

Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
Facultatea de Mecanică

**ing. Andrei Komjaty**

**Programarea off-line a roboților  
industriali pe baza  
modelului matematic al proceselor  
tehnologice de  
șlefuire**

Teză de doctorat

Conducători științifici:

prof.univ.dr.h.c.dr.ing. Francisc Kovacs

prof.univ.dr.ing.ec. Tucu Dumitru

prof.univ.dr.ing. Inocențiu Maniu

Timișoara

2009

# Cuvânt înainte

Încă de la începutul anilor 70 în România au început cercetările în domeniul roboților industriali, respectiv implementarea lor în procesele de fabricație. Dacă în domeniul studiilor, respectiv cercetărilor, s-au obținut rezultate însemnate, în domeniul implementării roboților industriali rezultatele nu sunt încă cele scontate. În acest sens lucrarea de față și-a propus continuarea cercetărilor din domeniu, dar mai ales din domeniul proiectării și implementării celulelor de fabricație flexibilă pentru operații de șlefuire/lustruire a obiectelor de feronerie. Pentru aceasta, obiectivele urmărite au ținut cont de tradițiile Universității Politehnica din Timișoara, de direcțiile de cercetare semnalate de laboratoarele de robotică de pe mapamond, respectiv de necesitățile întreprinderilor Feroneria și Binalia ambele din Arad și rezultatele obținute de către diferiți implementatori ai roboților industriali în operații de șlefuire/lustruire.

Pentru a sistematiza volumul de informație cuprins în cadrul tezei, lucrarea este structurată pe nouă capitole, la care se adaugă o bibliografie bogată și actuală (108 titluri), cuprinzând și 46 de adrese web și cinci lucrări personale publicate în reviste sau buletine ale unor conferințe internaționale din țară și străinătate, având un număr de 210 pagini. Teza conține 113 figuri, 11 tabele și 29 relații matematice.

Lucrarea de față și-a propus realizarea următoarelor obiective : sistematizarea informațiilor bibliografice; definirea treptelor de proces în cazul șlefuirii; modelarea matematică a operației de șlefuire pe baza procesului tehnologic; programarea off-line a robotului de șlefuire (aplicație practică); simularea operației de șlefuire robotizată; testarea primelor patru obiective pe un model real, realizat de către autor (aplicație practică); efectuarea unor teste pentru stabilirea influențelor parametrilor tehnologici asupra procesului de prelucrare prin șlefuire; prelucrarea rezultatelor obținute în urma măsurătorilor.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorilor de doctorat prof.dr.ing.dr.H.C.mult. Kovacs Francisc Wiliam, prof.dr.ing.ec. Țucu Dumitru și prof. dr.ing. Maniu Inocențiu, care , prin grija lor permanentă și îndrumarea eficientă mi-au orientat ideile și eforturile , stimulându-mă să finalizez această lucrare.

De asemenea doresc să adresez mulțumirile mele domnilor profesori referenți științifici ai acestei lucrări, pentru bunăvoința de a o parcurge și de a exprima sugestiile dumnealor deosebit de valoroase.

Nu în ultimul rând, mulțumesc colectivului din cadrul S.C. Feroneria S.A. pentru sprijinul acordat în realizarea standului experimental și pentru efectuarea probelor experimentale și a măsurătorilor.

Îi mulțumesc, de asemenea familiei mele, pentru atașamentul, susținerea, înțelegerea și ajutorul, acordate neîncetat.

# CUPRINS

<b>1. Optimizarea operației de șlefuire / lustruire</b> .....	7
1.1. Generalități .....	7
1.2. Stadiul actual al tehnologiei de șlefuire / lustruire a reperelor .....	8
1.2.1. Proiectarea tehnologiei de șlefuire a pieselor turnate .....	8
1.2.1.1. Tehnologia de șlefuire cu benzi abrazive .....	12
1.2.1.1.1. Exemplu de tehnologie de finisare cu ajutorul benzilor abrazive .	15
1.2.1.2. Tehnologia de finisare abrazivă .....	16
1.2.1.2.1. Exemplu de tehnologie de finisare abrazivă .....	17
1.2.2. Factorii ce influențează tehnologia de șlefuire .....	18
1.2.2.1. Influența amplasării locului de alimentare cu aliaj a cavității matriței	19
1.2.2.2. Influența amplasării planului de separație .....	23
1.2.2.3. Influența defectelor de suprafață .....	26
1.2.2.4. Influența posibilității de prindere a piesei în vederea șlefuirii .....	26
1.3. Utilaje folosite la șlefuire .....	26
1.3.1. Mașini de șlefuit fixe .....	26
1.3.2. Mașini de șlefuit portabile .....	29
<b>2. Robotizarea operației de șlefuire / lustruire</b> .....	31
2.1. Sisteme flexibile de fabricație (SFF) în care robotul manipulează scula	31
2.2. Sisteme flexibile de fabricație (SFF) în care robotul manipulează obiectul de prelucrat .....	35
<b>3. Ingineria integrată a produselor</b> .....	40
3.1. Introducere .....	40
3.2. CAD și CAPP în contextul ingineriei integrate .....	41
3.3. Procese tehnologice .....	45
3.3.1. Generalități .....	45
3.3.2. Codificarea proceselor tehnologice cu ajutorul CAM .....	47
3.3.3. Codificarea proceselor tehnologice prin programare NC .....	49

<b>4. Modalități de realizare a modelelor CAD pentru obiectul de prelucrat...</b>	<b>51</b>
4.1. Introducere .....	51
4.2. Modele de suprafață .....	52
4.3. Entități de suprafață .....	54
4.3.1. Suprafețe plane .....	54
4.3.2. Suprafețe generate de două curbe directoare .....	56
4.3.3. Suprafețe de revoluție .....	57
4.3.4. Suprafețe cilindrice drepte .....	59
4.3.5. Suprafețe Bezier .....	60
4.3.6. Suprafețe B-spline .....	63
4.3.7. Suprafețe de racordare .....	64
4.3.8. Suprafețe offsetate (de translație) .....	66
4.4. Modele de solid .....	66
4.5. Entități solide .....	67
4.6. Reprezentarea prin frontiere (B-rep) .....	69
4.7. Modele bazate pe CSG .....	72
<b>5. Transmiterea informațiilor între sistemele CAD – CAM .....</b>	<b>75</b>
5.1. Principii .....	75
5.2. IGES .....	77
5.3. STEP .....	80
5.4. PDES .....	81
5.5. Dificultăți în utilizarea programelor de postprocesare .....	81
5.6. Concluzii .....	83
<b>6. Model matematic al programului de manipulare a robotului pe baza modelului matematic al procesului de șlefuire.....</b>	<b>84</b>
6.1. Introducere .....	84
6.2. Modelul matematic al programului de manipulare a robotului .....	85
6.3. Determinarea legii de mișcare a robotului în funcție de procesul tehnologic de șlefuire .....	87

6.4. Erori apărute în fazale de prelucrare și de manipulare .....	89
6.5. Concepția constructivă și tehnologică utilizând modele matematice proapse și transferul rezultatelor la componentele SFF .....	90
<b>7. Programarea OFF-LINE a roboților .....</b>	<b>93</b>
7.1. Introducere .....	93
7.2. Limbaje de programare .....	94
7.3. Relațiile între modelarea geometrică și funcțională a roboților .....	96
7.4. Programarea OFF-LINE a roboților industriali .....	99
7.4.1. Avantaje ale utilizării programării off-line .....	100
7.4.2. Dificultăți în programarea off-line.....	101
7.5. Medii de programare și simulare off-line a roboților .....	101
7.5.1. Workspace .....	102
7.5.2. Robot 3D .....	106
7.5.3. Ropsim .....	107
7.5.4. Robot studio .....	110
<b>8. Cercetări experimentale și rezultate pentru procesul de șlefuire.....</b>	<b>116</b>
8.1. Modelul experimental pentru șlefuirea unei piesei cilindrice .....	116
8.1.1. Prezentarea schemei de conducere a mișcării OP în timpul procesului tehnologic de șlefuire.....	116
8.1.2. Subsistemul de control al suprafeței obiectului de prelucrat.....	118
8.1.3. Subsistemul de măsurare a deplasării relative a elementelor CCC de translație.....	121
8.1.4. Subsistemul de comandă a celulei de șlefuire.....	122
8.2. Analiza și optimizarea regimurilor de lucru pe baza rezultatelor experimentale .....	139
8.3. Concluzii .....	150
<b>9. Contribuții originale. Concluzii finale .....</b>	<b>151</b>
9.1. Contribuții originale .....	151
9.1.1. Introducere .....	151

9.1.2. Contribuții în domeniul sistematizării informațiilor .....	152
9.1.3. Contribuții în domeniul elaborării unui program de comandă off-line a robotului industrial folosit în procesul tehnologic de șlefuire .....	152
9.1.4. Contribuții în domeniul aplicațiilor practice și industriale .....	153
9.1.5. Contribuții în domeniul cercetării experimentale .....	153
9.1.6. Direcții de cercetare viitoare .....	153
9.2. Concluzii finale .....	154
<b>Bibliografie</b> .....	155
<b>Anexa 1</b> .....	162
<b>Anexa 2</b> .....	188
<b>Anexa 3</b> .....	194

# Capitolul 1

## Optimizarea operației de șlefuire / lustruire

### 1.1. Generalități

Acțiunea de modernizare a tehnologiei de curățire a pieselor turnate începe cu analiza fazelor anterioare. Scopul analizei este stabilirea unei tehnologii care să necesite o curățire minimă a piesei turnate.

Piesa turnată avantajoasă din punctul de vedere al curățirii se obține prin proiectarea corespunzătoare a acesteia, alegerea celei mai adecvate tehnologii, utilizarea materialelor de formare și miezuire cele mai adecvate .

La proiectarea pieselor turnate trebuie să se țină seama de posibilitățile de șlefuire/lustruire care stau la dispoziție.

Manopera de polizare cu polizoarele fixe și de mână se poate micșora dacă:

- proiectantul concepe piesa în așa fel încât să aibă suprafața de separație simplă, astfel ca bavura să rezulte în locuri ușor accesibile polizabile cu un singur tip de piatră de polizare;

- alimentările rețelei de turnare și maselotele sunt amplasate astfel, încât ca după ruperea acestora, să rămână un rest minim, ușor accesibil cu piatra de polizor, într-un loc unde se poate exercita și o forță de apăsare suficientă.

Construcția piesei și tehnologia de fabricație sunt într-o corelare strânsă. La proiectarea piesei trebuie să se țină seama nu numai ca forma să corespundă din punct de vedere al utilizării și solicitărilor, dar trebuie avută în vedere și tehnologia de realizare a piesei și cea de curățire a acesteia. Schimbarea oricăreia dintre aceste condiții aduce cu sine schimbări în ambele stadii de lucru.

Pornind de la caracteristicile tehnologiei de fabricare a pieselor turnate la proiectarea construcției pieselor turnate trebuie să se acorde atenție următoarelor aspecte:

- să se țină seama de particularitățile tehnologice, deoarece circa 35-40% din dimensiunile pieselor turnate sunt determinate de acestea,
- folosirea tipizării construcțiilor, care se pot aplica nu numai pentru piese similare ci și a acelor cu destinație diferită,
- de modalitățile de dezmembrare și de curățare ale pieselor turnate.

Resturile alimentatoarelor și maselotelor se îndepărtează de obicei prin polizare. Resturile iau naștere atunci când rupura alimentatoarelor nu urmărește exact forma piesei. Detașarea alimentatoarelor și maselotelor care să nu reclame operații ulterioare se poate executa prin tăiere cu fereștrăul, cu discul abraziv sau prin polizare.

Modalitatea și mijloacele de îndepărtare a alimentatoarelor și maselotelor sunt determinată de aliajul din care este turnată piesa.

În cazul aliajelor dure, casante (fonta cenușie, fonta maleabilă ș.a) se aplică ruperea, iar în cazul aliajelor dure, tenace (oțelul turnat, fonta cu grafit nodular ș.a.), tăierea cu flacăra sau cu disc abraziv. În cazul aliajelor de aluminiu se utilizează debavurarea cu matrițe de debavurat, urmată de lustruirea zonei debavurate.

## **1.2. Stadiul actual al tehnologiei de șlefuire / lustruire a reperelor**

### **1.2.1. Proiectarea tehnologiei de șlefuire a pieselor turnate**

În cadrul proiectării tehnologiei de fabricație a piesei turnate se va determina și tehnologia de șlefuire [DRE 85]. Acest lucru înseamnă că pentru o piesă determinată, precum și pentru instalațiile care stau la dispoziție, se va stabili succesiunea optimă a următoarelor operații:

- Îndepărtarea rețelelor de turnare și a maselotelor: prin rupere, la repere mai mici; cu ciocanul, cu dalta pneumatică, prin tăiere cu fierăștrăul, prin forfecare pe presă, prin așchiere, prin tăiere cu flacăra.
- Îndepărtarea bavurilor: cu dalta, prin presare.
- Șlefuirea: cu polizoare de mână, staționare, pendulare.

În figura 1.1. se prezintă ordinea operațiilor de șlefuire/lustruire pentru piese mici și mari din aliaje neferoase.



Controlul pieselor turnate cuprinde: control vizual; control dimensional; probe mecanice; analiza chimică; control etanșitate, netezirea suprafețelor, duritate, rezistență la uzură, rezistență la temperatură, rezistența la coroziune, sudabilitate, prelucrabilitate, aptitudine pentru vopsire etc.

Gradul de șlefuire/lustruire a pieselor formează obiectul diferențierii producătorilor de către utilizatorii de piese turnate.

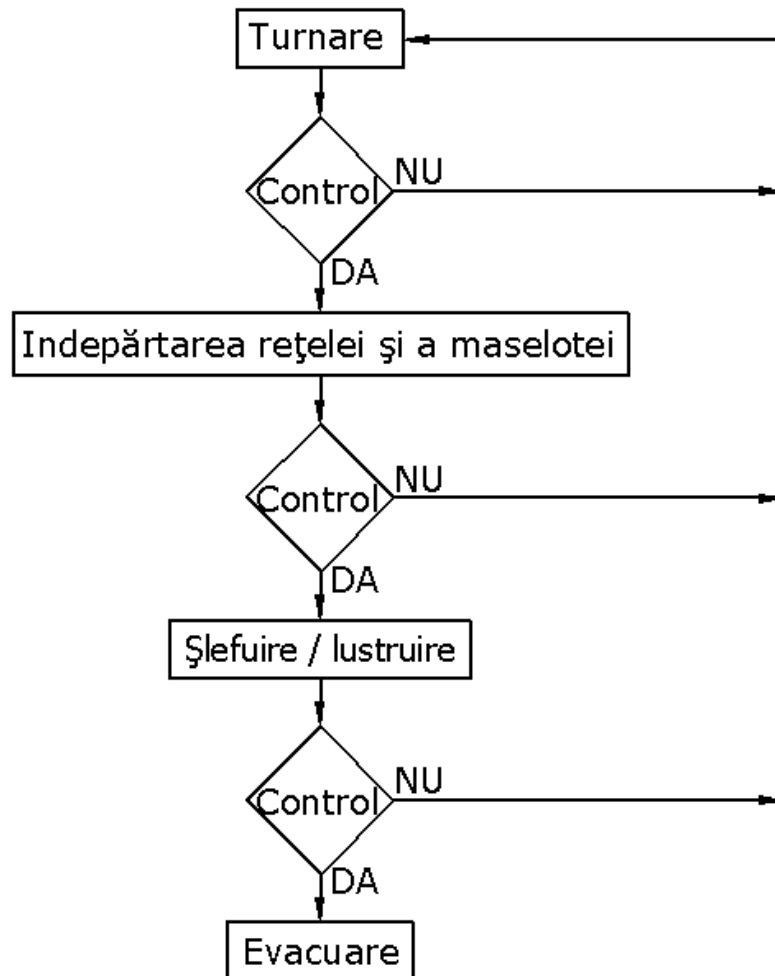


Fig. 1.1. Algoritm de șlefuire pentru piesele turnate din aliaje neferoase

Prin șlefuire se prelucrează o varietate foarte mare de piese turnate.

Din punct de vedere al șlefuirii, piesele turnate pot fi clasificate în felul următor:

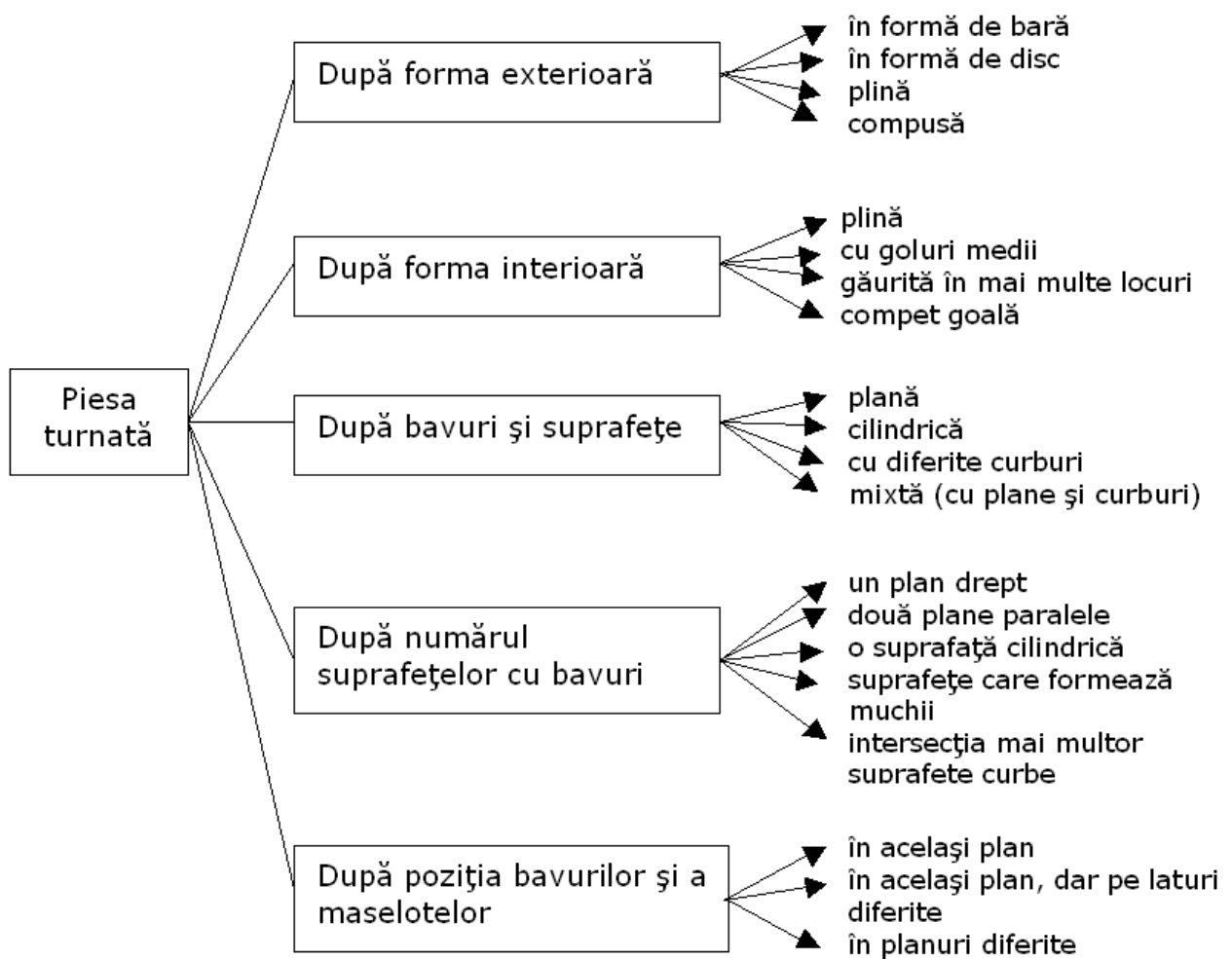


Fig. 1.2. Clasificarea pieselor turnate din punct de vedere al șlefuirii

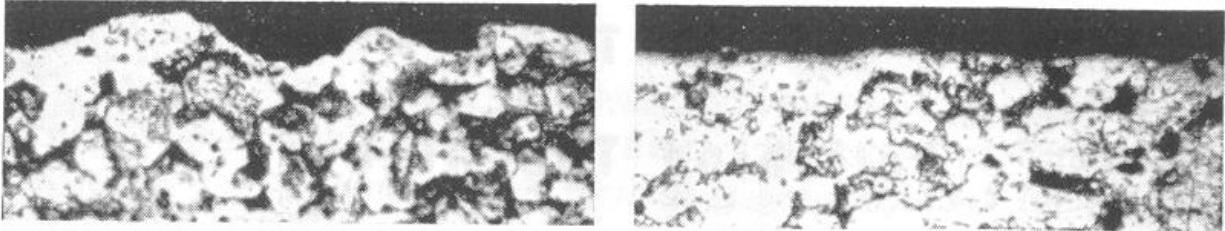
Suprafețele netede (în general lucioase) se realizează printr-o serie de operații tehnologice de șlefuire cu elemente abrazive. Operațiile de șlefuire pot fi de degroșare sau de finisare. Șlefuirea de degroșare este o șlefuire cu bandă abrazivă, pentru a înlătura, în mod abraziv, formele neregulate și imperfecțiunile.

Șlefuirea de finisare sau lustruirea, necesită utilizarea de perii sau cârpe și paste de lustruit pentru a obține o suprafață lucioasă.

Odată cu dezvoltarea materialelor pentru operațiile de șlefuire și a compozițiilor „tăiere și culoare” (cut and colour) s-a putut ajunge la reducerea numărului de operații necesare pentru obținerea aceleiași suprafețe.

În figura 1.3. sunt puse în evidență diferențele dintre o șlefuire de degroșare realizată cu bandă abrazivă (fig. 1.3.a) (rezultând o suprafață cu rugozitatea de  $1,6 \mu\text{m}$ ), și o suprafață rezultată în urma operației de lustruire, utilizând cârpă și pastă de șlefuit

(fig. 1.3.b), rugozitatea având valoarea de  $0,03 \mu\text{m}$ . Piesele din oțel ce necesită acoperiri galvanice (nichelare) trebuie prelucrate prin șlefuire pentru a se asigura o rugozitate de  $0,16 - 0,32 \mu\text{m}$ .



a)

b)

Fig. 1.3. Suprafețe obținute în urma prelucrării de finisare  
a) cu bandă abrazivă, b) lustruire cu cârpă și pastă de lustruit.

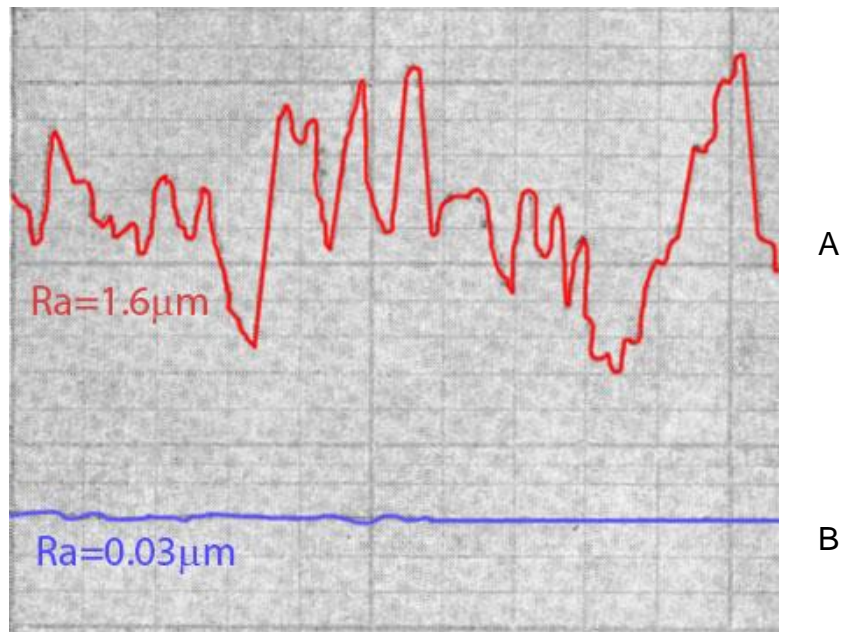


Fig. 1.4. Variația rugozității suprafeței,  
A – șlefuire cu bandă abrazivă; B – lustruire cu cârpă.

În figura 1.4. se prezintă graficul de variație a rugozității în cele două cazuri descrise anterior. În cazul finisării cu bandă abrazivă rugozitatea variază în limite largi, pe când în cazul lustruirii utilizând mop și pastă de lustruit, se obține o rugozitate constantă.

În tabelul 1 sunt prezentate valorile rugozității obținute în urma șlefuirii pentru diverse metale în funcție de materialul de lustruit folosit.

Tab. 1. Rugozități obținute în urma șlefuirii [ $\mu\text{m}$ ].

		Cupru / Alamă	Aluminiu	Oțel	Oțel inoxidabil
Benzi abrazive cu oxizi de aluminiu topiți	24	11	12	6,8	6,5
	36	8,8	9	6	5,5
	60	5	5,1	3,5	3,3
	80	4	4,2	3	2,75
	120	2,95	3	2,3	2
	150	2,4	2,45	1,9	1,75
	180	2	2,07	1,65	1,5
	240	1,56	1,6	1,3	1,2
	280	1,43	1,47	1,15	1,1
	320	1,3	1,35	1,1	1
	380	1,1	1,15	1	0,85
Compoziție abrazivă <i>Carbrax</i> pe mop de sisal		-	-	0,16	0,16
Pastă de șlefuit pe mop de bumbac		0,08-0,09	0,08-0,09	0,1	0,1
Aluminiu calcinat	Pe mop de bumbac	0,04-0,05	0,04-0,05	0,05	0,05
Hyfin	Pe mop de postav	0,04-0,05	0,04-0,05	0,04	0,04

### 1.2.1.1. Tehnologia de șlefuire cu benzi abrazive

Prin finisarea cu benzi abrazive în cazul materialelor feroase se obțin suprafețe suficient de netede pentru a fi acoperite galvanic (nichelate) [CAN 89].

Eliminarea eventualelor zgârieturi de pe suprafața de șlefuit se realizează prin șlefuiți succesive folosind materiale abrazive cu granulație din ce în ce mai fină.

Benzile abrazive cu granulație mare se utilizează pentru înlăturarea zgârieturilor și eventualelor defecte de suprafață. Trebuie evitată utilizarea benzilor cu granulație mai

mare decât cea necesară, deoarece și ele pot introduce unele zgârieturi pe suprafața de prelucrat. Nici utilizarea materialelor abrazive prea fine nu este convenabilă, deoarece va crește timpul pentru această operație.

Pentru obținerea unei suprafețe șlefuite cât mai bună se vor schimba direcțiile de șlefuire obținând prin aceasta eliminarea zgârieturilor cauzate de operațiile anterioare. Metoda este cunoscută sub numele de șlefuire încrucișată "crossing", ea constând în faptul că obiectul este șlefuit prima dată de jos în sus, urmând o șlefuire de la stânga la dreapta, iar în ultima fază direcția de șlefuire fiind identică cu prima, operațiile se vor repeta până când zgârieturile de pe suprafața obiectului de prelucrat vor fi sub limita acceptată.

Oxidul de aluminiu topit este cel mai utilizat material abraziv pentru operațiile de finisare a metalelor, putând înlocui în multe situații benzile abrazive tip șmirghel. Pentru materialele neferoase, cel mai frecvent utilizat material abraziv este carbura de silicon. Pentru lemn cel mai recomandat este oxidul de aluminiu topit. Pentru operații de planare, când se dorește îndepărtarea unui strat mai mare de material, cele mai recomandate sunt benzile acoperite cu aluminiu-zirconiu.

Șlefuirea metalelor se poate realiza în funcție de materialele abrazive astfel:

- șlefuirea cu benzi abrazive,
- șlefuirea cu discuri îmbrăcate
- șlefuirea cu discuri din material textil cu ajutorul pastelor de șlefuit

Benzile abrazive se găsesc uzual cu granulații cuprinse în intervalul 320 – 24, materialul abraziv fiind lipit pe bandă cu ajutorul liantului pe bază de rășini sintetice, sau pe bază de adeziv.

Benzile cu liant pe bază de rășină sintetică prezintă o rezistență ridicată la umezeală, se pot utiliza la temperaturi mai mari, au o durată de utilizare considerabil mai mare decât benzile cu adeziv. De asemenea sunt recomandate pentru operații de degroșare după turnare, care necesită un regim mai greu de așchiere.

Benzile abrazive cu liant mixt sunt disponibile cu granulații între 240 – 60 și au performanțe satisfăcătoare, în unele cazuri fiind soluția cea mai economică. Pentru operații de degroșare a pieselor turnate sunt recomandate benzile cu liant pe bază de rășini.

Pentru a avea eficiență maximă operația de șlefuire, trebuie să alegem în mod corespunzător roțile de contact. Pentru a șlefui suprafețe plane este necesar să avem

roată de contact cu densitate mare, iar pentru șlefuirea corpurilor cu denivelări avem nevoie de roată de contact “moale”, care se mulează după formele piesei, astfel se vor șlefui toate detaliile.

Pentru șlefuire cu benzi late se folosesc roți de contact acoperite cu cauciuc, iar pentru operații de degroșare, în special dacă suprafața conține oxizi, se vor folosi roți de contact metalice.

În figura 1.5. se prezintă o roată de contact ventilată.

Roțile de contact ventilate din material textil sunt disponibile în trei variante:

- dure – pentru șlefuirea pieselor cu suprafețe plane,
- medii – cele mai des utilizate,
- moi – dau rezultate foarte bune în cazul pieselor cu multe detalii, banda abrazivă urmând fidel formele piesei.

Banda abrazivă se va tensiona mai tare în cazul roților de contact moi, respectiv mai slab, în cazul roților de contact dure.

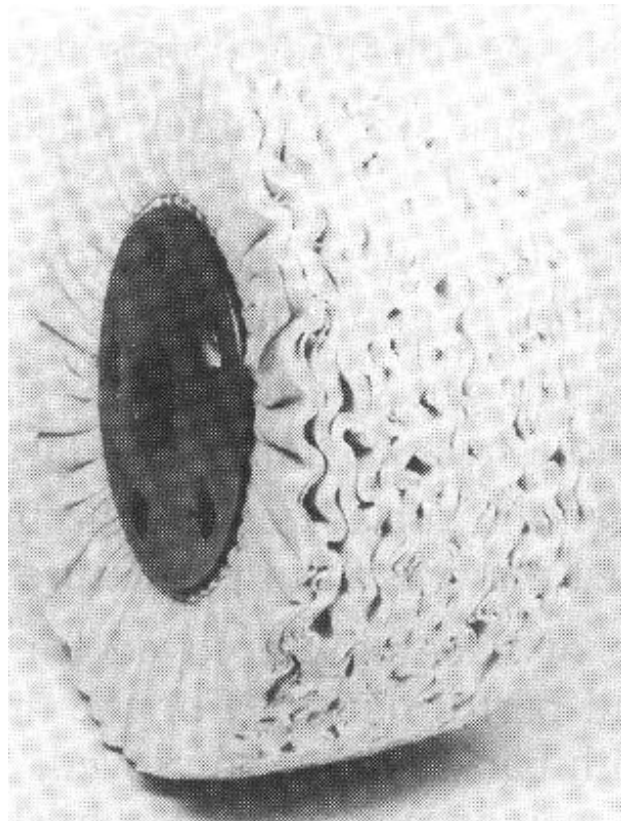


Fig. 1.5. Rotă de contact ventilată

### 1.2.1.1.1. Exemplu de tehnologie de finisare cu ajutorul benzilor abrazive

Benzile abrazive sunt larg utilizate pentru operații de șlefuire de degroșare, înaintea operației de lustruire. Banda abrazivă este antrenată de către roata motoare și este suficient tensionată de către un întinzător [SCH 84]. De obicei locul unde se realizează operația de șlefuire este pe roata motoare (figura 1.6.).

Benzile abrazive au mai multe avantaje față de discurile abrazive. Banda abrazivă acoperă o arie mai largă de utilizare decât discurile abrazive, acestea având o durabilitate mai ridicată datorită lungimii benzii, având posibilitatea răcirii benzii și prin aceasta se reduce dislocarea particolelor de pe suprafață, permit mânuirea mai ușoară a benzilor în comparație cu a discurilor abrazive. Schimbarea benzilor abrazive se poate realiza mai ușor față de schimbarea discurilor abrazive.

În figura 1.6. se prezintă o celulă de fabricație flexibilă destinată lustruirii unei linguri, utilizând pentru aceasta bandă abrazivă. Manipularea obiectului de prelucrat - lingură (1) este realizată de către robotul industrial (2). Șlefuirea se realizează utilizând banda abrazivă (3), aceasta fiind antrenată de roata motoare (4). Prin mișcările robotului industrial (2) i se asigură obiectului de prelucrat (1) o șlefuire încrucișată.

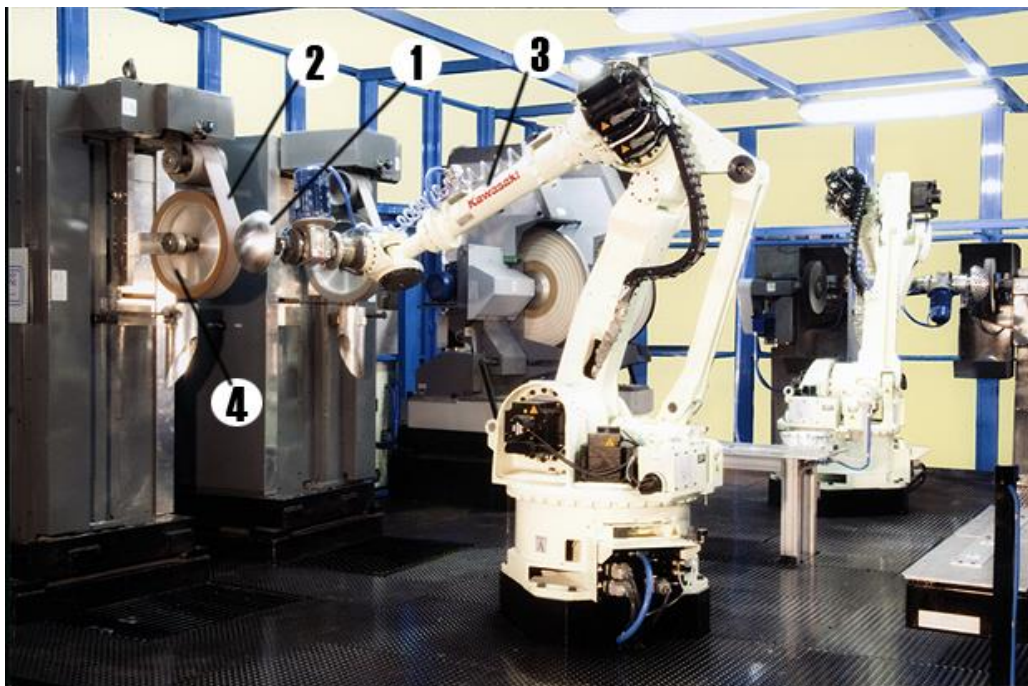


Fig. 1.6. Finisarea cu ajutorul benzilor abrazive a unei linguri de inox.

1 – obiectul de prelucrat – lingură inox, 2 – robot industrial,  
3 – bandă abrazivă, 4 – roată motoare.

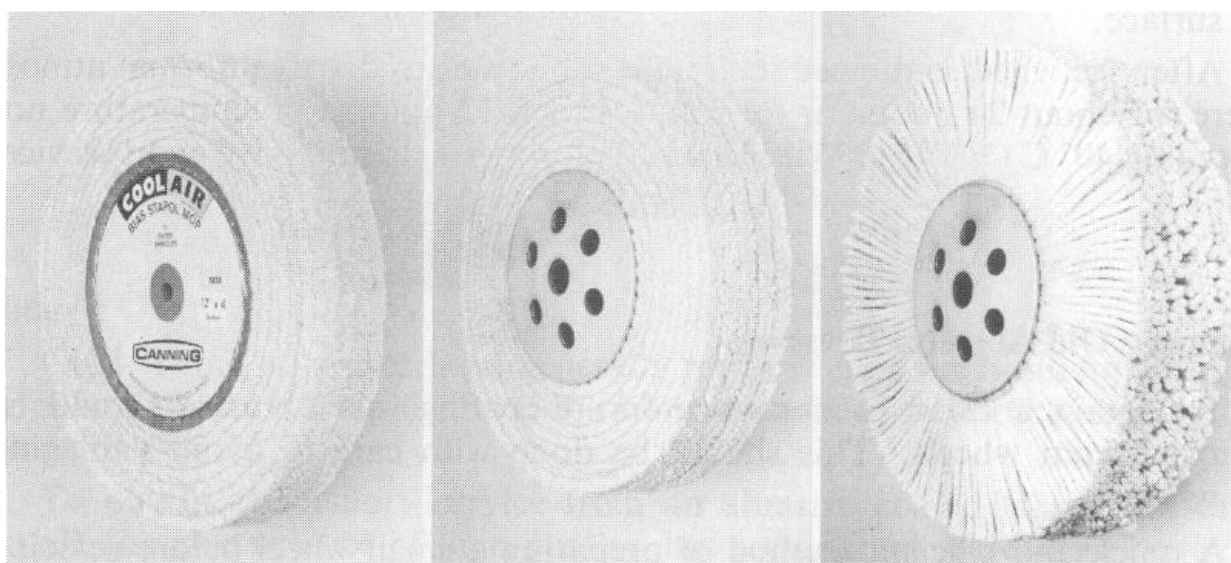
### 1.2.1.2. Tehnologia de finisare abrazivă

Pentru finisarea finală abrazivă a pieselor din oțel moale sau inoxidabil sunt disponibile două tipuri de compoziții pe bază de șmirghel și pe bază de oxid de aluminiu, respectiv *materiale cu compoziție abrazivă* și *compoziție Carbrax*.

Materialele cu compoziții abrazive sunt utilizate la perile rotative cu fibră Tampico, iar compozițiile Carbrax sunt utilizate la mopurile Stapol.

Mopurile Stapol (figura 1.7.) sunt țesute din fibre de sisal, fiind utilizate împreună cu paste de șlefuit. Ele nu sunt utilizate doar pentru creșterea productivității, ci și din punctul de vedere al curățeniei la locul de muncă.

Mopurile Stapol din sisal (figura 1.7.c.) sunt recomandate pentru operații de lustruire în care cantitatea de material de îndepărtat este mai mare.



a.

b.

c.

Fig. 1.7. Mopuri STAPOL, a – coolair, b – discuri ventilate, c – cordoane sisal ventilate

Pentru operații de lustruire automată se pot obține performanțe sporite utilizând mopuri Stapol Coolair, având o durată de viață considerabil mai mare față de mopurile Stapol clasice. Aceste mopuri sunt construite astfel încât să permită ventilarea bună a periei pentru a evita supraîncălzirea locală, (tehnologia Airflow).

Perile (figura 1.8.) sunt utilizate împreună cu paste de șlefuit, fiind construite din fibră sau postav în combinație cu fibră. Construcțiile de ultimă generație oferă o



rezistență sporită în cadrul operației de lustruire. Pentru operațiile de lustruire robotizate sau automate, unde solicitarea periiilor este mai mare, se pretează utilizarea periiilor ventilate tip Airflow. Pe centrul periiilor existând găuri care permit circulația aerului spre exteriorul periei, periiile și suprafața de prelucrat sunt răcite mai abundant, fapt care poate permite creșterea regimului de prelucrare și totodată creșterea duratei de viață a periei.

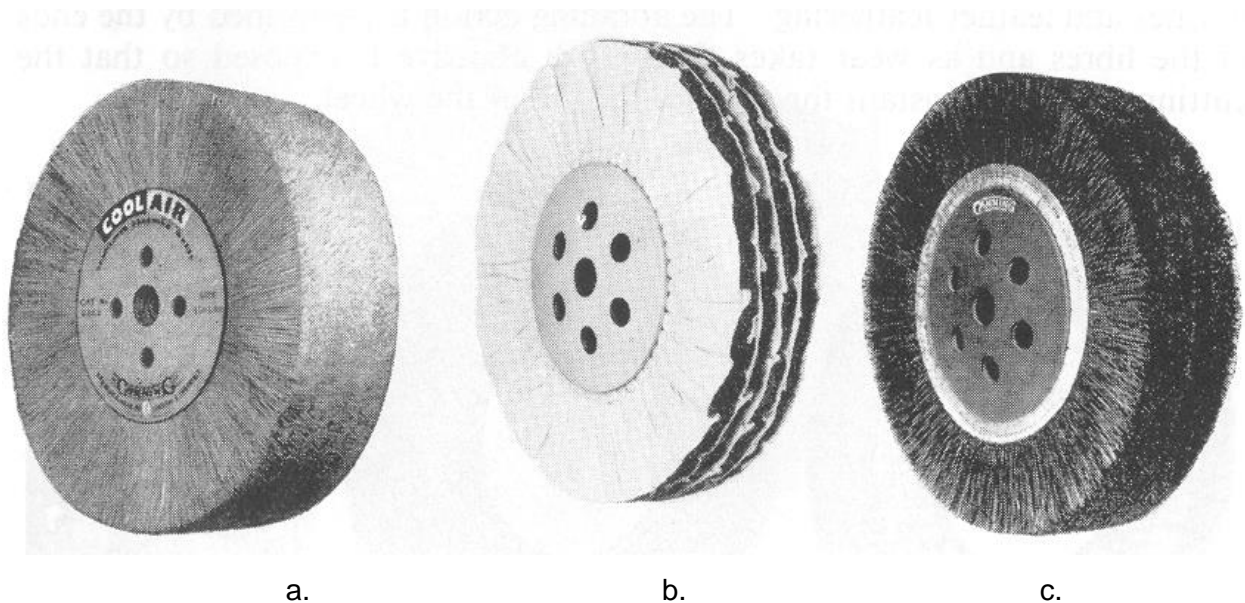


Fig. 1.8. Perii din fibră, a – coolair din fibre lungi pentru axe filetate, b – perii din fibră și bumbac ventilate, c – perie ventilată.

#### 1.2.1.2.1. Exemplu de tehnologie de finisare abrazivă

În figura 1.9. este prezentată o celulă de fabricație flexibilă pentru șlefuirea unei bare de protecție auto.

Celula de fabricație flexibilă pentru șlefuirea carcasei de protecție auto, prezentată în figura 6. este compusă dintr-un robot industrial (1) care manipulează scula – mop STAPOL (2) în vederea șlefuirii obiectului de prelucrat – carcasă de protecție auto (3). Robotul industrial (1) asigură prin mișcările impuse mopului STAPOL (2) lustruirea întregii suprafețe a obiectului de prelucrat (3).

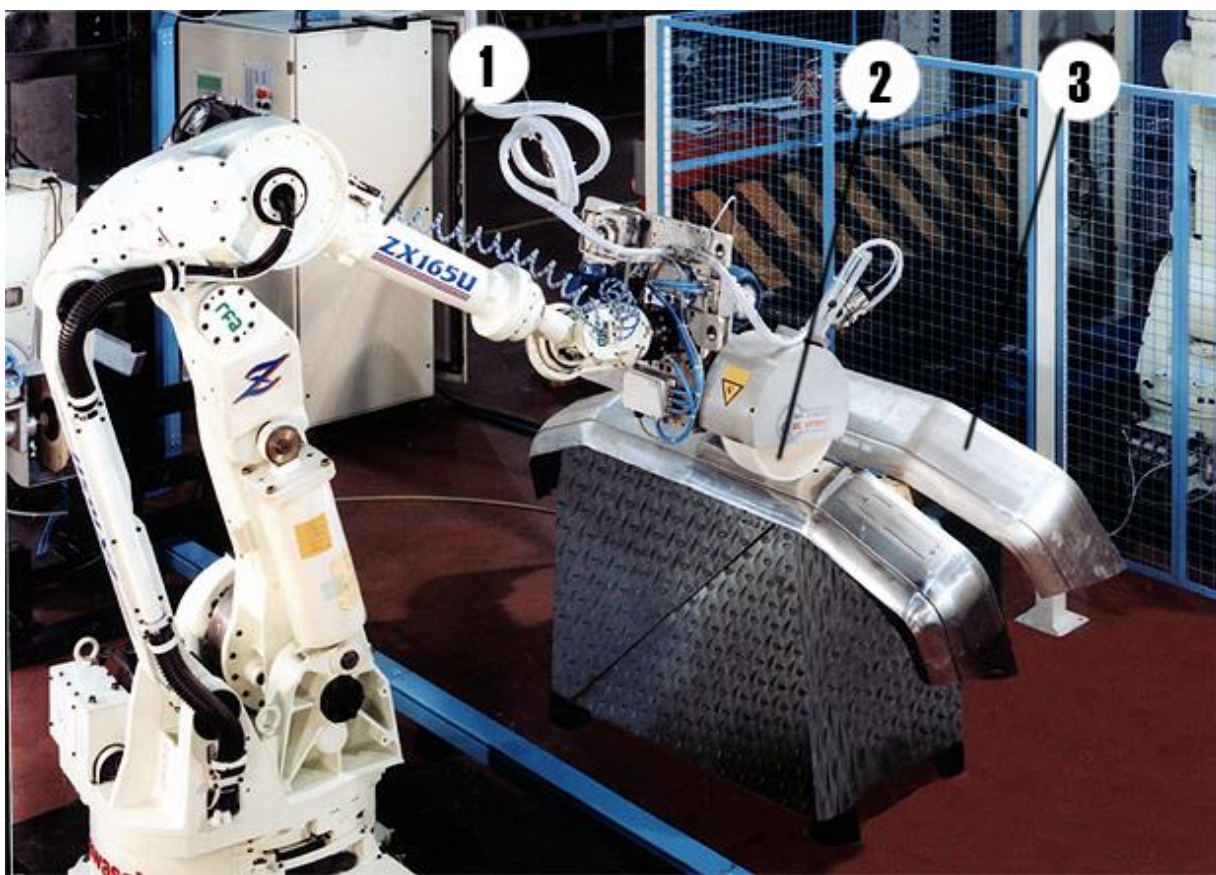


Fig. 1.9. Celulă de fabricație flexibilă pentru șlefuirea barelor de protecție auto.  
1 – robot industrial, 2 – mop Stapol, 3 – obiect de prelucrat – bară protecție auto

### 1.2.2. Factorii ce influențează tehnologia de șlefuire

La proiectarea piesei, a tehnologiei de turnare, trebuie să se țină seama de necesitatea reducerii efortului de șlefuire și prin aceasta de mărirea productivității de șlefuire / lustruire a piesei turnate prin:

- luarea in considerare a formei piesei din punctul de vedere al caracterului șlefuirii,
- amplasarea optimă a locului de șlefuit pe piesă și asigurarea posibilităților de manevrare a piesei,
- stabilirea cantităților de aliaj care se va șlefui, adică secțiunea alimentatoarelor și maselotelor, lungimea bavurilor și caracterul lor.

### 1.2.2.1. Infuența amplasării locului de alimentare cu aliaj a cavității matriței

O piesă bine proiectată poate fi șlefuită cu ușurință dintr-o singură trecere la o singură mânăuire fara rasturnări multiple, cu forță de apăsare redusă și fără o îndelungată căutare a locului de șlefuire.

În figura 1.10. sunt prezentate posibilitățile de poziționare a alimentatoarelor cu aliaj topit ale cavității matriței :

- pe suprafață plană (fig. 1.10, a);
- pe suprafață cu curbură simplă (fig.1.10. b1);
- pe suprafață cu curbură dublă (fig.1.10. b2);
- în planul bavurii (fig. 1.10. c);
- in afara planului bavurii (fig. 1.10. el);
- perpendicular pe planul de separație al piesei (fig. 1.10. e);
- pe lângă planul de separație al piesei (fig. 1.10. f);
- la un alimentator (fig. 1.10. g);
- la mai multe alimentatoare (fig. 1.10. h și i).

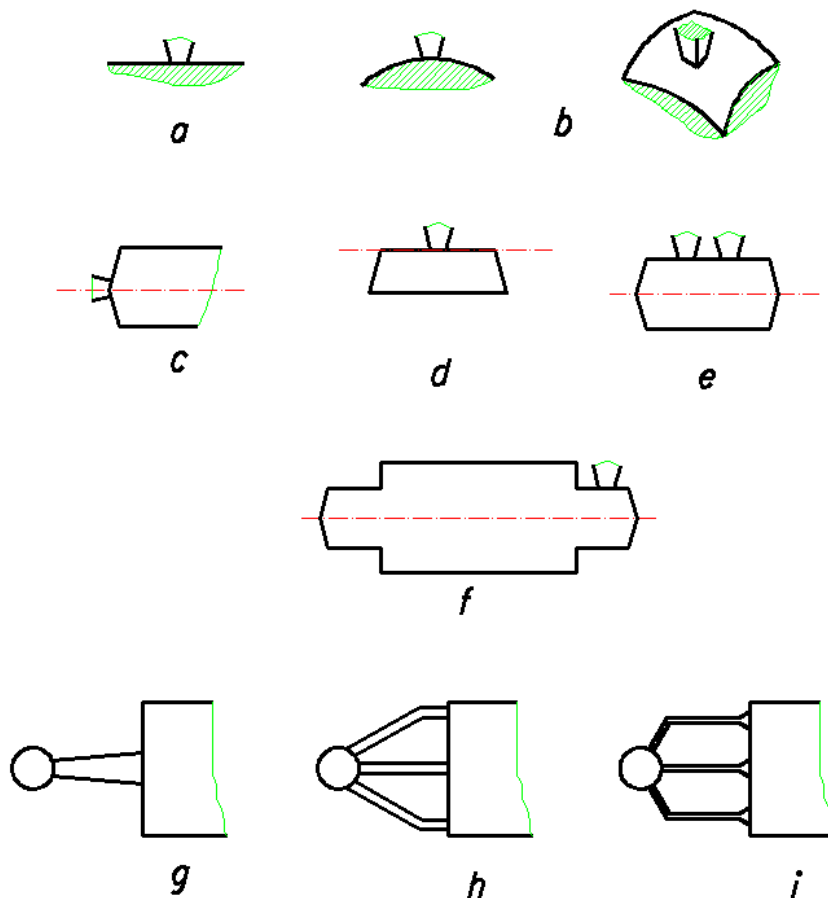


Fig. 1.10. Modul de amplasare a intrărilor de material și maseletelor

Pentru formarea unei suprafețe de rupătură favorabilă, forma de pana aduce o contribuție dorită.

Unghiul format între suprafața de rupătură și alimentator poate fi diferit, ceea ce are influență asupra caracterului rupturii și pericolul producerii rebutului. La unghiurile mai mari de  $90^\circ$  nu se poate realiza un efect de pană între suprafețele piesei și alimentator (fig. 1.11.). De aceea alimentatorul se va așeza întotdeauna în unghi drept față de suprafața piesei și în nici un caz aproape de muchii, deoarece în acest caz unghiul crește la  $180^\circ$ .

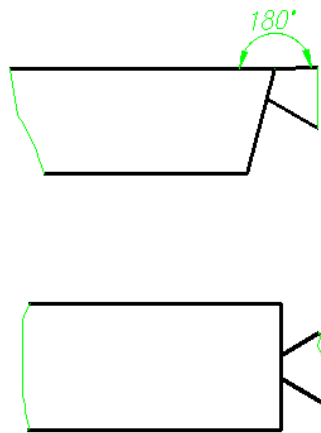


Fig. 1.11. Influența amplasării intrării asupra posibilității de rupere a rețelei de alimentare

Pe suprafețele plane drepte și deschise piatra de polizor poate fi utilizată simplu fără întoarcerea piesei. Amplasarea alimentatorului este avantajoasă atunci când se amplasează pe o suprafață pe care nu se formează o bavura pe muchie (fig. 1.12.). Suprafața pietrei polizorului este mai bine folosită în cazul suprafețelor plane și drepte decât al celor curbe (fig. 1.13.), asigurându-se o productivitate mai mare de așchiere.

Alimentatoarele lungi și înguste pot fi polizate mai bine decât cele cu secțiuni pătrate. La polizarea alimentatoarelor înguste evacuarea căldurii se face mai rapid.

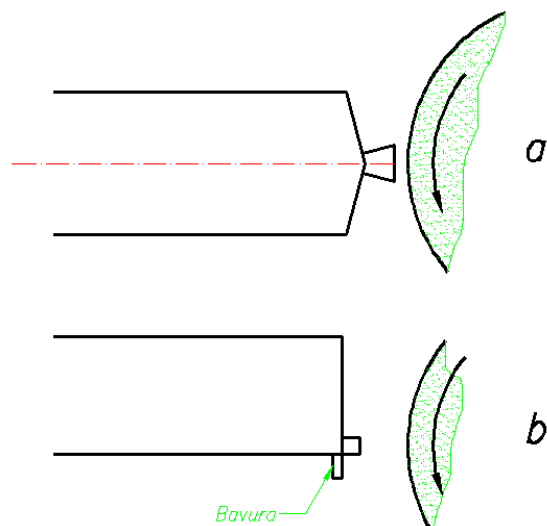


Fig. 1.12. Amplasarea intrărilor de material : a – corectă; b – incorectă

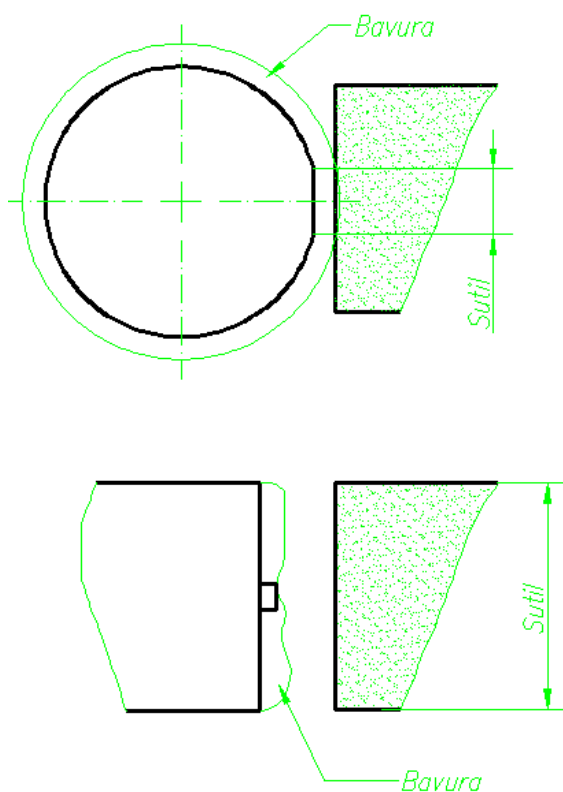


Fig. 1.13. Forma optimă a piesei pentru utilizarea eficientă a discului abraziv

Piesele mici se vor așeza dacă este posibil într-un rând , astfel, printr-o singură operație ele pot fi tăiate. Piesele așezate pe mai multe rânduri pot fi detașate de rețea printr-o singură operație de debavurare, dacă se are în vedere amplasarea acestora în “ciorchine” (figura 1.14.) față de rețea, utilizând matrițe de debavurat.

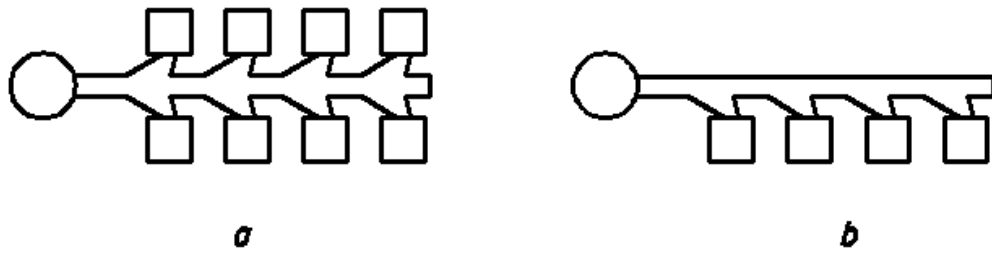


Fig. 1.14. Amplasarea în "ciorchine" a pieselor mici în vederea debavurării cu matrițe de debavurat

Din punctul de vedere al tăierii sau al ruperii, este mai avantajoasă existența a două maselote mai mici decât a uneia mai mari cu aceeași suprafață.

Amplasarea zonelor de tăiere (rupere) a maselotelor și a intrărilor se recomandă să fie executată pe suprafețe plane deoarece în acest caz prelucrările ulterioare sînt mai reduse (fig. 1.15).

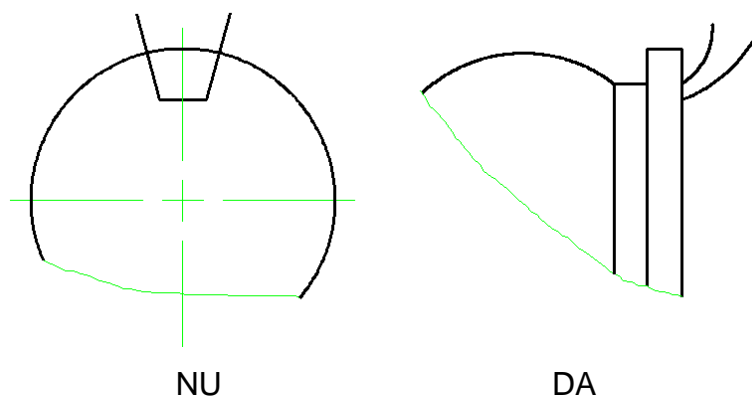


Fig.1.15. Amplasarea avantajoasă a intrării sau a maselotelor

La utilizarea polizoarelor de productivitate ridicată este de dorit ca intrările de material să fie așezate pe locuri ușor accesibile, iar bavurile din locurile ascunse să fie evitate, acestea fiind direcționate înspre locuri ușor de șlefuit, prin miezuri false, chiar dacă lungimea bavurilor crește (fig. 1.16.).

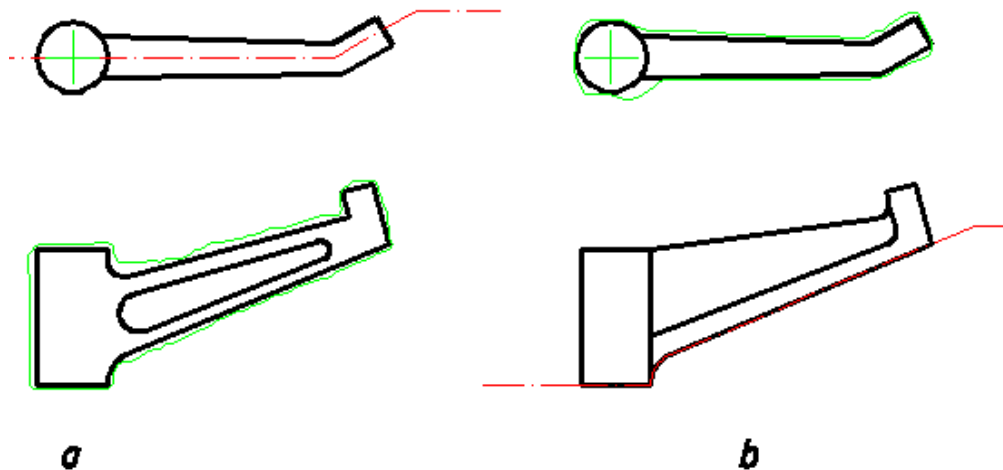


Fig. 1.16. Alegerea corectă a planului de separație pentru ușurarea șlefuirii  
a – alegerea corectă, b – alegerea incorectă

### 1.2.2.2. Influența amplasării planului de separație

Bavurile apar din cauza formării, a dimensiunii miezurilor și a îmbinărilor necorespunzătoare. Eliminarea completă a bavurilor ar conduce, în majoritatea cazurilor, la cheltuieli suplimentare greu de suportat, iar în unele cazuri această dorință este chiar irealizabilă. Însă în totdeauna trebuie să se tindă către un echilibru între cheltuielile suplimentare de realizare a matriței și economiile ce se pot realiza la șlefuire.

Bavura se formează în suprafața de separație a formei, la imbinarea diferitelor părți ale formei sau la limita miezurilor .

Dacă bavura rezultă pe o muchie sau pe o suprafață, atunci este important de a se stabili dacă bavura este pe o suprafață convexă, concavă sau plană .

Îndepărtarea bavurilor de pe suprafețe curbe, mai ales convexe, întotdeauna cere o atenție specială.

După grosimea bavurii se disting:

- bavuri normale,
- bavuri groase, datorită formării necorespunzătoare, mărcilor miezurilor necorespunzătoare și asamblării neglijente;

Bavurile formate în părțile acoperite de proeminențele piesei nu pot fi îndepărtate cu polizoare fixe, în acest scop utilizându-se polizoare de mână de diametru mic (fig

.1.17. a). Dacă aceste părți închise nu pot fi îndepărtate atunci se vor lărgi la raze suficiente care să permită utilizarea polizoarelor de diametru acceptabil în vederea obținerii unor suprafețe curate (fig. 1.17. b).

Alegerea unei tehnologii de turnare corespunzătoare, modificarea planului de separație, aplicarea miezurilor ș.a., permit scoaterea bavurii din suprafața închisă, asigurând astfel condiții favorabile pentru polizare (fig. 1.17. c).

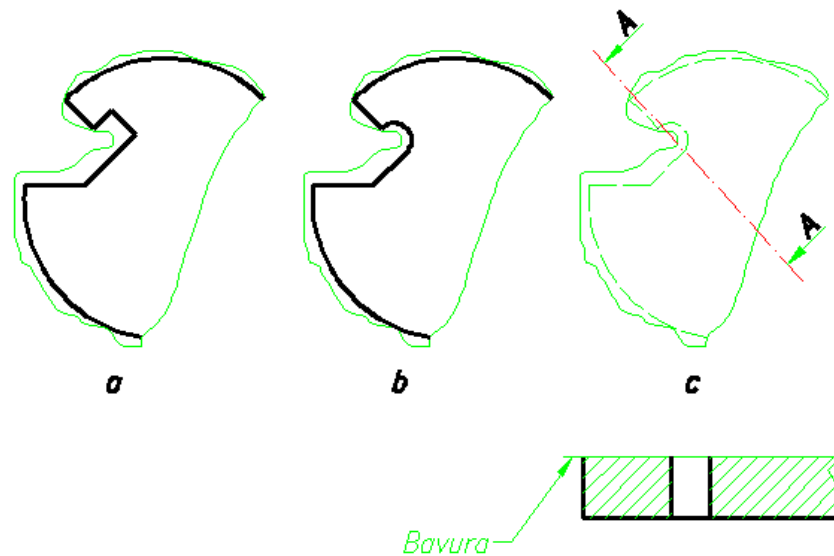


Fig. 1.17. Proiectarea optimă a piesei turnate pentru ușurarea șlefuirii suprafețelor interioare

**Șanțuri înguste.** La polizoarele fixe se folosesc pietre de polizor cu lățimea de 50 ... 60 mm.

Piese de articulație (fig. 1.18. a) formează bavuri interioare care creează dificultăți mari la polizare. La proiectarea piesei se va analiza dacă nu se poate alege varianta prezentată în figura (1.18.b), deoarece la turnarea piesei în poziție verticală rezultă o bavură mai avantajoasă. În anumite cazuri se va poliza numai bavura însemnată cu "x", deoarece cea care s-a format în dreptul găurii se îndepărtează la prelucrarea mecanică.



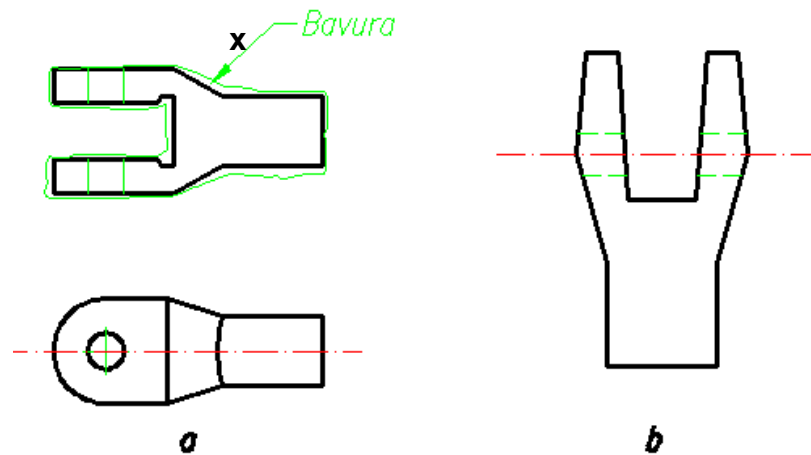


Fig. 1.18. Alegerea corectă a planului de separație pentru amplasarea bavurii

Pentru șlefuire cel mai avantajos este dacă bavurile se formează într-un singur plan și dacă se poate acest plan să fie paralel cu planul de sprijinire a piesei (fig. 1.19. a). Se consideră nefavorabilă bavura care este nejustificat de lungă sau planul bavurii formează unghiuri diferite (fig. 1.19. b),

Bavura se poate aranja într-un singur plan dacă se suprapune în același plan cu dimensiunea cea mai mare a piesei (fig. 1.19.c), fiindcă în acest caz piesa se poate sprijini bine la șlefuire. O poziție nefavorabilă are bavura din (fig. 1.19.d), însă această situație se poate îmbunătăți prin schimbarea planului de separație (fig. 1.19. e).

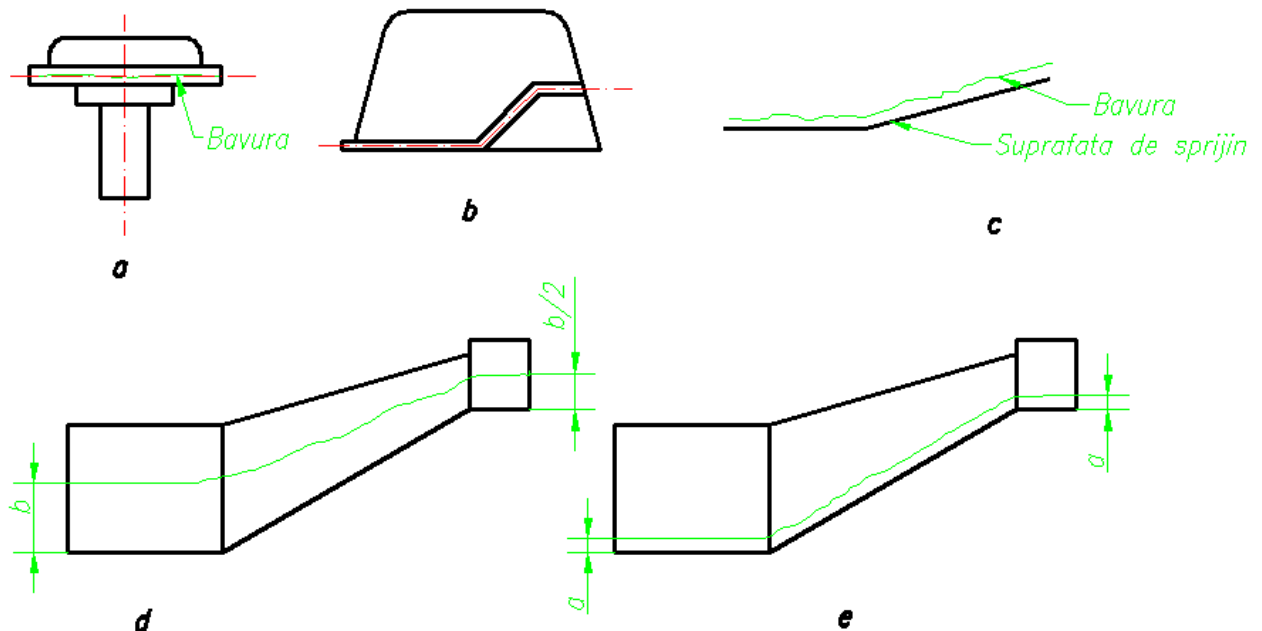


Fig. 1.19. Variante de amplasare a bavurii în raport cu suprafața de sprijin

### **1.2.2.3. Influența defectelor de suprafață**

Originea defectelor de suprafață constau în:

- proeminențe pe piese din cauza defectelor formei sau miezurilor,
- goluri în piesă datorită incluziunilor,
- goluri de aer.

### **1.2.2.4. Influența posibilității de prindere a piesei în vederea șlefuirii**

Productivitatea operatorului este influențată considerabil și de posibilitățile de apucare a piesei. Prin aceasta nu se înțelege ca operatorul să apuce întotdeauna în siguranță piesa, sau să o așeze întotdeauna în aceeași poziție pe masa polizorului. Operatorul trebuie să fie absolvit de necesitatea ca să privească piesa; el trebuie să fie asigurat că poate realiza o apucare sigură fără să se uite la piesă. În acest scop este necesar ca piesele să fie depozitate și manipulate ordonat, iar locul de execuție a operației de polizare trebuie să fie net distinct.

Posibilitatea bună de prindere mai înseamnă și posibilitatea acționării asupra piesei cu forță maximă. Piesa trebuie să aibă forma în așa fel încât alimentatoarele să fie amplasate în locurile unde se pot aplica și apăsările cele mai mari în timpul polizării.

## **1.3. Utilaje folosite la șlefuire**

### **1.3.1. Mașini de șlefuit fixe**

Șlefuirea pieselor este o operație cu consum mare de muncă, dar în general este inevitabilă [GRI 00].

Costurile de șlefuire a pieselor turnate reprezintă jumătate din costurile de curățire a acestora. Aceasta este însă o valoare medie, de la care pot fi abateri mari în funcție de seria de fabricație, stimularea materială, experiența muncitorilor, tipul

pieselor, tipul rețelei de turnare, exploatarea mașinii de șlefuit și lustruit, tipul polizorului, al materialului abraziv etc [32] [33].

Pentru polizarea pieselor turnate în general se folosesc mașini de polizat periferice, deoarece pe periferia pietrei viteza este relativ constantă. Pe mașinile de polizat frontale, viteza este diferită pe partea interioară și exterioară a pietrei, părțile închise ale pieselor sunt greu accesibile, iar aerisirea este mai anevoioasă.

**Avantajele șlefuirii frontale** : viteza de așchiere este constantă și nu depinde de uzura discului abraziv, iar suprafețele sunt totdeauna paralele.

Se întrevide răspîndirea lor mai ales la realizarea automatelor de șlefuire. Pentru aceasta vor trebui îmbunătățite calitatea discurilor abrazive și modul de prindere a pieselor. Viteza periferică maximă în prezent este de numai 30 m/s.

Mașinile de șlefuit cu bandă sunt utilizate mai ales în turnatoriile de aliaje neferoase, însă încep să se răspîndească și în turnatoriile de fontă. Mașinile de șlefuit cu bandă lucrează cu viteza constantă iar discul de contact poate fi realizat dintr-un material elastic care să permită astfel șlefuirea și a suprafețelor curbe. Viteza constantă a benzii permite utilizarea mecanismelor de împingere. Benzile se pot deplasa în sensurile dorite iar manual se va asigura numai alimentarea cu piese. Mașinile de șlefuit cu bandă se pot amplasa astfel încât să se realizeze concomitent șlefuirea ambelor fețe ale piesei.

### **Caracteristici tehnice**

La alegerea mașinilor de șlefuit se va ține cont în principal de productivitate. Calitatea pietrei și deci valoarea productivității depind de numărul de tăieturi, lățimea tăieturii, înălțimea și unghiul de tăiere. Aceeași influență o au forța de apăsare, suprafața de contact și viteza de așchiere.

Forța de apăsare depinde de cel care execută șlefuirea, de forma piesei precum și de calitatea materialului piesei. În funcție de forma piesei operatorul apasă cu întregul său corp sau numai cu câteva degete. Se va tinde ca munca operatorului să devină cât mai ușoară în timpul operației de șlefuire.

Viteza mai mare de polizare atrage după sine un consum mai mare de energie electrică, utilizarea materialelor abrazive mai scumpe, producerea de curenți de aer mai puternici și deci mașina de șlefuit este mai scumpă. Ținând seama de toate aceste

particularități se recomandă aprecierea tuturor avantajelor înainte trecerii la prelucrarea cu viteze mari de așchiere.

În prezent se utilizează viteze de 30; 40 și mai rar 60 m/s. În Germania pe lângă acestea se utilizează și viteze de 80 m/s, în USA s-a răspândit cel mai mult viteza de 60 m/s. Teoretic sporul de productivitate este egal cu creșterea de viteză în condițiile existenței pietrelor de calitate corespunzătoare. Din experiența practică reiese că numai schimbarea liantului pietrei nu este suficientă pentru trecerea la viteze mari ci este necesară utilizarea unei granulații mai fine.

În condițiile din practică timpul de contact variază în limitele 10-50%. Creșterea vitezei periferice a sculei în aceste condiții de la 45 m/s la 80 m/s determină un spor de productivitate de 6-30%. În cazul unor creșteri mai mari de viteză, ca de exemplu de la 30 la 80 m/s și la un timp de contact de 25-50%, sporul de productivitate va fi în limitele 18-46%.

Viteza mai mare, în general, determină reducerea forței de apăsare, ceea ce limitează în continuare creșterea productivității. În condiții normale, la o utilizare bună a timpului și la un consum rezonabil de materiale abrazive, prin trecerea de la viteza periferică de 45 m/s la 80 m/s ne putem aștepta la o creștere de productivitate de 5 – 20%. Nu se exclud creșteri și mai mari dacă anterior s-a lucrat cu materiale necorespunzătoare sau dacă piesele au suprafețe mari de polizat.

Creșterea productivității polizoarelor portabile în funcție de viteza de rotație este prezentată în figura 1.20.a. Din datele prezentate rezultă că mărirea productivității este destul de modestă ca urmare a faptului că forța de apăsare la polizarea manuală nu este constantă. În cazul, polizoarelor fixe mărirea vitezei periferice de la 45 m/s la 80 m/s, determină creșterea productivității cu 15 - 25%. Acest lucru face ca să se realizeze o economie la manoperă de 13 - 20%, ceea ce la, un salariu de 7,5 Euro/h și o regie de atelier de 100% reprezintă în final o economie la manoperă de 2,6-3 Euro/oră. Variația acestor elemente în funcție de schimbarea vitezel periferice este redată în figura 1.20.b.

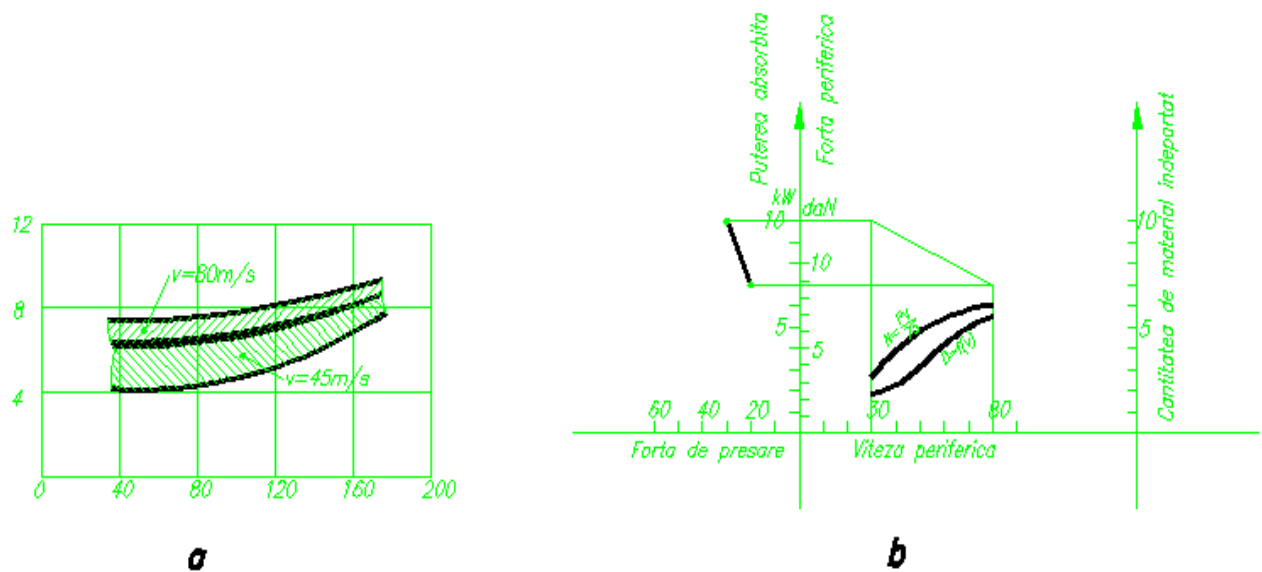


Fig. 1.20 . Corelația dintre parametrii polizoarelor

**Utilizarea pietrelor de polizor.** Compoziția pietrelor pentru vitezele de 30, 40, 60 și 80 m/s este diferită. Pentru viteza de 30 m/s liantul este ceramic, iar pentru vitezele de 45 și 60 m/s se utilizează lianți din rășini sintetice. Pentru viteza de 80 m/s este necesară prezența și a unei armături din țesătură de fibre de sticlă.

### 1.3.2. Mașini de șlefuit portabile

La curățirea pieselor unicat, de serie mică și mijlocie cu mărime mijlocie și mare nu ne putem lipsi de folosirea polizoarelor portabile. În funcție de energia utilizată pentru acționarea lor, acestea se impart în două clase: acționate electric și pneumatic.

În industrie continuă și în prezent disputa ca la șlefuirea pieselor turnate să fie utilizate scule acționate pneumatic sau electric. În afara unor condiții obiective existente în firmele care produc piese turnate, avantajele sau dezavantajele unei grupe de scule sunt puternic subliniate de publicitatea pe care o fac fabricanții.

La o firmă dată, înainte de a se lua vreo hotărâre, vor fi analizate următoarele elemente:

a) Se vor compara:

- polizoarele în unghi;
- polizoarele tip farfurie;
- polizoarele drepte cu disc;
- polizoarele drepte cu cep.

b). Se vor executa următoarele lucrări:

- tăiere;
- polizarea suprafețelor;
- polizarea bavurilor;
- polizarea suprafețelor mari;
- polizarea orificiilor și ferestrelor mici;
- netezirea suprafețelor aspre.

Aceste operații trebuie executate:

- cu consum mic de manoperă, adică cheltuieli mici de fabricație;
- cu consum redus de energie;
- cu efort fizic cât mai mic;
- cu consum redus de scule abrazive;
- cu cheltuieli mici de investiție și de întreținere;
- calitatea suprafeței prelucrate să fie bună.

O soluție care să rezolve toate problemele și necesitățile nu se poate găsi la fiecare aplicație, însă în majoritatea cazurilor se realizează mai multe compromisuri.

Se consideră avantajos dacă:

- se alege o mașină ușoară, care funcționează cu viteza cea mai mare posibilă, fiindcă în aceste condiții forța de presare necesară scade iar turația se menține constantă atât la mersul în gol cât și la mersul în sarcină;
- mașina are productivitate mare (diametrul discului abraziv mare, suprafața polizată mare și astfel randamentul este bun);
- turația să fie reglabilă după uzura discului.

## Capitolul 2

### Robotizarea operației de șlefuire / lustruire

#### 2.1. Sisteme flexibile de fabricație (SFF) în care robotul manipulează scula

Un exemplu de realizare a operației de șlefuire a unei jenți de mașină din aliaj ușor [34] este ilustrat în figura 2.1. :



Fig. 2.1. SFF robotizat pentru șlefuirea jenților auto

Înainte operației galvanice de cromare este necesară o pregătire corespunzătoare a suprafeței, pentru eliminarea unor bavuri datorată operației de strunjire, care se elimină utilizând o perie de sârmă, antrenată de către capul de forță purtat de către robotul industrial.

Layout-ul modului de fabricație flexibilă prezentat în figura 2.1. este redat în figura 2.2. [BLE 94], [COJ 86] :

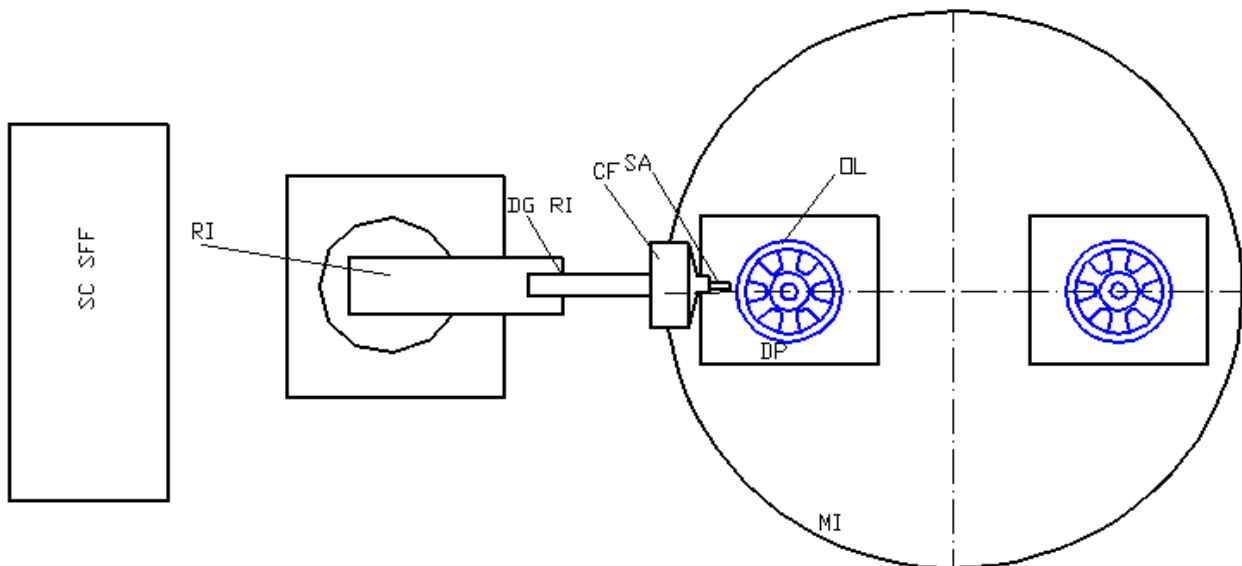


Fig. 2.2. Layout-ul SFF pentru operații de șlefuire a jenților auto

- unde :- RI - robot industrial ,
- DG RI – dispozitivul de ghidare al RI ,
  - CF – cap de forță,
  - MI – masă indexoare pentru poziționare,
  - OL – obiectul de prelucrat,
  - DP – dispozitiv de poziționare,
  - SA – scula așchietoare, (freză)
  - SC SFF – sistemul de comandă al SFF.

Ciclograma de funcționare a celulei de fabricație prezentată în figura 2.2. este următoarea :



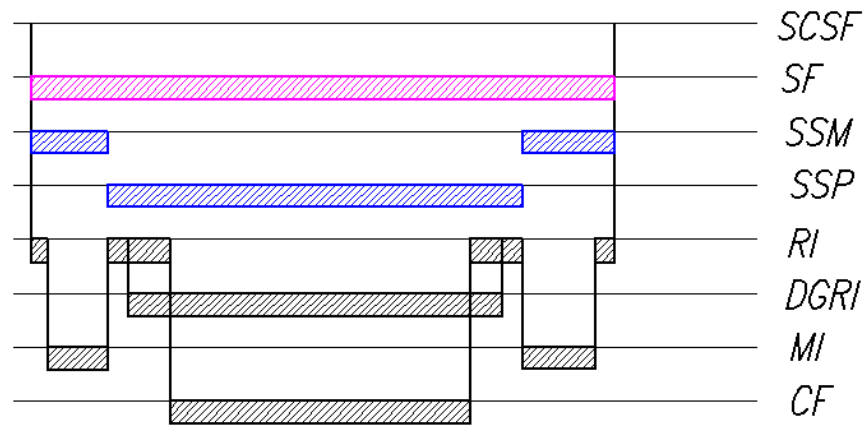


Fig. 2.3. Ciclograma de funcționare a SFF pentru operații de șlefuire jenți auto

Un alt exemplu de sistem de fabricație flexibil robotizat pentru operații de șlefuire a unui vas cilindric din inox [14] [WOR 99] este prezentat în figura 2.4. :

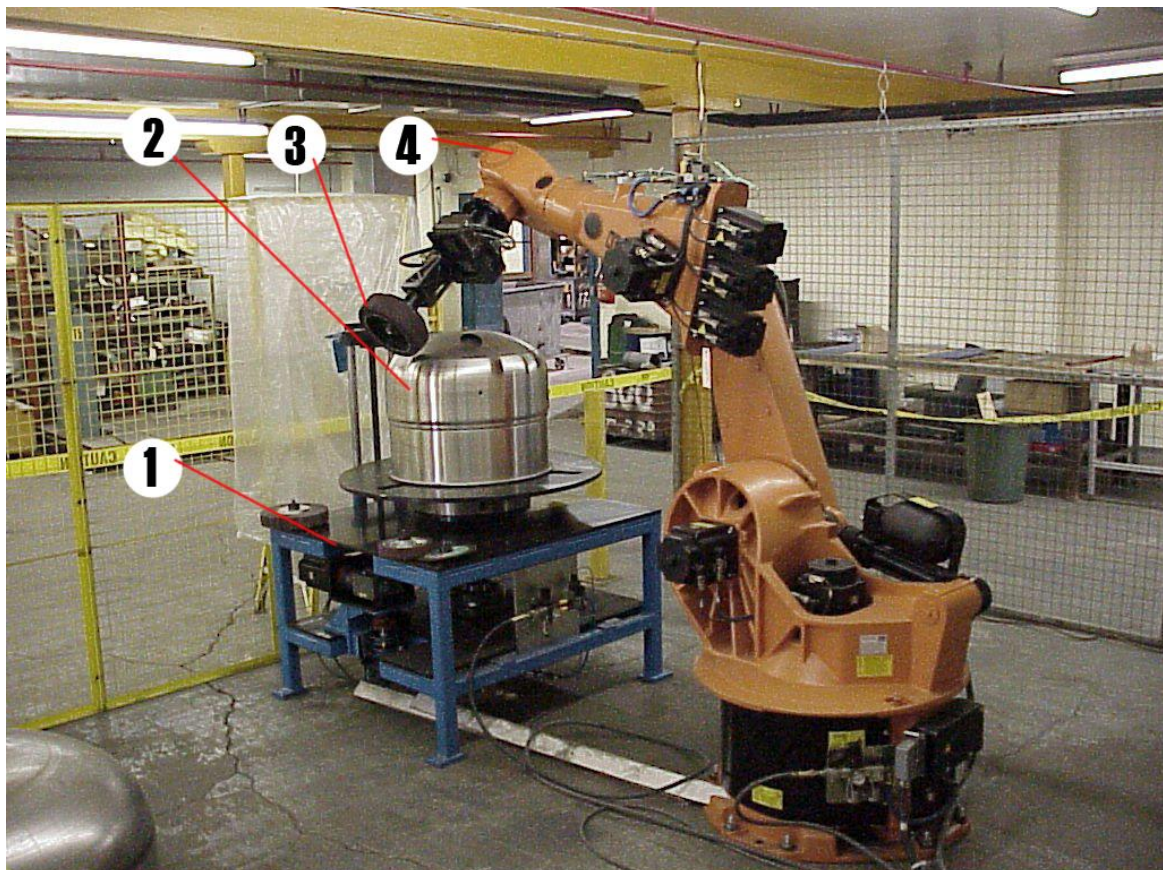


Fig. 2.4. Sistem flexibil de fabricație pentru operația de șlefuire a corpurilor de inox

Manipularea mopului Stapol din sisal (3) este realizată de către robotul industrial (4). Obiectul de prelucrat (2) este așezat pe o masă rotativă (1).

Layoutul sistemului flexibil de fabricație este prezentat în figura 2.5.

Unde :

- SC SFF – sistemul de comandă al sistemului flexibil de fabricație,
- RI – robot industrial,
- MR – masă rotativă,
- OL – obiect de prelucrat.

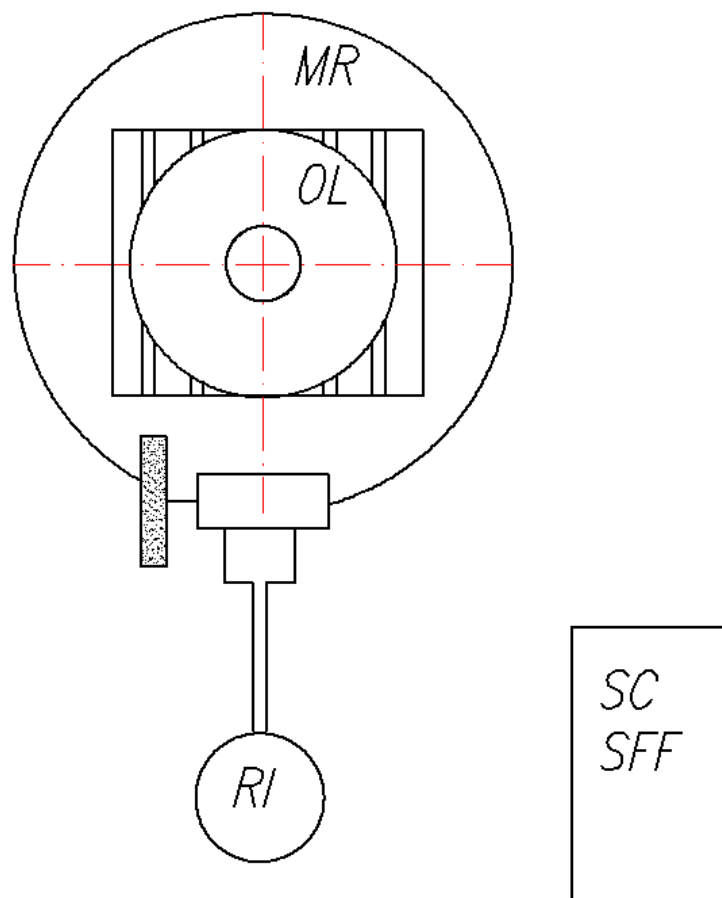


Fig. 2.5. Layout-ul celulei robotizate de șlefuire din figura 2.4.

Ciclograma de funcționare a celulei de fabricație prezentată în figura 2.6. este următoarea :

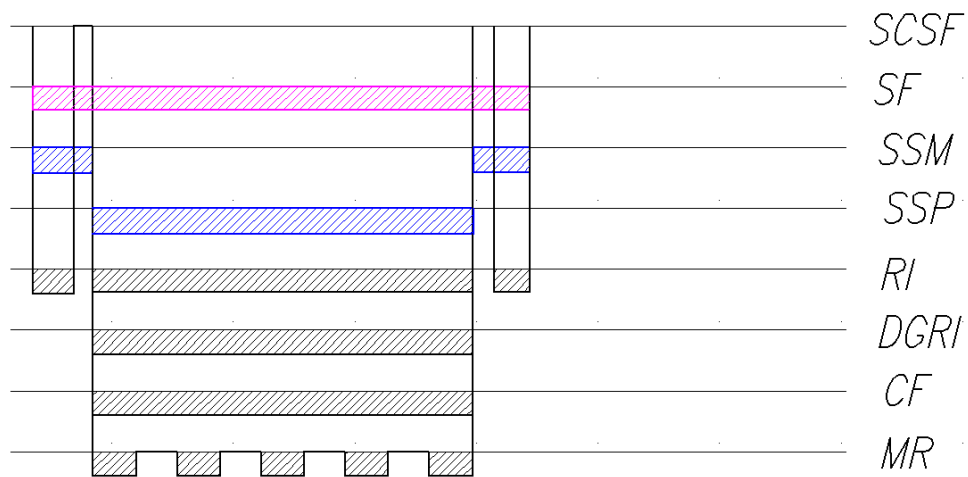


Fig. 2.6. Ciclograma de funcționare a sistemului prezentat în figura 2.5

## 2.2. Sisteme flexibile de fabricație (SFF) în care robotul manipulează obiectul de prelucrat

Un exemplu de realizare a operației de șlefuire a mânerelor de ușă din alamă este ilustrat în figura 2.7. :



Fig. 2.7. Celulă pentru operație de șlefuire / lustruire a mânerelor de ușă

Layout-ul modului de fabricație flexibilă pentru operații de șlefuire mănere uși este redată în figura 2.8. :

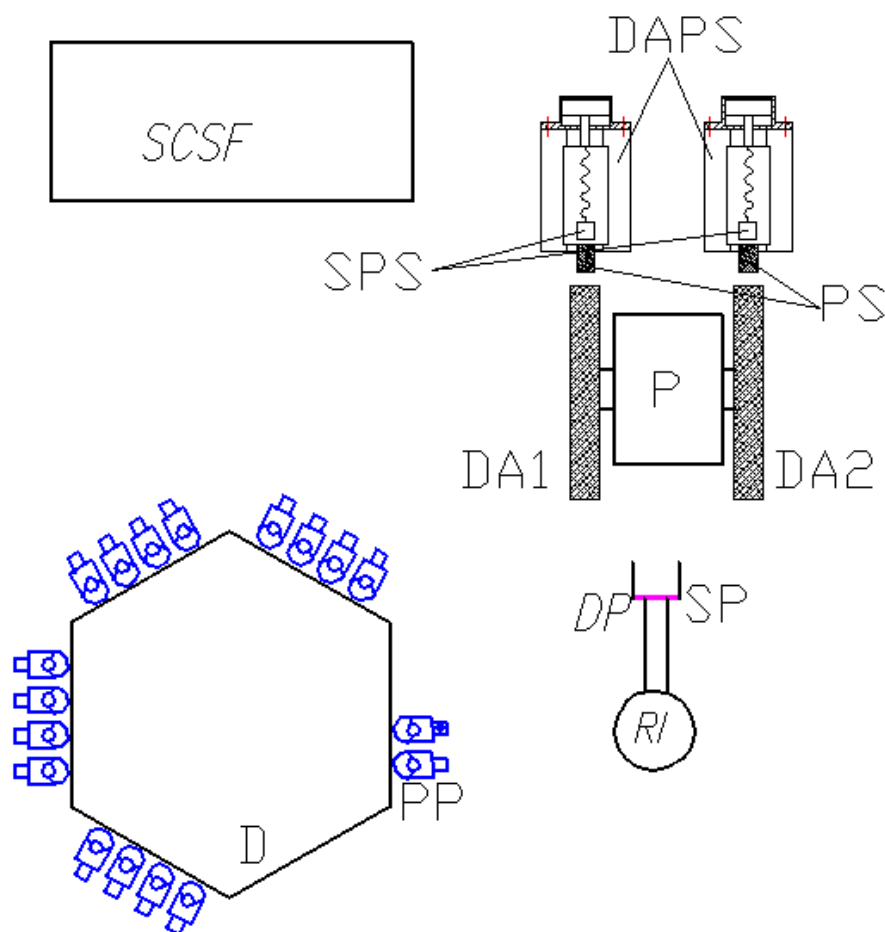


Fig. 2.8. Layout-ul MFF pentru operații de șlefuire

unde :- RI - robot industrial ,

- DP – dispozitiv de prehensiune,
- SP – senzor prezență piesă,
- D - depozit,
- PP – post de predare - primire,
- P - polizor,
- DA 1, 2 – discuri abrazive,
- PS – pastă de șlefuire,
- SPS – senzor de uzură a pastei de șlefuit,
- DAPS – dispozitiv de avans al pastei de șlefuit,
- SC SFF – sistemul de comandă al SFF.

Ciclograma de funcționare a celulei de fabricație prezentată în figura 2.8. este următoarea :

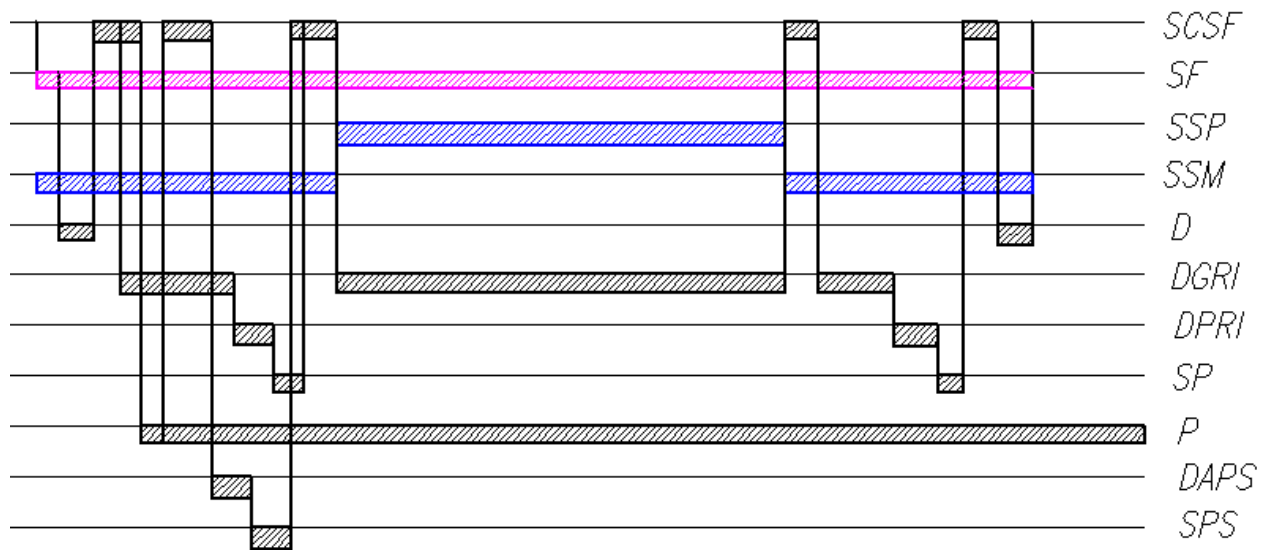


Fig. 2.9. Ciclograma de funcționare a SFF pentru operații de șlefuire mânăre

În figura 2.10. este prezentată o celulă de fabricație flexibilă robotizată pentru șlefuirea / lustruirea picioarelor de scaune [8] [DAN 04], [VOL 81].

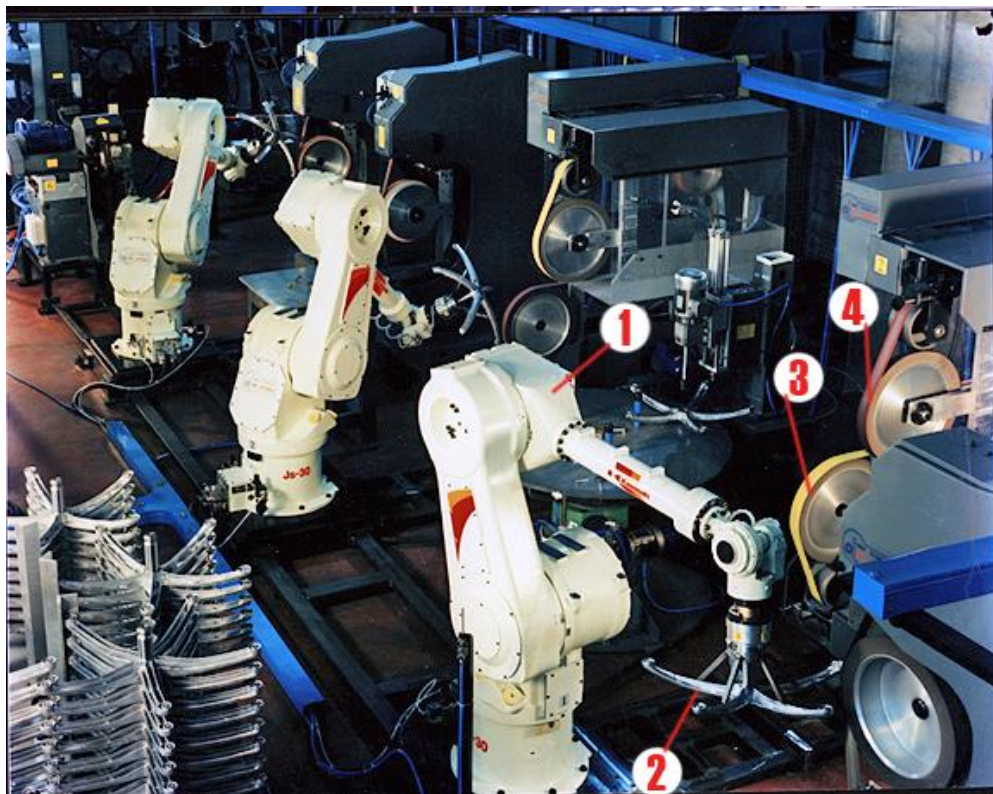


Fig. 2.10. Sistem flexibil de fabricație pentru șlefuirea picioarelor de scaune

Robotul industrial (1) manipulează obiectul de prelucrat – picior de scaun (2). Șlefuirea se realizează utilizând benzile abrazive (3) și (4). Prin mișcările robotului industrial (1) i se asigură obiectului de prelucrat (2) o șlefuire corespunzătoare, necesară operației de cromare.

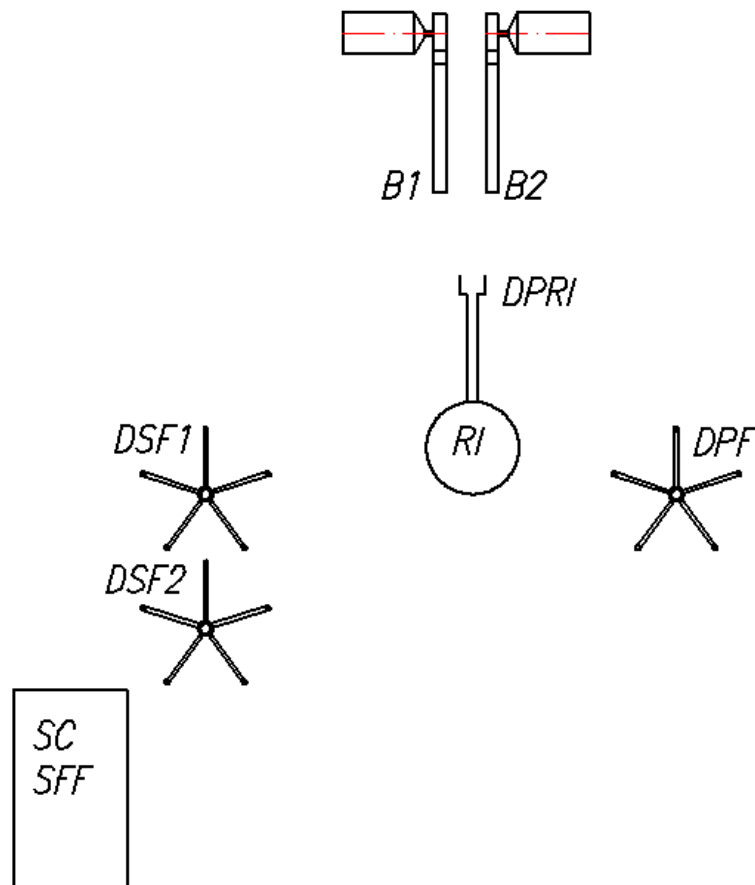


Fig. 2.11. Layout-ul SFF pentru șlefuirea picioarelor de scaune

- unde :
- RI - robot industrial ,
  - DPRI – dispozitiv de prehensiune,
  - DSF1, 2 – depozit de semifabricate,
  - DPF – depozit piese finite,
  - B 1, 2 – benzi abrazive,
  - SC SFF – sistemul de comandă al SFF.

Ciclograma de funcționare a celulei de fabricație prezentată în figura 2.11. este următoarea :

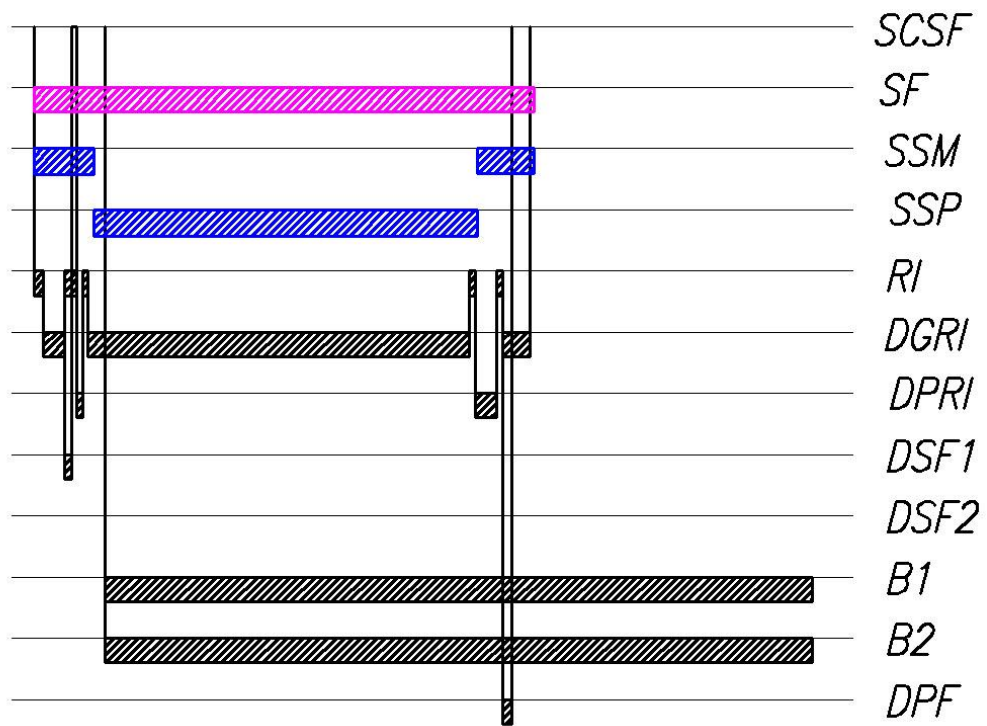


Fig. 2.12. Ciclograma de funcționare a SFF pentru operații de șlefuire picioare

# Capitolul 3

## Ingineria integrată a produselor

### 3.1. Introducere [FLO 03]

Abordarea globală a procesului de dezvoltare de noi produse este denumită **inginerie integrată**. Acest termen a cunoscut o anumită evoluție, de la Computer Aided Acquisition and Logistic Support (CALs), la Concurrent Engineering (CE) sau Simultaneous Engineering (SE), la Integrated Product Development (IPD) [CRA 86].

Ingineria integrată se poate defini ca o metodologie ce permite concepția integrată și simultană a produselor și a proceselor de producție asociate.

Un model al ingineriei integrate se prezintă în figura 3.1 [KOV 00].

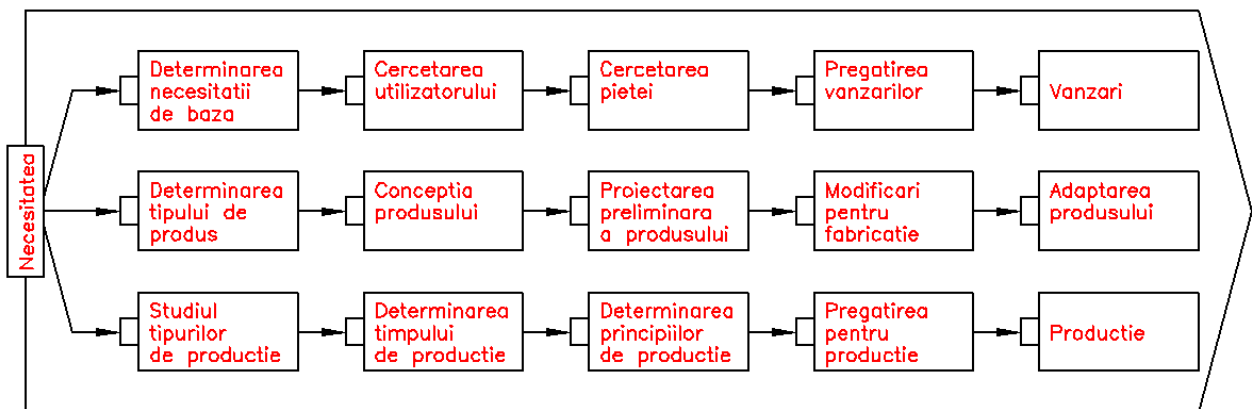


Fig. 3.1. Modelul ingineriei integrate a produselor

Acest model indică faptul că ingineria integrată permite într-o viziune unitară dezvoltarea concomitentă a produsului și a mijloacelor sale de fabricație integrând în demersul său activitățile de marketing, cercetare, concepție, prototipare etc.

Necesitățile consumatorilor se cercetează pe trei planuri :

- pornind de la determinarea necesităților de bază ale acestora se concentrează profilul utilizatorului potențial, viitoarea piață și se pregătesc viitoarele vânzări;



- în paralel, se determină tipul de produs, se concepe acesta, se proiectează preliminar produsul, se fac modificările necesare ale acestuia în vederea adaptării pentru fabricație;

-se studiază tipurile de producție posibile, se determină cel adecvat pentru produsul definit anterior, se determină principiile de producție, se trece la pregătirea și efectuarea producției.

### 3.2. CAD și CAPP în contextul ingineriei integrate

În condițiile desfășurării **clasice** a activităților de concepție constructivă, tehnologică și de pregătirea producției, etapele tehnologice ale CAD și CAPP se desfășoară succesiv în timp, ceea ce lungeste timpul de efectuare, mai ales dacă se ține seama de faptul că unele faze se repetă iterativ [CAT 07].

Ingineria concurentă prevede efectuarea integrată și parțial suprapusă a etapelor și fazelor CAD și CAPP, ceea ce conduce la diminuarea timpului total de execuție , diminuarea numărului de iterații, prin rezolvarea pe parcurs a eventualelor contradicții construcție – tehnologie, îmbunătățirea calității proiectului elaborat etc. Spre ex., după alegerea materialului, formei și dimensiunilor, stării suprafețelor OL, alegerea/conceperea sculelor, DL, proiectarea operațiilor de execuție se poate realiza imediat, fără să fie nevoie de așteptarea încheierii proiectului constructiv al produsului [DRĂ 99], [DRĂ 84].

Cunoașterea numărului produselor de executat și a datelor constructive al OL poate servi la determinarea consumurilor de materiale, înainte ca proiectul tehnologic al produsului să fie încheiat. Condiția realizării integrate ale acestor activități în concepția ingineriei concurente este execuția lor automată sau asistată de calculator, utilizând rețele de calculatoare și programe adecvate. Una dintre aceste laturi o reprezintă integrarea bazelor de date pentru diferite activități componente ale CAD și CAPP.

În figura 3.2. se prezintă schema bloc a activităților CAD + CAPP + CAM considerate ca sistem în concepție „clasică” , iar în figura 3.3. schema bloc a aceluiași activități, executate în cadrul unui sistem integrat.

În figura 3.4. se prezintă matricea de structură Str aferentă schemei bloc din figura 3.3. în care s-au reprezentat încadrate în dreptunghiuri matricile de cuplare care

sunt diferite de 0 . Numărul mare de matrici de cuplare neevidențiate prin intermediul dreptunghiurilor argumentează superioritatea ingineriei concurente față de cea clasică [KOV 00], [CRA 86], [DRI 85] .

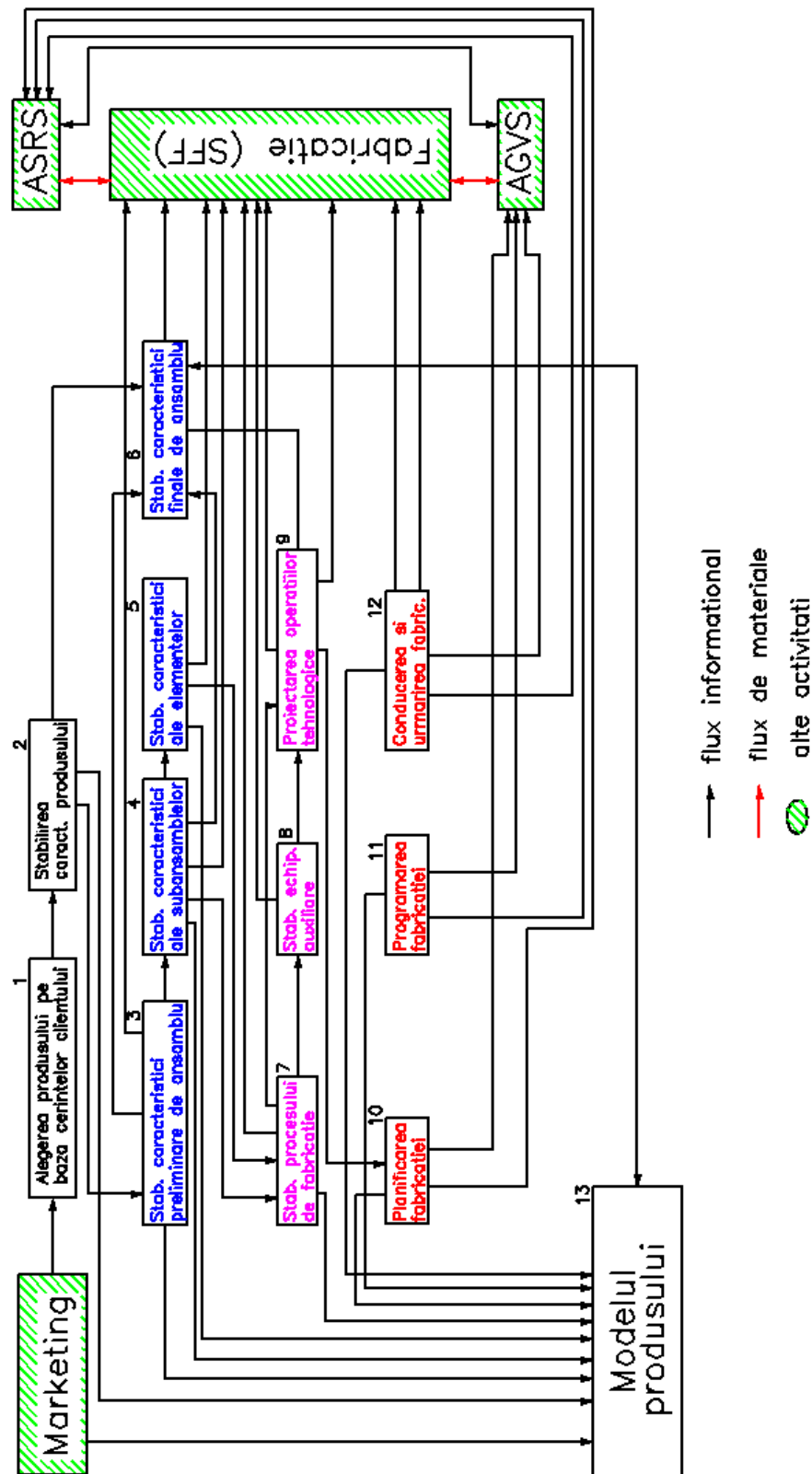


Fig. 3.2. Schema bloc a activităților CAD și CAPP în condiții „clasice” dintr-un SFF.

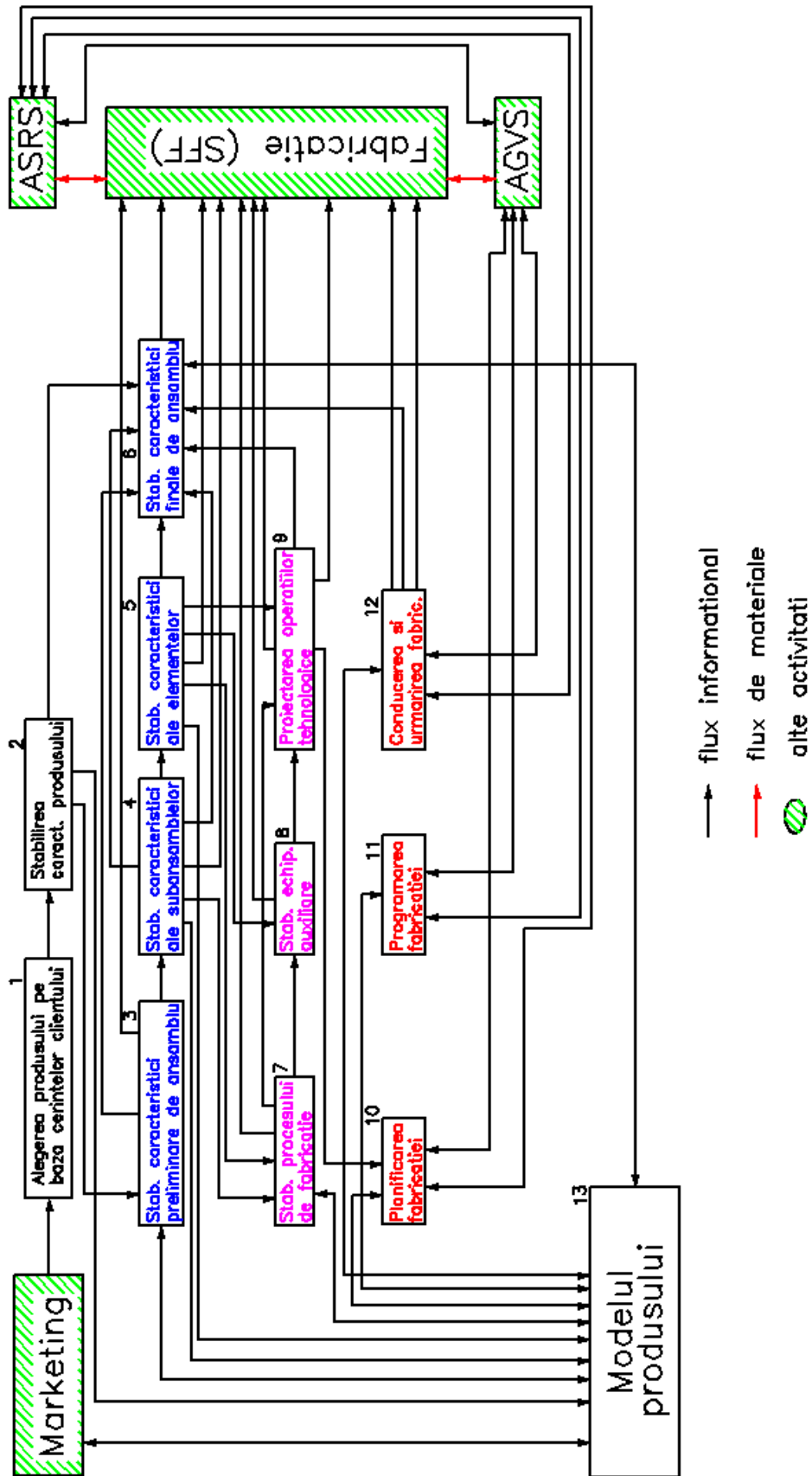


Fig. 3.3. Schema bloc a sistemului integrat CAD + CAM + CAPP



### 3.3. Procese tehnologice

#### 3.3.1. Generalități

**Procesul tehnologic** este acea parte a procesului de producție și din acesta, a celui de fabricație, prin care se realizează operațiile de modificare a formei, dimensiunilor, stării de agregare, proprietăților fizice ale materialului, stării suprafețelor, structurii, situării unor obiecte de prelucrat, care, pe această cale, se transformă în obiecte finite, produse, sau componente ale acestora [MAC 03].

Procesul tehnologic, în funcție de natura operațiilor, poate fi :

**proces tehnologic de producere a semifabricatelor**, prin care se înțelege suma operațiilor prin care se asigură trecerea de la materia primă la semifabricat;

**proces tehnologic de prelucrare mecanică**, prin care se realizează modificarea formei geometrice, a dimensiunii, a poziției reciproce și a calității suprafețelor semifabricatului;

**proces tehnologic de tratament termic**, prin care se realizează modificarea structurii materialului piesei, în scopul îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice;

**proces tehnologic de asamblare și montaj**, prin care se îmbină (însumează) piesele prelucrate în vederea realizării produsului finit, urmărindu-se asigurarea condițiilor de funcționare impuse.

Procesele tehnologice de producere a semifabricatelor și de prelucrare mecanică apelează la mai multe metode și procedee de prelucrare.

**Metoda tehnologică de prelucrare** definește seria de operații dintr-un proces tehnologic, pentru mai multe procedee tehnologice.

**Procedeul tehnologic de prelucrare** stabilește mijloacele prin care se realizează o metodă tehnologică.

Metodele de prelucrare pot fi realizate prin :

- schimbarea stării de agregare,
- deformare plastică,
- aşchiere,

- eroziune,
- tehnologia pulberilor.

Procesul tehnologic poate să cuprindă una sau mai multe operații.

**Operația** este acea parte a procesului tehnologic care se execută la un post de lucru. Operația se poate realiza la una sau mai multe instalări ale OL.

Operația se poate realiza prin una sau mai multe faze.

**Faza** este o parte a operației care se realizează fără modificarea instalării OL, fără schimbarea sculei.

O fază se poate realiza din mai multe treceri.

**Trecerea** este o parte a fazei prin care se realizează îndepărtarea sau depunerea unui strat de material de pe sau pe suprafețele OL.

Fiecare fază sau trecere se realizează prin mai multe mânuiri.

**Mânuirea** reprezintă totalitatea mișcărilor efectuate în scopul condițiilor de modificare al OL.

**Mișcarea** este parte componentă a mânuirii realizată într-o anumită succesiune.

**Manipularea** realizează schimbarea situației OL.

### ***Etapetele parcurse în cadrul activității de concepție tehnologică***

Activitatea de concepție tehnologică de fabricație se realizează prin parcurgerea a mai multor etape :

***alegerea semifabricatului*** , respectiv al procedurii de obținere al acestuia în funcție de volumul producției, forma și dimensiunile OL,

***itinerariul tehnologic*** cuprinde succesiunea operațiilor din cadrul procesului tehnologic,

***stabilirea adaosurilor de prelucrare***, pentru obținerea calității suprafețelor OL,

***stabilirea dimensiunilor intermediare*** pe care le primește semifabricatul la diferite faze,

***alegerea mașinilor unelte***, în funcție de posibilitățile de generare ale suprafețelor OL,

***alegerea sculelor*** ținând cont de influența acestora asupra prelucrabilității și a parametrilor geometrici ale acesteia,

***alegerea lichidelor de răcire-ungere***, care contribuie la creșterea durabilității sculelor așchietoare și îmbunătățirea suprafețelor prelucrate,

***alegerea mijloacelor de măsurare,***

***stabilirea regimurilor de aşchiere*** fie după costul minim de prelucrare, fie după capacitatea de aşchiere maximă,

***verificarea regimului de aşchiere*** în raport cu puterea acţionării principale sau forţa maximă admisă a mecanismului de avans,

***stabilirea normei tehnice de timp*** adică a timpului necesar execuţiei unei operaţii.

### **3.3.2. Codificarea proceselor tehnologice cu ajutorul CAM**

Facilitatea CAM (Computer Aided Manufacturing) realizează codificarea şi transmiterea unor informaţii cu privire la procesul tehnologic de fabricaţie, la utilajele comandate numeric [12], [35], [36], [37], [38], [39], [40].

Utilajele comandate numeric pot fi :

- maşini de lucru, care realizează exclusiv operaţii de prelucrare,
- roboţi industriali, care pot realiza :
- operaţii de prelucrare, când robotul poate manipula :
- obiectul de prelucrat, prin faţa unei scule,
- scula, care este manipulat astfel încât să realizeze operaţia de prelucrare;
- operaţii de manipulare, când robotul are rolul de a schimba situarea OL.

Informaţiile cu privire la prelucrarea unor obiecte de prelucrat pe maşini cu CNC se transmit prin intermediul unor „programe piesă”, întocmite de către un program de postprocesare sau de către un programator, pe baza unei documentaţii constructive şi tehnologice, întocmite în cadrul activităţii de concepţie.

Programul piesă conţine informaţii cu privire la parametrii procesului tehnologic de prelucrare înscrise sub forma unor simboluri şi litere.

Programul piesă se compune din fraze, care conţin cuvinte exprimate prin litere majuscule şi cifre. Simbolurile utilizate sunt standardizate (SR-EN-ISO 2743), programele scrise cu ajutorul lor putând fi interpretate de toate sistemele NC, indiferent de producător, cu unele mici modificări [FLO 03].

Tab. 3.1. Structura unui program piesă

Numărul frazei (ciclului)	Cuvântul nr. 1			Cuvântul nr. 2			.....			.....			Ultimul cuvânt		
	Titlu	Semn	Valoare	Titlu	Semn	Valoare	.....	.....	.....	.....	.....	.....	Titlu	Semn	Valoare
							.....	.....	.....	.....	.....	.....			

Numărul frazei (ciclului) se simbolizează printr-o cifră precedată de litera N.

Titlurile cuvintelor din program sunt de 4 categorii, referindu-se la tehnica, geometria, tehnologia și organizarea programului.

Literele cuprinse într-un titlu pot fi :

- funcții pregătitoare **G** ,
- coordonate liniare, unghiulare, principale, secundare **X, Y, Z, U, W, P, Q, R, A, B, C, D, E** ,
- date cu privire la interpolare **I, J, K** ,
- avans **F** ,
- viteză **S** ,
- sculă și corecție sculă **T** ,
- funcție auxiliară **M** .
- Semnele conținute în cuvinte sunt **+, - și #** .

Cifrele din cuvinte reprezintă mărimi efective (coordonate, avans, viteză) sau coduri de (sculă, operație, pornire/oprire, schimbare etc).

Nu se folosesc coordonate absolute, se utilizează coordonatele relative ale ultimului punct parcurs, originea sistemului de referință fiind în originea piesei. punctul caracteristic al sculei trebuie să parcurgă o traiectorie stabilită la care se adaugă corecția de sculă (la frezare, eroziune cu electrod filiform).



### 3.3.3. Codificarea proceselor tehnologice prin programare NC

În cadrul unui proces de aşchiere convenţional OU acţionează manual deplasarea sculei aşchietoare. Sistemul NC înlocuieşte acţiunea manuală a OU . Dacă programarea NC se utilizează într-un mediu CAD/CAM integrat, generarea mişcării sculei aşchietoare, verificarea şi postprocesarea sunt realizate de echipamentul NC.

Pentru a prelucra o piesă utilizând programare NC este necesară parcurgerea a două etape :

- realizarea unei fişe tehnologice unde se stabilesc ce operaţii NC se vor executa,
- determinarea traiectoriei punctului caracteristic al sculei pe care aceasta o va parcurge cu parametrii de aşchiere corespunzători.

Limbajele de programare NC, cum ar fi limbajul APT (Automatically Programmed Tools), COMPACT II, SPLIT, PROMPT, CINTURN II, sunt considerate limbaje de nivel înalt.

Instrucţiunile unui limbaj de programare se pot clasifica după opt grupe :

**Caracteristici de limbaj.** Se pot defini variabile (nume simbolice) şi subscrise variabile scalare şi entităţi geometrice.

**Instrucţiuni geometrice.** Se pot utiliza reprezentări analitice (puncte, linii, conice, suprafeţe plane etc), reprezentări de suprafeţe Z pentru atribuirea coordonatelor (pentru suprafeţele simetrice), precum şi instrucţiuni pentru realizarea buzunarelor.

**Instrucţiuni referitoare la sculă.** Se pot defini forma sculei, orientarea axei sculei şi caracteristicile sculei în funcţie de suprafeţele piesei.

**Instrucţiuni de mişcare.** Acestea comandă mişcarea sculei. Ele furnizează informaţii referitoare la tipul prelucrării (PTP sau CP), direcţia aşchierii, viteză şi avans.

**Instrucţiuni aritmetice.** Sunt posibile instrucţiuni aritmetice de adunare, scădere etc., precum şi alte funcţii (trigonometrice).

**Programare repetitivă** . se pot genera operaţii de looping, copiere de coordonate, transformări de coordonate etc.

**Facilităţi output.** Un program piesă formează un fişier CL (cutter location), stocat de obicei în format ASCII. Dacă se utilizează o formă binară a fişierului, se

numește BCL. Se poate efectua și o simulare a traiectoriei sculei, unde OU poate observa unele erori apărute.

***Instrucțiuni de postprocesare.*** Deoarece fișierele CL sau BCL nu pot fi interpretate de echipamentul NC, trebuie postprocesat cu ajutorul unui program numit postprocesor. Un postprocesor este scris pentru o anumită combinație de mașină și controller. Programele CAM mai moderne au programe de postprocesare configurabile în funcție de combinația mașină-controller. Fișierul CL sau BCL convertit de către un postprocesor poate fi interpretat de către echipamentul NC al mașinii unealtă.

# Capitolul 4

## Modalități de realizare a modelelor CAD pentru obiectul de prelucrat

### 4.1. Introducere

Proiectarea obiectelor complexe și modelarea lor, ca în industria auto, nave, corpul aeronavelor etc. , nu se pot realiza utilizând modelul liniar [15]. În aceste cazuri modelele de suprafață se utilizează pentru a descrie obiectele cu o precizie cât mai ridicată. Aceste modele de suprafață uzual sunt folosite în diferite aplicații pentru a calcula proprietățile masice, pentru a verifica interferențele dintre unele obiecte în timpul funcționării unor mecanisme, pentru a genera diferite secțiuni și vederi ale unor ansambluri sau ale unor repere discrete, care prin metode clasice nu se pot determina cu o ușurință corespunzătoare, pentru a supune unele elemente sau unele obiecte analizei cu element finit și pentru a genera program NC pentru a avea o mașinare CP (Continuous Path).

Alegerea tipului de suprafață folosită depinde de aplicația aleasă, nu există doar o singură soluție pentru toate problemele. De exemplu : suprafața utilizată pentru a realiza caroseria unui autoturism nu este adecvată pentru modelarea inimii umane.

Crearea suprafețelor cu ajutorul mediilor CAD/CAM uzuale necesită pentru început un model liniar al entității. Sistemul necesită două limite ale entității, pentru a crea o suprafață rulată, sau necesită o entitate (curba generatoare) pentru a genera o suprafață de revoluție.

## 4.2. Modele de suprafață

Modelul de suprafață al unui obiect este o variantă mai complexă și mai puțin ambiguă ca și modelul liniar. Este mai bogat în componența sa geometrică, ceea ce îl face mai potrivit pentru aplicații inginerești [AUT 09], [MAC 02].

La construirea modelelor cu ajutorul pachetelor CAD/CAM trebuie acordată o atenție sporită asupra realizării corecte a suprafețelor.

În figura 4.1.a. se poate observa o suprafață rulată care nu a fost realizată corect.

O altă soluție de a reprezenta mai corect suprafețele este de a mări rezoluția de reprezentare. În figura 4.2. sunt reprezentate patru corpuri solide la care s-au folosit numai 4 curbe pe suprafață. În figura 4.3. sunt ilustrate tot aceleași patru corpuri, dar la care s-au folosit 16 curbe pe suprafață.

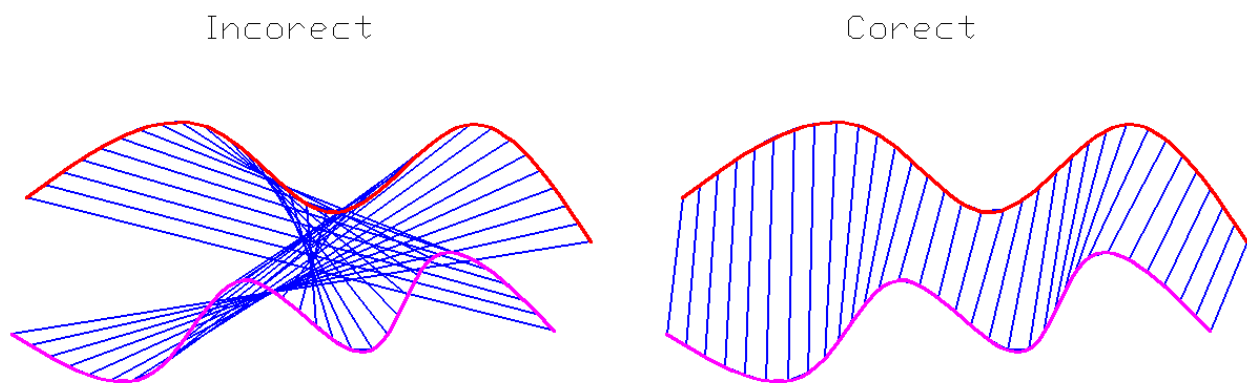


Fig. 4.1. Realizarea unei suprafețe eronate și a unei bune

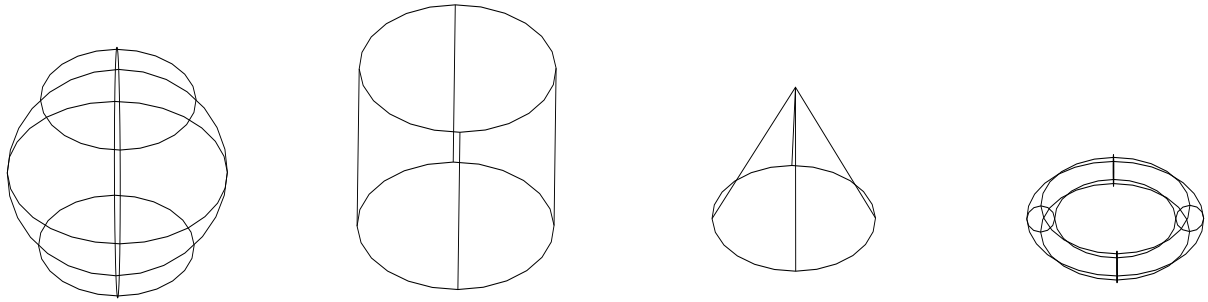


Fig. 4.2. Representarea corpurilor cu patru curbe pe suprafață

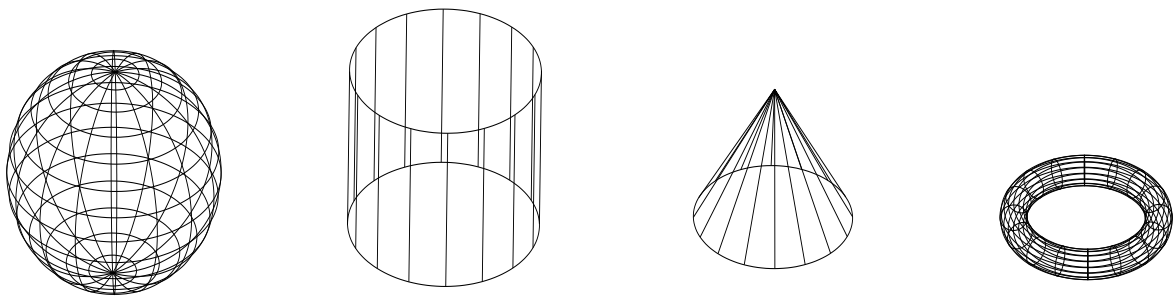


Fig. 4.3. Representarea corpurilor cu 16 curbe pe suprafață

Trebuie menționat faptul că la o finețe mai mare a liniilor pe suprafață, utilizate în reprezentarea 3D a corpurilor crește timpul de procesare necesar prelucrării imaginilor, necesită o viteză de lucru mai ridicată a procesorului și nu în ultimul rând ocupă un spațiu mai mare în memorie, atât în memoria de bază, cât și în memoria video.

Avantajele utilizării modelelor de suprafață față de cele de sârmă sunt:

- ✓ sunt mai puțin confuze,
- ✓ se pot ascunde liniile care nu se văd, pentru a avea o imagine mai realistă,
- ✓ se poate utiliza funcții de umbrire, se poate amplasa sursa de lumină în funcție de opțiunile utilizatorului (fig. 4.4.),
- ✓ se poate utiliza pentru a determina proprietățile masice ale corpurilor,
- ✓ se pot realiza analize cu element finit,
- ✓ se poate utiliza pentru a realiza un program NC,
- ✓ se pot executa secțiuni prin diferite locuri.

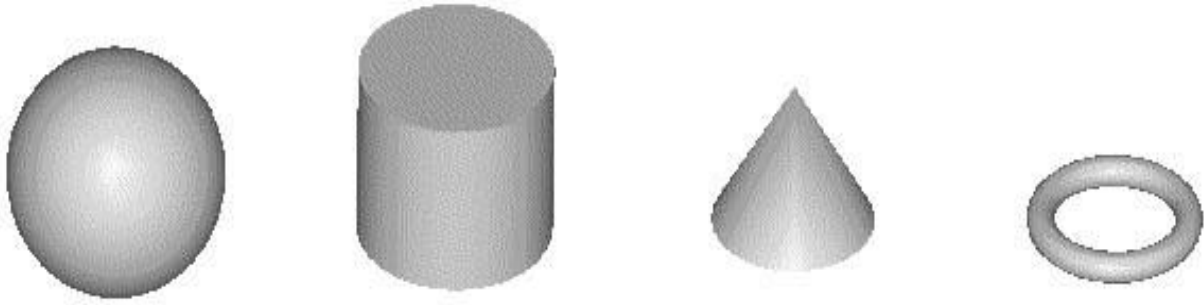


Fig. 4.4. Reprezentarea corpurilor utilizând funcții de umbrire

### 4.3. Entități de suprafață

Mediile existente CAD/CAM permit utilizatorului folosirea entităților analitice cât și cele sintetice. Suprafețele analitice includ suprafețele plane, suprafețele rulate, suprafețele de revoluție și suprafețele cilindrice tubulare. Suprafețele sintetice includ cele Bezier, B-spline, libere, racordate, offsetate [42], [10].

#### 4.3.1. Suprafețe plane

Ecuția parametrică a unui plan poate avea diferite forme în funcție de datele de care dispunem. Putem considera un plan determinat de trei puncte  $P_0, P_1, P_2$  așa cum se arată în figura 4.5. Poziția oricărui punct  $P$  din plan se poate scrie cu ajutorul relației (4.1.):

$$P(u, v) = P_0 + u(P_1 - P_0) + v(P_2 - P_0), \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1 \quad (4.1.)$$

Vectorii tangenți la suprafață în punctul  $P$  sunt :

$$P_u(u, v) = \frac{\partial P}{\partial u} = \frac{\partial x}{\partial u} \bar{i} + \frac{\partial y}{\partial u} \bar{j} + \frac{\partial z}{\partial u} \bar{k} \quad (4.2.)$$

de-a lungul curbei  $v = const$  și

$$P_v(u, v) = \frac{\partial P}{\partial v} = \frac{\partial x}{\partial v} \bar{i} + \frac{\partial y}{\partial v} \bar{j} + \frac{\partial z}{\partial v} \bar{k} \quad (4.3.)$$

de-a lungul curbei  $u = const$ .

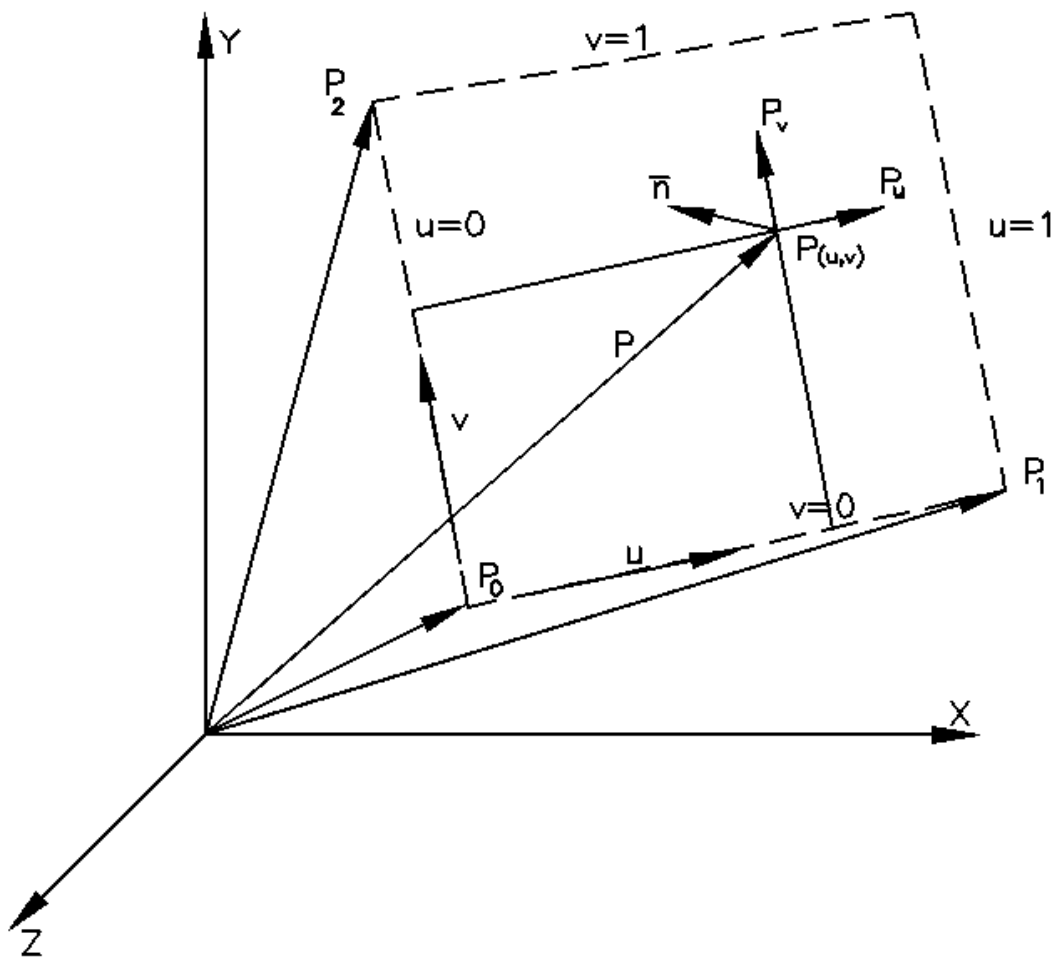


Fig.4.5. Suprafață plană definită de trei puncte

Relațiile (4.2.) și (4.3.) se pot scrie sub forma :

$$P_u(u,v) = P_1 - P_0, \quad P_v(u,v) = P_2 - P_0, \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1 \quad (4.4.)$$

iar ecuația normalei la suprafață este :

$$\bar{n}(u,v) = \frac{(P_1 - P_0) \times (P_2 - P_0)}{|(P_1 - P_0) \times (P_2 - P_0)|}, \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1 \quad (4.5.)$$

care sunt constante pentru toate punctele din plan, deoarece curbura planului este nulă.

În figura 4.6. sunt prezentate suprafețe plane a) o singură suprafață, b) planuri multiple.

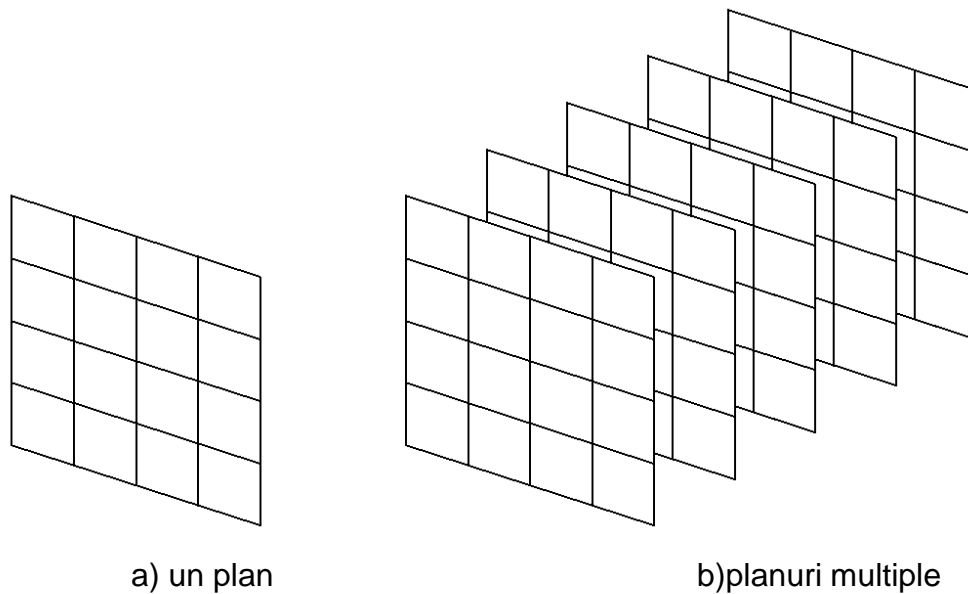


Fig. 4.6. Suprafețe plane

Aceste suprafețe se utilizează pentru a genera secțiuni, ale modelelor [NOF 92].

### 4.3.2. Suprafețe generate de două curbe directoare

Suprafețele rulate sunt generate de legăturile punctelor corespondente de pe două curbe limită  $G_{(u)}$  și  $Q_{(u)}$  cu o linie generatoare, cum se arată în figura 4.7.

Principale caracteristică a suprafețelor generate de două curbe directoare este că printr-un punct  $P_{(u,v)}$  trece o singură dreaptă directoare. Prin urmare toate suprafețele care au această proprietate sunt suprafețe generate de două curbe directoare. Ca exemple de astfel de suprafețe putem aminti conul și cilindrul.

Pentru găsirea ecuației de definire a suprafețelor generate de două curbe directoare, considerăm dreapta directoare  $u = u_j$ , punctele corespondente  $G_j$  și  $Q_j$  și curbele limită  $G_{(u)}$  și  $Q_{(u)}$ . Ecuația suprafeței va fi :

$$P_{(u,v)} = G_j + v(Q_j - G_j) \quad (4.6.)$$



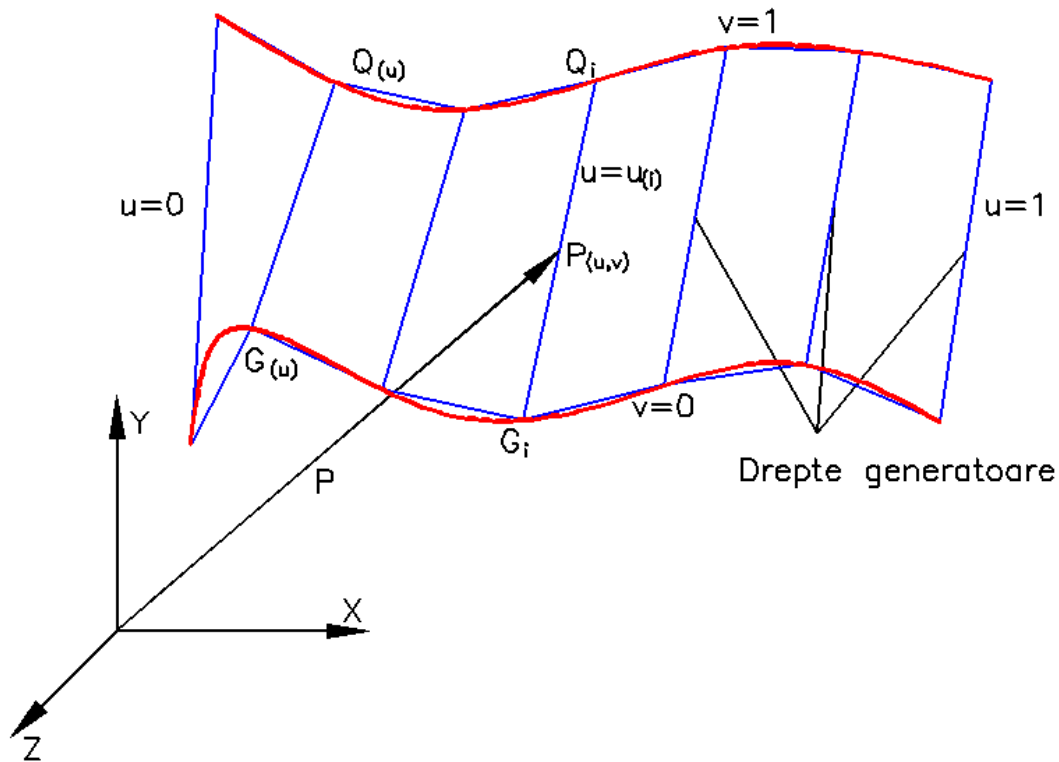


Fig. 4.7. Suprafețe generate de două curbe directoare

Generalizând ecuația (3.6.) pentru toate dreptele generatoare, vom avea :

$$P_{(u,v)} = G(u) + v[Q(u) - G(u)] = (1-v)G(u) + vQ(u), \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1 \quad (4.7.)$$

Păstrând valoarea  $u$  constantă, din relația (4.7.) vom obține ecuația (4.6.) a dreptei generatoare.

Curbura suprafeței pe direcția  $v$  (a dreptei generatoare) este nulă, din acest motiv suprafețele generate de două curbe directoare nu se pot folosi pentru modelarea corpurilor a căror suprafețe prezintă curbură în două direcții.

### 4.3.3. Suprafețe de revoluție

Rotația unei curbe plane cu un unghi  $v$  după o axă creează un cerc (dacă  $v = 360^\circ$ ), pentru fiecare punct de pe acea curbă, cu rază de  $r_z(u)$  variabilă, cum se poate observa din figura 4.8.

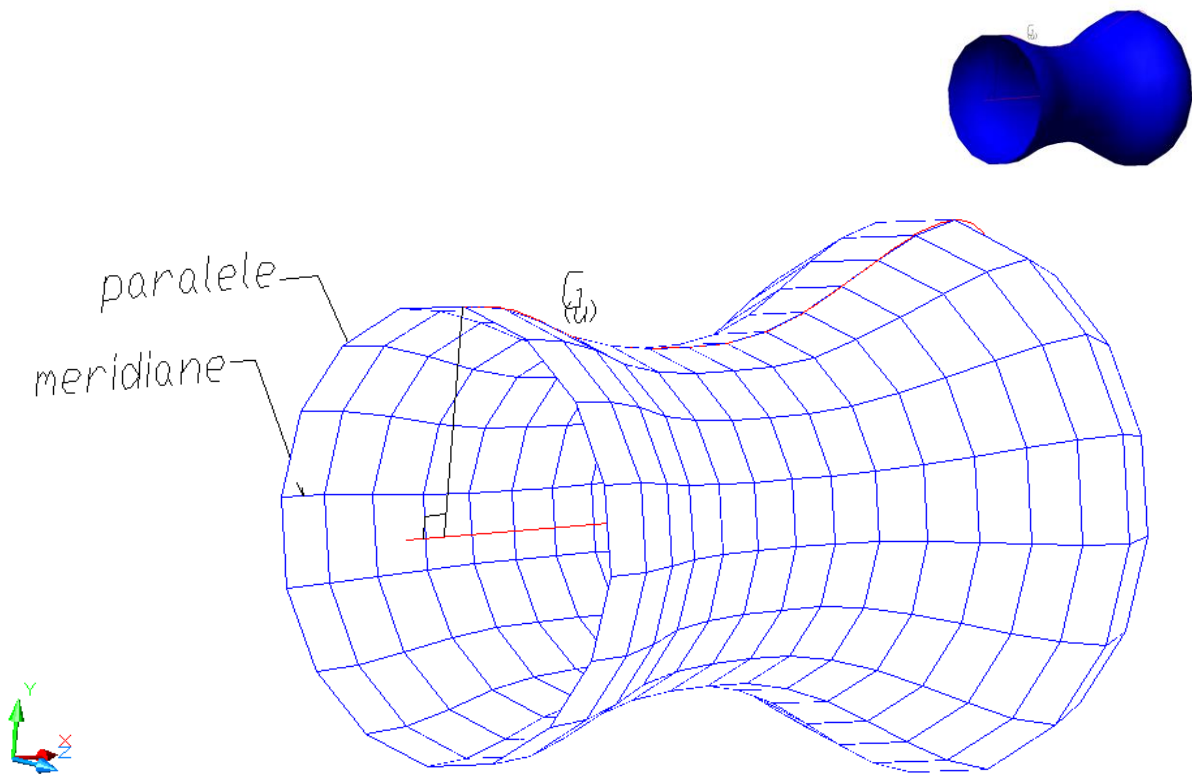


Fig. 4.8. Suprafață de revoluție

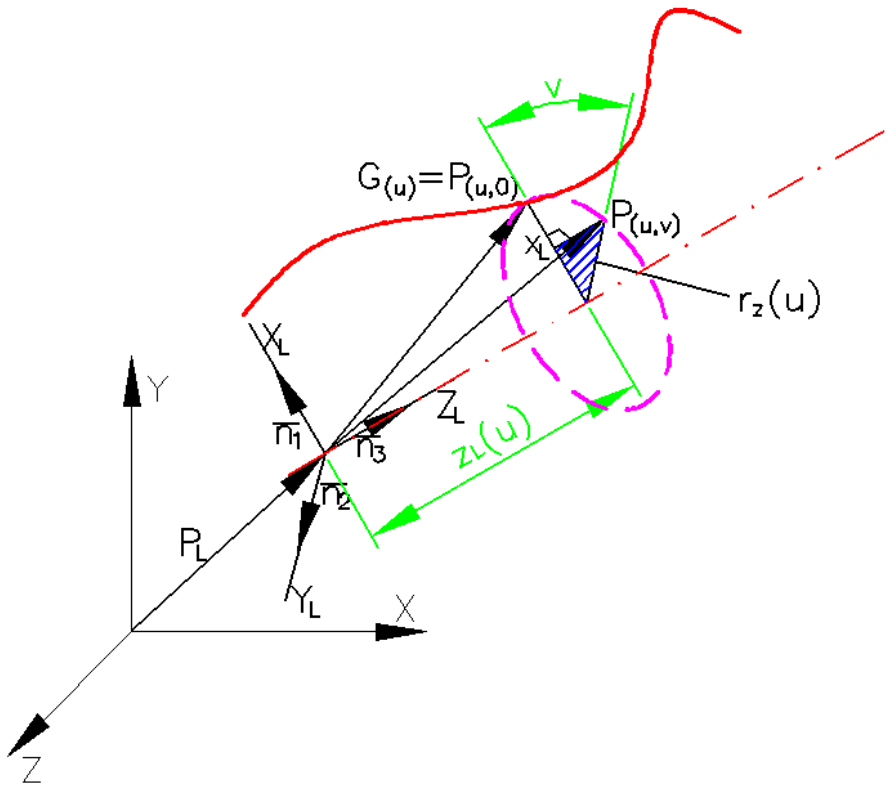


Fig. 4.9. Reprezentarea parametrică a suprafețelor de revoluție

Unghiul zero de rotire ( $v = 0$ ) este considerat planul în care se află curba generatoare  $G(u)$  și axa de rotație. Sistemul de referință notat cu  $L$  se poate crea astfel. Axa de rotație o considerăm axa  $Z_L$ , alegem direcția perpendiculară al punctului  $u = 0$  de pe profil și am obținut axa  $X_L$ , iar axa  $Y_L$  se determină cu ajutorul regulii mâinii drepte. Considerăm punctul  $G(u) = P(u, 0)$  de pe profil care se rotește cu unghiul  $v$  în jurul axei  $Z_L$ . Considerăm triunghiul îngrosat care este perpendicular pe axa  $Z_L$ , ecuația parametrică a suprafeței de revoluție se poate scrie sub forma :

$$P(u, v) = r_Z(u) \cos v \bar{n}_1 + r_Z(u) \sin v \bar{n}_2 + z_L(u) \bar{n}_3, \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 2\pi \quad (4.8.)$$

Dacă îl menținem constant pe  $u$  și dăm valori lui  $v \in [0, 2\pi]$ , vom obține ecuația cercurilor generate (paralele), iar dacă menținem constant pe  $v$  și variem pe  $u$ , obținem ecuația profilului generator (meridianei).

#### 4.3.4. Suprafețe cilindrice drepte

Suprafețele cilindrice drepte se obțin translatând o curbă plană după o anumită direcție. Curba care execută translația se numește curbă directoare, iar liniile obținute pe direcția de translație se numesc linii generatoare. Curba plană  $G(u)$  poate fi ca un model de sârmă. Vectorul de poziție al unui punct  $P(u, v)$  de pe suprafață este descrisă de relația :

$$P(u, v) = G(u) + v \bar{n}_v, \quad 0 \leq u \leq u_{max}, 0 \leq v \leq v_{max} \quad (4.9.)$$

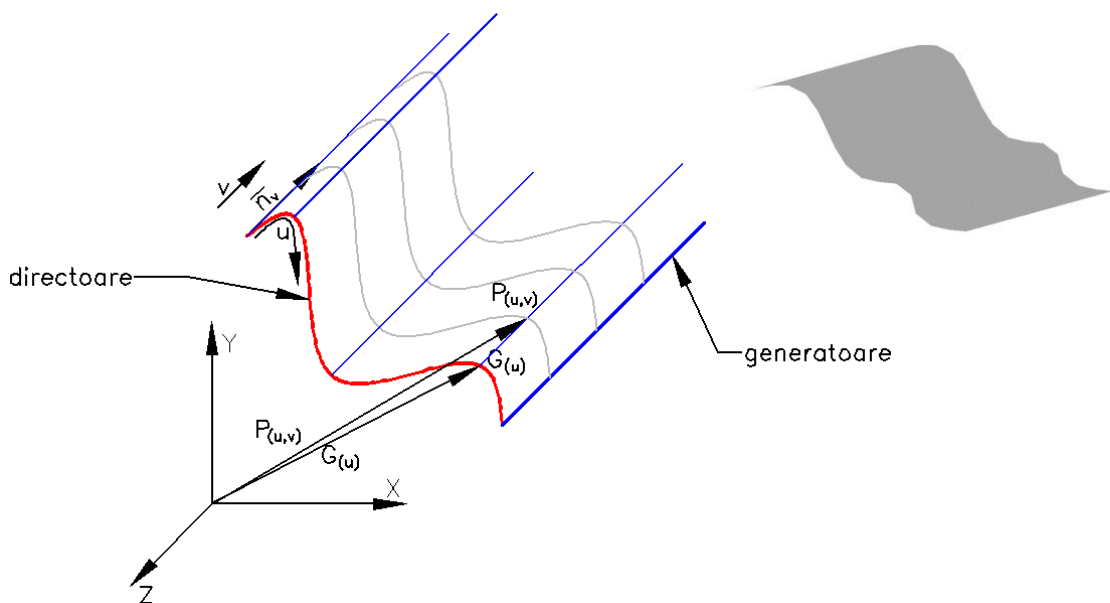


Fig. 4.10. Suprafață cilindrică dreaptă

Cilindrul cu lungimea  $v$  este mărginit de o graniță inferioară și de una superioară. Asemănător suprafețelor de revoluție acestea se vizualizează ca o rețea  $m \times n$ .

#### 4.3.5. Suprafețe Bezier

Suprafețele Bezier sunt o extindere a curbelor Bezier pe două direcții parametriche  $u$  și  $v$ . Setul de date ordonate sau punctele de control sunt utilizate pentru a construi o suprafață rectangulară, cum se vede din fig. 4.11 [ZEI 91].

Ecuția suprafeței se poate scrie sub forma :

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v), \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1 \quad (4.10.)$$

unde  $P(u, v)$  – punct de pe suprafață, iar  $P_{ij}$  – puncte de control. Punctele de control sunt aranjate într-o matrice de mărime  $(n+1) \times (m+1)$ , cum se vede din relația de mai sus. Relația (4.10.) se poate scrie sub forma :

$$\begin{aligned}
 P(u, v) = & P_{00}(1-u)^n(1-v)^m + P_{11}C(n,1)C(m,1)uv(1-u)^{n-1}(1-v)^{m-1} \\
 & + P_{22}C(n,2)C(m,2)u^2v^2(1-u)^{n-2}(1-v)^{m-2} + \dots \\
 & + P_{(n-1)(m-1)}C(n, n-1)C(m, m-1)u^{n-1}v^{m-1}(1-u)(1-v) \\
 & + P_{nm}u^n v^m
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{P(u, v)} \right\} \begin{array}{l} \text{termeni simetrici} \\ \text{în } u \text{ și } v \end{array}$$
  

$$\begin{aligned}
 & + P_{10}C(n,1)u(1-u)^{n-1}(1-v)^m + P_{01}C(m,1)v(1-u)^n(1-v)^{m-1} \\
 & + P_{20}C(n,2)u^2(1-u)^{n-2}(1-v)^m + P_{02}C(m,2)v^2(1-u)^n(1-v)^{m-2} \\
 & + \dots + P_{n0}u^n(1-v)^m + P_{0m}v^m(1-u)^n \\
 & + P_{(n-1)m}C(n, n-1)u^{n-1}v^m(1-u) + P_{n(m-1)}u^n v^{m-1}(1-v)
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{P(u, v)} \right\} \begin{array}{l} \text{termeni} \\ \text{asimetrici în} \\ \text{u și v} \end{array} \quad (4.11)$$

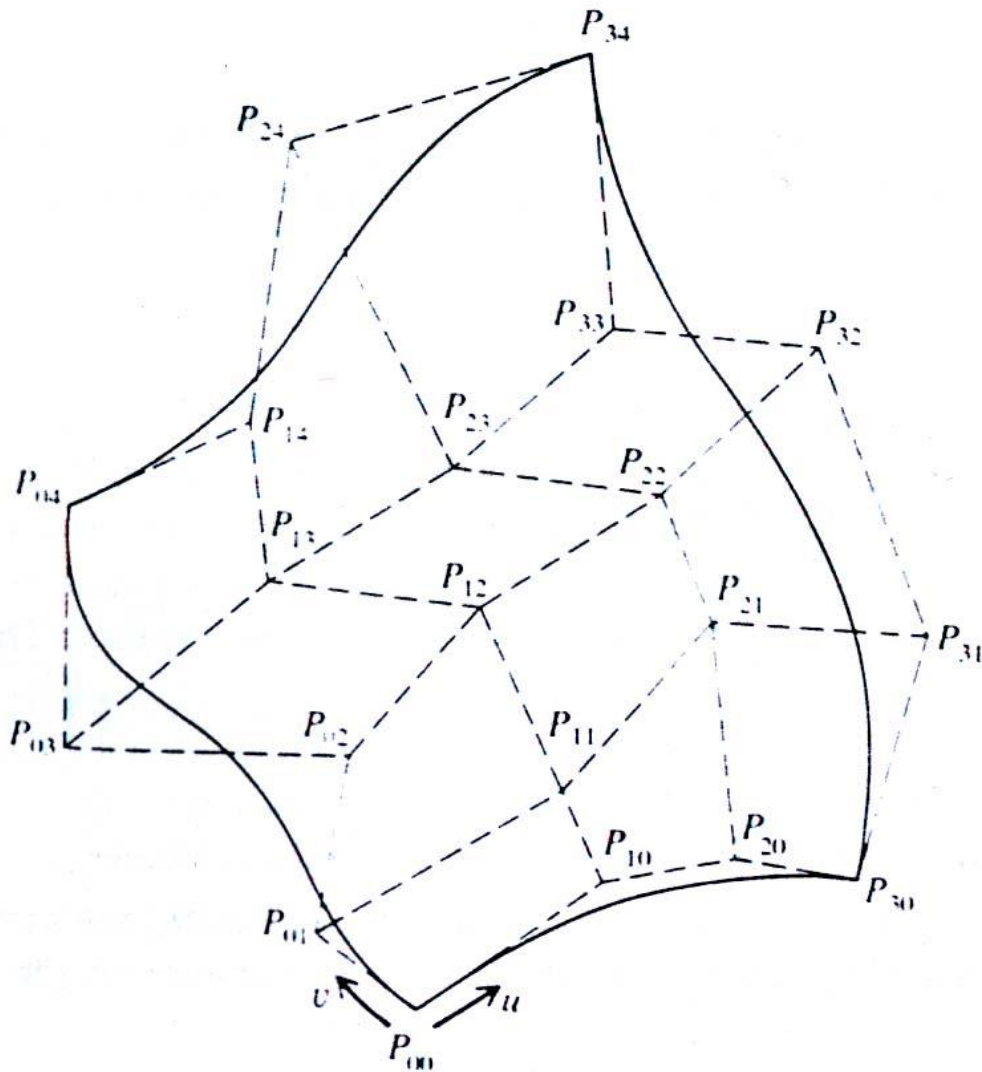
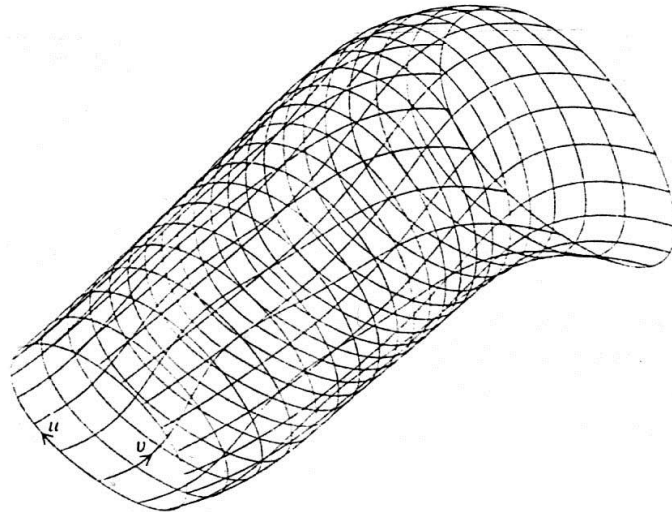


Fig. 4.11. Suprafață Bezier 4 x 5

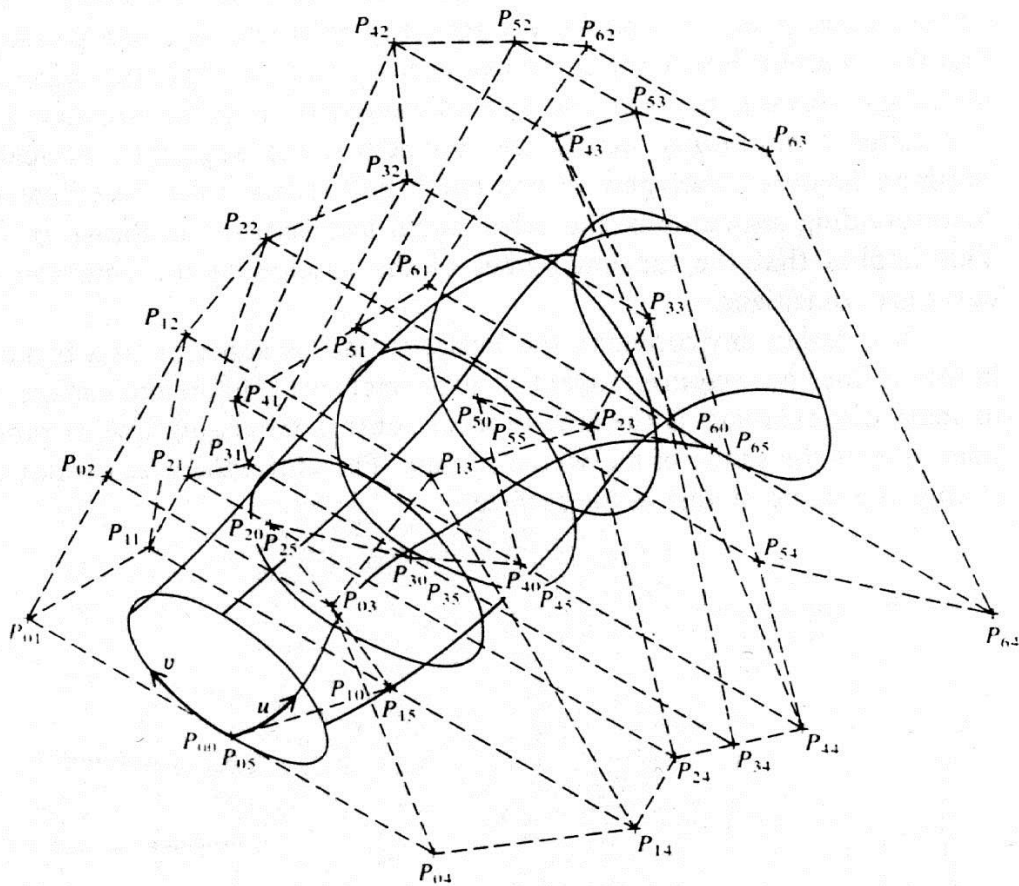
Caracteristicile suprafețelor Bezier este asemănătoare cu cele ale curbelor Bezier. Dacă înlocuim variabilele  $(u,v)$  cu valorile  $(0,0)$ ,  $(1,0)$ ,  $(0,1)$ ,  $(1,1)$  în relația (4.11) vom observa că suprafața Bezier este tangentă, în punctele de control, la poliedrul format de acestea.

Forma suprafeței Bezier se poate modifica prin două metode :

- ✓ modificând forma poliedrului , respectiv coordonatele punctelor de control, fig. 4.12.a,
- ✓ modificând numărul punctelor de control, respectiv a preciziei de reprezentare, fig. 4.12. b.



a) rețea de 20 x 20

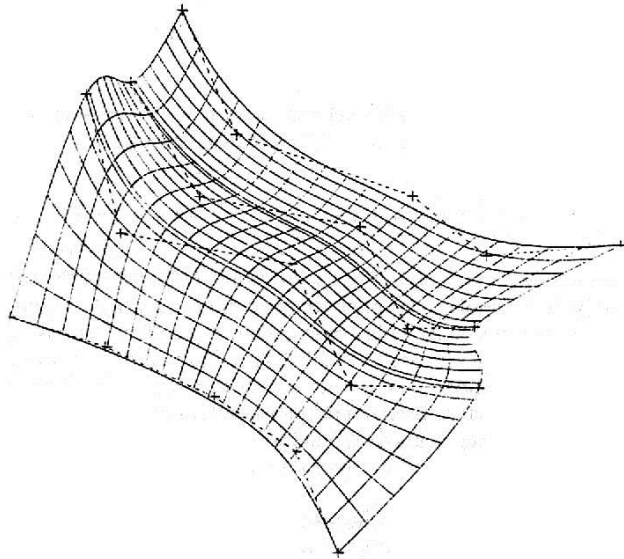


b) rețea de 4 x 4

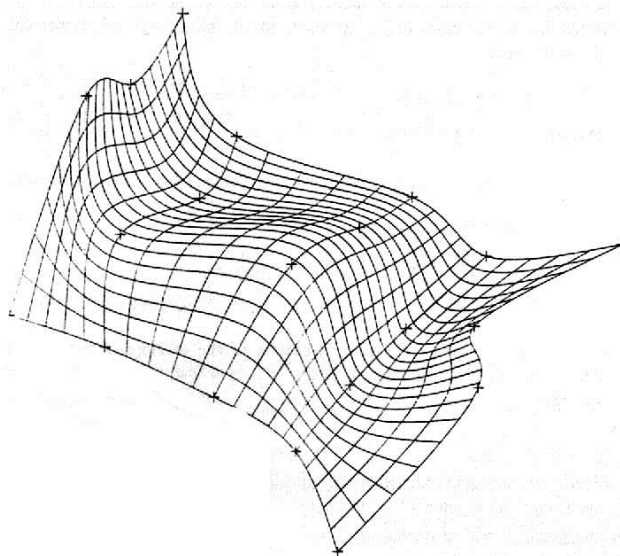
Fig. 4.12. Suprafețe Bezier închise

### 4.3.6. Suprafețe B-spline

Suprafețele B-spline sunt o variantă a suprafețelor Bezier. Suprafața este creată de un set de puncte de control. Aceste puncte de control formează poliedrul de control. Suprafața B-spline aproximează sau interpolează virfurile poliedrului de control, cum se poate vedea din figura 4.13 [ZEI 91] ,[10], [16].



a) petecul aproximează punctele de control



b) petecul interpolează punctele de control

Fig. 4.13. Suprafață B-spline cu o rețea de 4 x 5

Rangul suprafeței este independent de numărul punctelor de control, iar continuitatea este automatic menținută pe toată suprafața.

Petecul B-spline definit de o matrice  $(n + 1) \times (m + 1)$  a punctelor de control putem obține ecuația unui punct de pe suprafață astfel :

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v), \quad 0 \leq u \leq u_{max}, 0 \leq v \leq v_{max} \quad (4.12.)$$

Funcția B-spline având următoarele proprietăți :

- partea unitară :  $\sum_{i=1}^n N_{i,k}(u) = 1$
- pozitivitate :  $N_{i,k}(u) \geq 0$
- suport local :  $N_{i,k}(u) = 0$ , dacă  $u \notin [u_i, u_{i+k+1}]$
- continuitate :  $N_{i,k}(u)$  derivabilă cu derivatele de ordinul  $(k-2)$  continue.

unde  $k, l$ , sunt numărul punctelor de control.

#### 4.3.7. Suprafețele de racordare

Acestea sunt suprafețele care leagă (îmbină) două suprafețe neadiacente. Uzual suprafețele de racordare se utilizează pentru a evidenția continuitatea a două suprafețe  $C^0$  și  $C^1$ . Suprafața din figura 4.14. obținută prin racordarea celor două suprafețe este un caz particular. În general suprafețele de racordare arată ca în figura 4.15 [ZEI 91].

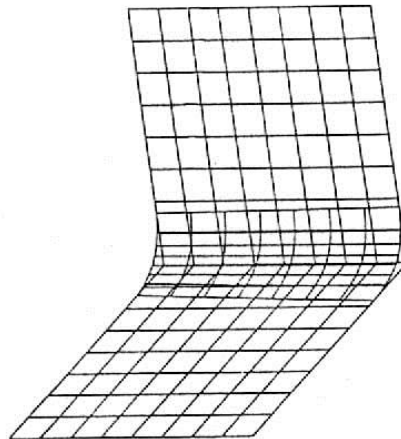


Fig.4.14. Suprafață de racordare



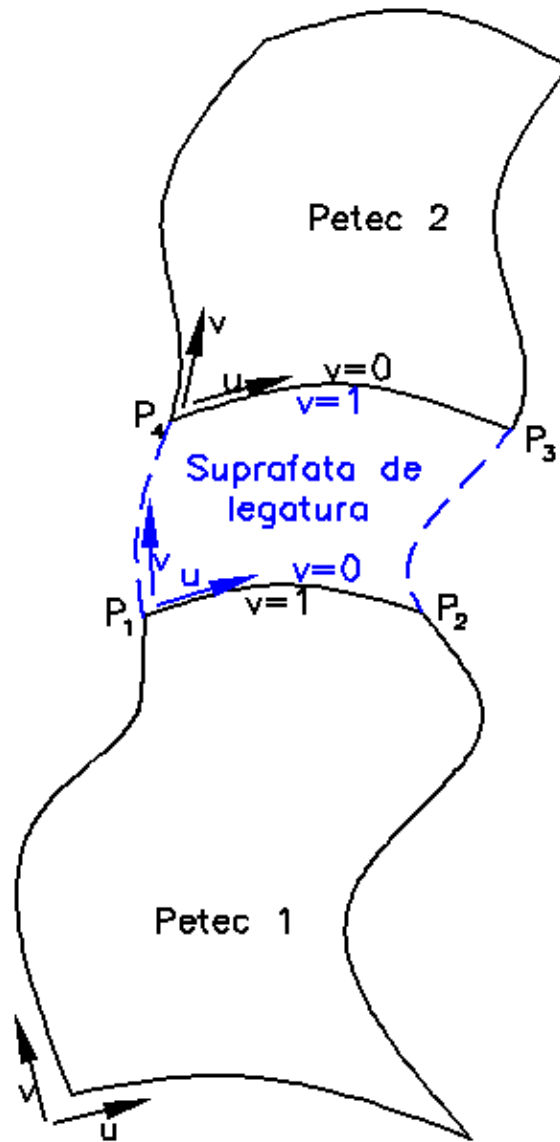


Fig. 4.15. Suprafața de racordare în mod general

Punctele  $P_1, P_2, P_3, P_4$ , și tangentele la cele două suprafețe în punctele de frontieră trebuie să fie identice. Suprafețele de racordare bicubice sunt recomandate pentru a uni suprafețe cubice, cum sunt Bezier sau B-spline.

Pentru petece de alt rang se generează automat un petec B-spline, în următoarele condiții. Când câteva puncte de frontieră și vectorii lor tangenți ( $v$ ) încep în  $P_1$  și se sfârșesc în  $P_2$  se poate genera de-a lungul lui  $v = 1$  al petecului 1. Similar se generează și pentru petecul 2, de-a lungul lui  $v = 0$ .

Unele programe CAD / CAM îi permit utilizatorului să racordeze două suprafețe utilizând în mod implicit petece B-spline. În figura 4.14. raza de racordare este folosită pentru obținerea suprafeței de racordare.

### 4.3.8. Suprafețe offsetate (de translație)

În figura 4.16. se poate observa o suprafață offsetată.

Ecuția unui punct de pe suprafața offsetată se exprimă sub forma :

$$P(u, v)_{offset} = P(u, v) + \bar{n}(u, v)d(u, v) \quad (4.13.)$$

unde :-  $P(u, v)$  - suprafața originală,

-  $\bar{n}(u, v)$  - vectorul normal la suprafață în punctul  $(u, v)$

-  $d(u, v)$  - distanța de offset

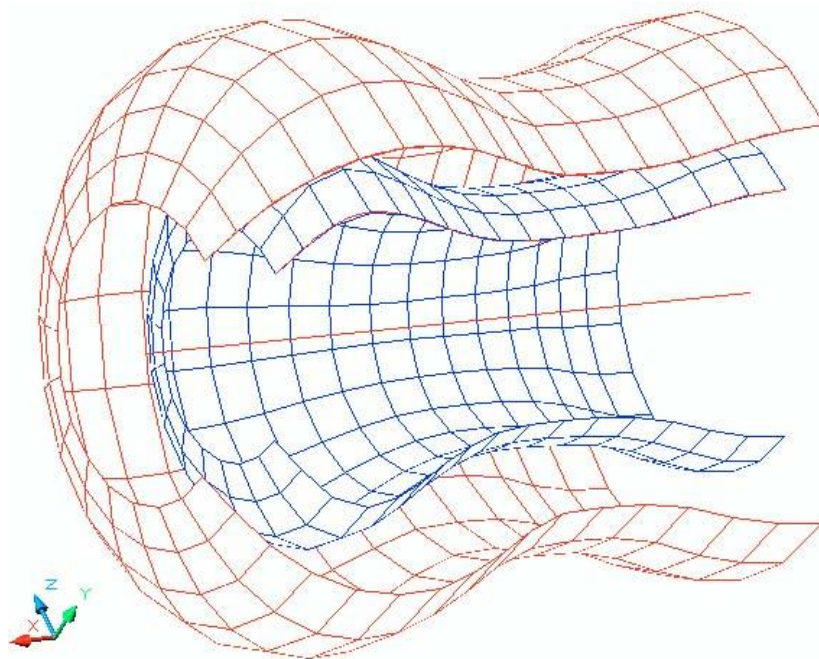


Fig. 4.16. Suprafață offsetată

## 4.4. Modele de solid

Al treilea procedeu de modelare este modelarea cu corpuri solide. Această modelare a dobândit o mare amploare în ultima perioadă, datorată progreselor tehnologiei hardware a PC-urilor, a costurilor reduse de proiectare, îmbunătățirea interfeței cu utilizatorul și realizarea unor software-uri tot mai performante, care permit o proiectare tot mai facilă [SOL 09], [CAT 08].

Modelarea solidă este soluția tehnică de integrare a procesele de proiectare și prelucrare.

Modelarea solidă este un procedeu mult mai complex decât modelarea cu ajutorul suprafețelor. Cu ajutorul modelelor solide se poate realiza o rezolvare integral automatizată a calculelor proprietăților masice utilizând elementul finit.

Definind un obiect prin modelul său solid avem la dispoziție foarte ușor trei tehnici de modelare (cu curbe , cu suprafețe, cu solide). În general modelele solide sunt mai ușor de creat decât modelele din sârmă sau cele de suprafață. Un exemplu ar fi cel din figura 4.17, unde modelul solid se poate foarte ușor crea prin extragerea entităților de cilindru și dreopunghi din placă; în cazul modelării cu suprafețe aveam nevoie de suprafețe generate de două curbe directoare.

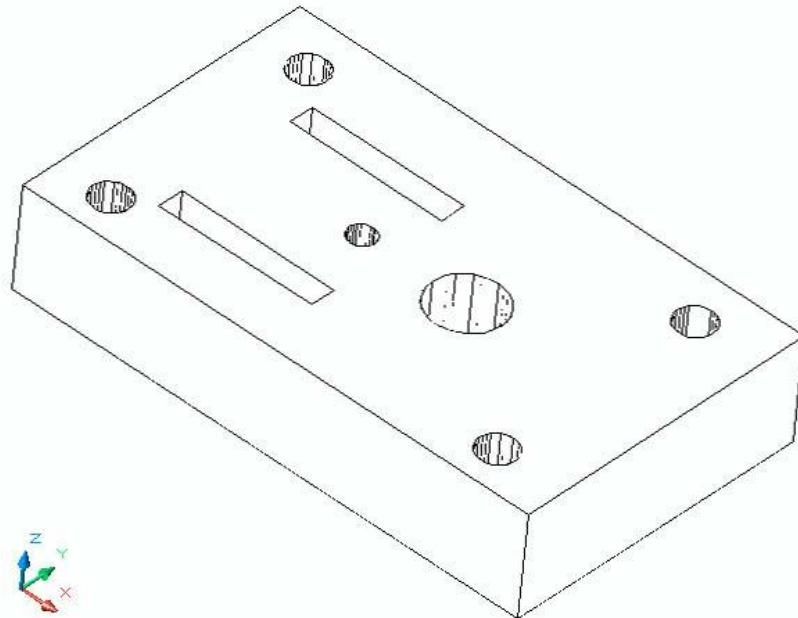


Fig.4.17. Model solid

#### 4.5. Entități solide

Cele mai multe pachete CAD/ CAM care utilizează modelarea solidă permit realizarea modelelor prin CSG (Constructive Solid Geometry), adică realizarea modelelor din corpuri simple (corpuri simple) [9]. Aceste corpuri simple pot fi :

- ✓ **paralelipiped dreptunghic**, ale cărui dimensiuni sunt : lățime  $W$ , înălțime  $H$ , lățime  $D$ , sistemul sau de coordonate fiind  $X_L Y_L Z_L$ , fig. 4.18.a;
- ✓ **cilindrul drept**, parametrii de definire fiind : raza  $R$  și înălțimea  $H$  (fig. 4.18.b.);
- ✓ **conul drept**, parametrii de definire fiind : raza cercului de bază  $R$ , raza bezei mici  $R'$  (pentru trunchi de con) și înălțimea  $H$  (fig. 4.18.c);
- ✓ **sfera**, de rază  $R$  și centrul  $P$ , (fig.4.18.d);
- ✓ **pana**, caracterizată prin : înălțimea  $H$ , lățimea  $W$  și adâncimea  $D$ , (fig. 4.18.e.)
- ✓ **torul**, caracterizată de : centrul  $P$ , raza cercului generator  $R_1$  și raza de revoluție  $R_2$ , fig. 4.18.f.

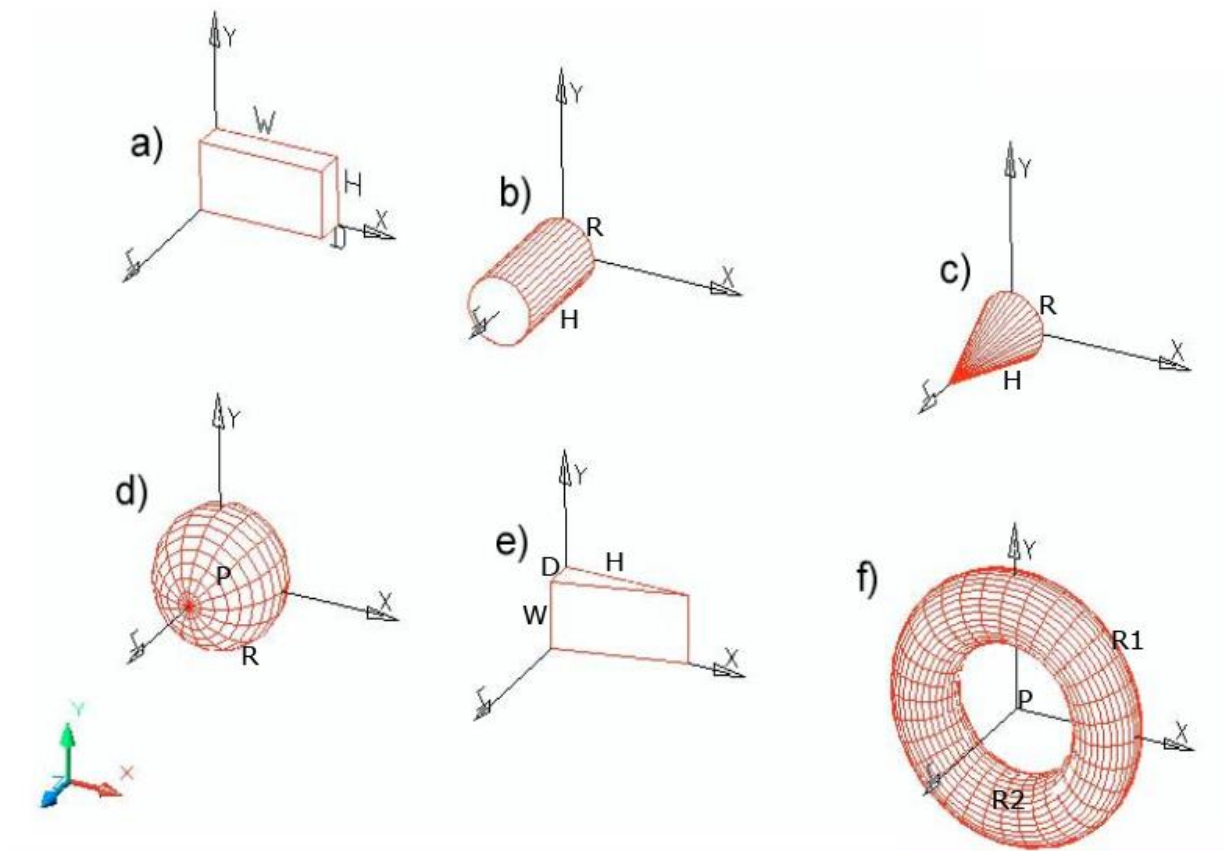


Fig. 4.18. Cele mai utilizate corpuri simple (primitive)

Două sau mai multe corpuri simple se pot combina pentru a forma modelul dorit. Operațiile utilizate sunt cele din algebra booleană, cum ar fi : reuniunea ( $\cup, +$ ), intersecția ( $\cap, I$ ) și diferența ( $-$ ). Corpurile realizate cu ajutorul acestor operații se pot observa în figura 4.19.

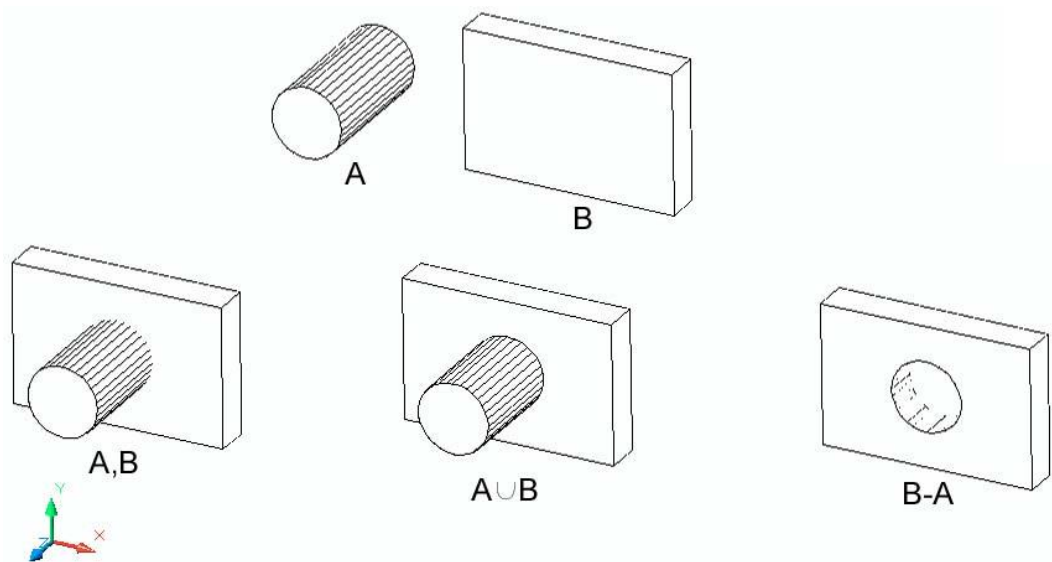


Fig. 4.19. Corpuri rezultate din compunerea corpurilor simple A și B

#### 4.6. Reprezentarea prin frontiere (B-rep)

Una din cele mai populare reprezentări ale solidelor este B-rep (Boundary REPresentation), celălalt fiind CSG, discutat în capitolul 4.7. Modelul B-rep sau modelul frontierelor este bazat pe ipoteza că fiecare obiect este limitat de un set de fețe. Baza de date a modelului B-rep conține atât informații de topologie cât și geometrie. Informațiile de topologie sunt create pe baza ecuațiilor lui Euler, iar cele de geometrie sunt formate din rezultatele calculelor euclidiene. Ecuațiile lui Euler sunt utilizate pentru manipularea și editarea fețelor, muchiilor și a vârfurilor modelului B-rep, iar setul de operații booleane creează, manipulează și editează corpurile simple ale modelului CSG. În figura 4.20.a. este prezentat un pătrat, după care s-a realizat introducerea unui nou vârf pe muchia de sus (fig. 4.20.b). Deși topologia este validă, poate produce obiecte nonsens (fig. 4.20.d).

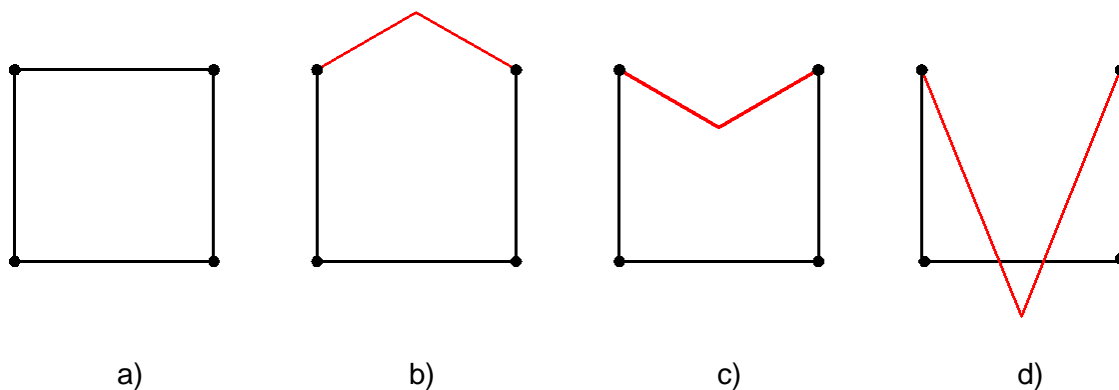


Fig. 4.20. Efectele topologiei și geometriei la modelele B-rep

unde: a) – obiect original, b), c), d), - obiecte modificate

Pentru realizarea modelelor se folosesc operațiile lui Euler. Operatorii sunt formați din M (Make - crează), K (Kill - șterge), iar atributele sunt B (Body - obiect), F (Face - față), V (Vertex - vârf), L (Loop – bandă).

Câteva din aceste operații sunt prezentate în tabelul 4.1 [FLO03].

Spre exemplu să luăm etape care trebuie parcurse pentru realizarea corpului din figura 4.21.

Reprezentarea prin frontiere este foarte populară și se bucură de o mare tradiție în grafica pe calculator, deoarece utilizează metodele clasice de desenare. Preprincipalul avantaj este construirea modelelor solide din suprafețe neuzuale, care ar fi greu de realizat utilizând corpuri simple. Dintre domeniile de utilizare se poate exemplifica construcția suprafețelor avioanelor, caroseriilor auto. Un avantaj mare este ușurința de a converti un model B-rep în model de sârmă, deoarece definirea frontierelor este similară cu cea de definire a modelelor liniare.

Tab.4.1. Operații cu entități

Operația	Operator	Complement	Descrierea operatorului
Inițializare bază de date, începerea construcției	MBFV	KBFV	Crează Obiecte, Fețe, Vârfuri
Creerea de muchii și vârfuri	MEV	KEV	Crează Muchii și Vârfuri
Creerea de muchii și fețe	MEF MEKL MEKBFL	KEF KEML KEMBFL	Crează Muchii și Fețe Crează Muchii, Șterge Bandă Crează Muchii, Șterge Obiect, Față, Bandă
Lipire	KFEVB	MFEVB	Șterge Față, Muchie, Vârf, Obiect
Operații compuse	MME ESPLIT KVE	KME ESQUEEZE	Crează Multiple Fețe Împarte Muchie Șterge Vârf, Muchie

Un mare dezavantaj al unui model B-rep o constituie mărimea mare a fișierului de stocare a informației, deoarece el stochează definirea fiecărei frontiere. Acesta este mult mai mare ca în cazul CSG. Dacă B-rep nu are o interfață compatibilă CSG, cu care acesta se mai poate prelucra, avem un mare inconvenient prin utilizarea operatorilor Euler, atât în proiectare cât și în producție. În plus fațetele definite prin B-rep nu se pretează pentru majoritatea aplicațiilor de generare de traiectorii de așchiere.

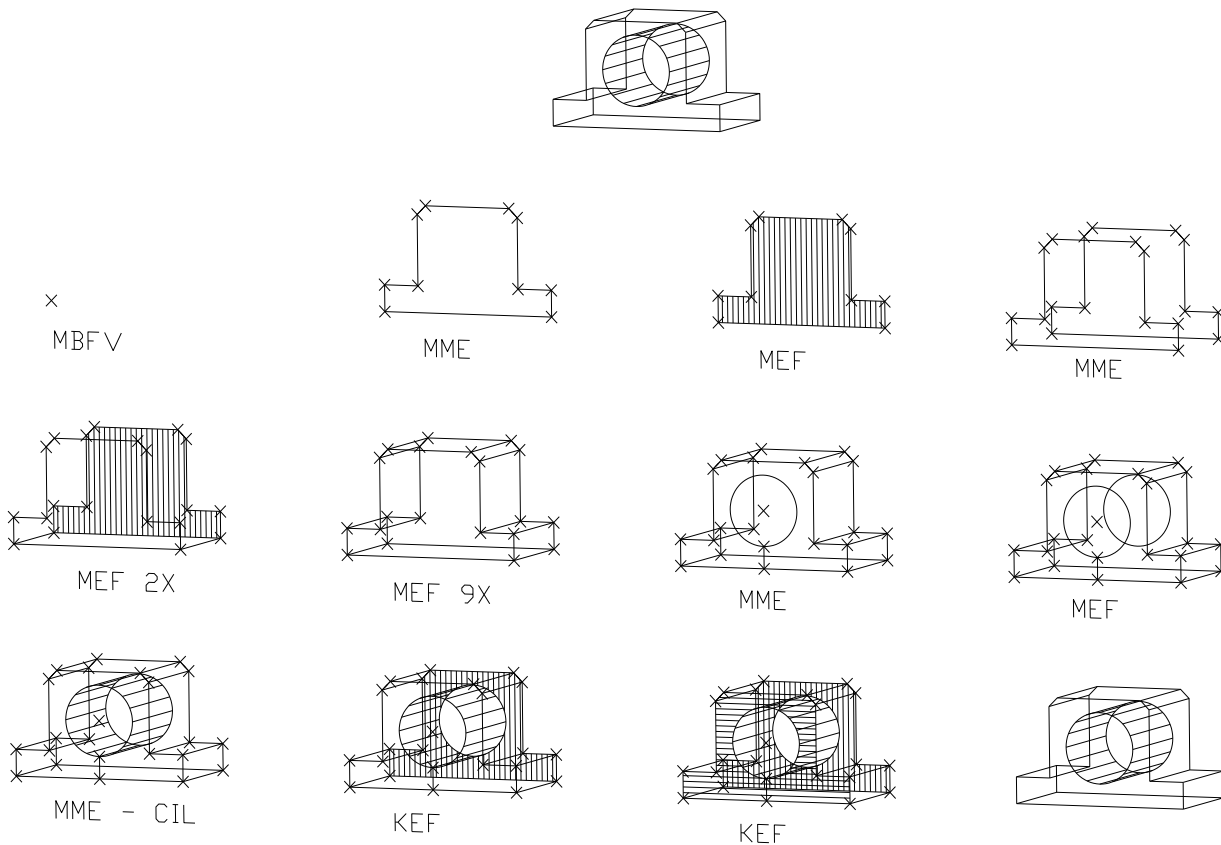


Fig. 4.21. Crearea unui model B-rep

## 4.7. Modele bazate pe CSG

CSG este prescurtarea denumirii Constructive Solid Geometry, care înseamnă geometrie constructivă solidă [5], [6], [7].

CSG oferă reprezentări succinte, ușoare de realizat și de înmagazinat, la care se poate verifica ușor validitatea modelului. În plus, operațiile de diferență și intersecție pot construi locul unde trebuie realizată o îndepărtare de material sau se poate determina unele interferențe care pot apărea în timpul prelucrării. De asemenea, determinarea interferenței se poate folosi și în multe aplicații, ca de exemplu planificarea mișcării unui robot.

Modelul CSG este bazat pe realizarea modelului utilizând corpuri simple, acestea putându-se combina într-o ordine bine stabilită, dată de un set de relații (operații booleane).

**Corpurile simple** sunt elementele de bază ale schemei CSG utilizate pentru realizarea modelului. Corpurile simple sunt privite ca niște corpuri solide parametrice,



definite de două seturi de date. Primul set de date se referă la configurarea parametrică, iar al doilea reprezintă parametrii de situare a corpurilor simple față de sistemele de referință MCS, sau WCS. Cele mai utilizate corpuri simple sunt arătate în figura 4.18.

**Operațiile** principale în schemele CSG sunt : reuniunea ( $\cup$ ), intersecția ( $\cap$ ) și diferența ( $-$ ). Aceste operații au echivalența lor în algebra booleană ca : OR, AND, NAND.

În figura 4.22. se poate observa compunerea solidului  $S = A \cup B$ . După clasificare muchiile solidelor A și B, una față de alta, vor forma segmente „on” ale solidului S. Caracterul ambiguu „on” / „on” este rezultatul când două corpuri simple combinate sunt tangente unul față de altul de-a lungul unei muchii sau a unei fețe. Ambiguitatea se poate rezolva folosind vecinătatea unor puncte de pe segmentele „on” . Vecinătatea punctului P care respectă solidul S se notează cu  $N(P,S)$  reprezintă intersecția unei sfere cu rază R și centru P cu solidul. Valoarea razei R este arbitrară, trebuie aleasă suficient de mică.

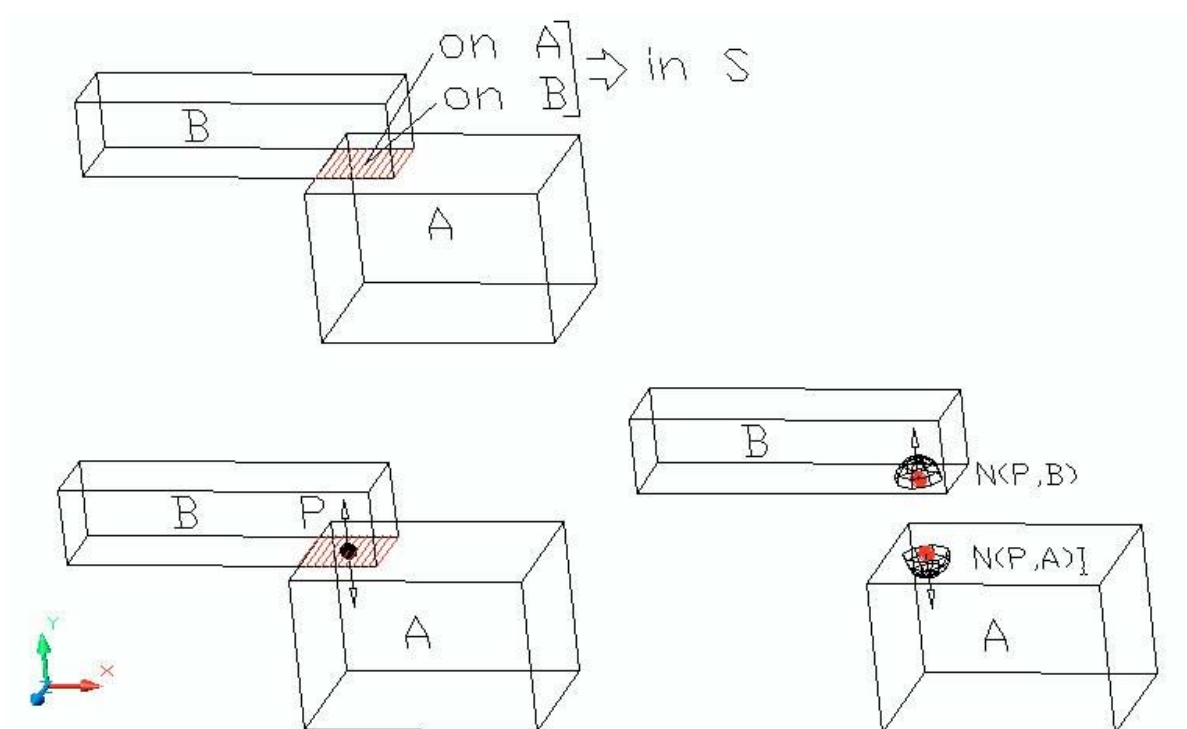


Fig. 4.22. Ambiguitatea on/on și rezolvarea sa cu ajutorul informațiilor de vecinătate

Modelele CSG sunt moduri de realizare a modelelor foarte productivă. Modelele sunt foarte ușor de construit cu ajutorul corpurilor simple și operațiilor booleene. Sunt foarte concise și necesită un spațiu minim de stocare a informației cu privire la model. Se poate realiza o modificare la un corp aflat în componența modelului, după care se actualizează întregul model, datorită existenței graficului CSG. Modelele create prin CSG se pot converti foarte ușor în modele de sârmă sau în B-rep. Marele dezavantaj al CSG este imposibilitatea reprezentării suprafețelor sculptate și a semispațiilor.

# Capitolul 5

## Transmiterea informațiilor între sistemele CAD – CAM

### 5.1. Principii

Activitățile desfășurate în cadrul procesului CAM necesită transmiterea informațiilor stocate în bazele de date CAD [ZEI 91], [LEN 01], [SOL 08], [CAT 08]. Schimbul de informații este îngreunat de marea varietate a mediilor de lucru CAD / CAM. Transferul de date între sistemele CAD / CAM nesimilare trebuie să cuprindă descrierea completă a produsului stocată în baza de date. Sunt patru tipuri de date cu ajutorul cărora se pot realiza această descriere :

- ✓ datele referitoare la formă cuprind informații geometrice și topologice precum și caracteristici de alcătuire a piesei,
- ✓ datele globale constau din informații despre unitățile de măsură ale bazei de date,
- ✓ datele de concepție cuprind informațiile de proiectare în scopuri de analiză cum ar fi proprietăți masice și de element finit,
- ✓ datele tehnologice constau din informațiile despre alegerea sculelor, traiectorii NC, toleranțe, adaosuri de prelucrare, liste de materiale.

Formatele de date concepute pentru schimbul de date între sistemele CAD / CAM trebuie să asigure transmiterea acestor patru tipuri de date.

Pentru convertirea datelor dintr-un format în altul se utilizează programe translatoare, care pot fi de două feluri :

- ✓ directe (convertesc datele direct dintr-un sistem în altul), fig. 5.1.,
- ✓ indirecte (utilizează o structură neutră a bazei de date) fig. 5.2.

Translatorul care transferă datele din formatul unei baze de date al unui sistem dat în format neutru poartă denumirea de **preprocesor**.

Translatorul care transferă datele din format neutru în formatul unei baze de date al unui sistem dat neutru poartă denumirea de **postprocesor**.

Translația directă are loc mai rapid decât cea indirectă, iar fișierele pe care le produce sunt de dimensiuni mai mici de cât fișierele neutre create de translatorile indirecte. Cerințele impuse unui standard pentru comunicarea datelor de modelare între sistemele CAD / CAM nesimilare nu se pot asigura fără probleme și anumite limitări. Există probleme legate de definiții, standardul putând utiliza definiții și terminologii care să nu corespundă cu cele ale furnizorilor de medii CAD / CAM. Nu toate mediile CAD / CAM pot oferi suport tuturor entităților pentru care oferă suport standardul. Pot apărea anumite erori numerice la convertirea în format neutru a anumitor entități, cum sunt curbele și suprafețele libere. Ținând cont de toate acestea, soluția optimă pentru integrarea sistemelor CAD / CAM este utilizarea unui standard neutru.

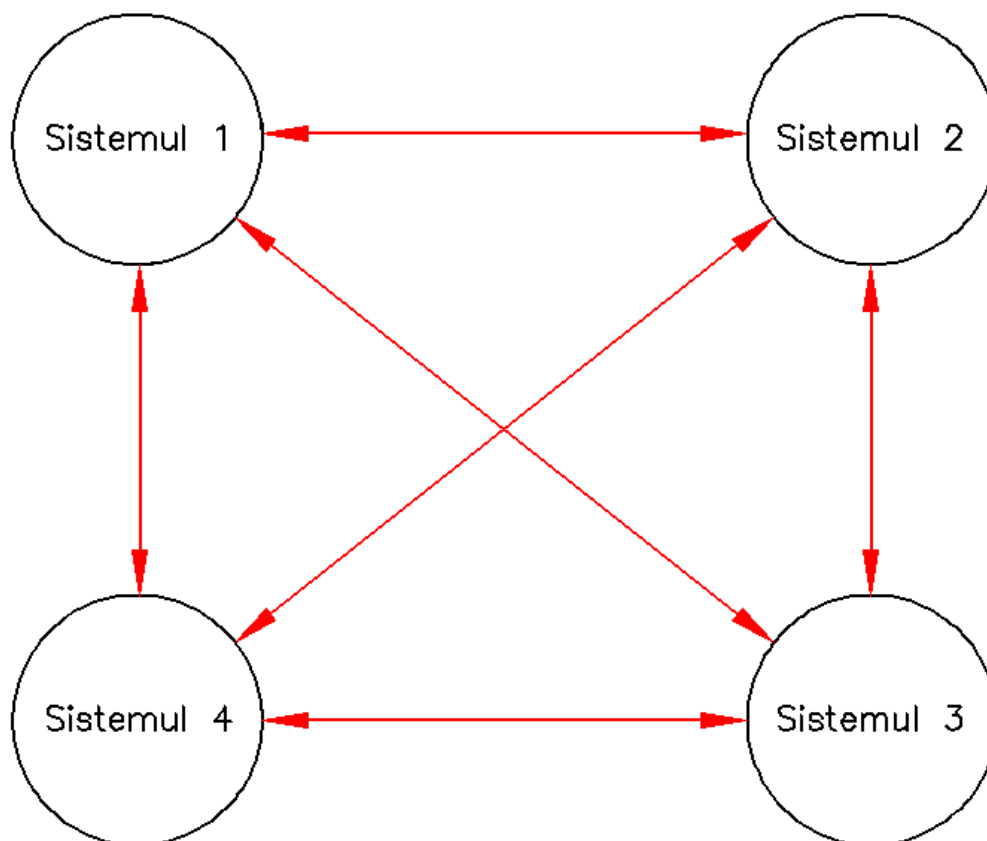


Fig. 5.1. Translație directă

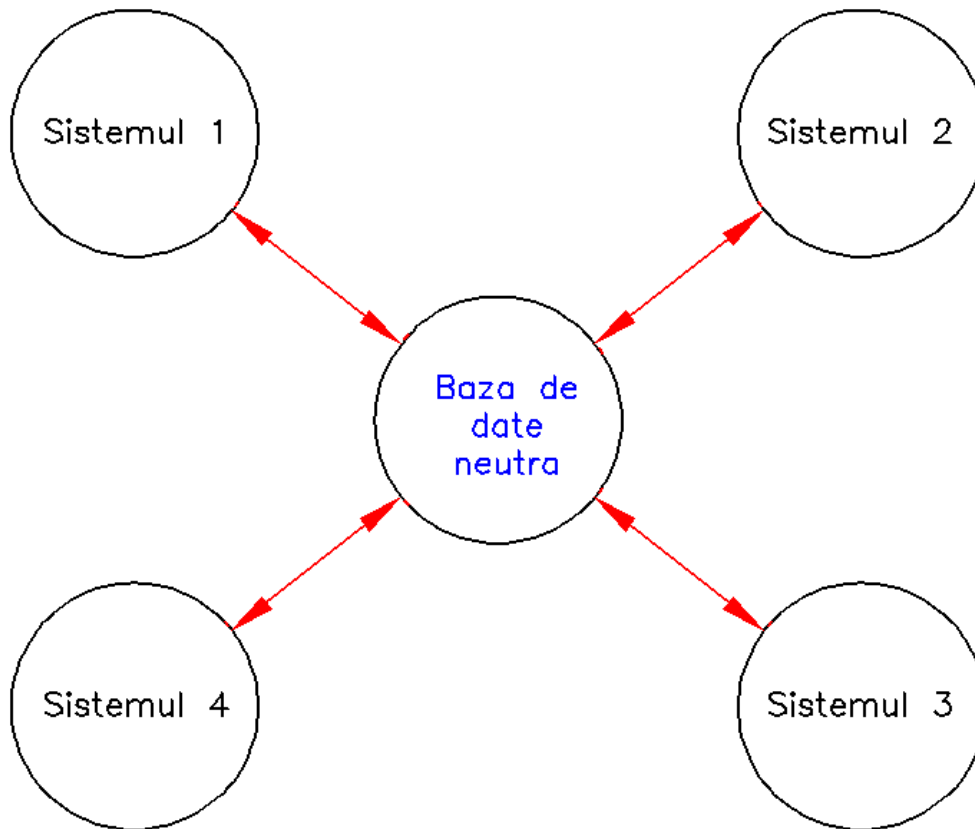


Fig. 5.2. Translație indirectă

## 5.2. IGES

IGES (Initial Graphics Exchange Specification) este primul format standard realizat pentru transferul de date între mediile CAD / CAM nesimilare [17], [41]. Acest format utilizează o bază de date neutră, în care se realizează „modelul IGES”, care se poate citi și interpreta de mediile CAD / CAM nesimilare.

În modelul IGES se descriu parametrii necesari pentru definirea entităților, relațiile și asociațiile dintre entitățile componente ale modelului.

Unitatea fundamentală de informație este entitatea. Toate datele de definire a produsului sunt exprimate sub forma unei liste de entități predefinite. Fiecărei entități definite de IGES i se atribuie un număr specific tipului de entitate. Aceste entități permit IGES să lucreze ca un format de arhivare, în care ambele sisteme, sursă și țintă, sunt similare.

Entitățile se clasifică în :

- ✓ **geometrice** , care realizează definirea formei produsului și includ curbele și suprafețele;
- ✓ **negeometrice** , care la rândul lor pot fi :
  - **de adnotare** , care includ diferite tipuri de dimensiuni, notițe, etichete, simboluri etc.
  - **de structură** , care includ vederi, desene, atribute, proprietăți, entități externe de referință, simboluri și macrouri (pentru definirea parametrică a pieselor).

În figura 5.3. se reprezintă schimbul de date utilizând IGES.

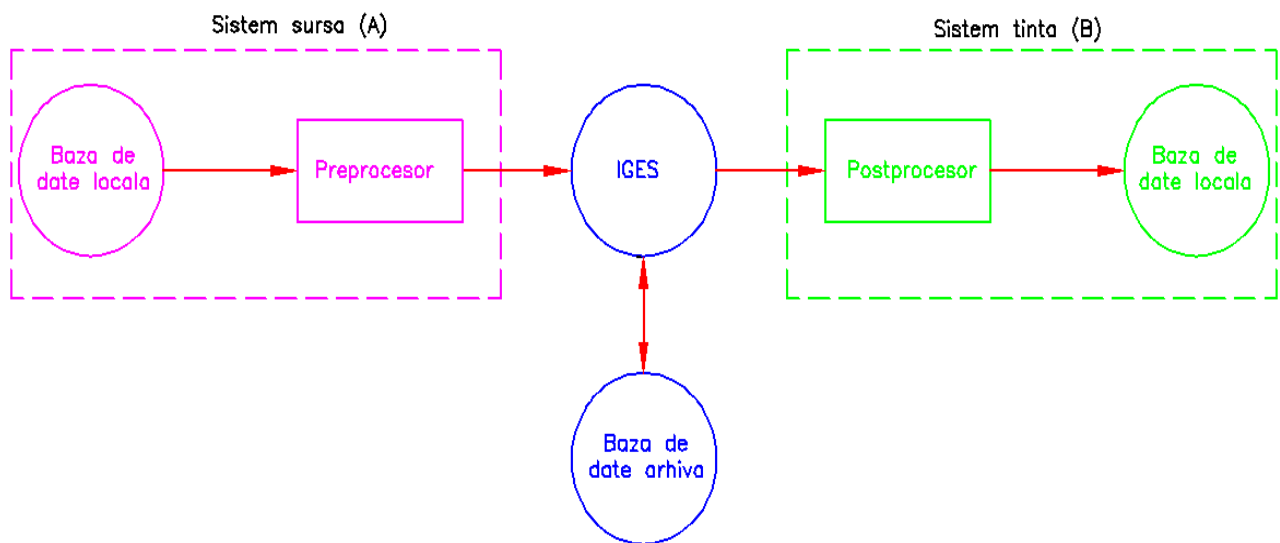


Fig. 5.3. Schimb de date utilizând IGES

IGES utilizează două sisteme de axe de coordonate :

- ✓ MCS (Model Coordinate System), care definește spațiul de referință al modelului, originea lui este aleasă de către utilizator;
- ✓ WCS (Working Coordinate System), care definește spațiul de lucru.

Toate pachetele de programe CAD / CAM furnizează utilizatorului trei sisteme de coordonate WCS standard, care corespund celor trei vederi standard : din față, de sus și din dreapta. Alte WCS-uri pot fi definite de către utilizator . Doar un singur WCS este activ la un moment dat.

Ecuția de trecere din sistemul WCS în sistemul MCS este :

$$\underline{p} = [T] \cdot \underline{p}_W \quad (5.1.)$$

unde :  $\underline{p}$  este vectorul de poziție al punctului față de sistemul MCS,

$\underline{p}_W$  este vectorul de poziție al punctului față de sistemul WCS.

Fiecare vector este dat de relația :

$$\underline{p} = [x \ y \ z \ 1]^T \quad (5.2.)$$

Matricea  $\underline{T}$  este matricea de transformare omogenă a cărei expresie este dată de relația (5.3.)

$$\underline{T} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.3.)$$

În figura 5.4 se poate observa cum se realizează trecerea de la sistemul de referință WCS la sistemul de referință MCS.

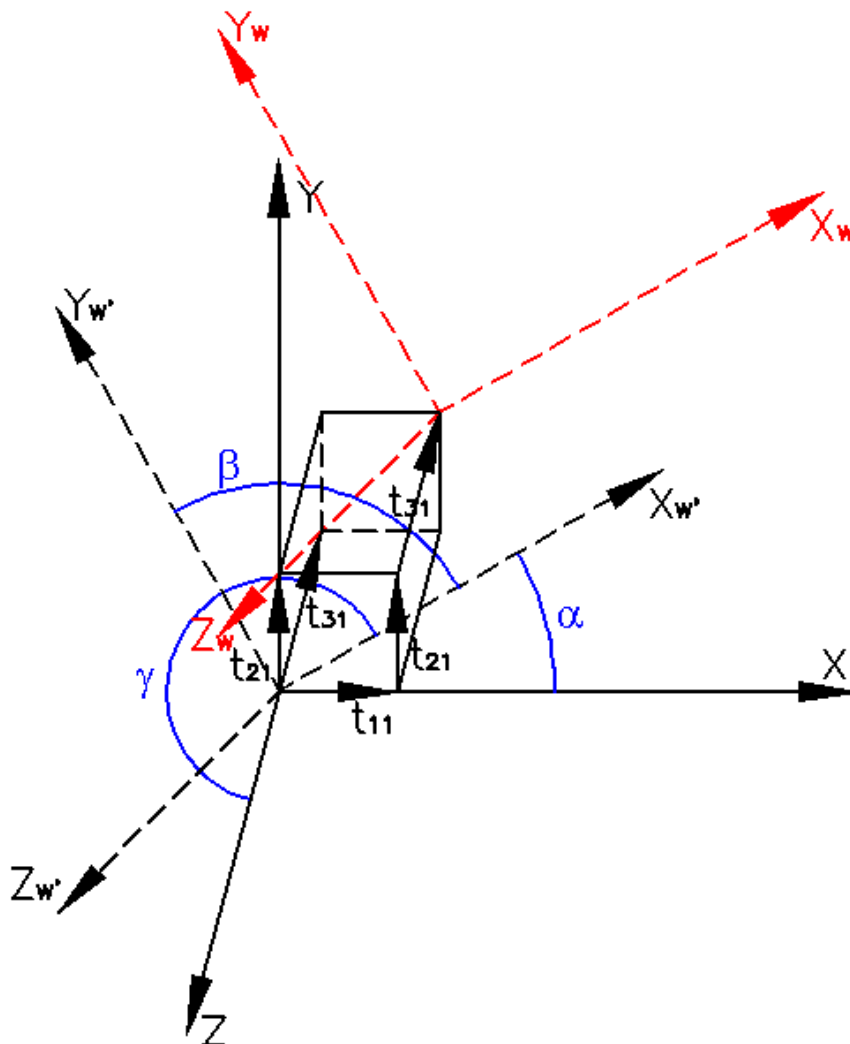


Fig. 5.4. Modul de trecere de la sistemul WCS la sistemul MCS

Sistemul de coordonate WCS are rolul de a simplifica reprezentarea entităților plane.

Planul XY al sistemului WCS este considerat ca plan al entității și doar coordonatele x și y ale acestuia sunt necesare pentru reprezentarea entității. Entității îi este asociată o matrice de transformare pentru a realiza trecerea la sistemul de axe de coordonate MCS. Fiecare entitate geometrică are în IGES o astfel de matrice asociată.

Se poate observa o regulă generală, că toate tipurile de entități geometrice sunt definite în IGES printr-un sistem de axe de coordonate WCS și o matrice de trecere de la sistemul WCS la sistemul MCS.

### 5.3. STEP

STEP (Standard for the Transfer and Exchange of Product model data), este un standard internațional pentru schimbul de date despre produs, conform ISO 10303 [18]. STEP permite schimbul de date după un format neutru, în mod independent de suportul informatic folosit la crearea lor.

Tehnologia STEP are ca scop stabilirea unui standard utilizabil de software-uri de pe piață pentru scrierea programelor CAD / CAM viitoare sau pentru adăugarea de noi module la programele existente.

STEP se constituie dintr-o serie de standarde internaționale construite în jurul unei arhitecturi integrate de protocoale de aplicație specifice unui domeniu și a unor resurse integrate generic.

STEP este organizat în mai multe părți care permit o implementare mai rapidă. Aceste părți se referă la :

- ✓ metode de descriere,
- ✓ resurse integrate,
- ✓ protocoale de aplicație,
- ✓ suite de teste abstracte,
- ✓ metode de implementare,
- ✓ teste de conformitate.



## 5.4. PDES

PDES (Product Data Exchange using Step) este un standard de schimb de date tehnice cu privire la întregul proces ce îl parcurge un produs în ciclul de producție [19].

PDES este structurat pe trei nivele, ceea ce se poate observa din figura 5.5.

Stratul aplicativ constituie interfața între utilizator și PDES. Acest strat conține toate descrierile și informațiile din diferite domenii de aplicație. Aceste descrieri și informații se exprimă formal pe calea tehnicilor de modelare a informațiilor.

Scopul stratului logic este de a furniza o descriere consistentă a construcției datelor implementate de calculator, care să conțină informația ce urmează a fi prelucrată.

Stratul fizic se ocupă de structurile de date și de fișierul de schimb propriu-zis. Scopul lui este stabilirea și menținerea eficienței cu privire la mărirea fișierului și la durate de procesare.

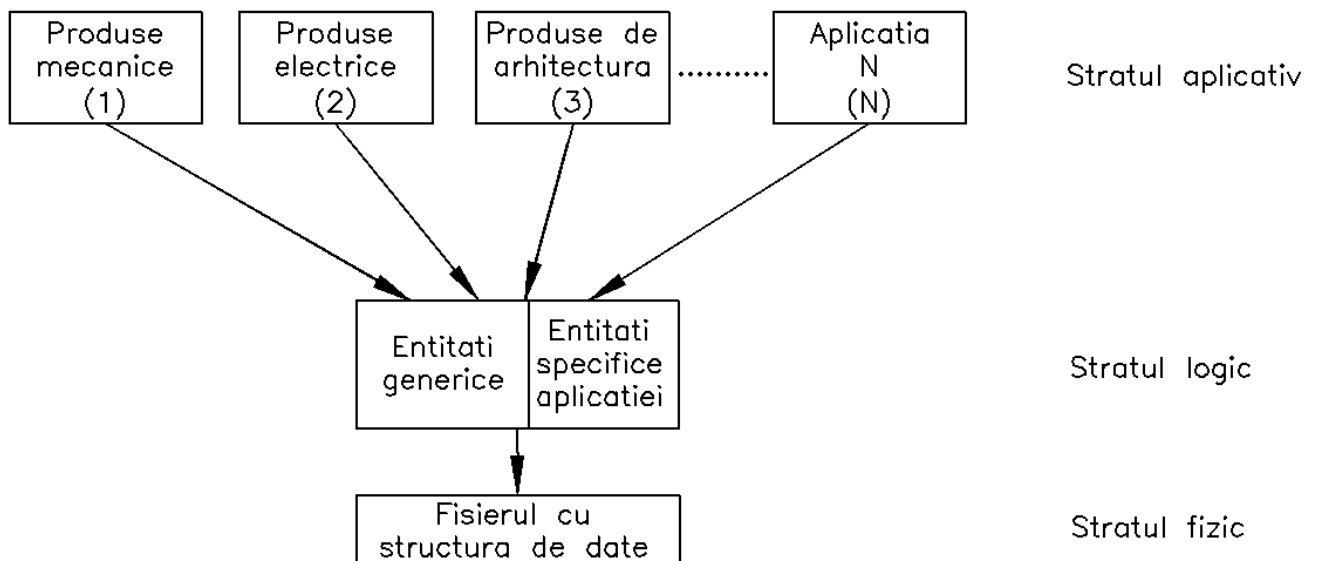


Fig.5.5. Arhitectura PDES

## 5.5. Dificultăți în utilizarea programelor de postprocesare

În primul rând apare problema obținerii codurilor corectă în ordinea dorită, în anumite puncte critice ale programului NC, cum ar fi inițializarea programului, schimbarea sculei, încheierea programului. O altă problemă este obținerea codului

corect pentru compensarea uzurii sculei. Fiecare întreprindere și chiar diferite secții din cadrul aceleiași întreprinderi adoptă metode diferite pentru a realiza schimbarea sculei sau compensarea uzurii acesteia. De aceea un postprocesor configurat pentru o întreprindere poate să fie necorespunzătoare pentru alta. Chiar dacă sistemul CAM utilizat este echipat cu un postprocesor preconfigurat pentru o anumită combinație mașină / controller este puțin probabil să producă un program NC cu coduri care să fie exact cele dorite și exact în ordinea dorită. Din acest motiv utilizatorul este pus în situația să aleagă dintre trei posibilități neplăcute :

- să accepte datele de ieșire așa cum au fost ele generate, ceea ce poate duce confuzii la operatorul uman,
- să editeze și să modifice fiecare program NC, înainte de a-l transmite la echipamentul NC, care poate să genereze erori și nepotriviri,
- să modifice configurația postprocesorului, operație care necesită personal cu experiență corespunzătoare.

O altă problemă apare în cazul în care o întreprindere dorește achiziționarea unei mașini cu NC și postprocesorul nu poate să furnizeze datele corespunzătoare. Această situație se întâmplă în cazul mediilor CAM cu preț scăzut, care nu pot realiza programe NC pentru mașini cu mai multe axe. Singurul remediu ar fi schimbarea sistemului CAM sau actualizarea sa cu o versiune mai nouă.

O altă problemă este că unele postprocesoare nu prezintă suport pentru opțiunile și caracteristicile speciale conținute în echipamentul NC al mașinii-unealtă.

Se poate observa o tendință de înlocuire a postprocesoarelor învechite, cu unele noi care să fie reconfigurabile în funcție de cerințele echipamentului NC. Trebuie ținut cont de faptul că formatul de date de la intrarea în postprocesor să fie compatibil cu cel utilizat de sistemul CAD, pentru a avea cât mai puține erori de conversie.

Considerentele de mai sus justifică interesul de a găsi o modalitate de transfer direct de date, nu prin utilizarea unei baze de date neutre.

## 5.6. Concluzii

Transmisia de date de la sistemul CAD la sistemul CAM prin intermediul bazelor de date neutre (IGES, PDES) necesită o muncă umană în privința creării unei baze de date neutră, care prezintă dezavantajele prezentate în capitolul 5.5.

Postprocesoarele mai noi, apărute după 2005 se pot adapta mai ușor sistemului CAM, deoarece utilizatorul are două variante de configurare a postprocesorului :

- postprocesorul are o bază de date cu echipamentul de comandă numerică, din care operatorul configurează postprocesorul cel mai ușor, alegând echipamentul de comandă numerică de pe robot,

- postprocesorul se poate configura de către operatorul uman, care scrie un fișier care va fi folosit ulterior ca un tipar, la care se va adăuga programul de comandă.

## Capitolul 6

# Model matematic al programului de manipulare a robotului pe baza modelului matematic al procesului de șlefuire

### 6.1. Introducere

În cazul unei producții automatizate, componentele hipersistemului CIM sunt legate între ele printr-o rețea informațională care face posibil transferul de date de la concepție (atât constructivă cât și tehnologică), realizate simultan (inginerie concurentă), prin intermediul facilității CAM, la sistemele de prelucrare flexibilă. Acest transfer de date este realizat cu intervenția operatorului uman.

În continuare se propune realizarea transferului de date, în mod direct, între componentele CAD / CAM la SFF , care să nu solocite intervenția operatorului uman [KOV 92], [KOV 99], [KOV 00], [KOV 01].

Majoritatea proceselor tehnologice de șlefuire constă în mișcarea relativă dintre o sculă și o piesă, care se poate realiza în două moduri :

- ✓ robotul manipulează OL, scula executând doar mișcarea principală de așchiere (șlefuire – lustruire)
- ✓ robotul manipulează un cap de forță, care poartă scula așchietoare, OL este fixat în dispozitivul de lucru (debavurare, sudare, etc.).

Concepția constructivă și tehnologică modernă se bazează pe modelare și simulare. Formele și dimensiunile pieselor se modelează utilizând modelarea geometrică 3D , iar procesele tehnologice se simulează. Simularea diferitelor mișcări în faza de concepție se poate transfera direct, fără intervenția OU, numai prin programe specializate (protocoale). Condiția de a se putea realiza această simulare a procesului de prelucrare este elaborarea unui model matematic al procesului tehnologic.

Cea mai eficientă cale de a crea un model matematic al mișcării relative a corpurilor în 3D este utilizarea matricilor de trecere între sistemele de coordonate de referință.

## 6.2. Modelul matematic al programului de manipulare a robotului

În figura 6.1. se prezintă schema situării relative a subsistemelor sistemului de fabricație prin șlefuire a unui obiect de prelucrat OL având formă cilindrică. La fiecare subansamblu s-a atașat câte un sistem de referință, care în continuare se va denumi după originea sa astfel : elementului fix al robotului R i se atașează sistemul de referință  $O_R$  , efectorului final al robotului – capul de forță CF,  $O_{CF}$  (originea sistemului atașat efectorului final), obiectului de prelucrat OL,  $O_{OL}$  (originea sistemului de referință atașat obiectului de prelucrat), scula de șlefuit S,  $O_S$  (originea sistemului de referință atașat sculei), suprafața activă a sculei de șlefuit SA,  $O_{SA}$  (originea sistemului de referință atașat suprafeței active a sculei), iar halei în care este instalat sistemul „universul”, sistemul de referință  $O_U$ .

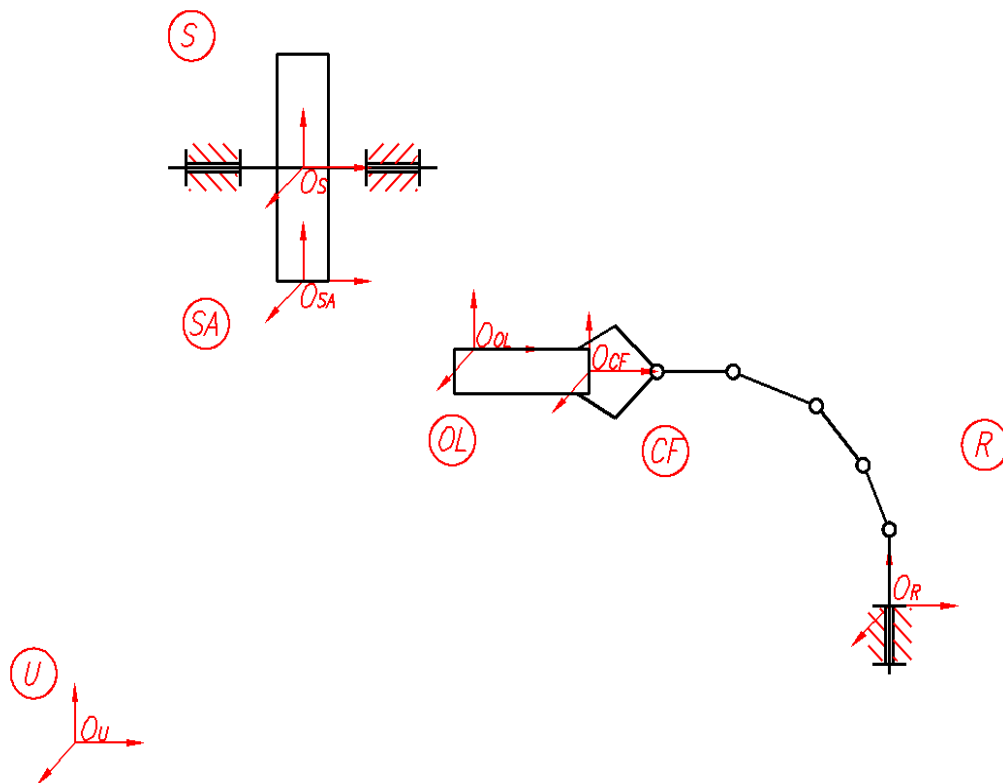


Figura 6.1. Schema situării relative a subsistemelor sistemului de fabricație prin șlefuire a unui obiect de prelucrat (OL) de formă cilindrică

Graful din figura 6.2. pune în evidență corelația dintre situațiile relative ale subsistemelor sistemului.

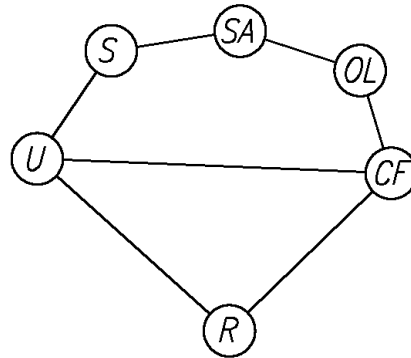


Figura 6.2. Graful corelației dintre situațiile subsistemelor sistemului de fabricație

În graf nodurile reprezintă subsistemele, iar laturile, corelația dintre două subsisteme. Fiecărei laturi a grafului îi corespunde o matrice de trecere (tip I) de la sistemul de referință atașat unui subsistem la sistemul de referință atașat la celălalt subsistem, subsistemele în cauză reprezentând nodurile la cele două capete ale laturii. Graful prezintă pe această cale stabilirea unor relații între matricile de trecere de la un sistem la celălalt, definit ca mai sus.

În sensul de mai sus :

$$\underline{U}_{TCF} = \underline{U}_{TS} \cdot \underline{S}_{TSA} \cdot \underline{SA}_{TOL} \cdot \underline{OL}_{TCF} = \underline{U}_{TR} \cdot \underline{R}_{TCF} \quad (6.1.)$$

în consecință :

$$\underline{SA}_{TOL} = \underline{U}_{TS}^{-1} \cdot \underline{S}_{TSA}^{-1} \cdot \underline{U}_{TR} \cdot \underline{R}_{TCF} \cdot \underline{OL}_{TCF}^{-1} \quad (6.2.)$$

Elementele matricei  $\underline{SA}_{TOL}$  variază în funcție de timp într-un mod determinat de desfășurarea procesului de șlefuire. Cum toate celelalte matrici care intră în expresia 6.2. sunt constante, cu expresia matricei  $\underline{R}_{TCF}$ , care la rândul său este variabilă în timp, expresia 6.2. se poate scrie sub forma :

$$\underline{SA}_{TOL}(t) = \underline{U}_{TS}^{-1} \cdot \underline{S}_{TSA}^{-1} \cdot \underline{U}_{TR} \cdot \underline{R}_{TCF}(t) \cdot \underline{OL}_{TCF}^{-1} \quad (6.3.)$$

Expresia 6.3., exprimă situația variabilă în timp a obiectului de prelucrat în raport cu suprafața activă a sculei de șlefuit în funcție de situația efectorului final în raport cu baza robotului.

Expresia 6.4. :

$$\underline{R}_{TCF}(t) = \underline{U}_{TR}^{-1} \cdot \underline{U}_{TS} \cdot \underline{S}_{TSA} \cdot \underline{S}_{TOL}(t) \cdot \underline{O}_{LCF} \quad (6.4.)$$

permite programarea funcționării robotului pornind de la procesul tehnologic de șlefuire (care presupune  $\underline{S}_{TOL} = \underline{S}_{TOL}(t)$ ).

### 6.3. Determinarea legii de mișcare a robotului în funcție de procesul tehnologic de șlefuire

Procesul tehnologic de șlefuire se poate împărți în trei etape, după cum se poate observa în figura 6.3 [KOM 08], [KOM 09].

unde :

1 – punct de start

$$t = 0 \Rightarrow \begin{cases} q = z_1 = a_0 \\ \dot{q} = 0 \end{cases} \quad (6.5.)$$

2 – momentul începerii operației de șlefuire

$$t = t_2 \Rightarrow \begin{cases} q = z_2 = a_0 + a_1 \\ \dot{q} = v = \text{const} \end{cases} \quad (6.6.)$$

3 – momentul terminării operației de șlefuire

$$t = t_3 \Rightarrow \begin{cases} q = z_3 = a_0 + a_1 + l + g \\ \dot{q} = v = \text{const} \end{cases} \quad (6.7.)$$

4 – sfârșitul operației de șlefuire

$$t = t_4 \Rightarrow \begin{cases} q = z_4 = a_0 + a_1 + l + g + a_2 \\ \dot{q} = 0 \end{cases} \quad (6.8.)$$

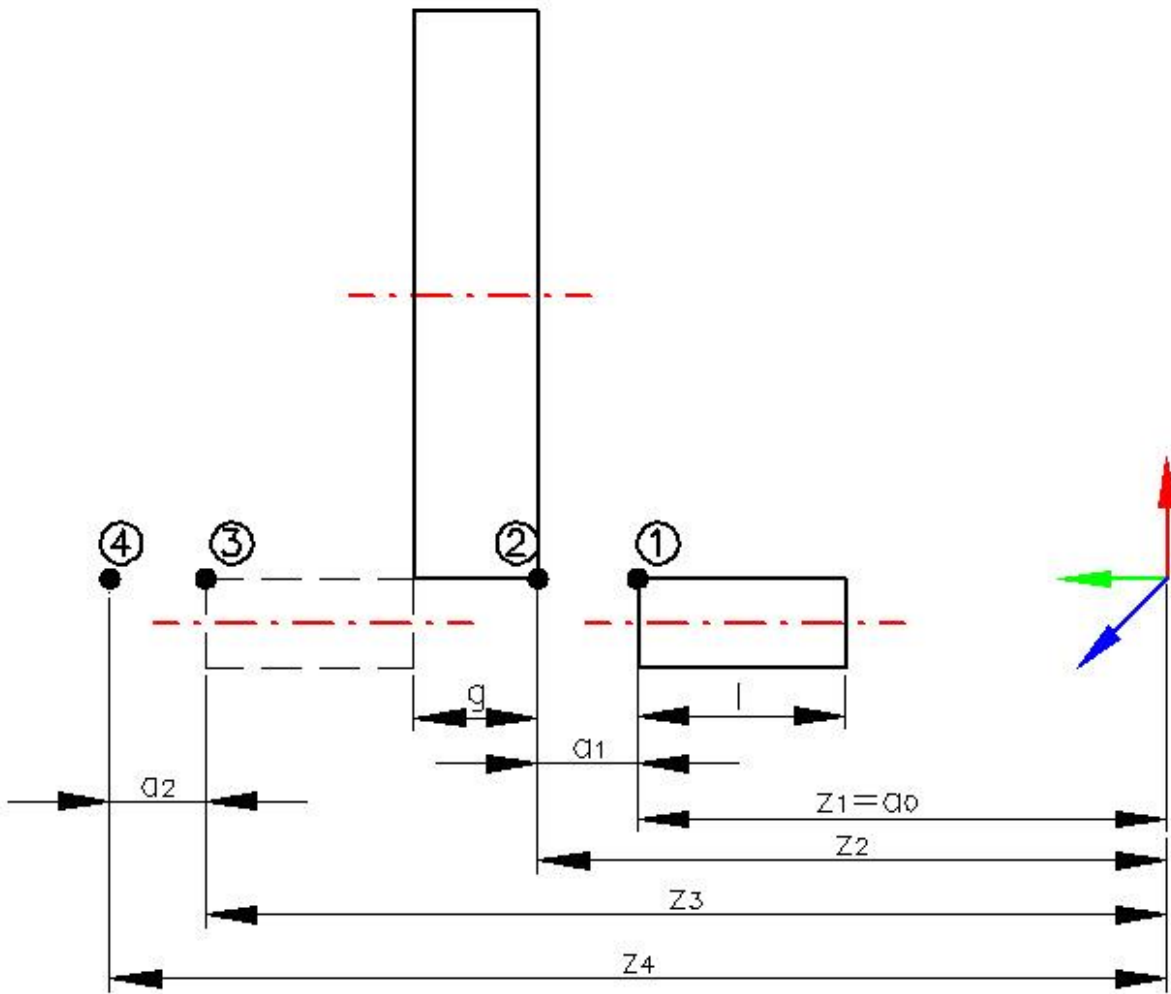


Fig. 6.3. Etapele procesului de șlefuire

Legile de mișcare din cele trei etape ale procesului de șlefuire se pot descrie în felul următor :

**1 – 2** - etapa în care obiectul de prelucrat se apropie de discul de șlefuit, viteza crește la valoarea stabilită de procesul tehnologic :

$$\begin{cases} q = c_3 t^3 + c_2 t^2 + c_1 t + c_0 \\ \dot{q} = 3c_3 t^2 + 2c_2 t + c_1 \\ q = a_0 \\ \dot{q} = 0 \end{cases} \Big|_{t=0} \quad (6.9.)$$

$$\begin{cases} q = a_0 + a_1 \\ \dot{q} = v \end{cases} \Big|_{t=t_2}$$



**2 – 3** - etapa propriu-zisă de șlefuire :

$$\begin{cases} q = c_3 t^3 + c_2 t^2 + c_1 t + c_0 \\ \dot{q} = 3c_3 t^2 + 2c_2 t + c_1 \\ \left. \begin{array}{l} q = a_0 + a_1 \\ \dot{q} = v \end{array} \right\} t=t_2 \\ \left. \begin{array}{l} q = a_0 + a_1 + l + g \\ \dot{q} = v \end{array} \right\} t=t_3 \end{cases} \quad (6.10.)$$

**3 – 4** - etapa în care s-a terminat operația de șlefuire, iar viteza de translație se reduce la zero :

$$\begin{cases} q = c_3 t^3 + c_2 t^2 + c_1 t + c_0 \\ \dot{q} = 3c_3 t^2 + 2c_2 t + c_1 \\ \left. \begin{array}{l} q = a_0 + a_1 + l + g \\ \dot{q} = v \end{array} \right\} t=t_3 \\ \left. \begin{array}{l} q = a_0 + a_1 + l + g + a_2 \\ \dot{q} = 0 \end{array} \right\} t=t_4 \end{cases} \quad (6.11.)$$

Legea de mișcare pe parcursul operației de șlefuire este formată din reuniunea legilor de mișcare pe cele trei intervale.

## 6.4. Erori apărute în fazele de prelucrare și de manipulare

Precizia în cadrul unui SFF poate avea două înțelesuri :

□ **Precizia performanțelor** unei componente a SFF se exprimă ca fiind capacitatea de a realiza operația comandată. La rândul său, precizia performanțelor componentelor SFF are două aspecte :

- **exactitatea**, care exprimă gradul de corespondență dintre mărimile reale ce caracterizează performanța și cele ideale;
- **repetabilitatea**, care reprezintă mărura în care corespondența se menține în timp.

□ **Precizia caracteristicilor** unui produs reprezintă măsura corespondenței dintre valorile concepute și cele realizate ale caracteristicii ce definește produsul. Această precizie are natura unei exactități.

Între cele două tipuri de precizii există o dependență naturală : întotdeauna precizia unei caracteristici a produsului este dependentă de precizia performanțelor componentelor SFF.

Imprecizia performanțelor componentelor SFF precum și imprecizia caracteristicilor produsului sunt cauzate de erorile de situare a diferitelor corpuri existente în SFF (ML, RI, DL etc). La rândul lor erorile de situare relativă sunt cauzate de erorile dimensionale ale semifabricatului, sculelor, dispozitivelor, jocurilor din CCC ale diferitelor componente ale SFF, deformații ale elementelor, erori de conducere.

Rezultatul acestor erori se manifestă prin imprecizia performanței, iar caracteristica dimensională a piesei va fi afectată de imprecizia caracteristicilor.

Erorile de situare relativă pot fi calculate cunoscând valorile cauzelor acestor erori (toleranțe dimensionale, jocuri, temperaturi etc).

## **6.5. Concepția constructivă și tehnologică utilizând modelele matematice propuse și transferul rezultatelor la componentele SFF**

Mișcare dintre elementele componente ale unui SFF se realizează cu ajutorul CCC care sunt controlate numeric prin intermediul unui calculator [PAU 81], [RAN 85]. Aceste mișcări pot fi atât mișcări ale CCC ale RI, cât și mișcările relative executate de părțile componente ale mașinilor unelte, dispozitivelor de transfer etc.

În faza de lucru a procesului de prelucrare, după schimbarea suprafeței active a sculei  ${}^S C_{L_{SA}}$ , prin calcul cinematic invers se poate determina variația în timp a situații relative a sculei față de piesă  ${}^P T_{SC}(t)$ , unde se va ține cont și de parametrii procesului de așchiere (viteză, avans, adâncime de prelucrare etc.).

Variația în timp a situații sculei față de partea fixă a mașinii unelte se poate calcula cu ajutorul relației (6.19.):

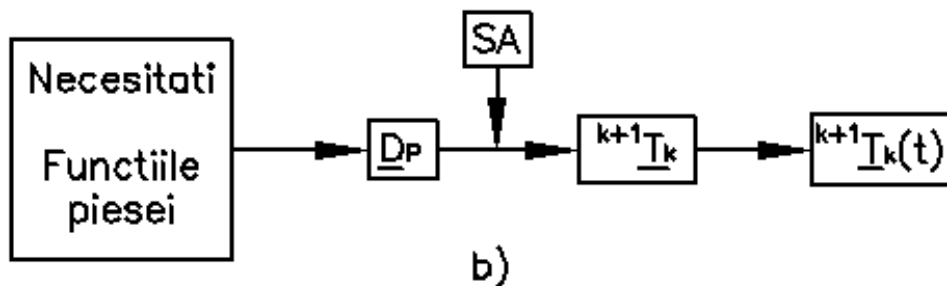
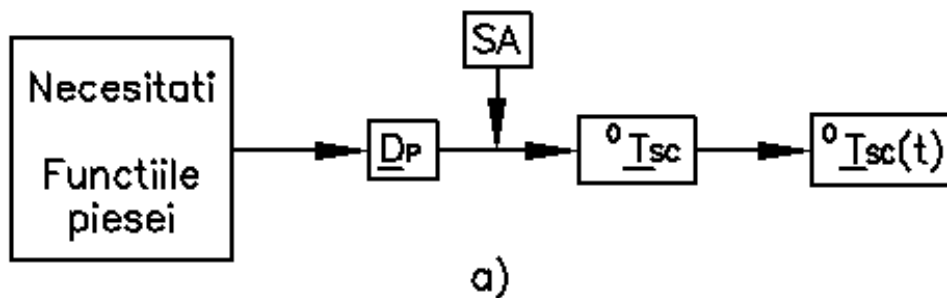
$${}^0 T_{SC} = {}^0 T_{SC}(t) = {}^0 E_P \cdot {}^0 T_P \cdot {}^P E_{SC} \cdot {}^P T_{SC}(t) \quad (6.12.)$$

unde  ${}^0 E_P$  este eroarea de situare a piesei față de partea fixă a mașinii unelte (toleranțele semifabricatului, erorile de poziționare a piesei, erorile de poziționare a DL

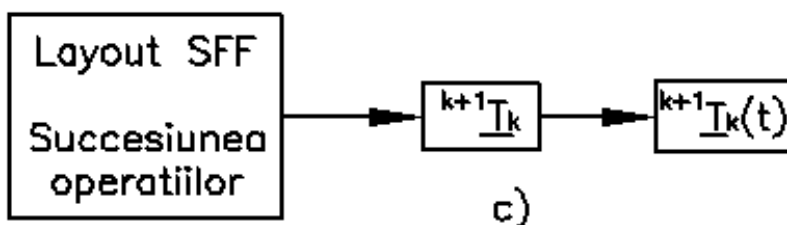
pe MU etc) și  ${}^P E_{SC}$  este eroarea de situare a sculei față de piesă (erori de control, erori de forma suprafeței sculei etc).

Pentru programarea automată a mișcării celor „n” axe ale MU sau al RI, matricea de transformare  ${}^0 T_{SC}(t)$ , care descrie variația în timp a părților mobile față de partea fixă, se poate determina prin calculul invers din matricea  ${}^0 T_{SC}$ .

Programul de lucru al MU sau al RI constă din matricea  ${}^0 T_{SC}(t)$  stocată în memoria sistemului de comandă [SAV 00].



faza de prelucrare



faza de manipulare

Fig. 6.4. Schema logică a modelului matematic

În figura 6.4.a) este prezentat schematic modul de realizare a programului de lucru al unei mașini unelte, în figura 6.4.b) se prezintă realizarea programului de manipulare a OL în vederea prelucrării, (robotul realizează operația de prelucrare), iar în figura 6.4.c) se prezintă modul de realizare a programului pentru manipulare OL.

Precizia sau imprecizia operațiilor trebuie verificate prin calculul erorilor.

Utilizarea modelului matematic propus pentru procesele tehnologice face posibilă legătura complet automată între facilitățile CAD – CAPP – SFF. Pe baza acestor principii se pot elabora modele specifice pentru fiecare tip de operație tehnologică.

# Capitolul 7

## Programarea OFF-LINE a roboților

### 7.1. Introducere

Funcționarea roboților industriali are loc în majoritatea cazurilor, în mod automat, fără intervenția operatorului uman, prin executarea unei succesiuni de operații cu caracteristici predefinite și încorporate în cadrul unui program [FLO 03].

**Programarea** reprezintă furnizarea către sistemul de comandă al robotului, sub o formă codificată, a tuturor caracteristicilor operațiilor ce urmează a fi executate de către acesta, în vederea memorării și folosirii lui în modul de lucru operațional [BLU 87].

Programele care concură la realizarea unui task (operație, sarcină) de către un robot industrial se pot împărți în două categorii :

- **program de control** (control program), numit și sistem de operare, furnizează robotului indicații asupra modului în care trebuie să execute operațiile.
- **programe de utilizator**, numite și programe de aplicație , sunt programele care furnizează robotului indicații asupra succesiunii și caracteristicilor operațiilor pe care trebuie să la execute.

Metodele de programare a roboților se pot clasifica după:

- modul de determinare a punctului țintă:
  - prin instruire (on-line),
  - prin calcul (off-line)
- modul de funcționare a cuplelor cinematice conducătoare:
  - cu programare (comandă) secvențială
  - cu programare (comandă) punct cu punct (PTP)
  - cu programare (comandă) multipunct (MP)
  - cu programare (comandă) traiectorie continuă (CP)

Programarea prin instruire se realizează chiar în postul de lucru, necesită în general un minimum de mijloace informatice și se reduce la o demonstrație materială a

sarcinii de îndeplinit, efectuată de un operator, cu ajutorul robotului, înregistrarea situațiilor atinse de robot prin deplasarea efectorului final și înregistrarea coordonatelor elementelor CCC folosind robotul ca pe un instrument de măsură (digitizor). Plecând de la fișierele cu valorile coordonatelor specifice fiecărei configurații, robotul va putea reproduce de câte ori este nevoie, deplasările și acțiunile efectorului final.

Programarea prin calcul se utilizează atunci când echipamentul de conducere este prevăzut cu un calculator pentru modelarea mediului, iar etapele procesului tehnologic se desfășoară în conformitate cu evenimentele produse în etapele anterioare ale procesului. Dacă programul se realizează independent și în alt moment decât execuția lui, atunci acest mod de programare se numește **off-line**. O astfel de programare se poate realiza și înafara sistemului de comandă al robotului.

În funcție de posibilitatea de realizare a programului pe un al doilea robot, programarea off-line poate fi :

- **explicită**, orientată după mișcare, comenzile date se prelucrează într-o anumită succesiune dată ,
- **implicită**, orientată după obiectivul (task-ul) de realizat, se definește obiectivul de realizat independent de succesiunea prelucrării datelor

În funcție de mediul de programare, programarea off-line poate fi :

- **textuală**, prin intermediul unui limbaj de programare specific,
- **grafică**, generarea programului se realizează într-un pachet CAD-CAM specializat.

## 7.2. Limbaje de programare

Un robot este controlat de un sistem de procesare, bazat pe unul sau mai multe microprocesoare. Pentru ca robotul să poată fi programat de utilizator prin instruire, aceste microprocesoare au fost programate de către proiectantul robotului, lăsând utilizatorului doar posibilitatea alegerii unui număr limitat de funcții. Metoda prin învățare deși oferă avantajul „programării” robotului de către un operator, limitează posibilitățile de exploatare ale robotului respectiv [FLO 00], [BOG 94], [GRA 98].

Dacă utilizatorul ar putea programa în mod direct, fără anumite restricții microprocesorul sau microprocesoarele, gama de aplicații a robotului ar putea fi extinsă

considerabil, dar în acest caz utilizatorul ar trebui să fie un bun specialist în programare. Programarea directă a microprocesorului este destul de dificilă, aceasta realizându-se în cod mașină sau limbaj de asamblare. Acest nivel de programare este denumit **nivelul zero** și este foarte puțin utilizat la roboții industriali. Se pot întâlni roboți construiți la comandă, ca unicat sau artizanal, comandați de către un PC.

Pentru a ușura programarea RI s-au dezvoltat softuri specializate, numite **limbaje de programare**.

Unitatea centrală de procesare a informațiilor va conține un **interpretor**, capabil să execute în timp real programul scris într-un limbaj specific de programare și / sau un **compiler** pentru a transforma programul sursă într-un format intern adecvat pentru sistemul de comandă.

Primul limbaj de programare pentru roboți, limbajul **WAVE**, a fost dezvoltat de Stanford University, în 1973.

Se poate observa că limbajele de programare pentru roboți se dezvoltă pe trei căi :

- pornind de la **limbajele de programare clasice**, prin completarea lor cu instrucțiuni specifice roboților, fie prin definirea unor limbaje similare s-au dezvoltat limbaje de programare pentru roboți. Ca exemple se pot da:
  - Algol → AI (Assembly Language) și SRL (Structured Robot Language);
  - Pascal → PASRO (PAScal for RObots) și RAIL;
  - Basic → MAL (Multipurpose Assambly Language);
  - RTL/2 → INDA (INDustrial Automation).
- în paralel au apărut **limbaje de programare specifice roboților**. S-a urmărit realizarea unui limbaj cât mai simplu, care să exploateze la maxim resursele robotului respectiv.
- o altă sursă de inspirație au constituit-o limbajele pentru programarea mașinilor cu comandă numerică. Similar cu mișcările sculei se descriu mișcările efectorului final. În acest domeniu se încadrează limbajul RAPT dezvoltat de universitatea din Edinburgh, inspirat din APT (Automatically Programmed Tools).

### 7.3. Relații între modelarea geometrică și funcțională a roboților

Roboții industriali lucrează în SFF robotizate. Componenta unui SFF este prezentată în figura 7.1.

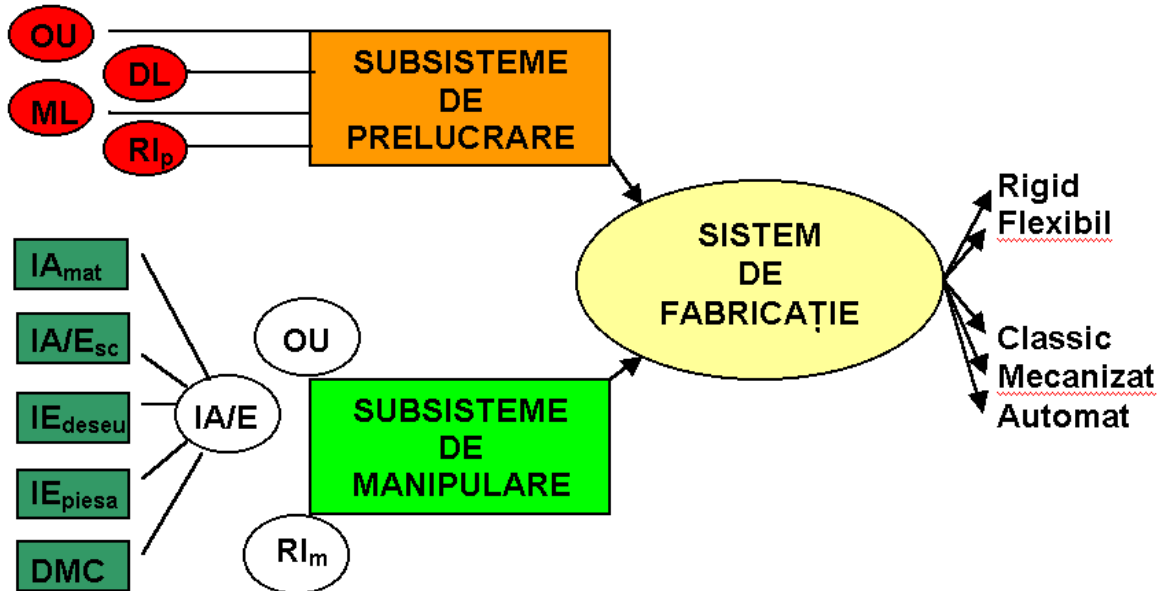


Fig. 7.1. Componenta unui SFF

Elementele componente ale unui SFF robotizat pot fi considerate obiecte geometrice având o anumită situație relativă. Modificarea în timp a situației relative a obiectelor geometrice (părțile componente ale SFF) reprezintă funcționarea în timp a acestuia.

Modelarea unui SFF va prezenta două aspecte :

- ✓ modelarea geometrică,
- ✓ modelarea funcțională.

Modelarea geometrică presupune realizarea unui model geometric. Acest model geometric trebuie să conțină suficiente informații pentru a fi implementat.

Modelarea funcțională presupune realizarea unui model funcțional. Acest model se obține prin descrierea matematică a funcționării obiectului în conformitate cu scopul propus. Cu ajutorul modelelor funcționale, li se asociază modelelor geometrice, informații care cuantifică interacțiunea cu mediul. Se calculează pozițiile relative ale punctelor caracteristice ale obiectelor puse în mișcare și orientările acestora, astfel



încât să asigure deplasarea obiectului în mod corespunzător scopului propus, fără coliziuni cu alte obiecte.

Deplasările obținute prin modelare funcțională se verifică prin simulare. Aceste deplasări vor fi numite „traietorii”, informațiile conținând atât traiectoria punctului caracteristic cât și succesiunea de orientări ale OL.

**Simularea** funcționării constă în punerea în mișcare a modelului geometric în conformitate cu modelul funcțional. Mijlocul cel mai convenabil de a recepta mișcările modelului geometric în conformitate cu modelul funcțional este vizualizarea pe ecranul unui PC.

**Programarea** în faza de simulare constă în elaborarea seturilor de instrucțiuni pentru realizarea mișcării obiectelor în conformitate cu funcționalitatea lor. Aceste comenzi sunt apoi reluate pentru programarea off-line propriu-zisă, înainte de aplicarea lor pentru comanda sistemului robotizat.

Etapile de concepere și programare ale unui SFF robotizat și ordinea lor de parcurgere sunt redată în fig. 7.2.

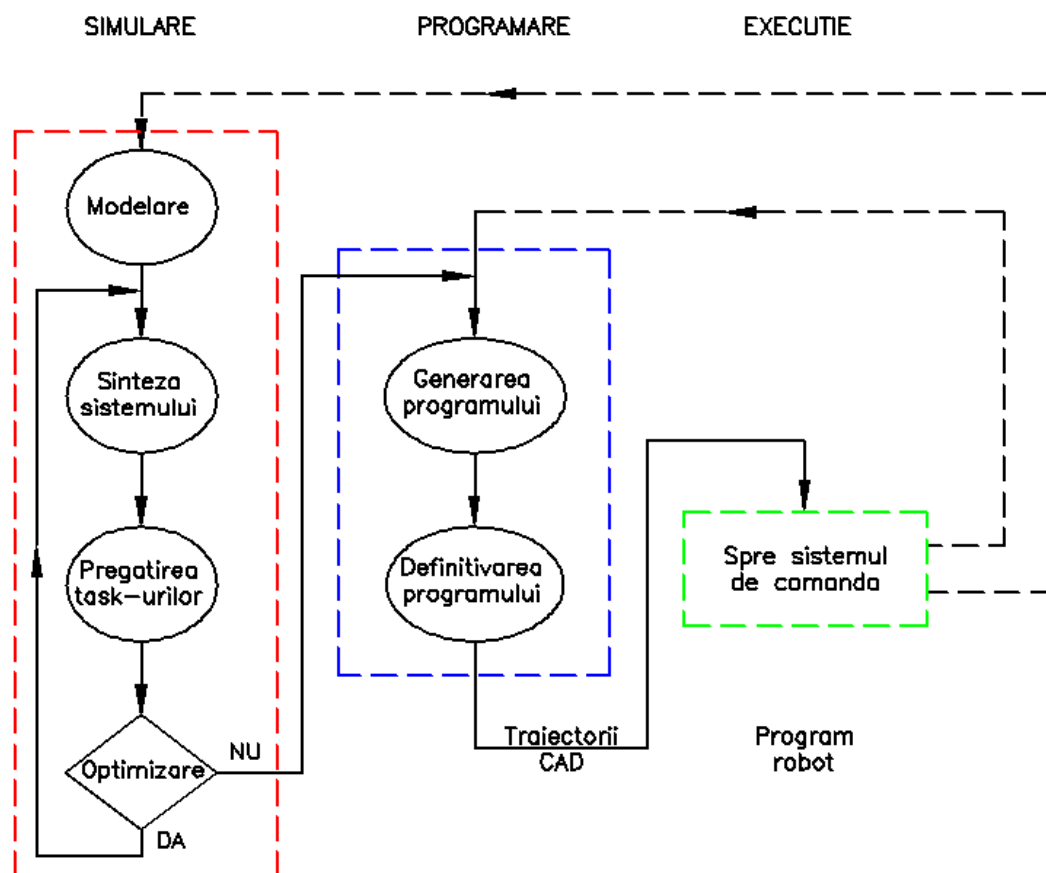


Fig. 7.2. Etapele de realizare a unui program robot

Programarea off-line pornind de la datele CAD și cele furnizate de simulare presupune un set de etape de parcurs, prezentate în figura 7.3.

Traectoriile CAD, rezultate din faza de pregătire, se vor optimiza pe baza unor criterii caracteristice aplicației respective, ele se „îmbogățesc” cu informații negeometrice furnizate de către utilizator. Ca urmare aceste traiectorii vor conține informații cu privire la :

- ✓ situații, viteze, accelerații, interpolări;
- ✓ situarea robotului față de celelalte echipamente;
- ✓ logice;
- ✓ descrierea interanțiunii cu mediul.

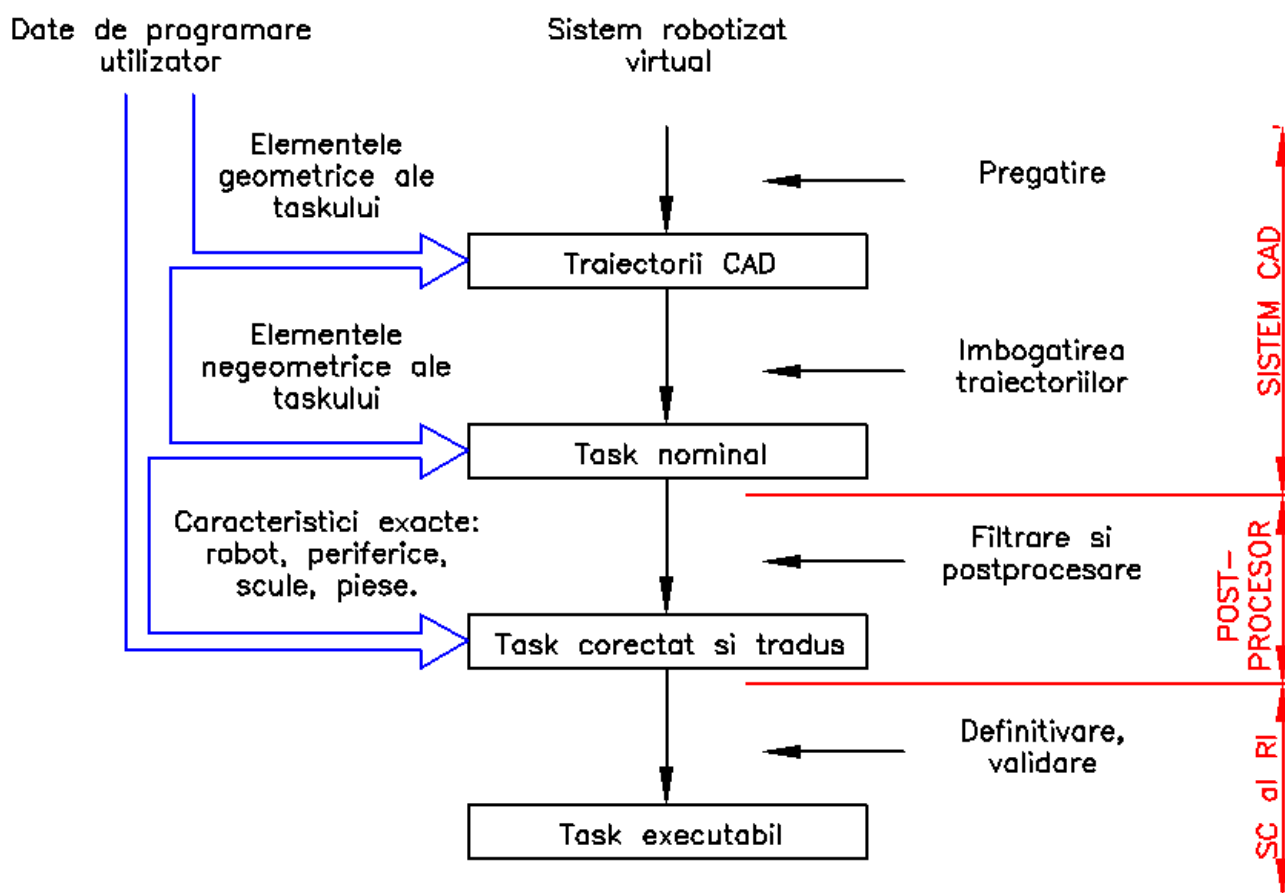


Fig. 7.3. Etapele programării off-line a roboților

Etapa a doua are rolul de a adapta task-ul nominal la sistemul robotizat real. Pentru aceasta, prin operația de filtrare, „trajectoriile” sunt corectate conform caracteristicilor geometrice și cinematice efective [OWE 98].

Pentru ca task-ul să devină executabil, mai sunt necesare unele corecții de traiectorie, executate de sistemul robotizat. Ultima etapă este deci o etapă de definitivare, de teste și de validare, rezultatul fiind un task executabil.

Simularea se execută pe un sistem robotizat perfect, în realitate, sistemul existent (sistemul real) diferind de cel ideal. Verificarea concordanței modelului cu lumea reală se realizează prin operația de **calibrare**. Operația de calibrare se execută pentru fiecare subsistem în mod diferit :

- ✓ **calibrarea dispozitivului de ghidare** se realizează o singură dată, se repetă operația de calibrare dacă sistemul a fost supus la sarcini mari, care cauzează șocuri și uzuri;
- ✓ **calibrarea offsetului efectorului final** se realizează după fiecare reparație sau în caz de coleziuni cu alte elemente;
- ✓ **calibrarea punctului caracteristic al sculei** se realizează la fiecare schimbare de sculă.

Pentru realizarea operației de calibrare se necesită determinarea situației efective, compararea cu cea obținută din modelare, stabilirea erorilor și efectuarea corecțiilor corespunzătoare.

#### **7.4. Programarea off-line a roboților industriali**

Roboții industriali se utilizează într-o multitudine de procese de fabricație, cu scopul de a mări flexibilitatea și productivitatea. Flexibilitatea roboților este determinată de capacitatea lor de a fi programați cu ușurință [BUC 92], [LAN 91].

***Programarea off-line se poate considera ca fiind procesul de elaborare a programelor robot, când acestea sunt elaborate parțial sau în totalitate, fără prezența nemijlocită a robotului.***

Deoarece elaborarea programului robot se realizează în absența RI, acesta poate să lucreze în cadrul SFF.

### 7.4.1. Avantaje ale utilizării programării off-line

Programarea off-line prezintă un mare avantaj la producția de unicat și serie mică, unde , în unele cazuri, timpul de programare al unui robot ar putea să fie comparabil cu timpul care el lucrează, de unde ar rezulta un timp de staționare mare, în cazul programării on-line.

Sistemele de programare off-line s-au dezvoltat în scopul rezolvării unor probleme importante legate de programarea automată a roboților. Un astfel de sistem acceptă descrierea la nivel înalt a task-urilor și produce codul mașină al robotului în mod automat, cu o intervenție umană minimă. În cazul unei producții de unicat și serie mică , unde timpii de programare pot fi substanțiali, un sistem de programare off-line devine esențial.

Principalele avantaje ale programării off-line a roboților sunt :

- ✓ **reducerea timpilor de staționare**, comparativ cu programarea on-line, unde robotul „nu produce” în timpul programării;
- ✓ **îndepărtarea programatorului dintr-un mediu potențial periculos**, programatorul realizează programul într-un loc îndepărtat de robot;
- ✓ **sistem de programare unic**, același mediu de programare folosindu-se pentru mai mulți roboți, fără a cunoaște particularitățile fiecărui robot;
- ✓ **integrarea cu sistemele CAD / CAM existente** permite folosirea bazelor de date de repere standardizate, putând deschide cu ușurință un fișier CAD/CAM;
- ✓ **simplificarea sarcinilor complexe** utilizându-se o interfață grafică, ușor accesibilă programatorului;
- ✓ **verificarea programelor robot** realizându-se simulări de funcționare ale roboților, observând unele nereguli ce pot apărea în timpul funcționării (coliziune).

## 7.4.2. Dificultăți în programarea off-line

Programarea off-line necesită existența unui model teoretic al robotului și al celorlalte elemente cu care vine în contact robotul. Scopul este utilizarea acestui model în procesul de simulare a comportamentului robotului în lumea reală. Utilizând modelul, se pot construi programele care, după o interfațare adecvată, se folosesc pentru conducerea robotului.

Implementarea programării off-line prezintă următoarele dificultăți majore :

- dezvoltarea unui sistem de programare generalizat care să fie implementat atât de roboți cât și de aplicațiile robotizate;
- definirea standardelor pentru interfețe în scopul reducerii incompatibilității dintre roboți și sistemele de programare;
- contracararea erorilor și impreciziilor care există în lumea reală.

## 7.5. Medii de programare și simulare off-line a roboților

Mediile de programare și simulare off-line se pot baza pe o abordare textuală sau grafică a metodei de programare.

- **Abordarea textuală** presupune folosirea unui limbaj de programare textual de nivel înalt, înrudite cu limbajele de programare ale calculatoarelor. Prin aceasta se poate realiza o capacitate ridicată de manipulare a datelor, precum și abilități matematice superioare. Unele sisteme textuale încorporează și un simulator grafic, care este folosit pentru verificarea programului în ceea ce privește coliziunea dintre obiecte precum și satisfacerea unor constrângeri impuse. Programele verificate sunt convertite într-un fișier intermediar, care este postprocesat pentru un anumit tip de robot.
- **Abordarea grafică** presupune utilizarea unor tehnici CAD interactive pentru specificarea sarcinii robotului. Programarea se realizează în mod interactiv. Avantajul major este furnizarea unui feedback vizual imediat. Programul va fi construit pe baza unor figuri care reprezintă deplasările. Un program complet cuprinde și instrucțiuni pentru realizarea unor funcții (prindere, eliberare, sudare).

Sistemul stochează informațiile într-un fișier intern netextural, care va fi postprocesat pentru un anumit tip de robot.

Un aspect important al programării off-line îl reprezintă necesitatea de a nu produce numai un fișier (program robot), dar și de a verifica off-line dacă robotul va fi capabil să execute acest program. Pe cât posibil problemele legate de spațiul de lucru, spațiul de coliziune, sincronizări etc, trebuie eliminate în faza de concepție.

### **7.5.1. Workspace**

Workspace este primul pachet de simulare dezvoltat pentru roboți industriali. A fost lansat în 1989 [3].

#### **Crearea și simularea programelor**

Acest pachet de programe crează și simulează programe pentru roboți în limbajul propriu al robotului. Datorită acestui fapt, nu sunt necesare post procesoare pentru traducerea limbajului de simulare în cel al robotului. Există posibilitatea transferului de programe prin sistemul de comandă al robotului industrial în Workspace. Datorită acestui fapt prin Workspace, programarea off-line devine un proces bidirecțional.

În prima fază utilizatorul selectează limbajul robot necesar. Pentru a crea un program se vor selecta butoanele de pe bara de meniuri,corespunzătoare fiecărei comenzi.

Aceste comenzi sunt scrise imediat într-un fișier ASCII. Deși prin Workspace se poate realiza o programare cu interfață grafică, dacă se dorește se poate utilize și editorul de texte integrat. Pe măsură ce fiecare comandă este scrisă, în fișier, ea este simulată grafic pe monitor, printr-o interfață grafică 3D. Într-o singură animație pot fi simulați mai mulți roboți care lucrează în coordonare, fiecare fiind sub controlul unui program propriu. În timpul simulării orice coliziune care apare între obiectele din celulă este raportat în mod automat. Un ceas indică timpul necesar parcurgerii întregii

secvențe de mișcare. Se poate plota întregul volum 3D al spațiului de lucru sau se pot afișa secțiuni prin model.

Workspace are implementate toate limbajele importante. Utilizatorul are la dispoziție o bibliotecă cu peste 140 de roboți, dar există și posibilitatea ca utilizatorul să-și creeze modelul propriu de robot.

### **Sistemul CAD și modelatorul cinematic**

În sistemul CAD se pot crea nivele de obiecte solide 3D sau de suprafețe (inclusiv suprafețe B-spline, parametrice, sau Bezier). Workspace permite importul fișierelor din format dxf și iges.

Mișcarea oricărui mecanism se poate modela utilizând un model cinematic. Mecanismul poate avea un număr oarecare de cuple cinematice conducătoare dispuse în orice combinație. Se pot modela conveioare, vehicule ghidate automat sau alte obiecte care se mișcă în mod independent.

### **Definirea situărilor**

Pozițiile punctului caracteristic și situările succesive ale efectorului final se pot defini în mai multe moduri. Există posibilitatea emulării prin software a unui panou de învățare pentru deplasarea robotului prin modificarea treptată fie a unghiurilor dintre elementele cuplelor cinematice conducătoare, fie a coordonatelor carteziene ale punctului caracteristic față de sistemul de coordonate al halei. Pozițiile pot fi memorate ca puncte de precizie, pentru a fi utilizate mai târziu în program. Aceste poziții sunt afișate pe ecran în mod grafic, sub formă de sisteme de coordonate. În cazul în care robotul este situat în altă poziție în celula de fabricație, punctele de precizie își vor schimba culoarea când acestea nu sunt în spațiul de lucru al robotului.

De asemenea pozițiile mai pot fi definite dând clic mous-ul în diferite locuri pe ecranul monitorului.

Orientările se pot defini prin mai multe moduri. De exemplu prin tragerea cu ajutorul mous-ului a sistemului de coordonate a punctului de precizie într-o anumită direcție.

### **Puncte geometrice**

Cel mai ușor și mai eficient mod de a se defini punctele de precizie este folosirea geometriei obiectelor. Punctele pot fi definite de-a lungul liniei de îmbinare dintre două

suprafețe, poziția punctului pe linie, distanța punctului față de linie etc. Acest mod de definire este util în cazul aplicațiilor de sudare cu arc electric.

Traietoriile pentru urmărirea unei curbe 2D se definesc în mod automat. Liniile drepte și segmente ale curbei sunt traduse direct în mișcări liniare și circulare ale efectorului final al robotului. Acest mod de definire este util în cazul aplicațiilor cum ar fi tăierea cu jet de apă.

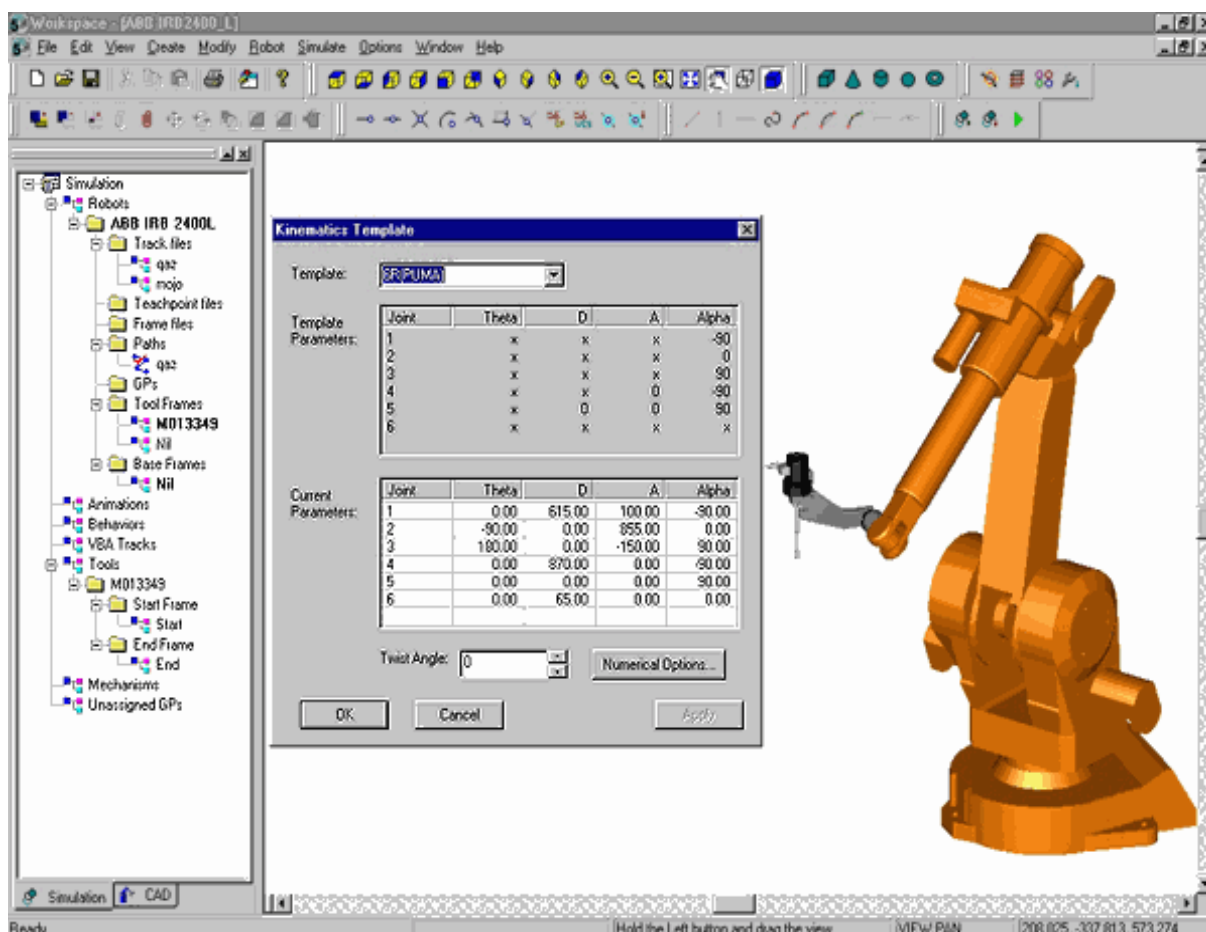


Fig. 7.4. Modelul robotului IRB 2400 în WORKSPACE 5

## Calibrarea

Calibrarea este o problemă importantă în programarea și simularea off-line, deoarece programul robot care rezultă poate avea doar precizia modelului celulei de fabricație.

În Workspace se pot realiza trei tipuri de calibrare:

1) Se utilizează o procedură în care robotul și efectorul final sunt deplasați în mod repetat într-o situație determinată, iar punctele de precizie obținute de la controllerul robotului se introduce înapoi în Workspace. Offset-ul efectorului final



se calculează, apoi cu ajutorul unei tehnici de căutare a variabilelor multiple. Procedura se repetă de câte ori efectul final își pierde orientare în timpul utilizării.

2) O tehnică similară se poate folosi pentru a determina poziția relativă efectivă a cuplurilor cinematice conducătoare și pentru orientările relative ale elementelor cuplurilor cinematice conducătoare ale mecanismelor sistemului mecanic.

3) Situațiile reale ale obiectelor din celula de fabricație se pot determina utilizând robotul ca instrument de măsură, punctele de precizie rezultate în introducându-se înapoi în Workspace pentru redefinirea unor situații cunoscute în cadrul modelului.

### **Simularea comportamentului dinamic**

Pentru o secvență determinată de mișcări, Workspace oferă posibilitatea simulării dinamicii robotului. Ecuațiile ce descriu momentele și accelerațiile precum și interacțiunea lor în fiecare cuplă cinematică conducătoare sunt modelate prin integrare numerică. Întrucât se pot obține estimări precise doar pentru masă, matrici de inerție, centru de masă pentru fiecare cuplă cinematică conducătoare, simularea dinamică se utilizează doar pentru demonstrarea principiilor generale și obținerea unor informații calitative, nu și cantitative.

Domenii de aplicație:

- sudare cu arc electric
- sudare în puncte
- tăiere cu plasmă
- tăiere cu jet de apă
- manipulare
- vopsire
- paletizare/depaletizare
- asamblare componente electronice
- prelucrări mecanice
- debavurare, lustruire, șlefuire
- telemanipulare
- simularea și conducerea roboților subacvatici
- decontaminări nucleare
- cercetare aeronautică și spațială

## 7.5.2. Robot 3D

Sistemul de programare și simulare off-line Robot 3D a fost dezvoltat în 1991 pentru simularea robotului antropomorf cu 6 axe SA 6010 pentru operații de sudare cu arc electric.

Caracteristici:

- sistemul Robot 3D permite simularea și programarea off-line a roboților și a celulelor de fabricație robotizate utilizând calculatoare cu sistem de operare MS-DOS.
- Sistemul permite simulări complete, cu programare incrementală și absolută, sisteme de coordonate, subrutine, programare parametrică. Interpretorul de comenzi utilizează un limbaj asemănător cu BASIC lărgit cu comenzi pentru robot.
- Sistemul operează ca un robot virtual utilizând un panou de instruire. Robotul se poate conduce în coordonate universale, definite de utilizator, legate de cuplele cinematice conducătoare sau de efectorul final.

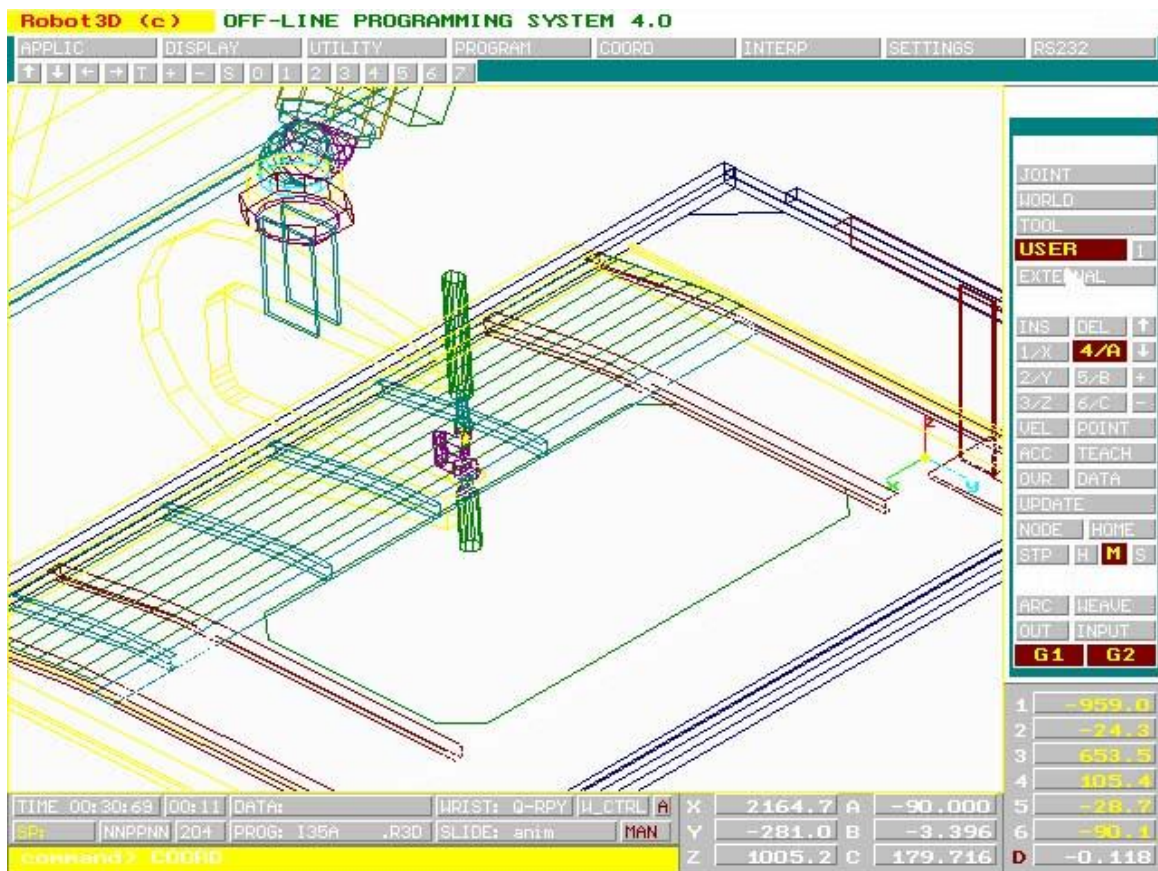


Fig. 7.5. Modelarea unui proces de sudare în puncte utilizând Robot 3D

## Modelarea și simularea

Sistemul realizează înregistrarea poziției fiecărei axe atunci când se crează situații. Această particularitate determină evitarea incertitudinilor legate de soluția pentru cinematica inversă. Cu ajutorul unui algoritm adecvat se poate realiza convertirea setului de situații în fișier program, postprocesarea acestui fișier și simularea imediată a programului. Sistemul Robot 3D permite deplasări punct cu punct, liniare și circulare în spațiu 3D. Prezintă suport pentru sisteme de coordonate, programare incrementală și absolută, funcții matematice, subrutine, simulare I/O, dispozitive de prehensiune, funcții pentru manipularea obiectelor în celula de fabricație etc.

Pachetul cuprinde un modul CAD și un modul de calibrare, editor de programe și un convector bidirecțional pentru formate dxf. Sunt incluse și postprocesoare pentru limbaje de programare uzuale.

### 7.5.3. ROPSIM

ROPSIM (**R**obot **O**ff-line **P**rograming and **S**IMulation system) este realizat în cadrul Universității Tehnice din Danemarca (DTU), de către Camelot Software [ROP 00], [4].

ROPSIM s-a conceput ca o componentă a unui sistem de fabricație integrat. ROPSIM funcționează pe baza conceptului de sistem deschis prezentat în figura 7.6.

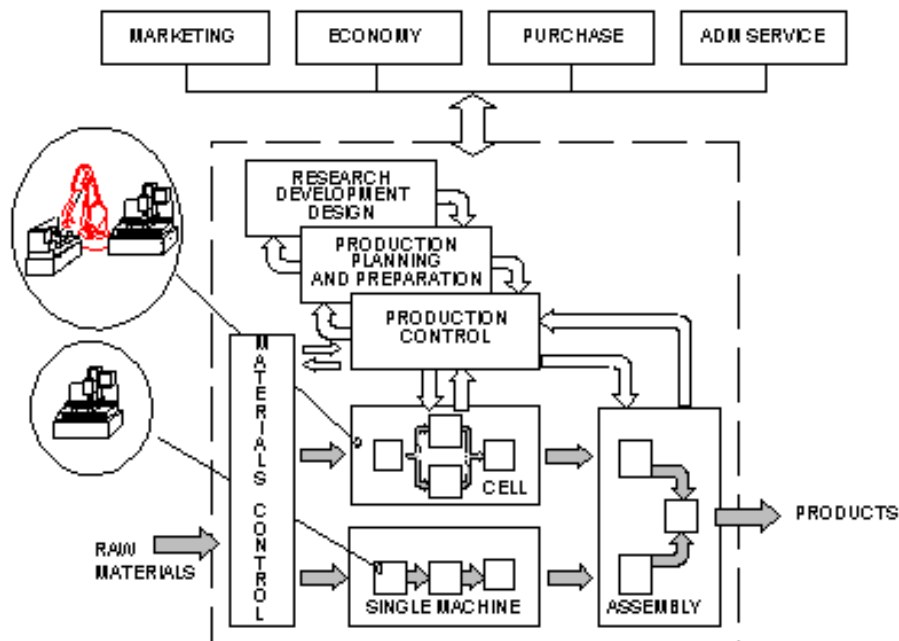


Fig. 7.6. Conceptul de sistem deschis

Conceptul descrie trei nivele, de la proiectare CAD, planificare CAM, producție (roboți). Aceste trei nivele au o serie de componente (unelte sau mașini) care au fiecare importanța lor. Informațiile se schimbă între componentele sistemului cu ajutorul CIME ( Computer Integreted Manufacturing and Engineering) .

### **Modelarea**

ROPSIM realizează modelarea 3D cu ajutorul CSG( Constructive Solid Geometry) și manipuloare geometrice 3D. Se pot face importuri din modele CAD existente. Partea de modelare ROPSIM prezintă facilități pentru:

- geometrie solidă constructivă (CSG)
- importuri de date CAD ( IGES,STEP, STL, etc.)
- modelarea geometrică și cinematică,
- modelarea echipamentului programabil al mașinilor, dispozitivelor, sculelor.

### **Programarea**

Programele se pot construi în două moduri diferite: grafic interactiv și textual. Programarea interactivă se utilizează pentru programarea mișcărilor, iar logicile de program se realizează sub formă de text.

ROPSIM oferă o serie de facilități pentru optimizarea programării :

- programare grafică interactivă
- planificarea traiectoriei
- reutilizarea datelor CAD,existente
- verificarea traiectoriilor
- programarea textuală
- IRL( International Robot Language)
- limbaje specifice furnizorilor
- facilități de corectare
- help on-line integrat

### Modele de roboți

ROPSIM utilizează un model geometric de roboți ,care la rândul său este alcătuit din trei părți componente ale modelului : un program, un model de controller și un model de manipulator.

Modelul de manipulator constă dintr-un model solid 3D, un model cinematic și un model dinamic.

Programul specifică sarcina care trebuie îndeplinită.

Programarea off-line se bazează pe modele ale celulei de fabricație. Acestea sunt modele ale robotului, obiectului de prelucrat și ale periferiei.

### Simularea

Simularea se vizualizează în mod grafic 3D. Se poate realiza monitorizarea simultană a robotului din mai multe puncte de vedere. Modelele pot fi optimizate, iar după obținerea unei calități corespunzătoare, programele se transmit la sistemul de fabricație.

ROPSIM oferă simulări dinamice foarte exacte.Un model bine calibrat se poate apropia de o corespondență de 100% cu celula de fabricție reală.

### Interfața cu robotul

ROPSIM conține interfețe pentru mai multe tipuri de controllere uzuale. Interfața poate consta dintr-un fișier text pe o dischetă, o conexiune de rețea, sau o comunicare prin portul serial al calculatorului.

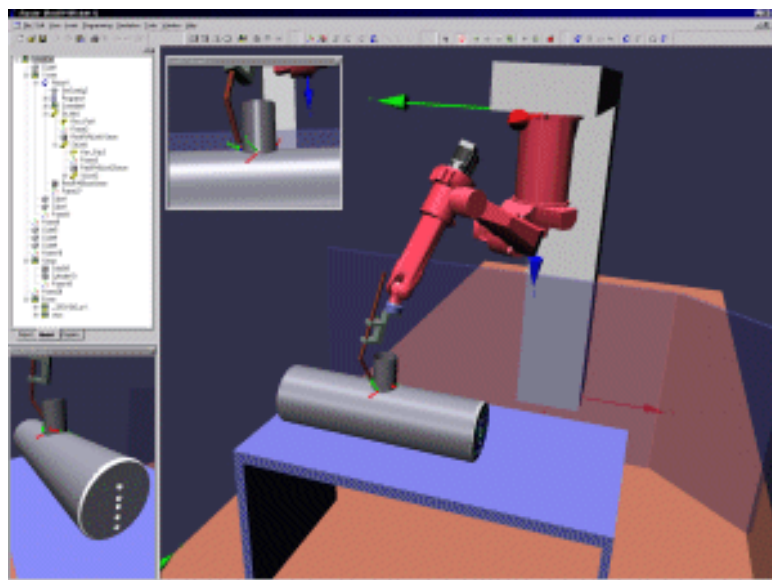


Fig. 7.7. Simularea unui proces de sudare MIG.

#### **7.5.4. Robot studio**

Robot studio este un produs al firmei ABB Automation Technologies, cu care am realizat un model complex al întregului sistem de fabricație robotizat [1], [13].

##### **Modelarea**

ABB Robot Studio realizează modelarea 3D cu ajutorul CSG și manipuloare geometrice 3D. Se pot face importuri din modele CAD existente:

- importuri de date CAD ( IGES, STEP, SAT, VDAFS.)
- modelarea geometrică și cinematică (MOD, PRG),
- modelarea echipamentului programabil al mașinilor, dispozitivelor, sculelor.

##### **Programarea**

Programele se construiesc în două moduri diferite: grafic interactiv și textual. Programarea interactivă se utilizează pentru programarea mișcărilor, iar logicile de program se realizează sub formă de text.

Robot Studio oferă o serie de facilități pentru optimizarea programării :

- programare grafică interactivă
- planificarea traiectoriei
- reutilizarea datelor CAD, existente
- verificarea traiectoriilor
- IRL( International Robot Language)
- limbaje specifice furnizorilor
- facilități de corectare

##### **Simularea**

Simularea se vizualizează în mod grafic 3D. Se poate realiza monitorizarea robotului din mai multe puncte de vedere, cu ajutorul camerelor video, care se pot amplasa în diferite poziții. Modelele pot fi optimizate, iar după obținerea unei calități corespunzătoare, programele se transmit la sistemul de fabricație.

Ca aplicație am realizat modelarea și simularea unui proces de prelucrare prin șlefuire a unei piese din alamă obținute prin turnare sub presiune.

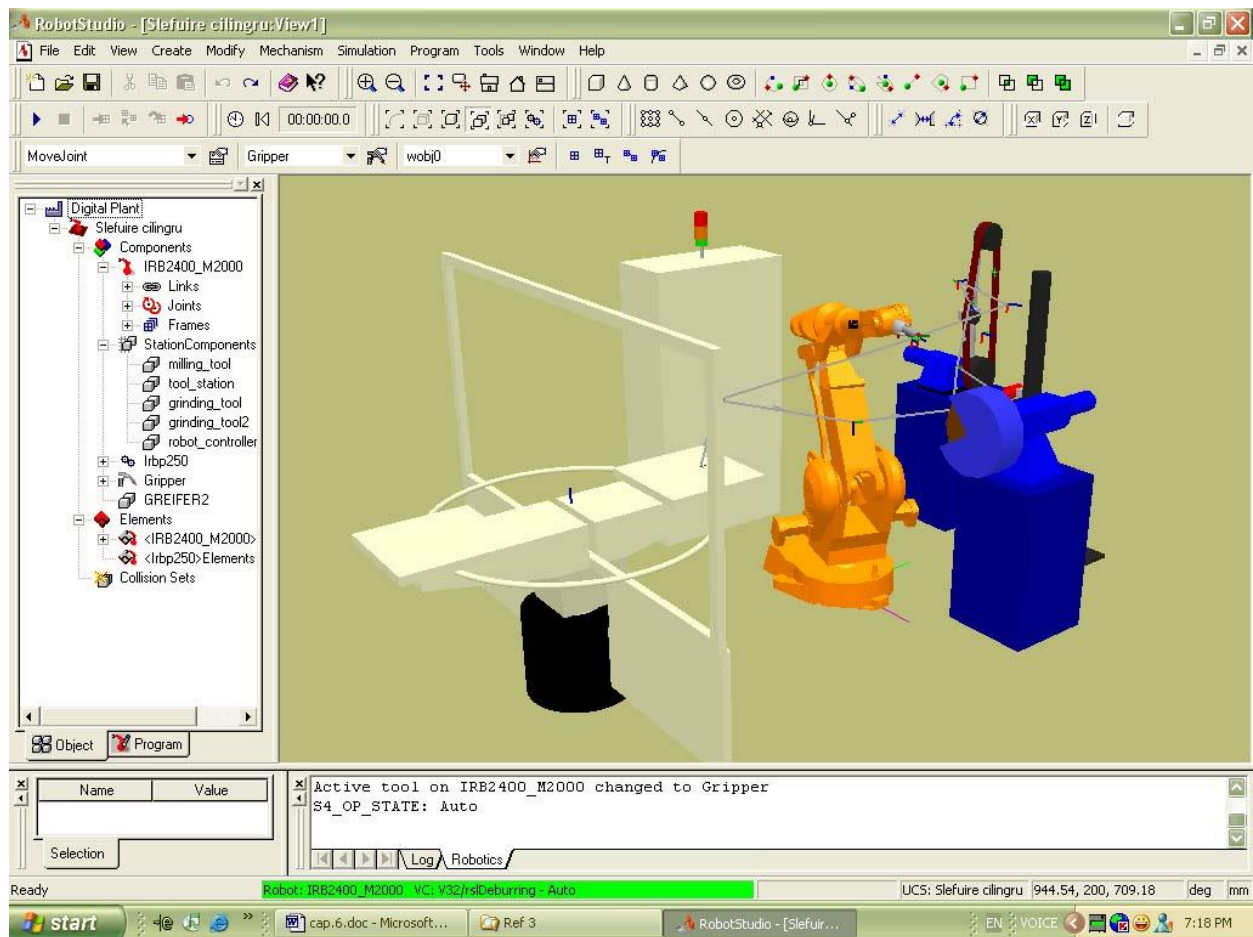


Fig. 7.8. Celula de șlefuire, realizată cu Robot Studio 3.12, cu un robot IRB 2400

Programul generat de Robot studio 3.12. pentru celula de șlefuire, care cuprinde operațiile debavurare, frezare și șlefuire este următorul :

%%%

*VERSION:1*

*LANGUAGE:ENGLISH*

%%%

*MODULE Slefuire maner*

*CONST robtarget p110:=[[471.277,-  
389.874,1129.65],[0.360016,0.31296,0.869278,-0.129615],[-  
1,0,0,0],[0,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];*  
*VAR bool flag1:=FALSE;*

```

CONST robtarget HomePos:=[[0.00010086,749.153,1542.08],[0.494873,-
0.505075,0.505075,0.494873],[0,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+0
09]];
PERS wobjdata World:=[FALSE,TRUE,"",[[0,0,0],[1,0,0,0]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
PERS tooldata Gripper:=[TRUE,[[
0.000154338,0,180],[1,0,0.000244141,0]],[0.1,[0.1,0,0],[1,0,0,0],0,0,0]];
CONST robtarget p10:=[[512.831,546.109,1542.08],[0.642296,-
0.283675,0.655538,0.277946],[
1,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget p20:=[[696.545,-
275.781,1542.08],[0.687459,0.133847,0.701632,-0.13114],[
2,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget pTableUp:=[[0.000490014,-
802.904,1195.81],[0.00367024,0.707097,0.707097,-0.00367024],[
2,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget pTableFix:=[[[-10.5999,-
897.18,886.2],[0.00367024,0.707097,0.707097,-
0.00367024],[0,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget p30:=[[471.277,-
389.874,1129.65],[0.360017,0.31296,0.869278,-0.129613],[
2,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget p100:=[[471.277,-
389.874,1129.65],[0.360016,0.31296,0.869278,-0.129615],[
1,0,0,0],[179.9,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget pPolish:=[[619.49,91.5724,1131.7],[0.374924,-
0.0449524,0.924272,0.0559692],[
1,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget
p40:=[[145.401,619.406,1138.85],[0.00367024,0.707097,0.707097,-0.00367024],[
1,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
CONST robtarget
pMilling:=[[161.91,957.5,922.98],[0.00367024,0.707097,0.707097,-
0.00367024],[0,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];

```



```
CONST robtarget pGrinding:=[[-122.921,981.895,1378.36],[0.20913,-0.675474,-  
0.675474,-0.20913],[0,0,0,0],[9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009,9E+009]];
```

```
PROC main()  
  WHILE TRUE DO  
    Path2;  
  ENDWHILE  
ENDPROC
```

```
PROC Path2()  
  ConfJ\On;  
  ConfL\Off;  
  MoveJ HomePos,v300,fine,Gripper\WObj:=World;  
  MoveL p10,v300,z20,Gripper\WObj:=World;  
  MoveL p20,v300,z30,Gripper\WObj:=World;  
  MoveL pTableUp,v300,z10,Gripper\WObj:=World;  
  MoveL pTableFix,v300,fine,Gripper\WObj:=World;  
  WaitTime 1;  
  MoveL pTableUp,v300,z10,Gripper\WObj:=World;  
  MoveL p30,v300,z20,Gripper\WObj:=World;  
  IF flag1=TRUE THEN  
    ActUnit ExtUnit;  
    MoveL p110,v300,z20,Gripper\WObj:=World;  
    flag1:=FALSE;  
    DeactUnit ExtUnit;  
  ELSE  
    ActUnit ExtUnit;  
    MoveL p100,v300,z20,Gripper\WObj:=World;  
    flag1:=TRUE;  
    DeactUnit ExtUnit;  
  ENDIF  
  MoveL p100,v300,z20,Gripper\WObj:=World;  
  MoveL pPolish,v300,z1,Gripper\WObj:=World;  
  WaitTime 2;
```

```
MoveL p40,v300,z20,Gripper\WObj:=World;  
MoveL pMilling,v300,fine,Gripper\WObj:=World;  
WaitTime 2;  
MoveL p40,v300,z20,Gripper\WObj:=World;  
MoveL pGrinding,v300,fine,Gripper\WObj:=World;  
WaitTime 2;  
MoveJ HomePos,v300,fine,Gripper\WObj:=World;  
ENDPROC  
ENDMODULE
```

Simularea funcționării celulei de șlefuire s-a captat într-un fișier AVI, cu ajutorul programului CAMTASIA Recorder V. 1.00.

O altă aplicație pe care am realizat-o a constat în modificarea programului de comandă a unui robot Kawasaki, componentă a unei celule de prelucrare prin șlefuire a mânerelor de uși, din cadrul S.C. Binalia S.A. Aceasta s-a concretizat prin găsirea unui program care putea fi adaptat, cu modificări cât mai mici, noului tip de mâner. Acest program de comandă se regăsește în anexa A1.

O fotografie a celulei robotizate este prezentată în figura 7.9.



Fig. 7.9. Celula robotizată pentru operația de șlefuire

Spațiul de lucru al robotului industrial FS10L este prezentat în figura 7.10.

Aplicația a fost prezentată în paragraful 2.2. unde se poate observa atât layou-ul cât și ciclograma sistemului.

## FS10L

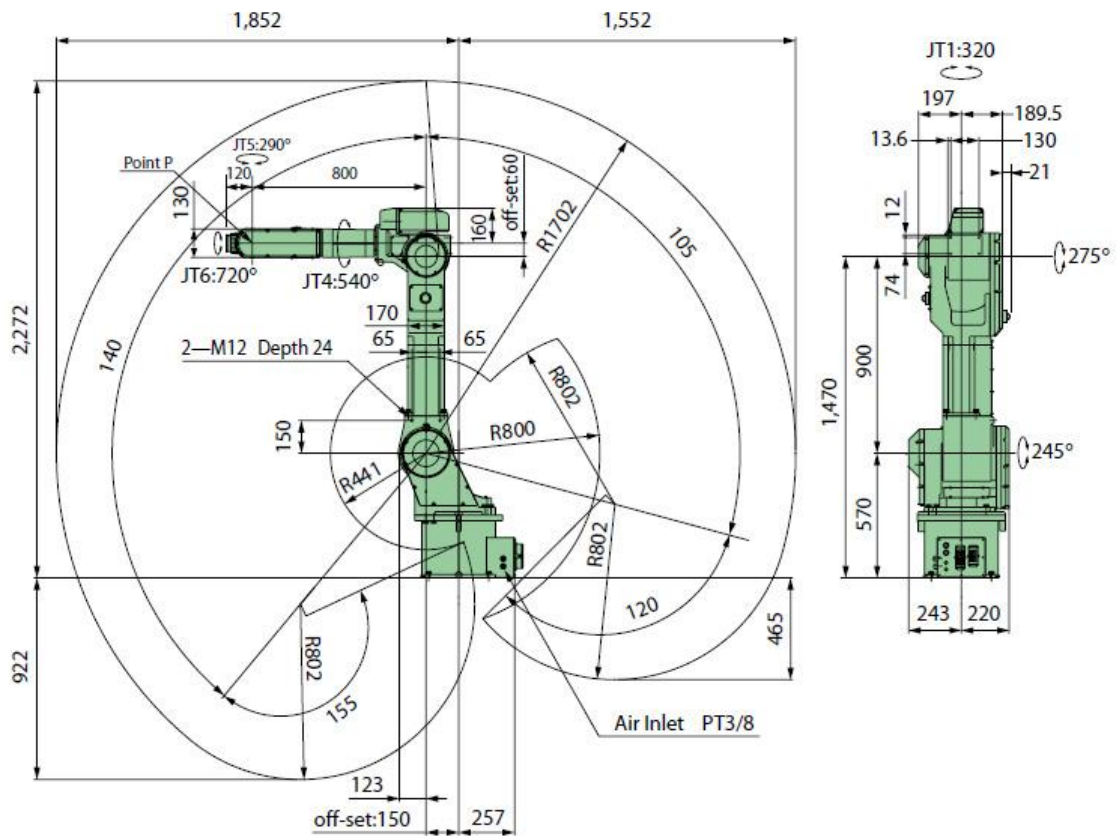


Fig. 7.10. Spațiul de lucru al robotului Kawasaki FS10L

# Capitolul 8

## Cercetări experimentale și rezultate pentru procesul de șlefuire

### 8.1. Modelul experimental pentru șlefuirea unei piese cilindrice

#### 8.1.1. Prezentarea schemei de conducerea mișcării obiectului de prelucrat în timpul procesului tehnologic de șlefuire

În vederea realizării experimentale a șlefuirii unei suprafețe cilindrice se folosește standul experimental prezentat în figura 8.1 [KOM 09] [28], [22].

Schema pneumatică a standului experimental, realizată cu programul Fluid Draw 4.0. dezvoltat de firma FESTO [FES 09], [21], [25], [26], este prezentată în figura 8.2. :

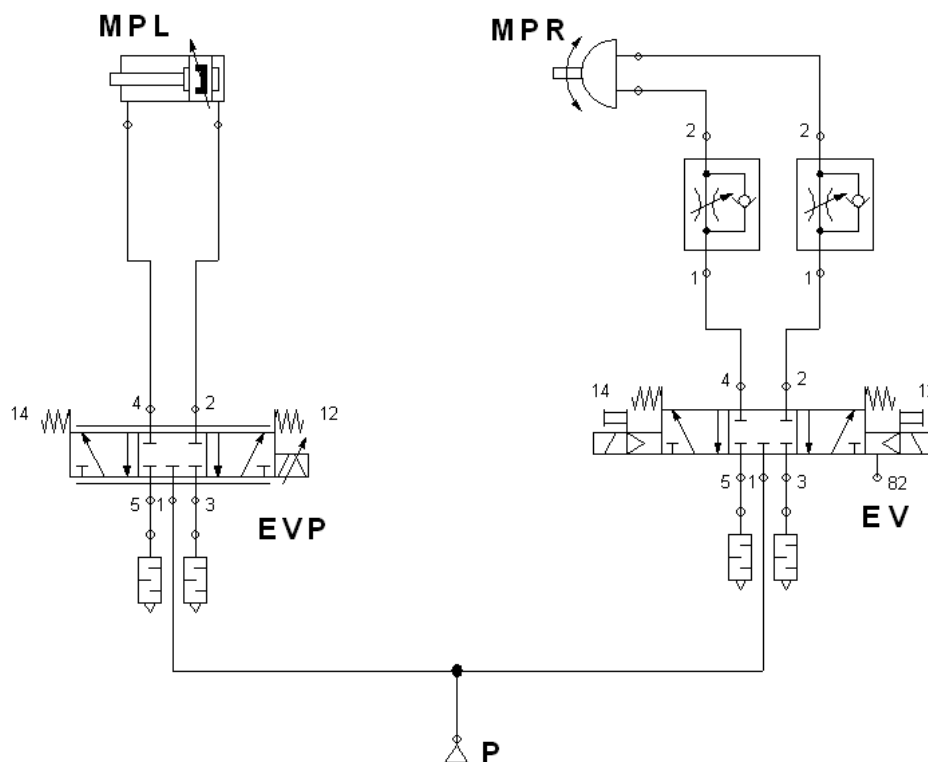


Fig. 8.2. Schema pneumatică a standului experimental

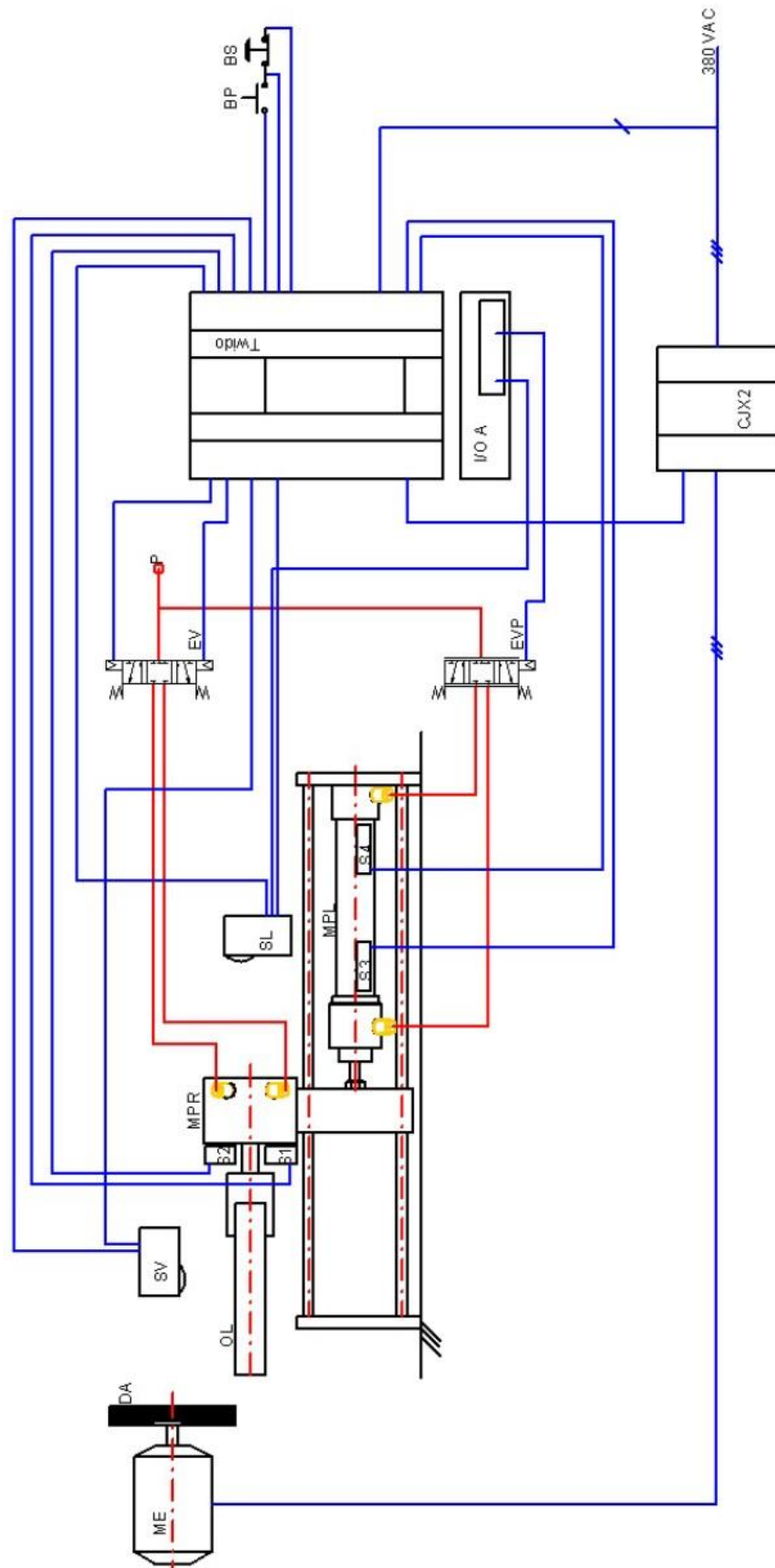


Fig. 8.1. Standul experimental în vederea șlefuirii unui obiect de prelucrat de formă cilindrică

Schema de conducere a mișcării obiectului de prelucrat în timpul procesului tehnologic de șlefuire se compune din motorul pneumatic liniar (MPL) cu dublă acțiune. Elementul de comandă al motorului pneumatic liniar (MPL) este o electrovalvă proporțională cu acționare electromagnetică comandată de modulul de ieșire - intrare analogică (IOA), care este comandată de către automatul programabil (PLC). Automatul programabil comandă sensul de deplasare a motorului pneumatic liniar în funcție de semnalele primite de la senzorii capăt de cursă (S3) și (S4). În timpul procesului tehnologic de șlefuire, obiectului de prelucrat trebuie să i se imprime pe lângă mișcarea rectilinie și o mișcare de rotație în jurul axei proprii. Mișcarea de rotație se realizează cu ajutorul unui motor pneumatic de rotație (MPR) comandat de către electrovalva pneumatică cu acționare electromagnetică 5/3, cu poziție centrală închisă, comandată și ea, la rândul ei, de către automatul programabil (PLC) pe baza semnalelor emise de senzorii (S1) și (S2).

Întregul proces de șlefuire este supervizat de către senzorul video (SV), al cărui rol este de a prelua informații cu privire la aspectul (rugozitatea) suprafeței de prelucrat.

### **8.1.2. Subsistemul de control al suprafeței obiectului de prelucrat**

După fiecare operație de șlefuire se face analiza suprafeței prelucrate, cu ajutorul unui senzor video, care analizează imaginile captate de pe suprafața obiectului de prelucrat, prin compararea cu imagini etalon, care au fost introduse în faza de programare a celulei de șlefuire.

Senzorul folosit (SV) este de tipul BS40M0W20, realizat de către firma Wenglor, având următoarele caracteristici :

- Domeniul de măsurare : > 20 mm,
- Rezoluție : 640 x 480 pixeli,
- Tipul imaginii : monocromă,
- Sursa de lumină : albă,
- Durata de funcționare : 100000 ore,
- Frecvența de captare de imagini : 100 Hz,
- Tensiune de alimentare : 18 ... 30 VDC

- Curent consumat : < 200 mA,
- Timp de răspuns : > 10 ms,
- Numărul ieșirilor digitale : 4,
- Numărul intrărilor digitale : 2,
- Interfața de programare : USB 2.0,
- Mod de focalizare a imaginii : automat.

Schema bloc a senzorului vision este prezentată în figura 8.3. :

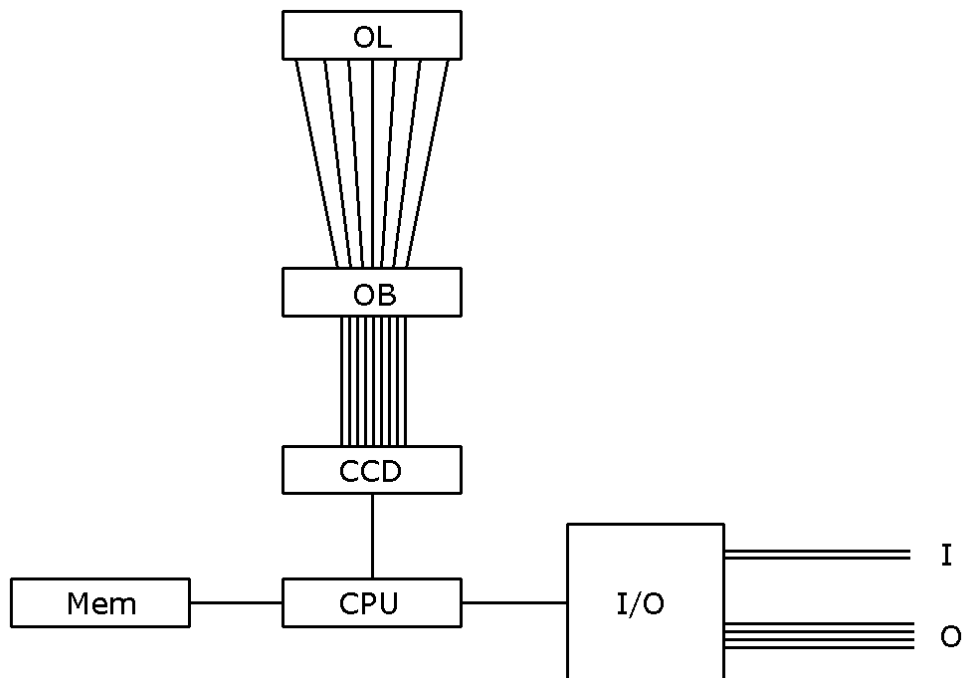


Fig. 8.3. Schema structurală bloc a senzorului vision

Imaginea obiectului de prelucrat (OL) este proiectată pe senzorul de imagine de tip Coupled Charged Device (CCD) prin intermediul unui obiectiv macro (OB), care realizează focalizarea senzorului pe distanțe mici, pentru a avea o precizie mai bună de citire a stării suprafeței. Senzorul are în dotare un sistem de iluminare circulară cu LED-uri. Imaginea captată de CCD este transmisă către un procesor de imagine (CPU), care compară imaginea prelevată de pe obiectul de prelucrat, cu imaginile etalon stocate în memoria internă a senzorului, prin compararea histogramelor celor două imagini. Rezultatul este trimis către blocul de intrare/ieșire (I/O).

Senzorul Vision funcționează după următorul algoritmul prezentat în fig. 8.4.

Imaginea citită de către CCD este prelucrată, pentru a putea fi comparată cu imaginea etalon. În cazul în care diferența dintre cele două imagini este mai mică decât o valoare prescrisă, atunci se activează o ieșire a senzorului; în cazul în care diferențele

sunt mai mari, se trece la compararea cu alte imagini etalon, pentru a vedea dacă rugozitatea este mai mică sau mai mare și se vor activa ieșirile programate corespunzătoare pentru fiecare caz în parte.

Imaginile etalon au fost prelevate de pe piese de același tip cu obiectul de prelucrat, respectând poziția de citire. Aceste imagini etalon au fost scoase din senzor și s-au făcut unele retușuri pentru a elimina eventualele defecte de suprafață, după care au fost copiate în memoria internă a senzorului, prin portul USB2.0, de la un PC.

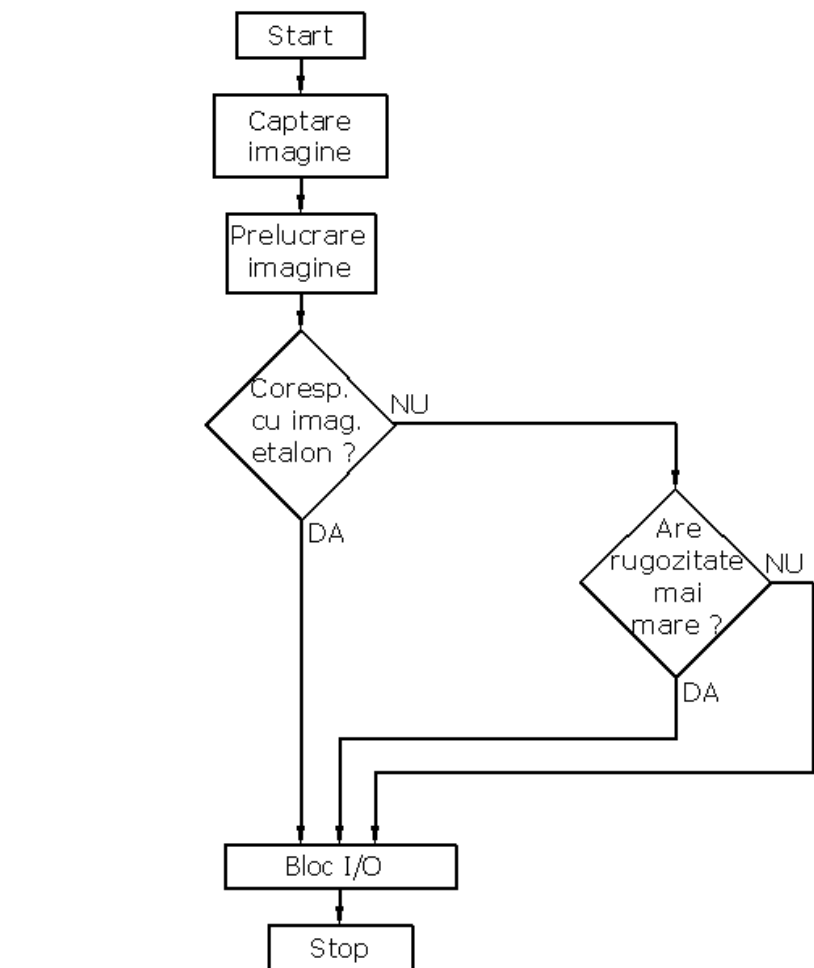


Fig. 8.4. Algoritmul operațional al senzorului Vision

Informațiile furnizate de senzor sunt culese de pe cele 4 ieșiri digitale ale senzorului și trimis la modulul de intrare digitală a automatului programabil, care comandă creșterea sau micșorarea vitezei de avans a motorului pneumatic liniar, în funcție de rugozitatea obținută.

Activarea momentului în care să se realizeze captarea unei imagini de pe obiectul de prelucrat este dată de către o ieșire digitală a automatului programabil.



### 8.1.3. Subsistemul de măsurare a deplasării relative a elementelor CCC de translație

Pentru măsurarea deplasării pe axa orizontală s-a utilizat un subsistem de măsurare realizat cu ajutorul unui senzor analogic de timp de tranziție (SL) tip OY1TA603P0003, realizat de către firma Wenglor, având următoarele caracteristici :

- domeniul de măsurare : 0,2 ... 6,2m,
- linearitate : 0,2%,
- sursa de lumina : Laser (roșu),
- Durata de utilizare : 100000 ore,
- Deviația fascicolului : < 2 mrad,
- Tensiune de alimentare : 18 ... 30 VDC,
- Intensitatea curentului consumat : < 100 mA,
- Frecvența maximă de măsurare : 1/100 s,
- Timp de răspuns : 10 .... 200ms,
- Numărul ieșirilor digitale : 2,
- Numărul ieșirilor analogice : 1,
- Domeniu ieșire analogică : 0 ... 10 V sau 4 ... 20 mA,
- Rezoluție de măsurare : 0,1 ... 12 mm .

Schema bloc a senzorului analogic cu fascicul LASER este prezentată în figura 8.5.

Fasciculul emis de către emițătorul (E) este reflectat de către obiectul de prelucrat (OL) după un anumit timp și este captat de către receptorul (R), cele două blocuri sunt conectate la un bloc de măsurare a timpului, care emite un semnal la procesorul (CPU), care la rândul său trimite un semnal digital către un convertor digital – analogic (DAC). Semnalul analogic furnizat de DAC este amplificat de către blocul de intrări / ieșiri (I/O). Senzorul se setează astfel : se declară distanța minimă de măsurat și distanța maximă de măsurat. Senzorul atribuie valoarea minimă a ieșirii ( 0 V ) pentru distanța minimă, iar valoare maximă a ieșirii ( 10 V ) pentru distanța maximă declarată,

restul distanței fiind împărțit în intervale egale, tensiunea de ieșire fiind în funcție de distanța de măsurat.

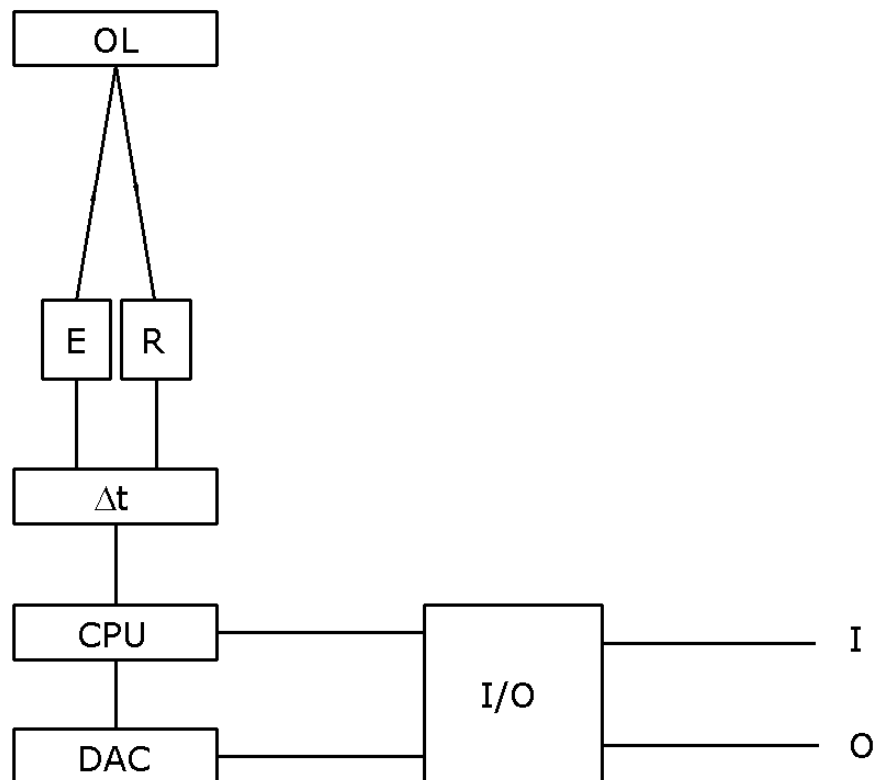


Fig. 8.5. Schema structurală bloc a senzorului Laser

Acest semnal analogic se introduce în automatul programabil prin intermediul modulului de intrare – ieșire analogică, care face conversia analog – digital.

#### 8.1.4. Subsistemul de comandă a celulei de șlefuire

Subsistemul de comandă este alcătuit din automatul programabil seria TWIDO , cod : TWDLCAA24DRF, realizat de către firma TELEMECANIQUE [SCH 09], [23], membră a grupului Schneider Electric, având următoarele caracteristici principale :

- Numărul intrărilor discrete : 14
- Numărul ieșirilor discrete : 10,
- Tipul ieșirilor : cu relee 2 A,
- Numărul maxim de extensii I/O : 4

- Frecvența de lucru : 3 x 5 KHz ( 16 biți ) sau 1 x 20 KHz ( 32 biți ),
- Port de comunicare cu PC : RS 232C,
- Protocol : Modbus Master/Slave, ASCII
- Dimensiuni : 95 x 70 x 90
- Tensiunea de alimentare : 100 ... 240 VAC

S-a mai folosit un modul de intrare / ieșire analogică tipul TWDAMM3HT, realizat de firma Telemecanique, având următoarele caracteristici principale :

- Numărul de intrări analogice : 2,
- Numărul de ieșiri analogice : 1,
- Domeniul de intrare : 0 ... 10 V, sau 4 ... 20 mA,
- Rezoluția de intrare : 12 biți ( 4096 puncte),
- Domeniul de ieșire : 0 ... 10 V, sau 4 ... 20 mA,
- Rezoluția de ieșire : 12 biți ( 4096 puncte),
- Precizia măsurată :  $\pm 0,2$  %
- Tensiunea de alimentare : 24 VDC.

Modulul analogic de intrare / ieșire are rolul de a efectua conversiile Analog-Digital în cazul intrărilor și Digital-Analogic în cazul ieșirilor.

Ieșirea analogică a modului este cuplată la o electrovalvă proporțională, de tipul MPYE-5-1/8LF-010-B, produsă de firma FESTO, având următoarele caracteristici :

- Funcție : 5 / 3 căi, poziție centrală închisă,
- Construcție : piston acționat direct, cu poziție controlată,
- Acționare : electrică,
- Revenirea pistonului : cu arc,
- Diametrul pistonului : 4 mm,
- Debitul maxim de aer : 350 l / min,
- Racordare pneumatică : G 1 / 8,
- Tensiunea bobinei pentru poziția de mijloc : 5 VDC
- Presiunea de lucru : 0 ... 10 bar,

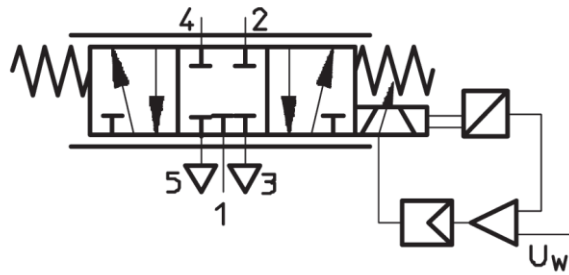


Fig. 8.6. Reprezentarea schematică a electrovalvei proporționale

În figura 8.6. este prezentată în mod schematic electrovalva proporțională utilizată în cadrul machetei. Prin conexiunea 1 se alimentează electrovalva cu aer comprimat, motorul pneumatic liniar fiind conectat la ieșirile 2 și 4 ai electrovalvei. Tensiunea de comandă se aplică la intrarea amplificatorului diferențial, care are rolul de a controla poziția sertărașului electrovalvei, poziție care este dependentă de tensiunea de alimentare a electrovalvei și care dă naștere unui debit de aer, conform figurii 8.7.

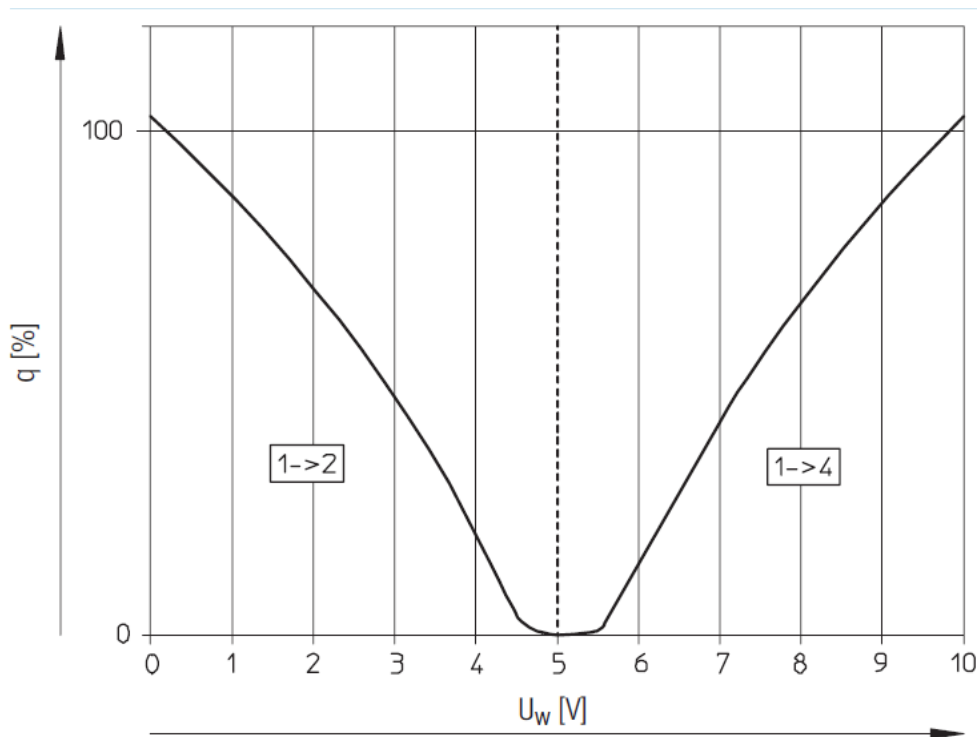


Fig. 8.7. Variația debitului în funcție de tensiunea de comandă a electrovalvei

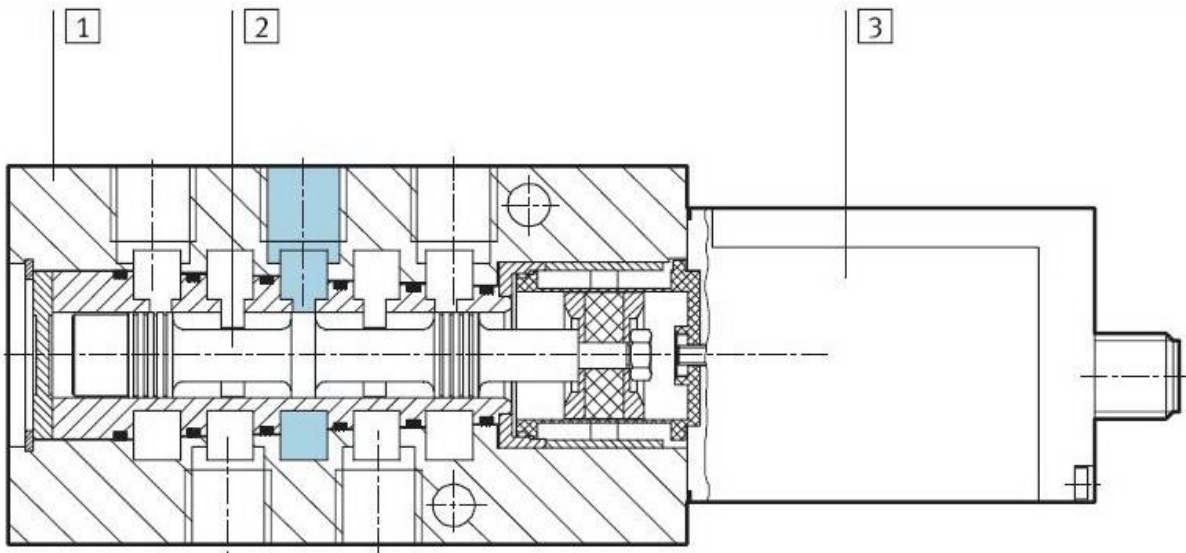


Fig. 8.8. Secțiune longitudinală prin electrovalvă proporțională

În figura 8.8. se prezintă o secțiune prin electrovalvă proporțională, unde se poate observa că la o alimentare a bobinei (3) cu o tensiune de 5V pistonul distribuitorului (2) este situat în poziția mediană ( cea desenată în figură ), dacă tensiunea este mai mică, asupra pistonului este exercitată o forță de atracție mai mică, prin urmare se comandă o ieșire al electrovalvei, debitul fiind proporțional cu tensiunea de alimentare a bobinei. În cazul în care bobina este alimentată cu o tensiune mai mare de 5V, pistonul este atras cu o forță mai mare, rezultând o deschidere a distribuitorului în celălalt sens[DEA 89], [FES 09].

### Algoritme pentru corectarea traiectoriei

Este evident că datorită lucrului în buclă închisă de poziție se pune problema de a efectua reglajul de poziție conform legilor specifice reglării automate prin comparația poziției prescrise ( $w$ ) cu cea reală (reacția  $r$ ); problema se încadrează în teoria generală a sistemelor de reglare automată numerice (SRAN) [SLA06], [DRA 86], [DRA 93], [31].

Conform teoriei SRAN trebuie determinate două elemente specifice reglajului numeric:

– **legea de reglare** în urma studiului teoretic dar și a încercărilor experimentale – s-a optat pentru o lege neliniară de tipul tripozițional, așa cum se vede din figura 8.9.

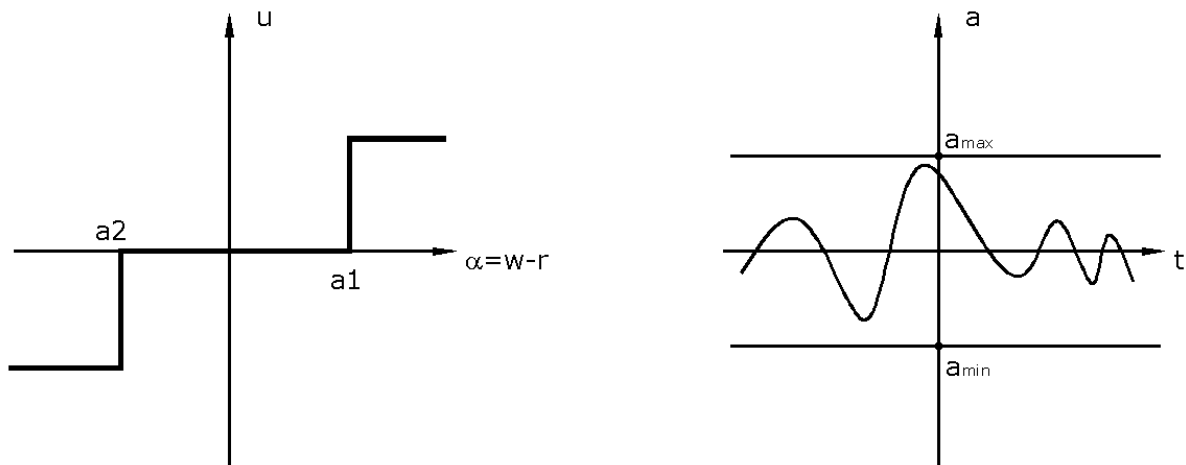


Fig. 8.9. Lege de reglare neliniară

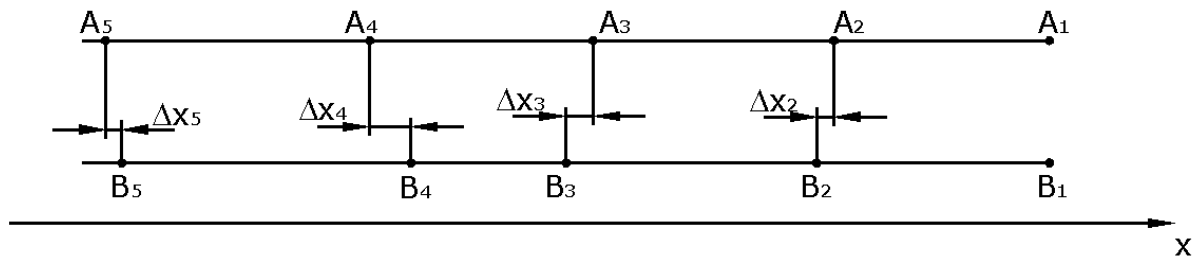


Fig. 8.10. Traiectoria efectivă și cea nominală

Această lege asigură o variație a abaterii între două limite  $a_{min}$  și  $a_{max}$  impuse din considerente de precizie a stării suprafeței. Concretizând acestea, se prezintă în figura 8.10. traiectoria nominală marcată prin punctele A1, A2, ... A5 și cea efectivă marcată prin punctele B1, B2, ... B5; perechile de puncte  $A_k, B_k$  corespund câte unei eșantionări respectiv câte unei citiri a senzorului Laser; în fiecare situație se calculează diferența :

$$\Delta x = A_k - B_k \quad (8.1.)$$

În cazul în care această diferență este mai mare decât cea admisă se efectuează corecția traiectoriei prin întreruperea algoritmului de interpolare și executarea unei corecții; în figura 8.10. se pot observa două situații:

a) în cazul pozițiilor A2, A3, A5,  $\Delta x$  nu depășește valoarea admisă, deci există o eroare de traiectorie, dar acesta se încadrează în limitele stabilite și nu se va efectua nici o corecție;

b) în cazul poziției A4,  $\Delta x$  depășește valoarea admisă și în consecință se va corecta viteza de avans.

–  **timpul de eșantionare**  – este o caracteristică foarte importantă a sistemelor de reglare numerice. Se impune realizarea unui compromis productivitate -precizie de prelucrare, un timp de eșantionare prea mic generând o precizie ridicată, dar scăzând productivitatea datorită prezenței prea multor segmente de corecție.

În continuare se trece la prezentarea schemei structurale bloc a întregului sistem, figura 8.11.

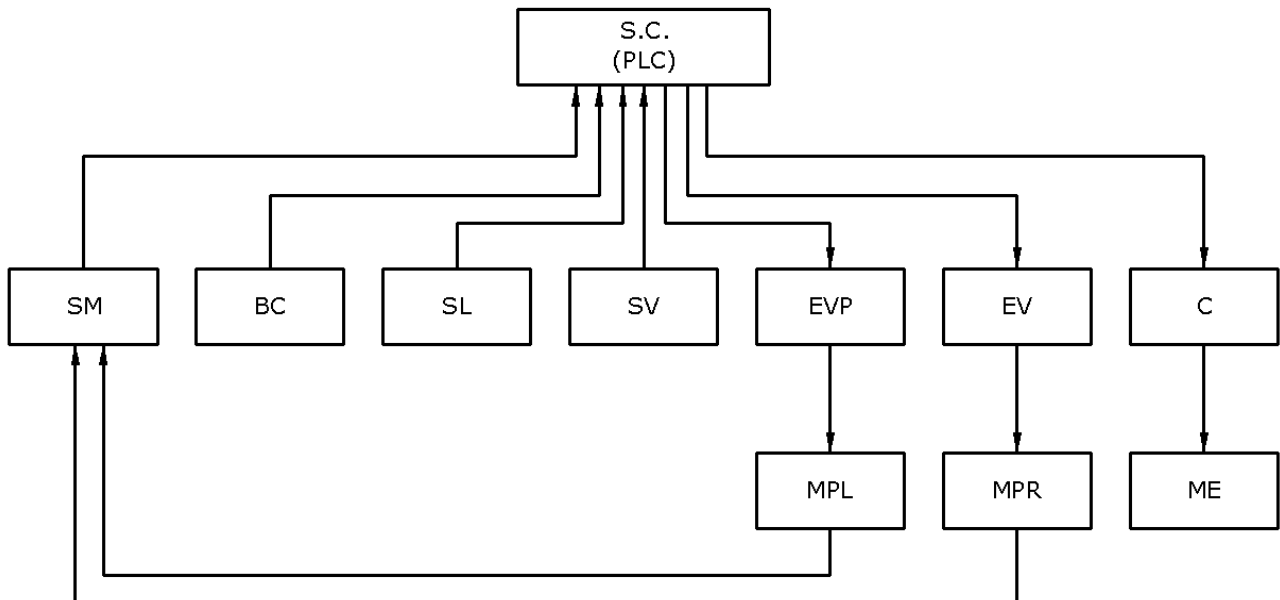


Fig. 8.11. Schema structurală bloc a întregului sistem

Subsistemul de comandă (SC) are ca intrări blocul de senzori magnetici (SM) care furnizează informații despre pozițiile în care se află cei doi cilindri pneumatici, blocul de comandă a standului (BC) format din butoanele de oprire și pornire, senzorul Vision (SV) și senzorul Laser (SL). Ieșirile sistemului de comandă acționează asupra electrovalvei proporționale (EVP), electrovalvei distabile (EV) și asupra contactorului (C), care are rolul de a porni motorul de antrenare a discului abraziv[2], [11], [WEN 09], [DOB 01].

Algoritmul după care funcționează standul pentru operații de șlefuire este prezentat în figura 8.12.

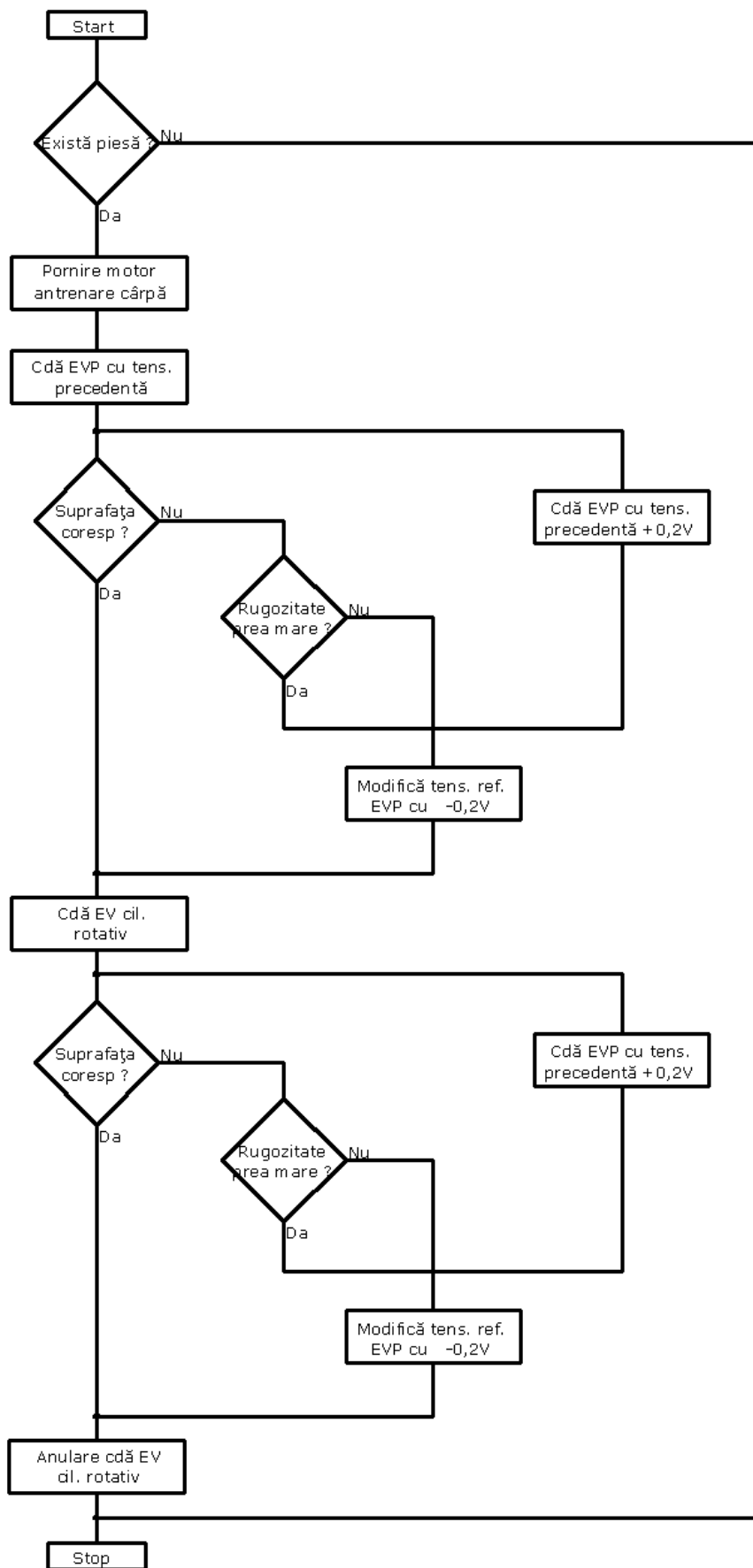


Fig. 8.12. Algoritmul operațional al standului



Prezentul algoritm este o concepție originală a autorului tezei.

Cu ajutorul imaginii se poate verifica existența obiectului de prelucrat în momentul în care pornim procesul de șlefuire, în caz contrar, dacă lipsește obiectul de prelucrat, se va opri procesul de șlefuire. În cazul în care senzorul Vision detectează obiectul de prelucrat se va porni motorul de antrenare a discului abraziv, iar după un interval de timp se dă comandă electrovalvei proporționale cu valoarea tensiunii de comandă memorată în ciclul precedent. După o cursă completă de șlefuire se va trece la analiza suprafeței obiectului de prelucrat, în cazul în care starea suprafeței este corespunzătoare se trece la comanda electrovalvei cilindrului rotativ pentru a continua operația de șlefuit pe o altă porțiune a obiectului de prelucrat. În cazul în care suprafața obiectului de prelucrat nu este corespunzătoare se pot distinge două cazuri, una când suprafața OL are o rugozitate mai mică, în acest caz se va mări viteza de avans a OL prin comanda electrovalvei proporționale cu o tensiune mai mică cu 0.2V; în cazul în care rugozitatea OL este mai mare se trece la o micșorare a vitezei de avans prin comanda electrovalvei cu o tensiune mai mare cu 0.2V și se reia această fază a operației de prelucrare. La final se comandă revenirea electrovalvei de acționare al cilindrului rotativ.

Programul de comandă a PLC a fost realizat cu ajutorul aplicației Twidosoft 3.5. [24], [MOD 08], [TEL 09], [TRA 09], [13], în mod grafic, acesta fiind prezentat în fig. 8.13.

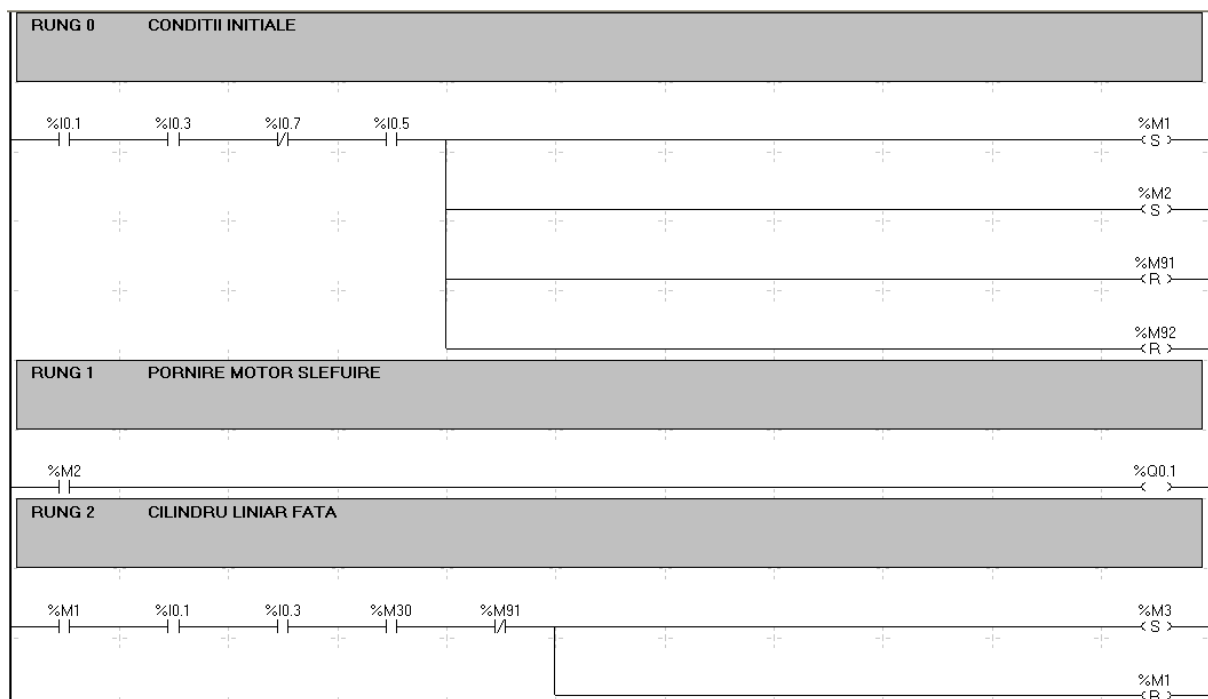


Fig. 8.13. Programul de comandă a PLC. - secțiunea 1

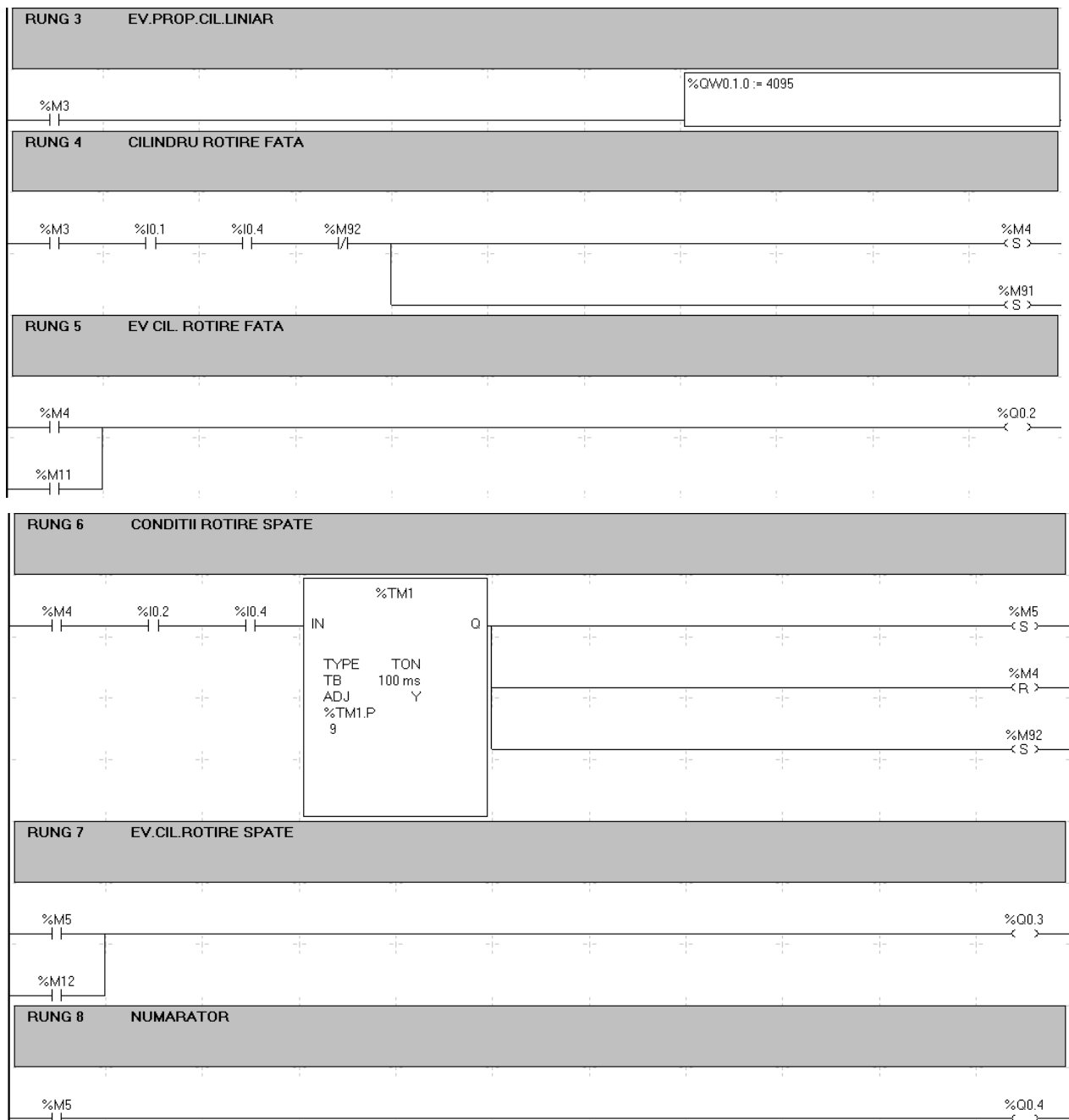


Fig. 8.13. Programul de comandă a PLC. - secțiunea 2

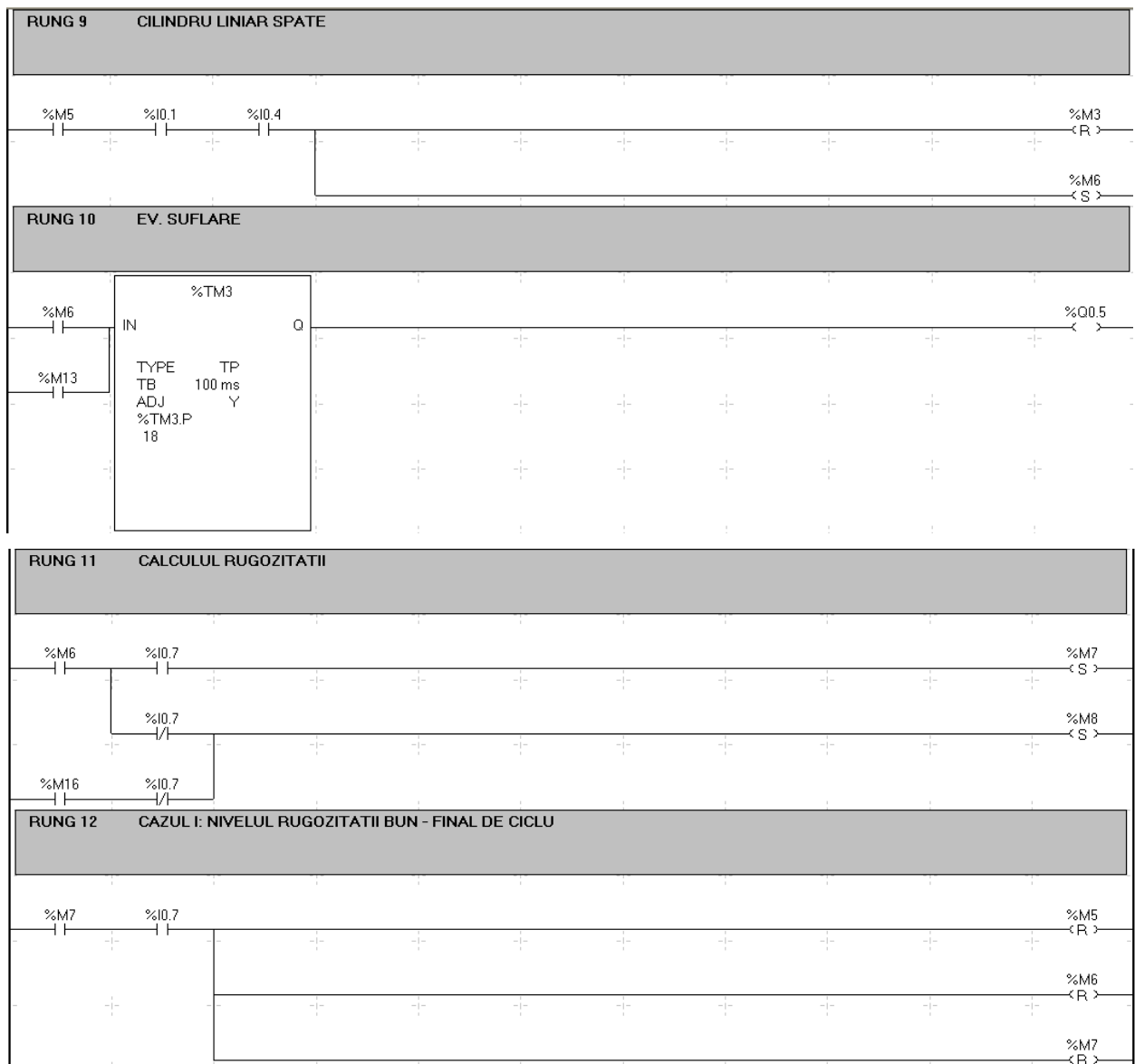


Fig. 8.13. Programul de comandă a PLC. - secțiunea 3

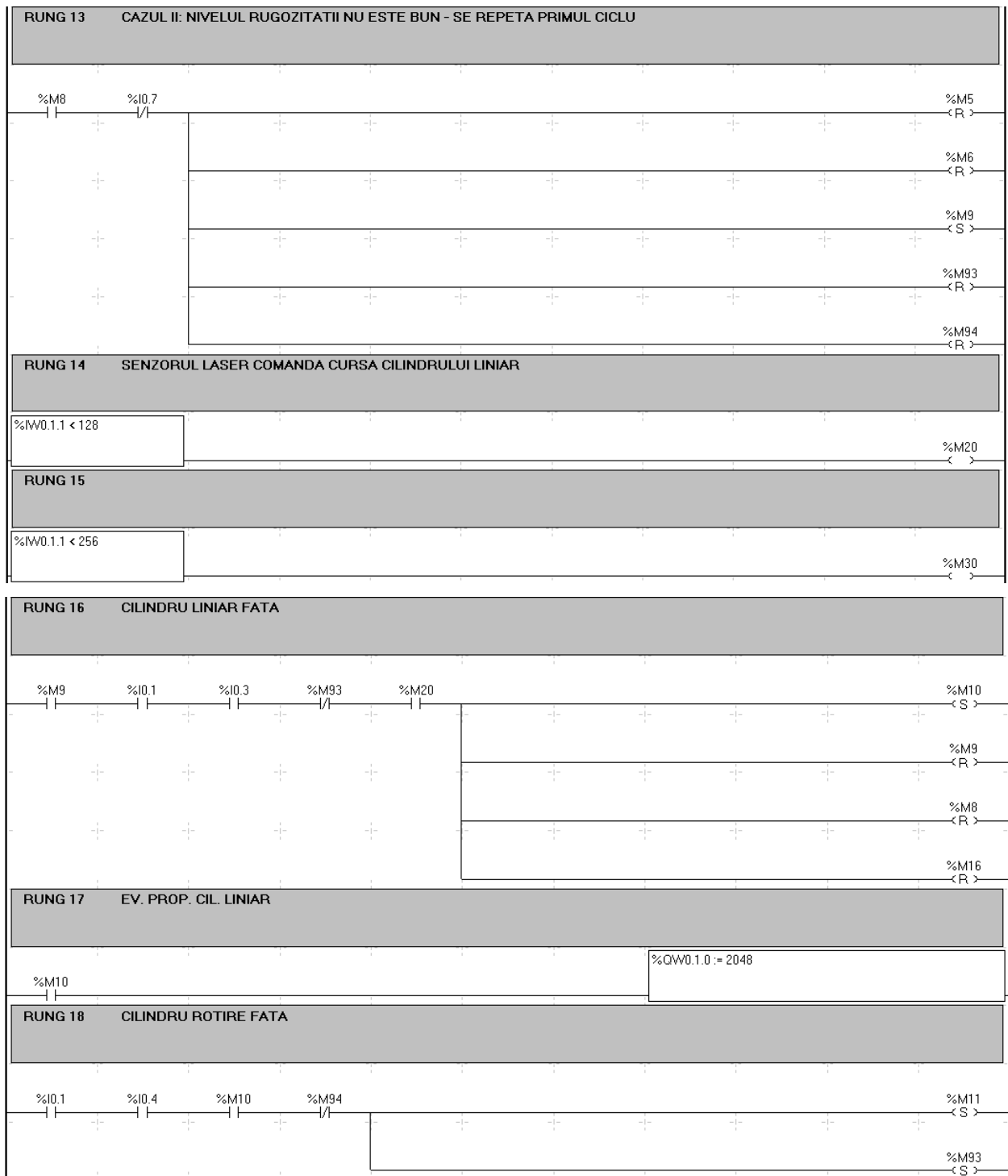


Fig. 8.13. Programul de comandă a PLC. - secțiunea 4

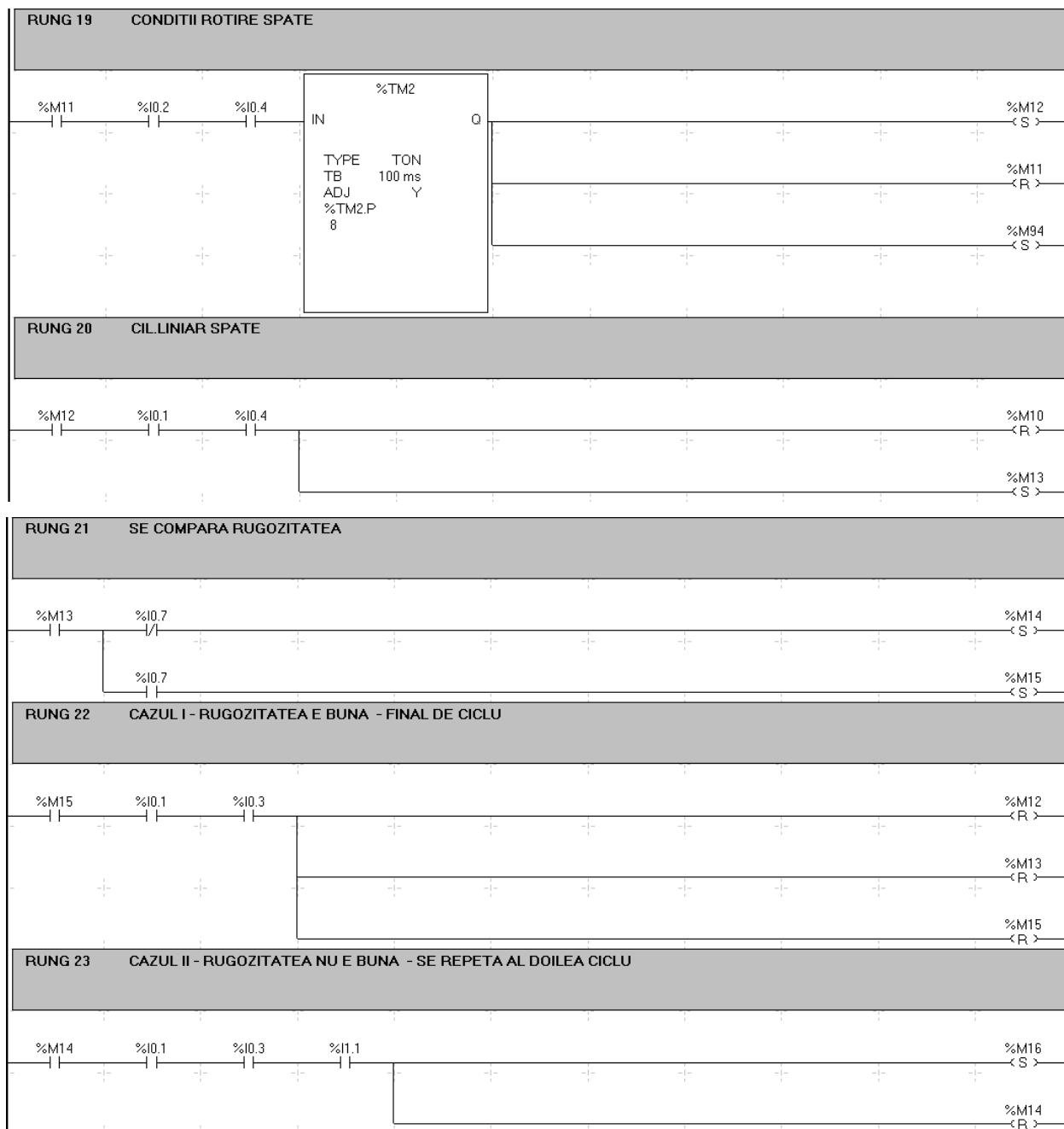


Fig. 8.13. Programul de comandă a PLC. - secțiunea 5



Fig. 8.13. Programul de comandă a PLC. - secțiunea 6

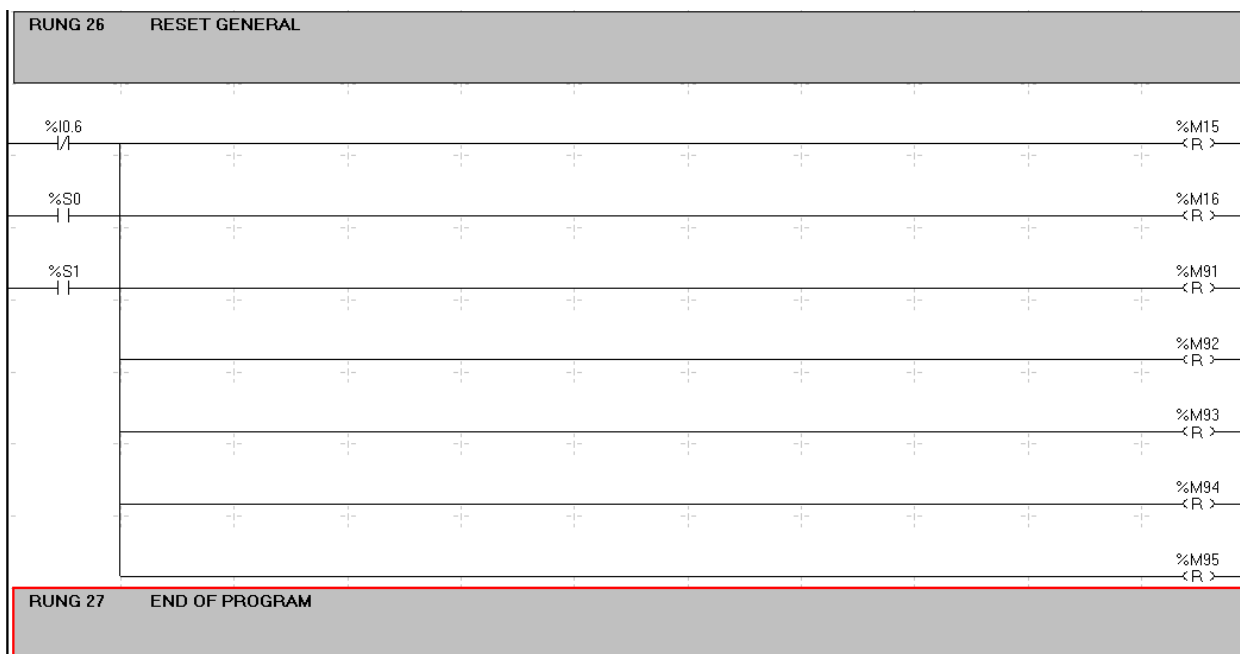


Fig. 8.13. Programul de comandă a PLC. - secțiunea 7

În anexa 3 este prezentat programul de control a PLC Twido în modul LIST, cum este transmis automatului programabil.

Intrările și ieșirile automatului programabil sunt prezentate în tabelul 8.1.

Proiectul machetei a fost realizat în Solid Works 2009, fiind prezentat în figura 8.14, [SOL 09], [20].

Masa (1) susține principalele componente ale standului experimental, motorul (5) [43] antrenează în mișcare de rotație cârpa (4), care va șlefui piesa (3), căreia i se imprimă viteza de avans de șlefuire, de către motorul liniar pneumatic (8), a cărei deplasare este supravegheată de către senzorul laser (9), comanda motorului pneumatic liniar este asigurată de către electrovalva proporțională (13). Pieseii i se mai dă o mișcare incrementală de rotație asigurată de motorul pneumatic rotativ (7), comandată de către electrovalva (12). Senzorul VISION (6) efectuează câte o fotografie la sfârșitul fiecărei curse, care se compară cu imaginile referință, realizate pe piese etalon. Cu ajutorul șurubului (10) se realizează limitarea cursei motorului pneumatic liniar (8). În tabloul electric (11) se află componentele electronice care realizează comanda întregului sistem de prelucrare. Cu ajutorul cutiei cu butoane (2) se realizează pornirea și oprirea machetei.

Tab. 8.1. Intrările și ieșirile automatului programabil

Nr. Crt.	Adresa	Funcția
<b>Intrări</b>		
1	I01	Senzor cilindru rotativ - sens trigonometric
2	I02	Senzor cilindru rotativ - sens orar
3	I03	Senzor cilindru liniar - poziția spate
4	I04	Senzor cilindru liniar - poziția față
5	I05	Buton pornit
6	I06	Buton stop
7	I07	Senzor comparare imagine (Vision)
8	I1.1	Senzor analogic Laser
<b>Ieșiri</b>		
9	O0.1	Contactator motor șlefuire
10	O0.2	Electrovalvă rotire cilindru - sens orar
11	O0.3	Electrovalvă rotire cilindru - sens trigonometric
12	O0.4	Electrovalvă suflătoare
13	I1.0	Electrovalvă proporțională

În figura 8.15. se poate observa modul de amplasare a senzorilor. Senzorul VISION este amplasat la 60mm de la marginea piesei , pentru a nu capta o imagine eronată în care să apară și capătul obiectului de prelucrat, dar nici să nu fie la mijlocul piesei, unde se realizează o șlefuire dublă a piesei. Senzorul LASER analogic, folosit pentru măsurarea deplasării obiectului de prelucrat este amplasat pe placa posterioară de susținere a motorului pneumatic liniar, fiind la 200 mm distanța minimă de măsurare, iar distanța maximă de măsurare fiind de 300 mm, rezumtă un domeniu de măsurare de 100mm, pe acest interval se împarte în 1024 de puncte de măsurare, deoarece senzorul are o rezoluție de 10 biți, de unde rezultă o precizie de 0.1mm



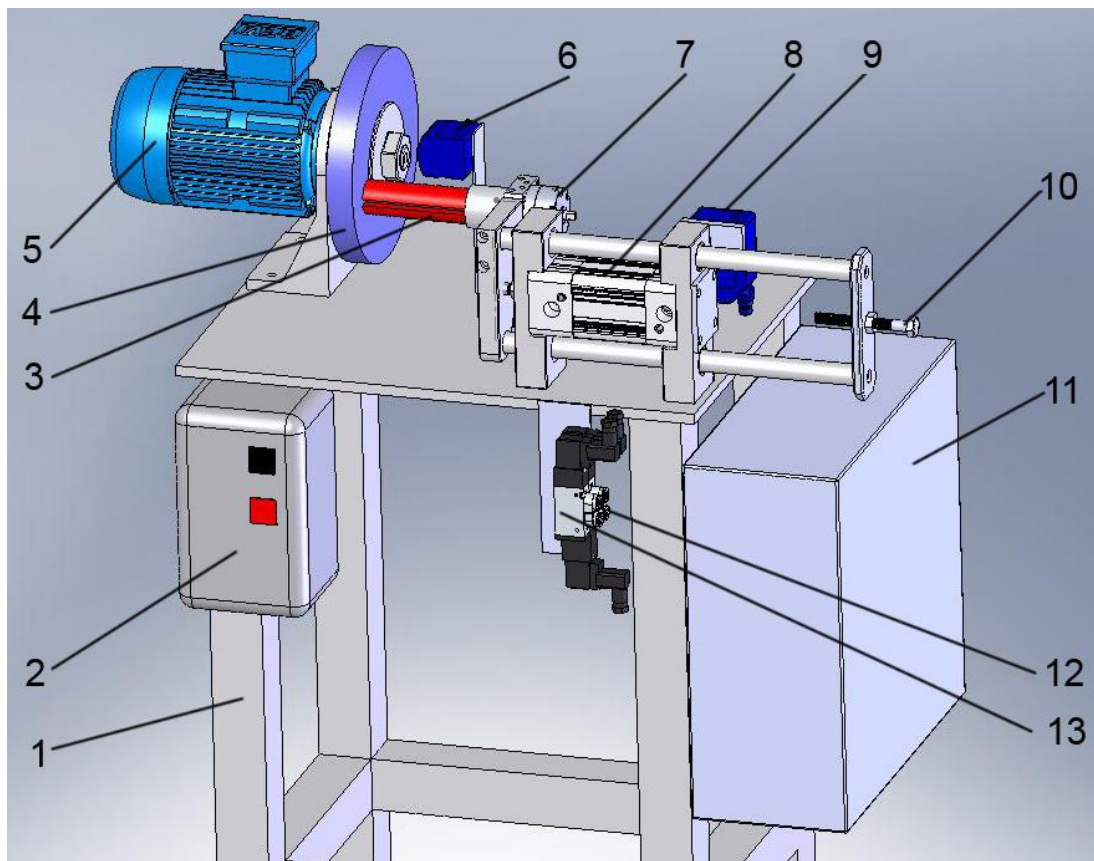


Fig. 8.14. Modelul 3D al standului experimental

Vederea de sus a machetei este prezentată în figura 8.15.

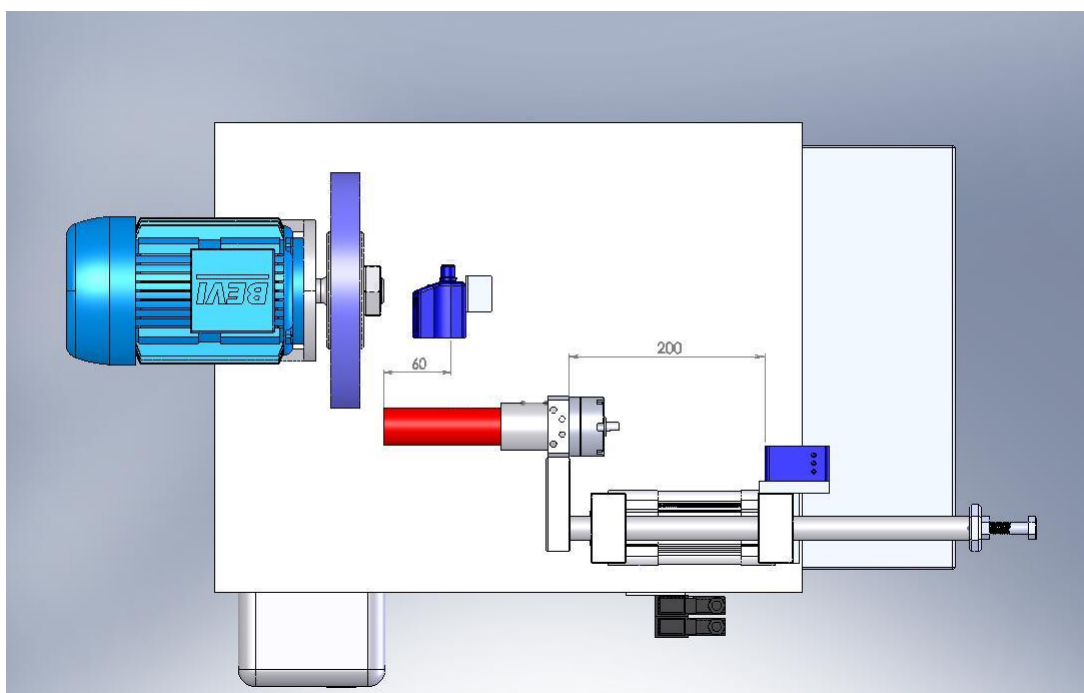


Fig.8.15. Vederea de sus al machetei

În continuare se prezintă o fotografie a standului experimental :

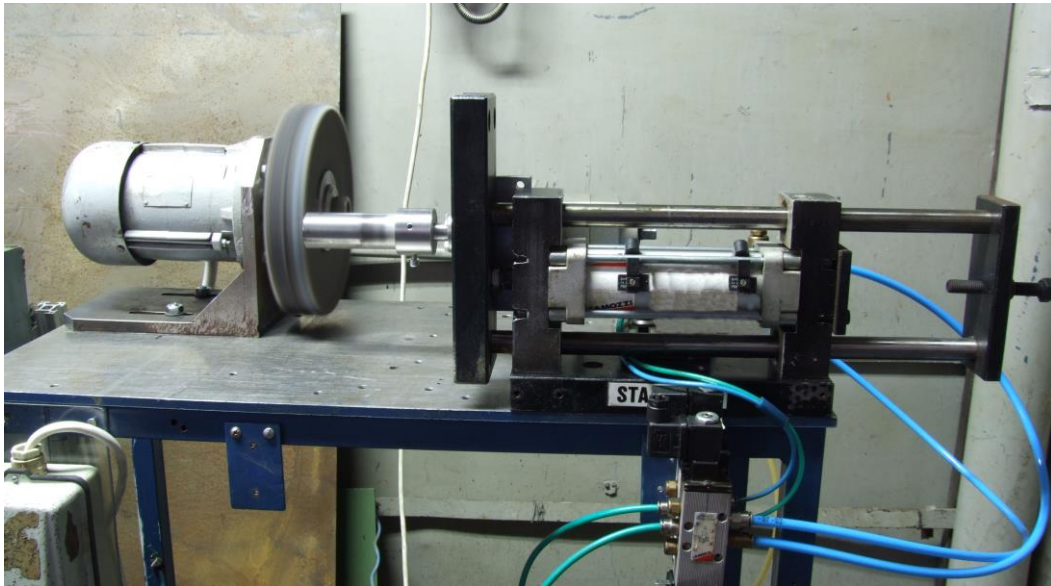


Fig. 8.16. Stand experimental pentru operații de șlefuire obiecte cilindrice



Fig. 8.17. Obiectul de prelucrat după operația de șlefuire

## 8.2. Analiza și optimizarea regimurilor de prelucrat pe baza rezultatelor experimentale

S-au realizat fotografiile ale obiectelor de prelucrat pe acest stand, fiind comparate cu imaginea etalon a obiectului de prelucrat, care s-a realizat în mod manual, pe o mașină de șlefuit convențională. Acestea sunt prezentate în figurile de mai jos :

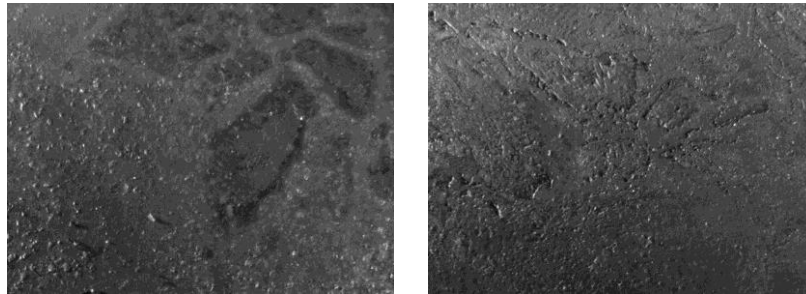


Fig. 8.18. Piese brute, înainte de operația de șlefuire/lustruire

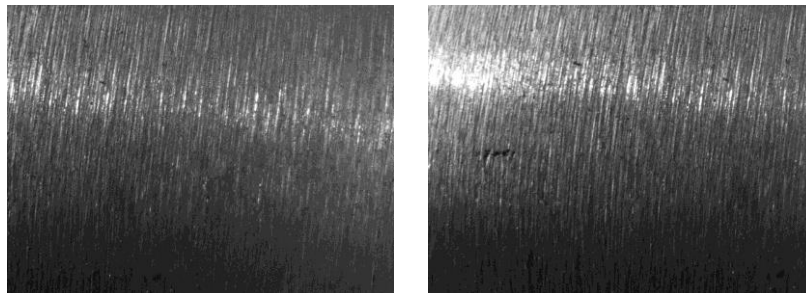


Fig. 8.19. Obiecte de prelucrat după operația de șlefuire cu bandă abrazivă cu granulația de 120

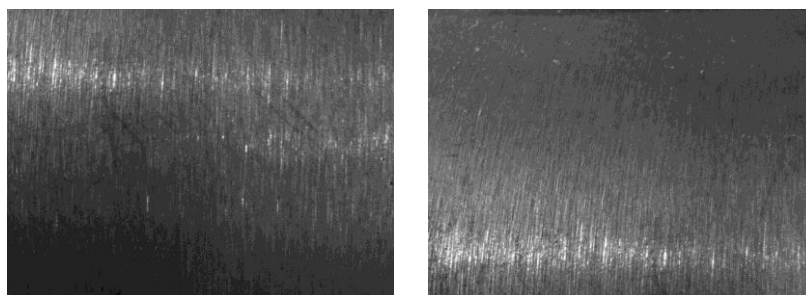


Fig. 8.20. Obiectul de prelucrat după operația de șlefuire cu bandă abrazivă cu granulația de 320

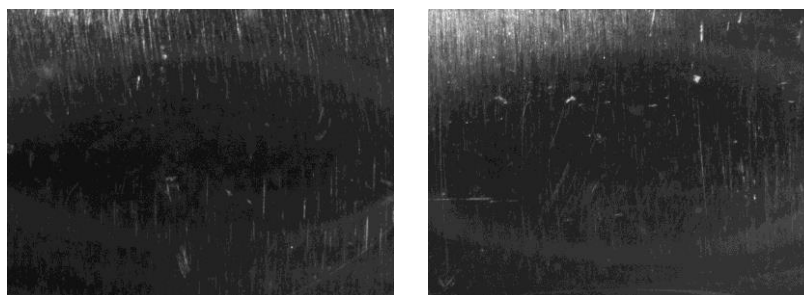


Fig. 8.21. Obiectul de prelucrat după operația de lustruire

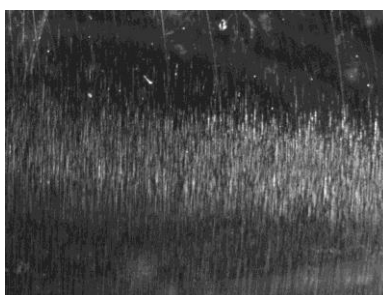


Fig. 8.22. Obiectul de prelucrat lustruit necorespunzător

Materialele utilizate :

- **Obiectul de prelucrat** : ZnAl4Cu1T – Zamac cu următoarea compoziție chimică:

Tabelul 8.2. Compoziția chimică a zamacului

Tipul aliajului	Elemente de aliere [%]				Impurități [%]				
	Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Cd	Sn	Total
ZnAl4Cu1T	3.5-4.3	0.75-1.25	0.03-0.06	Restul	0.05	0.005	0.003	0.001	0.15

Conform STAS 6925/2-70 sau SR EN ISO 301-81, [29].

- **Discul suport pentru pasta de lustruit** : în proporție de 60% - bumbac și 40% - material sintetic [45],
- **Pasta abrazivă** : - LEA Compoun A120 – o pastă universală pentru lustruit [44],  
- PP2VPMS – o pastă de lustruit pentru aluminiu și aliaje de aluminiu [46].

Timpii măsurați cu ocazia șlefuirii pieselor s-au trecut în tabelele următoare, centralizate separat pentru fiecare viteză de rotație a discului suport.

Tab. 8.3. Valori ale duratei de prelucrare pentru  $n = 500$  rot/min

Rezultatele măsurătorilor experimentale ale timpilor de șlefuire			
Viteza de rotație	Viteza de avans	Starea abrazivului	Durata de prelucrare
[m/s]	[mm/min]	[-]	[s]
5	1500	uscat	20
		LEA Compound A120	7
		PP2VPMS	6
	3000	uscat	24
		LEA Compound A120	8
		PP2VPMS	7
	4500	uscat	28
		LEA Compound A120	10
		PP2VPMS	9
	6000	uscat	33
		LEA Compound A120	12
		PP2VPMS	11
7500	uscat	41	
	LEA Compound A120	13	
	PP2VPMS	12	

Tab. 8.4. Valori ale duratei de prelucrare pentru  $n = 1000$  rot/min

Rezultatele măsurătorilor experimentale ale timpilor de șlefuire			
Viteza de rotație	Viteza de avans	Starea abrazivului	Durata de prelucrare
[m/s]	[mm/min]	[-]	[s]
10	1500	uscat	15
		LEA Compound A120	8
		PP2VPMS	7
	3000	uscat	16
		LEA Compound A120	8
		PP2VPMS	6
	4500	uscat	18
		LEA Compound A120	9
		PP2VPMS	8
	6000	uscat	21
		LEA Compound A120	10
		PP2VPMS	9
7500	uscat	25	
	LEA Compound A120	12	
	PP2VPMS	12	

Tab. 8.5. Valori ale duratei de prelucrare pentru  $n = 1500$  rot/min

Rezultatele măsurătorilor experimentale ale timpilor de șlefuire			
Viteza de rotație	Viteza de avans	Starea abrazivului	Durata de prelucrare
[m/s]	[mm/min]	[-]	[s]
15	1500	uscat	13
		LEA Compound A120	8
		PP2VPMS	7
	3000	uscat	14
		LEA Compound A120	7
		PP2VPMS	6
	4500	uscat	15
		LEA Compound A120	7
		PP2VPMS	6
	6000	uscat	18
		LEA Compound A120	9
		PP2VPMS	8
	7500	uscat	25
		LEA Compound A120	12
		PP2VPMS	12

Aceste valori sunt obținute prin măsurarea timpului total al prelucrării, din momentul în care se apasă butonul de pornire, până la momentul final al prelucrării, care reprezintă acceptul dat de către senzorul vision cu privire la starea corespunzătoare a suprafeței de prelucrat.

În continuare se trece la prezentarea grafică a rezultatelor obținute.

În următoarele trei grafice se prezintă variația timpului de prelucrare în funcție de viteza de avans a piesei, la cele trei turații ale arborelui motorului electric de antrenare.

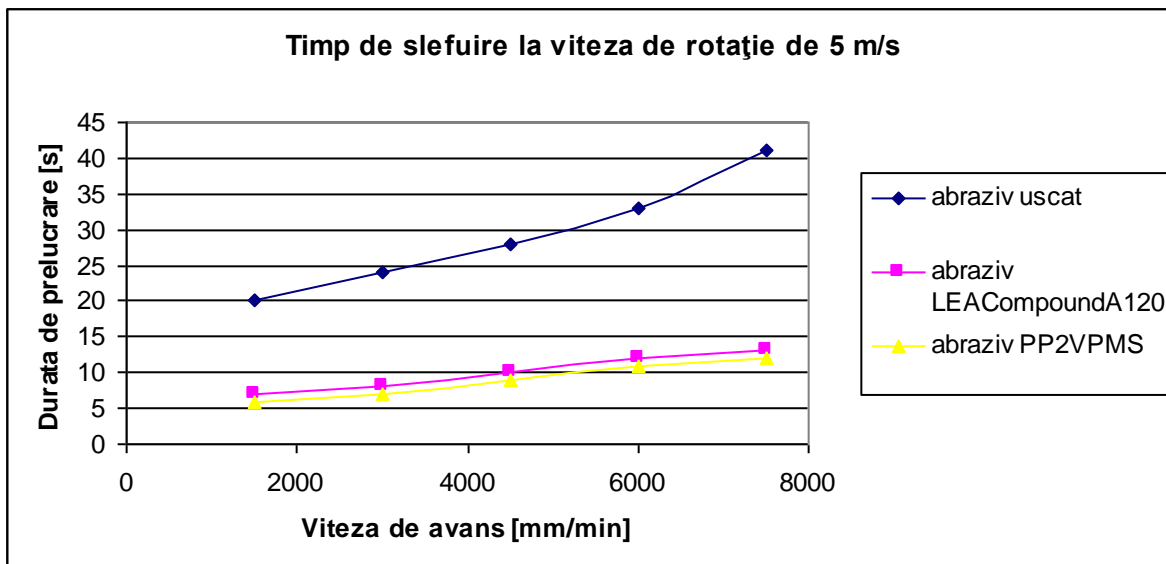


Fig. 8.23 Influența vitezei de avans asupra timpului de prelucrare pentru  $v = 5$  m/s

Din figura 8.23 se poate observa influența negativă a creșterii vitezei de avans a obiectului de prelucrat asupra timpului de prelucrare. Se observă faptul că lipsa pastei abrazive duce deasemenea la creșterea timpului total de șlefuire.

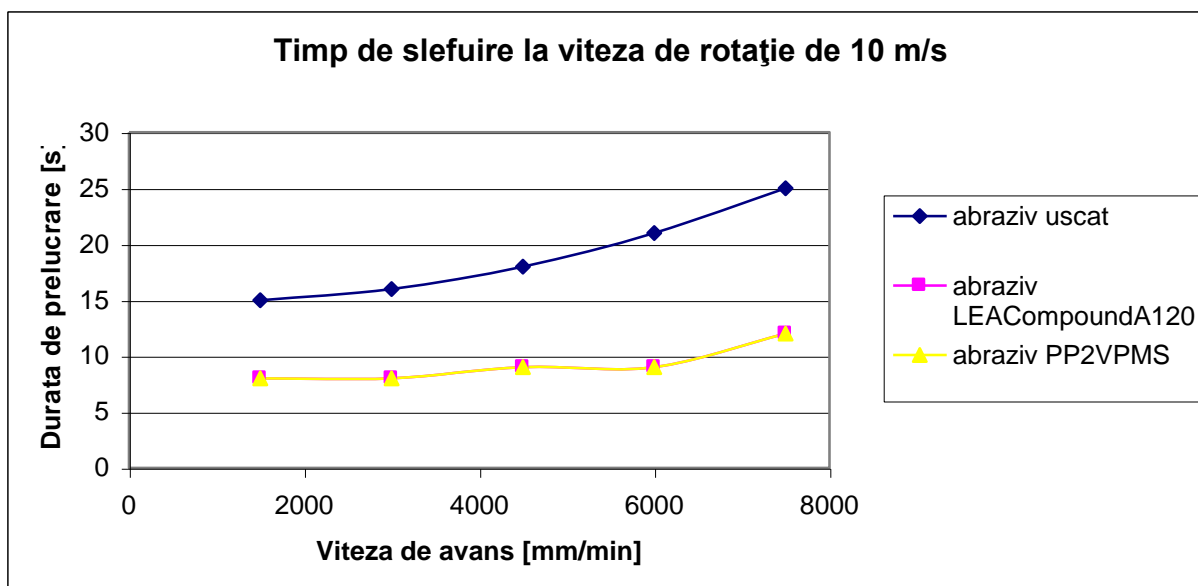


Fig. 8.24 Influența vitezei de avans asupra timpului de prelucrare pentru  $v = 10$  m/s

Din figura 8.24 se poate observa creșterea timpului de prelucrare odată cu creșterea excesivă a vitezei de avans, deși până la anumite valori ale vitezei de avans nu se poate observa o creștere a timpilor de prelucrare. Deasemenea se observă reducerea timpilor de prelucrare odată cu folosirea pastei abrazive în mod corect.



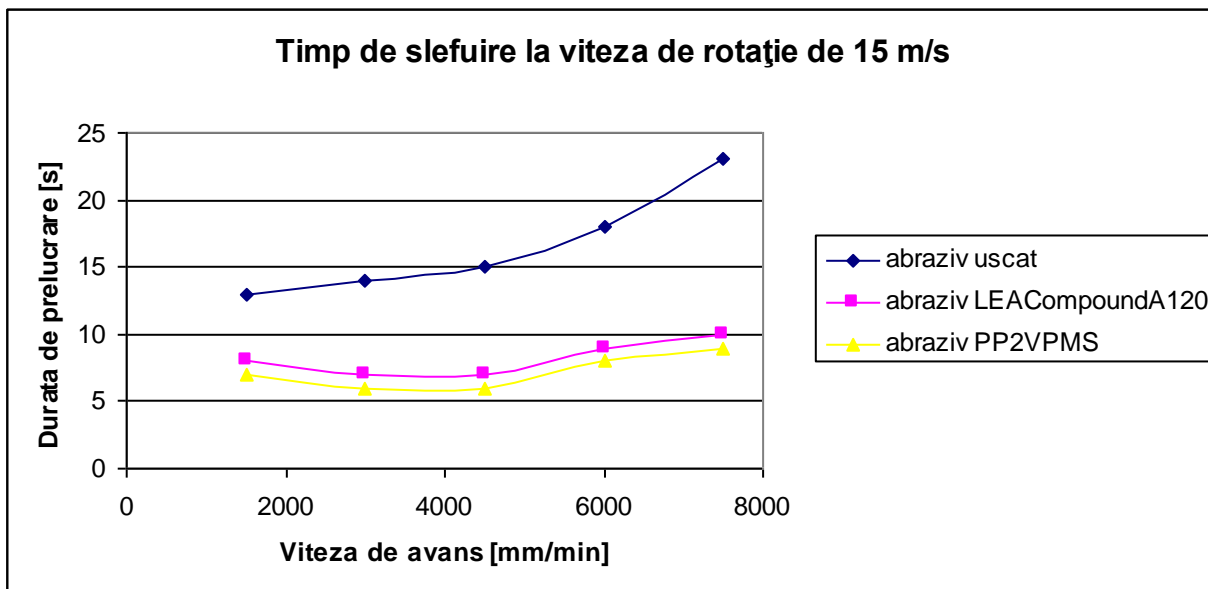


Fig. 8.25 Influența vitezei de avans asupra timpului de prelucrare pentru  $n = 15$  m/s

În figura 8.25 se poate observa valoarea optimă a vitezei de avans, care se situează în jurul valorii de 4000 mm/min pentru care se obține timpul minim de prelucrare.

Se poate observa că odată cu creșterea vitezei de avans a semifabricatului la diferite valori ale turației motorului electric de antrenare a discului suport se obțin timpi de prelucrare mai mari care rezultă din faptul că este nevoie de mai multe treceri pentru a realiza aceeași stare a suprafeței.

În următoarele trei grafice se reprezintă influența vitezei de avans asupra timpilor de precucrare modificând starea discului suport, pentru cele trei turații ale motorului electric.

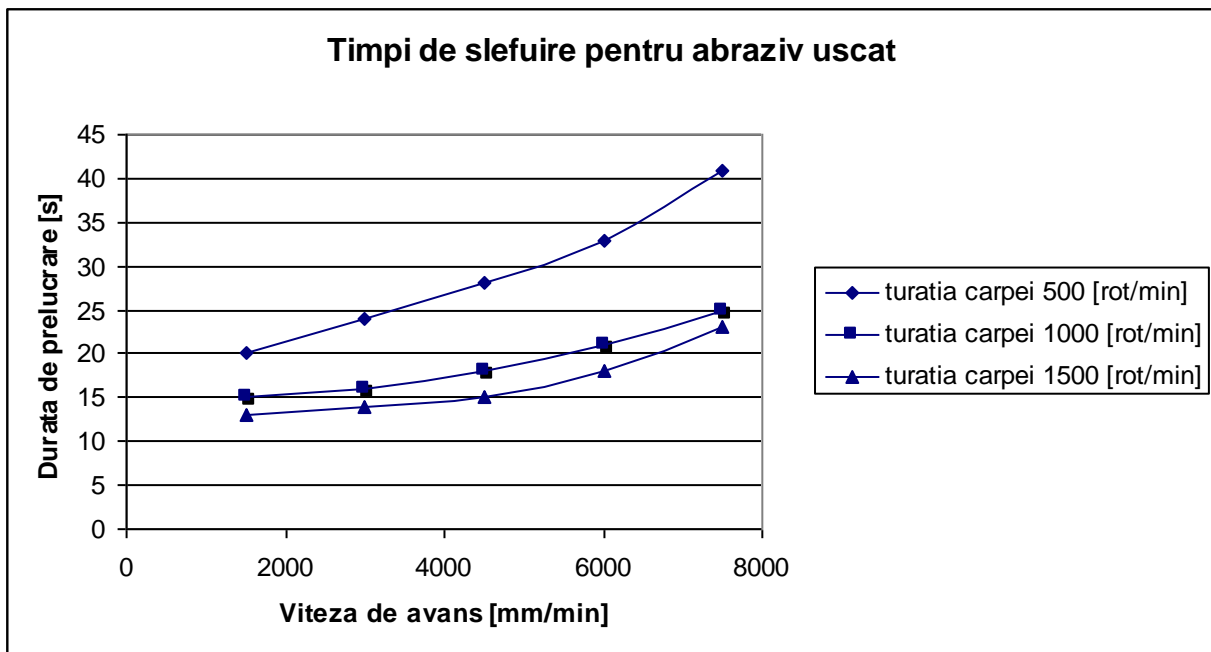


Fig. 8.26. Influența vitezei de avans asupra timpilor de prelucrate pentru duscul suport în stare uscată

În situația în care discul suport este uscat , nu s-a utilizat pastă abrazivă, se poate observa o creștere mai bruscă a timpului de prelucrare în special la turății mai mici a discului suport (fig. 8.26).

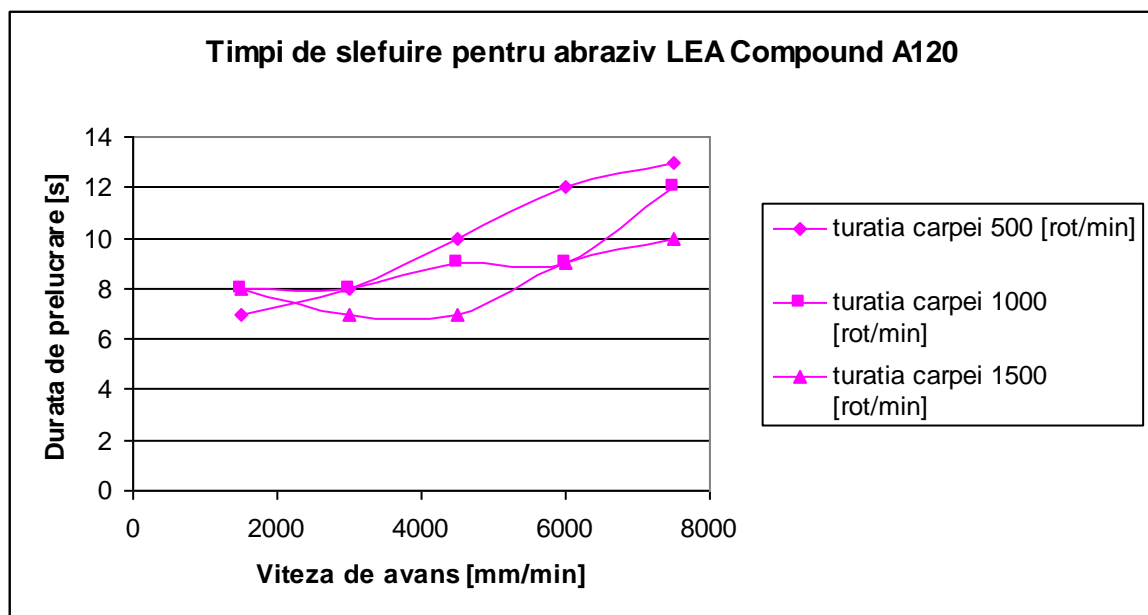


Fig. 8.27. Influența vitezei de avans asupra timpilor de prelucrate pentru abraziv de tipul LEA Compound A120

În graficul din figura 8.27 se poate observa o scădere a timpilor de prelucrare față de situația precedentă în care nu s-a utilizat pastă abrazivă.

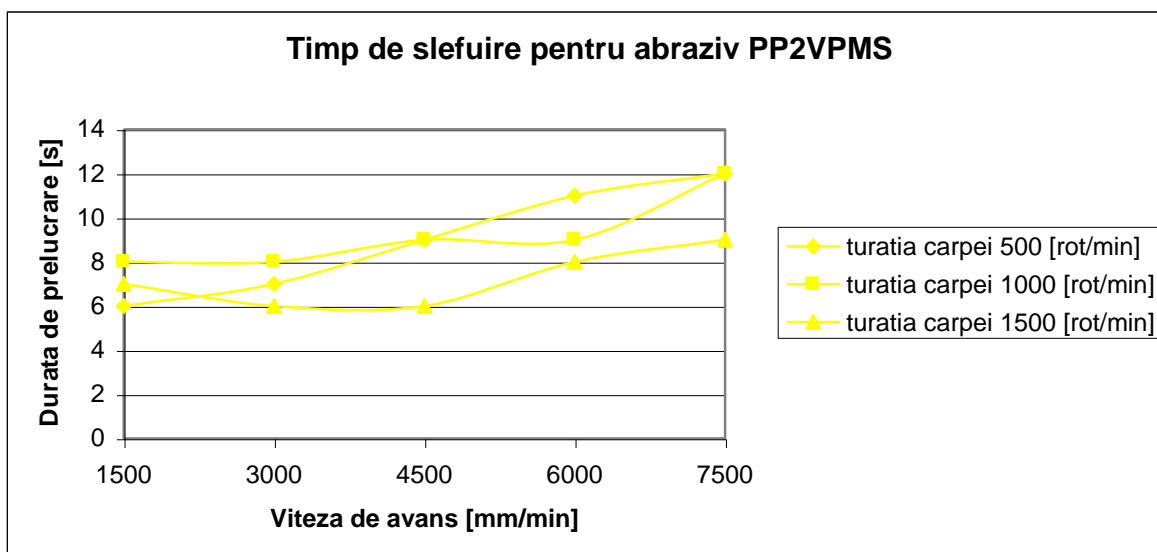


Fig. 8.28 Influența vitezei de avans asupra timpilor de prelucrare pentru abraziv de tipul PP2VPMS

Se poate observa o scădere mai accentuată a timpilor de prelucrare, în situația în care se utilizează o pastă de lustruit pentru aliaje de aluminiu de tipul PP2VPMS (fig. 8.28).

În figura 8.29 se reprezintă variația timpului de prelucrare în funcție de turația discului suport și de viteza de avans a semifabricatului, în cazul în care discul de suport este uscat. Graficele 3D au fost realizate cu ajutorul programului Origin Lab 8 [30]. La trasarea graficelor s-au utilizat matrici, prezentate în anexa 2. Aceste matrici au fost calculate prin interpolarea punctelor țintă cu ajutorul funcțiilor B-spline.

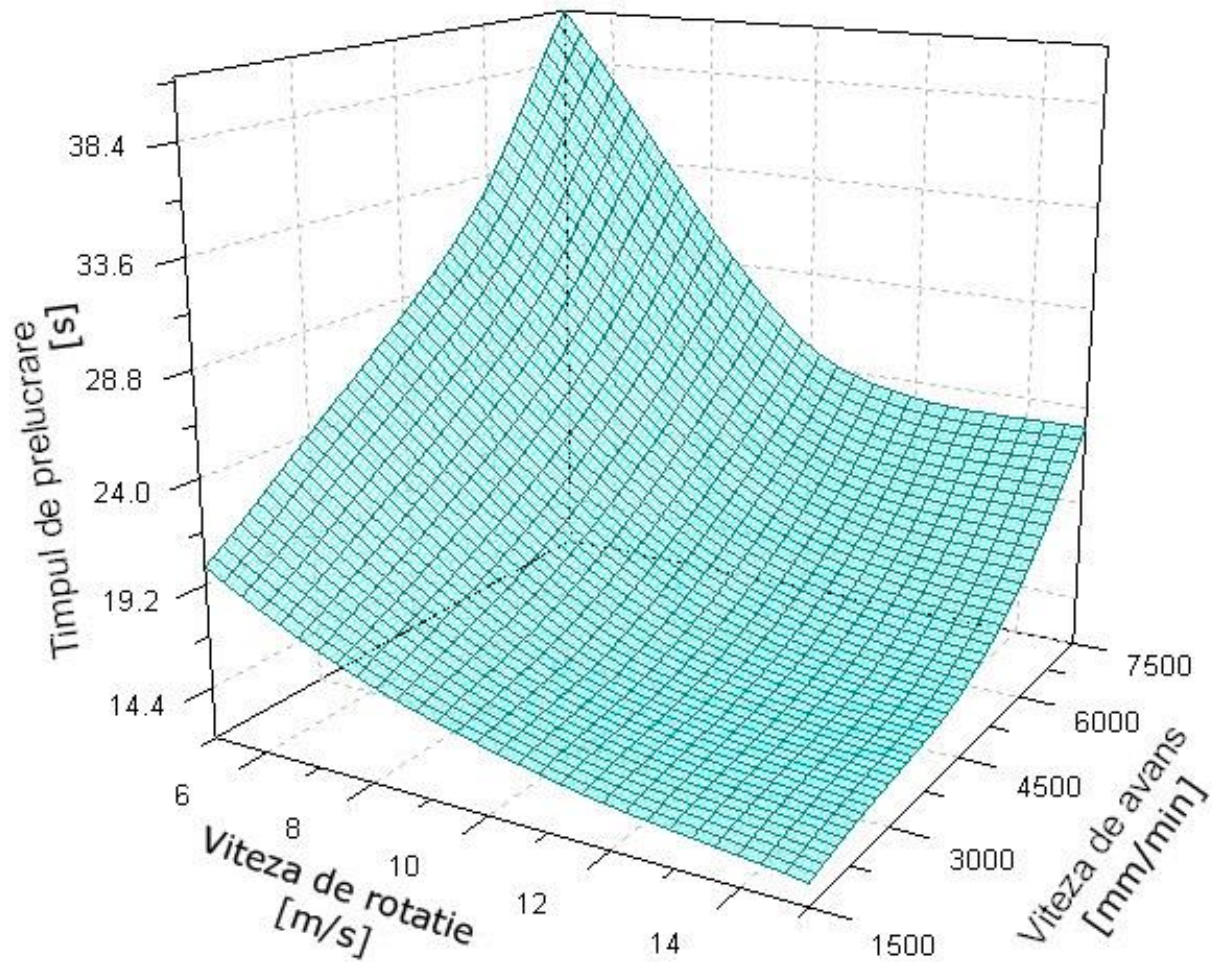


Fig. 8.29. Influența turației și a vitezei de avans asupra timpului de prelucrare, în cazul în care nu se utilizează pastă de lustruit

În figura 8.30 se reprezintă variația timpului de prelucrare în funcție de turația discului suport și de viteza de avans a semifabricatului, în cazul în care este utilizată pastă de șlefuit LEA Compound A 120, de tip universal.

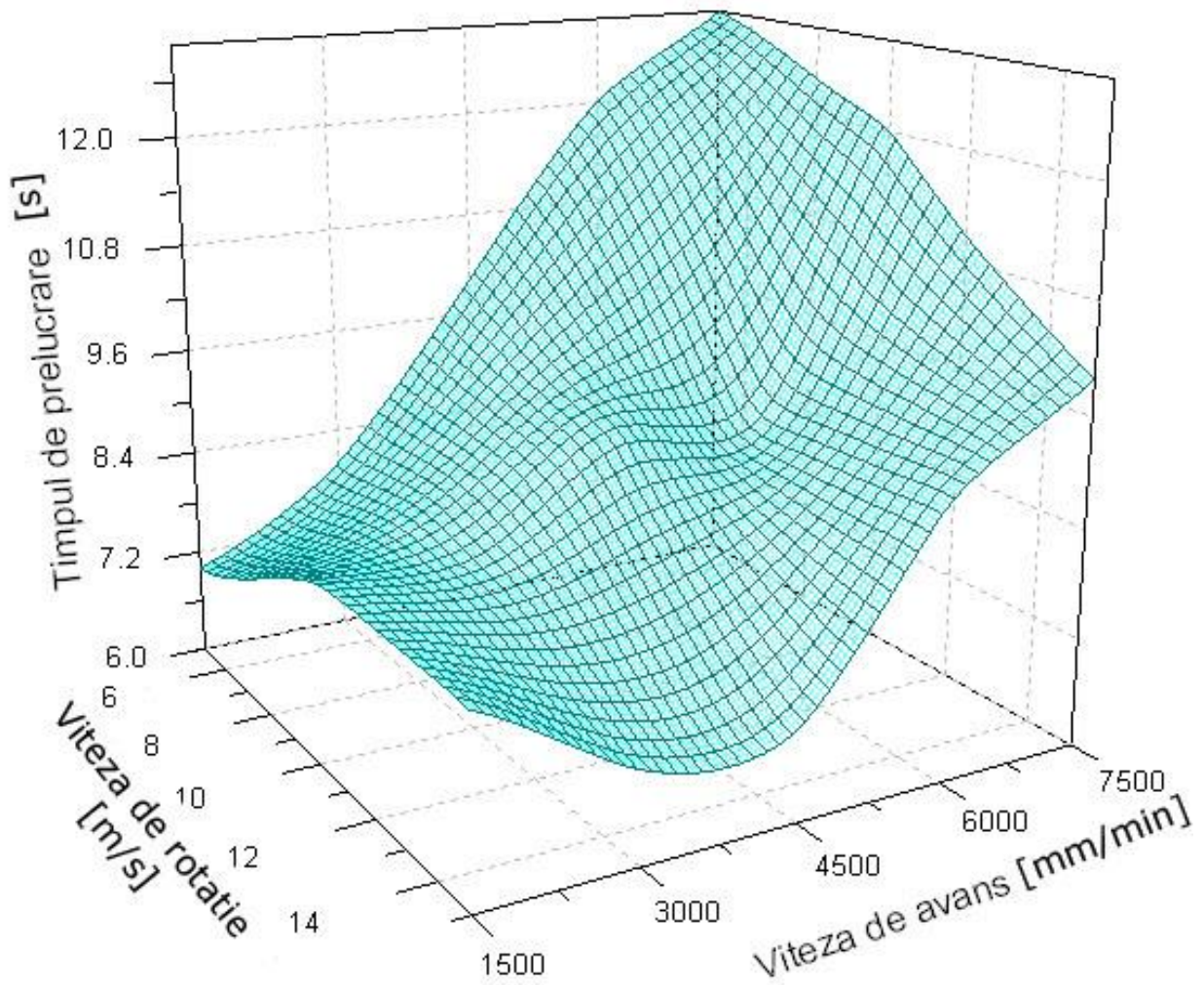


Fig. 8.30. Influența turației și a vitezei de avans asupra timpului de prelucrare, în cazul utilizării abrazivului de tip LEA Compound A120

În figura 8.31 se reprezintă variația timpului de prelucrare în funcție de turația discului suport și de viteza de avans al semifabricatului, în cazul în care este utilizat pastă de șlefuit PP2VPMS, pentru aluminiu și aliaje de aluminiu.

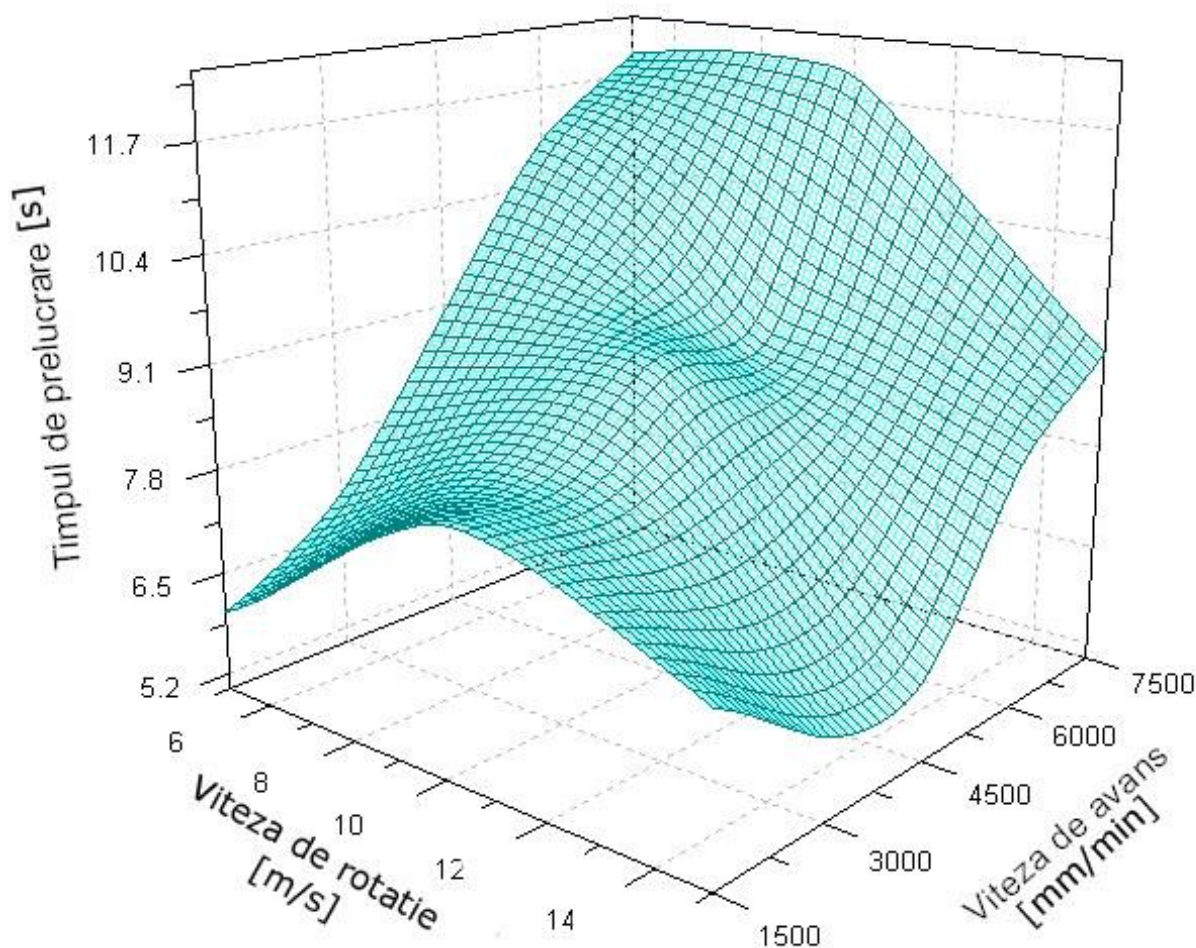


Fig. 8.31. Influența turației și a vitezei de avans asupra timpului de prelucrare, în cazul în care se utilizează abraziv de tip PP2VPMS

### 8.3. Concluzii

În urma realizării standului s-a efectuat șlefuirea obiectului de prelucrat pe baza comenzii automate, utilizând un program de șlefuire unde sunt introduși parametrii geometrici, tehnologici și de calitate.

De asemenea s-au făcut măsurători ale timpilor de prelucrare, pe baza cărora s-au realizat graficele prezentate în paragraful 8.2.. Analizând aceste grafice, s-au precizat influențele diferiților parametri asupra timpului de prelucrare.

# Capitolul 9

## Contribuții originale. Concluzii finale

### 9.1. Contribuții originale

#### 9.1.1. Introducere

Teza de doctorat abordează Programarea off-line a roboților industriali pe baza modelului matematic al proceselor tehnologice .

Principalele obiective propuse de către autor sunt:

- O1 – sistematizarea informațiilor bibliografice;
- O2 – definirea treptelor de proces în cazul șlefuirii;
- O3 - modelarea matematică a operației de șlefuire pe baza procesului tehnologic;
- O4 - programarea off-line a robotului de șlefuire;
- O5 - simularea operației de șlefuire robotizată;
- O6 – testarea obiectivelor O1, O2, O3 și O4 pe un model real, realizat de către autor (aplicație practică);
- O7 - efectuarea unor teste pentru stabilirea influențelor parametrilor tehnologici asupra procesului de prelucrare prin șlefuire
- O8 - prelucrarea rezultatelor obținute în urma măsurărilor.

Principalele contribuții originale ale autorului în vederea realizării obiectivelor propuse prin abordarea tematicii prin prezenta teză de doctorat se pot grupa în următoarele direcții principale și anume :

- în domeniul sistematizării informațiilor bibliografice;
- în domeniul elaborării unui program de conducere off-line a procesului tehnologic de șlefuire;
- în domeniul aplicațiilor practice și industriale;

- în domeniul modelării și simulării operației de șlefuire cu ajutorul programului Robot Studio și Solid Works

- în domeniul cercetării experimentale.

### **9.1.2. Contribuții în domeniul sistematizării informațiilor**

S-a realizat o sistematizare a informațiilor extrase din materialul bibliografic după cum urmează :

- privind tehnologia de șlefuire a pieselor turnate;
- privind clasificarea pieselor turnate din punct de vedere al șlefuirii ;
- privind șlefuirea cu benzi abrazive și roți de contact ventilate ;
- privind influența diverșilor factori asupra șlefuirii ;
- privind utilajele folosite la șlefuire ;
- privind sistemele flexibile de fabricație folosite la șlefuire ;
- privind definirea procesului tehnologic ;
- privind codificarea proceselor tehnologice cu ajutorul CAM și a programării NC.

### **9.1.3. Contribuții în domeniul elaborării unui program de comandă off-line a robotului industrial folosit în procesul tehnologic de șlefuire**

Aceste contribuții cuprinse în capitolele 4, 5, 6, 7 sunt :

- realizarea modelelor matematice ale suprafețelor plane; ale suprafețelor generate de două curbe directoare ; ale suprafețelor de revoluție, cilindrice drepte, Bezier ; ale modelelor de solid,
- privind transmiterea informațiilor între sistemele CAD – CAM,
- privind modelarea matematică a programului de manipulare a robotului pe baza modelului matematic al procesului de șlefuire,
- privind determinarea legii de mișcare a robotului în funcție de procesul tehnologic de șlefuire,
- privind programarea off-line a roboților ,



- privind relații între modelarea geometrică și funcțională a robotului industrial și a sistemelor robotizate,
- privind modelele de programare și simulare off-line ale roboților industriali.

#### **9.1.4. Contribuții în domeniul aplicațiilor practice și industriale**

În acest domeniu autorul lucrării și-a adus următoarele contribuții originale :

- realizarea unui stand experimental (aplicație practică) în care s-a realizat comanda off-line a robotului industrial în vederea șlefuirii obiectelor cilindrice,
- realizarea unui program de comandă a unui robot de șlefuire, ce constă în realizarea programului de comandă pentru șlefuirea unui tip nou de mâner.

#### **9.1.5. Contribuții în domeniul cercetării experimentale**

- modelarea matematică și simularea funcționării axei de robot în vederea șlefuirii,
- efectuarea simulării comenzii off-line a robotului industrial în vederea șlefuirii și validarea experimentală a modelului matematic folosit.

#### **9.1.6. Direcții de cercetare viitoare**

Rezultatele cercetărilor (documentare, teoretice, aplicative și experimentale) efectuate de către autor în cadrul prezentei teze de doctorat au fost comunicate la diverse simpozioane și sesiuni de comunicări științifice și s-au concretizat în 3 lucrări publicate, 3 ca prim autor, în volumele de Robotică & Management.

Rezultatele experimentale obținute pentru comanda off-line a roboților industriali în șlefuire s-au concretizat în cadrul lucrărilor efectuate de către autor în cadrul S.C. Feroneria S.A. Arad și S.C. Binalia S.A. Arad.

Pe baza realizărilor fizice ale comenzii off-line a roboților industriali în șlefuire se poate continua modernizarea și altor operații tehnologice.

## 9.2. Concluzii finale

Pentru realizarea obiectivelor propuse la debutul lucrării de doctorat cu titlul „**Programarea off-line a roboților industriali pe baza modelului matematic al proceselor tehnologice de șlefuire**” și precizate în paragraful 9.1.1. , s-a elaborat prezenta lucrare conținând 9 capitole, fiind prezentate 113 figuri, 11 tabele și 28 relații, pe un număr de 185 pagini.

Această lucrare a încercat să rezolve problema comenzii off-line a roboților industriali destinați finisării suprafețelor pieselor turnate, ținând cont atât de particularitățile procesului tehnologic de șlefuire cât și de turnare sub presiune.

Rezultatele experimentale obținute și prezentate în capitolul 8 au validat corectitudinea metodei propuse pentru comanda off-line a roboților industriali pe baza modelului matematic al procesului de șlefuire.

În concluzie, pe baza rezultatelor obținute și prezentate în lucrare, autorul consideră că obiectivele propuse la abordarea temei au fost îndeplinite și că lucrarea elaborată poate fi utilă cercetărilor proiectanților în domeniul șlefuirii și roboticii prin dezvoltările sale teoretice și aplicative, metodele, rezultatele experimentale obținute, sistematizarea informațiilor documentare și prin materialul bibliografic prezentat.

## Bibliografie

- [AUT 09] - \*\*\* , AUTOCAD 2009 – Tutorial CD;
- [BLE 94] – Blebea I., Ispas V., - Calculul și construcția roboților industriali, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 1994;
- [BLU 87] - Blume Ch. Jakob W, - Ipari robotok programozás nyelvei, műszaki könyvkiado, Budapest, 1987;
- [BOG 94] - Bogdanov I, Problema conducerii unui robot industrial, Simpozionul Național de Roboți Industriali - ediția XII-a, Timișoara, 16-19 Noiembrie, 1994;
- [BUC 92] - Buckley S. J., Collins G. F. - A Structured Programming Robot Language, Handbook of Industrial Robotics, chapter 21, pag. 381-403, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1992;
- [CAN 89] - \*\*\* , The Canning Handbook: Surface finishing technology, W. Canning plc, Birmingham, London, New York, 1989;
- [CAT 07] - \*\*\* , CATIA Manufacturing Solutions, Tutorial CD;
- [CAT 08] - \*\*\* , CATIA P3 V5R16 – Tutorial CD, 2008;
- [COJ 86] – Cojocaru G., Kovács F. – Roboți în acțiune. Probleme ale sintezei sistemelor de fabricație flexibilă, Ed. Facla, Timișoara, 1986;
- [CRA 86] - Craig J.J. - Introduction to Robotics, Adisson Wessley Publishing Company Reading Mass, Menlo Park, California, 1986;
- [DAN 04] - \*\*\* , Dan Technology – Automatic polishing and grinding machines, 2004;
- [DEA 89] – Deacu L., Tehnica hidraulicii proportionale, Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1989;
- [DOB 01] – Dobreceanu M, Senzori și instrumentație, Ed. Sitech , Craiova, 2001
- [DRA 86] – Dragomir T.L., Regulatele automate, Vol.1, Curs, Lito, UPT, 1986;
- [DRA 90] – Dragomir T.L., Regulatele automate, Vol.1, Curs, Lito, IPT, 1990;
- [DRĂ 99] - Drăghici G. - Inginerie integrată , Ed. Eurobit, Timișoara, 1999;
- [DRĂ 84] - Drăghici G. - Tehnologia construcțiilor de mașini, EDP, București, 1984;
- [DRE 96] – Dreucean M., Ioanovici F. – Mașini de lucru în procese robotizate, Lito Universitatea „Politehnică” Timișoara, 1996;
- [DRI 85] – Drimer D., Oprean A. și – Roboți industriali și manipolatoare, Ed. Tehnică, București, 1985;

- [FES 09] - \*\*\* , Festo, Pneumatic Catalog, 2009;
- [FLO 00] - Florea M. - Problems Involved in Off-line Programming of Robots, Simpozionul Național de Roboți Industriali, ediția XV, Oradea, 13-15 octombrie 2000;
- [FLO 03] – Florea M. – Programarea „Off-line” a roboților industriali pe baza procesului tehnologic de executat – Teza de doctorat , UTT, 2003;
- [GRA 98] - \*\*\* , GRASP - Offline Programming, BYG Systems Limited, Nottingham, 1998;
- [GRI 00] - Grigorescu S. M. - Optimizarea sistemelor de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin așchiere, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2000;
- [KOM 08] - Komjaty A. - Robotized Polishing Plant, Robotica & Management, vol. 13, no. 2, Decembrie 2008;
- [KOM 09] - Komjaty A. - Determination of the robots movement law, Robotica & Management, vol. 14, no. 1, Septembrie 2009;
- [KOM 09] – Komjaty A., Tucu D., Voda M. – Experimental analysis of polishing process for cylindrical parts of equipment for food industry, Integrated systems for agri-food production, ed. Orizonturi universitare, Timișoara, 2009;
- [KOM 09] – Komjaty A. – Experimental model of polishing process for cylindrical parts of equipment for furniture and handle, Robotica & Management, vol. 15, no. 2, 2009;
- [KOV 92] – Kovács F., Rădulescu C. – Roboți industriali, vol. I, II, Lito Universitatea „Politehnică” Timișoara, 1992;
- [KOV 99] – Kovács F., Túsz F., Varga Șt. – Fabrica viitorului, Introducere în Productică, Ed. Multimedia Internațional Arad, 1999;
- [KOV 00] – Kovács F., Varga Ș., Pau V. C., - Introducere în robotică, Ed. Printech, București, 2000;
- [KOV 01] - Kovacs F.W. , Florea M. - General Mathematic Model Of Technological Process Based On Relative Motion, Proceedings LSS-IFAC, București, 2001;
- [LAN 91] - Lantos B. - Robotok irányítása, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991;
- [LEN 01] - Lennings L. - An Introduction to CAM software, 2001;
- [MAC 02] - Maci C. - Contribuții la construcții și utilizarea digitizoarelor 3D în proiectarea asistată de calculator și programarea roboților industriali, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica, Timișoara, 2002;
- [MAC 03] - Maci C. , Florea M. Grigorescu S., Ciupe V. - Concepția integrată (constructivă și tehnologică) a obiectelor de lucru fabricate prin procese

de aşchiere utilizând noțiunea de PeSiR, *Robotică & Management*, volumul 8, nr. 1, iunie 2003;

[MOD 08] - \*\*\* - Modicon – General Catalogue 2008;

[NOF 92] – Nof S. Y. – Handbook Of Industrial Robotics, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1992;

[OWE 98] - Owens J. - Offline Programming and Robot Calibration - The Car Industry, Robot simulation Ltd, 1998;

[PAU 81] - Paul R. P. - Robot Manipulators: Mathematics, Programming and Control, The MIT Press, Cambridge, Mass and London, 1981;

[RÁN 85] – Ránky P. G., Ho C., - Robot modelling. Control and applications with software, IFS, UK, Springer-Verlag, 1985;

[ROP 00] - \*\*\* , - Ropsim - PC-based off-line programming system, Camelot Off-line Programming, Denmark, 2000;

[SAV 00] – Savii G., Luchin M., - Modelare și simulare, Ed Eurostampa Timișoara, 2000;

[SCH 84] – Schraft R.D., - Industrieroboter-technik, Expert Verlag, Grafenau, 1984;

[SCH 09] – \*\*\* - Schneider Electric - General Catalogue, 2009;

[SLA 06] – Slavici Titus, Comanda și controlul sistemelor tehnologice cu calculatorul. Metode CAD/CAM, Ed. Fund. Ioan Slavici, Timișoara, 2006;

[SOL 08] - \*\*\* , - Solid CAM 2008, Users manual;

[SOL 09] - \*\*\* , - Solid Works 2009, Users manual;

[TEL 09] - \*\*\* - Telemecanique – General Catalogue 2009;

[TRA 09] - \*\*\* - Tracon Electric – Termék Katalogus 2009;

[VOL 81] – Volmer J. – Industrieroboter, VEB Verlag Technik, Berlin, 1981;

[WEN 09] - \*\*\* - Wenglor Sensor, 2009;

[WOR 99] - \*\*\* - World Robotics 1999. United Nations. The International Federation of Robotics, Geneva, 1999.

[ZEI 91] – Zeid Ibrahim, CAD/CAM Theory and Practice, vol I, II, III, McGraw-Hill, Hamburg, 1991;

## Adrese internet accesate pentru realizarea tezei

[1].

<http://www.au.abb.com/global/auabb/auabb500.nsf!OpenDatabase&db=/global/auabb/auabb504.nsf&v=DB2&e=us&url=/global/seitp/seitp202.nsf/0/7C49FC81EE508D0B48256FE00001CD17!OpenDocument> – ABB Robot studio 4,

[2]. <http://www.manufacturingtalk.com/news/sxg/sxg145.html> – Materiale utilizate la șlefuirea robotizată,

[3].

[http://www.abb.co.uk/global/abbzh/abbzh251.nsf!OpenDatabase&db=/global/abbzh/abbzh250.nsf&v=C562&e=us&url=/global/seitp/seitp202.nsf/wfrmArticleArchive!ReadForm%26supplier=RO%26supplier\\_2=Division%26subcat=%26category=Press%20release%26country=United%20Kingdom%26language=us%26visible=1%26limit\\_type=Organizational%26hiddedowns=%26skipcount=2%26publdomain=Internet](http://www.abb.co.uk/global/abbzh/abbzh251.nsf!OpenDatabase&db=/global/abbzh/abbzh250.nsf&v=C562&e=us&url=/global/seitp/seitp202.nsf/wfrmArticleArchive!ReadForm%26supplier=RO%26supplier_2=Division%26subcat=%26category=Press%20release%26country=United%20Kingdom%26language=us%26visible=1%26limit_type=Organizational%26hiddedowns=%26skipcount=2%26publdomain=Internet) – articole ABB

[4]. <http://www.camelot.dk/english/downloadropsim.htm> – Ropsim

[5]. [http://www.f-lohmueller.de/pov\\_tut/csg/povcsg1e.htm](http://www.f-lohmueller.de/pov_tut/csg/povcsg1e.htm) – CSG

[6]. <http://www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/model/csg.html> - CSG

[7]. <http://www.ics.uci.edu/~eppstein/gina/csg.html> – CSG – Geometry in action

[8]. <http://www.fanucrobotics.com/Products/ProductLine.asp> FANUC Robotics Product Line

[9].

[http://www.me.metu.edu.tr/me407/documents/Tutorials/SolidWorks\\_Drawing/SolidDrawing.htm](http://www.me.metu.edu.tr/me407/documents/Tutorials/SolidWorks_Drawing/SolidDrawing.htm) – Drawing tutorial

- [10]. <http://i33www.ira.uka.de/applets/mocca/html/noplugin/curves.html> – B-spline Representation (modelare matematică)
- [11]. [www.robots.net](http://www.robots.net) - Robot news and Robotics Info
- [12]. <http://www.greatgridlock.net/Visuals/CAD/cad.html> – modele CAD
- [13]. [http://www.easy-rob.de/m2\\_2\\_1.htm](http://www.easy-rob.de/m2_2_1.htm) – programare roboți
- [14]. <http://www.rfa-taktos.com/> - numeroase exemple de roboți și SFF (poze, video)
- [15]. [aspc.cs.utt.ro/~egc/Curs/MaterialCurs/egc01.pdf](http://aspc.cs.utt.ro/~egc/Curs/MaterialCurs/egc01.pdf) – Grafică pe calculator
- [16]. [aspc.cs.utt.ro/~egc/Curs/MaterialCurs/egc07.pdf](http://aspc.cs.utt.ro/~egc/Curs/MaterialCurs/egc07.pdf) - Curbe Bezier
- [17]. <http://www.nist.gov/iges/> - despre IGES
- [18]. [http://www.steptools.com/library/standard/step\\_2.html](http://www.steptools.com/library/standard/step_2.html) – protocolul STEP
- [19]. [http://pdesinc.atiCorp.org/step\\_overview.html](http://pdesinc.atiCorp.org/step_overview.html) – despre PDES
- [20]. <http://www.3dcontentcentral.com/default.aspx> - server de modele 3D de piese
- [21].  
[https://enep.festo.com/irj/servlet/prt/portal/prtroot/festo.guest?NavigationTarget=ROLES://portal\\_content/com.festo.portal/sap40/v/cr/ssp/rl/com.festo.portal.sap40.v.cr.ssp.rl.ssp\\_\\_pub/com.festo.portal.sap40.v.cr.ssp.ws.gnt\\_ssp\\_1/sho/cat/com.festo.portal.sap40.v.cr.ssp.iv.cat.cat&j\\_user=ano\\_ep\\_customer\\_ro](https://enep.festo.com/irj/servlet/prt/portal/prtroot/festo.guest?NavigationTarget=ROLES://portal_content/com.festo.portal/sap40/v/cr/ssp/rl/com.festo.portal.sap40.v.cr.ssp.rl.ssp__pub/com.festo.portal.sap40.v.cr.ssp.ws.gnt_ssp_1/sho/cat/com.festo.portal.sap40.v.cr.ssp.iv.cat.cat&j_user=ano_ep_customer_ro) - Catalogul FESTO
- [22]. <http://www.traconelectric.hu/index.php> - echipament electric de comandă,
- [23].  
[http://www.us.telemecanique.com/products/Automation/Programmable\\_C](http://www.us.telemecanique.com/products/Automation/Programmable_C)

*ontrollers/Twido/index.html* - automate programabile Twido,

[24].

*http://www.us.telemecanique.com/products/automation/Programmable\_Controllers/Twido/twidosoftware.html* - soft de programare pentru PLC twido,

[25]. *http://www.smcromania.ro/3\_1\_3\_5.html* - Actuatori rotativi SMC,

[26]. *http://catalogue.camozzi.com/Explorer.aspx?u\_code=1\_1\_25\_280\_394E0B87-18A9-4B34-B8B3-DBCFAE6EDE3E&type=Content* - Motoare pneumatice liniare seria 61,

[27].

*http://www.wenglor.com/wenglor.php?Sprache=US&Land=Canada&Start=suchen\_date\_nblatt.php&P=* - Wenglor – download datasheet

[28]. *http://www.electrice.ro/html/industriale.html* - MASE - materiale electrice,

[29]. *http://www.imnr.ro/aliaj15eng.htm* - Zamac,

[30]. *http://www.originlab.com/index.aspx?s=12&lm=62* - Origin 8 - software grafica

[31] *www.mec.utt.ro/~dolga/TSA\_1.ppt* - Teoria sistemelor automate - simularea operatiei de slefuire

[32]

*http://www.surfaceengineering.it/html/Frame%20set%20IR%20Robot%20grinding%20polishing.htm* - masini de șlefuit pentru operații robotizate

[33] *http://www.manufacturingtalk.com/news/kuk/kuk109.html* - șlefuirea robotizată elimină operatorii umani;

[34] *http://www.robots.com/articles.php?tag=441* - șlefuirea jenților auto;



[35] [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_Aided\\_Process\\_Planning](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_Aided_Process_Planning) - CAPP;

[36] [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_design](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design) - CAD;

[37] [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing) - CAM;

[38] [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_Integrated\\_Manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_Integrated_Manufacturing) - CIM;

[39] [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering) - CAE;

[40] [http://en.wikipedia.org/wiki/Numerical\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control) - NC;

[41] <http://en.wikipedia.org/wiki/IGES> - IGES;

[42] <http://en.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> - despre Solid Works;

[43] <http://www.electromotor.ro/motoare-electrice-trifazate.html> - Motoare electrice

[44] <http://polirozas.lapunk.hu/?modul=oldal&tartalom=357951> - LEA Compound A120

[45] [http://www.tradekey.com/selloffer\\_view/id/2864846.htm](http://www.tradekey.com/selloffer_view/id/2864846.htm) - discuri suport pentru abraziv

[46] <http://schleifer.hu/index.php?page=product&pid=15287> - PP2VPMS

## Anexa 1

### Programul de comandă al robotului din cadrul celulei flexibile de șlefuire, utilizat pentru șlefuirea mânerelor de alamă

.SYSDATA

```
OP 0 6 12 6 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0
TOOL -116.699707 1.052711 86.578735 -81.783691 0.002146 81.784607
BASE 0.000000 0.000000 0.000000 -0.000000 0.000000 0.000000
LLIM -160.000000 -120.000000 -150.000000 -270.000000 -180.000000 -
270.000000 -3200.000000
ULIM 160.000000 140.000000 150.000000 270.000000 180.000000
270.000000 3200.000000
1HOM 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 0.000000
2HOM 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 0.000000
ZERO 1053086 1054829 1052979 1055028 1051446 1052050 1048576
CLAMP 0 0 100 200 0 0 200 400 0 0 0
2000 0 0 4000 8000
```

SIG 32

```
DEF1 0 8300 1 0 7
DEF2 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
DEF3 1001 1002 1003 1004 4 1005 1017 18 1012 1018 16 2 3 5
DEF4 6 7 8 19 17 4
SWITCH -1 -1 -1 -1 0 -1 -1 0 0 -1
PROTO 3749 3749 3749 10 10 1 130fbb00
```

```

PROT2 130fbb00  0  0  0  0  0  0  0  0  0
REMOTERM1 06   0  0  0  0  0  0  0  0  0
EVMEAD ffffff  0
.END
.AUXDATA
10.000000
20.000000
30.000000
40.000000
50.000000
60.000000
70.000000
80.000000
90.000000
100.000000
1.000000
10.000000
50.000000
100.000000
0.000000
1.000000
2.000000
0.300000
0.000000 2.000000 2.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.200000 1.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.200000 1.999999 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.200000 3.000000 0.000000 0.000000 0.000000
.END
.PROGRAM atena1()
    CALL puli
    CALL brilla
.END
.PROGRAM brilla()

```

SIGNAL 4,5  
ACCURACY 100 ALWAYS  
SPEED 100 ALWAYS

70

1100

JMOVE #brilla1  
SIGNAL -3  
ACCURACY 3  
BREAK  
JMOVE #brilla2  
SPEED 130 ALWAYS  
ACCURACY 180 ALWAYS  
TOOL punta  
ACCURACY 200  
LMOVE #brilla3  
LMOVE #brilla4  
LMOVE #brilla5  
LMOVE #brilla6  
LMOVE #brilla7  
LMOVE #brilla8  
LMOVE #brilla9  
LMOVE #brilla9a  
LMOVE #brilla9  
LMOVE #brilla10a  
LMOVE #brilla10  
LMOVE #brilla11  
LMOVE #brilla12  
TOOL maniglia  
ACCURACY 190 ALWAYS  
LMOVE #brilla13  
LMOVE #brilla14  
LMOVE #brilla14a  
LMOVE #brilla14b

LMOVE #brilla14c  
LMOVE #brilla14  
LMOVE #brilla15  
LMOVE #brilla16  
LMOVE #brilla17  
LMOVE #brilla18  
LMOVE #brilla19  
LMOVE #brilla20  
SIGNAL -4,5  
LMOVE #brilla21  
LMOVE #brilla22  
LMOVE #brilla23  
LMOVE #brilla24  
LMOVE #brilla25  
LMOVE #brilla26  
LMOVE #brilla27  
LMOVE #brilla28  
LMOVE #brilla29  
LMOVE #brilla30  
LMOVE #brilla31  
LMOVE #brilla32  
LMOVE #brilla33  
LMOVE #brilla34  
LMOVE #brilla35  
LMOVE #brilla36  
LMOVE #brilla37  
LMOVE #brilla38  
LMOVE #brilla38a  
LMOVE #brilla38b  
LMOVE #brilla38c  
LMOVE #brilla38  
LMOVE #brilla39  
LMOVE #brilla40

LMOVE #brilla41  
LMOVE #brilla42  
LMOVE #brilla43  
LMOVE #brilla43a  
LMOVE #brilla43  
LMOVE #brilla44  
LMOVE #brilla45  
LMOVE #brilla46  
LMOVE #brilla47  
LMOVE #brilla48  
LMOVE #brilla49  
LMOVE #brilla50  
LMOVE #brilla51  
LMOVE #brilla52  
LMOVE #brilla52a  
LMOVE #brilla52  
LMOVE #brilla52a  
LMOVE #brilla52  
LMOVE #brilla53  
LMOVE #brilla54  
LMOVE #brilla55  
LMOVE #brilla56  
LMOVE #brilla57  
LMOVE #brilla58  
LMOVE #brilla58a  
LMOVE #brilla58  
LMOVE #brilla59  
LMOVE #brilla60  
LMOVE #brilla61  
LMOVE #brilla62  
LMOVE #brilla63  
SIGNAL 4  
LMOVE #brilla64

```

LMOVE #brilla65
LMOVE #brilla66
LMOVE #brilla67
LMOVE #brilla68
LMOVE #brilla69
LMOVE #brilla70
LMOVE #brilla71
LMOVE #brilla72
LMOVE #brilla73
LMOVE #brilla74
LMOVE #brilla75
LMOVE #brilla76
LMOVE #brilla77
SIGNAL -1,-2,-3,-4,-5
IGNORE 1001
LMOVE #brilla78
; TWAIT 0.4
CALL pasta
JMOVE #preso6
.END
.PROGRAM pasta()
    pasta = pasta+1
    IF pasta>1 GOTO 2
    GOTO 3
2    PULSE 13,1
    pasta = 1
3
.END
.PROGRAM pastafinita()
    HALT ;?"; PER MEMORIZZARE EVENTO DI TERMINE PASTA"
; e foinita la pasta
    SIGNAL 2008
    RETURN

```

```

.END
.PROGRAM puli()
  CLOSEI
1  IF SIG(-1005) GOTO 1
  PULSE 6,1
  TOOL maniglia
  SIGNAL -4,-5
  SPEED 100 ALWAYS
  ACCURACY 100 ALWAYS
  JMOVE #puli0
  TIMER 9 = 0
  ACCURACY 3
  LMOVE #puli1
  BREAK
  SIGNAL -3
2  IF SIG(-2005) GOTO 2
  SIGNAL -2005
  SIGNAL -3
  ONI 1007 CALL rotta
; chiama il programma rotta allarme
  ONI 1001 CALL pastafinita
  SPEED 70 ALWAYS
  ACCURACY 100 ALWAYS
  TOOL impugna
  LMOVE #puli3
  LMOVE #puli5
  LMOVE #puli6
  LMOVE #puli7
  LMOVE #puli8
  LMOVE #puli9
  SPEED 10
  LMOVE #puli9a
  LMOVE #puli9

```



```
LMOVE #puli10
LMOVE #puli11
LMOVE #puli13
LMOVE #puli14
LMOVE #puli15
LMOVE #puli16
ACCURACY 600
LMOVE #puli16a
LMOVE #puli17
LMOVE #puli18
LMOVE #puli19
LMOVE #puli20
LMOVE #puli21
LMOVE #puli22
LMOVE #puli22a
LMOVE #puli23
LMOVE #puli24
LMOVE #puli25
LMOVE #puli26
LMOVE #puli28
LMOVE #puli29
SIGNAL -4
SIGNAL 3
TOOL punta
LMOVE #puli33
SPEED 200
FOR p = 0 TO 1
ACCURACY 100
LMOVE #puli34
ACCURACY 200
LMOVE #puli35
END
LMOVE #puli36
```

*PULSE 6,0.6*  
*LMOVE #puli37*  
*SIGNAL -4,-5*  
*SPEED 200*  
*ACCURACY 250*  
*LMOVE #puli38*  
*LMOVE #puli39*  
*LMOVE #puli40*  
*LMOVE #puli41*  
*LMOVE #puli42*  
*LMOVE #puli43*  
*SIGNAL -3*  
*LMOVE #puli44*  
*LMOVE #puli45*  
*SPEED 70 ALWAYS*  
*ACCURACY 160 ALWAYS*  
*LMOVE #puli46*  
*LMOVE #puli47*  
*LMOVE #mau1*  
*LMOVE #puli47*  
*TOOL impugna*  
*LMOVE #puli49*  
*LMOVE #puli50*  
*SPEED 8*  
*LMOVE #puli51*  
*SPEED 8*  
*LMOVE #puli50*  
*LMOVE #puli51*  
*LMOVE #puli52*  
*LMOVE #puli52a*  
*LMOVE #puli52*  
*LMOVE #puli53*  
*LMOVE #puli54*

LMOVE #puli55  
LMOVE #puli56  
LMOVE #puli58  
LMOVE #puli62  
LMOVE #puli64  
LMOVE #puli65  
TOOL maniglia  
SPEED 80 ALWAYS  
ACCURACY 120 ALWAYS  
LMOVE #puli66  
LMOVE #puli67  
LMOVE #puli68  
LMOVE #puli69  
LMOVE #puli70  
LMOVE #puli71  
LMOVE #puli72  
SPEED 8 ALWAYS  
ACCURACY 70 ALWAYS  
LMOVE #puli73  
LMOVE #puli74  
LMOVE #puli75  
LMOVE #puli76  
LMOVE #puli77  
LMOVE #puli78  
LMOVE #puli79  
LMOVE #puli80  
LMOVE #puli81  
LMOVE #puli82  
LMOVE #puli83  
LMOVE #puli84  
LMOVE #puli85  
LMOVE #puli86  
LMOVE #puli87

LMOVE #puli88  
LMOVE #puli89  
LMOVE #puli90  
LMOVE #puli91  
LMOVE #puli92  
LMOVE #puli93  
LMOVE #puli94  
LMOVE #puli95  
LMOVE #puli96  
LMOVE #puli97  
LMOVE #puli98  
LMOVE #puli99  
LMOVE #puli100  
LMOVE #puli101  
LMOVE #puli102  
LMOVE #puli103  
SIGNAL 4  
SPEED 80 ALWAYS  
ACCURACY 130 ALWAYS  
TOOL impugna  
LMOVE #puli104  
ACCURACY 150 ALWAYS  
LMOVE #puli105  
LMOVE #puli106  
LMOVE #puli107  
ACCURACY 200 ALWAYS  
LMOVE #puli118  
LMOVE #puli119  
LMOVE #puli120  
LMOVE #puli121  
LMOVE #puli122  
LMOVE #puli123  
LMOVE #puli124

```

LMOVE #puli125
LMOVE #puli126
LMOVE #puli127
; FOR p = 0 TO 1
LMOVE #puli127a
LMOVE #puli127b
; END
LMOVE #puli128
LMOVE #puli129
LMOVE #puli130
LMOVE #puli131
LMOVE #puli132
LMOVE #puli133
LMOVE #puli134
LMOVE #puli135
LMOVE #puli136
LMOVE #puli137
LMOVE #puli138
LMOVE #puli139
LMOVE #puli140
SIGNAL 3
ACCURACY 200 ALWAYS
SPEED 200 ALWAYS
IGNORE 1007
LMOVE #puli146
JMOVE #brilla1
.END
.PROGRAM rotta()
;Proramma di verifica pezzo in lavorazione
SIGNAL 3 ;spegni la pressione
SIGNAL -1,-2,-4,-5
TYPE /C12
TYPE "ATTENZIONE MEMORIZZO MANIGLIA PERSA O ROTTA"

```

```

TYPE ""
TYPE "DURANTE LA LAVORAZIONE DI PULITURA O LA VITE E DA PORTARE
IN"
TYPE ""
TYPE "AVANTI. VERIFICARE"
TYPE ""
SIGNAL 2011
rotta = rotta+1
RETURN
.END
.TRANS
impugna      -200.000000  0.000000   95.000000  -0.000000  0.000000   0.000000
0.000000
maniglia     -116.699707  1.052711   86.578735  -81.783691  0.002146   81.784607
0.000000
punta       -210.000000  0.000000   80.000000  -0.000000  0.000000   0.000000
0.000000
.END
.JOINTS
#brilla1    31.943436  29.834930 -119.373901 -133.752686 96.960876 -145.527954
0.500000
#brilla10   23.224899  54.403290 -70.537720 -192.658936 128.907349 -187.935181
0.500000
#brilla10a  23.055771  47.357056 -76.400208 -184.925171 105.043335 -190.306396
0.500000
#brilla11   25.527054  45.924561 -76.484375 -189.830200 97.236877 -194.079346
0.500000
#brilla12   22.555389  47.055847 -75.766113 -188.609009 98.641357 -197.941650
0.500000
#brilla13   21.644714  46.173004 -77.480347 -186.289917 98.191406 -194.966919
0.500000
#brilla14   24.278854  45.685913 -81.681030 -174.036865 99.890015 -189.410278
0.500000

```

#brilla14a 28.181122 49.120270 -91.389221 -140.950806 108.878296 -184.214844  
 0.500000  
 #brilla14b 28.494644 47.976959 -92.700928 -123.189270 133.195313 -114.815552  
 0.500000  
 #brilla14c 28.475082 47.721893 -92.635559 -106.896729 134.345459 -80.434143  
 0.500000  
 #brilla15 28.986542 45.628967 -99.482544 -128.627563 99.449402 -181.211914  
 0.500000  
 #brilla16 28.967712 39.945770 -107.246460 -115.290527 101.598022 -144.981934  
 0.500000  
 #brilla17 26.931076 39.078156 -95.411133 -119.251770 116.210144 -82.577698  
 0.500000  
 #brilla18 26.565109 39.458191 -95.038147 -103.017090 111.830811 -47.933136  
 0.500000  
 #brilla19 28.516434 38.899902 -94.504089 -108.476318 112.045227 -58.149017  
 0.500000  
 #brilla2 33.262512 47.089722 -104.451660 -130.021362 82.822266 -202.147949  
 0.500000  
 #brilla20 27.658936 37.854279 -97.125305 -105.318726 109.847351 -59.042633  
 0.500000  
 #brilla21 29.987289 37.101105 -94.344238 -106.674866 112.552612 -55.962585  
 0.500000  
 #brilla22 28.673386 34.641388 -97.869507 -103.013550 112.903015 -58.025330  
 0.500000  
 #brilla23 29.785294 36.059692 -91.976746 -105.817932 116.140381 -50.659424  
 0.500000  
 #brilla24 27.663727 31.862061 -95.176636 -101.886230 110.773193 -46.713806  
 0.500000  
 #brilla25 29.291580 35.951385 -87.734314 -104.464050 118.414429 -39.418884  
 0.500000  
 #brilla26 27.310699 33.345367 -90.563782 -100.644104 113.605591 -36.376801  
 0.500000  
 #brilla27 29.853256 35.964386 -87.098389 -99.716553 117.403625 -33.977386

0.500000  
#brilla28 28.197357 33.627197 -94.278931 -99.183167 113.275146 -44.169983  
0.500000  
#brilla29 30.051941 37.201508 -90.222595 -104.439819 117.235535 -45.391693  
0.500000  
#brilla3 34.682434 41.363800 -104.008911 -140.097290 94.744873 -173.126099  
0.500000  
#brilla30 27.531174 36.934906 -96.206238 -103.848022 109.776550 -51.413513  
0.500000  
#brilla31 28.977310 38.825043 -94.782593 -104.705017 110.965393 -51.502869  
0.500000  
#brilla32 27.398605 37.459564 -96.663025 -104.920410 108.780457 -52.230042  
0.500000  
#brilla33 27.209518 28.574020 -120.474365 -57.519897 86.992920 -71.713013  
0.500000  
#brilla34 24.490448 27.346741 -126.377441 -33.505798 85.931824 -78.273438  
0.500000  
#brilla35 21.466721 26.637238 -127.885986 -30.675430 85.908386 -79.819580  
0.500000  
#brilla36 24.125961 25.281311 -129.122314 -22.991516 96.181030 -76.012390  
0.500000  
#brilla37 21.334152 23.572601 -131.839966 -21.663773 98.438660 -77.969849  
0.500000  
#brilla38 24.516312 20.884811 -129.566284 -23.863556 97.965210 -70.832825  
0.500000  
#brilla38a 18.203690 23.344772 -131.044800 -14.136780 122.102905 -86.207397  
0.500000  
#brilla38b 21.132523 23.921951 -129.893433 -15.909805 121.891357 -84.576782  
0.500000  
#brilla38c 20.267639 18.348755 -130.988770 -16.892441 106.093933 -84.061401  
0.500000  
#brilla39 18.217728 19.072739 -129.962158 -14.687447 78.353882 -79.688599  
0.500000



#brilla4 33.064941 40.224182 -106.594299 -138.777100 93.055664 -173.377075  
 0.500000  
 #brilla40 23.169144 23.154755 -127.311768 -24.711273 81.906982 -74.807800  
 0.500000  
 #brilla41 17.520874 22.577316 -128.722412 -16.739578 73.925354 -80.862610  
 0.500000  
 #brilla42 21.319382 23.514175 -125.739685 -21.482529 69.147034 -78.151062  
 0.500000  
 #brilla43 16.917831 20.515335 -124.913208 -19.235840 55.869141 -78.450989  
 0.500000  
 #brilla43a 19.953003 21.241287 -123.696777 -22.939392 56.023224 -76.285339  
 0.500000  
 #brilla44 2.674015 28.720337 -121.368774 57.619507 86.250549 -100.044434  
 0.500000  
 #brilla45 -1.152549 31.354599 -112.270264 84.517822 93.291748 -106.689331  
 0.500000  
 #brilla46 -1.503741 29.425186 -110.156433 84.696716 93.508545 -116.087463  
 0.500000  
 #brilla47 0.319803 27.551743 -111.900635 75.414673 89.797791 -120.485962  
 0.500000  
 #brilla48 -1.228252 26.206131 -106.361267 87.560120 89.230652 -132.781738  
 0.500000  
 #brilla49 0.662872 25.329422 -109.255737 78.411194 88.655273 -127.245972  
 0.500000  
 #brilla5 27.292618 45.489502 -81.291382 -182.072754 111.352112 -178.003296  
 0.500000  
 #brilla50 -2.027391 27.242401 -102.612244 88.513794 97.013611 -136.007446  
 0.500000  
 #brilla51 0.233759 25.443832 -103.803589 85.243958 94.374573 -134.112427  
 0.500000  
 #brilla52 -2.204281 20.937851 -109.503906 88.513794 97.819885 -115.421509  
 0.500000  
 #brilla52a 0.708295 21.257736 -109.020142 86.620300 95.596863 -115.493713

0.500000  
#brilla53 1.191693 23.187408 -108.966248 81.310486 85.011902 -128.453003  
0.500000  
#brilla54 -1.072043 27.224716 -104.893372 90.272949 92.714050 -130.922119  
0.500000  
#brilla55 0.122604 28.942764 -109.408630 80.710022 92.300964 -121.258423  
0.500000  
#brilla56 -2.380062 32.555359 -106.365356 86.382935 98.391785 -124.436462  
0.500000  
#brilla57 5.285992 22.760468 -123.066406 41.076202 70.332397 -106.650146  
0.500000  
#brilla58 16.344696 18.111847 -122.501770 -20.878006 45.464630 -77.236572  
0.500000  
#brilla58a 19.326691 18.875107 -121.326721 -25.045380 45.827332 -74.565369  
0.500000  
#brilla59 24.864548 22.322250 -119.027527 -52.867279 63.248993 -61.345367  
0.500000  
#brilla6 23.593079 50.210083 -71.971680 -196.686157 113.756226 -192.665405  
0.500000  
#brilla60 29.529755 29.145065 -110.949707 -82.878540 91.018311 -60.277893  
0.500000  
#brilla61 28.363922 35.220306 -97.452942 -107.270752 108.649170 -58.363251  
0.500000  
#brilla62 26.743484 37.245239 -95.877563 -103.210510 111.672607 -51.942383  
0.500000  
#brilla63 26.557358 38.338959 -94.998657 -108.103455 117.887695 -62.285553  
0.500000  
#brilla64 28.546722 38.356140 -99.269104 -119.055481 116.790222 -105.066101  
0.500000  
#brilla65 25.936951 39.467529 -93.993835 -105.238342 116.474365 -50.763458  
0.500000  
#brilla66 24.996017 40.616730 -90.096741 -104.489014 111.265991 -25.903854  
0.500000

#brilla67 23.461990 46.312927 -83.534119 -102.794189 115.294312 0.730841  
 0.500000  
 #brilla68 22.525467 48.644745 -81.201660 -104.907715 113.371277 18.934540  
 0.500000  
 #brilla69 22.393265 52.435577 -80.514404 -103.017090 111.931030 43.315491  
 0.500000  
 #brilla7 23.694275 54.253784 -71.216858 -188.430664 126.987244 -188.588867  
 0.500000  
 #brilla70 22.699783 54.705505 -82.146301 -102.400452 109.808777 63.960236  
 0.500000  
 #brilla71 24.059128 52.506775 -83.446960 -111.231445 100.097412 74.995056  
 0.500000  
 #brilla72 25.146317 50.258179 -85.826294 -117.416199 92.170837 87.318970  
 0.500000  
 #brilla73 27.367584 49.347382 -90.608948 -117.959900 88.734375 111.003418  
 0.500000  
 #brilla74 27.663376 49.613495 -96.314026 -116.598572 96.479248 135.317017  
 0.500000  
 #brilla75 28.765335 44.114197 -101.885132 -122.706909 101.228271 176.315186  
 0.500000  
 #brilla76 29.229904 42.469818 -102.259583 -123.747437 104.203674 190.939331  
 0.500000  
 #brilla77 29.318161 43.251007 -101.318298 -124.905579 107.167358 194.333984  
 0.500000  
 #brilla78 40.356140 31.316055 -130.720825 -150.232788 101.292175 174.683105  
 0.500000  
 #brilla8 22.867432 54.623016 -73.667419 -182.078003 136.410278 -178.975342  
 0.500000  
 #brilla9 25.304733 39.289307 -87.812683 -167.139282 74.886902 -203.675781  
 0.500000  
 #brilla9a 23.801727 39.704926 -80.504822 -185.935059 84.265991 -197.709106  
 0.500000  
 #mau1 -26.175888 42.275360 -71.253052 193.603149 92.546997 26.649368

0.500000  
#preso6 -63.933014 44.724518 -119.214294 -26.981125 75.607971 97.739075  
0.500000  
#puli0 -2.669949 8.579361 -133.430908 -142.319580 39.750000 162.690674  
0.500000  
#puli1 -3.155565 36.564178 -90.366943 -160.776733 85.361694 181.576538  
0.500000  
#puli10 -1.997109 21.800537 -113.538757 -129.380859 25.363449 150.070801  
0.500000  
#puli100 -27.557007 49.347870 -82.052063 105.121887 95.283875 -241.028320  
0.500000  
#puli101 -26.930710 45.296783 -83.304382 98.669067 100.043518 -202.514038  
0.500000  
#puli102 -26.165176 40.835968 -84.679993 106.503540 107.490173 -165.410034  
0.500000  
#puli103 -29.119858 39.549042 -92.475281 99.383545 116.733887 -128.195801  
0.500000  
#puli104 -31.380630 39.622406 -90.091858 103.711304 115.914795 -128.421143  
0.500000  
#puli105 -28.930771 38.013611 -93.135498 102.571167 113.772644 -127.352478  
0.500000  
#puli106 -31.632477 39.800201 -89.754395 103.817322 116.140930 -128.544800  
0.500000  
#puli107 -28.996887 38.054169 -93.059509 102.604736 113.828857 -127.376892  
0.500000  
#puli11 -2.797728 16.726440 -113.283875 -178.888672 25.225754 197.546265  
0.500000  
#puli118 -31.554947 28.415421 -113.140991 65.877808 87.467529 -120.242310  
0.500000  
#puli119 -20.336685 18.494568 -120.102112 25.013519 48.142914 -105.100342  
0.500000  
#puli120 -20.994400 18.606049 -116.179932 28.539337 36.687286 -107.982117  
0.500000

#puli121 -18.198502 17.724442 -117.483154 23.908722 36.191010 -104.679260  
 0.500000  
 #puli122 -22.070511 18.502426 -122.440796 20.389297 59.117554 -100.805847  
 0.500000  
 #puli123 -19.752121 16.479980 -124.956055 15.708885 64.603699 -101.571045  
 0.500000  
 #puli124 -24.485291 17.330139 -124.145081 22.678833 70.355774 -105.754028  
 0.500000  
 #puli125 -19.817474 13.884743 -124.990051 14.129242 66.384949 -101.083740  
 0.500000  
 #puli126 -23.984512 19.181259 -127.116699 13.312218 99.823730 -101.879517  
 0.500000  
 #puli127 -20.225159 18.135162 -128.821777 10.550171 100.040527 -99.687012  
 0.500000  
 #puli127a -23.988220 19.827408 -126.166870 11.499809 105.591675 -106.323242  
 0.500000  
 #puli127b -20.915741 18.947296 -127.617493 9.444199 105.842529 -104.473511  
 0.500000  
 #puli128 -24.255219 15.427498 -125.728149 15.447144 86.410461 -105.980469  
 0.500000  
 #puli129 -20.978882 14.749168 -125.565002 17.661987 72.808594 -102.672729  
 0.500000  
 #puli13 -8.697845 20.638824 -107.623535 -169.859009 27.762878 180.293701  
 0.500000  
 #puli130 -24.286972 17.788269 -124.017273 22.000168 71.550476 -104.876343  
 0.500000  
 #puli131 -19.893921 17.665268 -125.170166 16.559494 66.418335 -99.887695  
 0.500000  
 #puli132 -23.894043 20.051559 -123.652100 22.172165 67.259766 -104.457581  
 0.500000  
 #puli133 -7.271652 22.273880 -122.814514 -39.636688 74.602112 -71.103394  
 0.500000  
 #puli134 -1.024775 28.473831 -107.561768 -86.213745 92.050659 -57.358185

0.500000  
#puli135 -3.630840 28.571564 -107.391174 -84.341797 90.241882 -57.437744  
0.500000  
#puli136 -0.411018 29.039246 -106.281860 -86.465698 92.242920 -53.111450  
0.500000  
#puli137 -3.326918 29.129089 -106.124512 -84.395081 90.192749 -53.210632  
0.500000  
#puli138 -0.908818 29.963058 -104.411072 -85.876770 91.533386 -47.179047  
0.500000  
#puli139 -3.767479 30.076508 -104.211670 -83.880310 89.487854 -47.273315  
0.500000  
#puli14 -2.569138 21.610504 -115.720886 -92.830566 16.961105 104.341370  
0.500000  
#puli140 -1.076843 29.966034 -104.405823 -85.760376 91.413269 -47.183929  
0.500000  
#puli146 1.190948 13.083405 -140.577759 -78.012268 95.990540 -63.027405  
0.500000  
#puli15 -2.209820 17.858231 -119.447754 -85.264221 4.399799 105.083191  
0.500000  
#puli16 -5.468788 20.177277 -116.608582 -89.038391 9.290611 101.988464  
0.500000  
#puli16a -4.516762 19.424316 -118.512329 -66.680298 8.736908 80.525940  
0.500000  
#puli17 -7.109901 19.101471 -124.861877 16.146637 21.191574 5.690029  
0.500000  
#puli18 -9.093712 15.257858 -125.849304 49.401093 24.773438 -26.580811  
0.500000  
#puli19 -10.434967 17.687592 -127.990417 35.896057 39.782776 -14.051247  
0.500000  
#puli20 -6.851768 24.557297 -120.151550 -18.978149 36.281799 20.579849  
0.500000  
#puli21 -10.033180 25.094711 -128.647339 19.540390 62.292145 0.135885  
0.500000

#puli22	-12.358597	24.004181	-130.871948	35.184448	66.197937	-5.523540
0.500000						
#puli22a	-22.723404	24.379822	-130.107178	70.939819	78.126526	-15.407654
0.500000						
#puli23	-10.989647	29.868805	-129.320679	24.811447	82.300659	-1.552273
0.500000						
#puli24	-8.033485	30.786011	-125.360413	3.967030	75.590576	5.535786
0.500000						
#puli25	-4.081738	37.436218	-115.440247	-25.098648	87.457581	13.884750
0.500000						
#puli26	-10.143234	34.716034	-126.775085	16.709442	95.112854	0.450502
0.500000						
#puli28	-18.449615	35.296875	-128.794800	50.810486	100.699219	-0.020811
0.500000						
#puli29	-11.660645	39.925110	-125.775879	29.406723	112.423706	2.214560
0.500000						
#puli3	-3.143009	34.070343	-85.229126	-183.474487	91.257385	185.769531
0.500000						
#puli33	-21.666504	41.114136	-125.084595	64.824524	109.668640	8.980652
0.500000						
#puli34	-34.402130	44.948181	-104.390747	123.931580	108.289429	10.990776
0.500000						
#puli35	-32.615173	47.030792	-99.264648	134.035278	114.861267	12.522240
0.500000						
#puli36	-34.101929	47.969116	-96.998718	135.100220	116.381226	12.121925
0.500000						
#puli37	-33.102264	47.355560	-98.478394	134.375732	115.373352	12.359421
0.500000						
#puli38	-25.926987	52.391632	-63.811157	199.665894	128.571655	23.440781
0.500000						
#puli39	-21.642868	51.243408	-62.664886	205.435547	120.031006	29.893494
0.500000						
#puli40	-23.635925	47.959503	-70.333069	187.110474	120.533203	14.051247

0.500000  
#puli41 -22.392136 52.312286 -66.535767 195.836670 133.396240 19.245483  
0.500000  
#puli42 -23.089371 52.805023 -65.560059 196.839600 133.706055 20.202805  
0.500000  
#puli43 -22.791336 52.975677 -64.022400 202.222778 133.485840 22.545883  
0.500000  
#puli44 -21.979294 51.925659 -60.408539 209.950928 119.436279 32.224335  
0.500000  
#puli45 -21.483704 48.357239 -63.507965 204.056763 106.382202 33.951660  
0.500000  
#puli46 -23.834961 46.533142 -69.617859 187.740479 108.038086 25.652893  
0.500000  
#puli47 -23.578674 42.499268 -71.119751 193.636841 92.282776 29.242218  
0.500000  
#puli49 -26.466888 34.084106 -85.647156 176.290527 64.575562 32.476532  
0.500000  
#puli5 -4.905621 33.938507 -89.537598 -168.035645 86.200684 190.039429  
0.500000  
#puli50 -26.204697 30.025436 -94.253418 158.005981 49.688660 43.528503  
0.500000  
#puli51 -27.076202 30.584930 -89.856262 172.018677 51.741760 37.821289  
0.500000  
#puli52 -31.252869 25.531723 -99.855164 166.552124 31.085129 31.912155  
0.500000  
#puli52a -25.727203 26.635513 -99.118774 152.782959 33.732422 56.227020  
0.500000  
#puli53 -31.429367 21.907578 -109.884583 140.186890 12.841988 49.492737  
0.500000  
#puli54 -30.941559 24.157135 -107.818481 116.223328 20.003296 79.550232  
0.500000  
#puli55 -31.087418 31.800430 -103.485229 90.114258 45.514984 120.531250  
0.500000



#puli56	-32.782074	33.389099	-112.604858	49.478149	57.510345	153.024902
0.500000						
#puli58	-32.603302	27.271866	-121.373535	14.904579	44.701141	169.786377
0.500000						
#puli6	-4.609081	23.704926	-100.522766	-173.034912	57.300537	190.949097
0.500000						
#puli62	-30.798630	34.817688	-124.019104	5.218338	79.144897	179.178467
0.500000						
#puli64	-31.893951	41.411194	-117.428101	19.758713	89.667725	170.185547
0.500000						
#puli65	-31.783524	42.494354	-112.067871	35.297363	90.364990	166.603638
0.500000						
#puli66	-30.437103	48.340057	-101.433105	50.530823	102.924561	158.346436
0.500000						
#puli67	-30.798996	46.670624	-100.793091	55.723114	99.845459	162.599121
0.500000						
#puli68	-29.200363	47.958801	-86.095398	85.655640	104.486023	161.281982
0.500000						
#puli69	-26.709885	46.689301	-82.552490	99.229553	103.266724	161.032349
0.500000						
#puli7	-3.142643	20.739471	-101.390198	-183.366211	59.787262	198.328369
0.500000						
#puli70	-27.842484	45.087585	-85.969482	92.904663	105.238403	175.602539
0.500000						
#puli71	-26.380829	45.270996	-83.697632	98.868164	113.233521	186.606812
0.500000						
#puli72	-28.692566	43.410339	-89.275818	92.098083	115.178284	206.208496
0.500000						
#puli73	-28.094696	42.032806	-89.874023	99.693420	118.634155	222.481812
0.500000						
#puli74	-28.945160	41.352509	-91.644714	103.809753	121.190613	240.615723
0.500000						
#puli75	-28.103561	41.098633	-91.984802	102.454773	120.133545	236.554932

0.500000  
#puli76 -28.555191 41.799561 -90.428711 94.746033 112.934143 211.326782  
0.500000  
#puli77 -26.053650 43.791077 -84.850586 101.235962 108.957886 184.698364  
0.500000  
#puli78 -26.772278 46.379181 -82.841248 98.864136 103.941162 164.009399  
0.500000  
#puli79 -25.696182 49.277649 -78.848145 107.495422 101.654785 143.272949  
0.500000  
#puli8 -2.681768 22.780334 -105.234863 -163.895508 45.253113 180.937622  
0.500000  
#puli80 -26.312500 49.774780 -81.579102 105.391113 95.793091 129.578003  
0.500000  
#puli81 -25.965759 51.733917 -81.629700 108.435730 96.314026 119.085449  
0.500000  
#puli82 -28.264587 50.549835 -85.053345 108.929749 90.716492 100.406799  
0.500000  
#puli83 -28.176300 50.707916 -86.201111 113.896118 90.875366 86.950500  
0.500000  
#puli84 -28.790436 50.576355 -86.538269 120.516418 91.551514 72.940796  
0.500000  
#puli85 -29.033432 51.043060 -89.488525 118.284180 95.267578 62.239044  
0.500000  
#puli86 -29.492081 50.213013 -91.476013 124.812317 100.344116 40.944244  
0.500000  
#puli87 -30.370255 46.119934 -94.411072 132.089722 103.301331 10.852432  
0.500000  
#puli88 -30.222183 44.545044 -94.915161 133.332886 113.735718 -15.796944  
0.500000  
#puli89 -29.541580 42.889374 -92.291748 131.590576 123.866577 -45.990356  
0.500000  
#puli9 -7.790874 23.576767 -105.609802 -158.860107 34.212280 171.130737  
0.500000

```

#puli90      -29.592545 41.018372 -93.172180 118.740967 124.857971 -78.545227
0.500000
#puli91      -28.523453 41.235901 -90.116272 110.841736 126.403687 -108.016357
0.500000
#puli92      -28.247589 41.387878 -89.252808 103.765747 122.989380 -127.953552
0.500000
#puli93      -29.081818 40.283844 -90.369934 95.186646 110.975891 -149.488159
0.500000
#puli94      -26.537399 42.252747 -84.860901 101.543457 110.257568 -167.623413
0.500000
#puli95      -28.466202 43.947723 -85.348389 94.970093 97.903625 -196.143188
0.500000
#puli96      -26.070633 46.487244 -81.948730 103.938965 97.065796 -217.586304
0.500000
#puli97      -27.239059 49.680267 -82.837219 107.182190 94.641785 -248.912109
0.500000
#puli98      -28.317764 49.336334 -88.954468 97.160095 90.757019 -256.247070
0.500000
#puli99      -26.775238 50.876617 -82.995300 105.329834 96.628113 -252.890625
0.500000
#puli9a      -3.967632 23.175858 -106.234985 -157.202881 35.116394 166.145752
0.500000
.END
.REALS
p          2.0
pasta     1.0
rotta     0.00000
.END

```

## Anexa 2

Matricea pe baza căreia s-a trasat graficul 3D din figura 8.29 este prezentată sub o dimensiune de 30x50, fiecare element al matricei reprezentând cota pe axa „Z” a graficului. Aceste puncte s-au obținut prin interpolarea punctelor țintă cu ajutorul curbelor B-spline :

20	19.504	19.04	18.6	18.18	17.78	17.4	17.04	16.7	16.381	16.085	15.81	15.557	15.324	15.106	14.891	14.678	14.478	14.296	14.133	13.986	13.856	13.739	13.632	13.534	13.44	13.345	13.246	13.134	13
20.291	19.781	19.303	18.849	18.416	18.001	17.606	17.231	16.877	16.544	16.234	15.947	15.683	15.439	15.212	14.99	14.774	14.572	14.389	14.226	14.08	13.952	13.837	13.734	13.639	13.548	13.457	13.361	13.252	13.12
20.595	20.071	19.577	19.107	18.657	18.227	17.815	17.424	17.054	16.706	16.381	16.08	15.802	15.545	15.306	15.078	14.859	14.657	14.474	14.311	14.167	14.04	13.927	13.827	13.734	13.646	13.558	13.464	13.358	13.227
20.908	20.37	19.86	19.372	18.904	18.456	18.027	17.619	17.232	16.867	16.526	16.209	15.915	15.645	15.394	15.158	14.937	14.734	14.551	14.389	14.246	14.121	14.011	13.912	13.822	13.736	13.65	13.558	13.453	13.325
21.229	20.677	20.149	19.643	19.157	18.69	18.242	17.816	17.41	17.028	16.669	16.335	16.025	15.74	15.476	15.233	15.008	14.804	14.622	14.461	14.319	14.196	14.087	13.99	13.902	13.819	13.734	13.644	13.54	13.415
21.556	20.99	20.445	19.92	19.414	18.927	18.46	18.014	17.59	17.189	16.812	16.459	16.133	15.831	15.555	15.303	15.074	14.869	14.687	14.527	14.387	14.265	14.158	14.063	13.976	13.894	13.811	13.722	13.62	13.499
21.887	21.308	20.745	20.2	19.674	19.167	18.68	18.215	17.771	17.35	16.954	16.583	16.239	15.921	15.632	15.371	15.138	14.931	14.749	14.59	14.451	14.33	14.224	14.13	14.044	13.963	13.882	13.795	13.695	13.578
22.223	21.629	21.049	20.485	19.938	19.41	18.903	18.417	17.954	17.513	17.098	16.708	16.345	16.011	15.709	15.439	15.2	14.992	14.81	14.651	14.512	14.392	14.286	14.193	14.108	14.028	13.948	13.863	13.766	13.653
22.561	21.953	21.355	20.771	20.204	19.656	19.128	18.622	18.139	17.679	17.244	16.835	16.453	16.103	15.786	15.506	15.263	15.053	14.87	14.71	14.572	14.451	14.346	14.253	14.168	14.089	14.01	13.927	13.833	13.724
22.901	22.278	21.663	21.059	20.472	19.904	19.356	18.83	18.326	17.847	17.392	16.964	16.565	16.197	15.866	15.576	15.328	15.115	14.931	14.771	14.631	14.51	14.404	14.31	14.226	14.147	14.069	13.988	13.898	13.793
23.242	22.604	21.97	21.347	20.741	20.153	19.585	19.04	18.517	18.019	17.545	17.099	16.682	16.296	15.95	15.65	15.398	15.182	14.995	14.833	14.692	14.569	14.462	14.367	14.281	14.202	14.125	14.046	13.96	13.859
23.581	22.928	22.276	21.635	21.01	20.403	19.817	19.252	18.711	18.194	17.703	17.239	16.805	16.403	16.041	15.731	15.474	15.254	15.064	14.899	14.755	14.629	14.52	14.423	14.336	14.256	14.18	14.102	14.019	13.924
23.917	23.248	22.58	21.922	21.279	20.655	20.05	19.468	18.909	18.375	17.867	17.386	16.936	16.52	16.143	15.823	15.559	15.334	15.139	14.969	14.821	14.692	14.58	14.48	14.391	14.31	14.233	14.156	14.076	13.985
24.244	23.563	22.881	22.208	21.549	20.907	20.286	19.686	19.111	18.56	18.036	17.541	17.077	16.648	16.26	15.93	15.656	15.423	15.22	15.045	14.892	14.759	14.642	14.539	14.448	14.364	14.286	14.209	14.13	14.042
24.564	23.873	23.179	22.492	21.818	21.161	20.524	19.908	19.317	18.751	18.212	17.703	17.227	16.787	16.392	16.051	15.765	15.521	15.31	15.127	14.968	14.83	14.708	14.601	14.506	14.42	14.339	14.262	14.182	14.096
24.882	24.18	23.475	22.776	22.088	21.416	20.764	20.133	19.527	18.947	18.395	17.874	17.386	16.937	16.534	16.183	15.883	15.628	15.407	15.216	15.05	14.906	14.779	14.667	14.568	14.478	14.395	14.315	14.236	14.151
25.2	24.487	23.771	23.059	22.359	21.673	21.007	20.362	19.742	19.149	18.584	18.051	17.554	17.096	16.684	16.323	16.011	15.744	15.513	15.313	15.139	14.987	14.855	14.738	14.633	14.539	14.453	14.371	14.291	14.209
25.519	24.794	24.067	23.344	22.63	21.932	21.253	20.595	19.962	19.356	18.78	18.236	17.729	17.262	16.842	16.47	16.147	15.867	15.626	15.417	15.235	15.076	14.936	14.814	14.704	14.606	14.516	14.432	14.351	14.27
25.84	25.103	24.364	23.629	22.904	22.194	21.502	20.832	20.187	19.569	18.982	18.428	17.911	17.436	17.006	16.624	16.29	15.999	15.747	15.528	15.338	15.171	15.025	14.896	14.782	14.679	14.584	14.497	14.416	14.337

26.163 25.414 24.664 23.917 23.181 22.458 21.755 21.073 20.416 19.788 19.19 18.626 18.1 17.616 17.177 16.785 16.44 16.138 15.876 15.647 15.448 15.274 15.121 14.987 14.866 14.758 14.66 14.57 14.487 14.411  
26.489 25.728 24.966 24.208 23.46 22.727 22.012 21.319 20.652 20.012 19.404 18.831 18.295 17.802 17.353 16.952 16.597 16.285 16.012 15.775 15.567 15.385 15.226 15.085 14.959 14.847 14.745 14.652 14.568 14.492  
26.819 26.046 25.272 24.502 23.743 22.999 22.273 21.57 20.892 20.243 19.625 19.042 18.497 17.994 17.536 17.125 16.76 16.439 16.157 15.91 15.694 15.505 15.339 15.192 15.062 14.945 14.839 14.743 14.657 14.583  
27.152 26.367 25.581 24.8 24.03 23.276 22.54 21.827 21.139 20.48 19.852 19.26 18.706 18.193 17.726 17.305 16.931 16.6 16.309 16.054 15.83 15.634 15.462 15.31 15.174 15.053 14.944 14.845 14.758 14.685  
27.489 26.691 25.893 25.101 24.321 23.557 22.812 22.089 21.392 20.723 20.086 19.484 18.92 18.399 17.921 17.491 17.108 16.768 16.469 16.206 15.975 15.772 15.594 15.437 15.298 15.173 15.061 14.96 14.872 14.799  
27.829 27.019 26.209 25.407 24.618 23.844 23.09 22.358 21.651 20.972 20.326 19.715 19.142 18.611 18.124 17.685 17.293 16.945 16.637 16.366 16.128 15.92 15.737 15.576 15.433 15.306 15.192 15.09 15.001 14.929  
28.17 27.349 26.529 25.718 24.92 24.138 23.375 22.633 21.917 21.229 20.573 19.952 19.37 18.83 18.334 17.886 17.485 17.129 16.813 16.535 16.291 16.078 15.891 15.726 15.581 15.452 15.337 15.236 15.147 15.077  
28.512 27.682 26.854 26.035 25.229 24.439 23.667 22.917 22.191 21.493 20.827 20.197 19.606 19.056 18.552 18.095 17.685 17.321 16.997 16.713 16.464 16.246 16.055 15.888 15.741 15.612 15.497 15.397 15.312 15.247  
28.861 28.021 27.185 26.359 25.546 24.748 23.968 23.208 22.473 21.765 21.089 20.449 19.848 19.29 18.777 18.311 17.893 17.52 17.19 16.9 16.646 16.424 16.231 16.062 15.915 15.786 15.672 15.575 15.494 15.432  
29.217 28.367 27.525 26.692 25.872 25.067 24.278 23.509 22.763 22.045 21.359 20.708 20.098 19.53 19.008 18.534 18.107 17.727 17.391 17.095 16.837 16.613 16.418 16.248 16.101 15.973 15.862 15.768 15.691 15.633  
29.583 28.724 27.875 27.036 26.209 25.396 24.598 23.819 23.063 22.333 21.636 20.975 20.354 19.777 19.246 18.764 18.329 17.941 17.599 17.299 17.038 16.811 16.616 16.447 16.301 16.175 16.067 15.976 15.902 15.848  
29.961 29.093 28.236 27.392 26.559 25.738 24.93 24.14 23.372 22.631 21.921 21.249 20.617 20.03 19.491 18.999 18.557 18.163 17.815 17.511 17.248 17.021 16.825 16.658 16.514 16.391 16.286 16.198 16.128 16.077  
30.353 29.475 28.613 27.762 26.922 26.092 25.275 24.473 23.692 22.937 22.215 21.53 20.887 20.29 19.741 19.241 18.791 18.391 18.039 17.732 17.467 17.24 17.047 16.881 16.74 16.62 16.519 16.435 16.369 16.32  
30.76 29.874 29.006 28.15 27.302 26.462 25.633 24.818 24.022 23.253 22.517 21.819 21.164 20.556 19.997 19.489 19.032 18.626 18.269 17.961 17.696 17.47 17.279 17.117 16.98 16.864 16.767 16.686 16.623 16.577  
31.185 30.291 29.418 28.555 27.699 26.848 26.005 25.175 24.365 23.58 22.827 22.114 21.446 20.827 20.259 19.742 19.278 18.866 18.507 18.198 17.934 17.711 17.523 17.365 17.233 17.122 17.029 16.952 16.892 16.848  
31.631 30.73 29.852 28.983 28.116 27.252 26.394 25.547 24.718 23.916 23.146 22.417 21.735 21.104 20.526 20.001 19.529 19.113 18.752 18.442 18.181 17.961 17.778 17.626 17.499 17.394 17.306 17.233 17.175 17.134  
32.101 31.194 30.311 29.433 28.554 27.675 26.799 25.933 25.085 24.262 23.474 22.728 22.03 21.386 20.797 20.264 19.785 19.365 19.003 18.695 18.437 18.222 18.045 17.899 17.779 17.68 17.598 17.53 17.474 17.434  
32.6 31.69 30.8 29.91 29.015 28.116 27.22 26.333 25.463 24.619 23.81 23.045 22.33 21.672 21.073 20.531 20.046 19.623 19.261 18.955 18.702 18.493 18.323 18.185 18.073 17.981 17.905 17.842 17.79 17.751  
33.141 32.223 31.32 30.412 29.498 28.578 27.658 26.748 25.854 24.987 24.155 23.369 22.635 21.961 21.351 20.8 20.309 19.885 19.525 19.224 18.976 18.775 18.613 18.483 18.38 18.296 18.228 18.171 18.123 18.086  
33.732 32.795 31.871 30.942 30.003 29.058 28.113 27.176 26.257 25.365 24.509 23.7 22.946 22.255 21.63 21.07 20.577 20.153 19.796 19.5 19.26 19.067 18.914 18.794 18.7 18.626 18.566 18.516 18.474 18.442  
34.355 33.4 32.451 31.495 30.529 29.557 28.584 27.619 26.673 25.754 24.872 24.039 23.263 22.553 21.913 21.345 20.849 20.427 20.074 19.786 19.553 19.37 19.226 19.116 19.033 18.968 18.918 18.877 18.842 18.813  
35.001 34.029 33.055 32.07 31.075 30.072 29.069 28.076 27.1 26.153 25.245 24.386 23.587 22.857 22.202 21.625 21.127 20.708 20.361 20.081 19.857 19.684 19.551 19.451 19.378 19.324 19.284 19.252 19.224 19.198  
35.665 34.678 33.678 32.663 31.636 30.602 29.568 28.544 27.539 26.564 25.628 24.743 23.919 23.168 22.497 21.912 21.413 20.997 20.657 20.386 20.172 20.009 19.887 19.798 19.736 19.693 19.662 19.639 19.618 19.596  
36.34 35.339 34.315 33.27 32.21 31.144 30.079 29.024 27.99 26.985 26.021 25.109 24.26 23.487 22.8 22.207 21.707 21.296 20.964 20.702 20.499 20.346 20.235 20.157 20.105 20.072 20.052 20.038 20.023 20.003  
37.024 36.01 34.961 33.886 32.794 31.695 30.599 29.514 28.451 27.418 26.426 25.486 24.612 23.817 23.114 22.512 22.012 21.606 21.283 21.031 20.839 20.696 20.594 20.526 20.485 20.462 20.452 20.446 20.438 20.42  
37.712 36.684 35.611 34.506 33.383 32.253 31.127 30.013 28.922 27.861 26.842 25.876 24.976 24.158 23.438 22.828 22.329 21.93 21.617 21.374 21.191 21.058 20.966 20.907 20.875 20.861 20.86 20.863 20.86 20.844  
38.398 37.358 36.261 35.127 33.974 32.815 31.661 30.52 29.402 28.317 27.272 26.281 25.356 24.514 23.776 23.158 22.662 22.271 21.966 21.733 21.559 21.433 21.349 21.298 21.274 21.269 21.275 21.286 21.289 21.274  
39.078 38.025 36.904 35.743 34.562 33.377 32.198 31.033 29.892 28.783 27.716 26.701 25.753 24.887 24.13 23.505 23.013 22.63 22.334 22.109 21.941 21.823 21.744 21.699 21.681 21.682 21.696 21.713 21.722 21.708  
39.745 38.678 37.534 36.349 35.145 33.938 32.737 31.552 30.391 29.262 28.175 27.14 26.17 25.283 24.506 23.873 23.387 23.012 22.723 22.503 22.34 22.226 22.151 22.11 22.096 22.101 22.12 22.142 22.155 22.143  
40.391 39.309 38.144 36.94 35.719 34.494 33.276 32.074 30.897 29.752 28.65 27.599 26.612 25.706 24.908 24.269 23.79 23.42 23.135 22.917 22.756 22.643 22.57 22.53 22.517 22.525 22.545 22.569 22.586 22.576  
41 39.905 38.729 37.513 36.28 35.043 33.813 32.6 31.411 30.254 29.14 28.078 27.08 26.162 25.351 24.705 24.228 23.857 23.57 23.351 23.189 23.074 23 22.959 22.945 22.951 22.97 22.994 23.01 23

Matricea pe baza căreia s-a trasat graficul 3D din figura 8.29 este prezentată în cele ce urmează :

7	7.032	7.0782	7.1356	7.202	7.2753	7.3535	7.4351	7.5184	7.6021	7.685	7.7658	7.843	7.9143	7.9758	8.0161	8.0352	8.0446	8.0484	8.0488	8.0472	8.0446	8.0417	8.039	8.0369	8.0354	8.0338	8.0305	8.022	8
7.0537	7.0824	7.1258	7.1807	7.2446	7.3153	7.3906	7.4688	7.5482	7.6275	7.7054	7.7809	7.8524	7.9178	7.9729	8.0084	8.0244	8.0303	8.0305	8.0271	8.0214	8.0146	8.0072	8	7.9934	7.9874	7.9817	7.9747	7.9628	7.9374
7.1121	7.1374	7.1777	7.2297	7.2908	7.3584	7.4304	7.5047	7.5797	7.6539	7.726	7.795	7.8595	7.9174	7.9645	7.9949	8.0086	8.0119	8.009	8.0021	7.9925	7.9811	7.9689	7.9566	7.9447	7.9334	7.9224	7.9102	7.8931	7.864
7.1749	7.1969	7.2338	7.2828	7.3408	7.4052	7.4735	7.5435	7.6135	7.6819	7.7475	7.8091	7.8655	7.9148	7.9537	7.9787	7.9897	7.9907	7.985	7.9747	7.9611	7.9451	7.9277	7.9097	7.8917	7.8742	7.8569	7.8385	7.8157	7.7835
7.2419	7.2606	7.2943	7.3402	7.395	7.4559	7.5202	7.5856	7.6501	7.7123	7.7707	7.8242	7.8718	7.9119	7.9426	7.9617	7.9694	7.968	7.9596	7.946	7.9283	7.9073	7.8843	7.86	7.8354	7.811	7.7867	7.7615	7.733	7.698
7.3134	7.3289	7.3594	7.4022	7.4539	7.5111	7.5712	7.6316	7.6904	7.7458	7.7965	7.8414	7.8795	7.9102	7.9325	7.9455	7.9495	7.9453	7.9342	7.9172	7.895	7.8688	7.8397	7.8087	7.7769	7.745	7.7131	7.6809	7.6469	7.6094
7.3894	7.4017	7.4294	7.4693	7.5177	7.5712	7.6268	7.6821	7.7348	7.7833	7.826	7.8618	7.8903	7.9112	7.9248	7.9315	7.9313	7.9242	7.9101	7.8893	7.8625	7.8307	7.795	7.7569	7.7173	7.6774	7.6377	7.5983	7.5589	7.519
7.4702	7.4796	7.5046	7.5417	7.5869	7.6366	7.6876	7.7376	7.7842	7.8255	7.86	7.8867	7.9053	7.9162	7.9209	7.921	7.9165	7.9062	7.8888	7.8639	7.8319	7.794	7.7514	7.7056	7.6579	7.6097	7.5619	7.5152	7.4704	7.4281
7.5564	7.5629	7.5856	7.62	7.662	7.7077	7.7541	7.7986	7.8389	7.8731	7.8996	7.9173	7.9259	7.9265	7.922	7.9153	7.9065	7.8927	7.8716	7.842	7.8044	7.7598	7.7098	7.6559	7.5999	7.5432	7.4871	7.4332	7.3829	7.3382
7.6484	7.6523	7.6728	7.7048	7.7433	7.7849	7.8265	7.8655	7.8996	7.9269	7.9456	7.9545	7.9534	7.9437	7.9295	7.9158	7.9027	7.8854	7.8599	7.825	7.781	7.7292	7.6713	7.6091	7.5444	7.4791	7.4148	7.3536	7.2978	7.2506
7.747	7.7485	7.7672	7.7964	7.8314	7.8686	7.9051	7.9386	7.9666	7.9873	7.9987	7.9995	7.9892	7.9693	7.945	7.9242	7.9071	7.8857	7.8551	7.814	7.7628	7.7032	7.6369	7.566	7.4926	7.4187	7.3463	7.2779	7.2164	7.1665
7.8533	7.8529	7.8696	7.8956	7.9265	7.9589	7.9902	8.018	8.0402	8.0546	8.0594	8.0529	8.0345	8.0053	7.9705	7.9425	7.9215	7.8951	7.8582	7.8097	7.7506	7.6825	7.6074	7.5276	7.4454	7.3631	7.2829	7.2076	7.1406	7.0877
7.9691	7.967	7.9807	8.0026	8.0287	8.0558	8.0816	8.1037	8.1202	8.1289	8.1278	8.1153	8.0903	8.0535	8.0093	7.9742	7.9482	7.9149	7.8701	7.813	7.745	7.6677	7.5835	7.4948	7.4038	7.3132	7.2257	7.1442	7.0724	7.0162
8.099	8.0922	8.1009	8.1176	8.138	8.1593	8.1792	8.1956	8.2066	8.21	8.204	8.1866	8.1568	8.1151	8.0658	8.0236	7.9883	7.9456	7.891	7.8242	7.7463	7.6594	7.5658	7.468	7.3685	7.2701	7.1756	7.0887	7.0135	6.9564
8.2404	8.2277	8.2299	8.2401	8.2541	8.269	8.2827	8.2932	8.2988	8.2975	8.2873	8.2665	8.2337	8.1893	8.1377	8.0884	8.0413	7.9869	7.921	7.8431	7.7547	7.6577	7.5547	7.448	7.3401	7.2342	7.1334	7.0418	6.9642	6.9069
8.3897	8.3717	8.3667	8.3697	8.3764	8.3844	8.3915	8.396	8.3962	8.3905	8.3769	8.3537	8.3193	8.2739	8.2204	8.1641	8.105	8.0377	7.9592	7.8694	7.7699	7.6628	7.5503	7.4349	7.3192	7.2061	7.0995	7.0037	6.924	6.8662
8.5454	8.5222	8.5101	8.5053	8.5044	8.5049	8.5049	8.5031	8.498	8.4881	8.4717	8.4469	8.412	8.3662	8.3106	8.2475	8.1769	8.0963	8.0045	7.9024	7.7916	7.6744	7.5528	7.4292	7.306	7.1864	7.0742	6.9744	6.8926	6.8339
8.7061	8.678	8.6589	8.6462	8.6371	8.6297	8.6223	8.6138	8.6031	8.589	8.57	8.5443	8.5095	8.4638	8.4062	8.3366	8.2548	8.1609	8.0556	7.941	7.8191	7.6922	7.5621	7.4309	7.301	7.1753	7.058	6.9542	6.8699	6.8103
8.8711	8.8381	8.8121	8.7913	8.7738	8.7579	8.7426	8.727	8.7104	8.6919	8.6704	8.6438	8.6096	8.5644	8.505	8.4291	8.3365	8.2293	8.1107	7.9839	7.8516	7.7157	7.5781	7.4403	7.3045	7.1734	7.0512	6.9434	6.8563	6.7957
9.0395	9.0016	8.9687	8.9398	8.9135	8.8888	8.865	8.8417	8.8187	8.7953	8.7708	8.7434	8.7099	8.6657	8.6049	8.523	8.4197	8.2996	8.1681	8.0299	7.8881	7.7445	7.6005	7.4574	7.3167	7.1812	7.0546	6.9427	6.8525	6.7907
9.2107	9.1679	9.1281	9.0909	9.0555	9.0215	8.9887	8.957	8.9267	8.8977	8.8696	8.8407	8.8079	8.7651	8.7037	8.6161	8.5022	8.3692	8.2257	8.0774	7.9276	7.7779	7.6292	7.4822	7.3381	7.1992	7.069	6.9531	6.8594	6.7962
9.384	9.3362	9.2895	9.2438	9.1991	9.1553	9.1127	9.0719	9.0334	8.9977	8.9648	8.9336	8.9009	8.8598	8.7988	8.7059	8.581	8.4357	8.2815	8.1249	7.9691	7.8153	7.6638	7.5148	7.3691	7.2282	7.0953	6.9759	6.8784	6.8134
9.559	9.5061	9.4523	9.398	9.3435	9.2894	9.2364	9.1855	9.1376	9.0939	9.0547	9.0196	8.9858	8.9463	8.887	8.7893	8.6529	8.4963	8.3333	8.1709	8.0116	7.8561	7.7041	7.5554	7.41	7.269	7.1349	7.0127	6.9112	6.8441
9.7351	9.677	9.616	9.5528	9.4883	9.4233	9.3592	9.2971	9.2387	9.1853	9.138	9.0968	9.0597	9.0205	8.9641	8.8619	8.7137	8.5479	8.3794	8.2143	8.0545	7.9	7.7501	7.6039	7.4611	7.3221	7.189	7.0657	6.9606	6.8905
9.9117	9.8484	9.7801	9.7079	9.6329	9.5566	9.4806	9.4064	9.3361	9.2713	9.2135	9.1635	9.1199	9.0776	9.0232	8.9169	8.7587	8.588	8.4182	8.2541	8.0972	7.9466	7.8014	7.6603	7.5226	7.3882	7.2585	7.1369	7.0306	6.9568
10.088	10.02	9.9441	9.8627	9.7771	9.689	9.6003	9.5131	9.4295	9.3516	9.2811	9.2191	9.1649	9.114	9.0532	8.9434	8.7843	8.6152	8.449	8.2902	8.1394	7.9959	7.8581	7.7246	7.5944	7.4673	7.3441	7.2278	7.1252	7.0533
10.264	10.191	10.108	10.017	9.9205	9.8202	9.7184	9.6173	9.5192	9.4264	9.3409	9.2639	9.1951	9.1299	9.0546	8.9416	8.7909	8.6299	8.4723	8.3227	8.1816	8.048	7.9202	7.7967	7.6764	7.559	7.4452	7.3379	7.2441	7.1795
10.44	10.361	10.271	10.171	10.063	9.9501	9.8348	9.7192	9.6056	9.4965	9.394	9.2994	9.2127	9.1298	9.0389	8.9232	8.7826	8.6341	8.4894	8.3526	8.2243	8.1031	7.9876	7.8762	7.768	7.6626	7.5607	7.465	7.3822	7.3243
10.614	10.531	10.433	10.323	10.204	10.079	9.9498	9.8192	9.6896	9.5632	9.4421	9.328	9.2213	9.1191	9.0138	8.8958	8.7651	8.6314	8.5025	8.3816	8.2684	8.1619	8.0605	7.963	7.8685	7.7768	7.6886	7.6062	7.5349	7.4826
10.787	10.699	10.594	10.475	10.344	10.207	10.064	9.9182	9.7723	9.628	9.4874	9.3526	9.2246	9.103	8.9843	8.8643	8.7433	8.6255	8.5146	8.4114	8.3153	8.225	8.139	8.0565	7.977	7.9003	7.8269	7.7585	7.6984	7.6511
10.959	10.866	10.753	10.624	10.483	10.333	10.177	10.017	9.855	9.6928	9.5326	9.3765	9.2269	9.0859	8.9545	8.8331	8.7217	8.6204	8.5286	8.4446	8.3666	8.2932	8.2234	8.1565	8.0924	8.0312	7.9731	7.9189	7.8697	7.8271
11.128	11.03	10.91	10.772	10.621	10.459	10.29	10.117	9.9392	9.7598	9.5804	9.4034	9.2323	9.0721	8.9284	8.8058	8.7043	8.6202	8.548	8.4835	8.4239	8.3676	8.3138	8.2625	8.2137	8.1679	8.125	8.0848	8.0461	8.0079

11.294 11.192 11.065 10.918 10.756 10.584 10.404 10.218 10.026 9.8312 9.6338 9.4368 9.2449 9.0656 8.9096 8.7861 8.6953 8.6287 8.5762 8.5308 8.4889 8.449 8.4105 8.3739 8.3397 8.3085 8.2802 8.2535 8.2253 8.1912  
11.457 11.35 11.215 11.06 10.89 10.709 10.519 10.322 10.118 9.9091 9.6957 9.4807 9.2692 9.0711 8.9022 8.7781 8.6991 8.6503 8.6166 8.5891 8.5635 8.5383 8.5136 8.4902 8.4692 8.4512 8.4363 8.4224 8.4044 8.3744  
11.614 11.503 11.361 11.199 11.021 10.833 10.635 10.43 10.216 9.9956 9.769 9.5386 9.3098 9.0938 8.911 8.7865 8.7208 8.6895 8.6729 8.6608 8.649 8.6363 8.6233 8.611 8.601 8.5943 8.5909 8.5884 8.5804 8.5547  
11.764 11.648 11.501 11.332 11.15 10.956 10.753 10.541 10.321 10.092 9.8561 9.6142 9.3717 9.1398 8.9421 8.8175 8.7664 8.7509 8.7481 8.7481 8.7469 8.7438 8.7396 8.7358 8.7342 8.736 8.7414 8.7483 8.7494 8.7285  
11.904 11.784 11.632 11.46 11.275 11.079 10.873 10.658 10.434 10.201 9.9591 9.7103 9.4593 9.2165 9.0046 8.88 8.8433 8.8389 8.8451 8.8526 8.8581 8.861 8.8625 8.8641 8.8678 8.875 8.8859 8.8986 8.9065 8.891  
12.029 11.907 11.754 11.582 11.397 11.201 10.996 10.781 10.556 10.322 10.079 9.8288 9.5759 9.3305 9.1143 8.9899 8.9579 8.9566 8.9653 8.9753 8.9831 8.9882 8.9918 8.9955 9.0012 9.0101 9.0226 9.0366 9.0457 9.0318  
12.132 12.015 11.866 11.698 11.516 11.323 11.121 10.909 10.687 10.456 10.216 9.97 9.7221 9.4834 9.2782 9.1541 9.1118 9.1044 9.1091 9.1161 9.1216 9.1251 9.1272 9.1296 9.1338 9.141 9.151 9.1614 9.1649 9.1431  
12.225 12.112 11.97 11.808 11.632 11.445 11.248 11.042 10.827 10.602 10.37 10.133 9.8958 9.6706 9.4804 9.3567 9.3002 9.2802 9.2751 9.2742 9.2732 9.2711 9.2684 9.2661 9.2656 9.2675 9.2714 9.2743 9.2682 9.2385  
12.309 12.201 12.067 11.914 11.746 11.567 11.378 11.18 10.974 10.76 10.539 10.315 10.093 9.8846 9.7085 9.5853 9.5156 9.48 9.4607 9.4478 9.4366 9.4256 9.4147 9.4048 9.3965 9.3903 9.385 9.3775 9.3606 9.3237  
12.389 12.286 12.16 12.016 11.858 11.689 11.511 11.324 11.129 10.928 10.722 10.513 10.309 10.118 9.9552 9.8326 9.751 9.6987 9.6628 9.6348 9.6103 9.5873 9.5657 9.5454 9.5269 9.5099 9.4933 9.4738 9.4458 9.4019  
12.464 12.366 12.249 12.116 11.969 11.812 11.645 11.471 11.29 11.104 10.914 10.724 10.539 10.366 10.215 10.093 10.001 9.9316 9.8776 9.8323 9.7922 9.7551 9.7204 9.6878 9.657 9.6275 9.5978 9.5655 9.5262 9.4755  
12.538 12.445 12.336 12.214 12.08 11.935 11.782 11.622 11.456 11.286 11.114 10.944 10.779 10.624 10.484 10.362 10.26 10.174 10.101 10.038 9.9803 9.9276 9.8783 9.8317 9.7871 9.7438 9.7002 9.6544 9.6038 9.5462  
12.611 12.523 12.423 12.313 12.191 12.06 11.92 11.775 11.624 11.472 11.319 11.168 11.023 10.886 10.757 10.636 10.524 10.422 10.33 10.248 10.172 10.103 10.038 9.9769 9.9177 9.8598 9.8017 9.7423 9.6803 9.6158  
12.683 12.601 12.511 12.412 12.303 12.185 12.06 11.929 11.795 11.66 11.525 11.395 11.269 11.149 11.031 10.911 10.789 10.671 10.561 10.459 10.367 10.28 10.2 10.123 10.049 9.9763 9.9037 9.8306 9.7573 9.6856  
12.757 12.681 12.6 12.512 12.416 12.311 12.2 12.084 11.966 11.848 11.731 11.619 11.512 11.409 11.303 11.183 11.051 10.917 10.789 10.67 10.56 10.458 10.362 10.27 10.181 10.094 10.007 9.9208 9.836 9.7569  
12.833 12.763 12.692 12.615 12.53 12.438 12.341 12.239 12.136 12.033 11.934 11.838 11.749 11.661 11.567 11.448 11.305 11.157 11.013 10.878 10.752 10.635 10.524 10.417 10.315 10.214 10.114 10.015 9.9184 9.8315  
12.913 12.85 12.788 12.72 12.647 12.566 12.481 12.393 12.304 12.215 12.13 12.05 11.975 11.901 11.819 11.7 11.547 11.386 11.229 11.08 10.941 10.809 10.684 10.565 10.449 10.336 10.224 10.113 10.006 9.9114  
13 12.943 12.888 12.829 12.765 12.695 12.622 12.545 12.468 12.393 12.32 12.252 12.187 12.123 12.049 11.932 11.771 11.602 11.435 11.275 11.124 10.981 10.844 10.712 10.585 10.461 10.338 10.218 10.103 10

Matricea pe baza căreia s-a trasat graficul 3D din figura 8.31 este prezentată mai jos :

6	6.1168	6.2515	6.3992	6.5561	6.7188	6.8844	7.0499	7.2125	7.3697	7.5189	7.6576	7.7826	7.8898	7.9725	8.0127	8.0107	7.9843	7.9402	7.8828	7.8148	7.7387	7.6565	7.5699	7.4805	7.3894	7.2973	7.2038	7.1068	7
6.0532	6.1672	6.2999	6.4459	6.6013	6.7625	6.9261	7.0892	7.2488	7.4024	7.5475	7.6813	7.8009	7.9021	7.9778	8.0133	8.0087	7.9788	7.9309	7.8691	7.7964	7.7152	7.6276	7.5355	7.4406	7.3441	7.2469	7.1488	7.0476	6.9369
6.1118	6.2229	6.3528	6.4966	6.6499	6.8089	6.97	7.13	7.2858	7.4349	7.5744	7.702	7.8144	7.9074	7.974	8.0044	7.9986	7.9668	7.9159	7.8505	7.7735	7.6873	7.5942	7.4962	7.3952	7.2926	7.1893	7.0853	6.9786	6.8637
6.1751	6.2833	6.4102	6.5514	6.7022	6.8585	7.0165	7.1728	7.3241	7.4677	7.6008	7.7208	7.8245	7.9081	7.9654	7.9904	7.9829	7.9497	7.8966	7.828	7.7469	7.6557	7.5569	7.4527	7.3451	7.2356	7.1255	7.0149	6.9021	6.7837
6.2427	6.348	6.472	6.6104	6.7585	6.9117	7.0662	7.2181	7.3643	7.5017	7.6275	7.7389	7.8332	7.9066	7.9549	7.974	7.9641	7.9294	7.8744	7.8028	7.7176	7.6215	7.5168	7.406	7.2912	7.1744	7.0569	6.9392	6.8204	6.6988
6.3147	6.4172	6.5383	6.6739	6.819	6.969	7.1195	7.2667	7.4072	7.5378	7.6556	7.7579	7.842	7.9051	7.9443	7.9573	7.9443	7.9078	7.8508	7.7763	7.687	7.5857	7.4748	7.3571	7.2348	7.1101	6.9848	6.8597	6.7352	6.6107
6.391	6.4908	6.6093	6.7422	6.8844	7.0308	7.1771	7.3192	7.4536	7.577	7.6865	7.7792	7.8528	7.9053	7.9353	7.942	7.9255	7.8867	7.8275	7.7498	7.6563	7.5495	7.4322	7.3071	7.1769	7.0441	6.9106	6.7782	6.6479	6.5206
6.472	6.5691	6.6853	6.8157	6.9548	7.0975	7.2393	7.3761	7.5043	7.6203	7.7211	7.8041	7.8671	7.909	7.9297	7.9298	7.9093	7.868	7.8061	7.725	7.6267	7.5141	7.3899	7.2573	7.1189	6.9776	6.8359	6.6959	6.5599	6.4299
6.558	6.6527	6.7668	6.8948	7.0309	7.1697	7.3068	7.4381	7.5598	7.6684	7.7607	7.8341	7.8865	7.9176	7.9288	7.9221	7.8976	7.8534	7.7884	7.7031	7.5997	7.4807	7.3493	7.2087	7.062	6.9121	6.7619	6.6144	6.4727	6.3399
6.6498	6.7421	6.8545	6.9802	7.113	7.2478	7.38	7.5056	7.6209	7.7222	7.8063	7.8704	7.9126	7.9329	7.9342	7.9205	7.8919	7.8446	7.7758	7.6857	7.5763	7.4505	7.3115	7.1626	7.0073	6.8487	6.6902	6.5352	6.3876	6.2519
6.7479	6.8383	6.9491	7.0723	7.2016	7.332	7.4591	7.579	7.688	7.7823	7.8587	7.9141	7.9467	7.9566	7.9475	7.9267	7.8943	7.8432	7.7697	7.6739	7.5578	7.4245	7.2774	7.12	6.956	6.7889	6.6222	6.4597	6.3061	6.1674
6.8537	6.9425	7.0516	7.1718	7.2971	7.4227	7.5445	7.6586	7.7613	7.8491	7.9184	7.9662	7.9903	7.9905	7.9709	7.943	7.9068	7.851	7.7715	7.6688	7.5451	7.4036	7.248	7.0819	6.9093	6.7337	6.5591	6.3896	6.2302	6.0881
6.9691	7.0565	7.163	7.2792	7.3996	7.5199	7.636	7.7443	7.8411	7.9228	7.9859	8.0273	8.0444	8.0369	8.0078	7.9727	7.9316	7.8691	7.7821	7.6711	7.5388	7.3885	7.2241	7.0492	6.8679	6.6842	6.5022	6.3264	6.1619	6.0163
7.0993	7.182	7.2835	7.3944	7.5092	7.6235	7.7336	7.836	7.927	8.0032	8.0611	8.0973	8.1094	8.0967	8.0624	8.0201	7.9699	7.8982	7.8017	7.6812	7.5394	7.3798	7.2062	7.0225	6.8328	6.6413	6.4525	6.2713	6.1033	5.9566
7.2412	7.3181	7.4129	7.5173	7.6255	7.7333	7.8371	7.9333	8.0188	8.0899	8.1435	8.176	8.1848	8.1693	8.1325	8.0831	8.0212	7.9381	7.8305	7.6992	7.5471	7.3777	7.1948	7.0024	6.8045	6.6056	6.4106	6.2248	6.0546	5.9077
7.3912	7.4626	7.5502	7.6471	7.7481	7.8488	7.9458	8.0358	8.1157	8.1823	8.2322	8.2622	8.2693	8.2525	8.2136	8.1573	8.0836	7.9877	7.8677	7.7247	7.5617	7.3823	7.1902	6.9892	6.7836	6.5778	6.377	6.1871	6.015	5.8676
7.5473	7.6136	7.6939	7.7831	7.8762	7.9693	8.0591	8.1427	8.2171	8.2794	8.3263	8.3546	8.3611	8.3438	8.3028	8.2397	8.1545	8.0454	7.9122	7.757	7.5829	7.3935	7.1924	6.9834	6.7704	6.5582	6.352	6.1582	5.984	5.8359
7.7085	7.7698	7.843	7.9241	8.009	8.094	8.1763	8.2531	8.3219	8.3799	8.4241	8.4513	8.458	8.4408	8.3977	8.3281	8.2318	8.1093	7.9627	7.7951	7.6099	7.4109	7.2014	6.985	6.7654	6.5472	6.3359	6.1383	5.9617	5.8126
7.8736	7.9301	7.9964	8.0693	8.1457	8.2222	8.2965	8.3661	8.4289	8.4824	8.5241	8.5506	8.5578	8.5412	8.4964	8.4205	8.3133	8.1776	8.0175	7.8377	7.6421	7.4342	7.2172	6.9942	6.7688	6.5453	6.3293	6.1277	5.9483	5.7982
8.042	8.0936	8.153	8.2179	8.2854	8.3531	8.4188	8.4807	8.5369	8.5856	8.6244	8.6501	8.6582	8.6427	8.5967	8.5147	8.3968	8.2479	8.0748	7.8835	7.6783	7.4627	7.2394	7.0111	6.781	6.553	6.3327	6.127	5.9445	5.7931
8.2129	8.2597	8.3123	8.3689	8.4273	8.4857	8.5423	8.5958	8.6448	8.6879	8.7231	8.7475	8.7565	8.7428	8.6963	8.6087	8.4798	8.3179	8.1325	7.9309	7.7177	7.496	7.2679	7.0358	6.8023	6.571	6.3469	6.1373	5.9513	5.7984
8.3858	8.4277	8.4735	8.5217	8.5708	8.6194	8.6663	8.7105	8.7513	8.7877	8.8183	8.8406	8.85	8.8383	8.7925	8.6997	8.5595	8.3849	8.1885	7.9784	7.7591	7.5332	7.3024	7.0684	6.8332	6.5999	6.3732	6.1598	5.9699	5.8152
8.5602	8.5972	8.636	8.6757	8.7151	8.7534	8.7899	8.824	8.8555	8.8839	8.9084	8.9269	8.9355	8.9258	8.8821	8.7844	8.6324	8.446	8.2406	8.0245	7.8017	7.574	7.3427	7.1089	6.874	6.6406	6.4126	6.1964	6.0022	5.8453
8.7357	8.7676	8.7994	8.8304	8.8598	8.8873	8.9126	8.9357	8.9566	8.9754	8.9917	9.0043	9.0099	9.0009	8.9606	8.8584	8.6941	8.4981	8.2869	8.068	7.8446	7.6179	7.3886	7.1573	6.9251	6.6937	6.4665	6.2491	6.0512	5.8911
8.9118	8.9387	8.9633	8.9853	9.0044	9.0206	9.034	9.045	9.054	9.0614	9.0673	9.0712	9.0704	9.0586	9.0206	8.9144	8.7397	8.5385	8.3259	8.1079	7.8872	7.6645	7.44	7.2137	6.9865	6.7597	6.536	6.3202	6.1209	5.9569
9.0883	9.11	9.1274	9.1402	9.1485	9.1529	9.1537	9.1517	9.1474	9.1416	9.1349	9.1268	9.1154	9.0949	9.0507	8.9408	8.7653	8.5657	8.3567	8.144	7.9295	7.7138	7.4967	7.2781	7.0584	6.8387	6.6215	6.4111	6.2155	6.0534
9.2648	9.2813	9.2912	9.2946	9.292	9.2841	9.2718	9.2558	9.2371	9.2165	9.1946	9.1715	9.1453	9.1103	9.0511	8.9381	8.7712	8.5801	8.3798	8.1764	7.9717	7.7659	7.5587	7.3501	7.1404	6.9305	6.7227	6.5213	6.3347	6.1801
9.4409	9.4521	9.4545	9.4483	9.4345	9.4142	9.3883	9.3577	9.3236	9.2866	9.2476	9.2067	9.1625	9.1093	9.034	8.9183	8.7621	8.5838	8.3967	8.2063	8.0143	7.821	7.6262	7.4297	7.232	7.0342	6.8383	6.6487	6.4733	6.3255
9.616	9.6221	9.6168	9.601	9.576	9.543	9.5033	9.4579	9.4076	9.3533	9.2956	9.235	9.1704	9.0976	9.0075	8.8895	8.7436	8.5805	8.4096	8.2351	8.0585	7.8798	7.6991	7.5165	7.3326	7.1486	6.9665	6.7902	6.6264	6.4844
9.7896	9.7907	9.7779	9.7525	9.7163	9.6708	9.6174	9.557	9.4904	9.4181	9.3409	9.2594	9.1733	9.0806	8.9768	8.8569	8.7209	8.5741	8.4214	8.2649	8.1055	7.943	7.7778	7.6102	7.4412	7.2721	7.1048	6.9426	6.7902	6.6533



9.9614 9.9576 9.9373 9.9024 9.8552 9.7976 9.7309 9.656 9.5732 9.4831 9.3862 9.2832 9.1752 9.0629 8.9463 8.8249 8.6987 8.5687 8.4353 8.2981 8.1569 8.0114 7.8623 7.7103 7.5567 7.4031 7.2512 7.1031 6.9617 6.8295  
 10.131 10.122 10.094 10.05 9.9926 9.9235 9.8444 9.7557 9.6576 9.5503 9.4341 9.3102 9.1805 9.0489 8.9198 8.7972 8.6811 8.5684 8.4548 8.3372 8.2144 8.086 7.9529 7.8164 7.6781 7.5398 7.403 7.269 7.1382 7.0104  
 10.297 10.284 10.249 10.196 10.128 10.049 9.9583 9.8572 9.7452 9.622 9.4879 9.3439 9.1934 9.0426 8.9011 8.7776 8.6723 8.5772 8.4833 8.3849 8.2798 8.1677 8.0498 7.9279 7.8041 7.6803 7.5581 7.4376 7.3171 7.1935  
 10.458 10.441 10.399 10.338 10.262 10.173 10.073 9.9615 9.8374 9.7004 9.5503 9.3883 9.2183 9.0487 8.8943 8.7702 8.6767 8.5994 8.5243 8.4437 8.3547 8.2574 8.1532 8.0444 7.9336 7.823 7.714 7.6062 7.4958 7.3764  
 10.615 10.593 10.545 10.476 10.393 10.297 10.19 10.069 9.9357 9.7875 9.6243 9.4471 9.2598 9.0723 8.9042 8.7798 8.6993 8.6395 8.5813 8.5161 8.4408 8.3559 8.2631 8.1653 8.0654 7.9659 7.8683 7.7718 7.6713 7.5561  
 10.765 10.739 10.684 10.609 10.521 10.421 10.308 10.182 10.041 9.885 9.7123 9.5237 9.3229 9.1197 8.9368 8.8122 8.7464 8.7021 8.6576 8.6042 8.5394 8.4638 8.3797 8.2902 8.1985 8.1075 8.0186 7.9313 7.8398 7.7293  
 10.904 10.874 10.814 10.737 10.646 10.543 10.428 10.299 10.155 9.9942 9.8162 9.621 9.4119 9.1981 9.0011 8.8766 8.8249 8.7915 8.7558 8.7097 8.6513 8.5815 8.5028 8.4186 8.3321 8.2462 8.1628 8.0812 7.9963 7.8912  
 11.029 10.996 10.936 10.859 10.768 10.665 10.55 10.421 10.277 10.116 9.9372 9.7408 9.5301 9.3139 9.1128 8.9884 8.9413 8.9108 8.8773 8.8334 8.7769 8.709 8.6323 8.5499 8.4652 8.3811 8.2992 8.2189 8.1352 8.0318  
 11.133 11.105 11.048 10.974 10.887 10.787 10.675 10.549 10.408 10.251 10.075 9.8834 9.6779 9.4687 9.2787 9.1546 9.0971 9.0603 9.0224 8.9752 8.9162 8.8462 8.7678 8.6839 8.5976 8.5116 8.4273 8.3435 8.2545 8.1435  
 11.226 11.202 11.152 11.084 11.002 10.909 10.802 10.682 10.548 10.397 10.23 10.048 9.8533 9.6579 9.4829 9.3592 9.2874 9.2378 9.1897 9.1341 9.0683 8.9925 8.9088 8.8201 8.729 8.6378 8.5473 8.4561 8.3579 8.2394  
 11.311 11.291 11.249 11.189 11.116 11.03 10.932 10.821 10.695 10.555 10.4 10.231 10.052 9.8738 9.7132 9.59 9.5048 9.4392 9.3766 9.3085 9.2319 9.1469 9.0549 8.9583 8.8594 8.7599 8.6604 8.5592 8.4505 8.325  
 11.39 11.375 11.341 11.29 11.227 11.151 11.063 10.963 10.85 10.723 10.583 10.43 10.27 10.109 9.962 9.8393 9.7421 9.6594 9.5796 9.4959 9.4055 9.3082 9.2052 9.0982 8.9889 8.8788 8.7681 8.6551 8.5355 8.4035  
 11.466 11.456 11.43 11.389 11.337 11.273 11.197 11.11 11.01 10.898 10.775 10.642 10.501 10.359 10.224 10.102 9.9935 9.8934 9.7949 9.6934 9.587 9.4752 9.359 9.2395 9.118 8.9954 8.8718 8.7461 8.6157 8.4772  
 11.54 11.534 11.516 11.487 11.446 11.395 11.332 11.259 11.174 11.079 10.975 10.861 10.741 10.618 10.494 10.373 10.254 10.137 10.019 9.8981 9.7741 9.6464 9.5154 9.3819 9.2467 9.1105 8.9731 8.8343 8.6928 8.5479  
 11.612 11.611 11.602 11.584 11.556 11.517 11.469 11.41 11.341 11.264 11.178 11.085 10.986 10.881 10.769 10.648 10.519 10.384 10.247 10.107 9.9645 9.82 9.6735 9.5252 9.3756 9.225 9.0734 8.9211 8.7686 8.6171  
 11.684 11.689 11.689 11.682 11.666 11.641 11.606 11.562 11.509 11.449 11.382 11.309 11.231 11.144 11.043 10.923 10.784 10.632 10.475 10.316 10.156 9.9946 9.8323 9.669 9.5048 9.3397 9.1739 9.0083 8.8446 8.6864  
 11.757 11.767 11.777 11.781 11.777 11.764 11.743 11.714 11.677 11.633 11.584 11.531 11.471 11.402 11.314 11.195 11.044 10.876 10.701 10.524 10.346 10.169 9.9911 9.8131 9.6346 9.4555 9.276 9.0973 8.9224 8.7572  
 11.833 11.849 11.867 11.882 11.889 11.889 11.88 11.865 11.842 11.814 11.782 11.745 11.704 11.651 11.576 11.458 11.295 11.111 10.92 10.727 10.533 10.341 10.149 9.957 9.7651 9.5729 9.3806 9.1897 9.0038 8.8313  
 11.913 11.935 11.962 11.986 12.003 12.014 12.017 12.014 12.004 11.99 11.972 11.95 11.923 11.885 11.824 11.705 11.531 11.334 11.129 10.922 10.716 10.51 10.305 10.101 9.8965 9.6925 9.489 9.2873 9.0912 8.9109  
 12 12.028 12.061 12.093 12.119 12.139 12.152 12.16 12.162 12.16 12.154 12.144 12.127 12.099 12.046 11.928 11.746 11.541 11.327 11.109 10.892 10.675 10.459 10.243 10.029 9.8146 9.6016 9.3914 9.1876 9

## Anexa 3

### Programul de comandă al machetei experimentale scris cu ajutorul aplicației Twidosoft

```
<?xml version="1.0"?>
<TwidoApplication>
  <FileVersion>1.0</FileVersion>
  <SymbolTable/>
  <Resources>
    <MODEM>
      <HAYES_INIT_COMMAND>$</HAYES_INIT_COMMAND>
    </MODEM>
  <AppTable>
    <AppTableVersion>3</AppTableVersion>
    <CompatibilityFlags>4</CompatibilityFlags>
    <LevelChosen>255</LevelChosen>
    <Password>$</Password>
    <AppName>untitled</AppName>
    <AppVersion>1</AppVersion>
    <AppSignature>3374</AppSignature>
    <AppMaxCycleTime>250</AppMaxCycleTime>
    <AppMinCycleTime>0</AppMinCycleTime>
    <Protection>0</Protection>
    <Autoload>0</Autoload>
    <AppReadyToRun>1</AppReadyToRun>
    <LenListIdTableModBuffer>4985</LenListIdTableModBuffer>
    <AppIntModBufferLength>25920</AppIntModBufferLength>
```

```

<AppMaxModsAllowed>1620</AppMaxModsAllowed>
<AppDiffLadderSize>0</AppDiffLadderSize>
<AppNumExtLabel>2</AppNumExtLabel>
<AppNumModsUsedInt>0</AppNumModsUsedInt>
<LangVersion>1</LangVersion>
<CompilerVersion>1</CompilerVersion>
<CompilerSettings>0</CompilerSettings>
<HardwarePartNumber>TWDLCAA24DRF</HardwarePartNumber>
<HardwareID>2227</HardwareID>
<HWOptionsStatus>0</HWOptionsStatus>
<AppTableChksum>0</AppTableChksum>
<AppStructChksum>0</AppStructChksum>
</AppTable>
<KWTable/>
<CfgTable>
  <CfgTableVersion>4</CfgTableVersion>
</CfgTable>
<SwObjList>
  <Timer>
    <TMIndex>1</TMIndex>
    <PresetValue>9</PresetValue>
    <TimeBase>2</TimeBase>
    <TimeType>0</TimeType>
    <ModifyFlag>1</ModifyFlag>
  </Timer>
  <Timer>
    <TMIndex>2</TMIndex>
    <PresetValue>8</PresetValue>
    <TimeBase>2</TimeBase>
    <TimeType>0</TimeType>
    <ModifyFlag>1</ModifyFlag>
  </Timer>
  <Timer>

```

```
<TMIndex>3</TMIndex>
<PresetValue>18</PresetValue>
<TimeBase>2</TimeBase>
<TimeType>2</TimeType>
<ModifyFlag>1</ModifyFlag>
</Timer>
<BaseDigInput>
  <BDI12Filter>0</BDI12Filter>
  <BDI3Filter>16383</BDI3Filter>
  <BDICapture>0</BDICapture>
  <BDIRunStop>0</BDIRunStop>
  <BDINumInputs>14</BDINumInputs>
  <BDIIsDedicated>0</BDIIsDedicated>
</BaseDigInput>
<BaseDigOutput>
  <BDONumOutputs>10</BDONumOutputs>
  <BDOOutputStat>0</BDOOutputStat>
  <BDONumDedicated>0</BDONumDedicated>
</BaseDigOutput>
<BaseAnalogInput>
  <BAINumInputs>2</BAINumInputs>
  <BAIPrecision>0</BAIPrecision>
</BaseAnalogInput>
<ExpansionModule>
  <ExpModulePartNumber>TWDAMM3HT</ExpModulePartNumber>
  <ExpModuleType>61441</ExpModuleType>
  <ExpModuleNumInputs>2</ExpModuleNumInputs>
  <ExpModuleNumOutputs>1</ExpModuleNumOutputs>
  <ExpModuleKind>1</ExpModuleKind>
  <ExpModuleIndex>1</ExpModuleIndex>
  <AnalogChannel>
    <AnalogChannelType>0</AnalogChannelType>
    <AnalogChannelNumber>0</AnalogChannelNumber>
```

```
<AnalogChannelMode>255</AnalogChannelMode>
<AnalogChannelMin>0</AnalogChannelMin>
<AnalogChannelMax>4095</AnalogChannelMax>
<analogChannelExtraTag>0</analogChannelExtraTag>
</AnalogChannel>
<AnalogChannel>
  <AnalogChannelType>0</AnalogChannelType>
  <AnalogChannelNumber>1</AnalogChannelNumber>
  <AnalogChannelMode>255</AnalogChannelMode>
  <AnalogChannelMin>0</AnalogChannelMin>
  <AnalogChannelMax>4095</AnalogChannelMax>
  <analogChannelExtraTag>0</analogChannelExtraTag>
</AnalogChannel>
<AnalogChannel>
  <AnalogChannelType>1</AnalogChannelType>
  <AnalogChannelNumber>0</AnalogChannelNumber>
  <AnalogChannelMode>255</AnalogChannelMode>
  <AnalogChannelMin>0</AnalogChannelMin>
  <AnalogChannelMax>4095</AnalogChannelMax>
  <analogChannelExtraTag>0</analogChannelExtraTag>
</AnalogChannel>
<AnalogChannel>
  <AnalogChannelType>1</AnalogChannelType>
  <AnalogChannelNumber>1</AnalogChannelNumber>
  <AnalogChannelMode>255</AnalogChannelMode>
  <AnalogChannelMin>0</AnalogChannelMin>
  <AnalogChannelMax>4095</AnalogChannelMax>
  <analogChannelExtraTag>0</analogChannelExtraTag>
</AnalogChannel>
</ExpansionModule>
<CommObj>
  <CmDeviceRemote>0</CmDeviceRemote>
  <CmDeviceTypeRemote>0</CmDeviceTypeRemote>
```

```

    <CmIndex>0</CmIndex>
    <CmPort1Address>1</CmPort1Address>
    <CmPort1LnCfg>0</CmPort1LnCfg>
    <CmPort1Protocol>1</CmPort1Protocol>
    <CmPort1MbTimeout>10</CmPort1MbTimeout>
    <CmPort1RespTimeout>10</CmPort1RespTimeout>
    <CmPort1EndOfFrame>10</CmPort1EndOfFrame>
    <CmPort2Address>1</CmPort2Address>
    <CmPort2LnCfg>180</CmPort2LnCfg>
    <CmPort2Protocol>0</CmPort2Protocol>
    <CmPort2MbTimeout>10</CmPort2MbTimeout>
    <CmPort2RespTimeout>10</CmPort2RespTimeout>
    <CmPort2EndOfFrame>10</CmPort2EndOfFrame>
    <CmPort1StartOfFrame>0</CmPort1StartOfFrame>
    <CmPort1SecondEndOfFrame>0</CmPort1SecondEndOfFrame>
    <CmPort1SizeASCIIFrame>0</CmPort1SizeASCIIFrame>
    <CmPort2StartOfFrame>0</CmPort2StartOfFrame>
    <CmPort2SecondEndOfFrame>0</CmPort2SecondEndOfFrame>
    <CmPort2SizeASCIIFrame>0</CmPort2SizeASCIIFrame>
    <CmFlagSilenceUsed>0</CmFlagSilenceUsed>
    <CmAsciiEofTxEnabler>0</CmAsciiEofTxEnabler>
    <CmPunitLnCfg>132</CmPunitLnCfg>
    <CmPunitMbTimeout>20</CmPunitMbTimeout>
  </CommObj>
</SwObjList>
<MacCfgList/>
</Resources>
<Program>
  <ListInstruction>(* CONDITII INITIALE  *)</ListInstruction>
  <ListInstruction>LD  %I0.0.1</ListInstruction>
  <ListInstruction>AND  %I0.0.3</ListInstruction>
  <ListInstruction>ANDN %I0.0.7</ListInstruction>
  <ListInstruction>AND  %I0.0.5</ListInstruction>

```

```

<ListInstruction>S   %M1</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M2</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M91</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M92</ListInstruction>
<ListInstruction>(* PORNIRE MOTOR SLEFUIRE *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M2</ListInstruction>
<ListInstruction>ST   %Q0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CILINDRU LINIAR FATA   *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND   %I0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND   %I0.0.3</ListInstruction>
<ListInstruction>AND   %M30</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN  %M91</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M3</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M1</ListInstruction>
<ListInstruction>(* EV.PROP.CIL.LINIAR *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M3</ListInstruction>
<ListInstruction>[ %QW0.1.0 := 4095 ]</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CILINDRU ROTIRE FATA   *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M3</ListInstruction>
<ListInstruction>AND   %I0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND   %I0.0.4</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN  %M92</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M4</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M91</ListInstruction>
<ListInstruction>(* EV CIL. ROTIRE FATA   *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M4</ListInstruction>
<ListInstruction>OR   %M11</ListInstruction>
<ListInstruction>ST   %Q0.0.2</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CONDITII ROTIRE SPATE   *)</ListInstruction>
<ListInstruction>BLK  %TM1</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M4</ListInstruction>
<ListInstruction>AND   %I0.0.2</ListInstruction>

```

```

<ListInstruction>AND %I0.0.4</ListInstruction>
<ListInstruction>IN</ListInstruction>
<ListInstruction>OUT_BLK</ListInstruction>
<ListInstruction>LD Q</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M5</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M4</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M92</ListInstruction>
<ListInstruction>END_BLK</ListInstruction>
<ListInstruction>(* EV.CIL.ROTIRE SPATE *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M5</ListInstruction>
<ListInstruction>OR %M12</ListInstruction>
<ListInstruction>ST %Q0.0.3</ListInstruction>
<ListInstruction>(* NUMARATOR *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M5</ListInstruction>
<ListInstruction>ST %Q0.0.4</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CILINDRU LINIAR SPATE *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M5</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.4</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M3</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M6</ListInstruction>
<ListInstruction>(* EV. SUFLARE *)</ListInstruction>
<ListInstruction>BLK %TM3</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M6</ListInstruction>
<ListInstruction>OR %M13</ListInstruction>
<ListInstruction>IN</ListInstruction>
<ListInstruction>OUT_BLK</ListInstruction>
<ListInstruction>LD Q</ListInstruction>
<ListInstruction>ST %Q0.0.5</ListInstruction>
<ListInstruction>END_BLK</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CALCULUL RUGOZITATII *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M6</ListInstruction>
<ListInstruction>MPS</ListInstruction>

```



```

<ListInstruction>AND %I0.0.7</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M7</ListInstruction>
<ListInstruction>MPP</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN %I0.0.7</ListInstruction>
<ListInstruction>OR( %M16</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN %I0.0.7</ListInstruction>
<ListInstruction>)</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M8</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CAZUL I: NIVELUL RUGOZITATII BUN - FINAL DE CICLU
*)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M7</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.7</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M5</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M6</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M7</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CAZUL II: NIVELUL RUGOZITATII NU ESTE BUN - SE
REPETA PRIMUL CICLU *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M8</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN %I0.0.7</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M5</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M6</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M9</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M93</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M94</ListInstruction>
<ListInstruction>(* SENZORUL LASER COMANDA CURSA CILINDRULUI LINIAR
*)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD [ %IW0.1.1 &lt; 128 ]</ListInstruction>
<ListInstruction>ST %M20</ListInstruction>
<ListInstruction>LD [ %IW0.1.1 &lt; 256 ]</ListInstruction>
<ListInstruction>ST %M30</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CILINDRU LINIAR FATA *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M9</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.1</ListInstruction>

```

```

<ListInstruction>AND %I0.0.3</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN %M93</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %M20</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M10</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M9</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M8</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M16</ListInstruction>
<ListInstruction>(* EV. PROP. CIL. LINIAR *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M10</ListInstruction>
<ListInstruction>[ %QW0.1.0 := 2048 ]</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CILINDRU ROTIRE FATA *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %I0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.4</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %M10</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN %M94</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M11</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M93</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CONDITII ROTIRE SPATE *)</ListInstruction>
<ListInstruction>BLK %TM2</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M11</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.2</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.4</ListInstruction>
<ListInstruction>IN</ListInstruction>
<ListInstruction>OUT_BLK</ListInstruction>
<ListInstruction>LD Q</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M12</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M11</ListInstruction>
<ListInstruction>S %M94</ListInstruction>
<ListInstruction>END_BLK</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CIL.LINIAR SPATE *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD %M12</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND %I0.0.4</ListInstruction>

```

```

<ListInstruction>R   %M10</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M13</ListInstruction>
<ListInstruction>(* SE COMPARA RUGOZITATEA *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M13</ListInstruction>
<ListInstruction>MPS</ListInstruction>
<ListInstruction>ANDN %I0.0.7</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M14</ListInstruction>
<ListInstruction>MPP</ListInstruction>
<ListInstruction>AND  %I0.0.7</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M15</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CAZUL I - RUGOZITATEA E BUNA - FINAL DE CICLU
*)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M15</ListInstruction>
<ListInstruction>AND  %I0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND  %I0.0.3</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M12</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M13</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M15</ListInstruction>
<ListInstruction>(* CAZUL II - RUGOZITATEA NU E BUNA - SE REPETA AL
DOILEA CICLU *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LD   %M14</ListInstruction>
<ListInstruction>AND  %I0.0.1</ListInstruction>
<ListInstruction>AND  %I0.0.3</ListInstruction>
<ListInstruction>AND  %I0.1.1</ListInstruction>
<ListInstruction>S   %M16</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M14</ListInstruction>
<ListInstruction>(* RESET GENERAL *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LDN  %I0.0.6</ListInstruction>
<ListInstruction>OR   %S0</ListInstruction>
<ListInstruction>OR   %S1</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M1</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M2</ListInstruction>
<ListInstruction>R   %M3</ListInstruction>

```

```

<ListInstruction>R %M4</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M5</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M6</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M7</ListInstruction>
<ListInstruction>(* RESET GENERAL *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LDN %I0.0.6</ListInstruction>
<ListInstruction>OR %S0</ListInstruction>
<ListInstruction>OR %S1</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M8</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M9</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M10</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M11</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M12</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M13</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M14</ListInstruction>
<ListInstruction>(* RESET GENERAL *)</ListInstruction>
<ListInstruction>LDN %I0.0.6</ListInstruction>
<ListInstruction>OR %S0</ListInstruction>
<ListInstruction>OR %S1</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M15</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M16</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M91</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M92</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M93</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M94</ListInstruction>
<ListInstruction>R %M95</ListInstruction>
<ProgramValidated>FALSE</ProgramValidated>
<ProgramForceValidation>FALSE</ProgramForceValidation>
</Program>
<Context>
  <LgthObjTableUsed>1</LgthObjTableUsed>
  <ConstantConfiguredTag>0</ConstantConfiguredTag>
  <CounterConfiguredTag>0</CounterConfiguredTag>

```

```
<DrumConfiguredTag>0</DrumConfiguredTag>
<FCounterConfiguredTag>0</FCounterConfiguredTag>
<LifoFifoConfiguredTag>0</LifoFifoConfiguredTag>
<WordConfiguredTag>0</WordConfiguredTag>
<PlsConfiguredTag>0</PlsConfiguredTag>
<ShiftBitRegConfiguredTag>0</ShiftBitRegConfiguredTag>
<ScheduleBlockConfiguredTag>0</ScheduleBlockConfiguredTag>
<StepCounterConfiguredTag>0</StepCounterConfiguredTag>
<TimerConfiguredTag>0</TimerConfiguredTag>
<VFastCounterConfiguredTag>0</VFastCounterConfiguredTag>
<MainWindow>
  <MinimizedWindowPos>
    <X>-32000</X>
    <Y>-32000</Y>
  </MinimizedWindowPos>
  <NormalWindowPos>
    <X>132</X>
    <Y>174</Y>
    <L>768</L>
    <H>527</H>
  </NormalWindowPos>
  <MaximizedWindowPos>
    <X>-1</X>
    <Y>-1</Y>
  </MaximizedWindowPos>
  <DisplayType>MAXIMIZED</DisplayType>
</MainWindow>
<NavigatorWindow>
  <NormalWindowPos>
    <X>1030639455</X>
    <Y>1598163504</Y>
    <L>568138979</L>
    <H>-788831201</H>
```

```
</NormalWindowPos>
<MaximizedWindowPos>
  <X>0</X>
  <L>0</L>
</MaximizedWindowPos>
<DisplayType>ICONIC</DisplayType>
</NavigatorWindow>
<LadderViewerWindow>
  <MinimizedWindowPos>
    <X>-1</X>
    <Y>-1</Y>
  </MinimizedWindowPos>
  <NormalWindowPos>
    <X>44</X>
    <Y>58</Y>
    <L>870</L>
    <H>446</H>
  </NormalWindowPos>
  <MaximizedWindowPos>
    <X>-4</X>
    <Y>-30</Y>
  </MaximizedWindowPos>
  <DisplayType>MAXIMIZED</DisplayType>
  <Order>1</Order>
</LadderViewerWindow>
<ZoomViewer>100</ZoomViewer>
<ZoomEditor>ADJUSTED</ZoomEditor>
</Context>
<PrintSettings>
  <PrintConfig>TRUE</PrintConfig>
  <PrintContent>TRUE</PrintContent>
  <FolderName>$</FolderName>
  <Header>
```

```
<Left>
  <InfoType>0</InfoType>
</Left>
<Center>
  <InfoType>1</InfoType>
</Center>
<Right>
  <InfoType>9</InfoType>
</Right>
</Header>
<Footer>
  <Left>
    <InfoType>5</InfoType>
  </Left>
  <Center>
    <InfoType>5</InfoType>
  </Center>
  <Right>
    <InfoType>6</InfoType>
  </Right>
</Footer>
<FirstPage>
  <Print>TRUE</Print>
  <Author>$</Author>
  <Index>$</Index>
  <PrintDate>TRUE</PrintDate>
  <Service>$</Service>
  <Owner>$</Owner>
  <Comments>$</Comments>
</FirstPage>
<History>
  <Print>TRUE</Print>
  <Date>$</Date>
```

```
<Author>$</Author>
<Version>$</Version>
<Comments>$</Comments>
<CreateDate>2/13/2009</CreateDate>
<ModifyDate>3/23/2009</ModifyDate>
</History>
<HardwareSettings>
  <Print>TRUE</Print>
  <Base>
    <Reference>TRUE</Reference>
    <Description>FALSE</Description>
    <Inputs>FALSE</Inputs>
    <Outputs>FALSE</Outputs>
    <OnlyUsed>FALSE</OnlyUsed>
  </Base>
  <Modules>
    <Reference>TRUE</Reference>
    <Description>FALSE</Description>
    <ModuleConfig>FALSE</ModuleConfig>
    <Inputs>FALSE</Inputs>
    <Outputs>FALSE</Outputs>
    <OnlyUsed>FALSE</OnlyUsed>
  </Modules>
  <PrintSerialPort>FALSE</PrintSerialPort>
  <PrintModem>FALSE</PrintModem>
  <PrintEthernet>FALSE</PrintEthernet>
  <PrintEtherPort>FALSE</PrintEtherPort>
  <PrintRTC>FALSE</PrintRTC>
  <PrintCartridge>FALSE</PrintCartridge>
</HardwareSettings>
<ObjectsSettings>
  <Print>TRUE</Print>
  <AllSimple>TRUE</AllSimple>
```



```
<PrintConstantDouble>FALSE</PrintConstantDouble>
<PrintConstantWord>FALSE</PrintConstantWord>
<PrintConstantFloat>FALSE</PrintConstantFloat>
<PrintMemoryDouble>FALSE</PrintMemoryDouble>
<PrintMemoryWord>FALSE</PrintMemoryWord>
<PrintMemoryFloat>FALSE</PrintMemoryFloat>
<PrintMemoryBit>FALSE</PrintMemoryBit>
<AllBlocks>TRUE</AllBlocks>
<PrintTimers>FALSE</PrintTimers>
<PrintCounters>FALSE</PrintCounters>
<PrintFastCounter>FALSE</PrintFastCounter>
<PrintVeryFastCounter>FALSE</PrintVeryFastCounter>
<PrintSchedulerBlock>FALSE</PrintSchedulerBlock>
<PrintDrums>FALSE</PrintDrums>
<PrintPID>FALSE</PrintPID>
<PrintPLSPWM>FALSE</PrintPLSPWM>
<PrintLIFOFIFO>FALSE</PrintLIFOFIFO>
<PrintObjectsOnlyUsed>TRUE</PrintObjectsOnlyUsed>
<PrintObjectsIndicateMax>FALSE</PrintObjectsIndicateMax>
</ObjectsSettings>
<MemoryReportSettings>
  <Print>TRUE</Print>
  <PrintMemStat>TRUE</PrintMemStat>
  <PrintMemAlloc>TRUE</PrintMemAlloc>
</MemoryReportSettings>
<ApplicationSettings>
  <Print>TRUE</Print>
</ApplicationSettings>
<ProgramSettings>
  <Print>TRUE</Print>
  <PrintProgramLadder>
    <ProgramRange>0</ProgramRange>
    <ProgramStart>0</ProgramStart>
```

```

    <ProgramEnd>9999</ProgramEnd>
    <ProgramAddresses>FALSE</ProgramAddresses>
    <ProgramSymbols>FALSE</ProgramSymbols>
    <ProgramAddrSymb>TRUE</ProgramAddrSymb>
    <ProgramEntireAddress>TRUE</ProgramEntireAddress>
    <ProgramInfo>FALSE</ProgramInfo>
</PrintProgramLadder>
<PrintProgramList>
    <ProgramRange>0</ProgramRange>
    <ProgramStart>0</ProgramStart>
    <ProgramEnd>9999</ProgramEnd>
    <ProgramAddresses>TRUE</ProgramAddresses>
    <ProgramSymbols>FALSE</ProgramSymbols>
    <ProgramInfo>FALSE</ProgramInfo>
    <ProgramRealMacroCode>FALSE</ProgramRealMacroCode>
</PrintProgramList>
</ProgramSettings>
<SymbolsSettings>
    <Print>TRUE</Print>
    <PrintSortOrder>1</PrintSortOrder>
</SymbolsSettings>
<CrossRef>
    <Print>TRUE</Print>
    <AllCrossRef>TRUE</AllCrossRef>
    <CrossRefElements>0</CrossRefElements>
    <CrossRefByRung>FALSE</CrossRefByRung>
    <CrossRefAllRange>TRUE</CrossRefAllRange>
    <CrossRefStart>0</CrossRefStart>
    <CrossRefEnd>9999</CrossRefEnd>
</CrossRef>
</PrintSettings>
</TwidoApplication>

```