gen PC) s-a impus în ultimii ani, când s-a trecut la înlocuirea sistemelor de automatizare ermetice (închise) la medii de software deschise, cu calculatoare, aparate și module de măsurare standard. Modulele soft pentru automatizarea producției și a proceselor pot realiza: **monitorizarea și controlul procesului concret sau numai interfațarea cu sistemul (software de interfață om-mașină).**

În funcție de aplicația pe care o dezvoltă utilizatorul, modulele de program se introduc în acesta. Utilizatorul nu mai trebuie să construiască algoritmi de procesare, ci doar să selecteze și să adapteze modulele de soft spre a fi conectate împreună, utilizându-se fie limbajele de nivel înalt (BASIC, C, mai nou variantele lor de Visual BASIC și Visual C), fie pseudolimbaje de programare, elaborate de producătorul de echipamente de achiziție. Tot așa se adaptează și modulele soft pentru control, pentru

*procesare, pentru elaborare de rapoarte, pentru vizualizarea datelor brute și a celor procesate, pentru a introduce/extrage date din baza de date constituită.*

## **4.5. Conducerea prin calculator a mașinilor unelte**

*Introducerea calculatoarelor în sistemele de comandă ale mașinilor unelte urmărește reducerea prețului produselor, ridicarea productivității, păstrând sau îmbunătățind calitatea produselor. Apariția continuă pe piața mondială a calculatoarele tot mai ieftine a dus la dezvoltarea mai multor sisteme de comandă ale mașinilor-unelte prin calculator. Unele sisteme permit conducerea efectivă a mașinilor-unelte prin **preluarea de către calculator** (de obicei de capacitate mică), a **tuturor funcțiilor CN** cu logică cablată, pe care le putem numi convenționale. Aceste sisteme de conducere efectivă sunt realizate prin echipamente cunoscute sub denumirea de **CNC**, inițialele denumirii fiind *Computerized Numerical Control*.*

*Alte sisteme care asigură **conducerea centralizată a mașinilor unelte, distribuirea și evidența materialelor, elaborarea programelor-piesă, planificarea producției, pregătirea rapoartelor de producție**, nu pot fi realizate decât cu ajutorul unui calculator universal mare sau cu o ierarhie de calculatoare. Aceste sisteme sunt cunoscute sub denumirea de sisteme **DNC**, inițialele denumirii fiind **Direct Numerical Control** și se caracterizează de obicei prin sisteme de echipamente (*hardware*) și programe (*software*) foarte dezvoltate.*

### **4.5.1. Sistemul CNC**

*Definirea sistemelor CNC poate fi formulată după cum urmează: "Sistemul CNC este o comandă numerică care conține un calculator cu programare liberă și este destinat pentru comanda unei mașini de prelucrare, sau a uneia de măsurat, sau pentru*

*un număr de unități similare". Caracteristicile funcționale ale acestei comenzi numerice sunt determinate în principal de programarea calculatorului.*

*În afara de funcțiunile oferite de către CN convenționale, sistemele CNC pot realiza funcțiunile logice ale blocurilor de adaptare ale mașinilor unelte, modificarea ușoară a programelor piesă, **comanda adaptivă** a procesului de prelucrare, compensarea erorilor cinematice ale mașinilor unelte, comanda instalațiilor de încărcare/descărcare și de transport a pieselor, controlul profilactic și de diagnosticare al mașinilor-unelte etc. Posibilitatea realizării unui schimb de informații cu un calculator supradotat permite includerea sistemului CNC într-un sistem informațional dezvoltat.*

*Toate aceste funcțiuni reprezintă potențialul sistemelor CNC. Nu toate funcțiunile enumerate au fost implementate în sistemele CNC existente în prezent pe plan mondial.*

#### ***4.5.1.1. Eșantionarea și efectele comenzii prin calculator asupra preciziei de prelucrare***

*La o mașina unealtă cu comandă numerică, comanda fiecărei axe de deplasare vom considera că se realizează prin două bucle de reglare și anume **bucla de poziție și bucla de viteză**. În general mărimile de comandă pentru aceste bucle sunt continue. De exemplu, interpolatoarele numerice determină mărimile de comandă ale poziției și le oferă sub formă numerică, adică cuantificate în unități care reprezintă incrementare de deplasare. Aceasta interpolare poate fi realizată printr-un interpolator hardware sau software.*

*Deoarece echipamentul CNC, în afară de sarcina asigurării unei deplasări cât mai exacte pe traiectorie, preia și alte funcții, calculatorul nu poate să facă schimb de date cu procesul oricât de des. De aceea, testarea pozițiilor reale ale axelor de*

*deplasare și emiterea mărimilor de referință spre sistemele de acționare se face într-un ritm fix, în timp eșantionat.*

*În intervalul de timp de eșantionare, mărimea de comandă pentru sistemul de acționare rămâne neschimbată. Pe de altă parte, testarea pozițiilor pentru diferite axe și determinarea valorilor de referință pentru buclele de reglare aferente axelor respective nu se face simultan. Prezența elementului de eșantionare în bucla de reglare, existența întârzierii de transfer în cadrul buclei de reglare și lipsa de sincronizare între generarea și reactualizarea referințelor de poziție pentru diferite axe pot duce la degradarea preciziei de prelucrare în cazul în care traiectoria se modifică în salt cu un unghi ( așa numita prelucrare la colțuri). În aceste locuri, mașina unealtă tinde să rotunjească colțul. Abaterile depind de factorul de amortizare și de viteza de răspuns a buclei de reglare a poziției.*

*Menținerea factorului de amortizare la schimbarea vitezei de eșantionare și egalarea constantelor de timp poate fi realizată cu ajutorul unor programe speciale în regim off-line. Valoarea intervalului de timp între aplicarea referințelor de poziție pentru diferite axe depinde de eroarea maximă admisibilă la prelucrare și de viteza de avans.*

*Pentru a compensa degradarea performanțelor dinamice ale sistemului, datorită efectelor de eșantionare și naturii secvențiale de lucru a calculatorului, pe baza unei analize aprofundate a procesului se pot determina diferite metode de anticipare a comportării dinamice a mașinii unelte. Există algoritmi speciali de corecție care pot ajusta vitezele de avans pentru următorul interval de eșantionare, ținând cont de abaterea curentă. Există deasemenea posibilitatea de a compensa prin software, unele erori de poziționare ale mașinii, cum sunt cele datorate jocului de întoarcere, deformațiilor termice, deformațiilor elastice, erorilor de pas ale șuruburilor cu bile etc.*



#### **4.5.1.2. Considerații generale privind calculatorul în sisteme CNC**

*În sistemele CNC, calculatorul trebuie să rezolve în primul rând problemele de comandă a procesului și unele probleme de calcul ceea ce necesită ca instrucțiunile de bază: încărcare/memorare, salturi, adunare/scădere precum și intrare/ieșire, să aibă timpi de executare cât mai mici.*

*Pe de altă parte, constrângerile de timp impuse unui calculator în sistemul CNC sunt mai severe decât cele în sistemele de conducere a proceselor convenționale. Închiderea prin software a buclelor de reglare a poziției, realizarea comenzilor de avans în regimuri de accelerare/decelerare pentru discontinuitățile de contur, implementarea algoritmilor de compensare a erorilor de reglare duc la îmbunătățirea performanțelor dinamice ale sistemului și obținerea unei precizii de prelucrare mai bune. Realizarea interpolării prin software implică necesitatea de a avea operații aritmetice cu multiplă precizie (32 de biți) implementarea ca funcții hardware și nu software.*

*Limbajele folosite în sistemele CNC sunt de obicei limbaje de tip ASSEMBLER prin care se poate influența structura detaliată a programului. Limbajele de tip ASSEMBLER au puține instrucțiuni tipice calculatoarelor de proces, care ar simplifica programarea. O soluție poate consta în crearea de către beneficiar a unor **instrucțiuni specifice problemei**, prin asamblarea mai multor microinstrucțiuni oferite de calculator. Posibilitatea aceasta este oferită de tehnica **microprogramării**. Programele care folosesc această tehnică sunt **mult mai rapide** în execuție, ceea ce constituie un argument hotărâtor pentru alegerea ei în vederea realizării funcțiilor ca: introducerea fazelor programului, deservirea buclelor de acționare reglabilă, realizarea operațiilor cu multiplă precizie, etc.*

*Viteza de execuție a instrucțiunilor este influențată și de versiunea memoriei.*

*Condițiile mediului ambiant în care lucrează mașinile-unelte nu pot fi neglijate. Astfel, temperatura, umiditatea, vibrațiile, influențează și ele alegerea calculatorului pentru sistemele CNC.*

#### **4.5.1.3. Sistemul de programe (software CNC)**

*Sistemul de programe al sistemului CNC trebuie să fie capabil să realizeze toate funcțiunile de comandă și control specifice unui CN convențional și, în plus, să prelucreze semnalele venite din proces și să activeze diferite programe ale sistemului în funcție de prioritatea lor.*

*Pachetul programelor sistemului CNC de bază este compus din următoarele programe principale:*

- programul de editare și asamblare;*
- programul de introducere a programului piesă;*
- programul de comandă;*
- programul de eșantionare;*
- programul de diagnosticare;*
- programul de deservire a panoului operator.*

#### **4.5.1.4. Interfața calculator - mașina-unealtă**

*Din punct de vedere hardware, sistemul CNC este compus dintr-un calculator (dotat de obicei cu dispozitive de citire și dispozitivele de afișare numerică) și echipamentele specializate.*

*Gradul de dezvoltare a echipamentelor specializate, într-un sistem CNC, depinde de modul de distribuire a funcțiunilor, între software și hardware.*

*Schema bloc a unui echipament CNC, în varianta sa minimă, este prezentată în figura 4.8. În varianta prezentată, interfața calculator-mașină-unealtă conține două părți principale: dispozitivul de cuplare al calculatorului la mașina-unealtă (cuplor 1) și consola operatorului mașinii-unelte (CO). Cuplorul 1 conține blocul de comandă al sistemelor de acționare și blocurile de intrare/ieșire.*

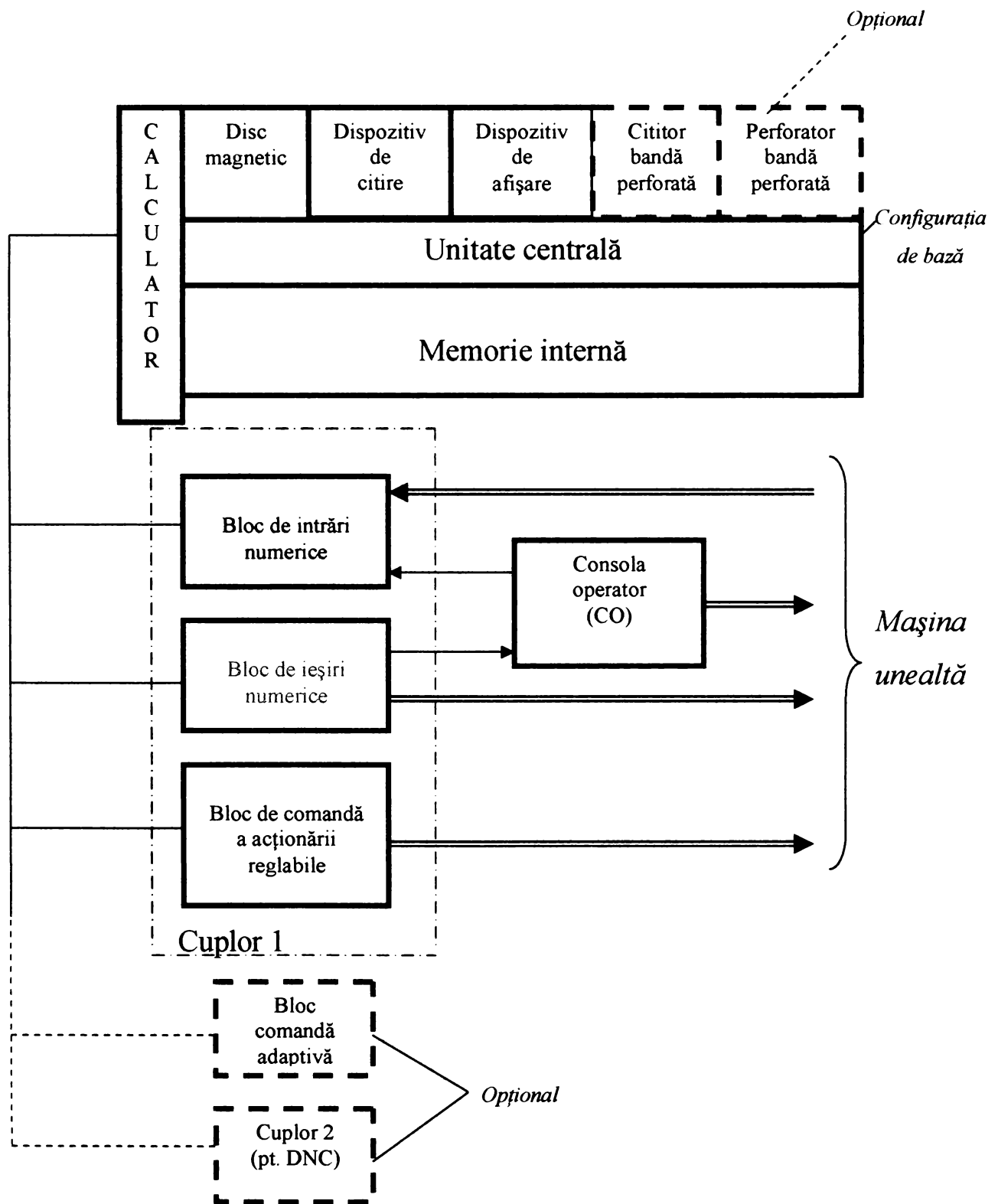
*Blocul de comandă al sistemelor de acționare conține logica de comandă care permite acționarea motoarelor de curent continuu aferente acționărilor de avans.*

*Blocurile de intrare/ieșire realizează recepționarea de la mașina-unealtă a informației discrete. În același timp, ele asigură emiterea spre mașina-unealtă a semnalelor de comandă necesare.*

*Consola operatorului mașinii-unelte reprezintă pentru operator un mijloc de orientare pentru luarea anumitor decizii și pentru confirmarea corectitudinii intervențiilor sale. De la consolă, operatorul poate interveni în orice moment în desfășurarea procesului de prelucrare a piesei, cerând: selectarea și corecția de sculă, reducerea vitezelor de avans, modificarea turației arborelui principal, oprirea avansului, prelucrarea în "oglină" etc.*

*Pentru a păstra întreaga bibliotecă de programe-piesă și a avea un acces rapid la ele, sistemul poate fi dotat cu memorie externă relativ rapidă și de mare capacitate. În cazul acesta, sistemul poate păstra informațiile privind starea de funcționare a mașinilor unelte și evidența numărului de piese prelucrate, și poate fi integrat într-un sistem informațional superior. Pentru a asigura legătura cu un calculator supraordonat, sistemul CNC se dotează cu un dispozitiv de cuplare special, care permite inițializarea dialogării și transferul informației în ambele sensuri.*

*Realizarea funcției de comandă adaptivă poate fi obținută implementând prin software diferiți algoritmi de comandă adaptivă și conectarea traductoarelor de la mașina-unealtă, direct la calculator, prin convertoare analog-numerice.*



**Fig. 4.8 Schema bloc a unui CNC**

Se menționează însă că, în acest caz, este afectată partea interpolării, care se divide în două etape, și anume:

- *în prima etapă, în calculator se memorează pentru fiecare axă de deplasare a mașinii, o informație care conține datele de interpolare pentru câteva lungimi de deplasare (lungimea informației este dictată de lungimea cuvântului-calculator). Aceasta informație se extrage la nevoie pentru a livra informații de comandă pentru cea de a doua etapă.*

- *în cea de a doua etapă se face prezentarea acestor date de interpolare în timp. Acest lucru se realizează cu ajutorul unor blocuri speciale externe calculatorului. Aceste blocuri asigură conversia paralel-serie a datelor de interpolare, livrând o succesiune de impulsuri spre bucla de acționare, cu o frecvență proporțională cu viteza de avans care a fost stabilită în calculator.*

*Interfața calculator - mașină-unealtă se complică în acest caz, însă capacitățile calculatorului se eliberează pentru efectuarea altor sarcini.*

#### **4.5.1.5. Avantajele sistemelor CNC față de echipamentele NC convenționale**

*În comparație cu CN convenționale, sistemele CNC prezintă unele avantaje, care derivă din structura lor ușor adaptabilă la cerințele utilizatorului. Din acestea menționăm ca fiind mai importante următoarele:*

- *pericolul de "îmbătrânire" se manifestă mult mai lent. Generații noi de calculatoare pot utiliza în continuare programele de comandă ale vechilor sisteme CNC, datorită compatibilității cu sistemele anterioare, sau prin utilizarea unor programe de simulare corespunzătoare.*

- *realizând funcții de comandă prin software, calculatorul permite folosirea unor echipamente standard pentru conectarea oricărui tip de mașină-unealtă. Aceasta oferă avantaje atât constructorilor de echipamente, cât și celor de mașini-unelte, și utilizatorilor acestora.*

- posibilitatea de a utiliza procedee de diagnosticare care nu sunt posibile în echipamentele NC convenționale decât la un preț ridicat.

#### **4.5.2. Interfața de proces ADA 1100**

ADA1100 este o interfață de proces cu performanțe foarte ridicate având următoarele caracteristici generale:

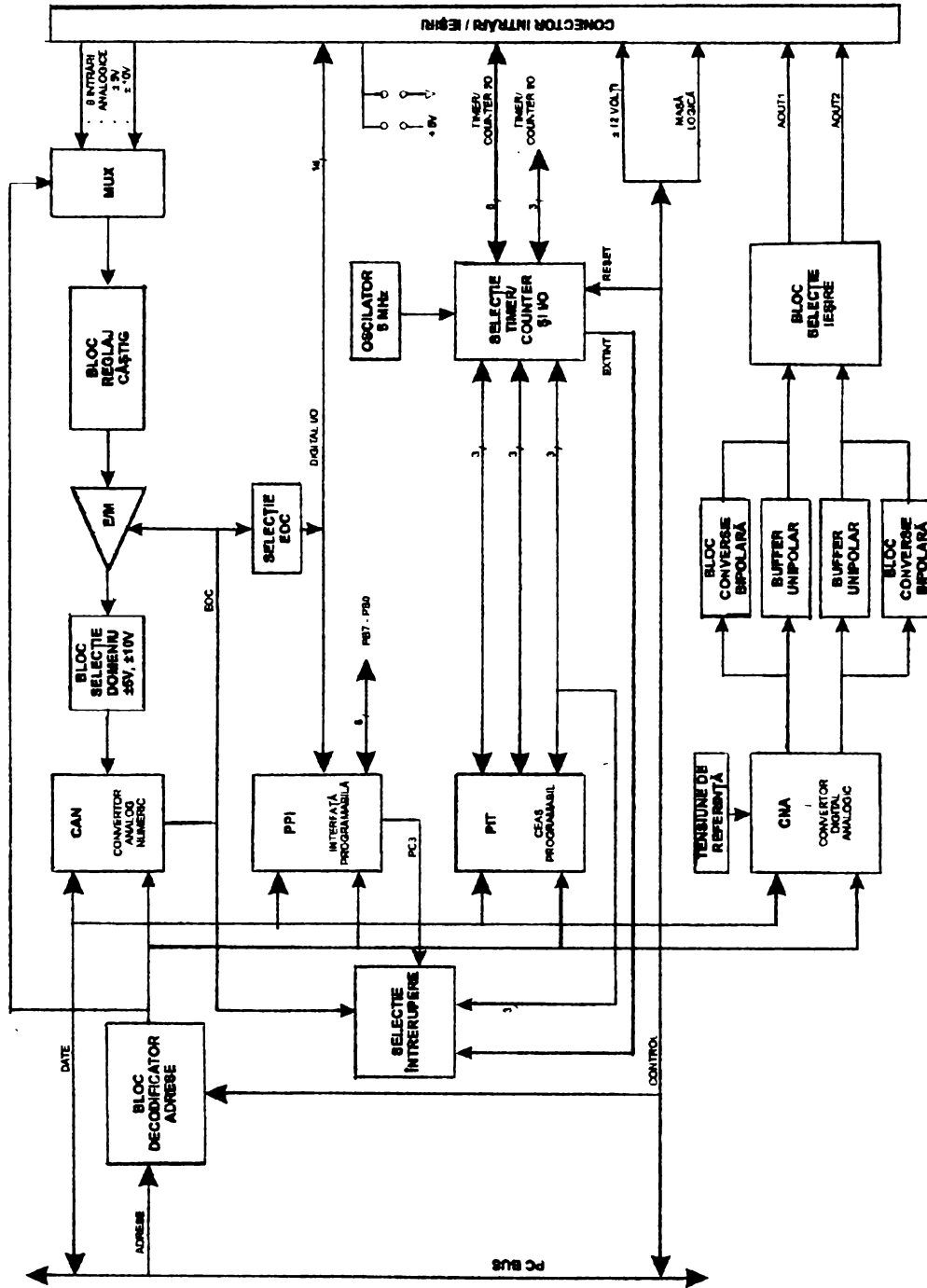
- convertor analog-digital pe 12 biți cu timp de conversie de 12  $\mu$ sec. Rezoluția convertorului poate fi selectată prin soft fie pe 12 biți fie pe 8 biți.
- 8 intrări analogice nediferențiale multiplexate;
- rezistența de intrare  $> 10$  MOhmi
- domeniul tensiunilor de intrare  $\pm 5V$  sau  $\pm 10V$ ;
- intrare programabilă pentru amplificarea semnalului măsurat;
- 2 canale de ieșiri analogice complet separate galvanic;
- 3 timer/counter de frecvență maximă 8 MHz;
- 24 intrări/ieșiri TTL
- programarea interfeței se poate face în orice limbaj de programare (ex. ASSEMBLER, PASCAL, C, VisualC etc).

Aplicațiile de bază la care interfața ADA1100 poate fi folosită sunt:

- automatizări generale;
- achiziții de date de mare viteză;
- testare automată;
- roboți;
- CNC-uri.

Interfața ADA1100 este capabilă să opereze în orice calculator de tip IBM-PC XT,AT fiind astfel concepută încât se conectează direct pe magistrala ISA a calculatorului.

*Datorită acestei facilități, achiziția de date prin intermediul interfeței se realizează foarte simplu prin accesarea directă a elementelor interfeței (CAN, DAC etc.) ca și cum acestea ar fi parte integrantă din calculator.*



**Fig. 4.9** Schema bloc de funcționare a IPAD-01 (ADA 1100)

*Schema bloc a interfeței ADA 1100 este prezentată în figura 4.9.*

*Datorită acestor facilități viteza de operare crește substanțial singurele limitări fiind date de viteza de conversie (în cazul achiziției semnalelor analogice) sau de viteză de operare a calculatorului pe magistrala ISA (tipic viteza de lucru pe magistrala ISA este de 10 - 12 MHz).*

*Programarea și operarea cu circuitele de pe interfață se realizează de asemenea foarte simplu nefiind necesare funcții sau operații software speciale pentru accesarea acestora. Accesul la circuitele interfeței se face prin instrucții simple de tip IN/OUT în cazul programării în ASSEMBLER sau inportb/outportb în cazul programării într-un limbaj de nivel înalt, în cazul prezentat fiind ales limbajul C.*

*Caracteristicile tehnice ale interfeței ADA1100 sunt:*

#### *Interfațare*

- compatibilă IBM PC XT/AT*
- adresa de bază selectabilă prin jumperi*
- întreruperi selectabile prin jumperi*

#### *Intrările analogice*

- 8 canale simple de intrare*
- impedanța de intrare pe fiecare canal > 10 MOhmi*
- domeniul de intrare  $\pm 5V$  sau  $\pm 10V$*
- protecție pe intrări până la  $\pm 12V$*
- timp de selecție pe canal  $\mu\text{sec}$*

#### *Convertorul analog-digital - AD574*

- convertor cu aproximații succesive*
- rezoluție 12 biți*
- precizie  $\pm 1$  bit*
- viteza de conversie 20  $\mu\text{sec}$*
- timpul de eșantionare-memorare 6  $\mu\text{sec}$*
- frecvența maximă de conversie 38 KHz*



*Convertorul digital-analog - AD7537*

- 2 canale de ieșiri analogice
- rezoluție pe 12 biți
- tensiunea de ieșire 5V sau 10V unipolar sau bipolar selectabile prin jumperi
- acuratețe  $\pm 1$  bit
- acuratețe la cap de scală  $\pm 3$  biți
- neliniaritate  $\pm 1$  bit

*Ieșirile analogice - AD712*

- timpul de stabilizare tipic 1,8  $\mu$ sec, maxim 3,3  $\mu$ sec
- eroare de zero  $\pm 1/2$  biți
- curentul de ieșire maxim 10 mA

*Ieșirile digitale - 82C55*

- 24 de linii generale de I/O - disponibile 16

*Timer/Counter - 82C54*

- 3 timer/countere pe 16 biți cu numărare prin decrementare
- numărare în binar sau BCD
- 6 moduri de operare programabile
- frecvența maximă a semnalului de intrare 8 MHz
- ieșirile numărătoarelor compatibile TTL
- comanda externă hardware de funcționare.

## ***4.6 Conducerea adaptivă cu ajutorul calculatorului a mașinii de rectificat RE- 350***

*Pentru implementarea algoritmilor de conducere adaptivi vizați, sistemul conceput trebuie să asigure următoarele funcții:*

- achiziția datelor de la traductoare;
- efectuarea calculelor conform algoritmilor impuși;
- generarea comenzilor către elementele de execuție.

### Structura sistemului de conducere

În figura 4.10 se prezintă schema bloc a sistemului din punct de vedere al traductoarelor și elementelor de execuție:

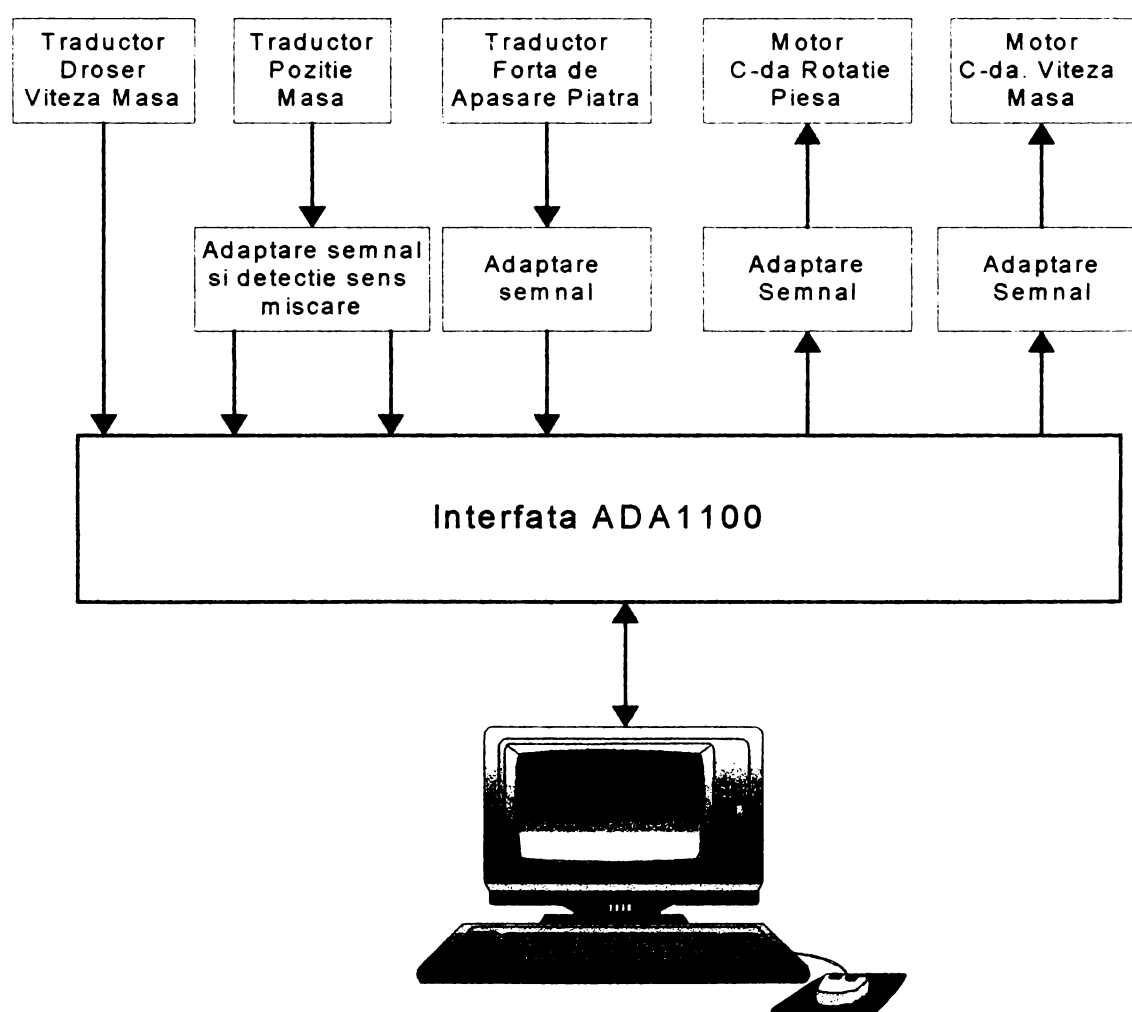


Fig. 4.10 Schema bloc a sistemului de comandă al comenzii adaptive

*După cum se observă din figură, achiziția de date și generarea comenzilor se face prin intermediul unei interfețe de tip ADA1100.*

*Schema electrică completă a interfeței AD1100 precum și modul de conectare a traductoarelor este prezentată în detaliu în Anexa 2. În CD-ul anexat se găsește descrierea schemei electronice și a modului de programare a interfeței ADA1100.*

*Pentru măsurarea mărimilor s-au utilizat următoarele tipuri de traductoare:*

- *pentru măsurarea deschiderii droserului de comandă viteză masă – s-a folosit un traductor rezistiv (potențiomtru) conectat la axul droserului.;*
- *pentru măsurarea poziției mesei – s-a folosit un traductor rotativ incremental absolut;*
- *pentru măsurarea forței de apăsare a pietrei – s-au folosit un traductoare magneto-electrice conectate în punte.*

***Mărimile măsurate sunt:***

- *poziția droserului de comandă viteză masă- este un semnal analogic primit de la un traductor montat pe axul droserului. Semnalul electric primit este cuprins în zona 0V... 3V. O tensiune 0V corespunde închiderii complete a droserului (viteza mesei în acest caz fiind 0 m/min) iar pentru o tensiune de 3V droserul este complet deschis (viteza mesei fiind maximă- aproximativ 9m/min);*
- *poziția mesei – este un semnal TTL caracterizat prin tren de impulsuri, un impuls corespunzând unei deplasări de 0.083 mm;*
- *forța de apăsare a pietrei – este un semnal analogic care după adaptare se caracterizează prin faptul că unei tensiuni măsurate de 1V îi corespund fizic 8daN.*

***Mărimile de comandă a elementelor de execuție sunt:***

- *pentru comanda vitezei mesei – se utilizează un semnal de nivel TTL care este adaptat la nivelul necesar comenzii motorului de acționare a*

*droserului. Acest semnal de comandă este menținut activ până când de la traductorul de măsură a deschiderii droserului de comandă viteză masă, se achiziționează o mărime egală sau mai mare ca cea prescrisă;*

- *pentru motorul de comandă a rotației piesei – se utilizează un semnal analogic cuprins în domeniul 0V...5V aplicat direct convertizorului de frecvență. Corespondența dintre tensiune și turația piesei este: la 0V turația este 0 iar pentru 5V turația este 180 rot/min.*

***Alocarea intrărilor și ieșirilor este:***

- *intrarea analogică IA0 pentru măsurare forța pasivă (radială);*
- *intrarea analogică IA1 pentru măsurare deschidere droser viteză masă;*
- *ieșirile PC1 și PC2 pentru comanda droserului viteză masă;*
- *ieșirea AOUT1 pentru comandă turație piesă;*
- *intrarea CC0 pentru măsurare deplasare masă.*

## **CAPITOLUL V**

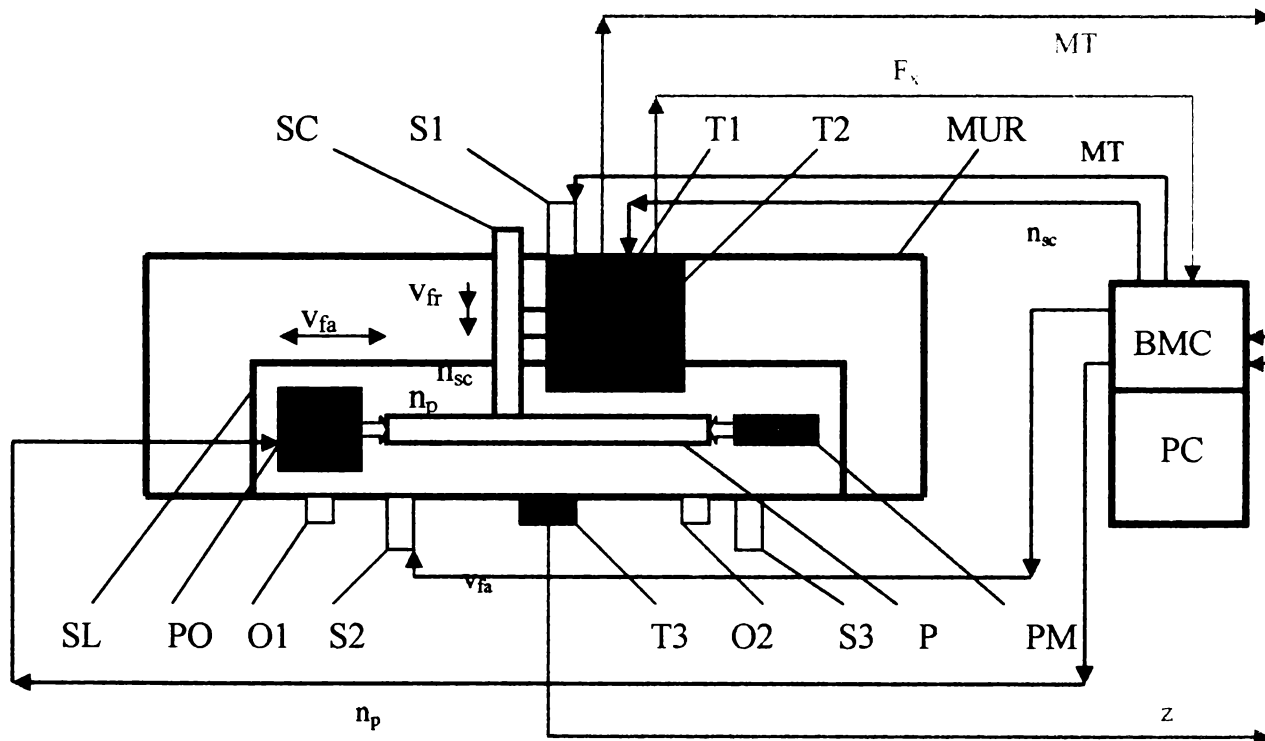
### **STUDII EXPERIMENTALE. CONCLUZII**

#### **5.1 Realizarea standului experimental.**

*După cum am mai arătat pe parcursul prezentei lucrării, scopul declarat este acela de a concepe o comandă adaptivă performantă, adaptată pe mașina de rectificat rotund între vârfuri RE-350, conducerea procesului de prelucrare urmând să se facă cu un calculator electronic. Introducerea calculatorului electronic și a plăcilor de achiziții de date specializate (vezi capitolul IV) permite prelucrarea digitală a semnalelor ceea ce se constituie într-o importantă îmbunătățire a procesului de conducere a sistemului față de situația prezentată în capitolul I unde se prezintă o comandă adaptivă analogică. Îmbunătățirea esențială constă în faptul că, în contextul păstrării aceluiași soluții constructive a traductorilor din proces, urmărirea fenomenelor tehnologice este mult mai fidelă, iar posibilitățile rapide de calcul oferă posibilitatea unor prelucrări de date și comenzi aferente mult mai rafinate și mai apropiate de scopul urmărit decât în cazul unei comenzi analogice. Deasemenea, trebuie subliniat că, introducerea calculatorului și a comenzii digitale permite o adaptare dinamică a parametrilor limită, în cazul nostru forța de referință maximă.*

*Schema bloc a mașinii de rectificat rotund între vârfuri RE-350 echipată cu comandă adaptivă cu prelucrare digitală a semnalului și proces controlat de calculatorul electronic este prezentată în figura 5.1. De remarcat că, în ceea ce privește construcția mecanică s-au păstrat soluțiile constructive prezentate în capitolul I, fiind înlocuit doar traductorul de măsurare a deplasării liniare a mesei longitudinale cu un traductor electro-optic rotativ, în acest sens executându-se o*

*modificare constructivă prin atașarea de sania mașinii a unei rigle care vine în contact cu rola rotitoare a traductorului, acesta fiind fixat la rândul său de carcasa mașinii. Soluția constructivă aleasă poate fi observată în figura 5.2 care prezintă imaginile de ansamblu ale instalației experimentale.*



**Fig. 5.1** Schema bloc a standului experimental

- unde :
- SC* – sculă (piatră abrazivă)
  - S1* – servodrosel proporțional pentru comanda microdeplasărilor transversale *MT*
  - T1* – traductor pentru măsurarea microdeplasărilor transversale
  - T2* – punte de traductoare pentru măsurarea forței pasive (radiale)  $F_p$  ( $F_x$ )
  - MUR* – mașina uneltă de rectificat
  - BMC* – bloc de măsură și control
  - PC* – calculator

*PM – păpușă mobilă*

*P – piesă*

*O1, O2 – limitatori de cursă*

*T3 – traductor electro- optic pentru deplasarea liniară a mesei longitudinale a mesei mașinii de rectificat*

*S2 – servodrosel pentru comanda mișcării mesei longitudinale*

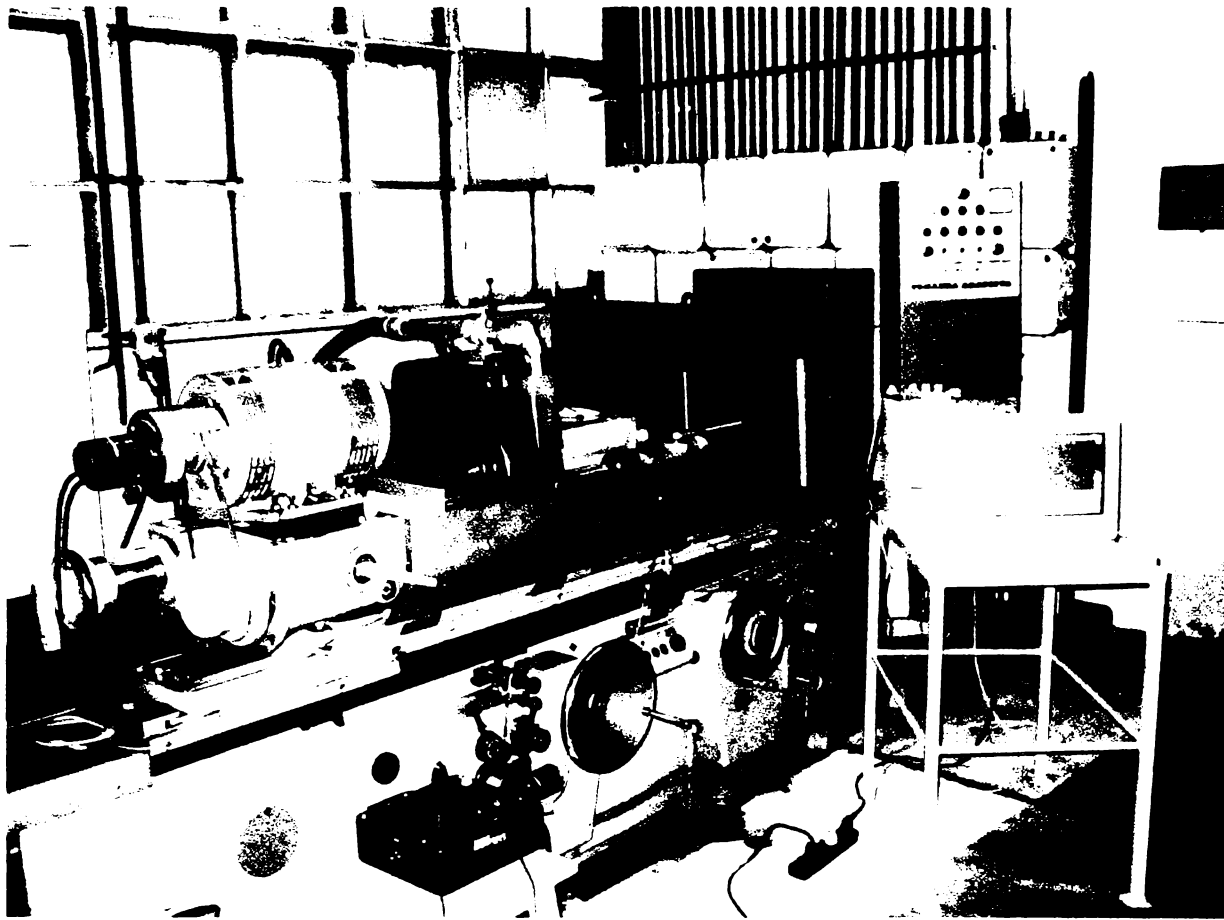
*PO – păpușa fixă*

*SL -- sania longitudinală*

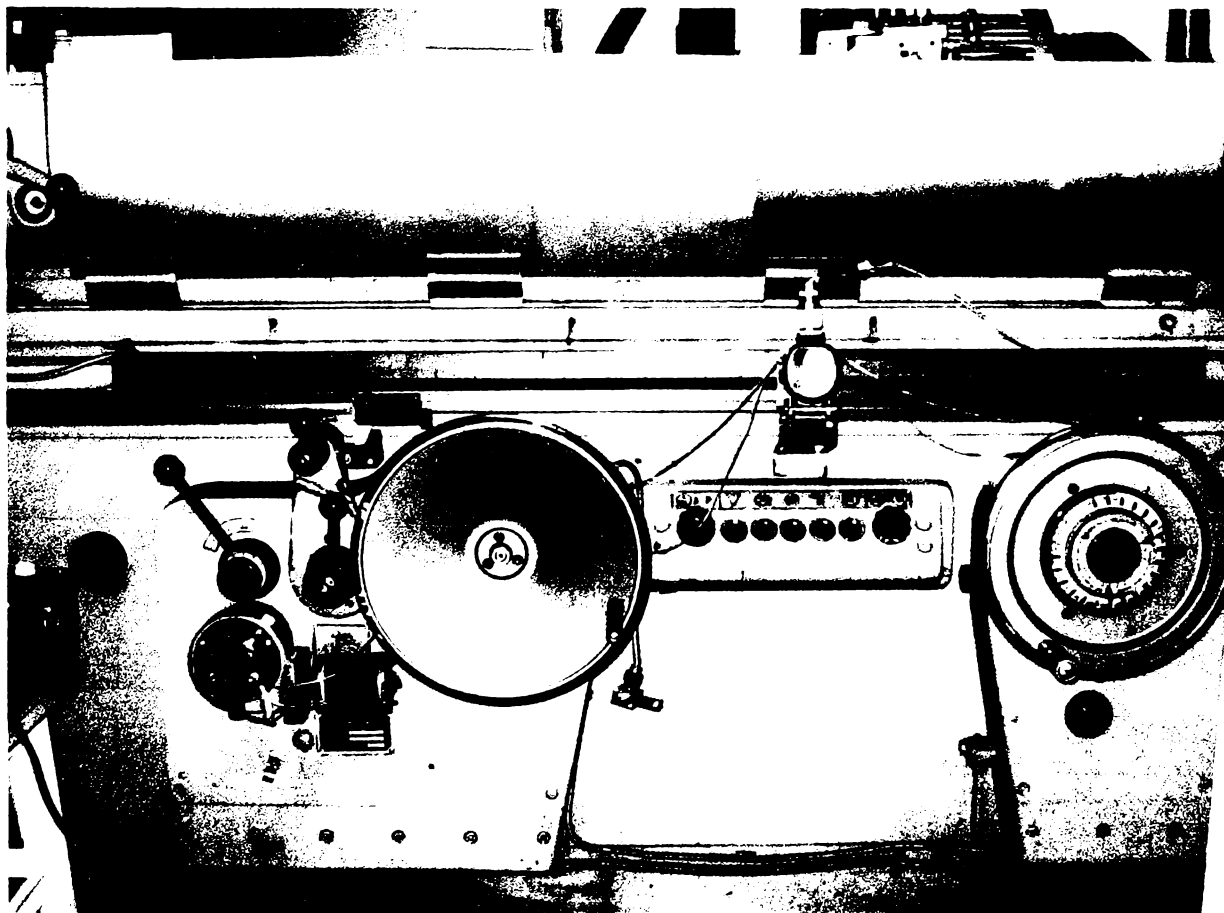
*S3 – servodrosel pentru comanda de pătrundere a mesei transversale*

*Se poate observa că în construcția prezentată nu este comandată electronic deplasarea transversală a saniei port-piatră aceasta realizându-se clasic prin echipamentele hidraulice și mecanice cu care a fost echipată mașina din construcție. Deplasarea transversală este comandată electronic doar pentru microdeplasările arborelui port-piatră, microdeplasări utilizate în faza finisării. Acest fapt se explică prin aceea că lucrarea de față integrează conceptual toate preocupările de până acum legate de introducerea comenzii adaptive pe această mașină, echiparea sa cu bloc de prelucrare și comandă digitală a semnalului permițând pentru prima dată prelucrarea în regim de producție a unor piese zvelte care necesită rectificare rotundă exterioară între vârfuluri, ceea ce presupune asigurarea doar a unui avans transversal intermitent la capete de cursă pentru realizarea adâncimii de așchiere  $a_e$ . În cazul unor piese scurte care necesită prelucrare cu avans transversal, comanda adaptivă presupune reglarea continuă a acestuia cu ajutorul servodroselului S3 care va fi cuplat la blocul de comandă al standului. Softul utilizat în acest caz va fi adaptat prelucrării amintite.*

*Reglajul cursei longitudinale a saniei longitudinale (port-piesă) pe care sunt fixate păpușa fixă PO și păpușa mobilă PM se realizează mecanic prin limitatoarele de cursă O1 și O2. Prin amplasarea acestora se realizează practic cursele aferente opțiunilor I, II, III A și III B. Angrenarea mesei longitudinale în*

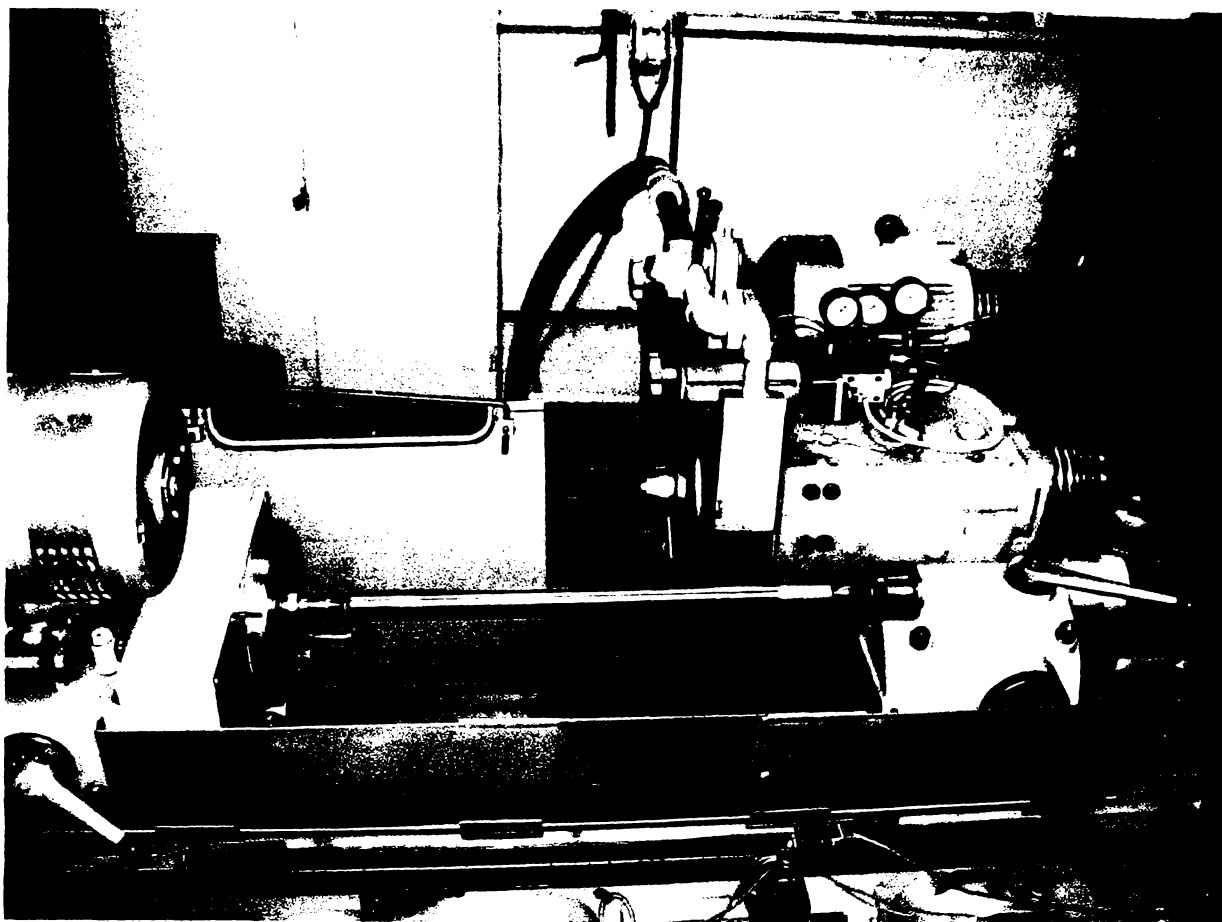


*Fig. 5.2 Vedere generală*

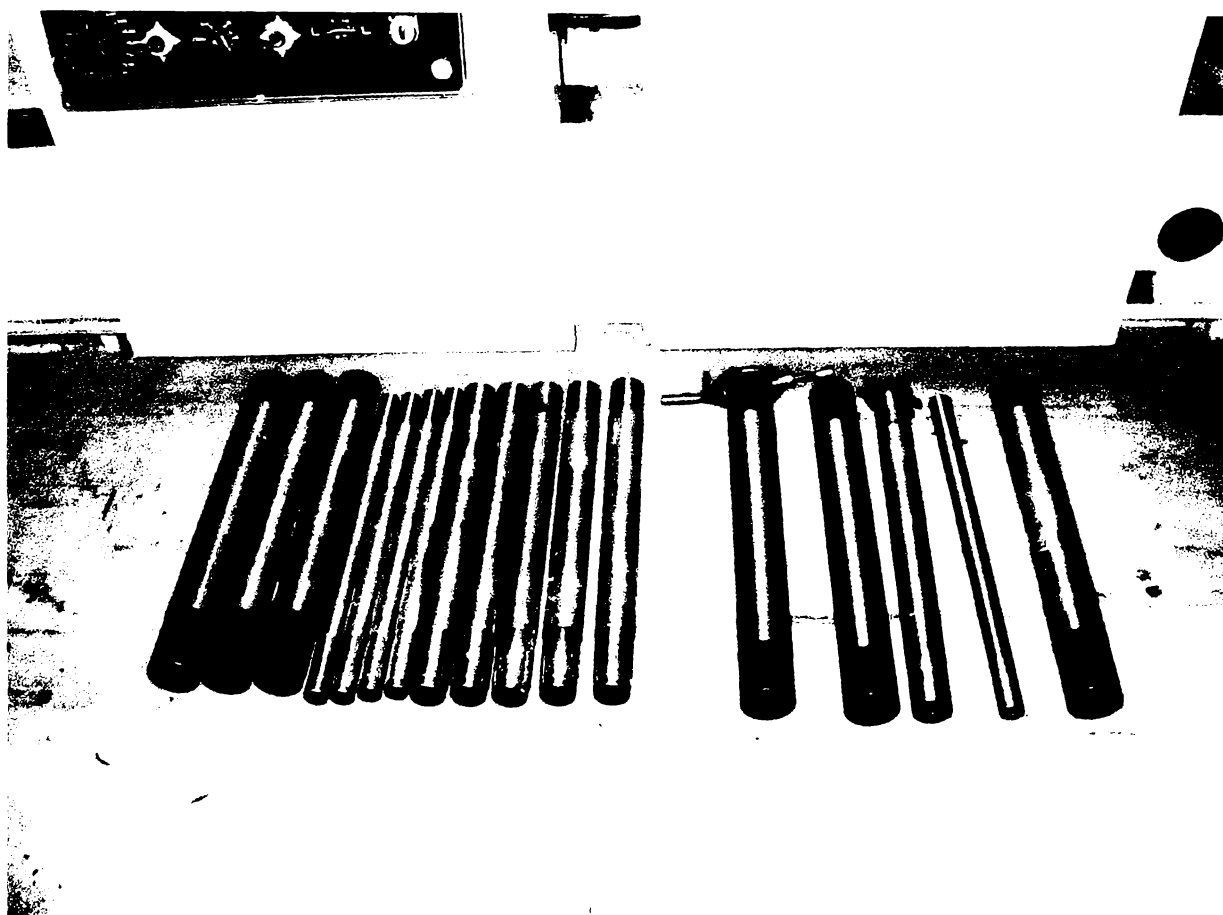


*Fig.5.3 Vedere panou frontal mașină*

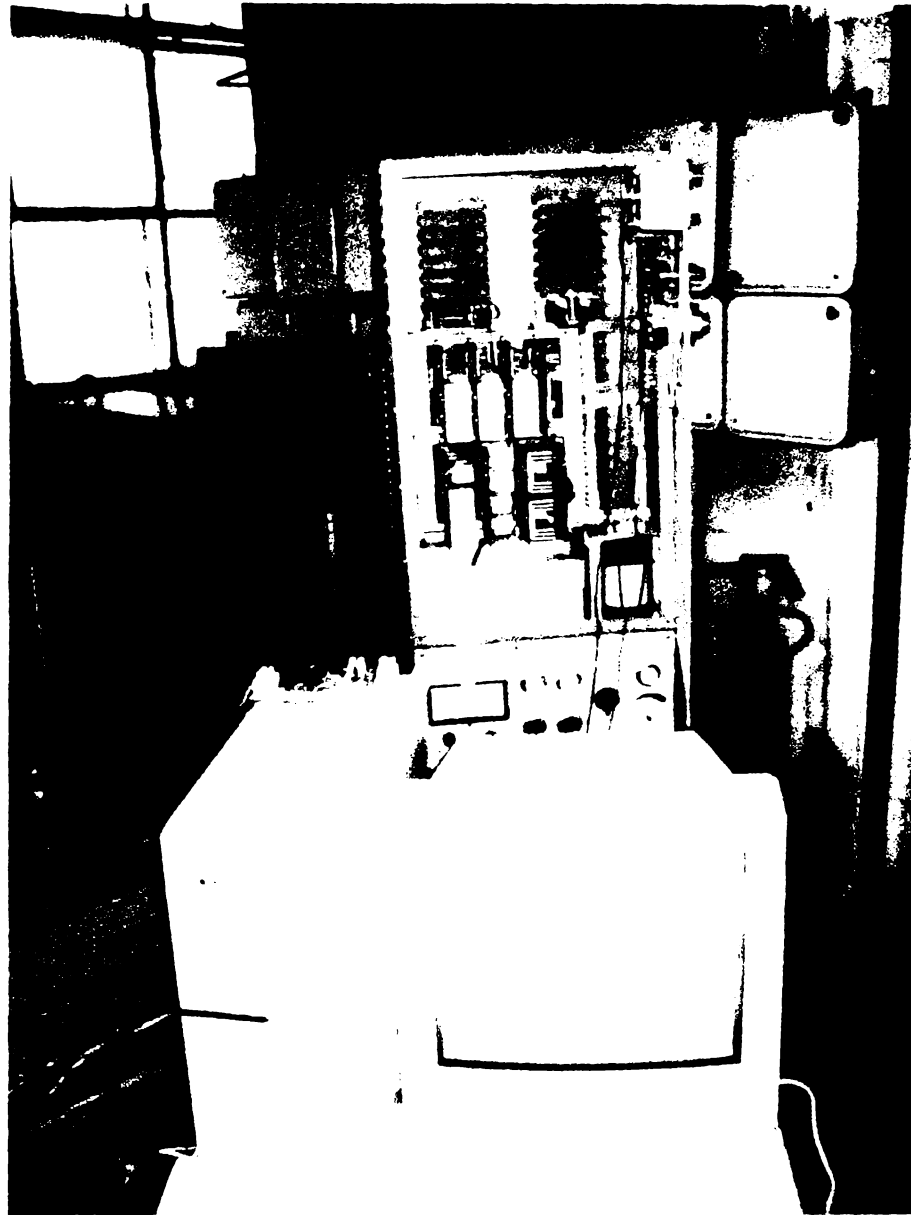




*Fig 5.4 Vedere spațiu de lucru*



*Fig 5.5 Probe pentru încercări experimentale*



**Fig. 5.6 Blocul de comandă și calculatorul comenzii adaptive**

*mișcare se face cu ajutorul unui motor hidraulic comandat de servodroșelul S2 (Fig. 5.3). Poziția instantanee a mesei se determină cu traductorul T3 (Fig.5. 3).*

*Mișcarea de antrenare a piesei în mișcare de rotație este asigurată de angrenajele păpușii fixe acționate de un motor electric cu variator încorporat. Antrenarea semifabricatului se face prin intermediul inimii de antrenare, iar fixarea sa de către vârful păpușii mobile se face prin intermediul acționării hidraulice care echipează mașina unealtă.*

*Mișcarea de apropiere rapidă a mesei transversale (port-piatră) se face printr-un mecanism șurub piuliță iar mișcarea de pătrundere la cap de cursă este*

*comandată hidraulic. În cazul nostru, după cum s-a arătat mai sus, avansul s-a executat manual și nu în ciclul automat. S-a preferat această metodologie de lucru fiind vorba de determinări experimentale a căror rezultate au rol comparativ și deci, pentru o cât mai mare acuratețe s-au eliminat posibilele erori ale comenzii electronice pentru avansul transversal, acesta neinfluențând direct funcționarea comenzii adaptive. O eroare suplimentară în plan transversal ar fi influențat în mod determinant precizia dimensională a piesei finite (avem o prelucrare de precizie – rectificare de finisare ca ultimă fază) și deci concluziile care urmau să fie trase la finalul prelucrării puteau fi distorsionate și neconcludente. În condițiile prelucrării de serie se poate utiliza comanda automată a ciclului cotelor de pătrundere, după ce cercetările amănunțite asupra comportării comenzii adaptive pentru diferitele variante posibile de prelucrare vor permite elaborarea unor recomandări tehnologice clare.*

*Mișcarea de rotație a sculei abrazive este asigurată de un motor electric care transmite mișcarea arborelui port-piatră printr-o transmisie cu curele. Soluția constructivă a arborelui port-piatră (principal) este cea prezentată în figurile 1.7, 1.8, 1.9 și descrisă în capitolul I. Deasemenea în cadrul încercărilor s-a utilizat puntea de traductoare cu care este echipat subansamblul arborelui principal și a cărei construcție și funcționare este evidențiată în figurile mai sus amintite.*

*Introducerea comenzii digitale și a conducerii procesului de prelucrare cu calculatorul electronic a necesitat o abordare nouă în ceea ce privește construcția integrată a instalației experimentale. S-a urmărit integrarea cât mai eficientă a soluțiilor echipamentelor electronice realizate și prezentate amănunțit în capitolul IV cu soluțiile mecanice prezentate în capitolul I și în capitolul de față, pentru a realiza o instalație capabilă să găsească răspunsurile la întrebările puse în această lucrare.*

## ***5.2 Datele inițiale ale încercărilor experimentale.***

***Mașina unealtă*** - *mașina de rectificat rotund exterior RE -350 echipată conform celor prezentate în subcapitolul 5.1.*

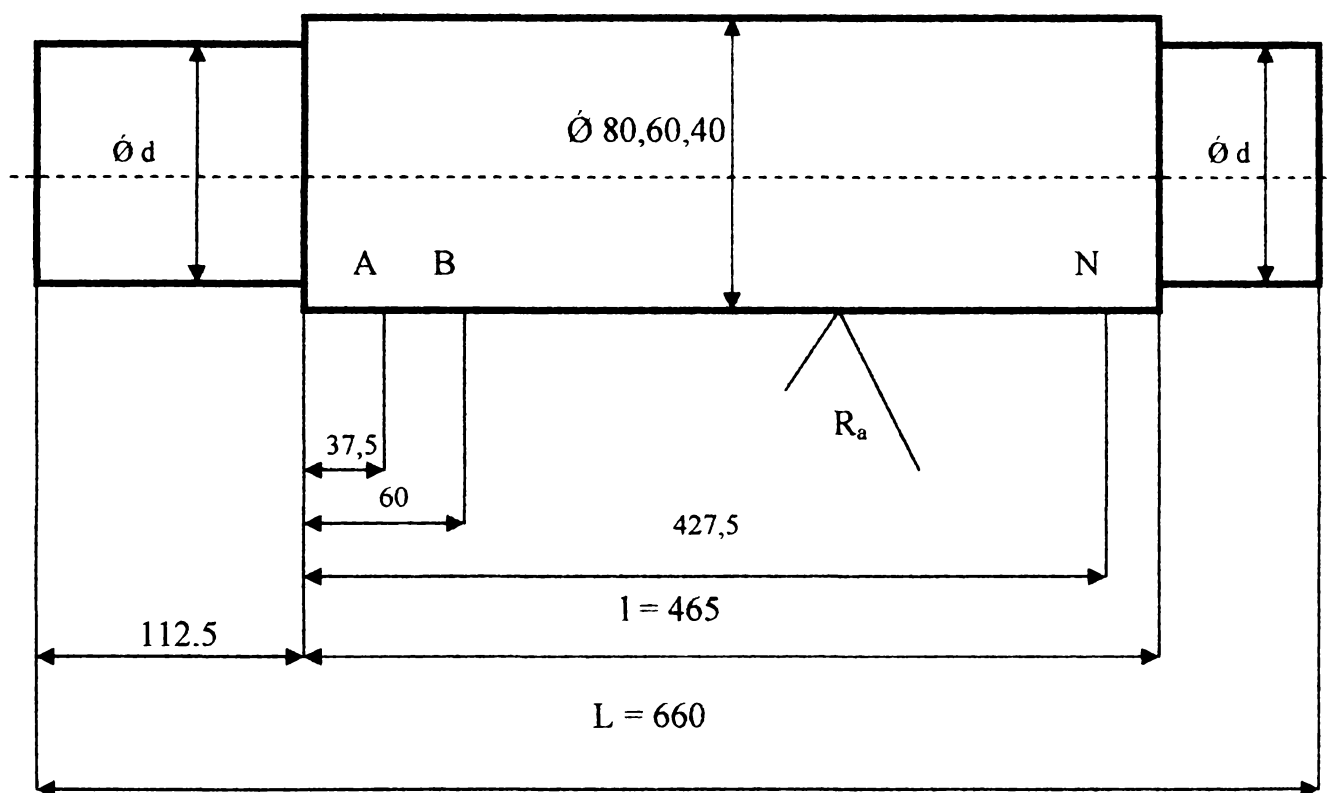
- *piatră de rectificat –electrocorindon*
- *lățime piatră -  $B=80$  mm*
- *diametru piatră -  $D=500$  mm*
- *turație piatră -  $n_{pd,f}= 1200$  rot/min.*

***Semifabricatul*** - *material – OLC 45*

- *tratament termic – îmbunătățire ( călire  $850^{\circ}$  C, revenire înaltă  $600^{\circ}$  C, duritate 28-32HRC)*
- *grupe de diametre 80 mm, 60 mm și 40 mm*
- *rugozitatea  $R_a$  -  $3,2$   $\mu$ m*
- *lungime semifabricat -  $L$  – 660 mm*
- *lungime de prelucrat –  $l$  - 465 mm*
- *adaos de prelucrare – total -  $A_p=0,3$  mm*
  - *degroșare- $A_{pd}=0,24$  mm*
  - *finisare -  $A_{pf}=0,06$  mm*
- *puncte de calcul și măsură – din 30 în 30 de mm*

*S-au utilizat grupele de diametre pentru a putea evidenția clar influența rigidității asupra parametrilor prelucrării cu comandă adaptivă. Forma schematizată a semifabricatelor folosite este prezentată în figura 5.7.*

*Diametrul  $d$  a capetelor de arbore este mai mic cu cel puțin  $2A_p$  pentru a asigura ieșirea sculei la capăt de cursă. Punctele A,B,...N sunt 14 puncte de măsurare.*



**Fig. 5.7 Piesa folosită pentru încercări**

**Algoritmi de prelucrare – A I – criteriul  $O_5$  de optimizare –  $f(N, R)$**

**- A II – criteriul  $O_7$  de optimizare –  $f(N, R, C)$**

**- MT – microdeplasări transversale a arborelui portsculă în faza de finisare utilizate împreună sau simultan cu A I sau A II.**

**Opțiuni de prelucrare** - pentru început se vor face încercări cu opțiunea II și opțiunea III A adică opțiunile în care comanda adaptivă este cuplată după ce scula vine în contact complet cu piesa (subcap. 3.2.4). Diferența între cele două

*opțiuni este aceea că la prima avansul transversal de pătrundere are loc în afara zonei de prelucrare iar la cea de-a doua acest avans are loc în timpul prelucrării. Pentru opțiunea II la capete de cursă mașina va lucra cu parametrii prescriși teoretici (argumentele au fost prezentate în subcapitolul 3.3). Aceste opțiuni se vor combina cu algoritmi mai sus amintiți și vor rezulta variantele de prelucrare prezentate în fișele de măsurători. De asemenea se va studia și posibilitatea creșterii productivității prin mărirea avansului de pătrundere la prima trecere.*

*Numărul mai redus de încercări se justifică prin aceea că lucrarea de față este doar un studiu comparativ între prelucrarea clasică și prelucrarea cu comandă adaptivă, dorindu-se evidențierea oportunității utilizării pentru prelucrarea de rectificare rotundă exterioară a uneia dintre variantele menționate, fără a ne propune să facem recomandări de regimuri de așchiere, lucru care ar necesita un număr mult mai mare de determinări cu caracter statistic și deci implicit costuri mult mai ridicate, mult peste bugetul și așa destul de substanțial necesar realizării lucrării de față.*

### **5.3 Stabilirea obiectivelor cercetării experimentale.**

**Obiectivul principal** este acela al studiului comparativ al variantelor supuse analizei din punct de vedere al **productivității prelucrării**.

**Obiective secundare** – studiul influenței comenzii adaptive asupra **preciziei dimensionale**;

- studiul influenței comenzii adaptive asupra **calității suprafeței rezultate** în urma prelucrării;
- **comportarea comenzii adaptive și a comenzii digitale** în timpul procesului de rectificare.

*În urma studiilor anunțate mai sus se vor emite anumite concluzii legate de oportunitatea utilizării comenzii adaptive și a variantelor optime ale acesteia. Dezideratul anunțat este cel al creșterii productivității prelucrării și a reducerii costurilor în condițiile păstrării condițiilor impuse de proiectant în ceea ce privește precizia dimensională și calitatea suprafeței. Acest lucru se poate obține prin eliminarea totală sau parțială a fazei de destindere, care, în mod uzual, se poate apropia ca durată de timpul cumulativ al fazei de degroșare și finisare. Considerentele tehnologice care stau la baza acestui demers au fost pe larg explicate în capitolele anterioare.*

*Complexitatea și dificultatea introducerii unei comenzi adaptive fiabile și cu rezultate convingătoare constă în multitudinea de parametri care influențează procesul de rectificare și care urmează să fie corelați într-o formulă matematică cât mai suplă dar care să modeleze suficient de bine fenomenul real din timpul prelucrării. Acest lucru s-a realizat în lucrarea de față prin enunțarea a doi algoritmi de prelucrare. În primul caz se va coordona procesul de rectificare în funcție de forța radială (pasivă) direct măsurată în proces (optimizare în funcție de productivitate și precizie  $O_5$ ), iar în al doilea caz pe lângă forța mai sus amintită, coordonarea se va face și funcție de deformația sistemului tehnologic elastic (optimizare în funcție de cost, productivitate și precizie  $O_7$ ). Varianta cu microdeplasări transversale ale arborelui principal (port-piatră) este o gândită ca o completare în faza finisării sau uneori chiar a degroșării în vederea creșterii în special a productivității, ea bazându-se pe ideea unui avans transversal suplimentar menit să elimine erorile datorate deformațiilor generate de forța reală radială dezvoltată în procesul de rectificare, această forță fiind măsurată pe parcursul prelucrării.*

## 5.4 Calcule tehnologice.

Aceste calcule sunt necesare pentru a stabili parametri teoretic prescriși ai prelucrării pentru fiecare semifabricat, precum și a parametrilor care urmează să fie reglați prin intermediul comenzii adaptive în timpul procesului de rectificare.

Calculule și valorile unor parametri vor fi conforme cu cele prezentate în capitolele anterioare, respectiv cu datele datele furnizate de sursele bibliografice [39] și [63]. Pornind de la datele inițiale prezentate la subcap 5.2 se stabilesc în continuare:

### A. PARAMETRI PRESCRIȘI

1. durabilitate piatră – degroșare-  $T_d = 12$  min.  
- finisare -  $T_f = 25$  min.
2. adâncime de așchiere – degroșare -  $a_{ed} = 0,03$  mm  
- finisare -  $a_{ef} = 0,012$  mm
3. coeficient  $\beta$  – degroșare -  $\beta_d = 0,6$   
- finisare -  $\beta_f = 0,4$
4. coeficienții  $K_{VT}, K_{VB}$  -  $K_{VT} = 1$   
-  $K_{VB} = 1$
5. număr de treceri – degroșare -  $i_d = 8$   
- finisare -  $i_f = 5$
6. viteza de așchiere a sculei -  $v_{scd,f} = 31,4$  m/s
7. diametrele pieselor -  $d_{pi}$  – diametrele inițiale ale fiecărei probe

Obs. Pe fiecare piesă dintr-o anumită clasă de diametre se execută mai multe încercări (vezi fișele de măsurători)

8. viteza de rotație a piesei – degroșare –  $v_{ipdi} = \frac{0,2 \times d_{pi}^{0,3}}{T_d^{0,5} \times \beta_d \times a_{ed}} \times K_{VT}$  m/min  
- finisare -  $v_{ipfi} = \frac{0,1 \times d_{pi}^{0,3}}{T_f^{0,5} \times \beta_f \times a_{ef}} \times K_{VT} \times K_{VB}$  m/min



9. *turația prescrisă a piesei* -  $n_{pd,fi} = \frac{1000 \times v_{ipd,fi}}{\pi \times d_{pi}}$  *rot/min*

10. *avans de trecere* - *degroșare* -  $f_{ad} = \beta_d \times B = 48$  *mm/rot*  
 - *finisare* -  $f_{af} = \beta_f \times B = 32$  *mm/rot*

11. *viteza de avans longitudinal prescris-degroșare* -  $v_{fadi} = \frac{f_{ad} \times n_{pdi}}{1000}$  *m/min*

- *finisare* -  $v_{fafi} = \frac{f_{af} \times n_{pfi}}{1000}$  *m/min*

12. *coeficient*  $C_F$  -  $C_F = 2,2$

13. *forța principală de așchiere prescris*

(*degroșare, finisare*) -  $F_{yd,fi} = C_F \times v_{ipd,fi}^{0,7} \times f_{ad,f}^{0,7} \times a_{ed,f}^{0,6}$  *daN*

14. *forța pasivă (radială) prescrisă* -  $F_{xd,fi} = K \times F_{yd,f}$  ( $K=1...3$ ) *daN*

*Obs. –în cadrul prezentei lucrări se va utiliza valoarea de 1,5 pentru coeficientul K. Se pot extinde studiile pentru alte valori ale acestuia.*

## **B. PARAMETRI REGLAȚI DE COMANDA ADAPTIVĂ**

15. *rigiditățile statice ale STE* ( $j_{PO}, j_{PM}, j_{PR}, j_{SP}, j_{AP}$ ) - *conform Tab.2.1*

16. *modul de elasticitate* -  $E = 2,1 \times 10^4$  *daN/mm<sup>2</sup>*

17. *modulul de inerție* -  $I_i = \frac{\pi \times d_{pi}^4}{64}$  *mm<sup>4</sup>*

18. *coeficienți aferenți formulei 3.26 (sau 3.29 A I)* -  $p = 0,8$  [1]

-  $K_{1d,fi} = \frac{F_{xd,fi}}{v_{fad,fi}^p}$

19. *viteza de avans longitudinal A I (3.29)* -  $v_{fad,fi} = \left( \frac{F_x}{K_{1d,fi}} \right)^{\frac{1}{p}}$  *m/min*

20. *turația piesei A I (3.29)* 
$$- n_{pd,fi} = \frac{1}{\beta_{d,f} \times B} \left( \frac{F_x}{K_{1d,fi}} \right)^{\frac{1}{p}} \quad \text{rot/min}$$

unde –  $F_x$  -forța măsurată

21. *rigiditatea STE* 
$$- j_{STEi} = \frac{1}{\left(1 - \frac{z}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{PO}} + \left(\frac{z}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{PM}} + \frac{z^2(l-z)^2}{3EI_i L} + \frac{1}{j_{PR}} + \frac{1}{j_{AP}} + \frac{1}{j_{SP}}}$$

unde –  $z$  – cota curentă a poziției sculei

22. *coeficient de ajustare pentru A II* 
$$- K_{2d,fi} = \frac{v_{fad,fi}}{20 \frac{a_{ed,f} j_{STE(PM)}}{F_{xd,fi}} (2i+1)L}$$

Obs. Se calculează în punctul de rigiditate maximă (PM), considerând că în acest punct ar fi optim să se lucreze cu parametrii prescriși teoretic.  $v_{fad,fi} = K_2 v_{faPM}$

23. *coeficient  $\lambda$*  
$$- \chi = \frac{a_{ed,f} j_{STEi}}{F_x}$$

24. *viteza de avans longitudinal A II (3.68)* 
$$- v_{fad,fiII} = v_{fad,fi} \frac{j_{STEi} F_{xd,fi}}{F_x j_{STEPM}} \quad \text{m/min}$$

Obs. Formula mai poate fi scrisă și sub forma

$$v_{fad,fiII} = v_{fad,fi} \frac{x_{PMd,f}}{x_{STEi}} \quad \text{ceea ce justifică afirmația}$$

făcută la subcapitolul 5.3

25. *turația piesei A II (3.68)* 
$$- n_{pd,fiII} = \frac{v_{fad,fiII}}{\beta_{d,f} B} \quad \text{rot/min.}$$

## ***5.5 Modul de implementare a algoritmilor de optimizare și programul de calculator aferent încercărilor experimentale.***

*Programul executat și instalat pe calculatorul standului experimental a fost redactat în limbajul C++ și este un program secvențial. Prezentarea sa este făcută în Anexa 1 sau pe CD – ul atașat lucrării. În forma actuală el este dedicat încercărilor experimentale, dar cu modificări minore este ușor adaptabil pentru orice prelucrare de acest tip pe mașina de rectificat prezentată.*

*Din punct de vedere structural se respectă schemele logice prezentate în capitolul III.*

*Dintre caracteristicile esențiale ale programului putem aminti faptul că:*

- Pentru implementarea algoritmilor de conducere adaptivi s-a ținut cont de cerințele impuse de aceștia (calculare inițiale) precum și de capabilitățile sistemului de calcul. Astfel există o parte comună pentru ambii algoritmi și câte o parte specifică fiecărui algoritm în parte. Partea comună se concretizează în modul de achiziție a mărimilor și de generare a comenzilor din punct de vedere strict hardware.*
- Principiul de măsură pentru semnalele analogice (deschidere drosel viteză masă și forța de apăsare piatră) pornește de la caracteristicile convertorului analog/numeric care echipează interfața ADA1100. După cum rezultă din datele tehnice o conversie analog/numerică durează 20 μsec. Pornind de la acest fapt și ținând cont de constanta de timp a mașinii de 200 msec, o achiziție a unei mărimi analogice se face prin medierea a 500 de măsuratori efective. Astfel pentru măsurarea unei mărimi analogice se consumă 10 msec.*

- *Pentru măsurarea deplasării mesei s-a utilizat un circuit timer/counter (8254) cu ajutorul căruia se contorizează impulsurile primite de la traductorul de măsură a deplasării vitezei mesei. După cum s-a precizat mai sus un impuls corespunde unei deplasări de 0,083 mm. Citirea cotei curente se face cu o perioadă de 55 msec. Expirarea acesei perioade de timp este sesizată prin generarea unei întreruperi, în rutina de tratare a întreruperii efectuându-se citirea contorului. Cu ajutorul acestei metode se determină pe lângă poziția mesei și viteza reală a mesei. Sistemul de măsură a deplasării și a vitezei reale a mesei este inițializat la fiecare schimbare de sens astfel încât la fiecare citire (cu perioada de 55 msec) cota măsurată este corectată. Sesizarea schimbării de sens se face prin determinarea defazajului dintre semnalele generate de traductorul incremental.*
- *Generarea semnalului de comandă pentru turația piesei nu ridică probleme de timp deoarece viteza de reacție a convertorului digital/analog este de maxim 3,3 μsec. Generarea acestei comenzi se face funcție de algoritmul de conducere utilizat.*
- *Comanda droserului vitezei mesei este implementată astfel încât să poată asigura generarea de comenzi de închidere respectiv deschidere a droserului vitezei mesei funcție de rezultatele obținute după efectuarea calculelor matematice. Viteza de reacție a sistemului depinde de unghiul de deschidere sau închidere calculat.*
- *Trebuie menționat faptul că pentru toate mărimile prezentate s-au folosit metode de conversie din mărimi electrice în unități de măsură și invers, din unități de măsură în unități inginerești [48].*
- *Pentru algoritmul I de conducere adaptivă, caracteristicile de implementare se concretizează prin faptul că măsurarea mărimilor și generarea comenzilor se face cu o perioadă de 200 msec. Aceasta perioadă a fost stabilită ținând cont de viteza de reacție a sistemului hidraulic a mașinii.*

- *Pentru algoritmul II de conducere adaptivă, caracteristicile de implementare se concretizează prin faptul că măsurarea mărimilor și generarea comenzilor se face ținând cont de poziția mesei. Astfel s-au efectuat măsuratori la deplasări de 1 mm, 10 mm și 30 mm.*
- *Programul este structurat astfel încât să asigure flexibilitate în utilizare, operatorul având posibilitatea de a opta pentru o variantă de rectificare funcție de poziția în care se execută avansul transversal. Programul asigură introducerea mărimilor inițiale: tip material, lungime piesă, diametru piesă, adâncimea totală de așchiere, adâncimea totală de așchiere la degroșare și adâncimea totală de așchiere la finisare. Ținând cont de aceste mărimi, programul generează automat mărimile prescrise ( viteza masă și turație piesă) precum și coeficienții de corecție pentru prelucrarea curentă. Toate mărimile calculate sunt puse la dispoziție într-un fișier creat automat de către program. Fișierul conține toate informațiile referitoare la algoritmul I cât și la algoritmul II.*
- *Prin efectuarea calculelor teoretice programul determină automat numărul de treceri necesare efectuării operației de degroșare respectiv finisare. După efectuarea calculelor se intră în secvența de inițializare a mașinii (aducere în punctul de zero mașină), viteza mesei și turația piesei fiind aduse la valorile prescrise. În momentul ajungerii în punctul de zero, programul, funcție de opțiunea aleasă de operator, startează algoritmul de conducere ales. În timpul prelucrării se asigură următoarele funcții: controlul forței pasive (radiale), controlul poziției mesei, controlul vitezei de deplasare a mesei, efectuarea calculelor conform algoritmului utilizat, generarea comenzilor pentru viteza mesei longitudinale și turația piesei. Toate măsurătorile efectuate sunt salvate automat într-un fișier. Programul asigură și o serie de funcții de siguranță în funcționare: limitarea vitezei mesei longitudinale și a turației piesei.*

## ***5.6 Rezultate experimentale. Comentarii și concluzii.***

*În continuare sunt prezentate fișele de calcule teoretice și măsurători aferente încercărilor experimentale efectuate. Scopurile urmărite sunt cele prezentate în subcapitolul 5.3. Trebuie subliniat că vor fi evitate comparațiile cantitative exprimate prin cifre și ne vom rezuma mai ales la aprecieri calitative sau ierarhice, deoarece studiile făcute urmăresc comportări fenomenologice, cu dorința de a verifica corectitudinea supozițiilor teoretice. Pentru a se putea face recomandări tehnologice, cu valori ai unor parametri, este necesară continuarea studiului aplicativ pe o bază mult mai largă de aplicații, în acest fel asigurându-se o susținere statistică a valorilor și soluțiilor recomandate. Având în vedere multitudinea factorilor care influențează procesul de rectificare, se poate considera că prin lucrarea de față se pot deschide o serie de direcții de aprofundare științifică a efectelor introducerii comenzii adaptive.*

*Într-o primă fază (fișele 1,2,3,4,5,6,7,8,9), s-au executat pe o piesă din aceeași clasă de diametre, prelucrări de rectificare rotundă exterioară în următoarea ordine :*

- prelucrare cu comandă adaptivă bazată pe algoritmul I și opțiunea II legată de modul de executare a avansului transversal de pătrundere ;*
- prelucrare cu comandă adaptivă bazată pe algoritmul II și opțiunea II legată de modul de executare a avansului transversal de pătrundere ;*
- prelucrare cu parametrii teoretic prescriși.*







| FIȘA NR.<br>III |       | ALGORITM<br>prescris  |          | OPȚIUNEA<br>II |          |                        | PARAM. CALC.<br>p3c |       |            | PARAM. MĂS.<br>p3m |                |                  |                |               |                        |      |
|-----------------|-------|-----------------------|----------|----------------|----------|------------------------|---------------------|-------|------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|------------------------|------|
| $d_i$           | $d_f$ | pct.<br>calc.<br>măs. | $d_{m1}$ | $d_{m2}$       | $d_{m3}$ | $d_{mx}$               | $\Delta_x$          | $R_a$ | $\Delta t$ | Q                  | $v_{fapd}$     | $n_{ppd}$        | $F_{x_{zrd}}$  | $F_{x_{zrf}}$ | $j_z$                  | Obs. |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    | $v_{fapf}$     | $n_{ppf}$        |                |               |                        |      |
| 76,2            | 75,6  |                       |          |                |          |                        |                     | 1,6   | 421        | 63,22              | 2,359<br>2,043 | 42,125<br>85,122 | 22,57          | 11,77         | 863,01                 |      |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    |                |                  | 23,46          | 12,24         | 896,93                 |      |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    |                |                  | 24,16          | 12,60         | 923,76                 |      |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    |                |                  | 24,70          | 12,88         | 944,36                 |      |
|                 |       | A                     | 75,715   | 75,715         | 75,715   | 75,715                 | 115                 |       |            |                    |                |                  | 25,11          | 13,10         | 960,02                 |      |
|                 |       | B                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 25,42          | 13,26         | 972,19                 |      |
|                 |       | C                     | 75,72    | 75,725         | 75,72    | 75,721                 | 121                 |       |            |                    |                |                  | 25,69          | 13,40         | 982,36                 |      |
|                 |       | D                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 25,94          | 13,53         | 991,91                 |      |
|                 |       | E                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 26,21          | 13,67         | 1002,08                |      |
|                 |       | F                     | 75,72    | 75,725         | 75,72    | 75,721                 | 120                 |       |            |                    |                |                  | 26,52          | 13,983        | 1013,92                |      |
|                 |       | G                     | 75,725   | 75,725         | 75,72    | 75,723                 | 121                 |       |            |                    |                |                  | 26,89          | 14,03         | 1028,29                |      |
|                 |       | H                     | 75,72    | 75,73          | 75,72    | 75,723                 | 123                 |       |            |                    |                |                  | 27,35          | 14,27         | 1045,85                |      |
|                 |       | I                     | 75,72    | 75,725         | 75,725   | 75,723                 | 123                 |       |            |                    |                |                  | 27,91          | 14,56         | 1067,08                |      |
|                 |       | J                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 28,56          | 14,90         | 1092,22                |      |
|                 |       | K                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 29,32          | 15,30         | 1121,25                |      |
|                 |       | L                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 30,17          | 15,74         | 1153,75                |      |
|                 |       | M                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 31,09          | 16,22         | 1188,79                |      |
|                 |       | N                     | 75,72    | 75,72          | 75,72    | 75,72                  | 120                 |       |            |                    |                |                  | 32,03          | 16,71         | 1224,77                |      |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    |                |                  | 32,93          | 17,18         | 1259,18                |      |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    |                |                  | 33,70          | 17,58         | 1288,52                |      |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    |                |                  | 34,22          | 17,85         | 1308,30                |      |
|                 |       |                       |          |                |          |                        |                     |       |            |                    |                |                  | 34,35          | 17,92         | 1313,41                |      |
|                 |       | $d_{pm}=75,72$        |          | $x=1 \dots 14$ |          | $x$ – puncte de măsură |                     |       |            |                    |                |                  | $z=1 \dots 22$ |               | $z$ – puncte de calcul |      |

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

| FISA NR.<br>IV | ALGORITM<br>I |       |                      |          |          | OPTIUNEA<br>II |          |            |       |            | PARAM. CALC.<br>p4c |            |            |              | PARAM. MĂS.<br>p4m |                               |            |         | Obs. |
|----------------|---------------|-------|----------------------|----------|----------|----------------|----------|------------|-------|------------|---------------------|------------|------------|--------------|--------------------|-------------------------------|------------|---------|------|
|                | $d_i$         | $d_f$ | pct.<br>calc<br>măs. | $d_{m1}$ | $d_{m2}$ | $d_{m3}$       | $d_{mx}$ | $\Delta_x$ | $R_a$ | $\Delta t$ | Q                   | $V_{fapd}$ | $V_{fapf}$ | $\eta_{ppd}$ | $\eta_{ppf}$       | $F_{Xzd}$                     | $F_{Xzrf}$ | $j_z$   |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    |                               |            |         |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    |                               |            |         |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 21,31                         | 11,21      | 863,01  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 21,98                         | 11,45      | 888,71  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 22,05                         | 11,50      | 892,90  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 21,76                         | 11,35      | 881,15  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 21,23                         | 11,08      | 859,95  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 60       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 20,62                         | 10,76      | 835,04  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 61       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 20,02                         | 10,44      | 810,73  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 65       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 19,5                          | 10,17      | 789,92  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 65       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 19,12                         | 9,98       | 774,45  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 65       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 18,9                          | 9,86       | 765,49  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 70       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 18,86                         | 9,84       | 763,83  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 70       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 19,01                         | 9,92       | 770,12  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 63       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 19,38                         | 10,11      | 785,03  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 61       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 19,98                         | 10,42      | 809,29  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 63       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 20,83                         | 10,87      | 843,76  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 58       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 21,966                        | 11,46      | 889,26  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 53       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 23,37                         | 12,19      | 946,36  |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 46       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 25,06                         | 13,07      | 1014,80 |      |
|                |               |       |                      |          |          |                | 40       |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 26,98                         | 14,07      | 1092,44 |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 28,98                         | 15,12      | 1173,64 |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 30,80                         | 16,07      | 1247,25 |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | 32,00                         | 16,69      | 1295,86 |      |
|                |               |       |                      |          |          |                |          |            |       |            |                     |            |            |              |                    | z=1...22 z - puncte de calcul |            |         |      |

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI**

| FIȘA NR:<br>V |       | ALGORITM<br>II        |          |          |          |           | OPTIUNEA<br>II |       |            |       |                          | PARAM. CALC.<br>p5c              |                |                        | PARAM. MĂS.<br>p5m |  |  | Obs. |
|---------------|-------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|----------------|-------|------------|-------|--------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|--------------------|--|--|------|
| $d_i$         | $d_r$ | pct.<br>calc.<br>măs. | $d_{m1}$ | $d_{m2}$ | $d_{m3}$ | $d_{max}$ | $\Delta_x$     | $R_a$ | $\Delta t$ | Q     | $V_{fapd}$<br>$V_{fapf}$ | $\Gamma_{ppd}$<br>$\Gamma_{ppf}$ | $F_{xzd}$      | $F_{xzf}$              | $j_z$              |  |  |      |
| 57,4          | 56,8  |                       |          |          |          |           |                | 1,1   | 483        | 48,86 | 2,876<br>2,491           | 51,365<br>103,794                | 21,26          | 11,09                  | 863,01             |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | 21,89          | 11,42                  | 888,21             |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | 21,96          | 11,45                  | 891,09             |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | 21,62          | 11,28                  | 877,59             |  |  |      |
|               |       | A                     | 56,83    | 56,825   | 56,831   | 56,828    | 28             |       |            |       |                          |                                  | 21,06          | 10,98                  | 854,55             |  |  |      |
|               |       | B                     | 56,83    | 56,83    | 56,832   | 56,83     | 30             |       |            |       |                          |                                  | 20,40          | 10,64                  | 827,96             |  |  |      |
|               |       | C                     | 56,835   | 56,835   | 56,832   | 56,834    | 34             |       |            |       |                          |                                  | 19,77          | 10,31                  | 802,24             |  |  |      |
|               |       | D                     | 56,835   | 56,835   | 56,832   | 56,834    | 34             |       |            |       |                          |                                  | 19,23          | 10,03                  | 780,29             |  |  |      |
|               |       | E                     | 56,835   | 56,83    | 56,835   | 56,833    | 33             |       |            |       |                          |                                  | 18,82          | 9,82                   | 763,93             |  |  |      |
|               |       | F                     | 56,835   | 56,83    | 56,835   | 56,833    | 33             |       |            |       |                          |                                  | 18,59          | 9,7                    | 754,29             |  |  |      |
|               |       | G                     | 56,835   | 56,83    | 56,83    | 56,831    | 31             |       |            |       |                          |                                  | 18,53          | 9,67                   | 752,1              |  |  |      |
|               |       | H                     | 56,835   | 56,825   | 56,83    | 56,83     | 30             |       |            |       |                          |                                  | 18,68          | 9,74                   | 758                |  |  |      |
|               |       | I                     | 56,835   | 56,825   | 56,815   | 56,825    | 25             |       |            |       |                          |                                  | 19,04          | 9,93                   | 772,64             |  |  |      |
|               |       | J                     | 56,835   | 56,825   | 56,815   | 56,825    | 25             |       |            |       |                          |                                  | 19,63          | 10,24                  | 796,78             |  |  |      |
|               |       | K                     | 56,825   | 56,825   | 56,82    | 56,823    | 23             |       |            |       |                          |                                  | 20,48          | 10,69                  | 831,29             |  |  |      |
|               |       | L                     | 56,82    | 56,82    | 56,825   | 56,821    | 21             |       |            |       |                          |                                  | 21,61          | 11,27                  | 877,07             |  |  |      |
|               |       | M                     | 56,825   | 56,82    | 56,82    | 56,821    | 21             |       |            |       |                          |                                  | 23,03          | 12,02                  | 934,80             |  |  |      |
|               |       | N                     | 56,825   | 56,82    | 56,82    | 56,821    | 21             |       |            |       |                          |                                  | 24,75          | 12,91                  | 1004,36            |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | 26,71          | 13,93                  | 1083,74            |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | 28,77          | 15,01                  | 1167,33            |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | 30,65          | 15,99                  | 1243,73            |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | 31,91          | 16,65                  | 1294,81            |  |  |      |
|               |       |                       |          |          |          |           |                |       |            |       |                          |                                  | $z=1 \dots 22$ | $z$ - puncte de calcul |                    |  |  |      |



| FIȘA NR. VII   |                | ALGORITM I      |  | OPȚIUNEA II     |                 |                 |                | PARAM. CALC. p7c |     |       | PARAM. MĂS. p7m   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        |       |        |        |  |
|----------------|----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----|-------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|------|--|-------|--------|-------|--------|--------|--|
| d <sub>i</sub> | d <sub>f</sub> | pct. calc. măs. | d <sub>m1</sub>                                      | d <sub>m2</sub> | d <sub>m3</sub> | d <sub>mx</sub> | Δ <sub>x</sub> | R <sub>a</sub>   | Δt  | Q     | V <sub>fapd</sub> | n <sub>ppd</sub>              | Fx <sub>zrd</sub> | Fx <sub>zrf</sub> | j <sub>z</sub> | Obs. |  |       |        |       |        |        |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       | V <sub>fapf</sub> | n <sub>ppf</sub>              |                   |                   |                |      |  |       |        |       |        |        |  |
| 37,95          | 37,35          |                 |  |                 |                 |                 |                | 0,6              | 595 | 26,81 | 3,843             | 68,621                        | 19,49             | 10,17             | 863,01         |      |  |       |        |       |        |        |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        |       |        |        |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       | 18,92  | 9,87  | 837,42 |        |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 16,49 | 8,6    | 729,94 |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 13,75 | 7,17   | 608,79 |  |
|                |                | A               | 37,376   | 37,36           | 37,37           | 37,363          | 13             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 11,45 | 5,97   | 506,85 |  |
|                |                | B               | 37,365   | 37,37           | 37,375          | 37,37           | 20             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 9,71  | 5,06   | 429,81 |  |
|                |                | C               | 37,365   | 37,37           | 37,375          | 37,37           | 20             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 8,45  | 4,4    | 374,02 |  |
|                |                | D               | 37,37  | 37,37           | 37,375          | 37,371          | 21             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 7,55  | 3,94   | 334,58 |  |
|                |                | E               | 37,375   | 37,37           | 37,375          | 37,373          | 23             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 6,94  | 3,62   | 307,55 |  |
|                |                | F               | 37,375   | 37,37           | 37,375          | 37,373          | 23             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 6,55  | 3,42   | 290,23 |  |
|                |                | G               | 37,375   | 37,375          | 37,375          | 37,375          | 25             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 6,34  | 3,31   | 280,94 |  |
|                |                | H               | 37,375   | 37,375          | 37,375          | 37,375          | 25             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  | 3,328 | 138,66 | 6,3   | 3,28   | 278,78 |  |
|                |                | I               | 37,37  | 37,375          | 37,375          | 37,373          | 23             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 6,41  | 3,34   | 283,76 |  |
|                |                | J               | 37,37  | 37,375          | 37,375          | 37,373          | 23             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 6,69  | 3,49   | 296,31 |  |
|                |                | K               | 37,37  | 37,375          | 37,37           | 37,371          | 21             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 7,18  | 3,74   | 317,92 |  |
|                |                | L               | 37,37  | 37,375          | 37,37           | 37,371          | 21             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 7,93  | 4,14   | 351,19 |  |
|                |                | M               | 37,365   | 37,37           | 37,365          | 37,366          | 16             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 9,04  | 4,72   | 400,55 |  |
|                |                | N               | 37,36  | 37,365          | 37,365          | 37,363          | 13             |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 10,68 | 5,57   | 472,93 |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 13,09 | 6,83   | 579,55 |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 16,61 | 8,67   | 735,42 |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               |                   |                   |                |      |  |       |        | 21,48 | 11,2   | 950,75 |  |
|                |                |                 |  |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   |                               | 26,87             | 14,02             | 1189,62        |      |  |       |        |       |        |        |  |
|                |                |                 | d <sub>pm</sub> =37,37 x=1...14 x - puncte de măsură |                 |                 |                 |                |                  |     |       |                   | z=1...22 z - puncte de calcul |                   |                   |                |      |  |       |        |       |        |        |  |

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI**

| FISA NR. VIII |       | ALGORITM II     |                          |          |          | OPȚIUNEA II |            |       |            | PARAM. CALC. p8c |                          |                              | PARAM. MĂS. p8m |           |         |  | Obs. |  |  |
|---------------|-------|-----------------|--------------------------|----------|----------|-------------|------------|-------|------------|------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|-----------|---------|--|------|--|--|
| $d_i$         | $d_f$ | pct. calc. măs. | $d_{m1}$                 | $d_{m2}$ | $d_{m3}$ | $d_{mx}$    | $\Delta_x$ | $R_a$ | $\Delta t$ | Q                | $V_{fapd}$<br>$V_{fapf}$ | $\eta_{ppd}$<br>$\eta_{ppf}$ | $F_{xzd}$       | $F_{xzf}$ | $j_z$   |  |      |  |  |
|               |       |                 |                          |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              |                 |           |         |  |      |  |  |
|               |       |                 |                          |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              |                 |           |         |  |      |  |  |
|               |       |                 |                          |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              |                 |           |         |  |      |  |  |
|               |       | A               | 36,75                    | 36,75    | 36,75    | 36,75       | 0          |       |            |                  |                          |                              | 19,43           | 10,14     | 863,01  |  |      |  |  |
|               |       | B               | 36,755                   | 36,75    | 36,75    | 36,755      | 5          |       |            |                  |                          |                              | 18,77           | 9,79      | 833,54  |  |      |  |  |
|               |       | C               | 36,76                    | 36,76    | 36,76    | 36,761      | 11         |       |            |                  |                          |                              | 16,19           | 8,45      | 719,35  |  |      |  |  |
|               |       | D               | 36,765                   | 36,765   | 36,765   | 36,766      | 16         |       |            |                  |                          |                              | 13,37           | 6,97      | 593,99  |  |      |  |  |
|               |       | E               | 36,77                    | 36,765   | 36,765   | 36,768      | 18         |       |            |                  |                          |                              | 11,04           | 5,75      | 490,61  |  |      |  |  |
|               |       | F               | 36,775                   | 36,77    | 36,77    | 36,773      | 23         |       |            |                  |                          |                              | 9,31            | 4,86      | 413,63  |  |      |  |  |
|               |       | G               | 36,775                   | 36,77    | 36,77    | 36,775      | 25         |       |            |                  |                          |                              | 8,07            | 4,21      | 358,45  |  |      |  |  |
|               |       | H               | 36,77                    | 36,77    | 36,77    | 36,771      | 21         |       |            |                  |                          |                              | 7,19            | 3,75      | 319,72  |  |      |  |  |
| 37,35         | 36,75 | I               | 36,775                   | 36,77    | 36,77    | 36,773      | 23         | 1,5   | 481        | 33,08            | 3,886<br>3,365           | 69,39<br>140,219             | 6,07            | 3,17      | 269,86  |  |      |  |  |
|               |       | J               | 36,765                   | 36,765   | 36,765   | 36,765      | 15         |       |            |                  |                          |                              | 6,34            | 3,31      | 281,90  |  |      |  |  |
|               |       | K               | 36,76                    | 36,76    | 36,76    | 36,76       | 10         |       |            |                  |                          |                              | 6,81            | 3,55      | 302,71  |  |      |  |  |
|               |       | L               | 36,75                    | 36,755   | 36,755   | 36,753      | 3          |       |            |                  |                          |                              | 7,54            | 3,93      | 334,86  |  |      |  |  |
|               |       | M               | 36,75                    | 36,75    | 36,755   | 36,75       | 0          |       |            |                  |                          |                              | 8,61            | 4,49      | 382,7   |  |      |  |  |
|               |       | N               | 36,75                    | 36,75    | 36,75    | 36,75       | 0          |       |            |                  |                          |                              | 10,21           | 5,32      | 453,41  |  |      |  |  |
|               |       |                 |                          |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              | 12,57           | 6,56      | 558,41  |  |      |  |  |
|               |       |                 |                          |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              | 16,07           | 8,38      | 713,92  |  |      |  |  |
|               |       |                 |                          |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              | 21,00           | 10,96     | 932,87  |  |      |  |  |
|               |       |                 |                          |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              | 26,61           | 13,88     | 1181,81 |  |      |  |  |
|               |       |                 | $d_{pm}=36,762$ x=1...14 |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              |                 |           |         |  |      |  |  |
|               |       |                 | x - puncte de măsură     |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              |                 |           |         |  |      |  |  |
|               |       |                 | z=1...22                 |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              |                 |           |         |  |      |  |  |
|               |       |                 | z - puncte de calcul     |          |          |             |            |       |            |                  |                          |                              |                 |           |         |  |      |  |  |

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
 ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

| FIȘA NR.<br>IX |       |                 | ALGORITM<br>prescris |          |          |          | OPȚIUNEA<br>II |       |            | PARAM. CALC.<br>p9c |                          |                        | PARAM. MĂS.<br>p9m |               |       | Obs.  |                               |
|----------------|-------|-----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------------|-------|------------|---------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|---------------|-------|-------|-------------------------------|
| $d_i$          | $d_f$ | pct. calc. măs. | $d_{m1}$             | $d_{m2}$ | $d_{m3}$ | $d_{mx}$ | $\Delta_x$     | $R_a$ | $\Delta t$ | Q                   | $V_{fapd}$<br>$V_{fapf}$ | $n_{ppd}$<br>$n_{ppf}$ | $F_{x_{zd}}$       | $F_{x_{zrf}}$ | $j_z$ |       |                               |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       |                               |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       |                               |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       |                               |
|                |       | A               | 36,15                | 36,15    | 36,145   | 36,148   | 8              |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       | 19,36 |                               |
|                |       | B               | 36,16                | 36,16    | 36,155   | 36,158   | 18             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 18,61                         |
|                |       | C               | 36,165               | 36,17    | 36,165   | 36,166   | 26             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 15,88                         |
|                |       | D               | 36,17                | 36,175   | 36,17    | 36,171   | 31             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 12,98                         |
|                |       | E               | 36,175               | 36,185   | 36,175   | 36,178   | 38             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 10,63                         |
|                |       | F               | 36,18                | 36,18    | 36,185   | 36,181   | 41             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 8,91                          |
|                |       | G               | 36,18                | 36,18    | 36,175   | 36,178   | 38             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 7,69                          |
|                |       | H               | 36,18                | 36,175   | 36,175   | 36,176   | 36             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 6,84                          |
|                |       | I               | 36,175               | 36,175   | 36,17    | 36,173   | 33             | 1,8   | 419        | 36,53               | 3,931<br>3,404           | 70,195<br>141,845      |                    |               |       |       | 6,26                          |
| 36,74          | 36,14 | J               | 36,17                | 36,17    | 36,17    | 36,17    | 30             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 5,89                          |
|                |       | K               | 36,165               | 36,165   | 36,165   | 36,165   | 25             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 5,69                          |
|                |       | L               | 36,16                | 36,16    | 36,155   | 36,158   | 18             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 5,64                          |
|                |       | M               | 36,15                | 36,15    | 36,15    | 36,15    | 10             |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 5,74                          |
|                |       | N               | 36,14                | 36,145   | 36,14    | 36,141   | 1              |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 6,00                          |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 6,45                          |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 7,14                          |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 8,18                          |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 9,73                          |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 12,04                         |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 15,52                         |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 20,51                         |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 26,31                         |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | $z=1...22$                    |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | $z - \text{puncte de calcul}$ |
|                |       |                 |                      |          |          |          |                |       |            |                     |                          |                        |                    |               |       |       | 1173,31                       |

| FIȘA NR.<br>X  |                | ALGORITM<br>I         |                 | OPȚIUNEA<br>III A |                 |                 | PARAM. CALC.<br>p10c |                |     | PARAM. MĂS.<br>p10m |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       |       |        |        |  |
|----------------|----------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|-----|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------------|----------------|------|--|--|-------|-------|--------|--------|--|
| d <sub>i</sub> | d <sub>f</sub> | pct.<br>calc.<br>măs. | d <sub>m1</sub> | d <sub>m2</sub>   | d <sub>m3</sub> | d <sub>mx</sub> | Δ <sub>x</sub>       | R <sub>a</sub> | Δt  | Q                   | V <sub>fapd</sub> | n <sub>ppd</sub>  | F <sub>xzd</sub> | F <sub>xzf</sub>     | j <sub>z</sub> | Obs. |  |  |       |       |        |        |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     | V <sub>fapf</sub> | n <sub>ppf</sub>  |                  |                      |                |      |  |  |       |       |        |        |  |
| 37,25          | 36,65          |                       |                 |                   |                 |                 |                      | 1              | 520 | 30.21               | 3,893<br>3,372    | 69,521<br>140,483 | 19,42            | 10,13                | 863,01         |      |  |  |       |       |        |        |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       |       |        |        |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  | 18,74 | 9,78  | 832,87 |        |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 16,14 | 8,42   | 717,53 |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 13,31 | 6,94   | 591,47 |  |
|                |                | A                     | 36,67           | 36,67             | 36,67           | 36,67           | 2                    |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 10,98 | 5,72   | 487,88 |  |
|                |                | B                     | 36,75           | 36,675            | 36,67           | 36,671          | 21                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 9,24  | 4,82   | 410,93 |  |
|                |                | C                     | 36,675          | 36,675            | 36,67           | 36,673          | 23                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 8,00  | 4,82   | 410,93 |  |
|                |                | D                     | 36,675          | 36,675            | 36,67           | 36,673          | 23                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 7,14  | 3,72   | 317,26 |  |
|                |                | E                     | 36,675          | 36,67             | 36,67           | 36,671          | 21                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 6,54  | 3,41   | 290,94 |  |
|                |                | F                     | 36,67           | 36,67             | 36,67           | 36,671          | 21                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 6,16  | 3,21   | 274,11 |  |
|                |                | G                     | 36,67           | 36,67             | 36,67           | 36,67           | 20                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 5,96  | 3,11   | 265,07 |  |
|                |                | H                     | 36,67           | 36,67             | 36,67           | 36,671          | 21                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 5,91  | 3,08   | 262,94 |  |
|                |                | I                     | 36,666          | 36,666            | 36,665          | 36,665          | 15                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 6,02  | 3,14   | 267,57 |  |
|                |                | J                     | 36,665          | 36,665            | 36,665          | 36,665          | 15                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 6,29  | 3,28   | 279,53 |  |
|                |                | K                     | 36,665          | 36,665            | 36,665          | 36,665          | 15                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 6,75  | 3,52   | 300,20 |  |
|                |                | L                     | 36,665          | 36,665            | 36,665          | 36,665          | 15                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 7,47  | 3,90   | 332,16 |  |
|                |                | M                     | 36,665          | 36,665            | 36,665          | 36,665          | 15                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 8,54  | 4,45   | 379,76 |  |
|                |                | N                     | 36,665          | 36,665            | 36,665          | 36,665          | 15                   |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 10,13 | 5,28   | 450,17 |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 12,48 | 6,51   | 554,87 |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 15,98 | 8,34   | 710,30 |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   |                  |                      |                |      |  |  |       | 20,92 | 10,91  | 929,82 |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   |                   | 26,56            | 13,86                | 1180,45        |      |  |  |       |       |        |        |  |
|                |                |                       |                 |                   |                 |                 |                      |                |     |                     |                   | z=1...22          |                  | z – puncte de calcul |                |      |  |  |       |       |        |        |  |

d<sub>pm</sub>=36,668 x=1...14 x – puncte de măsură



| FISA NR.<br>XI |                | ALGORITM<br>II        |                 | OPȚIUNEA<br>III A |   |                 |                | PARAM. CALC.<br>p11c |     |       | PARAM. MĂS.<br>p11m |                   |                               |                   |                |      |  |  |       |       |        |         |  |
|----------------|----------------|-----------------------|-----------------|-------------------|---|-----------------|----------------|----------------------|-----|-------|---------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|------|--|--|-------|-------|--------|---------|--|
| d <sub>i</sub> | d <sub>f</sub> | pct.<br>calc.<br>măs. | d <sub>m1</sub> | d <sub>m2</sub>   | d <sub>m3</sub>                                       | d <sub>mx</sub> | Δ <sub>x</sub> | R <sub>a</sub>       | Δt  | Q     | V <sub>fapd</sub>   | η <sub>ppd</sub>  | F <sub>xzrd</sub>             | F <sub>xzrf</sub> | j <sub>z</sub> | Obs. |  |  |       |       |        |         |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       | V <sub>fapf</sub>   | η <sub>ppf</sub>  |                               |                   |                |      |  |  |       |       |        |         |  |
| 36,55          | 35,95          |                       |                 |                   |   |                 |                | 1,5                  | 421 | 37,23 | 3,938<br>3,410      | 70,316<br>142,089 | 19,35                         | 10,10             | 863,01         |      |  |  |       |       |        |         |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  |       |       |        |         |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  |       |       |        |         |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  |       |       |        |         |  |
|                |                | A                     | 35,96           | 35,96             | 35,96   | 35,96           | 10             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 10,57 | 5,51  | 471,38 |         |  |
|                |                | B                     | 35,965          | 35,96             | 35,96   | 35,961          | 11             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 8,85  | 4,61  | 394,71 |         |  |
|                |                | C                     | 35,965          | 35,965            | 35,965  | 35,965          | 15             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 7,63  | 3,98  | 340,41 |         |  |
|                |                | D                     | 35,967          | 35,965            | 35,965  | 35,966          | 16             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 6,78  | 3,54  | 302,61 |         |  |
|                |                | E                     | 35,97           | 35,965            | 35,965  | 35,96           | 10             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 6,21  | 3,24  | 276,95 |         |  |
|                |                | F                     | 35,97           | 35,96             | 35,965  | 35,96           | 10             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 5,84  | 3,04  | 260,58 |         |  |
|                |                | G                     | 35,97           | 35,96             | 35,965  | 35,965          | 15             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 5,64  | 2,94  | 251,77 |         |  |
|                |                | H                     | 35,965          | 35,955            | 35,965  | 35,961          | 11             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 5,59  | 2,92  | 249,64 |         |  |
|                |                | I                     | 35,965          | 35,955            | 35,96   | 35,96           | 10             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 5,69  | 2,97  | 254,03 |         |  |
|                |                | J                     | 35,96           | 35,955            | 35,97   | 35,961          | 11             |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 5,95  | 3,10  | 265,47 |         |  |
|                |                | K                     | 35,955          | 35,955            | 35,955  | 35,955          | 5              |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 6,4   | 3,33  | 285,33 |         |  |
|                |                | L                     | 35,95           | 35,95             | 35,95   | 35,95           | 0              |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 7,09  | 3,7   | 316,14 |         |  |
|                |                | M                     | 35,95           | 35,95             | 35,95   | 35,95           | 0              |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 8,12  | 4,23  | 362,21 |         |  |
|                |                | N                     | 35,95           | 35,95             | 35,95   | 35,95           | 0              |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  | 9,66  | 5,04  | 430,77 |         |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  |       | 11,96 | 6,24   | 533,63  |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  |       | 15,43 | 8,05   | 688,31  |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  |       | 20,43 | 10,66  | 911,06  |  |
|                |                |                       |                 |                   |   |                 |                |                      |     |       |                     |                   |                               |                   |                |      |  |  |       | 26,28 | 13,71  | 1172,01 |  |
|                |                |                       |                 |                   | d <sub>pm</sub> =35,958 x=1...14 x – puncte de masură |                 |                |                      |     |       |                     |                   | z=1...22 z – puncte de calcul |                   |                |      |  |  |       |       |        |         |  |

| FIȘA NR.<br>XII |       | ALGORITM<br>prescris   |          | OPȚIUNEA<br>III A |          |          |            | PARAM. CALC.<br>p12c |            |       | PARAM. MĂS.<br>p12m |                  |                               |               |         |      |
|-----------------|-------|--|----------|-------------------|----------|----------|------------|----------------------|------------|-------|---------------------|------------------|-------------------------------|---------------|---------|------|
| $d_i$           | $d_f$ | pct.<br>calc.<br>măs.  | $d_{m1}$ | $d_{m2}$          | $d_{m3}$ | $d_{mx}$ | $\Delta_x$ | $R_a$                | $\Delta t$ | $Q$   | $V_{fapd}$          | $\eta_{ppd}$     | $F_{x_{zrd}}$                 | $F_{x_{zrf}}$ | $j_z$   | Obs. |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       | $V_{fapf}$          | $\eta_{ppf}$     |                               |               |         |      |
| 35,95           | 35,35 |  |          |                   |          |          |            | 1,7                  | 364        | 38,51 | 3,991<br>3,456      | 71,271<br>144,02 | 19,27                         | 10,05         | 863,01  |      |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     |                  | 18,39                         | 9,59          | 823,35  |      |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     |                  | 15,47                         | 8,07          | 692,50  |      |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     |                  | 12,45                         | 6,50          | 557,73  |      |
|                 |       | A  | 35,45    | 35,44             | 35,445   | 35,445   | 95         |                      |            |       |                     |                  | 10,09                         | 5,26          | 451,89  |      |
|                 |       | B  | 35,45    | 35,44             | 35,445   | 35,445   | 95         |                      |            |       |                     |                  | 8,39                          | 4,38          | 375,79  |      |
|                 |       | C  | 35,45    | 35,445            | 35,45    | 35,448   | 98         |                      |            |       |                     |                  | 7,20                          | 3,76          | 322,56  |      |
|                 |       | D  | 35,45    | 35,445            | 35,45    | 35,448   | 98         |                      |            |       |                     |                  | 6,38                          | 3,33          | 285,78  |      |
|                 |       | E  | 35,45    | 35,45             | 35,45    | 35,45    | 100        |                      |            |       |                     |                  | 5,82                          | 3,04          | 260,95  |      |
|                 |       | F  | 35,45    | 35,45             | 35,45    | 35,45    | 100        |                      |            |       |                     |                  | 5,47                          | 2,85          | 245,15  |      |
|                 |       | G  | 35,45    | 35,445            | 35,45    | 35,448   | 98         |                      |            |       |                     |                  | 5,28                          | 2,75          | 236,63  |      |
|                 |       | H  | 35,45    | 35,445            | 35,445   | 35,446   | 96         |                      |            |       |                     |                  | 5,23                          | 2,73          | 234,51  |      |
|                 |       | I  | 35,44    | 35,44             | 35,44    | 35,44    | 90         |                      |            |       |                     |                  | 5,33                          | 2,78          | 238,62  |      |
|                 |       | J  | 35,435   | 35,435            | 35,435   | 35,435   | 85         |                      |            |       |                     |                  | 5,57                          | 2,90          | 249,47  |      |
|                 |       | K  | 35,435   | 35,435            | 35,435   | 35,435   | 85         |                      |            |       |                     |                  | 5,99                          | 3,12          | 268,38  |      |
|                 |       | L  | 35,43    | 35,43             | 35,43    | 35,43    | 80         |                      |            |       |                     |                  | 6,65                          | 3,47          | 297,82  |      |
|                 |       | M  | 35,43    | 35,43             | 35,43    | 35,43    | 80         |                      |            |       |                     |                  | 7,64                          | 3,98          | 342,06  |      |
|                 |       | N  | 35,42    | 35,425            | 35,43    | 35,425   | 75         |                      |            |       |                     |                  | 9,12                          | 4,76          | 408,35  |      |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     |                  | 11,36                         | 5,93          | 508,79  |      |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     |                  | 14,79                         | 7,71          | 662,18  |      |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     |                  | 19,84                         | 10,35         | 888,21  |      |
|                 |       |  |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     |                  | 25,94                         | 13,53         | 1161,42 |      |
|                 |       | $d_{pm}=35,412 \quad x=1 \dots 14 \quad x - \text{puncte de măsură}$ |          |                   |          |          |            |                      |            |       |                     | $z=1 \dots 22$   | $z - \text{puncte de calcul}$ |               |         |      |

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI**

| FIȘA NR. XIII |       | ALGORITM I      |          |          |          | OPȚIUNEA IIIA $a_{e12}=2a_e$ |            |       |            | PARAM. CALC. p13c |                          |                                  |                | PARAM. MĂS. p13m       |         |  |  | Obs. |
|---------------|-------|-----------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------|-------|------------|-------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|---------|--|--|------|
| $d_i$         | $d_f$ | pct. calc. măs. | $d_{m1}$ | $d_{m2}$ | $d_{m3}$ | $d_{mx}$                     | $\Delta_x$ | $R_a$ | $\Delta t$ | Q                 | $V_{fapd}$<br>$V_{fapf}$ | $\Gamma_{ppd}$<br>$\Gamma_{ppf}$ | $F_{xzd}$      | $F_{xzf}$              | $j_z$   |  |  |      |
| 35,4          | 34,8  |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  |                |                        |         |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  |                |                        |         |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  |                |                        |         |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  |                |                        |         |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  |                |                        |         |  |  |      |
|               |       | A               | 34,88    | 34,88    | 34,885   | 34,88                        | 81         |       |            |                   |                          |                                  | 19,27          | 10,05                  | 863,01  |  |  |      |
|               |       | B               | 34,87    | 34,875   | 34,875   | 34,873                       | 73         |       |            |                   |                          |                                  | 18,23          | 9,51                   | 818,85  |  |  |      |
|               |       | C               | 34,87    | 34,87    | 34,87    | 34,87                        | 70         |       |            |                   |                          |                                  | 15,16          | 7,91                   | 681,09  |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 12,08          | 6,30                   | 542,85  |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 9,71           | 5,07                   | 436,43  |  |  |      |
|               |       | D               | 34,865   | 34,865   | 34,865   | 34,865                       | 65         |       |            |                   |                          |                                  | 8,03           | 4,19                   | 360,97  |  |  |      |
|               |       | E               | 34,865   | 34,865   | 34,865   | 34,865                       | 65         |       |            |                   |                          |                                  | 6,87           | 3,58                   | 308,68  |  |  |      |
|               |       | F               | 34,86    | 34,865   | 34,865   | 34,863                       | 63         |       |            |                   |                          |                                  | 6,07           | 3,16                   | 272,79  |  |  |      |
|               |       | G               | 34,86    | 34,86    | 34,86    | 34,86                        | 60         |       |            |                   |                          |                                  | 5,53           | 2,88                   | 248,64  |  |  |      |
|               |       | H               | 34,86    | 34,855   | 34,855   | 34,85                        | 50         |       |            |                   |                          |                                  | 5,19           | 2,71                   | 233,31  |  |  |      |
|               |       | I               | 34,855   | 34,85    | 34,855   | 34,856                       | 56         |       |            |                   |                          |                                  | 5,01           | 2,61                   | 225,03  |  |  |      |
|               |       | J               | 34,855   | 34,85    | 34,85    | 34,85                        | 50         |       |            |                   |                          |                                  | 4,96           | 2,59                   | 222,94  |  |  |      |
|               |       | K               | 34,85    | 34,85    | 34,85    | 34,851                       | 51         |       |            |                   |                          |                                  | 5,05           | 2,63                   | 226,84  |  |  |      |
|               |       | L               | 34,845   | 34,85    | 34,845   | 34,846                       | 46         |       |            |                   |                          |                                  | 5,28           | 2,75                   | 237,22  |  |  |      |
|               |       | M               | 34,84    | 34,85    | 34,845   | 34,845                       | 45         |       |            |                   |                          |                                  | 5,68           | 2,96                   | 255,38  |  |  |      |
|               |       | N               | 34,84    | 34,845   | 34,84    | 34,846                       | 46         |       |            |                   |                          |                                  | 6,31           | 3,29                   | 283,73  |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 7,27           | 3,79                   | 326,5   |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 8,7            | 4,54                   | 390,91  |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 10,89          | 5,68                   | 489,28  |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 14,28          | 7,45                   | 641,32  |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 19,36          | 10,10                  | 869,53  |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | 25,66          | 13,39                  | 1152,49 |  |  |      |
|               |       |                 |          |          |          |                              |            |       |            |                   |                          |                                  | $z=1 \dots 22$ | $z -$ puncte de calcul |         |  |  |      |

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

| FIȘA NR.<br>XIV | ALGORITM<br>II |                |                       |                 | OPȚIUNEA<br>II  |                 |                 |                | PARAM. CALC.<br>p14 c |       | PARAM. MĂS.<br>p15 m |  | 10mm                                 |                  |                      |                |      |
|-----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------------|-------|----------------------|--|--------------------------------------|------------------|----------------------|----------------|------|
|                 | d <sub>i</sub> | d <sub>r</sub> | pct.<br>calc.<br>măs. | d <sub>m1</sub> | d <sub>m2</sub> | d <sub>m3</sub> | d <sub>mx</sub> | Δ <sub>x</sub> | R <sub>a</sub>        | Δt    | Q                    | V <sub>fapd</sub><br>V <sub>fapf</sub> | η <sub>ppd</sub><br>η <sub>ppf</sub> | F <sub>xzd</sub> | F <sub>xzrf</sub>    | j <sub>z</sub> | Obs. |
| 37,23           | 36,63          |                |                       | 36,64           | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 11             |                       |       |                      |  |                                      | 19,48            | 10,16                | 863,01         |      |
|                 |                |                |                       | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 20             |                       |       |                      |  |                                      | 19,10            | 9,97                 | 846,16         |      |
|                 |                |                |                       | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 20             |                       |       |                      |  |                                      | 16,97            | 8,85                 | 751,52         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 21             |                       |       |                      |  |                                      | 14,45            | 7,54                 | 640,27         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 25             |                       |       |                      |  |                                      | 12,29            | 6,41                 | 544,35         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 25             |                       |       |                      |  |                                      | 10,63            | 5,55                 | 471            |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 25             |                       |       |                      |  |                                      | 9,44             | 4,92                 | 418,07         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 21             |                       |       |                      |  |                                      | 8,61             | 4,49                 | 381,60         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 25             |                       |       |                      |  |                                      | 8,09             | 4,22                 | 358,28         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 25             |                       |       |                      |  |                                      | 7,81             | 4,07                 | 345,94         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 25             |                       |       |                      |  |                                      | 7,75             | 4,04                 | 343,43         |      |
|                 |                |                |                       | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 36,655          | 25             |                       |       |                      |  |                                      | 7,91             | 4,13                 | 350,65         |      |
|                 |                |                |                       | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 36,65           | 20             |                       | 24,03 |                      |  |                                      | 8,32             | 4,34                 | 368,55         |      |
|                 |                |                |                       | 36,645          | 36,65           | 36,645          | 36,646          | 16             |                       |       |                      |  |                                      | 9,01             | 4,70                 | 399,38         |      |
|                 |                |                |                       | 36,645          | 36,645          | 36,645          | 36,645          | 15             |                       |       |                      |  |                                      | 10,09            | 5,26                 | 447,14         |      |
|                 |                |                |                       | 36,64           | 36,64           | 36,64           | 36,64           | 10             |                       |       |                      |  |                                      | 11,70            | 6,10                 | 518,49         |      |
|                 |                |                |                       | 36,64           | 36,635          | 36,635          | 36,636          | 6              |                       |       |                      |  |                                      | 14,08            | 7,34                 | 623,55         |      |
|                 |                |                |                       | 36,635          | 36,63           | 36,63           | 36,631          | 1              |                       |       |                      |  |                                      | 17,51            | 9,13                 | 775,43         |      |
|                 |                |                |                       |                 |                 |                 |                 |                |                       |       |                      |  |                                      | 22,14            | 11,55                | 980,84         |      |
|                 |                |                |                       |                 |                 |                 |                 |                |                       |       |                      |  |                                      | 27,14            | 14,16                | 1202,20        |      |
|                 |                |                |                       |                 |                 |                 |                 |                |                       |       |                      |  |                                      | 29,33            | 15,30                | 1298,96        |      |
|                 |                |                |                       |                 |                 |                 |                 |                |                       |       |                      |  |                                      | 25,59            | 13,35                | 1133,58        |      |
|                 |                |                |                       |                 |                 |                 |                 |                |                       |       |                      |  |                                      | z=1...22         | z - puncte de calcul |                |      |



*Trebuie precizat încă odată că la capete de cursă se lucrează cu parametri prescriși, argumentele fiind prezentate în subcapitolul 3.3.*

*După ce s-au executat grupul de încercări mai sus amintite pe toate cele trei clase de diametre ( $\varnothing 80, 60, 40$ ), rezultatele fiind evidențiate în fișele 1...9 respectiv fișierele de date  $p_{1c}...p_{9c}$  și  $p_{1m}...p_{9m}$ , s-au putut desprinde o serie de concluzii:*

*I. Analizând variația rigidității sistemelor tehnologice elastice pentru probele supuse încercărilor (fișierele  $p_{ic}$ ) se constată o evoluție ca cea prezentată în figura 5.8.*

*Implicit și deformația elastică a sistemului va avea o alură de același tip. Lungimea  $L$  a fost împărțită în 30 de puncte echidistante de calcul din care 14 sunt și puncte de măsurare în zona de prelucrare efectivă.*

*Pentru semifabricatele cu diametre mai mari (80 mm) vom avea valori mai ridicate ale rigidității STE, cu o variație destul de redusă a curbei, ceea ce implicit conduce spre o deformație mai mică a sistemului tehnologic elastic.*

*Forța reală pasivă va avea și ea o variație mult mai redusă (vezi fișierele  $p_{1m}$ ,  $p_{2m}$  și  $p_{3m}$ ), ceea ce va conduce la o stabilitate mai mare a parametrilor reglați – viteza longitudinală a mesei  $v_{fa}$  și turația piesei  $n_p$ .*

*În schimb pentru piesele cu diametre mai mici (în cazul nostru 40 mm), curbele de variație a celor trei parametri- **rigiditate, deformație** respectiv **forța măsurată efectiv** – vor fi mult mai accentuate, spre mijlocul piesei înregistrându-se valori mai mici ale rigidității și forței efective respectiv mai mari pentru deformația STE.*

Variația rigidității - probele 1,4,7 Op II

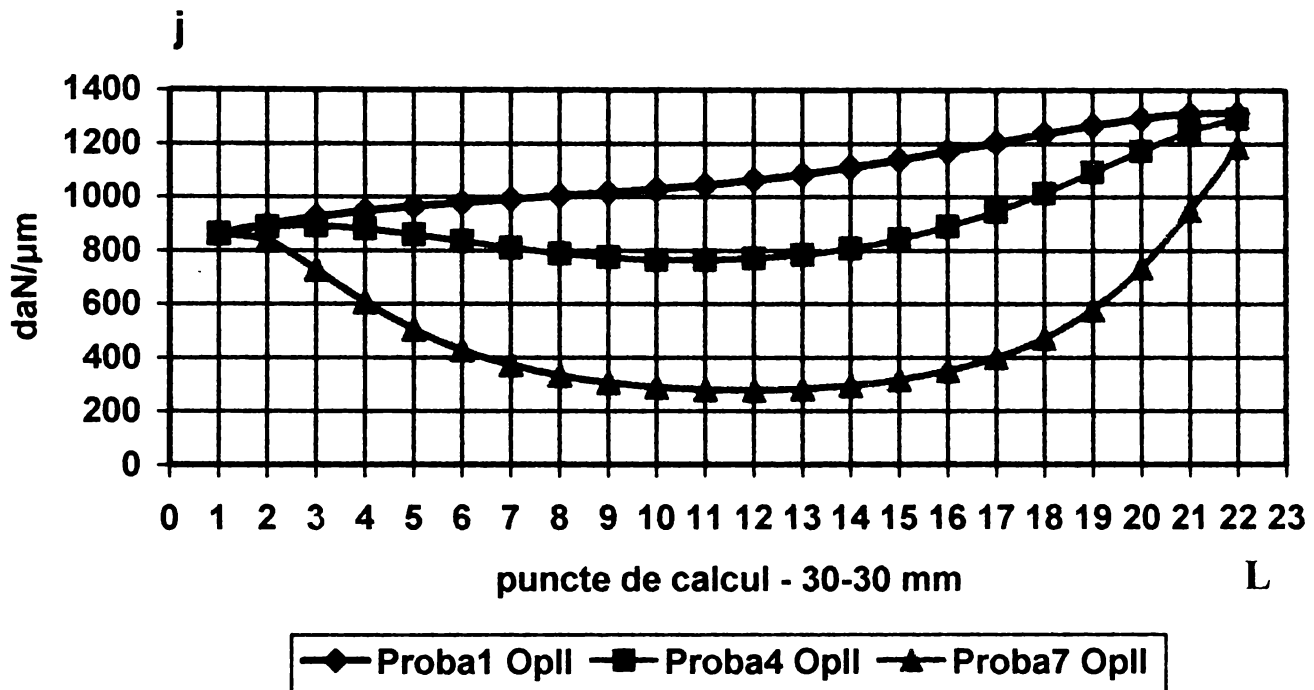
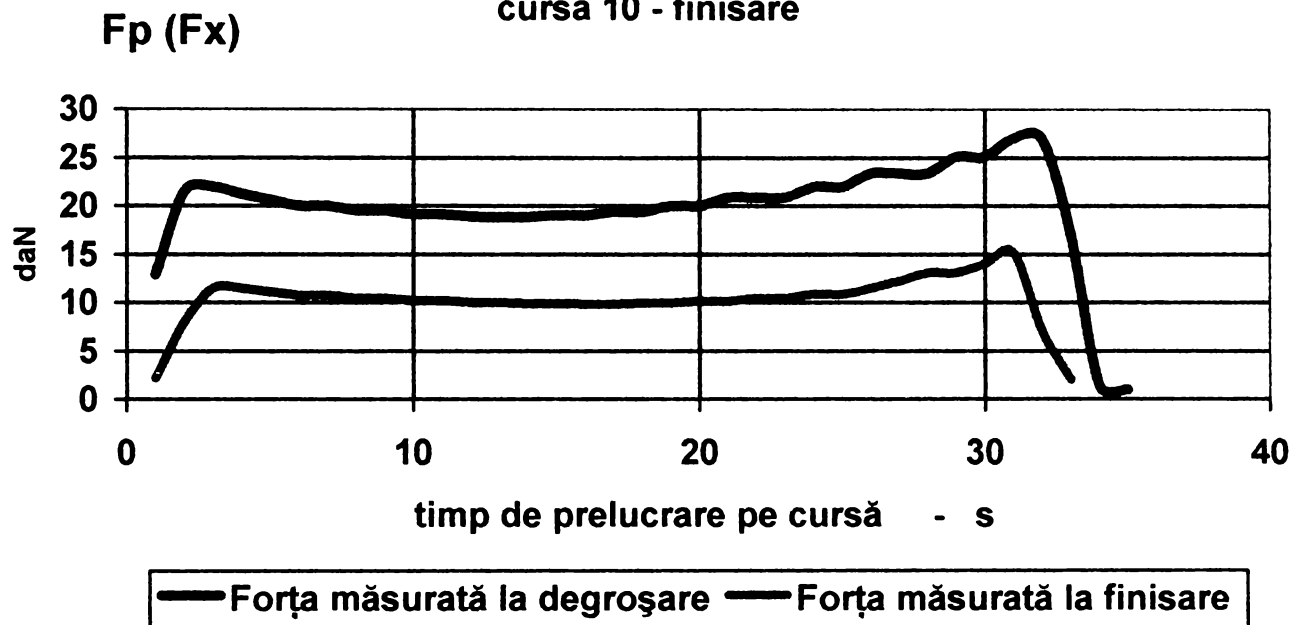


Fig. 5.8 Variația rigidității STE

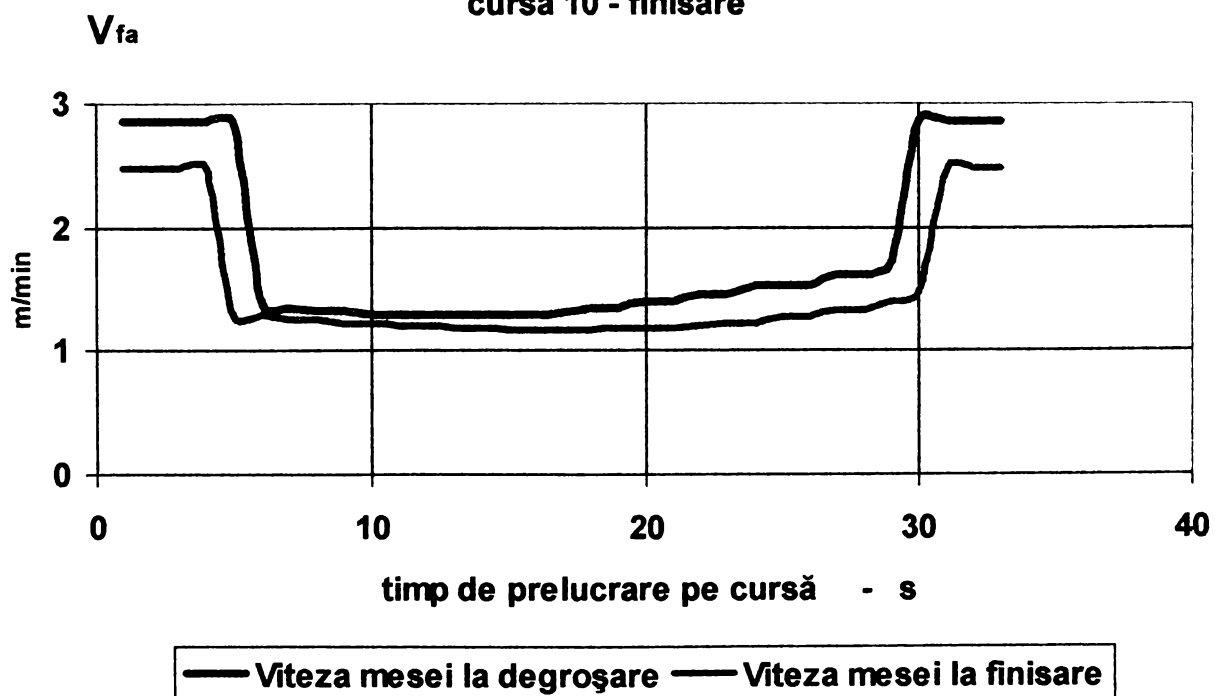
II. Pentru clasa de diametre medii ( 60 mm) în figura 5.9 se prezintă variația forței măsurate și a parametrilor reglați pentru o variantă cu algoritmul I și opțiunea II. Variațiile bruște ale parametrilor studiați de la capetele graficelor sunt cele corespunzătoare ieșirilor la capete de cursă unde se lucrează cu valorile prescrise. Din studiul celor trei grafice prezentate, unde se evidențiază atât faza de degroșare cât și cea de finisare, se poate observa modul de lucru al comenzii adaptive care, în momentul reducerii forței măsurate, ca o consecință logică teoretică și faptică a scăderii rigidității respectiv a creșterii deformației sistemului tehnologic elastic, reduce automat atât viteza mesei cât și turația piesei, în acest fel reușindu-se o așchiere suplimentară .

Variația forței măsurate la proba 4  
cursa 4 - degroșare  
cursa 10 - finisare



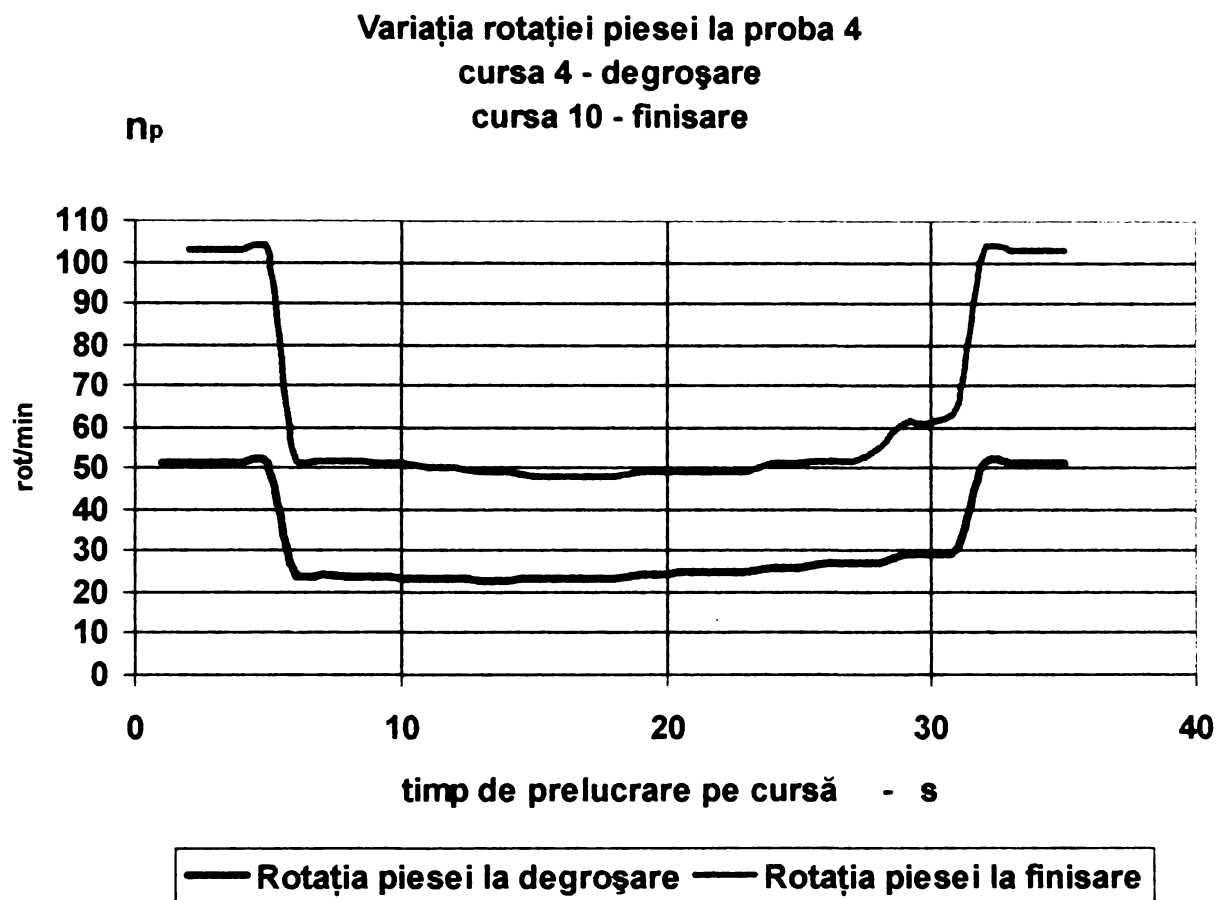
a. Variația forței radiale (pasive) măsurate

Variația vitezei longitudinale a mesei la proba 4  
cursa 4 - degroșare  
cursa 10 - finisare



b. Variația parametrului reglat  $v_{fa}$





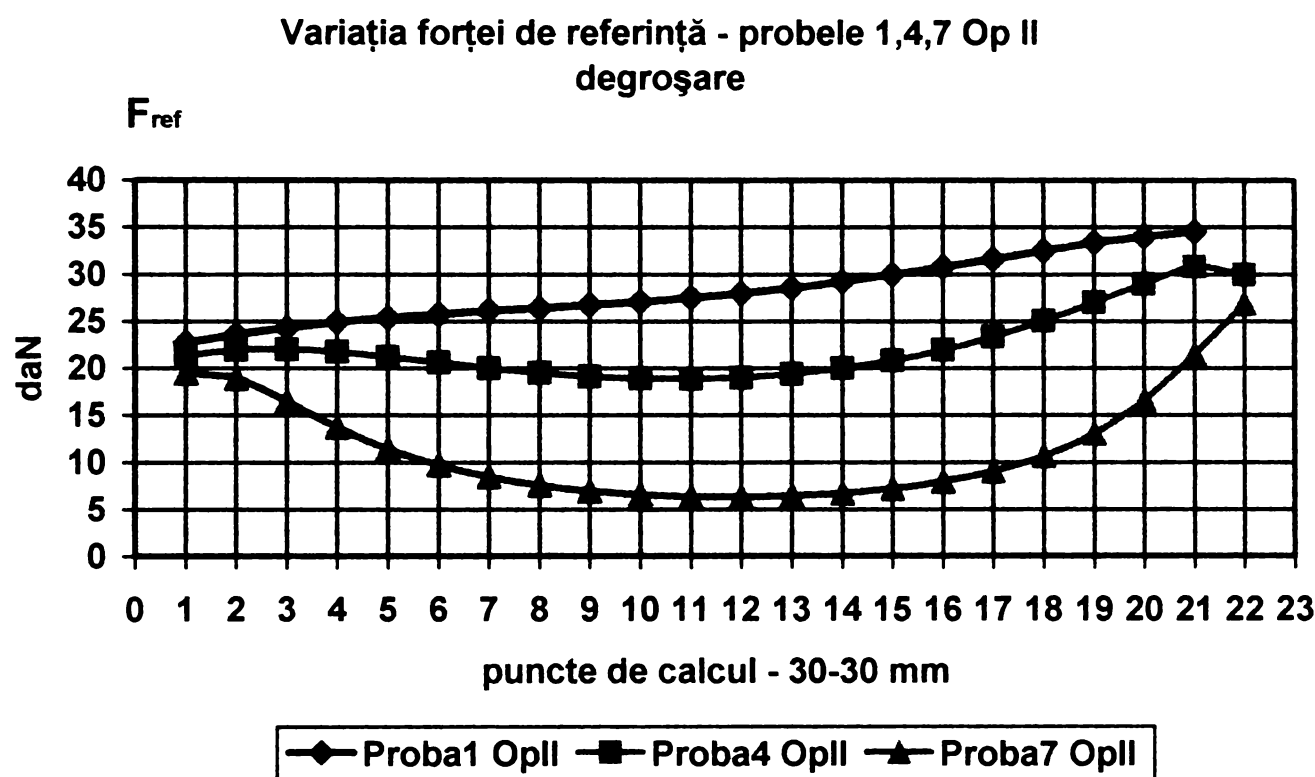
*c. Variația parametrului reglat  $n_p$*

**Fig 5.9** *Variația parametrilor măsurați și reglați pentru comanda adaptivă cu A I și Op. II*

*Pentru piesele mai suple, fenomenul reducerii valorilor parametrilor reglați este și mai accentuat în zonele cu rigiditate scăzută. Este de remarcat că, așa cum am mai arătat, ambii algoritmi propuși, în principiu au același mod de rezolvare a problemei ridicate și anume creșterea productivității în contextul păstrării condițiilor impuse de precizie dimensională și calitate a suprafeței. Dacă algoritmul I făcea un reglaj direct după forța măsurată, în cadrul algoritmului II se observă o suprapunere de efecte și anume măsurarea forței efective coroborată cu variația teoretică a deformației STE ( vezi formulele parametrilor reglați pentru cele două algoritme prezentate în subcapitolul 5.4- formulele 9,11 respectiv 24,25).*

*III. După cum s-a enunțat în capitolele anterioare pentru a se asigura o valoare corespunzătoare a rugozității suprafeței s-a definit corelația (3.27)*

*care exprimă de fapt necesitatea menținerii constante a avansului longitudinal*



**Fig. 5.10 Variația forței de referință**

*Această observație a condus la atingerea acestui deziderat prin reglarea corespunzătoare a turației piesei, lucru realizat în practică pentru ambele algoritme supuse studiului. Totodată în vederea creșterii productivității în special prin reducerea formei de butoi și deci a eliminării pe cât posibil a fazei de destindere, în concordanță cu cele precizate la subcapitolul 3.2.8, se impune determinarea forței de referință, acest lucru realizându-se teoretic pentru fiecare semifabricat în parte pornind de la premisa menținerii unei deformații minime constante pe tot parcursul prelucrării, deformație minimă acceptată ca fiind cea din capătul piesei dinspre păpușa mobilă, unde avem de fapt cea mai mare rigiditate a STE. Fișierele de tip  $p_{ic}$  oferă datele necesare. În figura 5.10 se exemplifică variația forței de referință pentru câte un semifabricat din fiecare clasă de diametre. Se observă că alura graficelor se apropie extrem de mult de cea a variației rigidității.*

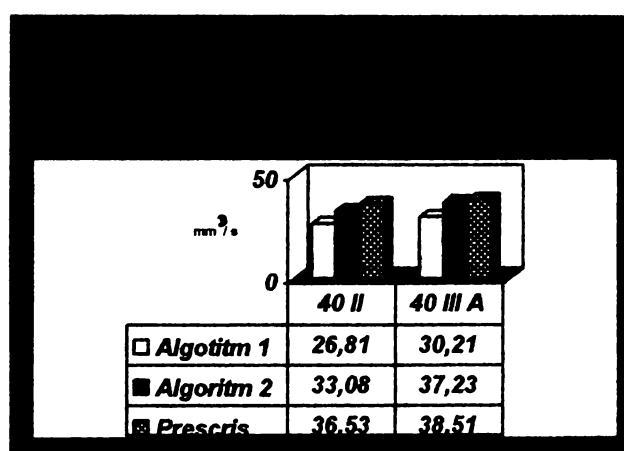
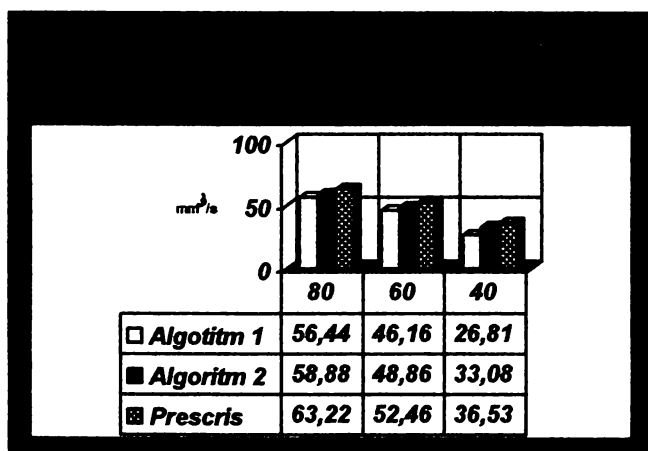
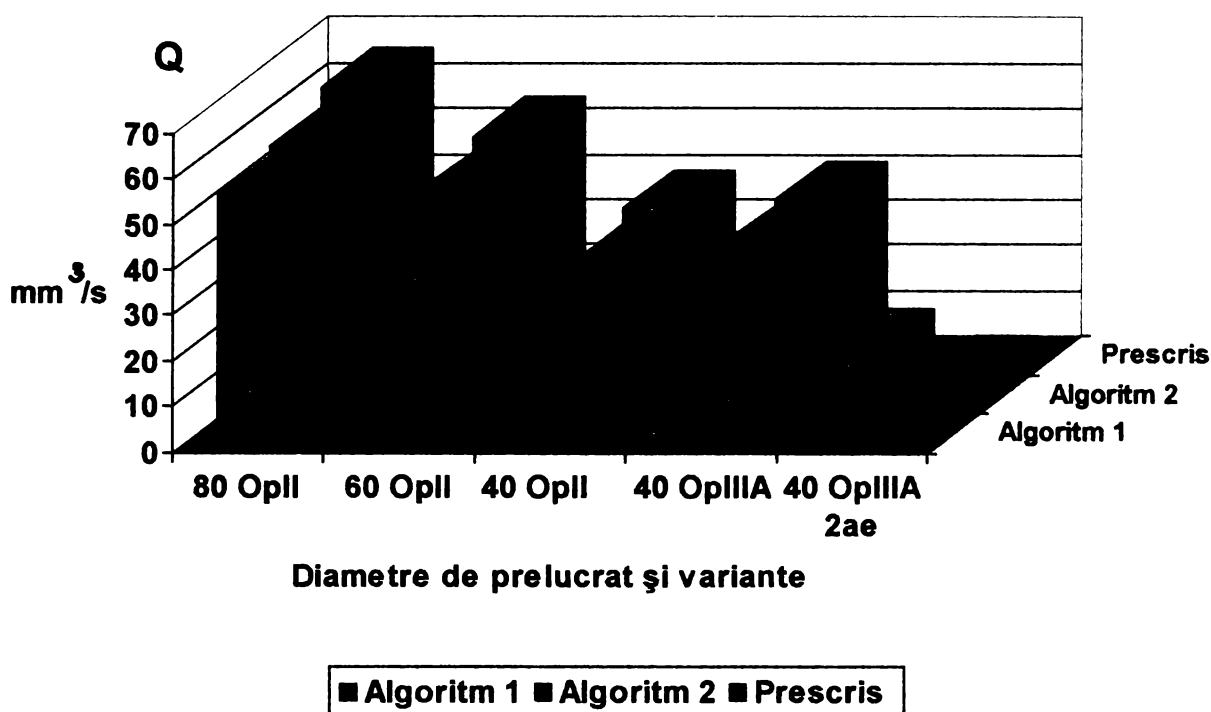
*IV. Acum este momentul să exprimăm poate concluzia cea mai importantă a întregului studiu prezentat în lucrarea de față. Așa după cum am enunțat scopul propus, s-a urmărit optimizarea procesului de rectificare exterioară între vârfuri prin introducerea unei comenzi adaptive conduse de doi algoritmi, unul care ținea seama de creșterea productivității pe fondul obținerii unor indici buni ai calității  $O_5 = f(N,R)$ , iar cel de-al doilea venea să-l îmbunătățească pe primul prin reducerea costului prelucrării  $O_7 = f(N,R,C)$ . După cum am arătat mai sus, studiile teoretice conduceau la soluții extrem de apropiate lucru confirmat și din determinările practice. Studiul comparativ al evoluției productivității a permis o ierarhizare din acest punct de vedere a celor trei variante propuse mai sus A I, A II și parametrii prescriși (fără faza de destindere)- în condițiile opțiunii II, adică scula iasă din contact cu piesa pentru avansul transversal. Analiza fișelor 1...9 evidențiază următoarea situație:*

- *la o primă evaluare se observă că varianta cea mai productivă studiată comparativ pentru fazele de degroșare și finisare cumulate este cea a prelucrării cu parametrii prescriși, urmată de cea cu algoritmul II (parametrizare 30 mm) și foarte aproape de aceasta varianta cu algoritmul I. Această ierarhizare s-a păstrat în totalitate pentru toate clasele de diametre ceea ce ne îndreptățește să afirmăm că este o concluzie pertinentă și poate fi generalizată. Rezultatele erau previzibile și sunt în totală concordanță cu observațiile teoretice, ceea ce este un argument în favoarea afirmației că soluțiile pentru algoritmi comenzi adaptive sunt bune și modelează corect ceea ce se urmărește.*
- *după cum s-a precizat, valorile exprimate în fișele de măsurători și evidențiate și în figura 5.11, sunt doar pentru fazele de degroșare și finisare cumulate. Dar, după cum se va evidenția și în continuare, pentru probele prelucrate cu comandă adaptivă pot fi anulați sau reduși la valori mici (doar pentru îmbunătățirea calității suprafeței, fără a mai fi*

*nevoie de eliminarea erorilor de formă) timpii de destindere. Aceștia au însă valori semnificative pentru prelucrarea clasică. Dacă la oricare piesă prelucrată clasic (cu parametrii prescriși), studiem timpii necesari destinderii, considerând o medie de 10 curse necesare pentru faza destinderii, cunoscând timpul pe o cursă ( în acest caz parametrii fiind constanți) și îi adunăm celor necesari pentru degroșare și finisare , reiese extrem de bine conturat faptul că **introducerea comenzii adaptive în ambele variante de optimizare conduce la obținerea unor productivități mult mai ridicate. Deci se poate afirma că scopul principal a fost pe deplin îndeplinit, rezultatele experimentale confirmând în totalitate această afirmație.***

*Continuând studiul în ceea ce privește creșterea productivității, se observă că acest lucru s-ar putea obține prin limitarea curselor de lucru. Având în vedere funcționarea extrem de mulțumitoare a comenzii adaptive în ambele variante, am considerat că pentru obținerea unor rezultate cu efect maxim, se pot elimina opțiunile intermediare ( opțiunea I respectiv III B), trecând direct la un studiu de comportament al opțiunii III A. Totodată pornind de la observația previzibilă și foarte pertinentă, verificată în totalitate de încercările experimentale (vezi figura 5.11), că productivitatea scade odată cu scăderea rigidității sistemului deci implicit a diametrului piesei, fapt explicat în paragrafele anterioare prin reducerea parametrilor reglați în vederea asigurării unor timpi suplimentari de așchiere, s-a considerat oportună efectuarea unui studiu comparativ pe piese din **clasa de diametre 40 mm**, deoarece pentru aceste piese se pot pune în evidență mult mai clar fenomenele tehnologice și se pot trage concluzii clare. De aceea, grupul de încercări 10,11,12 s-a făcut pe o piesă din această clasă, respectându-se aceeași ordine de utilizare a algoritmilor comenzii adaptive respectiv prelucrarea cu parametrii prescriși.*

**Variația productivității  
[mm<sup>3</sup>/s]**



**Fig. 5.11 Variația productivității prelucrării**

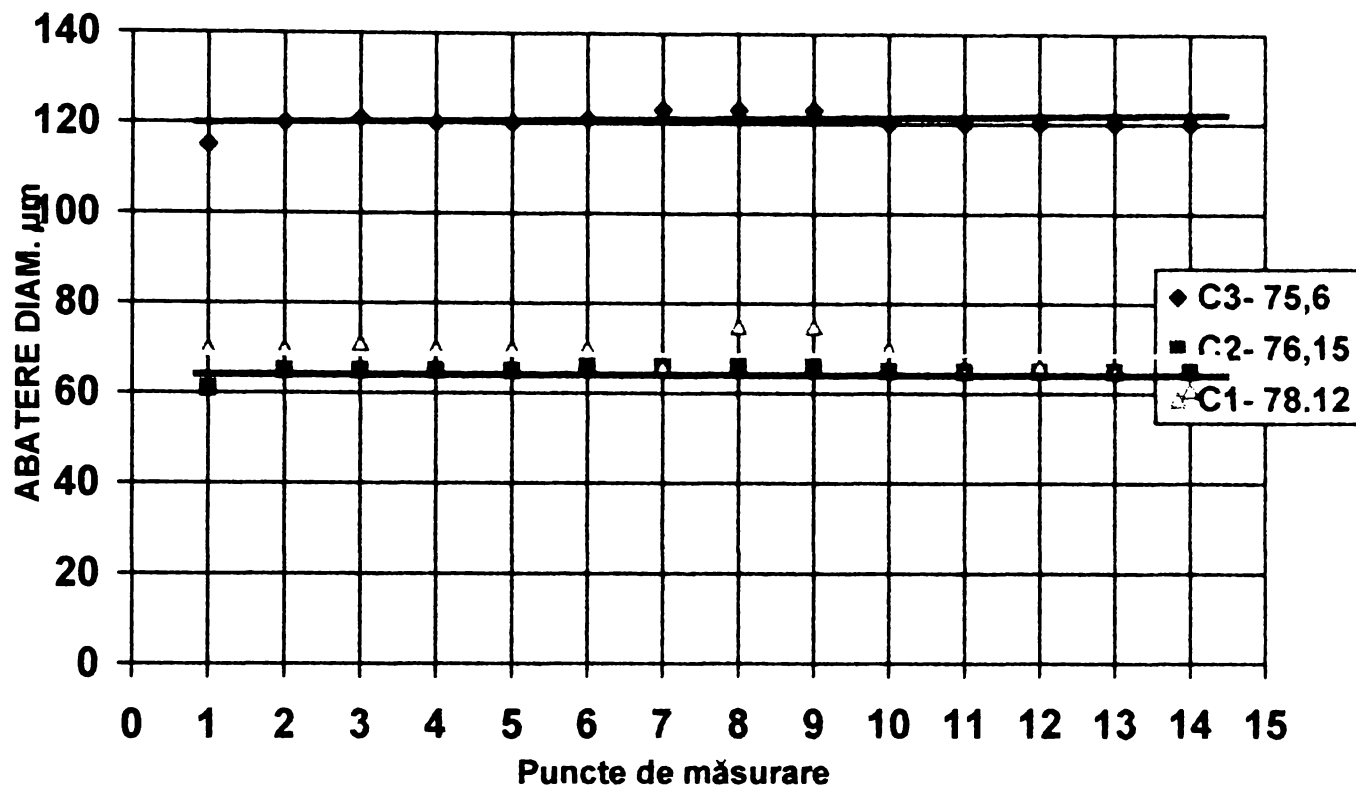
Se observă o îmbunătățire a productivității pentru opțiunea III A, fără o modificare sesizabilă a celorlalți parametri urmăriți (abateri dimensionale și rugozitatea suprafeței) în cazul utilizării comenzii adaptive. Totuși creșterea procentuală a productivității nu este direct proporțională cu scurtarea curselor de lucru, acest fapt datorându-se condițiilor mai severe de prelucrare. Compararea rezultatelor din fișa 7 cu cele din fișa 10 respectiv cele din fișa 8 cu cele din fișa 11, ne arată foarte limpede că în cazul utilizării comenzii...

*adaptive cu cele două variante, abaterile dimensionale și rugozitatea se păstrează în aceleași limite, deși condițiile de încărcare a STE au fost mult mai severe prin executarea avansului de pătrundere a pietrei în timpul prelucrării la capetele zonei active. Condițiile severe amintite au influențat în schimb în mod sensibil rezultatele obținute în condițiile prelucrării cu parametrii prescriși. Se observă o creștere semnificativă în special a abaterilor dimensionale (vezi fișele 9 și 12), rugozitatea păstrându-se în aceeași zonă, ea depinzând direct de avansul longitudinal care a fost același în cadrul celor două prelucrări .*

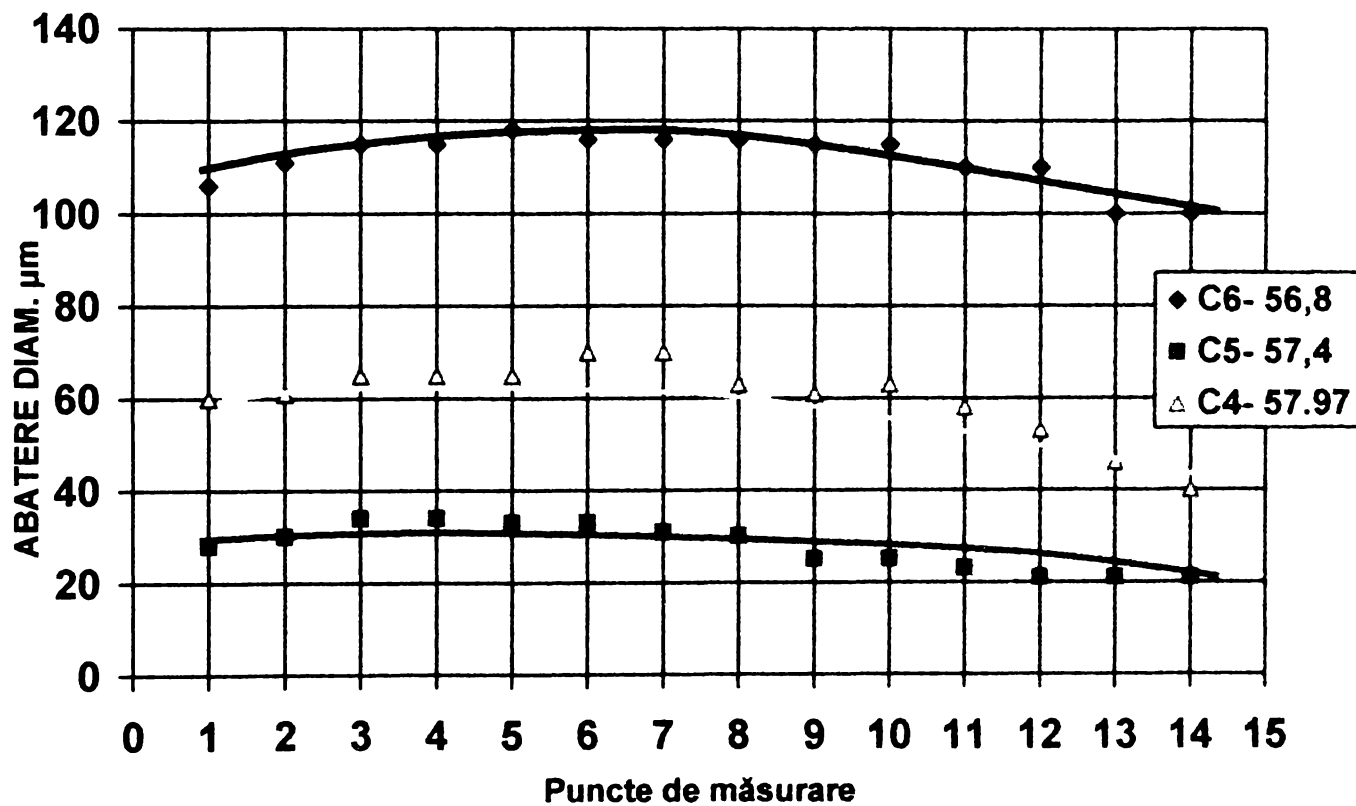
*V. După cum am anticipat, urmează un studiu în ceea ce privește **precizia dimensională**, aceasta fiind extrem de importantă în contextul dorinței anunțate de a elimina pe cât posibil faza destinderii, ceea ce presupune încadrarea în clasa de precizie cerută la sfârșitul fazei de finisare. În figura 5.12 se prezintă comparativ abaterile dimensionale obținute pentru fiecare clasă de diametre a semifabricatului (încercările 1...9), respectiv abaterile dimensionale obținute în cadrul opțiunii III A pentru o piesă din clasa 40 mm. .*

***Caracteristica dominantă** care se desprinde este aceea că **introducerea comenzii adaptive permite obținerea unor abateri dimensionale deosebit de bune pentru prelucrări uzuale de rectificare, obținându-se dimensiuni în clasele 8-9 pentru diametrele mai mari, respectiv 6-7 pentru diametrele mai mici. Pentru piesele cu diametre mai mici, se poate observa menținerea unei ușoare forme de butoi dar cu mențiunea că abaterile dimensionale se încadrează în clasele precizate, pe când la piesele mai rigide curba variației abaterilor dimensionale de-a lungul piesei se aplatizează vizibil. Pentru variantele de prelucrare 10,11,12, se poate observa o îmbunătățire semnificativă a distribuției acestor abateri cu menținerea valorică în aceleași clase de precizie comparativ cu variantele 7,8,9.***

Abateri dimensionale -clasa 80 mm , OpII, probele 3,2,1



Abateri dimensionale - clasa 60 mm, Op II, probele 6,5,4



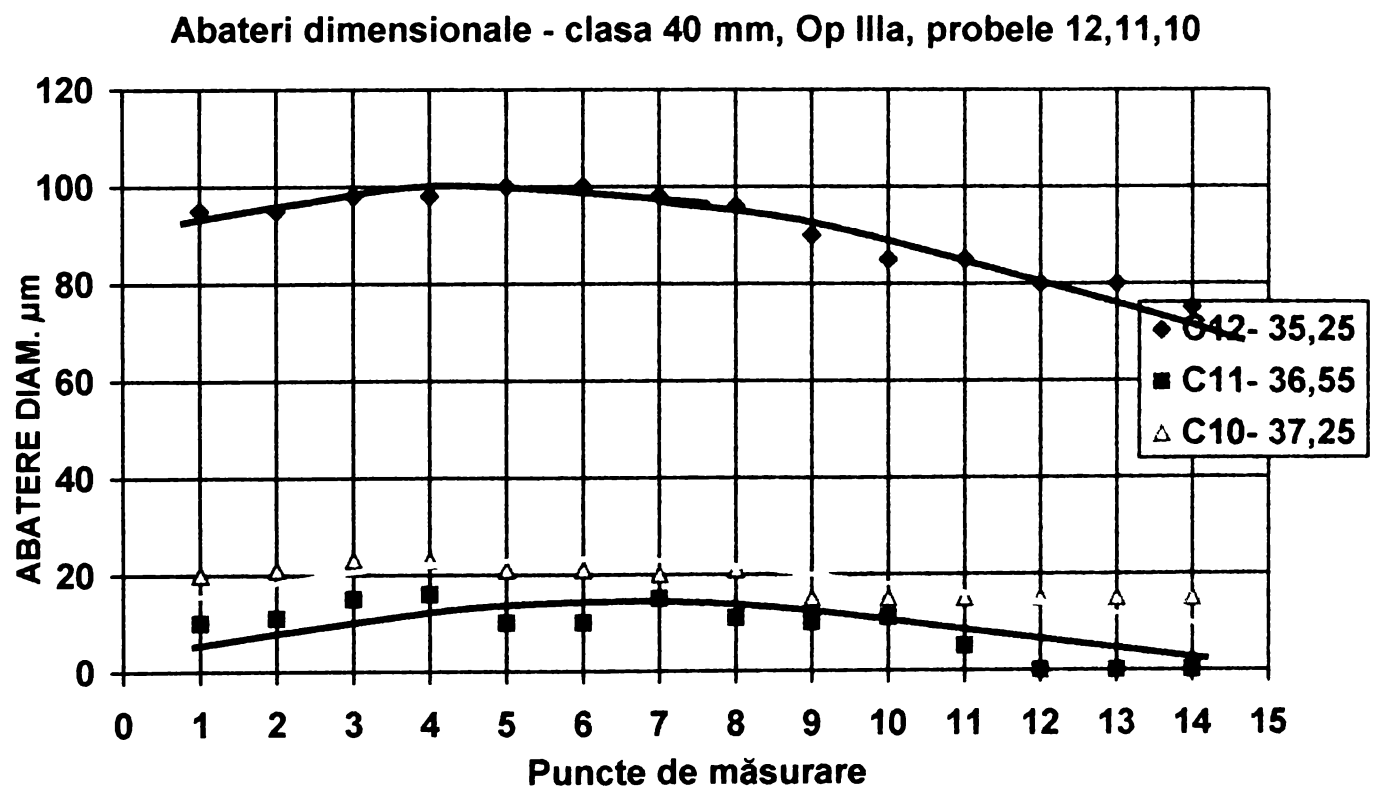
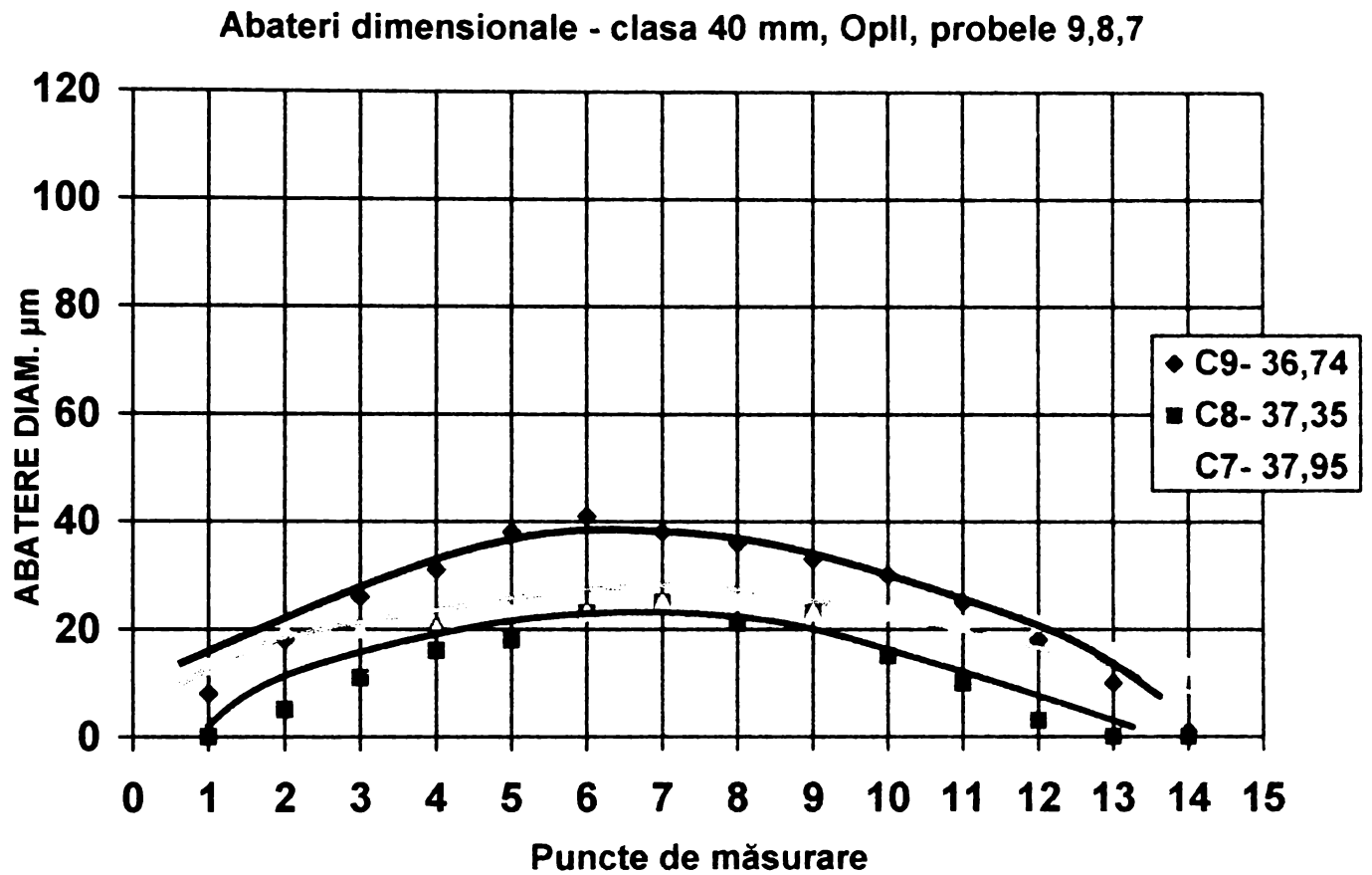
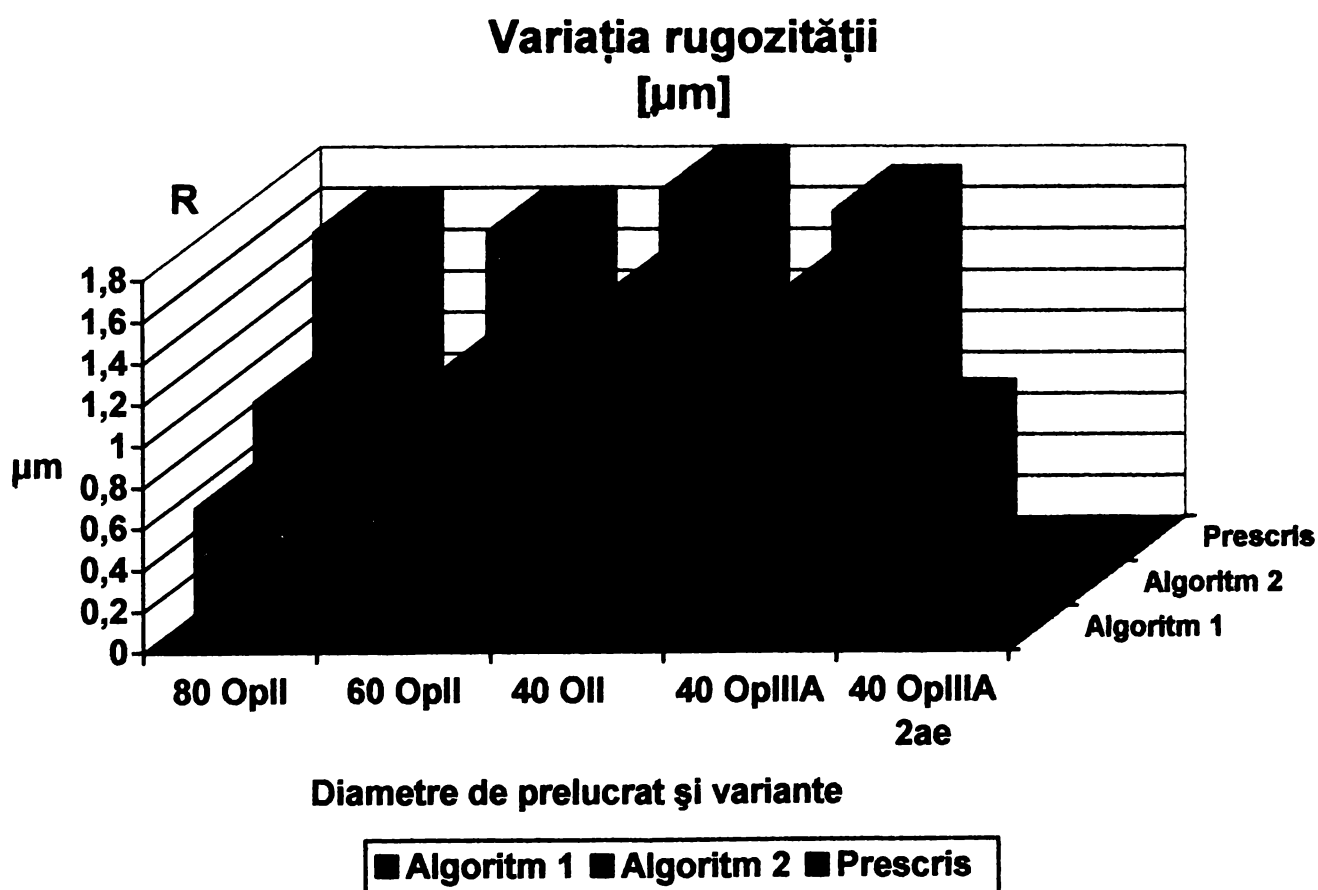


Fig 5.12 Variația abaterilor dimensionale



*Explicația care se poate da este aceea că, în cazul utilizării opțiunii III A, se asigură o încărcare constantă a STE, fără ciclurile pulsatorii de încărcare existente la opțiunea II când, la capătul fiecărei curse piatra iese din contact cu piesa, sistemul se detensionează, urmând a fi iarăși încărcat progresiv la întoarcerea pietrei.*

*VI. În ceea ce privește calitatea suprafeței (rugozitatea) trebuie menționat că datele experimentale evidențiază o ierarhizare inversă ca în cazul productivității ceea ce este în perfectă concordanță cu logica tehnologică și anume aceea că, atunci când dorești productivitate pierzi din precizie și invers. Totuși datele nu sunt suficiente pentru a face aprecieri cantitative și chiar calitative cu susținere statistică.*



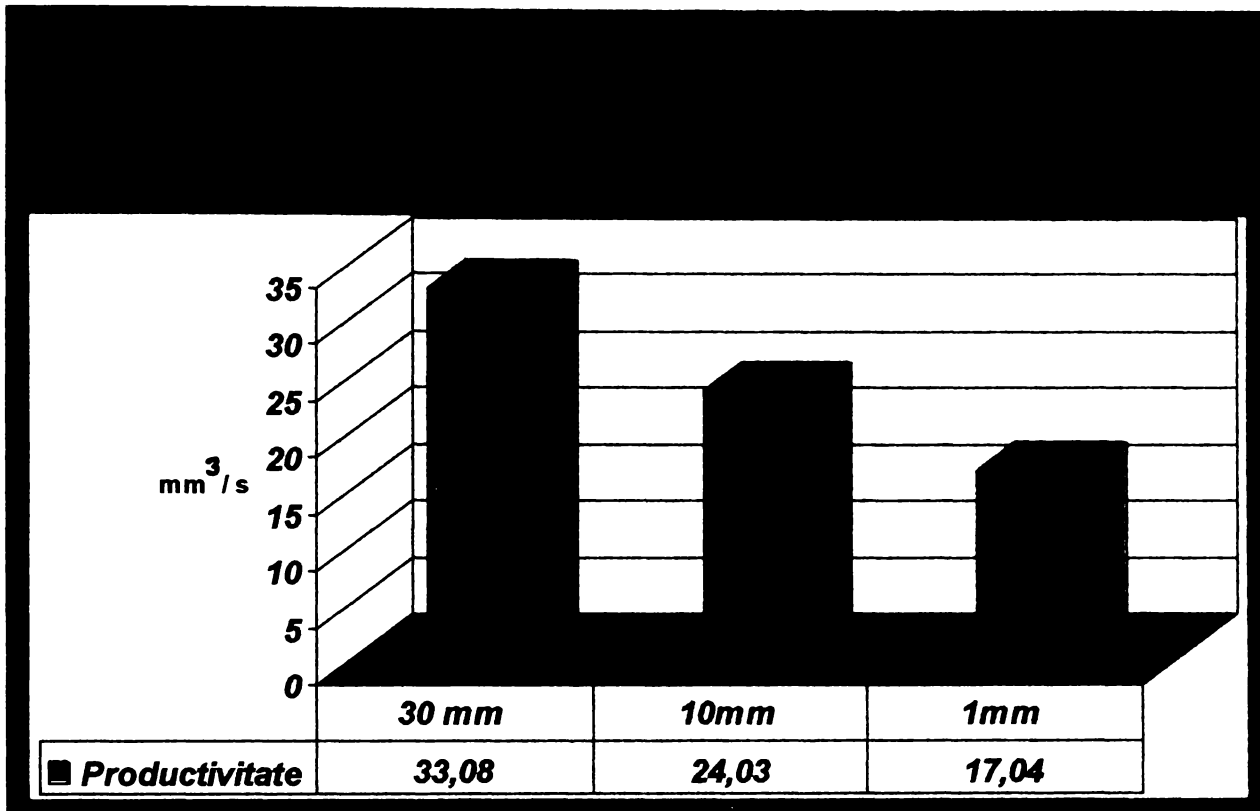
**Fig. 5.13 Variația rugozității**

*Cert este că și în cazul rugozității, rezultatele obținute cu comanda adaptivă sunt net superioare celor obținute prin prelucrarea clasică (fără destindere), încadrându-se în clasa de precizie 7 corespunzătoare rectificării de finisare.*

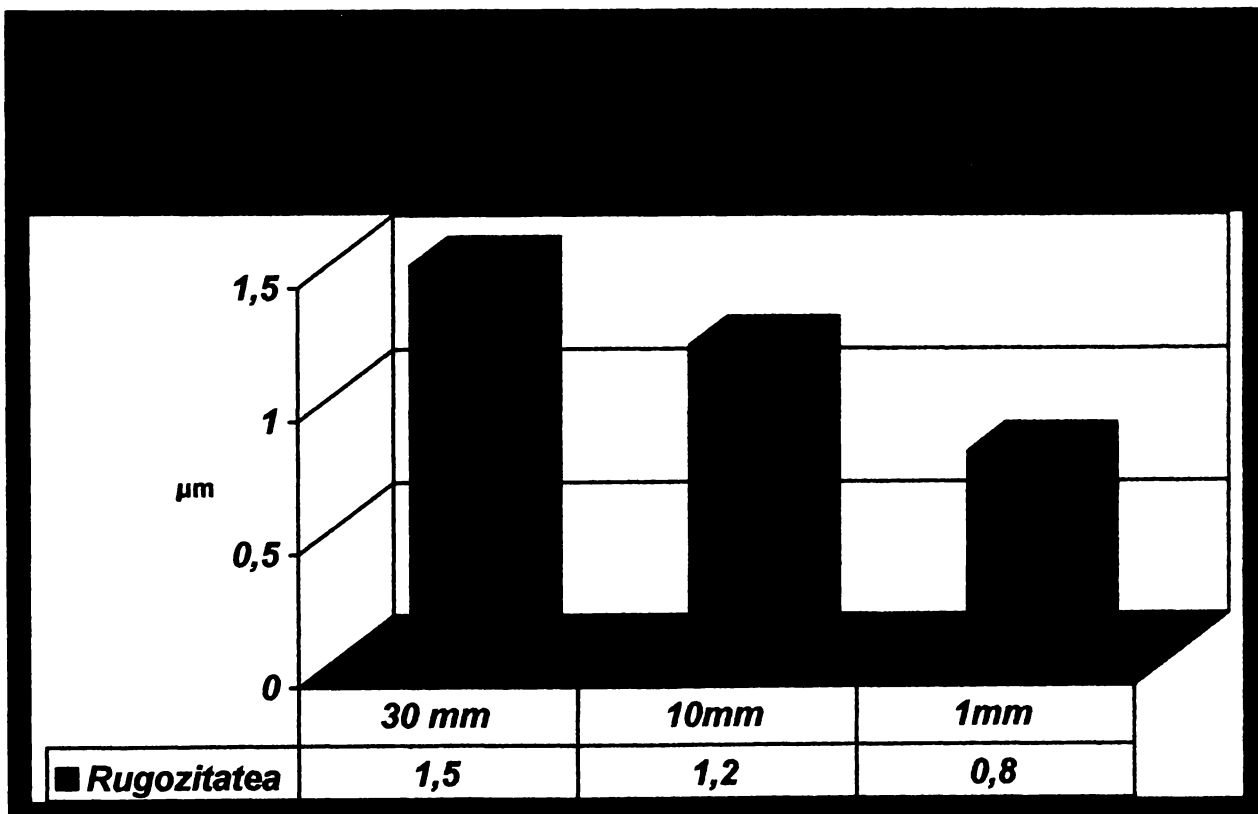
*Trebuie subliniat că primul algoritm(A I) conferă o calitate foarte bună , chiar din zona rectificării de finisare de precizie. Algoritmul II se păstrează în zona valorilor normale dar cu valori ușor mai slabe decât A I pentru cazul reglării din 30 în 30 de mm (figura 5.13)*

*După cum am mai precizat, plecând de la faptul că algoritmul A II are o comportare ușor mai bună în ceea ce privește productivitatea , dar cu o la fel de ușoară, de data aceasta scădere, în cea ce privește precizia dimensională și calitatea suprafeței, luând în calcul modul concret pe care l-am mai precizat în care se face corecția parametrilor reglabili (din 30 în 30 de mm), se impune ca o concluzie ușor de intuit că, **prin adoptarea unor incremenți de programare mai mici, se pot crește indicii de calitate în detrimentul productivității.** În fișele de măsurători F 14 și F 15 se prezintă cazul aplicării algoritmului II pentru o piesă din clasa 40 mm, reglajul parametrilor realizându-se la intervale de 10 mm respectiv 1mm. Rezultatele obținute reliefează pe deplin afirmațiile făcute mai sus și anume se observă o **reducere a productivității** ( Fig.5.14) **pe fondul creșterii preciziei de prelucrare** (Fig .5.15)*

*Putem considera cele prezentate mai sus ca pe o calitate suplimentară pe care o are acest algoritm, oferind o posibilitate facilă de obținere a unor indici variați în funcție de cerințele impuse. **Oricum trebuie subliniată apropierea mare a rezultatelor obținute prin aplicarea celor doi algoritmi, rezultate care conduc spre o concluzie indubitabilă în ceea ce privește superioritatea prelucrării cu comandă adaptivă față de prelucrarea clasică, în special în ceea ce privește productivitatea , dar, în același timp nu putem trage o concluzie la fel de clară în ceea ce privește ierarhizarea reciprocă a lor.** Cercetările ulterioare pot facilita eventuale recomandări mai explicite. Cert este că ambele variante sunt pozitive și deschid noi perspective în ceea ce privește construcția mașinilor de rectificat.*



*Fig.5.14 Variația productivității pentru o piesă din clasa 40 mm, prelucrată cu A II, op. II, cu modificarea parametrilor reglați la intervale de 30 mm (p8), 10 mm (p14) și 1 mm (p15).*



*Fig.5.14 Variația rugozității pentru o piesă din clasa 40 mm, prelucrată cu A II, op. II, cu modificarea parametrilor reglați la intervale de 30 mm (p8), 10 mm (p14) și 1 mm (p15).*

*VII. Având în vedere unele recomandări bibliografice care precizau că , în vederea creșterii productivității, pentru o mai rapidă tensionare a STE, se pot folosi la prima trecere avansuri de pătrundere mărite de două până la patru ori, pentru cazul prelucrării unei piese din clasa 40 mm, cu opțiunea III A (aceasta dovedindu-se mai bună decât opțiunea II), folosind comanda adaptivă cu algoritmul I , s-a efectuat o prelucrare cu  $2a_e$ . Cu surprindere am constatat că, la o piesă din această clasă, datorită degradării evidente a condițiilor inițiale la care a fost supus STE, nu s-a reușit creșterea productivității, aceasta chiar scăzând ușor pe fondul creșterii ușoare a rugozității (figurile 5.11 și 5.13). Recomandările respective pot fi valabile doar pentru piese suficient de rigide.*

*VIII. O concluzie interesantă s-a desprins în timpul prelucrărilor experimentale pe piesele din clasa 40 mm. Ținând cont de lungimea semifabricatelor care se încadrează în categoria pieselor zvelte care ar necesita în mod normal prelucrarea cu sprijin suplimentar, observând modul de desfășurare a procesului efectiv de așchiere, comparativ a celui cu comandă adaptivă față de cel cu parametrii prescriși, se poate recomanda utilizarea comenzii adaptive la acest tip de piese pentru a se asigura creșterea productivității în contextul obținerii unei precizii normale pentru operația de rectificare . Prin utilizarea comenzii adaptive se pot prelucra în condiții de precizie normale pentru rectificare, piese care, conform procedurilor obișnuite, ar solicita montarea unui sprijin suplimentar, ceea ce implicit ar reduce mult productivitatea..*

## CAPITOLUL VI

### CONTRIBUȚII PERSONALE. CONCLUZII FINALE.

1. *S-a efectuat un studiu global al factorilor care influențează procesul de prelucrare prin rectificare rotundă exterioară între vârfuri, căutând să se evidențieze aceia care pot furniza anumite informații și posibilități tehnologice de evaluare a lor în timpul prelucrării propriu-zise, în condiții de fiabilitate și exactitate ridicate, aceste date urmând să devină instrumente de lucru pentru comanda adaptivă. Multitudinea parametrilor care influențează procesul de aşchiere în cazul rectificării rotunde exterioare, fac ca studiul teoretic să fie extrem de laborios, ceea ce se poate observa și în lucrarea de față. În practică există diferite modalități de stabilire a parametrilor prelucrării, fie cu ajutorul unor formule parametrizate fie cu ajutorul unor nomograme ale producătorilor de echipamente respectiv scule abrazive. Studiul teoretic al lucrării de față a stabilit că, forța de aşchiere prin componentele sale, în special componenta pasivă (radială), sunt direct influențate de variația parametrilor de aşchiere, ceea ce a permis în continuare dezvoltarea unor algoritmi de optimizare care modelează procesul de prelucrare prin urmărirea forțelor mai sus amintite. Prezenta teză aduce un plus de acuratețe în studiul influențelor complexe pe care le au diferiți parametri (parametri legați de procesul de aşchiere propriu-zis, parametri legați de piatra de rectificat, influența caracteristicilor mașinii-unelte ) asupra procesului de prelucrare, reușindu-se să se pună bazele tratării matematizate a fenomenului, ceea ce oferă implicit premisa posibilității utilizării calculatorului electronic.*

2. *Studiile bibliografice întreprinse au căutat să găsească unele soluții practice pentru probleme similare. Trebuie arătat că, deși posibilitățile moderne*

*de informare au permis accesul la baze de date a multor instituții de prestigiu cu preocupări de acest tip, informațiile au fost destul de puține, acest lucru explicându-se prin dificultatea problemei adusă în discuție. Unele încercări, de altfel prezentate în lucrare, au avut o tratare teoretică remarcabilă dar cu o aplicabilitate practică redusă în regim de producție de serie. Această limitare a fost determinată de natura parametrilor controlați în timpul procesului (temperaturi, rugozități, dimensiuni, vibrații) ceea ce presupunea un control activ cu o fiabilitate redusă. Soluțiile tehnice oferite în lucrarea de față conferă o fiabilitate mult sporită întregului ansamblu, putând afirma că acestea se pot considera ca o premieră în ceea ce privește optimizarea procesului de prelucrare la rectificarea rotundă între vârfuri prin introducerea comenzii adaptive asistate de calculatorul electronic.*

*3. Alegerea ca mărime de referință a forței pasive (radiale) s-a dovedit o soluție fericită, cu rezultate practice deosebite. De altfel, spre exemplu, preocupările de ultimă oră în ceea ce privește rectificarea plană a plăcilor de siliciu folosite pentru fabricarea circuitelor integrate de ultimă generație, se bazează pe o comandă adaptivă care utilizează ca mărime de referință aceeași forță. Studiile aprofundate prezentate au confirmat justetea alegerii făcute, evidențiindu-se în mod clar avantajele acestei soluții (fiabilitate crescută, urmărirea fidelă a fenomenelor din timpul procesului de prelucrare propriu-zis, etc), raportat la unele realizări similare existente.*

*4. Bazându-ne pe observațiile rezultate în urma demersurilor prezentate mai sus, s-au definit două variante de comenzi adaptive originale pe mașina RE- 350 ( AI – O<sub>5</sub> și AII – O<sub>7</sub>), cu aparatul matematic corespunzător, în vederea coordonării prelucrării cu calculatorul electronic și cu o varietate de opțiuni de prelucrare. Deși studiul teoretic a luat în considerare o multitudine de parametri, soluțiile matematice pentru ambii algoritmi au o formă foarte simplă, deci oferă posibilitatea urmării cât mai apropiate a procesului de prelucrare , parametri reglați fiind în ambele cazuri viteza de avans longitudinal  $v_{fa}$  și turația piesei  $n_p$ .*

*S-a reușit elaborarea unei metodologii de studiu a fenomenelor care apar în cadrul prelucrării reale, definindu-se variantele posibile și modul de tratare a fiecărui caz. Totodată s-au definit unele mărimi necesare în timpul actului de conducere cu calculatorul a comenzii adaptive ( forța de referință, coeficienți de ajustare  $K_{1,2}$ , etc). Modul de abordare a optimizării procesului de rectificare se constituie ca o noutate absolută în special în cazul celui de-al doilea algoritm, iar în cazul primului algoritm acesta este tratat într-o nouă formă în contextul introducerii prelucrării digitale a semnalelor și comenzilor.*

*5. S-a realizat o nouă gândire a ansamblului mașină unealtă – calculator – bloc de comandă și control, astfel ca, prin introducerea prelucrării digitale a semnalelor și comenzilor și elaborarea unor programe adecvate, să se poată asigura prelucrarea în condiții de productivitate, precizie și fiabilitate ridicată, obiectiv de altfel atins și confirmat de determinările experimentale. Realizările de până acum utilizau comanda analogică, introducerea calculatorului electronic de tip PC și deci implicit a prelucrării digitale a semnalelor și comenzilor oferind posibilitatea lărgirii semnificative a domeniilor de aplicabilitate în condițiile unei fiabilități remarcabile pentru un proces de prelucrare atât de pretențios ca cel al rectificării rotunde exterioare.*

*6. Soluțiile tehnice adoptate pentru măsurarea parametrilor, preluarea și transmiterea semnalelor, conversia și amplificarea acestora, s-au dovedit a fi extrem de potrivite pentru aplicațiile de față, ele fiind „la zi” din punct de vedere tehnic. Ele se remarcă printr-o robustețe și fiabilitate deosebite, având caracter de noutate pentru o astfel de aplicație.*

*7. Elaborarea programului utilizat s-a făcut în concordanță cu concluziile teoretice ale prezentei lucrări. S-a utilizat o programare secvențială în limbajul C\*\*. S-au elaborat o serie de scheme logice ale comenzii adaptive respectiv ale întregului proces de prelucrare care au modelat fenomenul studiat, ținându-se cont de multitudinea posibilităților practice de abordare a subiectului pus în discuție.*

8. Scopul propus de a optimiza procesul de rectificare rotundă exterioară între vârfuri prin introducerea unei comenzi adaptive care să asigure o productivitate și precizie ridicate în primul caz, respectiv o productivitate și precizie ridicate cu un cost minim în cel de-al doilea caz, a fost atins și confirmat de rezultatele obținute.

9. Rezultatele obținute au confirmat utilitatea, oportunitatea și eficiența introducerii comenzii adaptive în cazul prelucrării de rectificare exterioară între vârfuri cu avans longitudinal.

10. Acuratețea rezultatelor obținute au confirmat corectitudinea abordării teoretice precum și justetea alegerii soluțiilor tehnice prezentate.

11. Obiectivul principal al determinărilor experimentale și anume acela de a studia comparativ din punct de vedere al productivității variantele propuse, a reliefat avantajele evidente ale introducerii comenzii adaptive. Productivitățile obținute în cazul utilizării comenzii adaptive au fost sensibil apropiate de cazul prelucrării cu parametri prescriși (pentru fazele de degroșare și finisare). Dar, în cazul utilizării comenzii adaptive nu mai este nevoie de faza destinderii, piesele obținute încadrându-se în clasele de precizie 8,9 pentru diametre mai mari (80 mm) respectiv 6,7 pentru diametre mai mici (40 mm), ceea ce conduce la o creștere semnificativă a productivității întregului proces de rectificare față de situația clasică când timpii aferenți fazei de destindere pot deveni sensibili egali cu cei ai fazelor de degroșare și finisare cumulați. Deci se poate concluziona că introducerea comenzii adaptive asigură o creștere substanțială a productivității muncii pentru ambii algoritmi studiați în lucrarea de față.

12. Obiectivele secundare care vizează studiul influenței comenzii adaptive asupra preciziei dimensionale respectiv calității suprafeței, au reliefat o comportare extrem de favorabilă a acesteia, rezultatele obținute și comentate pe larg în capitolul anterior, venind să susțină această afirmație. Totodată, algoritmi propuși și metodologia de implementare a acestora a permis oferirea unor soluții tehnologice în ceea ce privește modificarea valorilor care se pot



**obține pentru parametri monitorizați: productivitate, precizie dimensională și calitate a suprafeței**

**13. Lucrarea, prin multitudinea observațiilor rezultate în urma studiului teoretic sau a derulării prelucrărilor experimentale, deschide noi direcții de cercetare în vederea stabilirii științifice a unor recomandări tehnologice pertinente și susținute de încercări cu caracter statistic făcute pe un număr suficient de mare de probe și cu o abordare globală a tuturor parametrilor de proces.**

**14. Comanda adaptivă, prin soluțiile constructive și algoritmi propuși, permite utilizarea sa în regim de prelucrare în serie, în condiții normale de precizie pentru operația de rectificare (clasele 6-8) dar cu o productivitate mult mai bună decât prelucrarea clasică.**

**15. Întregul ansamblu, mașină – piesă - bloc de comandă – calculator electronic, prin soluțiile tehnice adoptate, aparatul matematic utilizat, programul dedicat, conferă o fiabilitate și acuratețe deosebită întregului proces de prelucrare. Rezultatele obținute, reliefate clar în fișele de măsurători și fișierele care au înregistrat parametri prelucrării propriu-zise, ne îndreptățesc să afirmăm că prezenta încercare de a găsi noi modalități de îmbunătățire a parametrilor prelucrării de rectificare rotundă exterioară s-a dovedit a fi o reușită deplină. De remarcat este faptul că s-a reușit să se răspundă pozitiv la toate punctele prezentate ca scop al prezentei lucrări.**

## ***ANEXA 1***

# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

```
/******  
* Programul pentru determinarea caracteristicii *  
* unghi_droser - viteza masa *  
* * *  
* Pentru asigurarea sincronizarii timp - impulsuri numarate *  
* se foloseste GATE care se pune pe "1" simultan pentru *  
* toate contoarele lui PIT. Pentru comanda lui GATE folosesc *  
* bit-ul din PC0 din PC a lui PPI *  
* Pentru comanda droserului folosesc bitul PC1 din PC a lui *  
* PPI pentru stanga si PC2 din PC a lui PPI pentru dreapta *  
* *  
* Rezultatul conversiei AD il iau prin polling pe PB7 *  
*****/  
  
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <conio.h>  
#include <dos.h>  
#include <math.h>  
  
//definitii pentru calcul marimi prescrise  
#define PI 3.1428  
#define ESC 27  
#define P 0.815  
//tipuri definite de mine  
typedef struct{  
    float d;  
    float f;  
}df;  
  
//DATE INITIALE  
char otel[20]; //tipul materialului  
float d_piesa; //diametru piesa in mm  
float l_piesa; //lungime piesa in mm  
float avans; //avans  
float avans_d; //avans degrosare  
float avans_f; //avans finisare  
float timp_d=12;  
float timp_f=25;  
float l_piatra=80; //latime piatra  
float d_piatra=500; //diametru piatra  
float distanta=10; //distanța la care piatra iasa de pe piesa  
float ae_d=0.03; //in mm  
float ae_f=0.012; //in mm  
float beta_d=0.7; //1/rot  
float beta_f=0.3; //1/rot  
float p=0.8; //exponent  
  
//date pentru algoritmul 2  
float E=21000; //daN/mm2 modul elastic  
float Jpm=6000; //daN/mm rigiditate_papusa_mobila  
float Jpo=1800; //daN/mm rigiditate_papusa_fixa  
float Jpr=2000; //daN/mm rigiditate_piatra  
float Jsp=18000; //daN/mm rigiditate_surub_piulita
```

# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
float Jap=21000;      //dan/mm rigiditate arbore port piatra
float *Jste;
float z;
float Jpml;
//date calculate pentru algoritmul 2
float Ii;            //modul de inertie
float STE;           //rigiditate totala
float *lamda_d;      //coeficient lamda
float *lamda_f;
volatile float lamda_real;
float *K2_d;         //coeficient de ajustare
float *K2_f;
float *Xste;         //microdeplasari transversale
float *v_av_II_d;
float *v_av_II_f;
float *tur_II_d;
float *tur_II_f;
volatile float const_K2_d;
volatile float const_K2_f;

//DATE CALCULATE
df fa;              //avans de trecere longitudinal la degrosare mm/rot
df nr_treceri;      //numarul de treceri
df v_asc;           //viteza de aschiere
df t_piatra0;       //turatia pietrei
df t_piatral;
df v_rot_piesa0;    //viteza de rotatie a piesei rot/sec
df v_rot_piesal;    //viteza de rotatie a piesei rot/min
df t_piesa;         //turatie piesa
df v_av_long;       //viteza de avans longitudinal
df f_princ_asc;     //forta principala de aschiere
df f_pasiva0;       //forta pasiva = forta principala de aschiere
df f_pasival;       //forta pasiva = 1,5 * forta principala de aschiere
df f_pasiva2;       //forta pasiva = 2 * forta principala de aschiere
df k0;              //constanta de proportionalitate forta pasiva 0
df k1;              //constanta de proportionalitate forta pasiva 1
df k2;              //constanta de proportionalitate forta pasiva 2
df unghi_vm;

void meniu_init(void);
void meniu_val(void);
void calcule(void);
void afis_rezultate(void);
void scrie_fis(void);
void fis_temp(void);
void alegere_algoritm(void);

/*definitii pentru PIT - 8254*/

//adrese PIT
#define PIT_0 0x310
#define PIT_1 0x311
#define PIT_2 0x312
```

# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
#define PIT_CC 0x313

//cuvinte de comanda PIT
#define CC0 0x30 //canal 0 initializare
#define READ_C0 0x00 //citire canal 0
#define CC1 0x70 //canal 1
#define CC2 0xb0 //canal 2
//constante pentru lungime maxima 1500mm
#define Nmax_oms 0x3a
#define Nmax_omps 0x98

/* definitii pentru PPI - 8255 */
//adrese PPI
#define PPI_PA 0x30c
#define PPI_PB 0x30d
#define PPI_PC 0x30e
#define PPI_CC 0x30f

//cuvinte de comanda PPI
#define CC_PPI 0x92
//comanda gate pt. PIT PC0
#define GATE_L 0x00
#define GATE_H 0x01
//comanda dr. stanga PC1
#define DR_VM_S_L 0x02
#define DR_VM_S_H 0x03
//comanda dr. dreapta PC2
#define DR_VM_D_L 0x04
#define DR_VM_D_H 0x05
//comanda dr. stanga PC3
#define DR_AV_S_L 0x06
#define DR_AV_S_H 0x07
//comanda dr. dreapta PC4
#define DR_AV_D_L 0x08
#define DR_AV_D_H 0x09

/* definitii pentru IA */
#define IA0 0x300
#define IA1 0x301
#define IA2 0x302
#define IA3 0x303
#define START_IA 0x30a
#define READ_LSB 0x30b
#define READ_MSB 0x30a
#define CUANT 0.00488
#define ZERO 2048

/*definitii pentru AOUT*/
#define AOUT0_LSB 0x314
#define AOUT0_MSB 0x315
#define AOUT1_LSB 0x316
#define AOUT1_MSB 0x317
#define START_DA 0x318
#define CUANT_DA 0.00244
```

# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
#define RANGE_DA 9.9976

/*definitii pentru calcul pozitie*/
#define IMPULSURI 6.0
#define RANGE_POZ 0.6
#define LUNGIME_max 1500.0

//definitia tipului intreruperii folosite
//perioada de timp de determinare a pozitiei
#define INTR 0x1c

void init_pit(void); //initializare 8254
void init_ppi(void); //initializare 8255

void start_conv(int canal); //start conversie AD IAx
void end_conv(void); //verificare sfarsit de conversie
float read_pos(void); //citire rezultat conversie

void gate_on(void); //comanda GATE=1
void gate_off(void); //comanda GATE=0

void dr_vm_stanga_on(void); //comanda start vm rotire stanga
void dr_vm_stanga_off(void); //comanda stop vm rotire stanga
void dr_vm_dreapta_on(void); //comanda start vm rotire dreapta
void dr_vm_dreapta_off(void); //comanda stop vm rotire dreapta

void dr_av_stanga_on(void); //comanda start av rotire stanga
void dr_av_stanga_off(void); //comanda stop av rotire stanga
void dr_av_dreapta_on(void); //comanda start av rotire dreapta
void dr_av_dreapta_off(void); //comanda stop av rotire dreapta

void rot_drvm_dr(float prag);
void rot_drvm_st(float prag);

void rot_drav_dr(float prag);
void rot_drav_st(float prag);

void mas_micro_deplasari(float prag);
void cda_micro_deplasari(int pas);

void cda_turatie_piesa(float tur);

void masura_forta(float forta_referinta);

void calcul_vm_real(float cost_k);
float calcul_unghi(float viteza_masa);
void calcul_turatie_real(float beta, float const_ka);

void calcul_vm_real_II(float coef_lamda, float cota_II);
void calcul_turatie_real_II(float beta);

unsigned char detectie_sens(void);
unsigned char zone_de_lucru(float zona_1, float zona_2, float zona_3);
void calcul_cote_cazl(void); //piatra iasa de pe piesa c-da adaptiva
cand piatra a intrat complet
```

## CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
void calcul_cote_caz2(void);      //piatra iasa de pe piesa c-da adaptiva
cand piatra a intrat jumătate

void init_sistem(void);          //initializare ADA si SI

/* old interrupt vector*/
void interrupt ( *oldvect)(void);

/* new interrupt vector*/
//functie apelata la 55msec pentru citire pozitie
void interrupt citeste_pozitie(void);

float *dr_vm;
float pz_dr_vm=0;

float *dr_av;
float pz_dr_av=0;

float *mas_mic_depl;
volatile float mas_micro_depl;

float *mas_forta;
volatile float forta;
float *forta_noua_d;
float *forta_noua_f;
volatile float forta_referinta_reala;

volatile float vm_real;
volatile float cda_unghi_vm;
volatile float old_cda_unghi_vm;

volatile float turatie_piesa;

volatile float pozitie;
float cota_zona1;
float cota_zona2;
float cota_zona3;
volatile unsigned char sens_miscare;
volatile unsigned char tip_comanda; //0 - fara adaptiva; 1 - cu
adaptiva
volatile unsigned int contor_treceri;
volatile float cota_prescrisa;

FILE *fis_tmp;

/*
void main(void)
{

    clrscr();
    init_sistem();
    getch();

    while(!kbhit())
```

```
{
printf("\nCota atinsa: %f",cota_prescrisa);
printf("\nPozitia curenta: %f",pozitie);
if(cota_prescrisa < 90)
    printf("\nForta1!");
if(90 < cota_prescrisa & cota_prescrisa < 120)
    printf("\nForta2!");
if(120 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 150)
    printf("\nForta3!");
if(150 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 180)
    printf("\nForta4!");
if(180 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 210)
    printf("\nForta5!");
if(210 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 240)
    printf("\nForta6!");
if(240 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 270)
    printf("\nForta7!");
if(270 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 300)
    printf("\nForta8!");
if(300 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 330)
    printf("\nForta9!");
if(330 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 360)
    printf("\nForta10!");
if(360 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 390)
    printf("\nForta11!");
if(390 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 420)
    printf("\nForta12!");
if(420 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 450)
    printf("\nForta13!");
if(450 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 480)
    printf("\nForta14!");
if(480 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 510)
    printf("\nForta15!");
if(510 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 540)
    printf("\nForta16!");
if(540 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 570)
    printf("\nForta17!");
if(570 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 600)
    printf("\nForta18!");
if(600 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 630)
    printf("\nForta19!");
if(630 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 660)
    printf("\nForta20!");

sens_miscare=detectie_sens();
if(sens_miscare == 1)
    printf("\nMiscare intr-o directie!");
else
    printf("\nMiscare in alta directie!");

delay(5000);
}
*/
```



```
volatile unsigned char algoritm;

void main(void)
{
    int cont_temp;

//alocari memorie pentru masuratori
    fis_tmp=fopen("temp","w");
    clrscr();
    if((dr_vm=(float *)malloc(sizeof(float)*500))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru droser1!");
        exit(1);
    }
    if((dr_av=(float *)malloc(sizeof(float)*500))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru droser2!");
        exit(1);
    }

    if((mas_mic_depl=(float *)malloc(sizeof(float)*500))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru micro pasi!");
        exit(1);
    }

    if((mas_forta=(float *)malloc(sizeof(float)*500))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta!");
        exit(1);
    }
    if((Jste=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru Jste!");
        exit(1);
    }
    if((lamda_d=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru Jste!");
        exit(1);
    }
    if((lamda_f=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru Jste!");
        exit(1);
    }

    if((forta_noua_d=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
    {
        printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
        exit(1);
    }

    if((forta_noua_f=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
    {
```

```
    printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
    exit(1);
}

if((K2_d=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
{
    printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
    exit(1);
}

if((K2_f=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
{
    printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
    exit(1);
}

if((v_av_II_d=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
{
    printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
    exit(1);
}

if((v_av_II_f=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
{
    printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
    exit(1);
}

if((tur_II_d=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
{
    printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
    exit(1);
}

if((tur_II_f=(float *)malloc(sizeof(float)*22))==NULL)
{
    printf("Nu se poate aloca memorie pentru forta noua!");
    exit(1);
}

//secventa pentru calculele initiale
clrscr();
menu_init();
clrscr();
menu_val();
calcule();
afis_rezultate();
//initializare valori Jste
Ii=3.14*d_piesa*d_piesa*d_piesa*d_piesa/64;
Jpml=1/(1/Jpm + 1/Jpr + 1/Jap + 1/Jsp);
const_K2_d=v_av_long.d*f_pasiva1.d/(ae_d*Jpml);
const_K2_f=v_av_long.d*f_pasiva1.f/(ae_f*Jpml);
z=0;
for(cont_temp=0;cont_temp<22;cont_temp++)
```

```

    {
        *(Jste+cont_temp)=1/((1-z/l_piesa)*(1-z/l_piesa)/Jpo +
(z*z)/(l_piesa*l_piesa)/Jpm + z*z*(l_piesa-z)*(l_piesa-
z)/(3*E*Ii*l_piesa) + 1/Jpr + 1/Jap + 1/Jsp);

        *(forta_noua_d+cont_temp)=*(Jste+cont_temp) *
f_pasival.d/Jpml;
        *(forta_noua_f+cont_temp)=*(Jste+cont_temp) *
f_pasival.f/Jpml;

        *(lamda_d+cont_temp)=*(Jste+cont_temp)*ae_d /
*(forta_noua_d+cont_temp);
        *(lamda_f+cont_temp)=*(Jste+cont_temp)*ae_f /
*(forta_noua_f+cont_temp);

        *(K2_d+cont_temp)=v_av_long.d *
*(forta_noua_d+cont_temp)/(ae_d * *(Jste+cont_temp));
        *(K2_f+cont_temp)=v_av_long.f *
*(forta_noua_f+cont_temp)/(ae_f * *(Jste+cont_temp));

        *(v_av_II_d+cont_temp)=2 * *(lamda_d+cont_temp) *
(2*z/1000+1) * l_piesa/1000;
        *(v_av_II_f+cont_temp)=2 * *(lamda_f+cont_temp) *
(2*z/1000+1) * l_piesa/1000;

        *(tur_II_d+cont_temp)=*(v_av_II_d+cont_temp)/(beta_d *
l_piatra/1000);
        *(tur_II_f+cont_temp)=*(v_av_II_f+cont_temp)/(beta_f *
l_piatra/1000);

        z=z+30;
    }

//scriere in fisier a datelor
    scrie_fis();

//alegere algoritm
    alegere_algoritm();

//initializare sistem hardware
    init_sistem();

//start ciclu initializare masina
    clrscr();
    printf("Pentru pozitionare apasati o tasta!\n");
    fprintf(fis_tmp,"Pentru pozitionare apasati o tasta!\n");
    getch();

    printf("Aducere la viteza mica! Apasa o tasta...\n");
    fprintf(fis_tmp,"Aducere la viteza mica! Apasa o tasta...\n");
    getch();
    dr_vm_stanga_on();
    printf("Viteza mica atinsa! Apasa o tasta...\n");

```

# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
fprintf(fis_tmp, "Viteza mica atinsa! Apasa o tasta...\n");
dr_vm_stanga_off();
getch();

printf("Aducere la viteza prescrisa! Apasa o tasta..\n");
fprintf(fis_tmp, "Aducere la viteza prescrisa! Apasa o
tasta...\n");
getch();
old_cda_unghi_vm=calcul_unghi(v_av_long.d);
rot_drvm_dr(old_cda_unghi_vm);
printf("Masa la viteza prescrisa! Apasa o tasta..\n");
fprintf(fis_tmp, "Masa la viteza prescrisa! Apasa o tasta...\n");
getch();

printf("Aducere la turatie prescrisa! Apasa o tasta!\n");
fprintf(fis_tmp, "Aducere la turatie prescrisa! Apasa o tasta!\n");
getch();
cda_turatie_piesa(t_piesa.d);
printf("Piesa la turatie prescrisa! Apasa o tasta!\n");
fprintf(fis_tmp, "Piesa la turatie prescrisa! Apasa o tasta!\n");
getch();

printf("\nPENTRU PORNIRE MASINA APASATI O TASTA!");
fprintf(fis_tmp, "\nPENTRU PORNIRE MASINA APASATI O TASTA!\n");
getch();

//ALGORITMUL 1
//DEGROSARE

contor_treceri=avans_d/ae_d+3;

while(!kbhit())
{
    if(cota_prescrisa < 90)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+1);
        cont_temp=1;
    }

    if(90 < cota_prescrisa & cota_prescrisa < 120)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+4);
        cont_temp=4;
    }

    if(120 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 150)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+5);
        cont_temp=5;
    }

    if(150 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 180)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+6);
    }
}
```

```
        cont_temp=6;
    }

    if(180 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 210)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+7);
        cont_temp=7;
    }

    if(210 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 240)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+8);
        cont_temp=8;
    }

    if(240 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 270)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+9);
        cont_temp=9;
    }

    if(270 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 300)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+10);
        cont_temp=10;
    }

    if(300 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 330)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+11);
        cont_temp=11;
    }

    if(330 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 360)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+12);
        cont_temp=12;
    }

    if(360 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 390)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+13);
        cont_temp=13;
    }

    if(390 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 420)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+14);
        cont_temp=14;
    }

    if(420 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 450)
    {
        forta_referinta_reala=*(forta_noua_d+15);
    }
```

```
        cont_temp=15;
    }

    if(450 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 480)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+16);
        cont_temp=16;
    }

    if(480 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 510)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+17);
        cont_temp=17;
    }

    if(510 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 540)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+18);
        cont_temp=18;
    }

    if(540 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 570)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+19);
        cont_temp=19;
    }

    if(570 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 600)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+20);
        cont_temp=20;
    }

    if(600 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 630)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+21);
        cont_temp=21;
    }

    if(630 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 660)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_d+21);
        cont_temp=21;
    }

    sens_miscare=detectie_sens();
    masura_forta(forta_referinta_reala);
    if(algorithm==1)
        calcul_vm_real(k1.d);
    if(algorithm==2)
    {
        lamda_real=(Jste+cont_temp)*ae_d / forta;
        calcul_vm_real_II(lamda_real,const_K2_d);
    }
```

```
cda_unghi_vm=calcul_unghi(vm_real);
if(fabs(cda_unghi_vm-old_cda_unghi_vm)>0.01)
{
    if(cda_unghi_vm < old_cda_unghi_vm)
    {
        rot_drvm_st(cda_unghi_vm);
        old_cda_unghi_vm=cda_unghi_vm;
    }
    else
    {
        if(cda_unghi_vm > 2.25)
            cda_unghi_vm=2.25;
        rot_drvm_dr(cda_unghi_vm);
        old_cda_unghi_vm=cda_unghi_vm;
    }
}
if(algorithm==1)
    calcul_turatie_real(beta_d,k1.d);
if(algorithm==2)
    calcul_turatie_real_II(beta_d);
cda_turatie_piesa(turatie_piesa);
printf("\n");
fprintf(fis_tmp,"\n");
if(contor_treceri == 0)
    break;
delay(200);
}
printf("\nNUMAR TRECERI DEGROSARE ATINS!");
fprintf(fis_tmp,"\nNUMAR TRECERI DEGROSARE ATINS!");

//FINISARE
getch();
flushall();

contor_treceri=6;

while(!kbhit())
{

    if(cota_prescrisa < 90)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_f+1);
        cont_temp=1;
    }

    if(90 < cota_prescrisa & cota_prescrisa < 120)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_f+4);
        cont_temp=4;
    }

    if(120 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 150)
    {
        forta_referinta_reala=(forta_noua_f+5);
        cont_temp=5;
    }
}
```

```
}  
  
if(150 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 180)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+6);  
    cont_temp=6;  
}  
  
if(180 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 210)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+7);  
    cont_temp=7;  
}  
  
if(210 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 240)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+8);  
    cont_temp=8;  
}  
  
if(240 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 270)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+9);  
    cont_temp=9;  
}  
  
if(270 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 300)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+10);  
    cont_temp=10;  
}  
  
if(300 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 330)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+11);  
    cont_temp=11;  
}  
  
if(330 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 360)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+12);  
    cont_temp=12;  
}  
  
if(360 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 390)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+13);  
    cont_temp=13;  
}  
  
if(390 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 420)  
{  
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+14);  
    cont_temp=14;  
}
```



```
if(420 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 450)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+15);
    cont_temp=15;
}

if(450 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 480)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+16);
    cont_temp=16;
}

if(480 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 510)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+17);
    cont_temp=17;
}

if(510 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 540)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+18);
    cont_temp=18;
}

if(540 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 570)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+19);
    cont_temp=19;
}

if(570 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 600)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+20);
    cont_temp=20;
}

if(600 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 630)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+21);
    cont_temp=21;
}

if(630 < cota_prescrisa & cota_prescrisa< 660)
{
    forta_referinta_reala=*(forta_noua_f+21);
    cont_temp=21;
}

sens_miscare=detectie_sens();
masura_forta(forta_referinta_reala);
if(algorithm==1)
    calcul_vm_real(k1.f);
if(algorithm==2)
{
```

```

        if(forta <= 0)
            forta=1;
        lamda_real=(Jste+cont_temp)*ae_f / forta;
        calcul_vm_real_II(lamda_real,const_K2_f);
    }
    cda_unghi_vm=calcul_unghi(vm_real);
    if(fabs(cda_unghi_vm-old_cda_unghi_vm)>0.01)
    {
        if(cda_unghi_vm < old_cda_unghi_vm)
        {
            rot_drvm_st(cda_unghi_vm);
            old_cda_unghi_vm=cda_unghi_vm;
        }
        else
        {
            if(cda_unghi_vm > 2.25)
                cda_unghi_vm=2.25;
            rot_drvm_dr(cda_unghi_vm);
            old_cda_unghi_vm=cda_unghi_vm;
        }
    }
    if(algorithm==1)
        calcul_turatie_real(beta_f,k1.f);
    if(algorithm==2)
        calcul_turatie_real_II(beta_f);
    cda_turatie_piesa(turatie_piesa);
    printf("\n");
    fprintf(fis_tmp,"\n");
    if(contor_treceri == 0)
        break;
    delay(200);
}
printf("\nNUMAR TRECERI FINISARE ATINS!");
printf("\n CICLU DE RECTIFICARE GATA!");
fprintf(fis_tmp,"\nNUMAR TRECERI FINISARE ATINS!");
getch();
fcloseall();
}

void alegere_algorithm(void)
{
    char tasta;

    _setcursortype(_NOCURSOR);
    gotoxy(1,1);
    cprintf("Introduceti optiunea!");
    gotoxy(1,2);
    cprintf("1. Optiunea 1 - avans afara AD la jumatate de piatra -  
Algoritmul 1!");
    gotoxy(1,3);
    cprintf("2. Optiunea 1 - avans afara AD la jumatate de piatra -  
Algoritmul 2!");
    gotoxy(1,4);

```

# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
    cprintf("3. Optiunea 2 - avans afara AD la toata piatra -  
Algoritmul 1!");  
    gotoxy(1,5);  
    cprintf("4. Optiunea 2 - avans afara AD la toata piatra -  
Algoritmul 2!");  
    gotoxy(1,6);  
    cprintf("5. Optiunea 3A - avans pe piesa la jumătate de piatra -  
Algoritmul 1!");  
    gotoxy(1,7);  
    cprintf("6. Optiunea 3A - avans pe piesa la jumătate de piatra -  
Algoritmul 2!");  
    gotoxy(1,8);  
    cprintf("7. Optiunea 3B - avans pe piesa cu toata piatra -  
Algoritmul 1!");  
    gotoxy(1,9);  
    cprintf("8. Optiunea 3B - avans pe piesa cu toata piatra -  
Algoritmul 2!");  
  
    while(1)  
    {  
        tasta=getch();  
        if(tasta == '1')  
        {  
            algoritm=1;  
            gotoxy(1,12);  
            cprintf("ACTIVATA Optiunea 1 - avans afara AD la jumătate  
de piatra - Algoritmul 1!");  
            break;  
        }  
        if(tasta == '2')  
        {  
            algoritm=2;  
            gotoxy(1,12);  
            cprintf("ACTIVATA Optiunea 1 - avans afara AD la jumătate  
de piatra - Algoritmul 2!");  
            break;  
        }  
        if(tasta == '3')  
        {  
            algoritm=1;  
            gotoxy(1,12);  
            cprintf("ACTIVATA Optiunea 2 - avans afara AD la toata  
piatra - Algoritmul 1!");  
            break;  
        }  
        if(tasta == '4')  
        {  
            algoritm=2;  
            gotoxy(1,12);  
            cprintf("ACTIVATA Optiunea 2 - avans afara AD la toata  
piatra - Algoritmul 2!");  
            break;  
        }  
        if(tasta == '5')
```

```
{
    algoritm=1;
    gotoxy(1,12);
    cprintf("ACTIVATA Optiunea 3A - avans pe piesa la jumătate
de piatra - Algoritmul 1!");
    break;
}
if(tasta == '6')
{
    algoritm=2;
    gotoxy(1,12);
    cprintf("ACTIVATA Optiunea 3A - avans pe piesa la jumătate
de piatra - Algoritmul 2!");
    break;
}
if(tasta == '7')
{
    algoritm=1;
    gotoxy(1,12);
    cprintf("ACTIVATA Optiunea 3B - avans pe piesa cu toata
piatra - Algoritmul 1!");
    break;
}
if(tasta == '8')
{
    algoritm=2;
    gotoxy(1,12);
    cprintf("ACTIVATA: Optiunea 3B - avans pe piesa cu toata
piatra - Algoritmul 2!");
    break;
}
}
getch();
}

//meniu pentru initializare valori
void meniu_init(void)
{
    char tasta;

    _setcursortype(_NOCURSOR);
    gotoxy(1,1);
    cprintf("Introduceti valorile initiale!");
    gotoxy(1,2);
    cprintf("1. Tipul materialului folosit : ");
    gotoxy(1,3);
    cprintf("2. Diametrul piesei in [mm] : ");
    gotoxy(1,4);
    cprintf("3. Lungimea piesei in [mm] : ");
    gotoxy(1,5);
    cprintf("4. Adancimea totala de aschiere: ");
    gotoxy(1,6);
    cprintf("5. Adancimea la degrosare : ");
    gotoxy(1,7);
    cprintf("6. Adancimea la finisare : ");
}
```

```
gotoxy(1,10);
printf("Daca valorile introduse sunt corecte, apasati tasta
'D'!");
while(1)
{
    tasta=getch();
    switch(tasta)
    {
        case('1'):
            gotoxy(34,2);
            printf("                ");
            _setcursortype(_NORMALCURSOR);
            gotoxy(34,2);
            gets(otel);
            _setcursortype(_NOCURSOR);
            break;
        case('2'):
            gotoxy(34,3);
            printf("                ");
            _setcursortype(_NORMALCURSOR);
            gotoxy(34,3);
            scanf("%f",&d_piesa);
            _setcursortype(_NOCURSOR);
            break;
        case('3'):
            gotoxy(34,4);
            printf("                ");
            _setcursortype(_NORMALCURSOR);
            gotoxy(34,4);
            scanf("%f",&l_piesa);
            _setcursortype(_NOCURSOR);
            break;
        case('4'):
            gotoxy(34,5);
            printf("                ");
            _setcursortype(_NORMALCURSOR);
            gotoxy(34,5);
            scanf("%f",&avans);
            _setcursortype(_NOCURSOR);
            break;
        case('5'):
            gotoxy(34,6);
            printf("                ");
            _setcursortype(_NORMALCURSOR);
            gotoxy(34,6);
            scanf("%f",&avans_d);
            _setcursortype(_NOCURSOR);
            break;
        case('6'):
            gotoxy(34,7);
            printf("                ");
            _setcursortype(_NORMALCURSOR);
            gotoxy(34,7);
            scanf("%f",&avans_f);
            _setcursortype(_NOCURSOR);
```

```

        break;
    case('d'):
        return;
    case('D'):
        return;
    }
}
}

void meniu_val(void)
{
    _setcursortype(_NOCURSOR);
    gotoxy(1,1);
    cprintf("Valorile de calcul sunt:");
    gotoxy(1,2);
    cprintf(" 1. Tipul materialului folosit           : %s",otel);
    gotoxy(1,3);
    cprintf(" 2. Diametrul piesei in [mm]                 : %.3f",d_piesa);

    gotoxy(1,4);
    cprintf(" 3. Lungimea piesei in [mm]                  : %.3f",l_piesa);
    gotoxy(1,5);
    cprintf(" 4. Adancimea totala de aschiere             : %.3f",avans);
    gotoxy(1,6);
    cprintf(" 5. Adancimea la degrosare                   : %.3f",avans_d);
    gotoxy(1,7);
    cprintf(" 6. Adancimea la finisare                    : %.3f",avans_f);
    gotoxy(1,8);
    cprintf(" 7. Timpul de degrosare                       : %.3f",timp_d);
    gotoxy(1,9);
    cprintf(" 8. Timpul de finisare                       : %.3f",timp_f);
    gotoxy(1,10);
    cprintf(" 9. Latime piatra                            : %.3f",l_piatra);
    gotoxy(1,11);
    cprintf("10. Diametru piatra                          : %.3f",d_piatra);
    gotoxy(1,12);
    cprintf("11. Adancime de aschiere la degrosare        : %.3f",ae_d);
    gotoxy(1,13);
    cprintf("12. Adancime de aschiere la finisare        : %.3f",ae_f);
    gotoxy(1,14);
    cprintf("13. Coeficient beta la degrosare            : %.3f",beta_d);
    gotoxy(1,15);
    cprintf("14. Coeficient beta la finisare             : %.3f",beta_f);
    gotoxy(1,16);
    cprintf("15. Exponent                                 : %.3f",p);
    gotoxy(1,17);
    cprintf("Pentru efectuarea calculelor apasati o tasta!");
    getch();
}

void calcule(void)
{
// fa          - avans de trecere longitudinal mm/rot
// fa = beta * latime_piatra
    fa.d=beta_d*l_piatra;

```

```
fa.f=beta_f*l_piatra;

// nr_treceri      - numarul de treceri
// nr_treceri = avans / adancimea de aschiere
nr_treceri.d= avans_d/ae_d;
nr_treceri.f= avans_f/ae_f;

// v_asc          - viteza de aschiere m/s
// v_asc = ???
v_asc.d=30;
v_asc.f=35;

// t_piatra       - turatia pietrei rot/sec
t_piatra0.d=(1000 * v_asc.d)/(PI * d_piatra);
t_piatra0.f=(1000 * v_asc.f)/(PI * d_piatra);
t_piatra1.d=t_piatra0.d*60;
t_piatra1.f=t_piatra0.f*60;

// v_rot_piesa0   - viteza de rotatie a piesei rot/sec
v_rot_piesa0.d=(0.2 *
(float)pow((double)d_piesa,0.3))/((float)pow((double)timp_d,0.5)*beta_d*
ae_d);
v_rot_piesa0.f=(0.1 *
(float)pow((double)d_piesa,0.3))/((float)pow((double)timp_f,0.5)*beta_f*
ae_f);

// v_rot_piesa1   - viteza de rotatie a piesei rot/min
v_rot_piesa1.d=v_rot_piesa0.d * 3.98;
v_rot_piesa1.f=v_rot_piesa0.f * 3.98;

// t_piesa        - turatie piesa
t_piesa.d=(1000 * v_rot_piesa0.d)/(PI * d_piesa);
t_piesa.f=(1000 * v_rot_piesa0.f)/(PI * d_piesa);

// v_av_long      - viteza de avans longitudinal
v_av_long.d=(fa.d * t_piesa.d)/1000;
v_av_long.f=(fa.f * t_piesa.f)/1000;

// f_princ_asc    - forta principala de aschiere

f_princ_asc.d=2.2*(float)pow((double)v_rot_piesa0.d,0.7)*(float)pow((double)fa.d,0.7)*(float)pow((double)ae_d,0.6);

f_princ_asc.f=2.2*(float)pow((double)v_rot_piesa0.f,0.7)*(float)pow((double)fa.f,0.7)*(float)pow((double)ae_f,0.6);

// f_pasiva       - forta pasiva
//forta pasiva = forta principala de aschiere
f_pasiva0.d=f_princ_asc.d;
f_pasiva0.f=f_princ_asc.f;

//forta pasiva = 1,5 * forta principala de aschiere
f_pasiva1.d=1.5 * f_princ_asc.d;
f_pasiva1.f=1.5 * f_princ_asc.f;
```

```
//forta pasiva = 2 * forta principala de aschiere
  f_pasiva2.d=2 * f_princ_asc.d;
  f_pasiva2.f=2 * f_princ_asc.f;

// k          - constanta de proportionalitate
k0.d=f_pasiva0.d/(float)pow(v_av_long.d,0.8);
k0.f=f_pasiva0.f/(float)pow(v_av_long.f,0.8);
k1.d=f_pasiva1.d/(float)pow(v_av_long.d,0.8);
k1.f=f_pasiva1.f/(float)pow(v_av_long.f,0.8);
k2.d=f_pasiva2.d/(float)pow(v_av_long.d,0.8);
k2.f=f_pasiva2.f/(float)pow(v_av_long.f,0.8);

}

void afis_rezultate(void)
{
  clrscr();
  gotoxy(1,1);
  cprintf("Rezultate!");
  gotoxy(1,2);
  cprintf("Avans de trecere longitudinal: ");
  gotoxy(32,2);
  cprintf(" %.3f    %.3f",fa.d,fa.f);
  gotoxy(1,3);
  cprintf("Numar de treceri                : ");
  gotoxy(32,3);
  cprintf(" %.3f    %.3f",nr_treceri.d,nr_treceri.f);
  gotoxy(1,4);
  cprintf("Viteza de aschiere                : ");
  gotoxy(32,4);
  cprintf(" %.3f    %.3f",v_asc.d,v_asc.f);
  gotoxy(1,5);
  cprintf("Turatia pietrei                  : ");
  gotoxy(32,5);
  cprintf(" %.3f    %.3f",t_piatra0.d,t_piatra0.f);
  gotoxy(1,6);
  cprintf("Turatia pietrei                  : ");
  gotoxy(32,6);
  cprintf(" %.3f    %.3f",t_piatra1.d,t_piatra1.f);
  gotoxy(1,7);
  cprintf("Viteza de rotatie piesa          : ");
  gotoxy(32,7);
  cprintf(" %.3f    %.3f",v_rot_piesa0.d,v_rot_piesa0.f);
  gotoxy(1,8);
  cprintf("Viteza de rotatie piesa          : ");
  gotoxy(32,8);
  cprintf(" %.3f    %.3f",v_rot_piesa1.d,v_rot_piesa1.f);
  gotoxy(1,9);
  cprintf("Turatie piesa                    : ");
  gotoxy(32,9);
  cprintf(" %.3f    %.3f",t_piesa.d,t_piesa.f);
  gotoxy(1,10);
  cprintf("Viteza de avans longitudinal : ");
```



```

gotoxy(32,10);
cprintf(" %.3f      %.3f",v_av_long.d,v_av_long.f);
gotoxy(1,11);
cprintf("Forta principala de aschiere : ");
gotoxy(32,11);
cprintf(" %.3f      %.3f",f_princ_asc.d,f_princ_asc.f);
gotoxy(1,12);
cprintf("Forta pasiva0                : ");
gotoxy(32,12);
cprintf(" %.3f      %.3f",f_pasiva0.d,f_pasiva0.f);
gotoxy(1,13);
cprintf("Forta pasival                : ");
gotoxy(32,13);
cprintf(" %.3f      %.3f",f_pasival.d,f_pasival.f);
gotoxy(1,14);
cprintf("Forta pasiva2                : ");
gotoxy(32,14);
cprintf(" %.3f      %.3f",f_pasiva2.d,f_pasiva2.f);
gotoxy(1,15);
cprintf("Constanta0                : ");
gotoxy(32,15);
cprintf(" %.3f      %.3f",k0.d,k0.f);
gotoxy(1,16);
cprintf("Constanta1                : ");
gotoxy(32,16);
cprintf(" %.3f      %.3f",k1.d,k1.f);
gotoxy(1,17);
cprintf("Constanta2                : ");
gotoxy(32,17);
cprintf(" %.3f      %.3f",k2.d,k2.f);
gotoxy(1,18);
cprintf("Apasati o tasta!");
getch();
}

void scrie_fis(void)
{
    FILE *fout;
    char fisier[8];
    float ctg;
    int x;

    clrscr();
    printf("Introduceti numele fisierului in care se salveaza
    calculele!");
    printf("\nNume fisier: ");
    scanf("%s",fisier);
    if ((fout = fopen(fisier, "w")) == NULL)
    {
        printf("\nCannot open output file.\n");
        return;
    }
    fprintf(fout, "\nCALCULE PENTRU ALGORITMUL 1");
    fprintf(fout, "\n=====");
    fprintf(fout, "\n  ");
}

```

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI**

---

```

    fprintf(fout, "\nAvans de trecere longitudinal : %.3f
%.3f", fa.d, fa.f);
    fprintf(fout, "\nNumar de treceri : %.3f
%.3f", nr_treceri.d, nr_treceri.f);
    fprintf(fout, "\nViteza de aschiere : %.3f
%.3f", v_asc.d, v_asc.f);
    fprintf(fout, "\nTuratia pietrei : %.3f
%.3f", t_piatra0.d, t_piatra0.f);
    fprintf(fout, "\nTuratia pietrei : %.3f
%.3f", t_piatral.d, t_piatral.f);
    fprintf(fout, "\nViteza de rotatie piesa : %.3f
%.3f", v_rot_piesa0.d, v_rot_piesa0.f);
    fprintf(fout, "\nViteza de rotatie piesa : %.3f
%.3f", v_rot_piesal.d, v_rot_piesal.f);
    fprintf(fout, "\nTuratie piesa : %.3f
%.3f", t_piesa.d, t_piesa.f);
    fprintf(fout, "\nViteza de avans longitudinal : %.3f
%.3f", v_av_long.d, v_av_long.f);
    fprintf(fout, "\nForta principala de aschiere : %.3f
%.3f", f_princ_asc.d, f_princ_asc.f);
    fprintf(fout, "\nForta pasiva0 : %.3f
%.3f", f_pasiva0.d, f_pasiva0.f);
    fprintf(fout, "\nForta pasival : %.3f
%.3f", f_pasival.d, f_pasival.f);
    fprintf(fout, "\nForta pasiva2 : %.3f
%.3f", f_pasiva2.d, f_pasiva2.f);
    fprintf(fout, "\nConstanta0 : %.3f
%.3f", k0.d, k0.f);
    fprintf(fout, "\nConstanta1 : %.3f
%.3f", k1.d, k1.f);
    fprintf(fout, "\nConstanta2 : %.3f
%.3f", k2.d, k2.f);
    fprintf(fout, "\n ");
    fprintf(fout, "\nCALCULE PENTRU ALGORITMUL 2");
    fprintf(fout, "\n=====");
    fprintf(fout, "\n ");

    ctg=0;
    for (x=0;x<22;x++)
    {
        fprintf(fout, "\nCota : %.4f", ctg);
        fprintf(fout, "\nRigiditate : %.4f", *(Jste+x));
        fprintf(fout, "\nForta de referinta : %.4f
%.4f", *(forta_noua_d+x), *(forta_noua_f+x));
        fprintf(fout, "\nCoeficient lamda : %.4f
%.4f", *(lamda_d+x), *(lamda_f+x));
        fprintf(fout, "\nCoeficient ajustare : %.4f
%.4f", *(K2_d+x), *(K2_f+x));
        fprintf(fout, "\nViteza de avans longitudinal: %.4f
%.4f", *(v_av_II_d+x), *(v_av_II_d+x));
        fprintf(fout, "\nTuratie piesa : %.4f
%.4f", *(tur_II_f+x), *(tur_II_f+x));

        ctg=ctg+30;
        fprintf(fout, "\n ");
    }

```

```
}

fclose(fout);
}

void calcul_cote_caz1(void)
{
//calculeaza cotele in cazul piatra iasa de pe piesa
    cota_zona1=l_piatra + distanta;
    cota_zona2=l_piesa + distanta;
    cota_zona3=l_piesa + l_piatra + 2*distanta;
}

//void calcul_cote_caz2(void)
//{

//AICI SE TERMINA SECTIUNEA DE INITIALIZARE

void interrupt citeste_pozitie(void)
{
    unsigned char msb;
    unsigned char lsb;
    int temp;
    float pozitie_intermediara;

//pregateste PIT pentru citire
    outportb(PIT_CC,READ_C0);

    lsb=inportb(PIT_0);
    msb=inportb(PIT_0);
    temp=(int)msb<<8;
    temp=temp+(int)lsb;
    pozitie_intermediara=(float)temp*0.1;
    pozitie=LUNGIME_max - pozitie_intermediara;
    detectie_sens();
    pozitie=pozitie/2.75;
    if(pozitie<=90)
        cota_prescrisa=pozitie;
    if(pozitie >= cota_prescrisa & pozitie > 90)
    {
        cota_prescrisa=cota_prescrisa+30;
    }
}

void init_pit(void)
{
//initializare canal 0
    outportb(PIT_CC,CC0);
    delay(10);
    outportb(PIT_0,Nmax_omps);
    delay(10);
}
```

```
    outportb(PIT_0,Nmax_oms);
    delay(10);

}

void init_ppi(void)
{
//initializare PPI
    outportb(PPI_CC,CC_PPI);
//GATE=0
    gate_off();
    dr_vm_dreapta_off();           //comanda stop rotire stanga
    dr_vm_stanga_off();           //comanda stop rotire stanga
    dr_av_dreapta_off();          //comanda stop rotire stanga
    dr_av_stanga_off();           //comanda stop rotire stanga

//    cda_turatie_piesa(turatie_piesa);
}

unsigned char detectie_sens(void)
{
    static unsigned char val_veche;
    static unsigned char val_noua;
    unsigned char front_pozitiv;
    unsigned char front_negativ;
    static unsigned char sens_deplasare;

//citirea se face din portul B a lui PPI pe bitul 1
    val_noua=inportb(PPI_PA);
    val_noua=val_noua & 0x01;

//verifica daca este front pozitiv

    front_pozitiv=val_noua&~val_veche;

    front_negativ=~val_noua&val_veche;

    if(front_pozitiv == 0x01 || front_negativ==0x01)
    {

        init_pit();
        contor_treceri--;
        fprintf(fis_tmp,"\nSchimare de sens!");

    }

    val_veche=val_noua;
    sens_deplasare=val_noua;
    return(sens_deplasare);
}

unsigned char zona_de_lucru(float zona_1, float zona_2, float zona_3)
{

//zona_1 este fara comanda adaptiva retur 0x00
```

## CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
//zona_2 este cu comanda adaptiva   retur 0x01
//zona_3 este fara comanda adaptiva retur 0x00

    unsigned char zona_de_operare;

//pentru zona_1
    if(0 < pozitie && pozitie <= zona_1)
    {
        zona_de_operare = 0x00;
        return(zona_de_operare);
    }

//pentru zona 2
    if(zona_1 < pozitie && pozitie <= zona_2)
    {
        zona_de_operare = 0x01;
        return(zona_de_operare);
    }

//pentru zona 3
    if(zona_2 < pozitie && pozitie <= zona_3)
    {
        zona_de_operare = 0x00;
        return(zona_de_operare);
    }

    return(zona_de_operare);
}
```

```
void gate_on(void)
{
// PC0 = 1
    outportb(PPI_CC,GATE_H);
}
```

```
void gate_off(void)
{
// PC0 = 0
    outportb(PPI_CC,GATE_L);
}
```

```
void init_sistem(void)
{
    disable();

/* save the old interrupt vector */
    oldvect = getvect(INTR);

/* install the new interrupt handler */
    setvect(INTR, citeste_pozitie);

/* init PPI */
}
```

---

## CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

---

```
    init_ppi();

/* init PIT */
    init_pit();

    clrscr();
    enable();
}

void start_conv(int canal)
{
    outportb(canal, 0x00);
    outportb(START_IA, 0x00);
}

float read_conv(void)
{
    unsigned char msb;
    unsigned char lsb;
    float rezultat;

    lsb=inportb(READ_LSB);
    msb=inportb(READ_MSB);
    rezultat=(float)((int)msb*16+(int)lsb/16-ZERO)*CUANT;
    return(rezultat);
}

void dr_vm_stanga_on(void)
{
    outportb(PPI_CC, DR_VM_S_H);
}

void dr_vm_stanga_off(void)
{
    outportb(PPI_CC, DR_VM_S_L);
}

void dr_vm_dreapta_on(void)
{
    outportb(PPI_CC, DR_VM_D_H);
}

void dr_vm_dreapta_off(void)
{
    outportb(PPI_CC, DR_VM_D_L);
}

void dr_av_stanga_on(void)
{
    outportb(PPI_CC, DR_AV_S_H);
}

void dr_av_stanga_off(void)
```

```

{
    outportb(PPI_CC, DR_AV_S_L);
}

void dr_av_dreapta_on(void)
{
    outportb(PPI_CC, DR_AV_D_H);
}

void dr_av_dreapta_off(void)
{
    outportb(PPI_CC, DR_AV_D_L);
}

void end_conv(void)
{
    while(!(inportb(PPI_PB) & 0x80));
}

void rot_drvm_dr(float prag)
{
    int i;
    int j;

//    dr_vm_dreapta_on();           //comanda start rotire dreapta
    while(1)
    {
        dr_vm_dreapta_on();           //comanda start rotire dreapta
//        delay(50);
        dr_vm_dreapta_off();         //comanda stop rotire dreapta
//        delay(50);
        for(j=0; j<5; j++)
        {
            start_conv(IA1);
            end_conv();
            *(dr_vm+j)=read_conv();
        }
        for(j=0; j<5; j++)
        {
            pz_dr_vm+=*(dr_vm+j);
        }
        pz_dr_vm=pz_dr_vm/5;
//        printf("\n%.3f", pz_dr_vm);
//        fprintf(fis_tmp, "\npz_dr: %.3f", pz_dr_vm);
        if(pz_dr_vm > prag) break;

        if(pz_dr_vm > 2.25) break;
    }
    dr_vm_dreapta_off();           //comanda stop rotire dreapta
}

void rot_drvm_st(float prag)
{
    int i;
    int j;

```

```

//  dr_vm_stanga_on();          //comanda start rotire stanga
while(1)
{
    dr_vm_stanga_on();          //comanda start rotire stanga
//  delay(50);
//  dr_vm_stanga_off();        //comanda stop rotire stanga
//  delay(50);
    for(j=0;j<5;j++)
    {
        start_conv(IA1);
        end_conv();
        *(dr_vm+j)=read_conv();
    }
    for(j=0;j<5;j++)
    {
        pz_dr_vm+=*(dr_vm+j);
    }
    pz_dr_vm=pz_dr_vm/5;
//  printf("\n%.3f",pz_dr_vm);
//  fprintf(fis_tmp,"\npz_dr: %.3f",pz_dr_vm);
    if(pz_dr_vm < prag) break;
}

    dr_vm_stanga_off();        //comanda stop rotire stanga
}

void rot_drav_dr(float prag)
{
    int i;
    int j;

    while(1)
    {
        dr_av_dreapta_on();     //comanda start rotire dreapta
        delay(200);
        dr_av_dreapta_off();    //comanda stop rotire dreapta
        delay(200);
        for(j=0;j<500;j++)
        {
            start_conv(IA2);
            end_conv();
            *(dr_av+j)=read_conv();
        }
        for(j=0;j<500;j++)
        {
            pz_dr_av+=*(dr_av+j);
        }
        pz_dr_av=pz_dr_av/500;
//  printf("\n%.3f",pz_dr_av);
        if(pz_dr_av > prag) break;
    }
}

```



```
void rot_drav_st(float prag)
{
    int i;
    int j;

    while(1)
    {
        dr_av_stanga_on();           //comanda start rotire stanga
        delay(100);
        dr_av_stanga_off();         //comanda stop rotire stanga
        delay(100);
        for(j=0;j<500;j++)
        {
            start_conv(IA2);
            end_conv();
            *(dr_av+j)=read_conv();
        }
        for(j=0;j<500;j++)
        {
            pz_dr_av+=*(dr_av+j);
        }
        pz_dr_av=pz_dr_av/500;
        printf("\n%.3f",pz_dr_av);
        if(pz_dr_av < prag) break;
    }
}

void mas_micro_deplasari(float prag)
{
    int i;
    int j;

    while(1)
    {
        for(j=0;j<500;j++)
        {
            start_conv(IA3);
            end_conv();
            *(mas_mic_depl+j)=read_conv();
        }
        for(j=0;j<500;j++)
        {
            mas_micro_depl+=*(mas_mic_depl+j);
        }
        mas_micro_depl=mas_micro_depl/500;
        printf("\n%.3f",mas_micro_depl);
        if(mas_micro_depl < prag) break;
    }
}

void cda_micro_deplasari(int pas)
{
    unsigned char msb;
    unsigned char lsb;
```

```
msb=(unsigned char) (pas/256);
lsb=(unsigned char) (pas - (int)msb*256);

outportb(AOUT0_LSB,lsb);
outportb(AOUT0_MSB,msb);
outportb(START_DA,0x00);
}

void cda_turatie_piesa(float tur)
{
    unsigned char msb;
    unsigned char lsb;
    float tur_out;

    float temp;
    float cda_i,cda_f;
    float tur_i,tur_f;

    if(tur >= 19 & tur < 45)
    {
        cda_i=0;
        cda_f=1.5;
        tur_i=19;
        tur_f=45;
    }
    if(tur >= 45 & tur < 85)
    {
        cda_i=1.5;
        cda_f=2.7;
        tur_i=45;
        tur_f=85;
    }

    if(tur >= 85 & tur < 180)
    {
        cda_i=2.7;
        cda_f=4;
        tur_i=85;
        tur_f=180;
    }
    if(tur >= 180 & tur < 360)
    {
        cda_i=4;
        cda_f=5;
        tur_i=180;
        tur_f=360;
    }

    temp=cda_i+(cda_f-cda_i)*(tur-tur_i)/(tur_f-tur_i);

    // printf("\nComanda Turatie: %.3f",temp);
    // fprintf(fis_tmp,"\Comanda Turatie: %.3f",temp);
    tur_out = temp / CUANT_DA;
}
```

```
msb=(unsigned char)((int)tur_out/256);
lsb=(unsigned char)((int)tur_out - (int)msb*256);

outportb(AOUT1_LSB,lsb);
outportb(AOUT1_MSB,msb);
outportb(START_DA,0x00);
}

void masura_forta(float forta_referinta)
{
    int i;
    int j;
    float forta_temp;

    for(j=0;j<500;j++)
    {
        start_conv(IA0);
        end_conv();
        *(mas_forta+j)=read_conv();
    }
    for(j=0;j<500;j++)
    {
        forta_temp+=*(mas_forta+j);
    }
    forta_temp=forta_temp/500;
    forta_temp=forta_temp*8;
    if(forta_temp <= 0)
    {
        forta_temp = 1;
    }
    if(forta_temp > forta_referinta)
        forta=forta_referinta;
    else
        forta=forta_temp;
    printf("\nForta masurata: %.3f",forta);
    fprintf(fis_tmp,"\nforta: %.3f",forta);
}

void calcul_vm_real(float const_k)
{
    if(forta<=0)
        forta=1;
    vm_real=(float)pow((double)(forta/const_k),(double)P);
    printf("\nViteza masa real: %.3f",vm_real);
    fprintf(fis_tmp,"\nviteza masa: %.3f",vm_real);
}

float calcul_unghi(float viteza_masa)
{
```

```
float temp;
float viteza_i,viteza_f;
float unghi_i,unghi_f;

if(viteza_masa == 0)
{
    temp = 1;
//    printf("\nUnghi viteza masa: %.3f",unghi_vm.d);
//    printf("\nCda Unghi viteza masa: %.3f",temp);
//    fprintf(fis_tmp,"\nunghi vm: %.3f",temp);

    return(temp);
}
if(viteza_masa >= 0.1 & viteza_masa < 0.3)
{
    viteza_i=0.1;
    viteza_f=0.3;
    unghi_i=18;
    unghi_f=54;
}
if(viteza_masa >= 0.3 & viteza_masa < 1.0)
{
    viteza_i=0.3;
    viteza_f=1.0;
    unghi_i=54;
    unghi_f=72;
}
if(viteza_masa >= 1.0 & viteza_masa < 2.0)
{
    viteza_i=1.0;
    viteza_f=2.0;
    unghi_i=72;
    unghi_f=85;
}
if(viteza_masa >= 2.0 & viteza_masa < 3.0)
{
    viteza_i=2.0;
    viteza_f=3.0;
    unghi_i=85;
    unghi_f=90;
}
if(viteza_masa >= 3.0 & viteza_masa < 4.0)
{
    viteza_i=3.0;
    viteza_f=4.0;
    unghi_i=90;
    unghi_f=93;
}
if(viteza_masa >= 4.0 & viteza_masa < 6.0)
{
    viteza_i=4.0;
    viteza_f=6.0;
    unghi_i=93;
    unghi_f=108;
}
```

```

    }
    if(viteza_masa >= 6.0 & viteza_masa < 7.7)
    {
        viteza_i=6.0;
        viteza_f=7.7;
        unghi_i=108;
        unghi_f=144;
    }
    if(viteza_masa >= 7.7 & viteza_masa < 8.2)
    {
        viteza_i=7.7;
        viteza_f=8.2;
        unghi_i=144;
        unghi_f=180;
    }
    temp=unghi_i+(unghi_f-unghi_i)*(viteza_masa-viteza_i)/(viteza_f-
viteza_i);
    unghi_vm.d=temp;
    temp=0.45+(unghi_vm.d/180)*1.8;

    if(temp < 0.79)
    {
        temp = 0.79;
    }
    // printf("\nUnghi viteza masa: %.3f",unghi_vm.d);
    // printf("\nCda Unghi viteza masa: %.3f",temp);
    // fprintf(fis_tmp,"\nunghi vm: %.3f",temp);

    return(temp);
}

void calcul_turatie_real(float beta,float const_ka)
{
    if(forta<=0)
        forta=1;
    turatie_piesa=((float)pow((double)(forta/const_ka),(double)P))/(be
ta * l_piatra*0.001);
    printf("\nTuratie piesa real: %.3f",turatie_piesa);
    fprintf(fis_tmp,"\nTuratie piesa: %.3f",turatie_piesa);
}

void calcul_vm_real_II(float coef_lamda, float cota_II)
{
    vm_real=coef_lamda * cota_II;
    if(vm_real > 7)
        vm_real=(v_av_II_d+1);
    printf("\nViteza masa real: %.3f",vm_real);
    fprintf(fis_tmp,"\nviteza masa: %.3f",vm_real);
}

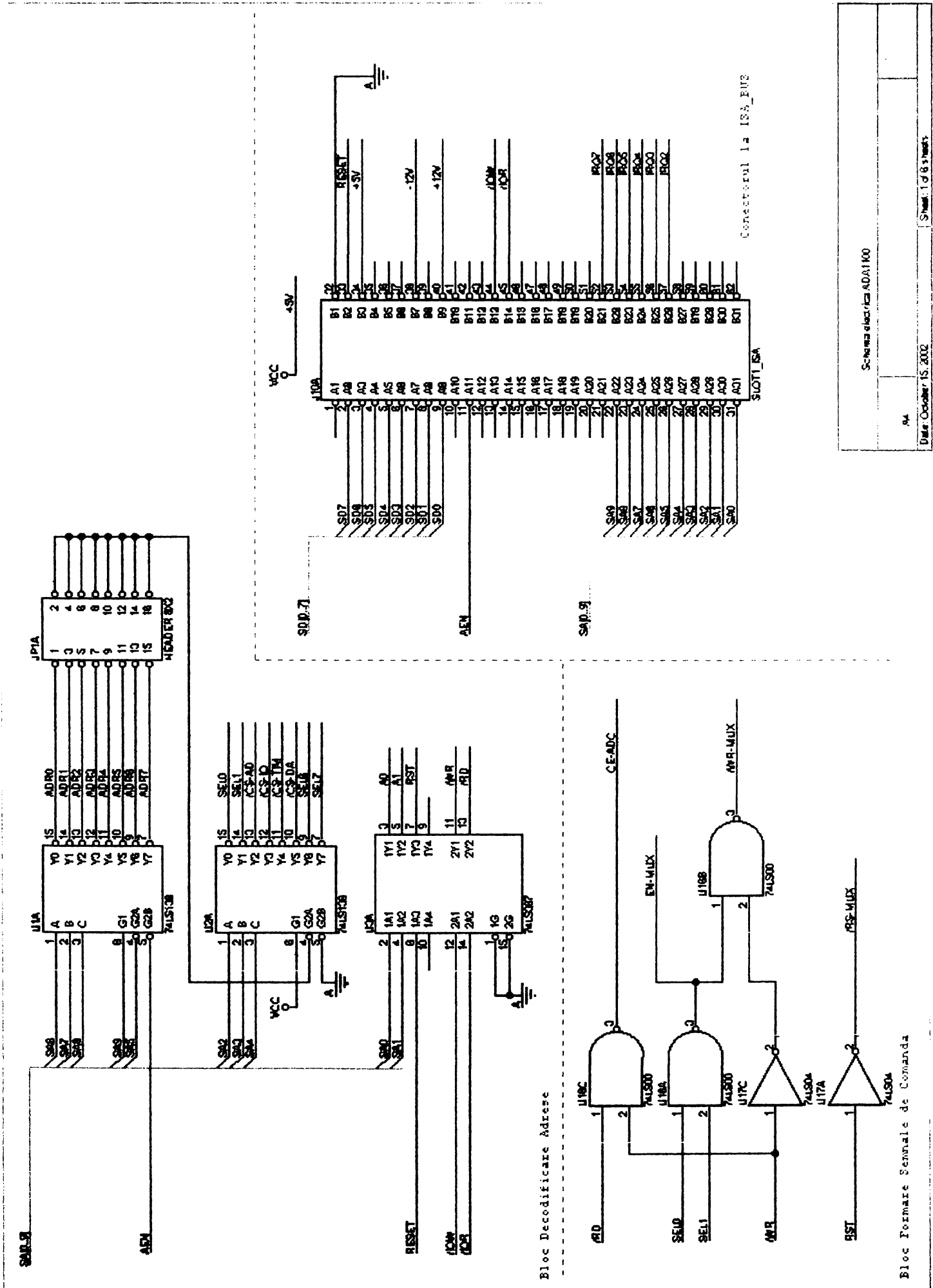
void calcul_turatie_real_II(float beta)
{
    turatie_piesa=vm_real/(beta*l_piatra/1000);
    printf("\nTuratie piesa real: %.3f",turatie_piesa);
}

```

```
fprintf(fis_tmp, "\nTuratie piesa: %.3f", turatie_piesa);
```

## ***ANEXA 2***

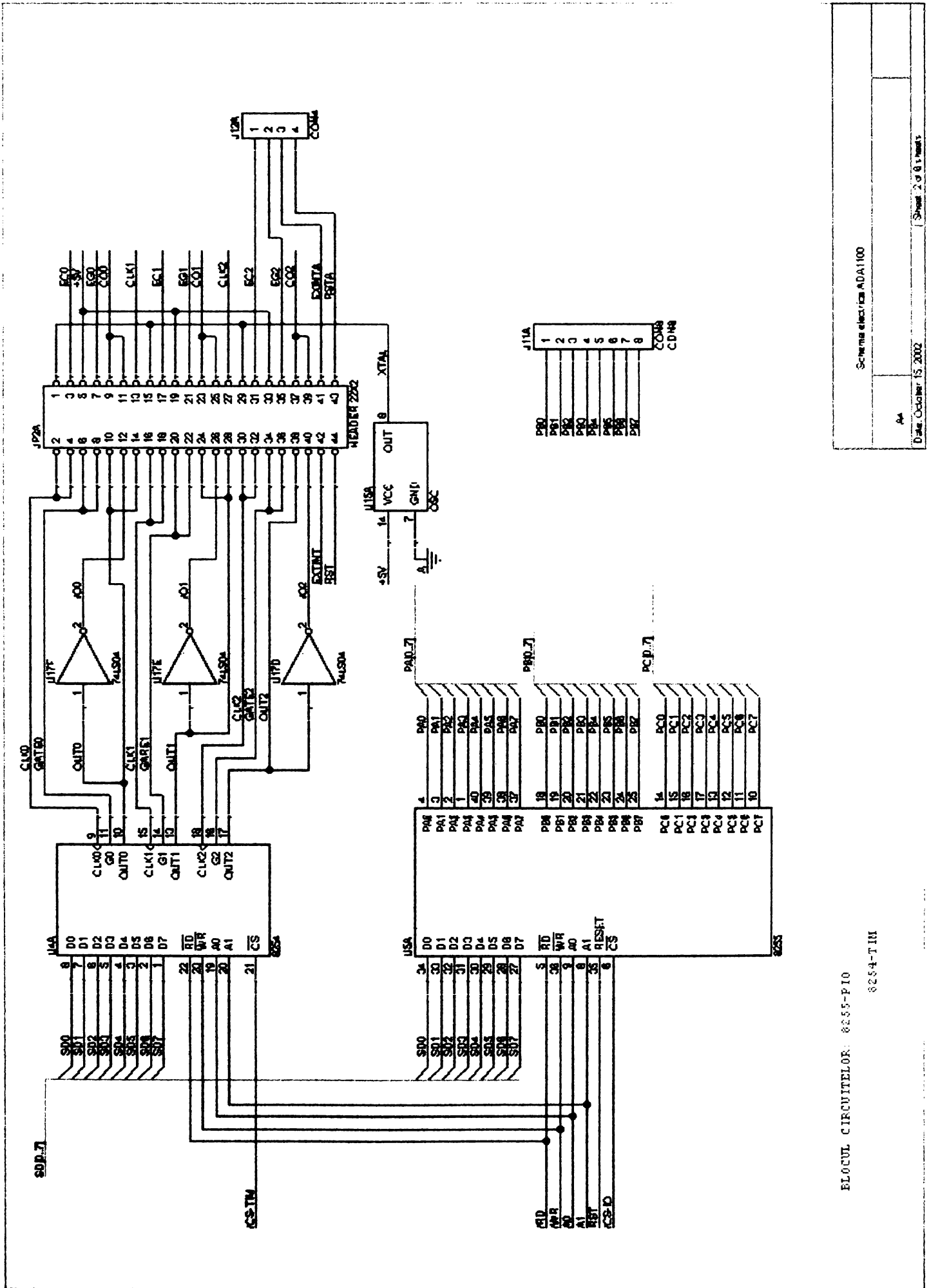
# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRU VÂRFURI



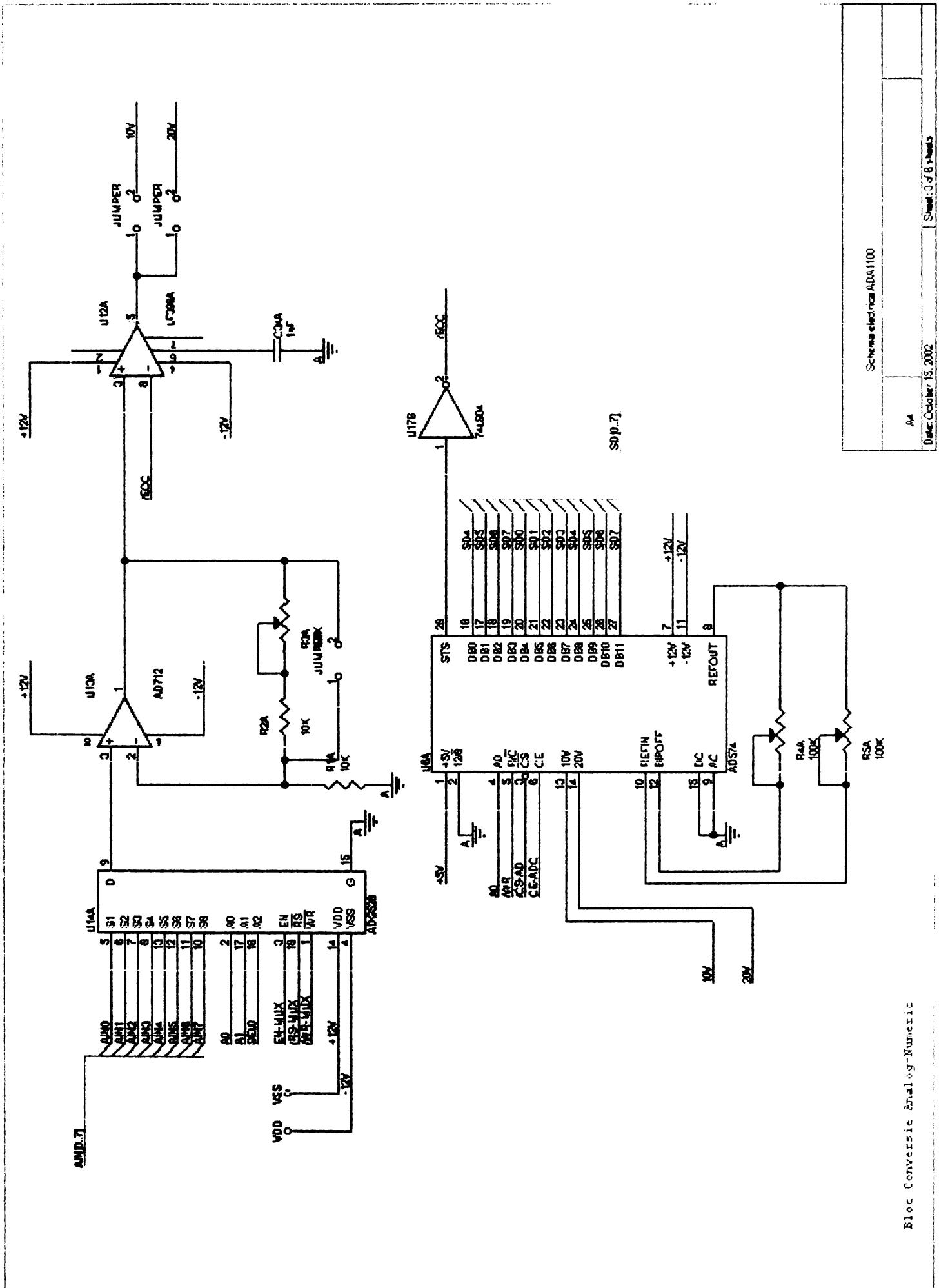
|                          |  |
|--------------------------|--|
| Schema electrică ADA1100 |  |
| №                        |  |
| Data: Octombrie 1992     |  |
| Sheet: 1 of 8 sheets     |  |



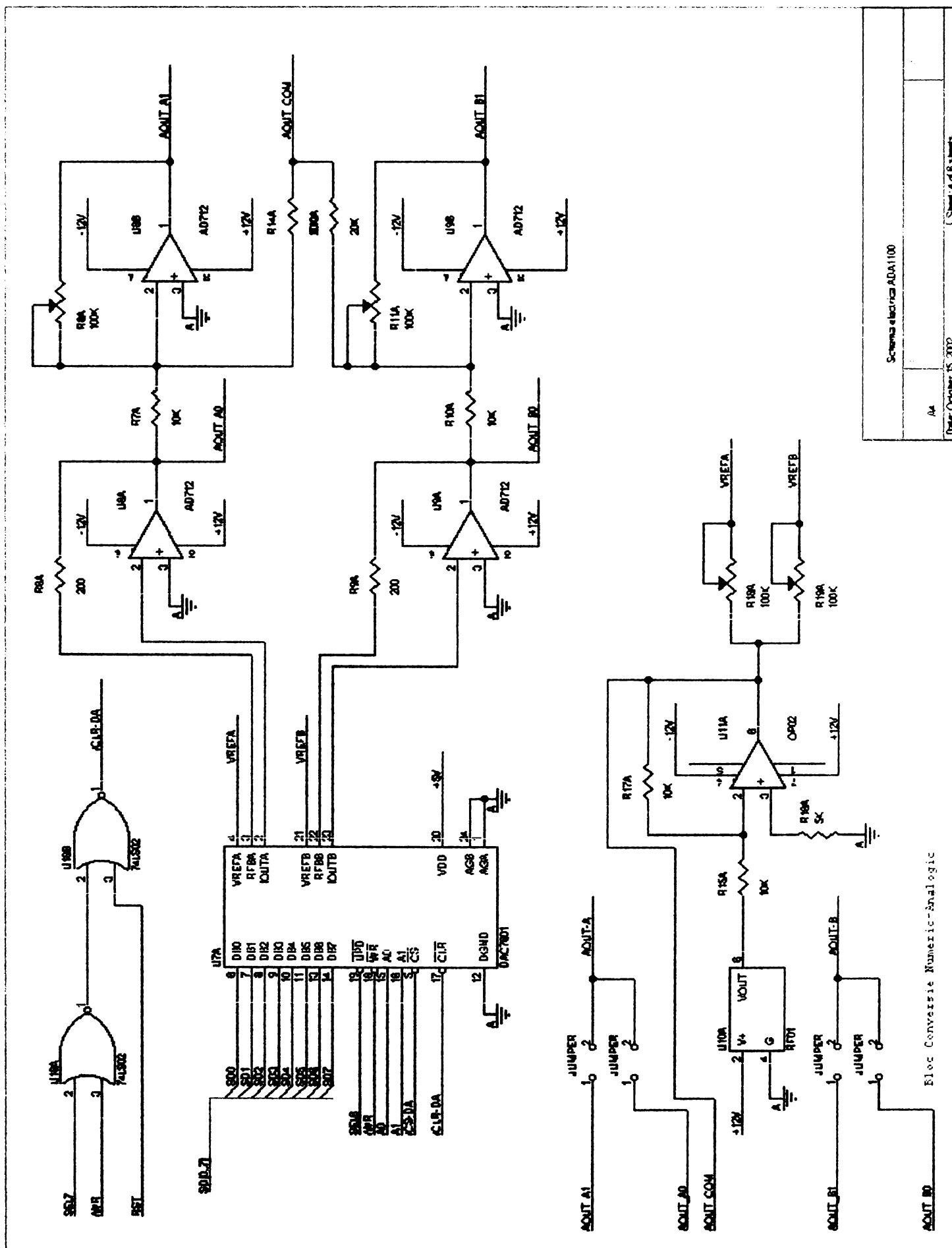
CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT  
ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI



# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRU VÂRFURI

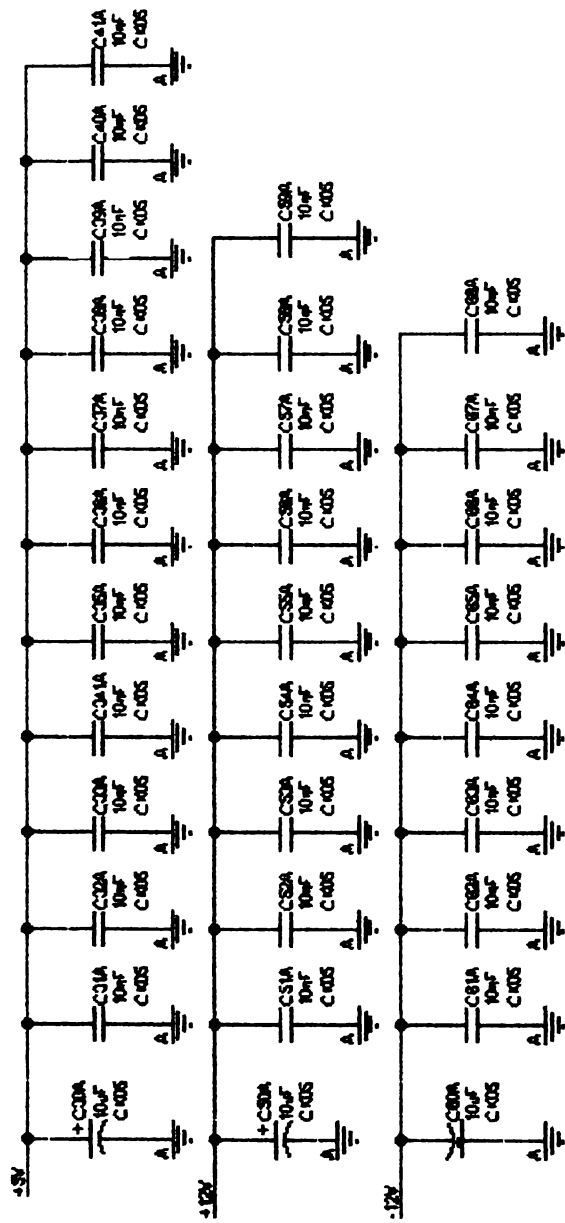


# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI

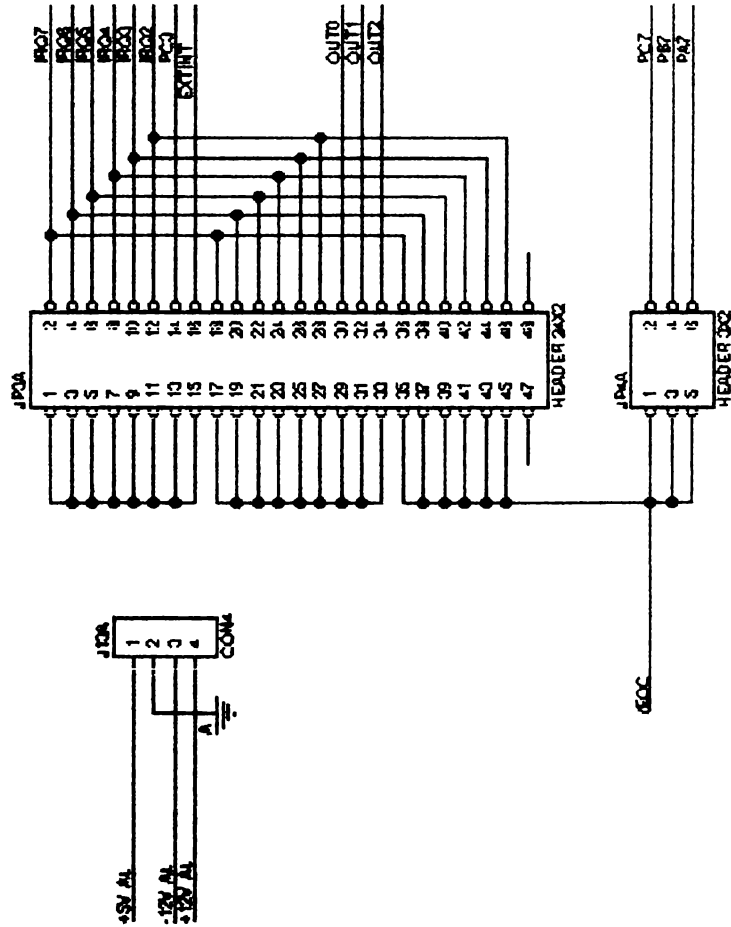


|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| A4                        | Schema electrica ADA1100 |
| Data: Octombrie '85, 2002 | Sheet: 4 of 6 sheets     |

Elec Conversie Numeric-Analogic



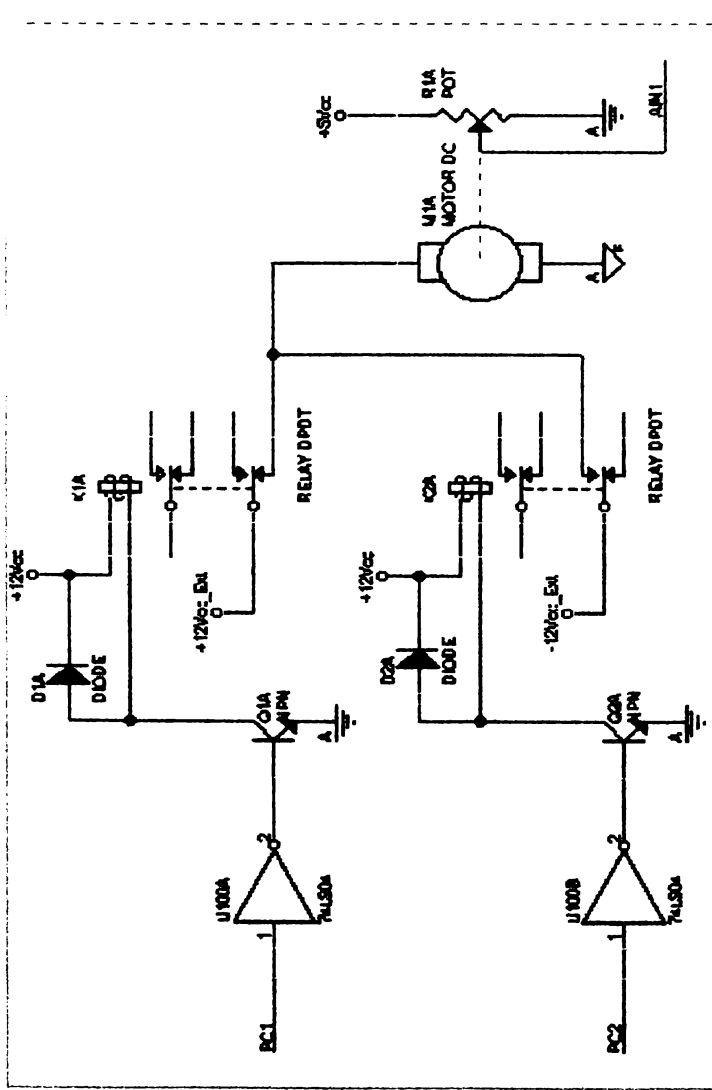
Condensatoarele de decuplare



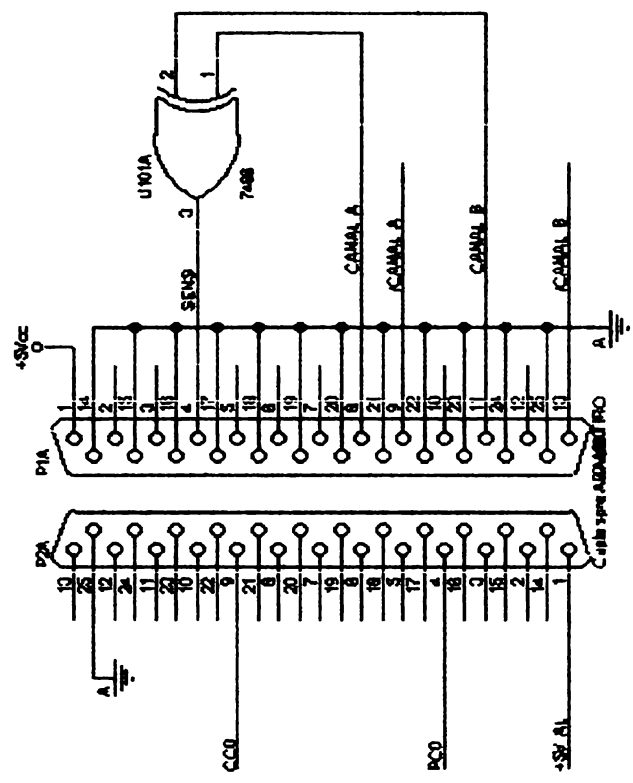
CONECTOR SISTEM DE INTERRUPERI

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 04                     | Schema electrica ADA1100 |
| Date: October 15, 2002 | Sheet: 5 of 8 sheets     |

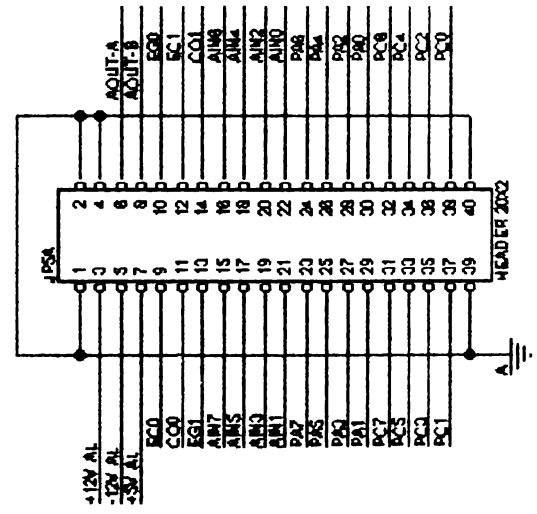
# CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI



Achiziție și comanda de la/pentru drosul viteza mașii



Cupla T1E0 și conectarea la ADA1100



COPLA DE IEȘIRE

|                        |   |
|------------------------|---|
| AA                     | Schema Electrica ADA1100 și circulația curentului |
| Data: October 15, 2002 | Sheet: 6 of 8 sheets                              |

## **BIBLIOGRAFIE**

- 1 *Acerkan, N. N., Calculul și construcția mașinilor unelte,  
Ed. Tehnică 1955*
- 2 *Albu, A., Programarea asistată de calculator a mașinilor unelte,  
Gruță, D., ș.a., Ed. Tehnică, București 1980*
- 3 *Amitary, G., Adaptive control optimization of grinding. Jurnal of  
ș.a., Industry 1981, Vol. 103, p.103-108*
- 4 *Balacșin, B. S., Samopodnastraivanșceisia stanki. Izdatelistru,  
“Mașinostronie” Moskva, 1965, Izдание 1-e*
- 5 *Balacșin, B. S., Samopodnastraivanșceisia stanki. Izdatelistru,  
“Mașinostronie” Moskva, 1968, Izдание 2-e*
- 6 *Balacșin, B. S., Samopodnastraivanșceisia stanki. Izdatelistru,  
“Mașinostronie” Moskva, 1974, Izдание 4-e*
- 7 *Balacșin, B. S., Samopodnastraivanșceisia stanki. Izdatelistru,  
“Mașinostronie” Moskva, 1974, Izдание 3-e*
- 8 *Baștiurea, G., Comandă numerică a mașinilor-unelte,  
Dodon, E., Ed. Tehnică, București, 1976*
- 9 *Botez, E., Mașini unelte ,*

- Moraru, V., Ed. Tehnică, București 1998*  
*ș.a.,*
- 10 *Brailen, A., Fabrication, Brodard-Graphique, Coulommiers, Paris, 1978*
- 11 *Bratu, P., Sisteme de rezemare pentru mașini și utilaje, Ed. Tehnică 1990*
- 12 *Buzdugan, Gh., Vibrații mecanice, Fetcu, L., ș.a., EDP București 1982*
- 13 *Carțiș, Gh., I., Tratamente termice, Ed. Facla, 1982*
- 14 *Coșeriu, T., ș.a., Culegere de norme pentru proiectarea în construcția de mașini, IPTVT 1985*
- 15 *Deutsch, I., Rezistența materialelor, EDP, București 1979*
- 16 *Dodon, E., Studii privind comanda adaptivă la mașinile de rectificat Urdea, G., rotund exterior între vârfuri. Contract IMUA, 1973*
- 17 *Dodon, E., Studiul parametrilor regimurilor de așchiere la rectificare Urdea, G., în condițiile automate, Catedra TCM, IPTVT*
- 18 *Dodon, E., Mașini unelte și agregate, Curs IPTVT, Timișoara 1986*

- 19 Drăghici, Gh., *Tehnologia construcțiilor de mașini,*  
*EDP București 1984*
- 20 Epureanu, Al., *Tehnologia construcțiilor de mașini,*  
Pruteanu, O., *EDP București 1983*  
ș.a.,
- 21 Georgescu, G. *Îndrumător pentru ateliere mecanice*  
S., *Ed. Tehnică 1972*
- 22 Gubencu, D., *Îmbunătățirea performanțelor sistemelor pneumatice de*  
*control activ în procesele de rectificare.*  
*Teză doctorat – 2001- UPT*
- 23 Iancu, A., *Îndrumător pentru ridicarea calificării rectificărilor, Ed.*  
*Tehnică, București, 1978*
- 24 Hideo Inone, *Cercetare în Rectificarea de mare eficiență, Buletin of*  
ș.a., *Mechanical Engineering Laboratory-Japan, nr. 2/1972,*  
*pag. 1-15*
- 25 Ivan, M., *Mașini unelte și control dimensional,*  
Antonescu, N. *EDP București*  
N., ș.a.,
- 26 Jessup, F. W., *Determination du rendement des rectifières. Machine-*  
*Outil, Nr. 273 marte 1973 și nr 289 august-septembrie*



1972

- 27 Kalotenkov, F. *Adaptive control bei der Schleifbearbeitung,*  
W., *Steuerungstechnik*, 4(1971) nr. 12, p.422-427
- 28 Korsunov, B., *Optimizarea condițiilor tehnologice la prelucrarea*  
*abrazivă Stanki Instrument*, 5/1990
- 29 I. Lăzărescu, I., *Toleranțe. Ajustaje. Calculul cu toleranțe. Calibre,*  
Ștețu, E. C., *Ed. Tehnică*, 1984
- 30 Lurie, B. G., *Slifovanie metalov, "Mașinostroenie" Moscova*, 1969
- 31 Micșa, I., *TCM, Îndrumător de proiectare ,*  
*Lito IPTVT*, 1988
- 32 Mihelkovici, V., *Comandă automată la rectificare, Mașinostroenie,*  
*Moscova*, 1978
- 33 Militaru, C., *Fiabilitatea și precizia în tehnologia construcțiilor de*  
*mașini, Ed. Tehnică* 1987
- 34 L. Morar *Contribuții privind folosirea sistemelor automate de*  
*comandă adaptivă la mașini de rectificat,*  
*Teză de doctorat, Cluj-Napoca* 1980
- 35 Moraru, V., *Teoria și proiectarea mașinilor-unelte,*  
*Ed. Tehnică, București*, 1986

- 36 Oprean, A., Dorin, Al., *Fiabilitatea mașinilor unelte,*  
*Ed. Tehnică 1979*
- 37 Oșer, N. R., *Prepararea lichidelor de ungere și de răcire și*  
*întrebuințarea lor la prelucrarea metalelor prin așchiere,*  
*Ed. Tehnică, 1953*
- 38 Picoș, C., ș.a., *Prelucrarea prin așchiere a aliajelor feroase,*  
*Ed. Tehnică, București 1981*
- 39 Picoș, C., Pruteanu, O., ș.a., *Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin*  
*așchiere, Ed. Universitas, Chișinău 1992*
- 40 Pop, E., ș.a., *Metode în prelucrarea numerică a semnalelor,*  
*Ed. Facla, Timișoara, 1989*
- 41 Pop, I., *Proiectarea sculelor așchietoare,*  
*Îndrumător de laborator, Lito IPTVT, 1987*
- 42 Pop, I., *Proiectarea sculelor așchietoare,*  
*curs Lito UTT, 1991*
- 43 Popescu, H., *Optimizarea procesului de lucru la mașini de rectificat,*  
*Referat doctorat – UTT, 1993*
- 44 Popescu, H., *Model matematic al conducerii automate a ciclurilor de*  
*lucru la mașina de rectificat,*  
*Referat doctorat - UTT, 1994*

- 45 Pruteanu, O., Coman, Gh., *Alegerea discurilor abrazive și a parametrilor de lucru la rectificare, Sinteza documentară*
- 46 Pruteanu, O., ș.a., *Alegerea discurilor abrazive și a parametrilor la rectificare, Buletin Științific, IP Iași*
- 47 Pruteanu, V. O., *The influence of cutting parameters on the surface roughness in surface grinding, Buletin Științific, IP Iași, 1973*
- 48 Roșca, D., *Contribuții teoretice și experimentale privind aplicarea conducerii adaptive la mașini de rectificat, Teza de doctorat, Brașov, 1988*
- 49 Shin, C. Yung., *Monitoring and Control of Grinding Processes, 1999*
- 50 Szekely, I., ș.a., *Sisteme pentru achiziția și prelucrarea datelor, Ed. Mediamira, Cluj-Napoca, 1997*
- 51 Șoșdean, D., *Contribuții la optimizarea construcției subansamblului arbore principal, pentru mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri,- Teză de doctorat - UPT, 1998*
- 52 Tache, V., ș.a., *Elemente de proiectare a dispozitivelor pentru mașini unelte, Ed. Tehnică București, 1985*
- 53 Urdea, G., *Comanda adaptivă la mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri, Teză de doctorat - IPT, 1975*

- 54 Urdea, G., ș.a., *Sistem automat de încărcare a mașinii de rectificat rotund exterior între vârfuri cu comandă adaptivă, Conferința de Mașini - Unelte, București, 1994*
- 55 Urdea, G., *Exploatarea mașinilor unelte,*  
Grosu, F., *Lito, IPTVT, 1984*
- 56 Urdea, G., *Mașini unelte și agregate,*  
Buliga, N., *IPTVT, 1986*
- 57 Urdea, G., *Asupra unor criterii de alegere a pietrelor abrazive,*  
Popescu, H., *Seminar de comunicări, Iași, 1992*
- 58 Urdea, G., *Mașini-unelte, Lito UPT, 1995*
- 59 Urdea, G., *Servocomanda electromagnetă pentru reglarea automată a parametrilor de așchiere la rectificare.*  
Grosu, F.,
- 60 Urdea, M., *Cercetări privind îmbunătățirea caracteristicilor metodologice ale sistemelor de control activ pe mașini de rectificat rotund, Teză de doctorat -2001- UPT*
- 61 Vlase, A., *Metrologie și tabele normative pentru stabilirea adaosurilor de prelucrare a regimurilor de așchiere și a normelor de timp la rectificare, Lito I.P București, 1980*
- 62 Vlase, A., *Calculul analitic al regimurilor de așchiere și normative obținute pe calculator.*

- 63 Vlase, A., Sturzu, A., *Regimuri de aşchiere, adaosuri de prelucrare și norme tehnice de timp, Ed. Tehnică 1983*
- 64 Zetu, D., Biber, Gh., ș.a., *Mașini unelte automate și cu comandă numerică, EDP București 1982*
- 65 Zhu, C., ș.a., *A decision suport system for optimum selection of grinding condition, Conferința internațională, CAD/CAM, București, 1993*
- 66 Wade Ryuji, *Adaptive Steuerung einer Rundschleifmaschine, Werkstatt und Betrieb 104 (1971) 6*
- 67 Staicu, F., *Experimental stand for external round grinding between peaks with adaptive control (Stand experimental pentru rectificarea rotundă exterioară între vârfuri cu comandă adaptivă), Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, seria Mecanică, tomul 47(61), fascicola 2, 2002.*
- 68 Staicu, F., *Adaptive control for round grinding between peaks with optimization criterion with a view to increase productivity and accuracy (Comandă adaptivă pentru rectificare rotundă între vârfuri cu criteriul de optimizare care are în vedere creșterea productivității și a preciziei) , Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, seria Mecanică, tomul 47(61), fascicola 2, 2002.*

- 69 Staicu,F., *Adaptive control for round grinding between peaks with optimization criterion with a view to increase productivity and accuracy and processing cost reduction respectively (Comandă adaptivă pentru rectificare rotundă între vârfuri cu criteriul de optimizare care are în vedere creșterea productivității și a preciziei, respectiv reducerea costului prelucrării) , Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, seria Mecanică, tomul 47(61), fascicola 2,2002*
- 70 \*\*\* *Grinding and Machining Research Laboratory University of Massachussets Amherst, 1999*
- 71 \*\*\* *ACO – A System for Automation of Grinding Processes Institut of Machine Tools and Production Engineering, Technical University of Lodz, 1999*
- 72 \*\*\* *IFW research: Adaptive Control Adaptive Process Control in Grinding with Closed- loop Controllers, 1999*
- 73 \*\*\* *PC BUS data aquisition and control product guide, RTD Real Time Devices Inc., Vol.4 Nr.1, 1995*
- 74 \*\*\* *Force Adaptive Grinding on Model 7 AF Ensure Safe Wafers, 1999*
- 75 STAS 2672-87 *Mașini de rectificat rotund exterior (Prescripții de precizie), colecția STAS, Ed. Tehnică, București, 1987*

76 STAS 1670/1-83 *Mașini-unelte (condiții tehnice generale de calitate),  
Colecția STAS, Ed. Tehnică, București, 1987*

## **CUPRINS**

### **CAPITOLUL 1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE**

- 1.1. Rectificarea și locul ei în cadrul prelucrărilor prin așchiere.  
Comanda adaptivă... .. pag. 1
- 1.2. Rectificarea cilindrică exterioară. Generalități. Clasificări..... pag. 4
- 1.3. Generalități privind factorii care impun introducerea comenzilor  
adaptive la mașinile de rectificat... .. pag. 6
- 1.4. Stadiul actual al realizării unor mașini unelte de rectificat echipate cu  
comenzi adaptive. Prezentarea mașinii RE-350 CA echipată cu comandă  
adaptivă... .. pag. 9

### **CAPITOLUL II STUDIUL PROCESULUI DE RECTIFICARE**

- 2.1. Aspecte generale privind rectificarea. Parametrii regimului de  
rectificare rotundă exterioară între vârfuri cu avans longitudinal .... pag. 23
- 2.2. Alegerea parametrilor de așchiere pentru RREV... .. pag. 26
- 2.2.1. Parametrii de așchiere legați de regimul de așchiere propriu-zis .... pag. 26
- 2.2.2. Parametrii legați de piatra de rectificat ... .. pag. 28
- 2.3. Analiza ciclului de lucru la rectificarea rotundă exterioară ... .. pag. 35
- 2.4. Determinarea rigidității statice a subansamblelor mașinii... .. pag. 38
- 2.5. Studiul deformațiilor elastice ale sistemului tehnologic în cazul  
prelucrării prin rectificare rotundă exterioară între vârfuri cu avans  
longitudinal... .. pag. 40
- 2.6. Determinarea abaterilor de precizie geometrică ale elementelor de  
prindere (fixare) ale obiectului de prelucrat ... .. pag. 47



|  |         |
|--|---------|
| 2.7. Influența parametrilor de așchiere asupra caracteristicilor procesului de rectificare .....   | pag. 48 |
| 2.7.1. Influența parametrilor de așchiere asupra componentelor forței de așchiere .....  | pag. 48 |
| 2.7.2. Influența parametrilor regimului de așchiere asupra preciziei .....   | pag. 52 |
| 2.7.3. Influența parametrilor regimului de așchiere asupra capacității de producție, respectiv a costurilor de producție .....                                       | pag. 57 |
| 2.8. Influența caracteristicilor mașinii unelte asupra procesului de rectificare .....   | pag. 60 |
| 2.9. Concluzii generale privind factorii care influențează procesul de prelucrare în cazul rectificării rotunde exterioare între vârfuri cu avans longitudinal ..... | pag. 62 |
| 2.10 Scopul lucrării. Probleme propuse spre rezolvare în vederea optimizării procesului de prelucrare pe mașini de rectificat rotund între vârfuri .....             | pag. 65 |

### **CAPITOLUL III      COMANDA ADAPTIVĂ A MAȘINII RE-350.**

#### **ALGORITM DE OPTIMIZARE.**

|  |         |
|--|---------|
| 3.1. Comenzi adaptive. Criterii de optimizare. Aplicații la mașini de rectificat .....   | pag. 67 |
| 3.1.1. Clasificarea comenzilor adaptive .....  | pag. 67 |
| 3.1.2. Comandă adaptivă cu criterii de optimizare capacitatea de producție și rugozitatea suprafeței .....                             | pag. 69 |
| 3.1.3. Comanda adaptivă cu criterii de optimizare costuri și precizia .....  | pag. 71 |
| 3.2 Comandă adaptivă a mașinii de rectificat rotund exterior RE-350. Criterii de optimizare .....                                      | pag. 78 |
| 3.2.1. Alegerea mărimii de referință .....   | pag. 78 |
| 3.2.2. Criteriul optimizării prelucrării pe mașina RE-350 CA, urmărindu-se obținerea preciziei și a unei productivități ridicate ..... | pag. 80 |
| 3.2.3. Compensarea deformațiilor STE în faza de finisare utilizând microdeplasările arborelui port-sculă .....                         | pag. 91 |

|   |          |
|---|----------|
| 3.2.4. Studiul privind funcționarea comenzii adaptive la cap de cursă... ..   | pag. 92  |
| 3.2.5. Criteriul de optimizare al prelucrării pe mașina RE-350 CA, urmărindu-se<br>obținerea unui cost minim, productivitate și precizie ridicate ..... | pag.103  |
| 3.2.6. Variante de prelucrare cu comandă adaptivă pe mașina de rectificat rotund<br>exterior RE-350 CA.....   | pag. 118 |
| 3.2.7. Algoritmul comenzii adaptive propriu-zise.....   | pag. 122 |
| 3.2.8. Determinarea forței de referință $F_{xref}=f(z)$ .....   | pag. 127 |
| 3.3. Concluzii privind comanda adptivă și criteriile de optimizare utilizate la<br>mașina de rectificat rotund exterior RE-350.....                     | pag.129  |

## **CAPITOLUL IV      SISTEME DE ACHIZIȚIE ȘI PRELUCRARE DIGITALĂ A DATELOR**

|  |          |
|--|----------|
| 4.1. Introducerea în sistemele de achiziție și prelucrare a datelor ..                             | pag. 132 |
| 4.1.1. Funcțiile sistemelor de achiziție și prelucrare a datelor.....                              | pag. 133 |
| 4.1.2. Captarea informației directe asupra unei mărimi .....                                       | pag. 135 |
| 4.1.3. Condiționarea semnalelor electrice .....  | pag. 136 |
| 4.1.4. Eșantionarea și cuantizarea semnalelor electrice .....                                      | pag. 137 |
| 4.1.5. Transferul datelor în sistemele de achiziție .....  | pag. 140 |
| 4.2. Structuri de sisteme pentru achiziția și prelucrarea datelor .....                            | pag. 141 |
| 4.3. Sisteme de achiziție și prelucrare cu microcalculator .....                                   | pag. 142 |
| 4.4. Software de achiziție și procesare pentru microcalculatoare ...                               | pag. 143 |
| 4.5. Conducerea prin calculator a mașinii unelte .....   | pag. 149 |
| 4.5.1. Sistemul CNC .....  | pag. 149 |
| 4.5.1.1. Eșantionarea și efectele comenzii prin calculator asupra preciziei<br>de prelucrare ..... | pag. 150 |
| 4.5.1.2. Considerații generale privind calculatorul în sisteme CNC                                 | pag.151  |
| 4.5.1.3. Sistemul de programare (software CNC) .....   | pag. 153 |
| 4.5.1.4. Interfața calculator-mașină-unealtă .....   | pag. 153 |
| 4.5.1.5. Avantajele sistemelor CNC față de echipamentele NC<br>convenționale .....                 | pag. 156 |
| 4.5.2. Interfața de proces ADA 1100 .....  | pag. 157 |

4.6 Conducerea adaptivă cu ajutorul calculatorului a mașinii de rectificat  
RE-350.....pag.160

## **CAPITOLUL V      STUDII EXPERIMENTALE. CONCLUZII**

5.1 Realizarea standului experimental.....pag. 164  
5.2 Datele inițiale ale încercărilor experimentale.....pag. 171  
5.3 Stabilirea obiectivelor cercetării experimentale.....pag . 173  
5.4 Calcule tehnologice.....pag .175  
5.5 Modul de implementare a algoritmilor de optimizare și programul de  
calculator aferent încercărilor experimentale.....pag. 178  
5.6 Rezultate experimentale. Comentarii și concluzii.....pag. 181

## **CAPITOLUL VI      CONTRIBUȚII PERSONALE. CONCLUZII**

**FINALE**..... ..pag.212

**ANEXA 1** .....pag.217

**ANEXA 2** .....pag.254

**BIBLIOGRAFIE**.....pag. 261