

# Raport in extenso pentru etapa unica 2010

## Cuprins

<b>A. Obiective si activitati planificate .....</b>	<b>1</b>
<b>B. Prezentarea in extenso a activitatilor desfasurate.....</b>	<b>5</b>
<b>C. Prezentarea in extenso a rezultatelor obtinute .....</b>	<b>83</b>
<b>a) Articole stiintifice publicate .....</b>	<b>83</b>
<b>b) Inventii create si inregistrate.....</b>	<b>142</b>

# **A. Obiective si activitati planificate**

## **Obiectivul 1 Asigurarea predictibilitatii prin modelarea sintetica a functionarii masinii**

*In cadrul acestui obiectiv, au fost identificate doua clase de modele, care sa descrie relatia dintre sarcina de prelucrare a masinii tehnologice si nivelul consumurilor ocazionate de realizarea acestei sarcini.*

*Prima clasa de modele este rezultatul abordarii analitice si permite evaluarea online a economicitatii si ecologicitatii procesului de prelucrare a unui semifabricat, pe baza monitorizarii online a consumurilor primare (material, energie, timp).*

*Cea de a doua clasa de modele au la baza abordarea statistica si permite evaluarea offline a economicitatii si ecologicitatii folosind tehnici de invatare nesupervizata.*

*Prima clasa de modele a fost testata in cazul proceselor de strunjire iar cea de a doua clasa in cazul proceselor de gaurire si sudare. A rezultat faptul ca modelele sintetice obtinute pe baza tehnicilor de mai sus pot fi utilizate in doua situatii si anume, in conducerea holarhica-atributiva a masinii tehnologice, situatie in care modelele sunt utilizate pentru evaluarea setului de attribute folosite pentru conducere, si in activitatea de marketing, pentru elaborarea cotatei de pret si negocierea contractelor comerciale.*

**Activitatea 1.1 Identificarea unei clase de modele care sa descrie relatia dintre sarcina de prelucrare a masinii tehnologice si nivelul consumurilor ocazionate de realizarea respectivei sarcini . Dezvoltarea unui procedeu de modelare sintetica a functionarii masinii pe baza tehnicilor de invatare nesupervizata**

### **1.1.1 Modelarea econometrică a procesului de prelucrare folosind modele analitice**

Modul în care sunt conduse sistemele tehnologice afectează performanțele acestora. Pe lângă influența modului de conducere asupra indicatorilor de precizie, se constată o influență puternică și asupra indicatorilor economici. În cazul sistemelor tehnologice pe care se realizează prelucrări prin așchiere, se observă faptul că parametrii regimului de așchiere influențează productivitatea, consumurile de sculă, de energie, durata de viață a

mașinii unelte, costurile legate de manoperă și eficiența economică, în general specifică fiecărui sistem tehnologic. În această scop propunem o metodă de modelare economică a mașinilor unelte, care are drept scop îmbunătățirea unui set de atribute economice. Sistemul tehnologic interacționează cu piața prin executarea unui anumit serviciu (serviciu de fabricație), pentru un anumit client, cu care stabilește relații economice. Relația client-serviciu este determinată de următoarele atribute: *consumurile* necesare pentru efectuarea serviciului, *productivitatea* și *eficiența economică*. Corespunzător acestor atribute vor fi considerate următoarele variabile: *costul*, *timpul de producție* și *rata de profitabilitate*. Valorile acestor atribute depind de o serie de factori externi sistemului tehnologic, cum ar fi costul energiei electrice, costul sculelor, caracteristicile materialului prelucrat, costul de amortizare al mașinii unelte și altele. La nivelul mașinii unelte, controlul economicității se poate realiza doar prin modificarea parametrilor regimului de așchiere, adică a adâncimii de așchiere, avansului și vitezei de așchiere. Pentru sistemul de control propus, mărimea avansului este folosită la controlul rugozității. Mărimea adâncimii de așchiere nu poate fi modificată decât în cazul în care se realizează mai multe treceri, prin împărțirea judicioasă a adaosului de prelucrare. Vom considera cazul în care întreg adaosul de prelucrare trebuie îndepărtat într-o singură trecere. În această situație, nu se poate modifica adâncimea de așchiere, deoarece mărimea acesteia este dictată de mărimea adaosului de prelucrare, care a fost stabilită în funcție de modul de obținere a semifabricatului. Ca urmare a acestui raționament, singurul parametru prin care poate fi realizat controlul economicității este viteza de așchiere  $v$ . Modelul economic are drept intrare viteza de așchiere, ca ieșiri atributele procesului de așchiere, iar ca parametri condițiile procesului de așchiere, cum ar fi adâncimea de așchiere, avansul, parametrii materialului prelucrat, etc.

Caracteristicile economice aferente procesului de așchiere sunt:

- costul specific,  $c$ , definit ca fiind cheltuielile exprimate în Euro, necesare pentru detașarea unui volum de  $1 \text{ dm}^3$  de material;
- timpul specific,  $\tau$ , definit ca fiind intervalul de timp exprimat în minute necesar pentru îndepărtarea unui  $\text{dm}^3$  de material;
- rata specifică de profit,  $r$ , definită ca fiind profitul exprimat în Euro, obținut în unitatea de timp.

## Costul specific

Costul specific va fi definit astfel:

$$c = \frac{C_t}{V} [\text{Euro} / \text{dm}^3]$$

Unde  $C_t$  reprezintă suma tuturor cheltuielilor de producție, exprimate în Euro, iar  $V$  -volumul de material îndepărtat, exprimat în  $\text{dm}^3$ .

Cheltuielile de producție sunt definite ca fiind suma următoarelor componente:

- cheltuieli legate de manoperă,
- cheltuieli determinate de consumul de sculă,
- cheltuieli legate de costul materialului detașat,
- cheltuieli determinate de consumul de energie electrică,
- cheltuieli determinate de amortizarea mașinii unelte,
- alte cheltuieli, considerate constante.

Costul de specific al manoperei este definit astfel:

$$c_m = \left( \tau_a + \tau_b + \frac{\tau_{sr}}{V_s} \right) \cdot c_\tau$$

unde:

$\tau_a$  – reprezintă timpul auxiliar raportat la volumul de material îndepărtat exprimat în minute pe  $\text{dm}^3$ ,

$\tau_b$  – reprezintă timpul de bază raportat la volumul de material îndepărtat exprimat în minute pe  $\text{dm}^3$ ,

$\tau_{sr}$  – reprezintă timpul de schimbare și reglare a sculei, după ce aceasta s-a uzat, exprimat în minute,

$c_\tau$  – reprezintă costul unui minut de utilizare a locului de muncă,

$V_s$  – reprezintă volumul de material ce poate fi prelucrat până la uzarea sculei.

Parametrii regimului de așchiere vor fi introduși folosind următoarele unități de măsură:

- viteza de așchiere va fi exprimată în  $\text{m}/\text{min}$ ,
- adâncimea de așchiere va fi exprimată în  $\text{mm}$ ,
- avansul va fi exprimată în  $\text{mm}/\text{rot}$ ,

Dar timpul de bază necesar pentru prelucrarea unui  $\text{dm}^3$  de material poate fi exprimat prin relația:

$$\tau_b = \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} [\text{min}/\text{dm}^3]$$

Volumul de material ce poate fi îndepărtat până la uzura sculei este exprimat cu relația:

$$V_s = \frac{v \cdot s \cdot t \cdot T}{1000} [\text{dm}^3]$$

Iar durabilitatea sculei poate fi determinată folosind relația lui Taylor:

$$T = \frac{C^{\frac{1}{m}}}{v^{\frac{1}{m}} \cdot s^{\frac{x}{m}} \cdot t^{\frac{y}{m}}} [\text{min}],$$

unde C,m, x și y sunt constante dependente de materialul sculei și de materialul prelucrat.

Costul de utilizare a sculei pe perioada durabilității este definit cu relația:

$$C_s = \frac{C_{as} + C_{es}}{N} [\text{Euro}]$$

unde:

$C_{as}$ -costul de achiziție a sculei exprimat în Euro;

$C_{es}$ -costul de exploatare a sculei exprimat în Euro;

N-numărul de muchii așchietoare corespunzătoare plăcuței amovibile cu care se realizează prelucrarea.

Costul de utilizare al sculei pentru detașarea unui  $\text{dm}^3$  de material este:

$$c_s = \frac{1000 \cdot C_s}{T \cdot v \cdot s \cdot t} [\text{Euro}/\text{dm}^3]$$

Consumul de energie pentru detașarea unui  $\text{dm}^3$  de material, depinde de caracteristica energetică a sistemului tehnologic și de debitul volumic al așchiilor:

$$k_w = \frac{1000 \cdot P}{v \cdot s \cdot t \cdot 60} [\text{Kwh}/\text{dm}^3]$$

unde:

P-reprezintă puterea absorbită de motorul acționării principale.

Costul energiei consumate pentru detașarea unui  $\text{dm}^3$  de material este:

$$c_w = k_w \cdot P_{kwh}$$

unde:  $P_{kwh}$  reprezintă prețul unui Kwh exprimat în Euro

Considerăm că durata de utilizare a mașinii unelte depinde de intensitatea regimului de așchiere prin o relație asemănătoare cu relația lui Taylor:

$$T_m = \frac{K_m}{v^\alpha \cdot s^\beta \cdot t^\gamma} [\text{min}]$$

unde:

$\alpha, \beta, \gamma, K_m$  –reprezintă constante specifice mașinii unelte

Costul specific de amortizare al mașinii unelte este dat de relația:

$$c_m = \frac{1000 \cdot P_m}{v \cdot s \cdot t \cdot T_m} = \frac{P_m}{K_m} \cdot v^{\alpha-1} \cdot s^{\beta-1} \cdot t^{\gamma-1} [\text{Euro}/\text{dm}^3]$$

unde:

$P_m$ - reprezintă prețul de achiziție al mașinii, exprimat în Euro.

Costul unui  $\text{dm}^3$  de material detașat este  $c_{mat}$ .

Cheltuielile constante în raport cu volumul materialului îndepărtat sunt considerate  $c_c$

Combinând relațiile determinate precedent obținem:

$$c = \left( \tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr} \cdot v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{C^{\frac{1}{m}}} \right) c_\tau + \frac{1000 \cdot C_s \cdot v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{C^{\frac{1}{m}}} + \frac{1000 \cdot P \cdot P_{kwh}}{60 \cdot v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot P_m}{K_m} \cdot v^{\alpha-1} \cdot s^{\beta-1} \cdot t^{\gamma-1} + c_{mat} + c_c$$

### Timpul specific

Atributul productivitate este definit ca fiind timpul necesar pentru detașarea unui  $\text{dm}^3$  de material.

$$\tau = \frac{\tau_p}{V_p} = \tau_a + \tau_b + \frac{\tau_{sr}}{V_s} = \tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr}}{v \cdot s \cdot t \cdot T} [\text{min}/\text{dm}^3]$$

Ținând de ecuația lui Taylor rezultă:

$$\tau = \tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr} \cdot v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{C^{\frac{1}{m}}} \text{ [min/dm}^3\text{]}$$

Unde:

$\tau_p$ - reprezintă timpul total necesar pentru prelucrarea unui exemplar din lot exprimat în minute;

$V_p$ - reprezintă volumul de material ce trebuie detașat pentru obținerea unei piese.

### Rata specifică a profitului

Atributul eficiență economică este exprimat prin rata specifică a profitului  $r$  definită ca fiind profitul raportat la unitatea de timp:

$$r = \frac{p - c}{\tau} \text{ [Euro/min]}$$

unde  $p$  este prețul specific de vânzare.

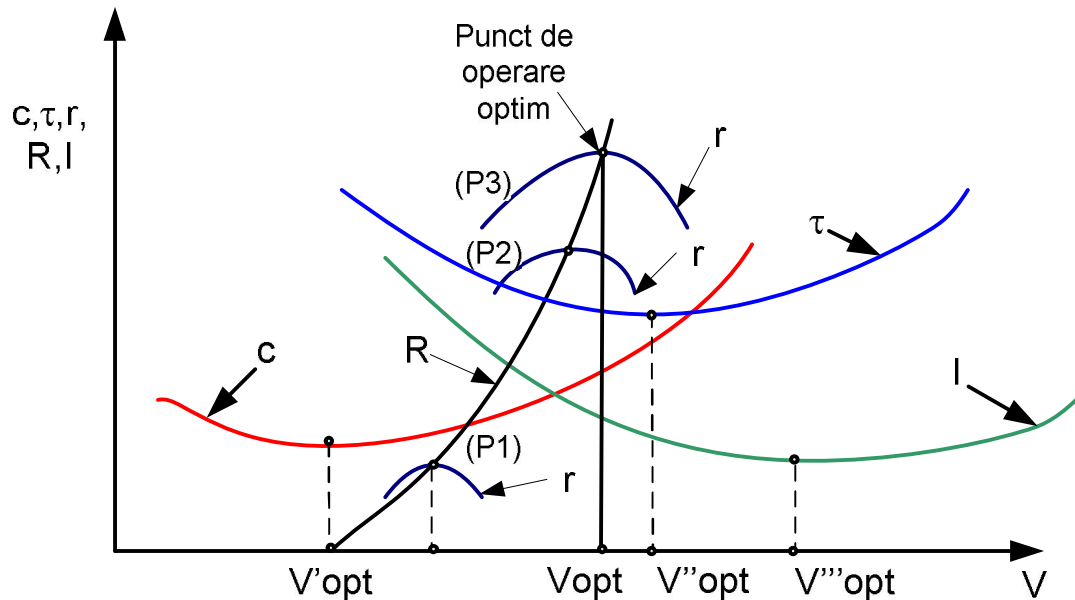


Fig. 1. Variația atributelor economice și ecologice în raport cu viteza de așchiere

În figura 1 se prezintă variația ratei specifice a profitului, a costului specific și a timpului specific cu viteza de așchiere, aceasta fiind considerată drept variabilă de control

al economicității (adâncimea fiind utilizată pentru controlul dimensional, iar avansul fiind utilizat pentru controlul rugozității). Se observă că, atât variația cu viteza a costului specific, cât și a timpului specific prezintă minime valorile corespunzătoare ale vitezei de așchiere fiind  $V'_{opt}$  și respectiv  $V''_{opt}$ . Se mai constată, la nivel analitic, faptul că cele două valori sunt diferite, în general. Rezultă că nu este posibil să se obțină simultan cost minim și productivitate maximă. În ceea ce privește rata profitului specific, se constată că există o valoare optimă a vitezei de așchiere,  $V_{opt}$ , pentru care aceasta este maximă. În figură se prezintă și variația poziției punctului de operare optim în raport cu viteza pentru diferite prețuri specifice de vânzare curba R. Se constată faptul că prețul specific de vânzare influențează semnificativ valoarea vitezei pentru care rata specifică a profitului este maximă. Rezultă că este necesară formularea unei politici în privința celor trei criterii de control al economicității, în funcție de poziția pe piață a produsului fabricat și a întreprinderii ce îl fabrică, așa cum se prevede în arhitectura sistemului de conducere prezentată în paragraful 1.

### **Modelarea ecologicității**

În ultima vreme conceptul de dezvoltare durabilă a crescut mult în importanță urmare a faptului că s-a atins deja un nivel ridicat de dezvoltare industrială, la care agresiunea asupra mediului a devenit îngrijorătoare, ca urmare orice dezvoltare în continuare este supusă restricțiilor în ceea ce privește nivelul admisibil al agresiunii pentru care încă mediul poate fi conservat pe termen lung. Unul dintre elementele de agresiune este cel legat de emisia de dioxid de carbon, ca rezultat al arderii combustibililor fosili. Considerarea acestui element constă în evaluarea debitului masic al emisiei de dioxid de carbon, atât cel corespunzător proceselor industriale în sine, cât și cel corespunzător consumurilor de material și energie ocazionate de aceste procese.

În cazul proceselor de așchiere nu se poate identifica un nivel semnificativ al emisiei de dioxid de carbon, dar este importantă componenta generată prin consumul de energie electrică și de material, atât materialul de sculă, cât și materialul ce formează adaosurile de prelucrare, materialul folosit pentru clădiri, pentru mașini unelte etc; materialul piesei finite nu este atribuit procesului de semifabricare, ci sistemului mecanic căruia îi aparține piesa.



Pentru controlul ecologicității trebuie evaluat debitul emisiei de dioxid de carbon și variabilele care o pot influența, dintre acestea trebuind selectată una, pentru a juca rolul variabilei de control. În acest scop, ecologicitatea procesului de așchiere poate fi modelată cu relația:

$$I = \left[ k_w \cdot K_{energie} + \rho \cdot K_{imat} + \frac{m_{plăcuței}}{N} \cdot \frac{1}{T} \cdot timp\_specific \cdot K_{iscula} \right]$$

unde :

- $K_{energie}$ - cantitatea de CO<sub>2</sub> emisă pentru producerea unui Kwh;
- $K_{imat}$ - cantitatea de CO<sub>2</sub> corespunzătoare materialului de adaos;
- $K_{iscula}$  - cantitatea de CO<sub>2</sub> corespunzătoare consumului de sculă;
- $m_{plăcuței}$  - masa plăcuței așchietoare
- $N$ - numărul de muchii așchietoare ale plăcuței amovibile.

Pentru monitorizarea ecologicității procesului de așchiere, componentele modelului acestuia pot fi legate doar de puterea consumată în timpul prelucrării și consumul de material de sculă, întrucât celelalte componente sunt date apriori. Pe de altă parte, consumul specific de energie este influențat de puterea consumată iar aceasta de debitul așchiilor rezultate din proces. În aceste condiții, propunem monitorizarea ecologicității procesului de așchiere prin intermediul puterii consumate și controlul ecologicității prin modificarea vitezei de așchiere.

### **1.1.2 Modelarea econometrică a procesului de prelucrare folosind date statistice**

#### **a) Formularea problemei de identificare continua**

Identificarea continua inseamna identificarea in permanenta indiferent de metoda, in sensul ca pentru fiecare set nou de date se cauta modelul cel mai apropiat acestei stari. Altfel spus, identificarea continua consta in faptul ca pentru fiecare nou set de date construim un nou

model, care este un model liniar deoarece datele sunt grupate pe baza distantei comune in jurul datelor primare.

In aplicarea metodei de identificare continua se porneste de la o baza de date, nu neaparat foarte consistenta, care poate contine 50-100 de seturi de date, rezultate in urma monitorizarii si masurarii proceselor sau operatiilor avute in vedere.

In cadrul bazei de date si avand la dispozitie acele elemente de intrare furnizate de cerintele clientului, vom construi o vecinatate pentru fiecare din variabilele de interes. Deoarece valorile identificate se afla in vecinatatea variabilei de interes vom putea considera ca modelul matematic este liniar, depinzand de o serie de parametri  $a_i$  si avand ca baza variabilele cuprinse in baza de date.

Modelul liniar determinat va fi rezolvat prin determinarea parametrilor  $a_i$ . In final vom putea scrie modelul matematic pe baza parametrilor calculati de forma:

$$V_n^m = a_1^c v_2 + a_2^c v_3 + a_3^c v_4 + a_4^c v_5 + a_5^c v_6 + a_6^c$$

Modelul liniar astfel determinat va fi utilizat in calcularea datelor care vor forma tabelul de solutii necesar in negocierea tehnico-economica cu clientul si alegerea variantei acceptabile pentru partile interesate.

In cazul in care clientul schimba datele de intrare se reia procesul de identificare continua deoarece avem o alta problema rezultand astfel un alt model matematic si bineninteles un alt tabel de solutii.

Un alt caz in care s-ar relua procesul de identificare continua ar fi atunci cand, in plina desfasurare a procesului, clientul solicita anumite schimbari ceea ce conduce la alte date de intrare si deci si la un alt model matematic, pentru ca practic avem de a face cu un alt proces.

Metoda de identificare continua propusa consta in constructia unui model matematic pentru fiecare serie de date de intrare. Mai mult, in urma verificarii practice a solutiei rezultate la negocierea cu clientul, aceasta se va adauga la tabelul initial de date experimentale, imbogatind astfel baza de date cu o noua experienta.

Luand in considerare precizarile de mai sus, problema de identificare continua poate fi formulata in felul urmator: dandu-se baza de date rezultata din monitorizarea holonului se cere identificarea continua a acestuia, adica constructia setului de modele matematice care sa descrie functionarea acestuia.

## **b) Algoritmi de identificare continua a holonului**

Analizand problematica specifica proceselor de prelucrare, a conjuncturii comerciale actuale si luand in considerare cazul unei fabricatii bazate pe comenzi variate, pe serii si forme diferite etc., au fost conceputi, analizati si dezvoltati 2 algoritmi de identificare continua:

- algoritmul de identificare continua bazat pe segmentarea domeniilor de variatie ale variabilelor;
- algoritmul de identificare continua bazat pe clusteringul starilor.

## **c) Algoritmul de identificare bazat pe segmentarea domeniilor de variatie ale variabilelor**

Identificarea continua a holonului, indiferent de tipurile prezentate mai sus, presupune parcurgerea a 3 pasi:

- pasul 1: clusteringul variabilelor pe baza relatiilor de cauzalitate;
- pasul 2: segmentarea domeniilor de variatie ale variabilelor;
- pasul 3: constructia modelului matematic pentru fiecare combinatie cluster-segment.

Pentru identificarea continua a holonului, tehnica de parcurgere a pasilor enumerati mai sus consta in a determina manual prin aplicarea algoritmului creat pentru un caz in vederea dezvoltarii de alternative. Vom determina care alternativa satisface cel mai bine cazul pus in discutie prin aplicarea pe cazuistica proceselor de carosare.

Pentru aplicarea acestui algoritm se pleaca de la extragerea tuturor experientelor anterioare, care pot fi de mai multe feluri apropiate sau indepartate in timp, iar pe baza prognozei desfasurarea unui proces viitor, ce este si el incert. Altfel spus, am realizat si masurat o serie de piese si am creat o baza de date cu aceste experiente si am de facut o alta piesa despre care nu stiu cum arata si cum trebuie facuta, dar va trebui sa aproximez pe baza informatiilor pe care le am modul ei de realizare si mai ales conditiile tehnico-economice in care voi lucra.

## Clusteringul variabilelor pe baza relatiilor de cauzalitate

Clusteringul variabilelor consta in gruparea variabilelor care se afla intr-o dependenta. Astfel, utilizand “best NN model”, prin alegerea consecutiva a cate unei coloane si determinarea celor mai bune legaturi cu 1, 2 sau i variabile determinam clusterul de i variabile care se afla in cea mai buna relatie de dependenta.

“Best NN model” sau cel mai bun model dat de reseaua neuronala este modalitatea practica de a determina relatiile de cauzalitate dintre variabile astfel incat sa putem determina clustererele de variabile. Cu ajutorul retelei neuronale se compara variabilele, fiecare cu fiecare, obtinandu-se seturi/clustere de variabile care se afla in relatii de cauzalitate. Obtinerea clusterelor se face printr-o aplicatie informatica, practic antrenand reseaua cu valorile din baza de date si determinand acele variabile intre care exista legaturi de cauzalitate.

Nr. crt.	Tip material	Tip sudura	Lungime cordon sudura (mm)	Numar treceri	Intensitate curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Cantitate sarma sudura (m)	Numar bucati	Timp de sudare (s)	Consum de energie (Kw/h)	Cost pe operatie (lei)	Cantitate deseuri (Kg)
-	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12

Tab. 1

De exemplu, din tabelul variabilelor holonului de sudare (Tab. 1) pe care le notam cu v1, v2,...,v12, consideram coloana 4 care contine valorile variabile v3-lungimea cordonului de sudura. Cu ajutorul unei metode de calcul, de exemplu cu ajutorul unei retele neuronale, determinam care sunt cele mai bune relatii de legatura cu celelalte coloane. Se determina de exemplu ca exista cele mai bune relatii de dependenta cu coloanele v5-intensitatea curentului si v9-timpul de sudare. Apoi efectuam aceleasi operatii dar comparand coloana v5 si respectiv coloana v9 cu celelalte coloane. Va rezulta ca un cluster de variabile va fi perechea (v3, v5, v9).

In final vom obtine, conform cazului nostru 12 cluster de variabile, dar fara a avea relatii matematice ci faptul ca exista relatii de cauzalitate intre variabilele din fiecare cluster.

Metoda se aplica pentru pasul 1 al algoritmului de identificare continua.

Pentru pasul 1 se mai poate utiliza ca metoda, coeficientul de corelatie din Excel-Microsoft Office. Astfel, daca se considera o baza de date, aceasta poate fi introdusa in format Excel iar cu ajutorul functiei de corelatie se poate determina legaturile care exista intre o

variabila si alta (intre o coloana de valori ale unei variabile si alata coloana de valori ale aaltei variabile).

Pentru pasul 1 se poate utiliza scalarea valorilor pentru a exprima toate variabilele in aceeaasi unitate de masura si sa devina cu aceleasi ordine de marime, conducand in final la proprietati matematice bune.

Scalarea valorilor presupune transformarea tuturor valorilor variabilelor pe baza unei formule bazate pe media valorilor variabilelor si pe deviatia standard.

Astfel daca avem o serie de variabile de forma:

$X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$  cu valori cuprinse de exemplu intre 10 si 5000 de unitati, vom transforma aceste variabile in valori scalate de forma  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  cu urmatoarea formula :

$$x_i = (X_i - \bar{X}) / \sigma$$

unde  $\bar{X}$  este media valorilor variabilelor iar  $\sigma$  este deviatia standard.

Deviatia standard are formula  $\sigma = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / n}$

### Segmentarea domeniilor de variatie ale variabilelor

Pentru aceasta etapa se poate continua conceptul de scalare a valorilor prin trecerea la etapa 2 in care se alege un pas de segmentare, acelasi pentru toate variabilele, de exemplu 0,25. Deoarece deviatia standard masoara cat de aproape se gasesc valorile fata de mediu, se arata ca pentru valorile scalate vor avea o distributie simetrica fata de abscisa iar media valorilor scalate va fi zero ceea ce conduce la ideea ca deviatia standard este 1.

Intr-o reprezentare grafica (Fig. 2) valorile vor fi distribuite astfel:

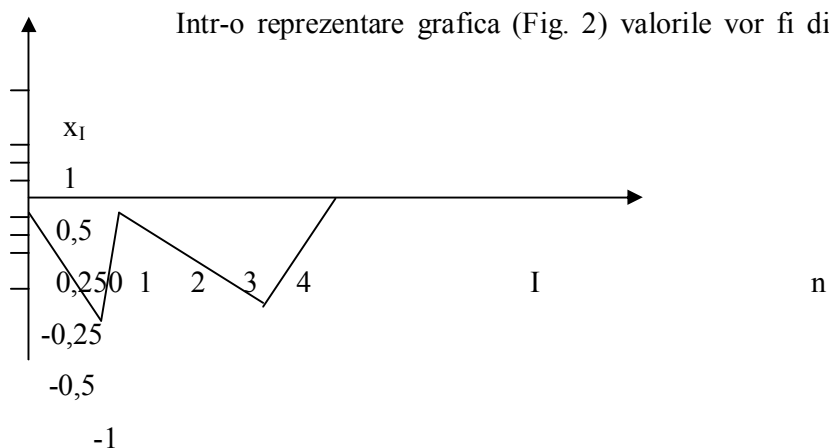


Fig. 2

Tot pentru pasul 2 se utilizeaza segmentarea pe verticala a domeniilor pentru clusterelor de variabile determinate la pasul 1. De exemplu sa consideram ca variabilele din clusterul (v3, v5, v9) se impart in mai multe segmente de valori: variabila v3 se imparte in 5

segmente de valori, variabila  $v_5$  se imparte in 4 segmente de valori si variabila  $v_9$  se imparte in 7 segmente de valori. Numarul de segmente de valori este de dat de dimensiunea domeniului de variatie.

### **Constructia modelului matematic pentru fiecare combinatie cluster-segment**

Pentru determinarea modelului matematic se scrie ecuatia liniara de forma  $Av_3 + Av_5 + Av_9 = 0$

(1.3), unde  $v_3$  ia valorile in intervalul (1,2; 11,5),  $v_5$  ia valorile in intervalul (179; 219) iar  $v_9$  ia valorile in intervalul (1375; 11243). Pentru  $v_3$  vom avea segmentele de valori urmatoare: (1,2; 3,26), (3,26; 5,32), (5,32; 7,38), (7,38; 9,44), (9,44; 11,5). Pentru  $v_5$  vom avea segmentele de valori urmatoare: (179; 189), (189, 199;), (199, 209;), (209; 219). Pentru  $v_9$  vom avea segmentele de valori urmatoare: (1375; 2784,7), (2784,7; 4194,4), (4194,4; 5604,1), (5604,1; 7013,8), (7013,8; 8423,6), (8423,6; 9833,3), (9833,3; 11243). In urma segmentarii observam ca valoarea variatiei fiecarei variabile este mica, in vecinatatea unui punct, astfel ca putem aplica ecuatia liniara descrisa anterior. Pentru fiecare variabila luam o valoare dintr-un interval oarecare. Prin combinarea a 2 variabile cu ajutorul ecuatiei gasim o a treia variabila sau pentru o variabila data, calculam care sunt celelalte variabile din baza de date.

Totusi aceasta metoda nu este potrivita pentru algoritmul de identificare continua deoarece sunt foarte multe combinatii (in cazul prezentat mai sus numarul combinatiilor este  $5 \times 4 \times 7 = 140$ ), iar unele dintre aceste combinatii pot fi putin probabile sau chiar imposibile.

### **d) Algoritmul de identificare bazat pe clusteringul starilor**

Domeniul de aplicare este conducerea operationala a procesului dupa ce comanda a fost contractata.

Algoritmul consta in urmatoorii pasi:

- pasul 1: clusteringul variabilelor pe baza relatiilor de cauzalitate;
- pasul 2: clusteringul starilor;
- pasul 3: constructia modelului matematic corespunzatoare clusterului de stari si clusterului de variabile stabilite.

## **Clusteringul variabilelor pe baza relatiilor de cauzalitate**

Se vor lua exemplele continute in prognoza, conform primului algoritm si vom construi exemplele proprii care vor fi pastrate pentru a construi in continuare modelul. Deoarece nu avem date va trebui sa alegem cel mai bun model cu metodele, best NN model, liniara, exponentiala etc. Indiferent de metoda aplicatia consta in compararea coloanelor de variabile intre ele pe baza unor indicatori de performanta. Variabilele intre care exista performanta cea mai buna inseamna ca se afla in dependenta cea mai favorabila si vom putea afirma ca deoind una de alta.

Astfel primele experiente le voi determina prin una din metodele ce utilizeaza cel mai bun model, apoi pentru a aplica modelul liniar invocat datorita apropierei valorilor intr-o vecinatate, vom testa modelul liniar la toate combinatiile de variabile.

## **Clusteringul starilor**

Clusteringul consta in identificarea grupurilor de inregistrari inrudite care pot constitui puncte de plecare pentru explorarea in continuare a unor relatii. Aceste grupuri sau clustere nu sunt cunoscute initial, ele trebuie descoperite prin procesul de invatare.

Clusterizarea este o clasa de probleme care utilizeaza mecanisme de invatare nesupervizate, informatiile initiale despre clustere nefiind cunoscute inaintea aplicarii procesului.

Clusterelor pot fi construite prin urmatoarele metode:

- constructiva: se pleaca de la principiul ca fiecare element de intrare reprezinta un cluster apoi acesta se asociaza in clase de clustere in functie de anumite conditii de grupare;
- deconstructiva: in stadiul initial elementele sunt grupate intr-un mega-cluster si apoi prin divizari succesive in functie de anumite conditii se formeaza clustere mai mici pana la obtinerea gruparii finale.

Tot din punct de vedere al constructiei clusterelor se poate vorbi de:

- constructie cu punct central: se aleg punctele centrale pentru fiecare cluster si se alatura elementele la clusterul cu cel mai apropiat punct central;
- constructie ierarhica: se porneste de la principiul constructiv, adica initial fiecare element formeaza un cluster si apoi se comaseaza in mod repetat clusterelor apropiate prin folosirea unei masuri a distantei dintre punctele centrale.

Gruparea intr-un cluster poate fi realizata avand la baza un singur criteriu sau poate avea la baza mai multe criterii.

Din punct de vedere al apartenentei fiecare element poate apartine unui singur cluster sau poate avea o anumita probabilitate de apartenenta la un cluster.

Metodele de testare a erorii apartenentei la un cluster sunt de tip:

- determinist: la care se calculeaza eroarea pentru toate elementele grupului;
- probabilist: la care se calculeaza eroarea pentru un esantion din fiecare cluster.

In procesul de grupare a elementelor este necesara evaluarea distantei dintre acele elemente cu ajutorul unei functii  $D(x,y)$ . Uzual se utilizeaza urmatoarele axiome pentru masurarea distantei dintre doua elemente:

- a)  $D(x,x)=0$ , un punct este la distanta 0 de el insusi;
- b)  $D(x,y)=D(y,x)$ , proprietatea de simetrie a distantei dintre  $x$  si  $y$ ;
- c)  $D(x,y)\leq D(x,z)+D(z,y)$ , proprietatea de inegalitate a triunghiului.

De cele mai multe ori se utilizeaza distanta euclidiana, plasand elementele intr-un spatiu euclidian  $k$ -dimensional, iar distanta dintre oricare doua elemente,  $x=[x_1, x_2, \dots, x_n]$  si  $y=[y_1, y_2, \dots, y_n]$  este data prin urmatoarele functii:

- a) Dianta comuna:  $\sqrt{\sum (x_i - y_i)^2}$
- b) Dianta Manhattan:  $\sum |x_i - y_i|$
- c) Maximul pe o dimensiune:  $\max |x_i - y_i|$

In functie de tipul distantei si de abordarea utilizata se pot distinge urmatarii algoritmi:

- Algoritmii Bradley-Fayyard-Reina (BFR) si  $k$ -means (sau  $k$ -NN): sunt algoritmi cu abordare cu punct central, care utilizeaza o distanta euclidiana, cu clustere formate in jurul punctului central printr-un proces gaussian in fiecare dimensiune;
- Algoritmul Fastmap: care este mai mult un mod de a construi un spatiu euclidian cu putine dimensiuni pornind de la o masura a distantei;
- Algoritmii Ganti si altii (GRGPF): are tot o abordare bazata pe puncte centrale, utilizand distanta euclidiana si nu un spatiu euclidian;
- Algoritmii CURE: care este un algoritm cu o abordare ierarhica, utilizand o distanta euclidiana, dar se aplica pe clustere care au o structura neobisnuita.

Aplicarea uneia dintre metode presupune, de exemplu pentru algoritmul  $k$ -NN, gruparea elementelor in  $k$  clustere prin asocierea fiecarui element unei grupe in care se afla cel mai apropiat punct central prin calculul distantei dintre elemente.



Initial se creeaza aleator o partitionare a setului de elemente si se stabileste numarul de clustere (k) si centrele lor. Se pot alege primele k elemente, acestea fiind initial si punctele centrale ale clusterelor.

Se alatura fiecare element din set celui mai apropiat cluster in functie de distanta euclidiană. La fiecare pas se recalculeaza pozitia punctului central si se grupeaza urmatorul element. Aceasta etapa se repeta pana cand se stabilizeaza clusteretele si la noile iteratii nu se mai produce nici o deplasare a unui element de la un cluster la altul.

In final se pot unifica sau diviza clusteretele obtinute conform unor tehnici euristice (numar minim/maxim de elemente din cluster, numar minim/maxim de clusterete, etc.).

Pentru pasul 2 se utilizeaza metoda k-means care se bazeaza pe gasirea unor clusterete in apropierea unui punct ales, numit centroid. Punctul ales ca centroid este deplasat catre interiorul clusterului pana cand distantele de la acesta si punctele dispuse aleatoriu devin minime. Cele k puncte luate in considerare (centroidele) vor grupa in jurul lor un numar diferit de puncte din multimea de puncte.

Aplicarea acestei metode pentru pasul 2 in identificarea continua presupune luarea in considerare a unei secvente din tabel formata din m linii, in care linia m este considerata linia mediana fata de care distantele celorlalte linii sunt minime. Liniile ce formeaza clusterul nu sunt neaparat succesive ci sunt cele care indeplinesc conditia de minim. Variabilele care alcatuiesc liniile sunt intr-o stare de dependenta, rezultata din utilizarea clusteringului de variabile de la pasul 1.

Sa consideram, de exemplu, urmatoarea secventa din baza de date continand valori ale holonului de sudura (Tab. 2):

Nr. crt.	Tip material	Tip sudura	Lungime cordon sudura (mm)	Numar treceri	Intensitate curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Cantitate sarma sudura (m)	Numar bucati	Timp de sudare (s)	Consum de energie (Kw/h)	Cost pe operatie (lei)	Cantitate deseuri (Kg)
-	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
1	OL 52	colt	501	3	200	10,2	4,2	63	1375	10,521	3.156,299	15,781
21	OL 37	colt	503,5	9	204	5,1	4,85	103	6758	52,898	15.558,149	77,791
40	OL 52	colt	490	4	197	8,2	4,60	59	11243	12,656	3.854,666	19,273
52	OL 42	colt	515	10	188	9,2	5,20	52	2459	27,970	8.926,666	44,633
64	OL 52	colt	521	11	191	8,15	4,1	92	6066	55,947	17.575,066	87,875

Tab. 2

Se stabileste ca si centru al clusterului linia 40, iar fata de aceasta vom scrie distantele comune de forma:  $d_{m,n} = \sqrt{(v_{m1}-v_{n1})^2 + (v_{m2}-v_{n2})^2 + \dots + (v_{mk}-v_{nk})^2}$

Pentru secventa considerata vom avea urmatoarea expresie, pentru liniile 40 si 1:

$$D_{40,1} = \sqrt{(490-501)^2 + (197-200)^2 + (8,2-10,2)^2 + (4,60-4,2)^2 + (59-63)^2 + (11243-1375)^2} = 9868,01$$

Se poate scrie distanta comuna pentru toate liniile din cadrul secventei rezultand modelul care va fi format din toata linia de variabile.

In momentul in care trebuie sa determinam o variabila ca solutie a unei probleme, se intra in unul din modelele determinate (clusterelor de stare) si se verifica corespondenta cu variabilele unei linii, pe baza distantei comune si de aici se deduce solutia problemei (Tab. 3).

Nr. crt.	Tip material	Tip sudura	Lungime cordon sudura (mm)	Numar treceri	Intensitate curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Cantitate sarma sudura (m)	Numar bucati	Timp de sudare (s)	Consum de energie (Kw/h)	Cost pe operatie (lei)	Cantitate deseuri (Kg)
-	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
1	OL 52	colt	501	3	200	10,2	4,2	63	1375	10,521	3.156,299	15,781
21	OL 37	colt	503,5	9	204	5,1	4,85	103	6758	52,898	15.558,149	77,791
40	OL 52	colt	490	4	197	8,2	4,60	59	11243	12,656	3.854,666	19,273
<b>13</b>	<b>OL 37</b>	<b>colt</b>	<b>534</b>	<b>7</b>	<b>197</b>	<b>8,2</b>	<b>6,1</b>	<b>68</b>	<b>X</b>	<b>27,819</b>	<b>8.472,799</b>	<b>42,364</b>
52	OL 42	colt	515	10	188	9,2	5,20	52	2459	27,970	8.926,666	44,633
64	OL 52	colt	521	11	191	8,15	4,1	92	6066	55,947	17.575,066	87,875

Tab. 3

De exemplu trebuie sa determinam solutia problemei, timpul de sudare-v9, pentru datele de intrare, asa cum sunt prezentate in linia 13. Se identifica faptul ca celelalte variabile apartin clusterului avut in vedere ca exemplu si se afla valoarea lui X care va reprezenta solutia problemei, in cazul nostru X=9023.

Totusi, aceasta metoda are inconvenientul ca exista riscul sa para un caz pentru care sa nu avem model in sensul ca poate para ovaloare a solutiei din afara valorilor clusterelor.

### Constructia modelului matematic corespunzatoare clusterului de stari si clusterului de variabile stabilite

Aceasta metoda consta in parcurgerea urmatoarelor etape principale:

-conceperea si construirea tabelului de valori experimentale pe baza masuratorilor de piese realizate prin anumite operatii;

-alegerea unei set de date de intrare si de restrictii date de cerinte reale pentru un anumit produs;

-stabilirea clusterului de variabile utilizand distanta comuna minima, in acest fel valorile variabilelor se vor grupa intr-o vecinatate a valorilor datelor de intrare reale;

-vom scrie modelul matematic liniar in functie de variabilele din tabel de forma :

$$V_n^m = a_1 v_2 + a_2 v_3 + a_3 v_4 + a_4 v_5 + a_5 v_6 + a_6$$

-deoarece valoarea variabilei calculate nu va fi egala cu valoarea variabilei masurate in realitate vom avea o eroare  $\xi_i$ , iar pentru aflarea solutiilor  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$  se realizeaza minimizarea sumei patratelor fractiilor  $\xi_i$ , dupa cum urmeaza:

$$\Sigma = \xi_1^2 + \xi_2^2 + \dots + \xi_s^2 \rightarrow \min$$

-pentru ca suma sa tinda la minim trebuie ca derivata de ordinul 1 a sumei in functie de fiecare necunoscuta  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$  sa fie zero;

-ca urmare a derivarii si rezolvarii sistemului rezultat vom avea solutiile  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ ;

-se va putea scrie modelul liniar rezultat in urma determinarii parametrilor, de forma:

$$V_n^m = a_1^c v_2 + a_2^c v_3 + a_3^c v_4 + a_4^c v_5 + a_5^c v_6 + a_6^c$$

-daca vom introduce variatii ale parametrilor de proces si a unei variabile restrictie vom putea obtine un tabel de solutii care va ajuta la gasirea solutiei comune, prin negociere, intre cerintele clientului si posibilitatile tehnico-economice ale producatorului.

## **Activitatea 1.2 Testarea experimentală a performanței procedurii de modelare sintetică a funcționării mașinii.**

### **1.2.1 Experimente de controlul economicității pe baza modelării analitice**

În scopul testării practice a posibilității de control al nivelului economicității unui proces de prelucrare, au fost evaluate numeric valorile celor trei criterii propuse pentru controlul economicității și anume costul specific  $c$ , timpul specific  $\tau$  și rata profitului specific  $r$ , pentru un domeniu uzual al valorilor regimului de așchiere. S-a considerat cazul unei operații de strunjire a unei piese din OLC45. Adâncimea de așchiere și mărimea avansului au fost considerate constante având următoarele valori  $t=2\text{mm}$ ,  $s=0,2\text{ mm/rot}$ . Mărimea vitezei de așchiere a variat între  $140\text{ m/min}$  și  $350\text{ m/min}$  domeniu uzual pentru scule cu plăcuțe din carburi metalice.

Pentru a modela costul specific al manoperei s-au considerat următoarele valori pentru parametrii modelului:  $\tau_a=1\text{ min/dm}^3$ ,  $\tau_{sr}=1,4\text{ min}$ ,  $c_\tau=0,14\text{ Euro/min}$ .

Pentru studiul de caz s-a considerat că se utilizează un cuțit cu plăcuțe amovibile dotat cu plăcuțe de carburi metalice de tip P30 cu 8 muchii așchietoare, cu raza la vârf de  $0.8\text{ mm}$ . Pentru a determina durabilitatea sculei în funcție de viteza de așchiere, am folosit programul „Secolor Turning Calculator” de calcul al durabilității pentru plăcuțe de carburi metalice folosite pe strunjire produse de Secolor Tools. Coeficientul și exponentul din formula empirică a lui Taylor a fost determinat prin tehnici de regresie.

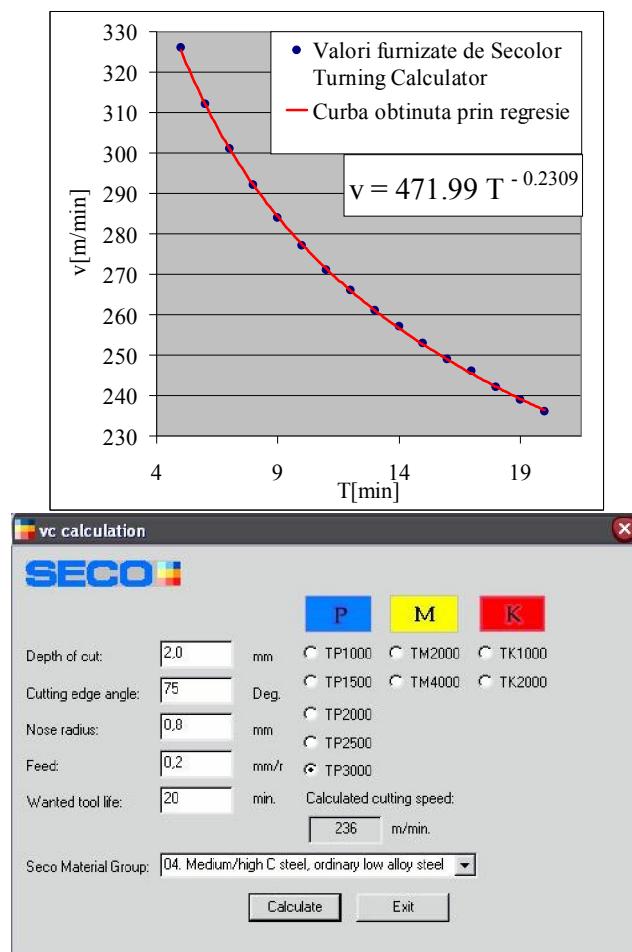


Fig. 3. Determinarea curbei durabilității

Pentru acest studiu de caz s-a considerat că prețul unei plăcuțe amovibile este de 4 Euro, prețul unui  $\text{dm}^3$  de material este de 4 Euro, prețul unui kWh este de 0.15 Euro, iar prețul mașinii unelte, preț ce include și cheltuielile de întreținere este de 200000 Euro. De asemenea s-a considerat că mașina unealtă se amortizează în 20 ani în condițiile în care în fiecare an are 250 de zile lucrătoare și se lucrează câte două schimburi.

Pentru a determina energia specifică necesară pentru prelucrarea unui  $\text{dm}^3$  de material a fost organizat un experiment care a constatat în strunjirea transversală a unei flanșe de diametru de 400 de mm, folosind strungul frontal SF280. Adâncimea de așchiere și avansul au avut valorile considerate în acest studiu de caz adică  $t=2\text{mm}$ ,  $s=0,2\text{mm/rot}$ . Turația arborelui principal a fost menținută constantă, viteza de așchiere variind liniar pe parcursul prelucrării. Puterea absorbită de motorul acționării principale a fost monitorizată folosind sistemul descris anterior. În figura 3 se prezintă variația puterii absorbite de motorul acționării principale precum și variația energiei specifice cu viteza

de aşchiere . Se observă că puterea absorbită de motorul acţionării principale variază liniar cu viteza de aşchiere. Prin regresie liniară s-a determinat relaţia dintre viteza de aşchiere şi puterea absorbită. Termenul liber din această relaţie corespunde puterii absorbite de motorul acţionării principale la mersul în gol. Energia specifică nu este constantă tocmai datorită existenţei acestui termen liber.

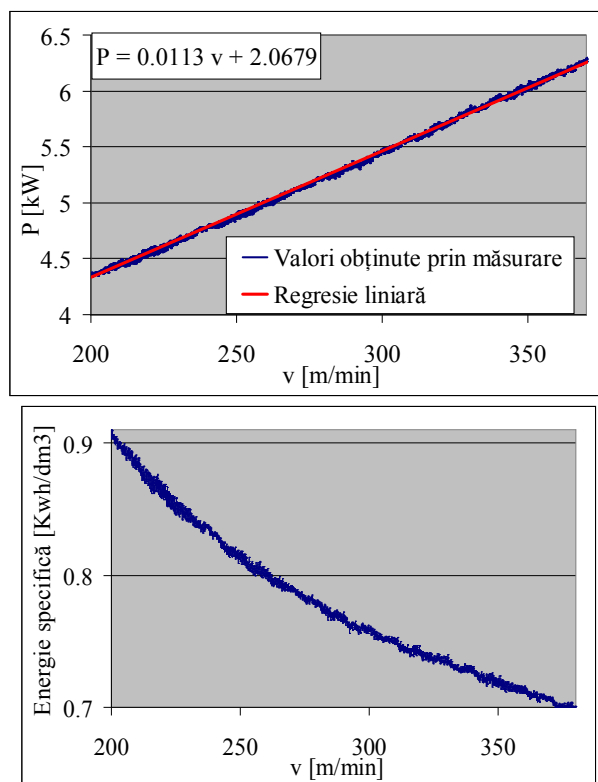


Fig. 4 Puterea absorbită de motorul acţionării principale şi energia specifică în funcţie de viteza de aşchiere

Suplimentar s-a obţinut curba de variaţie a energiei specifice cu debitul de aşchii prin variaţia adâncimii de aşchiere. Pentru aceasta s-au folosit datele corespunzătoare unor piese prelucrate în cadrul experimentului de control al erorilor de proces care au fost prelucrate cu acelaşi avans (0,2 mm/rot). În figura 4 se prezintă sintetic toate rezultatele obţinute raportând puterea consumată la debitul de aşchii, ceea ce reprezintă consumul specific de energie  $c_w$  în  $KWh/dm^3$ , pe ordonată şi debitul de aşchii în  $dm^3/min$  pe abscisă. În fereastra din figura se prezintă evoluţia consumului specific de energie  $c_w$  în lungul axei Z, pentru unul dintre exemplarele lotului. Variaţia energiei specifice este foarte mare deoarece în acest caz s-a modificat adâncimea de aşchiere, care influenţează mai puternic consumul specific de aşchiere.

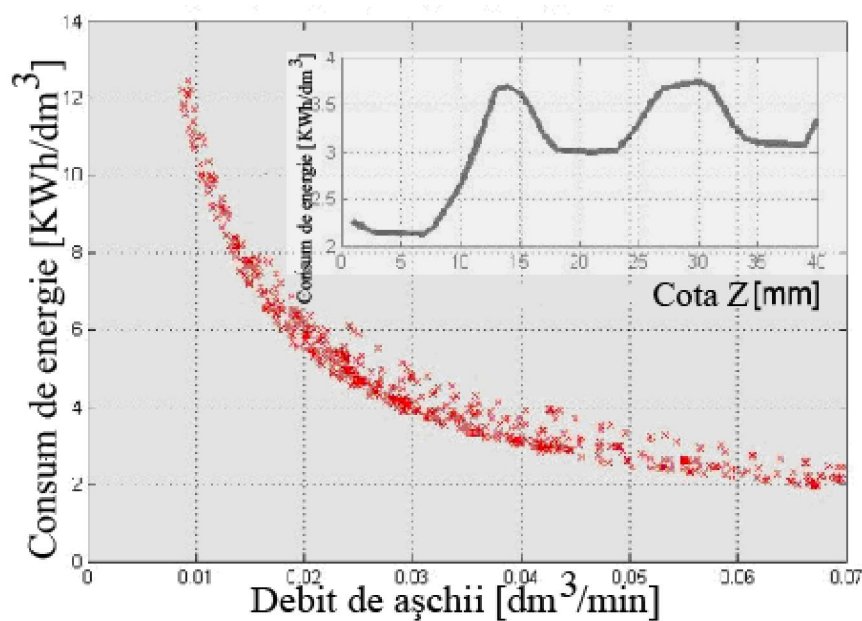


Fig. 5. Consumul de energie în funcție de debitul de aşchii

În figura 4 se prezintă rezultatele obținute în ceea ce privește variația cu viteza a componentelor costului specific. Se observă că la nivelul actual de salarizare din România, ponderea salariilor este semnificativă. Componenta datorată costului sculei este relativ scăzută ca importanță datorită costului scăzut al sculelor. În timp ce prima dintre aceste două componente scade cu viteza, cea de-a doua crește. Componenta corespunzătoare consumului de material este constantă cu viteza, ceea ce era de așteptat. Componenta corespunzătoare energiei consumate este redusă ca pondere și scade cu creșterea vitezei de aşchiere. Similar, se prezintă și componenta legată de amortizarea mașinii unelte. Costul specific total înregistrează un minim la valoarea viteze de aşchiere egală cu 270 de m/min. Mai mult, dacă excludem componenta corespunzătoare consumului de material care este constantă în această aplicație, atunci variația costului specific în domeniul vitezelor de aşchiere de la 140 la 350 m/min reprezintă aproximativ 43% față de valoarea sa minimă ceea ce arată importanța evidentă a controlului.

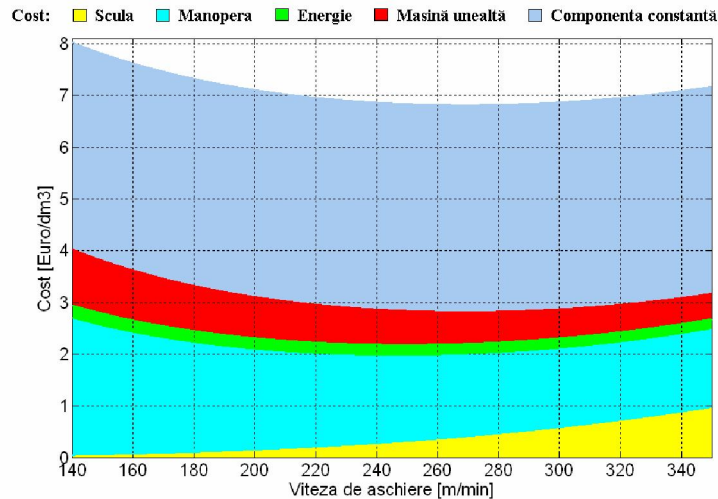


Fig. 6 Structura pe componente a costului specific funcție de viteza de aşchiere

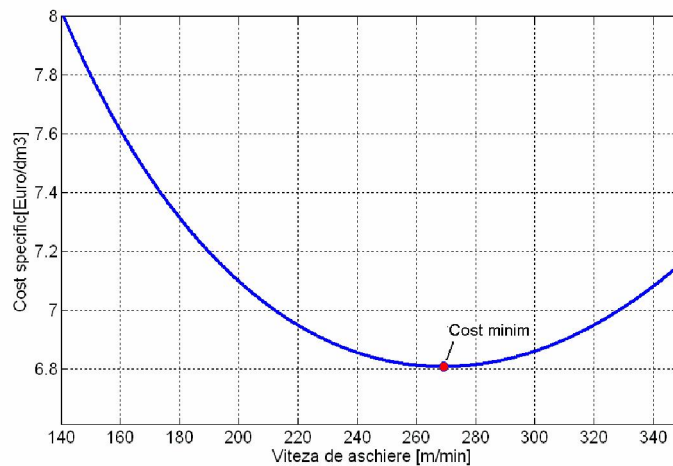


Fig. 7. Variația costului specific cu viteza de aşchiere

În figura 6 se prezintă modul în care se modifică valoarea timpului specific  $\tau$  o dată cu creșterea vitezei de aşchiere. Se observă că valoarea optimă pentru care timpul specific este minim se încadrează în domeniul valorilor folosite ale vitezei de aşchiere, ceea ce arată că optimizarea procesului după acest criteriu este interesantă din punct de vedere practic. O altă observație care conduce la aceeași concluzie este că pe domeniul valorilor curente ale vitezelor de aşchiere timpul specific variază semnificativ de la 10,8 la 19 min/dm<sup>3</sup>. Pe de altă parte se confirmă ideea că valoarea vitezei de aşchiere optimă sub aspectul productivității este semnificativ mai mare decât cea corespunzătoare costului. Într-adevăr la  $V=330\text{m/min}$ , timpul specific este minim, iar la  $V=270\text{m/min}$ , costul este minim. Este evidentă că apare întrebarea cum este mai bine să producem, mai



mult și mai scump sau mai puțin și mai ieftin? Aceasta pentru că diferența între cele două valori optime ale vitezei de așchiere este destul de mare și anume 60 m/min. Această ultimă observație pledează pentru nevoia de a considera drept criteriu de optimizare un alt indicator economic, mai sintetic decât costul și timpul specific, și care să reflecte interese mai generale legate de scopul investiției în procesul de prelucrare considerat.

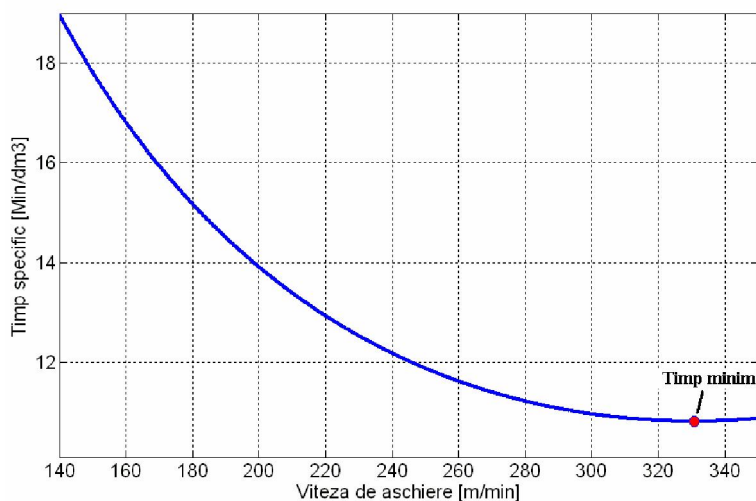


Fig. 8. Evoluția timpului specific cu viteza de așchiere

Pornind de la faptul că investitorul are la dispoziție mai multe oportunități de investiții și că ținta finală este valorificarea cât mai performantă a sumei investite, se poate considera că raportând profitul la suma investită și la timpul în care acesta a fost obținut se obține un indicator economic esențial, care, în această lucrare, a fost numit rata profitului specific  $r$ . În prezentul experiment s-a considerat că suma investită este aceeași indiferent de poziția de funcționare a sistemului tehnologic și de aceea rata profitului specific s-a măsura în Euro/min.

În figura 9 sunt prezentate rezultatele obținute în ceea ce privește nivelul ratei profitului specific corespunzător diferitelor valori ale vitezei de așchiere și diferitelor niveluri ale succesului pe care produsul fabricat îl are pe piață măsurat prin nivelul prețului de vânzare. Se observă că, pentru același nivel al prețului de vânzare există o valoare a vitezei de așchiere, pentru care rata profitului specific este maximă. Mai mult, această valoare este întotdeauna în intervalul  $V'_{opt} \dots V''_{opt}$ . De asemenea, se observă că există valori ale vitezei de așchiere chiar aflate în domeniul curent de lucru pentru care rata profitului specific este negativă ceea ce înseamnă că investiția făcută în procesul de

așchiere nici măcar nu este recuperată. Pe de altă parte, creșterea nivelului prețului de vânzare are trei consecințe importante și anume:

- crește lățimea domeniului vitezelor de așchiere pentru care procesul rămâne rentabil;
- crește nivelul valorii maxime a rate profitului,
- crește valoarea  $V_0$  a vitezei de așchiere pentru care este maximă rata profitului specific.

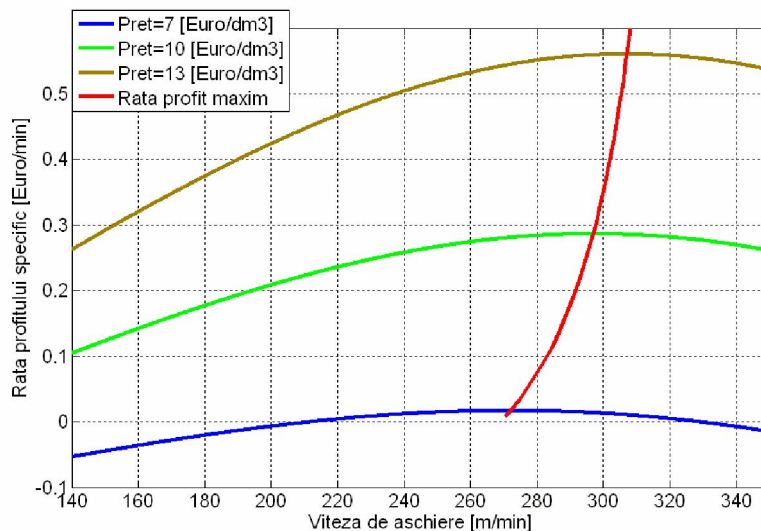


Fig. 9. Evoluția ratei profitului specific cu viteza de așchiere pentru diferite valori ale prețului de vânzare.

În figură se observă  $V_0$  succesiv valorile de 272; 297 și 307 m/min.

O altă observație care se poate face analizând aceste rezultate este că pe domeniul valorilor curente ale viteze de așchiere, nivelul ratei profitului specific se modifică în limite largi. De exemplu pentru cazul valorii maxime a prețului de vânzare, nivelul ratei profitului specific variază aproximativ de la 0,56 la 0.26 Euro/min. În fine din aceste rezultate se poate formula politica managerială ce trebuie implementată în controlul economicității și anume că dacă produsul are succes pe piață atunci mai importantă este productivitatea decât costul. În cazul în care produsul nu are succes și prețul de vânzare se apropie de nivelul costurilor de fabricație atunci mai important devine costul. La limită se poate ajunge atunci când, lucrând cu viteza  $V'_{opt}$  se obține nivelul minim al costului, iar prețul de vânzare este la același nivel, rata maximă a profitului specific fiind zero. Această este poziția critică de supraviețuire și orice abatere de la această poziție duce la pierderi. O altă limită este aceea în care lucrând cu viteza de așchiere  $V''_{opt}$  se obține un

nivel minim al timpului specific, dar nu și al ratei specifice a profitului. Cele două atribute ale economicității, relevate de acești doi indicatori, adică productivitatea și eficiența economică, ar putea fi simultan la nivelul maxim, numai dacă nivelul prețului de vânzare ar fi infinit. Este evident că această limită nu poate fi atinsă, Rezultă că valorile vitezei de aşchiere  $V'_{opt}$  și  $V''_{opt}$  sunt doar extreme care nu trebuie sau nu pot fi niciodată atinse ci doar folosite ca repere în implementarea politicii manageriale.

Controlul canonic are rostul de a implementa online această politică pe baza controlului strategic definit de managementul unității industriale. Pe lângă aspectul economicității, politica managerială mai poate include formulări privitoare la controlul ecologicității, la respectarea unor termene, la rezolvarea unor conflicte sau la politici investiționale pe termen lung cum ar fi spre exemplu: intenția de a înlocui mașinile unelte vechi cu altele noi prelungind astfel activitatea întreprinderii în același domeniu, sau dimpotrivă renunțând la actualul domeniu în favoarea altuia în care actualele investiții nu mai sunt necesare. Analiza de mai sus ocazionată de experimentele privind controlul economicității și datele prezentate în tabelul .. conduc și la concluzia că abordarea holistic-integrată a conducerii sistemelor tehnologice poate determina obținerea unor efecte economice semnificative, care, în cazul conducerii convenționale, nu pot fi obținute.

### **1.2.1 Experimente de controlul economicității pe baza modelarii statistice**

#### **a) Enuntul problemei**

**In urma contactarii firmei care realizeaza carosarea de catre un client, acesta a cerut o oferta privind realizarea unei piese, “placa prindere sasiu suplimentar bona” , ca in figura de mai jos si sudarea acestora pe sasiile suplimentare ale autobasculantelor. Numarul de piese este de 80 iar timpul total de realizare este de 2,5 ore. Piesa va fi sudata pe o lungime de 2x175 mm de sasiul suplimentar (sudura de colt in 3 straturi conform desen). Materialul utilizat la realizarea pieselor este OL 37.**

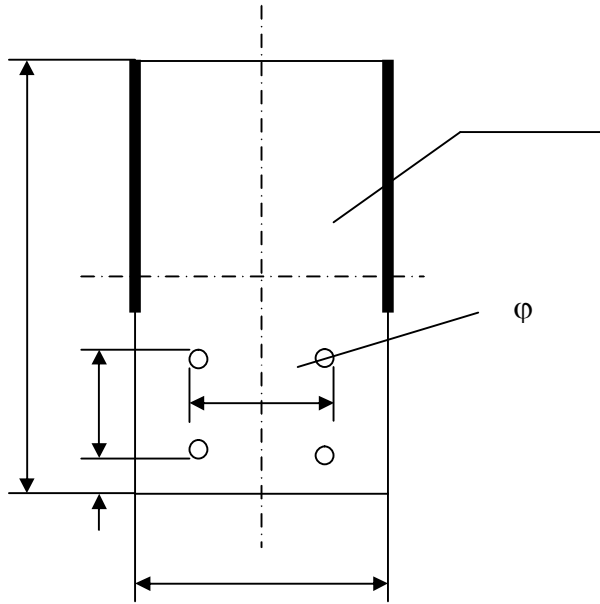
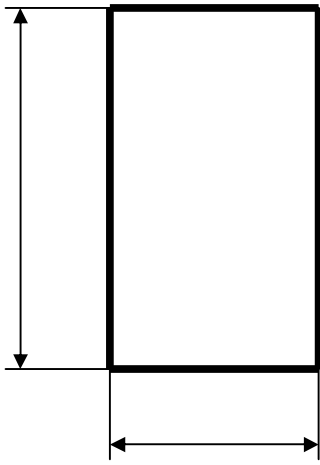
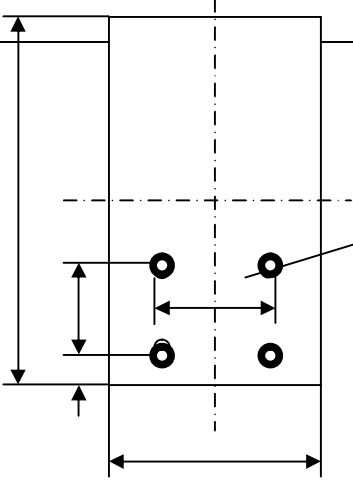


Fig. 10 Placa prindere sasiu suplimentar bena

### b) Procesul tehnologic

Pentru realizarea acestor operatii vom descrie procesul tehnologic cu prelucrarile necesare, sculele, echipamentele si dispozitivele utilizate, iar datele rezultate le vom prezenta intr-un tabel (Fig. 11), astfel:

Nr. crt.	Denumirea operatiei	Fațele operatiei	Schita operatiei	Echipament	Sursa DV	Regim de aschiere			
	Debitare la dimensiune din semifabricat	a-debitare pe lungimea de 2x350 mm b-debitare pe latimea de 2x180 mm		Instalatia de taiere cu jet de plasma PLASMA 120S Jackline	Duza plasma 1,5-1,7 Ae r comprimat Ac etilena				
	Gaurire la $\phi 16$ , 4 gauri	a-gaurire pozitie b- pozitionare pentru fiecare gaura		Masina de gaurit si frezat universal a FUS 32	Burghiu cu diametru 16 mm				

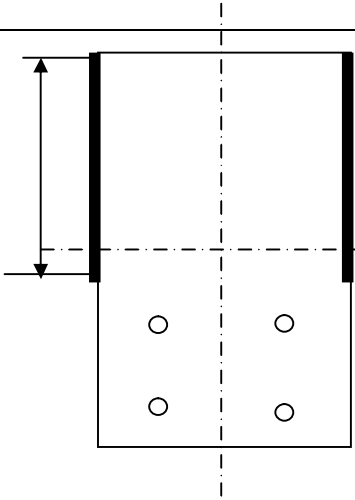
<p>Sudura pe lungimea de 175 mm pe ambele parti, pe sasiul suplimentar al benei</p>	<p>a-pozitionare si fixare b-sudura de colt cu 4 treceri</p>		<p>Echipament de sudura MAG Jackle</p>	<p>S arma 1,6 mm</p>				
---	--	---	--	----------------------	--	--	--	--

Fig. 11 procesul tehnologic de realizare a placii de prindere sasiu suplimentar bena

### c) Descrierea echipamentelor

#### Echipament de debitare

Pentru operatia de debitare s-a utilizat Instalatia de taiere cu plasma tip Plasma 120 S producator Jackle-Germania avand urmatoarele caracteristici:

- dimensiuni: 800x500x800;
- aer comprimat necesar: 5,5 bar si 230l/min;
- tensiune de alimentare: 400 V – 50/60 Hz;
- grosime maxima de taiere: -calitate: 35 mm; -grosier: 45 mm;
- tensiune in gol: 250 V;
- domeniu de reglaj fara trepte: 20-120 A;
- greutate: 150 kg;
- clasa de protectie: H (180 C);
- tipul de racire: F.

## **Echipament de sudare**

**Pentru operatia de sudare s-a utilizat Instalatia de sudura tip MAG 406G si derulator de de sarma tip DVK 3 cu panou de comanda MSE 2, producator Jackle-Germania avand urmatoarele caracteristici:**

- dimensiuni: 945x565x830; 560x510x240;
- gama de curent reglat: 150-250A;
- tensiune de alimentare: 400 V – 50/60 Hz;
- tensiune in gol: 45,5 V;
- trepte de reglaj: 18;
- diametru sarma otel: 0,8-1,6 mm;
- viteza sarma: 0,5-24 m/min;
- greutate: 135 kg;
- clasa de protectie: H (180 C);
- tipul de racire: F;
- pistolet MIG/MAG cu furtun 3 m,

## **Echipament de gaurire**

**Pentru operatia de gaurire s-a utilizat Masina de frezat cu consola FUS 32 producator Masini Unelte Bacau avand urmatoarele caracteristici:**

- dimensiuni: 2200x1525x2300;
- tensiune de alimentare: 380 V;
- putere motor: 7,5 kw;
- cursa longitudinala: 700 mm;
- cursa transversala: 250 mm;
- cursa verticala: 370 mm;
- numar trepte de turatie: 18;
- numar trepte de avans: 18;
- greutate: 1750 kg;
- domeniu de reglare al turatiei: 30-1500 rot/min;

-viteza de avans longitudinal: 19-950 mm/min;

-viteza de avans transversal: 19-950 mm/min;

-viteza de avans vertical: 6-316 mm/min;

#### d) Colectarea datelor experimentale

Pentru a reusi demonstrarea viabilitatii solutiei de rezolvare a problemei de identificare continua si de conducere adaptiv-optimala a sistemelor de fabricatie modelate holonic, evident ca era nevoie de o baza de date practica rezultata din masuratori ale proceselor. Pentru aceasta s-au efectuat determinari, masuratori si monitorizari ale proceselor de debitare, gaurire si sudare ale caror rezultate sunt documentate in tabelele urmatoare (Tab. 15, Tab. 16, Tab. 17):

Tab. -date experimentale privind variabilele de proces colectate pentru holonul de sudare

Nr crt.	Tip material	Tip sudura	Lungime cordon sudura (mm)	Numar treceri	Intensitate curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Cantitate sarma sudura (m)	Numar bucati	Timp de sudare (s)	Consum de energie (Kw/h)	Cost pe operatie (lei)	Cantitate deseuri (Kg)
-	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
1	OL 52	colt	501	3	200	10,2	4,2	63	1375	10,52	3.156,29	15,78
2	OL 52	colt	562	2	198	9,2	5,25	43	3075	5,31	1.611,06	8,05
3	OL 42	colt	498	10	185	8,2	3,25	57	3705	29,17	9.461,99	47,30
4	OL 42	colt	589	9	211	10,25	6,2	92	3467	57,16	16.256,39	81,28
5	OL 42	colt	576	7	202	7,25	4,2	84	6856	38,01	11.289,59	56,44
6	OL 37	colt	499	6	209	11,25	5,15	90	4251	31,28	8.981,99	44,90



7	OL 37	col t	475	9	189	9,2 5	4,15	65	924 5	29,1 7	9.262,49	46,3 1
8	OL 42	col t	399,5	11	215	13, 2	4,75	55	627 9	28,8 6	8.056,58	40,2 8
9	OL 52	col t	544,5	12	196	4,1 5	3,25	93	543 2	66,1 6	20.255,3 9	101,27
10	OL 42	col t	507	4	203	3,1 5	5,60	11 0	241 0	25,1 5	7.435,99	37,1 7
11	OL 42	col t	446	9	205	8,1 5	3,75	94	553 3	42,9 7	12.577,1 9	62,8 8
12	OL 37	col t	511	7	192	10,15	5,2	75	307 4	28,6 1	8.942,49	44,7 1
13	OL 37	col t	534	7	197	8,2	6,1	68	902 3	27,8 1	8.472,79	42,3 6
14	OL 52	col t	515	5	187	5,2 5	4,1	46	340 4	12,3 0	3.948,33	19,7 4
15	OL 42	col t	548,5	10	199	7,2 5	6,05	70	902 3	42,4 4	12.798,3 3	63,9 9
16	OL 52	col t	483	9	211	8,2	5,15	28	340 4	14,2 6	4.057,19	20,2 8
17	OL 42	col t	389	4	217	3,1 5	7,1	52	399 8	9,75	2.697,06	13,4 8
18	OL 42	col t	577	3	194	2,1 5	5,55	73	245 9	13,6 9	4.212,09	21,0 6
19	OL 42	col t	601	4	198	9,1 5	6,35	56	729 1	14,8 9	4.487,46	22,4 3
20	OL 37	col t	476,5	4	215	8,1	5,35	12 3	564 3	28,0 2	7.814,59	39,0 7
21	OL 37	col t	503,5	9	204	5,1	4,85	10 3	675 8	52,8 8	15.558,1 4	77,7 9
22	OL 52	col t	390,5	4	208	10, 1	4,15	92	102 56	16,6 6	4.790,13	23,9 5
23	OL 42	col t	521	4	189	11, 1	4,95	94	627 9	20,5 9	6.529,86	32,6 4
24	OL 52	col t	556	5	191	4,1 5	4,85	77	543 27	22,7 4	7.135,33	35,6 7
25	OL 52	col t	455	7	190	9,2 5	6,25	68	245 9	22,8 1	7.219,33	36,0 9
26	OL 37	col t	534	6	188	13, 2	4,15	47	729 1	15,7 8	5.019,59	25,0 9
27	OL 42	col t	437	10	213	9,2	4,05	70	564 3	36,1 8	10.196,6 6	50,9 8
28	OL	col	382	5	192	8,2	3,95	28	675	5,74	1.782,66	8,91

	37	t							8			
29	OL 37	col t	345	13	204	9,1 5	4,85	59	102 56	29,9 0	8.820,49	44,1 0
30	OL 52	col t	484	15	205	10, 2	6,15	10 4	627 9	85,9 1	25.167,9 9	125, 83
31	OL 52	col t	407	13	197	10,25	5,40	63	543 2	36,4 8	11.111,0 9	55,5 5
32	OL 42	col t	549	15	180	1,2	4,65	43	241 0	35,4 1	11.803,4 9	59,0 1
33	OL 42	col t	623	10	196	5,2 5	4,90	57	792 2	38,6 6	11.836,9 9	59,1 8
34	OL 42	col t	609	12	199	7,2 5	3,85	92	530 1	74,3 3	22.411,9 9	112, 05
35	OL 42	col t	555,5	7	187	8,2	5,05	84	330 9	33,9 3	10.887,7 9	54,4 3
36	OL 37	col t	522,5	15	208	9,2	4,25	55	589 9	49,8 1	14.368,7 4	71,8 4
37	OL 37	col t	400,5	13	198	5,1 5	6,2	93	387 7	53,2 6	16.140,1 4	80,7 0
38	OL 52	col t	301,5	15	219	10, 2	5,15	13 2	603 4	72,6 3	19.898,9 9	99,4 9
39	OL 52	col t	440	10	207	9,2	5,55	94	563 2	47,5 6	13.786,6 6	68,9 3
40	OL 52	col t	490	4	197	8,2	4,60	59	112 43	12,6 5	3.854,66	19,2 7
41	OL 42	col t	388,5	3	187	2,2	4,25	73	952 0	8,83	2.836,04	14,1 8
42	OL 42	col t	433,5	8	199	8,2	4,90	56	797 6	21,4 1	6.473,59	32,3 6
43	OL 42	col t	366,5	7	201	9,1 5	3,95	12 3	530 2	35,2 3	10.518,5 4	52,5 9
44	OL 52	col t	448	5	212	8,2	5,05	92	800 9	24,2 7	6.869,33	34,3 4
45	OL 37	col t	401	10	204	8,2	5,45	73	401 1	33,1 7	9.757,66	48,7 8
46	OL 37	col t	531	9	215	9,1 5	4,65	33	883 5	18,8 3	5.256,89	26,2 8
47	OL 37	col t	605	4	205	8,2	6,15	52	425 1	14,3 3	4.194,66	20,9 7
48	OL 37	col t	545,5	4	187	7,2	5,1	73	291 9	16,5 4	5.309,53	26,5 4
49	OL 42	col t	497,5	5	188	9,1 5	4,15	56	734 6	14,5 4	4.643,33	23,2 1

50	OL 42	col t	395	7	179	10, 2	4,80	12 3	340 4	33,8 2	11.336,4 9	56,6 8
51	OL 42	col t	534	15	190	10, 2	4,30	33	399 8	27,9 0	8.810,99	44,0 5
52	OL 42	col t	515	10	188	9,2	5,20	52	245 9	27,9 7	8.926,66	44,6 3
53	OL 42	col t	548,5	4	213	8,2	6,05	73	606 6	18,9 5	9.507,33	26,6 9
54	OL 42	col t	483	7	192	7,2 5	4,75	56	245 9	20,1 9	6.311,19	31,5 5
55	OL 42	col t	389	10	204	8,2 5	5,55	12 3	540 0	54,2 2	15.948,9 9	79,7 4
56	OL 52	col t	577	3	187	8,2	5,15	92	902 3	16,5 4	5.308,39	26,5 4
57	OL 52	col t	601	8	208	5,2 5	4,15	94	340 4	52,2 2	15.065,0 6	75,3 2
58	OL 52	col t	476,5	11	198	7,2 5	4,75	77	993 1	33,9 1	13.453,1 8	76,2 6
59	OL 52	col t	503,5	12	219	8,2	3,25	77	464 5	56,6 0	15.507,7 9	77,5 3
60	OL 37	col t	390,5	4	207	9,2	5,60	70	773 2	12,5 7	3.644,66	18,2 2
61	OL 37	col t	476,5	7	197	10, 2	3,75	63	340 4	22,9 9	7.004,54	35,0 2
62	OL 52	col t	503,5	6	208	4,1 5	5,2	43	399 8	15,0 1	4.330,09	21,6 5
63	OL 42	col t	390,5	9	189	3,1 5	6,1	57	245 9	21,0 3	6.677,54	33,3 8
64	OL 52	col t	521	11	191	8,1 5	4,1	92	606 6	55,9 4	17.575,0 6	87,8 7
65	OL 52	col t	556	12	190	10,15	6,05	84	627 9	59,1 5	18.681,5 9	93,4 0
66	OL 37	col t	455	4	215	7,2	6,05	55	543 2	11,9 5	3.336,66	16,6 8
67	OL 42	col t	534	8	196	9,1 5	5,15	93	241 0	43,2 6	13.243,1 9	66,2 1
68	OL 37	col t	437	9	203	10, 2	7,1	13 2	530 1	58,5 4	17.305,1 9	86,5 2
69	OL 37	col t	382	7	205	10, 2	5,55	94	109 56	28,6 2	8.378,53	26,2 9
70	OL 52	col t	345	7	192	9,2	6,35	59	401 1	15,1 9	4.749,49	23,7 4
71	OL	col	555,5	12	197	10,	5,35	77	330	56,1	17.109,3	85,5

	37	t				2			9	7	9	4
72	OL 42	col t	522,5	7	187	10,2 5	4,85	70	245 9	26,5 9	8.534,16	42,6 7
73	OL 37	col t	400,5	15	199	1,2	4,15	63	820 1	41,8 4	12.615,7 4	63,0 7
74	OL 37	col t	301,5	13	211	5,2 5	4,95	43	820 1	19,7 5	5.617,94	28,0 8
75	OL 52	col t	440	15	217	7,2 5	4,85	57	625 5	45,3 5	12.539,9 9	62,6 9
76	OL 52	col t	440	10	187	3,3 3	6,15	92	298 3	42,0 5	13.493,3 3	67,4 6
77	OL 52	col t	490	4	208	10, 2	5,40	84	625 5	19,0 2	5.487,99	27,4 3
78	OL 42	col t	388,5	3	198	9,2	4,65	55	340 4	7,05	2.136,74	10,6 8
79	OL 42	col t	433,5	8	219	8,2	4,90	93	399 8	39,2 4	10.750,7 9	53,7 5
80	OL 42	col t	366,5	7	207	5,4 5	3,85	13 2	245 9	38,9 4	11.288,1 9	56,4 4
81	OL 37	col t	401	9	197	6,7 5	5,05	94	729 1	37,1 2	11.308,1 9	56,5 4
82	OL 42	col t	531	7	187	9,2 5	4,25	59	564 3	22,7 8	7.310,09	36,5 5
83	OL 37	col t	605	7	199	13, 2	6,2	92	685 6	43,0 7	12.987,3 3	64,9 3
84	OL 37	col t	545,5	5	201	9,2	5,15	73	425 1	22,2 3	6.636,91	33,1 8
85	OL 52	col t	497,5	10	205	8,2	5,55	33	924 5	18,6 9	5.472,49	27,3 6
86	OL 52	col t	395	9	187	9,1 5	5,05	52	627 9	19,2 0	6.161,99	30,8 1
87	OL 52	col t	534	4	188	5,2 5	4,25	73	245 9	16,2 8	5.197,59	25,9 8
88	OL 42	col t	515	3	179	7,2 5	6,2	56	822 1	8,60	2.883,99	14,4 1
89	OL 42	col t	548,5	4	190	8,2	5,15	12 3	535 1	28,4 5	8.995,39	44,9 7
90	OL 42	col t	483	4	188	3,1 5	5,55	33	241 0	6,65	2.125,19	10,6 2
91	OL 52	col t	498	15	205	2,1 5	4,60	52	553 3	44,2 3	12.947,9 9	64,7 4
92	OL 52	col t	589	13	197	9,2	4,25	73	307 4	61,1 7	18.632,0 3	93,1 6

93	OL 37	col t	576	15	180	5,1 5	4,90	59	800 9	50,9 7	16.991,9 9	84,9 5
94	OL 37	col t	499	10	196	10, 2	3,95	77	401 1	41,8 3	12.807,6 6	64,0 3
95	OL 52	col t	556	4	199	9,2	5,05	70	589 9	17,2 1	5.189,33	25,9 4
96	OL 42	col t	455	10	192	8,2	4,15	92	387 7	44,6 5	13.953,3 3	69,7 6
97	OL 52	col t	556	4	197	3,1 5	4,80	84	603 4	20,4 4	6.227,19	31,1 3
98	OL 52	col t	531	3	187	2,1 5	4,30	55	563 2	9,10	2.920,49	14,6 0
99	OL 37	col t	605	8	199	9,1 5	5,20	43	564 3	23,0 9	6.937,33	34,6 8
100	OL 42	col t	388,5	7	211	7,6 5	6,2	57	675 8	18,1 7	5.167,04	25,8 3

Tab. 4 date experimentale privind variabilele de proces colectate pentru holonul de debitare

Nr . crt .	Tip material	Lungimea de debitat (mm)	Latimea de debitat (mm)	Viteza de debitare (mm/s <sup>2</sup> )	Avansul de debitare (mm/s)	Numar de bucati	Timpul de debitat (s)	Consum de energie (kw/ora)	Cost pe operatie (lei)	Cantitate deseuri (Kg)
-	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10
1	OL 52	350,1	180,15	3,1	0,5	50	1200	14,74	1.781,3 5	26,5 12
2	OL 52	253,1	184,15	4,1	1,5	75	2254	18,24	2.186,2 5	32,7 87
3	OL 37	257,15	172,1	5,1	2,5	100	2011	24,84	2.861,6 6	42,9 12
4	OL 42	462,05	268,1	5,15	2	45	3201	18,45	2.190,4 5	32,8 62
5	OL 52	373,2	235,1	6,2	2,75	45	4200	15,71	1.824,9 1	27,3 7
6	OL 42	555,2	469,1	4,2	3	50	2501	28,95	3.413,5 3	51,2 1
7	OL 42	592,15	376,1	7,15	1,25	77	1256	41,61	4.969,6 7	74,5 4
8	OL 42	623,1	287,2	5,15	1	46	6277	23,46	2.790,7 6	41,8 7

9	OL 37	328,15	154,25	10,2	3	57	4201	15,77	1.831,75	27,48
10	OL 37	340,1	160,2	9,2	4	61	3222	17,35	2.033,56	30,50
11	OL 52	225,1	128,2	8,2	4,5	62	9202	12,56	1.459,47	21,88
12	OL 42	231,2	123,0	10,25	3,75	44	4246	9,05	1.038,89	15,57
13	OL 52	158,25	85,1	1,2	2,25	65	8201	9,27	1.054,57	15,79
14	OL 52	128,2	63,15	2,2	3,5	77	6255	8,58	981,46	14,70
15	OL 52	245,15	176,1	10,25	4,25	70	2983	16,78	1.964,76	29,47
16	OL 37	276,15	154,05	8,25	0,5	99	3023	24,16	2.8378,89	42,57
17	OL 37	567,15	345,2	6,25	5	110	4251	55,75	6.688,66	100,32
18	OL 37	832,1	667,2	7,25	1,5	87	2919	72,53	8.594,19	130,41
19	OL 42	766,1	698,15	11,25	3,25	71	7346	57,77	6.929,59	103,94
20	OL 42	743,1	598,1	9,25	3,75	73	5400	54,43	6.526,29	97,89
21	OL 42	912,15	704,05	13,2	2	33	9023	29,64	3.555,69	53,32
22	OL 42	889,2	706,1	9,2	3	52	3404	46,16	5.529,33	82,94
23	OL 42	900,15	588,05	8,2	1	73	3998	60,36	7.241,59	108,62
24	OL 42	541,1	297,05	9,15	2,25	56	2459	26,27	3.128,53	46,92
25	OL 42	853,2	599,05	8,2	3,25	123	7291	99,23	11.906,39	178,59
26	OL 52	446,15	280,1	7,2	3	92	5643	37,12	4.452,79	66,79
27	OL 52	555,2	267,15	9,15	1,25	94	6758	42,99	5.151,19	77,26
28	OL 52	564,2	277,15	10,2	1	77	10256	36,03	4.317,13	64,75
29	OL 52	575,2	307,15	4,15	3	68	6279	33,35	3.998,39	59,97
30	OL 37	588,15	325,1	3,15	4	47	5432	23,88	2.860,7	42,9

									3	1
31	OL 37	479,1	277,15	8,15	4,5	70	2410	29,41	3.527,9 9	52,9 2
32	OL 37	604,1	309,2	10,15	3,75	28	7922	14,35	1.704,6 6	25,5 6
33	OL 42	989,1	647,2	11,25	2,25	59	5301	53,65	6.434,9 3	96,5 2
34	OL 52	297,05	156,2	12,25	3,5	104	1095 6	26,38	3.140,7 9	47,1 1
35	OL 37	373,05	244,25	7,25	4,25	49	4011	17,21	2.015,5 3	30,2 3
36	OL 42	390,05	226,2	8,25	3,75	77	3309	26,59	3.162,1 3	47,4 3
37	OL 37	667,05	457,2	8,2	2,25	70	5899	43,93	5.245,3 3	78,6 8
38	OL 37	689,0	383,15	5,25	3,5	63	3877	37,82	4.502,9 9	67,5 3
39	OL 52	546,05	378,15	7,25	4,25	43	6034	22,47	2.648,7 9	39,7 3
40	OL 52	512,1	401,15	8,2	0,5	57	5632	29,21	3.469,3 9	52,0 4
41	OL 52	248,1	181,1	9,2	5	92	1124 3	22,33	2.631,1 9	39,4 6
42	OL 42	286,1	134,1	8,2	1,5	84	9520	19,90	2.351,9 9	35,2 8
43	OL 42	290,15	112,1	3,15	3,25	90	7976	20,41	2.411,9 9	36,1 8
44	OL 42	356,05	198,1	2,15	3,75	65	5302	20,41	2.400,6 6	36,0 1
45	OL 37	376,05	195,1	9,15	2	55	8009	17,85	2.093,6 6	31,4 0
46	OL 37	495,05	276,15	8,1	4,25	93	7328	40,14	4.780,1 9	71,7 0
47	OL 42	465,1	287,2	5,1	0,5	132	2623	55,36	6.617,5 9	99,2 6
48	OL 52	559,15	378,15	10,1	5	94	5637	49,14	5.871,8 6	88,0 7
49	OL 42	781,15	467,1	11,1	1,5	59	4645	41,01	4.908,7 9	73,6 3
50	OL 42	655,05	423,1	4,15	3,25	77	7732	46,22	5.533,7 3	83,0 0
51	OL 42	743,1	325,1	11,25	3,75	45	3404	26,91	3.203,9 9	48,0 6

52	OL 52	912,15	277,15	9,25	2	50	3998	33,23	3.963,3 3	59,4 5
53	OL 52	889,2	309,2	13,2	3	77	2459	51,46	6.149,7 3	92,2 4
54	OL 52	900,15	647,2	9,2	1	46	7291	39,74	4.744,1 3	71,1 6
55	OL 52	541,1	156,2	8,2	2,25	57	5643	22,48	2.648,5 9	39,7 2
56	OL 37	853,2	244,25	9,15	3,25	61	1203 3	37,49	4.461,1 3	66,9 1
57	OL 37	446,15	226,2	8,2	3,75	62	6255	23,35	2.777,5 9	41,6 6
58	OL 37	555,2	457,2	7,2	2	44	2983	24,95	2.968,5 3	44,5 2
59	OL 42	564,2	383,15	9,15	3	65	3023	34,31	4.103,6 6	61,5 5
60	OL 52	575,2	378,15	10,2	1	77	4251	40,98	4.892,0 6	73,3 8
61	OL 52	373,2	235,1	10,25	2,25	110	9245	37,27	4.458,6 6	66,8 8
62	OL 42	555,2	469,1	1,2	3,25	87	6279	49,52	5.939,1 9	89,0 8
63	OL 42	592,15	376,1	2,2	3	71	5432	38,39	4.581,8 6	68,7 2
64	OL 42	623,1	287,2	10,25	1,25	73	2410	36,95	4.428,6 6	66,4 3
65	OL 37	328,15	154,25	8,25	1	33	7922	8,99	1.060,3 9	15,9 0
66	OL 37	340,1	160,2	6,25	1,5	52	5301	14,65	1.733,3 3	26,0 0
67	OL 52	225,1	128,2	7,25	2,5	73	1095 7	14,58	1.717,9 3	25,7 6
68	OL 42	231,2	123,0	11,25	2	56	4011	11,59	1.321,5 9	19,8 2
69	OL 52	158,25	85,1	9,25	2,75	123	8835	16,99	1.992,5 9	29,8 8
70	OL 52	128,2	63,15	13,2	3	92	4251	10,28	1.171,4 6	17,5 7
71	OL 37	446,15	280,1	7,25	1,25	73	2919	29,65	3.533,1 9	52,9 9
72	OL 42	555,2	267,15	8,25	1	33	7346	15,57	1.808,3 9	27,1 2
73	OL 37	564,2	277,15	8,2	3	52	5400	24,71	2.915,4	43,7



									6	3
74	OL 37	575,2	307,15	5,25	4	73	9023	35,88	4.292,3 9	64,3 8
75	OL 52	588,15	325,1	7,25	4,5	56	3404	28,71	3.408,5 3	51,1 2
76	OL 52	479,1	277,15	8,2	4	123	9931	51,77	6.199,1 9	92,9 8
77	OL 52	604,1	309,2	9,2	4,5	92	4645	46,77	5.599,7 3	83,9 9
78	OL 42	989,1	647,2	8,2	3,75	94	7732	85,65	10.034,1 3	153,74
79	OL 42	297,05	156,2	3,15	2,25	77	3404	19,68	2.325,3 9	34,8 1
80	OL 42	373,05	244,25	2,15	3,5	68	3998	23,67	2.797,0 6	41,9 5
81	OL 37	667,05	457,2	6,2	4,25	59	2459	36,95	4.421,0 6	66,3 1
82	OL 42	689,0	383,15	4,2	0,5	104	6066	61,97	7.432,5 3	111,48
83	OL 42	546,05	378,15	7,15	5	49	2459	25,75	3.018,3 9	45,2 7
84	OL 42	512,1	401,15	5,15	1,5	77	7291	39,12	4.686,7 3	70,3 0
85	OL 42	248,1	181,1	10,2	3,25	70	5643	17,29	2.001,9 9	30,0 3
86	OL 42	286,1	134,1	9,2	5,5	63	1203 3	15,30	1.763,9 9	26,4 6
87	OL 42	290,15	112,1	8,2	3,6	43	6255	10,10	1.152,3 9	17,2 8
88	OL 52	356,05	198,1	10,25	2,7	57	3404	17,94	2.105,1 9	42,8 6
89	OL 52	376,05	195,1	1,2	1,8	92	3998	29,59	3.502,1 3	52,5 3
90	OL 52	495,05	276,15	2,2	4,2	84	2459	36,28	4.317,5 9	64,7 6
91	OL 52	465,1	457,2	8,2	3,4	55	7291	28,68	3.380,6 6	50,7 1
92	OL 37	559,15	383,15	9,15	4,1	93	5643	48,98	5.840,3 9	87,6 0
93	OL 42	781,15	378,15	8,2	1	132	6856	85,11	10.199,1 9	152,98
94	OL 42	655,05	401,15	7,2	2,25	94	4251	55,35	6.617,5 9	99,2 4

95	OL 37	743,1	181,1	9,15	3,25	59	9245	30,49	3.634,39	54,56
96	OL 37	912,15	134,1	10,2	3	77	6279	44,75	5.369,46	80,52
97	OL 42	889,2	112,1	4,15	1,25	45	5432	25,53	3.002,99	45,05
98	OL 52	900,15	198,1	3,15	1	50	2410	30,71	3.659,99	54,90
99	OL 42	541,1	195,1	8,15	3	77	5533	31,69	3.778,13	56,62
100	OL 42	853,2	276,15	10,15	4	46	3074	29,46	3.462,26	51,94

Tab. 5 date experimentale privind variabilele de proces colectate pentru holonul de gaurire

Nr crt.	Tip material	Diametrul gaura (mm)	Numar gauri	Viteza de gaurire (mm/s <sup>2</sup> )	Avansul de gaurire (mm/s)	Numar de bucati	Timpul de gaurire (s)	Consum de energie (kw/ora)	Cost pe operatie (lei)	Cantitate deseuri (Kg)
-	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10
1	OL 52	12,5	3	1,1	0,7	70	7242	6,04	1.093,75	13,12
2	OL 42	15,55	5	4,1	0,3	28	12033	3,76	1.128,41	13,54
3	OL 42	11,6	5	2,05	0,25	59	6255	4,41	1.3.23,17	15,87
4	OL 42	25,6	2	5,05	0,35	104	3404	37,86	4.543,82	54,52
5	OL 37	9,55	7	4,05	0,8	49	3998	2,48	1.042,74	12,51
6	OL 37	17,55	8	3,2	0,75	77	2459	13,17	6.324,31	75,89
7	OL 52	30,55	5	3,1	0,2	70	7291	36,29	10.888,52	130,62
8	OL 42	26,55	4	4,1	0,9	63	5643	24,67	5.921,18	71,05
9	OL 52	19,5	3	5,1	0,6	43	6856	9,08	1.635,07	19,62
10	OL 52	35,5	2	2,2	0,1	57	4251	39,98	4.788,95	57,46
11	OL 37	16,55	10	3,2	0,4	92	9245	13,99	8.399,6	100,79

									7	
12	OL 42	21,5	9	5,2	0,15	84	6279	21,57	11.648,70	139,78
13	OL 37	24,5	7	4,2	0,5	90	5432	30,01	12.605,25	151,26
14	OL 37	28,6	6	3,2	0,45	65	2410	29,53	10.633,48	127,60
15	OL 52	18,6	9	2,2	0,55	55	5533	10,57	5.708,34	68,50
16	OL 52	10,6	11	3,2	0,65	93	3074	5,80	3.831,47	45,97
17	OL 52	9,6	12	6,2	0,85	110	9023	5,61	4.055,04	48,66
18	OL 42	22,55	4	4,2	0,95	87	3404	24,57	5.898,62	70,78
19	OL 42	8,55	8	6,25	0,57	71	3998	2,88	1.384,07	16,60
20	OL 42	15,55	9	5,15	0,42	73	2459	9,80	5.295,47	63,54
21	OL 42	21,55	7	4,15	0,67	33	7291	8,51	3.575,89	42,91
22	OL 42	13,55	7	5,2	0,28	52	5643	5,30	2.227,71	26,73
23	OL 42	27,55	5	4,15	0,81	73	6758	30,78	9.234,53	110,84
24	OL 42	8,55	10	3,15	0,77	56	10256	2,27	1.364,58	16,37
25	OL 42	9,55	9	2,15	0,33	123	6279	6,23	3.365,37	40,38
26	OL 42	17,55	4	3,15	0,88	92	5432	15,74	3.778,16	45,33
27	OL 52	29,5	3	4,15	0,37	94	2410	45,44	8.180,35	98,16
28	OL 52	21,55	4	5,1	0,19	77	7922	19,86	4.767,86	57,214
29	OL 52	30,55	4	6,1	0,42	68	5301	35,25	8.461,94	101,54
30	OL 52	35,6	5	4,1	0,68	47	10956	33,09	9.927,65	119,13
31	OL 37	32,6	7	5,1	0,2	70	4011	41,32	17.358,41	208,30
32	OL 37	27,6	6	5,15	0,9	28	4011	11,84	4.265,85	51,19

33	OL 37	15,6	10	4,15	0,6	52	3309	7,03	4.218,2 4	50,6 1
34	OL 42	7,6	13	6,15	0,1	73	5899	2,32	1.827,1 4	21,9 2
35	OL 52	11,5	15	3,15	0,4	56	3877	4,11	3.702,9 9	44,4 3
36	OL 37	14,5	10	4,15	0,15	123	6034	14,36	8.620,2 5	103,43
37	OL 42	19,5	12	2,15	0,5	92	5632	19,43	13.993,1 2	167,91
38	OL 37	22,5	8	4,15	0,45	73	1124 3	20,53	9.854,9 9	118,26
39	OL 37	8,5	20	5,1	0,55	33	9520	1,32	1.548,4 5	19,0 7
40	OL 52	16,55	11	6,1	0,65	52	7976	7,93	5.222,4 0	62,6 6
41	OL 52	25,55	7	4,1	0,85	73	5302	26,47	11.119,4 0	133,43
42	OL 52	11,55	15	3,15	0,95	56	8009	4,15	3.735,2 7	44,8 2
43	OL 42	18,55	13	4,2	0,57	123	7328	23,51	18.340,6 6	220,08
44	OL 42	7,55	15	5,2	0,42	92	2623	2,91	2.622,1 1	31,4 6
45	OL 42	14,55	10	3,2	0,45	94	5637	11,05	6.633,3 4	79,6 0
46	OL 37	29,5	4	2,2	0,55	77	4645	37,22	8.934,5 7	107,21
47	OL 37	20,5	7	6,2	0,65	68	2983	15,87	6.667,9 6	80,0 1
48	OL 42	30,5	10	3,2	0,85	59	3023	30,49	18.294,9 1	219,53
49	OL 52	34,6	3	2,15	0,95	104	4251	69,16	12.450,4 6	149,40
50	OL 42	25,55	8	4,15	0,57	49	9245	17,77	8.529,9 5	102,35
51	OL 42	7,5	11	2,2	0,42	77	6279	2,40	1.588,1 2	19,0 5
52	OL 37	35,5	12	3,2	0,67	70	5432	49,01	35.286,9 9	423,44
53	OL 37	16,55	4	5,2	0,28	63	4011	9,58	2.300,7 8	27,6 0
54	OL 52	21,5	8	4,2	0,81	43	8835	11,04	5.300,4	63,6

									6	0
55	OL 42	24,5	9	3,2	0,55	57	4251	19,00	10.264,27	123,17
56	OL 52	28,6	7	2,2	0,65	92	2919	41,80	13.987,11	210,70
57	OL 52	18,6	7	3,2	0,85	84	7346	16,14	6.780,81	81,37
58	OL 37	10,6	5	6,2	0,95	55	3404	3,43	1.029,96	12,35
59	OL 42	9,6	10	4,2	0,57	93	3998	4,76	2.856,96	34,28
60	OL 37	22,55	9	6,25	0,42	132	2459	37,29	20.136,69	241,64
61	OL 37	8,55	4	4,15	0,67	94	6066	3,81	916,21	10,99
62	OL 52	19,5	4	6,15	0,28	59	2459	12,46	2.991,30	35,89
63	OL 52	35,5	5	3,15	0,81	57	8201	39,90	11.972,37	143,66
64	OL 52	16,55	7	4,15	0,77	92	6255	13,99	5.879,77	70,55
65	OL 42	21,5	6	2,15	0,77	84	2983	21,57	7.765,78	93,18
66	OL 42	24,5	10	4,15	0,33	90	3023	30,01	18.007,45	216,09
67	OL 42	28,6	13	5,1	0,88	65	4251	29,53	23.039,20	276,47
68	OL 42	18,6	15	6,1	0,37	55	2919	10,57	9.513,89	114,16
69	OL 52	10,6	10	4,1	0,19	93	7346	5,80	3.483,16	41,79
70	OL 52	9,6	12	3,15	0,42	132	5400	6,78	4.866,04	58,39
71	OL 52	22,55	7	4,15	0,57	94	9023	26,55	11.153,15	133,83
72	OL 52	14,55	15	5,1	0,42	59	3404	6,95	6.245,22	74,94
73	OL 37	29,5	13	6,1	0,67	77	3998	37,22	29.037,34	348,44
74	OL 37	20,5	15	4,1	0,28	45	2459	10,50	9.455,62	113,46
75	OL 37	30,5	10	5,1	0,81	50	7291	25,84	15.504,16	186,05

76	OL 42	34,6	4	5,15	0,77	77	5643	51,21	12.290,84	147,49
77	OL 52	25,55	7	4,15	0,33	46	2459	16,68	7.006,74	84,08
78	OL 42	7,5	10	6,15	0,88	57	7291	1,78	1.068,75	12,82
79	OL 52	35,5	3	3,15	0,37	92	5643	64,42	11.504,30	139,13
80	OL 37	16,55	8	4,15	0,19	73	6856	11,18	5.331,96	63,98
81	OL 42	21,5	7	5,2	0,4	33	4251	8,47	3.559,32	42,71
82	OL 37	15,55	5	3,2	0,15	52	6758	6,98	2.095,62	25,14
83	OL 37	21,55	10	2,2	0,5	73	10256	18,83	11.300,46	135,60
84	OL 52	13,55	9	6,2	0,45	56	6279	5,71	3.084,52	37,01
85	OL 52	27,55	4	3,2	0,55	123	5432	51,86	12.447,64	149,37
86	OL 52	8,55	4	2,15	0,65	92	2410	3,73	896,72	10,76
87	OL 42	9,55	5	4,15	0,85	94	5301	4,76	1.428,83	17,14
88	OL 42	16,55	7	2,2	0,95	77	10956	11,77	4.921,11	59,05
89	OL 42	21,5	6	3,2	0,57	77	4011	19,77	7.118,65	85,42
90	OL 42	24,5	10	5,2	0,42	70	3309	23,34	14.005,83	168,07
91	OL 37	28,6	5	2,05	0,2	63	2459	28,62	8.588,58	103,06
92	OL 37	18,6	13	5,05	0,9	43	8201	8,26	6.446,38	77,35
93	OL 52	10,6	15	4,05	0,6	57	8201	3,55	3.202,26	38,42
94	OL 52	9,6	10	3,2	0,1	92	6255	4,71	2.826,24	33,91
95	OL 52	22,55	12	3,1	0,4	94	2983	26,55	19.119,69	229,43
96	OL 42	8,55	8	4,1	0,15	93	6066	3,77	1.812,94	21,75
97	OL 42	15,55	20	5,1	0,5	110	2459	14,77	17.732,11	212,78

									8	
98	OL 42	14,55	11	2,2	0,45	87	8221	10,23	6.753,3 1	81,3 9
99	OL 52	29,5	6	3,2	0,55	71	5351	34,32	12.357,5 5	148,29
100	OL 37	20,5	9	5,2	0,65	73	1097 6	17,04	9.203,4 7	110,44

**Tab.6**

**e) Descrierea modului de utilizare a programului**

Programul utilizat pentru demonstrarea ideilor stiintifice este reprezentat de mai multe module software realizate in Visual FoxPro si C++, care apeleaza biblioteca matematica MatLab.

In interfata program principala utilizatorul poate selecta optiunile cu cele 3 operatii. Se selecteaza operatia, iar pentru fiecare operatie se seteaza diferit in functie de cerintele clientului, folosind Tab-ul "Definire cerinte de lucru-sudare". In cazul operatiei de sudare se introduc cerintele clientului, si pentru cazul particular considerat:

- tipul de material de sudare: OL 37;
- tipul de sudura: de colt;
- lungime cordon de sudura: 350 mm;
- numar de treceri: 4;
- numar de bucati: 80 piese.

Secventa este urmata de calcularea distantei comune conform celor aratate la punctelele anterioare si compararea acesteia cu o distanta comuna minima stabilita apriori, astfel incat valorile variabilelor sa se concentreze intr-o vecinatate a valorilor cerintelor clientului si sa faca posibila apelarea la un model liniar de rezolvare a problemei de identificare continua si de conducere adaptiv-optimala a proceselor de fabricatie.

Rezulta astfel un tabel ordonat dupa distentele comune cele mai mici, cu valori mai mici decat 160, avand 17 valori (Fig. 11).

	V1	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	Dist.comună
OL 37	345,00	13,00	204,00	9,15	4,85	59,00	10256,00	29,990	8820,499	44,102	23,388	
OL 37	382,00	7,00	205,00	10,20	5,55	94,00	10956,00	28,627	8378,533	26,294	35,057	
OL 37	390,50	4,00	207,00	9,20	5,60	70,00	7732,00	12,574	3644,666	18,223	41,716	
OL 37	401,00	10,00	204,00	8,20	5,45	73,00	4011,00	33,176	9757,666	48,788	51,827	
OL 37	400,50	13,00	198,00	5,15	6,20	93,00	3877,00	53,262	16140,149	80,701	52,917	
OL 37	401,00	9,00	197,00	6,75	5,05	94,00	7291,00	37,128	11308,199	56,541	53,123	
OL 37	400,50	15,00	199,00	1,20	4,15	63,00	8201,00	41,842	12615,749	63,079	54,408	
OL 37	382,00	5,00	192,00	8,20	3,95	28,00	6758,00	5,704	1782,666	8,913	61,066	
OL 37	301,50	13,00	211,00	5,25	4,95	43,00	8201,00	19,756	5617,949	28,089	61,662	
OL 37	437,00	9,00	203,00	10,20	7,10	132,00	5301,00	58,549	17305,199	86,526	101,479	
OL 37	455,00	4,00	215,00	7,20	6,05	55,00	5432,00	11,956	3336,666	16,683	107,935	
OL 37	475,00	9,00	189,00	9,25	4,15	65,00	9245,00	29,177	9262,499	46,312	125,996	
OL 37	476,50	7,00	197,00	10,20	3,75	63,00	3404,00	22,998	7004,549	35,023	127,672	
OL 37	476,50	4,00	215,00	8,10	5,35	123,00	5643,00	28,002	7814,599	39,072	133,609	
OL 37	499,00	10,00	196,00	10,20	3,95	77,00	4011,00	41,838	12807,666	64,038	149,151	
OL 37	499,00	6,00	209,00	11,25	5,15	90,00	4251,00	31,287	8981,999	44,909	149,349	
OL 37	503,50	9,00	204,00	5,10	4,85	103,00	6758,00	52,898	15558,149	77,791	155,294	

Fig. 12 tabel ordonat dupa distentele comune cele mai mici

In continuare are loc validarea rezultatelor privind distanta minima si afisarea unui mesaj privind analizarea cerintelor de lucru si precizarea numarului de campuri determinate cu distanta comuna minima.

Se trece la introducerea si procesarea datelor privind regimul de lucru (Fig. 12). In acest moment se introduc urmatoarele date:

- timp maxim de sudare: 9000 s;
- intervalul de intensitate a curentului: 190-210 A;
- intervalul vitezei de sudate: 4-8 mm/s.

In urma compararii cu valoarea restrictiei timp si a variabilelor dependente calculate pe baza modelului liniar au rezultat, in cazul nostru, 77 de date care sunt datele utilizate la negociere (Fig. 12), tabelul de solutii (Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16).



Report Designer - opt\_i fix - Page 1 - Microsoft Visual FoxPro

Sudare

Tip material : OL 37  
Tip sudura : COLT

Lungime cordon sudurii : 350,00  
Numar de treceri : 4  
Numar de bucati : 80

Timp maxim de sudare : 9000,00  
Intensitate curent de la : 190 la 210  
Viteza de sudare de la : 4 la 8

Pag. 1

Nr. crt.	Tip material	Tip sudura	Lung.cordon sudura (mm)	Nr. trec.	Intens. curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Cantitate sama (m)	Nr. buc.	Timp de sudare (s)	Consum de energie (kwh)	Cost pe operatie (le)	Cantitate deseur (kg)
1	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	8,000	6,090	80,000	8386,790	12,853	3478,925	13,429
2	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	7,600	6,090	80,000	8399,470	12,959	3512,705	13,717
3	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	7,200	6,080	80,000	8412,140	13,064	3545,486	14,004
4	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	6,800	6,080	80,000	8424,820	13,169	3578,266	14,291
5	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	6,400	6,070	80,000	8437,490	13,275	3611,047	14,579
6	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	6,000	6,070	80,000	8450,170	13,380	3643,827	14,866
7	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	5,600	6,070	80,000	8462,840	13,486	3676,608	15,153
8	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	5,200	6,060	80,000	8475,510	13,591	3709,388	15,440
9	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	8,000	6,020	80,000	8471,430	13,415	3709,713	14,493
10	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	4,800	6,060	80,000	8488,190	13,696	3742,169	15,728
11	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	7,600	6,020	80,000	8484,110	13,521	3742,494	14,781
12	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	4,400	6,060	80,000	8500,860	13,602	3774,949	16,015
13	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	7,200	6,010	80,000	8496,780	13,626	3775,274	15,068
14	OL 37	COLT	350,000	4,000	210,000	4,000	6,050	80,000	8513,540	13,907	3807,730	16,302
15	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	6,800	6,010	80,000	8509,460	13,731	3808,055	15,355
16	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	6,400	6,010	80,000	8522,130	13,837	3840,835	15,643
17	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	6,000	6,000	80,000	8534,810	13,942	3873,616	15,930
18	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	5,600	6,000	80,000	8547,480	14,047	3906,396	16,217
19	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	5,200	5,990	80,000	8560,150	14,153	3939,177	16,505
20	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	8,000	5,950	80,000	8556,070	13,977	3939,502	15,557
21	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	4,800	5,990	80,000	8572,830	14,258	3973,957	16,792
22	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	7,600	5,950	80,000	8568,750	14,083	3972,282	15,845
23	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	4,400	5,990	80,000	8585,500	14,363	4004,738	17,079
24	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	7,200	5,940	80,000	8581,420	14,188	4005,063	16,132

Record: 25/77 Record Unlocked NUM CAPS

Fig. 13 primul ecran cuprinzand tabelul cu solutii

Report Designer - opt\_i fix - Page 2 - Microsoft Visual FoxPro

Sudare

Tip material : OL 37  
Tip sudura : COLT

Lungime cordon sudurii : 350,00  
Numar de treceri : 4  
Numar de bucati : 80

Timp maxim de sudare : 9000,00  
Intensitate curent de la : 190 la 210  
Viteza de sudare de la : 4 la 8

Pag. 2

Nr. crt.	Tip material	Tip sudura	Lung.cordon sudura (mm)	Nr. trec.	Intens. curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Cantitate sama (m)	Nr. buc.	Timp de sudare (s)	Consum de energie (kwh)	Cost pe operatie (le)	Cantitate deseur (kg)
25	OL 37	COLT	350,000	4,000	208,000	4,000	5,980	80,000	8596,160	14,469	4037,516	17,367
26	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	6,800	5,940	80,000	8594,100	14,293	4037,843	16,419
27	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	6,400	5,940	80,000	8606,770	14,399	4070,624	16,707
28	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	6,000	5,930	80,000	8618,450	14,504	4103,404	16,994
29	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	5,600	5,930	80,000	8632,120	14,609	4136,185	17,281
30	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	5,200	5,920	80,000	8644,790	14,715	4168,965	17,569
31	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	8,000	5,880	80,000	8640,720	14,539	4169,290	16,821
32	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	4,800	5,920	80,000	8657,470	14,820	4201,746	17,856
33	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	7,600	5,880	80,000	8653,390	14,645	4202,071	16,909
34	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	4,400	5,920	80,000	8670,140	14,925	4234,526	18,143
35	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	7,200	5,870	80,000	8666,060	14,750	4234,851	17,196
36	OL 37	COLT	350,000	4,000	206,000	4,000	5,910	80,000	8682,820	15,031	4267,307	18,431
37	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	6,800	5,870	80,000	8678,740	14,855	4267,632	17,483
38	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	6,400	5,870	80,000	8691,410	14,961	4300,412	17,771
39	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	6,000	5,860	80,000	8704,090	15,066	4333,193	18,058
40	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	5,600	5,860	80,000	8716,760	15,171	4365,973	18,345
41	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	5,200	5,850	80,000	8729,430	15,277	4398,754	18,633
42	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	8,000	5,810	80,000	8725,360	15,101	4399,078	17,685
43	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	4,800	5,850	80,000	8742,110	15,382	4431,534	18,920
44	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	7,600	5,810	80,000	8738,030	15,207	4431,859	17,973
45	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	4,400	5,850	80,000	8754,780	15,487	4464,315	19,207
46	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	7,200	5,800	80,000	8750,700	15,312	4464,639	18,260
47	OL 37	COLT	350,000	4,000	204,000	4,000	5,840	80,000	8767,460	15,593	4497,095	19,495
48	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	6,800	5,800	80,000	8763,380	15,417	4497,420	18,547

Record: 49/77 Record Unlocked NUM CAPS

Fig. 14 al doilea ecran cuprinzand tabelul cu solutii

Report Designer - opt\_i.frx - Page 3 - Microsoft Visual FoxPro

Sudare

Tip material : OL 37  
Tip sudură : COLT

Lungime cordon sudură : 350,00  
Număr de treceri : 4  
Număr de buciți : 80

Temp maxim de sudare : 9000,00  
Intensitate curent de la : 190 la 210  
Viteza de sudare de la : 4 la 8

Pag 3

Nr. crt.	Tip material	Tip sudura	Lung.cordon sudura (mm)	Nr. trec.	Intens. curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Capacitate sarma (m)	Nr. buc.	Temp de sudare (s)	Consum de energie (kwh)	Cost pe operatie (lei)	Capacitate deseuri (kg)
49	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	6,400	5,800	80,000	8776,050	15,523	4530,200	18,835
50	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	6,000	5,790	80,000	8788,730	15,528	4562,981	19,122
51	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	5,600	5,790	80,000	8601,400	15,733	4595,761	19,409
52	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	5,200	5,790	80,000	8814,070	15,839	4628,542	19,697
53	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	8,000	5,740	80,000	8810,000	15,563	4628,867	18,750
54	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	4,800	5,780	80,000	8626,750	15,944	4661,322	19,964
55	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	7,600	5,740	80,000	8822,670	15,769	4661,647	19,037
56	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	4,400	5,780	80,000	8839,420	16,049	4694,103	20,271
57	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	7,200	5,740	80,000	8835,340	15,874	4694,428	19,324
58	OL 37	COLT	350,000	4,000	202,000	4,000	5,770	80,000	8852,100	16,155	4726,883	20,559
59	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	6,800	5,730	80,000	8846,020	15,979	4727,208	19,611
60	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	6,400	5,730	80,000	8860,690	16,085	4759,989	19,899
61	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	6,000	5,720	80,000	8873,370	16,190	4792,769	20,186
62	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	5,600	5,720	80,000	8886,040	16,295	4825,550	20,473
63	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	5,200	5,720	80,000	8898,710	16,401	4858,330	20,761
64	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	8,000	5,670	80,000	8894,640	16,225	4858,655	19,814
65	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	4,800	5,710	80,000	8911,390	16,506	4891,111	21,048
66	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	7,600	5,670	80,000	8907,310	16,330	4891,436	20,101
67	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	4,400	5,710	80,000	8924,060	16,611	4923,891	21,335
68	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	7,200	5,670	80,000	8919,980	16,436	4924,216	20,368
69	OL 37	COLT	350,000	4,000	200,000	4,000	5,700	80,000	8936,740	16,717	4956,672	21,623
70	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	6,800	5,660	80,000	8932,660	16,541	4956,997	20,676
71	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	6,400	5,660	80,000	8945,330	16,646	4989,777	20,963
72	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	6,000	5,650	80,000	8958,010	16,752	5022,558	21,250

Record: 73/77 Record Unlocked

Start Report Designer - opt...

Fig. 15 Al treilea ecran cuprinzand tabelul cu solutii

Report Designer - opt\_i.frx - Page 4 - Microsoft Visual FoxPro

Sudare

Tip material : OL 37  
Tip sudură : COLT

Lungime cordon sudură : 350,00  
Număr de treceri : 4  
Număr de buciți : 80

Temp maxim de sudare : 9000,00  
Intensitate curent de la : 190 la 210  
Viteza de sudare de la : 4 la 8

Pag 4

Nr. crt.	Tip material	Tip sudura	Lung.cordon sudura (mm)	Nr. trec.	Intens. curent (A)	Viteza sudare (mm/s)	Capacitate sarma (m)	Nr. buc.	Temp de sudare (s)	Consum de energie (kwh)	Cost pe operatie (lei)	Capacitate deseuri (kg)
73	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	5,600	5,650	80,000	8970,680	16,857	5055,338	21,538
74	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	5,200	5,650	80,000	8983,350	16,962	5088,119	21,825
75	OL 37	COLT	350,000	4,000	196,000	8,000	5,600	80,000	8979,280	16,787	5088,444	20,878
76	OL 37	COLT	350,000	4,000	198,000	4,800	5,640	80,000	8996,030	17,068	5120,899	22,112
77	OL 37	COLT	350,000	4,000	196,000	7,600	5,600	80,000	8991,950	16,892	5121,224	21,165

Record: EOF/77 Record Unlocked

Start Report Designer - opt...

Fig. 16 al patrulea ecran cuprinzand tabelul cu solutii

## **f) Concluzii**

In cazul holonilor izolati tehnica de modelare simulata cu ajutorul programului descris mai sus se aplica atunci cand sunt necesare operatii singulare pe un anumit tip de piesa. Astfel, tabloul de solutii rezultat in urma aplicarii tehnicii va fi folosit pentru negocierea conditiilor pentru o singura operatie.

Daca ar fi sa extrapolam aceasta idee la nivelul unei firme, se poate afirma faptul ca are loc o negociere intre holonul IMM care este clientul si holonul IMM care poate realiza o anumita operatie. Negocierea este libera, iar independenta holonilor este asigurata deoarece tehnica ofera un set de solutii dintre care se va negocia solutia viabila pentru ambele parti. Solutia consta intr-un timp de realizare si un cost transformat in pret pentru client si in parametrii de proces pentru furnizorul operatiei. Acest lucru se realizeaza in conditiile de respectare a caracteristicilor dimensionale, de material, de calitate ale piesei si in conditiile respectarii unui regim de lucru, consum de energie si de material optime.

## **Obiectivul 2. Implementarea pilot a sistemului de conducere adaptiv-optimala in cazul unui strung experimental comandat numeric**

Sistemul de conducere adaptiv-optimala dezvoltat in cadrul proiectului a fost implementat pilot in cazul unui strung experimental comandat numeric, ce a fost realizat prin retrofitingul unui strung frontal existent in laborator, la care s-a implementat o comanda numerica bazata pe noul principiu, dezvoltat in cadrul proiectului. Scopul acestei masini este validarea noului concept de conducere dezvoltat in cadrul proiectului. Testele experimentale au pus in evidenta faptul ca sistemul de conducere functioneaza normal, precizia de prelucrare se poate imbunatati de 2 pana la 5 ori, economicitatea procesului poate fi imbunatatita cu 21 pana la 35%.

In plus, testele au aratat ca, prin monitorizarea online a atributelor ( precizie, calitate, stabilitate, economicitate si ecologicitate), operatorul are pentru prima data posibilitatea de a implementa politici manageriale (si chiar politici comerciale), astfel incat punctul de functionare al masinii, in fiecare moment in care aceasta prelucreaza semifabricatul, sa fie plasat optimal in domeniul de functionare al masinii.

## **Obiectivul 2. Implementarea pilot a sistemului de conducere adaptiv-optimala in cazul unui strung experimental comandat numeric**

Sistemul de conducere adaptiv-optimala dezvoltat in cadrul proiectului a fost implementat pilot in cazul unui strung experimental comandat numeric, ce a fost realizat prin retrofitingul unui strung frontal existent in laborator, la care s-a implementat o comanda numerica bazata pe noul principiu, dezvoltat in cadrul proiectului. Scopul acestei masini este validarea noului concept de conducere dezvoltat in cadrul proiectului. Testele experimentale au pus in evidenta faptul ca sistemul de conducere functioneaza normal, precizia de prelucrare se poate imbunatati de 2 pana la 5 ori, economicitatea procesului poate fi imbunatatita cu 21 pana la 35%.

In plus, testele au aratat ca, prin monitorizarea online a atributelor ( precizie, calitate, stabilitate, economicitate si ecologicitate), operatorul are pentru prima data posibilitatea de a implementa politici manageriale (si chiar politici comerciale), astfel incat punctul de functionare al masinii, in fiecare moment in care aceasta prelucreaza semifabricatul, sa fie plasat optimal in domeniul de functionare al masinii.

## Activitatea 2.1 **Realizarea unei masini prototip dotata cu un sistem de conducere holarhic-atributiva**

### 2.1.1 Realizarea masinii sub aspect conceptual

În etapele anterioare ale acestui proiect s-a dezvoltat la nivel conceptual o nouă clasă de mașini tehnologice a căror conducere se realizează folosind o abordare holistic integrată. Potrivit conceptului dezvoltat, conducerea sistemelor tehnologice se realizează folosind o arhitectură structurată pe mai multe nivele (figura 17).

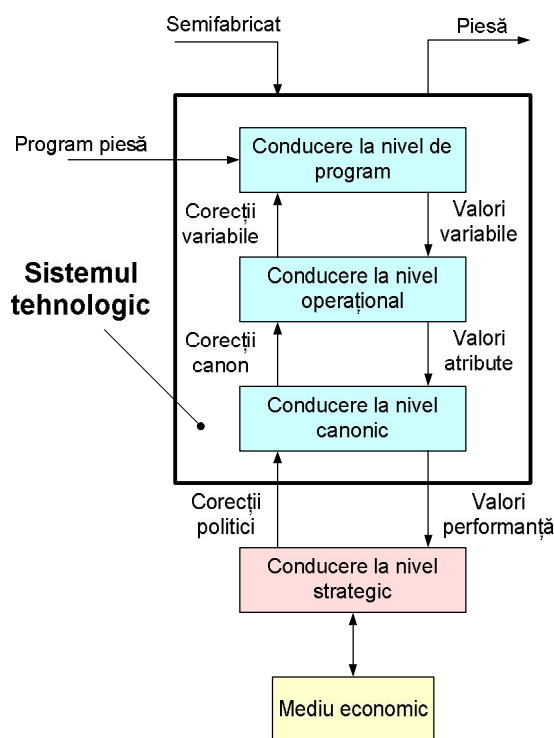


Fig. 17 Transformarea semifabricatului în piesă finită se realizează ca urmare a unui process de conducere bazată pe corecții și estimare a valorilor unor attribute.

Conducerea la nivel de program are drept scop controlul sistemului astfel încât acesta să realizeze piesa impusă prin intermediul programului.

Bineînțeles că în urma prelucrării piesa reală diferă de piesa nominal din punct de vedere al dimensiunilor. De asemenea prin selectarea unui anumit regim de lucru se pot modifica aspectele economice ale procesului de prelucrare. Folosirea unui regim de lucru a cărui intensitate este scăzută se transpune în valori scăzute ale productivității. Costul produsului este de asemenea influențat de intensitatea regimului de așchiere. Dacă regimul de lucru este prea intens, procesul de așchiere poate devine instabil, lucru care afectează calitatea suprafețelor prelucrate, scurtează durabilitatea sculelor utilizate și poate duce chiar la deteriorarea acestora. Sistemul de conducere la nivel operațional are drept scop chiar adaptarea sistemului tehnologic la condițiile actuale ale procesului de așchiere. Astfel sistemul de conducere la nivel operațional elaborează corecții care au rolul de a compensa erorile dimensionale și de a corecta condițiile de așchiere astfel încât acestea să corespundă unui deziderat prestabilit de către sistemul de conducere la nivel, cum ar fi obținerea unui cost de producție scăzut sau creșterea productivității în condițiile păstrării stabilității.

Conducerea la nivel canonic elaborează reguli pentru sistemul de conducere operațională. Aceste reguli (canoane) vizează aspecte legate de stabilirea unor direcții prioritare privind economicitatea, ecologicitatea, precizia de prelucrare sau productivitatea.

*Conducerea la nivel strategic* este realizată de sistemul de management și are la intrare modificările apărute în mediul economic precum și valorile curente ale indicatorilor de performanță, iar la ieșire ajustările de politici, necesare pentru adaptarea la mediu economic a sistemului tehnologic.

În figura 18 se prezintă detaliat structura sistemului de conducere prezentându-se detaliat conducerea la nivel de program și la nivel operațional.

Programul piesă este generat de către unitatea de rulare a modelului parametric software al ansamblului sistem tehnologic-operatie tehnologic. Acest program este transmis unității de control care le trimite părților operative ale mașinii. Programul piesă este alcătuit dintr-o succesiune de puncte aflate pe traiectoria pe care scula trebuie să o parcurgă completate de valoarea intervalelor de timp în care aceste puncte trebuie atinse.

Comanda operațională realizează monitorizarea senzorilor aflați pe mașină. Acești senzori includ sistemul de măsurare al piesei și al semifabricatului în vederea stabilirii mărimii adaosului de prelucrare precum și a mărimii erorii remanente. De asemenea în timpul prelucrării se monitorizează intensitatea procesului de prelucrare, măsurându-se mărimea forței de așchiere, nivelul vibrațiilor sistemului tehnologic, precum și consumul de energie necesar prelucrării.

Datele obținute din monitorizare sunt stocate într-o bază de date unde sunt folosite de către sistemul de învățare care elaborează modele de corecție ai parametrilor de control. Pe baza acestor modele se evaluează corecțiile care trebuie aplicate traiectoriei parametrilor de control. De asemenea sistemul de învățare elaborează modele care sunt folosite pentru evaluarea atributelor.

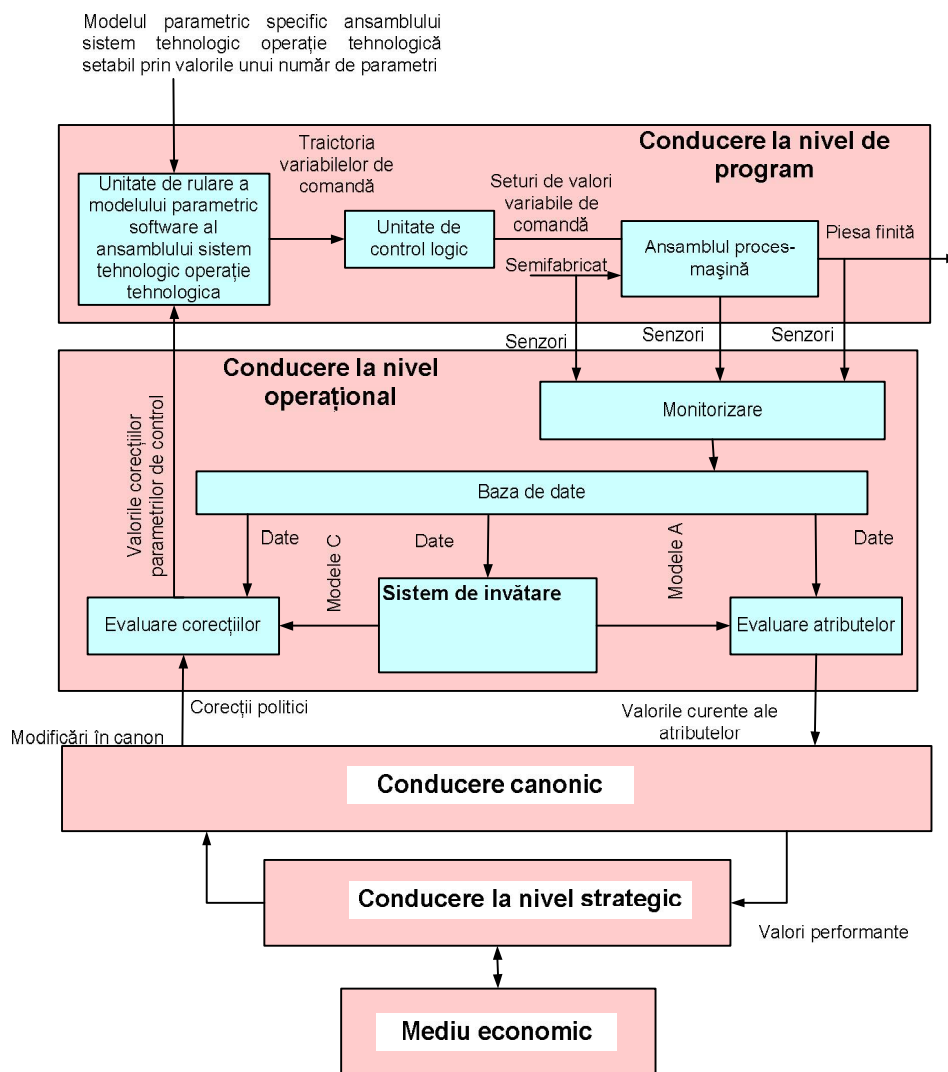


Fig.18 Structura sistemului de conducere conceptual

### 2.1.2 Realizarea masinii sub aspect hardware

Sistemul de comandă prezentat în paragraful anterior este reprezentată o dezvoltare la nivel conceptual care poate fi aplicată unei mari varietăți mari de sisteme tehnologice.

Pentru a valida modelul conceptual propus am realizat o implementare la nivel experimental a conceptului propus pentru cazul unui strung. Pentru aceasta s-a utilizat un strung de producție românească, an de fabricație 1982.

Structura cinematica a mașinii permitea deplasarea celor două sănii, sania longitudinală și sania transversala. Lanțurile cinematice corespunzătoare mișcărilor de avans au ca elemente de transformare a mișcării de rotație în mișcare de translație șuruburi cu bile. Mașina avea în componența sa un cap revolver dotat cu patru posturi de lucru. Capul revolver a fost înlocuit cu o masă rotativă pe care au fost fixate suportul sculei ce va fi folosită pentru procesul de prelucrare și sistemul de măsură prin care au fost monitorizate dimensiunile pieselor după și înainte de prelucrare pentru a se stabili mărimea erorii remanente precum și mărimea adaosului de prelucrare pentru fiecare piesă.

Sistemul de comandă realizat în cadrul acestui proiect cuprinde următoarele elemente:

- unitatea de control logic;
- sistemul de monitorizare;
- un set de fișiere elaborat în urma monitorizării sistemului tehnologic, set ce alcătuiește baza de date,
- un sistem de evaluare a corecțiilor și a atributelor,

Unitatea de control logic folosită pentru comanda la nivel de program a strungului este reprezentată de o structură de controler logic programabil. Controlerul logic programabil are de asemenea rolul unui sistem de achiziție de date, acesta achiziționând informații de la o serie de traductoare și senzori. Controlerul logic programabil nu este totuși folosit pentru a achiziționa date relevante pentru a determina dacă instabilitatea procesului a apărut. Cunoscând valorile tipice ale frecvențelor manifestate la apariția

fenomenului instabilitate, valori situate de obicei pentru procesele de strunjire în intervalul 200Hz-1500Hz, dată fiind rata scăzută de eșantionare (sub 10ms) a controlerului logic programabil, acesta nu ar putea fi folosit pentru a determina apariția fenomenului de instabilitate. Controlerul logic realizează următoarele:

- receptionează lista de comenzi conținută în traiectoriei variabilelor de comandă,
- controlează poziția axelor de lucru ale mașini pe baza listei de comenzi
- controlează viteza arborelui principal al mașinii,
- controlează elementele auxiliare ale masinii,
- gestionează modul de lucru manual în care se pot realiza poziționarea axelor de către operator,
- receptionează informații de la un sistem de măsură laser a deplasărilor,
- contorizează impulsurile provenite de la traductoarele incrementale de poziție aferente celor trei axe, arborelui principal precum și de la un comparator digital cu ieșire în impulsuri în cvadratură.
- Primește informații cu privire la nivelul consumurilor energetice de la variatoarele axelor X și Z precum și de la variatorul arborelui principal

În figurile 19 și 20 se prezintă structura controlerului logic programabil.

Controlerul logic programabil are o structură modulară care cuprinde:

- module de intrări digitale;
- module de ieșiri digitale;
- module specializate pentru comanda axelor de deplasare;
- module specializate pentru funcții de comunicație.
- module cu rol de alimentare cu energie;

Întreaga structură CLP este amplasată într-un rack în care există un modulul ce furnizează tensiunile de 24Vcc și 5Vcc necesare funcționării celorlalte module.

Modulul procesor are rolul de a rula programul de control al întregii structuri CLP. Acest program a fost realizat de către membrii echipei folosind softul de programare PL7Pro. Modulul procesor are de asemenea o memorie în care se stochează lista de comenzi care reprezintă traiectoria variabilelor de comandă precum și valorile înregistrate de la senzorii conectați la controlerul logic programabil.



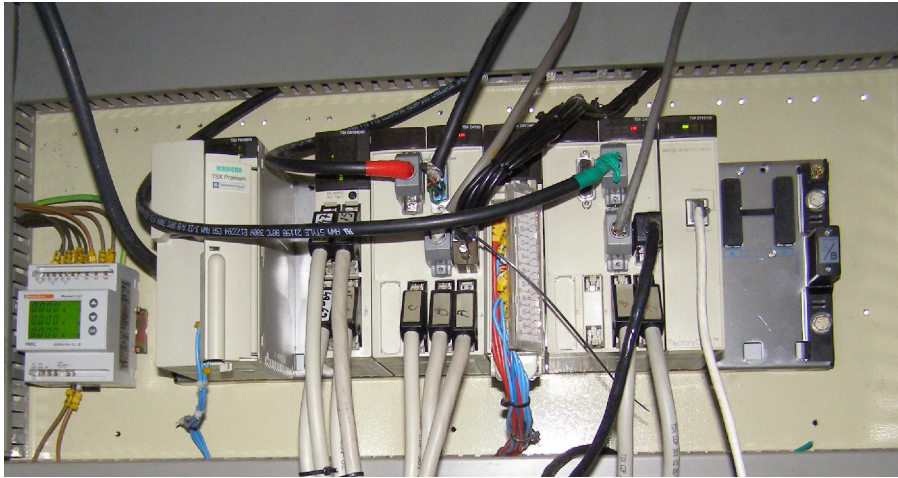


Fig. 19. Controlerul logic programabil folosit pentru controlul sistemului tehnologic experimental

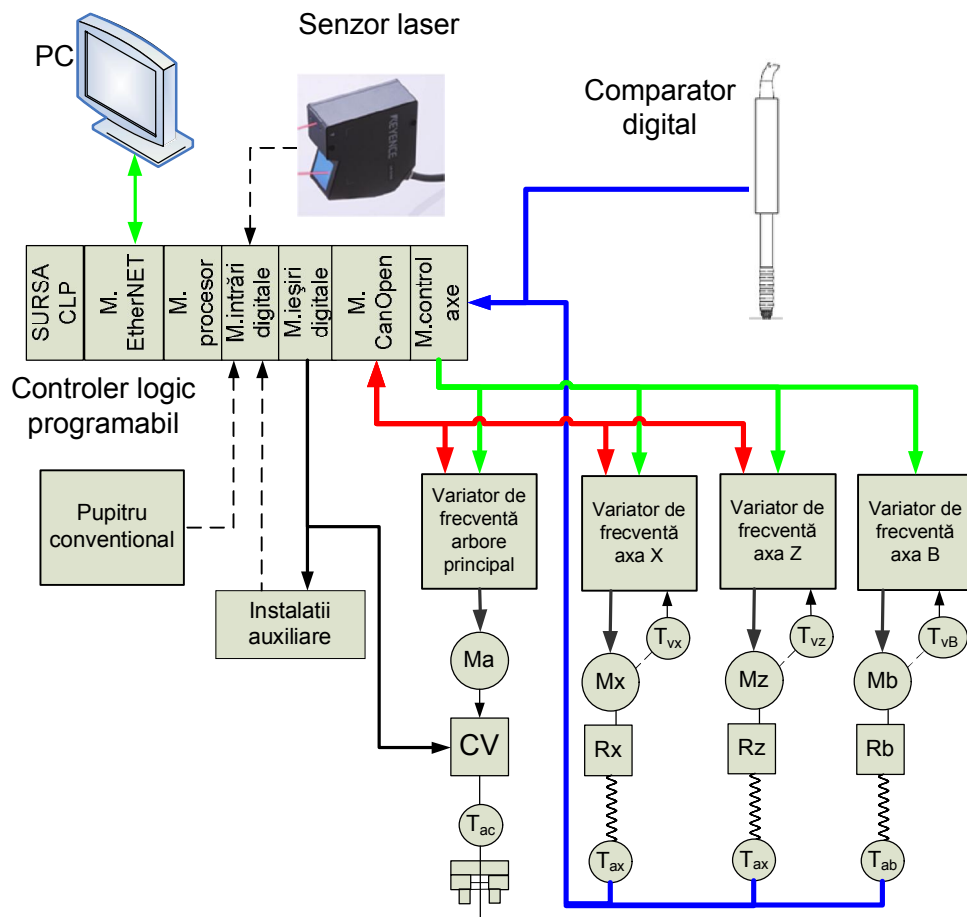


Figura. 20 Structura unității de control

La modulul de intrări digitale este conectat pupitrul pentru comandă convențională care conține butoane și comutatoare care sunt folosite pentru a controla mașina în modul de lucru manual. De asemenea la acest modul este conectat senzorul laser care comunică cu controlerul logic programabil folosind un protocol de comunicație paralel pe 21 de biți.

Modulul de ieșiri digitale este folosit pentru a controla cutia de viteză care modifică turația arborelui principal trepte. Cutia de viteză de viteză este controlată cu ajutorul a patru cuplaje electromagnetice prin alimentarea cărora se pot selecta patru trepte de turație.

Modulele de control ale axelor care sunt în număr de două permit controlul poziției organelor de lucru. Fiecare modul are trei canale de numărare rapidă pentru semnale în cvadratură. Caracteristicile canalelor de numărare rapidă sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Frecvența maximă a impulsurilor (fără multiplicare)	500KHz
Frecvența maximă a impulsurilor (cu multiplicare 4X)	1MHz

Rotatia suruburilor conducătoare aferente axelor X și Z este măsurată cu ajutorul a două traductoare incrementale care au o rezoluție de 5000 de impulsuri pe rotație. Pasul acestor șuruburi este de 5mm. Folosind o multiplicare a impulsurilor cu 4, rezoluția axelor de deplasare este de 0,25μm.

Rotația arborelui principal este măsurată cu ajutorul unui traductor incremental cu rezoluția de 2500 de impulsuri, aceasta înseamnă după aplicarea unei multiplicări de 4, o rezoluție de 2 minute și 9,6 secunde.

Traductorul incremental montat pe masa rotativă are o rezoluție de 80000 de impulsuri pe rotație, prin multiplicare cu 4 rezultă că cea mai mică rotație a mesei rotative care poate fi detectată de sistemul de control este de 4,05 secunde.

Ieșirea compartorului digital este compatibilă cu intrările modulelor de control ale axelor. De aceea comparatorul digital este conectat la unul dintre module. În figura 21 se prezintă comparatorul digital ce a fost montat într-un suport care a fost fixat pe masa rotativă. Comparatorul este produs de Heidenhain de tip ST1278 și are următoarele caracteristici:

Ieșire compatibilă	RS422
Rezoluția obținută prin multiplicare cu 4	1 $\mu\text{m}$
Cursă	12 mm
Acuratețe	$\pm 1 \mu\text{m}$

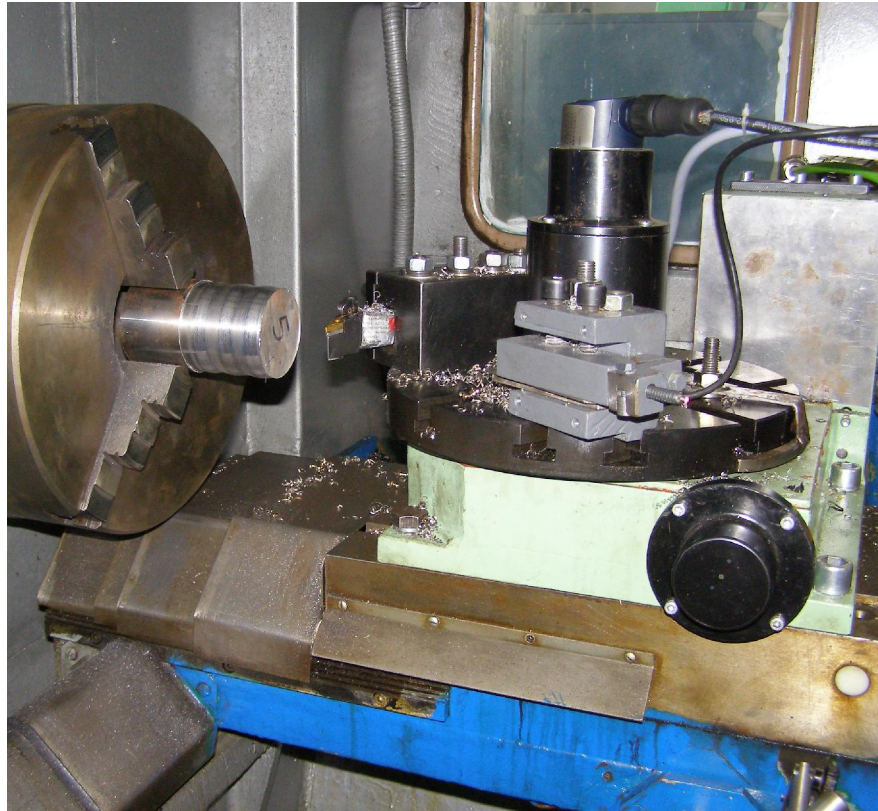


Fig 21. Masa rotativă pe care sunt fixate comparatorul digital si cutitul folosit pentru prelucrare

Pentru comanda variatoarelor axelor de deplasare fiecare modul de control posedă trei ieșiri analogice diferențiale în domeniul  $\pm 10\text{V}$  care au o rezoluție de 13 biți plus un bit de semn.

Pentru axele X și Z pentru controlul vitezei s-au folosit motoare asincrone comandate cu variatoare de viteză Altivar 71. Pentru a îmbunătăți caracteristicile dinamice ale buclelor de viteză, pe axurile motoarelor acestor axe s-au montat traductoare incrementale. Astfel s-a optat pentru controlul vectorial al fluxului acestor motoare ceea ce a dus la creșterea preciziei controlului vitezei.

Pentru controlul vitezei motorului arborelui principal, s-a utilizat tot un variator de frecvență Altivar 71, însă datorită dificultăților datorate mărimii acestui motor (18 KW, cu două turații 2900rpm -1400rpm) nu am putut monta traductoare incrementale pentru a realiza controlul vectorial.

Pentru acționarea mesei rotative am utilizat un servomotor fără perii de 0.75KW (figura 22). Comanda servomotorului s-a realizat folosind un variator Lexium 15. Pentru configurarea variatoarelor Altivar s-a folosit software-ul Powersuite.

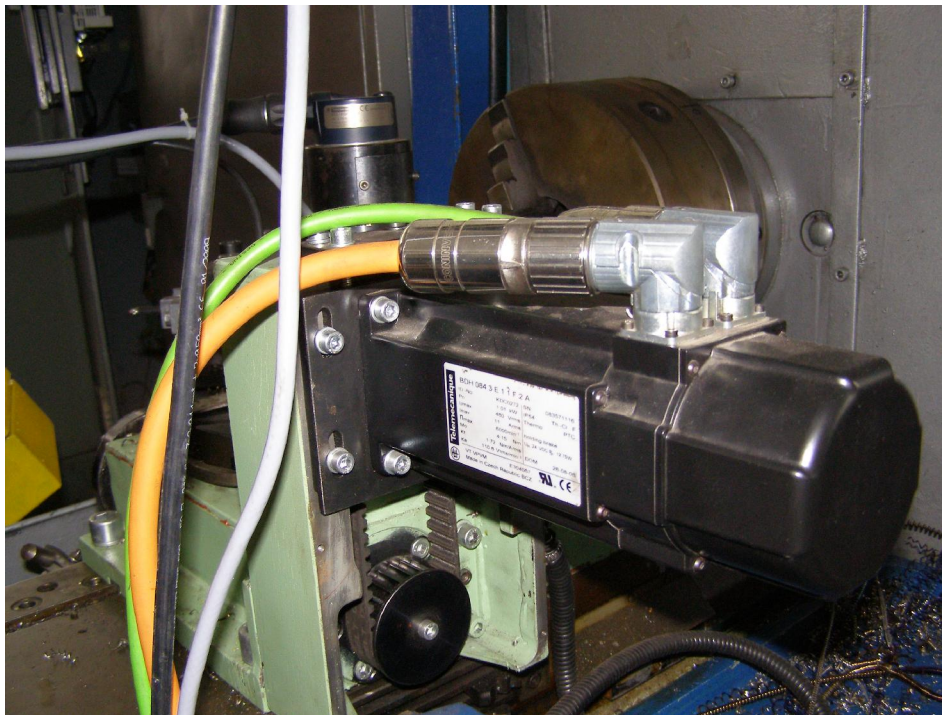


Fig 22. Servomotorul folosit pentru acționarea mesei rotative

Pentru fiecare variator s-au setat următoarele:puterea nominală a motorului și turația, factorul putere al acestuia, modul de control folosit, rezoluția traductorului utilizat în cazul în care se realizează controlul vectorial. De asemenea au fost reglați parametrii buclei de reglaj a vitezei pentru fiecare variator.

Pentru configurarea variatorului de viteză ce controlează turația servomotorului fără perii s-a utilizat pachetul software Unilink.

Variatoarele Altivar 71 au fost conectate la o magistrală CanOpen. Astfel controlerul a putut achizitiona informații cu privire la cuplul dezvoltat și la turația obținută de fiecare motor. În cele din urmă doar informațiile furnizate de variatorului

corespunzător motorului arborelui principal au fost folosite pentru a evalua puterea mecanică dezvoltată și pentru a evalua consumurile energetice ocazionate de prelucrare.

### 2.1.3. Realizarea sistemului de monitorizare și comandă

Sistemul de comandă și monitorizare al sistemului tehnologic experimental are drept element principal un program dezvoltat în Visual C++ care comunică cu sistemul de control al mașinii unelte și cu un sistem de achiziție de date Spider 8 produs de HBM.

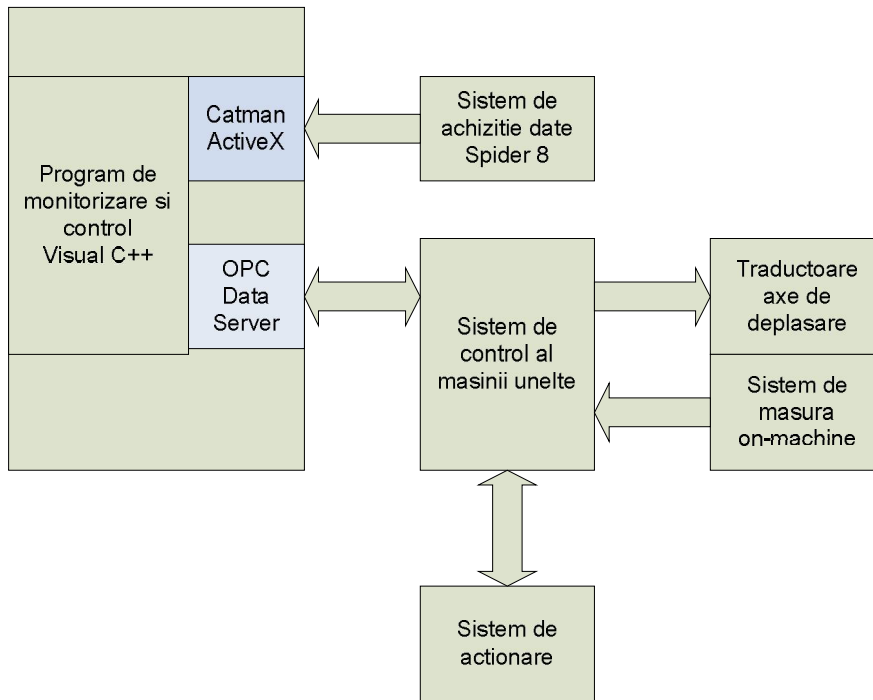


Fig.23 Structura sistemului de monitorizare și comandă



Fig.24 Sistemul de achiziție de date Spider 8

Sistemul de achiziție Spider 8 are cinci canale. Patru dintre acestea pot fi folosite pentru măsurarea folosind punți tensometrice, iar al cincilea pentru a măsura semnale

analogice în domeniile 4-20mA sau -10V,+10V. Pentru a monitoriza variația componentei principale a forței de așchiere, pe cuțitul cu care s-a realizat prelucrarea au fost montate mărci tensometrice conectate în punte.

În tabelul de mai jos sunt prezentate caracteristicile sistemului de achiziție Spider8.

Frecvența maximă de eșantionare	9600Hz
Mărime buffer date	20000 valori
Rată de transfer maximă (conexiune port parallel setat EPP)	76000 valori/s
Clasă de acuratețe pentru canalele la care sunt conectate mărci tensometrice	0.1
Clasă de acuratețe pentru canalul la care s-a conectat accelerometrul	0.2
Liniaritate (exprimată procentual din valoarea nominală)	0.05 %

Pentru măsurarea vibrațiilor a fost utilizat un accelerometru produs de Connection Technology Center Inc. de tip AC140-2A a cărui specificații sunt expuse în tabelul de mai jos. Accelerometrul a fost fixat pe masa rotativă prin fixare cu suport magnetic.

Sensibilitate	100mV/g
Iesire	ICP
Domeniul de frecvență	1÷10000Hz
Frecvența de rezonanță	23000Hz
Domeniul de măsură	-50g÷50g
Domeniul de temperatura	-50÷120 <sup>0</sup> C

Inițial pentru a obține date de la sistemul de achiziție date Spider 8 am folosit programul Catman Expres 3.0 care are în componența sa un modul de data logging. Datele erau salvate în baza de date a programului Catman Expres 3.0 și puteau fi disponibile pentru analiză după ce faza de achiziție se finaliza. Acest lucru nu permitea folosirea datelor furnizate de sistemul de achiziție în timpul prelucrării. Mai mult datele furnizate de acest sistem nu puteau fi corelate cu datele primite de la sistemul de control

al mașinii. Pentru a elimina această problemă am folosit un server ActiveX ce este furnizat cu programul de achiziție de date Spider.

Folosind biblioteca Catman ActiveX se poate crea un obiect care prezintă interfețele prezentate în tabelul de mai jos

catInterface	Interfața principală folosită pentru a accesa funcții folosite pentru gestionarea erorilor, controlul script-urilor definite de utilizator și al
ACQ	Interfață care permite accesul la funcții pentru gestionarea procesului de achiziție de date.
IO	Interfață care permite definirea canalelor IO, sistemelor de achiziție folosite, setarea acestora, citirea bufferului în care sunt stocate valorile intrărilor analogice
DB	Interfață care permite salvarea mărimilor achiziționate în baza de date a programului Catman.
Math	Interfață care permite accesarea unor funcții pentru procesarea datelor aflate în baza de date a programului Catman. Rezultatul procesării este stocat în aceeași bază de date .
FILEMGR	Interfață ce permite folosirea de funcții pentru lucrul cu fișierele.
GUIMGR	Interfață ce poate fi folosită pentru gestionarea de documente online.

În cadrul programului de monitorizare și control am creat un obiect Catman ActiveX, obținând o referință către interfața *catInterface*. La creerea acestui obiect se creează toate interfețele menționate în tabelul de mai sus. Dintre acestea nu am folosit decât primele trei interfețe. Programului de monitorizare și control salvează datele achiziționate în fișiere proprii și de aceea folosirea interfețelor DB și FileMGR nu a fost necesară.

În figura 25 se prezintă modalitatea în care se achiziționează datele de la sistemul de achiziție Spider 8 folosind serverul ActiveX "Catman". În prima fază se creează obiectul catman prin apelarea funcției CreateDispatch, iar dacă operația a reușit se încarcă

fișierul de definiție canalelor aferente punții tensometrice aflate pe cuțit și accelerometrului montat pe masa rotativă. Fișierul conține informații referitoare la scalarea semnalelor de intrare aferente acestor senzori astfel încât acestea să fie exprimate în um/m (deformația specifică a cuțitului datorată momentului încovoietor datorat componentei principale a forței de așchiere) și în m/s<sup>2</sup> (pentru a măsura accelerația vibrației mesei rotative).

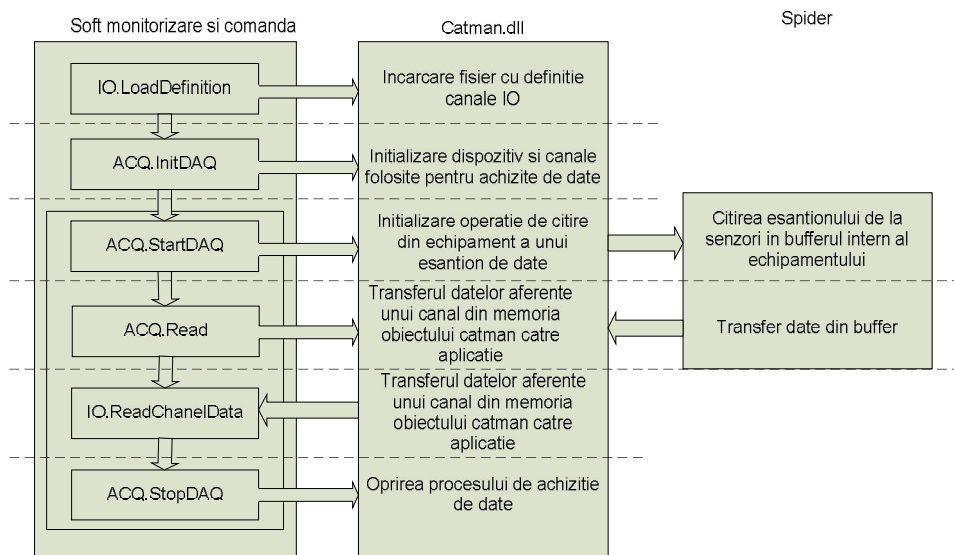


Fig.25 Modalitatea de obtinere a datelor de la sistemul de achizitie Spider 8

### 2.1.3. Structura bazei de date obținută în urma monitorizării

Ciclul de lucru al sistemului de comandă dezvoltat presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Explorarea suprafeței semifabricatului
- Prelucrarea efectivă a piesei
- Explorarea piesei finite în vederea stabilirii erorilor de prelucrare.

Pentru realizarea acestor etape sistemul primește pentru fiecare din ele un fișier text, în care se prezintă lista de comenzi pe care masina trebuie să le execute. Fiecare comandă are următoarea structură:

1	Cota X
2	Cota Z
3	Cota C
4	Cota B



5	Intervalul de timp in care trebuie realizată miscarea
---	---

Sistemul dezvoltat în cadrul proiectului monitorizează datele provenite de la sistemul de măsură on machine (sistem ce se bazează fie pe sistemul palpator fie pe sistemul de măsurare laser a deplasărilor). În urma explorării piesei, atât în timpul ciclului de explorare al semifabricatului cât și în cel de explorare al piesei finite, programul dezvoltat în Visual C++ salvează un fisier text care conține următoarele câmpuri:

1	Nr de ordine al înregistrării
2	Cota X
3	Cota Z
4	Cota C
5	Cota B
6	Mărimea înregistrată de comparatorul digital sau de senzorul laser
7	Numarul de ordine al comenzii de miscare

În timpul prelucrării piesei se înregistrează date într-un alt fisier text care are următoarea structura:

1	Nr de ordine al înregistrării
2	Cota X
3	Cota Z
4	Cota C
5	Cota B
6	Numarul de ordine al comenzii de miscare
7	Puterea debitată de motorul acționării principale.

De asemenea de la sistemul de achiziție de date Spider se înregistrează mărimea componentei principale a forței de așchiere, precum și mărimea furnizată de accelerometrul fixat pe masa rotativă.

## Activitatea 2.2 Testarea masinii prototip in scopul validarii noului concept.

In scopul testarii masinii experimentale a fost derulat un program experimental care, in esenta, consta in:

- Testarea sistemului de comanda numerica in noua versiune, dezvoltata in cadrul proiectului cu scopul de a evalua performanta acestui sistem.
- Testarea sistemului de masurare pe masina pentru a evalua performanta acestuia in fazele de masurare incluse in ciclul programat al masinii.
- Testarea sistemului de monitorizare in scopul de a evalua capacitatea acestuia de evidentiere a valorilor atributelor caracterizante si anume: precizie, stabilitate, economicitate, ecologicitate.
- Testarea sistemului de conducere holarhic-atributiva, in acord cu noul concept dezvoltat in cadrul proiectului si evaluarea performantei acestuia in raport cu sistemul conventional de conducere.

-

### 2.2.1 Testarea sistemului de comanda numerica in noua versiune

In acest scop, a fost considerat cazul in care scula trebuie sa parcurga o traiectorie sinusoidala in vederea prelucrarii piesei test din Fig.26. In cursul deplasarii a fost inregistrata cu frecventa impulsurilor de comanda pozitia comandata si pozitia reala ocupata de scula. Apoi, a fost evaluata diferenta intre cele doua pozitii si influenta vitezei de deplasare a sculei asupra acestei diferente. Rezultatele au aratat ca, pentru valorile curente a vitezei de avans, diferenta este neglijabila, ceea ce conduce la concluzia ca sistemul functioneaza acceptabil.

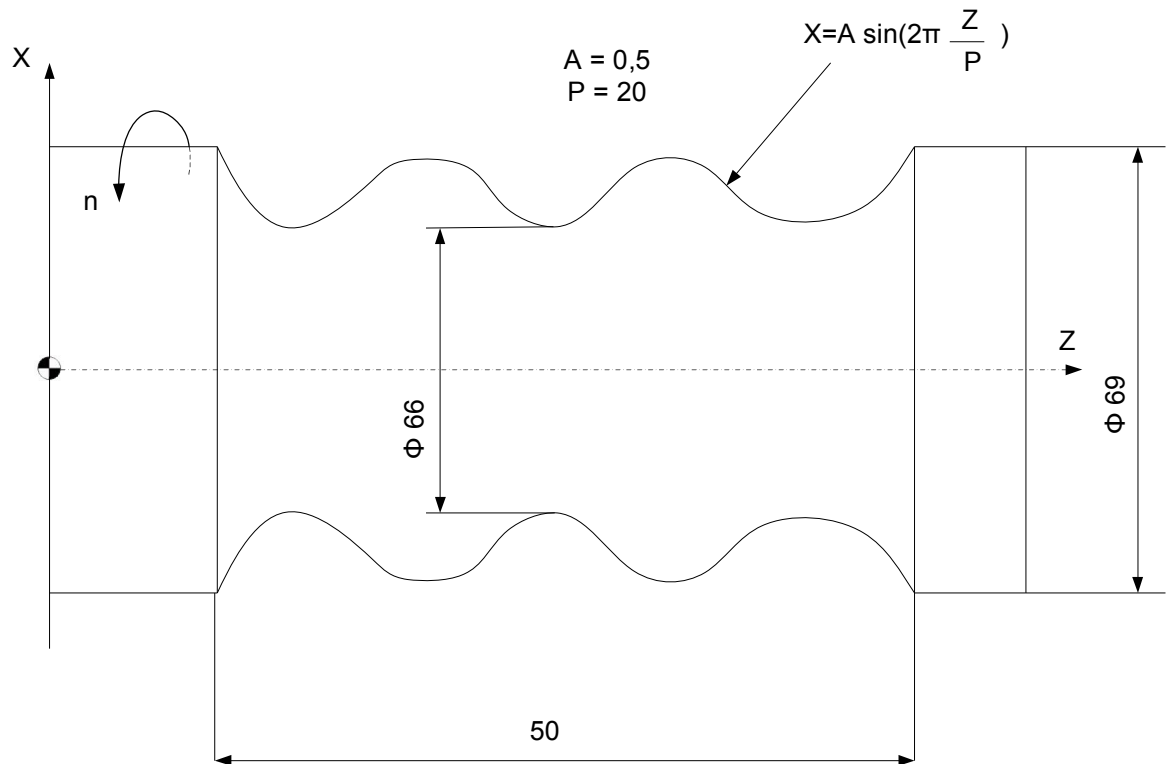


Fig.26 Geometria piesei test

### 2.2.2 Testarea sistemului de masurare pe masina

Sistemul de masurare a fost testat in doua moduri si anume:

- masurarea pe masina a piesei prelucrate si, simultan, masurarea, tot pe masina, folosind un sistem de masurare de referinta, a pozitiei capului de masurare, urmata de comparatia celor doua rezultate astfel obtinute
- masurarea pe masina a piesei prelucrate si repetarea acestei masuratori pe o masina de masurat in coordonate, urmata de comparatia rezultatelor obtinute.

In primul mod de testare, a fost programat ca tinta profilul sinusoidal al piesei test iar rezultatele obtinute sunt cele obtinute in Fig. 27. Se observa o mare diferenta intre cele doua profile, care reprezinta eroarea de sistem si este prezentata in Fig.28. Aceasta este cauzata in principal de jocul de intoarcere, dar si de alte erori ale sistemului. Apoi, a fost compensata eroarea de sistem si s-a repetat testul, obtinandu-se rezultatele prezentate in Fig.29. Eroarea de sistem a fost micsorata, ajungand la valori considerate acceptabile si redate in Fig.30.

In al doilea mod de testare piesa prelucrata a fost re-masurata pe masina CMM, asa cum se arata in Fig.31. Erorile constatate sunt prezentate in Fig. 41.

Tab.1 prezinta nivelul valorii medii si al abaterii medii patratice, in cazul masurarii pe masina si pe CMM. Se poate observa ca aceste evaluari sunt apropiate ceea ce conduce la concluzia ca sistemul de masurare pe masina, realizat in cadrul acestui experiment este acceptabil, evident , cu conditia compensarii erorilor de sistem.

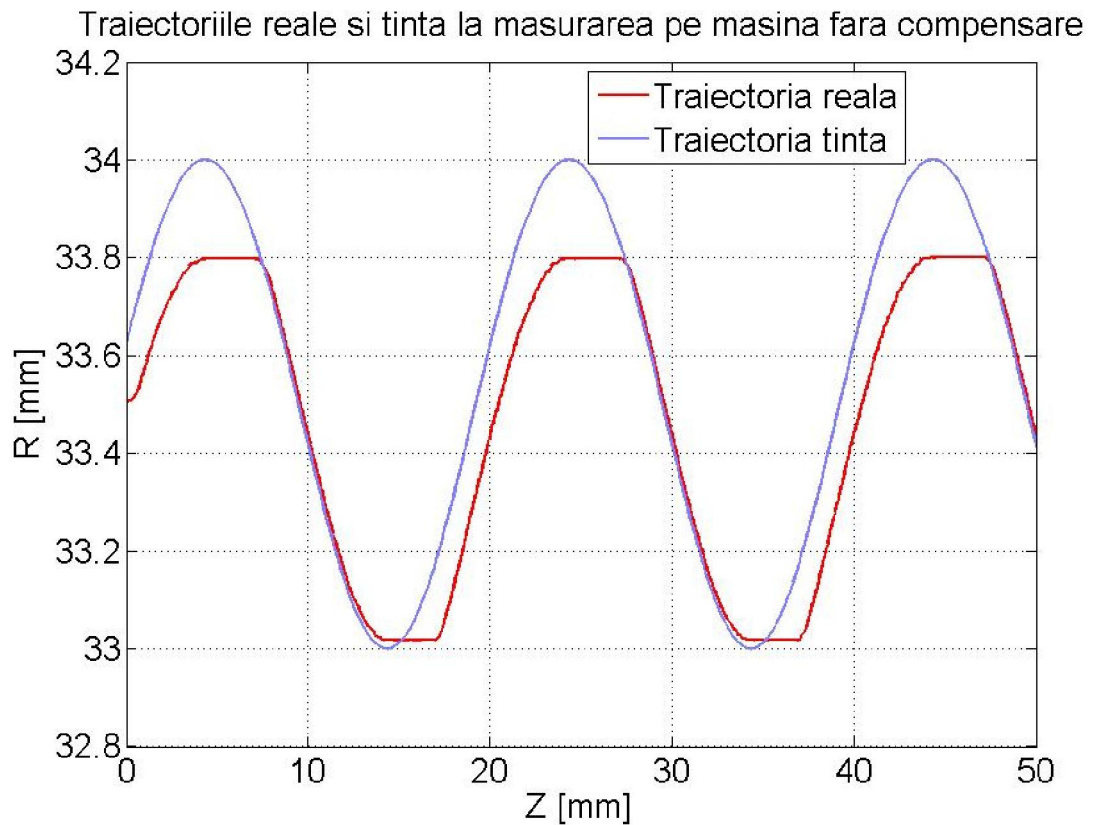


Fig. 27

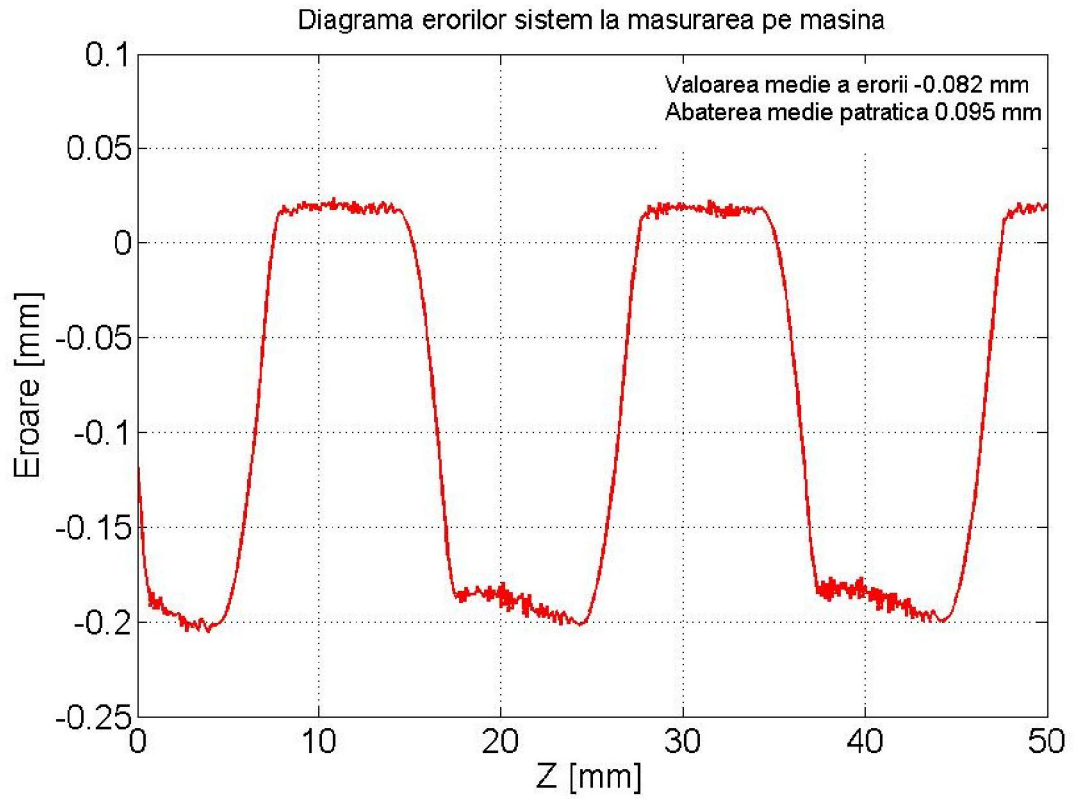


Fig. 28

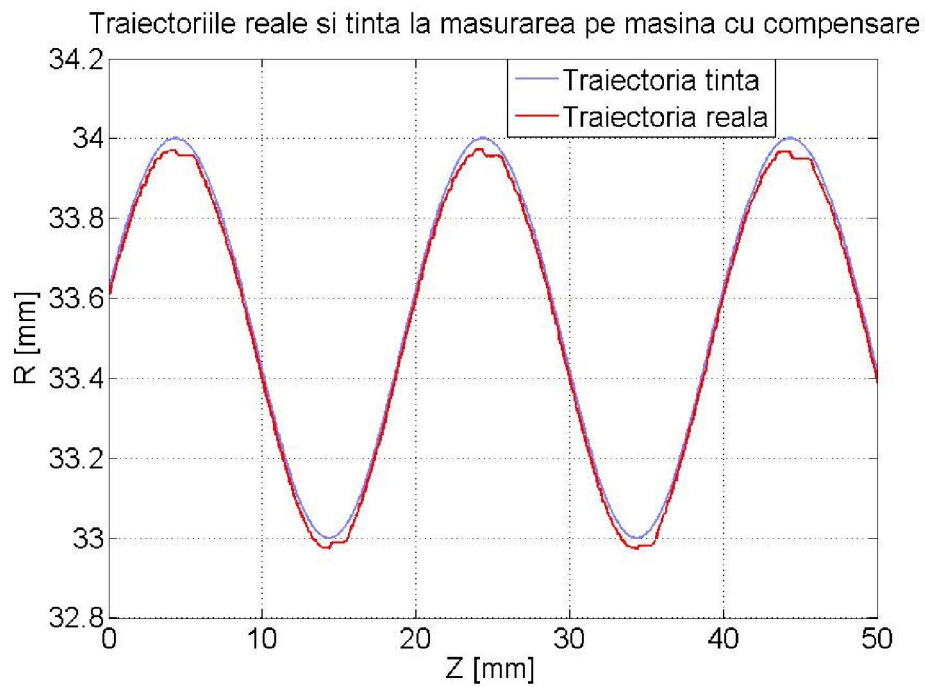


Fig. 29

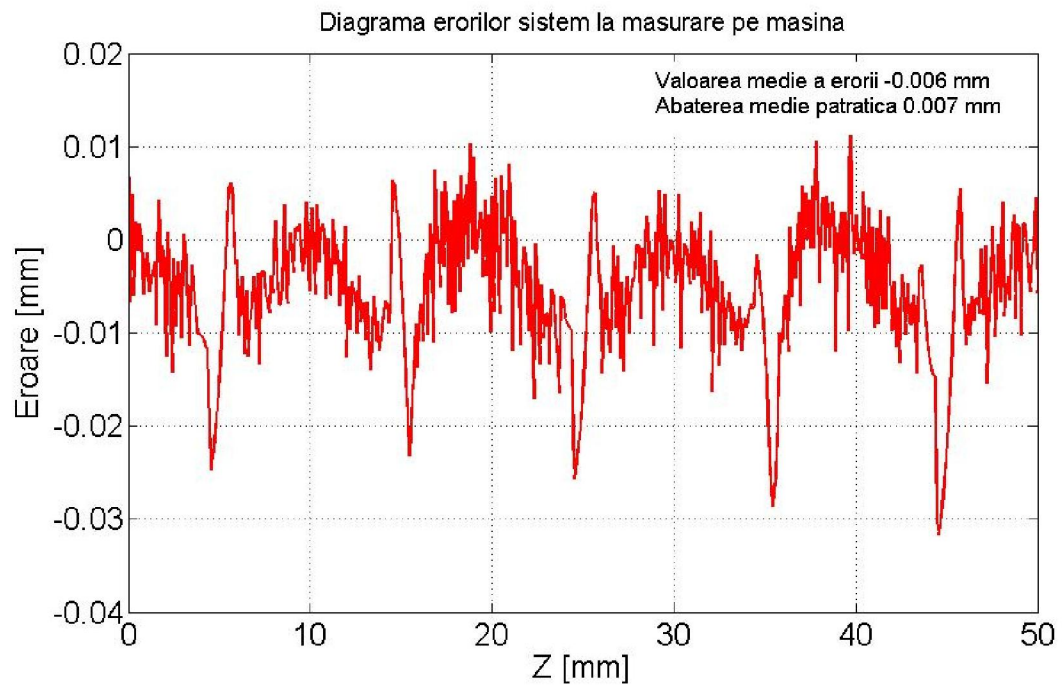


Fig.30

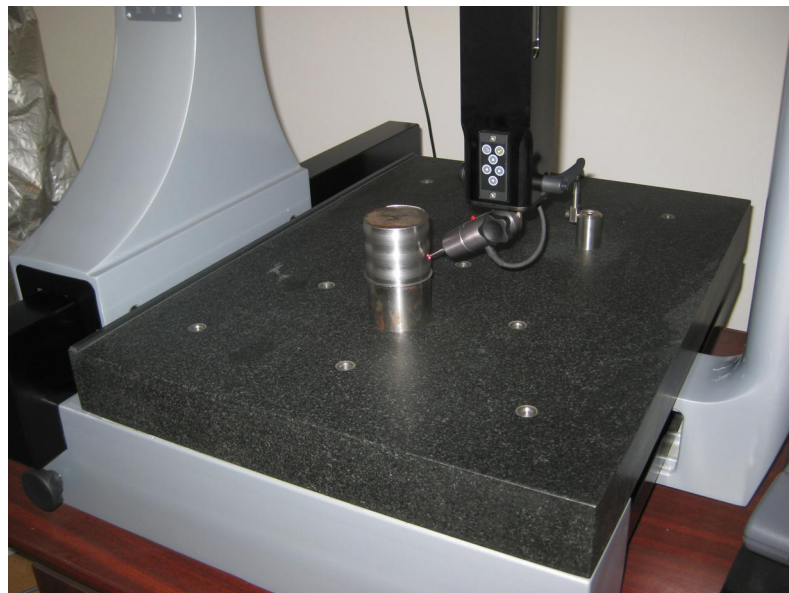


Fig. 31 Masurarea piesei test pe CMM

Tabelul 1 Eroare remanenta evaluata cu sistemul experimental de masurare on-machine si cu CMM

Sistemul de masurare	Eroarea remanenta [mm]	
	Valoarea medie	Abaterea medie patratica
Masurarea pe masina folosind echipamentul experimental	0,005	0,007
Masurare pe masina specializata CMM	0,007	0,011

### 2.2.3 Testarea sistemului de monitorizare

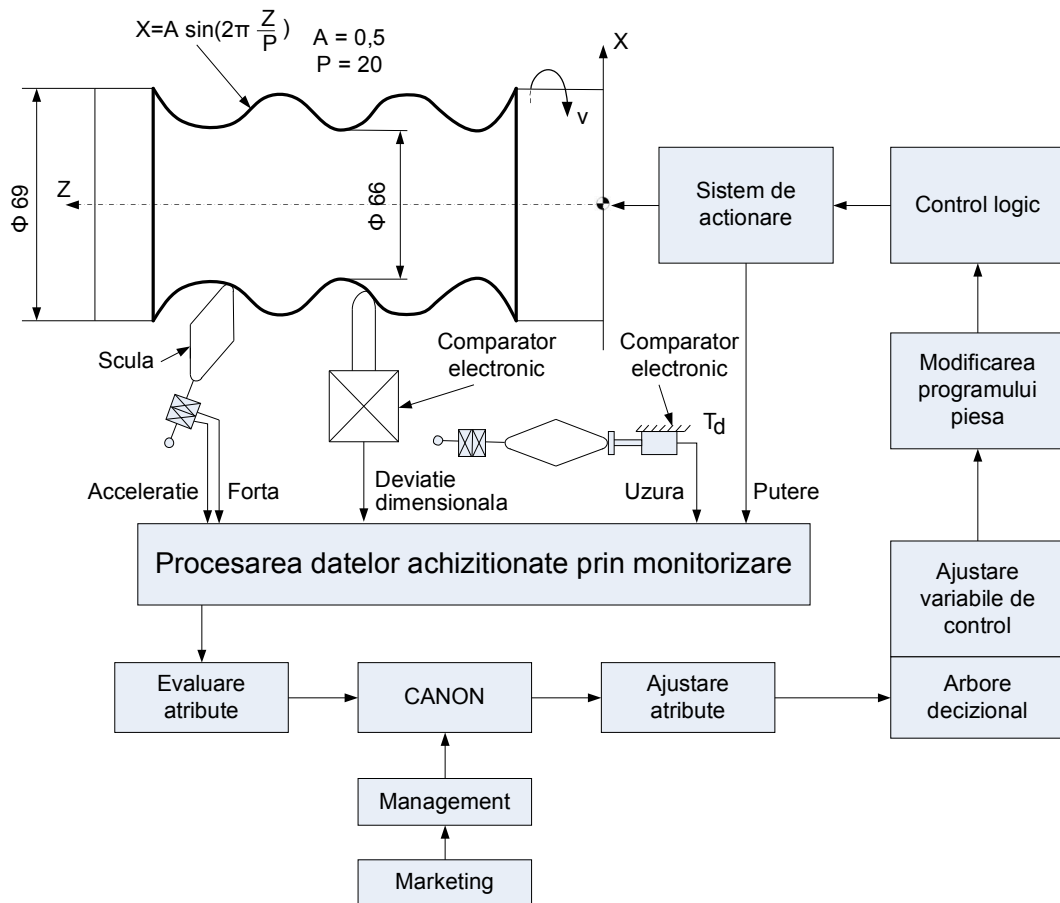


Fig. 25 Schema sistemului de monitorizare si control al masinii experimentale



## 2.2.1 Testarea atributului precizie

Tabelul Eroarea remanenta (1) fara compensare (2) cu compensarea erorilor de sistem si (3) cu compensarea atat a erorilor de sistem cat si a erorilor de proces

Test Nr.	Eroarea remanenta [mm]	
	Valoarea medie	Abaterea medie patratica
1	- 0,043	0,180
2	- 0,035	0,017
3	0,005	0,007

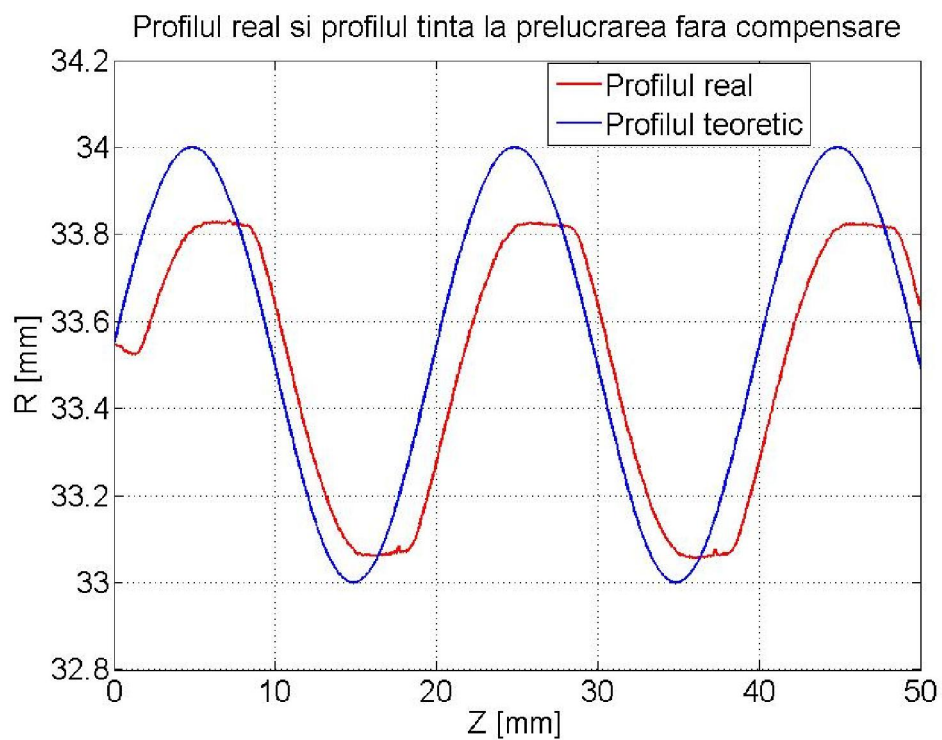


Fig. 34

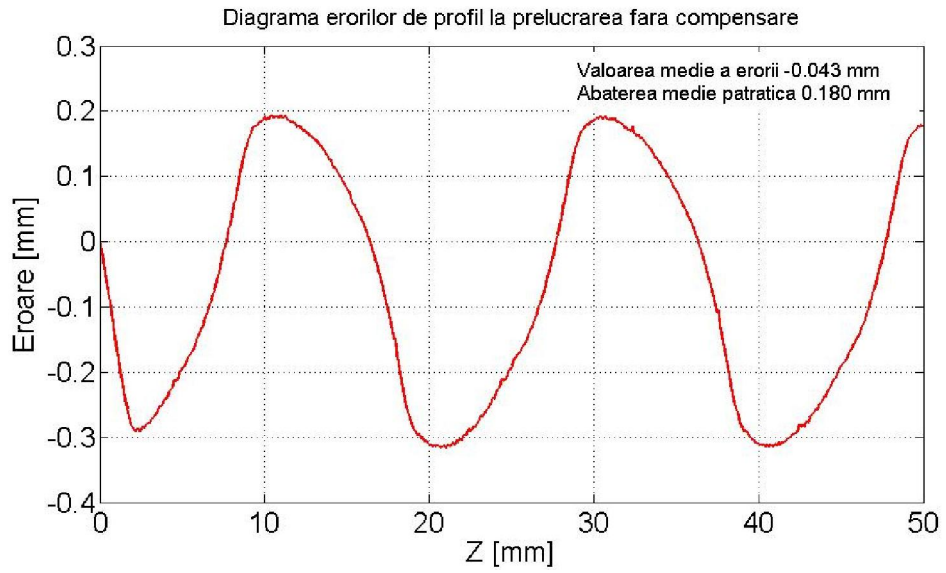


Fig.35

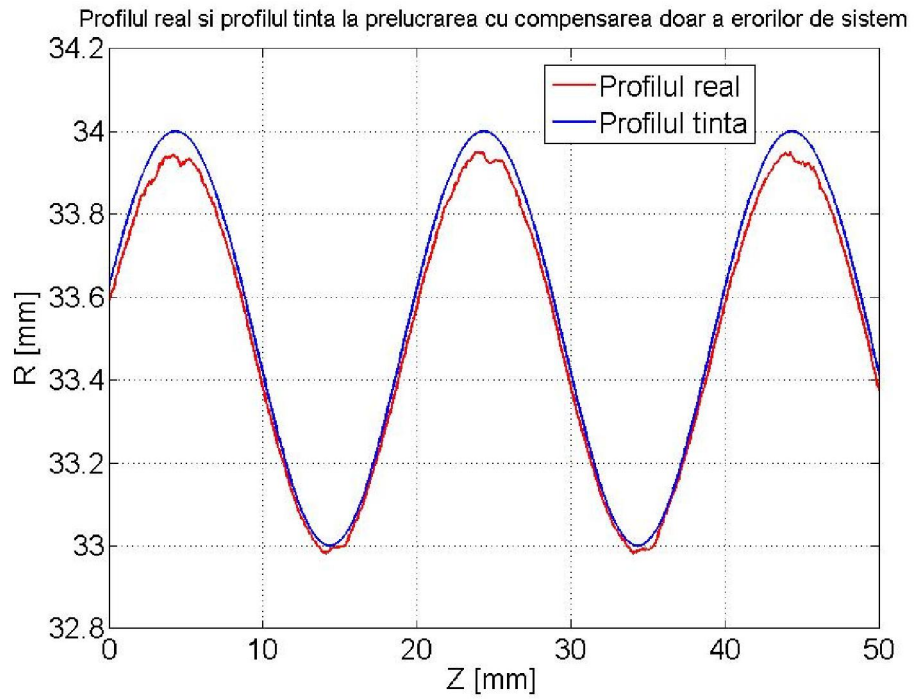


Fig. 36

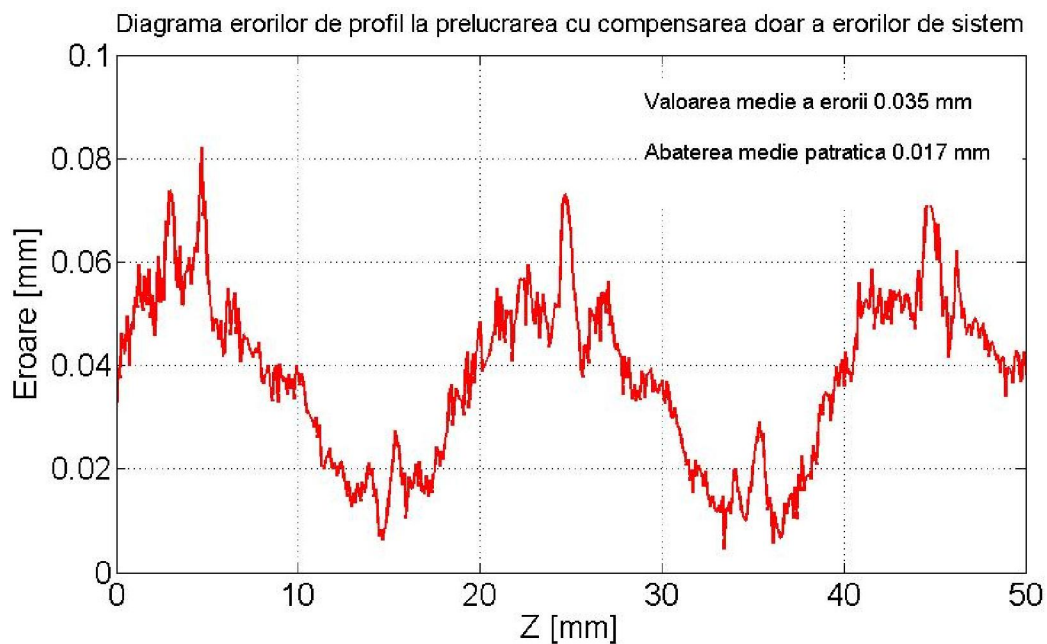


Fig. 37

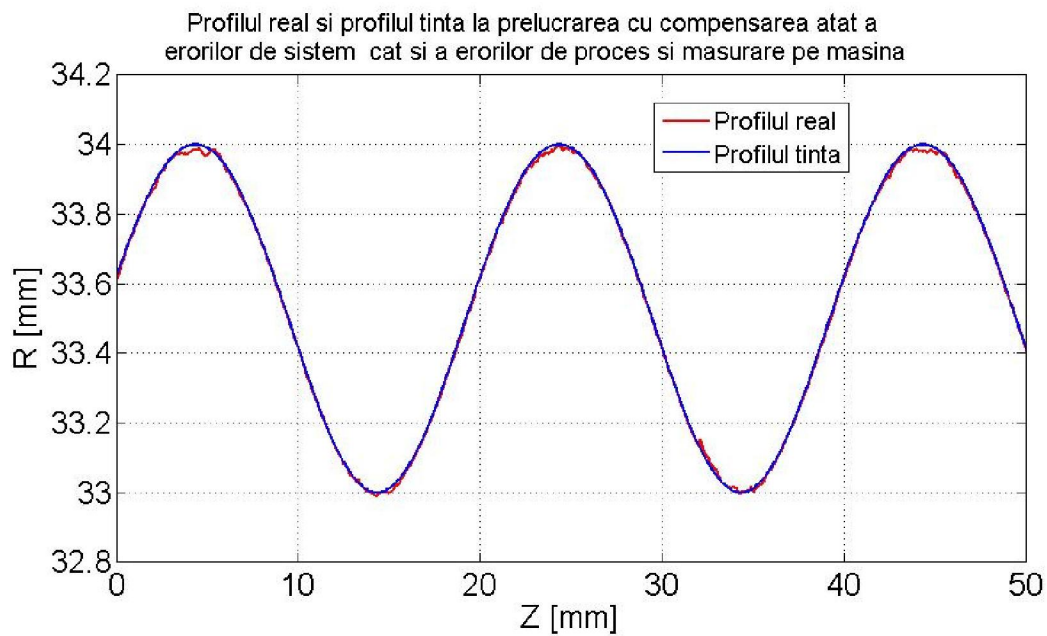


Fig.38

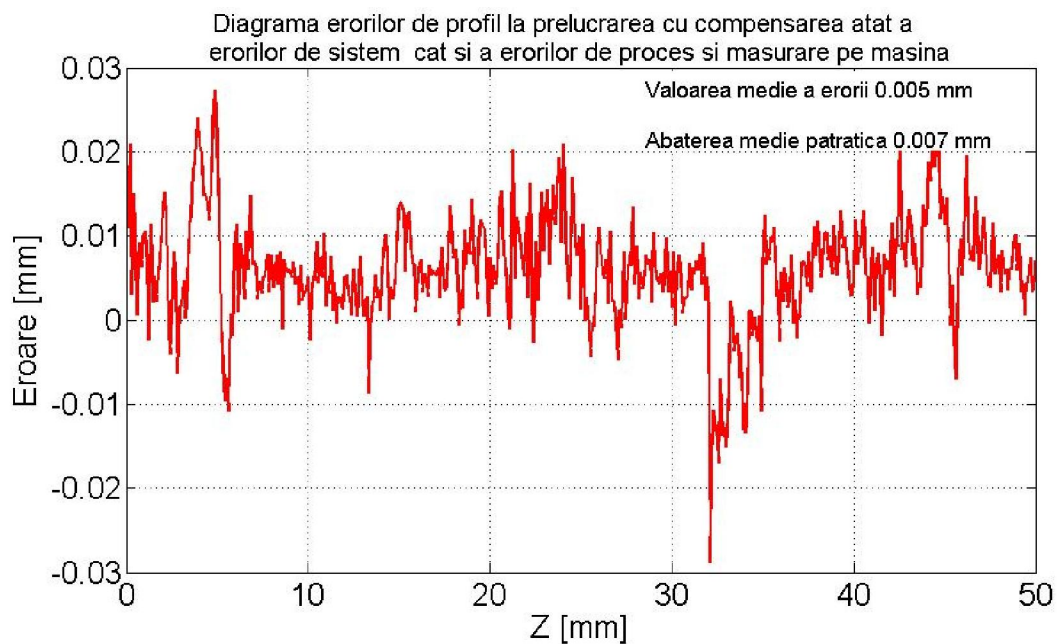


Fig.39

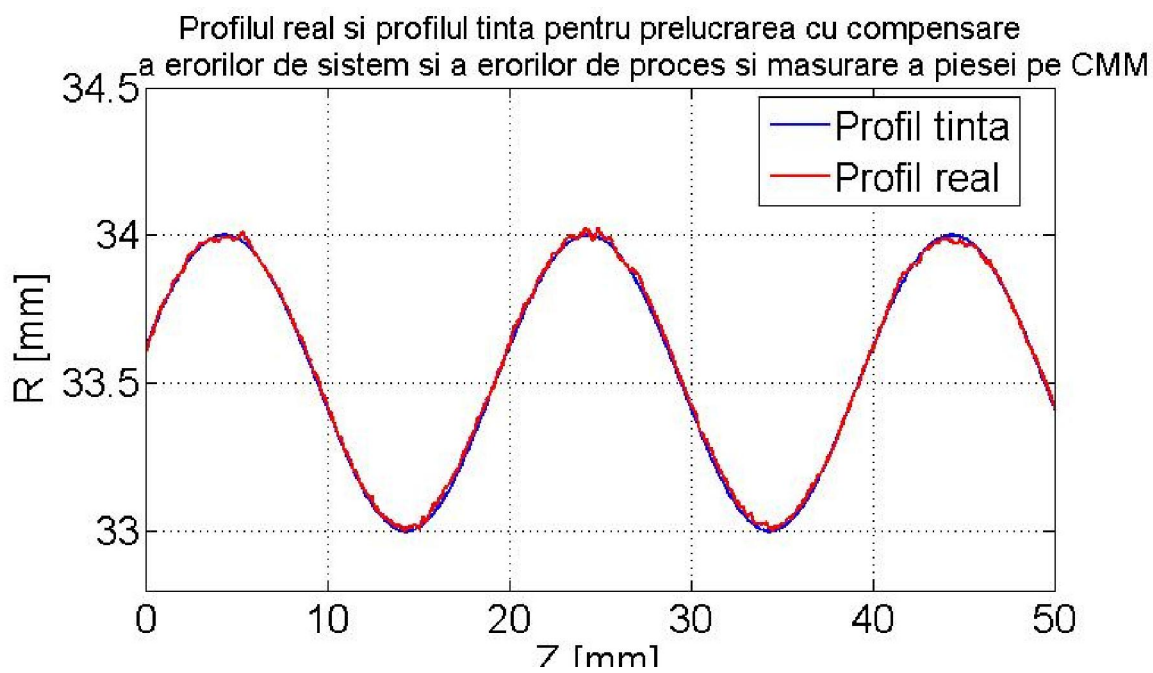


Fig.40

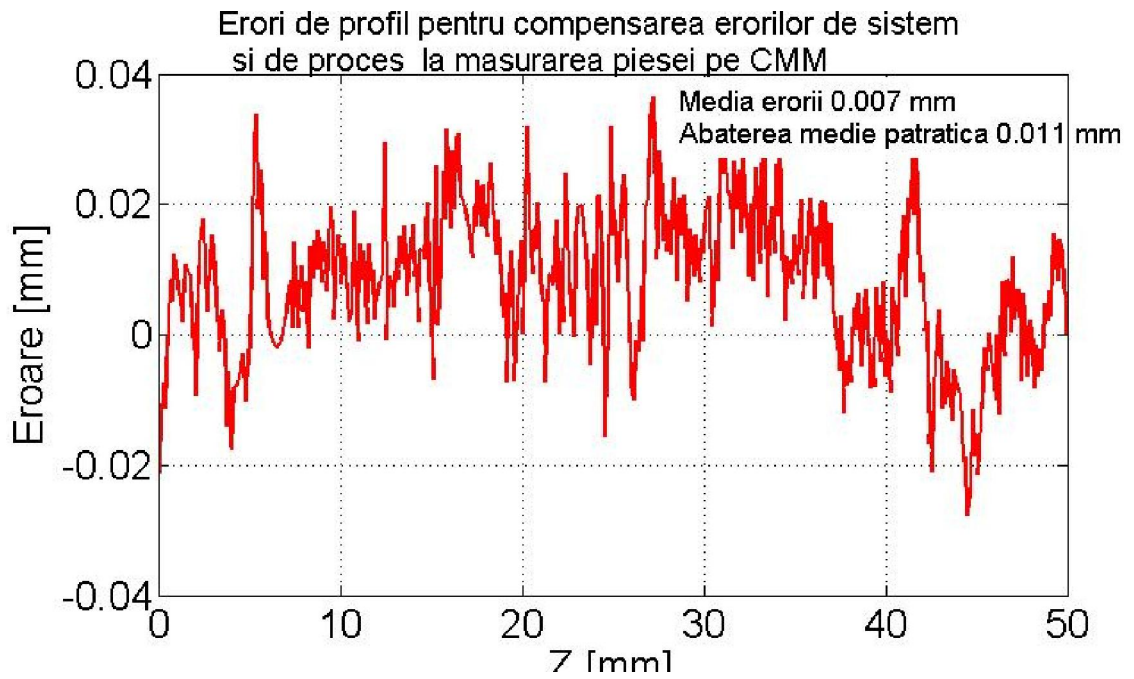


Fig.41

### 2.2.2 Testarea atributului stabilitate

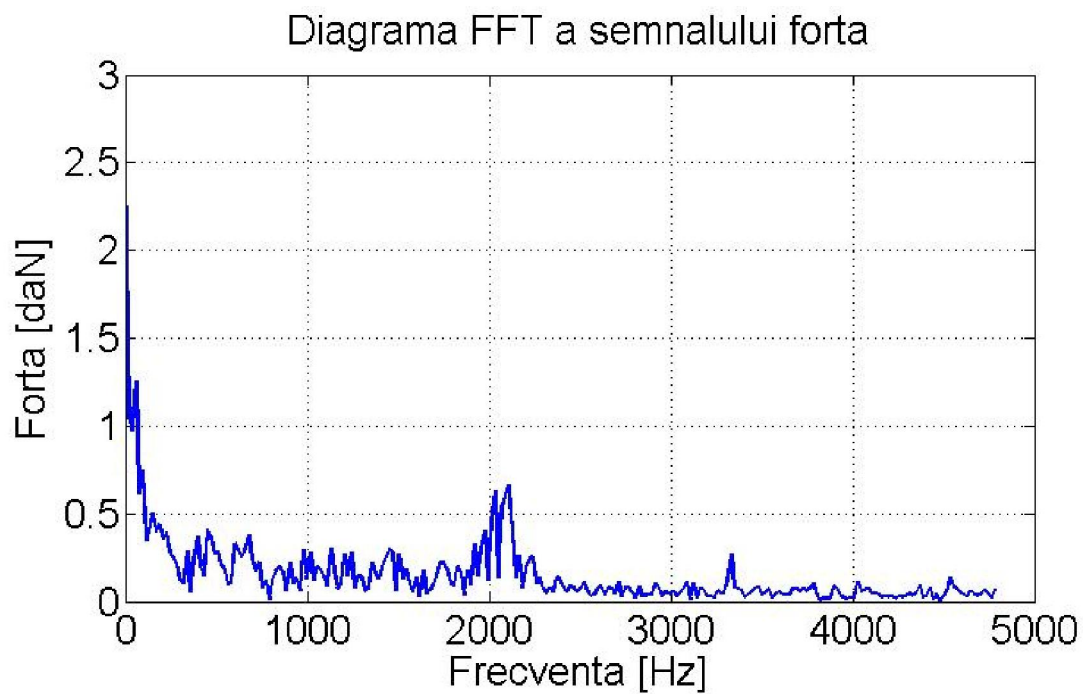


Fig.42

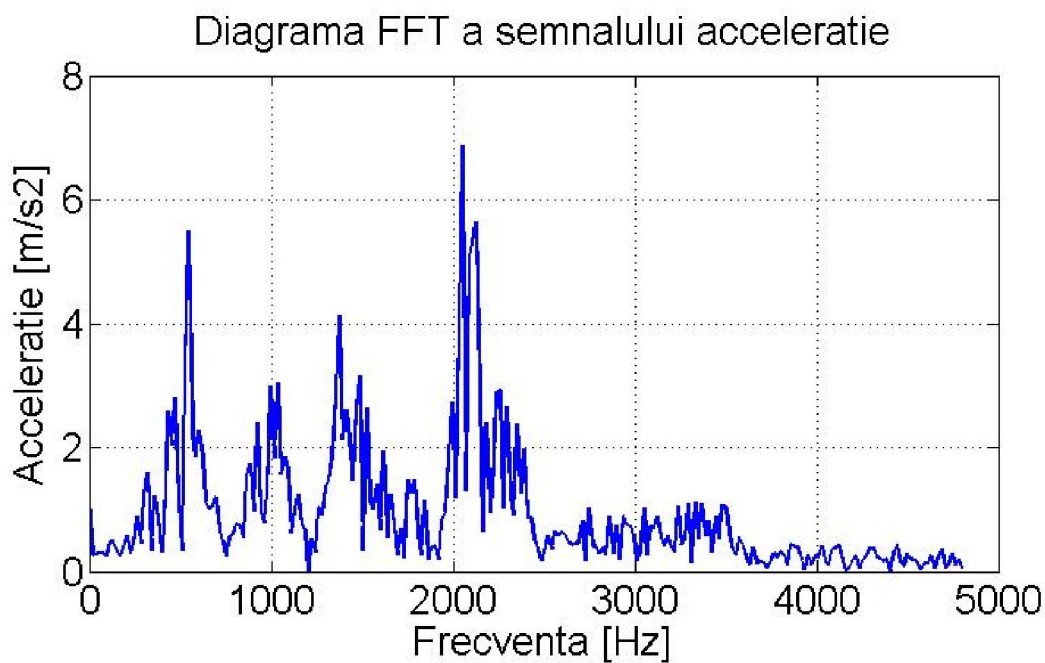


Fig.43

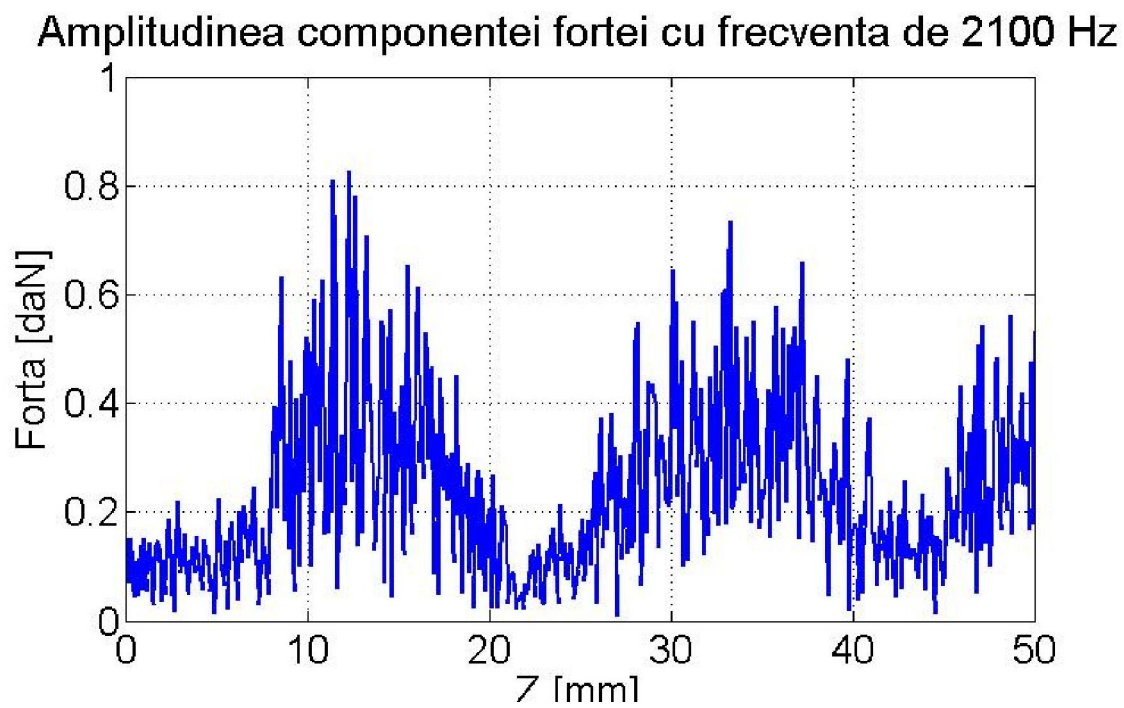


Fig.44

Amplitudinea componentei acceleratie cu frecventa de 2100Hz

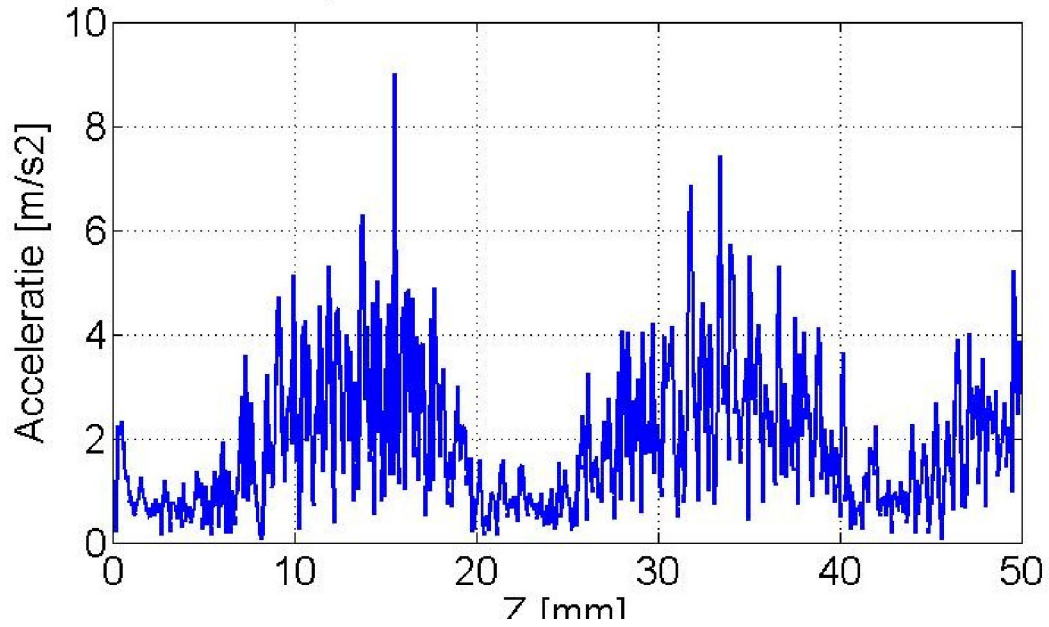


Fig.45

### 2.2.3 Testarea atributului economicitate

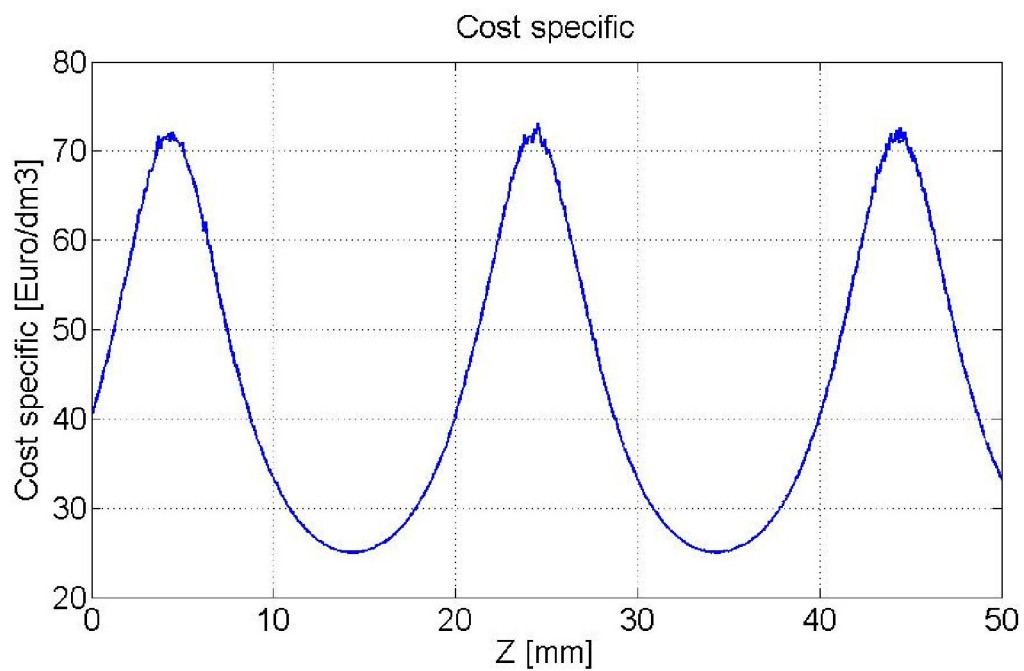


Fig.46

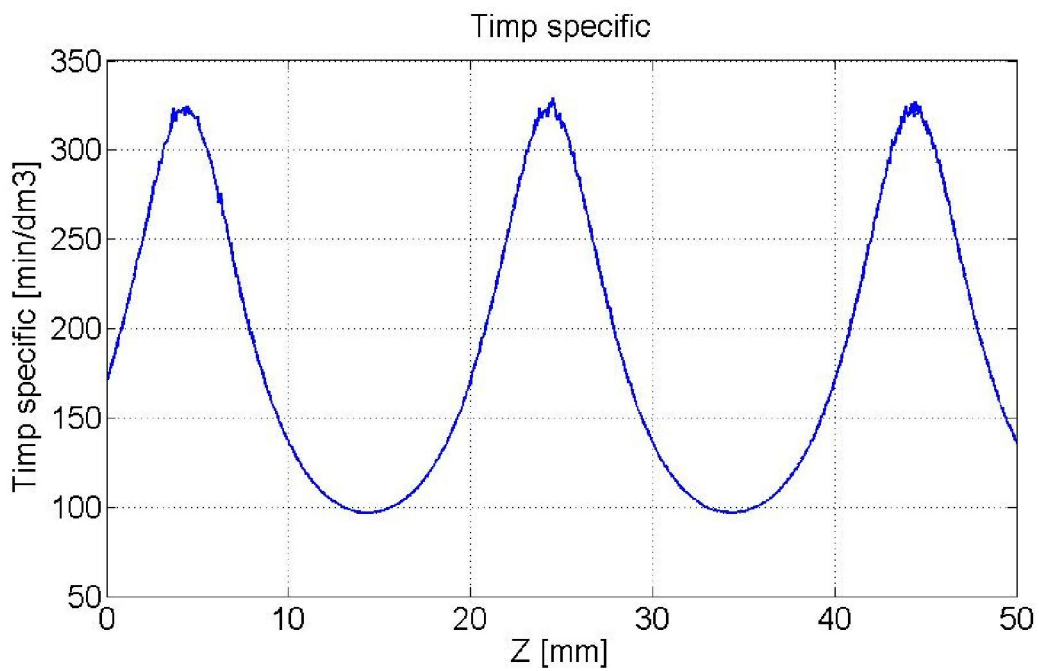


Fig.47

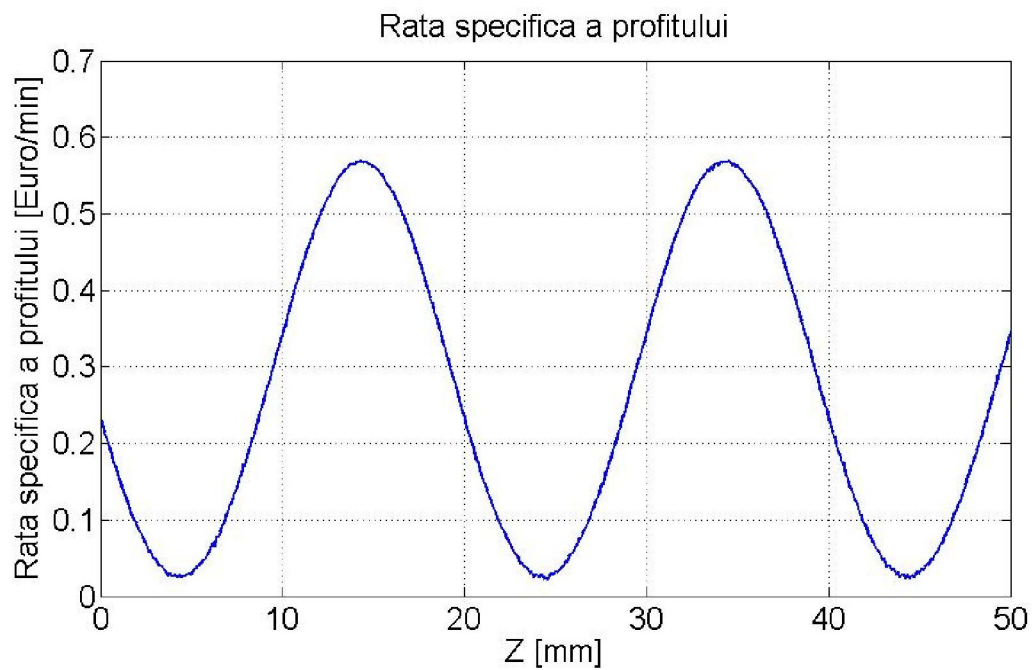


Fig.48



## 2.2.4 Testarea atributului ecologicitate

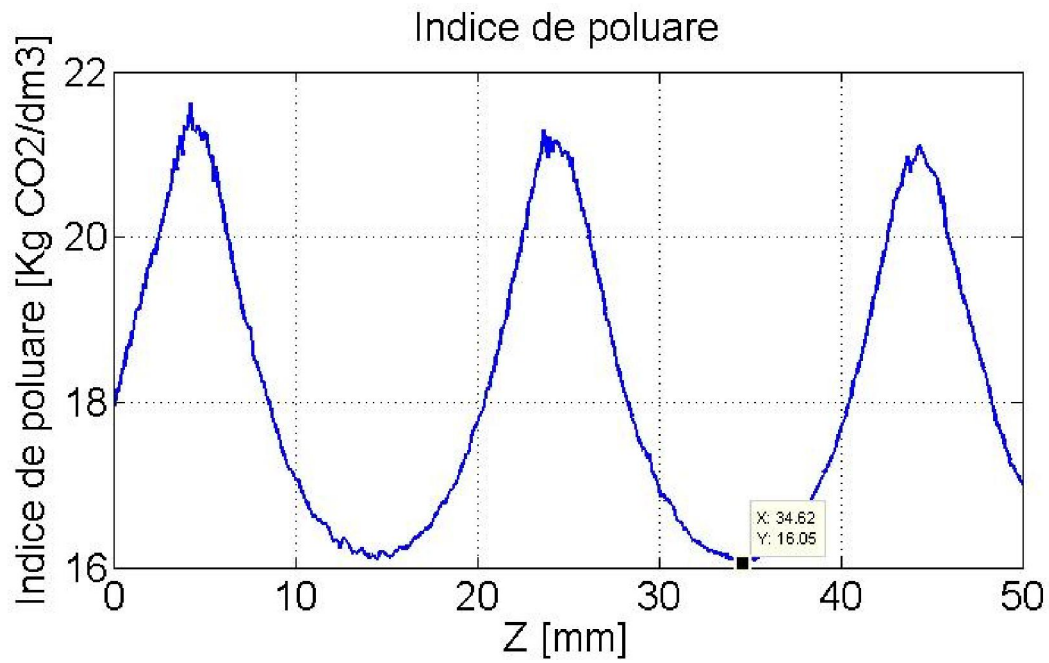


Fig.49

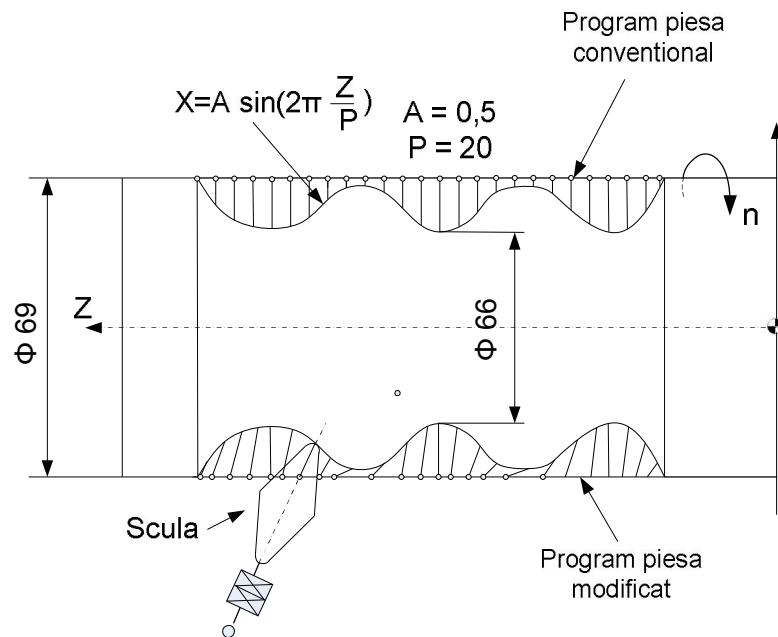


Fig. 24 Prelucrarea piesei test in cazul unui program piesa conventional si in cazul unui program piesa modificat ca urmare a conducerii holarhic atributive a procesului

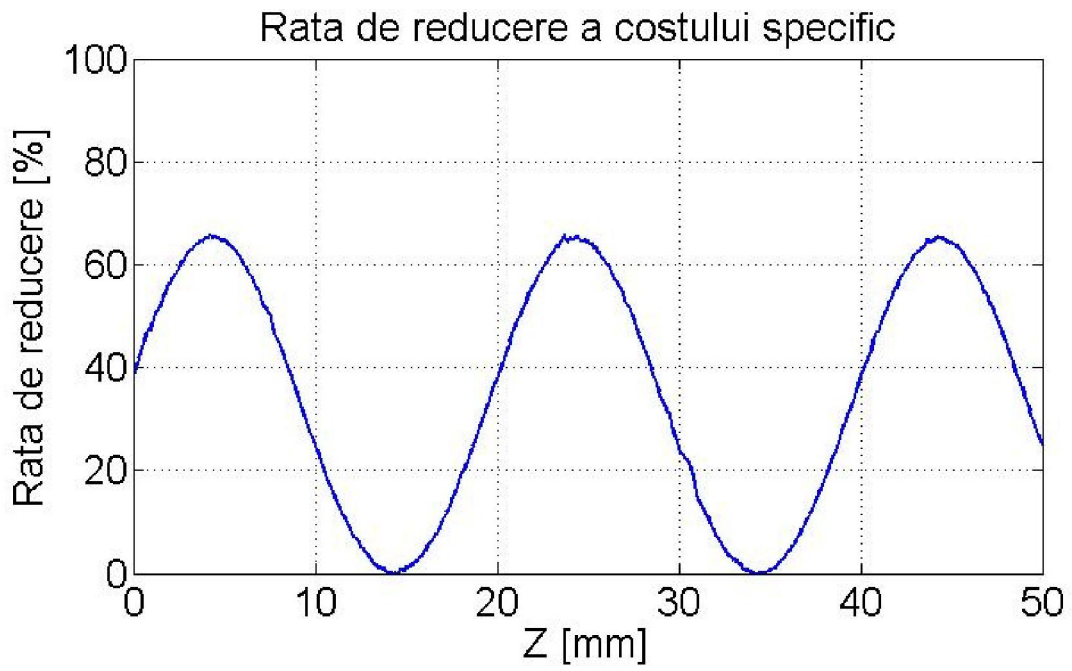


Fig.50

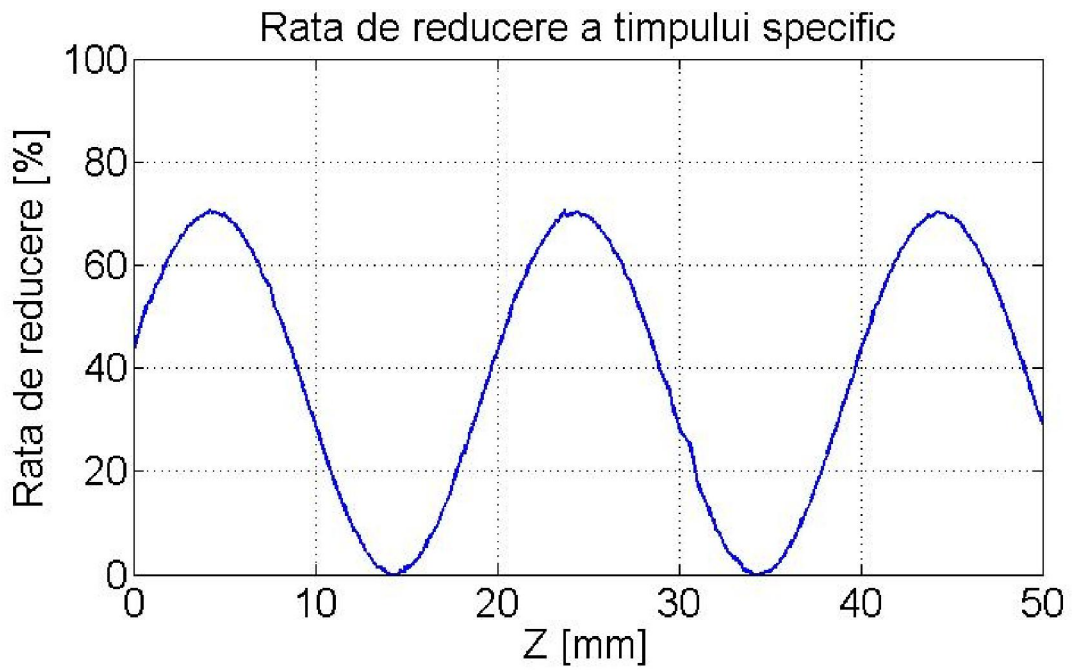


Fig.51

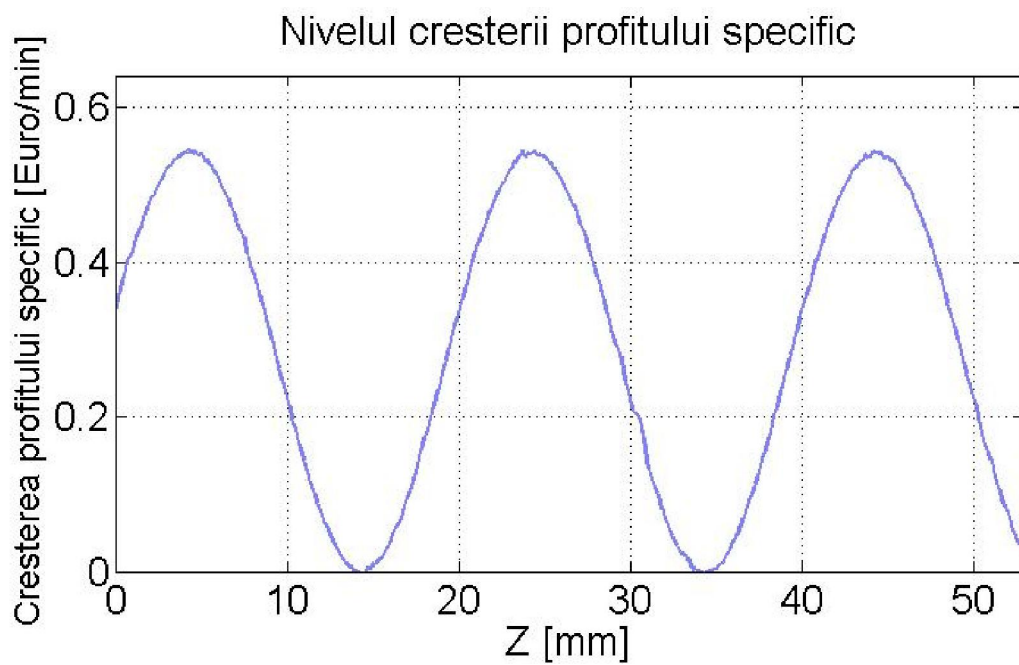


Fig.52

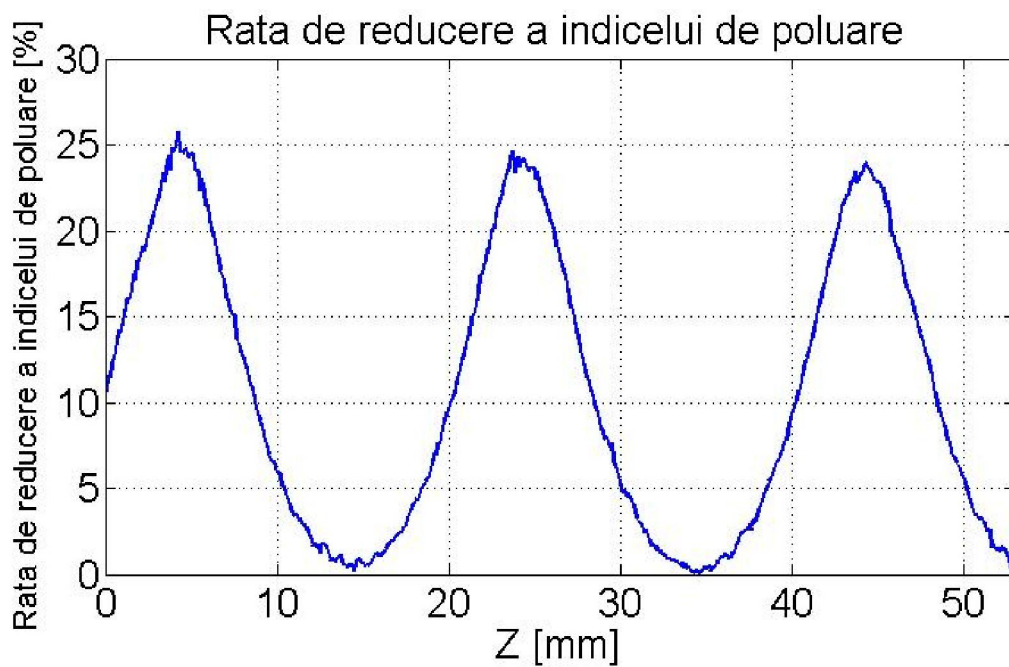


Fig.53

## **C. Prezentarea in extenso a rezultatelor obtinute**

### **a) Articole stiintifice publicate**

[1] V. Marinescu, Ionut C. Constantin, C. Apostu, Florin B. Marin, M. Banu, A. Epureanu, **Adaptive dimensional control based on in-cycle geometry monitoring and programming** , acceptata pentru publicare in International Journal of Advanced Manufacturing Technology (indexata ISI)

### **ADAPTIVE DIMENSIONAL CONTROL BASED ON IN-CYCLE GEOMETRY MONITORING AND PROGRAMMING**

**V. Marinescu, Ionut C. Constantin, C. Apostu, Florin B. Marin, M. Banu, A.  
Epureanu**

**Abstract** This paper presents a method to compensate the entire dimensional deviation, irrespective of the sources for its components, and to integrate the dimensional verification and dimensional control processes. Nowadays approach in compensation of dimensional deviation is based on decomposing the deviation. The decomposing criterion is the error source such as positioning errors, thermal deformation, mechanical loads, tool wear, kinematical errors, dynamic force, and motion control. Then, one or even more components are modeled and compensated.

On contrary, the proposed method is based on the decomposing of the tool path and consideration of the batch samples. The decomposition criteria ignores the error sources as: *i*) speed of variation in space of the total deviation value for the tool path decomposition, and *ii*) the speed of variation in time of the deviation model parameters values for batch samples decomposition. The data get from the geometry holistic monitoring are used for both modeling and compensation of systematic component of the total error, also for checking the compliance with technical requirements. The modeling is done locally and temporarily. Two algorithms for processing of the data provided by geometry monitoring, namely the adaptive-predictive algorithm and adaptive-optimal algorithm, are presented. Nine experimental batches were machined to verify the efficiency of the proposed method using various model structures and processing algorithms. The results of method application have shown a reduction of deterministic and even nondeterministic part of the total error in what concern accuracy and precision. For entire batch, the level of remanent error is less than 5% for deterministic part, and less than 75% for nondeterministic part. These results are clearly better than the other results reported; moreover, they refer to the whole processing error and entire batch.

**Key-words:** machining errors, dimensional control, adaptive control, optimal control, on machine measuring, geometry monitoring, errors compensation

## Nomenclature

$L$	Nominal value of the <i>surface dimension</i>
$L_T$	Target value of $L$
$L_i'$ , $L_i''$	Upper and lower tolerance limits
$W$	Tolerance
$B$	<i>Blank</i> surface
$T$	<i>Target</i> surface
$P$	<i>Programmed</i> surface
$R$	<i>Real</i> surface
$D$	Dimensional <i>deviation</i> due to machining process
$E$	Dimensional <i>error</i> due to machining process
$N_F$	<i>Nominal</i> reference surface
$R_F$	<i>Real</i> reference surface
$M_F$	<i>Modeled</i> reference surface
$E_F$	Dimensional <i>error</i> due to reference surface
$i$	Current index of a <i>measuring point</i> belonging to nominal surface; measuring point is a point in which the measurement occurs during the OMM program running; $i=\{1..n\}$
$i_0$	Current index of a <i>control point</i> belonging to nominal surface; the coordinates of a control point are explicitly programmed, and controlled; $i_0=\{1..n_0\}$
$j$	Current index of an <i>unchanged model area</i>
$k$	Index of current <i>machined sample</i>
$k_s$	Index of current <i>simulated sample</i>
$l$	Current index of a <i>measuring point</i> belonging to nominal <i>reference surface</i> ; measuring point is a point in which the measurement occurs during the OMM program running; $i=\{1..r\}$
$m$	<i>Number of zones</i> belonging to an unchanged model area
$n$	<i>Total number of zones</i> resulted after the tool path decomposition; in same time, $n$

represents the total number of the points in which the geometry of blank surface and real surface is monitored

$p$  Number of samples used for *reidentification* of the deviation model

$q$  Number of samples for which the reidentified deviation model *is applied*

$\delta$  Ratio between *modeling* tolerance and *machining* tolerance

$N_i, B_i$  Measuring coordinate of a point  $i$ , if

$P_i, R_i, T_i$  the feeler explored (imaginary or real) the nominal surface, blank surface, programmed surface, real surface, and target surface, respectively

$F_l$  Measuring coordinate of a point  $l$  belonging to the reference surface

$N_i', N_i''$  Minimum and the maximum tolerated value of  $N_i$

I.C. Constantin, C. Apostu, F. B. Marin, V. Marinescu, M. Banu, A. Epureanu (\*)

Manufacturing Science and Engineering Department,

Dunarea de Jos University, 47, Domneasca str., 800008, Galati, Romania

e-mail: [alexandru.epureanu@ugal.ro](mailto:alexandru.epureanu@ugal.ro)

## 1 Introduction

In recent years, the production is faced with an increased ever increasing industrial demands for product quality requires advanced investigations of reduction of the dimensional errors at a low manufacturing cost. On the other hand, the NC machine tools are used not only in small and medium-scale production but also in large-scale production [1]. This is why, such machine tools must have a novel dimensional control system able to simultaneously reduce dimensional error and verifies the technical requirements with preserving of a high intensity machining process to finally achieve a cost effective technical compliance.

Presently, this complex problem is partially approached through dividing the error into its components and the minimizing the most important ones [2, 3, 4, 5]. The errors are divided based on their origins, synthetically called error sources. These sources could be positioning errors [6], thermal deformation [7, 1], mechanical loads [8], tool wear, kinematical errors [9], dynamic force, and motion control [10].

To minimize one of these components, two approaches are to be considered. First approach consists in decreasing the error source. Some examples can illustrate how less cost effective is the implication of this approach. When the kinematic error decreases by employing a machine tool with an increased accuracy, however this may be expensive. Similarly, the elastic deformation of the structural loop diminishes by reduction of the cutting forces that can generate a less productive manufacturing process.

The second approach consists in compensation of the systematic part of error component so that its participation into the overall error component is reduced and only the random part remains. This compensation is cost effective because, for instance as regards the machine tool, it requests high reproductibility not merely high accuracy.

In addition, sometimes the error compensation is considered as a step of the process optimization [11, 5, 12]. On the other hand, the scope of this approach includes not only common processes, but also ultra-precision machining [2, 13].

It has become clear, from the previous research conducted in this area that the compensation of the systematic component error is superior but there are some difficulties in error modeling and prediction. Almost all the components are time and space dependent due to the changes in the shape and dimensions of the manufactured part. To figure out this dynamic behavior, the error models are complex and their setting up is time consuming. Moreover, these complex models are build every time when the machine tool is reconfigured to manufacture various parts shapes.

There are methods for errors modeling which allow overcoming some parts of these difficulties. In [14] a continuous updating of the thermal error model is proposed, through a recursive mechanism that adapts itself to the continuing changing manufacturing conditions. The mechanism is based on Kalman filter parameter estimation technique and multiple-sampling horizons. An integrated time-series model captures the system dynamics associated to the short-term fluctuations of machine thermal status.

Other papers propose separate modeling of the cause and effect. For example, in [8] it is given an example, for force-induced errors compensation. An extended perfect plastic layer force model is integrated with a finite elements part deflection model. The cutting force is computed and fed into the finite elements model for prediction of the deflected part profile. Then the tool trajectory is modified automatically according to the predicted part deflection. A specific problem arises when multiple layers of material are detached from the processed surface, in which case the previous layer influences the thickness of the current layer. A proposal to solve this problem is presented in [15]

where a dynamic model based on iterative calculation of deformations in multilayer machining of a thin walled part is described.

In terms of kinematic error modeling, the main difficulty arises because single error of a singular axis is influenced by the location and component errors of another one; and thus the error pattern becomes more complicated as shown in [10, 16, 17, 18]. Moreover, although the systematic kinematic errors stay the same for one machining instance, however when changing the part, the model must be updated. In addition, when reconfiguring the machine, the model must be rebuilt. However, there is the problem of determining the appropriate compensation for each axis of the machine reference system, when the individual axis error in the workpiece reference system is known [19]. A method of solving this problem, for a five-axis machine tool is presented in [20]. The proposed method, which was named the “decouple method”, calculates the error compensations for rotation axes and linear axes separately, thus avoiding any singularity point in the model.

On the other hand, compensation for the individual components of error becomes more complicated. There are few cases, which consider the entire error compensation process without identifying each component. Such an approach is presented in [21], where the distribution of errors is measured in a workpiece, using an on-machine measurement system. The data obtained is used in training of a polynomial neural network. This, in return is further used to compensate the total error during the whole batch machining. Similarly, in [22] it is shown the compensation of the total error in grinding the cutting inserts. The proposed method relies on measuring the processed surface of the current piece, then using the data obtained, together with data from previous tool passes, the compensation strategy for next pass is determined, so that the dimensional error is minimized. The compensation for the next piece is an average of the earlier errors.

Another example is reported in [23]. Here a method for estimating the error depending on the piece characteristics, cutting conditions, workpiece diameter, and length of the chuck is presented, when processing a cylindrical part. A neural model based on machining experiments is used for modeling the diameter error along the piece axis.

Concerning the model inputs variables, often it is found that these are physical parameters such as temperature in various points of the machine tool [24], cutting force or tool wear. For monitoring, a more complicated and more robust sensory system is required.

In addition, it is noted that only errors of the surfaces being under current machining operation are compensated for. Errors of the workpiece coordinate system are different from one sample to another. This error is not monitored and remains uncompensated for, and is added to the current overall processing error.

Another problem arises from the low cost dimensional verification. Usually verification for compliance with the dimensional requirements of the product is made out of the processing operations using coordinate measuring machines (CMM). This represents an additional operation, of which duration and cost can negatively affect the economic performance [25]. In addition, more often than not, the result of measurement is used exclusively for decision to accept, reject or re-manufacture the part. To overcome this shortcoming, on-machine measurement (OMM) systems have been developed [4, 26]. Their accuracy can approach that of CMM's. For example, in [27] it is reported that the difference between CMM and OMM systems can be reduced to less than 5 microns. This opens the prospect of integrating the verification process of dimensional compliance with the dimensional control process [2].

To overcome the above mentioned difficulties, this paper proposes an integrated approach of the dimensional verification and dimensional control processes. The method that implements this approach is based firstly on holistic



monitoring of both the blank and finished surface geometry by on-machine measurement, and secondly on compensation of the entire dimensional deviation by adaptive in-cycle tool path programming.

Basically, the method consists in:

*i)* modelling of the dimensional deviation of the current part (defined as the difference between the programmed dimension and the actual dimension resulted within the process) using data from the monitoring of the previous parts, considered experimental samples;

*ii)* OMM of reference surfaces of the current part;

*iii)* OMM of the initial surface and the use of the data set thus obtained to predict the dimensional deviation of the current part;

*iv)* tool path programming for the compensation of the predicted deviation;

*v)* OMM of the final surface and assessment of both the control and dimensional error.

Additionally, the control error defined as difference between predicted deviation and real deviation of the machined surface is used to improve the deviation model. This control error is used for compensation in the machining of next samples of the batch.

Dimensional error is obtained through comparing the real deviation of the machined surface with tolerance limits. This is used to check the technical requirements of the part and to decide the modification of the deviation model setting before machining the next sample.

The paper is structured as follows. The next section presents a novel methodology for adaptive dimensional control based on in-cycle geometry monitoring and programming. The data obtained from the new geometry holistic monitoring system is used for both modeling and compensation of systematic component of the total error and for checking the compliance with technical requirements. Modeling is done locally and temporarily. Two algorithms for processing the data provided by geometry monitoring, namely the adaptive-predictive algorithm and adaptive-optimal algorithm, are presented. Section 4 presents the experiments and numerical simulations whose objectives are to test the applicability and to assess the performance of the method proposed. The experimental setup and experimental plan are described in accordance with the above mentioned objectives. The experimental results are presented partially and discussed comparatively. The advantages of the method comparing to the present day methods of compensating the deviation are highlighted. Finally, Section 5 presents the conclusions.

## **2. Method for adaptive dimensional control based on in-cycle geometry monitoring and programming**

### **2.1 Decomposing the dimensional deviation**

Nowadays approaches in compensation of dimensional deviation are based on decomposing the deviation. The decomposing criterion is the error source as shown in Fig. 1,a. One or, some times, more components can then model and estimate. Their compensation is achieved by tool path modification.

Contrary, the new proposed approach is based on decomposition of the tool path and the batch samples. The decomposition criteria ignores the error sources and specifically are: *i)* the speed of variation in space of the total deviation value, for the tool path decomposition, and *ii)* the speed of variation in time of the deviation model parameters values, for batch samples decomposition, as shown in Fig. 1,b and 2.

Let consider the tool follows the path AB during processing of each sample of the batch as shown in Fig. 1. Programming the tool movement along this path is done through defining a string of control points  $i_0$ , where  $i_0 = \{1$

...  $n_0$ }. The coordinates of these points result from the processing of data existing in the part program. Then, these coordinates are used as reference positions for the control loops.

Frequently, a batch of samples processing starts with a machining test, which consists in running the work cycle, while the tool offset has such values that the respective sample can be recuperated. If the measurement of the dimensional deviation is done along the tool path AB, then the diagram presented in Fig. 1, a, b is obtained.

Let the tool path AB is decomposed in a number of  $n$  zones so that in every zone the dimensional deviation might be considered constant. For this, in every zone the variation in deviation must be less than

$$\Delta = \delta \cdot W, \tag{1}$$

where  $\Delta$  is the modeling tolerance of the surface deviation,  $W$  is the tolerance of the surface dimension, and  $\delta$  represents the ratio between the two tolerances.

This ratio is considered a checking parameter, which characterizes how fine the decomposition of the tool path is. A higher value for  $\delta$  leads to a coarse decomposition of the tool path. The accepted domain of the  $\delta$  value can be  $= (0.1 \dots 0.25)$ . The delimitation of the zones is done through the set of  $i_0$  points that belong to each zone  $i$ . For example, zone 2 is defined through its  $i_0$  points = {4, 5, 6, 7}.

On the other hand, a point  $i$  is determined in each zone,  $i = \{1 \dots n\}$ , where the machined surface is explored for geometry monitoring. The dimensional deviation is estimated in that point, and the obtained value is compensated in all those  $i_0$  points of the tool path that belong to the respective zone. This will be called a “constant deviation zone”.

Also, as shown in Fig. 2, let us groupe both the zones that compose AB tool-path (e.g. zones 1, 2, and 3 form a group, and zones 4, 5 and 6 form another) and the samples which compose the batch (e.g. in groups of 4 samples).. Thus, a number of distinct “zone-sample areas” are delimited. At the level of any previous defined area, the condition for grouping is “the deviation model parameter values are maintained unchanged, then the modeling error is negligible as compared to the machining tolerance”.

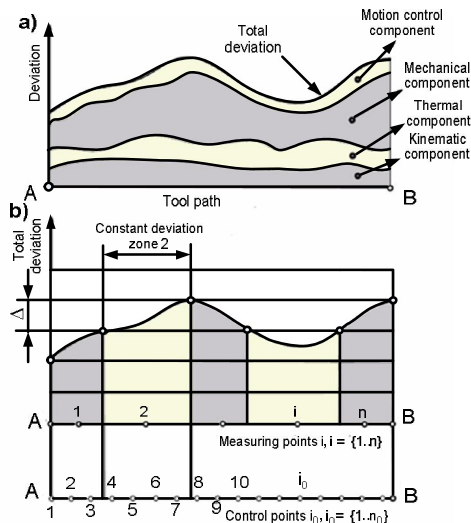
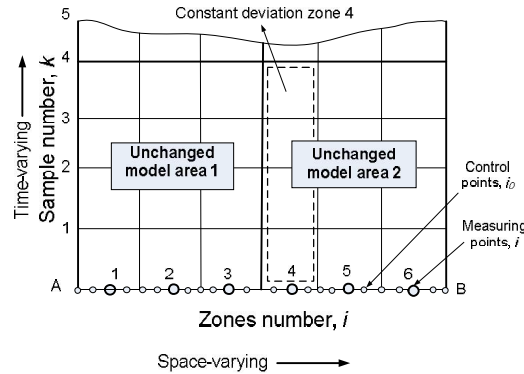


Fig. 1 The two approaches.

**a** Deviation decomposition into components based on error sources, **b** tool path decomposition into zones, based on deviation speed of variation.



**Fig. 2** Delimitation of the unchanged model areas in time and space

In particular, the number  $m$  of zones of an area and the number  $q$  of samples of an area could be the same in all areas. Such an area will be named “*unchanged model area*”.

## 2.2 Proposed method for error compensation

### a) Basic aspects of the method

Based on previous machining experience it was noticed that the kinematical errors and the static loads are the main contributors to the slowly changing component of the deviation. The tool wear and the thermal load have a slightly more rapid variation. Finally, the elastic deformation of the structural loop, caused by the mechanical load has the most rapid variation in time and space of the deviation.

The proposed method starts from aspects previously presented and continues with the hypothesis that for the batch of samples processing the variation in time and space of the thickness of the detached material describes sufficiently well the variation of the thermal-mechanical load. In turn, this load determines the rapid component of the overall deviation. That is why the method consists in the thickness monitoring of the detached material through OMM of the blank surface geometry and its use as input variable in the deviation model.

However, the compensation of the dimensional deviation is negatively affected by the form and the position of the real reference surfaces that are not the same for all the samples in the batch. To prevent the effect of this variation, the method uses the monitoring of the reference surfaces and in-cycle identification of the reference frame model.

Furthermore, the method envisages the monitoring of the real deviation of the machined surface; the obtained results are used for building the deviation model in real time.

Thus, the monitoring is exclusively geometrical and is achieved through an OMM program, integrated in the part-program, describing, together with the latter, the work cycle of the machine tool. The OMM program supposes three sequences, in which the geometry of the blank surface, the reference surfaces, and the machined surfaces are measured. The method mainly envisages the fact that, individually, each sample is processed through the programming of its own tool path, so that its own target surface should be obtained.

### b) Compensation procedure

To illustrate the principle of geometry holistic monitoring based on the integration of an OMM program in the work cycle of the machine tool, it is supposed that the machined surface must be at distance  $L$  from the reference surface, as shown in Fig. 3, a. Tolerance  $W$  establishes the upper and lower limits of this distance. In dimensional control of a machining process, the first step is establishing the surface  $T$ , considered the target surface from geometrical point of view. Dimension  $L_T$  shows the position of target surface  $T$  as to the reference frame of the part. If we accept the hypothesis that the random errors are distributed equally to one side and the other of surface  $T$ , then  $T$  will be placed in the middle of the tolerance field.

Dimensional deviation of one point belonging to a surface is defined as the distance between the programmed point and the one resulting from the machining process. The machining error is the distance between that point and the corresponding point on the target surface.

If the deviation is not compensated, as shown in Fig. 3,b, then surface  $P$  (which was programmed through the movement of the tool along the path 1, 2, 3, 4) will coincide with the target surface  $T$ . The real surface  $R$  will have the deviation  $D$  from both the programmed surface  $P$  and target surface  $T$ . This deviation will represent a first part of the total error, which is caused exclusively by the machining process and will be labeled as  $E$ .

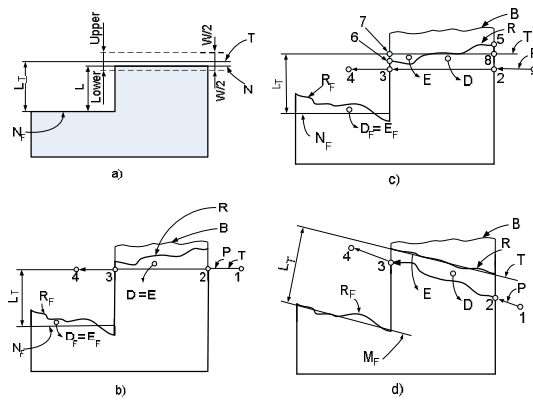
On the other hand, the real reference surface  $R_F$  differs from the nominal reference surface  $N_F$ . The difference between the two surfaces represents the deviation of the reference surface  $D_F$ . At the same time, this deviation will represent the second part of the total error, which is caused exclusively by the positioning of the part reference frame with respect to the machine reference frame, and will be labeled as  $E_F$ . The total machining error is the sum of  $E_F$  and  $E$ .

If the tool-offset technique is used for the compensation of the deviation, as shown in Fig. 3,c, then the programmed surface  $P$  differs from the target surface  $T$ . As a result, although the deviation  $D$  delimited by the contour 2-5-6-3 remains unchanged. The error  $E$  delimited by the contour 5-6-7-8 decreases nonetheless.

According to the proposed method, as shown in Fig. 3,d, the deviation model is built using the data obtained from the monitoring of the previous parts. Then, through on machine exploring of the initial surface  $B$  of the current blank, the input data for this model are obtained. Further, these data are used to estimate the values of deviation  $D$  for the current sample.

Moreover, the OMM program includes the exploration of the real reference surface  $R_F$ . The data obtained are used to identify the model itself. The difference  $E_F$  between the surface  $R_F$  and the corresponding model can no longer be considered a component of the total error. Target surface  $T$  will be found at distance  $A_T$  from the modeled reference surface  $M_F$ .

Then, adding the predicted value of deviation to mirror the target surface  $T$ , the programmed surface  $P$  is determined,

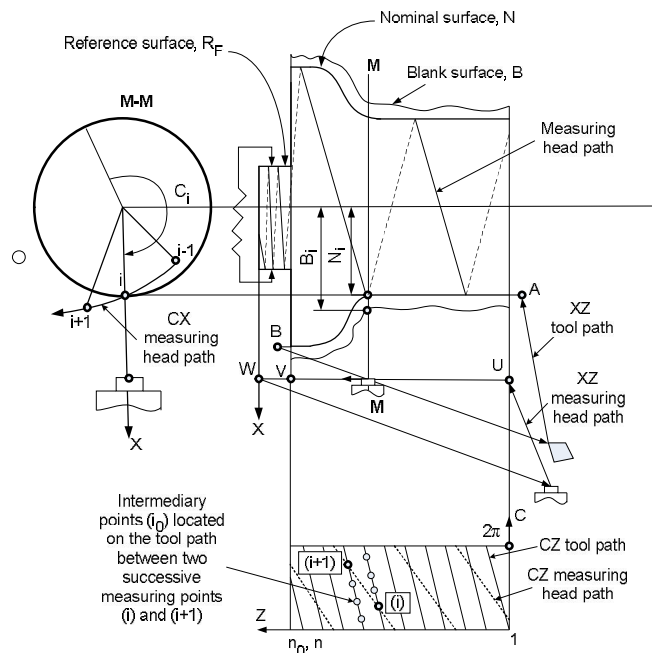


**Fig. 3** Compensation of the deviation. **a** Machining task, **b** without compensation, **c** tool offset technique, **d** proposed technique

### 2.3. Geometry holistic monitoring

The organizing of geometry holistic monitoring through integration of the OMM program into the machine cycle is presented in following.

Firstly, a specific case of machining a revolution surface by the rotation  $C$  of the part associated with the movement of the tool along the path A-B is considered, as shown in Fig. 4. The OMM program consists in the rotation  $C$  of the part, associated with the movement of the measuring head along the path U-V-W to explore the initial surface of the blank, the final surface of the part and the reference surface. The measuring head path is a helical line placed on the nominal versions of the reference and machined surfaces. During the exploration, at any measured point  $i$ , the coordinates  $Z$  and  $C$  are the *programming coordinates* of the point because they are consistent with the programmed measuring head path, and  $X$  is the *measuring coordinate* because  $X$  is the measuring direction.



**Fig. 4** Discretization of the tool and measuring head paths, where:

$C, Z$  - programming coordinates of the current measuring point;

$X$  - measuring coordinate of the current measuring point;

$(i), (i+1)$  – two successive measuring points,  $i = \{1 \dots n\}$ ;

$(i_0)$  – control point,  $i_0 = \{1 \dots n_0\}$ ;  $n_0 \gg n$

Secondly, the general case is shown in Fig. 5. The first sequence of the OMM program consists in exploring the reference surface, in the  $r$  programmed points. Thus, the measuring coordinates  $F_1 \dots F_l \dots F_r$ , of these points which will be used to identify the reference frame model  $M_F$  are obtained.

Further, on the nominal surface  $N$  is defined a string of points  $i$ , where  $i = \{1 \dots n\}$ , disposed along the measuring head path, so that every point represents a constant deviation zone (see Fig. 1). This zone is delineated by a group of  $i_0$  points, being located close to point  $i$ . The number of  $i_0$  points that compose the group shows how coarse the decomposition of the deviation will be. If, covering this trajectory, the sensor of the measuring head will explore (imaginarily) the nominal surface, then the measuring coordinates of the points  $i$  are  $N_i$  and the lower and upper limits of  $N_i$  will be  $N_i'$  and  $N_i''$ . Similarly, the measuring coordinates of the  $i$  points will be  $B_i, P_i, R_i$ , and  $T_i$  if the sensor explores (imaginarily or actually) the blank surface, programmed surface, real surface, and target surface, respectively.

The second and the third sequence of the OMM program consist in the movement of the measuring head in all the points  $i$  and measuring the  $B_i$  and  $R_i$  coordinates (before or after the machining process, as the case may be). Imaginary measuring coordinates  $P_i, T_i, N_i'$  and  $N_i''$  are determined by calculation.

In conclusion, geometry holistic monitoring consists in integrating in the machine cycle of an OMM program, which consists in inspection of all the surfaces of interest, namely the reference surfaces, the initial surface of the blank, and the machined surface.

The measuring coordinates  $F_j, N_i, B_i, T_i, P_i, R_i, N_i'$  and  $N_i''$ , are obtained through actual measuring or through calculation, are stored in the monitoring dataset of the machining task carried out. The dataset include the following data:

- Vector  $\mathbf{F}_l^k$  that represents the measuring coordinates  $F_l, l = 1, r$ . The current sample index is given as  $k$ .
- Matrix  $\mathbf{N}$  which represents the programming and measuring coordinates ( $N_i$ ) of points  $i$ .
- Vectors  $\mathbf{B}_i^k$  and  $\mathbf{R}_i^k$  which represent the measuring coordinates of points  $i$  on the blank surface and on the real surface, respectively.

By computing, the following vectors are obtained:

- Vector  $\mathbf{A}_i^k$  that represents the thickness of detached material in points  $i$ .
- Vectors  $\mathbf{T}_i^k$  and  $\mathbf{P}_i^k$  which represent the measuring coordinates of the points  $i$ , located on the target surface and respectively on the programmed surface.
- Vectors  $\mathbf{DP}_i^k, \mathbf{DR}_i^k, \mathbf{Drz}_i^k$ , and  $\mathbf{E}_i^k$  which represent the values of the programmed deviation, of the real deviation, of the residual deviation and of the error, respectively.

For point  $i$ , these values are calculated as follows:

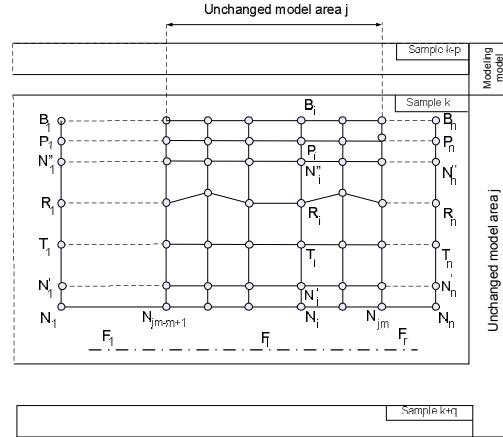
$$DP_i = P_i - T_i \quad (1)$$

$$DR_i = P_i - R_i \quad (2)$$

$$Drz_i = DP_i - DR_i \quad (3)$$

$$E_i = R_i - (N'_i + N''_i) / 2 \quad (4)$$

Particularly, if the target surface is at the middle of the tolerance, then  $E_i = Drz_i$ .



**Fig. 5** The network of points through which the geometry is monitored

#### 2.4. Dimensional deviation modeling

Before building one of the deviation models, the following items must be set-up: *i) the modeling domain* which contains the set of data used in the model building; *ii) the unchanged model area* and *iii) the model structure* which includes the model type and its input variables.

For example, the model to be used for determining the deviation in unchanged model area  $j$ , where  $j = \{1 \dots \text{integer } (n/m)\}$  is considered. The measuring points representing the model domain are those contained in the interval  $i = \{jm-m+1 \dots jm\}$ . Modeling domain extends from the zone  $i = (jm-m+1)$  to the zone  $i=jm$  and from the sample  $k-1$  to the sample  $k-p$ , where  $m$  and  $p$  are parameters.

The unchanged model area that will apply the model extends from the zone  $i = (jm-m+1)$  to  $i = jm$  and from the sample  $k-1$  to the sample  $k-p$ , where  $q$  is a parameter.

As for the present research for the typology of the models considered includes a polynomial and recursive models identified through regression methods, artificial neural models with back propagation algorithm and support vector regression models. The input variables are thickness of the detached material together with one or both programming coordinates of points  $i_0$  on the tool paths. For example, in the case presented in Fig. 4, the input variables may be thickness of the detached material measured in the direction of  $X$  axis, associated or not with one or both programmed  $Z$  and  $C$  coordinates. The cutting force or cutting power parameters can replace the thickness parameter related to the detached material. Such an example is considered within this paper.

#### 2.5 Tool path programming

For the current sample it is considered that: *(a)* the model of reference frame  $M_F$  is identified and the measured coordinates  $T_i$  of the target surface are found, in every point  $i$ , *(b)* a deviation model was built in every unchanged model area of this sample, and *(c)* measured coordinates  $B_i$  of the blank surface are known in every point  $i$ . With this

information, the coordinates of every point  $i_0$  of the *theoretical tool path* is determined. In fact, it represents the tool path needed to fully compensate the deviation.

However, the theoretical tool path cannot be followed by the tool if, in certain regions of the tool path, the kinematical capabilities of any of the controlled degrees of freedom participating in the movement of the tool along the tool path is exceeded. These kinematical capabilities are the maximum speed and the maximum acceleration. That is why, in order to be programmed, the theoretical tool path must be “flattened out,” so that the kinematical capabilities might not be exceeded.

To this end, for every numerical controlled degree of freedom, the curve of the evolution in time of its coordinate is flattened out. For example, in the case considered in Fig. 4, the numerical controlled degree of freedom is the transversal movement of the tool to which coordinate  $X$  corresponds. Fig. 6 shows the programmed time evolution of this coordinate and the difference from the theoretical time evolution. In a similar way are the programmed time evolutions of the three coordinates. For example, for region AB in Fig. 4, the data necessary to describe the programmed tool path may be presented under the form of a table with four columns, namely  $Z$ ,  $X$ ,  $C$  and time.

This approach, for the tool path programming, has the advantage of using the machine tool at maximum capabilities to minimize machining errors.

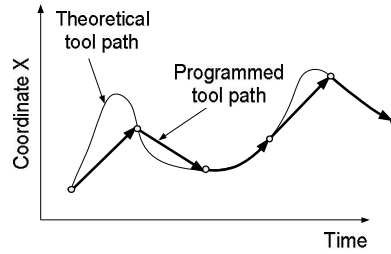


Fig. 6 Theoretical and programmed evolution in time of coordinate  $X$

## 2.6 Method algorithms

### a) Information processing

Fig. 7 shows how the information is performed by applying the proposed method. The data obtained during measurement of the initial surface  $\mathbf{B}_i^k$ , reference surface  $\mathbf{F}_i^k$ , and processed surface  $\mathbf{R}_i^k$ , as well as the data obtained by processing are stored in the monitoring dataset. Hence, the *Identification* module takes up  $\mathbf{F}_i^k$  and, using the parametric form of the reference frame model, determines the current model, which corresponds to the current sample reference frame. Furthermore, the model determines the coordinates  $\mathbf{T}_i^k$ , corresponding to the current sample.

The *Prediction* module takes up the coordinates  $\mathbf{B}_i^k$  from the dataset and using the current deviation model, calculates the predicted values of the deviation  $\mathbf{DP}_i^k$ , in all the points  $i$  on the measuring head path. These values are then stored in the monitoring dataset. Additionally, using the current deviation model, it calculates all the predicted values of deviation  $\mathbf{DP}_{i_0}^k$ , in all the points  $i_0$  defined along the tool path. These values are then transmitted to the *Programming* module to be used for determination of the theoretical tool path.



In the *Programming* module, (a) with the values  $\mathbf{DP}_i^k$ , the coordinates  $\mathbf{P}_i^k$  of the points  $i$  are determined and (b) with the values  $\mathbf{DP}_{i0}^k$ , the coordinates  $\mathbf{P}_{i0}^k$  of the points  $i_0$  which describe the theoretical tool path are determined. The coordinates  $\mathbf{P}_{i0}^k$  are transmitted to the *Control error assessment* module and further are used to find the programmed tool path. The latter is transmitted to the numerical control system to update the part-program for the current sample.

The *machine-tool cycle* detects finishing of the machining sequence and starts the sequence of measuring the processed surfaces recording the measuring coordinates  $\mathbf{R}_i^k$ .

Comparing the programmed coordinates  $\mathbf{P}_i^k$  with the measured coordinates  $\mathbf{R}_i^k$ , the *real dimensional deviation*  $\mathbf{DR}_i^k$  is evaluated. Also, comparing  $\mathbf{R}_i^k$  with  $N'_i$  and  $N''_i$ , the *real dimensional error*  $\mathbf{E}_i^k$  is evaluated. The values  $\mathbf{DR}_i^k$  and  $\mathbf{E}_i^k$  represent the input in the *Model-setting* module. In this module, the current values of the *model set parameters* are decided. These parameters are  $p$ ,  $q$ ,  $m$  and *model structure* (like polynomial structure, recurrent structure or any other structure selected from a list of available structures).

Finally, the *Modeling* module uses current values of the model set parameters, as well as the data of the current modeling domain, to build the current deviation model through calculating the values of the *model estimated parameters* (like the polynomial coefficients in the case of a polynomial structure). *Prediction* module evaluates the predicted values of the deviation using the current deviation model.

The initialization of applying the method consists in the machining of a sample, programming the *target surface* and considering it in a certain position as to the reference frame model  $M_F$ , so chosen as not to detach the whole allowance. With the data obtained, during this first use of the machine cycle, the tool path is decomposed in  $n$  constant deviation zones and the measuring points  $i$  are programmed in OMM program.

Then  $p = 1$ ,  $q = 1$ ,  $m = 1$ , are set and a deviation model with only one set parameter is chosen. The target surface is considered in normal position as to the reference frame model, and the programmed surface is established so that the predicted deviation  $DP_i^1$  should be compensated. The machine cycle is run again. With the data obtained during this new running of the machine cycle, the row  $k = 1$  in the monitoring dataset is filled in. With the following samples, the values set for  $p$ ,  $q$ ,  $m$ , as well as the number of the selected model set parameters, may increase progressively, until the algorithm reaches a steady state.

Depending on how in the module *Model setting* the current values of model set parameters is determined, the algorithm implementing the method can be adaptive-predictive or adaptive-optimal.

#### b) *Adaptive-predictive control algorithm*

A model has two kinds of parameters, namely setup parameters ( $p$ ,  $q$ ,  $m$ , and *model structure*) and estimate parameters (for instance, polynomial coefficients, for a polynomial model).

In the case of this algorithm of applying the method, the current values of the model set parameters ( $p$ ,  $q$ ,  $m$ , and *model structure*) are obtained because of passing the current values of the control error  $\mathbf{DR}_i^k$  and of the dimension error  $\mathbf{E}_i^k$  through a *decision tree*. Through this, the control has an adaptive character.

The predictive character of the control is given by the fact that, up to the part  $k+q$ , the set parameters are foreseen to comply with the behavior of the processing system. As a consequence, in the *prediction domain*

$\{k...k+q\}$ , the model set parameters will remain unchanged, while the model estimated parameters will be updated before every processing cycle. The updating of the model estimated parameters is achieved using the data corresponding to *the modeling domain*, which includes the preceding  $p$  processed parts.

In the processing cycle of part  $k+q$ , the values of the model set parameters are updated, on the base of the average value of  $\mathbf{E}_i^k$  and  $\mathbf{DR}_i^k$  corresponding to the last  $q$  samples.

Particularly, the parameter  $q$  may be equal to the number of samples in the batch, in which case the prediction is extended to the level of the whole batch.

Fig. 8,a schematizes the scheme of adaptive-predictive control algorithm. If a new setting of the model takes place for the current part  $k$ , then the data resulting from the monitoring of the last  $p$  parts, which form the modeling domain, will be used. The setting remains unchanged on the prediction domain, which extends to sample  $k+q$ .

*c) Adaptive-optimal control algorithm*

The particularity of this algorithm consists in the fact that the *Model setting* module selects the current values of the model set parameters  $p$ ,  $q$ ,  $m$ , and *model structure*. On the base of the retroactive simulation of applying all the possible sets of values for these parameters and of the statistic evaluation of the residual deviation values  $\mathbf{Drz}_i^k$  in the case of each set, is made selection of current values of the model set parameters. Is selected that set for which the dispersion of these values is minimum. Thus, through a procedure of combinatory optimization, carried out before the processing of each part in the lot, is selected the most suitable group of set parameter values. Fig. 8,b schematizes the application of the adaptive-optimal control algorithm to the current part. The simulation of all the possible sets  $p$ ,  $q$ ,  $m$ , and *model structure* is done on the *simulation domain*, which includes parts  $k-l$  up to  $k-s$ . For each of the samples in this batch, for instance for sample  $k-k_s$ , the model is built using data from samples  $k-k_s-l$  up to  $k-k_s-p$ , which represents the modeling domain corresponding to sample  $k_s$ .

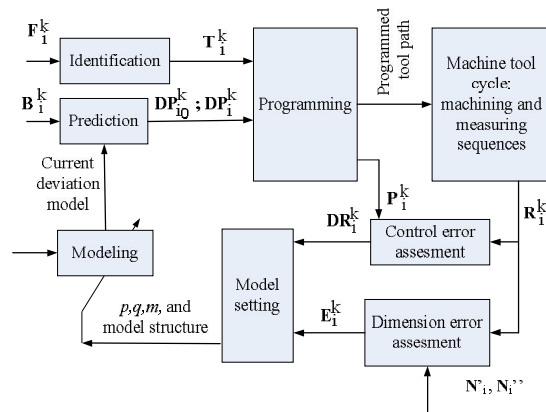
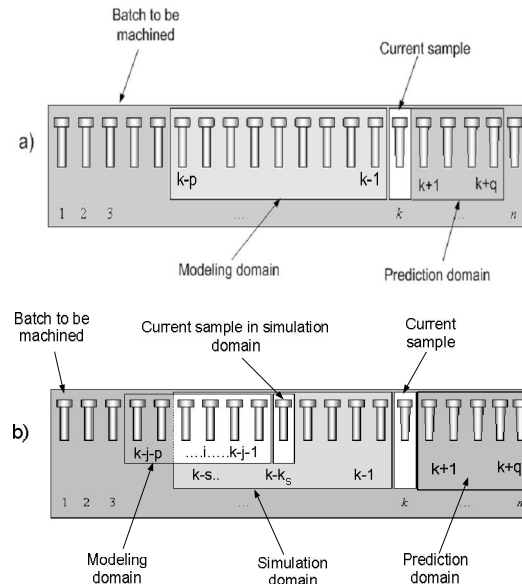


Fig. 7 Method flowchart



**Fig. 8.** Algorithms for method implementation. **a** Adaptive-predictive algorithm, **b** adaptive-optimal algorithm.

## 2.7. The advantages of the method compared to the present day methods of compensating the deviation

As compared to the present day methods of dimensional control based on compensating the deviation, the method proposed has the following advantages:

a) *It is more precise*, as it compensates better the dimensional deviation, as follows:

- The total deviation is monitored and modeled. This is why the effects of all the error sources are compensated.
- The machine-tool capacity to compensate the deviation is used to the maximum, as the programmed tool path results from the flattening out of a very fine needed tool path.
- Through the customization of the reference frame model, not only the deviations due to the machining process are compensated, but the ones due to the fixturing as well.

b) *It has a wider application range*, since it is better adapted to the machining task, as follows:

- By adjusting the parameter  $\delta$ , the tool path decomposition can be coarser or finer. Thus, various situations are avoided in which, as compared to the tolerance, the compensation is either inefficient or excessive.
- Local and ephemeral models are used instead of general, perennial ones. That is why the models are simple and can be built based on a minimum number of initial data. This makes the method efficiently applicable, even in small batch production.
- No matter what the algorithm is either the adaptive-predictive algorithm or the adaptive-optimal algorithm, the method controls not only the modeling but the model exploitation as well. By adjustment of the model set parameters, the proposed method allows to control the modeling and compensating performances. This makes the dimensional control adaptive, regarding not only the model, but regarding the technique also. This is why the method could be robust in cases that are more different from the ones that were tested in this research and which will be presented in what follows.

c) *It is more productive*, since the total time spent for the dimensional quality assurance is diminished, as follows:

- Before implementation of the control of a new batch, measurement, modeling, or other complicated actions are not necessary. The only preparatory action is the inclusion of the OMM program in a usual part-program. That is why the ramp up time is diminished.
- Checking the compliance with dimensional exigencies is included in the dimensional control algorithm. That is why it is carried out in a shorter time than in the case of the off machine checking using coordinate measuring machines.

### 3. Experiments

#### 3.1 Experimental setup

- To achieve the experimental plan, a lathe was retrofitted, which included, among others, implementing a computerized numerical control system, and a monitoring system, both intended to conduct the experimental research program. As shown in Fig. 9, the CNC system covers three degree of freedom, namely the radial translation  $X$ , axial translation  $Z$  and rotation of part  $C$ . Monitoring system allows on machine measurement on  $X$  axis (dedicated to geometry holistic monitoring, according to the method), and measurement of the cutting power, and axial and tangential components of the cutting force (as comparison alternatives for the monitoring geometry).
- Dedicated monitoring software was developed to store in a database all the data on variables measured over time. Data is acquired through an OPC server. It communicates through an Ethernet network, according to ModbusTCP IP protocol.
- The Ethernet communication module of the machine control system is connected to the same network. The monitoring software acquires, from the machine controller, data on the tool position on axes  $X$  and  $Z$ , and the angular position of the workpiece,  $C$ . In the same Ethernet network a second controller is connected.

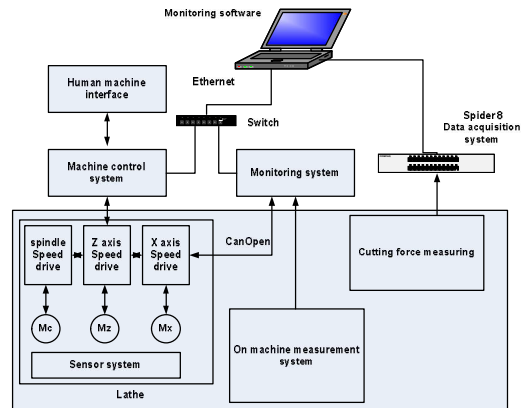
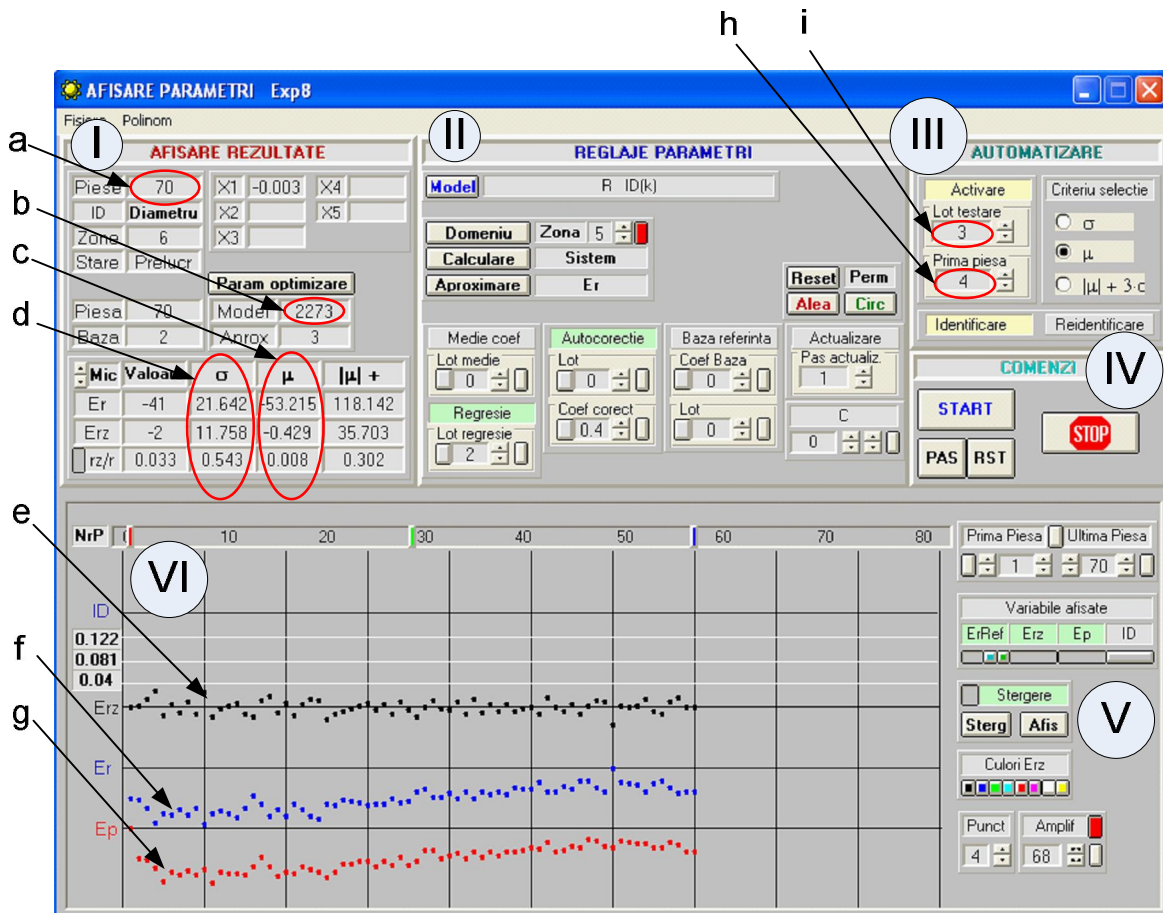


Fig. 9 Scheme of the experimental setup

- The monitoring system can also acquire data from an on machine measurement system based on a Heidenhain digital length gauge, type ST1278 with the following characteristics: RS422 compatible output, resolution 1  $\mu\text{m}$ , measuring range 12 mm, accuracy  $\pm 1 \mu\text{m}$ .
- Using four strain gauges fitted to the tool and coupled two by two in half bridge, the tangential components (in speed direction) and axial (in feed direction) of the cutting force were measured. For monitoring purpose, a data acquisition system called Spider 8 and produced by HBM was used.
- For data processing, including off line simulation of the method implementation, it was developed dedicated software in Visual Basic, whose graphic interface is shown in Fig. 10, where: I – Numerical results display panel; II – Setting panel dedicated to implementation of the adaptive-predictive control algorithm; III - Setting panel dedicated to implementation of the adaptive-optimal control algorithm; IV - General program control panel; V - Display parameter setting and batch features panel; VI - Graphical results display panel.



**Fig. 10** Program graphic interface for adaptive-optimal algorithm implementation. (a) Number of batch samples. (b) Number of models tests in adaptive optimal algorithm implementation (2273 tests). (c) Precision ( $\sigma = 21.642 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_c = 11.758 \mu\text{m}$ ,  $R_\sigma = 0.543$ ). (d) Accuracy ( $\mu = -53.215 \mu\text{m}$ ,  $\mu_c = -0.429 \mu\text{m}$ ,  $R_\mu = 0.008 \mu\text{m}$ ). (e) Residual deviation. (f) Real deviation. (g) Predicted deviation. (h) Number of samples belonging to simulation domain, ( $s = 3$ ). (i) Index of first sample for which the adaptive optimal algorithm application is applied ( $k=4$ ).

### 3.2 Experimental plan

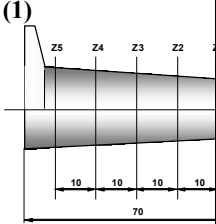
a) *The objectives of the experimental plan were:*

1. Experimental implementation of the method on batch turning where blank dimensional errors are *more or less variable* (both from one sample to another and along the tool path);
2. Assessment of the method performance as regard to reduction rate of both *systematic* and *random* error components;
3. Comparative analysis of two algorithms for method implementation namely *adaptive-predictive* algorithm and *adaptive-optimal* algorithm;
4. Comparative analysis of method performance when the model input variables are exclusively *geometrical* (thickness of material detached, single or associated with *Z* and *C* coordinates of the current point) or (cutting forces or power absorbed by the spindle speed drive);
5. Analysis of the *model set parameters influence* on the *systematic* and *random* error components.

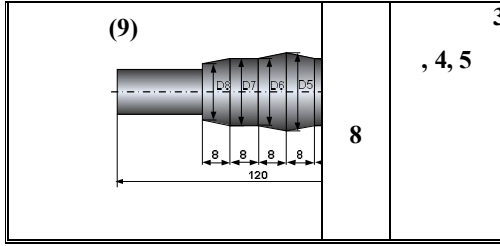
b) *The content of the experimental plan* included nine experiments. By numerical processing of the dataset obtained from experiments, a large number of numerical experiments were carried out. Processing was done with a computer product whose graphical interface is shown in Fig. 10.

Table 1 presents a summary of the experiments. In all experiments, the machining task was to obtain a cylindrical surface. Initial surface was obtained by forging or casting. Exceptions are experiments 7, 8, and 9, where the initial surface was artificially generated by turning certain cylindrical or tapered areas of different sizes. In different specimens of the batch, the diameters of these areas have varied within a tolerance of 0.4 mm, except experiment 9, where variations were intentionally increased to 1.5 mm. Thus, the cases tested were diversified enough to reach conclusions with a medium degree of generality.

**Table 1 List of the experiments**

Experiment no.	samples	objectives
(1) 	7	, 3, 5,
(2)	7	

		, 3, 4
<p>(3)</p>	00	, 2, 3
<p>(4)</p>	00	, 2, 4
<p>(5)</p>	0	, 2, 3
<p>(6)</p>	0	, 2, 5
<p>(7)</p>	0	, 2, 3
<p>(8)</p>	0	, 2, 4



c) The model structures that were tested are the recursive and polynomial models identified through regression methods, the neural models identified through back propagation algorithm, and the support vector regression models. As input variables have considered the thickness of the detached layer, together with one or both programming coordinates of points  $i_0$  located on the tool paths. For comparison, in this research, the cutting force or cutting power has been considered as alternatives to the thickness of the material detached.

Below it shown the typology of models used, where, for a certain unchanged model area  $j$ , in the point  $i$  of the sample  $k$ . This typology includes polynomial, recursive, compound, neural, and support vector regression-type models.

*Polynomial models* identified by regression were:

$$DP_i^k = a_1 \cdot I_i^k \quad (6)$$

$$DP_i^k = a_1 + a_2 \cdot I_i^k \quad (7)$$

$$DP_i^k = a_1 + a_2 \cdot I_i^k + a_3 \cdot (I_i^k)^2 \quad (8)$$

*Recursive regression models* identified were:

$$DP_i^k = a_1 \cdot DP_i^{k-1} \quad (9)$$

$$DP_i^k = a_1 + a_2 \cdot DP_i^{k-1} \quad (10)$$

$$DP_i^k = a_1 + a_2 \cdot DP_i^{k-1} + a_3 \cdot DP_i^{k-2} \quad (11)$$

$$DP_i^k = a_1 + a_2 \cdot DP_i^{k-1} + a_3 \cdot (DP_i^{k-1})^2 \quad (12)$$

*Compound models* identified by regression were:

$$DP_i^k = a_1 \cdot I_i^k + a_2 \cdot DP_i^{k-1} \quad (13)$$

$$DP_i^k = a_1 \cdot I_i^k + a_3 \cdot Drz_i^{k-1} \quad (14)$$



$$DP_i^k = a_1 \cdot I_i^k + a_2 \cdot DP_i^{k-1} + a_3 \cdot Drz_i^{k-1} \quad (15)$$

Here,  $DP_i^k$  is the dimensional deviation,  $I_i^k$  represents the model input variable,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , and  $a_4$  are constant coefficients and  $Drz_i$  is the residual deviation left after compensation.

*Neural models* obtained by training artificial neural networks of feedforward type. It was modelled the dimensional deviation using neural networks where the number of hidden layer neurons was set at six. Transfer function for the hidden layer neurons was of the tangential sigmoid type, and for the other neurons, it was used a linear transfer function. *Support vector regression-type (SVR) models*. These models have the advantage of flexibility in terms of modeling relations, which are not linear. For dimensional deviation modeling, it was used Gaussian-type kernel functions. The difficulty of using SVR technique implies that to model accurately a function it is necessary to introduce the design parameters that affect its performance drastically. These parameters are kernel application parameter  $\gamma$ , adjustment factor C, and insensitivity factor  $\varepsilon$ . To determine the factors C and  $\varepsilon$  it was used the noise assessment technique described in [2]. More specifically, it was modeled the dimensional deviation using the  $k$ - nearest neighbors algorithm, where it was selected for the parameter  $k$  a small value  $k = 6$ . To determine the parameter  $\gamma$  of the kernel application it was used an exhaustive search, combined with a cross validation algorithm. Thus, the dataset used for training the SVR algorithm was randomly divided into five parts. The algorithm was trained successively on four of these parts, and then modelling performance was evaluated using the remaining part. The Kernel application parameter value  $\gamma$ , was originally searched for in the following class  $\{2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7, 2^8\}$ . Following an analysis of modelling performance, it was found that selecting a small value for kernel application parameter  $\gamma$  leads to reduce modelling error on the dataset used for training, but, simultaneously, lead to significant errors on the dataset associated with the workpiece for which the deviation is calculated. For SVR modeling, it is used the software package, Spider that is an object-oriented environment that implements several *machine-learning* algorithms.

d) *The criteria used for method performance assessment*, as regard accuracy and precision, has the mean deviation reduction rate,  $R_\mu$  and respectively the standard deviation reduction rate,  $R_\sigma$ , defined as following:

$$R_\sigma = \frac{\sigma_f}{\sigma_r},$$

$$R_\mu = \frac{\mu_f}{\mu_r},$$

where:

$\sigma_f, \mu_f$  - standard deviation and mean deviation in the case with compensation;

$\sigma_r, \mu_r$  - standard deviation and mean deviation in the case with out compensation.

### 3.3 Results

The measurements and simulations provided a large number of experimental results. Below are given seven examples only.

1) The method performance in different experiments as shown in Table 2.

**Table 2** Method performance in different experiments  
(adaptive-predictive algorithm; model set parameters:  $p = 4$ ;  $q = 1$ ;  $m = 1$ , model #1)

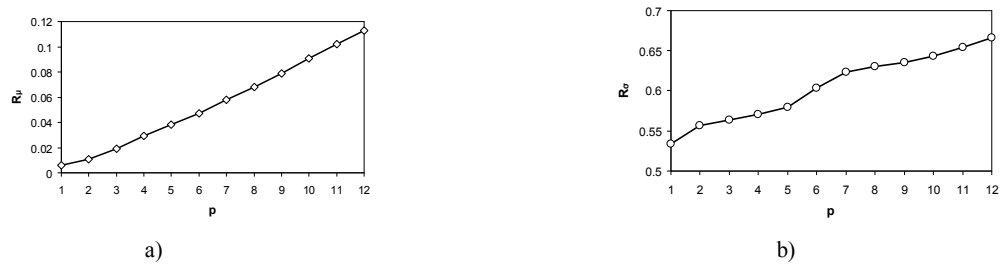
Experiment no.	1	2	3	4	5	6
$R_{\mu}$	0.032	0.005	0.010	0.010	0.045	0.187
$R_{\sigma}$	0.659	0.798	0.957	0.952	0.935	0.790

2) The method performance for different model structures as shown in Table 3.

**Table 3** Method performance in different model structures (experiment no. 7;  $p = 4$ ;  $q = 1$ ;  $m = 1$ ;  $n = 6$ )

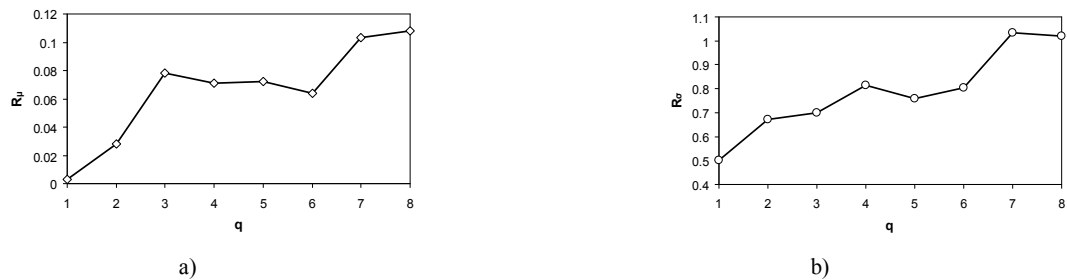
Model no.	Polynomial structure			Recursive structure		
	1	2	3	4	5	6
$R_{\mu}$	0.005	0.08	0.825	0.169	0.034	0.22
$R_{\sigma}$	0.818	1.419	7.858	1.244	1.030	1.339

3) Influence of model set parameter  $p$  on the method performance as shown in Fig. 11.



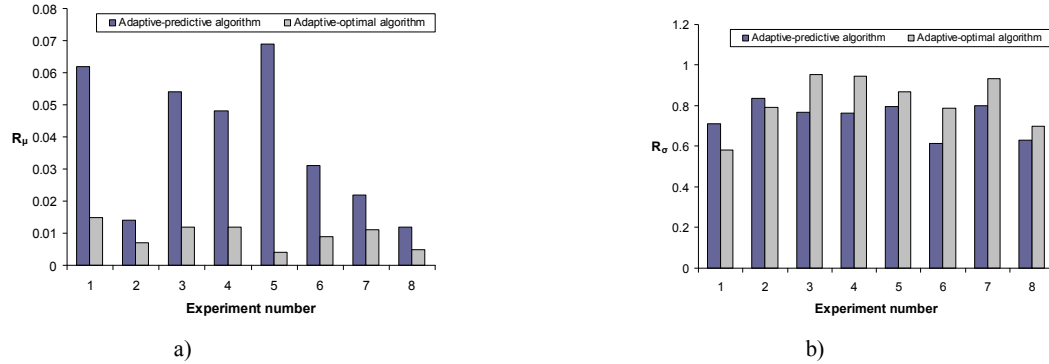
**Fig. 11** Method performance versus model set parameter  $p$ : a) mean deviation and b) standard deviation

4) Influence of model set parameter  $q$  on the method performance as shown in Fig. 12.



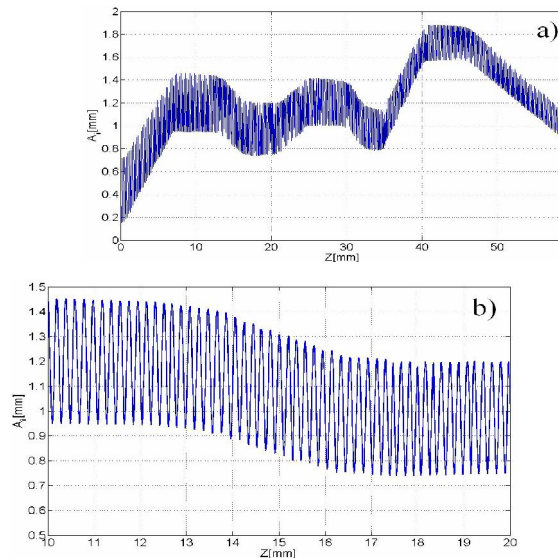
**Fig. 12** Method performance versus model set parameter  $q$ : a) mean deviation and b) standard deviation

5) Comparative evaluation of the method performance obtained when the two algorithms are applied, as shown in Fig. 13.

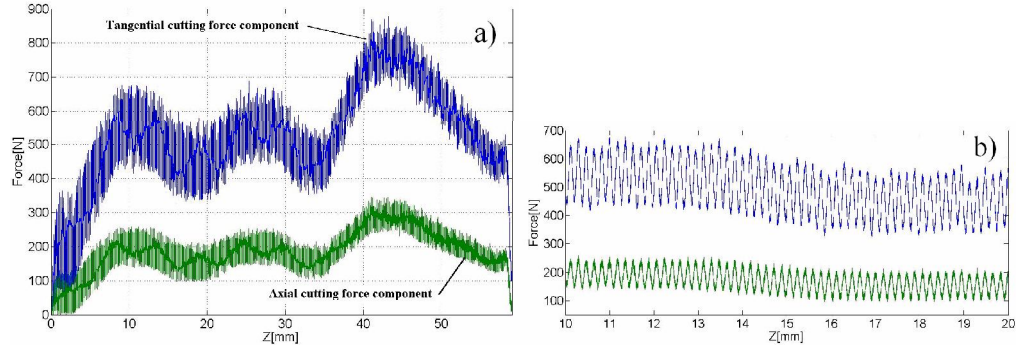


**Fig. 13** Method performance in experiments no. 1 ... 8, evaluated when the two algorithms, namely adaptive-predictive algorithm and adaptive-optimal algorithm, are applied: a) mean deviation and b) standard deviation

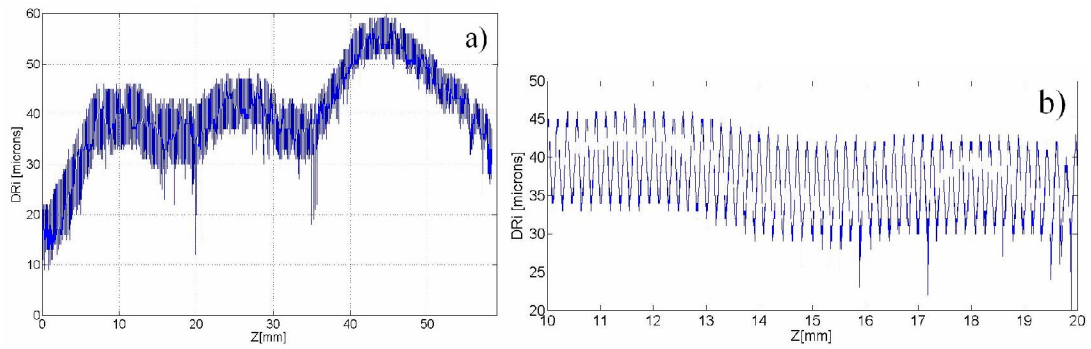
6) The next example refers to the results from machining one of samples during the experiment no. 9. Fig. 14 shows the evolution of thickness of the detached material,  $A_i$ , along the tool path, for this sample. Fig. 15 shows the evolution of the tangential and axial components of the cutting force, along the tool path, for this sample. Fig. 16 shows the evolution of the deviation  $D_i$ , along the tool path, for this sample. Fig. 17 shows the two components of the programmed deviation, namely the component due to process DP and component due to fixturing DF, and the real DR and residual  $Drz$  deviation left after compensation, mapped on the machined surface of this sample.



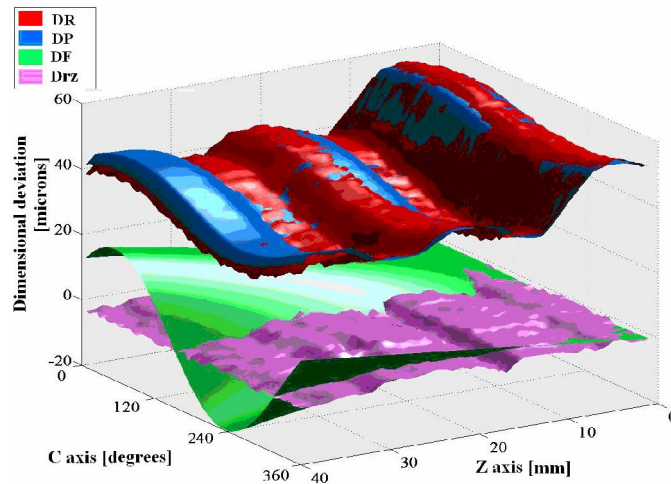
**Fig. 14** Evolution of the thickness of material removed during tool path running: a) overall and b) in a zoomed section



**Fig. 15** Evolution of the cutting forces during tool path running: a) overall and b) in a zoomed section



**Fig.16** Evolution of the real deviation along the tool path: a) overall and b) in a zoomed section



**Fig. 17** Programmed and real deviations, DP and DR, due to process, real deviation, DF, due to fixturing, and residual error remaining after compensation, Drz, mapped on the machined surface of one sample (experiment No. 9).

7) The last example refers to the reduction  $R_\mu$  and  $R_\sigma$  of the systematic, respectively random part of the total error when processing the batch of experiment no. 9. Table 4 displays these reduction rates, depending on the model structure, its input variables and the settable parameter  $p$ . The other settable parameters took the values  $m = 2400$ ,  $q = 1$ ,  $n = 1$ . Note that simpler models, with exclusive geometrical input variables lead to somewhat better results. Also, in this case  $n = 1$ , which means that the entire tool path form a single unchanged model area. Compared to cases where  $n$  has values of 5 or 6, the results were less good as regard accuracy ( $R_\mu = 0.237 \dots 0.248$ , for polynomial model with geometrical input variable). On the other hand, in this case the tool path discretization is finer, because the distance of two successive points  $i_0$  is very small, and  $m$  have high values. This explains the fact that precision was better ( $R_\sigma = 0.509 \dots 0.513$ , for polynomial model with geometrical input variable).

**Table 4** Reduction  $R_\mu$  and  $R_\sigma$  of the systematic respectively random error

Polynomial model	Model set parameter, $p$					
	$p = 1$		$p = 2$		$p = 3$	
Model structure	$R_\mu$	$R_\sigma$	$R_\mu$	$R_\sigma$	$R_\mu$	$R_\sigma$
$D_i = f(A_i)$	0.241	0.509	0.248	0.505	0.237	0.512
$D_i = f(F_i)$	0.307	0.569	0.252	0.608	0.265	0.631
$D_i = f(Z_i, C_i, A_i)$	0.239	0.558	0.252	0.539	0.238	0.521
$D_i = f(Z_i, C_i, F_i)$	0.301	0.631	0.251	0.66	0.266	0.648

ANN model	Model set parameter, $p$					
	$p = 1$		$p = 2$		$p = 3$	
Model structure	$R_\mu$	$R_\sigma$	$R_\mu$	$R_\sigma$	$R_\mu$	$R_\sigma$
$D_i = f(A_i)$	0.254	0.677	0.31	0.794	0.26	0.675
$D_i = f(F_i)$	0.301	0.608	0.239	0.806	0.264	0.715
$D_i = f(Z_i, C_i, A_i)$	0.255	0.719	0.314	0.938	0.293	1.164
$D_i = f(Z_i, C_i, F_i)$	0.28	0.956	0.303045	1.38	0.272	1.042

SVR model	Model set parameter, $p$			
	$p = 1$		$p = 2$	
Model structure	$R_\mu$	$R_\sigma$	$R_\mu$	$R_\sigma$
$D_i = f(A_i)$	0.277	0.831	0.245	0.666
$D_i = f(F_i)$	0.327	0.815	0.256	0.768
$D_i = f(Z_i, C_i, A_i)$	0.279	0.917	0.262	0.886
$D_i = f(Z_i, C_i, F_i)$	0.315	1.011	0.289	1.422

As for the maximum deviation predicted compensation, it is limited by the kinematic capabilities of each numerical controlled kinematic degree of freedom. The ability to compensate for the predicted deviation depends on the relationship between the maximum compensation speed allowed by the machining system and maximum deviation of the predicted variation. If the first is greater than the latter, then the compensation is complete and performance is maximum. Otherwise, compensation is partial. For example, in experiment 9, the radial outreach of the turned surface (whether due to eccentricity of the surface fixing in chuck, or eccentricity of the initial surface), although entirely predicted, it could not be compensated but partially. It follows that in the process of turning, there are significant reserves of performance increase by increasing machine tool capability to compensate for fast components. In this respect, the use of piezoelectric actuators seems to be an appropriate enabling technology. They could be used for rapid movement over short distance of low mass assemblies (such as tool holder, in case of turning processes).

#### 4. Conclusions

a) In this paper, a novel method for adaptive control based on in-cycle geometry monitoring and programming was proposed. The method involves the following actions:

- Inclusion in the part-program of an OMM program that monitors the geometry of reference, blank, and machined surfaces of the current sample;
- In-cycle modelling of the current reference frame and location in relation to this of the target surface;
- Deviation modeling and forecasting, followed by its compensation through in cycle tool-path programming;
- In – cycle assessment of the control and dimension accuracy, followed by periodic setting the deviation model.

b) Experiments on the method implementation, when turning batches where blank dimensional errors are more or less different (from one sample to another, and along the tool path) have confirmed the possibility of implementing the method and have shown the necessary facilities for implementation, namely an OMM system and dedicated software.

c) In terms of accuracy and precision, the method leads to the reduction of deterministic and even nondeterministic part of the total error. For entire batch, the level of reduction rate of the two parts is as follows:

- for deterministic part of the total error, the level of reduction rate could be  $R_{\mu} = 0.005 \dots 0.05$ ;
- for nondeterministic part of the total error, the level of reduction rate could be  $R_{\sigma} = 0.55 \dots 0.75$ . So far, the best results were reported by [24] and consisted in the reduction rate up to 0.24 of one of part of the deterministic components only. These results are clearly better. Moreover, they refer to the whole processing error and entire batch.

d) The comparative experimental analysis of two algorithms for implementing the method, namely *adaptive-predictive algorithm* and *adaptive-optimal algorithm*, showed that, as regard accuracy, the second leads to better results. However, it cannot be applied to the first 10. .. 15 samples of the batch. It follows that it is reasonable that, with the first samples of the batch, the first algorithm be applied and for the remaining samples, the second be applied.

e) Comparative experimental analysis of the method performance when model input variables are *i)* exclusively geometrical (thickness of detached material, single or associated with the programmed coordinates of the current point ) or *ii)* physical (cutting forces or power) have shown that best results can be obtained when the thickness of detached material is the only input variable.

f) Experimental evaluation of the influence of the deviation model set parameters,  $p$ ,  $q$ ,  $m$ , and *model structure*, on the method accuracy and precision showed that best results could be obtained when:

- the model structure is simple (e.g. polynomial structure of first degree),
- number of input variables is reduced (e.g. only one variable, namely thickness of detached material),
- $p$ ,  $q$ , and  $m$  take low values (between 1 and 4).

In other words, simple, local, and ephemeral models are more efficient than more general, complicated, but perennial models.

#### Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN\_II\_ID\_653/2007.

## Bibliography

1. Yang H., Ni J. Dynamic neural network modeling for nonlinear, nonstationary machine tool thermally induced error (2005) *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (4-5), pp. 455-465.
2. Chena F.J.; Yina S.H., Huangb H. , Ohmorich H., Wanga Y. , Fana Y.F.and Zhua Y.J. Profile error compensation in ultra-precision grinding of aspheric surfaces with on-machine measurement. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Volume 50, Issue 5, May 2010, Pages 480-486
3. Zhang G.X. , Zhang H.Y. , Guo J.B. , X.H. Li, Z.R. Qiu and S.G. Liu. Error compensation of cylindrical coordinate measuring machines *CIRP Annals - Manufacturing Technology G Model CIRP-574*;
4. Liang J. C, Li H. F , Yuan J. X ,Ni J , 'A comprehensive error compensation system for correcting geometric, thermal, and cutting force-induced errors' *Int. J. Adv. Mfg Technol.* 13 (10) (1997): 708-712
5. Wang S.-M. ,Yu H.J. and Liao H.W. , A new high-efficiency error compensation system for CNC multi-axis machine tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28 (2006), pp. 518–526.
6. Kamali Nejad, M., Vignat, F., and Villeneuve, F., 2009, "Simulation of the Geometrical Defects of Manufacturing," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 45, pp. 631–648.
7. Wu Hao, Zhang Hongtao, Guo Qianjiana, Wang Xiushana and Yang Jianguo , Thermal error optimization modeling and real-time compensation on a CNC turning center
8. Rao V.S., Rao P.V.M., Tool deflection compensation in peripheral milling of curved geometries (2006) *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46 (15), pp. 2036-2043.
9. Fines John, Agah Arvin Machine tool positioning error compensation using artificial neural networks, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* archive Volume 21 , Issue 7 (October 2008) Pages 1013-1026 , 2008 ISSN:0952-1976
10. Schwenke H., Knapp W., Haitjema H., Weckenmann A., Schmitt R., Delbressine F. Geometric error measurement and compensation of machines-An update (2008) *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57 (2), pp. 660-675.
11. Li, J.; Zhao, H.; Yao, Y.; Liu, C. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 36, Numbers 9-10, April 2008 , pp. 908-917(10)
12. Yan JY, Yang JG (2009) Application of synthetic grey correlation theory on thermal point optimization for machine tool thermal error compensation. *Int J Adv Manuf Technol* 43:1124–1132
13. Liu, Y.-T., et al., A study on optimal compensation cutting for an aspheric surface using the Taguchi method. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (2010), doi:10.1016/j.cirpj.2010.03.001
14. Yang H., Ni J. Adaptive model estimation of machine-tool thermal errors based on recursive dynamic modeling strategy (2005) *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (1), pp. 1-11.
15. Chen Weifang; Xue Jianbin; Tang Dunbing; Chen Hua; Qu Shaopeng- Deformation prediction and error compensation in multilayer milling processes for thin-walled parts, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 49, Issue 11, September 2009, Pages 859-864, ISSN 0890-6955
16. Kong L.B., Cheung C.F., To S., Lee W.B., Du J.J., Zhang Z.J. A kinematics and experimental analysis of form error compensation in ultra-precision machining. (2008) *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48 (12-13), pp. 1408-1419.
17. Uddin M.S., Ibaraki S., Matsubara A., Matsushita T. Prediction and compensation of machining geometric errors of five-axis machining centers with kinematic errors (2009) *Precision Engineering*, 33 (2), pp. 194-201.
18. Lei W.T., Sung M.P. NURBS-based fast geometric error compensation for CNC machine tools (2008) *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48 (3-4), pp. 307-319.
19. ElMaraghy H.A., Barari A., Knopf G.K. Integrated inspection and machining for maximum conformance to design tolerances (2004) *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53 (1), pp. 411-416.
20. Hsu Y.Y., Wang S.S. A new compensation method for geometry errors of five-axis machine tools (2007) *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47 (2), pp. 352-360.
21. Cho M.-W.; Kim G.-H.; Seo T.-I., Hong Y.-C.; Cheng H.H. Integrated machining error compensation method using OMM data and modified PNN algorithm (2006) *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46 (12-13), pp. 1417-1427.
22. Tian, X., J.P. Huissoon, Q. Xu and B. Peng, 2008. Dimensional error analysis and intelligent pre-compensation in CNC grinding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 36: 28-33.
23. Eyüp Sabri Topal Can Çoğun Computer-based estimation and compensation of diametral errors in CNC turning of cantilever bars *Journal of Intelligent Manufacturing* DOI 10.1007/s10845-009-0360-0



24. Qianjian Guo, Jianguo Yang and Hao Wu, Application of ACO-BPN to thermal error modeling of NC machine tool, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Published online: 30 January 2010
25. Davis T.A., Carlson S., Red W.E., Jensen C.G., Sipfle K. Flexible in-process inspection through direct control (2006) Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 39 (1), pp. 57-72.
26. Ko, Tae ; Park, Jung; Kim, Hee; Kim : On-machine measurement using a noncontact sensor based on a CAD model, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 32, Numbers 7-8, April 2007 , pp. 739-746(8)
27. Jung Ji-Hun , Choi Jin-Phil , Lee Sang-Jo Machining accuracy enhancement by compensating for volumetric errors of a machine tool and on-machine measurement, Journal of Materials Processing Technology, Volume 174, Issues 1-3, 25 May 2006, Pages 56-66, ISSN 0924-0136
28. Mekid, S; Pruschek, P; Hernandez, J (2008), “Beyond intelligent manufacturing: A new generation of flexible intelligent NC machine”, Mechanism and Machine Theory, 44, pp 466-476

[2] Ion Lixandru, Vasile Marinescu, Mihaela Banu, Alexandru Epureanu , **Methods for the Optimization of Some Functions of Interpolation with Application for Modelling of the Thermal Field in Machining Processes** , Annals of the „Dunărea de Jos” University , Fascicle V, ISSN 1221-4566, 2010, (indexata BDI)

## **Methods for the Optimization of Some Functions of Interpolation with Application for Modelling of the Thermal Field in Machining Processes**

ION LIXANDRU, VASILE MARINESCU, MIHAELA BANU, ALEXANDRU EPUREANU

Manufacturing Science and Engineering Departament

„Dunărea de Jos” University of Galați

111 Domnească, 800201 – Galați

ROMÂNIA

E-mail: [Alexandru.Epureanu@ugal.ro](mailto:Alexandru.Epureanu@ugal.ro)

### Abstract

In this article, there are mainly presented two methods for the optimization of some functions of interpolation.

A first method is that of minimizing functional operators, thus drawing conclusions on the importance of knots where the measurements are made, therefore allowing the number of knots to be reduced.

A second method is that of genetic algorithms which is used to optimize an objective function, starting from a population of codifications of possible solutions for the problem, and where probabilistic transition rules are used instead of determinist ones.

### Key words

Functional operator, genetic algorithm, spline functions, optimization, function of interpolation, objective function, genetic operators, thermal field, modelling.

## 1 Introduction

In practice, it has been established that the values measured during an experiment are not exact and , therefore, one can state that the function which interpolates the event depends on these values. Focussing on minimizing certain operators, from the necessary condition of extreme for a function with many variables, conclusions can be drawn on the importance of knots where the measurements are made., thus allowing their number to be reduced and, therefore, also reducing the necessary sensors for the experiment.[4],[5]

The genetic algorithms can be successfully used together with the methods of interpolation, regardless of dimensionality , in situations where the nuber of points of interpolation is relatively high and only the selection of a representative subset is desired. This subset of points is selected so as the error obtained using the entire multitude of points of interpolation when evaluating to be minimum.

Genetic algorithms are at the basis of a research diretion specific to evolutionary calculus, a field which uses mathematical theories inspired from the biological paradigm of the evolution of life for fundamenting some search and optimization methods.[3]

## 2 Problem formulation

Optimizing some interpolator functions has the purpose of reducing the number of point's knots where the measuring and implicitly the number of necessary sensors are made.

The first step by means of minimizing some form operators  $\int [f^{(s)}(t)]^2 dt$  (for the interpolator functions a single variable)  $\iint \left( \frac{\partial^2 x}{\partial u^{a_1} \partial v^{a_2}} \right)^2 dudv$  where

$a_1 + a_2 = 2$  (for the interpolator functions of two variables) or  $\iiint \left( \frac{\partial^a x}{\partial u^{a_1} \partial v^{a_2} \partial w^{a_3}} \right)^2 dudvdw$ , unde

$a = a_1 + a_2 + a_3$  (for the interpolator functions of three variables) we can obtain useful information on the importance of points.

Thees, secondly by means of the genetic algorithm method those points considered to be the most representative are obtained.

### 3 Problem Solution

The use spline functions as interpolator functions is based on certain linear convex combinations that ensure the coupling stability of the process. Considering the spline function as a function of values measured in knots, taking into account their extreme values, information about the importance of knots where the measuring is being made is obtained. By means of genetic algorithms the more influential points are therefore subsequently determined.

#### 3.1 Minimizing Some Functional Operators

Considering  $f : [a, b] \rightarrow \mathbf{R}$ , is a function of interpolation with one variable, on the set of knots  $(t_i)_{i=\overline{1, n}}$ ,  $f(t_i) = d_i, \forall i = \overline{1, n}$  and  $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)^t$  - the vector of control points. The goal is mainly to minimize certain operators such as:  $\int [f^{(s)}(t)]^2 dt$ .

Using a B-spline function as a function of interpolation, given by:

$$(1) f(t) = \sum_{i=1}^n d_i N_{i,k}(t), \text{ where } N_{i,k}(t) \text{ are}$$

basic B-spline functions recursively defined through:

$$(2) N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [t_i, t_{i+1}) \\ 0, & \text{in rest} \end{cases}$$

$$(3)$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+k-1} - t_i} N_{i,k-1}(t) + \frac{t_{i+k} - t}{t_{i+k} - t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(t),$$

$$k \geq 2.$$

If it is considered:

$$(4)$$

$$N_i(t) = (N_{1,k-i}(t), N_{2,k-i}(t), \dots, N_{n-i,k-i}(t)), i = \overline{0, n}$$

then from the necessary conditions of extreme the following homogeneous system is obtained :

$$(5) A_s d = 0, d = (d_1, d_2, \dots, d_n), \text{ where:}$$

$$(6) A_s = \left( \int N_i^{(s)}(t) (N_j^{(s)}(t))^t dt \right)_{i,j = \overline{1, n}}.$$

Conclusions can be drawn on the most influential (important) point of the measurement from the analysis of system (5).

For  $s = 0$ ,  $A_0$  is the mass matrix and if  $\text{rank } A_0 = r$  (for example  $\Delta_r = \det(a_{ij})_{i,j=\overline{1, r}} \neq 0$ )

then  $d_1, d_2, \dots, d_r$  are the primary unknowns which are expressed by taking into consideration the secondary unknowns  $d_{r+1}, d_{r+2}, \dots, d_n$ . From the practical point of view, this means that the knots  $t_{r+1}, t_{r+2}, \dots, t_n$  are more influential (important) and, therefore, the other ones can be eliminated. As an analogy, the cases  $s = 1$  or  $s = 2$  are

studied, where  $A_1$  is the rigidity matrix and  $A_2$  is the bending matrix.

Considering  $x: [a, b] \times [c, d] \rightarrow \mathbf{R}$ , is a function of interpolation with two variables on the set of knots  $(u_i, v_j)_{\substack{i=1, \overline{m} \\ j=1, n}}$ ,  $x(u_i, v_j) = d_{ij}$ ,  $d = (d_{ij})_{\substack{i=1, \overline{m} \\ j=1, n}}$ ,  $d$  - the matrix of control points. This function can be regarded as the tensorial product of two functions of interpolation with one variable. In this case the goal is to minimize certain operators such as:  $\iint (x(u, v))^2 dudv$ ,

$$\iint \left( \frac{\partial^2 x}{\partial u \partial v} \right)^2 dudv, \quad \iint \left( \frac{\partial^2 x}{\partial u^2} \right)^2 dudv, \\ \iint \left( \frac{\partial^2 x}{\partial v^2} \right)^2 dudv, \text{ related to the elements of matrix } d.$$

For the first operator from the necessary conditions of extreme, the following system is obtained:

$$(7) A_u dA_v = 0, \text{ where:}$$

$$(8) A_u = \left( \int N_i(u) N_j'(u) du \right)_{i, j=1, \overline{m}} \cdot A_v =$$

$$\left( \int N_i(v) N_j'(v) dv \right)_{i, j=1, \overline{n}}$$

Conclusions can be drawn on the more influential (important) points of the measurements from studying system (7).

Using the same method, the following system is obtained for the second operator:

$$(9) M_1^u dM_1^v = 0, \text{ where:}$$

$$(10) M_1^u = (D_u^1)^t A_1^u D_u^1; M_1^v = (D_v^1)^t A_1^v D_v^1$$

$$(11) A_1^u = \left( \int \frac{\partial}{\partial u} (N_i(u)) \frac{\partial}{\partial u} (N_j'(u)) du \right)_{i, j=1, \overline{m-1}};$$

$$A_1^v = \left( \int \frac{\partial}{\partial v} (N_i(v)) \frac{\partial}{\partial v} (N_j'(v)) dv \right)_{i, j=1, \overline{n-1}}$$

$$(12) D_u^1 = \left( \frac{\partial d_i}{\partial u} \right)_{i=1, \overline{m-1}}^t; D_v^1 = \left( \frac{\partial d_j}{\partial v} \right)_{j=1, \overline{n-1}}^t.$$

As an analogy, the other two operators are minimized.

Considering  $x$ , a function of interpolation with three variables on the set of knots

$$(u_i, v_j, w_k)_{\substack{i=1, \overline{m} \\ j=1, \overline{n} \\ k=1, \overline{p}}}; x(u_i, v_j, w_k) = d_{ijk} \quad \text{and}$$

$d = (d_{ijk})_{\substack{i=1, \overline{m} \\ j=1, \overline{n} \\ k=1, \overline{p}}}$ , the matrix of control points. This

function can be regarded as the tensorial product of a function with three variables or the tensorial product of a function with one variable together with a function with two variables.

In this case, the goal is to minimize certain operators such as:

$$\iiint \left( \frac{\partial^a x}{\partial u^{a_1} \partial v^{a_2} \partial w^{a_3}} \right)^2 dudvdw, \text{ where}$$

$a = a_1 + a_2 + a_3$  related to the elements of (matrix)  $d$ .

For the operator  $\iiint (x(u, v, w))^2 dudvdw$ , from the necessary conditions of extreme, the following system is obtained:

$$(13) A_u \odot_i d \odot_j A_v \odot_k A_w = 0, \quad \text{where}$$

$\odot_i$  represents the product of contraction of coefficient  $i$ .

Generally, the following system is obtained:

$$(14) M_{a_1}^u \odot_i d \odot_j M_{a_2}^v \odot_k M_{a_3}^w = 0.$$

### 3.2 Genetic Algorithms Method

The genetic algorithms method is used for the optimization of an objective function starting from a *population* of codifications of possible solutions for the problem and using probabilistic transition rules instead of deterministic ones, to move around in the space of solutions towards populations that contain the most appropriate solution.

A solution for the problem of optimization is represented as a vector called *individual (chromosome)*, the elements of which are called *genes*.

To solve the problem of optimization, the genetic algorithms use a series of genetic operators which act upon the population, the chromosomes or the genes:

- *selection*– chooses individuals from the population in order to reproduce their characteristics;
- *crossing*– creates new members (offspring, successors) by combining alternative parts from two or more parents;
- *inversion* – inverses the order of the genes between two points from a chromosome;
- *mutation* – modifies randomly certain genes from the chromosome.

These operators allow the scanning of the space of solutions, the identification of the best solutions, and the spreading of their characteristics (genes) from one generation to another, until the desired solution is obtained, the one that optimizes (maximizes or minimizes) the objective function.

Two steps must be covered when using genetic algorithms. Firstly, the method for codifying the solutions for the problem and the function of evaluation

(measuring) of the quality of every chromosome (every solution) are established. Then successive populations are generated until the most appropriate solution is obtained or until a definite number of evolutions are covered, evaluating the chromosomes from the population at every stage and applying the genetic operators for the selection and reproduction of the chromosomes elected using genetic operators. In a nutshell, this second step can be described as follows [Dumitrescu & Costin, 1996]:

**Algorithm.** The pseudocode of the genetic algorithms

**Step 1.** Initiates the population of chromosomes

**Step 2.** Evaluates every member of the population

**Step 3.** Repeats until the condition to stop is fulfilled

**3.1.** Selects the most suitable individuals for reproduction

**3.2.** Creates a new generation using genetic operators for crossing and/ or mutation

**3.3.** Evaluates the new members of the population and replaces the *weak* members of the initial population with the members of the new generations.

**Observation.** The condition to stop the genetic algorithm (Step 3) can be dictated by the fact that the time to generate the new generations has expired, by a limited number of obtained generations or by a certain value of the objective function.

Genetic algorithms can be successfully used together with the methods of interpolation, regardless of the dimensionality, in the situations in which the number of points of interpolation is relatively high and only the selection of a representative subset is desired. This

subset of points is selected so as the error obtained, using at the evaluation the entire multitude of points of interpolation, to be minimum.

Considering  $f : [a, b] \rightarrow \mathbf{R}$  and the points of interpolation  $\Delta : a = x_1 < x_2 < \dots < x_n = b, y_i = f(x_i) \forall i = 1 \dots n$ , the method of the genetic algorithms can be applied for the selection of a subset of points from  $\Delta$ ,  $\Delta_{min} : x_{i1} < x_{i2} < \dots < x_{im}, m < n, i_1, \dots, i_m \in \{1, \dots, n\}$  so as the function  $F$  which interpolates  $f$  in the points of the subset above, to minimize the error:

$$\sum_{i=1}^n (F(x_i) - f(x_i))^2 \mapsto \min .$$

### 3.3 Application

Modelling a thermal field from a hot-worked part

To carry out this experiment, the case of a hot-worked cylindrical part  $\Phi 60 \times 400$  mm, made of OLC 45 steel, caught between the chuck and the tip of the lathe tailstock spindle was studied.

The thermal field was visualised with an infrared camera FLIR Systems ThermoVision A20M, having the following important characteristics:

- The measuring field: -20...+900°C;
- The thermal sensitiveness < 0,1°C;
- The image frequency: 50Hz;
- Detector: FPA microbolometer without cooling;
- Spectrum: 7,5-13 um;
- Measuring temperature: Spot, Area, Isotherm, Delta T;
- The resolution of the detector: 160x120 physic pixels;
- Analogical interface: PAL (standard), 0-5 V (temperatura arie/spot);
- Video digital interface: Ethernet or FireWire;
- Control interfaces: RS232, FireWire/Ethernet;

- Interchangeable objective: 17 mm standard.

The acquisition and processing of the thermograms was achieved with the help of the specialised software ThermoCAM Researcher Professional.

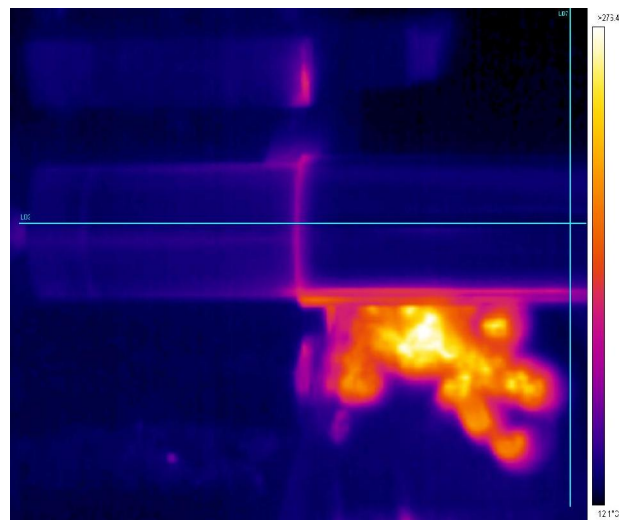


Image 1 – Reference thermogram

The process of cutting and was continuously filmed, afterwards a representative frame was selected (Image 1), for which the temperatures along the centre line of the processed part were determined, being considered as the x center line; thus resulted the values from the following table.

[mm]	0	5	0	5	0	5	0
[°C]	7.4	1.8	2.3	1.1	9.7	4.7	8.0
	45	50	55	60	65		
	39.3	37.6	38.5	38.1	39.9		

80	85	90	95	100	105
42.0	42.6	43.6	43.1	43.6	43.3
120	125	130	135	140	145
44.9	44.9	45.8	47.6	48.8	48.9
160	165	170	175	180	185
88.3	57.9	45.9	40.6	36.8	34.3
200	205	210	215	220	225
36.8	32.8	34.0	33.2	34.8	32.4
240	245	250	255	260	265
36.3	34.1	35.3	36.4	32.2	32.5
280	285	290	295	300	305
32.2	32.8	31.5	31.4	32.4	30.4

Based on the values above, the modeling of the thermal field was achieved, using B-spline functions, in two ways: using the measured values in all the 61 points (the blue curve from image 2) and using the measured values in only 30 points, selected through the genetic algorithms method as being the most representative (the red curve from image 2).

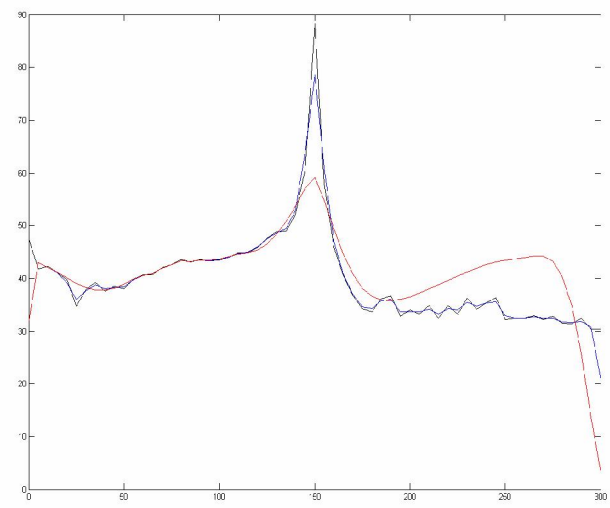


Image 2 – Modelling the thermal field along the center line of the part

#### 4 Conclusions

Even though in some practical problems it was observed that the method of genetic algorithms tends to converge towards a local optimum or that the time to obtain the solution is superior to other optimization algorithms, the rapidity and simplicity with which it locates a population of „good” solutions even for difficult search spaces, makes it many times more preferable in practical applications.

In the case of minimizing some functional operators, homogeneous systems are obtained from the necessary conditions of extreme. When analysing these homogeneous systems, a multitude of susceptible points are deducted as being more important (this condition is not also sufficient).

The practical experiment carried out shows that the methods of optimization presented can be successfully used for the interpolation of unidimensional

fields or fields with many dimensions, this leading to the development of intelligent command systems.

### Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education, Research and Innovation through Grant PNII IDEAS 653/2007.

### References

1. R.A. BROWNLEE, W.A. LIGHT. Approximation Orders for Interpolation by Surface Splines to Rough Functions. IMA J. Numer. Anal. 24(2):179-192, 2004.
20. P. CONSTANTIN, C. MANNI. Some Applications of New Splines Spaces in Computer Aided Geometric Design. Rendicanti di Matematica e Delle Sue Applicazioni. Serie VIII, Volume 24. Tomo II 2004.
2. D. DUMITRESCU, H. COSTIN, *Rețele neuronale. Teorie și aplicații*, Editura Teora, 1996

3. J.H. HOLLAND, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975

4. I. LIXANDRU, A. EPUREANU, G. FRUMUȘANU, M.V. CRĂCIUN, *Algorithm for Modeling the Thermo-Mechanical Field Dynamics, Based on B-Spline Functions, with Application to Machining System*, The Annals Of "Dunărea De Jos" University Of Galati, Fascicle V, 2008

5. I. LIXANDRU ș.a., Algorithm Developing for Online Modelling of Technological Systems' Thermo-mechanical Fields' Dynamics. Workshop on Mathematics, Computer Science and Applications. November, 7-9, 2008. Conference room: SA (Library) Department of Mathematics and Computer Science. The Annals of the "Dunărea de Jos" University of Galați. ISSN 1842 – 6506. Fascicle II. (pag. 126 – 134). Mathematics, Physics, Chemistry, Informatics. Thematic Series. 2008

5. H. MEIER. Creating Fair and Shape-Preserving Curves and Surfaces, chapter FAIR, An Interpolation/Approximation Method and Tool, pages 73-87. B.G. Teubner, 1998.

6. P. SABLONIERE. Bernstein-Bezièr Methods for the Construction of Bivariate Spline Approximants Computer Aided Geometric Design. II(1-3):29-36.1985.

7. N. SAPADIS, G. FARIN. Automatic Fairing Algorithm for B-spline Curves. CAD, 22(2): 121-129, 1990.



[3] Alexandru Epureanu, Viorel Vacarus, Catalina Maier, Mihaela Banu, Florin B. Marin, **Surface micro-topography and its control by machining process scheduling**, International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 2010, (indexata BDI)

## **SURFACE MICRO-TOPOGRAPHY AND ITS CONTROL BY MACHINING PROCESS SCHEDULING**

**Alexandru Epureanu<sup>1</sup>, Viorel Vacarus<sup>2</sup>, Catalina Maier<sup>1</sup>, Mihaela Banu<sup>1</sup> & Florin  
B. Marin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> “Dunarea de Jos” University of Galati, Manufacturing Science and Engineering Department

<sup>2</sup> Renault Company, Bucharest

Corresponding author: Alexandru Epureanu, alexandru.epureanu@ugal.ro

**Abstract:** The paper presents the results of experimental research on the surface micro-topography in case of machining. The cutting edge geometry (including its roughness) and its trajectory relative to the workpiece generate what we call the nominal micro-topography of the machined surface. The real micro-topography differs from the nominal one due to: *i*) the deviation of the surface longitudinal profile with respect to the tool trajectory, caused by chip separation of the workpiece material, and *ii*) the deviation of the surface transverse profile with respect to the cutting edge profile, caused by plastic deformation of the detached material. This is why the actual roughness is usually higher than the nominal one. Using profilography, electron microscopy, and atomic force microscopy, are investigated the relationships between the nature of the part material and cutting conditions, on the one hand, and the surface topography, on the other hand, in the case of interrupted turning.

**Key words:** adiabatic cutting process, surface roughness, surface topography, minimum chip thickness, process quantum, machining process scheduling

### **1. INTRODUCTION**

It is currently accepted the idea that if the cutting speed is increased significantly then the amount of heat recovered by tool may drop, and its negative effects are reduced ([Guillot et al., 2008](#) and [Tsai, et al. 2005](#)).

Different opinions on this idea emerged in terms of significant differences between the temperatures of the chip and cutting tool, and between these two and part temperature during processing ([Tuğrul et al. 2005](#)).

According to ([Tuğrul & Erol, 2007](#)), at the highest possible cutting speeds, 90% of heat

generated is recovered in the chip, 5% in the part and 5% in the cutting tool. Others ([Puerta Velásquez et al. 2006](#)) suggested that 80% transfers in the chip and 10% in the cutting tools and processed part.

However, all agreed that at high speed cutting the heat remains in chip, making its temperature to rise, while the finished parts remain relatively cold. The decreased time in which heat can diffuse in part material makes this plausible.

On the other hand, the cutting edge geometry (including its roughness) and its trajectory relative to the workpiece generate what we will call the nominal micro-topography of the machined surface. The real micro-topography differs from the nominal one due to: *i*) deviation of the surface longitudinal profile (in direction along of the cutting speed) with respect to the tool trajectory, caused by chip separation of the workpiece material, and *ii*) deviation of the surface transverse profile (in direction perpendicular to the cutting speed) with respect to the cutting edge profile, caused by plastic deformation of the detached material. Therefore, the actual roughness is almost always higher than the nominal one.

In other works ([Marin et al, 2009](#)) we have proposed a machine tool control technique based on optimal reactive process scheduling. Unlike the current feedrate scheduling techniques, the proposed technique consists in dividing the process into small sequences, called process quanta, and separately optimal setting, for each process quantum. This setting includes the basic process parameters, namely: *i*) the uncut chip shape, *ii*) the uncut chip dimension, and *iii*) the cutting speed. Consequently, the process optimization problem is solved for each process quantum, and not for the entire process. On the other hand, the restriction set includes the surface roughness restriction.

This paper addresses the relationship between the scheduled process parameters and the deviation of

the actual micro-topography with respect to the nominal one. The aim is that by controlling this deviation, the process productivity can increase, in cases when the productivity is limited by the surface roughness restriction (which often is the case).

Basically, it is proposed the idea of controlling the longitudinal profile deviation by the adiabatic character of the cutting process, and of the transverse profile deviation by the thermal field which appears in the section of the uncut chip. Specifically, as control variables of the two aspects are proposed the minimum chip thickness and the cutting speed, while the cutting edge geometry (including its roughness) is considered constant for a given machining process.

The physical experiments are represented by interrupted turning, to which the successive interruptions are the milestones that mark the process quanta that the process has been divided. In this paper, the interrupted turning with high cutting speed is experimentally studied. The aim is to assess whether the thermal aggression to which is subject the layer of the machined surface can be diminished, in order not to generate significant surface roughness. Under these conditions, the surface roughness is almost exclusively due to its nominal topography, which, in turn, is directly dependent on the geometry and microgeometry of the tool edge.

Further, by appropriate changing of the tool edge geometry, surface roughness can be reached as to be equal to edge roughness, which would allow an economical part finishing. To this end, the cutting process was approached as adiabatic process that takes place in a specific cutting thermodynamic system. Then, through physical simulation, has been studied adiabatic nature of the cutting process.

The paper is arranged as follow: the next section presents definition, modeling and assessment

of the cutting thermodynamic system. The third section sums up the experimental investigations as regard the surface topography, in the case of adiabatic interrupted turning. The fourth section shows how the surface micro topography is controlled by reactive process scheduling. A conclusion summarises the main results presented and discusses about the idea of finishing the surfaces by turning.

## 2. CUTTING THERMODYNAMIC SYSTEM

### 2.1 Modeling of the cutting thermodynamic system

#### a) Modeling as open system

The cutting thermodynamic system will be modeled as a thermodynamic system in steady flow. Such thermodynamic system is composed of a material that performs a series of energy transformations during flowing. Let us consider  $m$  the mass flow of material input in the thermodynamic system, having specific internal energy  $u_1$ . At the output of the system, there is the same material flow but having specific internal energy to become  $u_2$ . Material flow is given by

$$m = \rho v s t \quad (1)$$

where:  $\rho$  - is the density of material;

$v$  – cutting speed;

$s$  – feedrate;

$t$  – depth of cut.

In addition, we used heat flows  $q_m$ ,  $q_p$ ,  $q_s$  which is the amount of heat per time unit changed with the environment, part, and tool, respectively, as can be seen in Figure 1. Material that supports the energy transformations is the detached material. The cutting thermodynamic system is limited by the following (Fig. 1):

- the limit between the thermodynamic system and the part P is the AD area of the surface resulting from the cutting process;

- the separation limit from tool S is the AB surface between the chip and tool;
- the separation limit from environment is the  $C_1C_2$  surface of the workpiece.

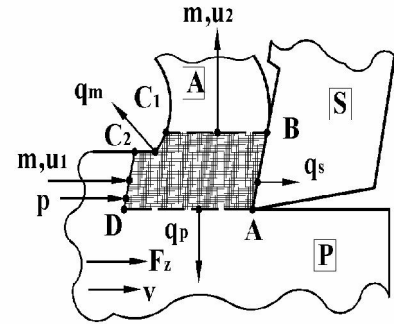


Fig.1. Modeling as open system

Input surface of the material flow is the non-deformed section of the chip,  $DC_2$ , and the exit surface of the material flow is the  $BC_1$  section of the deformed chip.

During the thermodynamic cycle the system is exchanged mechanical work, which is given by consumed cutting power  $p$ , expressed by the relation:

$$p = F_z v \quad (2)$$

where  $F_z$  is the cutting force;

The heat exchange  $q$  is given by:

$$q = q_m + q_p + q_s \quad (3)$$

The internal energy variation  $\Delta u$  is given by:

$$\Delta u = m(u_2 - u_1) \quad (4)$$

The thermodynamic cycle, in which the detached material is subjected, meets the first law of thermodynamics, which in this case is given by:

$$m u_1 + p = m u_2 + q \quad (5)$$

#### b) Modeling as closed system

Let us consider a limited operation period of the cutting thermodynamic system. An example could be given as the particular case of interrupted cutting.

Cutting thermodynamic system can then be designed as a discrete thermodynamic system (Fig.2).

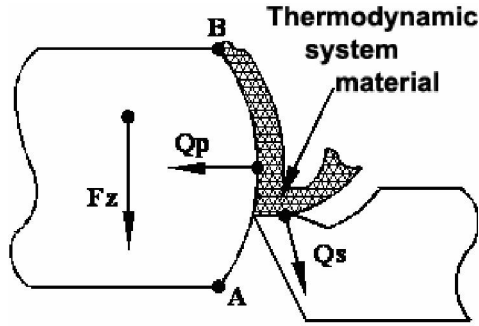


Fig. 2. Modeling as closed system

In this case, as thermodynamic system limits can be considered the final surface resulting from the movement of the tool and the contact surface between tool and chip.

Material that supports the energy transformation in this case is the chip detached by the tool, having mass  $M$ , given by:

$$M = \rho stl \quad (6)$$

where  $l$  is the length of the cutting, equal to AB arc.

Mechanical work  $L$  is computed by considering the cutting force  $F_z$  performed along length  $l$  of the tool trajectory, according to the relation:

$$L = F_z l \quad (7)$$

The exchange heat  $Q$ , is given by:

$$Q = Q_p + Q_s \quad (8)$$

where  $Q_p$  and  $Q_s$  represents the heat dissipated in part, and tool respectively.

The internal energy variation  $\Delta U$  is given by:

$$\Delta U = Mc\Delta T \quad (9)$$

where:  $c$  - specific heat of workpiece material;

$\Delta T$  - is the increase of the detached material temperature.

First principle of thermodynamics, in this case is written as:

$$\Delta U = Q - L$$

(10)

## 2.2 Definition of the adiabatic cutting process

In thermodynamics, adiabatic transformation is studied along with other transformations as isotherm, isobar and izocore transformations. In the case of the thermodynamic system associated with the cutting process, we consider that transformation supported by the detached material is adiabatic if the total heat exchange between this material and the surface layer is zero.

Consequently, the cutting process is adiabatic if the amount of heat transmitted to the superficial layer by conduction, internal stressis and residual deformation is zero. In other words, the surface layer during cutting is subject to a thermomechanical avoid load.

In nature, a perfectly adiabatic transformation it does not exist. Therefore adiabatic transformation is just a reference, any real transformation have an adiabatic character more or less pronounced. Similarly, we consider the adiabatic cutting as a reference, which could mean a cutting process where: *i)* the "aggression" of the thermomechanical field to the surface layer is zero, *ii)* the limit of separation between the surface processed and the actual size of the piece is strict, and *iii)* the mechanical work of cutting force is fully recovered as change of the internal energy of the material detached by cutting.

Starting from the above considerations, we study the conditions affecting the "adiabatic" attribute of the cutting process, considering the fact that, the cutting is more adiabatic as much as the superficial layer is less affected. The metric of the „cutting adiabatics” should be based on assessment of the total heat exchange or the effect of the total heat exchange, last being an alternative more attractive in terms of industrial practice.

### 2.3 Adiabatic index of the cutting process

To assess the “cutting adiabatics” we propose a metric based on the "adiabatic index", IA, given by:

$$IA = 1 - \frac{\Delta T_s}{\Delta T_a} = \frac{T_a - T_s}{T_a - T_0} \quad (11)$$

where:  $T_a$  – chip temperature;

$T_s$  – superficial layer temperature;

$T_0$  – detached material temperature.

If IA=1, then the cutting is adiabatic. If IA=0, then the cutting is izoterm.

In Fig.3 is presented the processed surface temperature, measured with a thermovision camera (Fig.5), along the cutting speed and perpendicular on this direction. The refresh frequency of the thermovision camera is 50 frames per second. It was noticed that in the points near cutting zone, be it before or after tool passing, the temperature is the same. This observation show that  $T_s=T_0$  aproximatively which prove that cutting process was an adiabatic one.

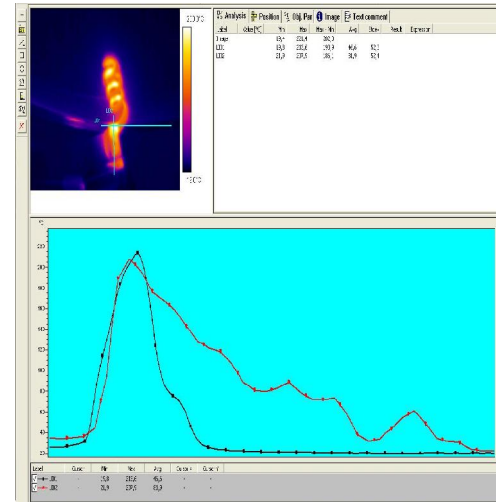


Fig. 3 Temperature variation along the cutting speed and perpendicular to its direction

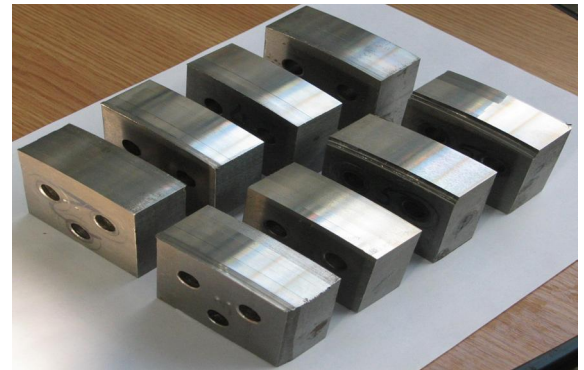


Fig. 4 Processed samples

## 3. EXPERIMENTAL INVESTIGATION

### 3.1 Experimental set-up

It was experimentally researched the interrupted adiabatic turning process. We used a steel disk with a diameter of 500 mm, which is located on a frontal numerically controlled lathe. The eight brands of steel samples was cut with dimensions 60x60x25 mm (Fig. 4) and was turned with cutting speeds of up to 36 m/s. We used two types of cutting tool Garant, one being a metal carbide insert, HB712 degree mark, and another one being a boron nitride (CBN) insert. The experimental set-up was builded as shown in Fig.5.

### 3.2 Transverse profile distortion

It was noticed that between nominal and real transverse profile there is a difference (Fig.6), which varies with cutting conditions, part material, and even cutting tool material (Fig.7). This was explained by the fact that the profile is resulting from plastic deformation processes whose development is influenced by significant disturbance, ultimately leading to a distortion of the transverse profile.

As a result, there was the need to assess the distortion of the transverse profile. To this end, we used the comparison between nominal profile and actual profile analytical model obtained by regression as a polynomial two degree function.

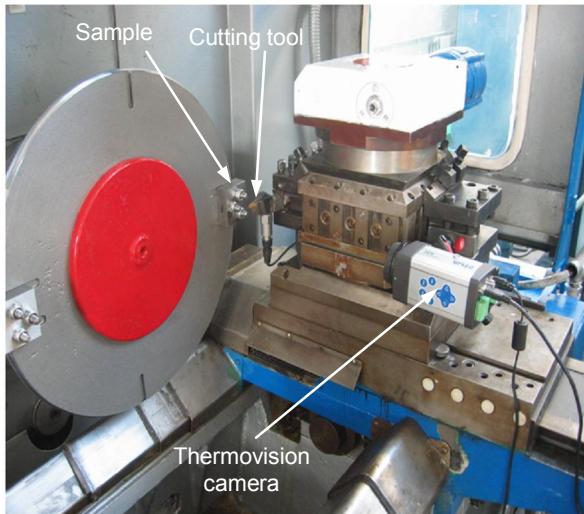


Fig. 5 Experimental set-up

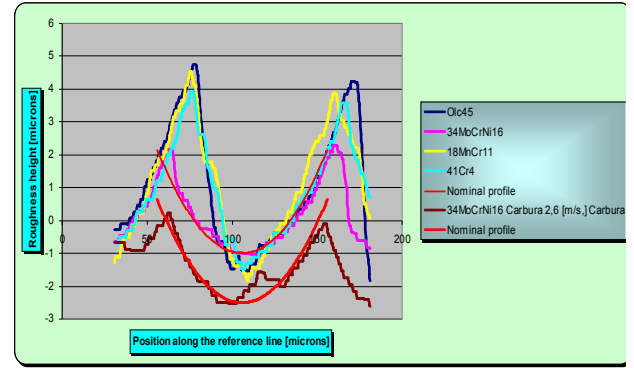


Fig. 7 Transverse profile of the longitudinal roughness for various processed materials

In Fig. 8, are presented the actual and the nominal transverse profiles, and the analytical models for the two profiles.

The nominal profile is an arc with 0.4 mm radius. For the actual profile, the radius of the curvature  $r$  was calculated as follow. Analytical model of the actual profile is given by:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (12)$$

The profile curvature  $C$  has the expression:

$$C = \frac{1}{r} = \frac{y''}{[1+(y')^2]^{3/2}} \quad (13)$$

The radius of curvature  $r$  is given by:

$$r = \frac{[1+(2ax_0+b)^2]^{3/2}}{2a} \quad (14)$$

where  $x_0$  is the abscissa of peak.

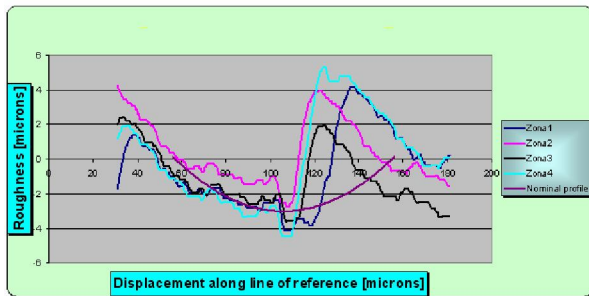
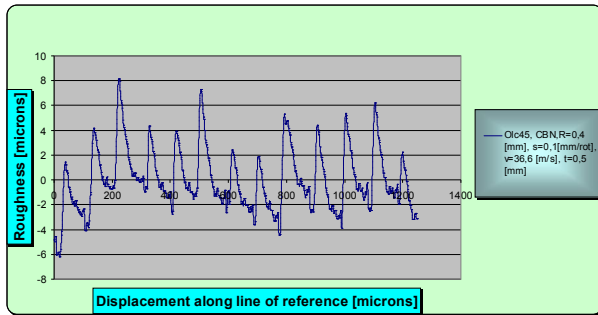


Fig. 6 Transverse profile of the longitudinal roughness in various areas of the surface and the nominal profile

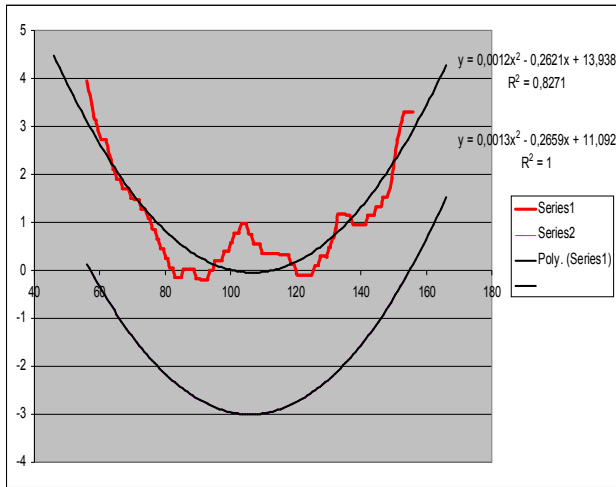


Fig. 8 Evaluation of the real transverse profile distortion compared with the nominal profile

The tip radius of curvature  $r$  and the variance related with the nominal profile  $R^2$  was used as evaluation criteria for level of distortion of the transverse profile relative to the nominal one.

In Fig. 9 is presented the variation of the curvature radius  $r$  with respect to the nominal value  $r = 400$  microns, for different cutting conditions, processed materials, and tools.

It is noted that in the case of 34MoCrNi16 material the radius of curvature of the profile differs very little in relation to the nominal value of 0.4 mm, which is kept on all cutting speeds investigated.

It is also obvious how it is distorted the profile in all cases, since the actual values of the curvature radius is obviously lower than the nominal ones. This means that the distortion is represented by the decrease of the curvature radius, likely associated with increasing of the profile height (i.e. the real roughness increase compared with the nominal).

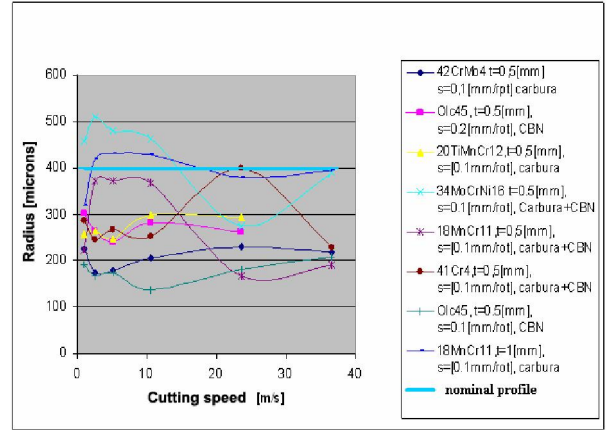


Fig. 9. Real transversal profile versus nominal profile

In case of some materials, such as OLC45, 42CrMo4, curvature radius is 0.2 mm at all speeds tested. This indicates that the materials deformation processes that produce transverse profile distortion are important in all cases.

Moreover the profile distortion assessed with variance  $R^2$  of the actual profile compared with the nominal profile varies significantly depending on the processed material as evidenced by the data presented in Fig. 10.

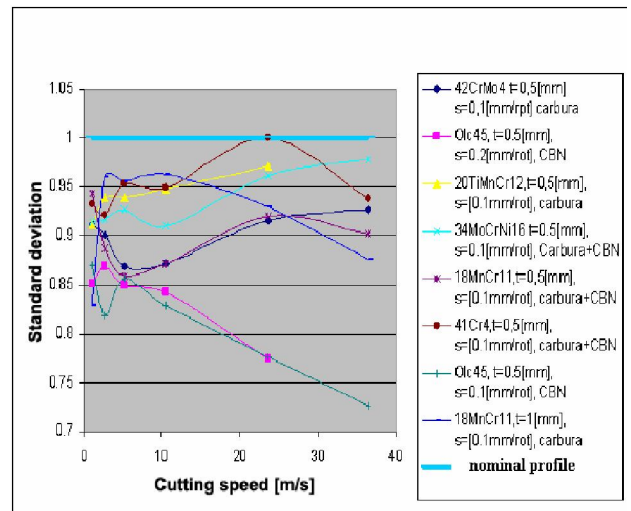


Fig. 10. Variance  $R^2$  of the real profile for different tool materials and processed materials

It is noted that a group of materials such as 41Cr4, 20TiMnCr12, 34 MoCrNi16 the variance  $R^2$  is close to the unit value, which shows a good correlation between actual profile and cutting edge micro-profile. In contrast to these, in case of OLC45 the variance  $R^2$  has much lower values, both in case of federate value of  $s = 0.1$  mm/rev, as well in case of federate value of  $s = 0.2$  mm/rev, which indicates a less favorable behavior regarding the correlation between tool profile and surface micro profile. Except this material, to all other we observed an increase in variance with increasing cutting speed.

### 3.3 Minimum chip thickness

In order to explain the difference in shape between the actual transverse profile and the nominal one we considered the link between this difference and the thickness of the chips detached. From Fig. 12 is observed that the difference is always in the CB area of the nominal profile where the chip thickness value are low, tending to zero.

As the nominal chip shape is shown in Fig.11 the chip thickness varies greatly and this happens especially in the area where the tool generates profile across the surface roughness profile. Considering that the tool edge is not perfectly sharp, and is the result of connections with the edge faces, with the sharpening radius of about 3...5 micrometers, results that the profile distortion occurs when the thickness of chips is less than the nominal range of edge sharpening radius.

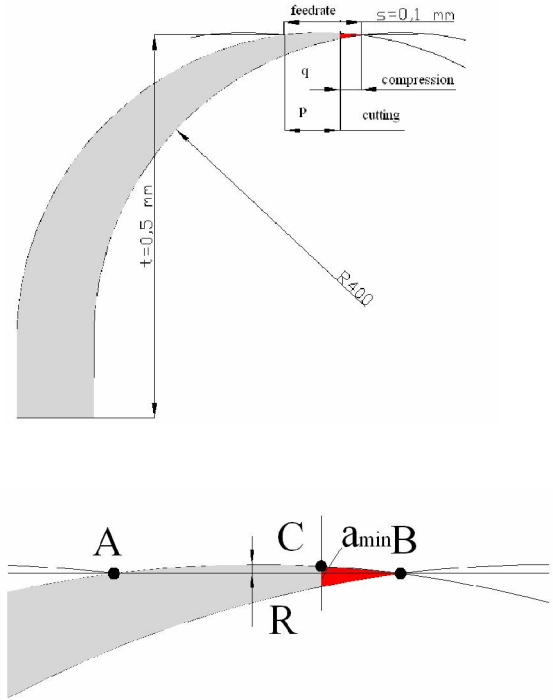


Fig. 11 Scale representation of the nominal chip shape and detail

Examining the experiments conducted in the laboratory, we noticed a correlation between point C of the nominal profile, where nominal chip thickness becomes comparable to the sharpening radius of the cutting edge, and the point where transverse profile distortion starts. It can be said that there is a CB zone of width  $q$ , where instead of cutting is compaction (Fig. 11). Chip thickness corresponding to the nominal point C will be called the minimum chip thickness. Its value varies with cutting speed (Fig. 13).

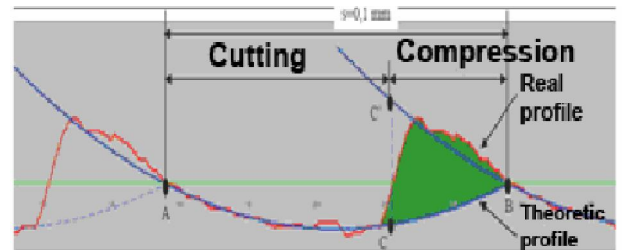




Fig. 12 Actual and nominal profile represented at the same scale, both horizontally and vertically

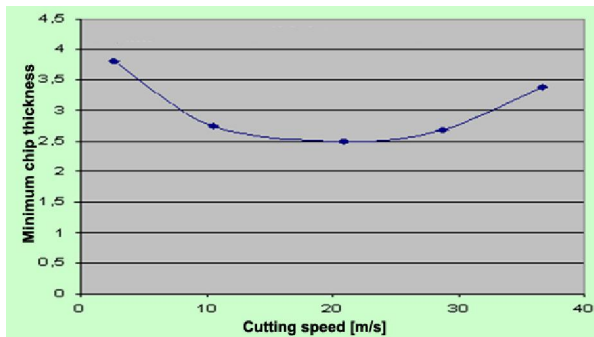


Fig. 13 Minimum chip thickness versus cutting speed

### 3.4 Surface topography

In order to view the processed surface topography we used its 3D representation. As a first stage the processed surface was scanned with the device Surtronic 3 +, successively at intervals of 0.01 mm.

The profiles obtained were then represented using Matlab software resulting from profilography surface topography (Fig. 14). The scale on X

direction is the same as in the Y direction, however the Z direction was deliberately increased by approx. 100 times for observing the specifics profiles. It is noticed the fact that on one flank the cutting edge clearly left its mark, while the other flank is affected by the phenomenon of compression of the material. The same is observed in case of the topography study using the electron microscopy (Fig.15).

### 3.5 Performance experimental testing in the case of interrupted adiabatic turning process

During performance testing of the adiabatic finishing, the surface longitudinal and transverse profiles obtained are presented in Fig. 16. The surface roughness is decreased till  $R_a=0.4$  microns.

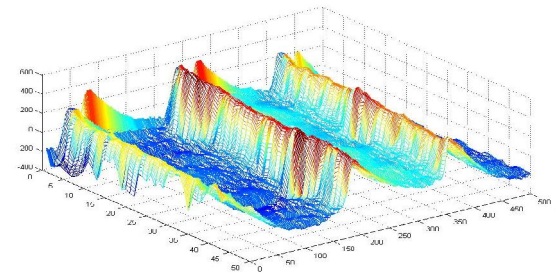


Fig. 14 Topography area studied by profilography

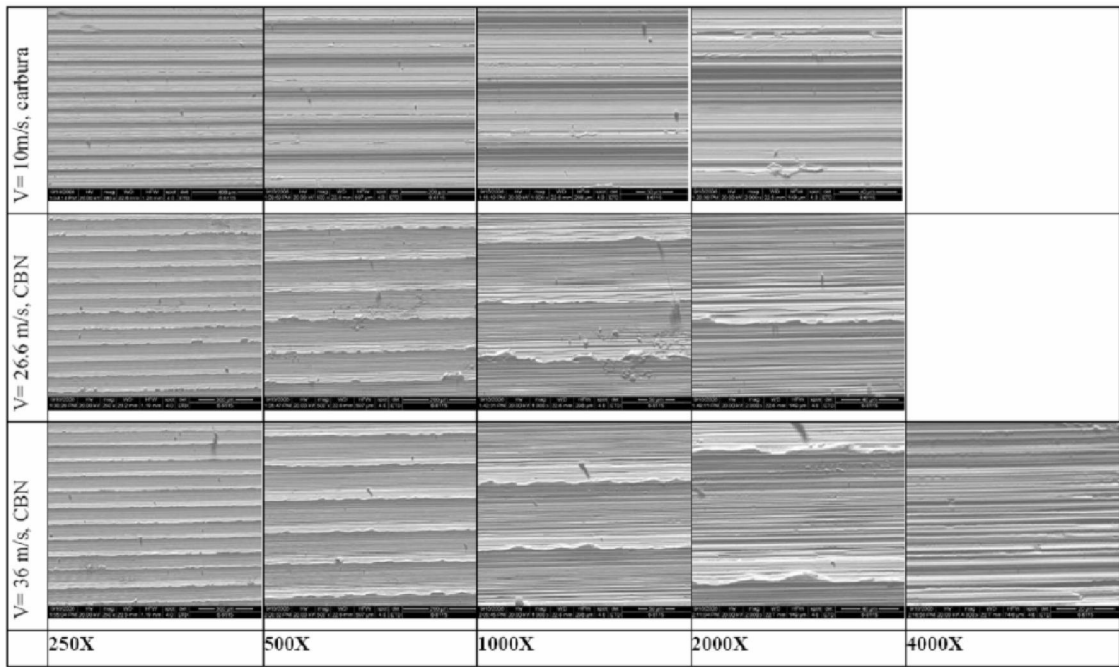
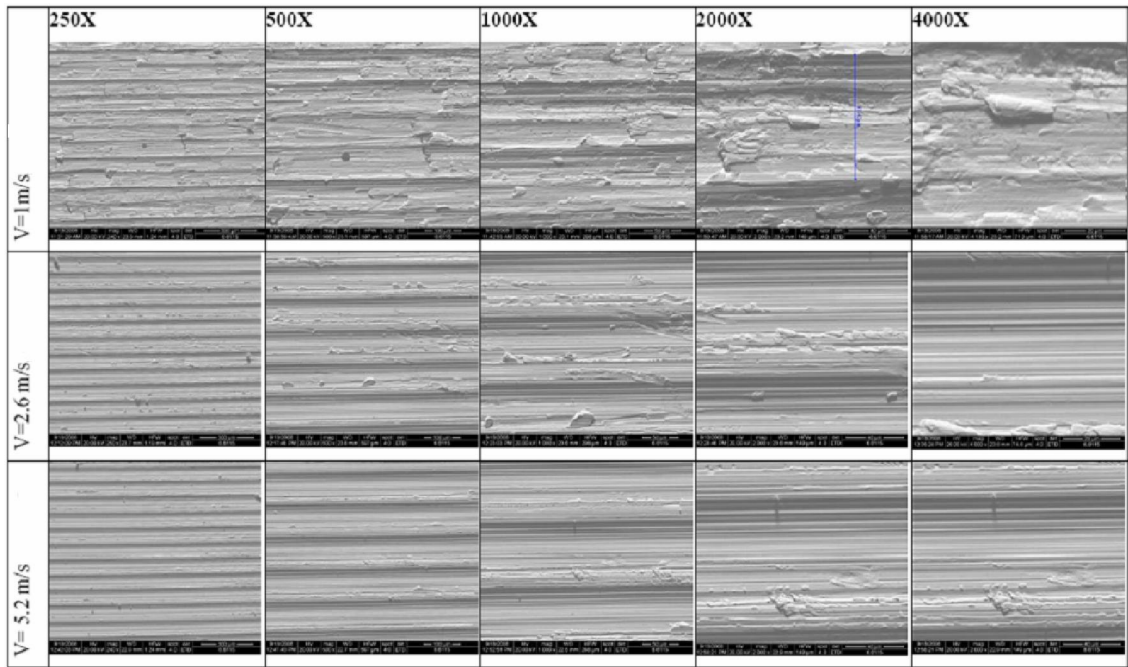


Fig.15 Surface topography studied by electron microscopy

#### 4. SURFACE TOPOGRAPHY CONTROL BY PROCESS SCHEDULING

Scheduling process means considering a number of process quanta where each quantum has its own set of basic parameter values. As shown in Fig.17, in case of turning, the machining consists of wrapping of the surface final profile 1.2 ..(i)..(l), with tool edge profile 1.2 ..(j) .. m of the cutting edge while the initial profile of the surface is 1..2..(k)..(n).

A quantum consist in the displacement of the cutting edge from previous location, where is tangent in A point to final profile, to current location where is tangent in B point at the some profile. Points N, B, C, and M limit the uncut chip. The movement from previous to current location occurs during  $\Delta t_{AB}$  time and consists of  $X_{AB}$  and  $Z_{AB}$  translations performed by the tool and rotation  $\varphi_{AB}$  performed by the workpiece. Quantum optimization involves maximizing the  $A'AB$  area in terms of meeting the following restrictions:  $L_{AB} < L_{adm}$ , to avoid instability;  $a_{AB} < a_{adm}$  to avoid destruction of cutting edge;  $R_{AB} < R_{adm}$  to avoid exceeding the permitted level of roughness and  $\alpha_{AB} > 90$  degrees to avoid real micro-topography deviation compared to the nominal one.

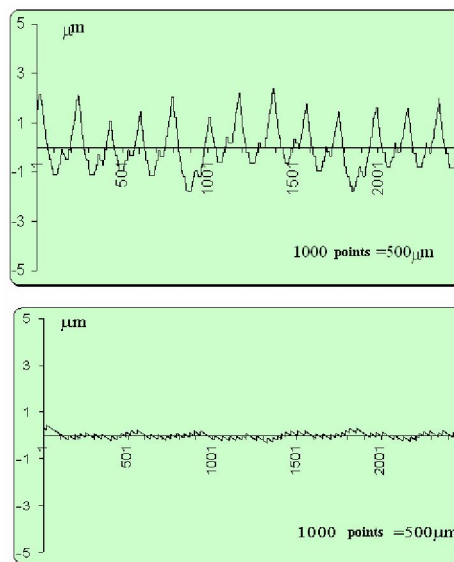


Fig. 16 Transverse profile (top) and longitudinal profile (below) in the case of finishing by adiabatic turning

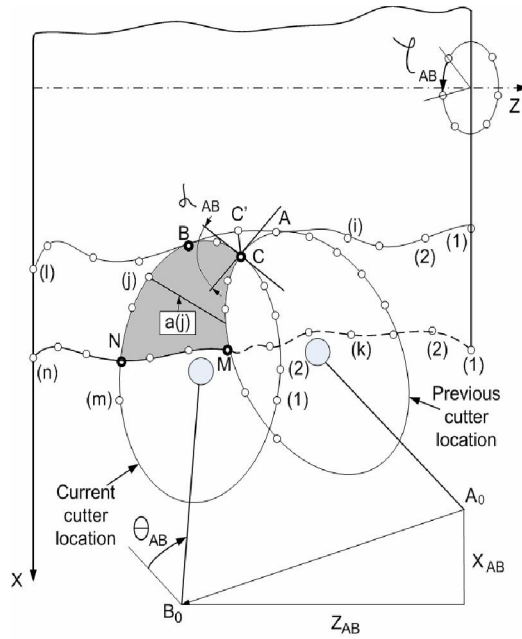


Fig.17 Process quantum basic parameters:

a) cinematic parameters:  $X_{AB}$ ;  $Z_{AB}$ ;  $\theta_{AB}$ ;  $\varphi_{AB}$ ;  $\Delta t_{AB}$ ,

b) uncut chip parameters:  $L_{AB}=NBC$ ;  $a_{AB}=\max\{a(j)\}$ ;  $A_{AB}=\text{Area}(NBCM)$ ;  $R_{AB}=CC'$ ;

$\alpha_{AB}$ .

## 5. CONCLUSIONS

Analyzing the results, we can conclude:

- Studying the shape of the roughness transverse profile in the case of adiabatic turning is observed that one side is close to the nominal shape and the other side, namely that in the area where the chip thickness is smaller than minimum value, is different.

- As a result of the roughness study by profilography, scanning electron microscopy as well as by atomic force microscopy, it is confirmed the surface topography resulting with different speed machining.

- By finishing tool cutting edge, it is possible to obtain a cutting surface whose roughness is significantly decreased.

## ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the financial support from the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID\_653/2007.

## REFERENCES

1. [Guillot, E.](#), [Bourouga, B.](#), [Garnier, B.](#) & [Brocaïl, J.](#),(2008), [Measurement of the thermal contact parameters at a workpiece – tool interface in a HSM process](#), *International Journal of Material Forming*, Vol. 1, Suppl. 1 / Jan., 2008, p. 1419-1422, ISSN 1960-6206
2. [Tsai, M.K.](#), [Lee, B.Y.](#), & [Yu, S.F.](#), (2005) [A predicted modeling of tool life of high-speed milling for SKD61 tool steel](#), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 26, Nr. 7-8 / Oct.,2005, p. 711-717, ISSN 0268-3768
3. [Tuğrul Özel](#) & [Erol Zeren](#) (2007), [Finite element modeling the influence of edge roundness on the stress and temperature fields induced by high-speed machining](#), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 35, Nr. 3-4 / Dec., 2007, p. 255-267, ISSN 0268-3768
4. [Tuğrul Özel](#), [Tsu-Kong Hsu](#) & [Erol Zeren](#) (2005) [Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel](#), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 25, Nr. 3-4/February, 2005, p. 262-269, ISSN 0268-3768
5. [Puerta Velásquez, J.D.](#), [Bolle, B.](#), [Chevrier, P.](#)& [Tidu, A.](#) (2006), [Surface Integrity In High Speed Machining Of Alloy Ti-6wt.%Al-4wt.%V](#). In: *Residual Stress and Its Effects on Fatigue and Fracture*, p. 87-95, Springer, ISBN 978-1-4020-5328-3, Netherlands.
6. [Marin F.B.](#) et al.(2009) AI technique for online non-linear federate scheduling, In *Proceedings of The 8<sup>th</sup> WSEAS International Conference on non-linear analysis, non-linear systems and chaos (NOLASC'09)* ISSN 1790-2769 p 351-355

[4] Florin Bogdan Marin, Ionut C Constantin, Vasile Marinescu, Mihaela Banu, Alexandru Epureanu, **Machine tool configuration and analysis on the base of virtual interactive prototyping**, trimisa la International Journal on Interactive Design and Manufacturing (indexata BDI)

Editorial Manager(tm) for International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)

Manuscript Draft

Manuscript Number: IJDM-D-10-00067

Title: Machine tool configuration and analysis on the base of virtual interactive prototyping

Article Type: Short Original Paper

Corresponding Author: Dr. Florin Bogdan Marin, Ph.D.

Corresponding Author's Institution:

First Author: Florin Bogdan Marin, Ph.D.

Order of Authors: Florin Bogdan Marin, Ph.D.; Ionut C Constantin, PhD; Vasile Marinescu, Prof.; Mihaela

Banu, Prof.; Alexandru Epureanu, Prof.

Abstract: Reconfigurable machine tool concept allows rapid changes in the machine structure aiming

the increasing its market responsiveness. The reconfiguring time need to be as limited as possible,

otherwise the advantage of responsiveness will vanish. Paper proposes a method for machine

configuration and analysis based on virtual interactive prototyping. The scope of the current research

is to help design engineers make better decisions regarding the reconfigurable machine tools by

providing an appropriate reconfiguration method. A method of virtual interactive prototyping of

reconfigurable machine tools is present as regard hypothesis, key ideas, algorithm, and practical

application phases. For the method feasibility assessment is developed a proof of concept demonstrator. Finally, is concluded that the method is suitable for implementation of the reconfigurable machine tool concept.

# Machine tool configuration and analysis on the base of virtual interactive prototyping

Reconfigurable machine tool concept allows rapid changes in the machine structure aiming the increasing its market responsiveness. The reconfiguring time need to be as limited as possible, otherwise the advantage of responsiveness will vanish. Paper proposes a method for machine configuration and analysis based on virtual interactive prototyping. The scope of the current research is to help design engineers make better decisions regarding the reconfigurable machine tools by providing an appropriate reconfiguration method. A method of virtual interactive prototyping of reconfigurable machine tools is present as regard hypothesis, key ideas, algorithm, and practical application phases. For the method feasibility assessment is developed a proof of concept demonstrator. Finally, is concluded that the method is suitable for implementation of the reconfigurable machine tool concept.

*virtual environment, reconfigurable machine tool, virtual interactive prototyping,*

*lead-time, machine program*

## 1. Introduction

The actual global market requirements must be satisfied by manufacturing companies through rapidly change of production and developing new products or

new versions of the existing products. This generates the need of higher responsiveness of the manufacturing system.

The reconfigurable manufacturing system is considering the appropriate solution

for this new challenge in manufacturing industries.

The major component of reconfigurable manufacturing system is the reconfigurable machine tool (RMT) [5]. RMT allows rapid changes in the machine structure by building a new machine using several modules corresponding to its degrees of freedom, fixturing devices, and tools. This also allows building on the base of the same basic modules set of a variety of machine

tools with different degree of freedoms. The advantage of the RMT is that it

permits easy reconfiguration of the machine structure using different hardware modules (by replacing, complementing or removing of the modules) so be able to

machine a new batch parts belonging to the same part family.

Since the RMT implies continuous changes of configuration according to the new

demands, the realization and testing of physical prototype lead to decreasing of

**Blinded Manuscript**

the economically performance. Moreover, the reconfiguration of the software and

control is a challenging task.

Nowadays the control as well as the software of a conventional machine tool is conceived in the designing phase. By contrast, in case of RMT, is performed the

design of the software and control every time a new configuration is developed.

This is why for RMT implementation is needed new control architecture based on

a new concept. In this direction, OSE (Open System Environment for controller)

[10], OSACA (Open System Architecture for Controls within Automation systems) [12], and the OMAC (Open Modular Architecture Controllers) [11]

are

some of the promoters of the open-architecture controllers which aims to replace

older CNC system.

As regards to virtual simulation, several concepts could be recalled. The virtual reality concept is applied to a wide area of fields and technologies. The user is able to navigate in an artificial world, and is able to manipulate the information perceived from the environment, being so-called virtual environment, designed and created by computer and not the real physical environment. In addition, the



virtual manufacturing, which is a computer-based system, integrates the manufacturing activities dealing with models in a virtual environment. In this manner, it is possible to optimize the production activities and to improve the production efficiency by simulation prior to the actual production.

Several scientists considered the virtual manufacturing process, in respect to CAD

design [4], rapid prototyping [1], virtual machining [2], and maintenance process

training [3]. Commercial or scientific software tools, such as Virtual NC®, Delmia's Virtual NC software environment, manage to handle classic manufacturing machine tools design issues.

Few researches are dealing with the reconfigurable machine tools simulation using virtual environment [6] [7] [8] or even the design and operation of a reconfigurable manufacturing system [9]. However, a method providing in the same time the ability to test and simulate the machine tool and to build its configured software and control system has not been found in literature.

In this paper is proposed such a method, based on virtual interactive RMT prototype, which is a computer simulation model that could be used, for its analysis, and testing like the real machine. Iterative changing of the hardware modules composing the virtual prototype of the machine tool during the design process and exercising design versions until the performance requirements are achieved, reduce the whole RMT reconfiguration time.

In the virtual interactive prototyping approach, the users are able to realistically simulate the kinematic, geometric, and static behavior of the machine tool including some machining operations. By this, it is possible to quickly analyze the

multiple design versions until achieving an optimized prototype, which satisfies the machining process requirements. We can conclude that testing the virtual interactive RMT prototype in a virtual environment to detect weak spots and

optimize the hardware design, as well as reconfiguration of its control and software is a must-have for improving the RMT responsiveness by drastically diminishing the lead-time.

The scope of the current research is to help design engineers make better decisions

regarding the reconfigurable machine tools by providing an appropriate reconfiguration method.

The paper is arranged as follow. The next section presents the issues involved in

RMT reconfiguration. Third section presents the proposed method of interactive

RMT prototyping as regard its hypothesis, key ideas, algorithm, and practical application phases. The fourth section shows the method feasibility assessment using the proof of concept demonstrator developed in this research. Finally, the fifth section summarizes the main remarks about the idea of machine tool configuration based on virtual interactive prototyping.

## **2. Problem formulation**

The issue of reconfiguring a machine tool using different modules involves great

challenges in respect to the reconfiguration of the hardware and control. At a new

configuration setup, the hardware modules are replaced in a new architecture.

Consequently, hardware testing of the configuration must be performed and the control must be reconfigured. The reconfiguring time need to be as limited as possible, otherwise the advantage of responsiveness of the RMT will vanish.

In fact, the reconfiguration of software, reconfiguration of the control and virtual

prototyping are intermingled actions and could not be separate as far as we are concerned.

We can summarize the problem to be solved as it follows: given a batch part and a hardware modules set, as well as fixturing devices and tools, it is required to develop a machine tool dedicated to the batch part machining. The machine tool configuration should imply shortest lead-time and should meet the batch part technical requirements.

### **3. Method of virtual interactive RMT prototyping**

Our approach considers that for developing of the method we need to satisfy the following hypothesis.

Firstly, an autonomous control for each module is available. By this, the control of

each hardware module can be easy implemented in a new configuration.

The hardware module has close-loop control using an embedded controller able to

communicate with a central industrial computer (Fig.1). The data sent to each module controller is represented by the required position. Any other sensors embedded on module receive/send data via communication bus to the industrial computer.

Secondly, the modules are universal, which means that each module can materializes a degree of freedom, regardless of the module functional role, contrarily to specialized modules where the functional role is specific. With the same modules, we can build very different machine tools. Consequently, the modules not used are in small number and consequently there is no or little capital

waste.

Thirdly, the module library contains information on hardware modules in terms of

their kinematic, geometric, and functional characteristics. In the design phase, several hardware modules are used to configurate the machine tool and consequently several kinematic and geometric architectures need to be tested.

For

a hardware module, its functional behaviors, constraints, and kinematics should be modeled in addition to its own geometrical model.

Finally, the batch part processing consists of two steps, both completed by the machine operator. In the beginning phase is configured the machine tool by the implementation of the machine program and afterwards, the parts are machined by implementing the part program.

The key idea of the method is to build a virtual interactive RMT prototype and to

use it for accomplishing: i) identification and avoiding of the geometric incompatibilities (to avoid collisions); ii) identification and avoiding of the kinematic incompatibilities (to avoid overcoming of the modules kinematic capabilities); iii) to avoid incompatibilities concerning force and power for each module; iv) to evaluate the machine workspace, and v) to build the machine program ( which is a description of the new machine tool similarly as part program is description of the machining operation).

The virtual interactive RMT prototyping implies following the steps bellow:

1) building the geometric representation of the machine hardware modules using

each hardware module description concerning geometric, kinematic and functional characteristics;

2) building the kinematic direct and inverse models for machine tool kinematic chain;

3) testing the interactive prototype of the machine by replacing or removing

modules until a suitable configuration is found;

4) automatically performing the control reconfiguration.

Practically, the algorithm for method application consists of two phases, the hardware configuration testing (performed by the user), and the control configuration (generated automatically).

Firstly, the hardware configuration testing, as shown in Fig. 2, is performed by kinematic and geometric configuration testing, which implies several technical challenges to be overcome in order to build the virtual assembly accurate collision

detection, the inter-modules constraints as a result of kinematic dependency (an module is placed on another one), the virtual simulation, the intuitive object manipulation and the virtual part processing. Virtual part processing, based on the

machining system model, aims to simulate, evaluate, and optimize the actual machining process by testing several modules and tools in respect to their kinematics, and physical characteristics. Taking advantage of the virtual part processing, the user can build the framework for later on-situ monitoring and optimization of RMT operation.

Operation of the virtual prototype causes collision between tool, tool holder, machine components, and blank and therefore collisions test conditions are checked.

The machine virtual prototype is build by iterative changing of the different modules from modules library. If a certain hardware module does not satisfy the

manufacturing process requirements, then the software rejects it and the user can

replace it with a suitable one. By exercising different design versions, the imposed

requirements are satisfied. The user can navigate in the virtual workshop (Fig.3)

and can easily add, remove and replace modules to build the required machine according to its kinematics and machining characteristics. The modules used in the virtual environment are generic modules each entitled with one single degree of freedom.

Each kinematic chain is build by adding a compatible hardware module over the

last one. Based on the robotic formalism, the kinematic direct and inverse models

for kinematic chain are building using Denavit-Hartenberg matrix.

Regarding the cutting tools system, similarly to hardware modules selection, the

user can select from tool library different cutting tools. The blank-finished part assembly is loaded from CAD model (Fig. 5).

The software compatibility rules, concerning modules characteristics, are providing a fail-safe system. For instance, a very heavy translation module cannot

be fixed on a low powered module.

In addition, simulation can generates reports and detailed statistics describing the

behavior of the RMT system under study.

Secondly, the control configuration (Fig.2) is performed by building what we call

“machine program,” which is basically a model of the new configuration. The control and software reconfiguration presume that the central PC need to “know”

kinematic configuration, port assignment as well as the characteristics of the each

hardware module. By this, the actual hardware configuration model is used for control reconfiguration.

Machine-program comprises of several information sets (Fig. 2) as it follows:

i) Script information, which is generated automatically by the virtual environment

describing kinematic chain, and interfacing information. In addition, for each module controller the port assignment information is attached.

ii) Virtual interactive model, information to be used by operators assembling new

machine for easy understanding. The virtual interactive model provides the capability of the operator to navigate through a virtual 3D-model, to read information concerning module interfacing and to allow a wide range of user interactions with the virtual machine. In addition, the virtual interactive model

is

installed on industrial PC on the machine tool to be used during machine tool operation.

iii) Module list to be used and its characteristics.

#### **4. Proof-of-concept demonstrator**

The method feasibility was verified by developing a virtual environment in Visual

C and Lite C programming languages as proof-of-concept demonstrator.

In the virtual workshop, the user is building the current machine configuration by

selecting a suitable module to be added as next part of the kinematic chain. As depicted in Fig.3, the selected module is displayed in the center of the virtual workshop and is continuously rotating for a better representation. Using the

mouse and the joystick, the operator is able to navigate in the virtual environment

to observe machine tool assembly. Similarly, the machining process can be simulated. As seen in Fig.5 the blank is shown as translucent and the part is shown as solid. By simulation of the axes movement, the part is virtually processed to validate the machine tool current architecture. The user can test different tools for the same machining process and is able to see it by zooming

in

on the specific detail. As depicted in Fig.4 the user is able to notice that the current tool is not appropriate for the part and therefore another tool is selected. As seen in Fig.5 and Fig.6 several hardware modules have been used to build a lathe and than a milling machine. The translation modules are used for both configurations while in the lathe configuration was added an additional rotation degree of freedom for cutter holder. This simple configurations have been done

to

demonstrate the simulation system feasibility and, most important, to prove the ability to automatically generate machine model for a reconfiguration using of pre-existing hardware modules.

## **5. Concluding remarks**

We proposed here a method for the RMT hardware testing and the control reconfiguration. The software developed represented by the virtual environment

suit RMT implementation requirements. The developed proof of the concept demonstrator confirmed that the method is suitable for reconfigurable manufacturing tools implementation. The proposed method offers good computational efficiency and accuracy. Future works can include extending the method to workshop level.

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN\_II\_ID\_653/2007.

1. Siddique Z, Rosen DW A virtual prototyping approach to product disassembly reasoning.



- Comput Aided Des 29 (12):847–860 (1997)
2. G. Li & H. Zhao & Y. X. Yao & C. Q. Liu , Off-line optimization on NC machining based on virtual machining, *Int J Adv Manuf Technol* 36:908–917 (2008)
  3. Li JR, Khoo LP, Tor SB A desktop virtual reality prototype system for maintenance (VREALISM). *Comput Ind* 52:109 (2003)
  4. Liu JS, Yao YX, Pahlovy SA, Li JG A novel data decomposition and information translation method from CAD system to virtual assembly application. *Int J Adv Manuf Technol* 28:395–402 (2006)
  5. Mehrabi MG, Ulsoy AG, Koren Y Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing. *J Intell Manuf* 11(4):403–419 (2000)
  6. Th. Lorenzer, S. Weikert, K. Wegener Decision-making Aid for the Design of Reconfigurable Machine Tools, *CARV* (2007)
  7. Sasho Guergov (2008), 3D simulation model of a reconfigurable multifunctional machine tool with complex functions, *Recent* (2008)
  8. Dan Zhang, Lihui Wang, Sherman Y. T. Lang , Parallel Kinematic Machines: Design, Analysis and Simulation in an Integrated Virtual Environment, *Journal of Mechanical Design* (2005)
  9. Y. Tang,R. G. Qiu, Integrated design approach for virtual production line-based reconfigurable manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, Volume 42, Issue 18 (2004)
  10. S. Fujita, T. Yoshida, OSE: Open System Environment for Controller, 7th International Machine Tool Engineers Conference, pp. 234-243 1996
  11. OMAC Users Group, <http://www.arcweb.com/omac>
  12. OSACA Organization, <http://www.osaca.org>

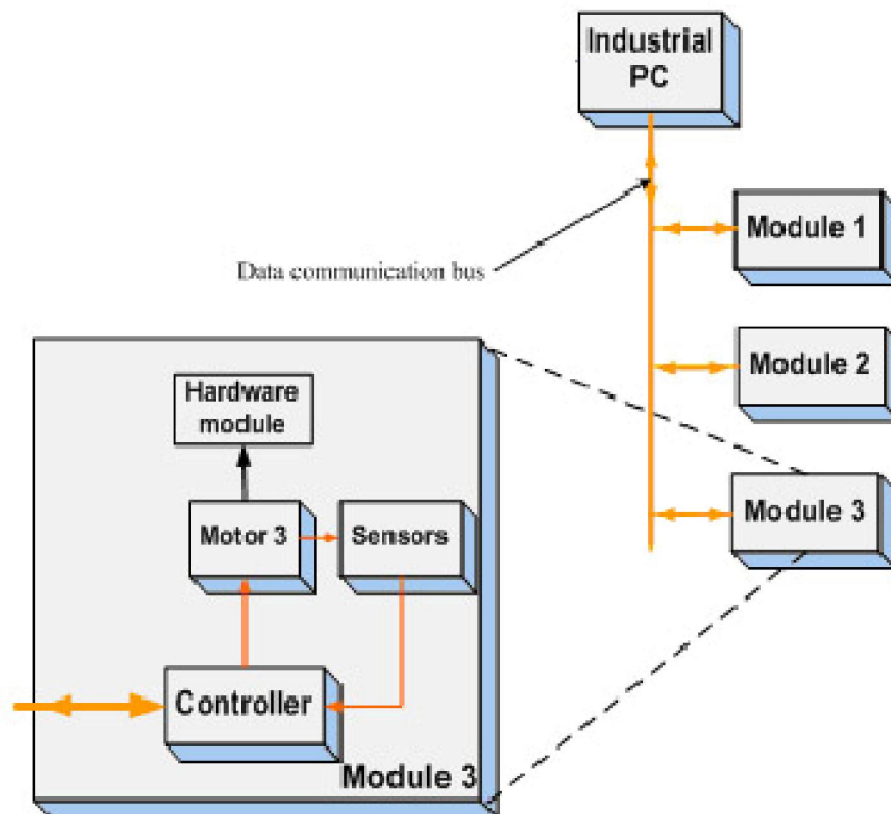


Fig.1 Proposed control architecture

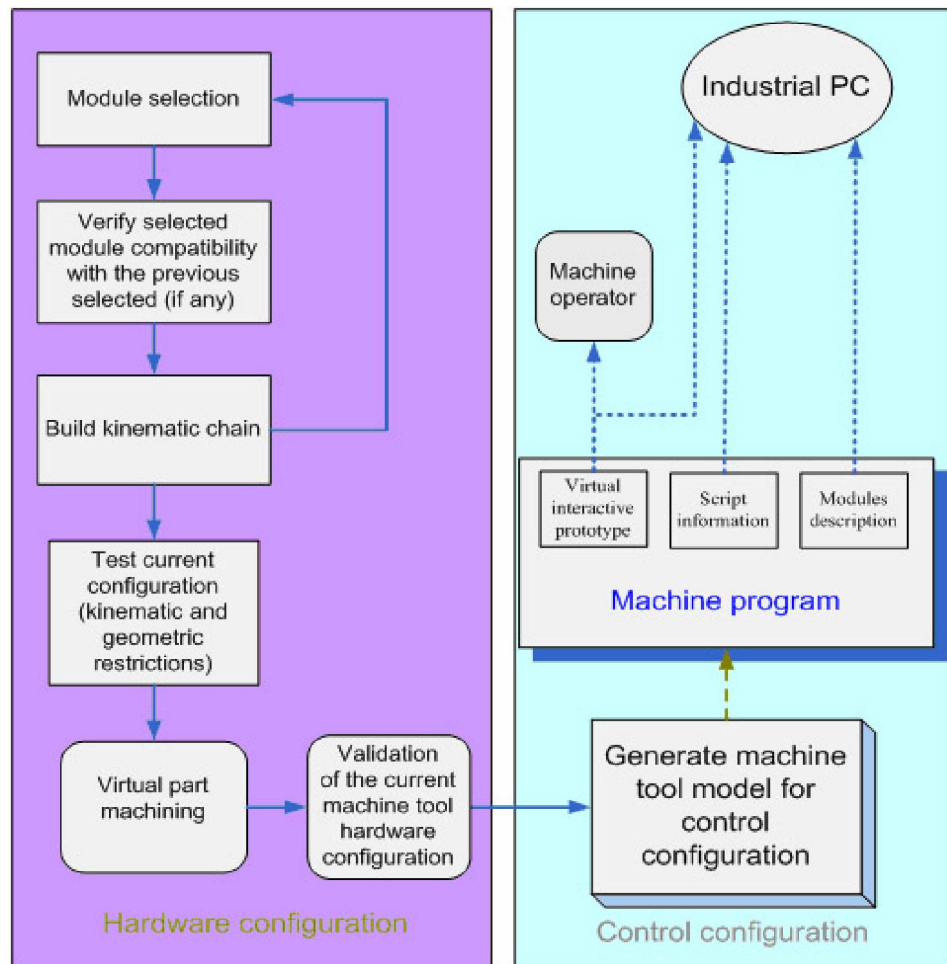


Fig.2 The method flowchart



Fig. 3 The virtual workshop

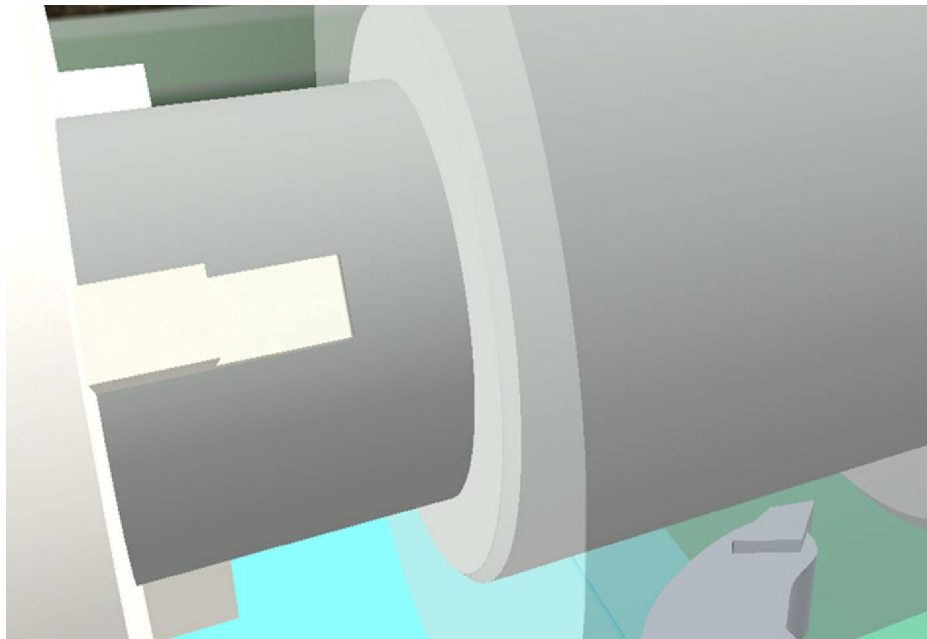


Fig.4 Detail on the zone machining

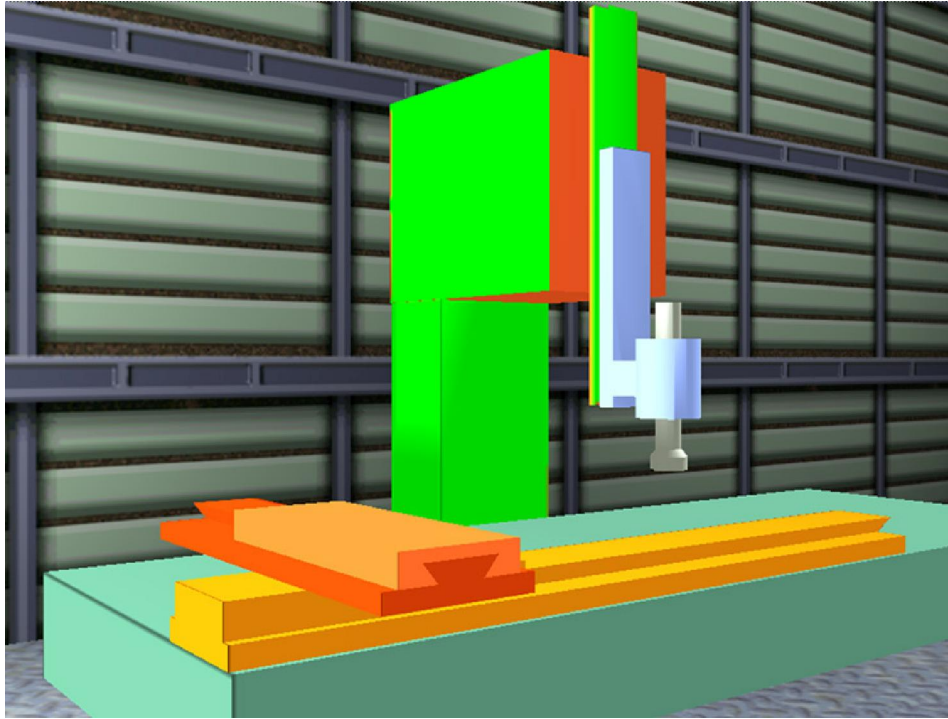


Fig. 5 The reconfigurable machine tool configured as milling machine

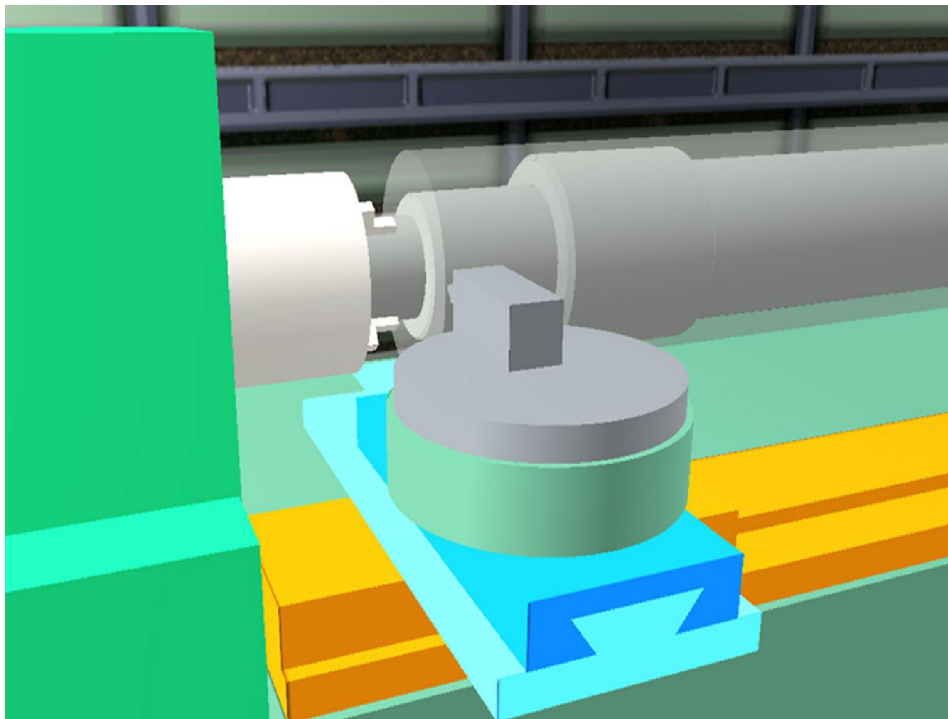


Fig. 6. The reconfigurable machine tool configured as lathe

[5] Ion Lixandru, Alexandru Epureanu, Gabriel Frumușanu, Marian Viorel Crăciun, **Multidimensional Fields Modelling Based on B-Spline Technique with Application in Manufacturing Errors Monitoring**, Annals of the „Dunărea de Jos” University , Fascicle V, ISSN 1221-4566, 2010, (indexata BDI)

**Multidimensional Fields Modelling Based on B-Spline  
Technique with Application in Manufacturing Errors Monitoring**

Ion Lixandru, Alexandru Epureanu,  
Gabriel Frumușanu, Marian Viorel Crăciun  
“Dunărea de Jos” University of Galați

**ABSTRACT**

In this paper we present methods for the assessment of B-spline functions for a given point, by means of tensor fields and methods for the selection of the initial data. On this basis, we developed different algorithms for testing the theoretical solutions we obtained. The assessment of a multivariable B-spline function is made by a two-steps algorithm, in each step being evaluated a B-spline function of one variable. In practice, the components of the vector or matrix of the control points are experimentally determined and, therefore, it is not known their real value, but an approximation of them. Considering the B-spline function depending on these values by minimizing operators as:  $\int [f(t)]^2 dt$ ,  $\iint (x(u,v))^2 dudv$ ,  $\iiint (x(u,v,w))^2 dudvdw$ , out of the minimum necessary conditions for a multivariable function, we get homogenous linear algebraic systems, out of whose analysis we can obtain useful information on the importance of points at which measurements are made.

**KEYWORDS:** *B-spline function, tensorial fields, assessment algorithms, minimizing functional operators, control points, convex combination.*

## 1. Introduction

Let consider  $B = \{e_k\}_{k=1,n}$  - the canonical base of the real linear space.

The tensor of order zero is a scalar and the tensor of order one is a vector  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$  and therefore the tensor fields of order zero or one are scalar or vector fields.

The tensor of order two is determined by a matrix  $T = (T_{kh})_{\substack{k=1,m \\ h=1,n}}$ , where  $T_{kh}$  are the components of the tensor T in the orthonormal basis  $\{e_k \otimes e_h\}$ .

The tensor of order three is given by a 3D matrix (with lines, columns and layers)

$T = (T_{ijk})_{\substack{i=1,m \\ j=1,n \\ k=1,p}}$ , where  $T_{ijk}$  are the components of the

tensor T in the basis  $\{e_i \otimes e_j \otimes e_k\}$ .

We also note the tensor product with  $\otimes$ , and the contraction product of index  $i$  with  $\odot_i$ . The last one produces a new tensor whose parts are to be found by summing the components of the two tensors after the common index,  $i$ . In [5] and [6] the above operations are presented as it follows:

1) Being given

$u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T; v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T, T = u \otimes v$   
is the tensors composition between  $u$  and  $v$ .  $T$  is a  
tensor of second order which has the matrix  
 $T = (T_{kh})_{\substack{k=\overline{1,m} \\ h=\overline{1,n}}}, T_{kh} = u_k v_h, \forall k = \overline{1,m}; \forall h = \overline{1,n}$ .

2) If  $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T; T = (T_{jk})_{j,k=\overline{1,n}}$ , then  
 $U = v \otimes T$  is a tensor of third order:

$$U = (U_{ijk}); U_{ijk} = v_i T_{jk}, \forall i, j, k = \overline{1,n}.$$

3) Being given  $T = (T_{ij})_{i,j=\overline{1,n}}$ ;  
 $U = (U_{kh})_{k,h=\overline{1,n}}, W = T \otimes U$  is a tensor of fourth  
order;

$$W = (W_{ijkh}); W_{ijkh} = T_{ij} U_{kh}, \forall i, j, k, h = \overline{1,n}.$$

4) If  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T; v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$ ,  
then:  $u \odot_i v = v_i u_i = v^t u$ ,  $u \odot_j v = u_j v_j = u \cdot v$ , that  
is the usual scalar composition.

5) Given  $A = (a_{ij})_{i,j=\overline{1,n}}$ ;  $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$ ,  
then  $A \odot_j v = Av$ ;  $A \odot_i v = v^t A$ .

6) Given  $A = (a_{ij}); B = (b_{kl}); i, j, k, l = \overline{1,n}$ , then  
 $T = A \odot_j B = AB = (T_{ik}), T_{ik} = a_{ij} b_{jk}; \forall i, k = \overline{1,n}$ .

$$T = A \odot_i B = B^t A = (T_{jk}),$$

$$T_{jk} = b_{ji} a_{ik}, \forall j, k = \overline{1,n}.$$

Note:  $A \odot_i B = B^t \odot_j A$ . Generally, the  
contraction product of two tensors produces a new  
tensor whose order equals the sum of the two tensors  
orders minus two. A B-spline function of one real  
variable is expressed by means of a set of B-spline  
basis functions of a certain order which, in their turn,  
are convex combinations of B-spline basis functions  
of a lower order. Continuing the judgment, we come  
to a B-spline function of order one which is 1 on an  
interval and 0 for the rest. Starting from here, in [4]  
we work out an assessing algorithm for the value of a

B-spline function of one real variable in a given point.  
As multivariable B-spline functions are tensor  
products of B-spline functions of one variable, their  
assessing algorithm assumes the recurrence of the  
same calculation algorithm for each coordinate  
direction. In practice, the components of the vector (or  
matrix) of the control points are experimentally  
determined and therefore we do not know their real  
value, but an approximation of them.

Considering that the B-spline function depends  
on those values and following the minimizing of some  
operators as:  $\int [f(t)]^2 dt, \int \int (x(u,v))^2 dudv,$   
 $\int \int \int (x(u,v,w))^2 dudvdw$  etc.

It results linear equations systems out of whose  
analysis we can conclude on the importance of the  
points at which measurements are made. Using this in  
[2] we present the development of an algorithm for  
the on-line modeling of the thermo-mechanical fields'  
dynamics of the technological systems. In [1] and [3]  
we deal with problems connected to computational  
and algorithmic aspects in designing curves and  
surfaces, useful in computer graphics, some of these  
being solved with the help of B-spline functions.

Cutting process evolution is always  
accompanied and influenced by the existence of  
specific thermal and mechanical fields. For example,  
the thermal field, generated because the energy used  
during the process is transformed in heat and modifies  
the temperature in different structure points. Another  
example is structure deformation, meaning that each  
structure point moves respect to its initial position,  
generating the displacements field. Among these  
fields can be distinguished cause – fields (e.g. forces  
field), effect – field (e.g. deformations field) and  
behavioral fields (e.g. machining precision field).

Most of the manufacturing systems thermo-  
mechanical fields are multidimensional, generally



speaking; for example in every point owing to an accelerations field, we have the following dimensions: direction (meaning 3 parameters, in 3D), amplitude, frequency, phase, to whom the time (dynamics) always had to be addicted. It means that, to model such a field, we need to use appropriate multi-dimensional models.

The rest of the paper is structured as it follows: In Section 2 we formulate the problem of the assessment of a B-spline function in a given point and establish the importance of measurement knots. In Section 3 there are presented theoretical aspects concerning the B-spline functions. In Section 4, an example of application concerning the dynamics of a mechanical field modelling is shown. Last section concludes the paper.

## 2. Problem formulation

Thermo-mechanical fields found in the technological systems' practice are defined along a line, a surface or in a three-dimensional space. In addition, the idea of adding the fourth dimension - the time - is permanent. Therefore the need of modelling a multi-dimensional field appears. In order to do that, we have to work out algorithms for the calculation of the coefficients which express the value of a one-dimensional field in a given point depending on the initial control points. By generalization, we obtain two-step algorithms for the approximation of the bi- or multi- dimensional fields in one of their points.

Another problem, imposed by practice, is the reduction of the number of sensors where the measurements are made. To do this, we have to work out identity algorithms of the more influential (important) points. On the basis of the above mentioned facts, this paper presents:

- The recursive assessment of a B-spline function of one variable, in a given point, on the basis of the values measured in the initial control points (control points vector);
- The identification of the most important control points by minimizing the operator  $\int [f(t)]^2 dt$ ;
- The assessment of a multivariable B-spline function in a given point on the basis of the values measured in the initial control points (control points matrix);
- The identification of the most important control points, by minimizing the operators  $\iint (x(u,v))^2 dudv$ ,  $\iiint (x(u,v,w))^2 dudvdw$ .

## 3. B-spline functions

The recursive assessment of a one-dimensional B-spline function uses convex combinations, a fact which gives to the assessment process a numerical stability. Based on the assessment algorithm of a one-dimensional B-spline function, by generalization, we can get two-step assessment algorithms of the two or more variables B-spline functions. By minimizing some functional operators, we obtain homogenous systems, out of whose analysis we can determine more important (influential) measurement points.

### 3.1. B-Spline Functions of One Variable

The set of „k+1” consecutive intervals, on which a basic B-spline function, of order k is nonzero, is called its support.

A B-spline function of one real variable is a polynomial segmentary function which is expressed with the help of a set of basic B-spline functions on each interval, related to a set of knots. Basic B-spline functions are chosen so that the number of supporting intervals to be as small as possible and an eventual modification of a point should affect only the neighbouring parts. Basic B-spline functions are obtained by a recursive process, as it follows:

$$N_{i,l}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [t_i, t_{i+1}) \\ 0, & \text{in rest} \end{cases}$$

(1)

$$\sum_{i=1}^{n-k} N_{i,k}(t) = 1, \forall t \in [t_k, t_{n-k})$$

(6)

$$N_{i,k}(t) = \frac{t-t_i}{t_{i+k-1}-t_i} N_{i,k-1}(t) + \frac{t_{i+k}-t}{t_{i+k}-t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(t),$$

$k \geq 2$ . By means of basic B-spline functions, a B-spline function of order  $k$  can be written as:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n d_i N_{i,k}(t),$$

(3)

on the knot set  $(t_i)_{i=1, n+k}$ . If we write:

$$\begin{cases} N = N(t) = (N_{1,k}(t), N_{2,k}(t), \dots, N_{n,k}(t))^T \\ d = (d_1, d_2, \dots, d_n) \end{cases}$$

(4)

then (3) can be written as a contraction product:

$$f(t) = d \odot_i N$$

(5)

Using the mathematical induction method, the following property can be proved:

$$\begin{aligned} f(t) &= \sum_{j=i-k+1}^i d_j \left[ \frac{t-t_j}{t_{j+k-1}-t_j} N_{j,k-1}(t) + \frac{t_{j+k}-t}{t_{j+k}-t_{j+1}} N_{j+1,k-1}(t) \right] = \sum_{j=i-k+1}^i d_j \frac{t-t_j}{t_{j+k-1}-t_j} N_{j,k-1}(t) + \\ &+ \sum_{j=i-k+1}^i d_j \frac{t_{j+k-1}-t}{t_{j+k-1}-t_j} N_{j,k-1}(t) = \sum_{j=i-k+1}^i \left( \frac{t-t_j}{t_{j+k-1}-t_j} d_j + \frac{t_{j+k-1}-t}{t_{j+k-1}-t_j} d_{j-1} \right) N_{j,k-1}(t) \end{aligned}$$

If we note:

$$d_j^l(t) = \frac{t-t_j}{t_{j+k-1}-t_j} d_j + \frac{t_{j+k-1}-t}{t_{j+k-1}-t_j} d_{j-1},$$

(7)

we obtain:

$$f(t) = \sum_{j=i-k+1}^i d_j^l N_{j,k-1}(t),$$

(8)

or shortly  $f(t) = \sum_i d_i^l N_{i,k-1}(t)$ .

Out of this property we infer that on the interval  $[t_k, t_{n-k+1}]$ , the functions  $N_{i,k}(t)$  are positive and have the sum equal to 1, so they can be the coefficients of a convex combination. This ensures the numerical stability of the evaluation process of a B-spline function at a point  $t \in [t_i, t_{i+1}]$ .

To assess the B-spline function  $f(t) = \sum_j d_j N_{j,k}(t)$  at a point  $t \in [t_i, t_{i+1})$  it is necessary to calculate the nonzero numbers  $N_{j,k}(t), j = i-k+1, \dots, i$ .

Using the recurrence relationship (3), we can express  $f(t)$ , in relation to the basic B-spline functions with a lower order, as it follows:

Continuing the reasoning and noting:

$$d_i^j(t) = \begin{cases} d_i, & j=0 \\ \frac{t-t_i}{t_{i+k-j}-t_i} d_i^{j-1}(t) + \frac{t_{i+k-j}-t}{t_{i+k-j}-t_i} d_{i-1}^{j-1}(t), & j>0 \end{cases}$$

(9)

or

$$d_i^j = \lambda d_i^{j-1} + (1-\lambda) d_{i-1}^{j-1} \quad (10)$$

where  $\lambda = \frac{t-t_i}{t_{i+k-j}-t_i}$ , we get:

$$f(t) = \sum_i d_i^j(t) N_{i,k-j}(t)$$

(11)

But we have

$$N_{i,l}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [t_i, t_{i+1}) \\ 0, & \text{in rest} \end{cases} \Rightarrow f(t) = d_i^{k-l}(t), \forall t \in [t_i, t_{i+1})$$

and though  $f(t)$  can be found out of  $d_{i-k+1}, \dots, d_i$  with the help of convex combinations (10).

Consequently, first we have to find the index  $i$  for which  $t \in [t_i, t_{i+1})$ , and then we create a table for the recursive assessment of the B-spline functions.

**Table 1** Recursive assessment of B-spline functions

$d_{i-k+1}^0(t)$				
$d_{i-k+2}^0(t)$	$d_{i-k+2}^1(t)$			
...	...	...	...	...
$d_{i-l}^0(t)$	$d_{i-l}^1(t)$	...	$d_{i-l}^{k-2}(t)$	...
$d_i^0(t)$	$d_i^1(t)$	...	$d_i^{k-2}(t)$	$d_i^{k-1}(t)$

Each entry in the table (except the first column which

contains the initial data) is a convex combination of the two adjacent elements in the preceding column and the last term in bottom right ( $d_i^{k-1}(t)$ ) is the value of  $f(t)$  in point  $t \in [t_i, t_{i+1})$ .

This algorithm can be used to compute the vector of coefficients expressing the value of a B-spline function  $f(t)$  in terms of the original control points. We seek coefficients  $(\alpha_i)_{i=1}^n$  such that

$$f(t^*) = \sum_{i=1}^n \alpha_i d_i.$$

**Algorithm 1:** Calculus of the vector  $(\alpha_i)_{i=1,n}$  so  $f(t^*) = \sum_{i=1}^n \alpha_i d_i$  for  $t_i \leq t^* \leq t_{i+1}$

1. create the stocking matrix  $mat(k, k)$  and thje vectors  $dp(k)$ ,  $dm(k)$ , create the vector  $res$  for the stocking of values  $\alpha_i$
2. find the index  $ind$  so  $t_{ind} \leq t^* \leq t_{ind+1}$
3. initialize  $mat[0][0] = 1.0$
4. for  $j = 0$  to  $k-2$ 
  - 4.1  $dp[j] = t[ind + j + 1] - t^*$
  - 4.2  $dm[j] = t^* - t[ind - j]$
  - 4.3 for  $i = 0$  to  $j$ 
    - 4.3.1  $temp = mat[i][j] / (dp[i] + dm[j - i])$
    - 4.3.2  $mat[i][j + 1] += dp[i] * temp$
    - 4.3.3  $mat[i + 1][j + 1] = dm[j - i] * temp$
5. for  $i = 0$  to  $k-1$ 
  - 5.1  $res[i + ind - k + 1] = mat[i][k - 1]$

In practice, the values of the parts of the control points vector  $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ , are determined experimentally and, therefore, we do not know their real value but their approximation. Considering that the B-spline function depends on these values, we follow the minimizing of the  $\int [f(t)]^2 dt$  operator. We set the extreme necessary condition  $\frac{\partial}{\partial d} \int (f(t))^2 dt = 0$ . We denote:

$$A = \int (N \otimes N^t) dt = \left( \int N_i(t) N_j(t) dt \right)_{i,j=1,n} \quad (12)$$

where: A – mass matrix.

We are thus led to a homogeneous system of n equations with n unknown for the vector of the control points d, of the form:

$$Ad = 0$$

(13)

If  $\text{rank } A = r$  (for example,  $\Delta_r = \det(a_{ij})_{i,j=1,r} \neq 0$ ), then  $d_1, d_2, \dots, d_r$  are main unknowns which are expressed depending on the side unknowns  $d_{r+1}, d_{r+2}, \dots, d_n$ . From a practical point of view, this means that  $t_{r+1}, t_{r+2}, \dots, t_n$  knots have a greater importance (are more influential) and, therefore,  $t_1, t_2, \dots, t_r$  can be eliminated.

This is illustrated in the following algorithms:

<b>Algorithm 2:</b> Computation of $N_{i,k}(t)$ , given $i, k$ and $\text{vec}=(t)_{i=1..n+k}$
<p>function <math>N(i, k, t, \text{vec})</math></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. create <i>res</i> for storage of return value</li> <li>2. if <math>k == 1</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 if <math>t \geq \text{vec}(i)</math> și <math>t &lt; \text{vec}(i+1)</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.1 <math>\text{res} = 1</math></li> </ol> </li> <li>2.2 else                             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.2.1 <math>\text{res} = 0</math></li> </ol> </li> </ol> </li> <li>3. else                     <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 <math>\text{res} = (t - \text{vec}(i)) / (\text{vec}(i+k) - \text{vec}(i)) * N(i, k-1, t, \text{vec}) +</math>  <math>(\text{vec}(i+k) - t) / (\text{vec}(i+k) - \text{vec}(i+1)) * N(i+1, k-1, t, \text{vec})</math></li> </ol> </li> </ol>

<b>Algorithm 3:</b> Computation of matrix A elements and of its rank
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. for <math>i = 1</math> to <math>n</math></li> </ol>

1.1 for  $j = 1$  to  $n$   
 1.1.2 compute  $a_{ij} = \text{integral}(N_{i,k}(t) \cdot N_{j,k}(t), \text{vec}(l), \text{vec}(n))$   
 using *Algorithm 1* to compute the values of  $N_{i,k}(t)$   
 2. compute the rank of matrix  $A$

### 3.2. B-Spline Functions of Two Variables

Being two B-spline functions of one real variable:  $f(u) = \sum_{i=1}^p d_i^1 N_{i,k}(u) = d_1 \odot_i N_u$  on the set of

nodes  $(u_i)_{i=1, \overline{p+k}}$ ,  $g(v) = \sum_{j=1}^q d_j^2 N_{j,l}(v) = d_2 \odot_j N_v$

on the set of nodes  $(v_j)_{j=1, \overline{q+l}}$ , where:

$$\begin{aligned} N_u &= (N_{1,k}(u), N_{2,k}(u), \dots, N_{p,k}(u))^T; \\ N_v &= (N_{1,l}(v), N_{2,l}(v), \dots, N_{q,l}(v))^T \end{aligned} \quad (14)$$

are the basic B-spline functions corresponding to the functions  $f$  and  $g$ .

A B-spline function of two variables is defined as the tensor product of two B-spline functions of one-variable:

$$x(u, v) = f(u) \otimes g(v) = d_1 \odot_i (N_u \otimes N_v^t) \odot_j d_2. \quad (15)$$

B-spline basis functions for (15) are the composition of tensors of B-spline basic functions for  $f$  and  $g$ . Allowing control points to take arbitrary values too, the general formula of a B-spline function of two variables is:

$$x(u, v) = N_u^t d N_v = d \odot_i N_u \odot_j N_v, \quad (16)$$

where

$$d = (d_{ij})_{\substack{i=1, \overline{p} \\ j=1, \overline{q}}} \quad (17)$$

is the matrix of the control points.

Starting from here, the assessment of a B-spline function of two variables, given a point  $(u^*, v^*)$  is made through a two-steps algorithm:

Step 1. We apply the assessment algorithm of B-spline function of one real variable to each of the columns in the control points matrix  $(d_{ij})_{\substack{i=1, \overline{p} \\ j=1, \overline{q}}}$  using

the knot set:  $(u_i)_{i=1, \overline{p+k}}$  and the  $u$  assessment point  $u^*$ . The result will be  $q$  points, one for each column.

Step 2. We apply the same assessment algorithm given the  $q$  points resulted in step 1, using the knot set:  $(v_j)_{j=1, \overline{q+l}}$  and the assessment point  $v^*$ .

The resulting point is the value of  $x(u, v)$  in  $(u^*, v^*)$ .

On this basis it can develop an algorithm to evaluate a B-spline function of two variables at a given point.

**Algorithm 4:** Computation of  $x(u^*, v^*)$

1. for  $j = 1$  to  $q$ 
  - 1.1 using algorithm 1 to compute the coefficients  $\alpha_{ij}$  so  $x(u^*, v_j) = \sum_{i=1}^p \alpha_{ij} d_{ij}$ , for  $u_i \leq u^* \leq u_{i+1}$
  - 1.2 using algorithm 1 to compute the coefficients  $\beta_j$  so  $x(u^*, v^*) = \sum_{j=1}^q \beta_j x(u^*, v_j)$ , for  $v_j \leq v^* \leq v_{j+1}$

Also, in the case of two-variables B-spline functions, the elements of the control points' matrix  $d = (d_{ij})_{\substack{i=1,p \\ j=1,q}}$  could be considered variables, trying to

minimize the  $\iint (x(u,v))^2 dudv$  operator. As  $x(u,v) = N_u^t d N_v$  we further obtain the equation:

$$\int (N_u \otimes N_u^t) du \odot_j d \odot_j \int (N_v \otimes N_v^t) dv = 0 \quad (18)$$

If

$$A_u = \int (N_u \otimes N_u^t) du = \left( \int N_i(u) N_j(u) du \right)_{i,j=1,p} \quad \text{and}$$

$$A_v = \int (N_v \otimes N_v^t) dv = \left( \int N_i(v) N_j(v) dv \right)_{i,j=1,q} \quad \text{we}$$

obtain, for the control points' matrix  $d$ , the system:

$$A_u d A_v = 0$$

<p><b>Algorithm 5:</b> Computation of matrices <math>A_u = (a_{i,j})_{i,j=1,p}</math>, <math>A_v = (b_{i,j})_{i,j=1,q}</math> elements and of the matrix of the system <math>A_u \cdot d \cdot A_v = O</math>, rank, given <math>u = (u_i)_{i=1,p+k}</math>, <math>v = (v_j)_{j=1,q+1}</math></p>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. for <math>i = 1</math> to <math>p</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 for <math>j = 1</math> to <math>p</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.2 compute <math>a_{i,j} = \text{intergral}(N_{i,k}(u) * N_{j,k}(u), u(1), u(p))</math> using <i>Algorithm 1</i> to compute the values of <math>N_{i,k}(u)</math> and <math>N_{j,k}(u)</math></li> </ol> </li> </ol> </li> <li>2. for <math>i = 1</math> to <math>q</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 for <math>j = 1</math> to <math>q</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.2 compute <math>b_{i,j} = \text{intergral}(N_{i,j}(v) * N_{j,l}(v), v(1), v(q))</math> using <i>Algorithm 1</i> to compute the values of <math>N_{i,k}(t)</math> and <math>N_{j,l}(v)</math></li> </ol> </li> </ol> </li> <li>3. compute the rank of the matrix of the system <math>A_u \cdot d \cdot A_v = O</math></li> </ol>

The analysis of system (18) can lead to conclusions about the influential points, in which the measurements should be taken, and can be used to develop an algorithm for their determination.

### 3.3. B-Spline Functions of Three Variables

A B-spline function of three variables can be defined as a tensor product of three B-spline functions of one variable or as the tensor product of a B-spline

function of two variables and a B-spline function of one variable. If  $f, g, h$  are three B-spline functions of

one variable  $f(u) = \sum_{i=1}^p d_i^1 N_{i,l}(u) = d_1 \odot_i N_u$  defined

on the knot sets  $(u_i)_{i=1, \overline{l, p+l}}, g(v) = \sum_{j=1}^q d_j^2 N_{j,m}(v) = d_2 \odot_j N_v$  defined on the knot sets  $(v_j)_{j=1, \overline{l, q+m}}$  and

$h(w) = \sum_{k=1}^r d_k^3 N_{k,n}(w) = d_3 \odot_k N_w$  defined on

the knot sets  $(w_k)_{k=1, \overline{l, r+n}}$  where:

$$\begin{aligned} N_u &= (N_{1,l}(u), N_{2,l}(u), \dots, N_{p,l}(u))^T; \\ N_v &= (N_{1,m}(v), N_{2,m}(v), \dots, N_{q,m}(v))^T; \\ N_w &= (N_{1,n}(w), N_{2,n}(w), \dots, N_{r,n}(w))^T \end{aligned} \quad (19)$$

are the basic B-spline functions corresponding to the functions  $f, g, h$ , then

$$x(u, v, w) = d \odot_i N_u \odot_j N_v \odot_k N_w \quad (20)$$

is a B-spline function of three variables which has as its basic functions the tensorial composition of the basic functions of  $f, g, h$  and

$$d = (d_{ijk})_{\substack{i=1, \overline{l, p} \\ j=1, \overline{l, q} \\ k=1, \overline{l, r}}}$$

(21)

represents the control points matrix.

Similarly, given the B-spline function of two variables, we can also work out a two steps algorithm for the assessment of the function  $x(u, v, w)$  in a given point  $(u^*, v^*, w^*)$ .

**Step 1.** We apply the assessment algorithm of a two-variables B-spline function to each points layer of the control points matrix using the knot set  $(u_i)_{i=1, \overline{l, p+l}}, (v_j)_{j=1, \overline{l, q+m}}$  and the assessment point  $(u^*, v^*)$ . The result will be  $r$  points, one for each layer.

**Step 2.** We apply the assessment algorithm of a B-spline function of one real variable to the  $r$  points resulted in step 1, using the knot set  $(w_k)_{k=1, \overline{l, r+n}}$  and the assessment point  $w^*$ . Resulting point represents the value  $x(u^*, v^*, w^*)$ .

This allows the implementation of an algorithm for evaluating a B-spline function with three variables at a given point.

**Algorithm 6:** Calculation of the value  $x(u^*, v^*, w^*)$

1. for  $k = 1$  to  $r$

1.1 use *Algorithm 2* to calculate coefficients  $\alpha_{jk}$ , so that

$$x(u^*, v^*, w_k) = \sum_{j=1}^q \alpha_{jk} x(u^*, v_j, w_k), \text{ for } u_i \leq u^* \leq u_{i+1}, v_j \leq v^* \leq v_{j+1}$$

2. use *Algorithm 1* to calculate coefficients  $\beta_k$ , so that  $x(u^*, v^*, w^*) = \sum_{k=1}^r \beta_k x(u^*, v^*, w_k)$ , for

$$w_k \leq w^* \leq w_{k+1}$$

$\iiint (x(u, v, w))^2 dudvdw$  operator, having the elements

Similarly the B-spline function of two variables, trying to minimize the

of the control points matrix  $d = (d_{ijk})_{\substack{j=1,q \\ k=1,r}}^{\overline{1,p}}$  as

unknowns, we obtain:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial d} \iiint (x(u, v, w))^2 dudvdw &= \\ &= \frac{\partial}{\partial d} \iiint (N_u^t d N_v M_w)^2 dudvdw = 0 \end{aligned}$$

In tensorial notation this is written:

$$\iiint \frac{\partial}{\partial d} (d \odot_i N_u \odot_j N_v \odot_k N_w)^2 dudvdw$$

=

$$\begin{aligned} &= 2 \iiint (d \odot_i N_u \odot_j N_v \odot_k N_w) \otimes \\ &\quad \otimes (N_u \otimes N_v^t \otimes N_w^t) dudvdw. \end{aligned}$$

In this way we get the equation:

$$A_u \odot_i d \odot_j A_v \odot_k A_w = 0 \quad (22)$$

out of whose study we can conclude on the importance of the measurement control points.

This can be put into practice through the following algorithm.

<p><b>Algorithm 7:</b> Computation of matrices <math>A_u = (a_{i,j})_{\substack{i,j=1,p}}</math>, <math>A_v = (b_{i,j})_{\substack{i,j=1,q}}</math>, <math>A_w = (c_{i,j})_{\substack{i,j=1,r}}</math> elements and of the matrix of the system <math>A_u \otimes_i d \otimes_j A_v \otimes_k A_w = O</math> rank, given <math>u=(u_i)_{i=1..p+k}</math>, <math>v=(v_j)_{j=1..q+l}</math>, <math>w=(w_j)_{j=1..r+k}</math></p>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. for <math>i = 1</math> to <math>p</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 for <math>j = 1</math> to <math>p</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.2 compute <math>a_{i,j} = \text{intergral}(N_{i,k}(u) * N_{j,k}(u), u(1), u(p))</math> using <i>Algorithm 1</i> to compute the values of <math>N_{i,k}(u)</math> and <math>N_{j,k}(u)</math></li> </ol> </li> </ol> </li> <li>2. for <math>i = 1</math> to <math>q</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 for <math>j = 1</math> to <math>q</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.2 compute <math>b_{i,j} = \text{intergral}(N_{i,j}(v) * N_{j,l}(v), v(1), v(q))</math> using <i>Algorithm 1</i> to compute the values of <math>N_{i,k}(t)</math> and <math>N_{j,l}(v)</math></li> </ol> </li> </ol> </li> <li>3. for <math>i = 1</math> to <math>r</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 for <math>j = 1</math> to <math>r</math> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1.2 compute <math>c_{i,j} = \text{intergral}(N_{i,j}(w) * N_{j,l}(w), w(1), w(r))</math> using <i>Algorithm 1</i> to compute the values of <math>N_{i,k}(w)</math> and <math>N_{j,l}(w)</math></li> </ol> </li> </ol> </li> <li>4. compute the rank of the matrix of the system <math>A_u \otimes_i d \otimes_j A_v \otimes_k A_w = O</math></li> </ol>

#### 4. Dynamics of the elastic return mechanical field of a folded piece modelling

The case of a piece of tin, obtained by bending in a die was considered (Fig. 1); the manufacturing method can be applied in two versions: with or without retaining the metal sheet during deformation. Notations of Fig. 1 have the following meanings: 1 - die, 2 - punch, 3 - retention plate, 4 - piece.



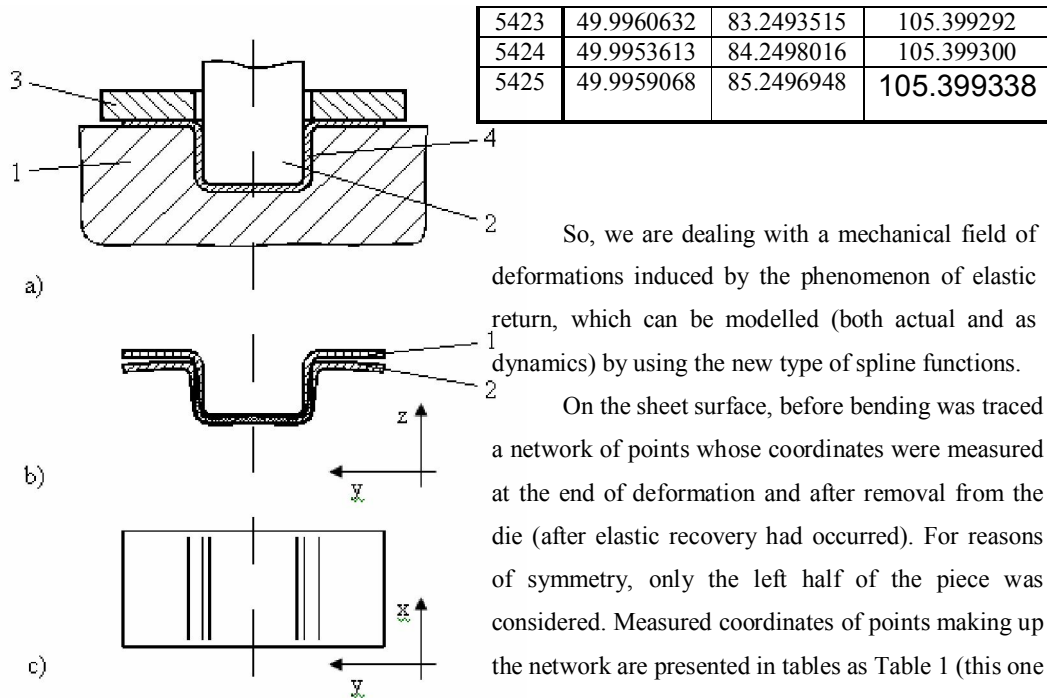


Fig.1. The manufacturing scheme

It is known that after working through this process, when they are pulled from the die, the pieces undergo elastic recovery; it leads to a difference between the shape and size since the end of processing (fig 1-b, 1) and those after releasing the piece from the die (Fig. 1-b, 2).

So, we are dealing with a mechanical field of deformations induced by the phenomenon of elastic return, which can be modelled (both actual and as dynamics) by using the new type of spline functions.

On the sheet surface, before bending was traced a network of points whose coordinates were measured at the end of deformation and after removal from the die (after elastic recovery had occurred). For reasons of symmetry, only the left half of the piece was considered. Measured coordinates of points making up the network are presented in tables as Table 1 (this one includes details from the end of the bending without restraint).

Table 2 Network points co-ordinates

Nr. crt.	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	20.2222805	1.01142645	2.93657732
2	20.2220116	2.03363919	2.93871427
3	20.2213116	3.05495787	2.94191194
4	20.2205658	4.07670498	2.94423175
5	20.2194958	5.09782887	2.94783568
6	20.2185631	6.11980772	2.95016265
7	20.2171822	7.14081621	2.95249176
8	20.2159843	8.16330910	2.95401502
9	20.2146492	9.18423748	2.95697737
10	20.2136822	10.2065163	2.96184993
...	...	...	...
5419	49.9945183	79.2478180	105.399284
5420	49.9937019	80.2482605	105.399307
5421	49.9944992	81.2486801	105.399307
5422	49.9947624	82.2492523	105.399269

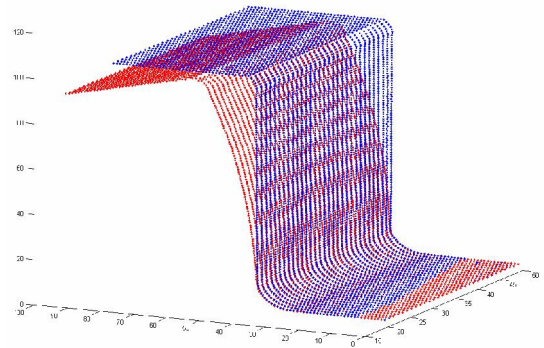
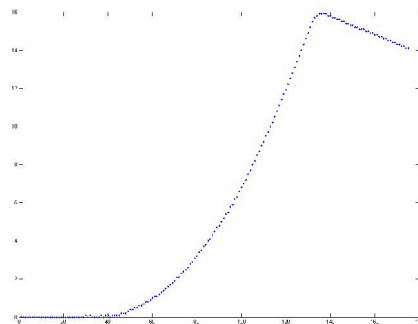
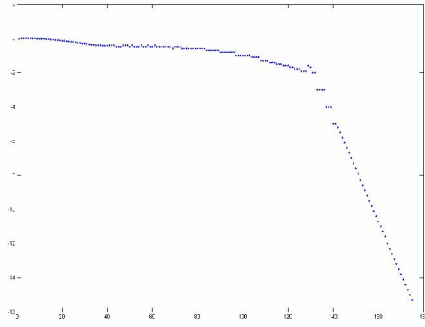


Fig.2. Worked piece before and after elastic recovery



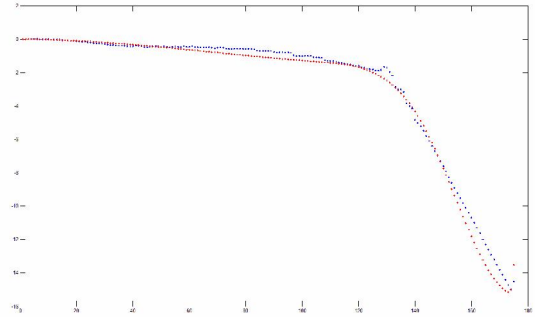


**Fig. 3.** Model of the difference function, based on the 175 points, when bending without retention

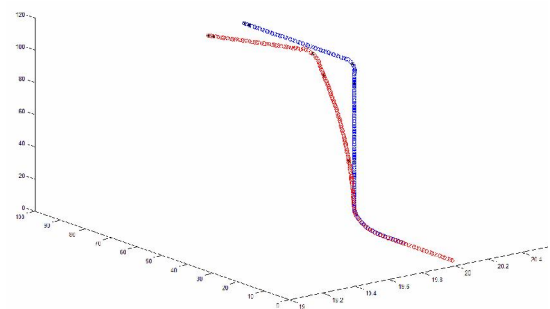
*a – along z axis; b - along y axis*

For modelling the dynamics of the elastic recovery process, by using the new type of spline functions, the following methodology was used:

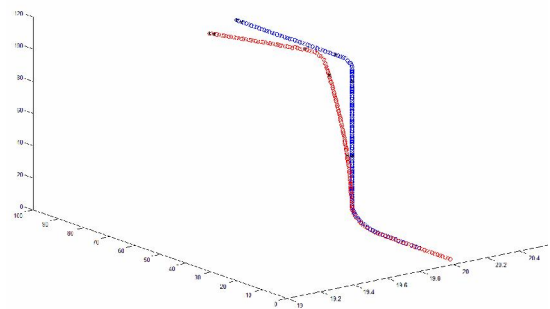
- we have modelled both the state in the end of the process of bending (as initial reference state) and the state after the elastic return (as final state), based on the points measured coordinates;
- it was determined the difference function  $\Delta f$ , characterizing the transition from the initial state to the final one  $\Delta f(x, y, z) = f_i(x, y, z) - f_f(x, y, z)$ ;
- the difference function was modelled using the new type of spline functions; starting from the observation that points arranged in planes  $x = ct$  (175 in each plane) have identical behaviour, the behaviour of the difference function was examined only in such a plane (Fig. 3, 4, for the case of bending without retention); we used successively all the 175 points and, respectively, only 5 among them, chosen as the most significant by using a genetic algorithm (Fig. 5, 6 for bending without/with retention);
- an addition was made between the known values, in the reference state, and those obtained by spline modelling the difference function and then we compared the results with the situation as modelled at the first stage, based on the known values in all 175 points.



**Fig. 4.** Comparison between the interpolation into z direction based on 175 / 5 points (blue / red)



**Fig. 5** The 5 points selected by the genetic algorithm (\* - Black), when bending without restraint



**Fig. 6** The 5 points selected by the genetic algorithm (\* - Black), when bending with restraint

Since the graphics for the second experiment (bending with retention) are very similar to those made for the first one, we have explicitly presented in this case, in order to make a comparison, only the

position of the five representative points chosen by the genetic algorithm.

We calculated the mean square deviation between the measured positions and those obtained by modelling of the 175 points considered and we found the value of 0.9222 (bending without restraint) and 0.4164 (bending with retention).

## 5. Conclusions

In order to model and identify the mechanical fields of different technological systems and their dynamics, we have to work out algorithms based on the coherence of these fields.

To substantially facilitate the reduction of the number of sensors needed to dynamically check the thermo-mechanical fields, we have to find algorithms for the calculation of the more important measurement points, to use them for the adaptive management of the technological systems.

The use of tensors easily permits passing from B-spline functions of one real variable to multivariable B-spline functions. The assessment algorithm of a B-spline function of one real variable, based on certain convex combinations, ensures the numerical stability of the process.

Multivariable functions can be assessed by means of a two steps algorithm, each of the steps assessing a B-spline function of one real variable. The tensor approach of B-spline functions allows obtaining useful practical information about the importance of measurement knots, by minimizing some operators.

### Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of

Education, Research Youth and Sports through Grant PN II-IDEAS-653/2007.

## References

1. **Alhanaty, M. , Bercovier, M.,** *Curve and Surface Fitting and Design by Optimal Control Methods*. CAGD, (33): 167-182, 2001.
2. **Lixandru, I., Epureanu, Al., Frumusanu, G., Crăciun, M.V.,** *Algorithm Developing for Online Modelling of Technological Systems' Thermo-mechanical Fields' Dynamics*. Workshop on Mathematics, Computer Science and Applications. November, 7-9, 2008. Conference room: SA (Library) Department of Mathematics and Computer Science. The Annals of ‘Dunărea de Jos’ University of Galați. ISSN 1842 – 6506. Fascicle II, pp126–134, Mathematics, Physics, Chemistry, Informatics. Thematic Series, 2008.
3. **Oproiu, V.,** *Geometria Computațională a Curbelor și Suprafețelor*. Ed. Universității ‘Al.I.Cuza’ Iași, pp. 97-113, 2003.
4. **Sherar, P.A.,** *Variational Based Analysis and Modelling using B-splines*. Cranfield University-School of Engineering. BPhD Thesis, Academic Year 2003-2004, pp.16-42; 50-62.
5. **Soos, E., Teodosiu, C.,** *Calcul Tensorial cu Aplicații în Mecanica Solidelor*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, pp. 38-67, 1981.

[6] F.B. Marin, V. Marinescu, I.C. constantin, M. Banu, Al. Epureanu, **Technique for Synthetic Modeling of the Hardware Architecture in Machining System Reconfiguration**, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Fascicle V, Technologies in machine building, ISSN 1221- 4566, 2010 (indexata BDI)

## **Technique for Synthetic Modeling of the Hardware Architecture in Machining System Reconfiguration**

F.B. Marin, V. Marinescu, I.C. constantin, M. Banu,  
Al. Epureanu

University of Galati, Department of Manufacturing,  
Robotics and Welding Engineering,

### **ABSTRACT**

*A technique for synthetic modeling of the hardware architecture for reconfigurable machine tools (RMTs) is proposed. The aim is the verification of machine control. The virtual environment proposed allows to simulate RMT working in order to generate a set of kinematically viable reconfigurable machine tools that meet the given design specifications. Moreover the software also builds the layer for communication between modules controllers. The technique proposed in this paper embodied by the new RMT machining system reconfiguration software is presented. This technique allows for*

*the simplification of RMT system development and enhances development ability.*

**KEYWORDS:** machining system reconfiguration, virtual manufacturing, hardware architecture modeling, virtual reality, kinematic model, simulation.

## 1. Introduction

Manufacturing market becomes increasingly saturated so far that concern the demands of the global market due to the rapid development of science and technology. Manufacturing companies need to rapidly change production to new products or new versions of the existing products in order to meet the new global market requirements. A relatively new concept was proposed to meet these requirements namely the Reconfigurable Manufacturing System (RMS) which was considered a solution for the new challenges in manufacturing [4].

The characteristic feature of RMS is that the structure of the system as well as of its machines and controls can be rapidly changed in response to market changes. A major component of RMS is the Reconfigurable Machine Tool (RMT) [1]. RMT allow rapid changes in the machine structure and rapid conversion of the machine by relocating its basic building modules. This also allows building on the same basic machine, of a variety of machining configurations determinate by different degree of freedom of the modules [2].

The advantage of the reconfigurable machine is that it permits easy reconfiguration of the structure of the machine and is able to machine a new parts batch belonging to the same part family. The main advantage however is represented by no or little capital waste because all machine tool modules are working.

The issues involved in the reconfiguration process are represented by two main phases:

- hardware modules reconfiguration;
- software reconfiguration (both programming and control).

The modeling algorithms of the reconfigurable machine kinematics need to be developed. These algorithms are the basis for the control and simulation of reconfigurable machine tool. By simulation of the hardware and control architecture, it is assured the optimal configuration for the new reconfigured machine.

A significant amount of work has been done for the development of RMT.

Different new concepts so far that concern control paradigm, such as holonic manufacturing, bionic manufacturing [2], fractal companies [1], are studied for the next -generation manufacturing.

Concerning the control concept, it was proposed software architecture based in a combination of object-oriented models and executable formal specifications [13]. The common approach in these researches is the idea of an modular and open architecture to allow fast reconfiguration [13]. In response to the RMT control issue various efforts have been made, such as Open Modular Architecture Controllers (OMAC) [11], Open System Architecture for Controls within Automation Systems (OSACA) [12], Open System Environment for Controllers (OSEC), Hierarchical Open Architecture Multi-processor for CNC (HOAM-CNC) Open Architecture Controller (UMOAC).

The virtual reality concept (hereinafter VR) it is applied to a wide area of fields and technologies. The user navigate in an artificial world, and is able to manipulate the information perceived from the environment being so-called virtual environment (VE), designed and created by computer and not the real physical environment.

A virtual reality interface between the human and computer allows the human to perform activities in the virtual environment in an intuitive manner.

Several scientists considered the VR for manufacturing process, in respect to CAD design [3], rapid prototyping [5][6] and virtual machining [7][8]. One important issue in VR is the input devices [9][10].

The machine tool builders cannot afford the time- and cost-intensive manufacturing and testing of physical prototypes to detect weak spots and optimize the design. Moreover in case of RMT, the testing of physical prototypes, which are in a new configuration, demand using the virtual technology to allow hardware testing and iterative improvements of the physical prototype.

The issue of reconfiguring a new machine using several modules involves great challenges so far that concern the control and software. The time needed for reconfiguring the control needs to be as limited as possible, otherwise the advantage of responsiveness of the RMT concept will vanish.

In our previous research works [14][15] we proposed a new control and hardware architecture to satisfy reconfigurability requirements.

In this paper, a technique for synthetic modeling of the hardware architecture for reconfigurable machine tools is proposed. The virtual environment software described in this paper allows to simulate RMT working in order to generate a set of cinematically viable reconfigurable machine tools that meet the given design specifications. Moreover this will also builds the layer for communication between modules controllers.

The virtual environment which acts as a programming language (Fig.2) will be used to build the two technological documents namely *i)* machine-program, concerning machine reconfiguration phase and *ii)* part-program, concerning the programming of the machine to process a specific part.

In this paper will be described only the development of the machine-program, according to our proposed RMT control paradigm.

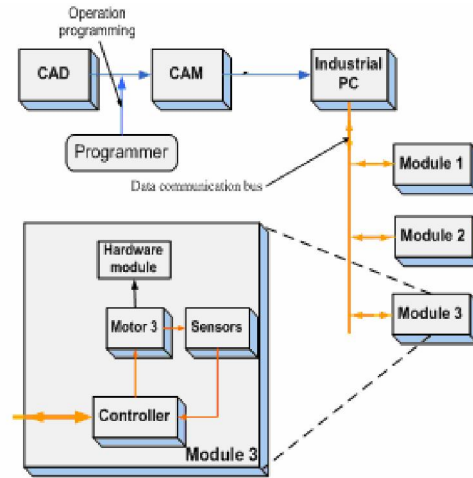
The remainder of the paper is organized as it follows. In Section 2 it is presented the issue of the RMT configuration based on the previously proposed control architecture. In Section 3 it is presented the proposed technique for synthetic modeling. Finally, section 4 gives conclusions of this investigation.

## **2. Problem Formulation**

Further is described the new proposed control architecture [14][15] and the demands to which the proposed programming language is dedicated to as well as the problems involved in RMT configuration.

Several concepts, previously presented, should be introduced. Our approach considers a bus able to handle communication for all modules.





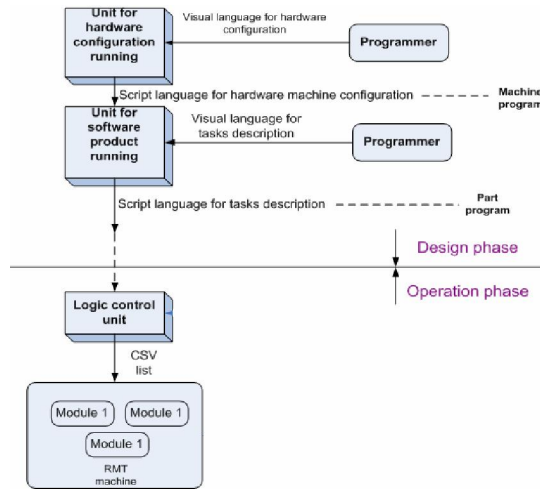
**Fig.1.** *Proposed control architecture*

Compared to today's fieldbus architecture the hardware modules have close-loop control represented by an integrated controller able to communicate with a central industrial computer (Fig.1). The data sent to each module controller is represented by the required position of the hardware module. Any other sensors embedded on the module receive/send data via communication bus to the industrial computer.

Machine programming according to the new view is concerning two distinctive phases of machine operation.

In the building phase, several hardware modules are used to build the machine tool and consequently several kinematics architectures need to be taken into account. Besides the kinematics of the new machine, the modules port assignment is needed in order to be controlled by the industrial computer. Both programs need to be developed in a virtual environment allowing easy and fast programming.

Using a solid model in a 3D virtual environment the programmer builds the kinematic model of the machine and then, after a virtual machine is built, the programmer should be able to describe machine tool movement trajectories to process the part.



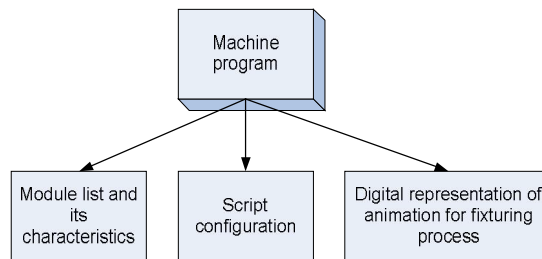
**Fig. 2.** RMT programming concept

### 3. Problem Solution

Below it is presented a technique for synthetic modeling of the machine tool. The model should output the appropriate hardware architecture considering the machining tasks to be performed as input. The technique consists in crossing the steps described bellow:

- Choosing the modules that allow every task accomplishment;
- Simulating movement of the machine modules in order to perform collision tests;
- Recording the modules movement and fixturing in order to build the digital representation of animation for fixturing process;
- Accepting the port assignment for modules to central industrial PC;
- Building the machine program.

Machine-program comprises of several information sets (Fig. 3) as it follows:



**Fig.3. Machine program information sets**

i) *script program*, which is generated automatically by the software programming environment. The configuration for each module PLC port assignment is attached;

ii) *digital image* of machine hardware configuration, representing information concerning fixturing information for an easy understanding by operators assembling new machine;

iii) *module list* to be used and their characteristics.

Building the part-program implies taking into account the geometric and kinematics characteristics of each module used (maximum feed rate, maximum couple of the motor etc).

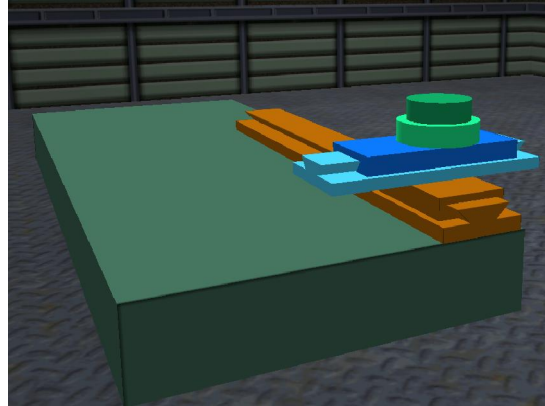
The virtual configuration of a machine tool is a computer simulation model of the physical product that analyses and test like a real machine.

The technique for synthetic modeling is embodied in virtual environment algorithms developed in this research. It consists of generic kinematic model which is composed of each module kinematic model and modules compatibility rules.

Iterative changing of a virtual model by using different modules of the machine tool during the design process of the new configuration allows for fast programming. Also by exercising design variations until the performance requirements are achieved lead to a lower cost of the part machining.

The user can navigate in the virtual workshop using the joystick in order to see the machine tool movement.

In the developed virtual programming environment (Fig. 4) the user is able to select different available modules to build a new machine according to its kinematics and machining characteristics. The modules are generic modules each entitled with one single degree of freedom.



**Fig.4.** *The virtual environment for RMT testing*

Of course there are compatibility rules between modules fixturing. For instance a very heavy translation module cannot be fixed on a low powered module. In case the user selects an incompatible module the software will reject the new module.

The manipulation of modules may cause in principle collision between tool, tool holder, machine components, and workpiece. Therefore, collisions test are performed every step in order to assure machine operation.

In order to build the digital representation of the fixturing, the user can select the record option and a film is generated showing the machine design and working for a better understanding for the work team. Also, simulation can generate reports and detailed statistics describing the behavior of the RMT system under study.

Several hardware configurations have been built in the developed software to test the synthetic modeling of the hardware architecture and the application proved to be viable for using in RMT development.

#### **4. Conclusions**

The technique proposed in this paper embodied by the new RMT machining system reconfiguration software is presented in this paper to simplify RMT system development and enhance development ability with a previously proposed new control architecture in mind.

The virtual environment described in this paper allows to simulate RMT working simulation and the user is able to generate fast a set of kinematically viable reconfigurable machine tools that meet the given design specifications. Also, based on the simulation in the virtual environment, the physical layouts, equipment selection, operation procedures, resource allocation and utilization can be effectively implemented.

### Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID\_653/2007.

### References

1. \*\*\*, *Engineering Research Center for Reconfigurable Manufacturing Systems*, <http://ercrms.engin.umich.edu/Research>.
2. Stecke, K.E., *Flexibility is the future of reconfigurability, Paradigms of Manufacturing—A Panel, Discussion*, 3rd Conference on Reconfigurable Manufacturing, Ann Arbor, Michigan, USA, 2005
3. Liu, X., Dodds, G., McCartney, J., Hinds, B.K.: *Virtual DesignWorks—designing 3D CAD models via haptic interaction*, *Comput. Aided Des.* 36, 1129–1140, 2004
4. Mehrabi, M., Ulsoy, A.G., Koren, Y., Heytler, P.: *Trends and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing*. Available at:  
<http://www.erc.engin.umich.edu/publications/pub-gen.htm>
5. Choi, S.H., Chan, A.M.M., *A virtual prototyping system for rapid product development*. *Comput Aided Des* 36:401–412, 2004
6. Wang, G.G., *Definition and review of virtual prototyping*. *J Comput Inf Sci Eng* 2(3):232–236, 2002
7. Wingbun, L., Jianguang, L., Chifai, C., *Research on the development of a virtual precision machining system*, *Chin J Mech Eng* 37(6):68, 2001
8. Li, J., Yao, Y., *Workpiece modeling and representation in virtual manufacturing*. *Comput Integr Manuf Syst* 6(1):54–59, 2000
9. Burdea, G.C., *Haptic feedback for virtual reality. Special issue on virtual prototyping*. *Int J Des Innovat Res* 2(1):17–29, 2000
10. Liu, X., Dodds, G., McCartney, J., Hinds, B.K., *Virtual design works—designing 3D CAD models via haptic interaction*, *Comput Aided Des* 36(12):1129–1140, 2004
11. \*\*\*, *OMAC API Work Group OMAC API set*, <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/omacapi>.
12. \*\*\*, *OSACA Open system architecture controls within automation systems*. Final report. <http://www.osaca.org/>, 1996.
13. Wang, S., Shin, K.G., *Constructing reconfigurable software for machine control systems*, *IEEE Trans Robot Autom* 18(4).
14. Epureanu, A., Marin, F.B., Marinescu, V., Banu, M., Constantin, I., *Manufacturing machines – a holonic approach*, *Proceeding ACMOS 08* ISBN:978-960-6766-63-3, ISSN 1790-5117, 2008;
15. Epureanu, A., Marin, F.B., Marinescu, V., Banu, M., Constantin, I., *Optimal feedrate scheduling for a reconfigurable lathe*, *Proceeding ACMOS 08* ISBN:978-960-6766-63-3, ISSN 1790-5117, 2008.

[7] .C. Constantin, M. Banu, F.B. Marin, V. Marinescu, A. Epureanu, **Method for Synthetic Modeling of the Reconfigurable Machine Tools Using Genetic**

**Algorithms**, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Fascicle V,  
Technologies in machine building, ISSN 1221- 4566, 2010 (indexata BDI)

## **Method for Synthetic Modeling of the Reconfigurable Machine Tools Using Genetic Algorithms**

I.C. Constantin, M. Banu, F.B. Marin, V. Marinescu, A.  
Epureanu

University of Galati, Department of Manufacturing,  
Robotics and Welding Engineering

### **ABSTRACT**

*This paper presents a method of synthetic modeling which can be applied by the manufacturing companies in order to rapidly evaluate the production costs, under the technical restrictions imposed by the client requests. Using the proposed approach the company can make an appropriate price quotation for its products and thus establish its profit margin. In the case of manufacturing processes, the key idea is to online model the costs occurring during the machining and consumption of time both in relation to the chips flow. After this, using the genetic algorithms technique, the optimal cutting conditions are determined as well as the minimum cost for the manufacturing task completion, under the restrictions imposed*

*by the technical specifications and by the negotiation process. The minimum cost is considered to be a reference against which the price quotation is made in accordance with the commercial policy of the company. Using the proposed approach the company can set a price for a product and thus establish its profit margin.*

**KEYWORDS:** costs, manufacturing, RMT, price quotation, productivity, genetic algorithms.

## 1. Introduction

Nowadays, the quotation process is a critical task which can determine the success of any company in the market environment. The person who elaborates a price quotation or who negotiates a contract needs to be an expert in order to correctly evaluate the cost required such as to fulfill the contract conditions. For the manufacturing companies the quotation process is more difficult because the manufacturing costs can vary in wide ranges. Also the delivery time has a great influence over the production costs. The notiator needs to have a tool which can predict the manufacturing costs in order to establish the price in such a manner that it would be not too low or not too high. If the price is too low the company will work in loss, while if the price is set too high than the contract may be lost.

Some authors realized that the cost estimation is a difficult task and the construction of a mathematical model is not an easy challenge because the interrelationships between the cost and other product features. Jahna-Shahi et al. (2001) [1] investigated the fuzzy logic techniques in order to estimate the production cost and time, while others [2], [3], used artificial neural network (ANN) and other regression models [4], [5].

## 2. Problem Formulation

In the case of reconfigurable machine tools, which typically are used to machine small batches, development of price commercial quotation is a frequent and difficult task because: i) the geometric features, the material and quality features for the products required by the market change frequently and widely, ii) the behaviour of machine tools are changing frequently because of the reconfiguration stages required in order to obtain the product requested by the market; iii) the time available for the development of the price quotation is very short because the negotiation is always very fast (sometimes the price quotation is made during a conversation), iv) the



commercial environment of the market and the technical environment of the workshop are very complex.

On the other hand, the development of the commercial offers is an important operation because of performance with which this operation is realized depends much on the responsiveness and economic performance machine tools.

Based on the above we consider that the requirements generated by the frequency, difficulty and importance of the operation of making an offer can be satisfied if a commercial synthetic model of the reconfigurable machine tools is build.

By definition, this model describes the connection between the assign task for machine tool and the level of all consumption required in order to complete that task.

The person who negotiates with the client is to provide as input to the model, the product characteristics and the business conditions imposed by the client and to obtain as an output the required consumption. Then, by adding to this information elements concerning commercial policy obtained from the management department, the person who negotiates can easy develop the associated product price quotation.

In thgis paper we propose a method for commercial synthetic modeling of the reconfigurable machine tools and prove that it can be applied practically in the case of tasks where cutting occur, task such as turning, milling, drilling and grinding. The resulted model will be synthetic one because its variables were selected in order to be as synthetic as possible in order to reflect the essential aspects of technical, economical and commercail processes, which occur during manufacturing of the product ordered by the customer. The synthetic form of the model is suitable not only for the activity of signing commercial contracts but also for managerial work related to the execution of such contracts.

On the other hand, values of some vriables of the synthetic model are considered as constants for analytical model which are used for the development of the part-program corresponding to the machining of the required product.

### **3. Problem Solution**

### 3.1. Expenditure on-machine monitoring

The proposed method consists in on machine monitoring of the expenditures and of the time required for fulfilling the manufacturing task followed by combining it with the manufacturing task synthetic characteristics.

The considered expenditures are the direct and indirect costs corresponding to the tool cost, the machine tool amortization, the consumed energy cost, the detached material cost, the labor cost and other costs considered to be constant.

#### *a. Costs*

The specific cost is defined as:

$$c = \frac{C_t}{V} [\text{Euro} / \text{dm}^3] \quad (1)$$

where  $C_t$  represents the sum of all production expenditures, in Euro, while  $V$  represents the volume in  $\text{dm}^3$  for the material to be detached from the workpiece.

The labor specific cost is defined as follows:

$$c_m = \left( \tau_a + \tau_b + \frac{\tau_{sr}}{V_s} \right) \cdot c_\tau \quad (2)$$

where:  $\tau_a$  – is the auxiliary time relative to the amount of material removed from the workpiece in minutes per  $\text{dm}^3$ ,

$\tau_b$  – is the time required to machine a workpiece surface relative to the amount of material removed from the workpiece in minutes per  $\text{dm}^3$ ,

$\tau_{sr}$  – is the time required to change and set the tool, after this tool is worn and is expressed in minutes,

$c_\tau$  – represents the expenditures made in order to use for a minute the working place,

$V_s$  – the volume of material which can be detached from the workpiece until the tool is worn out.

The time required for detaching a  $\text{dm}^3$  of workpiece material can be expressed as:

$$\tau_b = \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} [\text{min/dm}^3] \quad (3)$$

The volume of workpiece material which can be detached until the tool is worn out can be expressed using the relation:

$$V_s = \frac{v \cdot s \cdot t \cdot T}{1000} [\text{dm}^3] \quad (4)$$

where  $T$  is the tool durability which can be expressed using the Taylor relation:

$$T = \frac{\frac{1}{C^m}}{\frac{1}{v^m} \cdot \frac{x}{s^m} \cdot \frac{y}{t^m}} [\text{min}] \quad (5)$$

The constants  $C$ ,  $m$ ,  $x$  and  $y$  are related to the tool and workpiece materials.

The cos of the tool is expressed as:

$$C_s = \frac{C_{as} + C_{es}}{N} [\text{Euro}] \quad (6)$$

where:  $C_{as}$  – is the acquisition cost of the tool expressed in Euro;

$C_{es}$  – is the operating cost of the tool expressed in Euro;

$N$  – number of cutting edges corresponding to the removable tool insert which is used for machining.

The cost to use tool for detaching a  $\text{dm}^3$  of workpiece material is:

$$c_s = \frac{1000 \cdot C_s}{T \cdot v \cdot s \cdot t} [\text{Euro/dm}^3] \quad (7)$$

Energy consumption for detaching a  $\text{dm}^3$  of material depends on the energetic characteristics of machining system and on the volumic flow of chips.

$$k_w = \frac{1000 \cdot P}{v \cdot s \cdot t \cdot 60} [\text{Kwh/dm}^3] \quad (8)$$

where:  $P$  – is the power absorbed by the spindle motor.

The cos of energy consumed for detaching a  $\text{dm}^3$  material is:

$$c_w = k \cdot P_{kwh} \quad (9)$$

where  $P_{kwh}$  is the price of Kwh expressed in Euro.

Lets consider that the machine tool life depends on the intensity of cutting process in a relationship similar to Taylor relationship:

$$T_m = \frac{K_m}{v^\alpha \cdot s^\beta \cdot t^\gamma} [\text{min}] \quad (10)$$

where:  $\alpha, \beta, \gamma, K_m$  are constants specific to the machine tool.

The specific cost of depreciation of machine tools is given by:

$$c_m = \frac{1000 \cdot P_m}{v \cdot s \cdot t \cdot T_m} = \frac{P_m}{K_m} \cdot v^{\alpha-1} \cdot s^{\beta-1} \cdot t^{\gamma-1} \quad (11)$$

where  $P_m$  – is the purchase price of the machine tool, expressed in Euro.

The cost of the detached material is  $c_{mat}$ . The constant expenditure is in relation to the amount of material removed are considered  $c_c$ .

By combining the preceding relations we get the total cost:

$$c = \left( \tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr} \cdot v^{\frac{l}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{\frac{1}{C^m}} \right) c_\tau + \frac{1000 \cdot C_s \cdot v^{\frac{l}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{\frac{1}{C^m}} + \frac{1000 \cdot P \cdot P_{kwh}}{60 \cdot v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot P_m}{K_m} \cdot v^{\alpha-1} \cdot s^{\beta-1} \cdot t^{\gamma-1} + c_{mat} + c_c \quad (12)$$

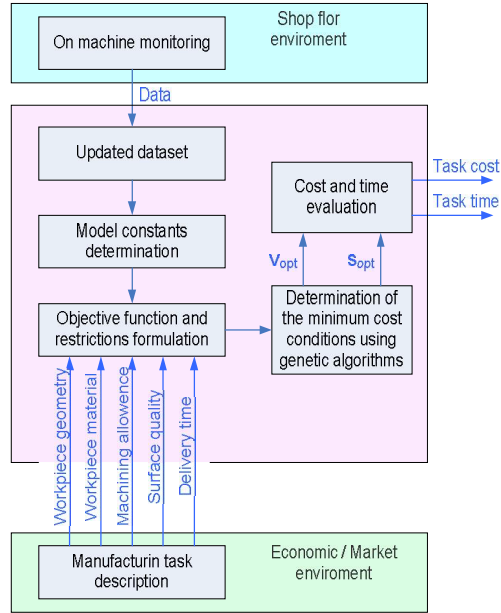
### ***b. Productivity***

The productivity is defined as the time needed for removing a  $\text{dm}^3$  of material and is expressed in minutes per  $\text{dm}^3$ .

$$\tau = \tau_a + \frac{1000}{v \cdot s \cdot t} + \frac{1000 \cdot \tau_{sr} \cdot v^{\frac{l}{m}-1} \cdot s^{\frac{x}{m}-1} \cdot t^{\frac{y}{m}-1}}{\frac{1}{C^m}} \quad (13)$$

### **3.2. Proposed method**

According to this method the model input variables are the characteristics of the manufacturing task, while the model output variables are the cost and the task duration. The model parameters are considered the workpiece geometry, the workpiece material, the surface quality and the delivery time (Figure 1).



**Fig. 1.** *Proposed control architecture*

In particular, in the case of a machining task the model inputs are the area of the machined surface, the thickness of the removed material layer.

By monitoring the machine tools during the machining of different workpieces the values of model constants are determined. Once the model parameters and the constant values are determined, this will act as an objective function for an optimisation problem in this form:

$$\min c(v,s) \tag{14}$$

under the restrictions:

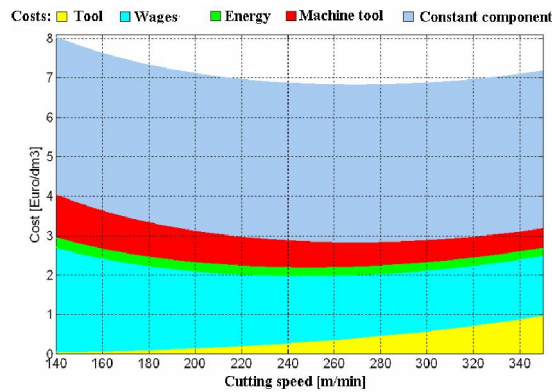
$s < s_i$  – in order to obtain the imposed surface quality;

$\tau < \tau_{min}$  – in order to comply to the time imposed by the client.

### 3.2. Simulation and experiments

In order to validate the proposed method, numerical simulation where carried out. A simple turning process for a cylindrical surface was considered. The values of model constants were determined both based on technical specifications and based on

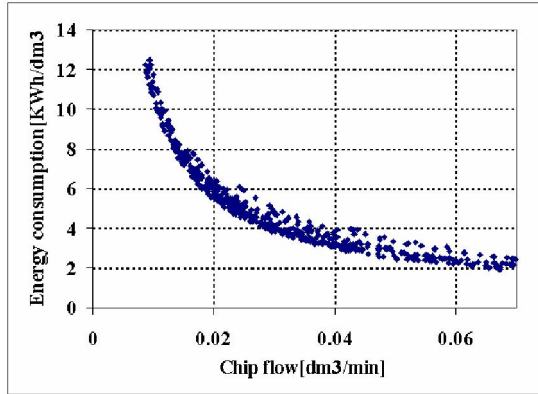
physical experiments. In practice these simulations consisted in determination of the cost and time associated with turning operations.



**Fig. 2.** Cost components (simulation)

In Figure 2 the specific cost variation for each cost component is presented. It is noted that for the current level of wages in Romania, the share of wages is significant. Component due tool costs is not very important because of the low tool costs

The component corresponding to the energy cost is not high and its values decreases with increasing of the cutting speed. In order to compute this component, experimental data shown in Figure 3 was used. A similar behaviour is remarked for the costs referring to the machine tool amortization. Total specific costs records a minimum amount of 6.8 Euro/dm<sup>3</sup> for which the cutting speed  $V_{opt}$  was 270 m/min. The optimum value of the cutting speed was also determined using genetic algorithms and was confirmed using exhaustive numerical computation.



**Fig. 3.** *Specific energy consumption for a turning operation (experimental data)*

## 4. Conclusions

This research leads to the following conclusions:

- the proposed method for the synthetic modeling of the reconfigurable machine tools allows for the easy evaluation of the expenditure and time corresponding to a specific machining task;
- the only difficult to overcome is the need for an on-line knowledge management system which can be achieved by extending the functions of the machine tool control system;
- in contrast with the current situation, the proposed method provides an assesment of the cost and time instead of fixed values of these variables;
- the optimal solution is a reference for the negotiation, because it represents a lower limit below which a price can drop. In this way the company can avoid situations in which the contracts costs can never be covered.

## Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID\_653/2007.

## References

1. **Jahna-Shahi, H., Shayan, E., Masood, S.H.**, *Multivalued fuzzy sets in cost/time estimation of flat plate processing*, International Journal of Advanced manufacturing Technology, 2001 17(10), pp. 751-759;
2. **Park, J., Seo, K.**, *Incorporating life-cycle cost into early product development*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, (Journal of Engineering Manufacture), 2004, pp. 1059-1066;
3. **Stockton, D., Wang, Q.**, *Developing cost models by advanced modelling technology*, Proceedings of the institution of Mechanical Engineers, Part B (Journal of Engineering Manufacture), 2004, pp. 213-244;
4. **Liu, H., Gopalkrishnan, V., Quinh, K.T.N., Ng, W.**, *Regression models for estimating product life-cycle cost*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2008, pp. 401-408;
5. **Layer, A., Ten Brinke, E., Van Houten, F., Kals, H., Haasis, S.**, *Recent and future trends in cost estimation*, International journal of Computer Integrated Manufacturing, 15, 2002, pp. 499-510.





[8] Vasile Marinescu, Alexandru Epureanu, Ionut Constantin, Mihaela Banu, Florin Bogdan Marin, **Method for Online Control of the Cutting Process Stability**, The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati Fascicle V, Technologies in machine building, ISSN 1221- 4566, 2010 (indexata BDI)

## **Method for Online Control of the Cutting Process Stability**

VASILE MARINESCU<sup>1</sup>, ALEXANDRU EPUREANU<sup>1</sup>, IONUT C. CONSTANTIN<sup>1</sup>, MIHAELA BANU<sup>1</sup> and FLORIN BOGDAN MARIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dunărea de Jos” University of Galati,  
alexandru.epureanu@ugal

### **ABSTRACT**

*The paper refers to a method for online control of dynamic stability in cutting processes, stability characterized by the absence of relative self excited vibration between tool and part, and also to the necessary equipment for the implementation of this method on machine tools for mass production of batches of different products. . The method has the following advantages:*

- i) ensuring the permanent use, in optimal terms of dynamic stability, of the machining system processing capacity;*
- ii) it can be applied to all machining systems based on cutting, where the dynamic instability exhibit self excited vibration between tool and part;*
- iii) in the designing stage the method allows satisfying both the specific dedicated machining systems requirements*

*and the specific universal flexible or dedicated machining systems;*

*iv) when put in use, it requires a small number of settings, to grant changes in terms of machining system structure or operation*

*The necessary equipment for implementing this method can be designed as an independent unit that can be attached to the machining system, in which case its construction should make it rather common, but also as a dedicated and integrated CNC machining system unit. The paper presents the method application for turning.*

**KEYWORDS:** chatter, stability, online control, machining system dynamics, cutting process

# 1. Introduction

Stability is one of the key factors limiting the intensity of the cutting processes. Lack of process stability translates into the occurrence of unwanted vibrations of high amplitude between part and the cutting tool. Instability leads to appearance of inadequate quality surfaces and in the same time causes premature tool and machine tool wear.

In order to avoid chatter one must increase the stiffness of the machine tools in design phase, but this method involves supplementary investment. In addition, the effectiveness of this method is not valid for all processes.

Usually, dynamic stability control is applied to cutting control methods based on offline identification. Modeling the stability of the machining systems is a particular problem since many factors are affecting stability. Models encountered in literature are generally based on some simplifying assumptions that limit their accuracy.

Those models, often requires knowledge of additional information on the tool or part difficult to assess in practice. For example, in [5], the authors construct a model for turning process using boring bars with diamond round nosed tools in order to predict the appearance of chatter.

BUDAK [2] - [4] have developed a multidimensional model of stability for the turning process, model that takes into account three-dimensional movement of the cutting tool.

In the online control of dynamic cutting stability domain, a recently published method is based on the use of a sensor, to identify the occurrence of self-excited relative vibration between tool and part, followed by cyclical changes in cutting speed, with appropriate frequency and amplitude, until chatter disappears. Suleiman [1] proposed a system which does not identifies the system lobes stability by analytical approach, but selecting the optimal speed by increasing spindle speed until chatter appears. One of the disadvantages of these methods is that dynamic stability control system reacts only after the limit of stability was reached and, consequently, after self-excited vibrations already appeared, and thus providing no preventive reaction to online avoid the instability.

Another disadvantage is that when the operation point is inside the stability domain of the cutting process, the dynamic stability control system will not control the cutting process; despite the fact that the operation point could be placed near the stability limit and thus the productivity could be increased, sometimes significantly. As along the cutting tool trajectory, both dynamic stability limit, and the position of operation point within the area of dynamic stability vary widely, there is almost always an unused reserve for increasing of productivity.

## **2. Problem Formulation**

The technical problem considered in this paper is to provide a method of online dynamic stability control of cutting process. By this method during the cutting process, the more of the capacity of the machining system can be used, while maintaining the process stability, even when part dimensions and material characteristics and/or machining system characteristics vary in time and space.

## **3. Problem Solution**

In order to control the position of the current machining system in relation to the dynamic stability limit, the online control method proposed in this paper consists in monitoring simultaneously a pairs of signals obtained from two sensors. One of the signals whose variation in time can be considered to be proportional to the time variation of cutting force will be called force-signal. The second signal, which can be considered proportional to the acceleration of relative motion between the tool and the part, will be called acceleration-signal.

These signals are recorded as a pair of time series and are transmitted to an embedded system which has the role of stability control. Force and acceleration signals are processed by the stability control system as an algorithm consisting of the following steps:

Step I - elimination of slow time-varying component, separately for each two signals;

Step II - scaling of the two filtered signals;

Step III - Fourier transform of the two signals;

Step IV - establishing the operation point position relative to the dynamic stability limit;

Step V - establishing the parameters of the cutting process or machining system characteristics that will act as control variables, and modify them to the values programmed in order to achieve a previously set goal.

Step IV is based on the analysis of Fourier transforms of the two signals, and based on observation that in cases where the cutting process is in the area of instability, natural frequencies of the machining system are distinguished with clarity, both in force and acceleration signals, while in cases where the process of cutting is in the area of stability, the two signals differently highlights the machining system frequencies.

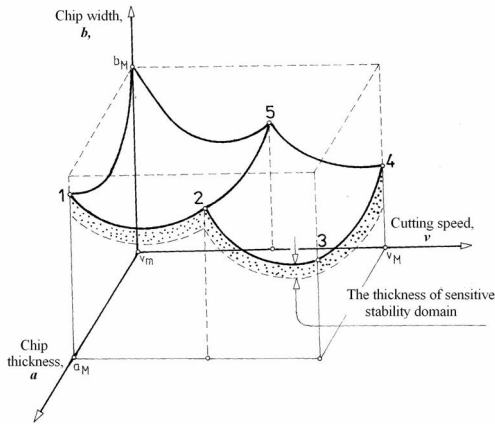
Thus, the force signal shows no dominant frequencies in the stability domain, while the acceleration signal divides stability domain into two parts, a first domain, which will be called the sensitive stability domain and another, which we name the insensitive stability domain. The sensitive stability domain is near the limit of stability and is characterized by the fact that the natural frequencies of the machining system are evidenced better in the acceleration signal when the process is closer to this limit.

Insensitive stability zone is formed by the remaining domain of stability. This domain is characterized by the fact that both signals, natural frequency of machining system does not distinguish. In conclusion, after the analysis in Fourier transforms of the two signals regarding the domain where the cutting process is current, considering that:

i)-if both signals show a natural frequency of the machining system, then the process is in the instability domain;

ii)-if the force signal do not indicate any natural frequency, while the acceleration signal does, then the process is in the sensitive stability domain, more close to the stability limit when acceleration amplitude signal at the corresponding natural frequency of the system is bigger;

iii)-if neither one of those signals do not indicate its frequency, then the process is in the insensitive stability domain.

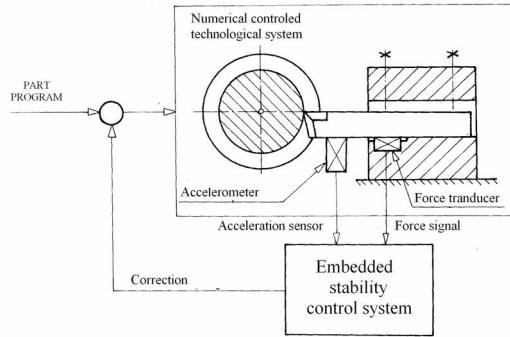


**Fig.1. Stability limit position**

Figure 1 presents the stability limit position, represented by 1-2-3-4-5 surface, in possible values space of cutting and process parameters namely cutting speed between the minimum value  $v_m$  and maximum value  $v_M$ ; chip thickness between zero and maximum value  $a_M$ , the chips width, between zero and maximum value  $b_M$ . Above the stability limit is the instability domain. Below this limit is the stability domain, which is composed of the sensitive stability domain, located in the surface vicinity 1-2-3-4-5, and whose thickness is marked in the figure, and the insensitive stability domain is composed of the remaining domain of stability.

## 4. Case Study

In this case study, online control method of dynamic stability described in first part of this paper is applied to the turning process. As shown in Figure 2, as a signal whose time variation is considered proportional to the time variation of cutting force, and that, therefore, is monitored as the force signal, is obtained from a force transducer, which is mounted in the tool support. In addition, a signal that can be considered proportional to the acceleration of relative motion between tool and part, and therefore it is monitored as acceleration signal is obtained from an accelerometer.



**Fig. 2.** *The equipment used for stability control*

Both the signals, first provided by a force transducer fixed on the cutting tool, and the second signal, provided by an acceleration transducer also fixed on the cutting tool, are numerically acquired, with a frequency high enough to be able to capture variations over time with frequencies close to the machining system natural frequencies. For example, common universal lathes have two major common frequencies, first is about 150 Hz, and the second ranging between 1000 and 2500 Hz. As a result, an acquisition frequency of 20 kHz or more is required.

Equipment for online control of cutting stability serves to the method described above and consists of:

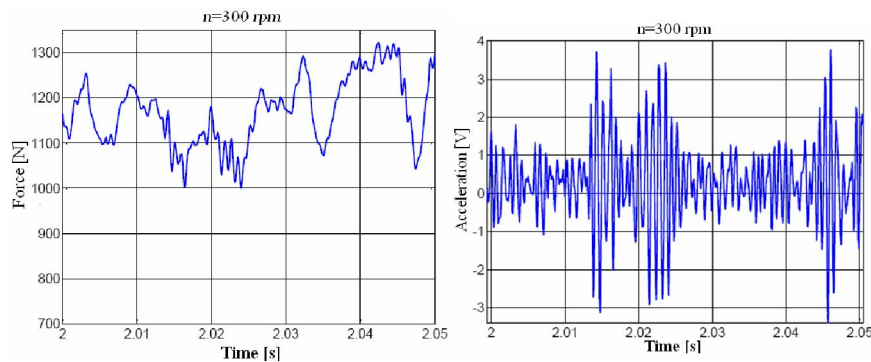
- a) sensors that generate force signal and acceleration signal, according to the method;
- b) electronic elements necessary for the acquisition of two signals that are integrated in an embedded computing and control system, which, in turn, by processing these signals according to the algorithm described in the first part of this paper, determine the necessary changes for the current operation point for of the machining system in relation to the stability limit, in order to achieve a previously established goal, such as productivity enhancing while avoiding chatter appearance;
- c) two communication interfaces, a communication control unit which ensures modifies the control variables, so that this goal be achieved, and another, to communicate with the operator, which assures permanent display of the current point of operation, but also allows the operator to set range for natural frequency of the machining system and the limit values of amplitudes  $A_f$  and  $A_a$  for the force and acceleration signals, in order to



discriminate the position of the current operating point position in sensitive or insensitive stability domain or if the current operation point is in the instability domain.

### 5. Applying the Method

These signals are recorded as a pair of time series and then sent to the embedded stability control system, which they are being processed. Figure 3 shows two signals acquired simultaneously, so pair signals, resulting from the application of laboratory experimental method.



**Fig. 3.** *The equipment used for stability control*

Processing each pair of signals by the incorporated stability control system is made according to the following algorithm:

Step 1 - Elimination of slow time-varying component, separately for each of the two signals.

Step 2 - Scaling the two signals thus filtered.

Step 3 - Fourier Transform of two signals.

After Fourier transformation the obtained results are similar to the experimental results presented in Figures 4, 5, 6, 7.

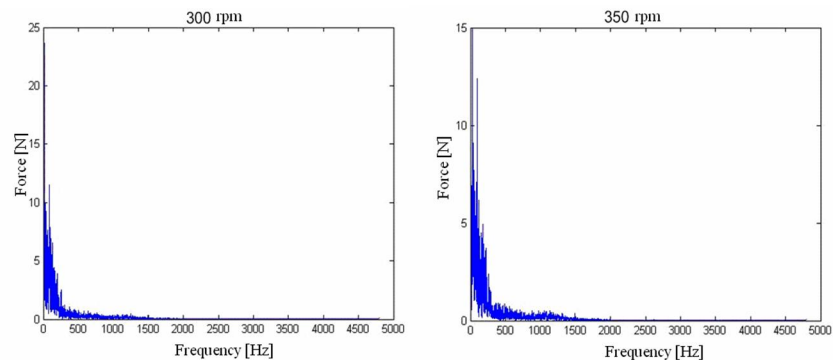
Step 4 – Establishing the position of the cutting process towards the dynamic stability limit, analyzing the Fourier transforms of the two signals, based on the comments below.

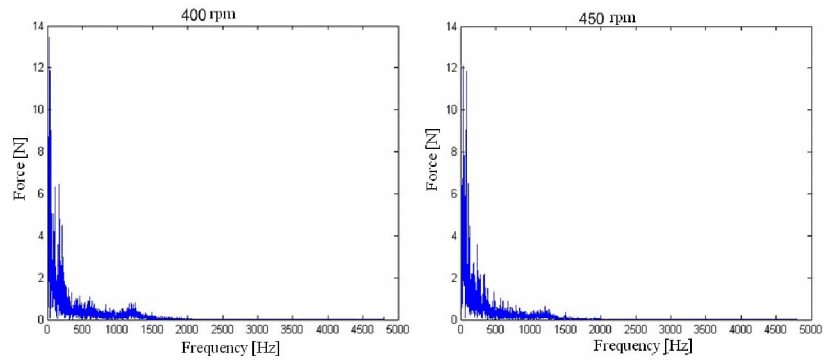
A first observation is that, in the example considered, the machining system has only one natural frequency. Moreover, than, in cases where the cutting process is in the instability domain, i.e. at speeds of 500 rpm or higher, the system's natural frequency is distinguished by clarity, both for the force signal and for the acceleration signal.

On the other hand, in cases where the cutting process is in the stability domain, i.e. for the speeds of below 500 rpm, the two signals differently highlight the natural frequency of the machining system. Thus, the force signal does not reveal this at all, for the whole stability domain, while the acceleration signal stability domain divided into two areas. The first area that will still be called the sensitive stability is near the limit of stability and characterized in that the natural frequency of the machining system is highlighted, the better the more the process is closer to the limit. The remaining area of stability form the second area will be called the insensitive stability, and is characterized by the fact that at both signals, natural frequency of machining system does not distinguish.

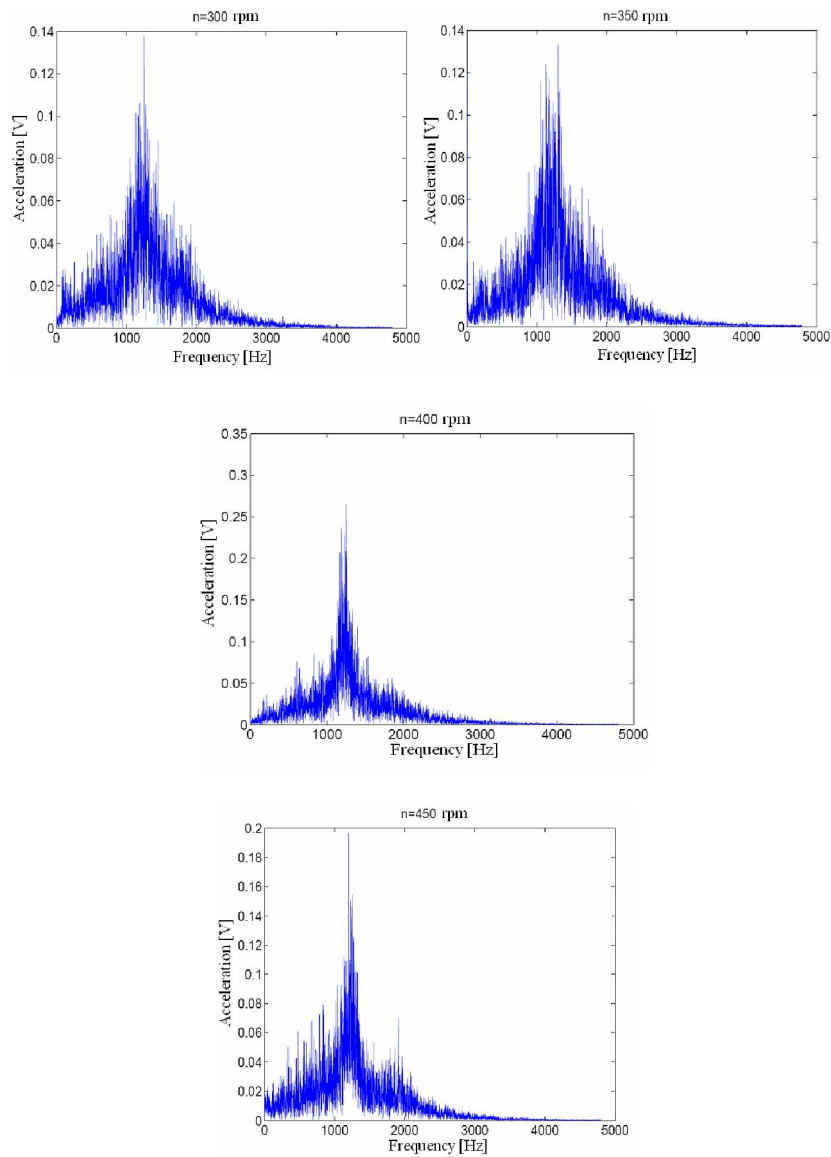
Step 5 - Determine the state variables, even these that are characteristic of the process of cutting or machining system, which will act as control variables, and modify them to the values programmed by the part-program in order to achieve a goal previously established.

In applying the method for online control of the dynamic stability, crossing this step depends on the possibilities available on the machining system, or can be created specifically to control stability. In many practical cases, the width of chip, the cutting speed, and sometimes the chip thickness are the most frequent candidates for the role of dynamic stability control variables.

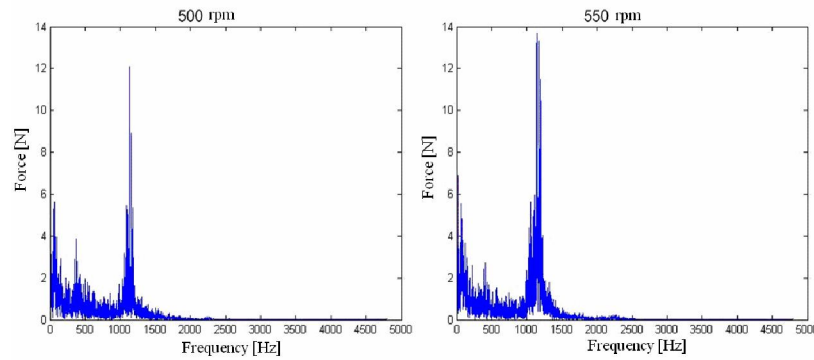




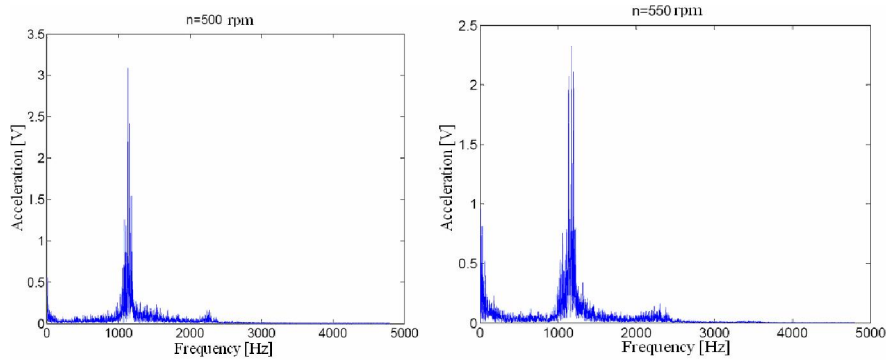
**Fig. 4.** Frequency amplitude charts for the force signal for to different spindle speeds for which the dynamic instability phenomenon didn't occurred



**Fig. 5.** Frequency amplitude charts for the acceleration signal for to different spindle speeds for which the dynamic instability phenomenon didn't occurred



**Fig. 6.** Frequency amplitude charts for the force signal for to different spindle speeds for which the dynamic instability phenomenon occurred



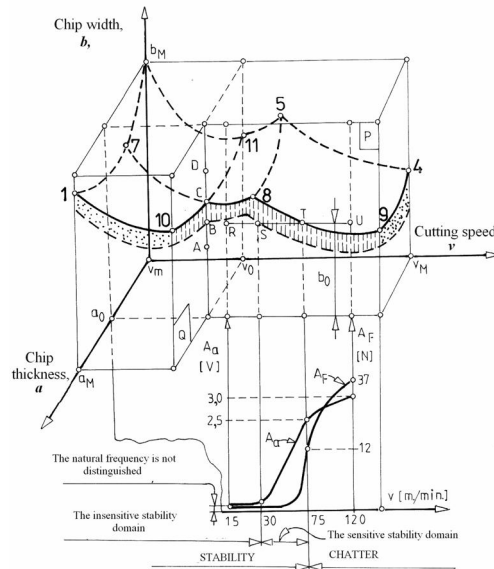
**Fig. 7.** Frequency amplitude charts for the acceleration signal for to different spindle speeds for which the dynamic instability phenomenon occurred

For example, figure 8 shows the intersection space of possible values of chip thickness,  $a$ , chip width,  $b$ , and cutting speed,  $v$ , with two planes  $P$  and  $Q$ . Plan  $P$  is perpendicular to the axis of the chip thickness,  $a$ , and corresponding adjusted if the value of chip thickness is  $a_0$ . This plane intersects the surface describing the stability limit, after line 7-C-8-T-9. Plane  $Q$  is perpendicular to the axis of cutting speed,  $v$ , and corresponding adjusted if the value of cutting speed is  $v_0$ . This plane intersects the surface of describing the limit of stability, after line 10-C-11.

In order to present an example of crossing this step, consider the plane section  $P$  and a cutting process in which chip thickness and chip width remain constant at their scheduled values, namely  $a_0$  and  $b_0$  respectively, while the cutting speed is designated as variable stability control. During the online control of stability, the current operation point of the

machining system moves along  $RSTU$  line, located in this plan. If we desire to maximize the process productivity, then the operation point must be located on the  $ST$  segment, as close to the point  $T$ .

If both the force signal and the acceleration signal, shows the natural frequency of the machining system, then the current operation point in the segment  $TU$  is located in the area of instability, and the cutting speed should be reduced to bring the operating point on  $TS$  segment, where force signal shows no natural frequency of the machining system and the acceleration signal clearly shows this natural frequency.



**Fig. 8.** Conceptual scheme of the algorithm

If, any of the two signals do not indicate its frequency, then the current operating point is on the  $RS$  segment and cutting speed should be increased until the acceleration signal clearly shows its natural maximum frequency, while the force signal one shows no natural frequency. Thus, the operating point reaches the  $ST$  segment, near the point  $T$ .

At the bottom of the plane  $P$  it is shown the charts that, while dynamic stability control, go through signal  $A_a$  of the acceleration signal and amplitude  $A_f$  of the force signal, corresponding to the natural frequency of the machining system (for the numerical values in the figure, see also figures 4, 5, 6, 7).

A similar example for running the algorithm can be presented if, as a route of the operation point during stability control is considered the  $ABCD$  line contained in plane  $Q$ . In

this example, the control variable is the width chips,  $b$ , while the chip thickness and cutting speed remains constant, at their scheduled values  $a_0, v_0$  respectively. By modifying the control variables, the position of the operation point is brought on segment  $BC$ , closer to point  $C$ , thus reaching the desire to achieve the maximum productivity.

## 6. Conclusion

1. The approach proposed in the paper provides the use of, the machining system processing capacity, so far that concerns the dynamic stability.
2. The control method presented in this paper can be applied for any machining system for which the dynamic instability is represented by self excited vibrations between tool and part.
3. The proposed method allows near optimal control of the machining system stability. The proposed control system requires a small number of service settings, to adapt the changes in the structure and operation of machining systems.
4. The described control system allows satisfying, both dedicated and flexible machining systems requirements.
5. The experimental test developed in this paper shows the system feasibility.

## Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN\_II\_ID\_653/2007.

## References

1. Soliman, E., Ismail, F., *A control system for chatter avoidance by ramping the spindle speed*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1998, pp. 674-683.
2. Ozlu, E., Budak, E., *Analytical modeling of chatter stability in turning and boring operations-Part I: Model development*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 129, 1994, 4, pp 733-739
3. Ozlu, E., Budak, E., *Analytical modeling of chatter stability in turning and boring operations-Part II: Experimental Verification*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 129, 1994, 4, pp 726-732
4. Budak, E., Ozlu, E., *Analytical Modeling of Chatter Stability in Turning and Boring Operations: A Multi-Dimensional Approach*, Annals of the CIRP Vol. 56/1/2007. pp 401-404
5. Gilsinn, D. E., Balachandran, B., *Stability of Diamond Turning Processes That Use Round Nosed Tools*, Journal of Manufacturing Science and Engineering Vol. 123/4/2001. pp 747-748

[9] Alexandru Epureanu, Viorel Vacarus, Catalina Maier, Vasile Marinescu, Ionut Constantin, **Surface roughness and topography in adiabatic cutting process**, ModTech International Conference – New face of TMCR, Modern Technologies, Quality and Innovation, 2010 (indexata BDI)

## SURFACE ROUGHNESS AND TOPOGRAPHY IN ADIABATIC CUTTING PROCESS

Alexandru Epureanu<sup>1</sup>, Viorel Vacarus<sup>2</sup>, Catalina Maier<sup>1</sup>, Vasile Marinescu<sup>1</sup> & Ionut Constantin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> "Dunarea de Jos" University of Galati, Manufacturing Science and Engineering Department

<sup>2</sup> Renault Company, Bucharest

Corresponding author: Alexandru Epureanu, alexandru.epureanu@ugal.ro

**Abstract:** The paper presents the results of experimental research on the surface micro-roughness in case of adiabatic interrupted turning. The aim of the research is to extend this process to surface finishing.

The main idea is based on: *i*) an explanation of differences between nominal and actual topography of the surface, *ii*) on this basis, reducing these differences, and *iii*) control of nominal topography, so as to minimize surface roughness.

Using profilography, electron microscopy, and atomic force microscopy, the relationships between the nature of the part material and cutting conditions, on the one hand, and surface roughness and topography, on the other hand, are investigated, in the case of interrupted turning.

These relations are explained theoretically by considering the process of cutting as adiabatic process. Finally, it is presented the experimental test of the performance that can be achieved by adiabatic cutting process.

**Key words:** adiabatic cutting process, surface roughness, surface topography, minimum chip thickness, interrupted cutting process.

### 1. INTRODUCTION

It is currently accepted the idea that if the cutting speed is increased significantly than the amount of heat recovered by tool may drop, and also its negative effects are reduced (Guillot et al., 2008 and Tsai, et al. 2005).

Different opinions on this idea emerged in terms of significant differences between the temperature of chip and cutting tool and also between these two and part temperature after processing (Tuğrul et al. 2005). According (Tuğrul & Erol, 2007) at the highest possible cutting speeds, 90% of heat generated is recovered in the chip, 5% in the part and 5% in the cutting tool. Others (Puerta Velásquez et al. 2006) suggested that 80% transfers in the chip and 10% in cutting tools and in the part processed.

But all are agreed that at high speed cutting the heat remains in chip, making its temperature to rise, while the finished parts remain relatively cold. The decreased time in which heat can diffuse in material part makes this plausible.

On the other hand, cutting edge geometry (including its roughness) and its trajectory relative to workpiece generate what we will call the nominal micro-topography of the machined surface. The real micro-topography differs from the nominal one due to: *i*) the deviation of surface longitudinal profile (in direction along of the cutting speed) with respect to the tool trajectory, caused by chip separation of the workpiece material, and *ii*) the deviation of surface transverse profile (in direction perpendicular to the cutting speed) with respect to the cutting edge profile, caused by plastic deformation of detached material. Therefore, the actual roughness is almost always higher than the nominal one.

In this paper, the interrupted turning with high cutting speed are experimentally studied. The aim is to assess whether the thermal aggression to which is subject the layer of the machined surface can be diminished, in order not to generate significant surface roughness. Under these conditions the surface roughness is almost exclusively due to its nominal topography, which, in turn, is directly dependent on the geometry and microgeometry of the tool edge.

Further, by appropriate changing of the tool edge geometry, surface roughness can be reached as to be equal to edge roughness, which would allow an economical part finishing. To this end, the cutting process was approached as adiabatic process that takes place in a specific cutting thermodynamic system. Then, through physical simulation, has been studied adiabatic nature of the cutting process. Results obtained from simulations were validated by experimental tests.

### 2. ADIABATIC CUTTING PROCESS

#### 2.1 Definition of the adiabatic cutting process

In thermodynamics, adiabatic transformation is studied along with other transformations as isotherm, isobar and izocore transformations. In the case of the thermodynamic system associated with the cutting process, we consider that transformation supported by

detached material is adiabatic if the total heat exchange between this material and the surface layer is zero.

Consequently, the cutting process is adiabatic if the amount of heat transmitted to the superficial layer by conduction, internal stress and residual deformation is zero. In other words if, during cutting, the surface layer is subject to a thermomechanical load avoiding. In nature, a perfectly adiabatic transformation does not exist. Therefore adiabatic transformation is just a reference, any real transformation have an adiabatic character more or less pronounced. Similarly, we consider the adiabatic cutting as a reference, which could mean a cutting process in which: *i*) the "aggression" of the thermomechanical field to the surface layer is zero, *ii*) the limit of separation between the surface processed and the actual tool edge is strict, and *iii*) the mechanical work of cutting force is fully recovered as change of the internal energy of the material detached by cutting.

Starting from the above considerations, we study the conditions affecting the "adiabatic" attribute of the cutting process, considering the fact that, the cutting is more adiabatic then the superficial layer is less affected. The metric of the „cutting adiabatics“ should be based on assessment of the total heat exchange or the effect of the total heat exchange, last being an alternative more attractive in terms of industrial practice.

### 2.2 Adiabatic index of the cutting process

To assess the "cutting adiabatics" we propose a metric based on the "adiabatic index", IA, defined as follow:

$$IA = 1 - \frac{\Delta T_k}{\Delta T_a} = \frac{T_a - T_k}{T_a - T_0}$$

where:  $T_k$  – chip temperature;

$T_1$  – superficial layer temperature;

$T_2$  – detached material temperature.

If IA=1, then the cutting is adiabatic. If IA=0, then the cutting is isotherm.

## 3. EXPERIMENTAL INVESTIGATION

### 3.1 Experimental set-up

It was experimentally researched the interrupted adiabatic turning process. We used a steel disk with a diameter of 500 mm, which is located on a frontal numerically controlled lathe. The six brands of steel samples were cut with dimensions 60x60x25 mm (Fig. 1) that were turned with cutting speeds of up to 36 m/s. We used two types of cutting tool Garant, one being a metal carbide insert, HB712 degree mark and another being a boron nitride (CBN) insert. The experimental set-up was build as shown in Fig.2.

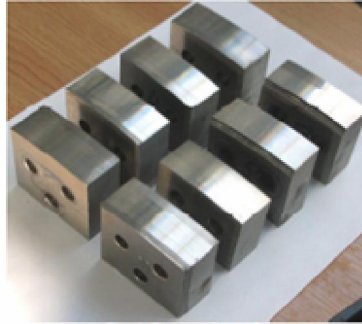


Fig. 1. Processed samples

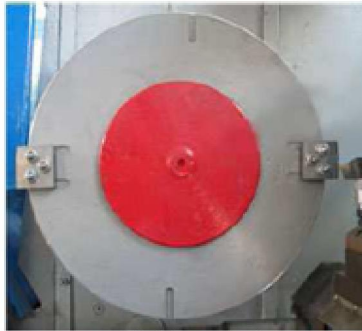


Fig. 2. Experimental set-up

### 3.2 Transverse profile distortion

It was noticed that between nominal transverse profile of the roughness (which is identical to the cutting edge profile and its roughness) and the real profile there is a difference, which varies with cutting conditions, part material, and even cutting tool material (Fig. 3). This was explained by the fact that the limits of the transverse profile are resulting from plastic deformation processes whose development is influenced by the local thermomechanical load of the detached material, ultimately leading to a distortion of the transverse profile.

### 3.3 Minimum chip thickness

In order to explain the difference in shape between the actual transverse profile and the nominal one we considered the link between this difference and the thickness of chips detached. From figure 4 is observed that the difference is first of all in the CB area of the nominal profile where the chip thickness value is low, tending to zero.



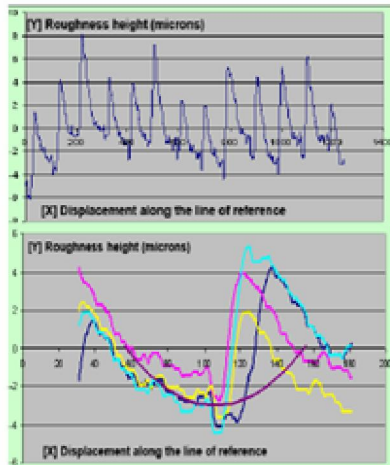


Fig. 3 Transverse profile of the longitudinal roughness in various areas of the surface and the nominal profile

As the nominal chip shape is shown in Fig. 5, the chip thickness varies greatly and this happens especially in the area where the tool generates profile across the surface roughness profile. Considering that, the tool edge is not perfectly sharp, and is the result of connections of the edge faces, with the sharpening radius of about 3... 5 micrometers, results that the profile distortion occurs when the thickness of chips is less than the theoretical range of edge sharpening radius.

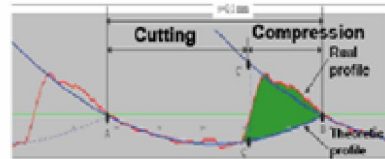


Fig. 4 Actual and nominal profile represented at the same scale, both horizontally and vertically

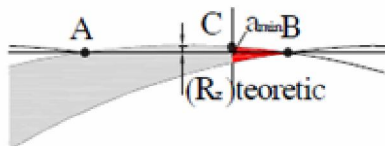


Fig. 5 Sacle representation of the nominal chip shape (detail)

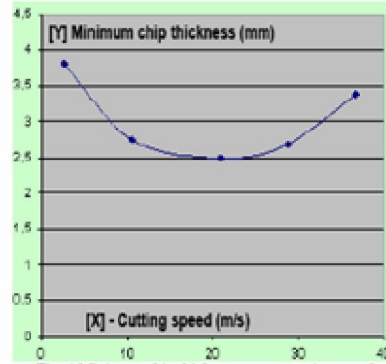


Fig. 6 Minimum chip thickness versus cutting speed

Examining the experiments conducted in the laboratory, we can observe a correlation between point C of the nominal profile, where nominal chip thickness becomes comparable to the sharpening radius of the cutting edge, and the point where the transverse profile distortion starts. It can be said that there is a CB zone, where instead of cutting is compaction/compression.

Chip thickness corresponding to the theoretical point C will be called the minimum thickness. Its value varies with speed, as shown in Fig. 6.

### 3.4 Surface topography

In order to view the processed surface topography we used its 3D representation. As a first stage the processed surface was scanned with the device Surtronic 3+, successively at intervals of 0.01 mm.

The profiles obtained were then represented using Matlab software obtaining the surface topography emphasized by profilography (Fig. 7).

The scale on X direction is the same as in the Y direction, however the Z direction was deliberately increased by approx. 100 times in order to observe the specifics profiles.

It is noticed the fact that on one flank of the cutting edge clearly left its mark, while the other flank is affected by the phenomenon of compression of the material. The same is observed in case of the topography study using the electron microscopy (Fig.8).

### 3.5 Experimental performance testing of the interrupted adiabatic turning process

During performance testing of the adiabatic finishing, the surface roughness obtained it is presented in Fig. 9. The surface roughness is decreased till  $R_a = 0.4$  microns.

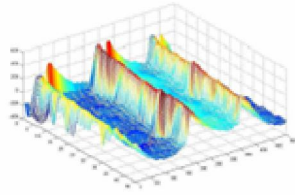


Fig. 7 Topography area emphasized by profilography

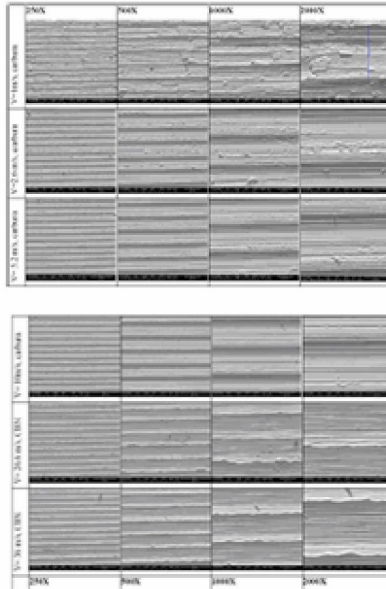


Fig. 8 Surface topography studied by electron microscopy

#### 4. CONCLUSIONS

Analyzing the results, we can conclude:

- Studying the shape of the roughness transverse profile in the case of adiabatic turning is observed that one side is close to the nominal shape and the other side, namely that in the area where the chip thickness is smaller than minimum value, is different.
- As a result of the roughness study by profilography, scanning electron microscopy as well as by atomic force microscopy, it is confirmed the surface topography resulting with different speed machining.
- By finishing tool cutting edge, it is possible to obtain a cutting surface whose roughness is significantly decreased.

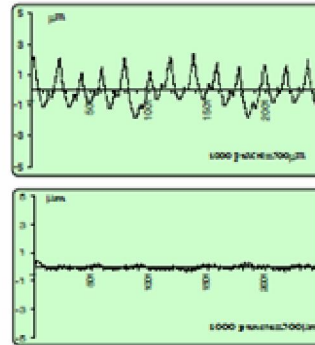


Fig. 9 Transverse profile (top) and longitudinal profile (below) in the case of finishing by adiabatic turning

#### ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the financial support from the Romanian Ministry of Education and Research through grant PN-II-ID\_653/2007.

#### 5. REFERENCES

1. Guillot, E., Bourouga, B., Garnier, B. & Brocail, J., (2008), Measurement of the thermal contact parameters at a workpiece – tool interface in a HSM process, *International Journal of Material Forming*, Vol. 1, Suppl. 1 / Jan., 2008, pp. 1419-1422, ISSN 1960-6206
2. Tsai, M.K., Lee, B.Y., & Yu, S.F., (2005) A predicted modeling of tool life of high-speed milling for SKD61 tool steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 26, Nr. 7-8 / Oct., 2005, pp. 711-717, ISSN 0268-3768
3. Tuğrul Ozel & Erol Zeren (2007), Finite element modeling the influence of edge roundness on the stress and temperature fields induced by high-speed machining, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 35, Nr. 3-4 / Dec., 2007, pp. 255-267, ISSN 0268-3768
4. Tuğrul Ozel, Tsu-Kong Hsu & Erol Zeren (2005) Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 25, Nr. 3-4/February, 2005, pp. 262-269, ISSN 0268-3768
5. Puerta Velásquez, J.D., Bolle, B., Chevrier, P. & Tidu, A. (2006), Surface Integrity In High Speed Machining Of Alloy Ti-6wt.%Al-4wt.%V. In: *Residual Stress and Its Effects on Fatigue and Fracture*, pp. 87-95, Springer, ISBN 978-1-4020-5328-3, Netherlands.

[10] Lucian Vasiliu, Alexandru Epureanu, Gabriel Frumusanu, **Some possibilities for stern-tube bushes inner surfaces machining with dimensional adaptive control**, ModTech International Conference – New face of TMCR, Modern Technologies, Quality and Innovation , 2010 (indexata BDI)

## SOME POSSIBILITIES FOR STERN-TUBE BUSHES INNER SURFACES MACHINING WITH DIMENSIONAL ADAPTIVE CONTROL

Lucian Vasiliu<sup>1</sup>, Alexandru Epureanu<sup>2</sup> & Gabriel Frumusanu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Constanta Shipyard, Outdoor New Building Division, Mechanical Department

<sup>2</sup> "Dunărea de Jos" University of Galați, Manufacturing Science & Engineering Department

Lucian Vasiliu, lucianvasiliu2006@yahoo.com

**Abstract:** In the shipbuilding industry, one of the problems difficult to be solved is the stern tube bushes inner surface machining. The results of this process are often affected by errors – process errors, system errors and also errors caused by ship hull mechanical and/or thermal deformations. Sometimes, their level can cause serious troubles. These errors could be at least partially avoided by using a dimensional adaptive system to control the machining process. In this paper, a device imagined in this purpose is presented, designed as ensemble at conceptual level. Its practicability at industrial level, in the shipbuilding, but also in machining of the large holes from extreme dimensions parts, in general, will be further tested.  
**Key words:** Stern tube bushes, boring, errors, dimensional adaptive system.

### 1. INTRODUCTION

In the shipyards, a device whose cutting tool holder is placed on a boring bar with axial feed is nowadays used to realize the stern tube bushes inner surface machining (Hamington, 1992). The boring bar is supported by two sliding bearings and performs the primary cutting motion. Thus, it is the main element which, through its geometrical and mechanical characteristics, transmits to the final machined surface a multitude of cumulated errors.

These errors must be, in general, eliminated or reduced. In the shipbuilding industry the correction is realized by inverse copying and transpose of the errors onto the conjugated surface of the stern tube itself (as last remained degree of freedom). The tube is machined on a machine-tool whose specific is more or less influenced by the numerical control, in manufactory conditions.

Despite all, there are many failures. When the assembly is put on the shipwreck, in different conditions (especially from thermal point of view), two type of problems might appear: either the tube is introduced with a force inferior to the one required for obtaining the necessary interference, either the tube stuck under high advancing forces. If in the second case there is a solution, consisting in repeating the measurements and continuing the tube machining,

in the other one nothing can be done to retrieve the money and the wasted time.

In the dedicated literature, there is little information about solutions to reduce these errors. In general, there are indicated classical methods: a greater attention on keeping up the performances of the machining device parts, the reduction of the clearances in bearings by making revisions before starting the work etc.

The consequences of stern tube bushes assembled on the ship wreck with undetected errors might be dramatic: excessive and vicious sliding bearings wearing, leading to high local temperatures, breakings of coupling bolts from the flanges of the axial-line shafts, leading to the impossibility of propelling the ship.

The main idea of this paper is to present the concept and the overall design of a device which could be used in order to study the positive effects of using the dimensional adaptive control when machining the inner surface of stern tube bushes, concretised in reducing the final errors.

This approach is based on a methodology consisting in continuously monitoring the generated surface (by on-line measuring), followed by drawing its geometrical map (after the current pass), finding the errors and inputting the required corrections at the next pass.

### 2. THE BORING OPERATION CONTROL

#### 2.1 The monitoring of the generated surface

Precision sensors to measure small displacements, based on optoelectronic or ultrasonic technologies, can be found on the market of measurement and verification devices. STIK optoelectronic sensors convert the optical information into electric signals, which can be further evaluated. Laser, infrared or ultraviolet beams are used as light source. The electric signals generated by sensors can be used to measure something or to commutate between two functioning states. They are used, in principal, to enhance the manufacturing processes quality, but also to ensure

the correct position of a part from certain equipment. Some technical characteristics of STIK sensors are:

- Measuring range between 24 and 700 mm;
- CMOS circuits (characterized by a high accuracy) used to convert the measured signal into electric signal;
- Increased resolution (0.02 ... 2 $\mu$ m);
- Increased interfacing possibilities;
- High reliability due to the complex algorithm to evaluate the measured distance;
- LCD display to read the measured values.

In Fig. 1 the procedure to measure by using two OD max sensors, chosen by considering the measuring range and the precision, is shown.

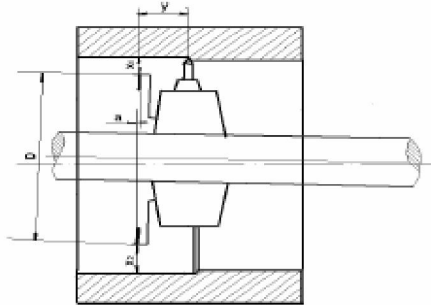


Fig. 1. Measuring scheme when using two OD max sensors

Each sensor measures the value corresponding to its section ( $x_1$ , respective  $x_2$ ). The diameter  $D$  of the peripheral surface where the sensors are fixed being known, the diameter of the current machined surface can be found as

$$d_i = D + x_1 + x_2. \quad (1)$$

The calculated value is only informative and doesn't help to the machining process dimensional control. More than that, the deviation resulting from the wrong position of the boring bar referred to the generated surface theoretical axis, denoted in Fig. 1 by "a" is ignored.

In conclusion, we have information about the machined surface diameter and, the most important, there is no influence due to sensors positioning on the boring bar.

### 2.2 Corrections to be made

After making some simple geometrical calculus, the information about the real position of the boring bar axis, relative to the theoretical axis position, in a reference system attached to the piece (Fig. 2), can be obtained, avoiding this way the input of a large sum of additional errors.

The following denominations were used in Fig. 2:  $R_1$ ,  $R_2$  – the radius value in two opposite points of the peripheral surface where the sensors are fixed in the moment of measurement;  $O_{real}$  – the boring bar

rotation centre, in the measuring section;  $O_{theoretical}$  – the theoretical centre of the circular generated surface, in the same section;  $x_1$ ,  $x_2$  – values initially measured by the sensors;  $x_1'$ ,  $x_2'$  – values measured, in the same section, after rotating the bar with 180°;  $\epsilon_1$  – the correction to be made (the distance between the two points,  $O_{real}$  and  $O_{theoretical}$ ).

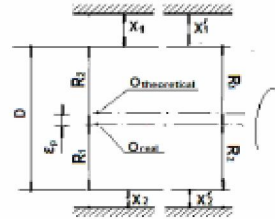


Fig. 2. Correction calculation for the next pass

The following relations can be now written:

$$x_2 + R_1 + \epsilon_1 = x_1 + R_2 - \epsilon_1. \quad (2)$$

$$x_2' + R_2 + \epsilon_1 = x_1' + R_1 - \epsilon_1. \quad (3)$$

By summing relations (2) and (3) and by expressing  $\epsilon_1$ , it results

$$\epsilon_1 = \frac{x_1 + x_1' - x_2 - x_2'}{4}. \quad (4)$$

After the geometrical maps of both the machined surface and the corrections distribution (the last one found by applying the upper presented model) are drawn, in cylindrical co-ordinates and stored in a dedicated data base, it remains to establish what method can be used to realize the momentary driving of the cutting tool into the radial direction.

## 3. ERRORS ON-LINE COMPENSATION

### 3.1 Compensation by using piezoelectric actuators

The principle of compensating the errors by using piezoelectric actuators was already presented (Vasiliu, 2009). Its application is easier on the device having real dimensions and more difficult on the reduced scale prototype. The actuators must be placed circular, under the tool holder, to realize a radial motion in the same reference system where the errors were determined. It requires an adequate soft to calculate, starting from the errors map, in real time, the required corrections converted in electrical tensions to be applied to the piezoelectric actuators connecting terminals.

This compensation method has the advantage of a high accuracy, due to piezoelectric actuator high resolution and high reacting speed. Its applicability is limited by the short stroke which can be developed

(maximum 2.5 mm), while the tool might need a higher displacement into the radial direction.

### 3.2 Compensation by using hydraulic actuators

This method implies the modification of the cutting depth during boring by moving the end of the boring bar with the help of a hydraulic driving system. Its principle is presented in Fig. 3.

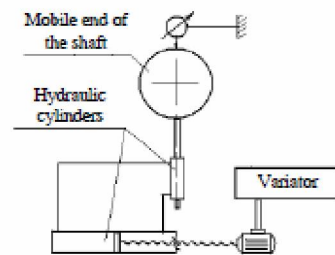


Fig. 3. Principle of the hydraulic compensation

When applying a hydraulic driving system, the effect of the dimensional adaptive control can be studied by considering only two generating lines of the machined surface – the highest one and the lowest one. Instead of the hydraulic actuator, a device based on a mobile wedge can also be used (Fig. 4).

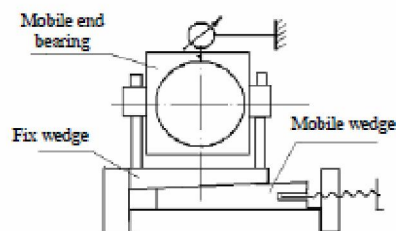


Fig. 4. Mobile end moving by using a mobile wedge

Both methods could be applied on the prototype, but the dimensional adaptive control realised by only a single direction displacement might not be relevant.

### 3.3 Compensation by using an eccentric bush

The principle of this errors compensation method is shown in Fig. 5. A central bush is solidary to the left inner gear rim, having the same rotation axis, while an eccentric bush is attached to the right inner gear rim. In fact, the ensemble of the two bushes forms the tool holder. The cutter is underpinned on the eccentric bush through a device pressed by a spring. The two bushes are driven into rotation motion by using a planetary summing mechanism. If the gears number of teeth is convenient calculated and the worm is motionless, both bushes will have the same rotation speed (e.g.  $n/2$ ) and the cutting edge ending point will keep a constant distance relative to boring

bar rotation axis. If the worm is used to input an additional motion, the eccentric bush rotation speed will be lower or higher (depending on the worm rotation orientation); thus, the cutting edge ending point will change its radial position and corrections to the generated surface could be realized.

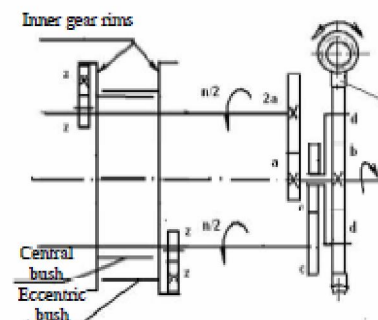


Fig. 5. The principle of compensation by using an eccentric bush

The clearances from most of the gearings do not affect the radial motion of the tool (used to realise errors compensation), because their rotation orientation never changes during machining process.

The cutting tool is easy to replace, after a withdrawal motion on radial direction, followed by another withdrawal motion, on axial direction. The feed is realized through driving screws, situated in two channels parallel to the boring bar axis (Fig. 6-b).

## 4. STRATEGY FOR TESTING THE PROTOTYPE

First of all, the prototype must be effectively realized; we chose the solution of compensating the errors by using an eccentric bush (solution presented in § 3.3). Then, more bushes will be bored, by using a device like above and by simulating as close as possible the real conditions, to generate the surfaces whose errors must be reduced. Finally, one or more passes will be done in order to realize the necessary corrections.

We make the supposition that, after the first pass, the generated surface is measured (ideal it would be to measure it during its machining, by on-line measuring, as it was earlier shown, in section 2), in successive parallel sections, with a step as small as possible, for a maximum of precision. To avoid the negative influence of the boring bar deformation under its own weight, the measurements should be done in horizontal plain (see also Fig. 2). The necessary corrections to eliminate the errors resulted after machining can be, then, calculated by using the relation (4), in each measuring section. By putting together these corrections, the trajectory of the boring bar axis at the following pass can be found, in order to obtain an improved precision. If necessary, the correction algorithm could be repetitively applied.

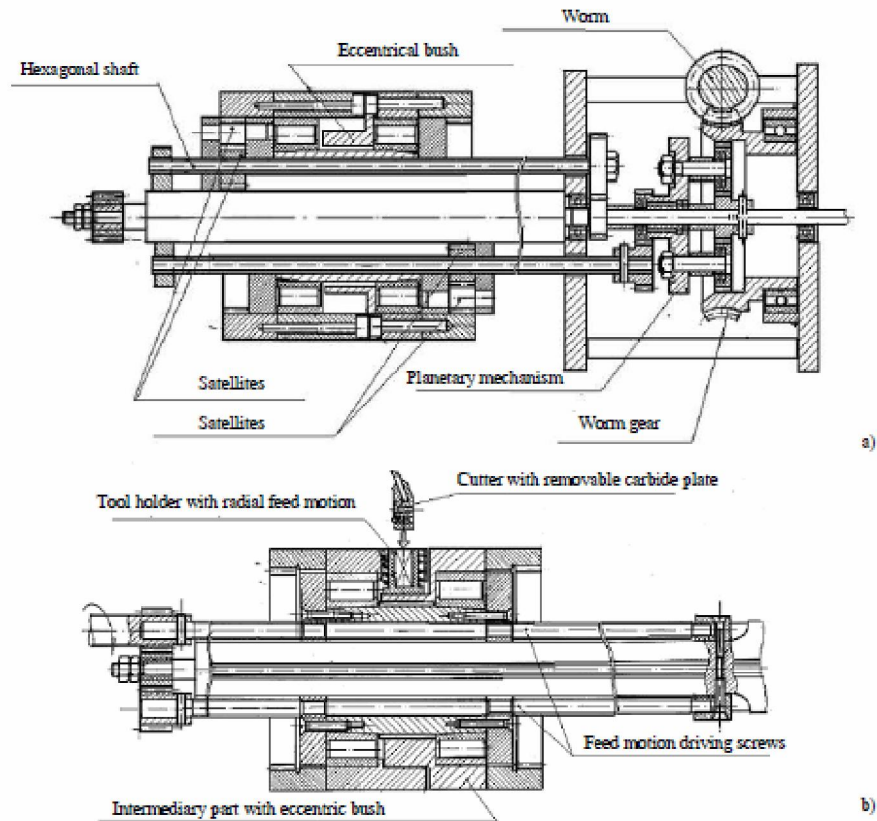


Fig. 6. Device for boring dimensional adaptive control: a – the rotation motion and the tool radial position adjustment; b – the axial feed.

## 5. CONCLUSION

The real conditions for machining the stern tube bushes inner surface being known, to avoid the possible negative consequences issuing from here, it is necessary to upgrade the actual boring device and to use a dimensional adaptive system to control it. If the results of tests accomplished by using the upper presented prototype of the machining device will be positive, as expected, the further application of this solution into the ships building process will bring substantial advantages:

- An increased precision of the stern tube inner surfaces as consequence of using both an efficient measuring system and an intelligent control system;
- The presence of a high qualification operator will be no more required to obtain results at least satisfactory;
- The safety conditions during the machining process will significantly improve, the moving parts being, in this case, far from the commanding point.

## 6. ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the financial

support of the Romanian Ministry of Education and Research through Grant PN-II PC 71011/2007.

## 7. REFERENCES

1. Carlton, J.S. (2007). *Marine Propellers and Propulsion*, Elsevier Ltd, pp.57, ISBN 978-07506-8150-6, USA
2. Molland, A.F. (2008). *The Maritime Engineering Reference Book*, Elsevier Ltd., pp. 148, ISBN 978-07506-8987-8, USA
3. Harrington, R. (1992). *Marine Engineering, Newport*, The Society of Naval Architects & Marine Engineers, 601 Pavonia Ave., Jersey City, USA.
4. Vasiliu, L. Epureanu, Al. & Frumușanu, G. (2009). Errors Evaluation at Ship Stern Tube Bushes Manufacturing Process, *The Annals of „Dunărea de Jos” University, Fascicle V, Year XXVII (XXXII)*, pp.411-414, ISSN 1221-4566.
5. Vasiliu, L. et al. (2009). Increasing of the Stern Tube Bushes Precision by On-Line Adaptive Control of the Cutting Process, in *Proceedings of the 5<sup>th</sup> WSEAS Int. Conf. on Dynamical Systems and Control (CONTROL'09)*, University of La Laguna, Tenerife, Spain, pp.102-106, ISBN 978-960-474-094-9.]

# Inventii

[1] METODA DE CONDUCERE HOLARHIC-ATRIBUTIVA A SISTEMELOR TEHNOLOGICE, BAZATA PE INVATARE ONLINE NESUPERVIZATA SI PLANIFICAREA REACTIVA A PROCESULUI, Marinescu Vasilică, Epureanu Alexandru, Banu Mihaela, Constantin Ionut, Marin Florin Bogdan

## **Metoda de conducere holarhic-atributiva a sistemelor tehnologice, bazata pe invatare online nesupervizata si planificarea reactiva a procesului**

### **Rezumat**

Inventia se refera la o metoda de conducere adaptiva, online, sub aspect tehnic si economic, a sistemelor tehnologice, in scopul folosirii complete a capabilitatilor lor tehnologice, cum ar fi de exemplu puterea maxima, forta maxima de aschiere, domeniul de aschiere stabila.

Este cunoscuta metoda de conducere offline, prin programare numerica, a sistemelor tehnologice, potrivit careia programul piesa este elaborat pe baza datelor cunoscute privind scula, semifabricatul, masina si contextul economic, si este executat de catre sistemul de comanda numerica.

Este curent folosita metoda de conducere dimensional adaptiva, care consta in modificarea corectiei de scula la piesa curenta, functie de valoarea erorii de prelucrare, masurata la una sau mai multe piese precedente. Aceste metode de conducere a sistemelor tehnologice au dezavantajul ca, pe parcursul unei fraze de comanda, parametrii procesului au valori constante, desi caracteristicile sistemului tehnologic, inclusiv acelea care determina comportarea lui, se modifica in limite largi. Problema tehnica pe care o rezolva prezenta inventie este aceea de a conduce sistemul tehnologic, astfel incat, in fiecare moment al operatiei de prelucrare, valorile parametrilor procesului sa fie ajustate, pentru a

fi folosite complet capabilitatile de prelucrare ale sistemului tehnologic, corespunzatoare situatiei in care se afla sistemul tehnologic in acel moment.

Metoda de conducere a sistemelor tehnologice, **caracterizata prin aceea ca**, a) in scopul utilizarii complete a capabilitatilor sistemului tehnologic, desi acestea variaza de-a lungul traiectoriei sculei, procesul de prelucrare este discretizat intr-un numar mare de cuante de proces, fiecarei cuante fiindu-i stabilite durata, valorile optime ale parametrilor procesului, functie de valorile momentane si locale ale caracteristicilor sistemului tehnologic, si comenzile ce trebuie date sistemelor de actionare, pe durata respectivei coante de proces, astfel incat programul piesa este o planificare a sucesiunii cuantelor de proces, date, la intervale cunoscute de timp, sistemelor de actionare **si prin aceea ca**, b) in scopul utilizarii complete a capabilitatilor sistemului tehnologic, desi acestea se modifica la trecerea de la un exmplar de semifabricat la altul, in cadrul aceluiasi lot, anumite constante ale algoritmului de planificare a sucesiunii cuantelor de proces pot fi periodic reactualizate, ceea ce face ca si sirul comenzilor date sistemelor de actionare sa fie reactualizat, **precum si prin aceea ca**, c) in scopul diminuarii timpului de calcul, discretizarea procesului de prelucrare in cuante de proces se face prin modelarea ansamblului cuantelor de proces ca o populatie holonica, inzestrata cu reguli de evolutie, operatii, legi instinct si sistem de cunostinte, care astfel devine o structura operationala evolutiva, a carei evolutie duce la solutia optimala a problemei cuantificarii procesului.

Avantajul metodei potrivit inventiei este acela ca nivelul indicatorilor tehnico-economici a procesului de prelucrare creste ca urmare a folosirii complete a tuturor capabilitatilor tehnologice ale sistemului de prelucrare, chiar atunci cand acestea sunt variabile in timp si in spatiu iar caracteristicile semifabricatului variaza de la un exemplar la altul al lotului ce trebuie prelucrat.



## **Metoda de conducere holarhic-atributiva a sistemelor tehnologice, bazata pe invatare online nesupervizata si planificarea reactiva a procesului**

### Descrierea inventiei

Inventia se refera la o metoda de conducere adaptiva, online, sub aspect tehnic si economic, a sistemelor tehnologice, in scopul folosirii complete a capabilitatilor lor tehnologice, cum ar fi de exemplu puterea maxima, forta maxima de aschiere, domeniul de aschiere stabila.

Este cunoscuta metoda de conducere offline, prin programare numerica, a sistemelor tehnologice, potrivit careia programul piesa este elaborat pe baza datelor cunoscute privind scula, semifabricatul, masina si contextul economic, si este executat de catre sistemul de comanda numerica.

Deasemenea sunt cunoscute metodele de conducere online, potrivit carora anumiti parametri ai procesului nu sunt programati prin programul piesa iar valorile lor sunt ajustate in cursul desfasurarii procesului, astfel incat sa fie respectata o anumita relatie intre acestia. De exemplu, in loc de a programa o valoare constanta a avansului, valoarea acestuia se ajusteaza online, astfel incat intre avans si adancimea de aschiere sa fie respectata o relatie pentru care forta de aschiere apartine unui domeniu dat. Un alt exemplu este acela in care turatia axului principal la strunjire se ajusteaza online, astfel incat viteza de aschiere programata, coordonata  $X$  a varfului cutitului si turatia piesei sa satisfaca o anumita relatie.

Este curent folosita metoda de conducere dimensional adaptiva, care consta in modificarea corectiei de scula la piesa curenta, functie de valoarea erorii de prelucrare, masurata la una sau mai multe piese precedente.

Aceste metode de conducere a sistemelor tehnologice au dezavantajul ca, pe parcursul unei fraze de comanda, parametrii procesului au valori constante, desi caracteristicile sistemului tehologic, inclusiv acelea care determina comportarea lui, se modifica in limite largi. De exemplu, limita de stabilitate dinamica, forta maxima de aschiere, sau deformatia elastica a sistemului tehologic se modifica in limite largi, in timp ce parametrii procesului, ajustati astfel incat sa asigure stabilitatea procesului, integritatea

sistemului tehnologic si precizia perei prelucrate raman constante. In acest fel, resursele de prelucrabilitate ale sculei si sistemului tehnologic nu sunt complet utilizate.

Problema tehnica pe care o rezolva prezenta inventie este aceea de a conduce sistemul tehnologic, astfel incat, in fiecare moment al operatiei de prelucrare, valorile parametrilor procesului sa fie ajustate, pentru a fi folosite complet capabilitatile de prelucrare ale sistemului tehnologic, corespunzatoare situatiei in care se afla sistemul tehnologic in acel moment.

Metoda de conducere a sistemelor tehnologice, **caracterizata prin aceea ca**, a) in scopul utilizarii complete a capabilitatilor sistemului tehnologic, desi acestea variaza de-a lungul traiectoriei sculei, procesul de prelucrare este discretizat intr-un numar mare de cuante de proces, fiecarei cuante fiindu-i stabilite durata, valorile optime ale parametrilor procesului, functie de valorile momentane si locale ale caracteristicilor sistemului tehnologic, si comenzile ce trebuie date sistemelor de actionare, pe durata respectivei cuante de proces, astfel incat programul piesa este o planificare a succesiunii cuantelor de proces, date, la intervale cunoscute de timp, sistemelor de actionare **si prin aceea ca**, b) in scopul utilizarii complete a capabilitatilor sistemului tehnologic, desi acestea se modifica la trecerea de la un exemplar de semifabricat la altul, in cadrul aceluiasi lot, anumite constante ale algoritmului de planificare a succesiunii cuantelor de proces pot fi periodic reactualizate, ceea ce face ca si sirul comenzilor date sistemelor de actionare sa fie reactualizat, **precum si prin aceea ca**, c) in scopul diminuarii timpului de calcul, discretizarea procesului de prelucrare in cuante de proces se face prin modelarea ansamblului cuantelor de proces ca o populatie holonica, inzestrata cu reguli de evolutie, operatii, legi instinct si sistem de cunostinte, care astfel devine o structura operationala evolutiva, a carei evolutie duce la solutia optima la problema cuantificarii procesului.

Avantajul metodei potrivit inventiei este acela ca nivelul indicatorilor tehnico-economici a procesului de prelucrare creste ca urmare a folosirii complete a tuturor capabilitatilor tehnologice ale sistemului de prelucrare, chiar atunci cand acestea sunt variabile in timp si in spatiu iar caracteristicile semifabricatului variaza de la un exemplar la altul al lotului ce trebuie prelucrat.

Mai jos se prezinta un exemplu de aplicare a inventiei la conducerea unei masini unelte reconfigurabile, in legatura cu urmatoarele figuri:

Fig.1 Schema principiala a noului sistem de conducere a masinilor tehnologice(a) si schema unei ramuri a arborelui decizional al sistemului de conducere (b)

Fig.2 Modelul holarhic-atributiv general al unei masini tehnologice

Fig.3 Modelul conceptual al holonului process-masina

Fig. 4. Structura holonului proces-masina

Fig. 5 Modelul conceptual al holonului control operational

Fig. 6 Integrarea modelului si a algoritmului in sistemul de conducere

Fig.7 Schema conceptuală a conducerii bazată pe planificarea reactivă

Fig.8 Structura generică a unui modul

Fig. 9 Legea de control a vitezei:  $X_t$  – poziția comandată a modulului;  $X_c$  este poziția curentă a modulului și  $V$  este viteza de deplasare din poziția curentă in poziția de referință;

Fig. 10 Variabilele de control care se comandă modulelor

Fig. 11 Etapele parcurse de programator și schema simplificată a conducerii sistemului de prelucrare reconfigurabil

Fig. 12 Schema conceptuală a conducerii bazată pe planificarea reactivă a sistemelor de fabricație reconfigurabile

Fig.13. Schema procesului de prelucrare

Fig.14 Algoritmul de principiu

Fig.15 Plăcuța cu punctele remarcabile

Fig.16 Problema identificării pozițiilor succesive

Fig.17. Schema logică a algoritmului de optimizare – varianta de căutare exhaustivă

Fig.18. Schema unei secvențe de generare a suprafeței finale

Fig.19. Aria secțiunii așchiei  $A(i,j)$  determinată în raport cu poziția 21/14 a profilului muchiei sculei

Fig.20 Schema de principiu a algoritmului de modelare holonică

Fig.21 Ocuparea pozițiilor conform algoritmului

Fig.22 Interfața programului care realizează modelarea holonică a cinematicii

Fig.23. a) planificarea obținută; b) profilul rezultat

Fig.24 Testarea reactivității sistemului a)  $L_{max} = 140$  - 8 poziții succesive, b)  $L_{max} = 80$  - 9 poziții succesive c)  $L_{max} = 75$  - 10 poziții succesive.

Fig.25 Modificarea planificării în cazul varierii rugozității. a)  $Rz = 39$  8 poziții succesive, b)  $Rz = 25$  9 poziții succesive c)  $Rz = 21$  11 poziții succesive

Fig.26 Comparație de productivitate între sistemul propus și sistemele actuale a)  $Rz = 35$  cazul 5 poziționări succesive b)  $Rz = 35$  9 poziționări succesive

Fig.27 Modificării adaosului de prelucrare: a) adaos de prelucrare 20; b) adaos de prelucrare 40.

Fig.28. Modificarea planificării, în cazul modificării profilului impus, a), b) și c) au profiluri ale suprafeței finale diferite

Fig.29 Comparație între rezultatele obținute folosind varianta de modelarea holoncă și căutarea exhaustivă. a) căutare exhaustivă; b) modelarea holoncă.

## **1. Conceptul de conducere bazat pe modelare holarhic-atributiva**

Pentru a descrie, suficient de complet, din punct de vedere tehnic, economic și comercial, comportarea masinilor tehnologice, pot fi considerate următoarele atribute: precizia, stabilitatea, productivitatea, economicitatea, predictibilitatea și adaptabilitatea.

Intrucât nivelul celor șase atribute de mai sus caracterizează, nu numai comportarea, dar și măsura în care mașina satisface cerințele pieței, aceste atribute vor fi folosite pentru conducerea mașinii tehnologice și vor fi denumite în continuare atribute de comandă.

Aceste atribute își modifică nivelul funcției de valori ale unora dintre marimile de stare ale mașinii, cum ar fi, de exemplu, viteza de aschiere, avansul, forța de aschiere, temperatura. O parte dintre aceste marimi de stare pot fi modificate după dorință, și de aceea pot fi folosite ca variabile de control. Spre exemplu, dintre cele de mai sus ar putea fi folosite ca variabile de control viteza de aschiere și avansul. Din aceste motive, nivelul atributelor de comandă va fi evaluat prin monitorizarea marimilor de stare și va fi controlat prin corectarea variabilelor de control.

In figura 1 se prezinta schema principiala a noului concept de conducere a masinilor tehnologice, potrivit inventiei si anume conducerea prin modelare holarhic-atributiva si invatare online nesupervizata. In timpul transformarii semifabricatului in produs finit (in conformitate cu programul piesa), monitorul masoara variabilele de stare ale masinii tehnologice si, folosind modelele E1, E2, E3, E4, furnizeaza la iesire nivelul atributelor de comanda. Holarhia analizeaza nivelul acestor attribute si, pe baza reglementarilor care o compun, furnizeaza arborele decizional. Reglementarile holarhiei reflecta politica administratiei privitoare la relatia cu piata (de exemplu, succesul pe piata al produselor). Arborele decizional este transmis sistemului de comanda, care genereaza corectiile corespunzatoare fiecarui atribut de comanda, asigurandu-se astfel caracterul optimal al sistemului de control.

Prin modelele C1, C2, C3, C4, corectiile atributelor de comanda sunt transformate in corectii ale variabilelor de control si transmise interpretorului, pentru a fi adaugate la valorile de referinta ale acestor variabile (valori care rezulta din procesarea programului piesa de catre interpretor). Baza de date rezultate din monitorizarea pe termen lung a masinii este folosita de sistemul de invatare nesupravegheata, pentru a actualiza modelele E1,E2,E3,E4 si C1,C2,C3,C4, in conformitate cu evolutia comportarii in timp si spatiu a masinii tehnologice. In acest fel se asigura, atat caracterul adaptiv (prin reconstructia modelelor C1...C4 si E1...E4), cat si caracterul optimal al sistemului de control (prin arborele decizional oferit de holarhie)

## **2. Modelul holarhic atributiv al unei masini tehnologice**

In cadrul prezentei inventii masina tehnologica a fost conceputa ca o holarhie, disectabila si reconfigurabila, la care holonii sunt inzestrati cu autonomie, cooperativitate si optimalitate, iar canonul este compus din legi comportamentale, care pot fi naturale (fizice, economice, etc) sau conventionale ( concretizate prin reguli manageriale/administrative).

Intreaga conceptie holarhica este orientata spre atingerea obiectivului fundamental si anume obtinerea unei cat mai bune adaptabilitati a masinii tehnologice la actualul mediu concurential global.

Asigurarea acestei adaptabilitati se bazeaza pe:

a) *conducere prin modelare holarhic-atributiva*, caracterizata de faptul ca acordarea la exigentele si evolutiile mediului are ca actiune initiala evaluarea valorilor curente ale atributelor ce caracterizeaza performanta in functionare a holarhiei, iar ca actiune finala modificarea in consecinta a canonului holarhiei, tinta fiind atingerea, in conditiile date, a nivelului maxim posibil de performanta;

b) *invatare online nesupervizata* ale carei rezultate sunt utilizate pentru sustinerea conducerii holarhic atributive, astfel incat sa se asigure autonomia holonica a masinii tehnologice, in ansamblul ei, si de aici capacitatea acesteia de a se integra in structuri holonice superioare.

Modelul holarhic-atributiv general este prezentat in Fig. 2, in care:

- *Holonul-proces-masina* este conceput ca avand modelul din figura 3 si structura din figura 4;
- *Holonul control operational* este conceput ca avand structura din figura 5;
- *Holonul control canonic* are la intrare valorile curente ale atributelor si ajustarile de politica impuse de strategie iar la iesire schimbarile de reguli conventionale necesare;
- *Holonul control strategic* are la intrare modificarile aparute in mediul economic si valorile curente ale indicatorilor de performanta, iar la iesire ajustarile de politici, necesare pentru adaptarea la mediu a masinii tehnologice.

### **3. Algoritmul de invatare online nesupervizata**

Acest algoritm are ca scop studiul starilor si al tranzitiilor masinii tehnologice, in scopul determinarii ecuatiilor de stare si evaluarii corectiilor necesare pentru conducerea masinii tehnologice. Algoritmul presupune parcurgerea urmatoarelor pasi:

Pasul 1: *Clusteringul variabilelor*. Acesta este realizat pe baza identificarii relatiilor cauzale care, in conditiile invatarii nesupervizate, nu sunt cunoscute. Tehnicile aplicate sunt: NN best model, interogarea activa, analiza corelatiilor si analiza statistica a vecinatatilor.

Pasul 2: *Segmentarea domeniilor de variatie a variabilelor*. Scopul urmarit in acest pas al algoritmului este constructia unor modele simple, locale si temporale (efemere), prin care se evita dificultatile specifice modelelor generale si perene.

Pasul 3: *Structurarea spatiului de invatare*. Acest lucru se realizeaza pe baza clusteringului variabilelor si a segmentarii domeniilor lor de variatie.

Pasul 4: *Studiul spatiului starilor*. Pornind de la observatia ca, in procesul de prelucrare a unui lot de produse identice, starea sistemului evolueaza dupa o traiectorie inchisa, traiectorie descrisa de programul masinii, se poate accepta ideea ca traiectoriile succesive nu sunt foarte diferite. Diferentele ce pot aparea sunt datorate faptului ca semifabricatele folosite nu sunt perfect identice sau faptului ca, in timp, comportarea sistemului evolueaza. Intrucat amploarea diferentelor sau a efectului evolutiei comportarii sistemului este mica, este de asteptat ca si abaterea de la traiectoria programata sa fie mica. De aceea, in fiecare punct al traiectoriei starilor masinii tehnologice, ecuatia de stare poate fi linearizata prin dezvoltare in serie Taylor si retinerea termenului de grad I. Pe aceasta baza se poate cu usurinta identifica online ecuatia de stare, in fiecare element structural al spatiului de invatare.

Pasul 5: *Studiul spatiului tranzitiilor*. Definind tranzitia masinii tehnologice de la o stare la alta si stabilind o metrica adecvata, se poate defini un spatiu al tranzitiilor, iar in acesta, prin clustering, se pot stabili clase de echivalenta. In controlul predictiv al masinii tehnologice, analogia tranzitiilor poate servi ca baza pentru prognoza starilor. In acest scop, sistemul de invatare online nesupervizata include in algoritmul sau acest pas.

#### **4. Integrarea modelului si a algoritmului in conceptul de conducere prin modelare holarhic-atributiva si invatare online nesupervizata**

In figura 6 se prezinta modul in care algoritmul de invatare online nesupervizata este alimentat cu date de intrare, precum si modul in care se obtin aceste date, pe de o parte, si pe de alta parte, structura iesirilor, precum si elementele catre care acestea sunt dirijate.

## 5. Conceptul de conducere bazată pe planificare reactivă

În scopul rezolvării problemei prezentate la punctul precedent, propunem abordarea conducerii mașinii unelte CNC reconfigurabilă pe baza unui nou concept, pe care l-am denumit conducere bazată pe planificare reactivă.

La nivel conceptual, conducerea bazată pe planificare reactivă presupune realizarea și exploatarea unui produs software, specific cuplului sistem tehnologic - operație de prelucrare. Acest produs software este compus din două module. Primul modul va fi numit *Modulul software de planificare reactivă a ciclului de lucru*, iar al doilea va fi numit *Modulul software de evaluare a parametrilor modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic*.

Primul modul are la intrare caracteristicile semifabricatului, ale piesei finite și ale sistemului tehnologic, iar la ieșire furnizează succesiunea stărilor prin care trebuie să treacă sistemul tehnologic, pentru ca semifabricatul să fie transformat în piesa finită. Această succesiune a stărilor reprezintă descrierea discretă a ciclului de lucru al sistemului tehnologic, corespunzător respectivei operații de prelucrare, ținând cont că o stare a sistemului tehnologic este caracterizată de valorile tuturor variabilelor de stare, corespunzătoare respectivei stări.

Pe de alta parte, fiecare variabilă de stare descrie starea unuia dintre modulele componente ale sistemului de prelucrare reconfigurabil. Spre exemplu, coordonatele X și Z ale unui sistem tehnologic de strunjire sunt variabilele de stare ale modulelor ce asigură deplasarea longitudinală și deplasarea transversală a sculei în cursul procesului de strunjire. Starea la un moment dat a sistemului tehnologic în ansamblul său este descrisă de setul valorilor momentane ale variabilelor de stare corespunzătoare tuturor modulelor componente. În acest exemplu, valorile curente ale coordonatelor X și Z formează setul valorilor momentane ale variabilelor de stare.

În acord cu conceptul de conducere bazată pe planificare reactivă, produsul software, specific cuplului sistem tehnologic – operație de prelucrare, furnizează la ieșire seturile succesive de valori momentane ale variabilelor de stare, corespunzătoare tuturor modulelor componente ale sistemului tehnologic.



În fine, aceste valori momentane ale variabilelor de stare reprezintă valorile de referință ale buclelor interne de control, care asigură controlul modulelor componente. În acest fel, comanda oricăruia dintre modulele componente constă doar în simpla modificare online a valorii de referință.

O unitate de control logic transmite buclelor de control ale modulelor valorile variabilelor de referință, rezultate la ieșirea din produsul software specific. Fiecare set de valori ale variabilelor de referință reprezintă un punct în traiectoria pe care variabilele de stare ale sistemului tehnologic o parcurge în cursul derulării complete a unui ciclu de lucru, necesar pentru prelucrarea completă a unui exemplar din lot.

Dacă, atât caracteristicile semifabricatului, cât și cele ale sistemului tehnologic, nu ar varia în cursul prelucrării întregului lot de piese și dacă valorile acestora ar fi perfect cunoscute încă de la început, atunci succesiunea stărilor prin care trebuie să treacă sistemul tehnologic, pentru ca semifabricatul să fie transformat în piesa finită, ar rămâne nemodificată pe tot parcursul prelucrării respectivului lot de piese.

Cum, în realitate, aceste lucruri nu se confirmă, apare necesitatea ca, în cursul derulării procesului de prelucrare, sistemul tehnologic să fie monitorizat, folosind un ansamblu de senzori adecvați, iar datele astfel obținute să fie folosite pentru evaluarea periodică a unora dintre caracteristicile semifabricatului și/sau ale sistemului tehnologic, caracteristici care au funcția de parametri ai modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic. Această evaluare este realizată de cel de-al doilea modul al produsului software, specific cuplului sistem tehnologic - operație de prelucrare, numit *Modulul software de evaluare a parametrilor modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic*.

Dacă valorile actualizate ale parametrilor diferă față de cele inițiale, atunci *Modulul software de planificare reactivă a ciclului de lucru* este rulat din nou, având la intrare valorile actualizate ale acestor caracteristici. Va rezulta o nouă planificare a stărilor succesive prin care trebuie să treacă sistemul tehnologic pentru a prelucra unul dintre exemplarele din lot.

În continuare, unitatea de control logic va furniza buclelor de control ale modulelor componente noi serii de valori ale variabilelor de referință.

*Această modificare permanentă a planificării, ca reacție la evoluția caracteristicilor semifabricatului, piesei și sistemului tehnologic, reprezintă esența conceptului de conducere bazată pe planificare reactivă.*

În Fig.7 se prezintă schema conceptuală a conducerii bazată pe planificarea reactivă. Caracteristicile definiției ale semifabricatului, alături de valorile actuale ale parametrilor modelului, sunt introduse în *Modulul software de planificare reactivă a ciclului de lucru*, ce oferă la ieșire valorile actualizate ale variabilelor de control ale sistemului, valori care sunt apoi transmise la *Unitatea de control logic*. În continuare, *Unitatea de control logic* transmite aceste valori sub formă de comenzi către modulele hardware.

Sistemul de monitorizare, care poate cuprinde o gamă adecvată de senzori pentru forță, accelerație etc., transmite informația citită spre a fi folosită pentru evaluarea valorilor actualizate ale parametrilor modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic.

Așa cum s-a arătat mai sus, ori de câte ori valorile parametrilor acestui model se schimbă, valorile variabilelor de control sunt actualizate în consecință.

Afirmăm că arhitectura de control propusă se potrivește conducerii sistemelor de prelucrare reconfigurabile, bazându-ne pe următoarele argumente:

- unitățile componente ale sistemului de control, în sine, nu se modifică în niciun fel, la o nouă arhitectură sau la procesarea unei noi familii de piese; ceea ce se schimbă este doar modul lor de dispunere relativă;

- arhitectura modulară, care presupune existența unui controler încorporat în construcția hardware a modulului răspunzător de bucla de control „close loop”, permite controlul acestuia în orice configurație s-ar afla;

- modulul software de control numit *Modulul software de planificare reactivă a ciclului de lucru* permite controlul cinematicii sistemului tehnologic, indiferent de arhitectura hardware a acestuia.

Deosebim avantajele acestui concept de conducere după cum urmează.

- Planificarea este supusă unor criterii astfel încât traiectoria stărilor succesive ale sistemului să fie optimă (din punct de vedere al productivității sau al preciziei, de exemplu). Într-adevăr, conceptul de conducere are caracteristicile unei conduceri optimale, pentru că sistemul nu se conduce după o traiectorie a mărimilor de stare precizată de programator

(așa cum este cazul în prezent), ci se conduce pe baza rezultatelor obținute în urma rulării unui modul software care asigură ca o anumită funcție obiectiv să fie extremizată.

- De asemenea, tipic pentru acest concept de conducere este faptul că nu se planifică modul în care trebuie să decurgă procesul, ci se planifică rezultatele care trebuie obținute (de exemplu, valorile rugozității). Astfel, se urmează ideea de a conduce sistemul prin afirmația “nu cum trebuie condus procesul, ci ce trebuie să rezulte în urma procesului”.

Concluzionăm că, potrivit acestui concept, conducerea are: a) *caracter optimal* – întrucât se urmărește maximizarea unei funcții obiectiv; b) *caracter adaptiv* – întrucât se modifică online modelul de control, pe baza căruia sistemul este condus.

## 6. Controlul individual al fiecărui modul

Sistemul de prelucrare are structura unui robot cu mai multe brațe; de exemplu, un braț ține și rotește piesa, alt braț ține piesa și al treilea braț ține scula sau măsoară piesa. Fiecare grad de libertate este materializat de un modul independent alcătuit dintr-o componentă hardware și una de control, ambele proprii respectivului modul. De exemplu, modulul descris în Fig.8. este unul cinematic, care materializează un grad de libertate ce constă într-o mișcare de translație.

Acesta este compus din efector, senzori și motor controlați de un controler încorporat pe structura hardware a modului. Spre deosebire de actuala arhitectură hardware CNC, unde controlerul PLC gestionează simultan comanda motoarelor și a diferiților senzori din sistem, controlerul încorporat nu are decât o funcție și anume de a gestiona poziția și viteza efectorului printr-o buclă de control închisă. Acest controler comunică printr-o magistrală de comunicație cu PC-ul industrial.

La nivelul fiecărui modul, comanda se face independent, fără ca un modul să 'cunoască' poziția sau comanda altui modul. Să considerăm că axa după care efectorul se deplasează este axa  $X$  și că valoarea de referință a variabilei de control  $X$  este  $X_t$ , iar valoarea curentă a acestei variabile este  $X_c$ . Viteza cu care efectorul se deplasează în punctul comandat depinde de mărimea diferenței  $D_x$  dintre valoarea de referință a variabilei de control și valoarea curentă a acesteia.

În funcție de sensul și mărimea diferenței  $D_x$ , se comandă variatorul motorului, astfel încât acesta să se rotească în sensul micșorării diferenței  $D_x$ , cu o viteză mai mică sau mare,

în funcție de mărimea diferenței, așa cum se arată în Fig.9, spre deosebire de alte sisteme de control, pentru care legea de variație pentru viteză e dată.

Sucesiunea valorilor de referință  $X$  ale variabilei  $X$  și momentele de timp în care aceste valori sunt transmise de unitatea de control logic, descrie și determină legea de mișcare a efectorului. Acest mod de control al modulului exclude orice intervenție atunci când modulul este inserat într-o structura hardware oarecare.

### **7. Comanda structurii modulare în ansamblul ei**

*Unitatea de control logic* care realizează comanda către module are ca ieșire un set de date, similar cu setul de date reprezentat în Fig.10. Coloana timp și cea corespunzătoare valorilor de referință ale variabilei de control reprezintă traiectoria descrisă în timp de modulul căruia i-au fost transmise aceste valori ale variabilei de control. Sistemul se conduce prin comandarea independentă a modulelor, acestea având fiecare un sistem de comunicație cu *Unitatea de control logic*. Așa cum am arătat mai sus nu există legătură între module, alta decât *Unitatea de control logic*, care furnizează simultan comenzi tuturor modulelor.

De exemplu, să considerăm că o mașină de prelucrare reconfigurabilă a fost configurată sub forma unui strung, care este prevăzut cu un grad de libertate suplimentar constând în rotația cuțitului în plan orizontal. În această configurație, avem un arbore principal, sanie transversală, una longitudinală și un modul de rotație pentru poziționarea sculei. Comanda către module constă în transmiterea succesivă a datelor din tabelul care reprezintă evoluția în timp a valorilor de referință ale variabilelor de stare. În timpul funcționării, valorile corespunzătoare variabilelor de control sunt modificate datorită schimbării comportării sistemului.

De exemplu, o schimbare a comportării sistemului, ar fi în cazul unui proces de așchiere, când forța crește, ceea ce ar putea duce la o instabilitate a sistemului.

Așa cum se arată în Fig.10, sistemul se controlează prin intermediul binomului *timp – valoare variabilă de control*. Astfel, la timpul calculat, *Unitatea de control logic* comandă valorile variabilei de control corespunzătoare modulului hardware. În figura de mai sus se surprinde situația de la timpul 0,1s, când *UCL* comandă modulelor hardware corespunzătoare pentru rotația sculei, translație transversală, translație longitudinală și

rotația piesei noile valori a variabilelor de control. În continuare, se comandă succesiv, corespunzător coloanei timp fiecare modul la 0,18 s, 0,21, s.a.m.d. Prin planificare nu se programează viteza prin specificare directă de către programator ci aceasta rezultă prin modificarea stărilor care determină starea sistemului.

## **8. Metoda de programare a sistemelor tehnologice reconfigurabile și aplicarea acesteia în cazul conducerii prin planificare reactivă**

În cele ce urmează se prezintă o nouă metodă de programare a sistemelor tehnologice care se bazează pe o nouă abordare a relației între programarea mașinii și controlul operațional al acesteia, pe de o parte, și a relației dintre programator și operator, pe de alta parte. Potrivit acestei abordări, programarea mașinii consta în chiar realizarea sistemului software al acesteia, folosind un mediu de programare specific.

Conform noii abordări, programatorul trebuie să parcurgă mai multe etape așa cum se arată în Fig.11. Mai întâi, programatorul trebuie să preia, de la proiectantul produsului, modelul CAD al piesei, să genereze modelul CAD al semifabricatului după care, folosind un produs informatic de tip CAPP (Computer Aided Process Planning) să obțină procesul tehnologic de prelucrare a produsului, în care operațiile, așa cum au fost definite anterior, sunt prezentate. Apoi procedează la divizarea operațiilor în task-uri, fiecare task reprezentând un subciclu al operației. În continuare, pentru fiecare subciclu al operației este elaborat *modelul cinematic al procesului de prelucrare* care permite calcularea pozițiilor succesive ale modulelor sistemului de prelucrare reconfigurabil pentru prelucrarea semifabricatului, în așa fel încât să fie satisfăcută condiția de extremizare a funcției obiectiv. În urma acestei modelări rezultă un algoritm de planificare reactivă parametrică.

În continuare, programatorul trece la faza de configurare a mașinii, care presupune alegerea modulelor necesare efectuării operației curente, în funcție de traiectoriile necesare pentru executarea fiecărui task, și combinarea adecvata a acestor module, rezultând astfel, ceea ce în abordarea noastră se numește *programul mașina*, care conține inclusiv modelul cinematic al acesteia. Având modelul cinematic al mașinii, se generează documentul tehnologic, numit - *program piesă*.

*Programul piesă* care rezultă nu are structura unui program în accepțiunea prezentă, și anume aceea de cod scris, care descrie ciclul de lucru al mașinii, și care urmează să fie citit și executat. În noua accepțiune, acesta reprezintă un model care va genera comenzile transmise

*Unității de control logic* și care vor fi diferite în funcție de comportarea sistemului. Programul piesă include algoritmul de planificare reactivă parametrică rezultat prin modelarea cinematicii procesului de prelucrare.

*Programul mașină și programul piesă* formează *Modulul software de evaluare a parametrilor modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic*, un modul software care rulează pe PC-ul industrial de pe sistemul de prelucrare reconfigurabil.

*Modelarea geometriei sculei* este etapa în care se identifică geometria sculelor care urmează a fi folosite, care este parte din *Modulul software de evaluare a parametrilor modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic*.

Schema conceptuală a conducerii sistemelor tehnologice reconfigurabile prin planificare reactivă, așa cum se arată în Fig.12, respectă conceptele propuse și cuprinde acțiunile descrise mai înainte. În figură se observă împărțirea conducerii sistemelor de prelucrare reconfigurabilă în două etape, una care reprezintă faza de proiectare iar cealaltă reprezintă faza de procesare.

*În faza de proiectare*, așa cum am arătat anterior, se definesc operațiile și se structurează fiecare task, urmând ca modelul ciclului mașinii să fie folosit în faza de construire a programului piesă. Configurarea structurii hardware este realizată având în vedere succesiunea task-urilor definite și se construiește modelul solid al sistemului de prelucrare, model care, împreună cu modelul parametric al operației, rulează în *Modulul software de evaluare a parametrilor modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic*.

*Planificarea reactivă parametrică a operației* este etapa de construire a programului piesă prin care se construiește modelul parametric al operației care va fi parte, de asemenea, a Modelului software al ansamblului operație tehnologică – sistem tehnologic.

*În faza de procesare*, modulul software realizează planificarea operației prin actualizarea setului de date reprezentând valorile variabilelor de control către *Unitatea de*

*control logic*, care procedează la transmiterea acestora la intervale precizate de informația timp corespunzătoare fiecărui set. Sistemul de monitorizare transmite date care sunt procesate în *Modulul software de evaluare a parametrilor modelului cuplului operație tehnologică - sistem tehnologic*, fapt ce generează actualizarea valorilor curente ale parametrilor de planificare pentru următoarele coordonate de stare ale sistemului.

## **9. Modelarea cinematicii procesului de prelucrare și aplicarea acesteia la conducerea optimală a sistemelor tehnologice reconfigurabile prin planificare reactivă**

### **9.1 Prezentarea problemei**

Există multe situații în care profilul muchiei tăietoare înfășoară profilul suprafeței prelucrate prin deplasarea sculei după o anumită traiectorie. Traiectoria este programată prin programul piesă. Dacă profilul suprafeței piesei este complex, atunci contactul dintre profilul muchiei tăietoare și profilul suprafeței generate are loc în diferite puncte ale profilului muchiei tăietoare. În aceste cazuri, schimbarea sculei după uzarea muchiei impune necesitatea ca profilul noii scule să fie același cu profilul sculei uzate, întrucât poziția noii scule este identică cu cea anterioară, (sa se reproducă profilul ca forma și ca poziție) în caz contrar apărând erori ale profilului generat al piesei.

Aceasta exigență impune restricții în conceperea formelor sculelor. O soluție care satisface aceasta exigența este detalonarea și ascuțirea pe fata de degajare a sculei. Soluția prezintă numeroase dezavantaje. O altă soluție ar fi să se renunțe la exigența refacerii formei și profilului sculei, să se identifice noua formă și noua poziție a muchiei tăietoare (care diferă de forma și poziția anterioară a muchiei tăietoare) și, pentru a genera același profil al suprafeței prelucrate, să se modifice traiectoria sculei în cursul înfășurării profilului piesei.

Altfel spus, în loc de corecția de sculă, dorim să aplicăm o corecție de traiectorie. În acest fel s-ar găsi soluții mult mai economice de ascuțire a sculelor. Pe de altă parte, există tendința de a programa deplasarea sculei de-a lungul traiectoriei cu un avans variabil, astfel

încât, în fiecare moment și în fiecare poziție, secțiunea așchii detașată de muchia tăietoare să fie optimă ca arie și ca formă. Ca urmare, chiar atunci când profilul suprafeței este o linie dreaptă, poziția relativă a profilului sculei ar trebui să se modifice în permanență, din cauza variației stratului de material detașat. Rezultă că, în acest caz, deși profilul este rectiliniu, totuși, la schimbarea sculei, apare nevoia menținerii profilului generator al muchiei prin ascuțire.

Ceea ce se propune în această invenție este să nu impunem ca scula să își mențină forma și poziția, ci să asigurăm generarea suprafeței piesei prin re-identificarea formei și poziției, pe de o parte, și reprogramarea traiectoriei sculei, după fiecare ascuțire, pe de alta parte.

În Fig.13 se arată o sarcină de prelucrare, tipică pentru strunjire. Considerăm ca această sarcină este realizată de mașina tehnologică reconfigurată ca un strung, care are un grad de libertate suplimentar, reprezentat de rotația în plan orizontal a cuțitului.

Generarea suprafeței finale se face prin deplasarea profilului sculei, în lungul unei elice generatoare, care este obținută prin combinarea rotației piesei cu translația sculei în lungul profilului longitudinal al acestei suprafețe.

Parcursul elicei generatoare în vederea obținerii prin așchiere a suprafeței finale este comandat discret, prin calculul coordonatelor unui număr mare de puncte succesive  $i$ , aflate pe elicea generatoare și comanda motoarelor care acționează mișcările sculei și piesei, astfel încât scula să se deplaseze din punct în punct, de-a lungul profilului longitudinal al suprafeței de prelucrat. Între două puncte  $i$  succesive, parcursul elicei este necontrolat dar, dacă numărul punctelor  $i$  este suficient de mare, atunci profilul sculei nu se abate semnificativ de la elicea generatoare.

Poziția profilului sculei într-un punct  $i$  de pe elicea generatoare este dată de următoarele coordonate:  $X_i$  (axa X a strungului),  $Z_i$  (axa Z a strungului),  $\varphi_i$  (gradul suplimentar reprezentat de rotația în plan orizontal a cuțitului) și  $\theta_i$  (gradul de libertate reprezentat de rotația piesei), corespunzător gradelor de libertate ale strungului, așa cum se arată în Fig.13.

Conținutul informațional al unei sarcini de prelucrare pentru arhitectura propusă este următoarea, așa cum se arată în Fig. 14:



- coordonatele punctelor de pe profilul nominal al suprafeței de prelucrat, precum și abaterile superioară și inferioară corespunzătoare;

- materialul semifabricat,  $C_{mat}$ ;
- rugozitatea  $R_z$  a suprafeței finale;
- scula ce va fi folosită.

Baza de date a sistemului de manufacturare conține mai multe seturi de informații cu privire la sculele disponibile, cum ar fi: profilul sculei, forța admisibilă ( $F_{adm}$ ), lățimea admisibilă a așchii ( $L_{adm}$ ), aria admisibilă a secțiunii așchii ( $A_{adm}$ ) și grosimea admisibilă a așchii ( $a_{adm}$ ), pentru diferite materiale. Aceste informații din baza de date a mașinii, împreună cu informațiile care definesc datele de intrare, anterior menționate, servesc la procesarea informației în cadrul etapei de optimizare, realizată virtual, înainte de începerea procesului. În timpul derulării operației curente, forța  $F$ , uzura sculei  $h$  și profilul suprafeței inițiale sunt monitorizate, pentru a fi folosite în cadrul etapei de conducere bazată pe planificare reactivă. Sistemul de conducere generează ciclul de prelucrare a piesei, parcurgând cele două etape după cum urmează.

Etapa de optimizare debutează cu introducerea ca date de intrare a coordonatelor punctelor aflate pe suprafața nominală, a abaterilor superioară și inferioară corespunzătoare, a rugozității suprafeței finale, a coordonatelor punctelor pe profilul suprafeței inițiale, a coordonatelor punctelor de pe profilul sculei, a valorilor limita admisibile  $F_{adm}$ ,  $A_{adm}$ ,  $a_{adm}$ ,  $L_{adm}$ , și a caracteristicii de material  $C_{mat}$ .

Coordonatele punctelor de pe profilul suprafeței nominale sunt obținute în urma procesării modelului CAD, reprezentat de fișiere desen generate de pachetul AutoCAD, fiind destul de multe pentru a putea fi suficient de bine descris profilul. Fiecăruia dintre aceste puncte  $i$  se atașează următoarele informații: abaterea superioară, abaterea inferioară, rugozitate și respectiv coordonatele  $X$ ,  $Z$ , calculate prin însumarea valorilor nominale cu media abaterilor superioară și inferioară corespunzătoare punctului. Similar, se introduc datele care descriu suprafața inițială, reprezentate de coordonatele punctelor profilului acesteia. Coordonatele punctelor ce descriu profilul suprafeței finale sunt date în sistemul de referință solidar cu piesa.

În baza de date a mașinii sunt stocate coordonatele punctelor ce descriu profilul sculei, în raport cu sistemul de referință solidar cu aceasta, urmând ca în etapa de optimizare să se facă conversia la sistemul de referință al piesei. Etapa de optimizare presupune evaluarea offline a variabilelor de control având în vedere forma suprafețelor ce fac obiectul sarcinii de lucru.

Conform abordării prezente se definesc mai multe variabile precum urmează.

Așa cum se arată în Fig.15, pe profilul muchiei tăietoare se definesc ( $m$ ) puncte și ne referim la punctul curent de pe profilul muchiei tăietoare ca fiind punctul  $j$ . Similar, așa cum se arată în Fig.16, profilul piesei este descris de  $n$  puncte și ne referim la un punct curent de pe profilul piesei ca fiind punct  $i$ .

Poziția cuțitului se descrie prin urmare printr-o pereche  $(i, j)$ , unde  $i$  definește poziția curentă a muchiei tăietoare, și  $j$  este profilul curent a muchiei tăietoare. O altă variabilă folosită este  $k$ , care este variabila index a perechii  $(i, j)$ .

Algoritmul folosește ca referință poziția anterioară  $(k-1)$ , așa cum se arată în Fig.16. În consecință orice poziție  $k$  este asociată cu valorile variabilelor  $\varphi(k)$ ,  $Z(k)$ ,  $X(k)$ . În algoritmul de optimizare folosim ca fiind valoarea curentă pentru  $L$  lungimea definită de lungimea segmentului  $\{P, Q\}$ , care reprezintă lungimea muchiei tăietoare ( $L_{ij}$ ),  $R_z$  este rugozitatea curentă ( $R_{zij}$ ), suprafața determinată de punctele PQR, $i$ , este suprafața așchiei ( $A_{ij}$ ) iar PR reprezintă grosimea așchiei ( $a_{ij}$ ).

Controlarea modulelor se face trimițând succesiv poziția variabilelor  $X(k)$ ,  $Z(k)$ ,  $\theta(k)$  and  $\varphi(k)$ , care sunt variabilele de control, calculate la coordonatele  $(i, j)$ .

*Modelarea cinematicii înseamnă rezolvarea următoarei probleme: să se determine perechile  $(i, j)$ , în condițiile respectării atât a restricțiilor impuse cât și a criteriului de maximizare a productivității.*

## **9.2 Modelarea cinematicii prin căutare exhaustivă**

Ideea de bază a algoritmului de optimizare este că, pornind de la punctul curent  $i$  generat pe profilul piesei de către punctul  $j$  aflat pe profilul sculei, să se găsească următorul punct de pe profilul piesei, precum și următorul punct de pe profilul sculei, care îl va genera, respectând condițiile impuse ( $A_{ij} < A_{adm}$ ,  $L_{ij} < L_{adm}$ ,  $a_{ij} < a_{adm}$ ,  $R_{zij} < R_z$ ) și satisfăcând

restricția ca punctele în contact de pe profilul sculei să aparțină zonei active a acestui profil (pentru ca generarea să fie posibilă), asigurând totodată o valoare maximă a ariei secțiunii așchiei,  $A_{ij}$ , pentru ca nivelul productivității să fie maxim (Fig.4.4). Pentru generarea unui punct  $i$  de pe profilul piesei, scula trebuie plasată astfel încât să fie tangentă la acest profil într-un punct  $j$  de pe profilul ei. Punctele  $i$  și  $j$  coincid, poziția sculei pentru această pereche de puncte fiind complet determinată. Algoritmul de optimizare este prezentat în Fig.17.

Pentru această poziție a sculei, se determină din calcul valorile variabilelor controlate,  $A_{ij}$ ,  $L_{ij}$ ,  $a_{ij}$ ,  $R_{zij}$ , apoi se testează dacă sunt satisfăcute condițiile impuse  $A_{ij} < A_{adm}$ ,  $L_{ij} < L_{adm}$ ,  $a_{ij} < a_{adm}$ ,  $R_{zij} < R_z$  și dacă este respectată restricția ca  $j$  să aparțină zonei active a profilului sculei. La punctul curent  $i$  de pe profilul piesei, se testează consecutiv toate punctele  $j$  de pe profilul sculei. Rezultatele testărilor sunt reținute.

Așa cum se arată în Fig.17, la blocul 1 se trece la următorul punct de pe profilul suprafeței finale. În acest punct urmează să se execute pașii de la 2 la 5, atât timp cât se respectă condiția ca măcar un punct de pe profilul sculei să respecte restricțiile și impunerile. La blocul 3 și blocul 4 se verifică impunerile reprezentate de condițiile:  $A_{ij} < A_{adm}$ ,  $L_{ij} < L_{adm}$ ,  $a_{ij} < a_{adm}$ ,  $R_{zij} < R_z$  și respectiv restricția ca punctele să fie pe profilul activ al sculei. Acest ciclu se reia pentru fiecare punct al sculei, așa cum se arată în pasul de la blocul 2. În continuare, la blocul 5 se rețin punctele care satisfac condițiile. Ciclul de căutare se oprește în momentul în care pentru un punct de pe profilul suprafeței finale, toate punctele de pe profilul sculei nu satisfac condițiile, așa cum se reprezintă în blocul 6.

În Fig.18 se arată schema unei secvențe de generare a suprafeței finale, folosind algoritmul de optimizare al sistemului încorporat. De exemplu, să presupunem că ne aflăm în punctul de pe profilul suprafeței finale  $i=21$  și poziția sculei este corespunzătoare punctului  $j=16$  de pe profilul acesteia, tangent la profilul suprafeței finale. În continuare, ne propunem, să găsim următorul punct de pe profilul suprafeței finale, generat de un punct de pe profilul sculei, după ce piesa a executat o rotație completă. Pentru aceasta se trece la poziția  $i=22$  și se testează succesiv punctele de pe profilul sculei, reținându-se acele puncte care verifică restricțiile și impunerile. Căutarea se oprește în momentul în care se găsește un punct de pe profilul suprafeței finale, pentru care toate punctele de pe profilul sculei,

tangent la acesta, nu respectă condițiile, așa cum se observă în Fig.19. Punctele  $i=25$  și  $j=15$  reprezintă combinația pentru care aria așchiei (A25/15) este maximă în cazul setului de puncte testat. Se consideră că noul  $i$ , adică,  $i=25$  este noul punct curent și se continuă algoritmul de căutare a următorului punct de atins.

În Tabelul 1 se arată traiectoria mărimilor de stare și anume fragmentul ce corespunde zonei  $i=12..25$ , pentru secvența de generare a suprafeței finale din Fig.18. Traiectoria de la punctul  $i=21$ ,  $j=16$ , la punctul  $i=25$ ,  $j=15$  este descrisă de succesiunea punctelor  $i=22$ , 23, 24, care împarte elicea corespunzătoare unei rotații, în 4 pași intermediari, de coordonate X, Z și  $\Delta\theta$ .

La fiecare pas intermediar este calculată turația  $n$  și mărimea  $\Delta\theta$  a pasului intermediar. Turația  $n$  se înmulțește cu factorul  $K_s$  care ține cont de valoarea reală  $h$  a uzurii sculei. Mărimea  $\Delta\theta$  a pasului intermediar se înmulțește cu coeficientul  $K_f$ , care ține cont de valoarea reală a forței din proces. Diferența de rotație între pașii intermediari  $\Delta\theta$ , în etapa de parcurgere a algoritmului de optimizare, ambii coeficienți au valoarea 1, urmând ca în etapa de conducere adaptivă valorile acestor coeficienți să fie modificate corespunzător datelor din monitorizare. De asemenea, la fiecare pas se rețin valorile variabilelor controlate: Rz, A, a, și L, rezultate în urma calculelor de maximizare a ariei așchiei.

*Conducerea bazată pe planificare reactivă* se concretizează în reluarea algoritmului de optimizare la modificarea suprafeței inițiale, precum și modificarea turației  $n$ , și a mărimii  $\Delta\theta$  a pașilor intermediari, în conformitate cu evoluția în timp și spațiu a comportării sistemului de manufacturare și a modului de desfășurare a procesului.

În acest scop se monitorizează, cu o frecvență adecvată, profilul suprafeței inițiale, uzura sculei și forța. Profilul suprafeței inițiale se măsoară cel puțin la prima piesă din lot, folosind un dispozitiv de măsurare on-machine.

Aceste măsurători se iau în considerare pentru rularea algoritmului de optimizare iar frecvența de măsurare este variabilă și trebuie decisă de operator. În ceea ce privește măsurarea uzurii sculei, aceasta se poate face cu diferite dispozitive. Frecvența de măsurare a uzurii este variabilă, executându-se după fiecare piesă sau după un număr de piese, după caz. Uzura sculei are ca efect modificarea valorii turației cu un coeficient  $K_s = \frac{h_e}{h} \cdot t$ , unde

$h_e$  este viteză economică de uzură a sculei cunoscută,  $h$  este uzura măsurată iar  $t$  este timpul în care a apărut uzura  $h$ . Când coeficientul  $K_s$  este subunitar, turația va fi diminuată, pentru atingerea unei valori economice a vitezei de uzură a sculei. Monitorizarea forței din proces se face folosind un senzor plasat în port-cuțit. Se calculează  $K_f = \frac{F_{adm}}{F}$ , unde  $F_{adm}$  este forța admisibilă corespunzătoare sculei iar  $F$  este forța măsurată. În cazul în care  $K_f$  este subunitar, va fi diminuată mărimea  $\Delta\theta$ , ce reprezintă unghiul de rotație corespunzător unui pas intermediar. Așa cum se observă în Fig.22., coeficienții  $K_s$  și  $K_f$  au valoarea 1 în faza de optimizare offline, urmând ca valorile acestora să fie modificate online, ca urmare a conducerii adaptive.

i	j	$K_f \cdot \Delta\theta$ [grade]	X [mm]	Z [mm]	$\varphi$ [grade]	$K_s \cdot n$ [rot/min]	v [m/min]	Rz [μm]	A [mm <sup>2</sup> ]	a [mm]	L [mm]	l [mm]	Kf	Ks	Timp
11															
<b>12</b>	<b>I6</b>	60	147,24	190,5	75,87	207,9	95	12,2	2,49	0,21	14	12	1	1	0,32
13	16	72	144,06	179,38	62,86	199,2	95								
14	15	72	139,3	170,25	54,73	187,4	95								
15	15	72	134,14	161,92	47,45	176,1	95								
16	14	72	128,98	154,38	41,22	166,1	95								
<b>17</b>	<b>I4</b>	72	123,82	147,24	45,1	157,2	95	10,3	2,58	0,2	10	13	1	1	0,4
18	14	90	127,79	139,59	41,38	164,0	95								
19	14	90	113,1	132,15	48,65	141,5	95								
20	15	90	107,95	123,82	41,08	135,0	95								
<b>21</b>	<b>I6</b>	90	103,58	115,49	45,05	129,9	95	11,7	2,53	0,2	16	13	1	1	0,5
22	16	90	98,42	107,95	47,82	124,4	95								
23	16	90	93,86	95,05	64,65	119,9	95								
24	15	90	90,88	83,74	70,27	117,1	95								
<b>25</b>	<b>I5</b>	90	87,92	69,85	79,63	114,5	95	10,9	2,56	0,23	19	11	1	1	
2															
6															

Tabelul 1. Traectoria mărimilor de stare (fragmentul corespunzător zonei  $i=12..25$  din Fig.18

### 9.3 Varianta holonică a modelării cinematice

#### Descrierea algoritmului holonic pentru modelarea cinematiei

Similar cu modelarea geometrică, algoritmul de modelare cinematic presupune parcurgerea următorilor pași (Fig.20):

- 1) *Ocupare aleatorie* – holonii – reprezentați de forma muchiei tăietoare sunt plasați tangent la traiectoria finală, așa cum se arată în figura de mai jos, poziția a;
- 2) *Eliminări preliminare* – în cadrul holarhiei se ia decizia ca unii dintre holoni să dispară deoarece se constată că în condițiile impuse sunt prea mulți. În acest sens, se face o strategie minimală în care se consideră că, de exemplu, pentru a respecta restricția de

rugozitate, numărul de holoni sunt prea mulți. Astfel se elimină un număr de holoni pentru a îndeplini această condiție.

3) *Ocupare preliminară* – holonii încearcă să ocupe poziții intermediare pe traiectoria finală, considerând gradul suplimentar și încearcă să evalueze restricțiile.

4) *Eliminare holoni*- în această etapă se elimina holonii care s-au “îngrămădit” într-o holarhie locală și care nu sunt necesari.

5) *Naștere de holoni* – datorită faptului că holonii se “îngrămădesc” și formează noi holarhii locale, rămâne inevitabil “spațiu” neocupat. Din acest motiv, holarhiile locale comunică, evaluează distanța între ele și decid nașterea de noi holoni. Așa cum se arată în figura reprezentând ocuparea pozițiilor conform algoritmului (Fig.21), holarhia albastră a născut 2 holoni și cea roșie încă unul, în relație cu prima. În același timp, în relație cu holarhia locală violet, holarhia roșie a mai născut încă un holon.

6) *Efectuarea distribuției în holarhie*. După ce toate holarhiile locale au fost unite și au format o singură holarhie, se încearcă distribuirea pentru a atinge pozițiile care satisfac restricțiile.

### **Limbajul de învățare a holonilor**

Holonii, ca entități software independente și cooperante, sunt înzestrați cu cunoștințe și instinct:

Cunoștințele sunt reprezentate de funcțiile de calculare a suprafeței, de calculare ariei, de calculare a lungimii așchiei sau de calculare a rugozității.

### **Proiectarea holarhiei**

În continuare, se descrie proiectarea holarhiei luând în considerare caracteristicile cheie. Similar cu proiectarea holarhiei pentru modelarea geometriei au rezultat asemănări între cele două precum urmează:

În ceea ce privește mediul, percepția, controlul și convențiile sociale cele două holarhii se aseamăna. De asemenea caracteristica de a negocia, dar nu de a licita se aseamăna în abordarea prezentată.

Singura deosebire între cele două arhitecturi holonice este dată de caracteristica care descrie interesele proprii și cele comunitare. Dacă la modelarea geometrică, holarhiile acționau într-o primă fază în interes personal, în mod “egoist”, la modelarea geometrică,

atât în interiorul holarhiilor locale cât și între ele, există doar interese comunitare. Această caracteristică este dată de problematica poziționării unui holon care este dependent de holonii vecini.

### Implementarea software

S-au realizat programele corespunzătoare celor două abordări, cea exhaustivă și cea holonică (Fig.22) în limbajul Visual C 6. În urma testelor, a rezultat un timp de până la 10 ori mai scurt pentru varianta holonică a abordării.

În interfața program se stabilesc profilul final și cel inițial al semifabricatului, cât și parametrii sistemului. În Fig.23 se arată planificarea pentru profilurile date și parametrii următori:

$$Rz \max = 35$$

$$l_{\max} = 180$$

$$L_{\max} = 350$$

$$A_{\max} = 90$$

Datele care rezultă din programe sunt variabilele de control cât și mărimile parametrilor măsurate la fiecare poziționare, așa cum se arată în Tab.2:

i	j	Xi	Zi	Xoi	Zoi	$\theta_i$	Ai	Li	li	Rzi
124	23	437	437	-1	-1	-	0	0	0	0
										14
109	23	434	200	342	293	-	2763	90	25	15
										14
87	28	346	200	294	330	14	2792	100	49	25
71	29	282	200	256	338	26	2794	93	29	11
58	30	230	200	200	338	26	2789	86	26	10
45	28	178	200	126	330	14	2776	83	19	10
33	25	130	200	58	314	0	2755	85	13	10

25	24	98	200	3	293	-	2796	82	12	4
					14					
8	29	30	200	4	338	26	1091	92	40	11

Tabelul 2 Datele de ieșire din softul dezvoltat

#### 9.4 Experimentări și analiza rezultatelor obținute

**Cazul 1.** Testarea reactivității sistemului la modificarea comportării (Fig.24).

În funcție de lungimea maximă a zonei active a muchiei tăietoare, putem să constatăm instabilitatea sistemului și trebuie să acționăm în privința aducerii la un nivel acceptabil. Folosind unealta soft dezvoltată constatăm că, în cazul micșorării valorii parametrului  $L_{max}$  a modelului, determinată de constatarea instabilității din sistem, variabilele de control sunt modificate în consecință. În figura de mai jos se observă cum sistemul reacționează surprins în trei situații succesive, cea reprezentată în Fig.24 a,b,c, prin modificarea variabilelor de control, care generează o altă planificare a procesului. În acest sens, observăm că, cu cât instabilitatea crește, sistemul reacționează rezultând odată cu modificarea planificării, micșorarea productivității.

**Cazul 2:** Modificarea planificării în cazul varierii caracteristicilor definitorii ale semifabricatului. În Fig.25 se arată modificarea planificării de la un semifabricat la altul, în cazul modificării cerințelor semifabricatului și anume, a rugozității maxime. Se observă că odată cu micșorarea rugozității maxime impuse, planificarea procesului se modifică pentru a respecta parametrul, în sensul măririi numărului de poziționări succesive în timp.

**Cazul 3.** Comparație de productivitate între sistemul propus și sistemele actuale

Așa cum se arată în Fig.26 a, în cazul folosirii arhitecturii de sistem propus, productivitatea mărită datorită existenței gradului suplimentar de libertate și controlului folosind nu doar una sau doua restricții. În fig.26 b, se arată cazul procesării cu un strung CNC, cu o arhitectură clasică, folosind sistemul de programare actual, în care parametrii tehnologici se aleg din tabele și practic au fost stabiliți la limita inferioară a valorilor restricțiilor.



**Cazul 4:** În cazul modificării adaosului de prelucrare la procesarea unui semifabricat pentru 20 de unități diferența între mărimea adaos, cu aceleași valori ale parametrilor sistemului, se observă adaptabilitatea sistemului (Fig.27).

Dacă în cazul al doilea, restricțiile care au limitat poziționarea au fost lungimea așchii și aria așchii, datorate unui adaos de prelucrare mai mare, în primul caz, acestea nu au limitat poziționarea, singura restricție care a impus poziționarea a fost rugozitatea.

Fig.27 Modificării adaosului de prelucrare: a) adaos de prelucrare 20; b) adaos de prelucrare 40.

**Cazul 5 :** Modificarea planificării, în cazul modificării profilului impus, folosind ca intrare în produsul informatic aceleași valori ale parametrilor (Fig.28.). Se observă că sistemul este capabil să își modifice planificarea pentru a realiza profilul impus. Datorită dimensiunii muchiei tăietoare se observă în figura, c, cum la poziția 4, aceasta a determinat planificarea.

Folosind aceiași parametri, cât și aceleași profiluri, observăm că există diferențe de planificare între cele două soluții. Bineînțeles, căutarea exhaustivă produce cele mai acurate rezultate, în sensul că productivitatea este maximizată, prin găsirea și încercarea tuturor pozițiilor posibile, în timp ce abordarea modelării holonice are o anumită rată de eșec în extremul funcției obiectiv. În urma experimentărilor a rezultat o rată de găsire a soluțiilor maximizate, cu până la maxim 10 % mai mică decât căutarea exhaustivă. Luând în considerare că, în același timp căutarea exhaustivă necesită un timp de procesare de până la 10 ori mai mare decât varianta holonică și, având în vedere că acest soft trebuie să controleze online procesul, consideram că varianta holonică este cea mai potrivită pentru conducerea sistemului de prelucrare.

In concluzie se poate afirma ca:

- În ceea ce privește modelarea holonică a cinematicii, avantajul vitezei de procesare pentru găsirea soluției față de căutarea exhaustivă arată puterea reprezentată de conceptul de inteligență distribuită;

- Limbajul de comunicare om-holon este capabil să descrie euristic problema de rezolvat;

- Arhitectura propusa si algoritmul specific arata ca domeniul de aplicare poate fi extins la orice problema de căutare.

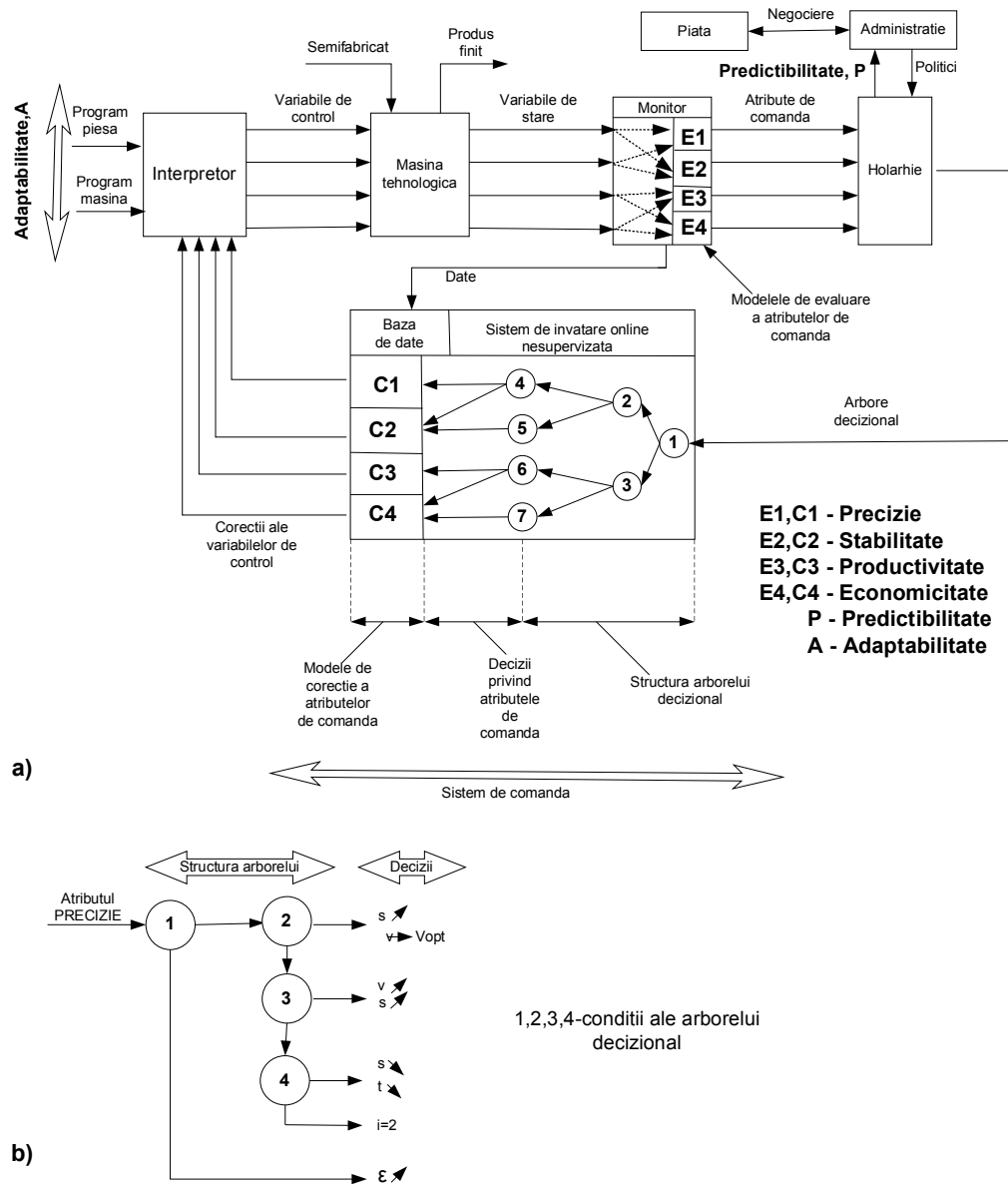


Fig.1 Schema principala a noului sistem de conducere a masinilor tehnologice(a) si schema unei ramuri a arborelui decizional al sistemului de conducere (b)

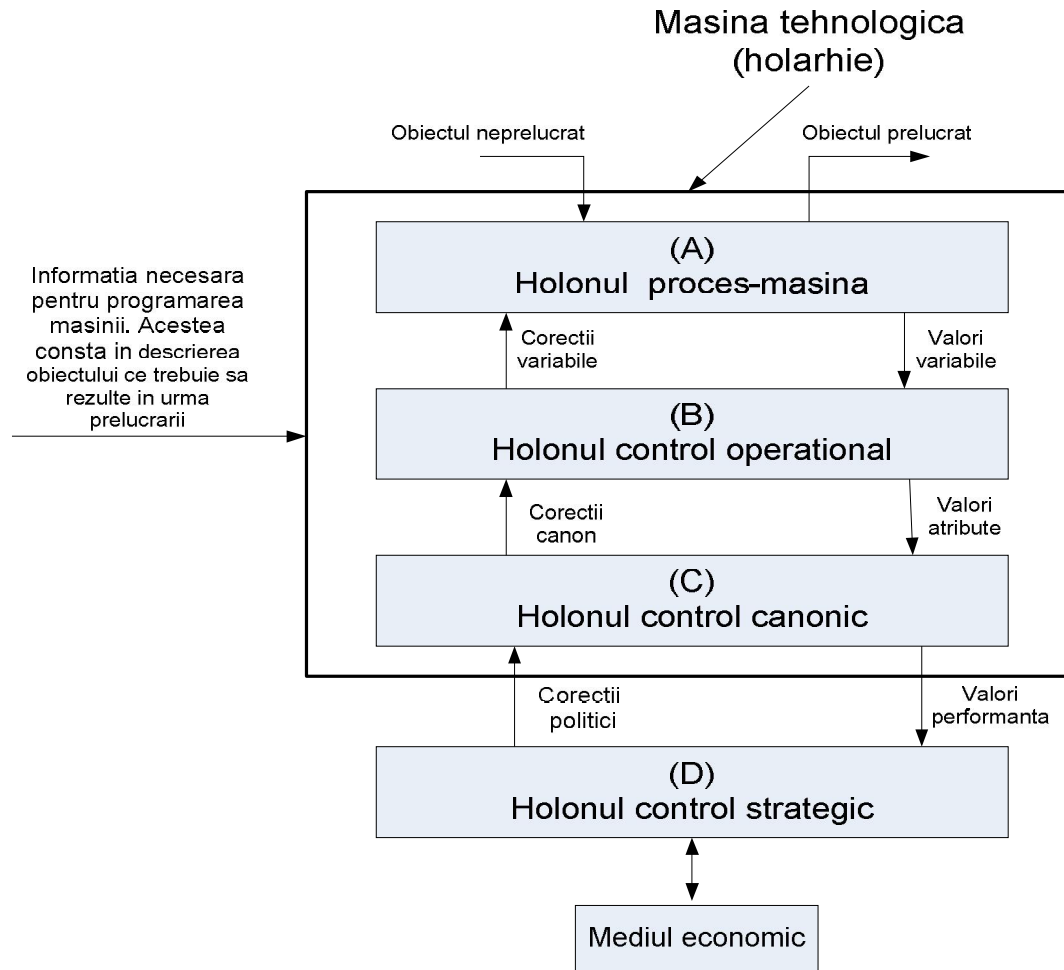


Fig 2. Modelul holarhic-atributiv general al unei masini tehnologice

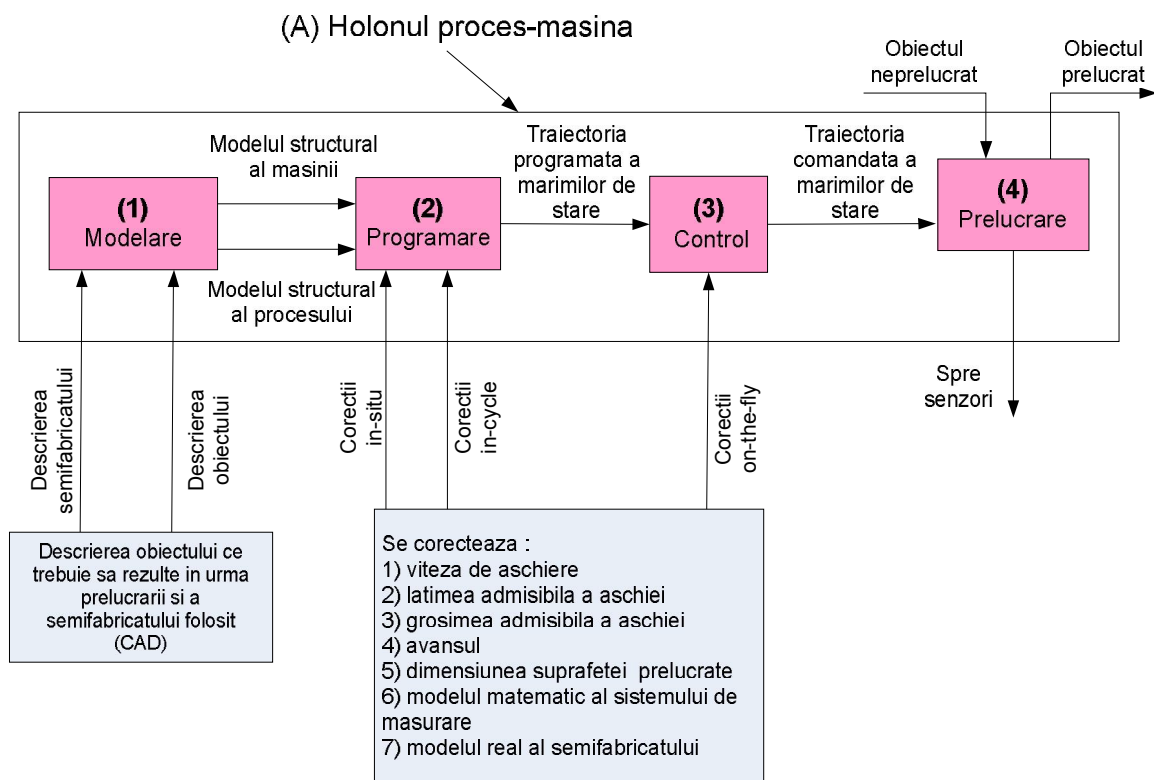


Fig. 3. Modelul conceptual al holonului proces-masina

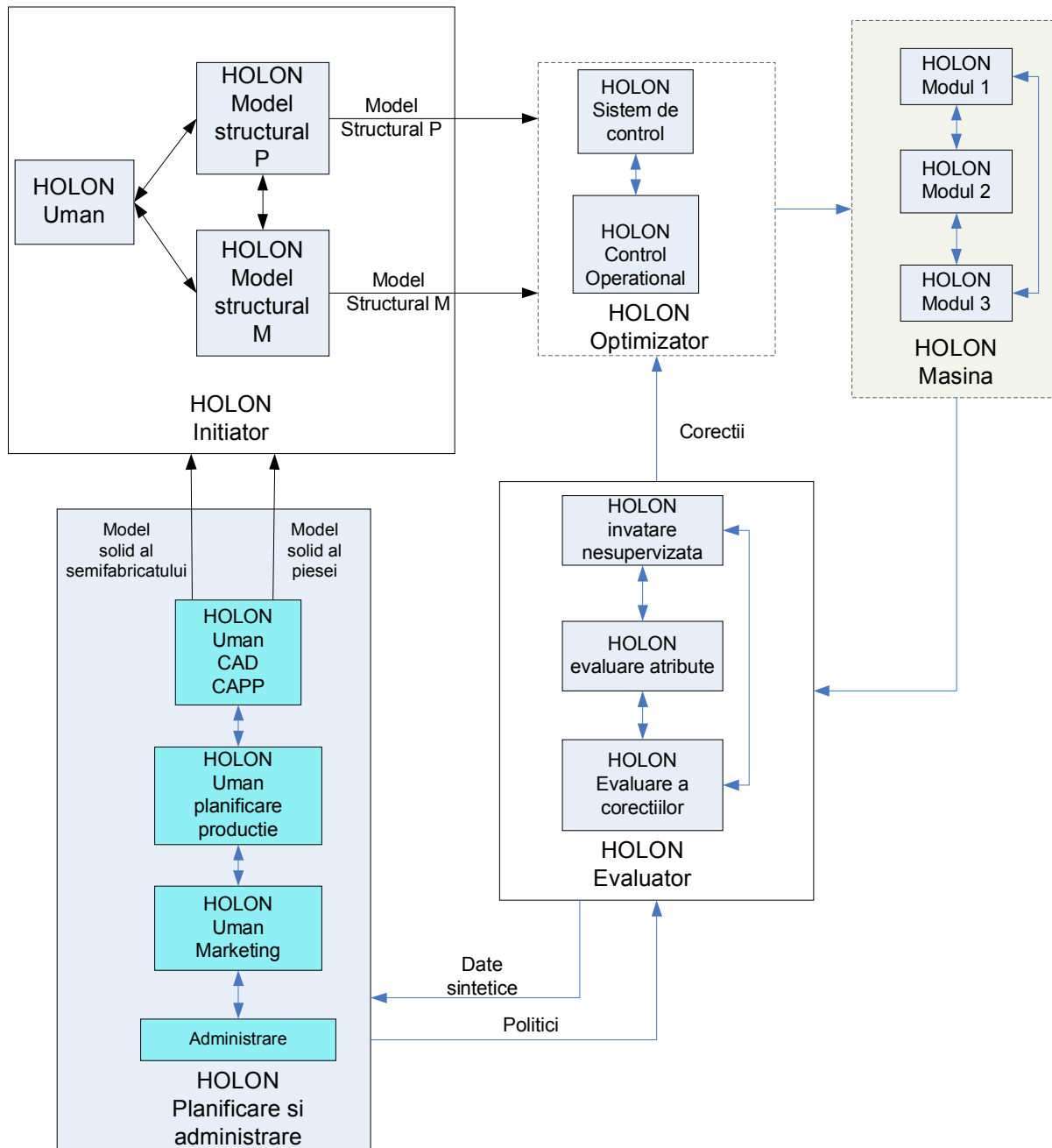
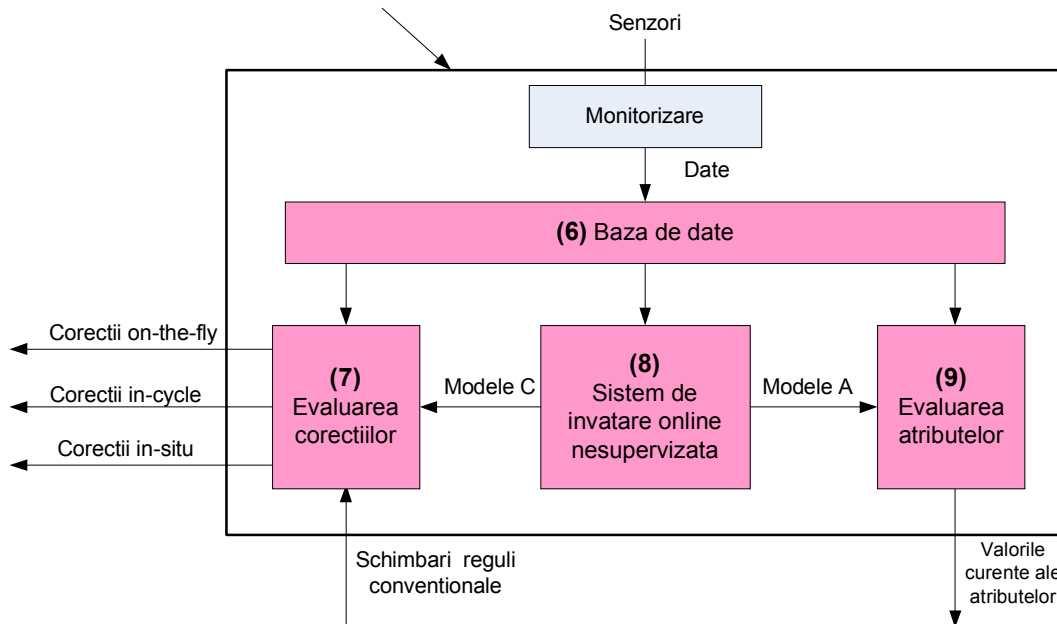


Fig.4 Structura holonului proces-masina

(B) Holonul control operational



Lista modelelor:

corectii (C):

- 1) Deviatia dimensionala
- 2) Latimea admisibila a aschiei
- 3) Grosimea admisibila a aschiei
- 4) Rugozitatea reala functie de rugozitatea geometrica
- 5) Viteza optima de aschiere
- 6) modelul matematic al sistemului de masurare
- 7) modelul real al semifabricatului

atribute (A):

- 1) Consumul specific de scula
- 2) Consumul specific de energie
- 3) Consumul specific de timp
- 4) Costul total functie de caracteristicile produsului
- 5) Durata reconfigurarii functie de caracteristicile produsului

Lista regulilor:

- 1) importanta costului
- 2) importanta productivitatii
- 3) importanta consumului de energie
- 4) importanta consumului de scula
- 5) importanta consumului de manopera
- 6) importanta termenilor de livrare
- 7) importanta protejarii masinii

Lista tehnicilor de invatare implementate:

- 1) clusteringul variabilelor cu best NN model
- 2) modelare locala si temporala
- 3) rationament bazat pe cazuri
- 4) clusteringul variabilelor prin modelare locala si cautare cu algoritmi genetici
- 5) modelare neuronala
- 6) modelare analitica prin circulatia parametrilor
- 7) clusteringul starilor cu diagrame Voronoi
- 8) K-nearest neighbour algorithm
- 9) arbore decizional Rosetta
- 10) identificare Fourier
- 11) identificare spline
- 12) tehnica variabilelor latente

Fig.5. Modelul conceptual al holonului control operational

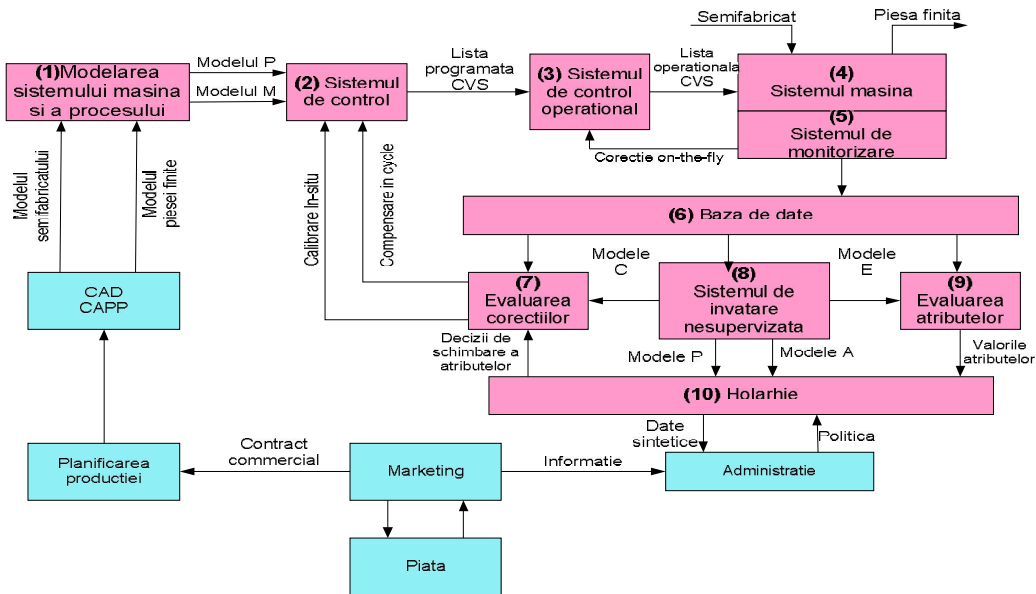


Fig.6. Integrarea modelului si a algoritmului in sistemul de conducere

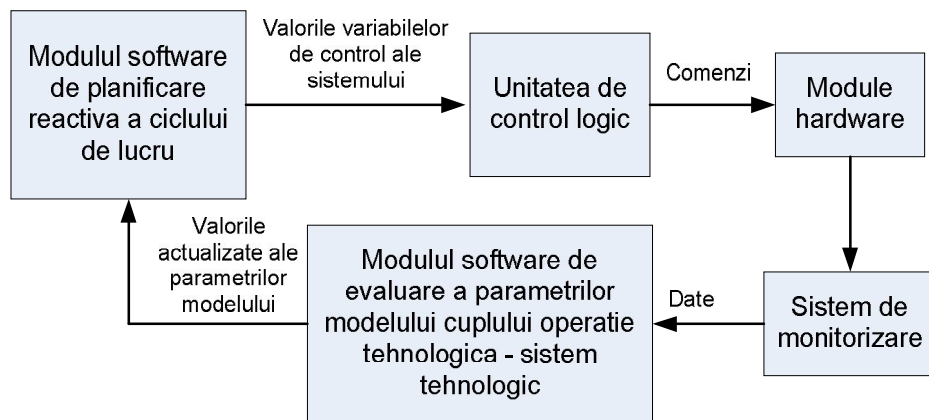


Fig.7 Schema conceptuală a conducerii bazată pe planificarea reactivă

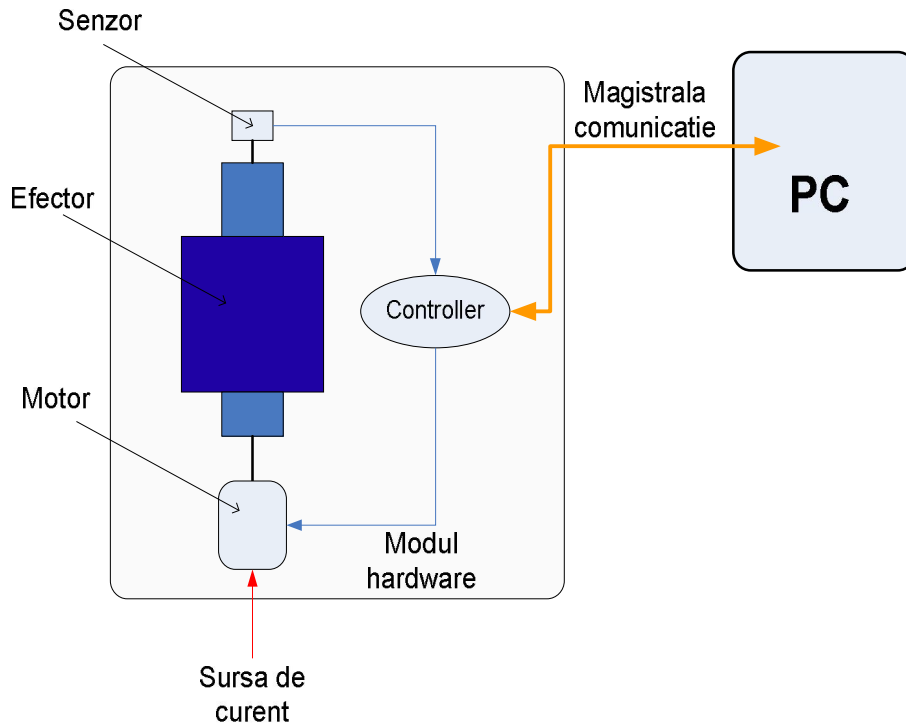


Fig.8 Structura generică a unui modul

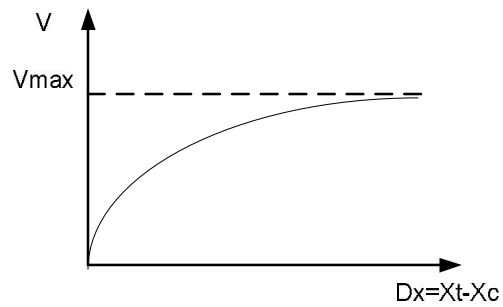


Fig. 9 Legea de control a vitezei:  $X_t$  – poziția comandată a modului;  $X_c$  este poziția curentă a modului și  $V$  este viteza de deplasare din poziția curentă în poziția de referință;



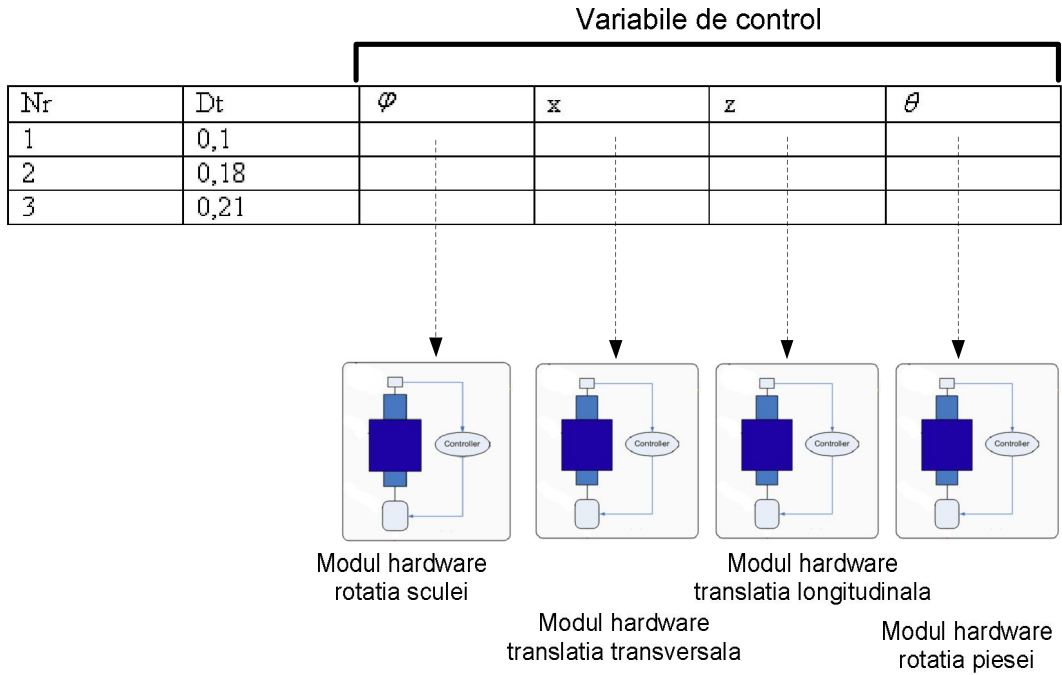


Fig. 10 Variabilele de control care se comandă modulelor

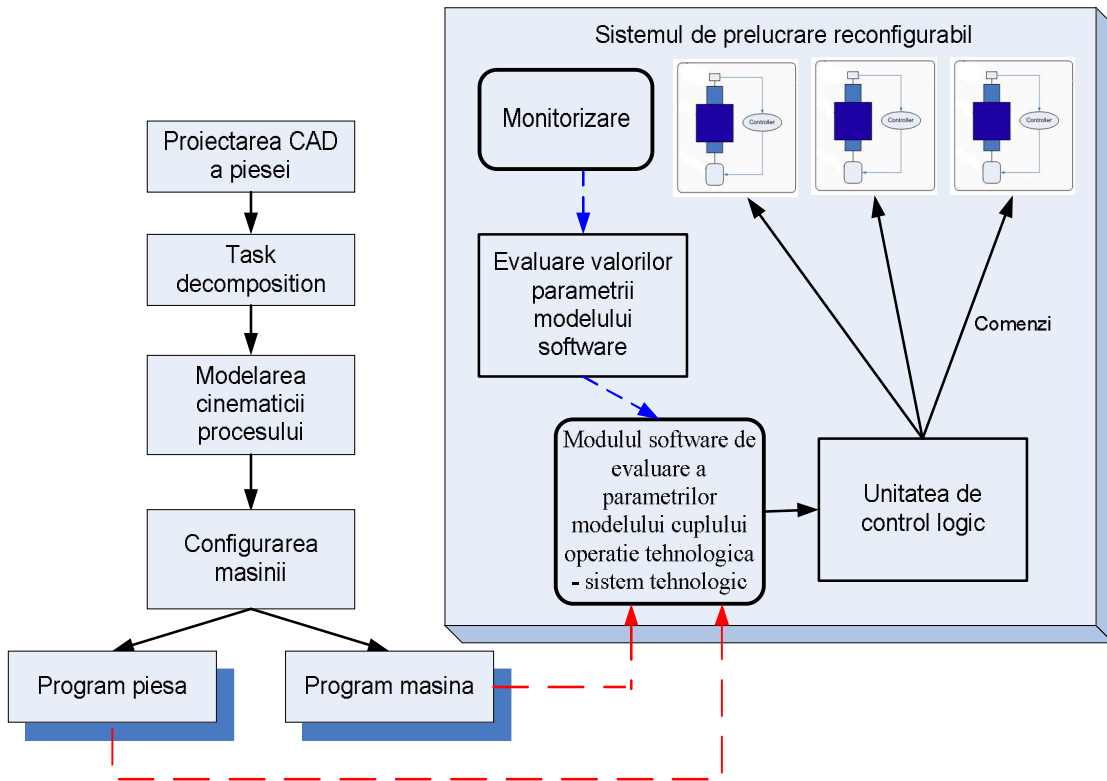


Fig. 11 Etapele parcurse de programator și schema simplificată a conducerii sistemului de prelucrare reconfigurabil



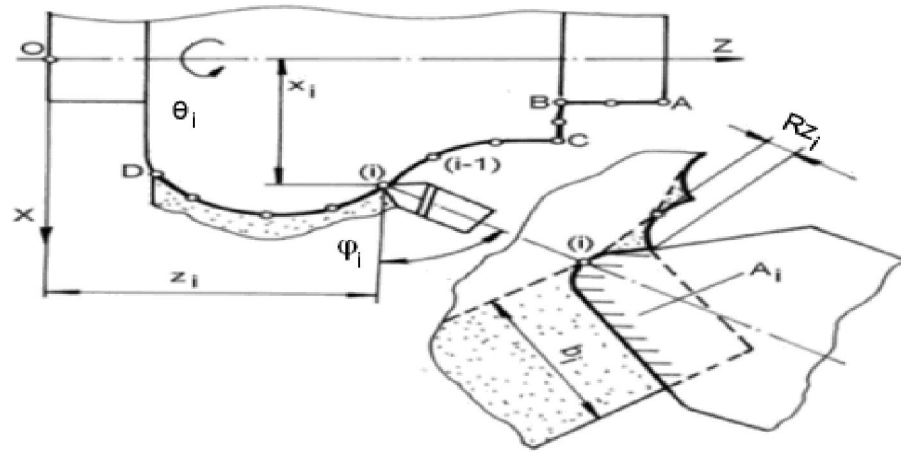


Fig.13. Schema procesului de prelucrare

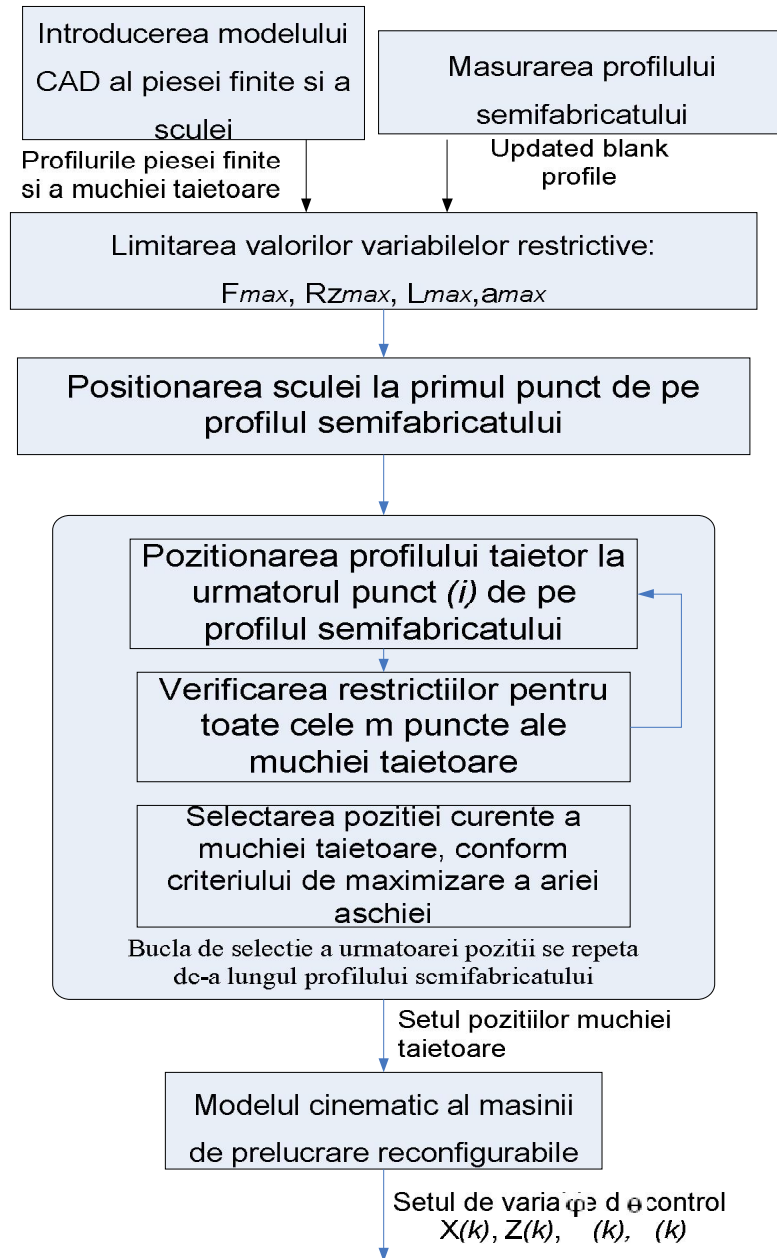


Fig.14 Algoritmul de principiu

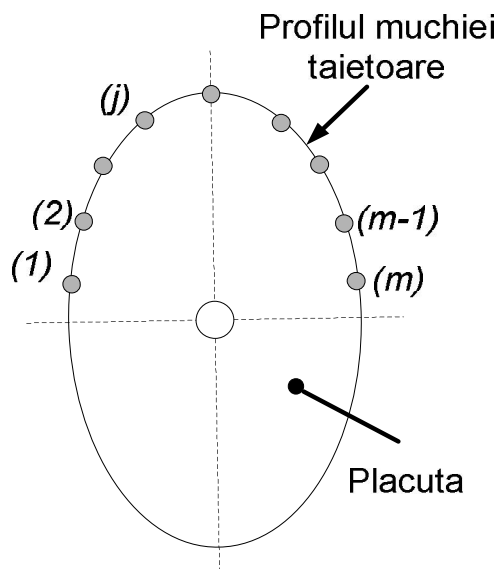


Fig.15 Plăcuța cu punctele remarcabile

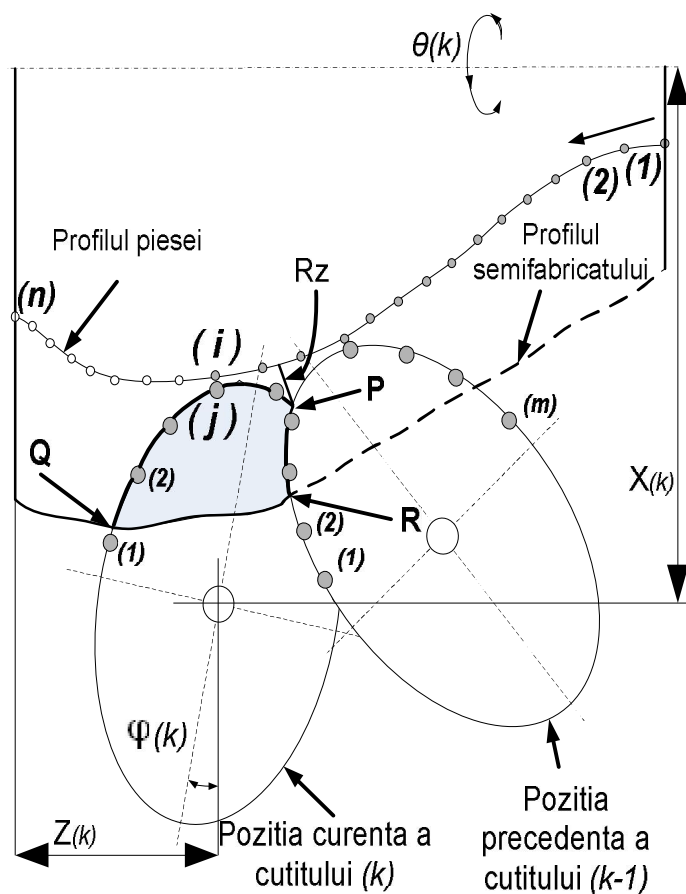


Fig.16 Problema identificării pozițiilor succesive

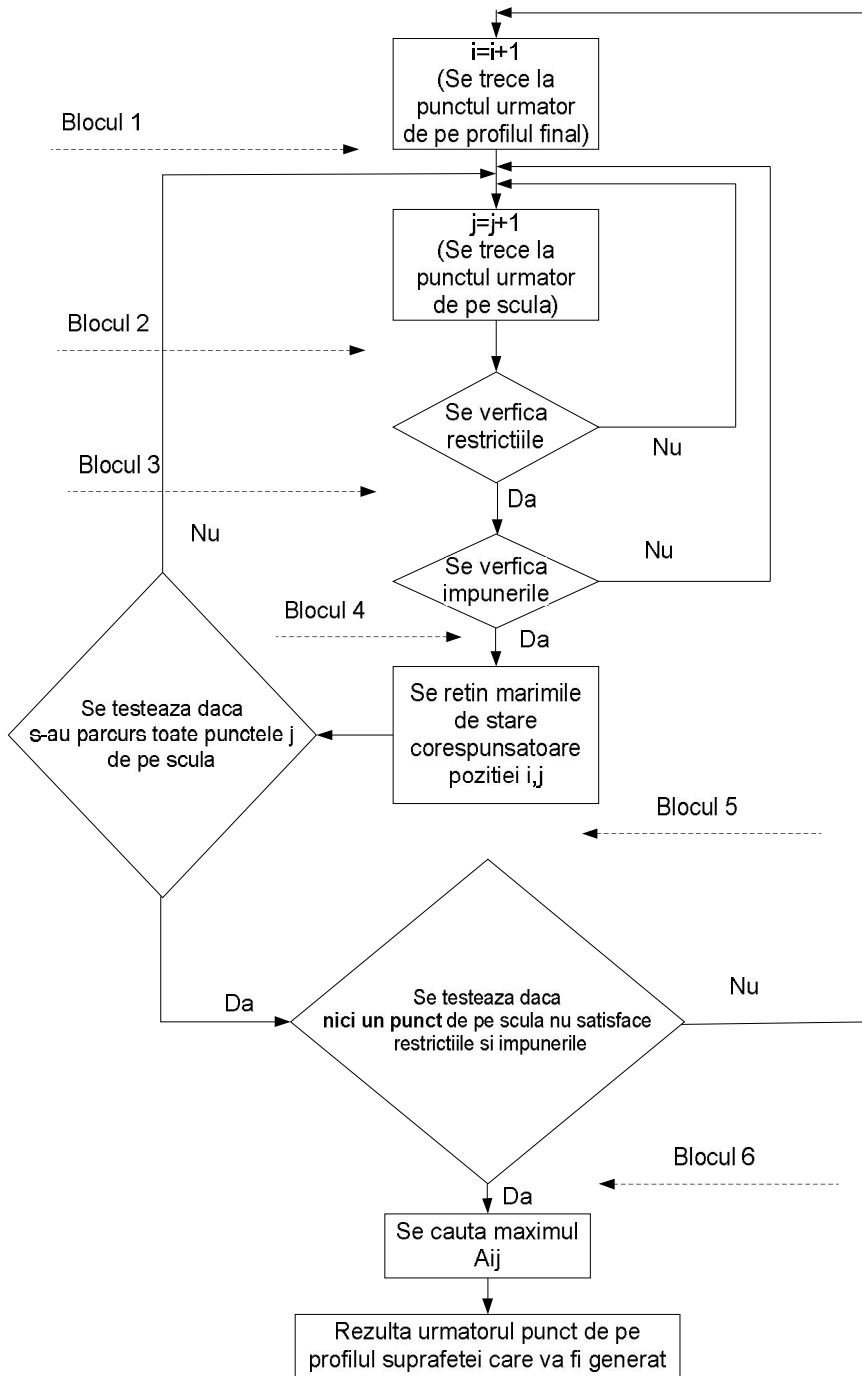


Figura 17. Schema logică a algoritmului de optimizare – varianta de căutare exhaustivă

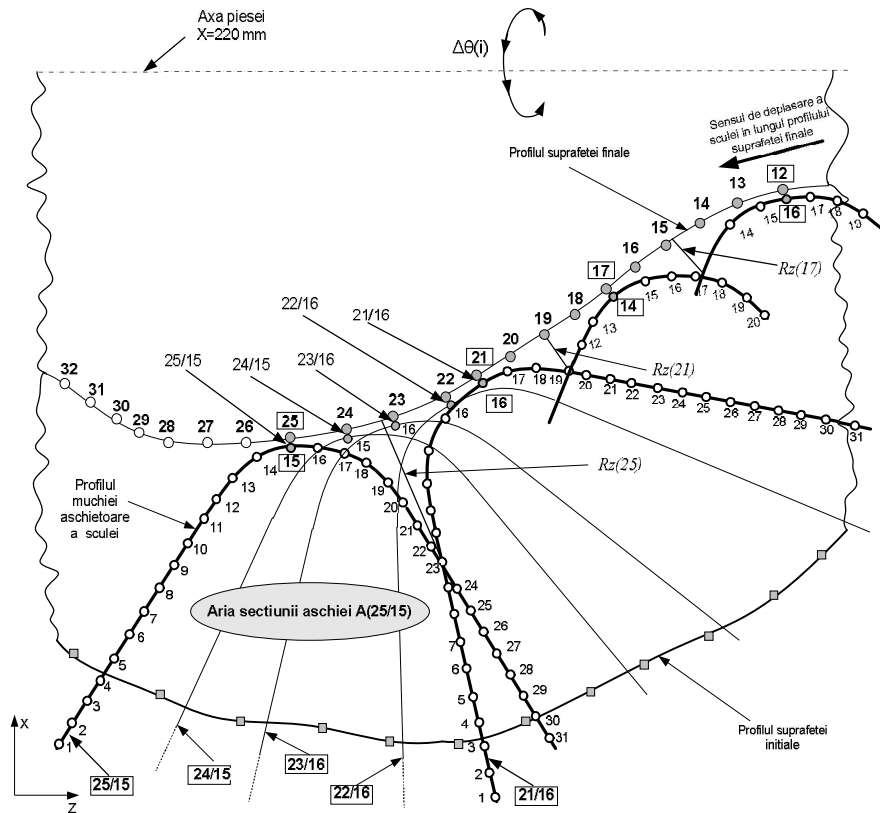


Figura 18. Schema unei secvențe de generare a suprafeței finale

j	12	13	14	15	16	17	18	19	
i									
<b>21</b>					<u>2,53</u>				
22		0,68	0,62	0,59	<u>0,58</u>	0,6	0,65	0,7	
23		0,8	0,84	0,92	<u>0,98</u>	0,91	0,88		
24			1,32	<u>1,68</u>	1,61	1,59			
<b>25</b>				<u>2,56</u>	2,03	1,92			
26					2,15				
27									

Figura 19. Aria secțiunii așchiei  $A(i,j)$  determinată în raport cu poziția 21/14 a profilului muchiei sculei

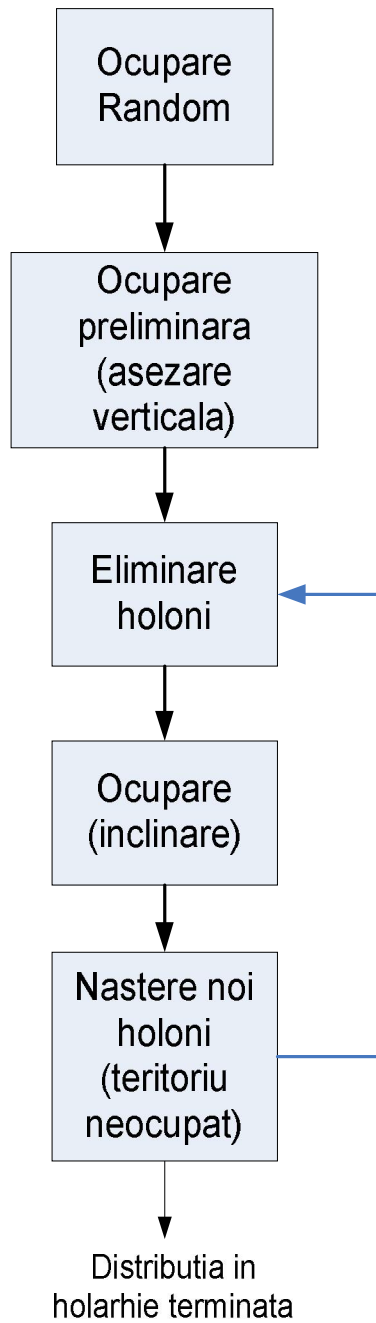


Fig.20 Schema de principiu a algoritmului de modelare holonică



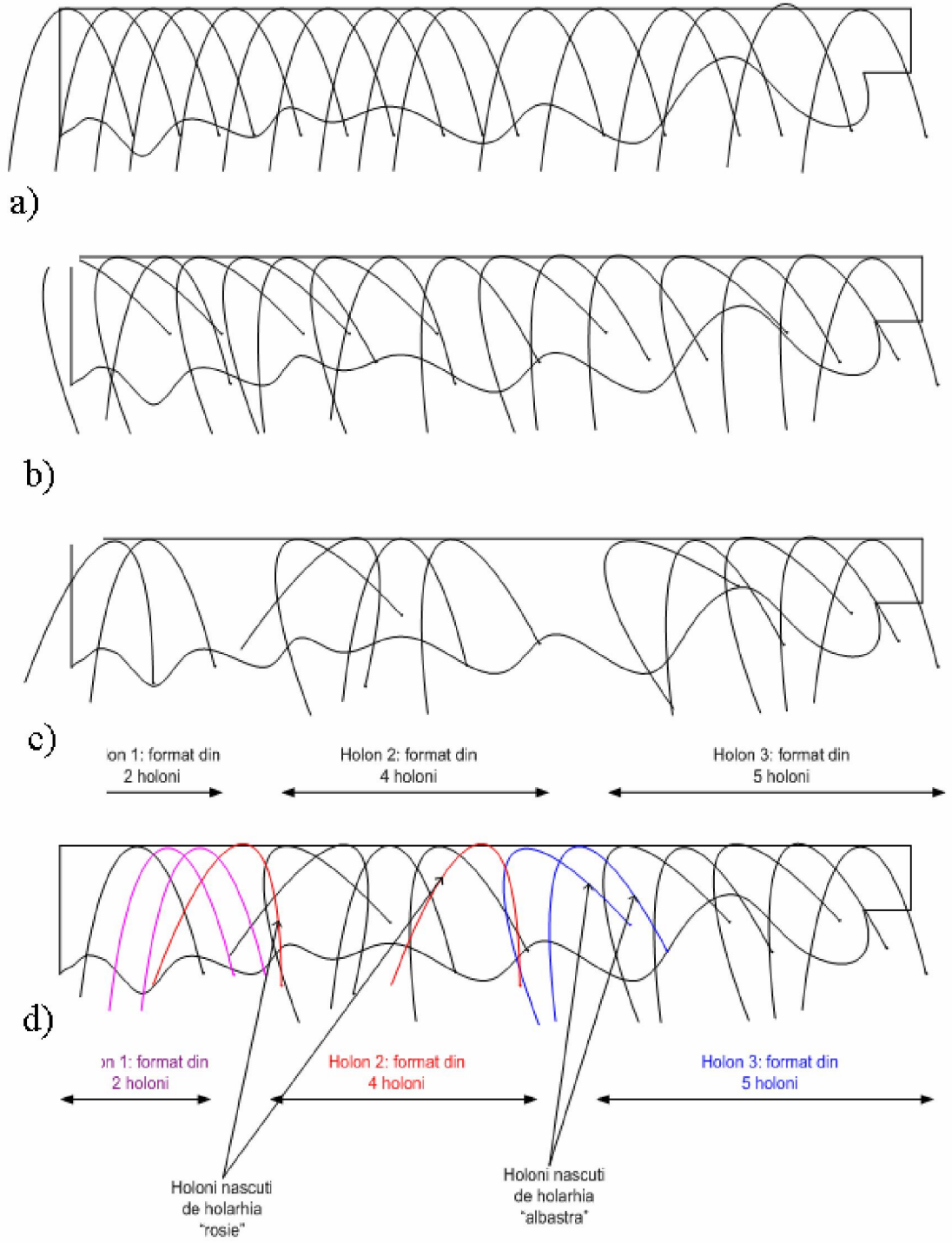


Fig.21 Ocuparea pozițiilor conform algoritmului

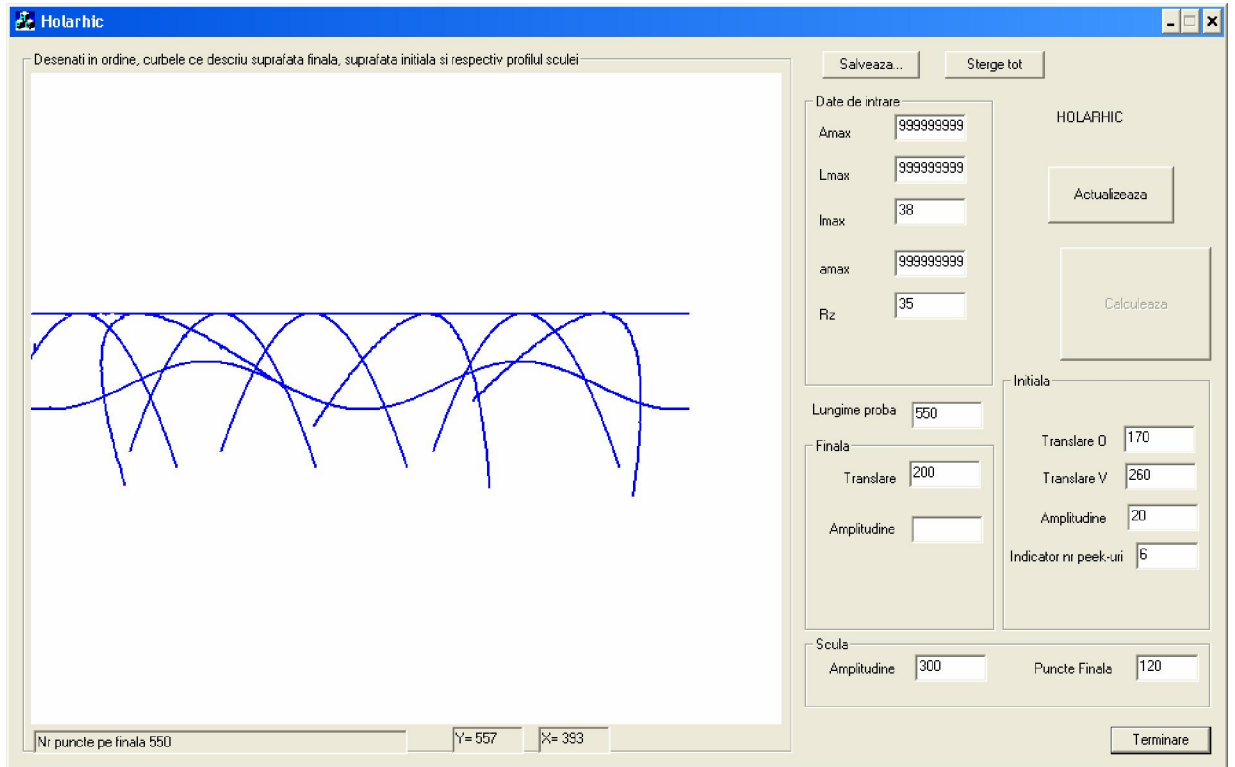


Fig.22 Interfața programului care realizează modelarea holoncică a cinematicii

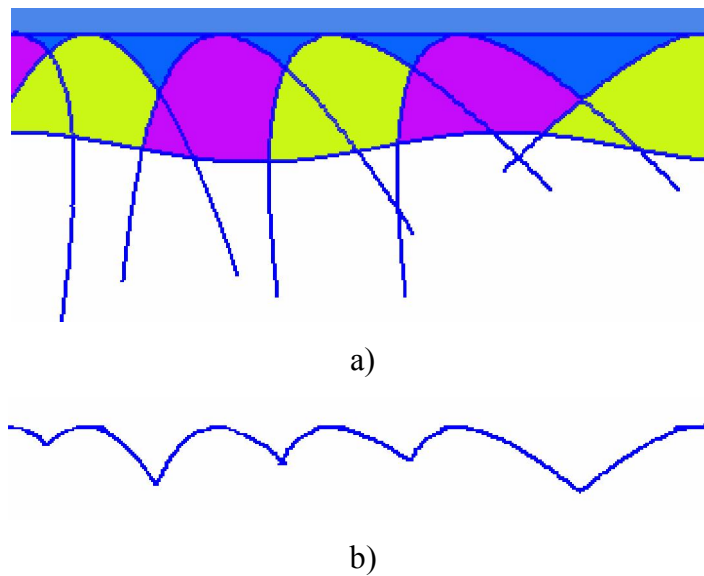
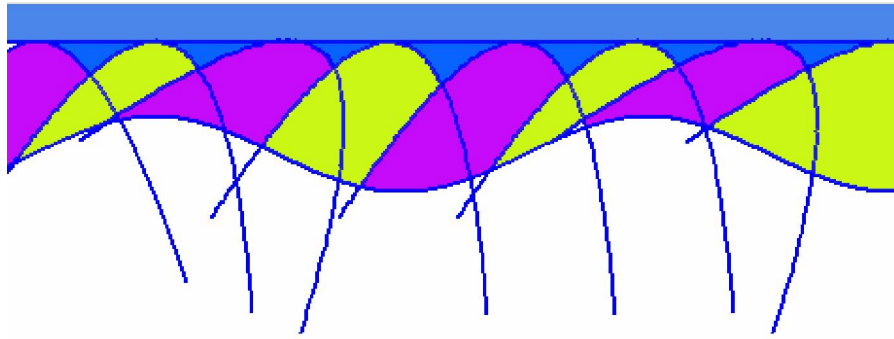
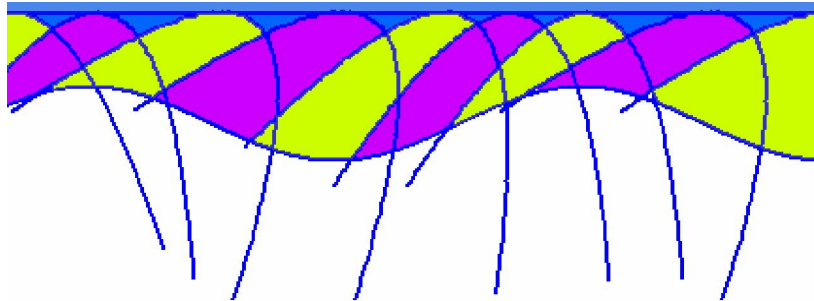


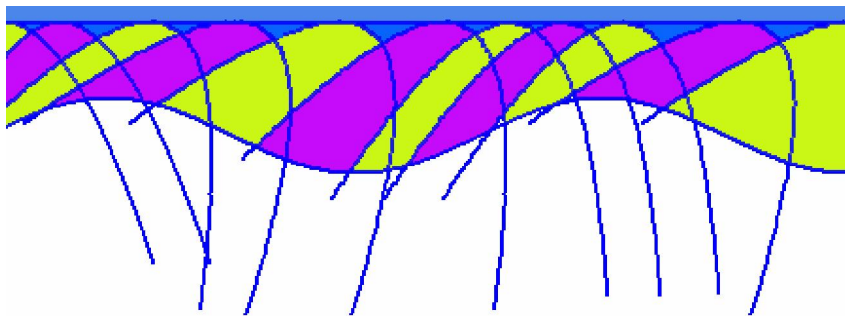
Fig.23. a) planificarea obținută; b) profilul rezultat



a)

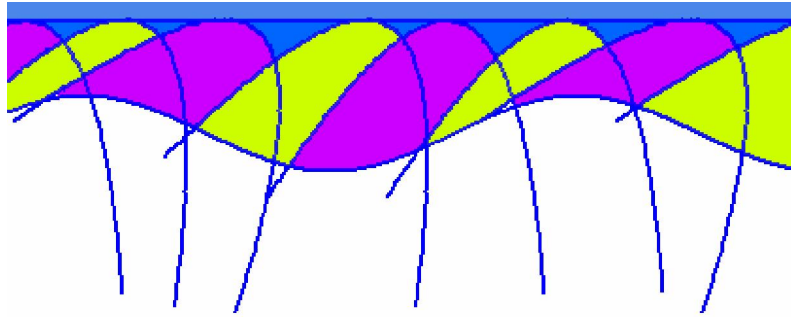


b)

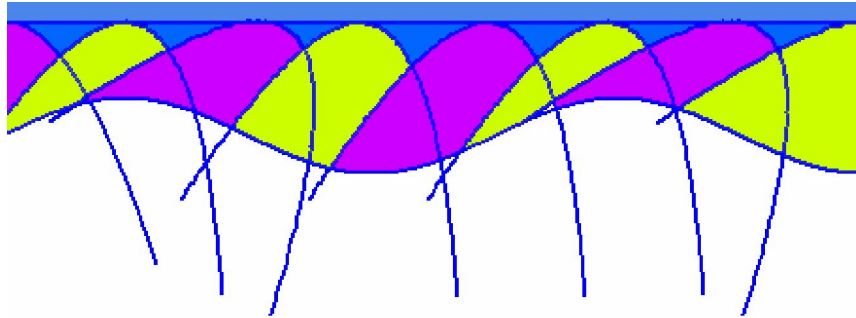


c)

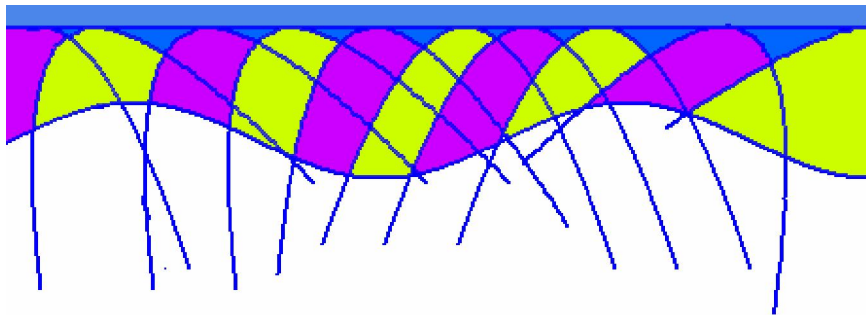
Fig.24 Testarea reactivității sistemului a)  $L_{max} = 140$  - 8 poziții succesive, b)  $L_{max} = 80$  - 9 poziții succesive c)  $L_{max} = 75$  - 10 poziții succesive.



a)

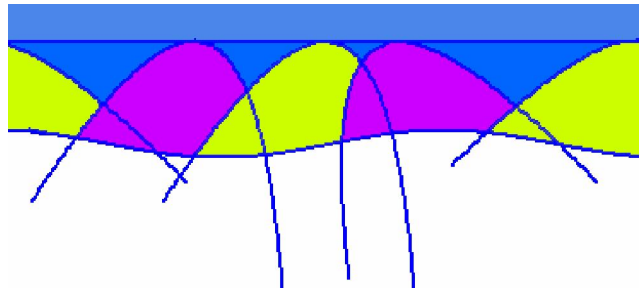


b)

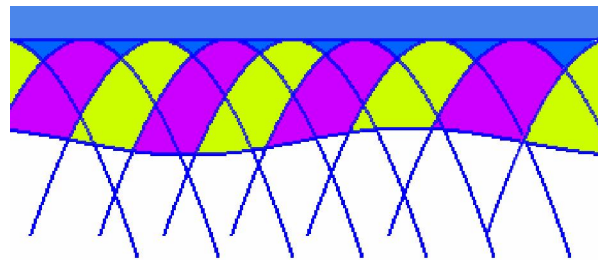


c)

Fig.25 Modificarea planificării în cazul varierii rugozității. a)  $R_z = 39$  8 poziții succesive, b)  $R_z = 25$  9 poziții succesive c)  $R_z = 21$  11 poziții succesive

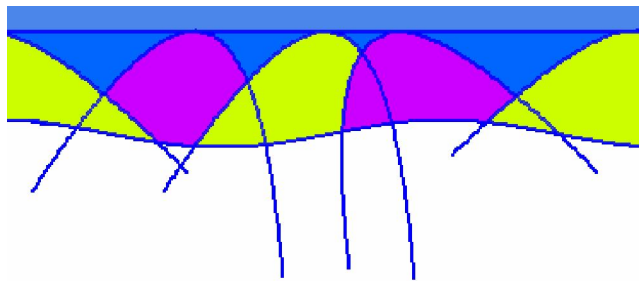


a)

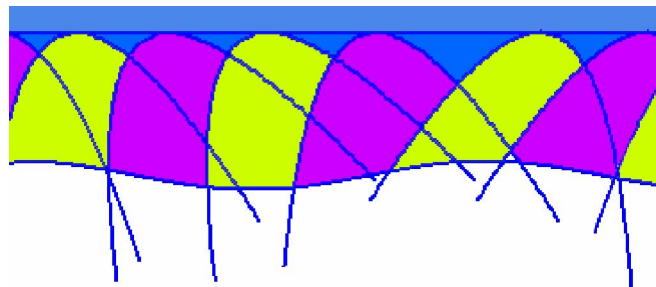


b)

Fig.26 Comparație de productivitate între sistemul propus și sistemele actuale a)  $Rz=35$  cazul 5 poziționări succesive b)  $Rz=35$  9 poziționări succesive

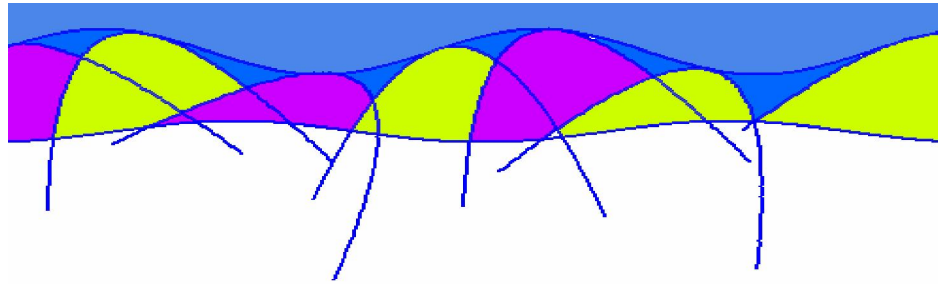


a)

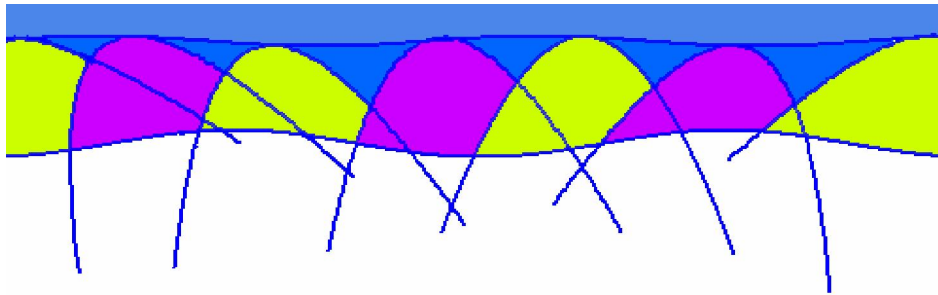


b)

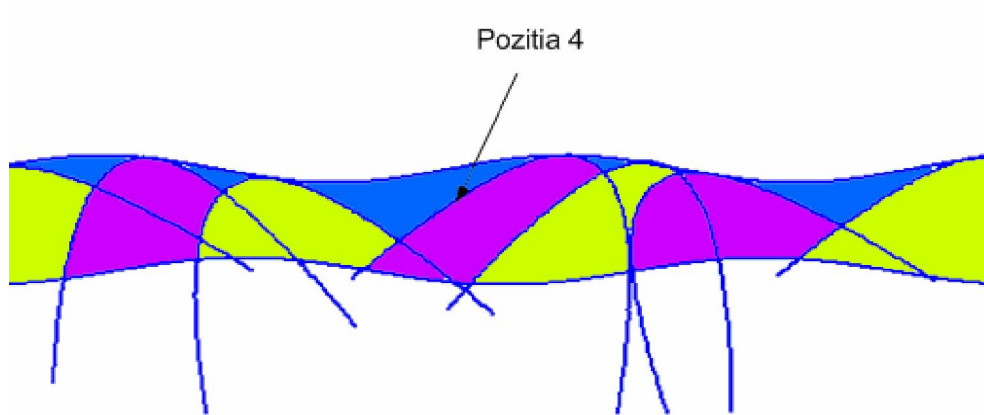
Fig.27 Modificării adaosului de prelucrare: a) adaos de prelucrare 20; b) adaos de prelucrare 40.



a)

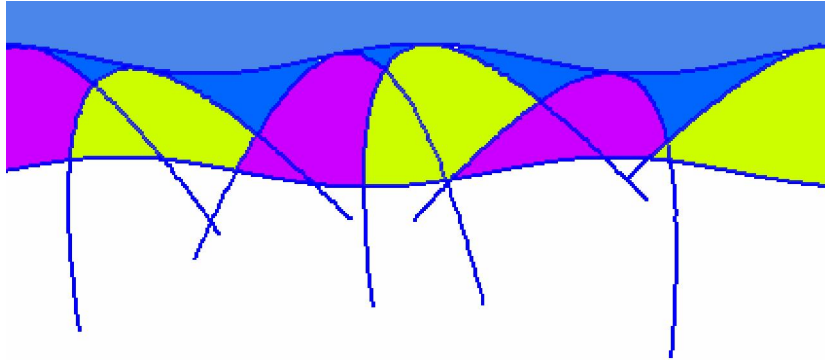


b)

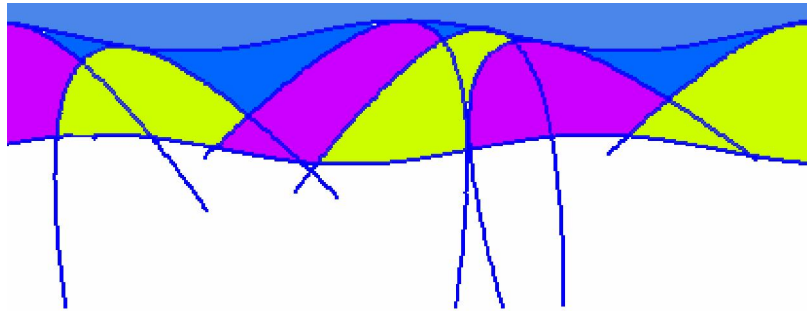


c)

Fig.28. Modificarea planificării, în cazul modificării profilului impus, a),b) și c) au profiluri ale suprafeței finale diferite



a)



b)

Fig.29 Comparație între rezultatele obținute folosind varianta de modelarea holonică și căutarea exhaustivă. a) căutare exhaustivă; b) modelarea holonică.

## CERERE DE BREVET DE INVENTIE



Nr. referinta solicitant/mandatar	Registratura OSIM (numarul si data primirii):
--------------------------------------	---

Numarul cererii de brevet de inventie	
Data primirii la Registratura Generala a OSIM - R.4(5)	
Data de depozit - R.8(1)	
Data primirii <b>partii lipsa</b> la Registratura Generala a OSIM - R.4(7),(8)	
Data de depozit noua - R.8(1)	
Data primirii cererii de retragere a <b>partii lipsa</b> la Registratura Generala a OSIM -	
Data de depozit atribuita cererii de brevet - R.8(14)	

<b>1.</b>	<b>Solicitanti</b>	(nume/denumire,
Universitatea "Dunarea de Jos" din Galati, str. Domneasca, nr.111, cod 800201,		

2. Solicitam în baza art	Legii nr. 64/1991, republicata în temeiul Legii nr. 203/2002, un brevet pentru inventia cu titlu: <b>METODA DE CONDUCERE HOLARHIC-ATRIBUTIVA A SISTEMELOR TEHNOLOGICE. BAZATA PE INVATARE ONLINE NESUPERVIZATA SI PLANIFICAREA</b>
2.1. Referinta la o cerere anterioara	(numar, data de depozit, tara/oficiul):

<b>3. Declaram ca inventatorii sunt:</b>	
3.1	aceiasi cu solicitantii (nume, prenume si loc de munca la data creării invenției)



--

**3.2 Persoanele din "Declarația privind desemnarea inventatorilor" care se anexează**

**4.** Declaram ca invenția conține informații care au fost clasificate de către (denumirea, data și nivelul

**5.** Rezumatul se publică împreună cu figura numărul:1

**6.** Priorități revendicate (stat, data depozit,

**7.** Priorități interne revendicate (număr cerere, data

**8.** Cererea de brevet este divizionară din cererea (număr, data

**9.** Proceduri solicitate la data depunerii

**9.1.** Publicarea de urgență a cererii, conform art. 23, alin. 3

**9.2.** Întocmirea unui raport de documentare, conform art. 24

**9.3.** Examinarea cererii cu luarea hotărârii în termen de 18 luni de la data de depozit, conform art. 25

**9.4.** Menținerea informațiilor la nivelul de clasificare atribuit, conform regulii 7

**10.** Solicitantul desemnat pentru corespondența cu OSIM: prof. dr. ing. Epureanu Alexandru

**11.** Adresa solicitantului/mandatarului pentru corespondența cu OSIM:

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Str. Domnească 111, 800201, Galați

Tel: 0722362606 Fax: 0236461353 E-mail:alexandru.epureanu@ugal.ro

<b>13. Semnată</b>	Prezentare prin mandatar	pr	procura generala nr./data:
solicitanți/mandatar:			

14. Documente depuse la OSIM de	15. Documente
14.1. Formular de cerere	în
14.2. Descriere	în
14.3. Revendicari	în
14.4. Desene	în
14.5. Rezumat	în
14.6. Lista de secvente de nucleotide si/sau	
14.6.1. prezentata pe suport hârtie	în
14.6.2. prezentata pe suport electronic	tip în
14.7. Document privind dreptul la acordarea	
14.8. Document privind desemnarea inventatorilor	a .... file
14.9. Procura/copie procura generala	a .... file
14.10. Document referitor la plata taxelor	a .... file
14.11. Act privind acordarea reducerii taxelor	a .... file
14.12. Autorizatia privind transmiterea dreptului	a .... file
14.13. Act de prioritate	a .... file
14.14. Act referitor la depozitul microorganismului/materialului biologic	a .... file
14.15. Document privind o divulgare a inventiei. conform art.9 din lege	a .... file
14.16. Copie/traducere a cererii anterioare de la	a .... file
14.17. Alte documente	a .... file

OSIM (semnatura, LS)

## **Declarație**

**continand desemnarea inventatorilor inventiei cu titlul:**

### **METODA DE CONDUCERE HOLARHIC- ATRIBUTIVA A SISTEMELOR TEHNOLOGICE, BAZATA PE INVATARE ONLINE NESUPERVIZATA SI PLANIFICAREA REACTIVA A PROCESULUI**

*Aceasta declaratie este facuta în conformitate cu prevederile art. 14 alin. 2 si Regulii 20E si trebuie depusa în termen de 18 luni de la data solicitarii examinarii în fond a cererii de brevet de inventie, conform Regulii 20E alin. (11).*

***Nume si prenume: Marinescu Vasiliță***

***Adresa: str. George Coșbuc, nr. 37, bloc C20, ap. 35, cod800350***

***Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati***

***Nume si prenume: Epureanu Alexandru***

***Adresa: str. Lapusneanu, nr. 16, bl. B 6, ap. 16, Galati, cod 800072***

***Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati***

***Nume si prenume: Banu Mihaela***

***Adresa: str. Saturn, nr. 10, bl. B 2, ap. 28, Galati, cod 800344***

***Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati***

<b>Nume si prenume: Constantin Ionut</b>
<b>Adresa: str. Domneasca, nr. 71, bl. B, ap. 33, Galati, cod 800215</b>
<b>Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati</b>
<b>Nume si prenume: Marin Florin Bogdan</b>
<b>Adresa: str.Tecuciul Nou nr.15, Tecuci, 805300, România</b>
<b>Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati</b>
<p style="text-align: center;"><i>Alti inventatori sunt înscrisi în pagina urmatoare</i></p> <p><input type="checkbox"/></p>
<p><b>Semnatura solicitantului sau a mandatarului autorizat</b> (numele si prenumele precum si calitatea persoanei cu capacitate de reprezentare a solicitantului sau a mandatarului autorizat):</p> <p><i>Mînză Viorel</i></p> <p>Semnatura: _____</p> <p>Data: _____</p> <p>L.S. _____</p>

**[2] Metoda pentru identificarea elementelor geometrice dintr-o imagine cu aplicatii la sculele aschietoare ale sistemelor tehnologice reconfigurabile,** Marinescu Vasilică, Epureanu Alexandru, Banu Mihaela, Constantin Ionut, Marin Florin Bogdan

**Metoda pentru identificarea elementelor geometrice dintr-o imagine cu aplicatii la sculele aschietoare ale sistemelor tehnologice reconfigurabile.**

**Rezumat:** Inventia se refera la o metoda de identificare a elementelor geometrice dintr-o imagine, in scopul evaluarii, atat a dimensiunilor respectivelor obiecte, cat si a pozitiilor acestora in raport cu celelalte obiecte din scena, cum ar fi spre exemplu forma si dimensiunile placutelor aschietoare ale unei scule, precum si pozitia acestora in raport cu corpul sculei. Problema tehnica pe care o rezolva inventia consta in identificarea elementelor geometrice ale obiectelor necunoscute, descrise anterior printr-un limbaj cvasi-geometric, care pot fi avea o coloristica variata, forme relativ diferite si care pot fi iluminate cu surse de lumina de culoare variata. Metoda pentru identificarea elementelor geometrice dintr-o imagine, inlatura dezavatanjele mentionate anterior, prin aceea ca, in prima etapa se descriu printr-un limbaj ambiguu formele elementelor geometrice cautate si se atribuie aleatoriu unor pozitii din scena un numar initial de holoni, care sunt inzestrati cu reguli de evolutie, operatii, legi instinct și sistem de cunoștințe dobândite, si care formeaza impreuna un model holarhic al scenei, iar in a doua etapa, aplicand regulile cu care sunt inzestrati, holonii ocupa toata regiunea avand aceeasi culoare cu culoarea pozitiei initiale, urmand ca in a treia etapa holonii sa negocieze si sa realizeze contopirea regiunilor ocupate, criteriul negocierii fiind apropierea formei regiunii ocupata de fiecare holon de forma elementelor geometrice necunoscute cautate, incat, in final, regiunile ocupate de holonii astfel rezultati reprezinta elementele geometrice cautate in scena.

Metoda pentru identificarea elementelor geometrice necunoscute din scena prezinta urmatoarele avantaje:

- asigura posibilitatea identificarii elementelor geometrice din scena, chiar atunci cand elementelor geometrice ale caror imagini au fost achizitionate prezinta variatii de

culoare proprii, sunt iluminate cu alte surse de lumina de alte culori (necunoscute de catre sistem) sau elementele geometrice de identificat prezinta variatii importante de aspect.

- reduce timpul de identificare .

### **Metoda pentru identificarea elementelor geometrice dintr-o imagine cu aplicatii la sculele aschiotoare ale sistemelor tehnologice reconfigurabile.**

#### **Descrierea inventiei**

Inventia se refera la o metoda de identificare a elementelor geometrice dintr-o imagine in scopul evaluarii, atat a dimensiunilor respectivelor obiecte, cat si a pozitiilor acestora in raport cu celelalte obiecte din scena, cum ar fi spre exemplu, forma si dimensiunile placutelor aschiotoare ale unei scule, precum si pozitia acestora in raport cu corpul sculei. Scopul identificarii poate fi stabilirea valorii corectiei de scula, stabilirea pozitiei reale a sculei in spatiul de lucru al masinii, sau recunoasterea unei anumite scule dintr-un ansamblu eterogen de scule.

Sunt cunoscute sistemele automate cu vedere artificiala care permit identificarea si apoi masurarea obiectelor din scena, folosite in practica industriala. Aceste sisteme se utilizeaza in general atunci cand scena este compusa din obiecte ale caror caracteristici sunt cunoscute din punct de vedere coloristic si al descrierii geometrice. Deasemenea, datorita propriului sistem de iluminare, care nu este perturbat de alte sisteme de iluminare, caracteristicile coloristice ale obiectelor din scena sunt aceleasi, de la evaluarea unui obiect la altul.

Dezavantajul acestor sisteme este dat de imposibilitatea identificarii elementelor geometrice dintr-o imagine, in cazul cand obiectele ale caror imagini au fost achizitionate prezinta variatii de culoare proprii, sunt iluminate cu alte surse de lumina de alte culori (necunoscute de catre sistem) sau elementele geometrice de identificat prezinta variatii importante de aspect.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia consta in identificarea elementelor geometrice ale obiectelor necunoscute, descrise anterior printr-un limbaj cvasi-geometric, care pot fi avea o coloristica variata, forme relativ diferite si care pot fi iluminate cu surse de lumina de culoare variata.

Metoda pentru identificarea elementelor geometrice dintr-o imagine, inlatura dezavatanjele mentionate anterior, **prin aceea ca**, in prima etapa se descriu printr-un limbaj ambiguu formele elementelor geometrice cautate si se atribuie aleatoriu unor pozitii din scena un numar initial de holoni, care sunt inzestrati cu reguli de evolutie, operatii, legi instict și sistem de cunoștințe dobândite, si care formeaza impreuna un model holarhic al scenei, iar in a doua etapa, aplicand regulile cu care sunt inzestrati, holonii ocupa toata regiunea avand aceeasi culoare cu culoarea pozitiei initiale, urmand ca in a treia etapa holonii sa negocieze si sa realizeze contopirea regiunilor ocupate, criteriul negocierii fiind apropierea formei regiunii ocupata de fiecare holon de forma elementelor geometrice necunoscute cautate, incat, in final, regiunile ocupate de holonii astfel rezultati reprezinta elementele geometrice cautate in scena.

Metoda pentru identificarea elementelor geometrice necunoscute din scena prezinta urmatoarele avantaje:

- asigura posibilitatea identificarii elementelor geometrice din scena, chiar atunci cand elementelor geometrice ale caror imagini au fost achizitionate prezinta variatii de culoare proprii, sunt iluminate cu alte surse de lumina de alte culori (necunoscute de catre sistem) sau elementele geometrice de identificat prezinta variatii importante de aspect.

- reduce timpul de identificare

Se da in continuare, un exemplu de aplicare a inventiei la care elementele geometrice ce trebuie identificate sunt obiecte componente ale unui ansamblu a carui imagine formeaza scena, in particular, exemplul referindu-se la identificarea placutei aschietoare a unui cutit de strung, in legatura cu figurile 1..15, care reprezinta:

Fig. 1 Problema de identificare a profilului

Fig.2 Scena cuțitului

Fig.3. Holonii care au ocupat regiuni ( cu galben).

Fig.4. Regiunile ocupate de holoni după prima etapă.

Fig.5 Algoritmul conceptual folosind abordarea holonică

Fig.6 Negociere inter-holonică pentru a forma un nou holon.

Fig.7 Recurența holonică.

Fig.8. Două elemente geometrice identificate prin descrierea geometrică.

Fig.9 Punctele remarcabile de pe profilul plăcuței

Fig.10 Elementul geometric de clasificat, identificat ca triunghi cu eroare geometrică mai mică ca 25%

Fig.11 Elementul geometric de clasificat, identificat ca triunghi cu eroare geometrică mai mică ca 25%

Fig.12 Două configurații de cuțite descrise în limbajul specific

Fig.13 Scena de identificat

Fig.14 Reprezentarea ambiguă a scenei

Fig. 15 Fazele constituirii holarhiei finale

Exemplul prezentat are în vedere problema recunoașterii scenei pentru a identifica profilele muchiei tăietoare și a port cuțitului. Avem nevoie să identificăm profilele de scule necunoscute, fără ajutorul operatorului, construind un sistem de măsurare fără intervenția operatorului. În Fig. 1 este descrisă problema de identificare a profilului muchiei tăietoare. Anumite tipuri de conducere presupun cunoașterea punctelor care descriu profilul muchiei tăietoare.

Un dezavantaj care apare în practică este că fiecare montare a cuțitului pe mașina va implica erori de poziționare. Este nevoie să identificăm profilul port cuțitului pentru a rezolva problemele de coliziune. Plăcuța este descrisă prin poziția exactă a punctelor de pe profilul său. Prin urmare, trebuie să cunoaștem poziția exactă a punctelor în noua poziție (de exemplu, să identificăm care dintre punctele profilului în noua poziție este punctul '1'), nu numai profilul descris.

Poziția punctelor importante nu poate fi determinată ca o eroare de translație, căci este determinată și de eroarea de rotație. Rezultă că, folosind doar algoritmul de detecție al conturului în cazul unei scenei necunoscute, nu se poate identifica scena.

Poziția 1, descrisă cu negru, așa cum se prezintă în Fig. 1 descrie poziția ideală și punctele 1,2,3...n care o descriu. A doua poziție reprezintă poziția reală a cuțitului cu erorile



de poziționare și punctele 1,2,3...n. Punctele trebuie identificate, în ordine succesivă și coordonatele trebuie să fie calculate în raport cu punctul de referință al camerei, care este cunoscut. În plus, coordonatele punctelor în sistemul de referință al mașinii sunt calculate față de coordonatele de referință ale camerei și coordonatele port sculei (aceasta este ieșirea de la senzorii pentru axele X și Z). Pentru a identifica punctele importante de pe profilul plăcuței și de pe cel al portului cuțit este necesar să identificăm elementele geometrice din scenă.

Localizarea presupune că identitatea elementului geometric cautat este cunoscută. O cerință și mai dificilă este identificarea, unde informația despre obiect este reprezentată de o anumită formă. Cerința de identificare este de a descoperi atât forma cât și poziția obiectului țintă. Dacă obiectele sunt identificate cu anumite culori și/ sau intensitate, obiectele sunt ușor de identificat. În cazul nostru, sunt diferite tipuri de cuțit și plăcută iar problema, din punct de vedere al algoritmului de vedere artificială constă în faptul că există o varietate de culori și configurații geometrice posibile. Așa cum se observă în Fig. 2, scena este compusă dintr-o arie variată de culori și, în practică se întâlnește situația în care sculele se murdăresc cu lichidul de răcire, prezentând suprafețe murdare, plăcuta se modifică în timpul condițiilor grele de lucru, etc. Scopul este de a identifica profilul plăcuței, de a măsura profilul, de a identifica poziția relativă în scena, apoi de a identifica portul cuțit și de a măsura profilul său.

Procesul de identificare geometrică constă din două stadii:

i) identificarea regiunilor și ii) unirea regiunilor și construirea obiectelor.

În timpul stadiului de identificare a regiunilor, holonii scanează imaginea începând cu poziția lor curentă, până ce ei ocupă aria de aceeași culoare din jurul poziției inițiale. În al doilea stadiu, holonii negociază pentru a forma noi holoni (care ocupă obiectele de căutat), ghidându-se pentru identificarea scenei de un limbaj "ambiguu". Limbajul care descrie scena folosește informații relevante, la fel cum percepția umană prelucrează și reține informația vizuală.

Algoritmul de potrivire geometrică extrage caracteristicile geometrice din limbajul care descrie scena, prin organizarea și stocarea acestor caracteristici și legăturile

spațiale dintre aceste trăsături, într-o manieră care facilitează căutarea rapidă în faza de scanare a imaginii.

De exemplu, scena noastră poate fi descrisă ca fiind compusă din doua obiecte, unul cu o formă triunghiulară sau rectangulară și al doilea obiect cu o arie mai mare decât primul, de o forma cvasi-rectangulară. Așa cum se prezintă în Fig. 8, algoritmul a identificat două obiecte descrise de limbaj. Conturul estompat este imaginea rezultată iar contururile regiunilor sunt desenate cu linii negre. În cazul testat, este simplu de descris o unealtă de tăiat ca fiind împărțită în plăcuță și portul cuțit.

În Fig.5 sunt prezentați pașii de bază ce trebuie urmăriți pentru identificarea scenei, în acord cu abordarea holonică propusă. Prin urmare, holonii selectează regiuni (situația scenei este descrisă în Fig. 2), apoi aceștia negociază unificarea cu vecinii lor, și acceptă unificarea dacă sunt de acord holonii parteneri. După aceea, regiuni care nu aparțin niciunui holon (ariile reprezentate cu diferite culori semnificative și de mărimi considerabil mici) sunt înglobate în holonii existenți. Pasul final este de a identifica obiectele și de a le măsura. În Fig. 3 este prezentat pasul intermediar de ocupare a regiunilor de către holoni. Holonul 42 și 6 ocupa regiunile cu aceleași caracteristici de culoare și vor forma un nou holon, holonul numărul 264 (prezentat în Fig.4), reprezentând o arie cu aceleași caracteristici. Holonul 31, alături de alți holoni vor forma un nou holon, "holonul din regiunea roșie". Alți holoni, ca de exemplu holonul numărul 77 scanează imaginea pentru a ocupa alte regiuni. Așa cum se prezintă în Fig. 4, în primul stadiu holonii scanează imaginea și identifică regiuni.

Ariile galbene, verzi, roșii, albastre,etc. sunt regiuni identificate de holoni și în continuare, când ne referim la o regiune folosim numele holonului care ocupa. Un pas intermediar este de a completa două stadii, cum ar fi regiuni care nu aparțin niciunui holon. Aceste regiuni sunt acele regiuni cu o variație considerabilă de culoare, de arii considerabil mici.

Regiunile vor fi subiect de negociere între holonii vecini și urmează să fie incluse în regiunea proprie. În al doilea stadiu, holonii negociază cu toți vecinii lor pentru a forma un nou holon, reprezentând obiectul identificat ( plăcuța sau port cuțitul). Precum se prezintă în Fig. 6, trei holoni vecini negociază și ajung la concluzia că, prin unificare lor va rezulta un nou holon (holonul 221) care este un obiect de căutat. Este de observat că procesul de

negociere este efectuat doar între holonii vecinii și nu între toți holonii. După formarea noului holon, se va continua negocierea cu alți holoni vecini. Holonii au un scop comun ca grup: de a împărți scena în obiecte identificabile, plăcuta și portul cuțit.

Holonii vor lucra în anumite condiții care precizează descrierea geometrică (scopul comun), identificarea regiunilor cu aceleași caracteristici de culoare (scop individual). Pentru a calcula mai bine posibilitatea de unificare a holonilor, este necesar de a asocia obiectele posibile căutate cu fiecare alternativă posibilă.

Un holon ia în calcul aceste alternative, cu scopul de a decide fie dacă acceptă propunerea de "unire" sau nu. Negocierea este compusă din câteva mici negocieri unde caracteristicile geometrice sunt discutate individual.

Holonii au câteva obiective, cum ar fi minimizarea numărului regiunilor din scena și de a ajunge la descrierea geometrică cea mai bună posibilă. Este de remarcat că, în cazul de față sunt două nivele de holarhii, unul este reprezentat de holonii cu regiuni de culoare, alcătuit din holoni care ocupă zone cu aceeași culoare, și al doilea nivel este reprezentat de holonii obiect, compuși din holoni ce ocupă câteva regiuni (de culori diferite) și care formează obiectele căutate. Al treilea holon este holonul unealtă, alcătuit din doi holoni: holonul cuțit și holonul port cuțit. Importanța recurenței holarhiei este evidentă în al doilea stadiu. Sunt două situații de luat în calcul: doi sau mai mulți holoni sunt în aceeași zonă a unui obiect când discută posibilitatea de "unire" și vor forma un nou holon (compus din câțiva holoni), cu scopul comun de a identifica regiunea, și al doilea, holonii observă că există zone care nu aparțin niciunui holon, ceea ce presupune că un holon va "da naștere" altui holon, pentru a ocupa acea zonă.

În Fig.7 este prezentată schița recurenței holarhiei, cum trei holoni se unesc într-unul singur, negociază și consideră că zonele formate de ei vor forma obiectul căutat. Relativ la alte situații, un holon se poate divide în doi holoni, dacă nu este nicio zonă vecină aparținând vreunui holon. Așa cum am prezentat mai sus, permeabilitatea unor holarhii este limitată. De exemplu, un "holon de regiune roșie" nu va fi capabil să facă parte din "holarhia albastră", dar "holarhia albastră" și "holarhia roșie", alături de alte holarhii, formează "holarhia plăcuței".

În Fig.8 sunt prezentate obiectele identificate, plăcuța și port cuțitul. Punctele sunt identificate cu succes pe profilul cuțitului folosind conceptul de inteligență distributivă holonică, așa cum se arată în Fig.9. Punctele de pe cuțit sunt folosite pentru a compara profilul anterior (dacă nu este prima dată când se face identificarea sculei) și se determină uzura sculei cât și eroare de poziționare. Rezultatele abordării propuse pentru identificarea scenei, fără a fi necesară intervenția operatorului au arătat că algoritmul propus este efectiv pentru măsurarea neasistată de operator.

#### Proiectarea holarhiei

În continuare, se descrie constituția și proiectarea holarhiei, luând în considerare următoarele idei cheie:

#### Limbajul care descrie scena de căutat

Limbajul care descrie scena este reprezentat de descrierea scenei printr-o ontologie specifică. De exemplu, în comunitatea umană cerem informații cu privire la găsirea unui anumit obiectiv dintr-un oraș, interlocutorul va da informații ambigue, dar îndeajuns pentru a ne atinge ținta. Interlocutorul nu ne va indica exact, să continuăm drumul încă 40 metri apoi, la prima intersecție să virăm la stânga, apoi în 500 de metri ajungem la obiectiv. Răspunsul este ambiguu, de exemplu: „Mergeți până la prima intersecție, apoi virăți la stânga la intersecția cu semafor și veți observa o clădire înaltă, în față se afla 2 muzee. Nu știu exact care este muzeul de științele naturii din cele două, dar muzeul pe care îl căutați are o statuie cu un elefant în față”. În acest sens, folosind inteligența distribuită putem descrie o scena în mod ambiguu, la fel cum noi, oamenii ne exprimăm. Deși informațiile sunt ambigue, nu sunt exacte, ne este de ajuns interpretând mediul să găsim ținta noastră. De fapt, asociem niște caracteristici unei scene și le căutam: “clădire înaltă”, “prima intersecție cu semafor”, “muzeul cu o statuie elefant în față”, sunt informațiile care ghidează în identificarea “scenei” și găsirea țintei.

Limbajul ambiguu de descriere a scenei este o încercare de a emula limbajul natural și de a genera descrierea unei scene statice. De notat este că sistemul nu cunoaște în momentul evaluării scena, și nu a mai analizat-o (nu a mai văzut-o) și a extras informații. Spre deosebire de sistemele cu rețele neuronale, unde sistemul este antrenat să recunoască anumite obiecte din scene, și apoi este testat în recunoașterea acestora, sistemul de vedere

artificială propus este capabil să recunoască obiecte din scenă fără un antrenament anterior. Nu este un limbaj care și extrage informațiile dintr-o scenă și apoi recunoaște un anumit obiect, este un limbaj care descrie informațiile în mod ambiguu. Pentru aplicația prezentă limbajul descrie numai scene 2D. Limbajul are în vedere diferite informații care descriu scena așa cum se descrie mai jos:

#### Culoarea

De cele mai multe ori, un anumit obiect din scenă este descris de o gamă de culori bine determinată. În schimb, sunt cazuri când această informație nu este de ajuns pentru a identifica scena. De asemenea, în cazul unor iluminări de intensitate și colorație variabilă, descrierea culorii nu este un indicator care scade din rezultate. În cazul limbajului propus, instrucțiunea care definește culoarea obiectului descris este precum urmează:

Object1.Colour=(Interval culoare Roșu,Interval culoare Verde, Interval culoare albastru).

Ex. Object1.Colour=(123:234,23:45,56:89). Obiectul 1 are culoarea Roșu din triplul RGB(Red, Green, Blue) în intervalul 123:234, Verde în intervalul 23 45 iar Albastru este situat în intervalul 56:89.

#### Forma

Limbajul propus permite doar reprezentarea 2D a scenei (Fig. 10, Fig.11).

Funcția proprie pentru definirea restricției este Object.Forma (GeomErr-eroare g, restricție 1, restricție 2....)

GeomErr definește eroarea de formă și se exprimă în procente.

Restricție 1, restrictive 2, etc., definește restricții specifice fiecărei forme.

Ex: Object1.Triangle(GeomErr=20,RaphH<0.1) definește eroarea de forma de 20% și restricția ca raportul dintre latura mică și latura mare să nu fie mai mare de 0.1.

#### Poziție relativă

Pentru a descrie scena este necesar ca să se definească relația între diferite obiecte găsite. În acest sens limbajul are mai multe funcții. De exemplu, în Fig. 12.a se reprezintă o posibilă configurație de obiecte pentru a reprezenta un cuțit. În acest caz se va folosi indicația ON, pentru a descrie faptul că obiectul triunghi este peste obiectul dreptunghi.

În cazul al doilea, reprezentat la Fig.12.b se va folosi funcția „near”.

Funcția „near”.

Această funcție descrie condiția de poziționare a două obiecte de a se afla în vecinătate.

Exemplu: Object1 near Object2(only Object1.h) – indică că obiectul 1 se află lângă obiectul 2, iar numai latura mică a obiectului 1 trebuie să fie în vecinătate cu obiectul 2.

Relații de poziționare

Condiția suplimentară de relație între suprafețele obiectelor de căutat este o informație importantă care sporește eficacitatea căutării.

Aceasta se indică prin indicarea proprietăților obiectelor.

Exemplu: Object1.surface>Object2.Surface(0.5,0.2)

Ontologia limbajului:

Proprietățile obiectului sunt accesate prin intermediul operatorului punct .

ObjectToFind=2;Only.

Object1:Triangle(GeomErr=20,RaphH=0.1)

Object2: Rectangle(GeomErr=30)

Object1 near Object2 only Object1.h

Object1.surface>Object2.Surface(0.5,0.2)

Object1.colour<Object2.Colour(30)

Negocierea este un proces prin care o decizie este luată de doi sau mai mulți holoni, fiecare încercând să atingă un scop individual sau comun. Holonii comunică propuneri, care pot să intre în conflict sau să se interfereze, și apoi încearcă să ajungă la o alternativă acceptată.

De subliniat este că nu toți holonii din holarhie trebuie să fie de acord să accepte un alt holon. Prin urmare, un holon poate să decidă singur dacă acceptă să includă în holarhie, fără să propună asta restului holarhiei. Așa cum se vede în Fig.15, Holonul 124, în faza de propunere întreabă Holonul 24 să facă parte dintr-o nouă holarhie, fără să întrebe Holonul 123 despre acceptarea lui 24, deși în același timp, Holonul 123 este de asemenea întrebat dacă acceptă să fie parte din holarhie. În holarhia prezentată am folosit comunicația asincronă, ceea ce înseamnă că holonul care trimite propuneri continuă să raționeze și să

acționeze, până când replica sosește la un timp decalat. În continuare se descriu caracteristicile fundamentale care caracterizează holarhia.

### Mediu

O proprietate fundamentală care caracterizează “lumea”, din punctul de vedere a unui holon este mediul în care activează. Afirmăm că lumea este în totalitate observabilă pentru un holon, dacă acesta cunoaște starea lumii și parțial observabilă, dacă nu o cunoaște în totalitate.

Holonii se confruntă cu medii care pot fi statice sau dinamice (se schimbă în timpul acțiunilor holonilor. În abordarea noastră, mediul este dinamic, deoarece proprietatea unei suprafețe se schimbă de la un holon la altul (ca o consecință la formarea de noi holarhii).

Într-o holarhie, prezența mai multor holoni face ca mediul, din punct de vedere a unui holon să pară dinamic. Acest lucru poate cauza probleme, de exemplu în cazul unor holoni concurenți se poate observa o comportare instabilă. Din acest motiv concluzionăm că mediul scenei poate fi doar unul dinamic.

### Percepția

Pentru a acționa în mod rațional, un holon trebuie să reflecte ceea ce cunoaște despre lumea înconjurătoare la momentul curent. Dacă starea lumii este total observabilă, un holon poate să gândească fără deliberare defensivă. Dacă starea lumii este parțial observabilă, holonul trebuie să ia în considerare ceea ce cunoaște, să comunice cu ceilalți holoni pentru a descoperi mediul în care acționează. Într-o holarhie, observabilitatea parțială forțează un holon să gândească interactiv, adică să ia în considerare informații trimise de ceilalți holoni în acțiunea curentă. Observabilitatea parțială poate să aibă consecințe variate în decizia holonilor. În abordarea noastră observabilitatea parțială descrie percepția unui holon.

### Controlul

Ideea cheie a conceptului holonic este controlul descentralizat pentru a crea o robustețe la scenarii necunoscute. Ideea filozofică din spatele conceptului este că, dacă un holon a făcut o greșală, rezultatul va fi ca unele dintre greșeli nu vor fi repetate de ceilalți din holarhie. “Pierderea” unui holon nu este importantă, orice holon poate să nască oricât de mulți holoni este nevoie. De asemenea, avantajul conceptului este că realitatea este văzută și

încercată de mai multe entități, în același timp, comportarea holonului cere o soluție bună și universal acceptată, care va fi copiată, și mai mult, se va căuta o îmbunătățire a acesteia.

#### Convenții sociale

Pentru a rezolva o problema de coordonare, un grup de holoni se confruntă cu problema alegerii acțiunilor lor pentru a rezulta un echilibru. O convenție socială (sau lege socială) este o constrângere la posibilele acțiuni ale holonilor. Poate fi privită ca o regulă care dictează cum holonii ar trebui să își aleagă acțiunile pentru a atinge un echilibru. Observabilitatea parțială are consecințe deosebite asupra convențiilor sociale.

Aceasta este datorată faptului că fiecare holon trebuie să ia în considerare opinia celorlalți holoni în luarea deciziilor, care poate să crească complexitatea problemei în mod semnificativ.

#### Negociere, nu licitație

Holonii nu dialoghează doar schimbând mesaje singulare, ei schimbă propuneri pentru a face negocieri. În cazul holarhiei propuse, holonii negociază dar nu fac licitații. În comparație cu sistemele holonice clasice, holonii noștri nu fac licitații, pentru că fiecare holon ocupă o singură culoare iar teritoriul nu este un scop comun disputat.

#### Holoni cu interese proprii și holoni cu interese comunitare

Holarhia utilizată folosește caracteristica holonilor de interes propriu în etapa de maximizare a teritoriului ocupat. În etapa a doua, de negociere, de unire în noi holarhii, holonii devin interesați de scopul comun, adică au interese comune. În faza de unificare a suprafețelor care nu aparțin niciunui holon, de dimensiune mică, ordonăm holonii lexicografic ca prioritate (holonul 1 are prioritate în fața holonului 2, și prin urmare unificarea noului teritoriu este făcută de holonul 1.



**Metoda pentru identificarea elementelor geometrice dintr-o imagine cu aplicatii la sculele aschietoare ale sistemelor tehnologice reconfigurabile.**

**Revendicari:**

1) Metoda pentru identificarea elementelor geometrice necunoscute din scena, **caracterizata prin aceea ca**, in prima etapa se descriu printr-un limbaj ambiguu formele elementelor geometrice cautate si se atribuie aleatoriu unor pozitii din scena un numar initial de holoni, care sunt inzestrati cu reguli de evolutie, operatii, legi instinct și sistem de cunoștințe dobândite, si care formeaza impreuna un model holarhic al scenei, iar in a doua etapa, aplicand regulile cu care sunt inzestrati, holonii ocupa toata regiunea avand aceeași culoare cu culoarea pozitiei initiale, urmand ca in a treia etapa holonii sa negocieze si sa realizeze contopirea regiunilor ocupate, criteriul negocierii fiind apropierea formei regiunii ocupata de fiecare holon de forma elementelor geometrice necunoscute cautate, incat, in final, regiunile ocupate de holonii astfel rezultati reprezinta elementele geometrice cautate in scena.

Lista figurilor:

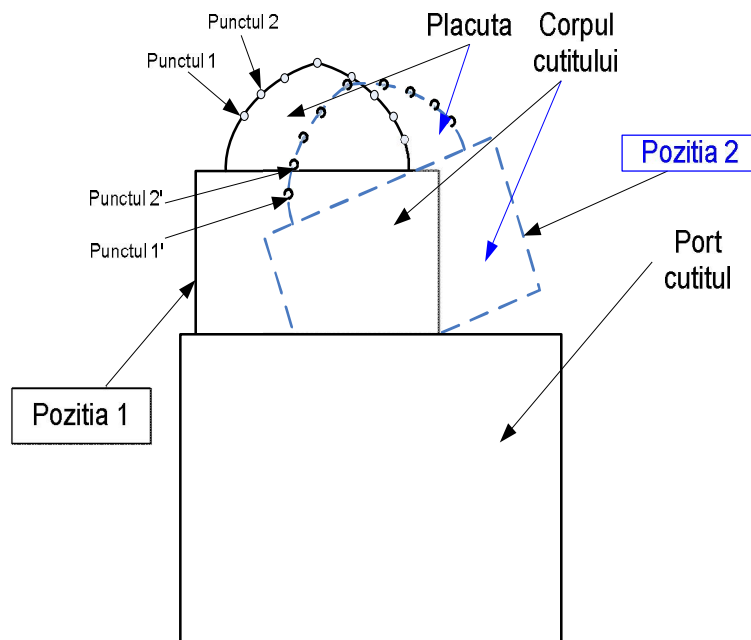


Fig.1 Problema de identificare a profilului



Fig.2 Scena cuțitului

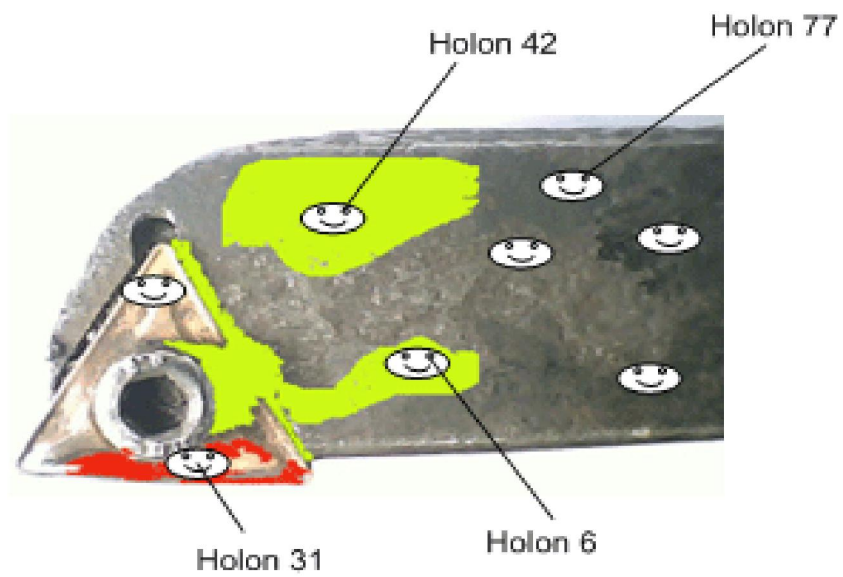


Fig. 3. Holonii care au ocupat regiuni ( cu galben).

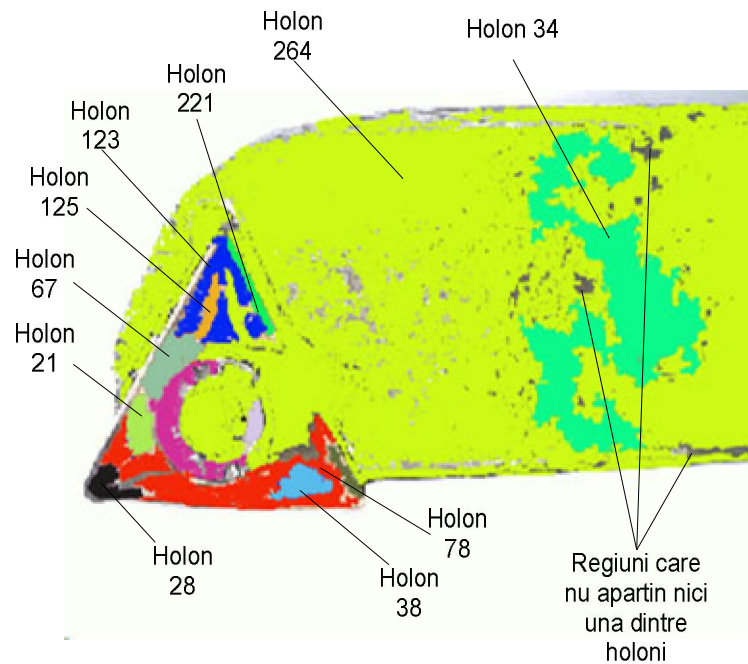


Fig. 4 Regiunile ocupate de holoni după prima etapă.

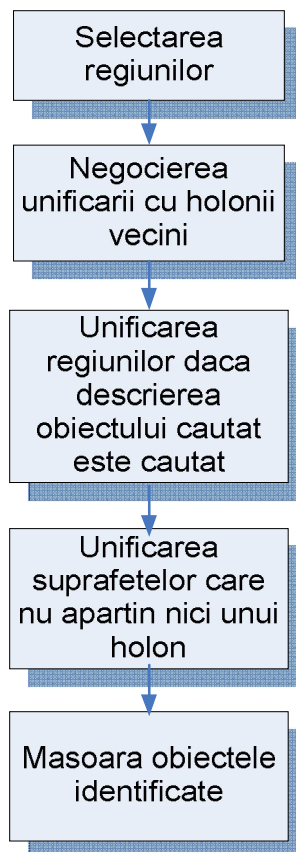


Fig.5 Algoritmul conceptul folosind abordarea holonică

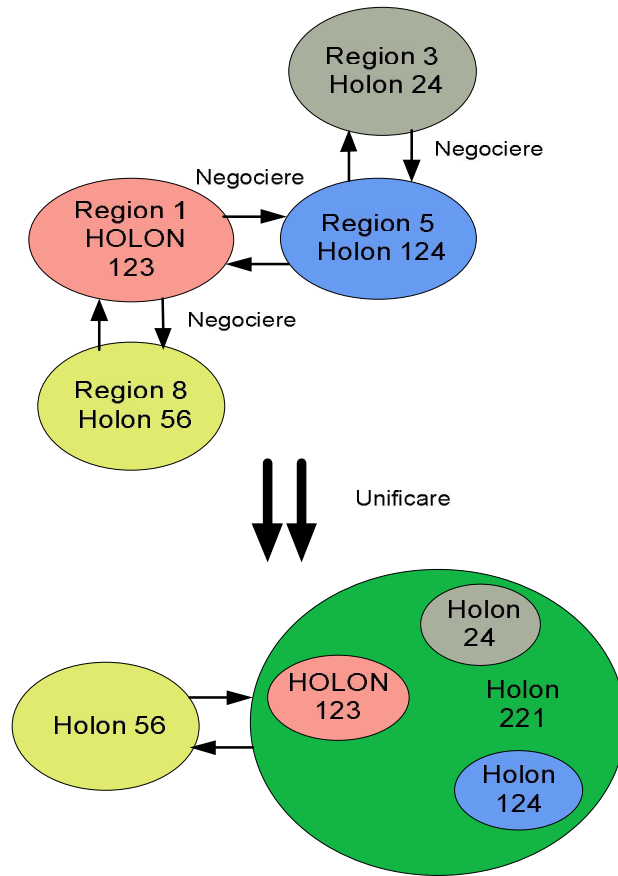


Fig.6 Negociere inter-holonică pentru a forma un nou holon.

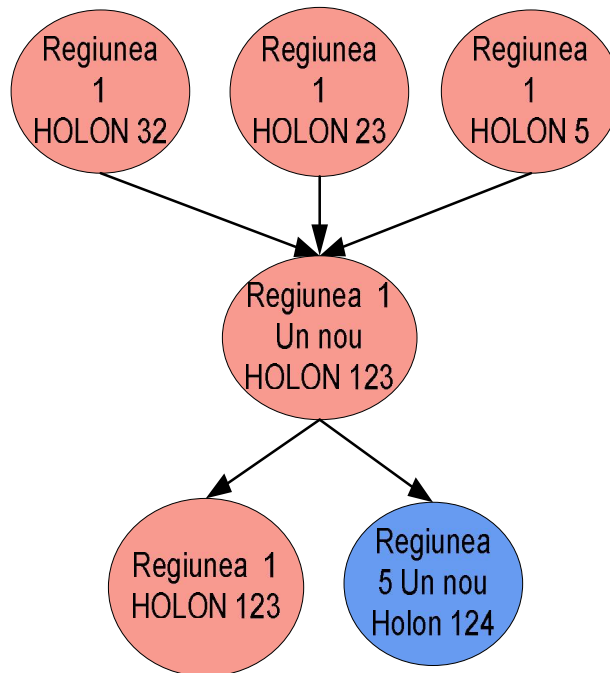


Fig.7 Recurența holonică.

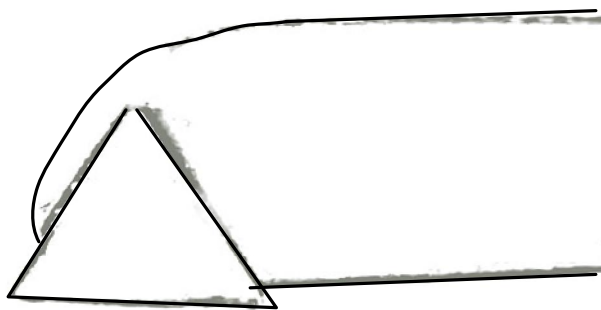


Fig.8 Două obiecte identificate prin descrierea geometrică.

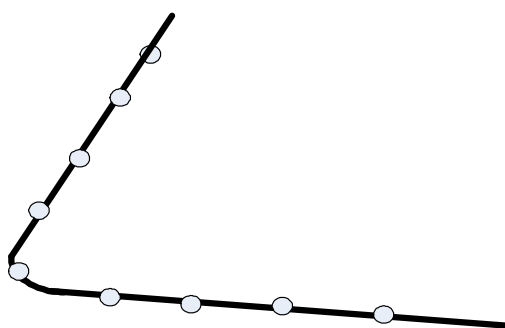


Fig.9 Punctele remarcabile de pe profilul plăcuței

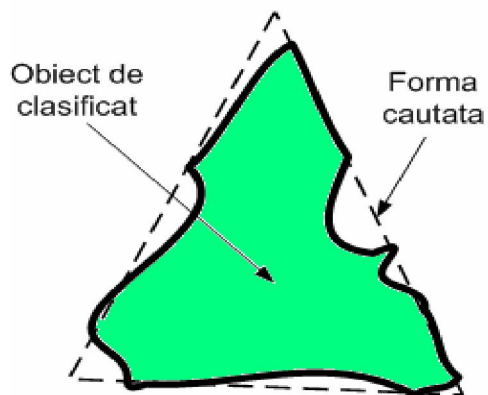


Fig.10 Obiectul de clasificat, identificat ca triunghi cu eroare geometrică mai mică ca 25%

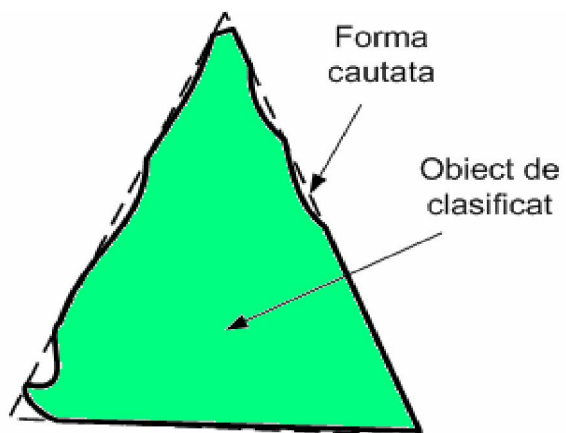


Fig.11 Obiectul de clasificat, identificat ca triunghi cu eroare geometrică mai mică ca 25%

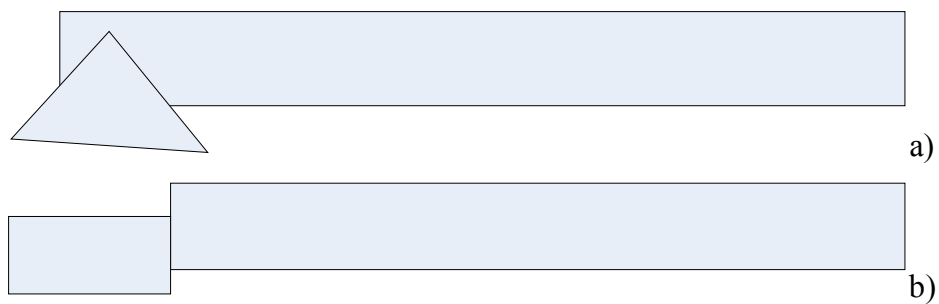


Fig.12 Două configurații de cuțite descrise în limbajul specific



Fig. 13 Scena de identificat

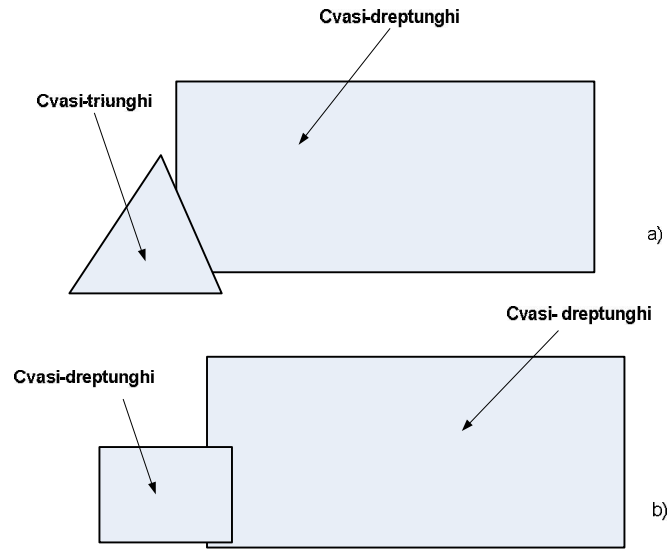


Fig.14 Reprezentarea ambiguă a scenei

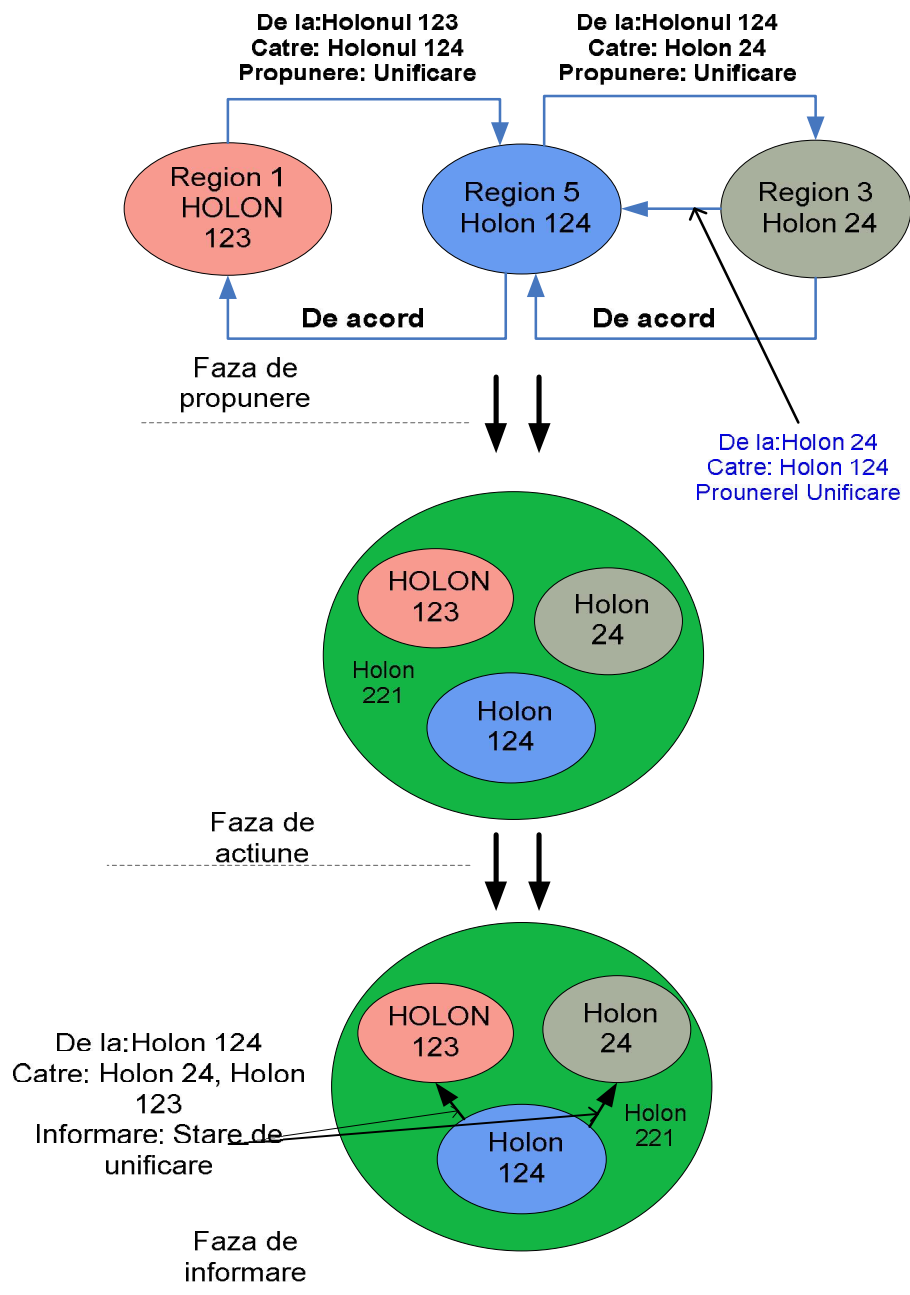


Fig. 15 Fazele constituirii holarhiei finale



## CERERE DE BREVET DE INVENTIE



Nr. solicitant/mandatar	referinta	Registratura OSIM (numarul si data primirii):
-------------------------	-----------	---

<u>Numarul cererii de brevet de inventie</u>	
<u>Data primirii la Registratura Generala a OSIM - R.4(5)</u>	
<u>Data de depozit - R.8(1)</u>	
<u>Data primirii partii lipsa la Registratura Generala a OSIM - R.4(7),(8)</u>	
<u>Data de depozit noua - R.8(1)</u>	
<u>Data primirii cererii de retragere a partii lipsa la Registratura Generala a OSIM -</u>	
<u>Data de depozit atribuita cererii de brevet - R.8(14)</u>	

<b>1.</b>	<b>Solicitanți</b>	(nume/denumire,
	Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati, str. Domneasca, nr.111, cod 800201,	

2. Solicitam în baza art	Legii nr. 64/1991, republicata în temeiul Legii nr. 203/2002, un brevet pentru inventia cu titlul: <b>METODA PENTRU IDENTIFICAREA ELEMENTELOR GEOMETRICE DINTR-O IMAGINE CU APLICATII LA SCULELE ASCHIETOARE ALE SISTEMELOR</b>
2.1. Referinta la o cerere anterioara (numar, data de depozit, tara/oficiul):	

<b>3. Declaram ca inventatorii sunt:</b>	
<b>3.1</b>	<b>aceiași cu solicitanții</b> (nume, prenume si loc de munca la data creării invenției)

--

**3.2 Persoanele din "Declarația privind desemnarea inventatorilor" care se anexează**

**4.** Declaram ca invenția conține informații care au fost clasificate de către (denumirea, data și nivelul

**5.** Rezumatul se publică împreună cu figura numărul:1

**6.** Priorități revendicate (stat, data depozit,

**7.** Priorități interne revendicate (număr cerere, data

**8.** Cererea de brevet este divizionară din cererea (număr, data

**9.** Proceduri solicitate la data depunerii

**9.1.** Publicarea de urgență a cererii, conform art. 23, alin. 3

**9.2.** Întocmirea unui raport de documentare, conform art. 24

**9.3.** Examinarea cererii cu luarea hotărârii în termen de 18 luni de la data de depozit, conform art. 25

**9.4.** Menținerea informațiilor la nivelul de clasificare atribuit, conform regulii 7

**10.** Solicitantul desemnat pentru corespondența cu OSIM: prof. dr. ing. Epureanu Alexandru

**11.** Adresa solicitantului/mandatarului pentru corespondența cu OSIM:

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Str. Domnească 111, 800201, Galați

Tel: 0722362606 Fax: 0236461353 E-mail:alexandru.epureanu@ugal.ro

<b>13. Semnată</b>	Prezentare prin mandatar	pr	procura generala nr./data:
solicitanți/mandatar:			

14. Documente depuse la OSIM de	15. Documente
14.1. Formular de cerere	în
14.2. Descriere	în
14.3. Revendicari	în
14.4. Desene	în
14.5. Rezumat	în
14.6. Lista de secvențe de nucleotide și/sau	
14.6.1. prezentată pe suport hârtie	în
14.6.2. prezentată pe suport electronic	tip în
14.7. Document privind dreptul la acordarea	
14.8. Document privind desemnarea inventatorilor	a .... file
14.9. Procura/copie procura generala	a .... file
14.10. Document referitor la plata taxelor	a .... file
14.11. Act privind acordarea reducerii taxelor	a .... file
14.12. Autorizația privind transmiterea dreptului	a .... file
14.13. Act de prioritate	a .... file
14.14. Act referitor la depozitul microorganismului/materialului biologic	a .... file
14.15. Document privind o divulgare a invenției conform art.9 din lege	a .... file
14.16. Copie/traducere a cererii anterioare de la	a .... file
14.17. Alte documente	a .... file

OSIM (semnatura, LS)

## ***Declarație***

***continand desemnarea inventatorilor inventiei cu titlul:***

**METODA PENTRU IDENTIFICAREA ELEMENTELOR  
GEOMETRICE DINTR-O IMAGINE CU APLICATII LA  
SCULELE ASCHIETOARE ALE SISTEMELOR TEHNOLOGICE  
RECONFIGURABILE**

*Aceasta declaratie este facuta în conformitate cu prevederile art. 14 alin. 2 si Regulii 20E si trebuie depusa în termen de 18 luni de la data solicitarii examinarii în fond a cererii de brevet de inventie, conform Regulii 20E alin. (11).*

***Nume si prenume: Marinescu Vasilică***

***Adresa: str. George Coșbuc, nr. 37, bloc C20, ap. 35, cod800350***

***Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati***

***Nume si prenume: Epureanu Alexandru***

***Adresa: str. Lapusneanu, nr. 16, bl. B 6, ap. 16, Galati, cod 800072***

***Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati***

***Nume si prenume: Banu Mihaela***

***Adresa: str. Saturn, nr. 10, bl. B 2, ap. 28, Galati, cod 800344***

***Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati***

***Nume si prenume: Constantin Ionut***

<b>Adresa: str. Domneasca, nr. 71, bl. B, ap. 33, Galati, cod 800215</b>
<b>Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati</b>
<b>Nume si prenume: Marin Florin Bogdan</b>
<b>Adresa: str.Tecuciul Nou nr.15, Tecuci, 805300, România</b>
<b>Locul de munca la data crearii inventiei: Universitatea Dunarea de Jos din Galati</b>
<p style="text-align: center;"><i>Alti inventatori sunt înscrisi în pagina urmatoare</i></p> <p><input type="checkbox"/></p>
<p><b>Semnatura solicitantului sau a mandatarului autorizat (numele si prenumele precum si calitatea persoanei cu capacitate de reprezentare a solicitantului sau a mandatarului autorizat):</b></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>Mînzu Viorel</i></p> <p>Semnatura: _____</p> <p>Data: _____</p> <p>L.S. _____</p>

**[3] Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme**, Lucian Vasiliu, Marinescu Vasilică, Mihaela Banu, Gabriel Frumusanu, Epureanu Alexandru

## **Rezumat**

Dispozitivul este destinat prelucrării prin alezare a pieselor cu dimensiuni extreme, fixate în structuri metalice care nu pot fi aduse în ateliere specializate în vederea executării acestor prelucrări. Acesta este format dintr-un ax principal 1, fixat la locul de prelucrare, pe care în canale frezate sunt amplasate axele 2, 22 ce transmit mișcări de rotație celor două componente ale portcutitului. Acesta este alcătuit din coroanele 4 danturate interior, bucele 5, 6 și 26, sateliții 24, 25, 30 și 31. Mișcarea principală de rotație a portcutitului este dată de bucele 5 și 6, care se rotesc cu aceeași turată și în același sens. Pentru realizarea avansului radial controlat al sculei, buca 6 este excentrică față de axa geometrică de rotație, cutitul de alezat fiind așezat în buca 26, avansul sau retragerea făcându-se prin decalarea mișcării bucelor 5 și 6 una față de alta în timpul rotației sau în staționare înainte de intrarea în regimul de lucru. Pinionul 33 transmite portcutitului mișcarea de avans axial, utilizând suruburi conducătoare plasate de asemenea în canale frezate în axul principal pe generatoare.

## **Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme**

Invenția se referă la un dispozitiv destinat prelucrării alezajelor mari ale pieselor cu dimensiuni extreme, situate la locul construcției sau al exploatarei, cum ar fi, de exemplu bucele de ghidare ale tubului etambou al navelor, etambreul, balamalele de dimensiuni mari, diversele articulații.

Sunt cunoscute dispozitive care execută aceste operații, cu cinematica simplă, constând în rotirea unei bare simplu rezemate pe două lagare de alunecare, cu lungime adecvată piesei de prelucrat, pe care este plasat un portcutit ce poate culisa în lungul acestei bare, asigurând avansul axial al sculei.

Construcția actuală a acestor dispozitive prezintă următoarele dezavantaje:

- lipsește posibilitatea reglării poziției sculei pe direcție radială, acest lucru fiind posibil doar manual, când scula este retrasă la capatul liber, unde se găsește operatorul;

- lipsește posibilitatea unui control dimensional în timpul prelucrării, acesta fiind posibil numai după ce bara a fost îndepărtată;

- dispozitivele utilizate nu prezintă un grad suficient de universalitate, fiind necesară construirea unui dispozitiv nou, în funcție de proiectul de execuție, care să se adapteze condițiilor reale.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în compensarea locală, on-line, a erorii dimensionale a suprafeței prelucrate.

Prezenta invenție înlătură dezavantajele actualelor construcții prin aceea că, în scopul creșterii securității în muncă și a eliminării erorilor sistematice introduse de lagarele de alunecare, mișcarea de rotație a barei de alezat este eliminată, portcutitul executând controlat atât mișcarea de rotație cât și cea de avans axial și prin aceea că, în scopul modificării poziției radiale a sculei, fie la începutul fiecărei treceri, în vederea reglării adâncimii de aschiere, fie în timpul prelucrării, în

vederea compensării erorii dimensionale, portcutitul este un inel, plasat pe suprafața exterioară, excentrică, a unei bucse iar o altă bucsă, coaxială cu aceasta, rotește portcutitul, în raport cu prima, modificând astfel distanța de la vârful cutitului până la axa comună a celor două bucse și prin aceea că, atât pentru rotirea cutitului în mișcarea principală de aschiere, cât și pentru avansul radial al acestuia, cele două bucse primesc, printr-un diferențial, atât mișcarea lor de rotație sincronă, cât și mișcarea necesară modificării poziției unghiulare relative, aceasta din urmă determinând avansul radial al sculei.

Se prezintă, în continuare, un exemplu de aplicare a invenției, în legătură cu figurile 1 ... 4:

- figura 1 - secțiune a ansamblului cu evidențierea mișcării principale de aschiere împreună cu o secțiune radială A-A

- figura 2 - secțiune axială pentru evidențierea cinematicii mișcării de avans axial;

- figura 3 - schema cinematică;

- figura 4 a și b - prototipul dispozitivului, realizat la scară 1:10.

Pentru punerea în evidență a funcționării întregului mecanism, se face precizarea că în figurile 1 și 2 notarea reperelor este identică.

### **Mișcarea principală de aschiere**

În figura 1, mișcarea de rotație este dată de un electromotor care antrenează axul 13. De la acest ax, mișcarea este transmisă pe două cai. Prin roțile dinate 8 și 9, mișcarea de rotație se transmite axului cu secțiune hexagonală 2, de la care preiau mișcarea roțile 30 și 31, care culisează în lungul axului principal în canalul frezat și o transmit la coroana 4, care este parte componentă a primului subansamblu al portcutitului. A doua cale de transmitere a mișcării este prin reductorul planetar tip 2K-H, respectiv roata solară 14, sateliții 16, coroana 15,



portsatelitul 11, ansamblul de roți dintate 10 și 19. Ca și în primul caz, de aici mișcarea este preluată de celălalt ax cu secțiune hexagonală 22, ansamblul de roți culisante 25 și 24 conducând la imprimarea mișcării de rotație celeilalte coroane 4 și, implicit, celuilalt subansamblu principal al portcutitului. Prin geometria angrenajelor implicate în transmiterea mișcării de rotație se are în vedere ca ambele subansamble ale portcutitului să aibă rotație sincronă.

### **Miscarea de avans axial**

Asa după cum se observă în figura 2, mișcarea provenind de la un electromotor este transmisă ansamblului roților dintate 38, 33 și 43, suruburilor conducătoare 44 și 45, care se vor roti cu aceeași turatie. Flansele de capăt 29, care culisează în lungul axului, fiind profilate corespunzător și fiind filetate în zona de asamblare cu suruburile conducătoare, transmit bucsei 37, de care sunt fixate prin suruburile 39, mișcarea de translație provenită din transformarea rotației suruburilor conducătoare.

### **Miscarea de avans radial**

Asa după cum reiese din figura 1, melcul 12, fixat axial în lagarele sale, menține fixă roata melcată 15, cu care este în angrenare. Această roată melcată este danturată interior și formează coroana pentru reductorul planetar utilizat la imprimarea mișcării de rotație celui de-al doilea subansamblu principal al portcutitului. Prin rotirea melcului, mișcarea se transmite roții melcate 15, sateliților 16, roților dintate 10 și 19 și axului 22, iar apoi, prin ansamblul 25-24, la coroana portcutitului. În acest mod se acționează asupra unui singur subansamblu al portcutitului, celălalt rămânând pe loc, sau, dacă sunt în mișcare de rotație, are loc o mișcare relativă între cele două părți componente, provocând o întârziere a uneia față de alta. În acest fel se produce un avans sau o retragere a sculei care este amplasată pe inelul 26, inel care respectă legea mișcării de rotație dată de inelul 5

cu care se afla legat prin intermediul boltului 40, respectiv legea de miscare excentrica fata de axa de rotatie data de partea excentrica a bucei 6 pe care este amplasat.

### **Portcutitul**

Este un ansamblu complex compus din doua subansamble principale. In figura 1 se observa cele doua subansamble principale – unul format din componentele 4, 5 si 26, iar celalalt din 6 si 4. Ele sunt montate pe buca 37 prin rulmentii radial-axiali cu role conice 28. Flansele de capat 29, care executa miscarea de translatie, transmit aceasta miscare componentelor portcutitului prin intermediul rulmentilor axiali 7. Se folosesc acesti rulmenti pentru eliminarea frecarii intre flansele de capat 29, care nu executa miscare de rotatie, si inelele exterioare ale rulmentilor 28. Cele doua subansamble distincte ale portcutitului sunt asamblate prin suruburile 27 si, la randul lor, montate pe buca 37, prin suruburile 39. Inelul 26 in care este fixat cutitul pentru alezat este antrenat in miscare de rotatie de buca 5, prin boltul 40.

Dispozitivul, conform inventiei, prezinta urmatoarele avantaje:

- este o constructie simpla;
- ofera posibilitatea corectiei la diverse treceri;
- axul principal nu executa miscare de rotatie, conducand la cresterea securitatii in munca a operatorului;
- reduce aparitia erorilor cauzate de cumularea de jocuri in sistem;
- poate executa prelucrari frontale atat la capete cat si in interior daca proiectul impune acest lucru;
- creste intr-o limita modesta gradul de universalitate, acesta fiind limitat eventual de stabilitatea sistemului format.

### **Referințe bibliografice**

1. Crudu I; Stefanescu I; Panturu D; Palaghian L. *Atlas reductoare cu roti dintate*, EDP Bucuresti 1982
2. Vasiliu, L. Epureanu, Al. & Frumușanu, G. (2009). *Errors Evaluation at Ship Stern Tube Bushes Manufacturing Process*, The Annals of „Dunărea de Jos” University, Fascicle V – Technologies in Machine Building, Year XXVII (XXXII), p.411-414, ISSN 1221-4566.
3. Vasiliu, L. et al. (2009). *Increasing of the Stern Tube Bushes Precision by On-Line Adaptive Control of the Cutting Process*, in Proceedings of the 5<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Dynamical Systems and Control (CONTROL'09), University of La Laguna, Tenerife, Spain, p.102-106, ISBN 978-960-474-094-9, ISSN 1790-2769.
4. Vasiliu, L. Epureanu, Al. & Frumușanu, G. (2010). *Some possibilities for stern-tube bushes inner surfaces machining with dimensional adaptive control*, Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference ModTech 2010, Slanic Moldova, Romania, p.663-666, ISSN 2066-3919.

## Revendicari

1. Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme, caracterizat prin aceea ca, in scopul diminuarii erorilor provenite de la jocul caracteristic lagarelor de alunecare, miscarea de rotatie a axului principal este anulata, portcutitul executand miscari combinate de rotatie si de avans axial.

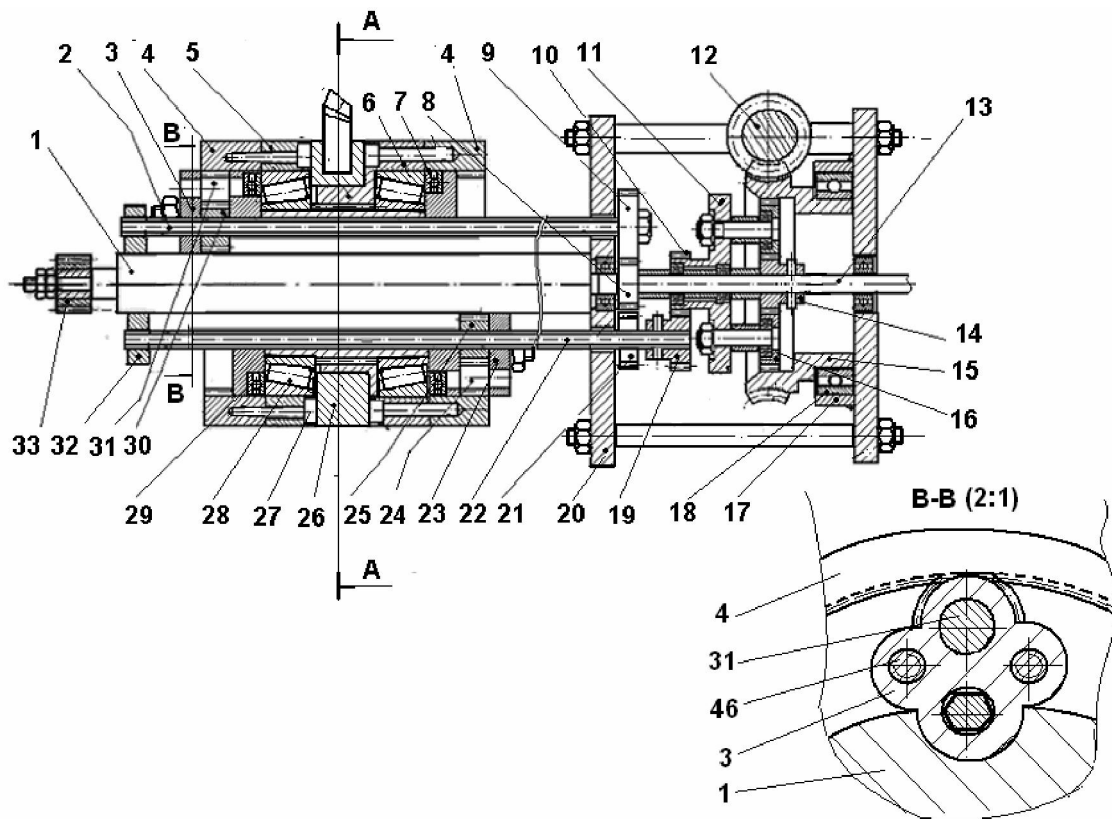
2. Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme, potrivit revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, in scopul modificarii pozitiei radiale a sculei, fie la inceputul fiecarei treceri, in vederea reglarii adancimii de aschiere, fie in timpul prelucrarii, in vederea compensarii erorii dimensionale, portcutitul este un inel 26, figura 1, plasat pe suprafata exterioara, excentrica, a unei bucese 6, iar o alta bucsa 5, coaxiala cu aceasta, roteste portcutitul, in raport cu prima, modificand astfel distanta de la varful cutitului pana la axa comuna a celor doua bucese.

3. Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme, potrivit revendicarii 2, caracterizat prin aceea ca, atat pentru rotirea cutitului in miscarea principala de aschiere, cat si pentru avansul radial al acestuia, cele doua bucese primesc, printr-un differential, atat miscarea lor de rotatie sincrona, cat si miscarea necesara modificarii pozitiei unghiulare relative, aceasta din urma determinand avansul radial al sculei.

4. Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme, potrivit revendicarii 3, caracterizat prin aceea ca transmiterea miscarii de rotatie la portcutitul compus se face prin intermediul a doua axe canelate plasate in canale frezate in lungul axului principal al dispozitivului. Miscarea de rotatie este transmisa prin axele 2 si 22, figura 1, preluata apoi de ansamblele de roti dintate 30 si 31 transmit miscarea la un subansamblu al portcutitului, respectiv prin prin rotile 25 si 24 la celalalt subansamblu al portcutitului.

5. Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme, potrivit revendicarii 4, caracterizat prin aceea ca utilizeaza un reductor compus, destinat pe de o parte transmiterii sincrone a miscarii la axele canelate 2 si 22, iar pe de alta parte, prin intermediul melcului care angreneaza cu roata solara a reductorului planetar tip 2K-H din figura 1, se poate realiza decalarea unghiulara a celor doua axe una fata de cealalta, conducand la avansul sau retragerea sculei pe directie radiala.

6. Dispozitiv pentru compensarea erorilor sistematice la alezarea pieselor cu dimensiuni extreme, potrivit revendicarii 5, caracterizat prin aceea ca actionarea angrenajului melc – roata melcata, in vederea compensarii on-line a erorilor se realizează prin intermediul unui motor pas cu pas, figura 3.



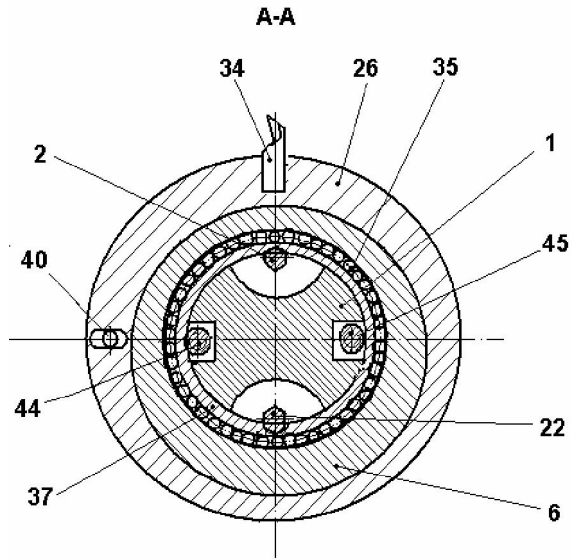


Figura 1

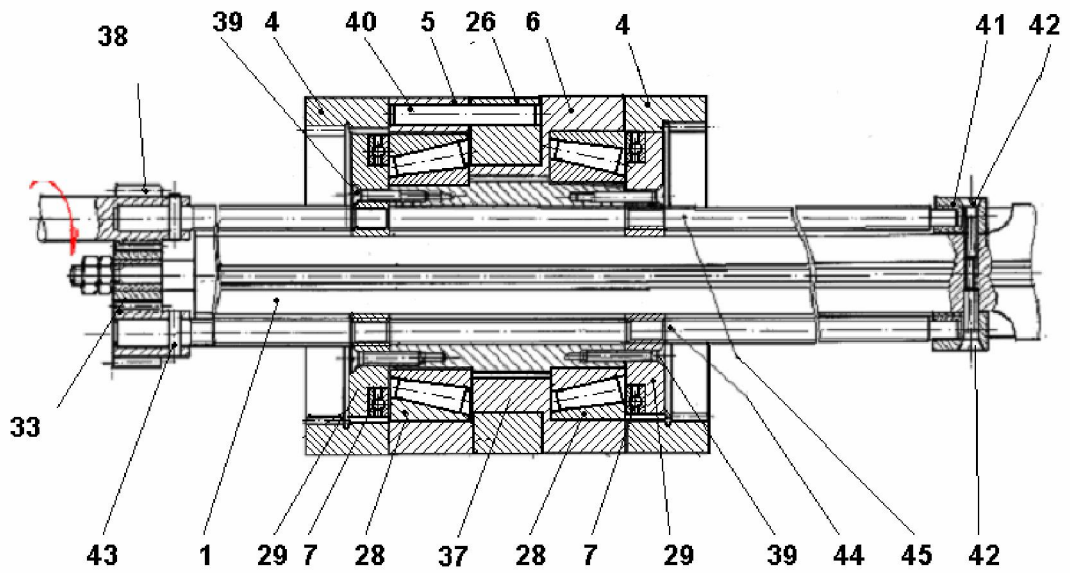


Figura 2

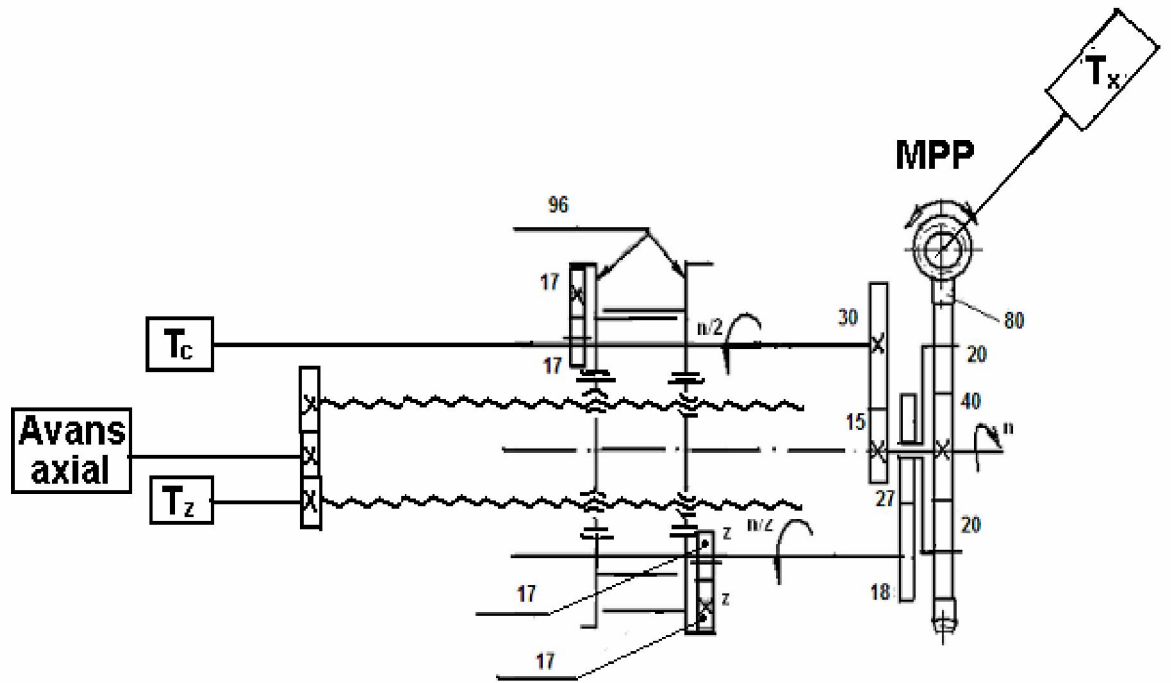


Figura 3

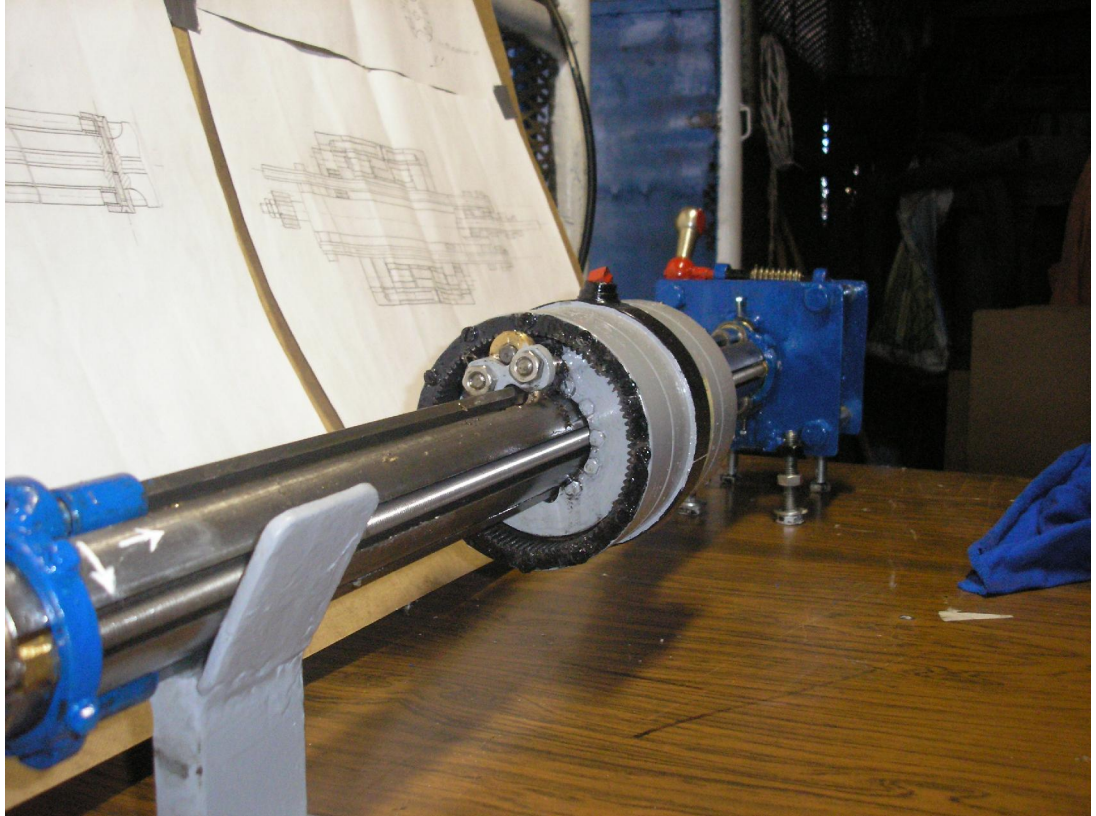


Figura 4.a



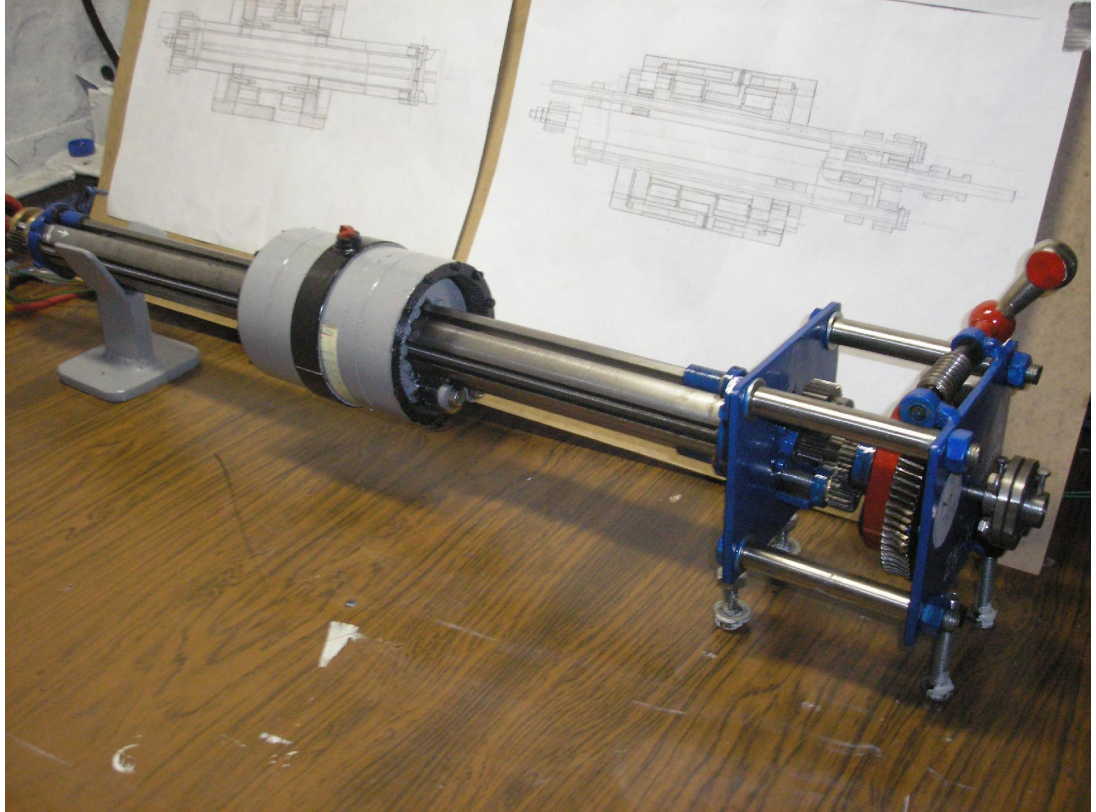


Figura 4.b