



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 01137

(22) Data de depozit: 19.11.2010

(41) Data publicării cererii:  
29.06.2012 BOPI nr. 6/2012

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS"  
GALAȚI, STR. DOMNEASCĂ NR. 47,  
GALAȚI, GL, RO

(72) Inventatori:  
• MARINESCU VASILICĂ,  
STR. GEORGE COȘBUC NR.37, BL.C 20,  
AP.35, GALAȚI, GL, RO;

• EPUREANU ALEXANDRU,  
STR. ALEXANDRU LĂPUȘNEANU NR.16,  
BL.B6, AP.16, GALAȚI, GL, RO;  
• BANU MIHAELA, STR.SATURN NR.10,  
BL.B2, SC.3, AP.28, GALAȚI, GL, RO;  
• CONSTANTIN IONUȚ, STR.DOMNEASCĂ  
NR.71, BL.B, AP.33, GALAȚI, GL, RO;  
• BOGDAN MARIN FLORIN,  
STR. TECUCIUL NOU NR.15, TECUCI, GJ,  
RO

(54) METODĂ DE CONDUCERE HOLARHIC-ATRIBUTIVĂ A SISTEMELOR TEHNOLOGICE, BAZATĂ PE ÎNVĂȚARE ONLINE NESUPERVIZATĂ ȘI PLANIFICAREA REACTIVĂ A PROCESULUI

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de conducere holarhic-atributivă a sistemelor tehnologice, bazată pe învățare online nesupervizată și planificarea reactivă a procesului, în scopul folosirii complete a capacităților tehnologice ale sistemelor, cum ar fi puterea maximă, forța maximă de așchiere, domeniul de așchiere stabil. Metoda conform invenției constă din: o primă etapă, în care procesul de prelucrare este discretizat într-un număr mare de cuante de proces, în scopul utilizării complete a capacităților sistemului tehnologic, fiecărei cuante fiindu-i stabilite durată, valorile optime ale parametrilor procesului, în funcție de valorile momentane și locale ale caracteristicilor tehnologice, și comenzile ce trebuie date sistemelor de acționare, pe durata respectivei cuante de proces, astfel încât programul piesă este o planificare a succesiunii cuantelor de proces date, la intervale cunoscute de timp; a doua etapă, în care, în cadrul aceluiași lot, în scopul utilizării complete a capacităților sistemului tehnologic, anumite constante ale algoritmului de planificare a succesiunii cuantelor de proces pot fi periodic reactualizate, ceea ce face ca șirul comenzilor date sistemelor de acționare să fie, de asemenea, reactualizat; și a treia etapă, în care discretizarea procesului de prelucrare în cuante de proces, în scopul diminuării timpului de calcul, se face prin modelarea ansamblului cuantelor de proces ca o

populație holonică, înzestrată cu reguli de evoluție, operații, legi instinct și sistem de cunoștințe, care astfel devine o structură operațională evolutivă, a cărei evoluție duce la soluția optimală a problemei cuantificării procesului.

Revendicări: 3  
Figuri: 29

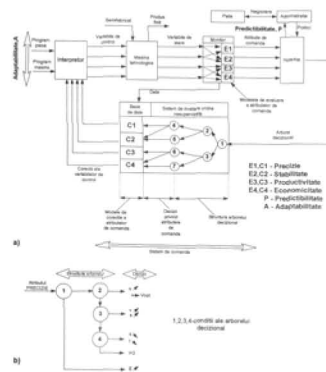


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



# 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 tehnologic, 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 tehnologic se modifica in limite largi, in timp ce parametrii procesului, ajustati astfel incat sa asigure stabilitatea procesului, integritatea sistemului tehnologic si precizia pesei prelucrate raman constanti. 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 fiind-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 generarii 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.

De jos se prezinta un exemplu de aplicare a inventiei la conducerea unei masini unelte cu caracteristici nefigurabile, in legatura cu urmatoarele figuri:

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENTII SI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. <u>a 2400 01137</u>
Data depozit <u>19-11-2010</u>

- 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 proces-masina
- Fig.4 Structura holonului proces-masina
- Fig.5 Modelul conceptual al holonului control operational
- Fig.6 Integritatea 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 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.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)  $R_z = 39 - 8$  poziții succesive, b)  $R_z = 25 - 9$  poziții succesive c)  $R_z = 21 - 11$  poziții succesive
- Fig.26 Comparație de productivitate între sistemul propus și sistemele actuale a)  $R_z = 35$  cazul 5 poziționări succesive b)  $R_z = 35 - 9$  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) si c) au profiluri ale suprafeței finale diferite
- Fig.29 Comparație între rezultatele obținute folosind varianta de modelarea holonică și căutarea exhaustivă. a) căutare exhaustivă; b) modelarea holonică.

**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.

Intrucat nivelul celor șase atribute de mai sus caracterizează, nu numai comportarea, dar și măsura în care mașina satisface cerințele pietei, aceste atribute vor fi folosite pentru conducerea mașinii tehnologice și vor fi denumite în continuare atribute de comandă.

Aceste atribute își modifică nivelul funcție de valorile unora dintre marimile de stare ale mașinii, care 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 corecția variabilelor de control.

În figura 1 se prezintă schema principială a noului concept de conducere a mașinilor tehnologice, potrivit invenției și anume conducerea prin modelare holarhic-atributivă și învățare online nesupervizată. În timpul transformării semifabricatului în produs finit (în conformitate cu

programul piesa), monitorii 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 inezestrati 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:

- *Holomul-proces-masina* este conceput ca avand modelul din figura 3 si structura din figura 4;
- *Holomul control operational* este conceput ca avand structura din figura 5;
- *Holomul control canonic* are la intrare valorile curente ale atributelor si ajustarile de politica impuse de strategie iar la iesire schimbarile de reguli conventionale necesare;
- *Holomul 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 mode, 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.

19-11-2010

Pasul 4: *Studiul spațiului stărilor*. Pornind de la observația că, în procesul de prelucrare a unui lot de produse identice, starea sistemului evoluează după o traiectorie închisă, traiectorie descrisă de programul mașinii, se poate accepta ideea că traiectoriile succesive nu sunt foarte diferite. Diferențele ce pot apărea sunt datorate faptului că semifabricatele folosite nu sunt perfect identice sau faptului că, în timp, comportarea sistemului evoluează. Întrucât amplitudinea diferențelor sau a efectului evoluției comportării sistemului este mică, este de așteptat ca și abaterea de la traiectoria programată să fie mică. De aceea, în fiecare punct al traiectoriei stărilor mașinii tehnologice, ecuația de stare poate fi linearizată prin dezvoltare în serie Taylor și reținerea termenului de grad I. Pe această bază se poate cu ușurință identifica online ecuația de stare, în fiecare element structural al spațiului de învățare.

Pasul 5: *Studiul spațiului tranzițiilor*. Definind tranziția mașinii tehnologice de la o stare la alta și stabilind o metrică adecvată, se poate defini un spațiu al tranzițiilor, iar în acesta, prin clustering, se pot stabili clase de echivalență. În controlul predictiv al mașinii tehnologice, analogia tranzițiilor poate servi ca bază pentru prognoza stărilor. În acest scop, sistemul de învățare online nesupervizată include în algoritmul sau acest pas.

#### **4. Integrarea modelului și a algoritmului în conceptul de conducere prin modelare holarhic-atributivă și învățare online nesupervizată**

În figura 6 se prezintă modul în care algoritmul de învățare online nesupervizată este alimentat cu date de intrare, precum și modul în care se obțin aceste date, pe de o parte, și pe de altă parte, structura ieșirilor, precum și elementele către 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 altă 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 buclilor interne de control, care asigură controlul modulelor componente. În acest fel, comanda de interacție dintre modulele componente constă doar în simpla modificare online a valorii de referință.

O unitate de control logică transmite buclilor 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 definitorii 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 rafinat gurabile, bazându-ne pe următoarele argumente:

- arhitecturile 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 are 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 modulului. 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 PLC-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  $Dx$  dintre valoarea de referință a variabilei de control și valoarea curentă a acesteia.

În funcție de sensul și mărimea diferenței  $Dx$ , se comandă variatorul motorului, astfel încât acesta să se rotească în sensul micșorării diferenței  $Dx$ , 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 cutitului 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 *UCI* comandă modulelor hardware corespunzătoare pentru rotația sculei în rotație 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, sau al.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 constă 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.



## 5. Mecelarea cinematicii procesului de prelucrare și aplicarea acesteia la conducerea optimizată 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 această exigență 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 altă 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 comandată 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 așchiei ( $L_{adm}$ ), aria admisibilă a secțiunii așchiei ( $A_{adm}$ ) și grosimea admisibilă a așchiei ( $a_{adm}$ ), 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. 15, 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  $\phi(k)$ ,  $Z(k)$ ,  $X(k)$ . 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  $\phi(k)$ , 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. Algoritm de optimizare este prezentat în Fig.17.

Pentru această poziție a sculei, se determină din calcul valorile variabilelor controlate,  $A_{ij}$ ,  $L_{ij}$ ,  $a_{ij}$ ,  $R_{zj}$ , apoi se testează dacă sunt satisfăcute condițiile impuse  $A_{ij} < A_{adm}$ ,  $L_{ij} < L_{adm}$ ,  $a_{ij} < a_{adm}$ ,  $R_{zj} < R_z$  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:  $A_{ij} < A_{adm}$ ,  $L_{ij} < L_{adm}$ ,  $a_{ij} < a_{adm}$ ,  $R_{zj} < R_z$  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. Ciclu 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 așchii ( $A_{25/15}$ ) 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:  $R_z, A, a$ , și  $L$ , rezultate în urma calculului de maximizare a ariei așchii.

*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 uzare a sculei. Monitorizarea forței din proces se face folosind un senzor plasat în portucuit. 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															
12	16	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	5	72	134,14	161,92	47,45	176,1	95								
16	4	72	123,98	154,38	41,22	166,1	95								
17	14	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								
21	16	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								
25	15	90	87,92	69,85	79,63	114,5	95	10,9	2,56	0,23	19	11	1	1	

Tabelul 1. Traectoria mărimilor de stare (fragmentul corespunzător zonei  $i=12..25$  din Fig.18)

### 9.3 Varianta holonica a modelării cinematie

#### Descrierea algoritmului holonice 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 orluna. În același timp, în relație cu holarhia locală violet, holarhia roșie a mai născut încă un holon.
- 6) *Înțelegerea 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.

19-11-2010

**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

lmax = 180

lmax = 350

Amax = 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	Ai
124	23	437	437	-1	-1	-14	0	0	0	0	0
109	23	434	200	342	293	-14	2763	90	25	15	30
87	28	346	200	294	330	14	2792	100	49	25	27
71	29	282	200	256	338	26	2794	93	29	11	30
58	30	230	200	200	338	26	2789	86	26	10	32
45	28	178	200	126	330	14	2776	83	19	10	33
33	25	130	200	58	314	0	2755	85	13	10	32
25	24	98	200	3	293	-14	2796	82	12	4	34
8	29	30	200	4	338	26	1091	92	40	11	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 Lmax a modelului, determinată de constatarea instabilității din sistem, variabilele de control sunt modificate în consecință. 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 mării 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 așchiei și aria așchiei, 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 aceeași 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.

În 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.

**Metoda de conducere holarhic-atributiva a sistemelor tehnologice, bazata pe invatare online nesupervizata si planificarea reactiva a procesului**

**Revendicari:**

1) Metoda de conducere a sistemelor tehnologice, **caracterizata prin aceea ca**, 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 succesiunii cuantelor de proces, date, la intervale cunoscute de timp, sistemelor de actionare

2) Metoda de conducere a sistemelor tehnologice, conform revendicarii 1, **caracterizata prin aceea ca**, in scopul utilizarii complete a capabilitatilor sistemului tehnologic, desi acestea se modifica la trecerea de la un exemplar de semifabricat la altul, in cadrul aceluasi 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

3) Metoda de conducere a sistemelor tehnologice, conform revendicarii 1, **caracterizata prin aceea ca**, 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, inregistrata 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 a problemei cuantificarii procesului.

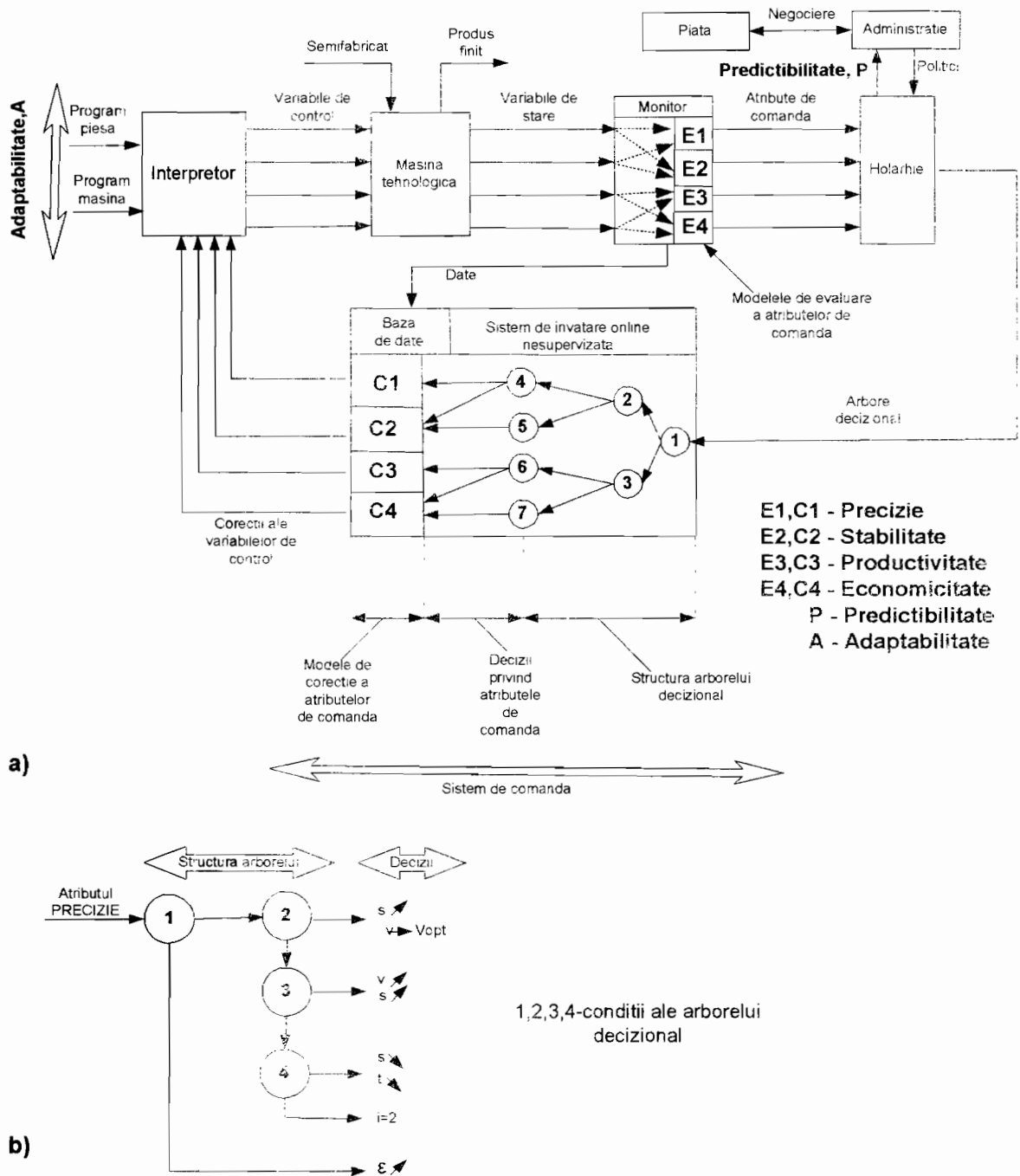


Fig 1 Schema principala a noului sistem de conducere a masinilor tehnologice(a) si schema unei ramuri a arborelui decizional al sistemului de conducere (b)



### Masina tehnologica (holarhie)

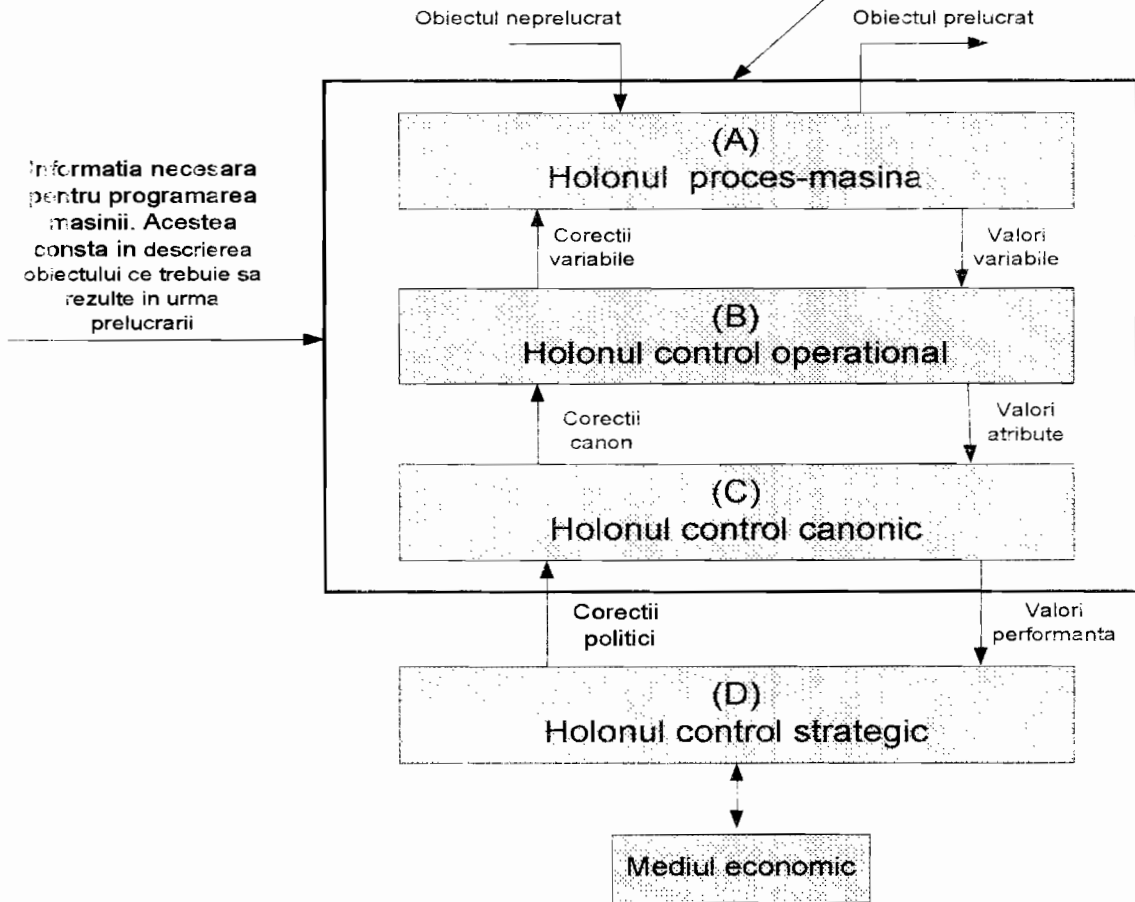


Fig 2. Modelul holarhic-atributiv general al unei masini tehnologice

(A) Holonul proces-masina

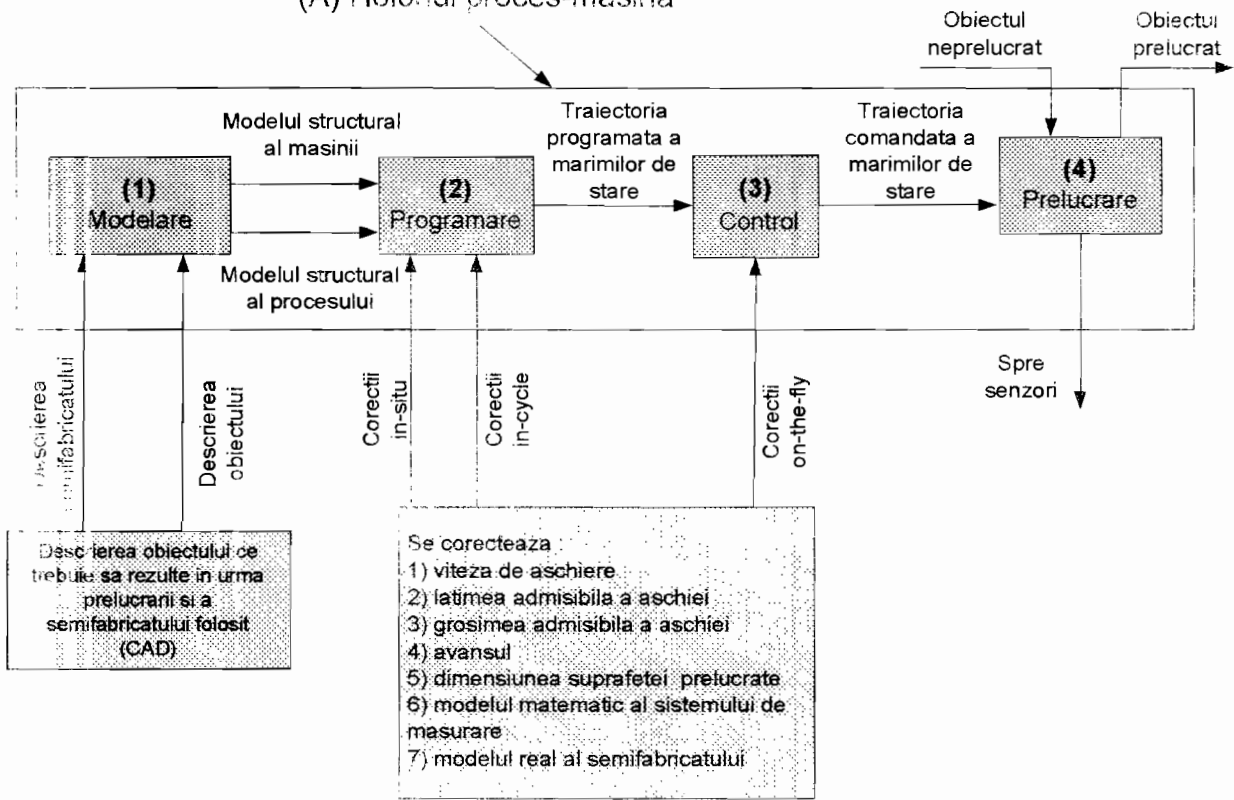


Fig. 3. Modelul conceptual al holonului proces-masina

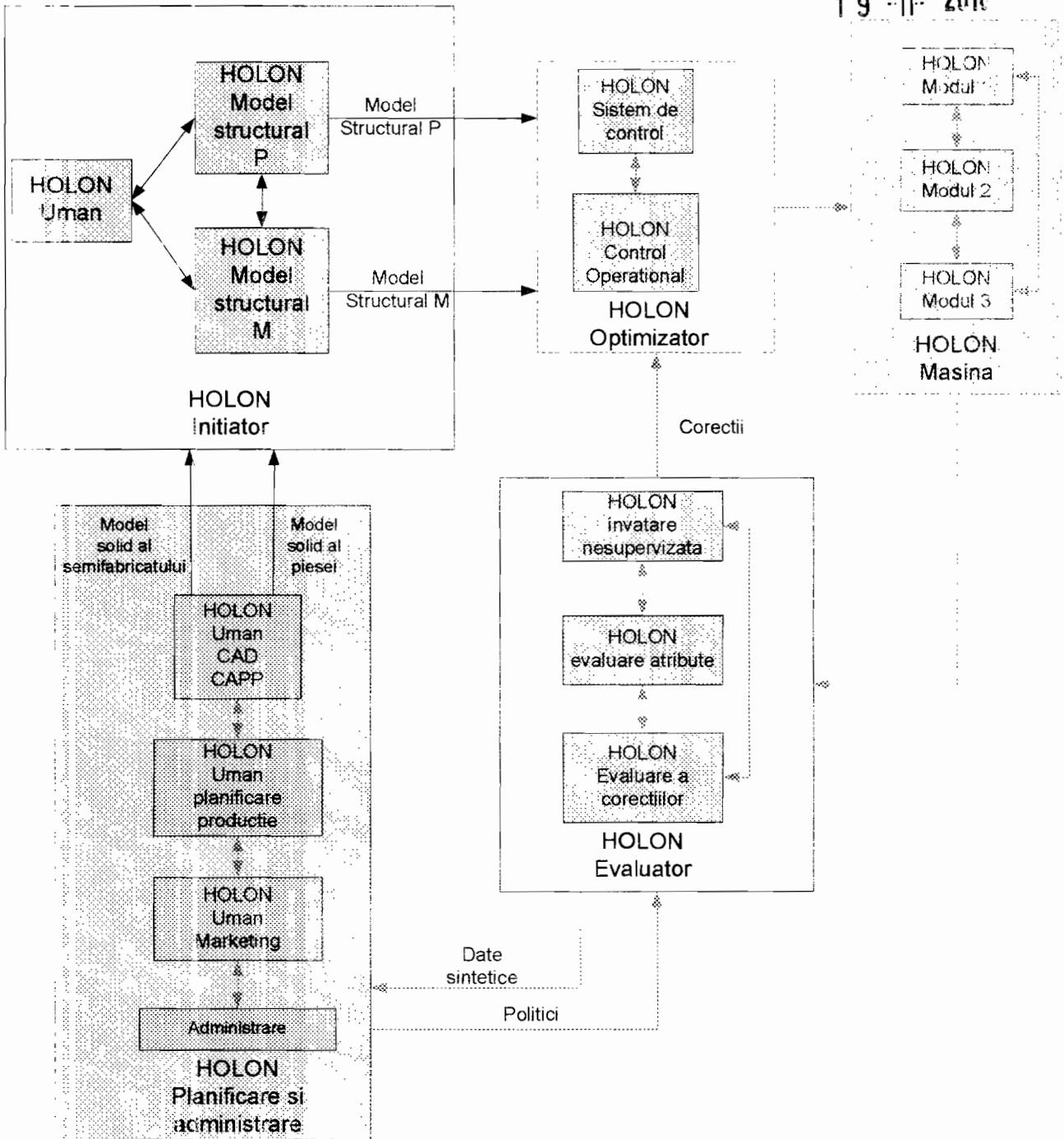
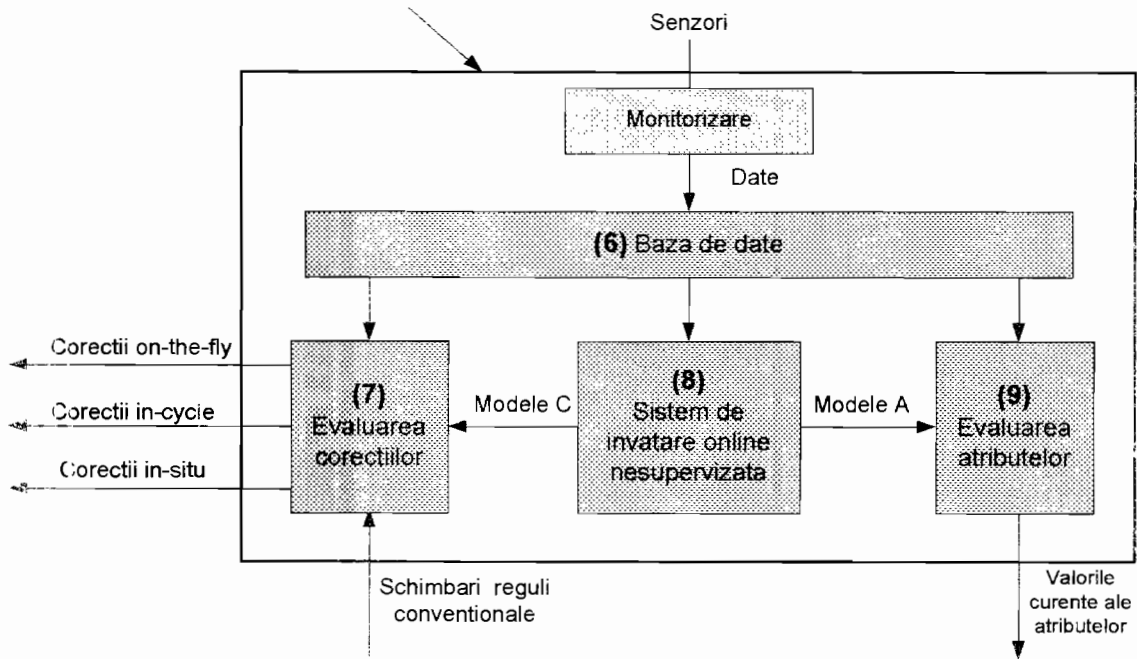


Fig.4 Structura holonului proces-masina

19-11-2010

(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 neuronală
- 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

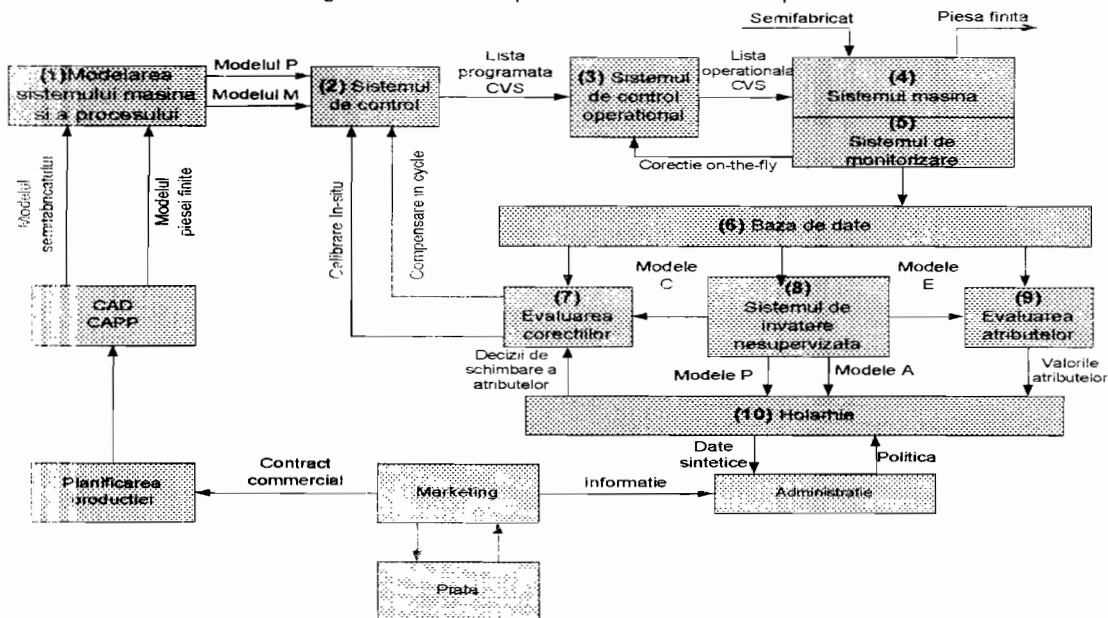


Fig.6. Integrarea modelului si a algoritmului in sistemul de conducere

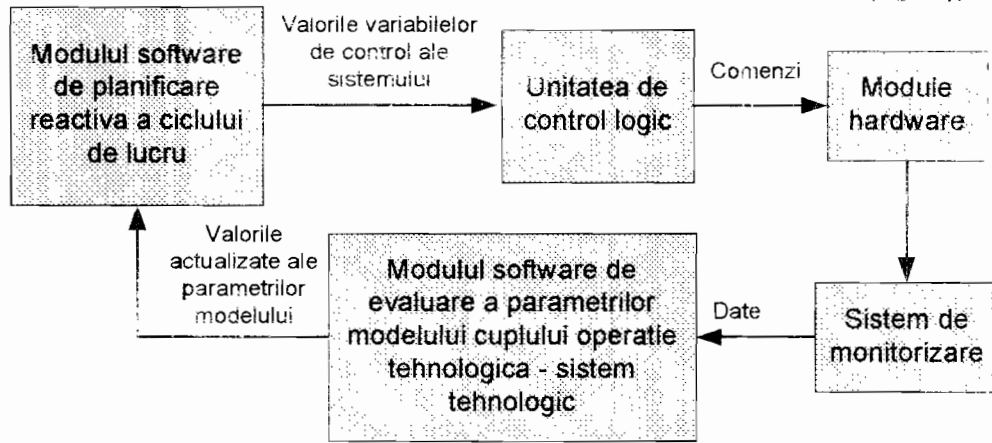


Fig.7 Schema conceptuală a conducerii bazată pe planificarea reactivă

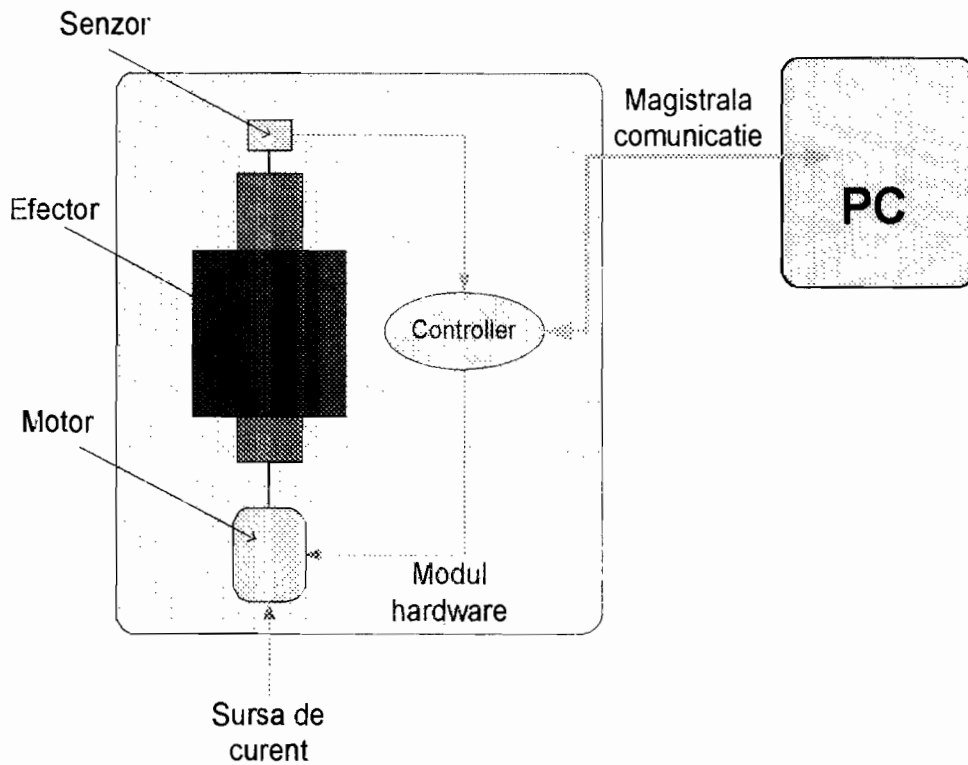


Fig.8 Structura generică a unui modul

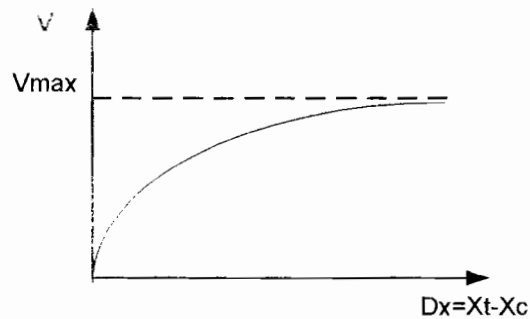


Fig. 9 Legea de control a vitezei:  $X_t$  – poziția comandată a modulului;  $X_c$  este poziția curentă a modulului și  $V$  este viteza de deplasare din poziția curentă în poziția de referință;

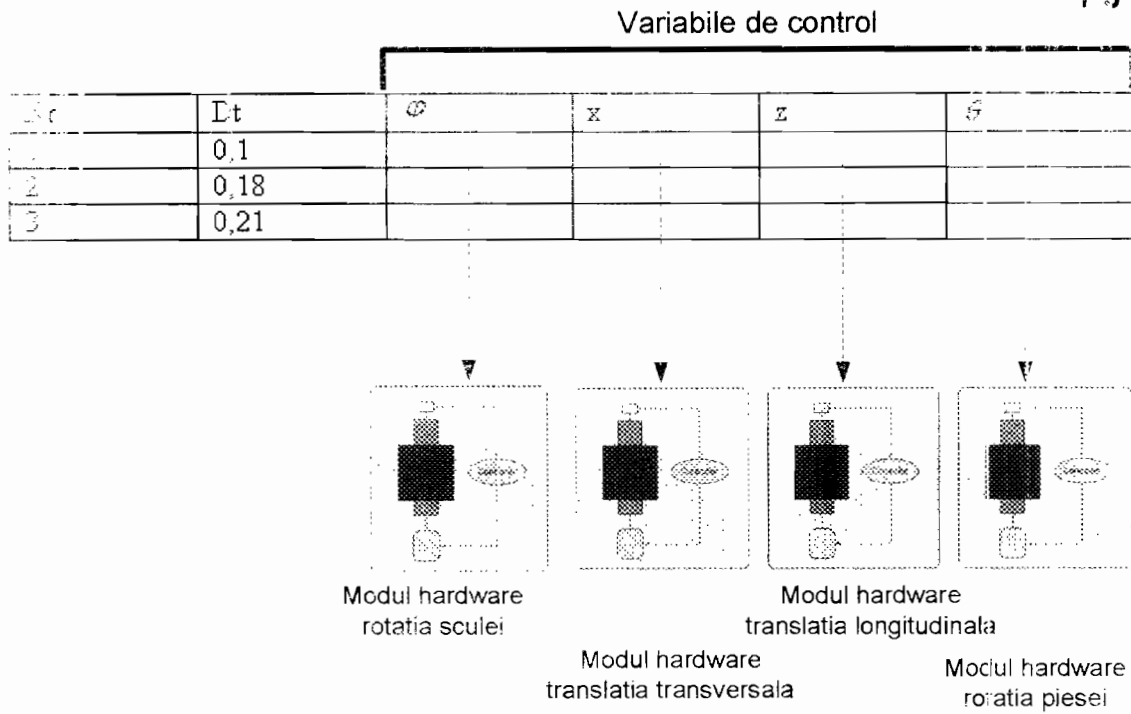


Fig. 10 Variabilele de control care se comandă modulelor

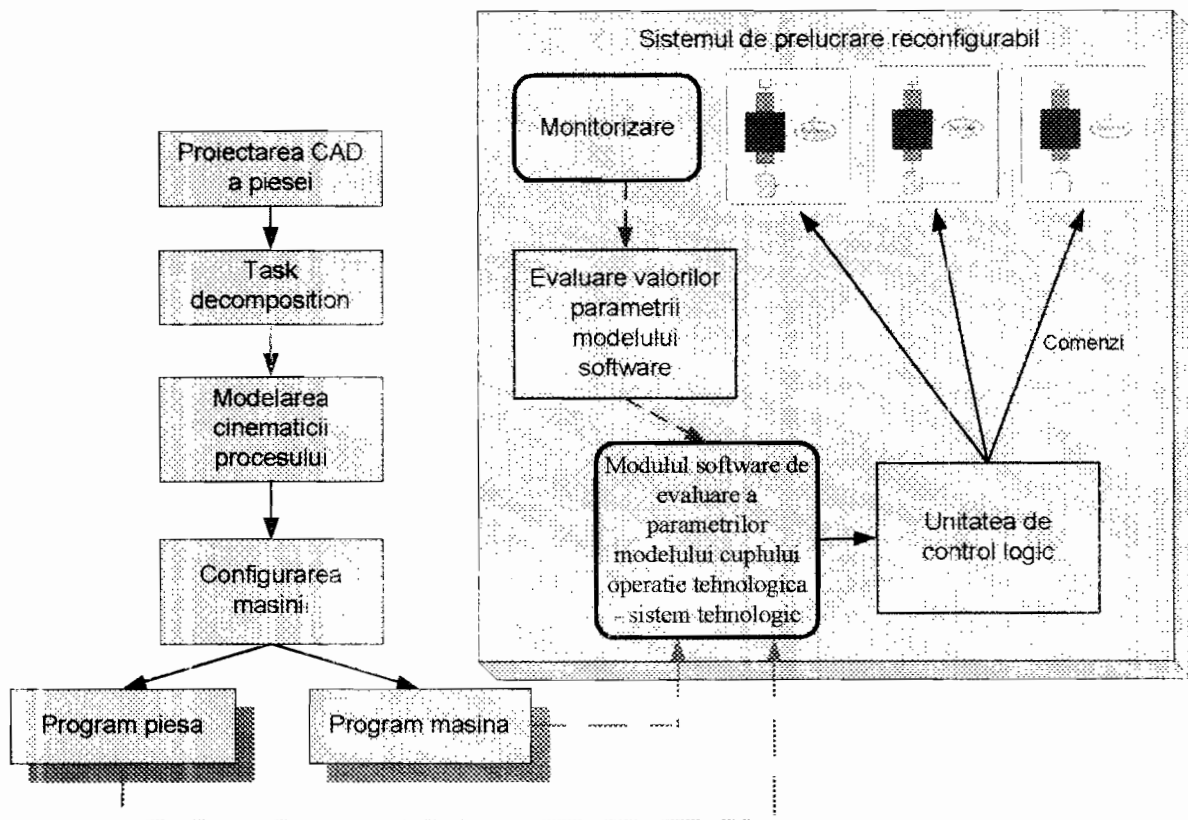


Fig. 11 Etapele parcurse de programator și schema simplificată a conducerii sistemului de prelucrare reconfigurabil

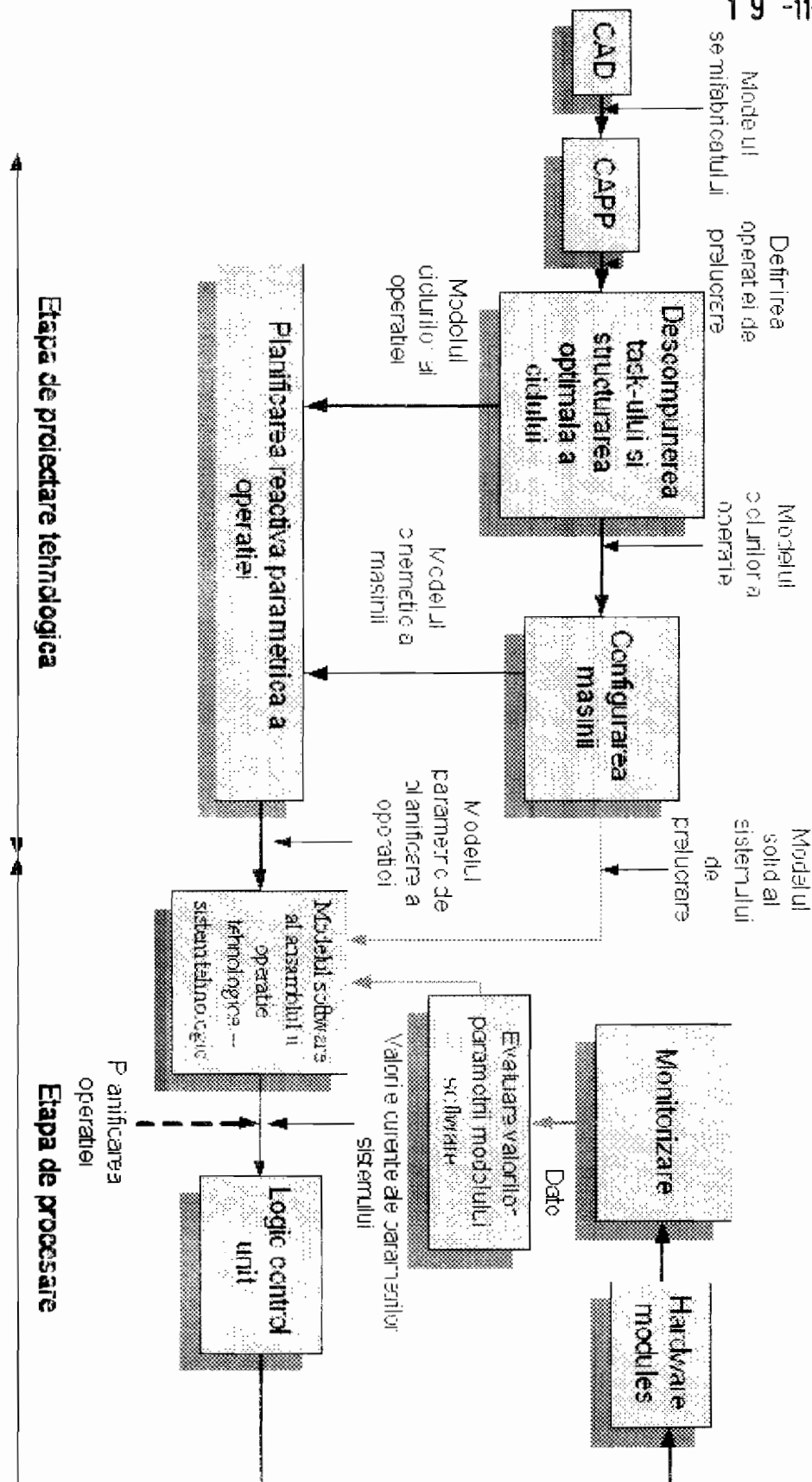


Fig. 12 Schema conceptuală a conducerii bazată pe planificarea reactivă a sistemelor de fabricație reconfigurabile

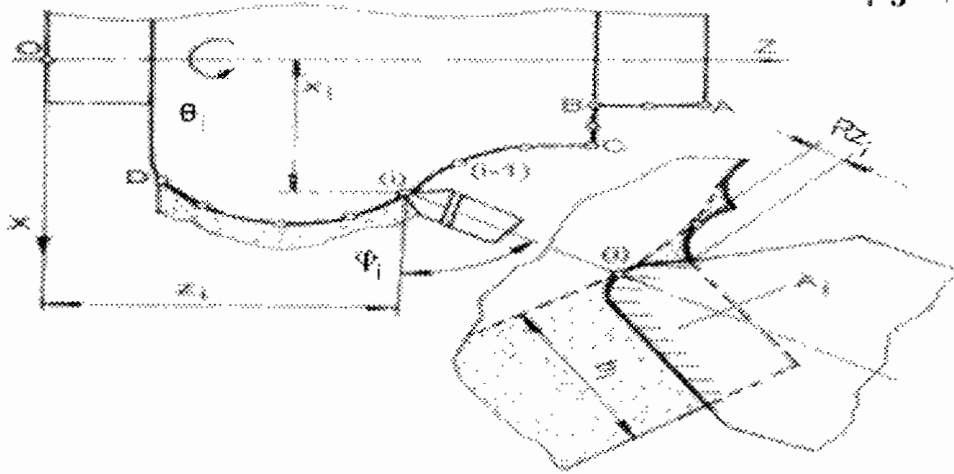


Fig.13. Schema procesului de prelucrare

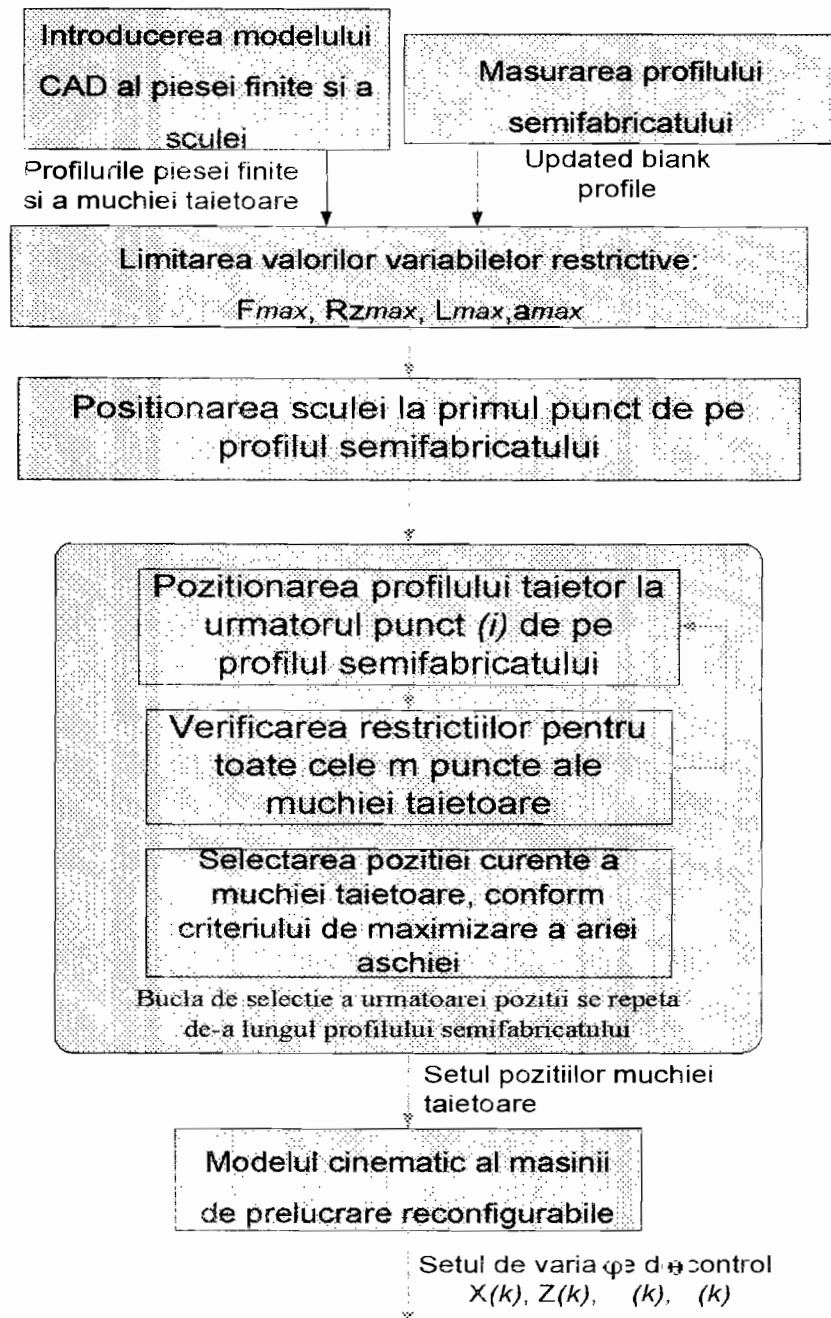


Fig.14 Algoritmul de principiu



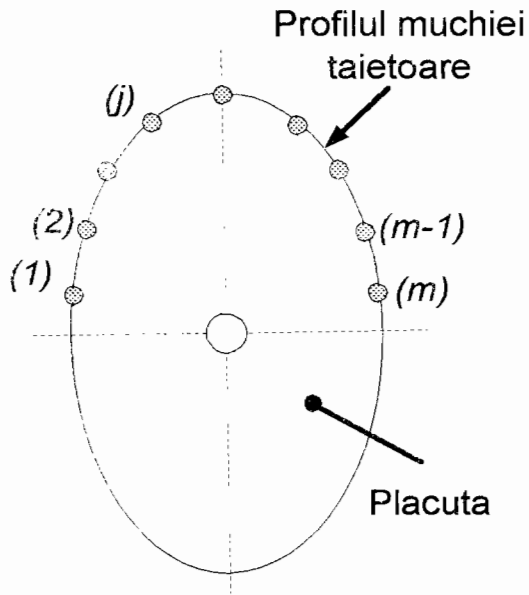


Fig.15 Plăcuța cu punctele remarcabile

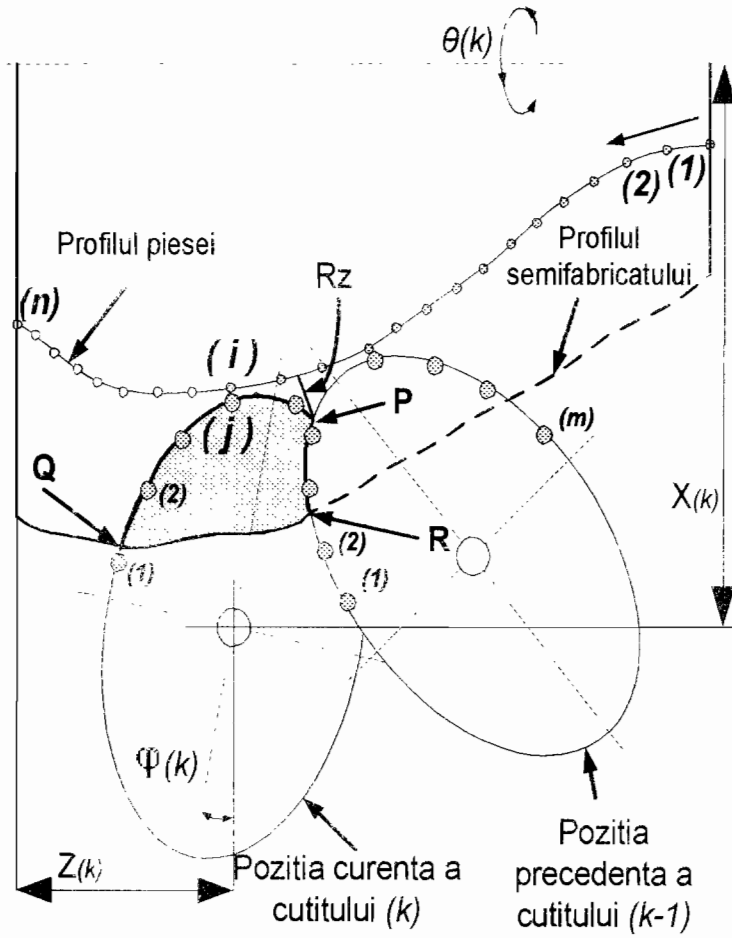


Fig.16 Problema identificării pozițiilor succesive

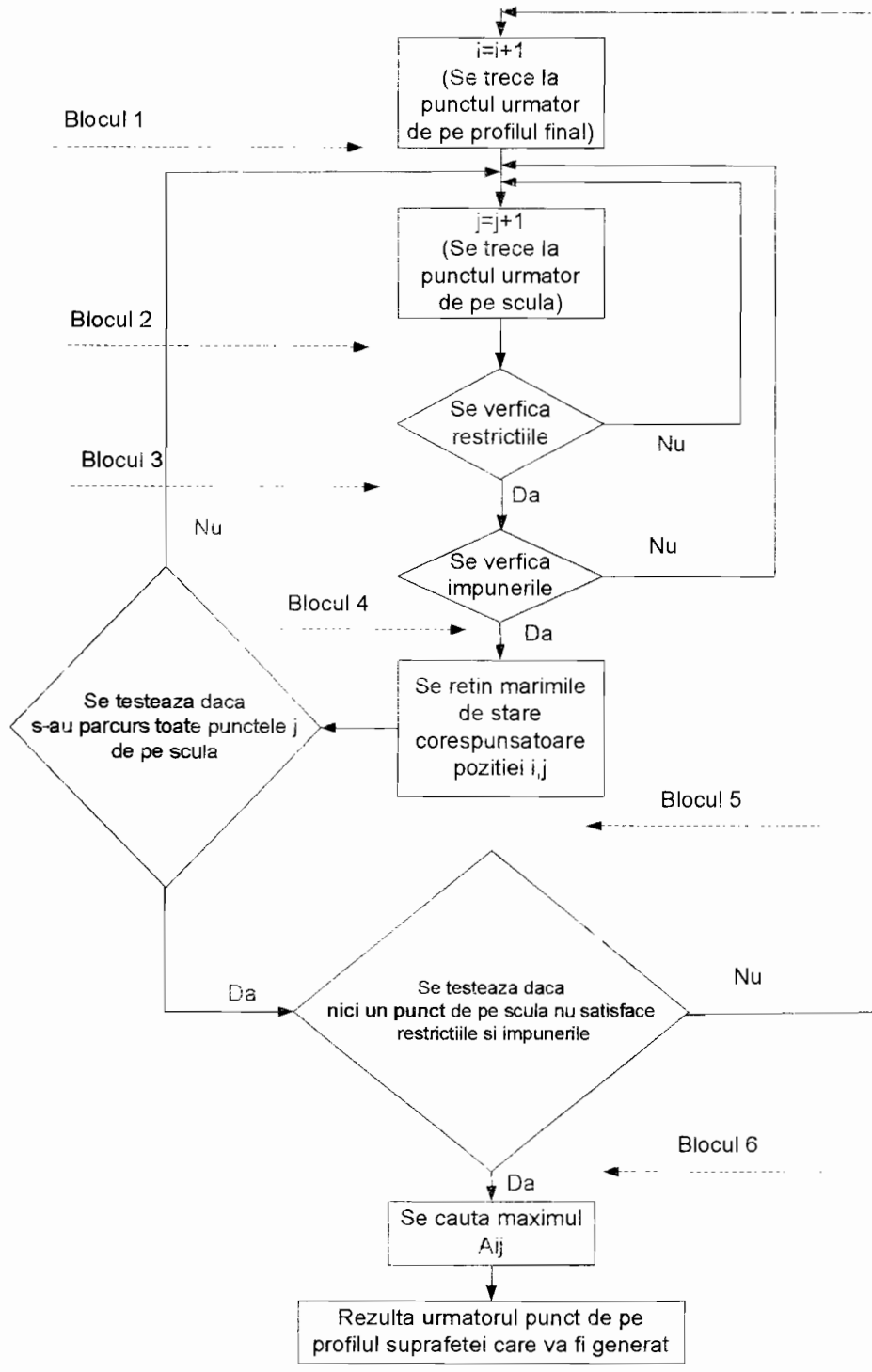


Figura 17. Schema logică a algoritmului de optimizare – varianta de căutare exhaustivă

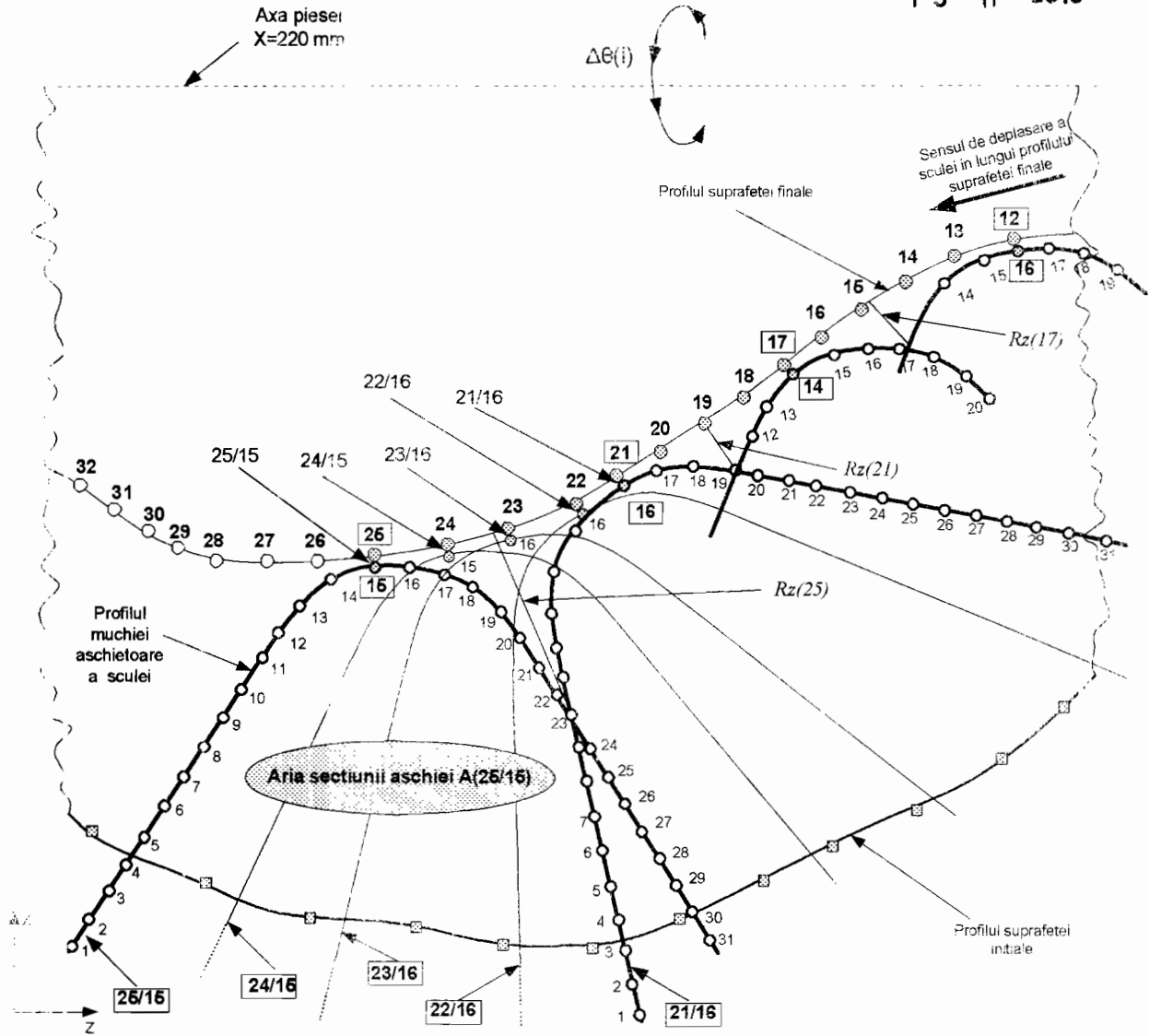


Figura 18. Schema unei secvențe de generare a suprafeței finale

j	12	13	14	15	16	17	18	19	20
i									
21					<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			
25				<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

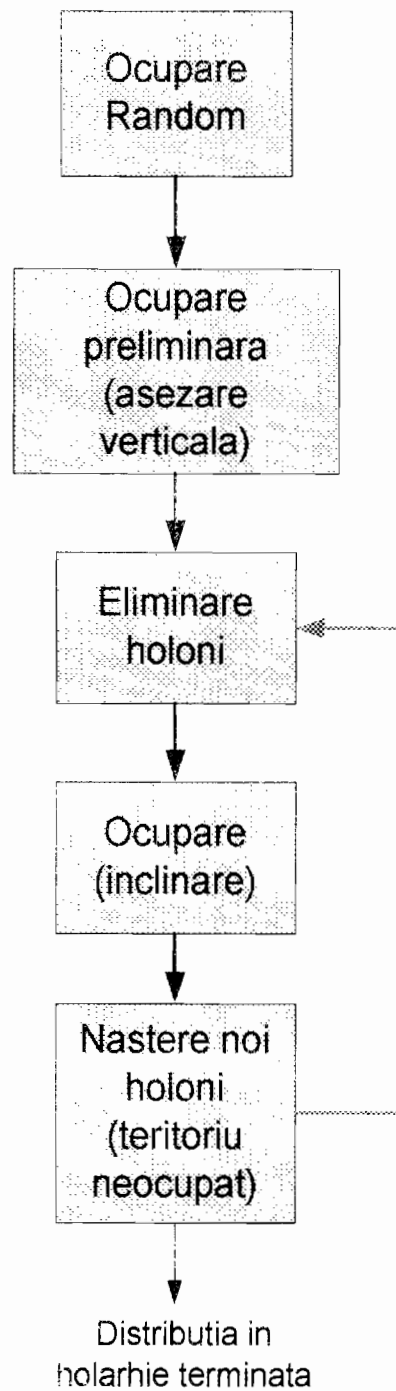
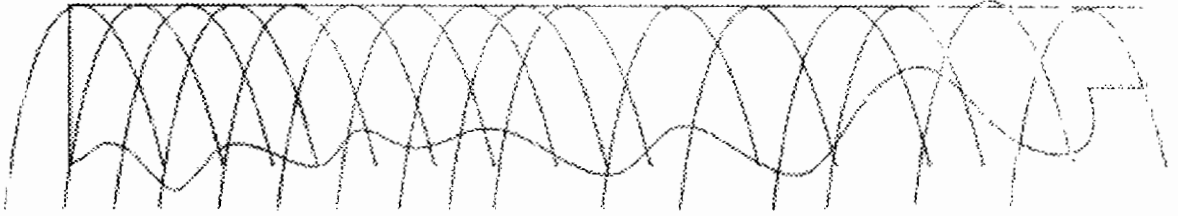


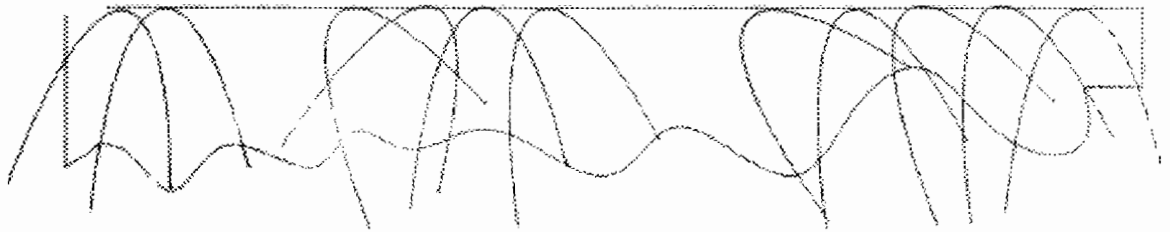
Fig.20 Schema de principiu a algoritmului de modelare holonică



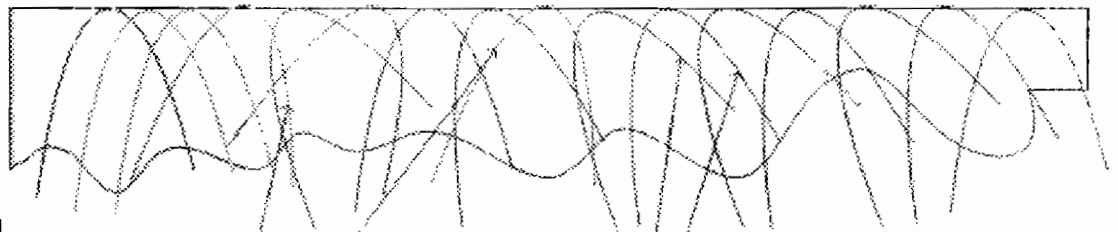
a)



b)



c)



d)

Fig 2! Ocuparea pozițiilor conform algoritmului

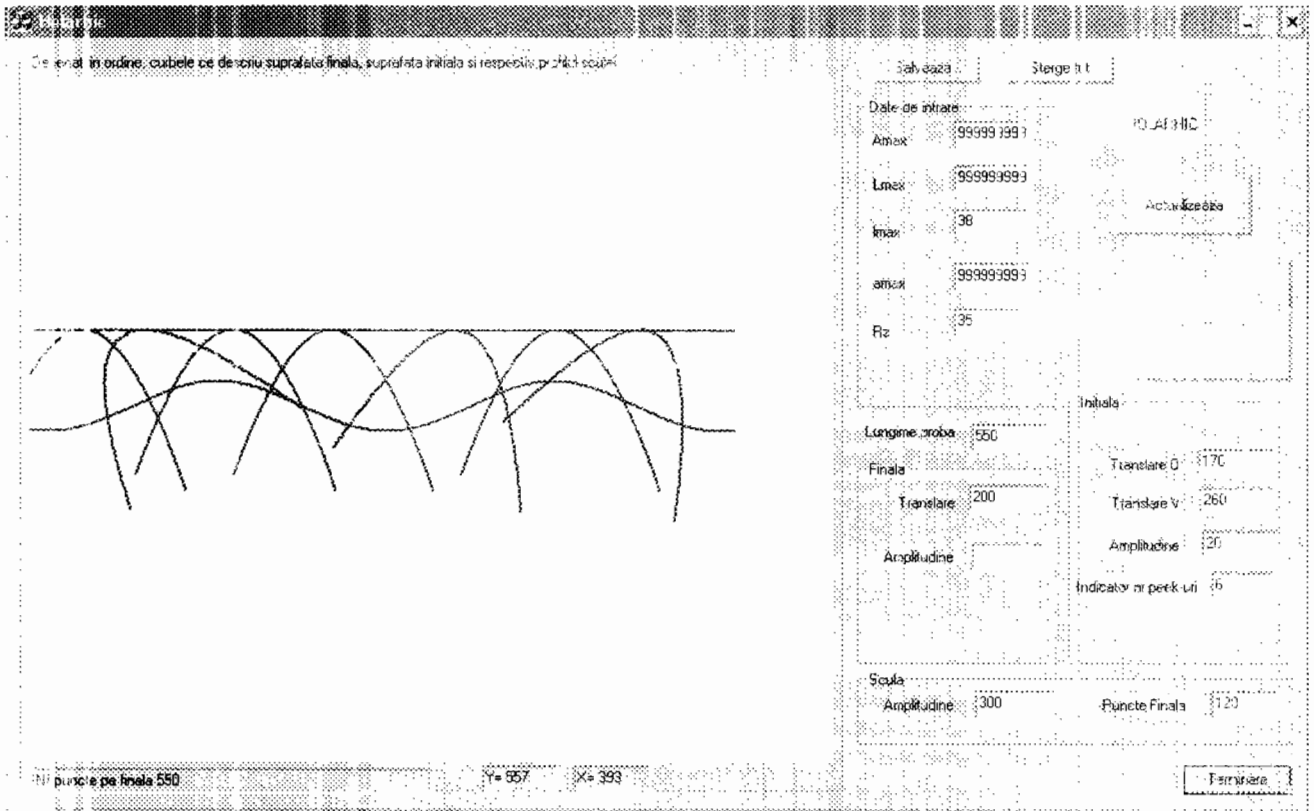


Fig 22 Interfața programului care realizează modelarea holonică a cinematicii

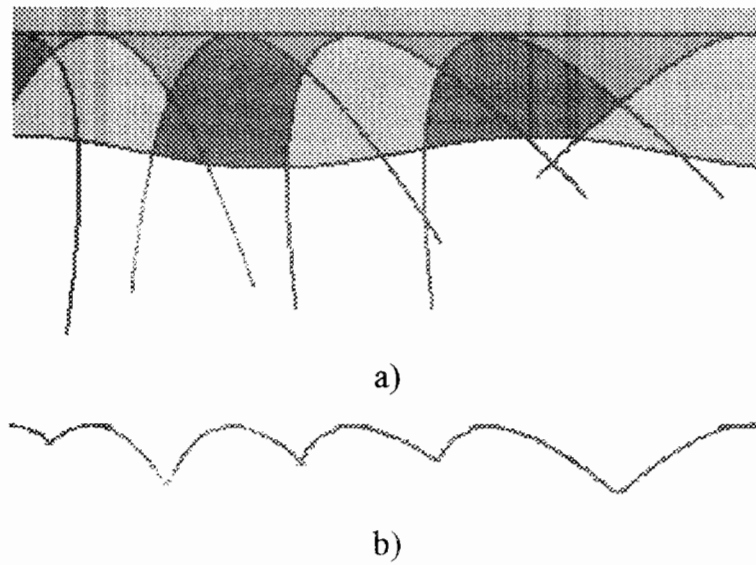
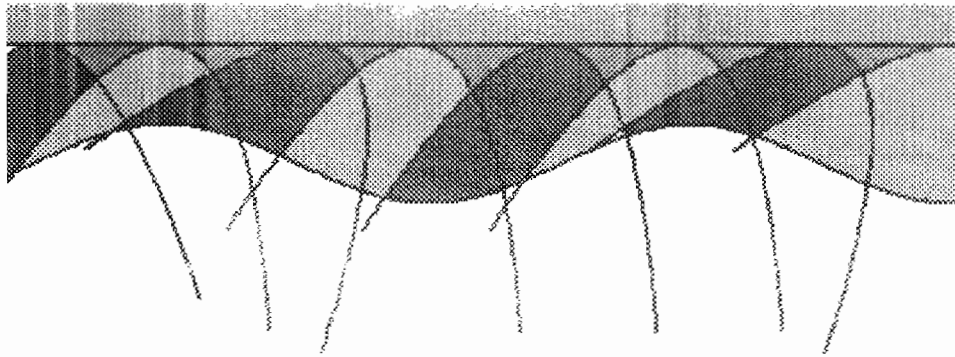
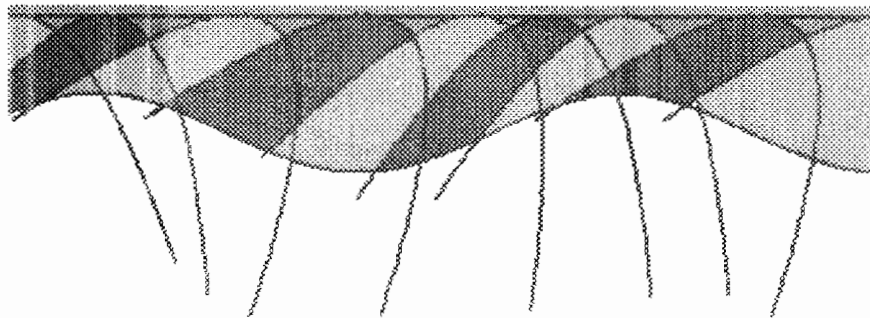


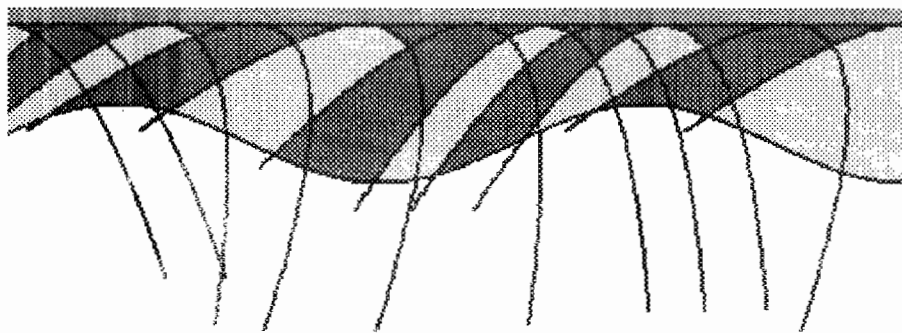
Fig.23. a) planificarea obținută; b) profilul rezultat



a)

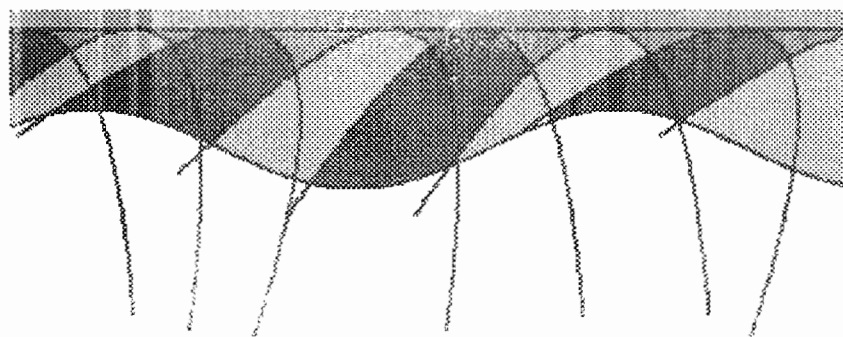


b)

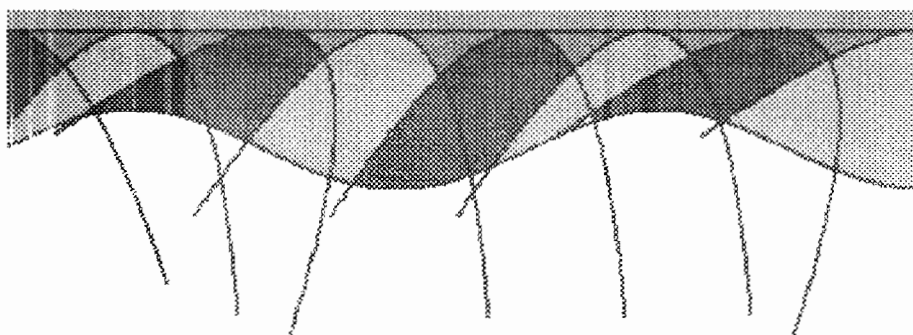


c)

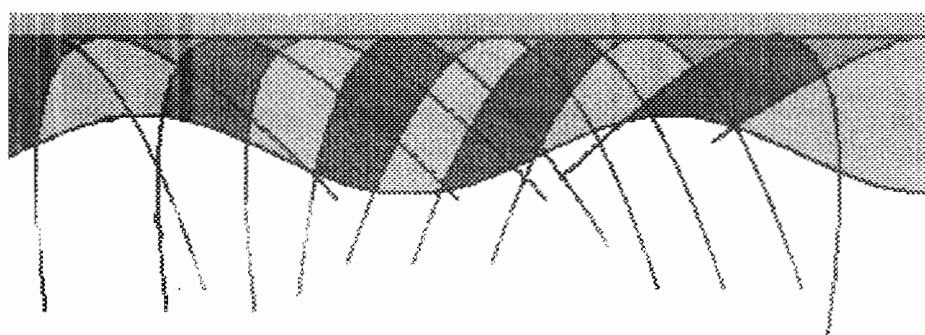
Fig.24 Testarea reactivității sistemului a)  $L_{max} = 140 - 8$  poziții succesive, b)  $L_{max} = 80 - 9$  poziții succesive c)  $L_{max} = 75 - 10$  poziții succesive.



a)



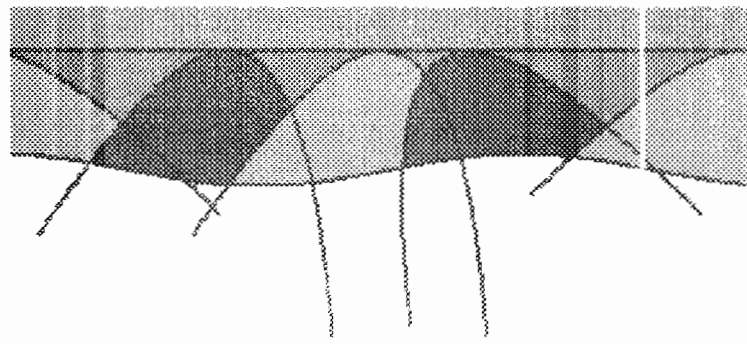
b)



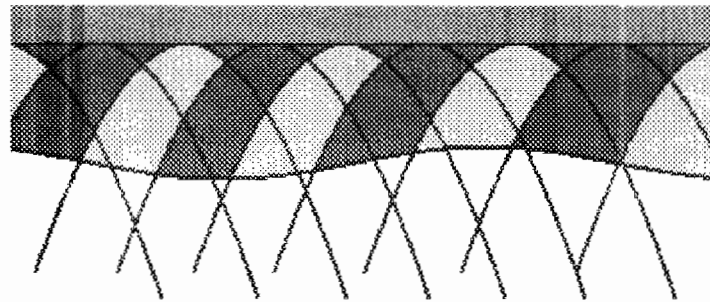
c)

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



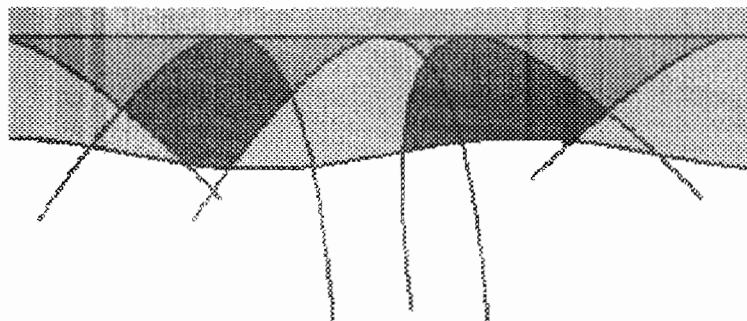


a)

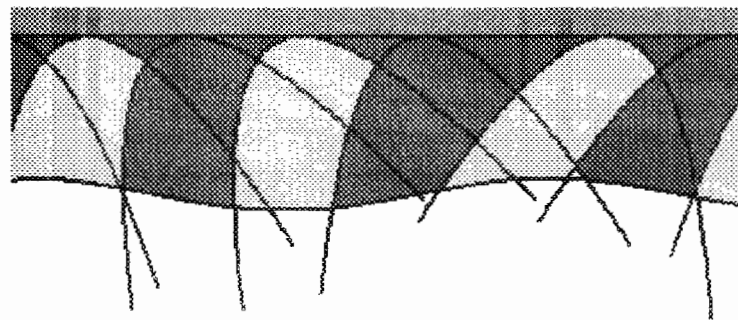


b)

Fig.26 Comparație de productivitate între sistemul propus și sistemele actuale a) Rz= 35 cazul 5 poziționări succesive b) Rz=35 9 poziționări succesive

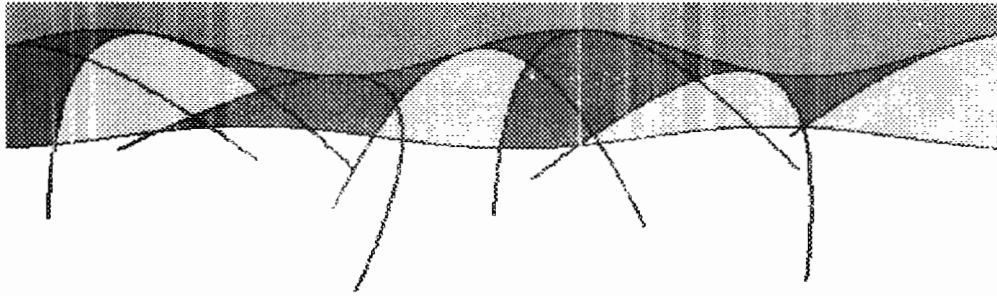


a)

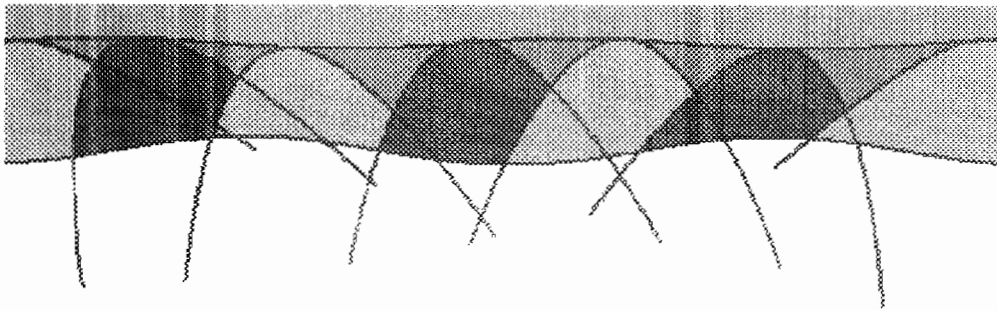


b)

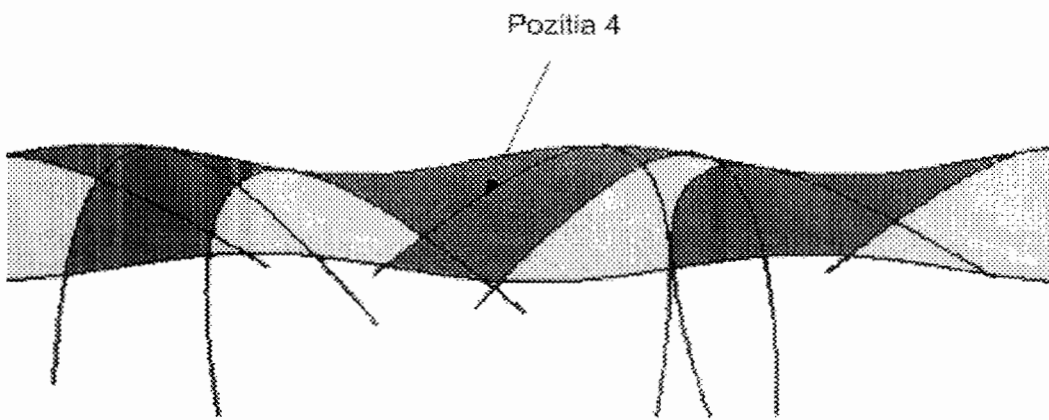
Fig.27 Modificării adaosului de prelucrare: a) adaos de prelucrare 20; b) adaos de prelucrare 40.



a)

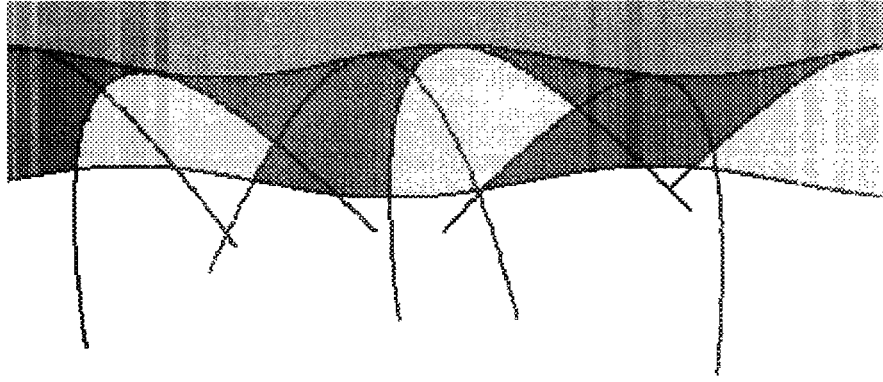


b)

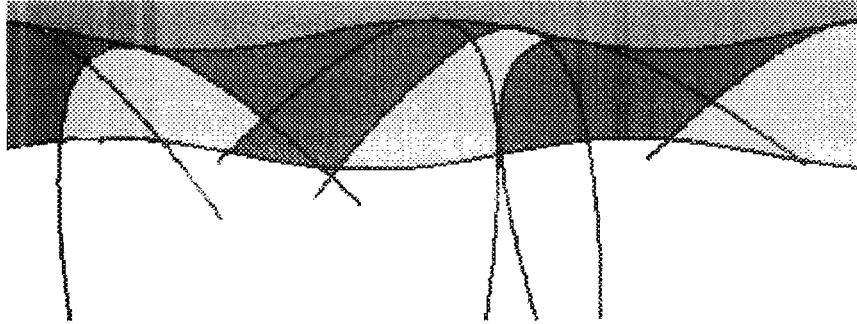


c)

Fig. 28. Modificarea planificării, în cazul modificării profilului impus, a),b) si 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.