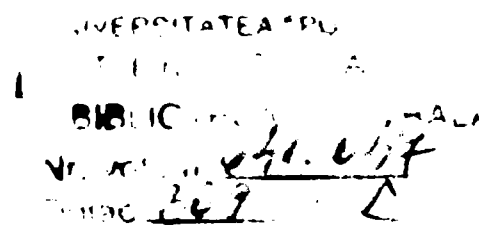


UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. FLOREA MARIANA

PROGRAMAREA „OFF-LINE” A ROBOȚILOR  
INDUSTRIALI PE BAZA  
PROCESULUI TEHNOLOGIC DE EXECUTAT

Teză de doctorat



Conducător științific

Prof.Dr.Ing.Dr.h.c. KOVÁCS FRANCISC VILIAM

TIMIȘOARA

2003

## **Cuprins**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducere</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. Stadiul actual al cercetărilor și realizărilor în domeniul programării off-line a roboților</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2.1 Noțiuni de bază</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2.2 Limbaje de programare ale roboților</b>   | <b>7</b>  |
| 2.2.1 Introducere  | 7         |
| 2.2.2 Limbaje de programare reprezentative   | 9         |
| 2.2.3 Clasificarea limbajelor de programare  | 11        |
| 2.2.4 Limbajul de programare ACL   | 14        |
| <b>2.3 Relațiile între modelarea geometrică și funcțională a roboților și a sistemelor robotizate, simularea și programarea funcționării lor</b> | <b>15</b> |
| <b>2.4 Programarea off-line a roboților industriali</b>  | <b>20</b> |
| 2.4.1 Aspecte generale   | 20        |
| 2.4.2 Avantaje ale utilizării programării off-line   | 20        |
| 2.4.3 Condiții generale ce se impun unui sistem de programare off-line   | 21        |
| 2.4.4 Dificultăți în programarea off-line  | 22        |
| 2.4.4.1 Domenii  | 22        |
| 2.4.4.2 Modelarea și programarea   | 23        |
| 2.4.4.3 Interfațarea   | 24        |
| 2.4.4.4 Erorile și impreciziile lumii reale  | 25        |
| <b>2.5. Sisteme utilizate de programare și simulare off-line a roboților</b>   | <b>27</b> |
| 2.5.1 Aspecte generale   | 27        |
| 2.5.2 WORKSPACE  | 28        |
| 2.5.3 COSIMIR  | 33        |
| 2.5.4 GRASP  | 40        |
| 2.5.5 ROBOT 3D   | 43        |
| 2.5.6 FAMOS  | 46        |
| 2.5.7 KISMET   | 49        |
| 2.5.8 ROPSIM   | 51        |
| 2.5.9 Prezentarea sintetică a caracteristicilor unor sisteme de programare și simulare cunoscute   | 54        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. Ingineria integrată a produselor. Metode de transmitere a rezultatelor activității de concepție constructivă-tehnologică la sisteme de fabricație</b> | <b>58</b> |
| 3.1. Considerații generale. Necesitatea dezvoltării codificării matematice a proceselor tehnologice robotizate  | 58        |
| 3.2 Concepția constructivă-tehnologică și pregătirea fabricației în contextul ingineriei integrate a produselor   | 61        |
| 3.2.1 Definiția și modelul ingineriei integrate   | 61        |
| 3.2.2 Considerații generale   | 62        |
| 3.2.3 Structura și conținutul activității de definire și concepție constructivă a produsului  | 63        |
| 3.2.4 Structura și conținutul activității de concepție tehnologică a fabricației produsului   | 67        |
| 3.2.5 Structura și conținutul activităților de pregătire a fabricației, diferite de cele cu caracter de concepție   | 71        |
| 3.2.6 Concepția constructivă, tehnologică și de pregătire a fabricației (CCTPF) ca sistem integrat. Ingineria concurentă (simultană)                        | 73        |
| 3.2.7 Modelul produsului. Transmiterea informațiilor rezultate din activitatea de CCTPF, spre alte activități din cadrul întreprinderii                     | 78        |
| 3.3 Codificarea matematică a proceselor tehnologice   | 81        |
| 3.3.1 Procese tehnologice. Structura procesului tehnologic de prelucrare mecanică   | 81        |
| 3.3.2 Etapele parcurse în cadrul activității de concepție tehnologică   | 83        |
| 3.3.3 Documente de codificare elaborate în cadrul activității de concepție tehnologică „clasică”  | 84        |
| 3.3.4 Codificarea proceselor tehnologice prin programe-piesă CAM și programe „teach-in” a roboților   | 85        |
| 3.3.4.1 Generalități  |           |
| 3.3.4.2 Principiile întocmirii unui program-piesă CAM   | 85        |
| 3.3.4.3 Principiile de întocmire ale unui program „on-line” de conducere a unui robot   | 87        |
| 3.3.6 Codificarea matematică a proceselor tehnologice prin programare NC  | 88        |
| 3.3.6.1 Generalități  | 88        |
| 3.3.6.2 Limbaje de programare NC  | 88        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>3.4 Model matematic generalizat al proceselor tehnologice pe baza descrierii mișcării necesare de realizat de către sculă față de obiectul de lucru [Kov01]</b> | <b>89</b>  |
| 3.4.1 Introducere  | 89         |
| 3.4.2 Modelul matematic pentru situarea relativă a corpurilor  | 90         |
| 3.4.3 Modelul matematic al definirii a piesei prin mișcarea relativă a sculei în timpul fazei de prelucrare a procesului   | 93         |
| 3.4.4 Modelul geometric al manipulării piesei/sculei cu ajutorul unui robot și/sau dispozitiv de transfer comandat de calculator                                   | 95         |
| 3.4.5 Modelarea fazelor de prelucrare și de manipulare ale procesului tehnologic luând în considerare erorile de situare   | 95         |
| 3.4.6 Concepția constructivă și tehnologică (ingineria concurentă) utilizând modelele matematice propuse și transferul rezultatelor la componentele SFF            | 96         |
| <b>3.5 Transmiterea informațiilor între sistemele CAD/CAM</b>  | <b>98</b>  |
| 3.5.1 Principii  | 98         |
| 3.5.2 IGES (Initial Graphics Exchange Specification)   | 100        |
| 3.5.3 STEP (Standard for the Transfer and Exchange of Product Model Data)  | 104        |
| 3.5.4 PDES (Product Data Exchange using STEP)  | 105        |
| 3.5.5 Dificultăți în utilizarea programelor de postprocesare   | 106        |
| 3.5.6 Concluzii  | 107        |
| <b>4. Scopul tezei</b>   | <b>108</b> |
| <b>5. Codificarea matematică a informațiilor cu privire la forma/dimensiunile obiectelor de lucru și la procesele tehnologice de execuție ale acestora</b>         | <b>109</b> |
| 5.1 Introducere  | 109        |
| 5.2 Modelarea 3D a suprafețelor obiectelor de lucru  | 110        |
| 5.2.1 Generalități   | 110        |
| 5.2.2 Suprafețe riglate, de revoluție și oarecare (sculptate). Suprafețe offset  | 115        |
| 5.3 Descrierea matematică a proceselor tehnologice de prelucrare prin așchiere a suprafețelor obiectelor de lucru  | 120        |
| 5.3.1 Introducere  | 120        |
| 5.3.2 Descrierea matematică a prelucrării prin proces tehnologic de așchiere a suprafețelor plane  | 121        |
| 5.3.3 Descrierea matematică a prelucrării prin proces tehnologic de așchiere a suprafețelor riglate oarecare   | 126        |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.3.4   | Descrierea matematică a prelucrării prin proces tehnologic de<br>așchiere a suprafețelor de revoluție  | 128 |
| 5.3.5   | Descrierea matematică a prelucrării prin proces tehnologic de<br>așchiere a unei suprafețe oarecare (sculptate)  | 135 |
| 5.3.5.1 | Tipuri de traiectorii ale punctului caracteristic al sculei la<br>prelucrarea prin așchiere a suprafețelor oarecare (sculptate)<br>cu freze sferice sau toroidale  | 139 |
| 5.3.5.2 | Generarea traiectoriei punctului caracteristic al frezei sferice<br>sau toroidale la prelucrarea suprafețelor oarecare (sculptate)   | 141 |
| 5.3.6   | Observații cu privire la prelucrarea prin rectificare a suprafețelor<br>obiectelor de lucru  | 142 |
| 5.3.7   | Calculul direct și calculul invers   | 142 |
| 5.4     | Axe energetice pentru generarea mișcării sculei și comanda lor   | 143 |
| 5.5     | Concepția integrată (constructivă și tehnologică) a obiectelor de lucru care<br>urmează să fie fabricate prin procese de așchiere, utilizând noțiunea de „perechi<br>de sisteme de referință (PeSiR)”, pentru codificarea dimensiunilor și<br>parametrilor procesului tehnologic | 145 |
| 5.5.1   | Introducere  | 145 |
| 5.5.2   | Principiile codificării matematice a informațiilor rezultate din concepția<br>integrată a obiectelor de lucru fabricate prin procese de așchiere, folosind<br>noțiunea PeSiR   | 148 |
| 5.5.3   | Codificarea matematică a informațiilor pentru prelucrarea prin așchiere<br>a unor obiecte de lucru având suprafețe plane   | 150 |
| 5.5.3.1 | Concepția integrată a prelucrării prin frezare cu freză<br>cilindrică a unor obiecte având suprafețe plane   | 150 |
| 5.5.3.2 | Concepția integrată a prelucrării prin frezare cu freză<br>cilindro-frontală a unor obiecte având suprafețe plane  | 156 |
| 5.5.3.3 | Concepția integrată a prelucrării prin rabotare<br>a unor obiecte având suprafețe plane  | 163 |
| 5.5.3.4 | Concepția integrată a prelucrării prin strunjire frontală<br>a suprafeței plane a unor obiecte de revoluție  | 170 |
| 5.5.4   | Codificarea matematică a informațiilor pentru prelucrarea prin așchiere<br>a unor obiecte de lucru având suprafețe de revoluție  | 178 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.5.4.1 | Concepția integrată a prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare  | 178 |
| 5.5.4.2 | Concepția integrată a prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare  | 185 |
| 5.5.5   | Concepția integrată a prelucrării prin frezare cu freză sferică a unei suprafețe oarecare (sculptate)  | 191 |
| 5.5.5.1 | Prelucrarea pe o mașină de frezat cu 3 axe   | 191 |
| 5.5.5.2 | Prelucrarea cu ajutorul unui robot industrial de prelucrare, având ca efector final un cap de forță de frezat cu freză sferică   | 195 |
| 5.5.6   | Concepția integrată a operației de manipulare de către robotul industrial a unui obiect de lucru cilindric într-o celulă de fabricație pentru prelucrare prin strunjire                              | 195 |
| 6.      | Transmiterea automată a datelor de la compartimentul de concepție integrată la SFF de execuție   | 203 |
| 6.1     | Introducere  | 203 |
| 6.2     | Stabilirea naturii comenzilor pentru mecanismele active din componența mașinilor de lucru (care realizează mișcarea de avans) și ale roboților din cadrul SFF pentru prelucrarea prin așchiere       | 205 |
| 6.2.1   | Prelucrarea prin rabotare a suprafețelor plane ale obiectelor de lucru   | 205 |
| 6.2.2   | Prelucrarea prin frezare a suprafețelor plane ale obiectelor de lucru cu freze cilindrice  | 206 |
| 6.2.3   | Prelucrarea prin frezare cu freză deget a unor canale în suprafețe plane ale unor obiecte de lucru   | 207 |
| 6.2.4   | Prelucrări prin strunjire ale obiectelor de lucru  | 208 |
| 6.2.5   | Prelucrarea cu ajutorul unei freze sferice a suprafeței oarecare (sculptate) a unui obiect de lucru  | 209 |
| 6.2.6   | Acționarea închiderii/deschiderii fălcilor dispozitivelor de lucru de tip menghină   | 211 |
| 6.2.7   | Manipularea obiectului de lucru de către un robot industrial   | 211 |
| 6.3     | Modele geometrice inverse pentru mecanismele de acționare ale avansurilor mașinilor de lucru și active ale dispozitivelor de ghidare ale roboților industriali de manipulare folosiți în SFF [Rán85] | 213 |
| 6.3.1   | Considerații generale  | 213 |
| 6.3.2   | Modele geometrice inverse pentru structuri T, TT și TTT  | 214 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.3.3 Modele geometrice inverse pentru structuri RRR ale<br>mecanismelor de orientare   | 216 |
| 6.3.4 Modele geometrice inverse pentru mecanisme generatoare de traiectorie   |     |
| 6.3.5 Modelul geometric invers pentru mecanismul activ de acționare<br>închiderii/deschiderii degetelor dispozitivului de prehensiune EF<br>al robotului industrial   | 219 |
| 6.4 Modele cinematice (de ordinul 1) inverse ale mecanismelor active pentru<br>acționarea avansurilor mașinilor de lucru, respectiv ale dispozitivelor de<br>ghidare ale roboților industriali utilizați în SFF   | 219 |
| 6.5 Model de transmitere a comenzilor de execuție (prelucrare și manipulare)<br>a obiectului de lucru de la concepția integrată la componentele<br>SFF robotizate   | 219 |
| 6.5.1 Introducere   | 219 |
| 6.5.2 Determinarea ciclogramelor de funcționare a acționărilor cuplelor<br>cinematice conducătoare ale mecanismelor active  | 220 |
| 6.5.3 Calculul vitezelor relative generalizate ale elementelor cuplelor<br>cinematice conducătoare ale mecanismelor active  | 221 |
| 6.5.4 Calculul variației în timp a tensiunii curentului de alimentare a bornelor<br>motoarelor electrice (c.c. sau c.a.), respectiv a frecvenței impulsurilor<br>de tensiune de alimentare a motoarelor electrice pas cu pas pentru<br>acționarea c.c.c. ale mecanismelor active. Calculul valorilor de referință<br>pentru dispozitivele comparatoare ale reguletoarelor axelor energetice<br>ale c.c.c. ale mecanismelor active | 223 |
| 6.6 Concluzii   | 231 |
| 7. Aplicație  | 235 |
| 7.1 Introducere   | 235 |
| 7.2 Concepția integrată a obiectului de lucru cu litere prelucrate<br>prin frezare pe o față  | 236 |
| 7.3 Concepția procesului de manipulare a obiectului de lucru în cadrul sistemului<br>de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC  | 240 |
| 7.3.1 Layout-ul sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC  | 240 |
| 7.3.2 Ciclograma de funcționare a sistemului de fabricație flexibilă<br>ESHED ROBOTEC pentru prelucrarea prin frezare pe o față a<br>obiectului de lucru a literei „r”  | 243 |

|   |     |
|---|-----|
| 7.3.3 Determinarea situațiilor relative semnificative ale sistemului de referință atașat obiectului de lucru în raport cu sistemul de referință atașat mașinii de frezat. Determinarea situațiilor relative semnificative ale sistemului de referință atașat efectorului final, în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului | 246 |
| 7.4 Determinarea situațiilor relative semnificative ale sistemelor de referință atașat unor sănii ale mașinii de frezat în raport cu sistemele de referință atașate altor sănii, respectiv mașinii de frezat, în cursul prelucrării prin frezare a literei „r” de pe fața obiectului de lucru   | 248 |
| 7.5 Transmiterea automată a comenzilor de la compartimentul de concepție integrată la sistemul de fabricație flexibilă. Programarea automată off-line a mașinii de frezat cu comandă numerică și a robotului  | 248 |
| 7.5.1 Schemele cinematice ale mecanismelor active ale componentelor sistemului de fabricație  | 248 |
| 7.5.2 Date transmise de la compartimentul de concepție integrată la sistemul de fabricație flexibilă prin intermediul cărora se programează automat prelucrarea și manipularea obiectului de lucru  | 251 |
| 7.6 Modelarea și simularea funcționării sistemului de fabricație pentru prelucrarea prin frezare a literei „r” pe o față a obiectului de lucru. Validarea simulării prin execuția fizică a obiectului   | 252 |
| 7.7 Concluzii   | 254 |
| 8. Concluzii generale. Contribuții personale  | 255 |
| 8.1 Concluzii generale  | 255 |
| 8.2 Contribuții personale   | 257 |
| Bibliografie  | 259 |
| Anexa 1   | 267 |
| Anexa 2   | 288 |
| Anexa 3   | 301 |
| Anexa 4   | 315 |



## 1. Introducere

Progresul tehnic contemporan are ca și direcție actuală automatizarea interacțiunii omenirii cu mediul în care trăiește. Automatizarea înseamnă înlocuirea/diminuarea participării omului în această interacțiune prin funcționarea unor instalații, mașini, dispozitive automate, comandate, în condițiile de astăzi, de către calculator, pe baza unor programe întocmite de operatori umani.

Automatizarea conduce atât la creșterea *productivității muncii* – prin diminuarea numărului /timpului de activitate a operatorilor umani participanți la efectuarea unei anumite interacțiuni cu mediul cât și la creșterea *nivelului calitativ* (spre ex. a preciziei) interacțiunii, prin diminuarea imperfecțiunilor (spre ex. a erorilor) cauzate de capacitățile limitate/indiscipliniei operatorilor umani.

Orice membru al “familiei robot” [Kov99] este un element esențial al automatizării interacțiunii în sfera activităților industriale și de prestări de servicii.

Cercetarea științifică tehnică are menirea de a crea fundamentele teoretice și practice ale progresului tehnic, în strânsă corelație cu cerințele actuale sau cele previzibile ale acestora.

Cercetările științifice actuale de Robotică se dezvoltă în mod special în direcția perfecționării construcției și funcționării sistemelor de comandă ale roboților, a programării acestora, cât și în direcția utilizării roboților, mai ales în activități de prestări de servicii. Cercetările de Robotică industrială au tot mai mult un caracter de Productică, vizând soluționarea problemelor integrării prin calculator a concepției, fabricației și compartimentul activităților de producție industrială, optimizarea conlucrării operatorilor umani cu activități creative cu sisteme tehnice automate.

Prezenta teză de doctorat și-a propus să aducă modeste contribuții originale atât în direcția perfecționării programării sistemelor de comandă ale roboților și cât și a altor componente ale sistemelor de fabricație flexibilă, în strânsă corelare cu principiile Producticii.

\*

Autoarea folosește ocazia redactării capitolului 1, “Introducere” a tezei pentru a mulțumi Universității “Politehnica” din Timișoara, Facultății de Mecanică, Departamentului de Mecatronică (fostă Catedră de Organe de Mașini și Mecanisme), conducerilor acestor instituții care s-au succedat în decursul ultimelor 2 decenii pentru condițiile care i-au fost asigurate pe tot parcursul elaborării tezei.

Autoarea mulțumește în mod special Prof.Dr.ing.Dr.h.c. Kovacs Francisc Viliam pentru competența sa de conducere științifică, pentru ideile legate de conținutul tezei pe care i le-a sugerat și pentru ajutorul permanent acordat în cursul elaborării tezei.

Mulțumirile se îndreaptă și către colegii fără ajutorul cărora nu s-ar fi putut soluționa unele probleme legate de partea aplicativă-experimentală a tezei: dr. ing. Maci Claudiu, șef lucr.dr. ing. Grigorescu Sanda, șef lucr.dr.ing. Diaconu Aurel, drmd. Ciupe Valentin.

Autoarea se gândește cu recunoștință la ajutorul primit la începutul activității, din partea colegilor de la catedra de T.C.M., înainte de toate din partea primului conducător științific, regretatul Prof.em.Dr.ing.Gheorghe Savii.

## 2. Stadiul actual al cercetărilor și realizărilor în domeniul programării off-line a roboților

### 2.1 Noțiuni de bază

Robotica este acel domeniu al științei care se ocupă de construcția și utilizarea roboților.

Robotul este un sistem mecatronic mobil, destinat automatizării interacțiunii dintre om și mediul în care acesta evoluează.

Sistemul mecatronic este un sistem care cuprinde componente mecanice, electronice și de calcul automat, precum și relațiile ce se stabilesc între acestea.

Robotul de manipulare manipulează obiecte de lucru și se încadrează în subsistemul de manipulare al sistemului de fabricație, robotul de prelucrare manipulează scule și se încadrează în subsistemul de prelucrare al sistemului de fabricație.

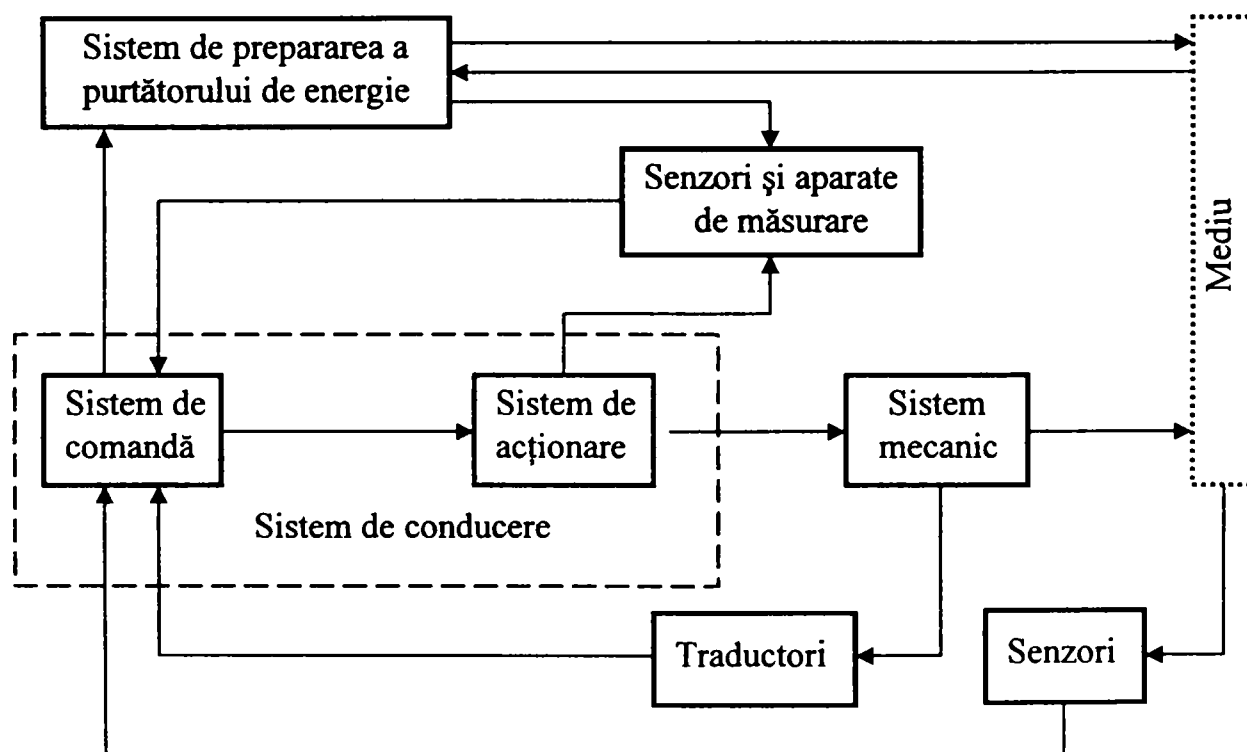


Fig.2.1 Structura robotului

Robotul considerat ca un sistem de rang R este constituit din patru sisteme de rang R-1, care la rândul lor se constituie dintr-un ansamblu de elemente interconectate astfel încât performanțele ansamblului sunt superioare sumei performanțelor individuale ale elementelor

componente. Sistemele de rang R-1 se află într-o legătură unitară bi-direcțională și se comportă împreună ca un sistem de rang R: sistemul robot.

Sisteme de rang R-1 care compun sistemul robot de rang R sunt următoarele:

- sistemul de comandă;
- sistemul de acționare;
- sistemul mecanic;
- sistemul de preparare a purtătorului de energie.

Structura unui robot este prezentată schematic în figura 2.1.

Sistemul de comandă are funcția de a emite comenzi privind comportamentul robotului. Aceste comenzi sunt în principal legate de pornirea/oprirea robotului precum și de realizarea parametrilor de mișcare relativă a elementelor din cuplurile cinematice conducătoare.

După modul de elaborare și transmitere a comenzilor sistemele de comandă pot fi cu:

- comanda manuală, realizată prin acțiunea operatorului uman;
- comanda automată, realizată cu ajutorul unui dispozitiv care emite comenzi în conformitate cu un program;
- comanda mixtă, realizată prin colaborarea operatorului uman cu un sistem de comandă automată.

Schema bloc a sistemului de comandă automată este prezentată în figura 2.2.

Principalele componente constructive ale subsistemelor sistemului de comandă sunt următoarele:

- **Programul** este constituit dintr-un set de informații codificate. Aceste informații conțin date referitoare la valorile coordonatelor și vitezelor generalizate în funcție de timp, referitoare la momentele de pornire și de oprire ale mișcărilor, legate de începerea și terminarea stărilor de repaus pentru diferite organe, privitoare la necesitatea efectuării salturilor peste unele secvențe de program și la interblocări de tip "if", menite să restricționeze posibilitatea efectuării mișcărilor care necesită îndeplinirea prealabilă a unei condiții.
- **Dispozitivul de introducere a programului** servește la introducerea programului în sistemul de comandă prin convertirea instrucțiunilor conținute în program în limbaj cod mașină.
- **Unitatea centrală de procesare a informațiilor** este componenta principală a sistemului de comandă. Ea este constituită de regulă din mai multe procesoare care realizează funcțiile de preluare și prelucrare/interpretare a programului, gestionarea sistemului de operare, planificarea legilor de mișcare, efectuarea calculului aferent transformărilor de

coordonate, trimiterea/apelarea unor date spre/din dispozitivul de memorare, gestionarea și interpretarea informațiilor recepționate de la senzori, organizarea activității robotului conform programului.

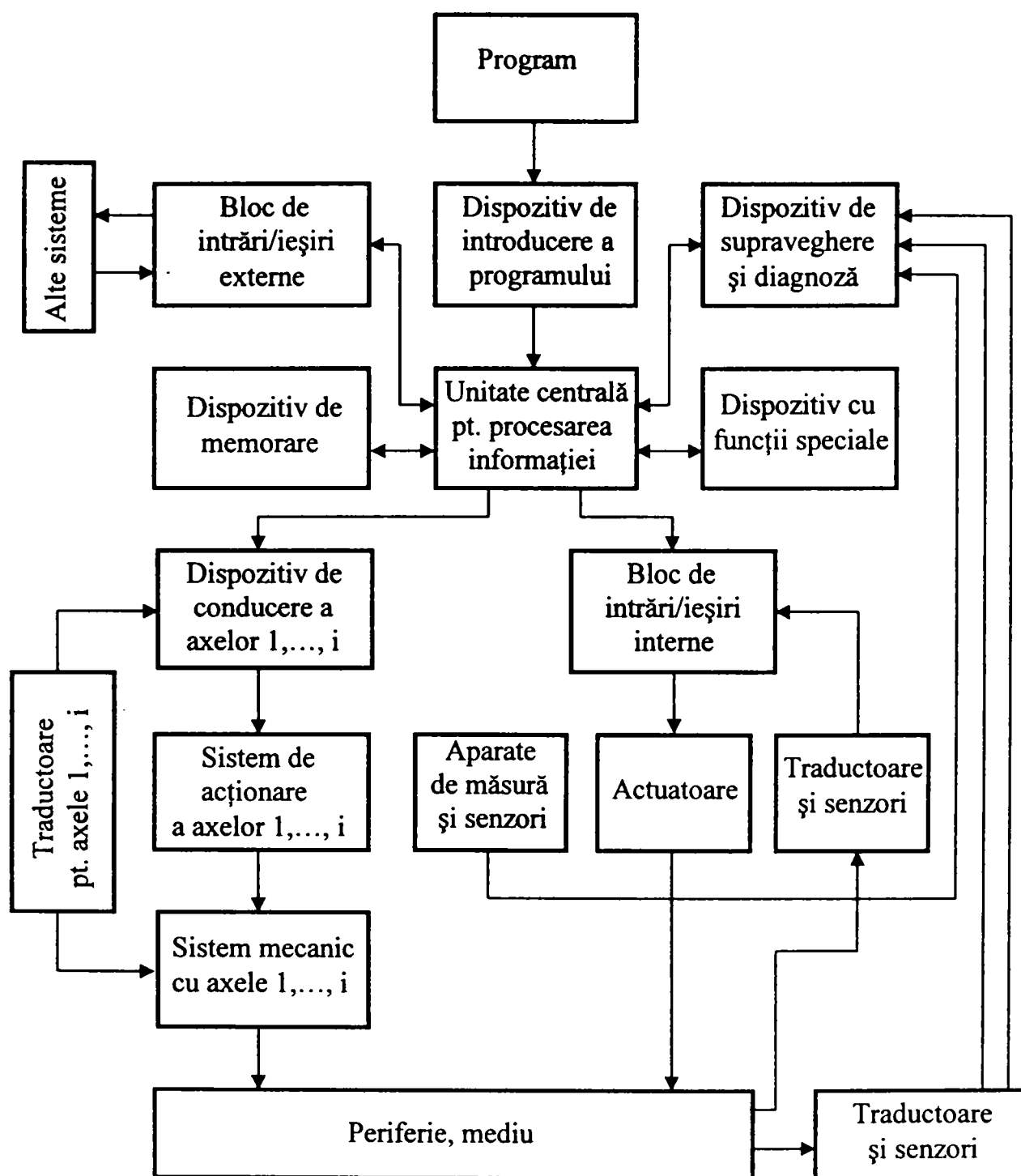


Fig.2.2 Schema bloc a sistemului de comandă automată

- *Blocurile de intrări/ieșiri* constituie ansamblul interfețelor seriale și paralele ale sistemului de comandă cu actuatorii și traductoarele/senzorii dispozitivelor periferice

robotului, cu alte componente ale sistemului robotizat care iau parte la procesul servit/urmărit, respectiv cu alte sisteme de comandă. Blocurile de intrări/ieșiri sunt interne și externe. Dacă robotul este integrat într-un sistem de fabricație subordonat se utilizează blocul de intrare/ieșire internă iar dacă este integrat într-un sistem de fabricație ierarhic superior se utilizează blocul de intrare/ieșire externă.

- **Dispozitivele de memorare** servesc la stocarea informațiilor conținute în programe și a altor date, respectiv, regăsirea și punerea la dispoziție a acestora în vederea utilizării. Se disting dispozitive de memorare electronice interne și respectiv externe.
- **Dispozitivele cu funcții speciale** sunt destinate pentru efectuarea diferitelor operații de calcul necesare elaborării semnalului de comandă a robotului. Astfel de operații sunt cele de sincronizare, de selectare de informații etc. Aceste dispozitive pot utiliza calculatoare predestinate sau pot utiliza rezervele de capacitate de calcul ale unității centrale pentru procesarea informației.

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

**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.

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

- **Programul de control** (control program), numit și sistem de operare, furnizează robotului indicații asupra modului în care trebuie să execute operațiile. El conferă robotului posibilitatea de a primi, înțelege și executa un task de utilizator.
- **Programele de utilizator**, numite și programe de aplicație, sunt programe care furnizează robotului indicații asupra succesiunii și caracteristicilor operațiilor pe care trebuie să le execute.

Metodele de programare a roboților se pot clasifica:

- după modul de determinare al punctului țintă
  - prin instruire (on-line)
  - prin calcul (off-line)
- după modul de funcționare a cuplelor cinematice conducătoare
  - cu programare (comandă) secvențială

- cu programare (comandă) punct cu punct
- cu programare (comandă) multipunct
- cu programare (comandă) pe traiectorie continuă

**Programarea prin instruire** se realizează chiar în postul de lucru, necesită în general un minimum de mijloace informatice și se reduce, indiferent de metoda utilizată (directă sau indirectă), la o demonstrație materială a sarcinii de îndeplinit, efectuată de un operator cu ajutorul robotului, înregistrarea situațiilor atinse de robot prin deplasarea acestuia și memorarea coordonatelor elementelor cuplelor cinematice conducătoare folosind robotul însuși ca sistem de măsură. Plecând de la fișierele cu valorile coordonatelor specifice fiecărei configurații, robotul va putea apoi efectua 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 la alt moment decât execuția lui, atunci acest mod de programare poartă denumirea de *off-line*. O astfel de programare se poate realiza și în afara sistemului de comandă al robotului. În funcție de posibilitatea de realizare a programului pe un al doilea robot, programarea off-line poate fi:

- **explicită**, adică orientată după mișcare; fiecare comandă fiind prelucrată de sistemul de comandă al robotului într-o anumită succesiune dată;
- **implicită**, adică orientată după obiectivul (task-ul) de realizat; utilizatorul descriind obiectivul de realizat independent de succesiunea prelucrării ulterioare a comenzilor de către sistemul de comandă al robotului.

În funcție de modul de abordare, programarea off-line poate fi:

- **textuală**, programarea realizându-se cu ajutorul unui limbaj de programare specific;
- **grafică**, generarea programului realizându-se într-un pachet CAD/CAM specializat, de la care se transferă ulterior sistemului de comandă al robotului.

## 2.2 Limbaje de programare ale roboților

### 2.2.1 Introducere

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 proiectantul robotului, lăsând utilizatorului doar

posibilitatea alegerii unui număr limitat de funcții. Metoda, deși oferă avantajul “programării” robotului de către un operator oarecare, limitează totuși posibilitățile de exploatare ale robotului respectiv.

Dacă utilizatorul ar putea programa microprocesorul sau microprocesoarele, gama de aplicații a robotului ar putea fi extinsă considerabil, dar în acest caz utilizatorul trebuie să fie un bun specialist în programare. Programarea directă a microprocesoarelor este destul de dificilă, aceasta realizându-se în cod mașină sau limbaj de asamblare, pentru a permite comanda în timp real. Acest nivel de programare, denumit *nivel 0*, este prin urmare foarte puțin utilizat la roboții industriali. Se poate întâlni la roboții construiți la cerere sau artizanali, comandați de calculatoare personale.

Pentru a evita utilizarea acestei metode dificile de programare, au fost dezvoltate 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 *compilator* pentru a transpune programul într-un format intern adecvat care să permită interpretarea acestuia în timp real.

Primul limbaj de programare pentru roboți, limbajul WAVE, dezvoltat la Stanford University a apărut în anul 1973. De atunci și până în prezent numărul limbajelor de programare pentru roboți a crescut necontenit.

Analizând limbajele de programare pentru roboți industriali se poate constata că definirea acestora s-a realizat pe trei căi.

O primă sursă de inspirație a constituit-o *limbajele de programare clasice*. Pornind de la aceste limbaje, fie prin completarea acestora cu instrucțiuni specifice roboților, fie prin definirea unor limbaje similare, care păstrează din limbajele de referință doar structurile absolut necesare, s-au definit limbajele de programare pentru roboți.

Se pot da ca exemple în acest sens:

Algol → AL (Assembly Language) și SRL (Structured Robot Language);

Pascal → PASRO (PAScal for Robots) și RAIL

PL/I → AUTOPASS (AUTOMated Parts Assembly System)

Fortran → Noname

Basic → MAL (Multipurpose Assembly Language)

RTL/2 → INDA (INDustrial Automation)

În paralel cu limbajele derivate din limbajele de programare clasice, a apărut și o serie de *limbaje de programare specifice roboților*. La dezvoltarea acestora s-a urmărit definirea unui



limbaj cât mai simplu, dar care să exploateze la maxim resursele robotului respectiv. Sintaxa comenzilor este destul de simplă, compilatoarele sau interpretoarele aferente putând fi implementate și pe sisteme cu capacitate mică de memorie. Instrucțiunile de control, subprogramele, funcțiile matematice sunt mult reduse și nu permit programarea structurată, abordarea programelor de talie mare fiind destul de dificilă.

O altă sursă de inspirație a constituit-o limbajele pentru programarea mașinilor cu comandă numerică. Similar cu descrierea mișcării și orientării sculei în cazul mașinilor-unelte, se descriu mișcările efectorului final în cazul roboților. Se poate cita în acest sens limbajul RAPT dezvoltat de Universitatea din Edinburgh, limbaj inspirat după pachetul APT (Automatically Programmed Tools).

### **2.2.2 Limbaje de programare reprezentative**

Următoarele limbaje de programare pentru roboți industriali pot fi considerate ca fiind cele mai reprezentative:

**AML** (A Manufacturing Language) a fost elaborat de firma IBM (1982) și era destinat roboților din producția curentă și anume robotul cartezian de producție proprie RS-1 (IBM 7565) și robotul Sankyo de producție japoneză. Prin robotul RS-1, IBM a fost prima firmă care a introdus senzori tactili în degetele dispozitivului de prehensiune, limbajul AML conținând instrucțiuni pentru integrarea senzorilor. Versiunea AML Entry implementată pe robotul Sankyo este un subset al limbajului AML și poate rula pe un microcalculator PC, unde este generat codul programului transferabil robotului Sankyo.

**IRL** (Intuitive Robot Language) este un limbaj dezvoltat de compania elvețiană Microbo, afiliată marilor companii producătoare de ceasuri. Limbajul era destinat roboților Souris (având o precizie de 0.01mm), precum și modelelor Castor și Ecureuil, ultimul fiind introdus în fabricație în 1983.

**LM** (Langage de Manipulation) este un limbaj dezvoltat în laboratoarele Universității din Grenoble (1979) și a fost destinat roboților IMAG. Limbajul preia o bună parte din conceptele sale din AL, mai puțin procesarea paralelă și rulează pe o platformă puternică.

**LPR** (Langage de Programmation de Robot) a fost elaborat în 1978 și este destinat roboților ACMA produși de firma Renault. Roboții ACMA sunt controlați de platforme puternice bazate pe mai multe microprocesoare pe 16 biți. Totodată, pentru a facilita dezvoltarea unor aplicații complexe, LPR a fost proiectat utilizând metoda Grafcet. LPR este considerat de firma Renault ca instrument pentru dezvoltarea aplicațiilor proprii și nu este accesibil pe piață.

**MCL** a fost dezvoltat în cadrul proiectului ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing), finanțat de Departamentul de Apărare al Statelor Unite, pentru a rezolva în mod unitar problemele legate de programarea roboților. MCL este o extensie a limbajului APT și este destinat programării celulelor flexibile.

**PLAW** (Programming Language for Arc Welding) a fost elaborat de firma Komatsu pentru seria de roboți cartezieni RW echipați cu senzori și camere TV. Acest program demonstrează avantajul programării textuale, fiind adecvat unor taskuri în care nu se justifică sau este chiar imposibilă instruirea robotului. Este un limbaj adecvat pentru programarea operațiilor complexe de sudare cu arc electric, operații care impun utilizarea senzorilor și a canalelor de ghidare.

**RAIL** este un limbaj bazat pe Pascal, dezvoltat de Automatix (1978) și o serie de cercetători de la MIT și Standfort University. Este primul limbaj de programare care poate fi utilizat atât la operații de manipulare, cât și la operații care implică utilizarea unui sistem video. Programul este destinat roboților de sudare Hitachi dar poate fi utilizat și la programarea roboților DEA specializați în operații de montaj.

**SERF** (Sankyo Easy Robot Formula) a fost dezvoltat, în cadrul proiectului Scara, de firma Sankyo (1978) pentru proprii săi roboți, fiind primul limbaj dezvoltat în Japonia. Roboții Sankyo sunt orientați pentru asamblare la scară mică, acolo unde paletizarea are un rol important.

**SIGLA** (SIGma LAnguage) a fost primul limbaj comercial de programare a roboților industriali (1974). A fost dezvoltat de firma Olivetti și era destinat roboților cartezieni Sigma din producția curentă. Deși inspirat considerabil din limbajele pentru comanda numerică, Sigma permite comanda mai multor roboți și conține instrucțiuni pentru integrarea senzorilor.

**VAL** (VicArm Language) a fost dezvoltat de către studenții de la Standford University (1973). Este inspirat după limbajul WAVE și este destinat micilor roboți de cercetare produși de VicArm.

**VAL II** este unul din cele mai cunoscute și utilizate limbaje de programare pentru roboți. A fost definit și implementat de firma Unimation Corporation, fiind ulterior preluat și de alte firme. Pe lângă tipurile de date specifice limbajelor de programare clasice, limbajul VAL II introduce și unele tipuri de date specifice roboticii. Limbajul VAL II permite transformări absolute, relative și compuse. O caracteristică interesantă și deosebit de utilă este cvasiconcurența. Aceasta constă în posibilitatea definirii unui task de control al procesului, numit task PC, care se desfășoară simultan, mai precis cvasiconcurent cu taskul principal de conducere al robotului.

**RAPT** a fost definit prin extinderea limbajului **APT**. Limbajul este pur interpretabil (nu necesită fază de compilare intermediară) și permite descrierea a două tipuri de entități: situațiile, care apar în procesul de asamblare și acțiunile care permit asamblarea componentelor, în vederea realizării situațiilor specificate. Descrierea acțiunilor se realizează prin intermediul instrucțiunilor de mișcare, instrucțiuni ce pot defini deplasări de translație sau rotație a obiectelor implicate în task. Limbajul are capacitatea de a calcula amplitudinea deplasărilor efectuate și permite definirea unor subansambluri.

**AUTOPASS** (Automated Parts Assembly) este un limbaj experimental elaborat, în prima versiune încă din 1977, de cercetătorii IBM și este destinat asamblării robotizate a componentelor mecanice. Este la ora actuală unul din cele mai moderne și evolute limbaje de programare a roboților industriali. Limbajul pune la îndemâna utilizatorului facilități pentru declararea manipuletoarelor și a caracteristicilor acestora, declararea caracteristicilor spațiale ale obiectelor, inițializarea variabilelor geometrice, asertarea relațiilor de asamblare și asertarea relațiilor de îmbinare. Limbajul prezintă posibilitatea cooperării a doi roboți la realizarea unui task.

### 2.2.3 Clasificarea limbajelor de programare

În funcție de bogăția mijloacelor de expresie informatice puse la dispoziția utilizatorului, limbajele de programare se împart în trei categorii:

**Limbajele sărace în mijloace informatice** (cu posibilități de tip BASIC) sunt limbaje cu variabile de tip unic, în general întreg, condiționări de tip "IF...THEN" și de salt necondiționat de tip "GO TO". Se pot folosi subprograme, care însă nu permit transmiterea unor parametri. Structura programului este liniară, iar pozițiile de atins sunt precizate sub forma coordonatelor c.c.c., fie sub formă numerică, fie făcându-se referință la poziții memorate prin instruire.

**Limbajele de nivel înalt** oferă structuri de date predefinite clasice cât și specifice roboticii, cu structuri inspirate din limbajul PASCAL.

**Limbajele de programare** pentru celule robotizate oferă mecanisme evoluate de evaluare și modelare a mediului înconjurător și permit supervizarea unui ansamblu de acțiuni precum și cooperarea între acestea.

Din punct de vedere al modului în care se descriu sarcinile impuse robotului, limbajele de programare pot fi categorisite în 6 nivele.

Nivelul 1: **nivel hardware/microcalculatoare**

Este nivelul de bază din ierarhia limbajelor de programare a roboților. Comenzile sunt puternic dependente de structura fizică a robotului, ca urmare nu există limbaje formale la

acest nivel. Controlul fiecărei cuple cinematice conducătoare se face independent prin microcalculator, un sistem hard sau un sistem multitasking. Limbajele care pot fi incluse în această categorie sunt limbaje de asamblare și sunt utilizate pentru a programa funcții de control în timp real.

#### Nivelul 2: *nivel punct cu punct*

Aceste limbaje asigură o conducere programabilă a robotului, permițând utilizatorului să adreseze o serie de situații prin intermediul unor coordonate din spațiul de lucru al robotului, fie de la panoul de instruire (în regim de instruire) fie manual. Comanda robotului în regim de instruire poate fi făcută în coordonate carteziane, cilindrice sau interne (c.c.c.). Programele pot fi modificate prin derulare înainte și înapoi, ștergere și inserție de linii de program.

*Exemple:* T3, FUNKY.

#### Nivelul 3: *nivel de mișcare*

În cadrul acestui nivel, prin limbaje formale, se specifică mișcarea punct cu punct a robotului. Software-ul de nivel 3 degreveză utilizatorul de operațiile dificile consumatoare de timp.

Prezintă următoarele caracteristici:

- posibilități de salt (ramificări în program);
- folosirea subrutinelor (cu parametri care pot fi transmiși);
- permite execuții paralele simple;
- specificarea mișcării se poate face în coordonate carteziane sau în coordonate c.c.c;
- capacitatea de tratare a senzorilor este variabilă, de la instrucțiuni dedicate senzorilor binari până la comenzi pentru sisteme dotate cu vedere artificială;
- unele limbaje sunt prevăzute cu :
  - comenzi anticoliziune;
  - facilități limitate de transformări de coordonate;
  - posibilități de utilizare a matricilor de transformare.

Limbajele de acest nivel sunt interpretoare sau asambloare. Excepție face limbajul RPL care este compilator. Unele limbaje includ directive de manipulare și prelucrare fișier.

*Exemple:* EMILY, ANORAD, RPL, SIGLA, VAL.

#### Nivelul 4: *nivelul programării structurate*

Limbajele de acest nivel conțin structuri de control al robotului și permit un grad mai mare de utilizare al transferului de coordonate. Includ structuri de date complexe, utilizează variabile de stare predefinite și au dezvoltate facilitățile de prelucrare paralelă și de interacțiune cu senzori. Majoritatea limbajelor au subrutine cu parametru, definibile de utilizator. Toate

limbajele permit definirea de puncte, linii, plane, cadre, vectori; ele pot opera cu scalari, vectori, translații, rotații, sisteme de coordonate, transformări omogene.

Variabilele de stare se referă la cuvinte rezervate, care reprezintă o cantitate fizică asociată robotului.

*Exemple:* AL, HELP, MCL, ROBEX, PAL.

**Nivelul 5: *nivelul orientat pe task-uri***

Programarea la acest nivel presupune definirea sarcinii de lucru prin instrucțiuni care definesc operațiile ce trebuie executate asupra obiectelor, independent de robot, motoarele de acționare sau efectatorul final. Scopul acestor limbaje este de a pune la dispoziția utilizatorului mijloace care să-i permită să nu ia în considerare detaliile de manipulare și execuție. Astfel programatorul neglijează complet mișcarea robotului și indică doar deplasarea elementară a obiectului, spre exemplu:

“PLASEAZĂ OBIECTELE 1, 2 și 8 pe SUPORTUL 10”

Fraza de comandă este transformată prin compilare într-un program la nivelul efectatorilor care, apoi, este transformat (postprocesat) în comenzi în limbaj mașină pentru motoarele de acționare, astfel încât să se realizeze traiectoria calculată și să se evite coliziunile. Dacă programatorul nu ia în considerare mișcările, în schimb, la nivelul compilatorului trebuie să se cunoască, în cele mai mici detalii, geometria obiectelor de manipulat și a efectatorului final prin memorarea acestora în faza anterioară programării. În timpul scrierii programului, compilatorul verifică sintaxa instrucțiunilor și realizează o simulare internă a execuției, semnalând operatorului eventualele erori sau incompatibilități.

*Exemple:* AUTOPASS, LAMA, RAPT.

**Nivelul 6: *nivelul inteligent***

Programarea la acest nivel este de fapt o generalizare a modului precedent, prin specificarea doar a obiectivului final de realizat într-o fază a operației, fără a detalia toate etapele intermediare. Bineînțeles, idealul ar consta în a pune la dispoziția programatorului mijloacele care să-i permită să specifice, cu ajutorul unor expresii adecvate, scopul global al programului, spre exemplu folosirea unor instrucțiuni de tipul:

“MONTEAZĂ ANSAMBLUL CARCASĂ”

Pentru executarea acestei instrucțiuni trebuie definite anterior toate elementele componente ale carcasei, cu toate datele lor caracteristice, ordinea și modul de asamblare al fiecăreia.

Desfășurarea programului are loc după următoarele etape mari:

- compilarea programului la nivel obiectiv într-un limbaj de nivel efectator;
- interpretarea și verificarea sintaxei și semanticii frazelor de comandă;

- compilarea în limbaj mașină și simularea programului pe un monitor, astfel încât programatorul să poată interveni și depana erori.

Simularea se bazează pe modelarea geometrică, cinematică și dinamică a robotului și pe folosirea informațiilor primite din partea sistemului senzorial. Limbajele din această categorie nu au un caracter global, ele fiind create pentru un anumit tip de operație (turnare, sudare, asamblare etc.) și se utilizează mai mult pentru programarea unor celule flexibile care includ și un robot, decât pentru un robot de sine stătător.

#### **2.2.4 Limbajul de programare ACL utilizat în cadrul sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC**

Limbajul de programare ACL (Advanced Control Language) este utilizat pentru sisteme multitasking în conducerea roboților industriali.

ACL este programat în EPROM în controllerul robotului și este accesat prin portul RS232. Orice terminal standard poate comunica cu ACL.

Funcțiile rezolvate de ACL sunt următoarele:

- execuția imediată a comenzilor-robot;
- controlul fluxului de date de intrare/ieșire;
- programarea robotului de către utilizator;
- execuția simultană a unor programe;
- execuția sincronă a unor programe;
- operații simple cu fișiere.

Limbajul ACL permite două moduri de lucru:

- DIRECT (D), în care instrucțiunile sunt executate imediat ce au fost introduse de la tastatură sau panoul de operare.
- EDIT (E), în care instrucțiunile sunt executate imediat la lansarea programului editat.

În sintaxa comenzilor se întâlnesc referiri la grupurile de axe A, B, C. Numărul axelor pentru grupurile A și B se definesc de către utilizator. Axele independente sunt definite ca axe ale grupului C.

În ACL poziția trebuie mai întâi definită dându-se un nume alfanumeric de maximum 5 caractere. Odată definită poziția, ei i se pot atribui coordonate. Pozițiilor individuale li se pot da două tipuri de nume:

- numerice, care permit ca poziția să fie accesată de la panoul de operare;
- nume din litere sau combinații de litere și cifre, neaccesabile de la panou.

### 2.3 Relațiile între modelarea geometrică și funcțională a roboților și a sistemelor robotizate, simularea și programarea funcționării lor

Roboții industriali lucrează în sisteme de fabricație robotizate. Componenta unui sistem de fabricație robotizat este prezentată în figura 2.3.

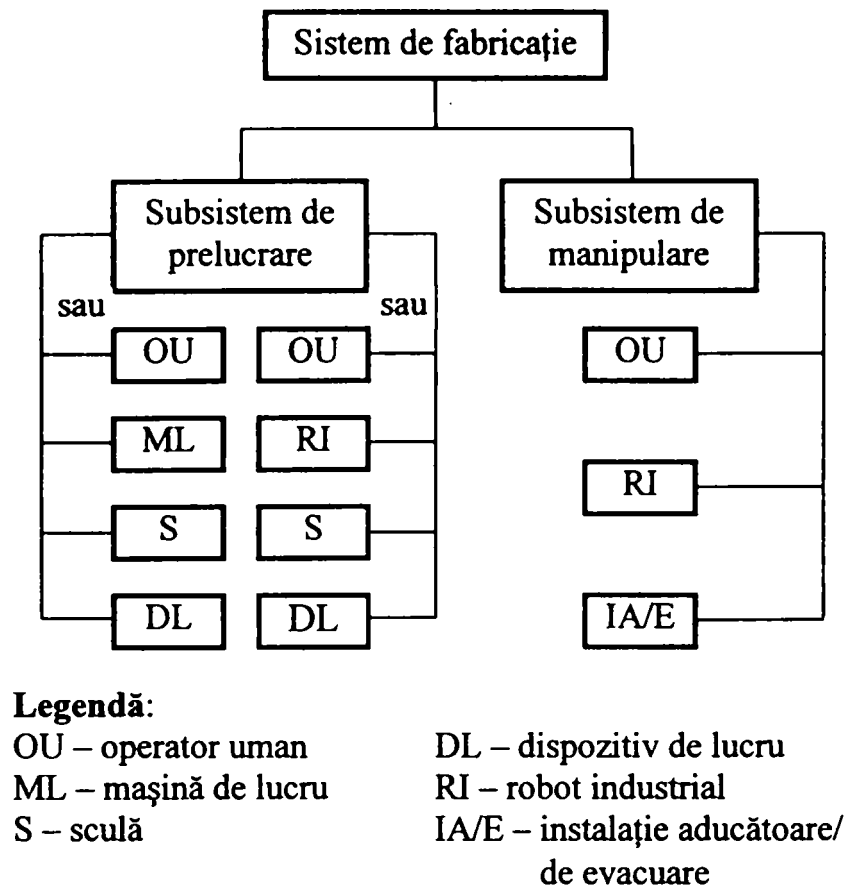


Fig. 2.3 Componenta sistemului de fabricație robotizat

Elementele componente ale unui sistem de fabricație robotizat pot fi considerate obiecte geometrice având o anumită situație relativă. Modificarea în timp a situației relative a obiectelor geometrice care constituie elementele geometrice ale unui sistem de fabricație robotizat reprezintă funcționarea acestuia într-un anumit scop.

Modelarea unui sistem de fabricație robotizat va prezenta în consecință două aspecte:

- modelarea geometrică;
- modelarea funcțională.

**Modelarea geometrică** presupune realizarea unui *model geometric*. Un model geometric se poate defini ca reprezentarea completă a unui obiect, incluzând atât informații grafice cât și negrafice despre obiectul respectiv. Acest model trebuie să conțină o descriere suficient de

realistă pentru aplicația dată și trebuie să poată fi interpretat, în caz de necesitate, atât de către un operator uman, cât și de sisteme tehnice.

Imaginea unui obiect, afișată pe ecranul calculatorului, reprezintă ilustrarea unui model geometric, a unei reprezentări matematice (interne) a acelui obiect. Modelele geometrice pot fi bidimensionale (2D) sau tridimensionale (3D). Există o categorie intermediară, cea a modelelor 2½-dimensionale (2.5D), care sunt modele spațiale, dar obținute simplist din modele 2D prin adăugarea unei dimensiuni constante (de ex. o grosime).

Modelele bidimensionale conțin date despre un obiect exprimate prin vederi plane ale acestuia. Ele sunt bine adaptate pentru desenul tehnic industrial.

Modelele tridimensionale se pot reprezenta matematic în trei moduri: prin muchii (wireframe), prin fețe și prin volume (solide). Un model wireframe este o reprezentare a tuturor muchiilor ce definesc obiectul. Modelele prin fețe conțin informații despre suprafața obiectului (fețele care îl mărginesc), dar nu și despre conținut (material). Modelele solide sunt reprezentări matematice care realizează o descriere tridimensională completă a obiectelor.

Modelele solide pot fi obținute prin următoarele tehnici de modelare mai frecvente:

- prin frontiere ( Boundary representation, B-rep): se realizează enumerarea fețelor exterioare ale obiectului care constituie frontiere de delimitare ale acestuia;
- prin geometria constructivă a solidelor (Constructive Solid Geometry, CSG, numită și prin arbore de construcție sau prin istoric): se definesc ca semispații volume primitive, care se combină între ele prin intermediul unor operații booleene, stabilite după structuri arborescente;
- prin enumerare spațială: obiectul solid este descris prin elementele volumice unitare (voxeli) ocupate;
- prin baleiere/analitic (Analytic Solid Model, ASM): se utilizează funcții analitice ce descriu curbele și/sau suprafețele;
- prin instanțierea primitivelor sau parametric/procedural: se aplică valori numerice unor modele sau entități geometrice elementare preexistente, modelul obiectului rezultând prin executarea unei proceduri.

**Modelarea funcțională** presupune realizarea unui *model funcțional*. Modelul funcțional se obține prin descrierea matematică a funcționării obiectului în conformitate cu scopul propus. Cu ajutorul modelelor funcționale, datelor geometrice furnizate de modelul geometric li se asociază 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.

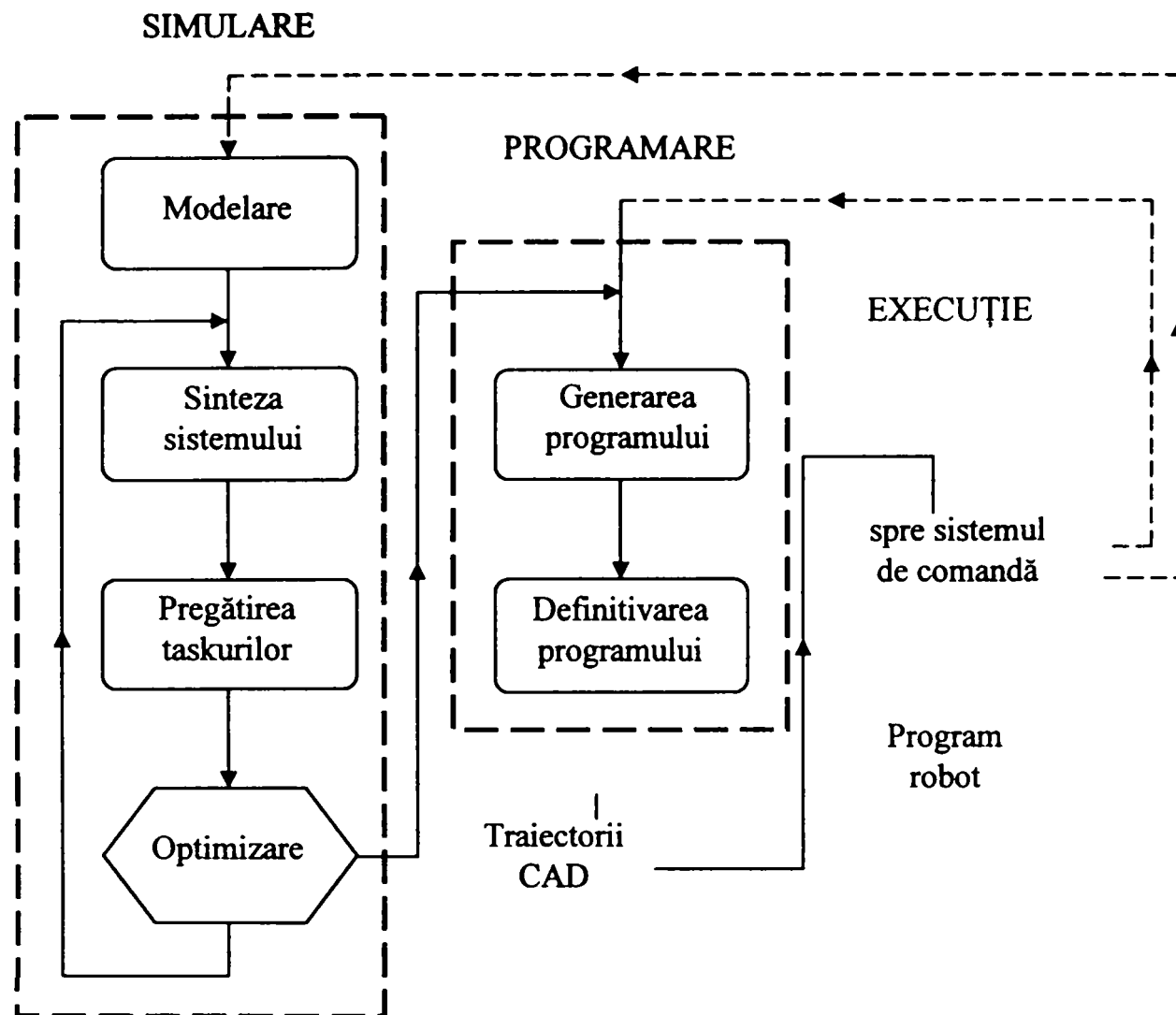


Fig.2.4 Etapele concepției și programării unui sistem robotizat

Deplasările obținute prin modelare funcțională se verifică prin simulare. În continuare, aceste deplasări se vor denumi "traietorii", informațiile relativ la acestea conținând atât traiectoria punctului caracteristic cât și succesiunea de orientări ale obiectului.

**Simularea funcțională** constă în punerea în mișcare a modelului geometric în conformitate cu modelul funcțional. Mijlocul cel mai convenabil de a recepta mișcarea modelului geometric în conformitate cu modelul funcțional este vizualizarea pe ecranul monitorului.

**Programarea simulării** constă în elaborarea seturilor de comenzi pentru realizarea și vizualizarea mișcărilor obiectelor în conformitate cu funcționarea lor. Aceste comenzi sunt

apoi reluate pentru programarea off-line propriu-zisă, înainte de aplicarea lor pentru comanda sistemului robotizat real.

Etapele de concepere și programare ale unui sistem de fabricație robotizat și ordinea lor de parcurgere sunt prezentate în figura 2.4.

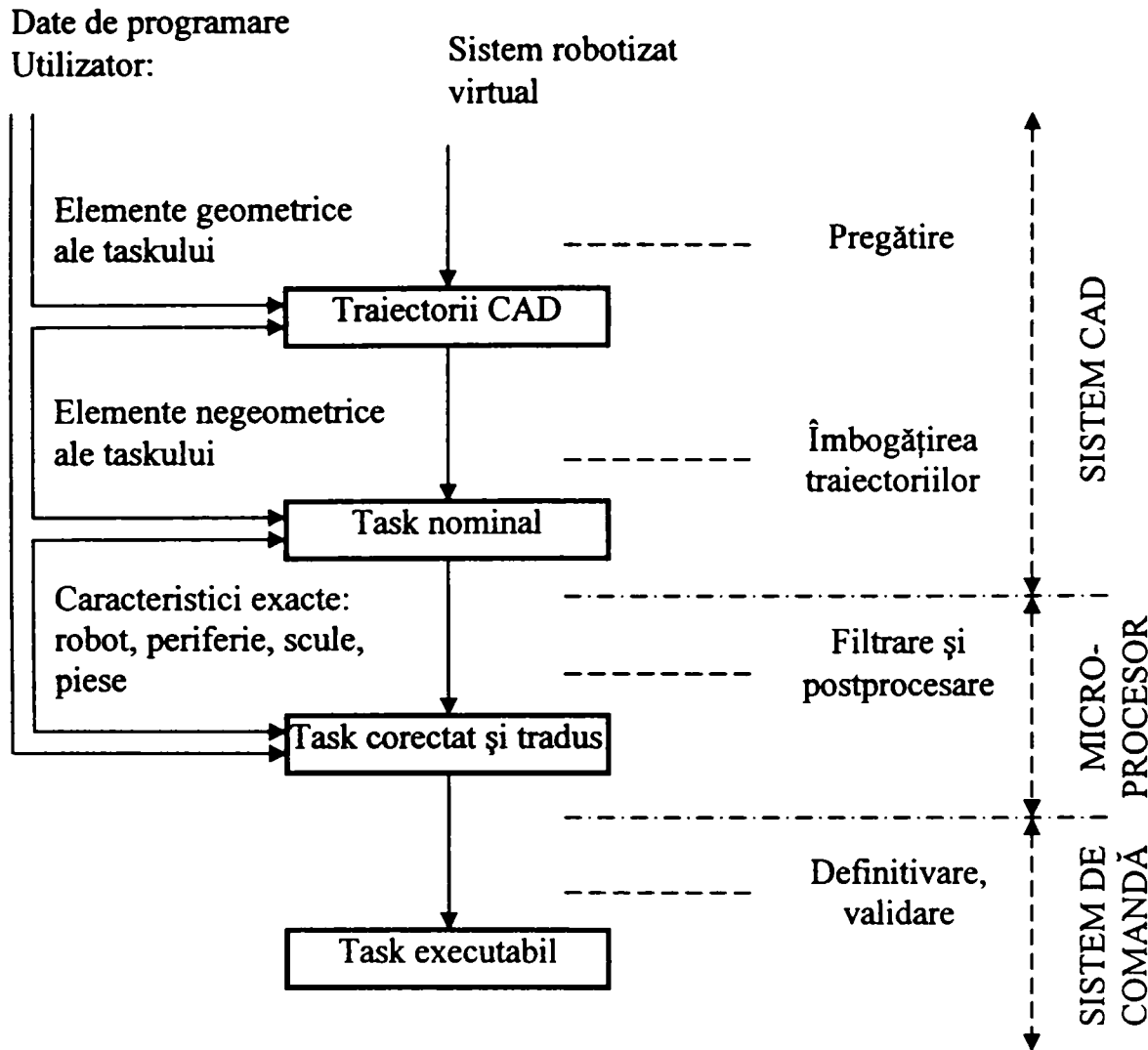


Fig. 2.5 Etapele programării off-line a sistemelor robotizate

Programarea off-line pornind de la datele CAD și cele furnizate de simulare presupune la rândul ei un set de etape prezentate în figura 2.5.

Pornind de la descrierea geometrică a sarcinii (taskului) de realizat, într-o fază de pregătire, se definesc “traectoriile” CAD nominale. Ele se pot optimiza pe baza criteriilor proprii aplicației respective. Aceste traectorii se “îmbogățesc” cu informații suplimentare, în esență negeometrice, furnizate de utilizator. Ca urmare aceste “traectorii îmbogățite” vor conține informații :

- cu privire la situații, viteze, accelerații, interpolări etc.;
- privind situarea robotului în relativ cu periferia;
- logice;
- privind descrierea interacțiunii cu periferia.

Etapa următoare are rolul de a adapta taskul nominal la sistemul robotizat real. Pentru aceasta, prin operația numită filtrare, "trajectoriile" sunt corectate conform caracteristicilor geometrice și cinematice efective. Taskul corectat, având un format neutru, este postprocesat pentru a fi transformat într-un format corespunzător sistemului de comandă țintă.

Pentru ca taskul să devină executabil mai sunt necesare corecturi ale unor puncte ale traiectoriei, executate pe sistemul robotizat. Ultima etapă este deci o etapă de definitivare, de teste și de validare, având ca rezultat un task executabil.

Datorită faptului că programul robot este definit și stocat într-un format intern specific, mult diferit de formatul utilizat de sistemul de comandă (controllerul) robotului, este necesară o formă de interfațare. Prin interfațare se convertește descrierea programului de la formatul specific sistemului de programare off-line, la formatul specific controllerului robotului.

Comenzile elaborate pentru mișcarea obiectelor virtuale în cadrul simulării funcționale se vor utiliza și pentru a realiza mișcările necesare funcționării efective a sistemului robotizat, deci pentru a mișca obiectele reale componente ale acestuia.

În lumea virtuală a simulării și programării off-line, sistemul robotizat este perfect. În realitate există diferențe între modelul teoretic idealizat și obiectul real. Verificarea concordanței modelului cu lumea reală se realizează prin *calibrare*. Prin calibrare se urmărește ameliorarea preciziei absolute, care caracterizează capacitatea robotului de a deplasa un obiect într-o situație definită din spațiu și care prezintă o deosebită importanță în cazul programării off-line. Calibrarea nu se aplică tuturor elementelor componente ale unui sistem de fabricație robotizate în același mod, deoarece caracteristicile care se vor identifica nu au o evoluție identică în timp. Astfel:

- *calibrarea dispozitivului de ghidare* se realizează în principiu o singură dată, în afara situațiilor în care în timpul utilizării intervin șocuri puternice sau uzuri anormale;
- *calibrarea offsetului efectorului final* se realizează după fiecare reparație sau în cazul unei ciocniri a robotului cu periferia;
- *calibrarea punctului caracteristic al sculei* se realizează în funcție de sculă și aplicația concretă.

Pentru realizarea calibrării se necesită determinarea situației efective, compararea ei cu situația determinată prin modelarea funcțională și identificarea diferențelor dintre acestea.

## **2.4 Programarea off-line a roboților industriali**

### **2.4.1 Aspecte generale**

Roboții se utilizează într-o multitudine de procese de fabricație, cu scopul de a mări flexibilitatea și productivitatea. Flexibilitatea roboților este determinată în principal de capacitatea lor de a fi programați cu ușurință.

Metodele de programare prin instruire s-au dovedit satisfăcătoare în cazurile în care raportul dintre timpul de instruire și timpul de producție este mic, precum și în cazurile în care complexitatea aplicației nu este prea mare. Metodele de programare prin instruire presupun fie conducerea robotului în situațiile cerute cu ajutorul unui panou de învățare, fie realizarea fizică a situației robotului, de obicei cu ajutorul unui braț de învățare. Ca atare, aceste metode de programare necesită utilizarea robotului pentru realizarea programării. De aici rezultă și principalul dezavantaj al programării on-line: în timpul programării sistemul de fabricație flexibilă din care face parte robotul nu poate lucra.

*Programarea off-line se poate considera ca procesul în care programele robot sunt elaborate parțial sau în totalitate, fără prezența nemijlocită a robotului.*

Programatorul uman elaborează programul de conducere al robotului în afara sistemului de fabricație flexibilă de care aparține robotul, astfel că pe durata elaborării unui program nou, sistemul de fabricație poate lucra.

### **2.4.2 Avantaje ale utilizării programării off-line**

Programarea off-line în general, își propune eliminarea numeroaselor dezavantaje ale altor metode de programare, îndeosebi în cazul producției de unicate și serie mică. În cazul unui număr mare de repere se necesită un număr mare de taskuri, iar costurile legate de programare devin însemnate. Programarea robotului prin instruire devine consumatoare de timp, timpul necesar programării crescând de multe ori disproporționat de mult odată cu creșterea complexității sarcinii de rezolvat.

Sistemele de programare off-line s-au dezvoltat în scopul rezolvării unor probleme importante legate de programarea automată a roboților. Un astfel de sistem de programare acceptă descrieri de nivel înalt a taskurilor și produce codul mașină al robotului în mod automat, cu o intervenție umană minimă. În cazul unor aplicații robotizate în domeniul producției de unicate și serie mică, unde timpii de programare pot fi substanțiali, un sistem de programare off-line devine esențial.

Programarea off-line a roboților din cadrul celulelor de fabricație flexibile oferă un număr mare de avantaje. Programele noi se pot elabora utilizând simularea celulei de fabricație pe calculator, departe de procesul producție. Creșterea complexității aplicațiilor robotizate face ca avantajele legate de programarea off-line să devină deosebit de atractive. Aceste avantaje se pot sintetiza după cum urmează:

- **reducerea timpilor de staționare:** robotul poate lucra în timp ce se programează următoarea aplicație, ceea ce determină utilizarea mai eficientă a flexibilității robotului;
- **îndepărtarea programatorului dintr-un mediu potențial periculos:** programarea are loc într-un loc îndepărtat de robot, ceea ce reduce timpul în care programatorul este expus riscului unui comportament aberant al robotului;
- **sistem de programare unic:** sistemul off-line poate fi utilizat pentru programarea unor roboți diferiți, fără necesitatea cunoașterii particularităților fiecărui controller de robot, această sarcină fiind preluată de postprocesoare adecvate, minimizându-se astfel reinstruirea necesară programatorului;
- **integrarea cu sisteme CAD/CAM existente:** aceasta permite interfețelor accesarea bazelor de date de repere standardizate, limitând volumul de date necesar de a fi captat de sistemul off-line, iar centralizarea programelor robot în cadrul sistemului CAD/CAM dă posibilitatea accesării lor prin alte funcții cum ar fi planificarea și controlul;
- **simplificarea sarcinilor complexe:** utilizarea unui limbaj de programare de nivel înalt pentru sistemul off-line facilitează programarea unor taskuri de complexitate sporită;
- **verificarea programelor robot:** sistemele CAD/CAM existente sau însuși sistemul off-line pot fi utilizate pentru realizarea unui model solid al robotului și al instalației, putând fi apoi folosit un software de simulare adecvat pentru a determina taskurile libere de coliziune, înainte generării programului robot.

#### 2.4.3 Condiții generale ce se impun unui sistem de programare off-line

Sistemele de programare off-line sunt sisteme care servesc la crearea, simularea și verificarea unor programe de robot, la crearea de layouturi de celule de fabricație și la testuri de coliziune și accesibilitate. De asemenea, programarea off-line furnizează o legătură esențială spre CAD/CAM.

Diferitele sisteme de programare utilizează diferite metode de programare. Cu toată diferența existentă ele conțin anumite proprietăți comune, esențiale pentru programarea off-line. Pentru ca un sistem de programare off-line să fie reușit, trebuie să se realizeze:

1. Cunoașterea procesului sau taskului ce trebuie programat.

2. Un model tridimensional al lumii, respectiv date referitoare la reprezentările geometrice ale componentelor și relațiile lor în cadrul locului de muncă.
3. Cunoașterea geometriei, a cinematicii (inclusiv constrângerile din cuplele cinematice conducătoare și profilele vitezelor) și a dinamicii robotului.
4. Un sistem sau o metodă pentru programarea roboților utilizând date de la punctele (1), (2) și (3). Un astfel de sistem poate lucra pe bază grafică sau textuală.
5. Verificări ale programelor realizate cu (4). De exemplu depistarea încălcării constrângerilor din cuplele cinematice conducătoare și detectarea coliziunilor din cadrul locului de muncă.
6. Interfațarea corespunzătoare pentru a permite comunicarea datelor de control de la sistemul off-line la diferite controllere de robot. Alegerea unui robot cu un controller adecvat (de exemplu unul care este capabil să accepte date generate off-line) va facilita interfațarea.
7. Interfață om/mașină eficientă. În programarea off-line îndepărtarea programatorului de robot este implicită. Pentru a permite transferul efectiv al aptitudinilor lui la sistemul off-line bazat pe calculator este de importanță crucială încorporarea unei interfețe cât mai accesibilă utilizatorului.

#### **2.4.4 Dificultăți în programarea off-line**

##### **2.4.4.1 Domenii**

Programarea off-line necesită existența unui model teoretic al robotului și al periferiei lui. Scopul este utilizarea acestui model la simularea modului în care robotul se va comporta în lumea reală. Utilizând modelul, se pot construi programele care, după o interfațare adecvată, se folosesc pentru conducerea robotului.

Implementarea programării off-line prezintă dificultăți în trei domenii majore:

- dezvoltarea unui sistem de programare generalizat care să fie independent 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.

#### **2.4.4.2 Modelarea și programarea**

##### **a. Aspecte generale**

Un sistem de modelare și programare care lucrează off-line poate fi luat în considerare sub trei aspecte:

- modelatorul geometric;
- sistemul de programare;
- metoda de programare.

Toate prezintă dificultăți caracteristice inerente, dar problemele majore apar atunci când se fac încercări de generalizare a caracteristicilor funcționale. Cu toate că generalizarea (pentru potrivirea cu diferite tipuri de roboți și de aplicații) este necesară pentru creșterea eficacității sistemului, este importantă de asemenea și asigurarea condiției de a nu se împiedeca utilizarea funcțională a sistemului prin sporirea corespunzătoare a complexității.

##### **b. Modelatorul geometric**

Toate sistemele încorporează o anumită formă de modelator geometric. Acesta se utilizează pentru a genera un model al instalației, astfel ca obiectele să poată fi reperate în timpul programării.

Pentru o descriere tridimensională completă a obiectelor este necesară modelarea în corp solid, având în vedere că în simularea grafică, eliminarea liniilor ascunse se poate realiza doar cu modele solide.

O problemă legată de orice modelator geometric o constituie introducerea datelor geometrice necesare construirii modelelor. În modul manual acest proces este mare consumator de timp și supus erorilor. O atenție deosebită trebuie acordată și captării datelor. O modalitate constă în utilizarea datelor stocate în sisteme CAD existente.

Structura de date utilizată trebuie să fie capabilă nu numai să reprezinte relațiile dintre obiecte, dar să și actualizeze aceste relații pentru a reflecta orice modificări ulterioare. De asemenea, trebuie să permită incorporarea algoritmilor utilizați de modelatorul robotului. Realizarea eficientă a acestor cerințe poate fi o sarcină dificilă.

##### **c. Modelatorul robotului**

Modelatorul robotului permite definirea și conducerea robotului de către sistem. Pentru a se obține o reprezentare cinematică a robotului se introduc în sistem date despre schema cinematică a dispozitivului de ghidare, constrângeri și viteze.

Un sistem de programare off-line trebuie să fie capabil să modeleze proprietățile mecanismelor articulate. Există mai multe nivele la care se poate realiza acest lucru:

Primul nivel constă în dezvoltarea unui sistem specific robotului, care se poate utiliza numai cu un singur tip de robot. Implementarea este mult simplificată, dar în același timp se limitează domeniul de aplicație al sistemului.

O abordare de nivelul doi constă în generalizarea la o clasă limitată de scheme cinematice. De exemplu, cei mai mulți roboți din comerț constau dintr-un aranjament ierarhic de cuple cinematice conduse independent. Aceste cuple permit în mod uzual, fie o mișcare de rotație, fie una de translație. Pentru modelarea unor astfel de roboți există tehnici standard. Chiar și la acest nivel, conducerea robotului, în limitele situațiilor pe care trebuie să le urmărească efectorul final, nu este ușor de realizat. Soluții generale care să cuprindă toate posibilitățile nu există. Este necesară subclasificarea schemelor cinematice în grupuri pentru care se pot dezvolta algoritmi de conducere adecvați.

Al treilea nivel constă în abordarea unor scheme cinematice complexe. Modelul matematic al unor astfel de mecanisme complexe nu este cunoscut pentru un caz general, dar modelarea se poate realiza pentru anumite cazuri particulare.

#### **d. Metoda de programare**

Metoda de programare este necesară pentru a face posibilă definirea și stocarea într-o manieră logică a secvențelor de mișcare a robotului. Metoda trebuie să permită incorporarea comenzilor, funcțiilor și logicii ciclice în aceste secvențe, astfel ca să se poată realiza specificarea unor programe robot complete.

Aceste ultime cerințe creează complicații atunci când sistemul trebuie utilizat în domenii diferite de aplicație. Spre exemplu, cerințele funcționale și tehnicile robotizate pentru sudarea cu arc sunt sensibil diferite de cele implicate în vopsirea prin pulverizare. Modularizarea metodei de programare în funcție de domeniile de aplicație micșorează aceste complicații și permite obținerea unui sistem mai eficient în general. Implementarea programării se poate realiza la diferite nivele, așa cum s-a arătat în paragraful 2.2.2.

Generalizarea metodei de programare pentru a cuprinde și instalațiile multirobot creează o mulțime de dificultăți. Ea necesită incorporarea unei programări cu corelare temporală și a unor metode de comunicare între programe diferite.

#### **2.4.4.3 Interfațarea**

Un sistem de programare off-line, definește și stochează descrierea programului robot într-un format intern specific. În general, acesta este mult diferit de formatul utilizat de controllerul (regulatorul) robotului pentru programul echivalent. Este deci necesară o formă de interfațare pentru a converti descrierea programului de la un format al sistemului off-line la un format al controllerului.



O problemă majoră constă în existența unui sortiment larg de diferite controllere de roboți, precum și a unei varietăți mari de sisteme de programare, fiecare utilizând alt format pentru descrierea programului. Pentru a evita o varietate mare de interfețe între sisteme specifice și controllere, trebuie definite și adoptate standarde în acest domeniu.

Standardizarea se poate realiza într-unul sau mai multe din următoarele domenii:

- **sistemul de programare:** adoptarea unui sistem standard pentru programare off-line reduce în mod considerabil eforturile de interfațare;
- **sistemul de comandă:** un sistem de comandă standardizat ar avea influențe benefice asupra interfațării, dar considerentele comerciale și practice fac ca această abordare să fie puțin probabilă;
- **formatul programului:** definirea unui format standard pentru descrierea programelor robot ar reduce de asemenea problemele de interfațare, un astfel de format fiind în mod necesar independent de sistemul de programare și de controller. Sistemele de programare pot incorpora software pentru generarea formatelor standard ale datelor lor interne. În acest caz convertirea de la formatul standard la formatele specifice pentru controller se poate realiza cu postprocesoare. Un standard propus în acest sens este IRDATA, bazat pe NC CLDATA, care prezintă avantajul că se bazează pe terminologie NC existentă, familiară inginerilor tehnologi. Există totuși diferențe mari între mașini-unelte și roboți, ceea ce face ca sarcina standardizării să nu fie una simplă.

#### 2.4.4.4 Erorile și impreciziile lumii reale

Când se lucrează în lumea virtuală a simulării și programării off-line, totul în celula de fabricație este perfect. Robotul este precis, iar cuplele cinematice sunt perfecte.

Odată ce programul este adus în lumea reală, de multe ori se constată că robotul nu este situat exact în unde ar trebui să fie, cuplele de rotație nu se rotesc după o traiectorie circulară exactă iar robotul însuși are imprecizii de care nu s-a ținut cont.

Datorită diferențelor implicite dintre modelul teoretic idealizat și variațiile inerente ale lumii reale, în general secvențele simulate nu pot realiza sarcina de a conduce robotul fără erori. În practică robotul fie că nu se deplasează în situația prezisă de model, fie că obiectul de lucru nu este situat ca în model. Aceste discrepanțe se pot atribui următoarelor componente:

- **Robotul**
  - Toleranțe insuficient de strânse la fabricarea cuplelor cinematice dau naștere la variații în offseturi. Erori mici în structură se compun și produc erori mari la efectul final.

- Lipsa de rigiditate a structurii robotului. Aceasta poate cauza erori serioase în condițiile manipulării unor sarcini grele.
- Incompatibilitatea dintre roboți. Nu există doi roboți identici din punct de vedere constructiv și ca model, care să execute același program off-line fără mici deviații. Acest lucru apare datorită combinației dintre calibrarea sistemului de conducere și problemele de tolerare expuse anterior.

➤ **Controllerul**

- Rezoluție insuficientă a controllerului. Rezoluția specifică incrementul minim al mișcării realizabile de către robot.
- Precizia numerică a controllerului. Aceasta este afectată atât de lungimea cuvântului microprocesorului (o lungime mai mare determină o precizie mai ridicată), cât și de eficiența algoritmului folosit în scopul conducerii.

➤ **Locul de muncă**

- Dificultatea în determinarea situației exacte a obiectelor (roboți, mașini, piese) față de un element de referință din cadrul locului de muncă.
- Influențele mediului înconjurător (de ex. temperatura), pot afecta negativ performanța robotului.

➤ **Sistemul de modelare și programare**

- Precizia numerică a calculatorului din sistemul de programare.
- Calitatea datelor referitoare la modelul din lumea reală. Aceasta determină în final precizia programului off-line.

Efectele cumulate ale acestor erori din întregul sistem de programare off-line pot conduce la discrepanțe de magnitudini însemnate. Pentru ca programarea off-line să devină o unealtă practică această magnitudine trebuie redusă la un nivel la care ajustarea situației finale efective se poate realiza în mod automat.

Verificarea concordanței modelului cu lumea reală și apoi corectarea programului în funcție de diferențele identificate se poate realiza prin **calibrare**.

Calibrarea este o problemă importantă în programarea și simularea off-line deoarece programul robot rezultat poate fi maxim atât de precis cât de precis este modelul.

Parametrii care trebuie calibrați se pot grupa în:

- parametrii dispozitivului de ghidare;
- offsetul efectorului final;
- situarea obiectului manipulat sau prelucrat de robot.

Repetabilitatea (capacitatea robotului de a se întoarce în mod repetat într-o poziție dată) mării majorități a roboților industriali este mult mai bună decât precizia (capacitatea robotului de a se deplasa într-o anumită situație din spațiu).

Repetabilitatea tipică are valori în jur de 0,5mm, pe când preciziile tipice au valori de ordinul 10 mm și chiar mai mult. Acest lucru nu reprezintă o problemă când programarea robotului se face prin instruire cu ajutorul panoului de învățare și a ochiului uman. În acest caz problema o constituie doar repetabilitatea. Dacă însă programarea se face utilizând un sistem off-line pentru a genera situațiile în mod numeric, atunci precizia robotului devine deosebit de importantă.

Teoretic este posibilă îmbunătățirea preciziei până devine egală cu cea a repetabilității. Motivul pentru care precizia roboților este atât de redusă se datorează faptului că procesul de fabricație al fiecărui robot presupune anumite toleranțe de fabricație. Cele mai semnificative două surse de erori sunt discrepanțele ce se manifestă în poziția relativă a cuplelor cinematice conducătoare și respectiv în orientările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare.

Este necesar un sistem care să determine situația efectivă, s-o compare cu situația pe care robotul consideră că o realizează și pe această bază să estimeze erorile și să modeleze astfel încât precizia programării off-line să se îmbunătățească.

Deși există multe sisteme de calibrare, valoarea lor se măsoară în efectivitatea cu care conlucrează cu programele de simulare pentru a îmbunătăți precizia programelor robot generate off-line.

## **2.5 Sisteme utilizate de programare și simulare off-line a roboților**

### **2.5.1 Aspecte generale**

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

➤ *Abordarea textuală* presupune programarea robotului utilizând un limbaj de programare textual de nivel înalt înrudit cu limbajele de programare ale calculatoarelor. Prin aceasta se realizează o capacitate ridicată de manipulare a datelor precum și abilități matematice superioare. Utilizatorul/programatorul specifică entitățile geometrice, relațiile dintre ele și taskul cerut sub forma unor instrucțiuni sau comenzi.

Unele sisteme textuale încorporează și un simulator grafic. Acesta este folosit în mod obișnuit pentru verificarea programului textual în ceea ce privește coliziunea dintre obiecte

precum și satisfacerea unor constrângeri impuse. Programele verificate sunt convertite într-un format intermediar adecvat. Acesta este apoi postprocesat pentru un anumit controller de robot.

- **Abordarea grafică** presupune utilizarea unor tehnici CAD interactive pentru specificarea sarcinii robotului. Programarea se realizează interactiv prin comenzi din meniu. Un avantaj major al acestor sisteme îl constituie faptul că ele furnizează un feedback vizual imediat. În mod tipic, programul unui task va consta dintr-o serie de figuri, care reprezintă etapele de deplasare. Un program complet va include și comenzi textuale pentru reprezentarea funcțiilor (de ex. sudare, prindere, eliberare). Sistemul stochează descrierea programului într-un format intern netextual. Această informație se poate apoi postprocesa ca și la un sistem textual.

Un aspect important al programării off-line îl reprezintă necesitatea de a nu produce numai un program sub o formă oarecare pentru 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. Pachetele de modelare grafică având posibilitatea de a simula comportamentul robotului au un potențial ridicat în acest domeniu. În acest mod generarea unuia sau mai multor programe robot poate fi combinată cu verificarea lor off-line și este posibilă vizualizarea tridimensională a robotului care își îndeplinește sarcina.

### 2.5.2 WORKSPACE

WORKSPACE (în traducere spațiu de lucru) este primul pachet de simulare dezvoltat pentru roboți industriali. De la lansarea comercială care a avut loc în 1989, programul a suferit un număr mare de revizii.

#### *Crearea și simularea programelor*

WORKSPACE este un pachet de programe care creează și simulează programe pentru roboți în limbajul propriu robotului. Datorită acestui fapt, nu sunt necesare postprocesoare pentru traducerea limbajului de simulare în limbajul robotului, întreaga eficiență a limbajului robotului fiind disponibilă utilizatorului prin programare off-line. De asemenea, există posibilitatea transferului unor programe existente, de la sistemul de comandă al robotului înapoi la WORKSPACE, în vederea optimizării. Având în vedere acest fapt, prin WORKSPACE, programarea off-line devine un proces bidirecțional.

Pentru început, utilizatorul selectează limbajul robot necesar. Pentru a crea un program, utilizatorul selectează cu mouse-ul comenzi aflate într-un meniu derulant.

Aceste comenzi sunt scrise imediat într-un fișier de text ASCII. Prin urmare, programul este creat fără a fi necesară scrierea prin intermediul tastaturii a cuvintelor de comandă deși, dacă dorește, utilizatorul poate folosi editorul de texte integrat. Pe măsură ce fiecare comandă este scrisă în fișier, ea este simulată grafic pe monitorul calculatorului, în grafică solid 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 programului robotului, orice coliziune care apare între obiecte 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 pe ecran secțiuni 2D realizate prin el.

WORKSPACE are implementate toate limbajele industriale și educaționale importante. Utilizatorul are la dispoziție o bibliotecă care conține peste 140 de modele de roboți, dar există și posibilitatea ca utilizatorul să-și creeze modelul de robot propriu.

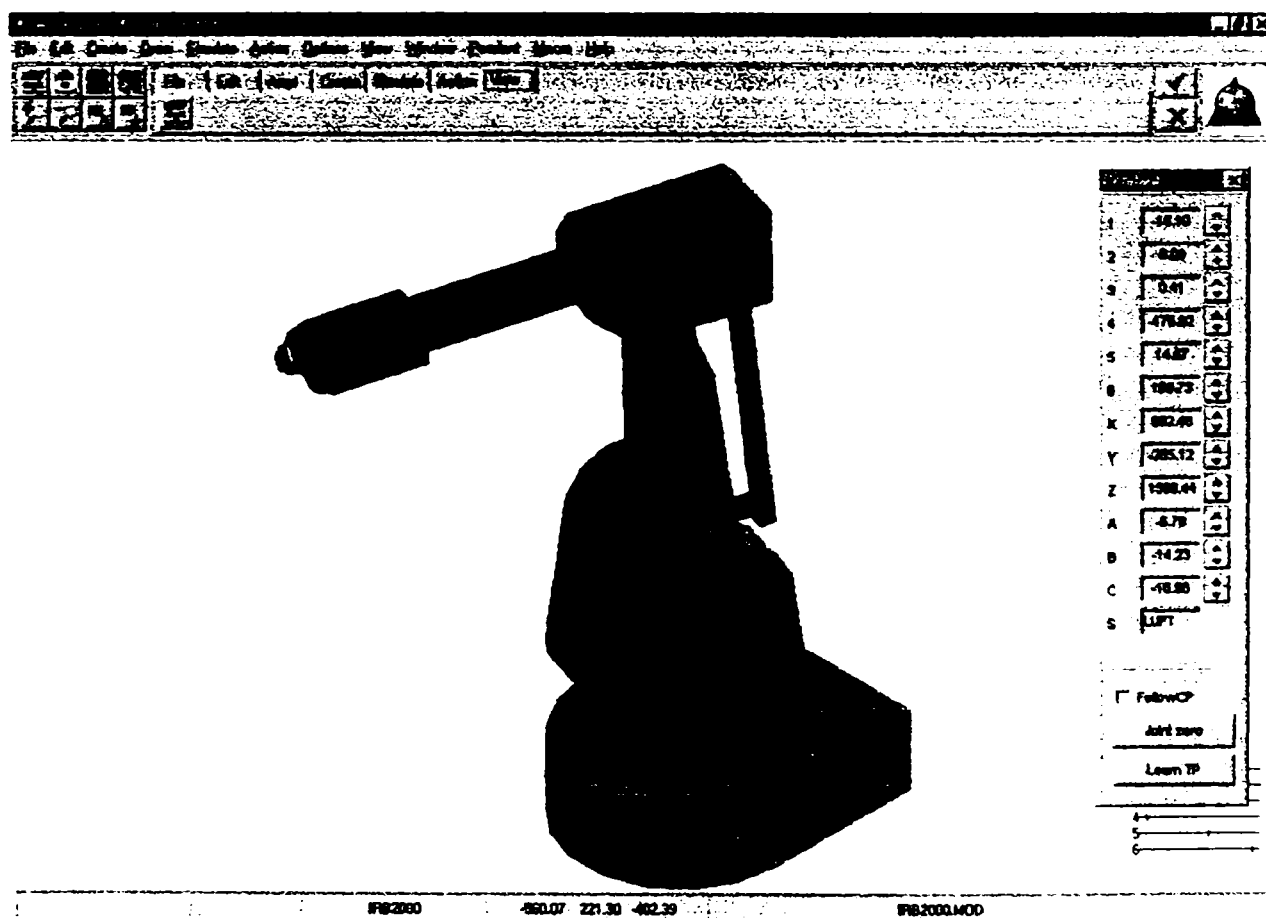


Fig.2.6 Modelul solid al robotului IRB 2000 și emularea panoului de instruire în WORKSPACE

## Sistemul CAD 3D și modelatorul cinematic

Prin utilizarea sistemului 3D CAD propriu al WORKSPACE se pot crea modele de obiecte solide 3D (inclusiv combinații de obiecte solide) sau de suprafețe (inclusiv suprafețe B-spline, parametrice sau Bézier). WORKSPACE permite importul fișierelor format DXF (obișnuite pentru sisteme CAD utilizate pe PC-uri cum este AutoCAD-ul) și format IGES (obișnuite pentru sisteme CAD utilizate pe stații grafice, ca de exemplu CATIA.).

Utilizarea unui număr nelimitat de straturi (layere) pentru stocarea diferitelor niveluri de detalieri face posibil ca pe afișaj să nu apară obiecte irevelante pentru taskul curent sau reprezentarea lor să fie de tip model de sârmă în scopul creșterii vitezei de lucru.

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

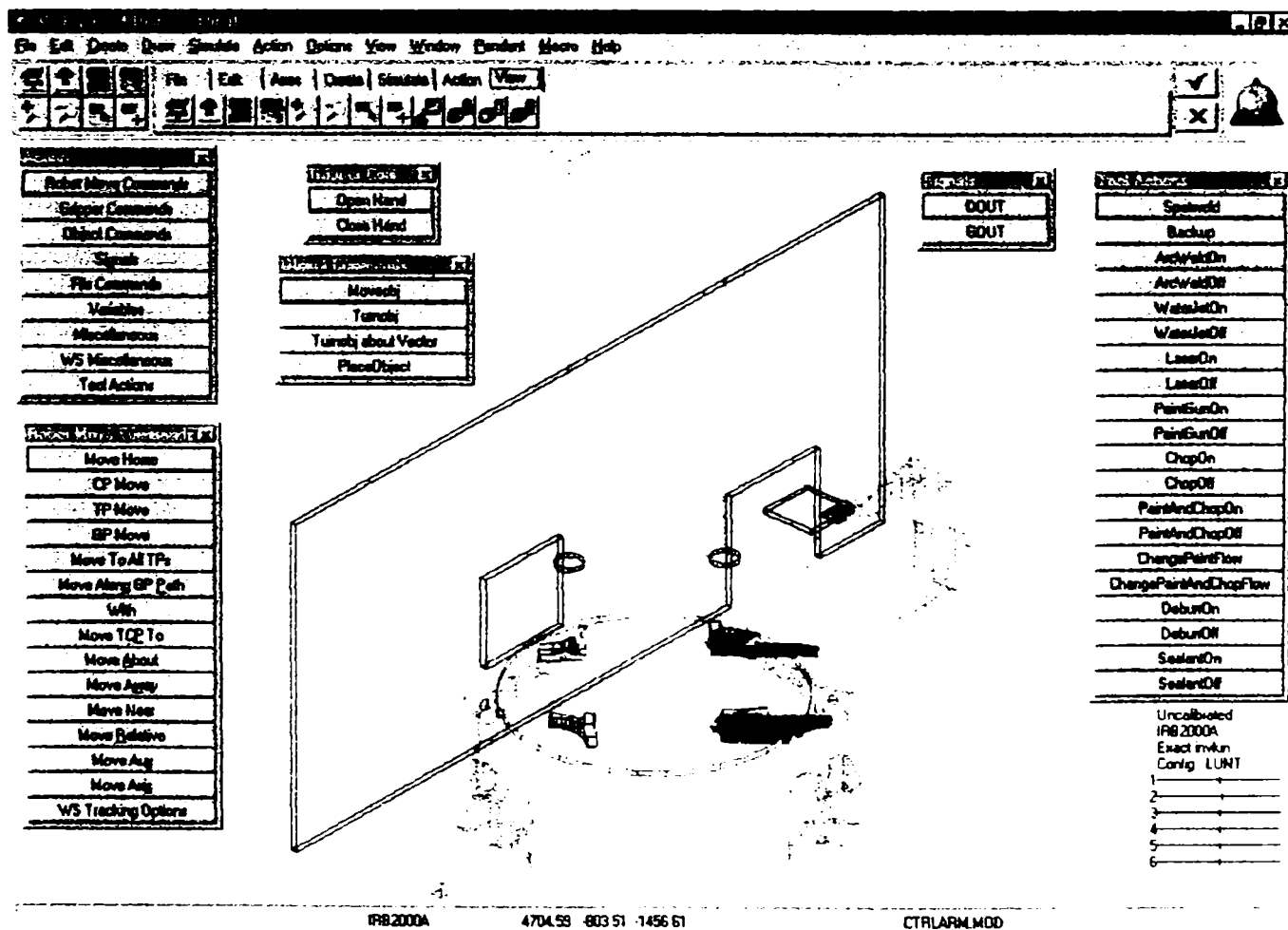


Fig. 2.7 Modelul de sârmă al unei celule de fabricație robotizate reprezentat în WORKSPACE

### ***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 legat de univers. 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 atunci când nu mai sunt accesibile datorită limitelor cuplelor robotului sau datorită limitelor spațiului de lucru al robotului.

De asemenea, pozițiile mai pot fi definite dând clic cu mouse-ul în diferite locuri pe ecranul monitorului (schimbând vederea dacă este necesară definirea unei situații 3D).

Orientările se pot defini în foarte multe moduri, de exemplu prin tragerea cu ajutorul mouse-ului a sistemului de coordonate a punctului de precizie într-o anumită direcție.

### ***Puncte geometrice***

Cel mai ușor și mai eficient mod pentru a defini situările robotului 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, unghiul de înclinare al vectorului de apropiere al efectorului final față de linie sau unghiul dintre suprafețele adiacente și vectorul de apropiere fiind stabilite de către utilizator. Acest mod de definire este util în cazul aplicațiilor de sudare cu arc electric. Punctele se mai pot fi defini normal la o suprafață, poziția proiecției punctului pe suprafață și distanța punctului față de suprafață fiind stabilite de utilizator. Pe măsură ce punctul este deplasat deasupra suprafeței, este menținută tot timpul perpendicularitatea drepte caracteristice față de suprafață. Acest mod de definire este util în cazul aplicațiilor de sudare în puncte.

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

### ***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.

WORKSPACE suportă 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 introduc înapoi în WORKSPACE. Offsetul efectorului final se calculează apoi cu ajutorul unei tehnici de căutare a variabilelor multiple. Procedura se repetă de câte ori efectorul final își pierde orientarea în timpul utilizării.

2. O tehnică similară se poate folosi pentru a determina poziția relativă efectivă a cuplelor cinematice conducătoare și orientările relative generalizate efective ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor sistemului mecanic. Acest lucru este necesar întrucât în timpul utilizării, aceste poziții și orientări sunt supuse modificărilor. Rezultatele sunt folosite pentru un model mai precis decât modelul construit pe baza valorilor nominale ale acestor poziții și orientări.

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

### ***Simularea comportamentului dinamic***

În WORKSPACE simulările se pot derula în timp real. 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 a unui robot cu 6 axe, 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 jet de apă;
- tăiere cu plasmă;
- manipulare de materiale;
- vopsire prin pulverizare;
- paletizare;
- asamblare de electronice;
- prelucrări mecanice;
- debavurare și lustruire;



- telemanipulare;
- simularea și conducerea roboților subacvatici;
- decontaminări nucleare;
- cercetare aeronautică și spațială.

### **2.5.3 COSIMIR**

COSIMIR (Cell Oriented Simulation of Industrial Robots) este un sistem de simulare în 3D pentru Windows, elaborat de Institut für Roboterforschung Dortmund.

COSIMIR poate fi utilizat pentru proiectarea celulelor de fabricație, verificarea accesibilității tuturor pozițiilor și optimizarea layout-ului celulei. Toate mișcările și operațiile de manipulare se pot simula în vederea evitării coliziunilor și pentru optimizarea timpilor de ciclu. Este asigurată posibilitatea încărcării programelor și situărilor testate în sistemul de comandă al robotului.

#### ***Modelarea și simularea***

COSIMOD este sistemul de modelare pentru COSIMIR. Celulele de fabricație pot fi modelate în mod eficient utilizând biblioteca din componență, care cuprinde roboți, dispozitive de prehensiune, instalații de aducere/evacuare etc. Prezintă suport pentru modelarea liberă 3D precum și pentru importul din sisteme CAD (AutoCAD).

COSIMIR permite simularea întregii celule de fabricație. Aceasta înseamnă că nu numai mișcarea robotului, dar și interacțiunea dintre robot și mediu sunt simulate în mod realist. Toate conexiunile electrice dintre componentele celulei de fabricație reale pot fi reprezentate ca și conexiuni I/O (input/output) a componentelor simulate.

De exemplu conectarea unui output (ieșire) digital al controllerului robotului cu un input (intrare) al dispozitivului de prehensiune este suficientă pentru a deschide și închide dispozitivul pe baza semnalelor de ieșire din programul robotului. Un dispozitiv de prehensiune simulat își va închide în mod automat fălcile și va apuca obiectul situat între fălci atunci când este ales inputul corespunzător. Această corespondență între simulare și realitate permite transferul direct al programelor COSIMIR în sistemul de comandă al robotului.

Conveioarele, depozitele, alimentatoarele etc., sunt simulate în mod realist fără programare suplimentară. Chiar și senzori folosiți în mod curent cum ar fi declanșatoare inductive și capacitive, bariere luminoase, senzori de proximitate optici și ultrasonici etc., pot fi simulați în întregime în cadrul COSIMIR.

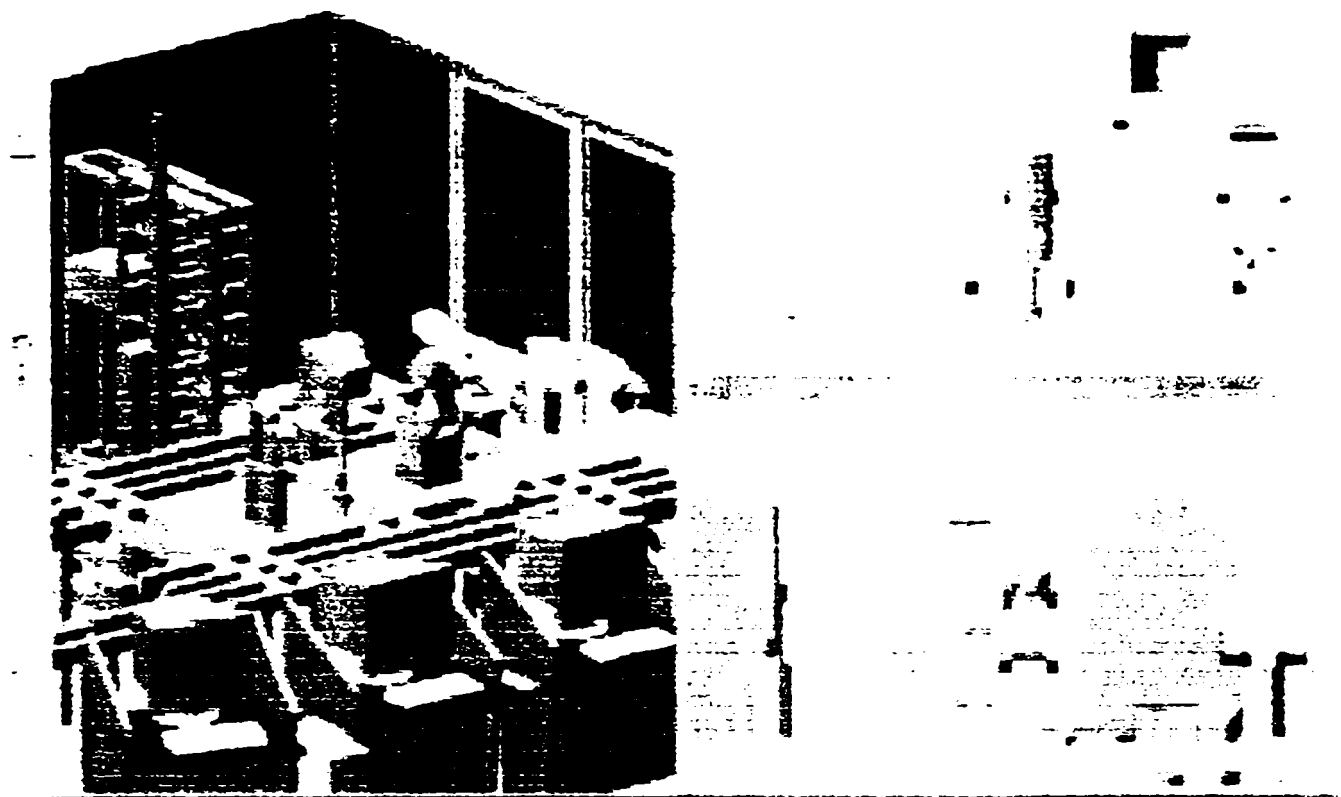


Fig.2.8 Modelarea celulei de fabricație cu COSIMOD

### ***Tipuri de roboți și limbaje de programare utilizabile***

COSIMIR prezintă suport pentru programarea diferitelor tipuri de roboți în diferite limbaje de programare. Programele pot fi scrise în limbaje ca IRL (DIN 66312), V-, Movemaster Command sau MELFA Basic III (Mitsubishi). Ele pot fi compilate și simulate printr-un singur clic de mouse. Nu este necesară învățarea unui limbaj de simulare special (suplimentar limbajului de programare al robotului), deoarece limbajul de programare propriu al robotului este utilizat și pentru programarea în Limbajele de programare elaborate în COSIMIR pot fi transferate direct la controllerul robotului. Acest lucru se poate realiza cu ajutorul dischetelor sau interfețelor standard cum sunt RS-232 sau PROFIBUS. Utilizarea programelor create sau modificate prin controller este de asemenea posibilă.

COSIMIR poate genera programe, în limbajul de programare ales, în mod automat. Aceste programe se trimit automat la listele de poziții și la intrări/ieșiri. Pot fi de asemenea generate deplasări ale tuturor pozițiilor în cadrul listelor de poziții. Astfel de programe, fiind construite

pe bază de “apăsare pe buton”, pot servi ca o introducere în limbajul de programare ales, precum și ca bază pentru programe speciale complexe.










|  |  |
|--|--|
| <p><b>ABB</b></p>                        |     |
| <p><b>ADEPT</b></p>                      |    |
| <p><b>FANUC</b></p>                      |     |
| <p><b>KUKA</b></p>                       |    |
| <p><b>Manutec</b></p>                    |   |
| <p><b>Mitsubishi</b></p>                 |   |
| <p><b>REIS</b></p>                       |   |
| <p><b>Stäubli</b></p>                    |   |
| <p><b>Diverse<br/>(NIKO, VW, ..)</b></p> |  |

Fig.2.9 Tipuri de roboți programabili cu COSIMIR



```

110 IF E IN(2)=0 THEN GOTO 125
110 REN Teil von Band setzen
140 MOV P2
150 MOV 1=0
160 WFS P1 STM MOV 1=0
170 WFS P4+P10C
180 WFS P4
190 WFS 1=1
200 WFS P4,-10C WFS MOV 1=1

```

### MELFA Basic III

```

1 ASYNDOPROG...
2 ...
3 ...
4 ...
5 ...
6 ...
7 ...
8 ...
9 ...
10 ...
11 ...
12 ...
13 ...
14 ...
15 ...
16 ...
17 ...
18 ...
19 ...
20 ...
21 ...
22 ...
23 ...
24 ...
25 ...
26 ...
27 ...
28 ...
29 ...
30 ...
31 ...
32 ...
33 ...
34 ...
35 ...
36 ...
37 ...
38 ...
39 ...
40 ...
41 ...
42 ...
43 ...
44 ...
45 ...
46 ...
47 ...
48 ...
49 ...
50 ...
51 ...
52 ...
53 ...
54 ...
55 ...
56 ...
57 ...
58 ...
59 ...
60 ...
61 ...
62 ...
63 ...
64 ...
65 ...
66 ...
67 ...
68 ...
69 ...
70 ...
71 ...
72 ...
73 ...
74 ...
75 ...
76 ...
77 ...
78 ...
79 ...
80 ...
81 ...
82 ...
83 ...
84 ...
85 ...
86 ...
87 ...
88 ...
89 ...
90 ...
91 ...
92 ...
93 ...
94 ...
95 ...
96 ...
97 ...
98 ...
99 ...
100 ...

```

### Bosch Automatisierungs- programmiersprache (BAPS)

```

1 ...
2 ...
3 ...
4 ...
5 ...
6 ...
7 ...
8 ...
9 ...
10 ...
11 ...
12 ...
13 ...
14 ...
15 ...
16 ...
17 ...
18 ...
19 ...
20 ...
21 ...
22 ...
23 ...
24 ...
25 ...
26 ...
27 ...
28 ...
29 ...
30 ...
31 ...
32 ...
33 ...
34 ...
35 ...
36 ...
37 ...
38 ...
39 ...
40 ...
41 ...
42 ...
43 ...
44 ...
45 ...
46 ...
47 ...
48 ...
49 ...
50 ...
51 ...
52 ...
53 ...
54 ...
55 ...
56 ...
57 ...
58 ...
59 ...
60 ...
61 ...
62 ...
63 ...
64 ...
65 ...
66 ...
67 ...
68 ...
69 ...
70 ...
71 ...
72 ...
73 ...
74 ...
75 ...
76 ...
77 ...
78 ...
79 ...
80 ...
81 ...
82 ...
83 ...
84 ...
85 ...
86 ...
87 ...
88 ...
89 ...
90 ...
91 ...
92 ...
93 ...
94 ...
95 ...
96 ...
97 ...
98 ...
99 ...
100 ...

```

### Simple Robot Programming Language (SRPL)

Fig.2.9 Limbaje de programare utilizabile în COSIMIR

#### Liste de situații

COSIMIR poate administra un număr arbitrar de liste de situații care permit separarea dintre programe și situațiile pentru mișcările robotului. Listele de situații pot conține de exemplu situații ale dispozitivului de prehensiune, situații și traiectorii de prelucrare sau situații de încărcare ale mașinilor. Intrările în listele de situații pot fi specificate relativ la un alt obiect din celula de fabricație astfel că COSIMIR poate actualiza în mod automat situațiile în cazul în care layoutul celulei se modifică.

Listele de situații se pot utiliza de asemenea pentru testarea posibilității atingerii acelor situații. COSIMIR testează în mod automat posibilitatea de a se atinge fiecare situare dintr-o listă de situații și marchează toate situațiile imposibil de atins. Aceasta face vizibile imediat consecințele unei modificări a layoutului, fără a necesita programe de testare costisitoare. Reprezentarea listei de situații este fie textuală fie grafică.

Intrările din listele de situații pot fi generate prin învățare sau prin clicuri cu mouse-ul într-o reprezentare grafică a celulei de fabricație. Învățarea se poate realiza în coordonate c.c.c., legate de univers sau de efectorul final.

### **Reprezentarea grafică**

COSIMIR asigură diferite moduri de afișare pentru celulele de fabricație. Ele pot fi o simplă dar rapidă reprezentare în model de sârmă, o reprezentare cu suprafețe spline și o reprezentare umbrită cu eliminarea suprafețelor ascunse, mai multe surse luminoase, spoturi luminoase, texturi etc.

Se pot deschide în același timp un număr arbitrar de ferestre cu vederi diferite ale celulei simulate. Aceste vederi sunt vederi predefinite cum ar fi vedere de sus, vedere frontală și vederi laterale precum și o formă plină, zoomul fiind disponibil prin clic cu mouse-ul sau prin chei rapide de la tastatură. Orice punct de vedere poate fi deplasat în mod interactiv, rotit și apropiat/depărtat cu ajutorul mouse-ului, chiar și în timpul desfășurării simulării.

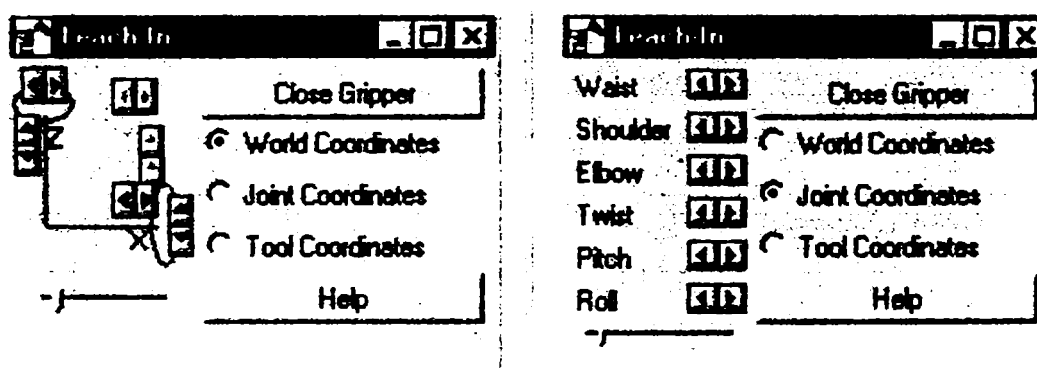


Fig. 2.10 Casetele de dialog pentru alegerea tipului de coordonate

### **Facilități în utilizare**

Utilizarea COSIMIR este tot atât de simplă ca și cea a altor aplicații Windows. Programul este structurat ca o aplicație MDI (Multiple Document Interface), spre exemplu toate ferestrele deschise în COSIMIR sunt dispuse într-o singură fereastră cadru. Un meniu principal asigură toate comenzile. Cele mai uzuale comenzi sunt de asemenea disponibile și în bara cu instrumente. Starea actuală este afișată în bara de stare. Clicul într-o fereastră cu tasta din dreapta a mouse-ului deschide un meniu de context cuprinzând toate comenzile relevante. Este posibilă tipărirea cu ușurință a programelor, listelor de situații și a vederilor grafice ale celulei de fabricație. Ele se pot de asemenea transfera în alte aplicații Windows cum ar fi Microsoft Word, Designer sau CorelDraw. Acest lucru este posibil prin integrare cu

clipboard-ul din Windows. Este posibil atât transferul programelor, listelor de situații, situațiilor etc., cât și copierea vederilor celulei de fabricație în clipboard (copy și paste).

COSIMIR asigură și o interfață DDE (Dynamic Data Exchange). Acest lucru face posibil schimbul de date on-line între COSIMIR și alte aplicații (legături edit/insert) precum și controlul de la distanță a COSIMIR cu ajutorul comenzilor.

### ***Structura sistemului***

COSIMIR are o structură modulară. De aceea prezintă posibilitatea extinderii în orice moment a versiunii de bază, conform unor noi cerințe ca de exemplu adăugarea unor module adiționale pentru alte limbaje de programare sau pentru încărcare și descărcare de la/la controllere specifice.

Versiunea industrială conține toate funcțiile descrise mai sus și este în stare să simuleze celule de fabricație cu un robot fără senzori specifici. Celula poate de asemenea conține un număr arbitrar de obiecte de lucru, dispozitive de prehensiune, magazii, conveioare etc. Programarea robotului este integrată în interfața dintre COSIMIR și utilizator. Versiunea de bază prezintă suport pentru limbajele SRPL și IRL.

Versiunea profesională a COSIMIR este echipată în vederea simulării sistemelor multirobot, spre exemplu pot fi simulați în paralel un număr arbitrar de roboți. Acești roboți pot fi programați în limbaje diferite.

Modulele opționale pot fi de detectare de coliziune, simulare de senzori, generare automată a traiectoriei, limbajele MRL (Movemaster Command Language), Rapid, MELFA Basic III, V+, BAPS (Bosch Automatisierungsprogrammiersprache), IRL (Industrial Robot Language), KRL (Kuka Robot Language), module pentru cuplare on-line și pentru încărcare și descărcare de la/la diferite controllere.

COSIMOD este realizat pentru o modelare confortabilă a diferitelor celule de fabricație. Aceeași interfață cu utilizatorul ca în COSIMIR asigură instrumentele pentru designul și editarea celulelor de fabricație. Există biblioteci cu un număr vast de roboți (ABB, Adept; Fanuc, Kuka, Manutec, Mitsubishi, Reis, Stäubli est.) precum și biblioteci cu dispozitive de prehensiune, capete de sudare, lanțuri de conveior, depozite pentru componente, mese rotative etc. Se pot adăuga oricând biblioteci suplimentare. Obiectele din biblioteci pot fi modificate și se pot construi obiecte speciale. De asemenea prezintă suport pentru construcția solidelor extrudate și de revoluție. Componentele pot fi importate din alte sisteme CAD cum ar fi de exemplu AutoCAD, prin utilizarea formatului DXF sau a altor formate ca STL (stereolithography), VDAFS 2.0 etc. Toate obiectele pot fi scalate cu precizie și plasate prin input numeric sau interactiv cu ajutorul mouse-ului.

### ***Domenii de aplicație***

- asamblare flexibilă;
- presare;
- curățire cu laser;
- sudare;
- paletizare;
- vopsire;
- curățirea podelelor.

### **2.5.4 GRASP**

GRASP (Graphical Robot Application Simulation Package) este un sistem off-line grafic dezvoltat la Nottingham University din Anglia.

#### ***Modelarea corpurilor solide***

Baza sistemului GRASP o constituie un pachet de modelare a corpurilor solide. O reprezentare a unui obiect oarecare se construiește utilizând ca blocuri un set de forme simple cunoscute sub denumirea de primitive. Un primitiv poate fi un cuboid, o prismă regulată cu n fețe, o prismă neregulată sau un solid închis oarecare. Toate solidele se reprezintă utilizând fețe plane, dar cilindrii și solidele de revoluție se pot aproxima folosind primitivele de bază.

Primitivele sunt grupate într-o structură ierarhică arborescentă, astfel ca mai multe din ele aranjate în situații corespunzătoare să poată fi manipulate ca o singură entitate. Fiecare entitate are asociat un sistem local de axe de coordonate carteziane. Poziționarea și orientarea unei entități la orice nivel dintr-un model arborescent se poate modifica de către utilizator prin raportare la sistemul său de axe local, sau la o altă entitate.

Afișarea se face sub formă de model de sârmă. Modelul poate fi vizualizat sub diferite unghiuri, fiind posibil și o mărire (zoom in) a unor zone ce prezintă interes. Se pot realiza și solide cu linii ascunse, astfel încât muchiile care ar fi obscure la solidul real să nu fie afișate.

#### ***Modelarea robotului***

Întrucât GRASP este un sistem de modelare pentru roboți, trebuie să fie apt să modeleze proprietățile particulare ale roboților la un anumit grad de detaliere. Limbajul utilizat pentru definirea modelelor corpurilor de bază, încorporează și o instrucțiune de nivel înalt prin care se pot defini schemele cinematice ale dispozitivului de ghidare, constrângerile și alte date asociate cu robotul. Nu se necesită cunoștințe de matematică deosebite pentru construirea unui astfel de model. Intern, schema cinematică a dispozitivului de ghidare al robotului este reprezentată într-o manieră rațională prin utilizarea convenției Hartenberg-Denavit.



Utilizatorul interacționează cu sistemul după definițiile sale proprii, fără conștientizarea suportului matematic.

### ***Conducerea robotului***

Se definește situarea dorită pentru efectorul final, iar GRASP este lăsat să calculeze comportamentul necesar fiecărei cuple cinematice conducătoare pentru a atinge această situație. Acest lucru se realizează în felul următor:

- se analizează structura dispozitivului de ghidare al robotului;
- structura se clasifică în funcție de topologie;
- se utilizează codul de clasificare pentru a alege algoritmul adecvat calculării unghiurilor relative dintre elementele cuplelor cinematice conducătoare necesare deplasării efectorului final într-o situație particulară.

Toate metodele de definire a situației efectorului final se rezumă în final la determinarea poziției punctului caracteristic și a orientării dreptei caracteristice respectiv a dreptei auxiliare. Se poate crea o copie a modelului cinematic al efectorului final care să fie deplasată în situația dorită utilizând facilitățile de manipulare ale sistemului GRASP. Noua situație se poate verifica într-un număr de vederi diferite. În acest caz, această situație a copiei, definește situația dorită a efectorului final atunci când acesta se găsește montat pe robot.

### ***Definirea programelor robot***

Prima etapă în crearea unui program robot constă în generarea unei secvențe de situații discrete ale robotului. O astfel de secvență este cunoscută în GRASP sub denumirea de *track*. Fiecare situație a robotului este definită prin poziția punctului caracteristic și orientarea dreptei caracteristice și respectiv a dreptei auxiliare. Aceste date sunt stocate, nu în coordonate absolute ci relativ la sistemul de axe al unei entități utile cum ar fi stația de lucru sau obiectul de lucru. Fiecare pas de-a lungul track-ului se referă în esență la o situație a efectorului final. Un track poate fi editat permițând inserarea, ștergerea sau modificarea pașilor.

Încercările de a deplasa robotul în situații ce nu se pot atinge sunt raportate utilizatorului împreună cu informații de diagnostic utile. Se obține prin urmare o verificare a capacității robotului de a atinge anumite situații discrete de-a lungul secvenței programate. Dacă se depistează probleme, acestea se pot corecta prin modificarea layoutului locului de muncă, a modului de montare a efectorului final sau prin utilizarea unui alt tip de robot.

### ***Mișcarea condusă pe traiectorie***

Următoarea etapă în crearea programului este definirea modului în care robotul se mișcă între situații. De exemplu, robotul poate fi constrâns să deplaseze punctul caracteristic între doi pași de track, cu viteză constantă, de-a lungul unei linii drepte. Împreună cu modelul robotului este

memorată viteza generalizată relativă maximă obținabilă între elementele fiecărei cuple cinematice conducătoare. Un alt tip de deplasare poate determina mișcarea cu viteză generalizată relativă maximă a fiecărei cuple până ce modificarea necesară se realizează.

Întrucât mișcarea se definește în funcție de traiectoria care trebuie urmărită de efectorul final, mișcarea relativă pe care trebuie să o execute elementele fiecărei cuple cinematice conducătoare poate fi destul de complexă. În acest caz comportamentul elementelor cuplelor cinematice conducătoare este modelat utilizând curbe spline cubice, calculate după eșantionarea situațiilor robotului în intervale de-alungul traiectoriei. Deci, pentru diferite tipuri de mișcare, parametrii mișcărilor relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare se pot determina de-a lungul întregii traiectorii. Este posibilă astfel și verificarea unei eventuale violări a contrângerilor impuse acestor mișcări. De exemplu, o traiectorie liniară poate depăși spațiul de lucru al robotului, chiar dacă punctele sale de început și sfârșit se situează în limitele impuse.

### ***Mișcarea în timp***

În final, comportamentul robotului se determină ca o funcție de timp. Această etapă a programării este realizată automat prin utilizarea informației salvate în track și a datelor despre viteze memorate de robot. Rezultatul poartă denumirea de *proces*. În acest fel, se face estimarea timpilor de ciclu și o verificare a faptului că mișcarea definită nu necesită depășirea vitezei generalizate relative maxime a elementelor nici unei cuple cinematice conducătoare.

Chiar dacă un anumit model poate conține mai multe modele de robot, în același timp doar unui singur robot i se permite mișcarea. Dacă acești roboți trebuie să lucreze simultan, procesele generate pentru fiecare robot se pot îmbina și se pot parcurge împreună. Alte obiecte, cum ar fi lanțuri de conveioare, pot fi de asemenea condiționate să realizeze mișcări sincronizate. În acest fel, se poate simula un întreg sistem de fabricație, putând fi apreciată interacțiunea dintre mai mulți roboți în mișcare și alte componente mobile ale sistemului de fabricație.

### ***Detectarea coliziunilor***

Pentru detectarea eventualelor probleme de coliziune se utilizează facilitățile de vizualizare din GRASP. Domeniile problematice potențiale se pot vizualiza de aproape și din orice unghi. Dacă modelul este oprit într-o situație suspectă, se poate realiza și un control automat pentru a determina dacă două obiecte componente ale modelului interferează sau nu unul cu celălalt. Acest lucru este util, având în vedere faptul că interpretarea modelelor de sârmă poate fi dificilă.

### ***Programarea off-line***

Există trei moduri de abordare posibile pentru programarea off-line cu ajutorul sistemului GRASP:

- utilizarea unui program de conversie capabil să creeze un fișier care să conțină programul robot definit într-un standard internațional cum ar fi IRDATA;
- incorporarea unui set de postprocesoare care produc outputuri (mărimi de ieșire) direct acceptabile de către diferite tipuri de roboți;
- implementarea unui DRC (direct robot control) pentru unul sau mai mulți roboți prin utilizarea unui sistem de conducere în timp real bazat pe un mini sau microcomputer.

### **2.5.5 ROBOT 3D**

Sistemul de programare și simulare off-line ROBOT 3D a fost prezentat pentru prima oară în 1991, în al 3-a Jornadas Nacionais de Projecto Planeamento e Produção Assistidos por Computador, la Târgul Internațional din Lisabona.

Inițial programul a fost dezvoltat pentru simularea robotului antropomorf cu 6 axe pentru sudare cu arc SA6010.

#### ***Caracteristici***

Sistemul ROBOT3D permite simularea și programarea off-line a roboților și a celulelor de fabricație robotizate utilizând calculatoare cu sistem de operare MS-DOS.

Interpretorul integrat utilizează un limbaj asemănător cu Basic, lărgit cu comenzi pentru robot. Sistemul permite simulări complete, cu programare incrementală și absolută, sisteme de coordonate, subrutine, programare parametrică.

Sistemul operează ca un robot virtual utilizând un panou de instruire. Robotul se poate conduce în coordonate universale, definite de utilizator, legate de cuple cinematice conducătoare sau legate de efectorul final. Cerințele minime sunt un monitor VGA, un calculator 486DX și un mouse. O interfață eficientă și noțiuni adecvate despre robot permit elaborarea programelor într-un mod rapid.

#### ***Roboți și limbaje de programare***

Softul este specializat pentru mai multe combinații de axe externe și mai mulți roboți. Lărgirea sistemului este posibilă cu ajutorul unei biblioteci C opționale.

Programul este testat și calibrat pentru roboții TAURUS BISIACH & CARRU (Italia), controler RCM3 SIEMENS și IRB2000 (s3) ABBB.

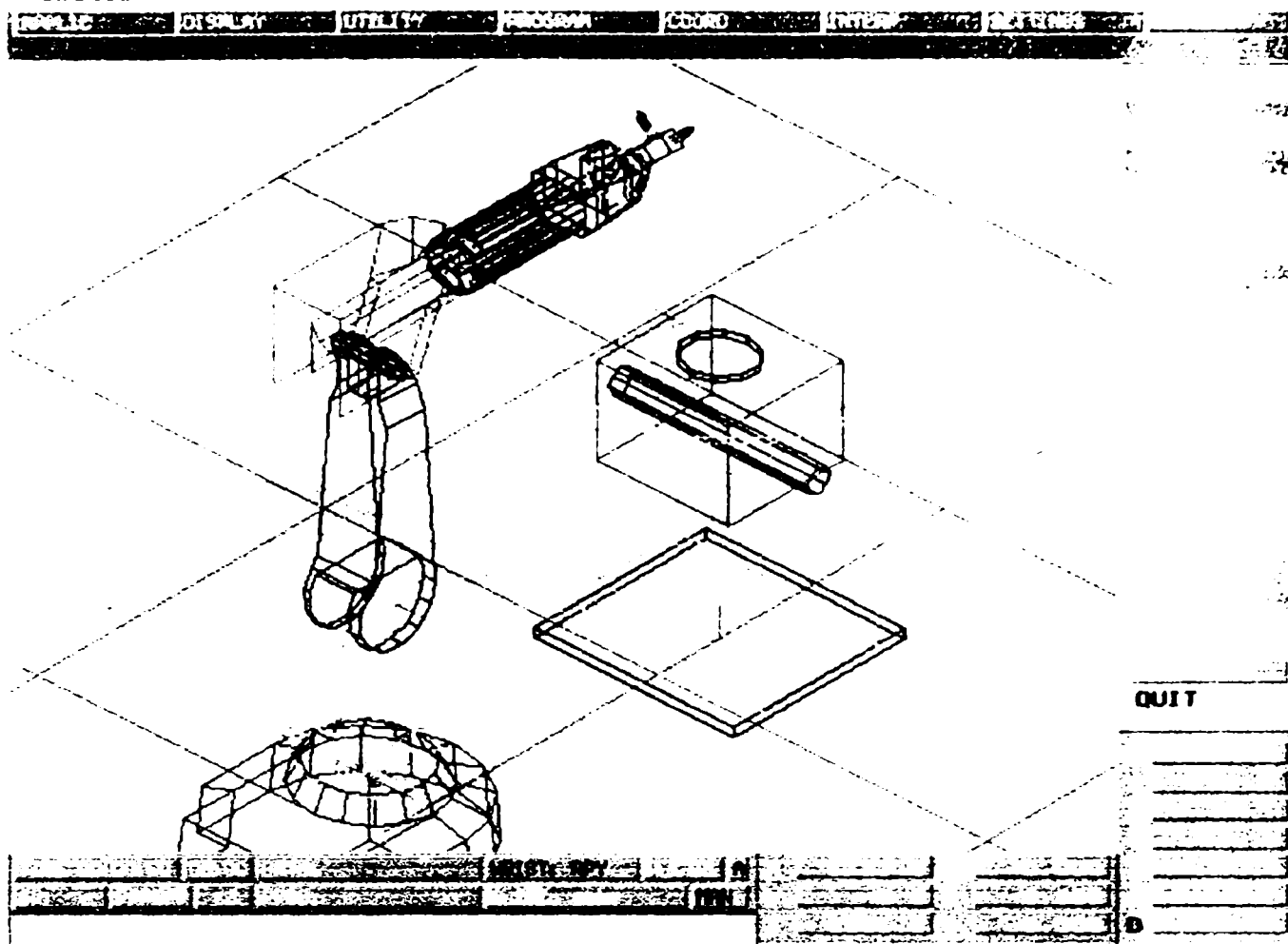


Fig.2.11 Irb200 într-o aplicație de sudare

Sub licență se lucrează cu programul la SOREFAME ABB Portugal și CTV Coimbra Portugal Ceramics. Sistemul este pregătit să se poată folosi cu familia de roboți ABB IRB2400, IRB1400(s4).

Pachetul include și alți roboți cum sunt IRB1400, KUKA IR163, BOSCH, HITACHI M6100. Pentru fiecare limbaj de programare al robotului se poate dezvolta un postprocesor. Utilizarea programului pentru alți roboți mai puțin uzuali necesită determinarea transformărilor de coordonate de cinematică inversă specifice.

Programul creează fișiere ASCII. Descărcarea și încărcarea programului pentru fiecare robot se face cu softuri de comunicare dezvoltate de alte firme (de ex. ROB.EXE de la SIEMENS și OLP de la ABB), sau direct în cazurile în care sistemul robot specific permite acest lucru (de ex. S4 de la ABB, ACR-SIEMENS).

Înșușirea sistemului este foarte ușoară. Se estimează că un operator cu cunoștințe de bază în domeniul calculatoarelor (DOS, editare), CAD (doar modelare) și ceva experiență în programare on-line este pregătit să exploreze sistemul doar cu un antrenament de 16 ore.

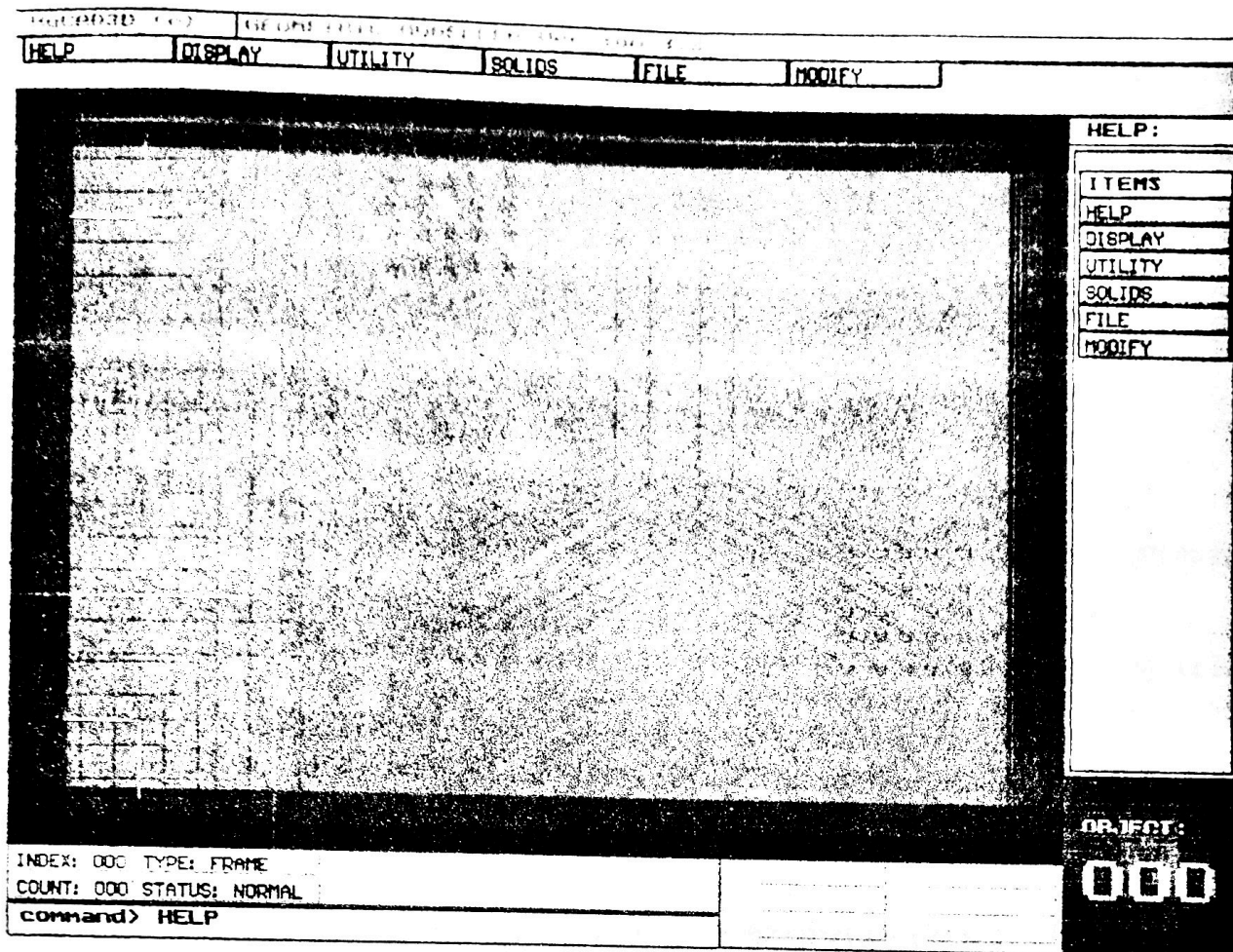


Fig. 5.6 Modelorul geometric al modulului RobCAD

### ***Modelarea și simularea***

Sistemul realizează înregistrarea stării fiecărei axe atunci când se creează situați. Această particularitate determină evitarea incertitudinilor legate de soluția pentru cinematica inversă.

Cu ajutorul unui algoritm adecvat este posibilă convertirea unui set de situați într-un fișier program, postprocesarea acestui fișier și simularea sau încărcarea imediată a programului.

Sistemul ROBOT3D permite deplasări punct cu punct, liniare și circulare în spațiul 3D.

Prezintă suport pentru sisteme de coordonate, programare incrementală și absolută, funcții matematice, subrutine, simulare I/O (input/output), dispozitive de prehensiune, programare parametrică, funcții pentru manipularea obiectelor în celula de fabricație și altele. Pachetul include un modul CAD și un modul de calibrare, editor de programare și un convertor bidirecțional pentru formate DXF, modul de comunicare și alte utilități. Sunt incluse postprocesoare pentru limbaje de programare uzuale

Pachetul are avantajul introducerii unor concepte legate de roboți industriali, într-un mod deosebit de eficace

## 2.5.6 FAMOS

Programul FAMOS a fost elaborat de Carat Robotic Inovation GmbH din Unna. Pachetul de programe FAMOS constă dintr-un modul de programare, un pachet on-line precum și de un program suplimentar de simulare 3D.

### *Caracteristici*

Utilizatorul are la dispoziție trei posibilități pentru generarea sau optimizarea programelor.

Acestea sunt:

- programarea pe baza unor date CAD în 3D;
- citirea unor date complete deja învățate, în vederea unei optimizări ulterioare;
- generarea unor traiectorii de mișcare exacte pe baza unor geometrii matematice descriabile (parametrizate).

Pe lângă datele geometrice, sunt definiți și optimizați în mod liber parametri specifici punctelor și traiectoriilor precum și parametri de proces pentru diferite procese de prelucrare (turație, presiune, debit, tensiune etc.). Pentru aceasta seturile de parametri se descriu grafic și se adaptează per clic cu mouse-ul. Atribuirea lor la punctele spațiale și traiectoriile aferente, descrise de asemenea tridimensional, nu este niciodată ambiguă.

Pachetul on-line lucrează în mod similar cu cunoscutul WINDOWS FILE MANAGER, adică fișierele de date se transmit de către calculator sistemului de comandă al robotului, se copiază în memorie sau se șterg. O condiție necesară pentru pachetul on-line este existența sistemului de comandă ABB S4 cu opțiunea Factory Interface.

Pe lângă programe complete S4, printr-un postprocessor special, FAMOS generează seturi de date pentru modulul de simulare. Aici are loc verificarea programelor. Celula robotizată este descrisă corespunzător, cu robot, piesă și sculă. Cu ajutorul simulării se pot vizualiza și modifica din timp accesibilitatea componentelor, posibile coliziuni cu periferia precum și secvențe complexe de operații, ceea ce ajută la economisirea timpului de fabricație.

### *Transferul informațional*

Există mai multe posibilități pentru transferarea și editarea datelor necesare programelor:

- utilizarea unor programe deja existente (importul unor fișiere rapide);
- învățarea unui nou contur de bază urmată de netezirea și reprezentarea în oglindă a traiectoriilor adiționale în FAMOS;
- utilizarea unor date CAD, adică crearea directă a unor traiectorii;
- utilizarea unor date parametrice.

Prin conectarea unui server cu rol de bază de date mutuală și mediu de stocare, FAMOS se poate utiliza și pentru mai mulți roboți simultan. Cu ajutorul unui computer central, diferitele

informații pot fi administrate în producție în mod centralizat. Programele noi se pot pregăti fără a disturba producția.

Programele stabilite cu FAMOS se transferă on-line printr-o interfață serială la sistemul de comandă al robotului. Punerea la punct se poate realiza acum cu programul optimizat. Modificarea programelor se poate face fără întreruperea procesului de fabricație și de asemenea se poate anula din nou cu ușurință. Noua calitate se testează manual și se evaluează. Dacă este necesar se operează o nouă modificare în FAMOS. Dacă calitatea este satisfăcătoare, programele pot fi salvate și pot fi disponibile și pentru alte celule de fabricație cu ajutorul rețelelor și serverelor corespunzătoare. Administrarea integrată a datelor asigură o siguranță ridicată în funcționare.

### ***Modelarea***

Interfața cu sectorul de modelare și design permite activități de pregătire suplimentare și asigură o precizie superioară în utilizarea datelor CAD. Vasta informație disponibilă pentru robot, poate fi utilizată și în alte domenii.

Prin definirea punctelor de început și sfârșit pe model, traiectoria este generată în mod automat. Se perfectează traiectoria nouă, apoi în pasul următor se adaugă mărimile tehnologice. Parametrii sunt presetati și se pot modifica repede și ușor în funcție de cerințele ulterioare. Diferitele dimensiuni se generează în mod automat de către funcția de scalare și apoi sunt afișate. Conturul de bază se reprezintă în oglindă iar conturul rezultat se scalează de asemenea.

O funcție importantă este cea care permite integrarea unor programe deja existente. Traiectoria mișcării apare pe monitor, punctele traiectoriei putând fi afișate în modul ales de utilizator. Pentru a modifica puncte geometrice individuale sau arii definite (poziția sau orientarea) acestea se selectează întâi cu mouse-ul, apoi direcția deplasării și localizarea dorită se introduc în fereastra de dialog. Punctele selectate sunt repositionate cu exactitudine. Modificarea orientării se realizează în mod similar. Traiectoria optimizată se poate apoi simula. Pentru aceasta, în funcție de aplicație, sunt disponibile diferite unelte. Prin simulare se poate verifica corectitudinea poziției și orientării sculei. În acest mod erorile pot fi descoperite din timp.

### ***Utilizarea sistemului FAMOS***

În scopul optimizării parametrilor tehnologici există funcții de dialogare corespunzătoare, prin care se pot prealoca valori limită alese de utilizator. Valorile parametrilor sunt afișate grafic și se pot optimiza simplu și repede.

Softul se utilizează pentru diferite procese de prelucrare. În funcție de cerințe se pot realiza programe pentru prelucrări cu ghidare după piesă (rectificare, netezire și lustruire), precum și pentru prelucrări cu ghidare după sculă (găurire cu turație mare, tăiere cu jet de apă).

Pentru a putea acorda oricând suport tehnic utilizatorului, cu îmbunătățiri și suplimentări specifice, există posibilități corespunzătoare de a încărca module de program prin Internet. În cazul unei funcționări necorespunzătoare, roboții sunt verificați direct de acasă cu ajutorul cablului de transmisii de date și apoi porniți din nou. Această procedură economisește cheltuieli de deplasare pentru utilizator atunci când este necesar service-ul și reduce timpii de oprire a utilajului.

**Domenii de aplicație**

- tăierea și șlefuirea oglinzilor asferice;
- rectificare;
- frezare;
- tăiere cu jet de apă;
- producția de încălțăminte;
- diagnoză la distanță/teleservice.

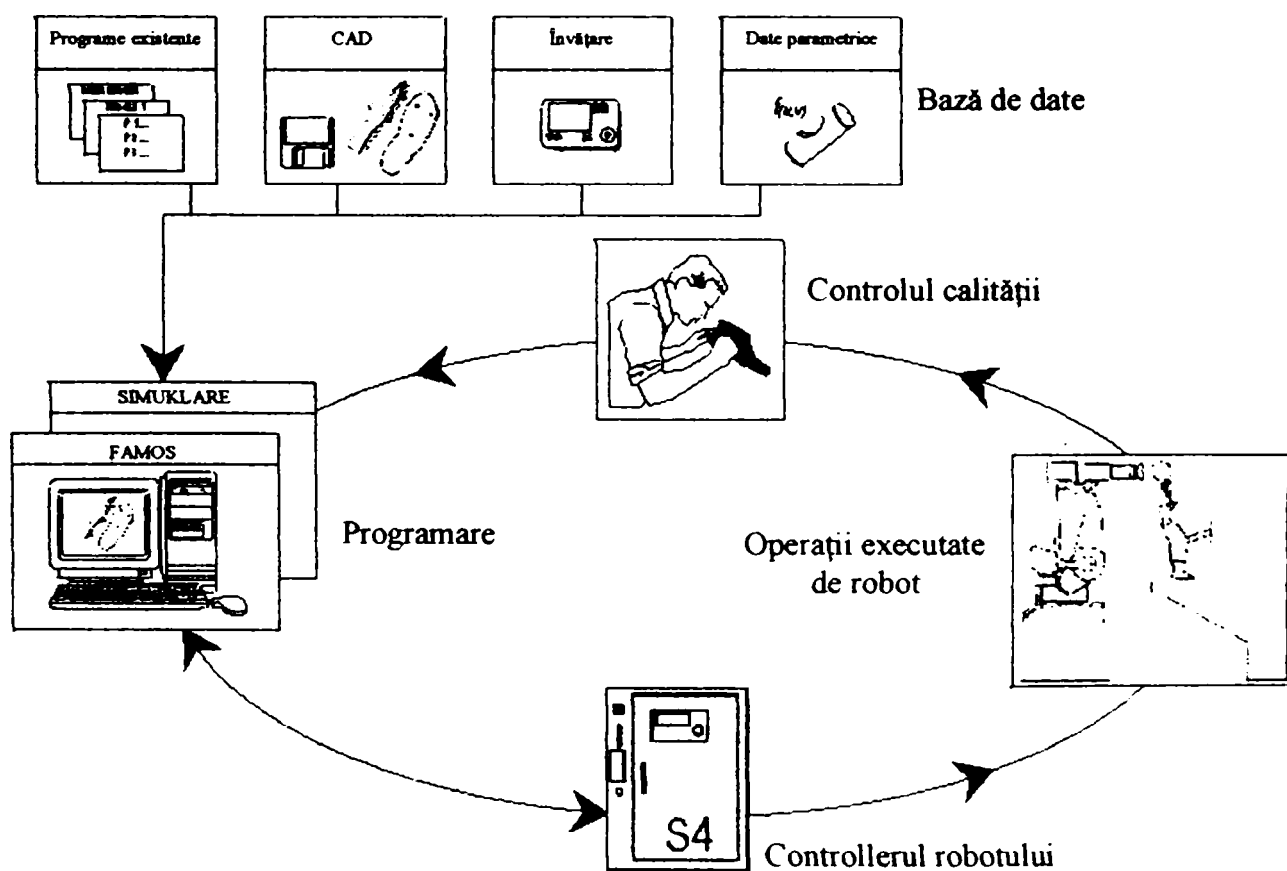


Fig.2.12 Modul de funcționare a sistemului FAMOS în producția de încălțăminte



### ***Avantajele utilizării sistemului FAMOS***

- reducerea timpilor de oprire a utilajului datorită programării decuplate de producție;
- reducerea timpilor de reglare și pornire;
- creșterea flexibilității utilajului;
- simplificarea procesului de optimizare;
- creșterea calității fabricației;
- cuplări CAD/CAM;
- conectarea on-line a robotului cu calculatorul;
- transparență și securitate crescută a datelor în administrarea fișierelor;
- creșterea eficienței robotului.

### **2.5.7 KISMET**

KISMET (Kinematic Simulation, Monitoring and Off-line Programming environment for Telerobotics) este un soft pentru planificare, simulare, programare și monitorizare a echipamentului de telemanipulare, a roboților industriali și a diferitelor tipuri de mecanisme.

Inițial programul KISMET a fost elaborat la centrul de cercetare din Karlsruhe, pentru a fi utilizat în cadrul programului CE pentru cercetarea fuziunii termonucleare controlate și alte aplicații nucleare.

Cercetarea a avut ca scop să asiste operatorii echipamentelor de manipulare în timpul pregătirii și executării unor taskuri controlate de la distanță, în zone inaccesibile sau dificil de observat. Executarea acestor taskuri de teleoperare se realizează prin vizualizare sintetică (synthetic viewing).

Operatorul se orientează în mediul de lucru cu ajutorul camerei de luat vederi (dacă este disponibilă) precum și cu ajutorul graficilor animate 3D furnizate de KISMET. Această combinație de grafică computerizată și tehnică video se numește și vizualizare integrată (integrated viewing). Pentru acest tip de aplicații prezentarea scenelor grafice trebuie să fie cât se poate de realistă și de rapidă.

KISMET este implementat pe stații grafice de înaltă performanță și permite cu ajutorul tehnicilor Windows, pentru mai multe scene, vederi simultane cu nivele de detaliu selectabile interactiv. Pentru modelarea și verificarea scenelor este posibilă suprapunerea imaginilor video scanate în timp real, cu imagini grafice.

Pe lângă acest domeniu de aplicații tipice cercetărilor nucleare, KISMET este adecvat pentru concepție, realizare de prototipuri și programare în aplicații de automatizare industrială și de fabricație. Cu toate că modelarea, analiza, modificarea și programarea off-line grafică/textuală

a modelelor de celule de fabricație robotizate este rapidă, riscul unor concepte deficiente este redus.

Deoarece KISMET este orientat spre formate neutre de fișiere pentru programare (IRDATA) și pentru transfer de date geometrice (DXF, STEP) el se poate integra mai ușor în concepte CAD/CAM existente.

KISMET permite generarea sintetică în timp real a oricărei vederi a unei celule de manipulare sau fabricație în reprezentare umbrită (Gouraud shading), ca model de sârmă sau ca model transparent. Modul de randare se poate seta interactiv ca un atribut al afișării pentru orice entitate geometrică singulară și/sau pentru subansambluri.

KISMET s-a elaborat în limbajul C și este implementat și sub sistem de operare UNIX pe stații de lucru SILICON GRAPHICS IRIS 4D.

### ***Modul de operare***

Modul de operare off-line se utilizează pentru crearea de programe robot grafice/textuale, simularea și verificarea programelor robot, crearea de layouturi pentru celule de fabricație și efectuarea de teste de coliziune și accesibilitate.

### ***Structura datelor***

În KISMET se utilizează un model de date ierarhic, recursiv arborescent. Aceasta permite afișarea unor nivele mai înalte de detalii, fără pierderea performanțelor din timp real.

### ***Modelarea cinematică***

Pentru modelarea cinematică se utilizează ca elemente de bază cuple cinematice de rotație și de translație. Mecanisme de grad mai înalt cum ar fi articulațiile cilindrice și sferice se construiesc ca și combinații ale acestor elemente de bază.

Lanțurile cinematice pot avea orice lungime și număr de ramificații. Se pot defini mecanisme plane închise. Pot fi asociate cu același grad de mobilitate cuple multiple.

### ***Caracteristici generale***

Toate fișierele de definiții se stochează în format ASCII. Fiecare utilizator își poate defini biblioteca de componente și roboți proprie. Nu există limite logice pentru dimensiunea modelului sau nivelul de detaliere. Programul are capacitatea de a simula o cameră TV rotitoare și să urmărească (tracking) orice efector final cu autofocus automat online.

### ***Simularea și programarea off-line***

Pentru simularea programelor robot în KISMET s-a integrat un interpretor IRDATA. Este posibilă simularea unor roboți care lucrează în paralel sau concurent. Pentru sincronizarea diferitelor componente ale sistemului, există instrucțiuni disponibile pentru "așteaptă" (wait),

executare condiționată a programului și control al fluxului programului (while, for, if-then etc.).

Analiza mișcărilor PTP (sincrone și asincrone), liniare și circulare se poate realiza rapid. Pentru calculul traiectoriilor mișcărilor coordonate în timp, a profilelor de viteză și accelerație a fiecărei axe a robotului, în modelul de simulare sunt incluse restricții de mișcare. Este posibilă calcularea timpului necesar executării programului sau a unui ciclu.

Suplimentar limbajului direct MMI, KISMET oferă și un limbaj de comandă textuală, SCRIPT. Comenzile SCRIPT se pot introduce în KISMET în mai multe moduri. Dacă se citește dintr-un fișier ASCII, se pot crea secvențe de animație deosebit de complexe. Comenzile SCRIPT se pot introduce în KISMET și cu ajutorul tehnicilor de comunicare interproces UNIX (mesaje) de la alte procese ce se derulează în paralel. Utilizând această metodă, în mediul KISMET se pot elabora cu ușurință aplicații specifice MMI.

### **2.5.8 ROPSIM**

ROPSIM (Robot Offline Programming and SIMulation system) este rezultatul cercetărilor efectuate de Institute for Construction and Controlling technique (IKS) de la Universitatea Tehnică din Danemarca (DTU).

ROPSIM s-a conceput ca o componentă a unui sistem de fabricație integrat, unde se schimbă informații între sisteme. Ropsim funcționează pe baza conceptului de sistem deschis ilustrat în figura 2.13.

Un sistem deschis este un sistem care având implementate suficiente specificații referitoare la interfețe , servicii și formate, permite schimbul informațional cu alte sisteme locale sau îndepărtate.

Conceptul descrie trei nivele, de la proiectare (CAD), prin planificare (CAM) la producție (roboți). Aceste trei nivele au o serie de componente (unelte sau mașini CAD/CAM ), care au fiecare importanța lor. Informațiile (modele și programe) se schimbă între componentele CIME (Computer Integrated Manufacturing and Engineering). Informația dintr-un loc trebuie reutilizată de câte ori este posibil, pe de o parte din cauza costurilor de elaborare a informației, pe de altă parte pentru a asigura o informație consecventă.

#### ***Modelarea***

Modelarea ROPSIM se face în 3D CAD, utilizând operații CSG (Constructive Solid Geometry) și manipuloare geometrice 3D. Modelarea generică este structurată ierarhic pentru a permite construcția unor modele structurate. Se pot face importuri din modele CAD existente. Partea de modelare a ROPSIM prezintă facilități pentru :

- geometria solidă constructivă (CSG);
- importul de date CAD via VRML, IGES, STEP, STL etc.;
- modelarea geometrică și cinematică;
- modelarea echipamentului programabil, a mașinilor, dispozitivelor, sculelor etc.

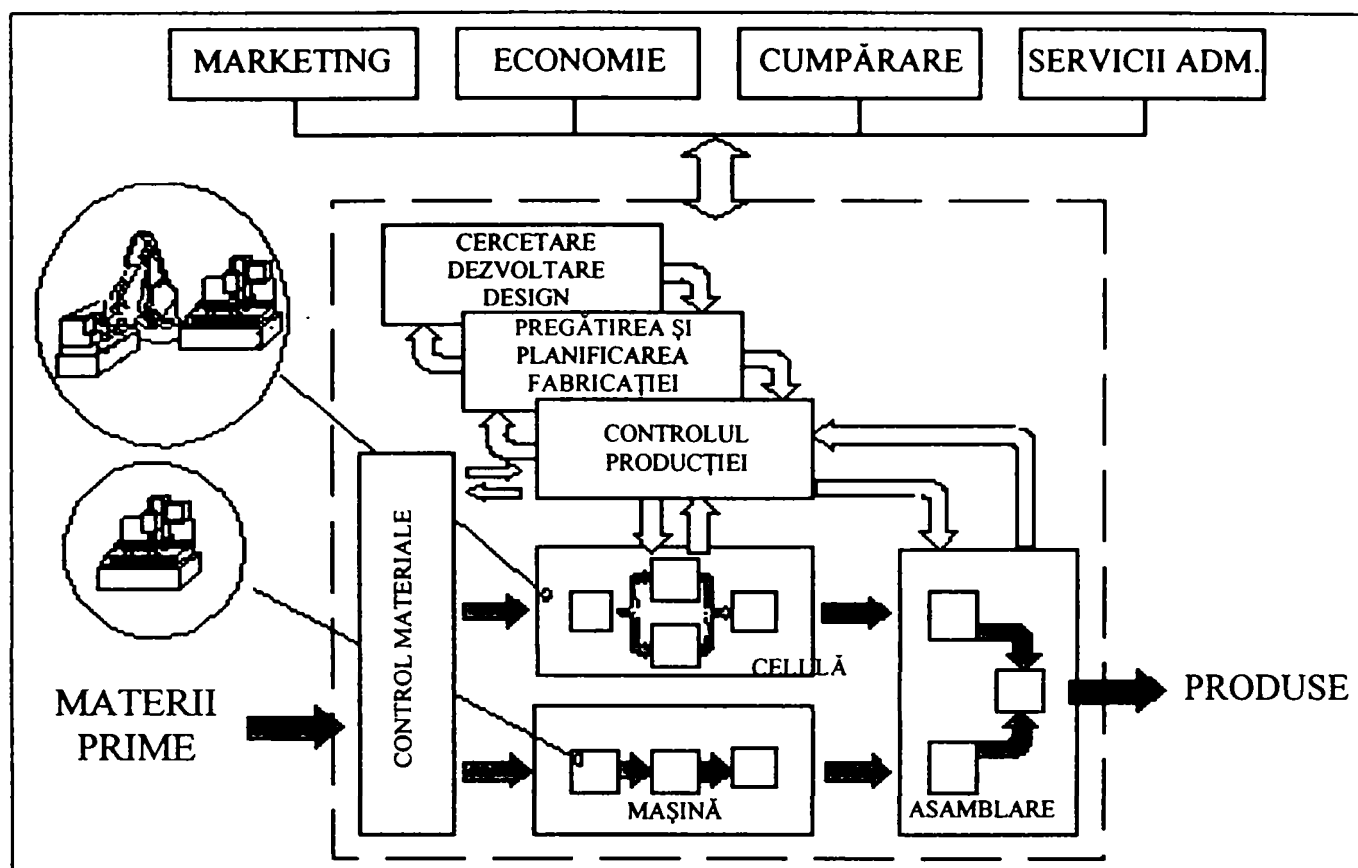


Fig. 2.13 Conceptul de sistem deschis

### **Programarea**

Programele se pot construi în două moduri diferite: grafic interactiv și textual.

Programarea interactivă se utilizează pentru programarea mișcărilor pe când logicile de program se realizează sub formă de text. O bibliotecă de subprograme se va construi textual în timp ce programele principale se dezvoltă interactiv. În acest fel ambele metode se utilizează în modul cel mai avantajos.

ROPSIM oferă o serie de facilități pentru optimizarea programării:

- programare grafică interactivă;
- planificarea traiectoriei;
- reutilizarea datelor CAD existente;

- verificarea traiectoriilor;
- programare textuală;
- IRL (International Robot Language);
- limbaje robot specifice furnizorilor;
- facilități de corectare (debugging);
- help on-line integrat.

### ***Modele de roboți***

ROPSIM utilizează un model generic de robot care permite modelarea oricărui robot din producție. Fiecare model din ROPSIM poate fi descris cu una sau mai multe părți din cele 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.

Modelul de controller conține un model al controllerului robotului.

Programul specifică sarcina care trebuie îndeplinită.

Liniile de comunicare din sistemul de fabricație se modelează ca și conexiuni corespunzătoare între modele.

Echipamentele periferice pot fi toate modelate în cadrul modelului robot.

Programarea off-line se bazează pe modele ale celulei de fabricație. Acestea sunt modele ale robotului, obiectului de lucru și ale periferiei. Modelele se pot construi în diferite moduri:

- ***Interschimbabilitate.*** ROPSIM este proiectat ca o componentă a unui sistem de fabricație integrat, unde fiecare informație (de ex. modele CAD, programe robot) este interschimbabilă în cadrul sistemelor. Pentru modele CAD se utilizează standardul STEP.
- ***Bibliotecă de modele.*** ROPSIM dispune de o bibliotecă de modele care conține roboți, mașini-unelte cu comandă numerică, dispozitive, transportoare etc. Modelele se importă din bibliotecă și se utilizează în simulare.
- ***Modele construite de utilizator.*** Modelele create de utilizator se realizează cu ajutorul interfeței grafice. Modelele de manipulator rezultă din modele solid 3D, cinematice și dinamice. Pentru modelele de controller se utilizează controllerul de mișcare relativă parametrizată.

### ***Simularea***

Simularea se vizualizează în grafică 3D. Se poate realiza monitorizarea simultană a robotului din mai multe puncte de vedere. Sistemul de fabricație virtual și modelele sunt evaluate pe

baza rezultatelor simulării. Modelele pot fi optimizate, iar după obținerea unei calități corespunzătoare, programele se transmit la sistemul de fabricație.

Experimentele se pot realiza în sistemul de fabricație virtual. Ele pot consta dintr-o varietate mare de analize diferite pe baza unor criterii cum ar fi: layoutul sistemului, capacitatea de producție, timpi ai ciclurilor, costuri.

ROPSIM oferă simulări dinamice foarte exacte. Un model bine calibrat se poate apropia de o corespondență de 100% cu celula de fabricație 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 directă prin portul serial al calculatorului. În alte cazuri se utilizează un postprocesor, astfel că programele elaborate în ROPSIM se pot transfera la controllerul robotului.

## **2.5.9 Prezentarea sintetică a caracteristicilor a unor sisteme de programare și simulare cunoscute**

În tabelele 1, 2 și 3 se prezintă sub formă sintetică cele mai importante caracteristici ale unor sisteme de programare și simulare cunoscute la ora actuală. Caracteristicile se referă la designer, distribuitor, sisteme de operare, roboți, modelare, simulare, calibrare, biblioteci de părți componente ale robotului și procese tehnologice, precum și la automatizarea optimizării traiectoriei, a detecției și evitării coliziunilor.

Analiza comparativă a caracteristicilor sistemelor de programare și simulare off-line (PSO) permite exprimarea următoarelor concluzii:

- toate sistemele de programare și simulare off-line analizate se pot utiliza pe microcomputere ce lucrează în sistemul de operare Windows, doar cca. 50% prezentând și posibilitatea utilizării pe stații de lucru având sistemul de operare Unix;
- majoritatea din sistemele analizate permit
  - importul și exportul formatelor de fișiere CAD/CAM
  - realizarea modelelor de sârmă 3D;
  - simularea mai multor roboți, a celulelor de fabricație și a unor axe externe;
  - detectarea și prevenirea automată a coliziunilor;
  - calibrarea.
- un număr important de sisteme PSO sunt prevăzute cu biblioteci de scule și procese de fabricație, prin urmare se pot utiliza pentru programarea și simularea roboților de prelucrare.

Tab.1 Sisteme de programare și simulare off-line: sursă, dealer, sisteme de operare, module, roboți

| Sistem PSO               | Designer                      | Distribuitor                                       | Sistem PC   | Sistem UNIX                          | Module  | Roboți                             |
|--------------------------|-------------------------------|--|---|--------------------------------------|---|------------------------------------|
| Act                      | Alma (F)                      | Alma (F)<br>Alma GmbH (D)                          | PC Pentium, 300 MHz<br>128 MB RAM, Windows NT           | Silicon Graphics                     | Act-Weld<br>Act-Cut3D                                     | IGM, Staubli<br>Reis, Motoman      |
| AnySim                   | AnySim (D)                    | AnySim, Kuka<br>Tecnomatix (F)                     | PC Pentium, 200 MHz, 64 MB<br>RAM, Windows 95, 98, NT   | Silicon Graphics<br>IBM, HP, SUN     | robotice<br>de bază                                       | de tip<br>Kuka                     |
| CimStation               | Silma (USA)                   | Silma<br>(UK, F, D, I, S)                          | PC Pentium<br>Windows NT                                | UNIX<br>Workstations                 | vopsire, sudare în puncte,<br>cu arc, asamblare., presare |                                    |
| Cosimir                  | IRF (D)                       | Festo (B)  | PC 486, 66MHz<br>Windows 3.11, 95, NT                   | SGI Workstations<br>cu IRIX          | Cosirop<br>Cosimod  | Mitsubishi                         |
| Grasp                    | Byg Sytems<br>Ltd. (GB)       | LOXHAM CAE<br>(B)                                  | PC Pentium<br>Windows 95, 98, NT                        | HP, SUN-<br>Workstations             | OPL, OLP+<br>Grasp 2000                                   |                                    |
| Igrip                    | Deneb (D)                     | Deneb (D)<br>Morotech (NL)                         | PC Pentium<br>Windows NT                                | Silicon Graphics<br>Sun Workstations | UltraGrip, UltraPaint<br>UltraArc, UltraSpot              | Kuka, Motoman,<br>Graco, Reis, ABB |
| Kismet                   | HWM (D)                       | HWM (D)  | PC Pentium<br>Windows NT                                | Silicon Graphics<br>ONYX             |   | Telbot, Cougar,<br>Puma, Jet Boom  |
| Nachi Robot<br>Simulator | Nachi-Fujikoshi<br>Corp. (J)  | Nachi (D)  | PC Pentium<br>Windows 95, 98, NT                        |                                      |   | de tip<br>Nachi                    |
| Pana Robo                | Panasonic (J)                 | ValkWelding(NL)                                    | PC Pentium<br>Windows 95, 98, NT                        |                                      |   | de tip<br>Panasonic                |
| Robead                   | Tecnomatix (F)                | Tecnomatix (F)                                     | PC Pentium<br>Windows NT                                | SGI-, HP-, SUN-,<br>Workstations     | sudare în puncte și cu arc,<br>vopsire, găurire cu laser  | Comau, Fanuc,<br>ABB, IGM, Kuka    |
| ROB Office               | AnySim (D)                    | AnySim (D),<br>Reis Robotics(D),<br>Tecnomatix (B) | PC Pentium 200 MHz<br>120 MB RAM, Open GL<br>Windows NT |                                      |   | de tip<br>Reis                     |
| Robot3D                  | FFSOFT (P)                    | FFSOFT (P)   | PC 486 DX2/66 MHz<br>MS-DOS<br>Windows 3.11, 95, 98, NT |                                      | Robmod<br>RoCAD<br>Rodit                                  | ABB,<br>Bisiach<br>& Carru         |
| Roboplan                 | NIS GmbH (D)                  | NIS GmbH (D)                                       | PC Pentium<br>Windows NT                                | SUN<br>Workstations                  |   | Cloos,<br>Romat                    |
| Robot Studio<br>S4 Lite  | DPTTechnologies<br>(S)        | ABB (B)  | PC Pentium II, 400 MHz<br>128 MB RAM, Windows NT        |                                      |   | de tip<br>ABB                      |
| Virtual Robot            | Univ. Pol. de<br>Valencia (E) | JRC-ISIS (I)                                       | PC Pentium<br>Windows 95                                |                                      |   | ABB Irb L6                         |
| VisualStacker            | Salvagnini (I)                | Mac-Kenzie (NL)                                    | PC Pentium<br>Windows NT                                |                                      |   | Comau<br>CRSH80                    |
| Workspace                | Robot Simulation<br>Ltd. (GB) | Eurofip (F)<br>Eurotec (D)                         | PC Pentium II, 333 MHz<br>Windows 95, 98, NT            |                                      |   | Adept, Staubli,<br>Motoman         |

| Sistem PSO            | Filtru import  | Filtru export  | Model de sarmă 3D | Model de sarmă 3D cu linii ascunse | Solide | Solide transparente | Vizualizare a spațiului de lucru | Vederi multiple |
|-----------------------|--|--|-------------------|------------------------------------|--------|---------------------|----------------------------------|-----------------|
| Act                   | DXF, STEP IGES/Batch                                       |  | X                 | X                                  | X      | X                   |                                  | X               |
| AnySim                | VDA-FS   |  | X                 | X                                  | X      | X                   |                                  |                 |
| CimStation            | Catia,STEP, DXF, I-DEAS, VDA-FS                            | STEP, DXF, VDA-.S  | X                 | X                                  | X      | X                   |                                  | X               |
| Cosimir               | MS files, DXF, VDA-FS                                      | MS files,DXF, VDA-FS                                       | X                 |                                    | X      |                     | X                                | X               |
| Grasp                 | IGES/BATCH, STEP, CV NC, Tribon                            | STEP, DXF, VRML  | X                 | X                                  | X      | X                   |                                  | X               |
| Igrip                 | BYU, Catia, CSF, DXF, IGES/BATCH, STL, VRML                | BYU, DXF, IGES/BATCH, STL, VRML                            | X                 | X                                  | X      |                     | X                                | X               |
| Kismet                | BYU, STEP, DXF, VDA-FS, VRML                               | STEP, DXF, VDA-FS  | X                 |                                    | X      | X                   |                                  | X               |
| Nachi Robot Simulator | DXF  | DXF  | X                 |                                    |        |                     |                                  | X               |
| Pana Robo             | IGES, DXF  | WMF  | X                 |                                    | X      |                     | X                                | X               |
| Robcad                | Unigraphics,IGES/Batch STEP, I-DEAS, ProE, DXF, STL, Catia | Unigraphics,IGES/Batch STEP, I-DEAS, ProE, DXF, STL, Catia | X                 | X                                  | X      | X                   | X                                | X               |
| ROB Office OLP        | Catia. DXF, STL, VDA-FS                                    |  | X                 | X                                  | X      | X                   | X                                | X               |
| Robot3D               | DXF  | DXF  | X                 |                                    |        |                     | X                                | X               |
| Roboplan              |  |  | X                 |                                    | X      |                     |                                  |                 |
| Robot Studio S4 Lite  | IGES/SAT   | IGES/SAT   |                   |                                    | X      | X                   |                                  |                 |
| Virtual Robot         |  |  | X                 | X                                  | X      | X                   | X                                | X               |
| VisualStacker         |  |  | X                 |                                    |        |                     | X                                |                 |
| Workspace             | DXF, IGES, STEP  | DXF, IGES, STEP, VRML                                      | X                 | X                                  | X      | X                   | X                                | X               |

Tab.2 Sisteme de programare și simulare off-line: filtre import/export fișiere și caracteristici de modelare



| Sistem PSO            | Automat                 |                         |                         | Bibliotecă de |                            |         | Simulare |                  |                      |             | Cali-brare |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|---------|----------|------------------|----------------------|-------------|------------|
|                       | optimizarea traectoriei | detectarea coliziunilor | prevenirea coliziunilor | scule         | dispozitive de prehensiune | procese | senzori  | mai mulți roboți | celule de fabricație | axe externe |            |
| Act                   | X                       | X                       | X                       | X             |                            | X       |          | X                | X                    | X           | X          |
| AnySim<br>KR Sim      |                         | X                       | X                       |               |                            |         | X        |                  | X                    | X           |            |
| CimStation            | X                       | X                       | X                       | X             | X                          |         |          | X                | X                    |             | X          |
| Cosimir               |                         | X                       |                         | X             | X                          | X       |          | X                | X                    | X           |            |
| Grasp                 |                         | X                       | X                       |               |                            |         |          | X                | X                    | X           | X          |
| Igrip                 | X                       | X                       | X                       | X             | X                          | X       | X        | X                | X                    | X           | X          |
| Kismet                |                         | X                       | X                       | X             | X                          |         |          | X                | X                    | X           | X          |
| Nachi Robot Simulator |                         |                         |                         | X             | X                          |         |          |                  | X                    | X           | X          |
| Pana Robo             | X                       |                         |                         | X             | X                          | X       |          | X                | X                    | X           | X          |
| Robcad                | X                       | X                       | X                       |               |                            |         | X        | X                | X                    | X           | X          |
| ROB Office OLP        |                         | X                       | X                       |               |                            |         |          | X                | X                    | X           |            |
| Robot3D               | X                       |                         |                         | X             | X                          | X       | X        |                  |                      | X           | X          |
| Roboplan              | X                       | X                       | X                       | X             | X                          | X       |          |                  | X                    | X           | X          |
| Robot Studio S4 Lite  |                         | X                       |                         | X             | X                          |         |          |                  |                      | X           |            |
| Virtual Robot         |                         |                         |                         | X             | X                          |         |          |                  | X                    |             |            |
| VisualStacker         | X                       | X                       | X                       | X             | X                          | X       | X        | X                |                      |             | X          |
| Workspace             | X                       | X                       | X                       |               |                            | X       | X        | X                | X                    | X           | X          |

Tab.3 Sisteme de programare și simulare off-line: caracteristici de automatizare, bibliotecă, simulare, calibrare.

### 3. Ingineria integrată a produselor. Metode de transmitere a rezultatelor activității de concepție constructivă-tehnologică la sisteme de fabricație

#### 3.1 Considerații generale. Necesitatea dezvoltării codificării matematice a proceselor tehnologice robotizate

Se înțelege prin *producție* (proces de producție) totalitatea activităților care concură la realizarea unui produs. *Produsul* este un bun material sau o prestație de servicii destinat satisfacerii cerințelor unor consumatori.

În figura 3.1 este prezentată structura procesului de producție, cu indicarea succesiunii în timp a acestor faze

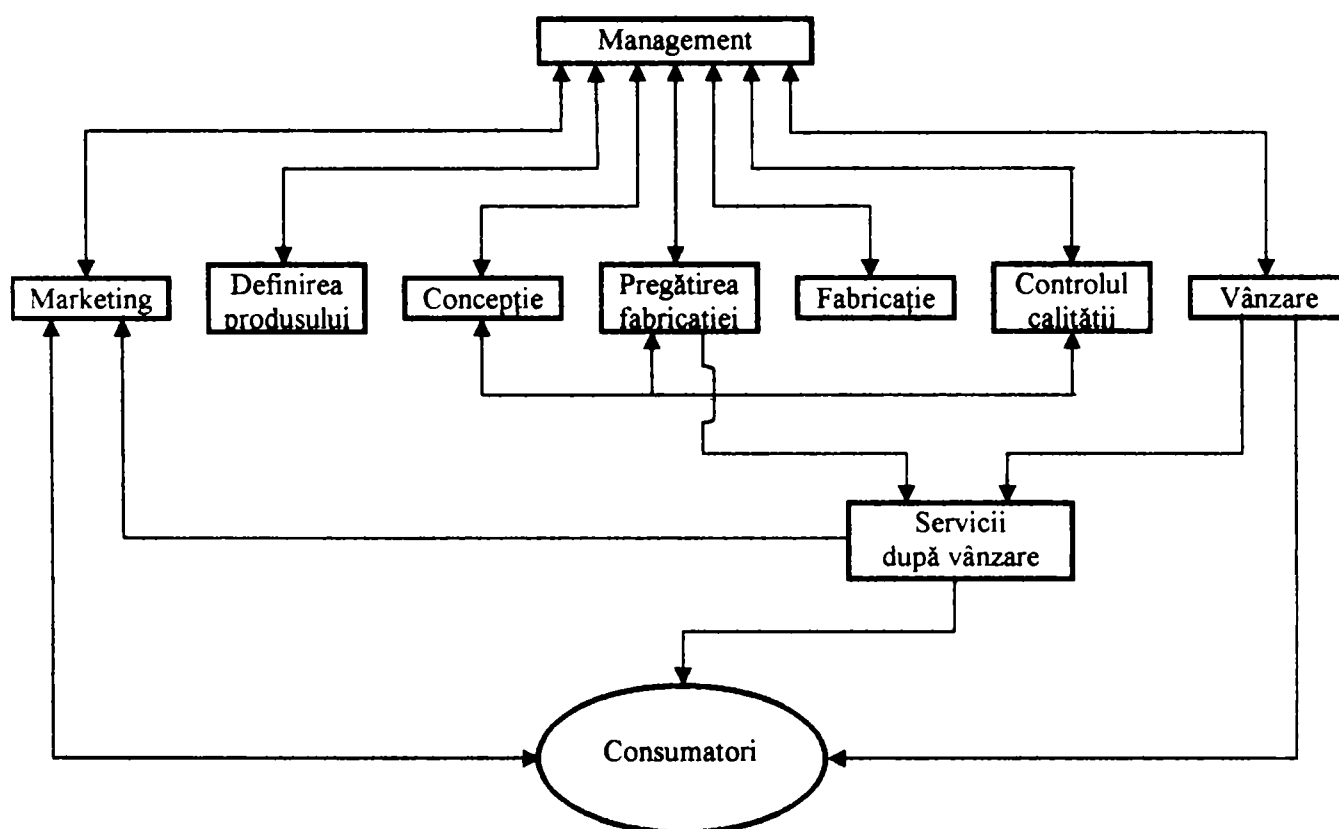


Fig. 3.1 Structura procesului de producție

Alegerea produsului și a caracteristicilor acestuia, deci *definirea produsului*, se realizează pe baza informațiilor achiziționate prin studiul pieței, a cerințelor consumatorilor, activitate denumită *marketing*. Prin *concepție* se înțelege partea din procesul de producție în decursul căreia se stabilesc datele referitoare la produs, funcțiuni, structură, componente, forme, dimensiuni, materiale, calitățile suprafețelor, rezistențe, rigidități – *concepția constructivă* - și date cu privire la modalitățile de realizare a produsului (tehnologii, procese de fabricație) – *concepția tehnologică*. Concepția, împreună cu achiziționarea și punerea la dispoziție a

materialelor, semifabricatelor, componentelor din comerț, a materialelor auxiliare, planificarea și programarea fazelor de execuție constituie *pregătirea fabricației*. Prin *fabricație* se înțelege totalitatea activităților care concurează la realizarea produselor având cu preponderență natura unui bun material. *Controlul de calitate* este totalitatea activităților care realizează verificarea corespondenței dintre caracteristicile propuse de a se realiza la definirea produsului și caracteristicile efective realizate ale acestuia. Informațiile obținute cu ocazia realizării *controlului de calitate* se transmit *concepției* respectiv *fabricației* și în vederea remedierii unor defecțiuni (“bucla internă” de reglare a calității). Unii autori [War96] [Kov99] consideră vânzarea parte a procesului de producție. *Vânzarea* este acea parte a procesului de producție prin care produsul trece din proprietatea producătorului în cea a clientului (consumatorului), de obicei contra achitării de către acesta din urmă a prețului. *Serviciul după vânzare* asigură funcționarea produsului la client un anumit interval de timp după vânzare. Informațiile cu privire la defecțiunile apărute în timpul exploatării la client, culese prin intermediul serviciilor după vânzare sunt comunicate *marketingului*, în vederea îmbunătățirii *definirii produsului* (“bucla externă” de reglare a calității). Procesul de producție se realizează în cadrul unui sistem (sistem de producție), activitățile enumerate mai sus, împreună cu mijloacele care facilitează desfășurarea lor fiind elementele componente ale sistemului.

Legătura dintre elementele componente ale producției se realizează prin intermediul evidenței unor ieșiri din anumite elemente și intrări în alte componente.

Se înțelege prin *flux* determinarea cantitativă în timp a ieșirilor și intrărilor menționate anterior (simbolizate în figura 3.1 prin săgeți). Fluxurile care integrează elementele sistemului de producție sunt *fluxul de materiale*, *fluxul energetic*, *fluxul informațional* și *fluxul de muncă umană*.

Se înțelege prin *integrare* corelarea elementelor componente ale sistemului într-un tot unitar.

Un sistem de producție este *automat* dacă funcționarea lui nu necesită nici activitatea continuă, nici în intervale de timp prescrise a operatorului uman. *Automatizarea* este un proces de extragere treptată a operatorului uman din procesul de producție, acțiunea lui fiind înlocuită prin cea a unor sisteme tehnice (mijloace de automatizare). *Gradul de automatizare* la un moment dat al procesului de producție este exprimabil prin gradul de diminuare a intensității fluxului de muncă umană în sistemul de producție aferent, concomitent cu gradul de creștere a intensității fluxului informațional.

În cadrul activităților de definire a produsului, de concepție și de pregătire a fabricației se elaborează informații menite să conducă ulterior procesul de fabricație a produsului. Cele de

mai sus presupun transmiterea informațiilor elaborate. Ca urmare, ele trebuie să fie codificate. În producția industrială codificarea informațiilor de definire a produsului, concepția și pregătirea fabricației lui se realizează prin modelare matematică.

În condițiile “clasice”, rezultatul activității de concepție-pregătire a fabricației a operatorilor umani se codifică matematic prin elaborarea unor modele geometrice 2D (desene de ansambluri, subansambluri, de execuție pentru concepția constructivă), respectiv modele alfanumerice (descriind procesele tehnologice de fabricație și planificarea-programarea acesteia). De la o etapă la alta a activităților de concepție-pregătire a fabricației cât și de la concepție-pregătire a fabricației la fabricația propriu-zisă, modelele elaborate se transmit prin intermediul operatorilor umani și se decodifică tot de aceștia în vederea utilizării în activitățile specifice etapei respective. Spre exemplu, desenele de execuție elaborate în cadrul concepției constructive se transmit și se decodifică de către operatori umani în vederea elaborării proiectului procesului tehnologic, toate modelele matematice elaborate în cadrul activităților de concepție-pregătire a fabricației (documentația de execuție și programarea execuției) se transmit și se decodifică de către operatori umani lucrând în cadrul fabricației, în vederea utilizării informației conținute în desfășurarea proceselor tehnologice.

În condițiile creșterii gradului de automatizare a procesului de producție, elaborarea modelelor matematice în cadrul activității de concepție-pregătire a fabricației se realizează într-o măsură mai mică sau mai mare, asistată de calculator (în cadrul facilităților CIM: CAD, CAE, CAPP, MES, CAPS). Transmiterea informațiilor conținute în modelele matematice elaborate se transmit spre etapele următoare de activități la rândul lor, într-o măsură mai mică sau mai mare, prin intermediul rețelei informaționale realizate prin interconectarea calculatoarelor. Totuși, în procesul de transmitere a acestor informații mai intervine frecvent operatorul uman, ceea ce limitează creșterea productivității activității de concepție-pregătire a fabricației și permite – cel puțin în principiu – apariția unor erori datorate greșelilor sau indisciplinei operatorilor umani.

Astfel, informațiile cu privire la prelucrarea unor obiecte de lucru pe mașini unelte CNC se transmit acestora prin intermediul unor “programe piesă” CAM întocmite de operatori umani, pe baza documentației constructive și tehnologice întocmite în cadrul activității de concepție, chiar dacă de obicei aceasta este asistată de calculator. Implementarea în procesul de fabricație a informațiilor constructive-tehnologice prin intermediul unor programe de preprocesare-postprocesare se realizează de asemenea cu concursul – ce este drept, mai mic – al operatorilor umani. Programarea roboților industriali pentru executarea operațiilor de manipulare, parte componentă a procesului tehnologic, se realizează la rândul ei (“on-line”

sau “off-line”) de către operatori umani programatori. Tot operatorul uman programator introduce datele de programare a procesului de fabricație elaborat în cadrul pregătirii de fabricație în calculatorul care constituie sistemul de comandă ierarhic superior al celulei/liniei de fabricație.

Creșterea gradului de automatizare a activității de concepție-pregătire a fabricației se consideră că se poate obține prin elaborarea unei metode de codificare matematică a rezultatelor concepției constructive și tehnologice care să permită transmiterea modelului/modelelor elaborate în mod nemijlocit sistemelor de comandă ale mijloacelor de fabricație automate care vor realiza fizic produsul.

### **3.2 Concepția constructivă-tehnologică și pregătirea fabricației în contextul ingineriei integrate a produselor**

#### **3.2.1 Definiția și modelul ingineriei integrate**

Abordarea globală a procesului de dezvoltare de noi produse este denumită *inginerie integrată*. Termenul 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).

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

Modelul ingineriei integrate a produselor creat de Andreasen și Hein [And87] este prezentat în figura 3.2.

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 cercetează 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;
- în corelație cu cele de mai sus, 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.

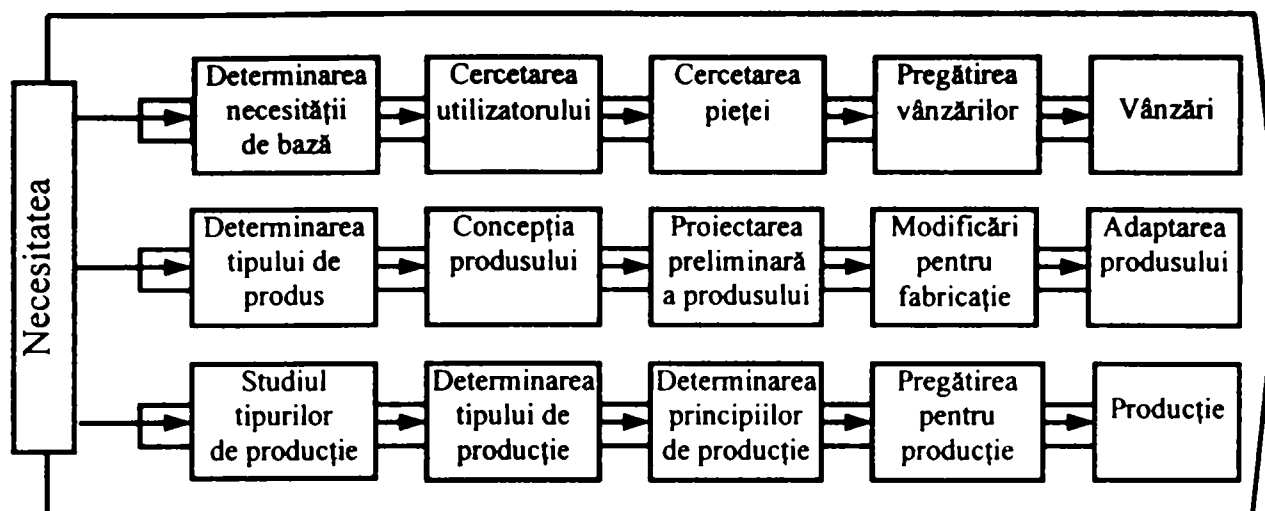


Fig. 3.2 Model de inginerie integrată a produselor

### 3.2.2 Considerații generale

În multe întreprinderi, dezvoltarea produsului și a fabricației lui sunt fragmentate fiind drept urmare dificil de gestionat și de coordonat. Facilitățile CIM, chiar utilizate parțial, automatizează procesul de concepție-dezvoltare dar, în multe cazuri, determină proliferarea acestuia într-un mod care nu ține cont de impactul asupra restului organizării activității productive.

Cercetările arată că într-o întreprindere tipică geometria unui obiect de lucru se reprojecțează de cinci sau chiar de mai multe ori. De fiecare dată informația referitoare la geometria reperului sau concepția produsului se creează în mod independent, ceea ce duce la apariția unor informații redundante care trebuie gestionate. Sistemele neintegrate necesită de asemenea un efort suplimentar pentru transferarea datelor de la un subsistem la altul. Aceasta permite apariția erorilor în procesul de transfer, iar datele se pot pierde. Întârzierile sunt inerente în acest proces. Se necesită eforturi suplimentare pentru coordonarea activităților.

O modalitate de a rezolva aceste probleme tradiționale ale procesului de producție o constituie integrarea prin flux informațional ale tuturor componentelor sistemului de producție. Hipersistemele CIM, integrând informațional concepția, fabricația și managementul, constituie fundamentul pentru ingineria viitorului.

Concepția de produse și procese de fabricație devin mai eficiente prin utilizarea bazelor de date integrate și a rețelelor informaționale prin menținerea și optimizarea utilizării informațiilor elaborate. Aceste informații trebuie stocate și păstrate într-un mod logic, consecvent, neredundant și utilizabil.

Trebuie realizat saltul la un flux informațional care să permită desfășurarea proceselor de producție cu puțină sau chiar fără intervenția operatorului uman. Standardele actuale ca IGES (Initial Graphic Exchange Specification) se cer îmbunătățite astfel încât datele să poată fi accesate și utilizate fără constrângeri tehnice. În acest scop se preconizează utilizarea unor standarde evolute ca STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) respectiv PDES (Product Data Exchange using STEP), care furnizează un set mai complet de date despre produs într-un format neutru. Obiectivul acestui standard este de a codifica într-un format digital ansamblul informațiilor manipulate de către o întreprindere pe parcursul realizării unui produs.

Prin stocarea electronică a datelor referitoare la produs și procesul de producție, reprezentările bazate pe hârtie, ca purtătoare de informații a acestor date, pot fi minimizezate. Prin evitarea desenelor, fișelor, tabelor etc. consemnate pe hârtie, se reduce manipularea și stocarea manuală a documentelor, se reduc timpurile de accesare a celor mai utilizate desene, fișe, tabele etc. și se previn erorile rezultate ca urmare a utilizării unor informații grafice învechite.

Stocarea electronică a datelor referitoare la concepția produselor și a procesului de producție necesită un anumit număr de tehnologii ajutătoare care trebuie legate între ele în mod fizic, organizatoric și informațional pentru a putea realiza integrarea informațiilor. Aceste tehnologii sunt cele aferente facilităților CIM [Kov99]. Se poate afirma faptul, că principala problemă a ingineriei integrate a produselor o reprezintă integrarea informațională a activităților de concepție constructivă-tehnologică de pregătire a fabricației cu activitatea de fabricație propriu-zisă.

### **3.2.3 Structura și conținutul activității de definire și concepție constructivă a produsului**

S-a arătat în capitolul 3.1 că definirea produsului se realizează pe baza analizei solicitărilor consumatorilor. Cerințele clienților sunt formulate din punct de vedere tehnico-economic pe baza cunoștințelor celor care se ocupă de definirea produsului în conformitate cu realizările tehnice existente (în întreprindere și în afara ei) și posibilitățile de dezvoltare realiste, realizabile în cadrul întreprinderii.

În conformitate cu cerințele consumatorilor, se alege produsul care satisface aceste cerințe, se corelează cerințele ponderate în funcție de importanța lor cu descriptori tehnici ai produsului, la rândul lor ponderate. Operația se poate realiza spre exemplu utilizând tehnica QFD ("casa calității") [Bos91] [War95] [Kov99]. Pentru produsul ales pentru a fi realizat se stabilesc apoi

funcțiile, principiul (principiile) de funcționare, preciziile necesare a performanțelor, se estimează o durată de viață și se stabilesc limite de costuri și de termene de livrare (Fig. 3.4).

| <b>Definirea produsului</b>  |  |
|--|--|
| <p><b>1. Alegerea produsului pe baza cerințelor clienților potențiali:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ formularea cerințelor pe baza studiului de marketing;</li> <li>○ alegerea produsului care satisface cerințele;</li> <li>○ corelarea cerințe – descriptori tehnici, ponderări.</li> </ul> | <p><b>2. Stabilirea pentru produsul ales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ a funcțiunilor;</li> <li>○ principiului de funcționare;</li> <li>○ preciziei necesare;</li> <li>○ duratei de viață preconizate;</li> <li>○ limitei de costuri;</li> <li>○ limitelor de termene de livrare.</li> </ul> |

Fig. 3.3 Structura și conținutul activității de definire a produsului

Concepția constructivă a produsului începe cu stabilirea structurii ansamblului și subansamblurilor, modul lor de constituire din elemente, definirea legăturilor dintre acestea (ieșiri și intrări) și estimarea puterii nominale produse sau consumate, definirea rețelelor de vehiculare a fluxurilor. Stabilirea caracteristicilor elementelor/pieselor se referă la alegerea materialelor, a formelor geometrice, dimensiunilor și toleranțelor acestora, calculul parametrilor inerțiali, a solicitărilor și deformațiilor admisibile, a rigidităților, precizarea calității suprafețelor și a durițăților. Concepția constructivă se încheie cu stabilirea caracteristicilor finale, de ansamblu ale produsului (Fig. 3.5) [Lat65] [War95]. Desfășurarea efectivă a activității de concepție constructivă a produsului se realizează de regulă prin mai multe iterații, atât în cadrul etapelor cât și în ansamblu (deci, cu reveniri la etapele anterioare). Este recomandabilă elaborarea mai multor variante de soluții constructive pentru produs și selectarea în final a celei mai convenabile, pe baza unui proces de optimizare, utilizând criterii prestabilite la definirea produsului. Un asemenea decurs este facilitat de mijloacele și programele de calcul automat



| <b>Concepția constructivă a produsului</b>  |   |   |
|---|---|---|
| <p><b>3. Stabilirea caracteristicilor preliminare de ansamblu ale produsului:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ structura;</li> <li>○ componența din subansambluri;</li> <li>○ legături între subansambluri: intrări-ieșiri;</li> <li>○ putere nominală.</li> </ul>  | <p><b>4. Stabilirea caracteristicilor subansamblurilor:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ structura;</li> <li>○ componența din elemente (piese);</li> <li>○ legături între elemente: intrări-ieșiri;</li> <li>○ putere nominală;</li> <li>○ rețele.</li> </ul> | <p><b>5. Stabilirea caracteristicilor elementelor/pieselor:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ material;</li> <li>○ formă geometrică;</li> <li>○ dimensiuni, toleranțe dimensionale;</li> <li>○ masă, centru de masă, momente și axe de inerție masice;</li> <li>○ solicitări și deformații admisibile, rigiditate;</li> <li>○ calitatea suprafețelor, durități.</li> </ul> |
| <p><b>6. Stabilirea caracteristicilor finale de ansamblu ale produsului:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ exactitate;</li> <li>○ interschimbabilitate;</li> <li>○ stările suprafețelor;</li> <li>○ durabilități;</li> <li>○ greutate;</li> <li>○ randament;</li> <li>○ accesibilitate;</li> <li>○ posibilități de manipulare;</li> <li>○ caracter ergonomic;</li> <li>○ curățenie;</li> <li>○ posibilități de inspecție/întreținere;</li> <li>○ aspect;</li> <li>○ rezistență;</li> <li>○ fiabilitate (reliabilitate);</li> <li>○ siguranță, protecția muncii;</li> <li>○ posibilități de control/testare.</li> </ul> |   |   |

Fig. 3.4 Structura și conținutul activității de concepție constructivă a produsului

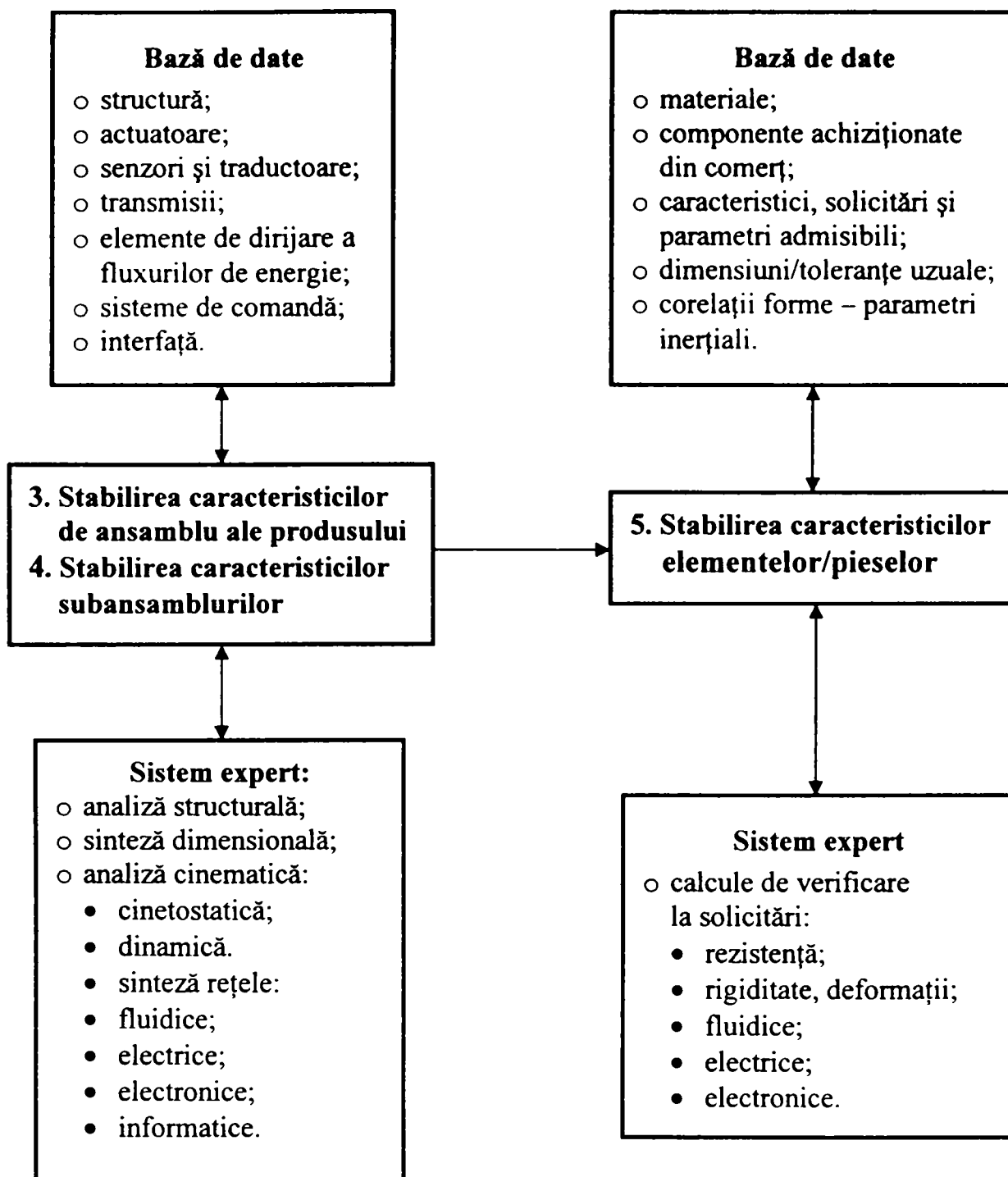


Fig. 3.5 Fluxul informatic în cadrul activității de concepție constructivă a produsului

Operatorii umani desfășoară activitatea de concepție constructivă utilizând baze de date și sisteme expert care în condițiile “clasice” constau din tabele, grafice, norme, cataloage, prospecte etc., respectiv cărți, manuale, breviare de norme de calcul etc., toate pe suport de hârtie. În cazul concepției constructive asistate de calculator, bazele de date și sistemele expert sunt constituite din programe de calculator și informații stocate în memorii electronice. Concepția constructivă asistată de calculator se realizează prin facilitatea CAD (Computer Aided Design) a hipersistemului CIM, bazele de date și sistemele expert constituie facilitatea CAE (Computer Aided Engineering) (Fig. 3.6).

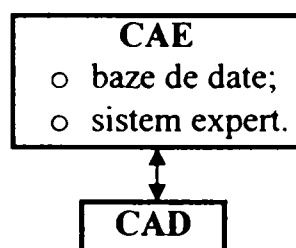


Fig. 3.6 Facilități CIM, CAD și CAE

### **3.2.4 Structura și conținutul activității de concepție tehnologică a fabricației produsului**

Se înțelege prin proces succesiunea în timp a unor evenimente legate între ele prin relații cauză-efect și având un anumit scop.

În cadrul procesului tehnologic, evenimentele componente sunt activități de modificare a formei, dimensiunilor, stării de agregare, proprietăților fizice ale materialului, stării suprafețelor, structurii, situării unor obiecte de lucru, care, pe această cale, se transformă în obiecte finite, produse sau componente ale acestora. Procesul tehnologic este conținutul procesului de fabricație, la rândul lui componentă a procesului de producție.

Procesul tehnologic este compus din mai multe operații, care la rândul lor pot fi de lucru (prelucrare) sau de manipulare. Operațiile de manipulare realizează schimbarea situării obiectului de lucru ca urmare a unei sau mai multor secvențe de mișcare. Operațiile de lucru (prelucrare) realizează celelalte evenimente componente (enumerare mai sus) ale procesului tehnologic (de fabricație). Operațiile de lucru ca sistem de rangul R, au ca și subsisteme faze

(sistem de rangul  $R_1$ ), treceri (sistem de rangul  $R_2$ ), mânuiri (sistem de rangul  $R_3$ ) etc. De regulă, o anumită operație de lucru se realizează cu un anumit procedeu tehnologic.

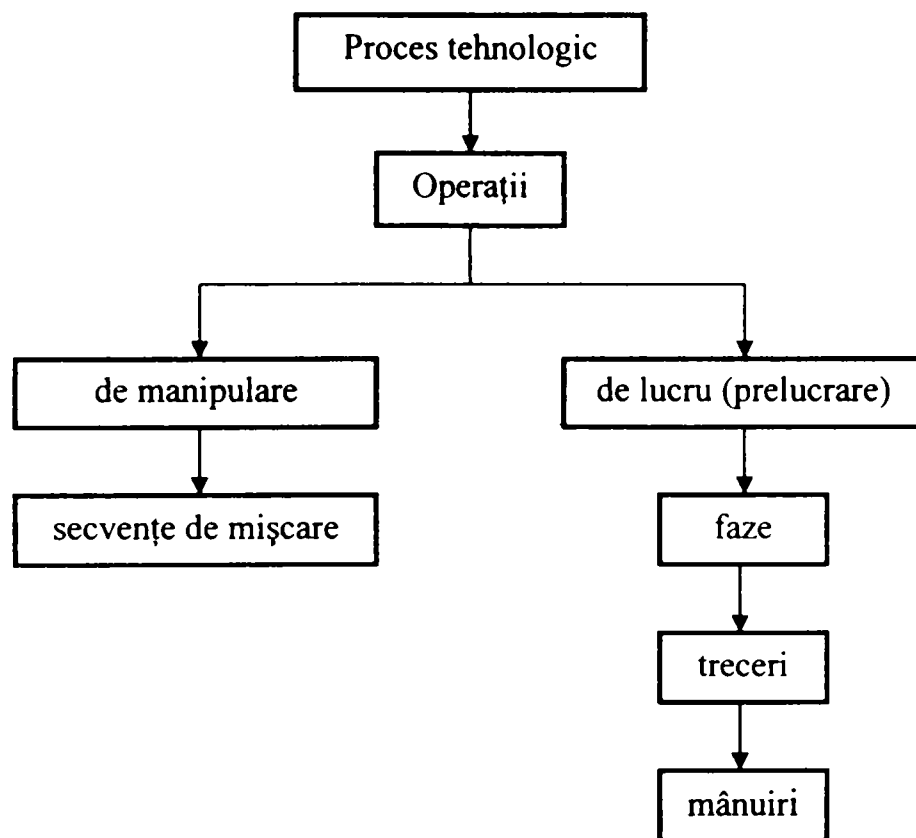


Fig. 3.7 Structura procesului tehnologic

**Concepția tehnologică a fabricației produsului** începe cu stabilirea concepției de ansamblu a procesului tehnologic: alegerea procedeele tehnologice folosite, determinarea succesiunii operațiilor, fazelor, trecerilor, mânuirilor etc., alegerea locurilor de muncă pentru execuția acestor operații și a itinerariilor tehnologice. În cazul fabricației flexibile se determină înainte de toate tehnologia de grup a produsului respectiv cea a elementelor acestuia. Se aleg – la nevoie se proiectează – dispozitivele de lucru, sculele utilizate în cadrul procesului, respectiv modificările mașinilor de lucru și ale dispozitivelor instalației aducătoare-de evacuare (IA/E). În sfârșit, se proiectează operațiile tehnologice: se aleg regimurile de lucru și de manipulare și se proiectează ciclograma procesului tehnologic și interblocările aferente (Fig. 3.8).

Etapele concepției tehnologice a fabricației produselor se diferențiază în funcție de faptul dacă se referă la execuție a componentelor sau dacă se referă la montajul produsului. Acceptând notațiile din figura 3.7', succesiunea obișnuită a etapelor este:

⑦1 → ⑧1 → ⑨1 → ⑦2 → ⑧2 → ⑨2 , întrepătrunderea în acest timp a unor secvențe fiind necesară .

Ca și concepția constructivă a produsului, și concepția fabricației lui se desfășoară iterativ și în mai multe variante dintre care se alege una, pe baza unor criterii de optimizare.

| <b>Concepția tehnologică a produsului</b>   |   |   |
|---|---|---|
| <b>7. Stabilirea procesului tehnologic al fabricației produsului:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ tehnologia de grup;</li> <li>○ procedee tehnologice utilizate;</li> <li>○ itinerarul tehnologic: succesiunea operațiilor, fazelor, trecerilor, mânuirilor etc.;</li> <li>○ locurile de muncă.</li> </ul> | <b>8. Stabilirea (proiectarea) echipamentelor auxiliare:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ modificarea mașinilor de lucru, dispozitivelor I/A/E;</li> <li>○ dispozitive de lucru;</li> <li>○ scule.</li> </ul> | <b>9. Proiectarea operațiilor tehnologice:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ alegerea regimurilor de lucru;</li> <li>○ alegerea regimurilor de manipulare;</li> <li>○ ciclograme și interblocări.</li> </ul> |

Fig. 3.8 Structura și conținutul activității de concepție tehnologică a fabricației produsului

| <b>Concepția tehnologică a produsului</b>   |   |  |
|---|---|--|
| <b>7. Stabilirea procesului tehnologic al fabricației produsului:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>7.1 pentru execuția componentelor</li> <li>7.2 pentru montajul produsului</li> </ul> | <b>8. Stabilirea (proiectarea) echipamentelor auxiliare:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>8.1. pentru execuția componentelor</li> <li>8.2 pentru montajul produsului</li> </ul> | <b>9. Proiectarea operațiilor tehnologice:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>9.1 pentru execuția componentelor</li> <li>9.2 pentru montajul produsului</li> </ul> |

Fig. 3.8' Structura și conținutul concepției tehnologice, cu evidențierea execuției componentelor și montajului produsului

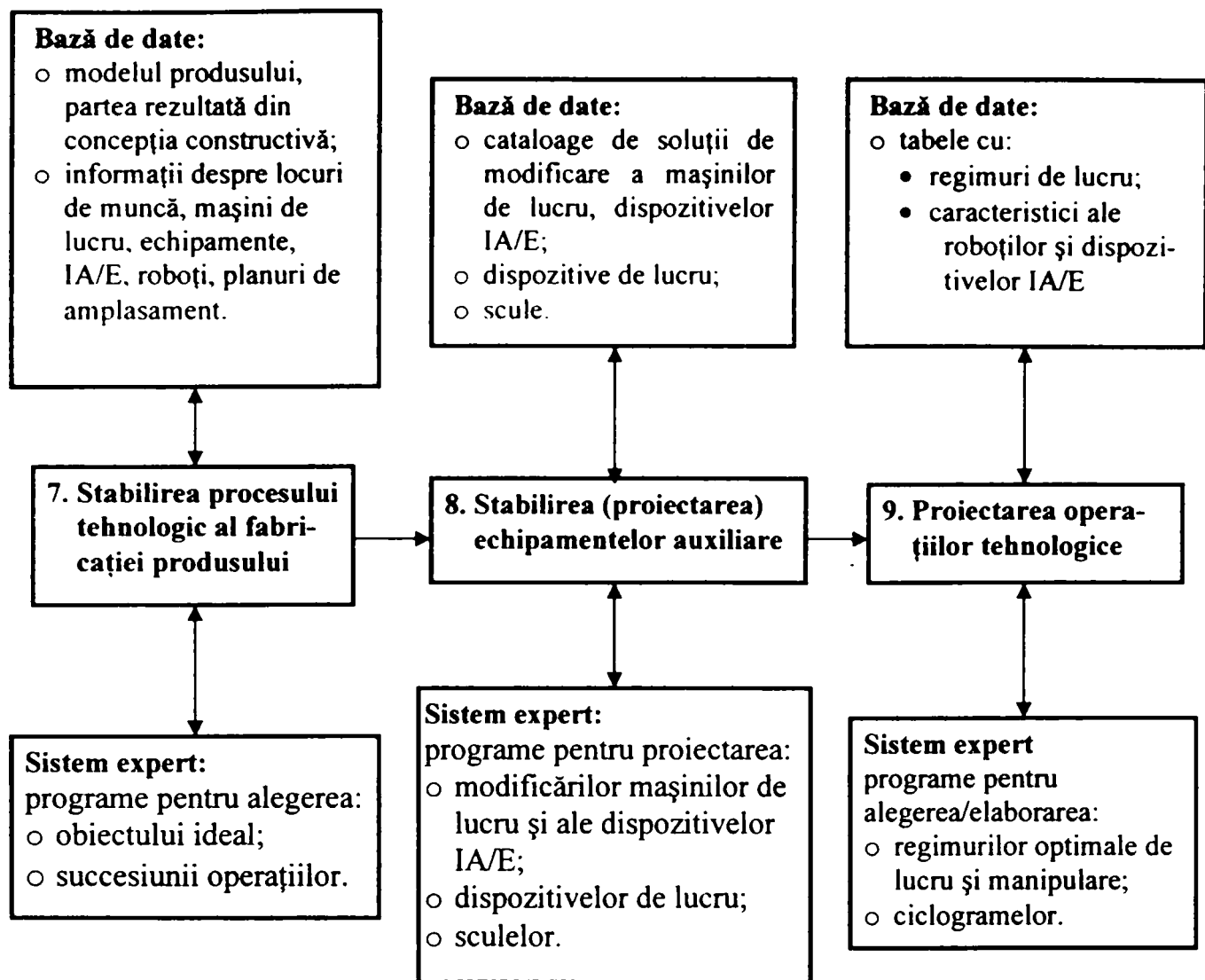


Fig. 3.9 Fluxul informațional în cadrul activității de concepție tehnologică

Operatorii umani care desfășoară activitatea de concepție tehnologică sunt proiectanți de proces, de scule/dispozitive și de operații. Fluxul de informații aferent activității de concepție tehnologică este reprezentat schematic în figura 3.9.

Bazele de date utilizate se referă pe de o parte la partea din modelul produsului care a rezultat din concepția constructivă, pe altă parte la cataloage de dispozitive de lucru, scule, soluții de modificare a mașinilor de lucru și a dispozitivelor IA/E, tabele cu regimuri de lucru optime și cataloage cu caracteristici ale roboților și dispozitivelor IA/E. Sistemele expert conțin programe de alegere optimală, respectiv de proiectare. Și în acest caz, bazele de date și sistemele expert pot fi, în condiții “clasice”, pe suport de hârtie, iar în cursul concepției tehnologice asistate de calculator, în memorii electronice. Facilitățile CIM aferente concepției

tehnologice sunt CAPP (Computer Aided Process Planning) și MES (Manufacturing Expert System).

### 3.2.5 Structura și conținutul activităților de pregătire a fabricației, diferite de cele cu caracter de concepție

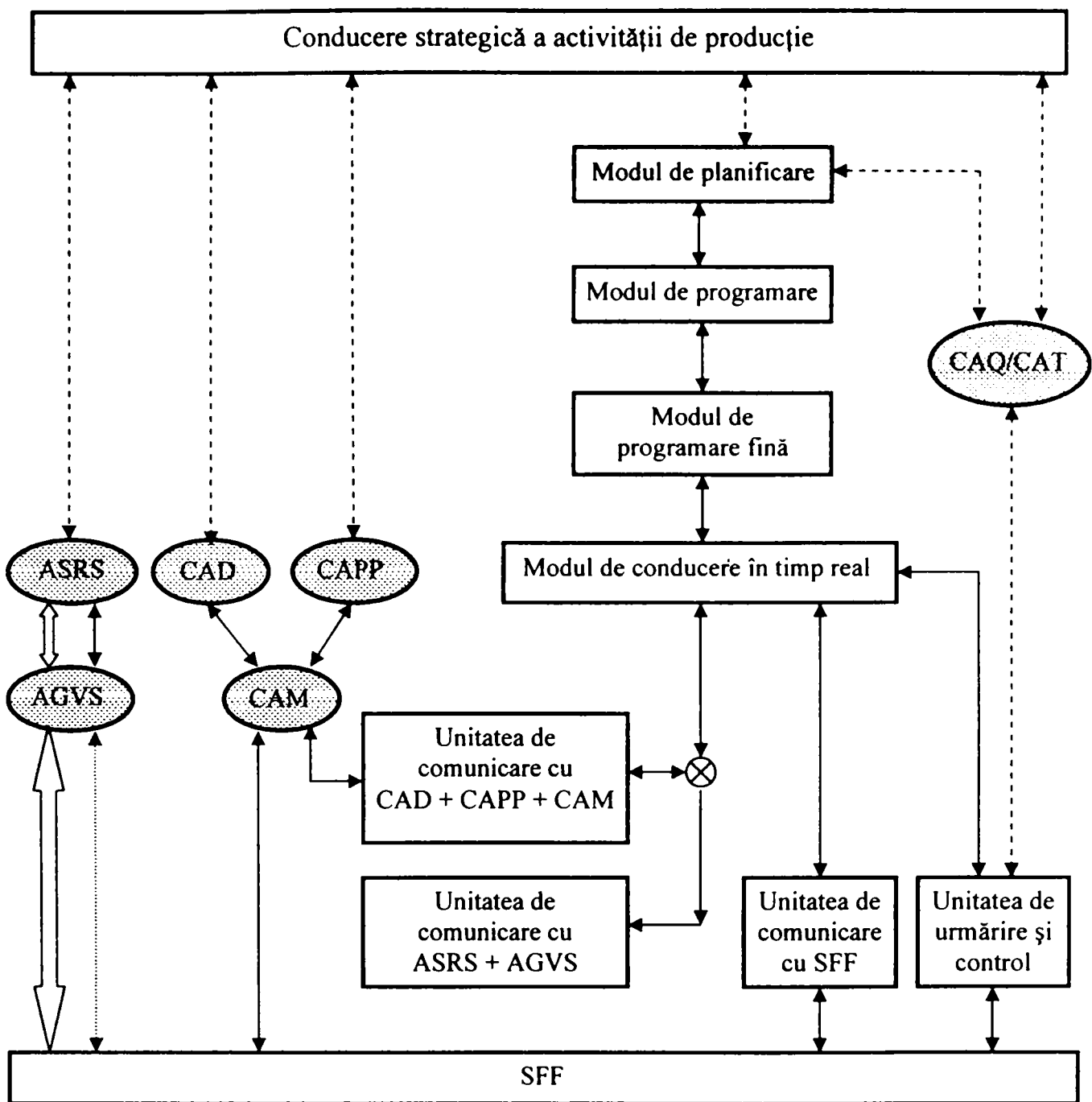
Activitățile de pregătire a fabricației, altele decât cele cu caracter de concepție, se referă la planificarea, programarea, conducerea și, în mod convențional, la urmărirea fabricației. Punctul de plecare a pregătirii fabricației o constituie decizia conducerii întreprinderii privind natura și numărul de produse care urmează a fi fabricate într-un anumit interval de timp.

| Pregătirea fabricației (alte activități decât cele de concepție)   |   |   |
|--|---|---|
| <b>10. Planificarea fabricației</b><br><b>Planificarea:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ consumurilor (cantităților);</li> <li>○ intervalelor de timp;</li> <li>○ dimensiunilor loturilor de fabricație;</li> <li>○ încărcarea mijloacelor de fabricație.</li> </ul> | <b>11. Programarea fabricației</b><br><b>Programarea:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ operațiilor pe locuri de muncă;</li> <li>○ programarea fină (ordonanțarea).</li> </ul> | <b>12. Conducerea și urmărirea fabricației:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ conducerea fabricației;</li> <li>○ urmărirea fabricației.</li> </ul> |

Fig.3.10 Structura și conținutul activităților de pregătire a fabricației (altele decât cele de concepție)

**Planificarea fabricației** se referă la :

- calitățile de materiale (materii prime și materiale auxiliare), semifabricate/componente achiziționate din comerț și trebuie să răspundă următoarelor întrebări:
  - ce anume trebuie să existe?
  - în ce cantități?
  - unde trebuie să se găsească?
  - când?
- planificarea intervalelor de timp, ținând seama de termenele de livrare;
- dimensionarea loturilor de fabricație;
- încărcarea mijloacelor de fabricație.



Legendă:   
 ↔ legături informaționale în cadrul activității   
 ↔ legături informaționale cu alte activități   
 ⇄ flux de materiale

ASRS, AGVS, CAD, CAPP, CAM, CAQ/CAT, SFF(FMS), facilități CIM [Kov99]

Fig. 3.11 Fluxul informațional în cadrul activității de pregătire a fabricației



**Programarea fabricației** înseamnă programarea executării operațiilor pe locuri de muncă și programarea fină (ordonanțarea), destinate să rezolve “conflictele” referitoare la ordinea de execuție în timp a unor operații de fabricație a diferitelor produse la un anumit loc de muncă.

**Conducerea fabricației** constă în emiterea unor dispoziții referitoare la:

- aducerea materialelor, componentelor/semifabricatelor;
- transmiterea informațiilor necesare pentru efectuarea operațiilor la locurile de muncă;
- începerea/încheierea activității locurilor de muncă;
- evacuarea obiectelor finite.

**Urmărirea fabricației** are ca și conținut culegerea de informații cu privire la:

- termenele de începere/încheiere a activității locurilor de muncă;
- cantitatea de produse asupra cărora s-au executat operații tehnologice la un anumit loc de muncă;
- calitatea produselor executate;
- monitorizarea funcționării mijloacelor de fabricație;
- diagnoza defectărilor mijloacelor de fabricație.

În figura 3.11 se prezintă schema fluxului informațiilor în cadrul activității de pregătire a fabricației.

În cadrul unei pregătiri “clasice” a fabricației, informațiile sunt consemnate pe purtători de informație “hârtie” și transmise ca atare cu ajutorul operatorilor umani.

În cazul pregătirii de fabricație asistate de calculator, informațiile se codifică și se transmit pe cale electronică. Facilitatea CIM aferente pregătirii fabricației (în afara activității de concepție) este CAPS (Computer Aided Planning and Scheduling).

### **3.2.6 Concepția constructivă, tehnologică și pregătirea fabricației (CCTPF)**

#### **ca sistem integrat. Ingineria concurentă (simultană)**

În condițiile desfășurării “clasice” a activităților de concepție constructivă, tehnologică și de pregătire tehnologică (CCTPF), etapele 1...12 evidențiate în subcapitolele 3.2.3, 3.2.4 și 3.2.5 se desfășoară succesiv în timp, ceea ce lungeste timpul de efectuare, mai ales dacă se ține seama și de faptul că unele faze se repetă iterativ.

Ingineria concurentă (simultană) prevede efectuarea integrată și parțial suprapusă a etapelor și fazelor CCTPF, ceea ce conduce la diminuarea timpului total de execuție, diminuarea numărului iterațiilor, prin rezolvarea pe parcurs a eventualelor contradicții construcție – tehnologie, îmbunătățirea calității proiectului elaborat (soluții mai “tehnologice”) etc. Spre ex., după alegerea materialului, formei și dimensiunilor, stării suprafeței obiectului de lucru,

alegerea/conceperea sculelor, dispozitivelor de lucru, proiectarea operațiilor de execuție se poate realiza imediat, fără să fie nevoie de așteptarea încheierii proiectului constructiv al produsului.

Cunoașterea numărului produselor de executat și a datelor constructive ale obiectelor de lucru poate servi la determinarea consumurilor de materiale, înainte ca proiectul tehnologic al produsului să fie încheiat etc. Condiția realizării integrate a CCTPF, a organizării acestor activități în concepția ingineriei concurente (simultane) este execuția lor automată sau asistată de calculator utilizând rețele de calculatoare și programe adecvate. Integrarea bazelor de date pentru diferitele activități componente ale CCTPF este una din laturile cerinței de mai sus.

În figura 3.12 s-a reprezentat schema bloc a activităților CCTPF considerate ca sistem, executate în concepție “clasică”, iar în figura 3.13 schema bloc a acelorași activități, executate în cadrul unui sistem integrat. Subsistemele 1...12 corespund etapelor evidențiate în figurile 3.2, 3.3, 3.7 și 3.9.

În figura 3.14 se prezintă matricea de structură  $\underline{Str}$  aferentă schemei bloc din Fig. 3.13, în care s-au reprezentat încadrate în dreptunghiuri matricile de cuplare  $\underline{K}$  ( $\boxed{\underline{K}}$ ) care sunt diferite de 0, în cazul matricei de structură aferente schemei bloc din Fig. 3.12. Numărul mare de matrici de cuplare neevidențiate prin intermediul dreptunghiurilor argumentează superioritatea ingineriei concurente (simultane) față de ingineria “clasică” în executarea CCTPF.

Matricile de cuplare  $\underline{K}$  se calculează în conformitate cu [Rop71], [Kov99].

Pentru simplificarea scrierii matricei de structură  $\underline{Str}$ , nu s-au luat în considerare iterațiile de execuție a unora din etapele CCTPF. În cazul în care s-ar fi luat în considerare iterațiile, numeroase matrici de cuplare  $\underline{K}_{ij}$  ar fi fost dublate de matrici de cuplare  $\underline{K}_{ji}$ , înlocuind unele din elementele cu valoarea 0 din matricile  $\underline{Str}$ .

|     | 1 | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7.1                    | 8.1                    | 9.1                    | 7.2                    | 8.2                    | 9.2                    | 10                     | 11                     | 12                     | 13                     |
|-----|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1   | 0 | $\underline{K}_{12}$  | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 2   | 0 | 0                     | $\underline{K}_{23}$  | 0                     | 0                     | $\underline{K}_{26}$  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{213}$  |
| 3   | 0 | 0                     | 0                     | $\underline{K}_{34}$  | 0                     | $\underline{K}_{36}$  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{310}$  | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{313}$  |
| 4   | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | $\underline{K}_{45}$  | $\underline{K}_{46}$  | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{372}$  | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{410}$  | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{413}$  |
| 5   | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | $\underline{K}_{56}$  | $\underline{K}_{571}$  | $\underline{K}_{581}$  | $\underline{K}_{591}$  | $\underline{K}_{572}$  | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{510}$  | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{513}$  |
| 6   | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{613}$  |
| 7.1 | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | $\underline{K}_{7181}$ | $\underline{K}_{7191}$ | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{7110}$ | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{7113}$ |
| 8.1 | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{8191}$ | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{8110}$ | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{8113}$ |
| 9.1 | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | $\underline{K}_{916}$ | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{9172}$ | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{9110}$ | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{9113}$ |
| 7.2 | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{7282}$ | $\underline{K}_{7292}$ | $\underline{K}_{7210}$ | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{7213}$ |
| 8.2 | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{8292}$ | $\underline{K}_{8210}$ | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{8213}$ |
| 9.2 | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | $\underline{K}_{926}$ | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{9210}$ | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{9213}$ |
| 10  | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{1011}$ | 0                      | $\underline{K}_{1013}$ |
| 11  | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | $\underline{K}_{1112}$ | $\underline{K}_{1113}$ |
| 12  | 0 | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 13  | 0 | $\underline{K}_{132}$ | $\underline{K}_{133}$ | $\underline{K}_{134}$ | $\underline{K}_{135}$ | $\underline{K}_{136}$ | $\underline{K}_{1371}$ | $\underline{K}_{1381}$ | $\underline{K}_{1391}$ | $\underline{K}_{1372}$ | $\underline{K}_{1382}$ | $\underline{K}_{1392}$ | $\underline{K}_{1310}$ | $\underline{K}_{1311}$ | $\underline{K}_{1312}$ | 0                      |

Str =

Legendă:  $\underline{K}_{ij}$  - matrice de cuplare valabilă atât pentru cazul "clasic", cât și cel integrat de desfășurare a activităților;

$\underline{K}_{lm}$  - matrice de cuplare valabilă numai pentru cazul de desfășurare integrată a activităților

Fig. 3.14 Matricea de structură pentru activități de concepție constructivă, de pregătire a fabricației

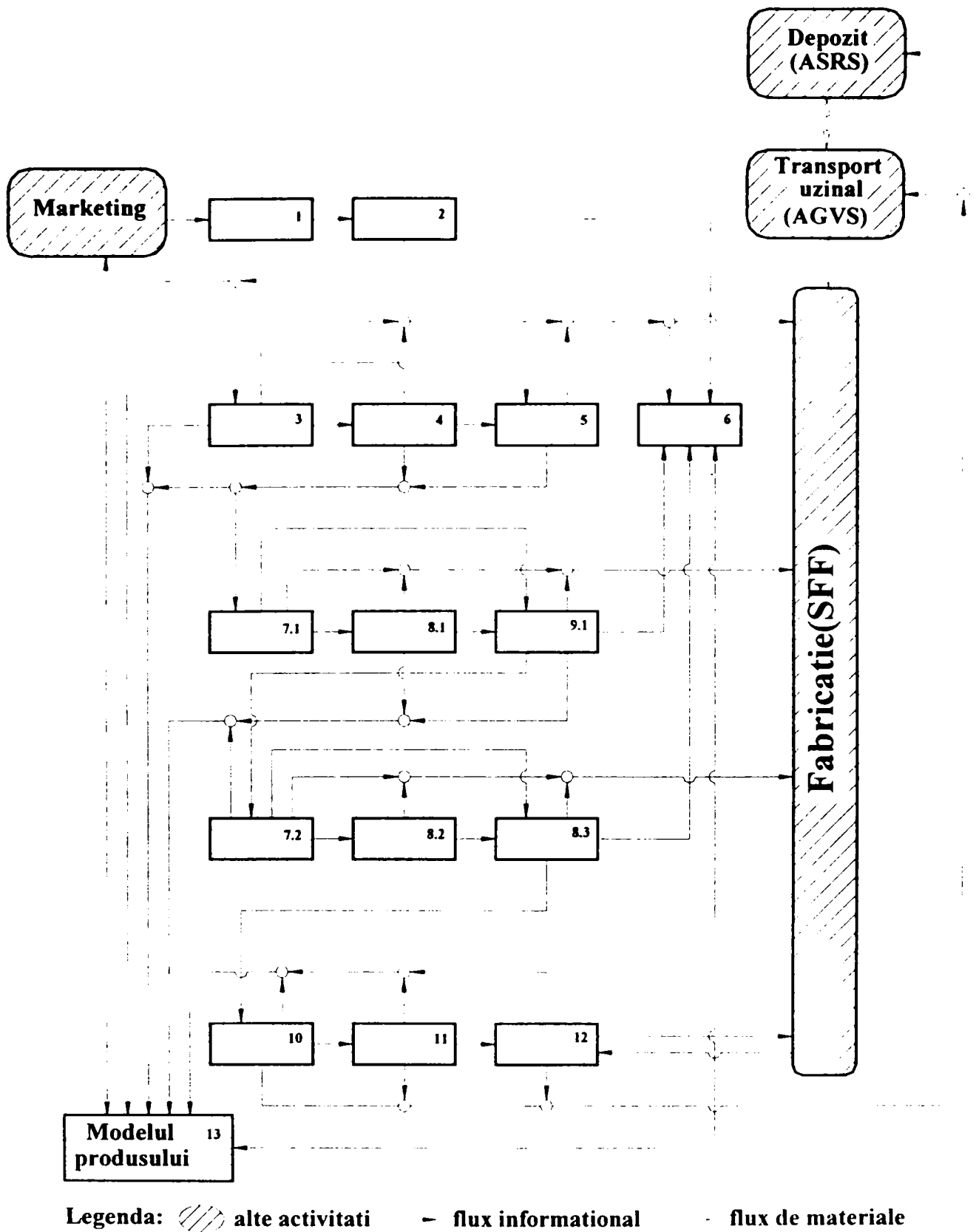


Fig. 3.12 Schema bloc a activităților de concepție constructivă, tehnologică și de pregătirea fabricației desfășurate în condiții “clasice”

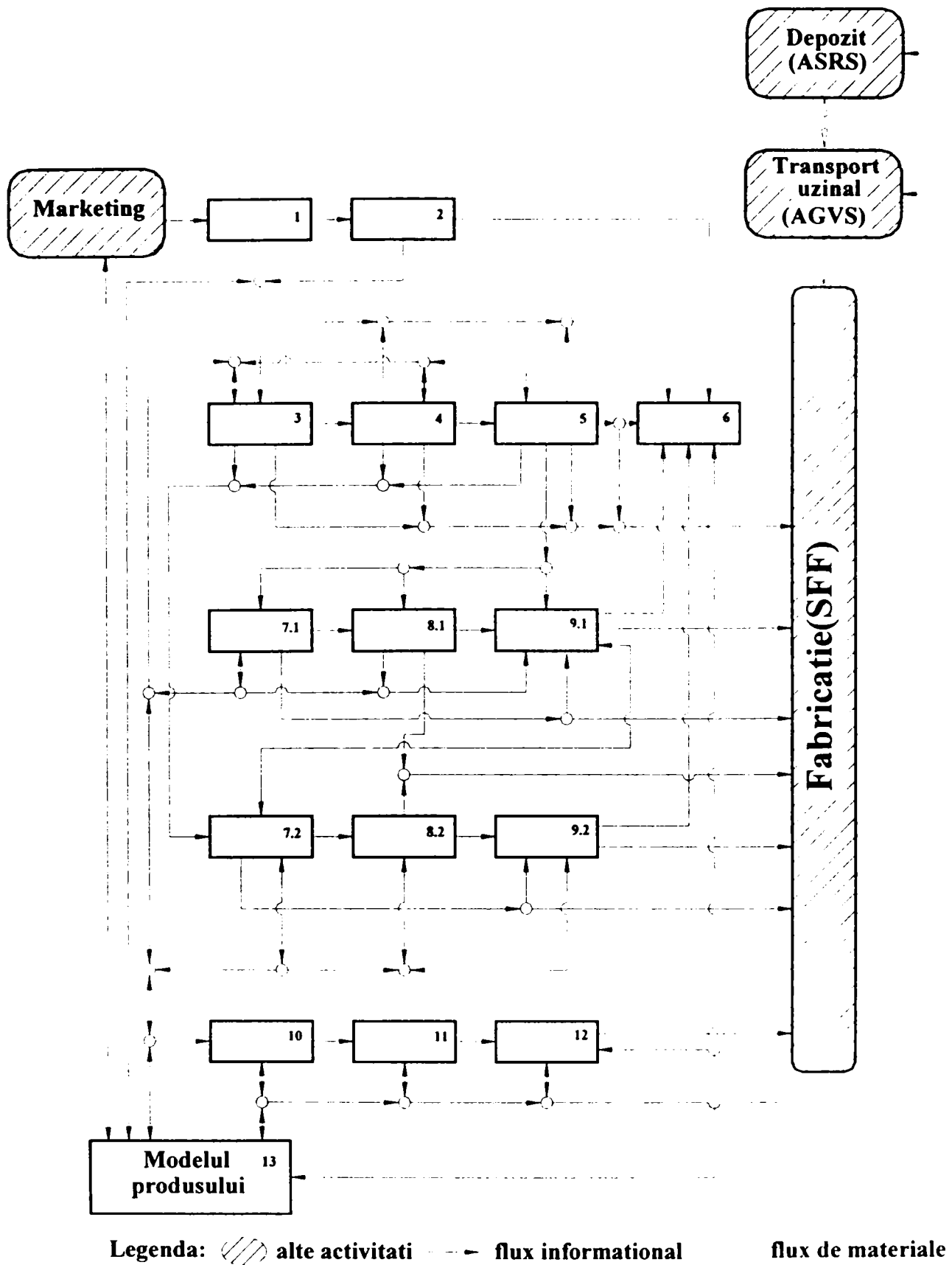


Fig. 3.13 Schema bloc a sistemului integrat de concepție constructivă, tehnologică și pregătirea fabricației unui produs

### 3.2.7 Modelul produsului. Transmiterea informațiilor rezultate din activitatea CCTPF spre alte activități din cadrul întreprinderii

Facilitatea CAD în sensul cel mai larg are ca și conținut un sistem de desenare (draft), unul de elaborare a modelului produsului (design) și unul de integrare a informațiilor elaborate în fluxul informațional al întreprinderii (Fig. 3.15).

În cadrul sistemului de desenare, operatorii umani utilizează programe de tip AutoCAD, cu posibilități de parametrică și programe de arhivare/regăsire a desenelor.

Prin *modelul produsului* se înțelege totalitatea informațiilor referitoare la produsul respectiv.

În cadrul sistemului de elaborare a modelului produsului asistată de calculator, se utilizează metode de modelare geometrică 3D a elementelor/pieselor, subansamblurilor și ansamblului pentru descrierea particularităților de formă-dimensiuni ale produsului folosind modele de sârmă, de suprafață și solide cu program de extragere a desenelor 3D din modelul 3D solid și calculul automat al parametrilor inerțiali, respectiv metode de modelare și modele funcționale, care descriu sub formă de relații analitice și date numerice particularitățile funcționale ale obiectelor și sistemelor care constituie produsul. Metoda elementului finit și metoda elementului de frontieră, permițând estimarea câmpurilor potențiale termice, fluidice, electrice, de solicitări/deformații sunt utilizate cu eficiență deosebită în modelarea funcțională a elementelor sistemelor produs. Testarea produsului și a elementelor sale componente se poate realiza prin simularea funcționării lui, folosind modele funcționale, ceea ce reduce necesitatea executării prototipurilor și încercarea acestora.

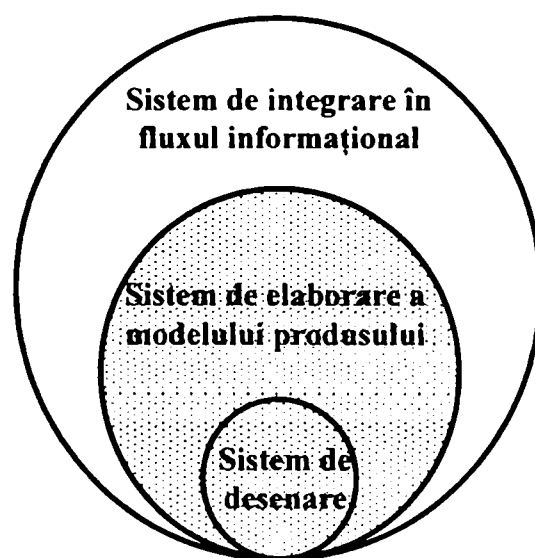


Fig. 3.15 Conținutul facilității CAD

Modelul produsului conține de asemenea informații cu privire la tehnologia de execuție. Ca urmare, el este realizat și prin intermediul activității de concepție tehnologică, ceea ce impune la rândul ei interconectarea acesteia cu concepția constructivă.

În cadrul sistemului de elaborare a modelului produsului asistată de calculator (facilitățile CAPP și MES) se utilizează metode de proiectare automată (succesiunea fazelor operațiilor tehnologice, respectiv proiectarea interactivă operator uman – calculator pentru definirea corelată a geometriilor suprafeței prelucrate și a celor ale sculei, stabilirea mișcării sculei față de obiectul de lucru, proiectarea interactivă a dispozitivului de lucru pornind de la geometria obiectului de lucru etc.). Modelarea proceselor tehnologice și simularea desfășurării lor pe calculator, permite evitarea fabricării de încercare a “produsului zero” sau a “seriei zero”.

Execuția rapidă a prototipurilor (rapid prototyping) permite fabricarea unor produse prin depuneri de straturi, în mașini de “crescut piese”, direct pe baza modelelor 3D elaborate în cadrul ingineriei concurente.

În sfârșit, modelul produsului conține informații tehnico-economice, costuri, prețuri de vânzare, prezentări ale produsului destinate consumatorilor potențiali și informații cu privire la organizarea fabricației (activitățile de pregătire a fabricației altele decât concepția).

Modelul produsului constă, în consecința celor de mai sus, dintr-o cantitate de informații existente în mintea operatorilor umani și/sau codificat matematic pe purtători de informații. Pe măsura creșterii gradului de automatizare a activității de concepție, purtătorii de informații sunt în tot mai mare măsură rețele de calculatoare.

Modelul produsului *materializează de fapt rezultatul ingineriei concurente (simultane)*. El este un concept dinamic, care se schimbă în mod continuu în decursul vieții produsului de către operatorii umani în conformitate cu cerințele întreprinderii și cele ale consumatorilor. În condițiile “clasice”, modificările se realizează greu și în condiții consumatoare de timp, operându-se mai ales pe purtătorii de informații de tip hârtie. În condițiile în care informațiile cu privire la model sunt conținute de rețele de calculatoare, ele sunt disponibile tuturor care au acces la aceste calculatoare și orice modificare operată asupra modelului este adus la cunoștință “on-line”, tuturor celor interesați, prin sistemul de integrare în fluxul informațional al întreprinderii (la limită CIM).

În figura 3.16 se prezintă schema celei de a treia componente a facilității CAD considerată în sensul cel mai larg: sistem de integrare în fluxul informațional.

Rezultatele activității de inginerie concurentă (simultană) având caracter de informații, se transferă la compartimentul de aprovizionare-depozit (facilitatea ASRS) sub formă de listă de materiale/componente, la compartimentele de aprovizionare-depozit (ASRS) și de transport

uzinal (AGVS), sub formă de dispoziții de eliberare și de transport materiale/componente, respectiv la compartimentul de fabricație (SFF) sub formă de programe piesă (NC), program pentru roboți, IA/E etc. și sub formă de dispoziții/informații de planificare, programare, conducere, urmărire.

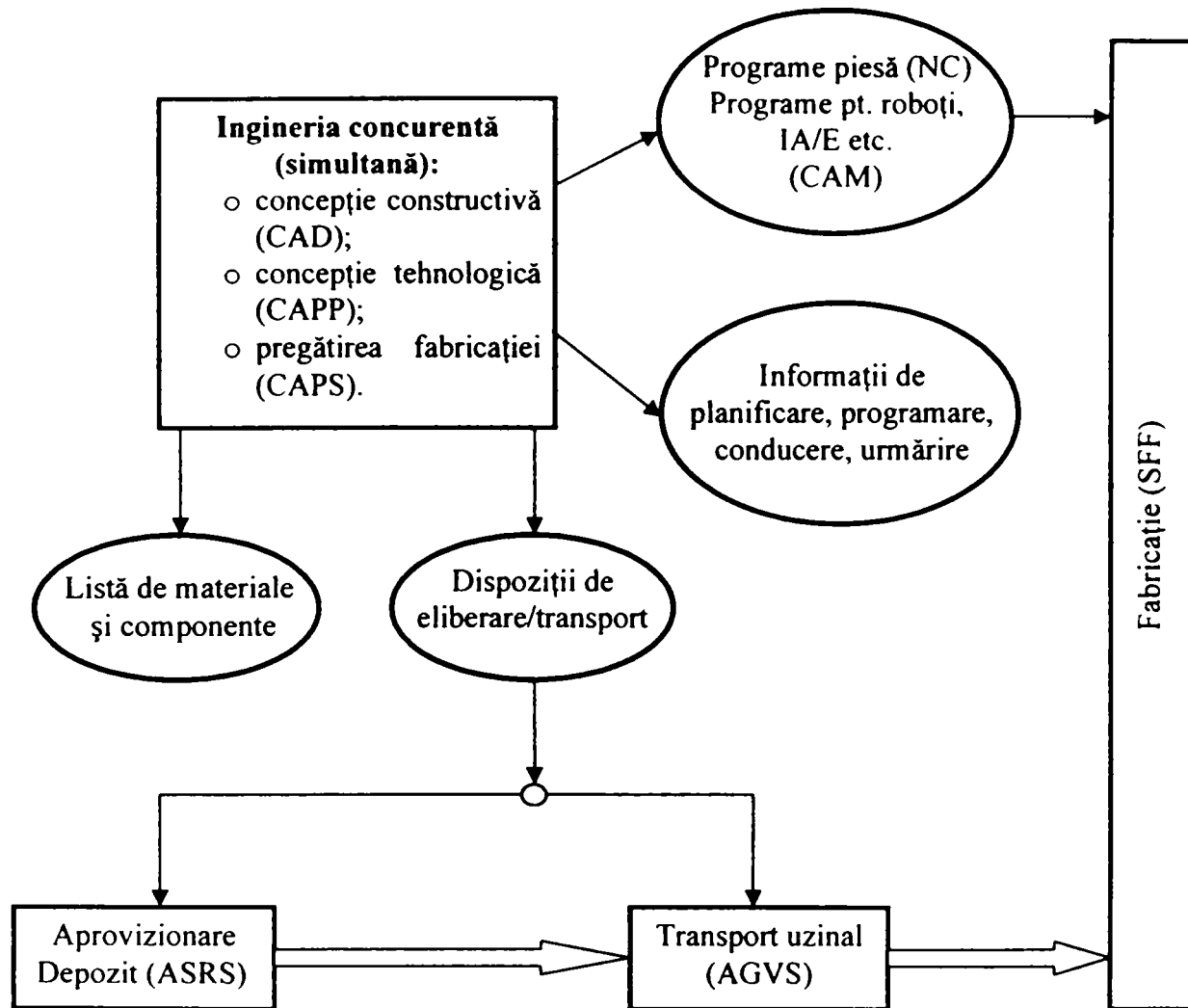


Fig.3.16 Schema unor fluxuri informaționale ( —→ ) și de materiale ( ⇨ )

Chiar în condițiile unui grad ridicat de automatizare a activității de inginerie concurentă/simultană, respectiv a compartimentelor amintite mai sus, și de utilizare a rețelei informaționale având la bază rețele de calculatoare, în transmiterea informațiilor conform schemei din figura 3.16 intervin operatori umani.

Astfel, se realizează de către aceștia:



- programarea depozitului (a roboților din depozit) și a dispozitivelor de transport uzinal (a vehiculelor ghidate automat, AGV), pe baza listelor de materiale/componente, respectiv a dispozițiilor de eliberare/transport;
- întocmirea programelor-piesă pentru mașinile de lucru NC;
- programarea (“on-line” sau “off-line”) a roboților;
- programarea dispozitivelor IA/E.

Acest lucru limitează productivitatea muncii și poate constitui sursă de erori.

### 3.3 Codificarea matematică a proceselor tehnologice

#### 3.3.1 Procese tehnologice. Structura procesului tehnologic

##### de prelucrare mecanică

**Procesul tehnologic** [Nic01] 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 lucru, care, pe această cale, se transformă în obiecte finite, produse sau componente ale acestora.

Procesul tehnologic, în funcție de natura acțiunilor lui, 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; aceste operații se pot referi la obținerea calității dorite a materialului și a proprietăților fizico-mecanice ale acestuia, a formei geometrice și a dimensiunii pentru al aproia cât mai mult de piesa finită;
- **proces tehnologic de prelucrare mecanică**, prin care se realizează modificarea formei geometrice, a dimensiunii, a poziției reciproce și a calității suprafețelor semifabricatului pentru a-l transforma în piesă finită;
- **proces tehnologic de tratament termic**, prin care se asigură modificarea structurii materialului piesei, în scopul îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice;
- **proces tehnologic de asamblare și montaj**, prin care se însumează (îmbină) piesele prelucrate în vederea realizării produsului finit, urmărindu-se asigurarea condițiilor de funcționare impuse.

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

**Metoda tehnologică de prelucrare** este un mod sistematic și principial de realizare a unei operații, a unei serii de operații dintr-un proces tehnologic sau a unor procese tehnologice.

comun, dintr-un punct de vedere esențial (natură a fenomenelor, natură a rezultatelor etc.) pentru mai multe procedee tehnologice.

**Procedeul tehnologic de prelucrare** privește mijloacele prin care se realizează o metodă tehnologică. Procedeele se diferențiază prin utilajul tehnologic folosit, mediul de lucru, sculele, dispozitivele, materialul adaos etc.

Metodele de prelucrare pot fi realizate prin:

- schimbarea stării de agregare;
- deformare plastică;
- aşchiere;
- eroziune;
- tehnologia pulberilor.

Procesul tehnologic de prelucrare mecanică poate cuprinde una sau mai multe operații.

**Operația** este acea parte a procesului tehnologic care se execută la un loc de muncă și cuprinde toate acțiunile utilajului și operatorului uman sau unui grup de operatori umani, în legătură cu prelucrarea sau asamblarea unei piese sau mai multor piese simultan, până ce se trece la prelucrarea sau asamblarea altei sau altor piese. Operația se poate realiza la una sau mai multe instalări ale obiectului prelucrat.

Operația la rândul ei, se poate realiza prin una sau mai multe faze.

**Faza** este o parte a operației realizată fără modificarea instalării obiectului prelucrării, fără schimbarea sculei (sculelor) și a regimului de lucru acționând asupra unei suprafețe sau a unui grup de suprafețe simultan.

O fază se poate realiza prin folosirea unei sau mai multor treceri.

**Trecerea** este o parte a fazei care se repetă identic și constă în îndepărtarea (depunerea) unui strat de material de pe (pe) obiectul prelucrării, la o singură parcurgere a sensului de avans tehnologic.

La rândul ei fiecare fază sau trecere se realizează prin una sau mai multe mânuiri.

**Mânuirea** cuprinde totalitatea mișcărilor manuale sau mecanice efectuate în scopul asigurării condițiilor de realizare a acțiunii de modificare a obiectului prelucrării. Mânuirea se poate referi la un grup de faze, la o fază sau la o trecere.

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

**Manipularea** realizează schimbarea situației obiectului de lucru ca urmare a unei sau mai multor secvențe de mișcare.

### 3.3.2. Etapele parcurse în cadrul activității de concepție tehnologică

În cadrul activității de concepție tehnologică se parcurg mai multe etape [Mic86].

Etapele premergătoare stabilirii procesului tehnologic de fabricație cuprind studiul:

- proiectului de execuție al reperului: borderoul de desene, desenele de ansamblu și subansambluri, memoriul justificativ, caietul de sarcini, desenele de execuție al reperelor componente;
- volumului producției: mărimea loturilor lansate în execuție, stabilitatea în timp a producției produsului considerat;
- utilajelor tehnologice disponibile: mașini unelte, echipamente și S.D.V.-uri;
- gradului de calificare a personalului și posibilitățile de cooperare cu alte secții sau întreprinderi.

Activitatea de concepție tehnologică propriu-zisă se realizează de asemenea prin parcurgerea mai multor etape:

- **alegerea semifabricatului**, respectiv a procedurii de obținere a acestuia în funcție de volumul producției, forma, dimensiunile și masa obiectului de lucru, destinația, materialul și condițiile de funcționare ale obiectului de lucru, existența utilajului pentru producerea semifabricatului;
- **itinerariul tehnologic** cuprinde succesiunea operațiilor din cadrul procesului tehnologic;
- **stabilirea adaosurilor de prelucrare** în scopul obținerii obiectului prelucrat cu precizia dimensională, de formă și de calitate a suprafețelor impuse de condițiile funcționale;
- **stabilirea dimensiunilor intermediare sau interoperaționale** în scopul determinării dimensiunilor succesive pe care le primește semifabricatul la diferite faze sau operații de prelucrare;
- **alegerea mașinilor unelte** ținând cont de posibilitatea generării suprafețelor la un cost minim, asigurarea condițiilor de precizie impuse, posibilitatea amplasării obiectului prelucrat pe masa de lucru în funcție de dimensiunile de gabarit și greutate, concordanța capacității productive a mașinii unelte cu programul de producție impus și posibilitatea prelucrării cu regimul de așchiere optim;
- **alegerea sculelor** ținând cont de influența acestora asupra prelucrabilității prin intermediul materialului din care este realizată partea așchietoare și a parametrilor geometrici ale acesteia;
- **alegerea lichidelor de răcire-ungere** contribuie la creșterea durabilității sculelor așchietoare și îmbunătățirea calității suprafeței obținută în urma prelucrării;

- ***alegerea mijloacelor de măsurare*** luând în considerare caracteristicile metrologice ale aparatelor de măsură și control, productivitatea operației de măsurare sau control tehnic, costul operației de măsurare sau control tehnic (incluzând investiția necesară achiziționării aparatului de măsură și costul manoperei operației de control) și condițiile concrete de lucru;
- ***stabilirea regimurilor de așchiere*** fie adoptând criteriul costului de prelucrare minim, caz în care rezultă o ***durabilitate economică*** a tăișului sculei, fie adoptând criteriul capacității productive de așchiere maximă, caz în care rezultă o ***durabilitate optimă*** a tăișului sculei;
- ***verificarea regimului de așchiere*** în raport cu puterea acționării principale, cu momentul de torsiune maxim admis respectiv cu forța de tracțiune sau forța maximă admisă de mecanismul de avans pentru a stabili dacă regimul de așchiere ales poate sau nu să fie realizat de mașina unealtă;
- ***stabilirea normei tehnice de timp*** adică a timpului necesar execuției unei unități de lucrare (operație, piesă sau produs).

### **3.3.3 Documente de codificare elaborate în cadrul activității de concepție tehnologică “clasică”**

Concepția tehnologică în condiții “clasice” se realizează de către operatori umani utilizând baze de date și sisteme expert care constau din tabele, grafice, norme, cataloage, prospecte etc., respectiv cărți, manuale, breviare de norme de calcul etc., toate pe suport de hârtie.

Documentele de codificare rezultate în urma concepției tehnologice “clasice” au de asemenea tot hârtia ca suport purtător al informației și prezintă într-o formă concisă rezultatele elaborării tehnologiei de prelucrare. Funcție de tipul producției, documentația se întocmește numai sub formă de fișă tehnologică în cazul producției de serie mică și unicat, sau sub formă de fișă tehnologică și plane de operații, în cazul producției de serie.

Fișa tehnologică realizează o orientare privind itinerariul tehnologic ce trebuie respectat. Informațiile fiind sumare, operatorilor umani le revine sarcina de a adopta decizii privind succesiunea fazelor în cadrul fiecărei operații, precum și parametrii de regim ce vor fi adoptați.

Planul de operații conține toate datele necesare executării operației. Întocmirea sa trebuie să se facă într-o formă clară, accesibilă, fără ambiguități.

Sculele, dispozitivele, aparatele de măsură și control, odată definite pe un plan de operații pot fi codificate, urmând ca ori de câte ori sunt reutilizate la o altă fază în cadrul planului de operații să se indice doar codul respectiv.

Conținutul planului de operații se poate extinde pe una sau mai multe file, iar conținutul unei faze poate fi descris pe unul sau mai multe rânduri de text.

Tot în cadrul documentației tehnologice se mai întocmesc bonul de materiale și bonul de manoperă.

### **3.3.4 Codificarea proceselor tehnologice prin programe-piesă CAM și programe “teach-in” a roboților**

#### **3.3.4.1 Generalități**

În sens larg, CAM (Computer Aided Manufacturing) înseamnă fabricație asistată de calculator. În sens restrâns, facilitatea CAM realizează codificarea și transmiterea unor informații cu privire la procesul tehnologic de fabricație, la utilaje comandate numeric.

Utilajele comandate numeric pot fi mașini de lucru, roboți industriali, dispozitive de lucru și instalații aducătoare și de evacuare. Dintre aceste utilaje, mașinile de lucru realizează exclusiv operații de prelucrare.

Roboții industriali realizează fie manipularea obiectelor de lucru, fie operații de prelucrare atunci când efectorul final cu care sunt echipați este un cap de forță, un cap de sudare sau de vopsire etc.

Informațiile cu privire la prelucrarea unor obiecte de lucru pe mașini unelte CNC se transmit acestora prin intermediul unor “programe piesă” CAM întocmite de operatori umani, pe baza documentației constructive și tehnologice întocmite în cadrul activității de concepție, chiar dacă de obicei aceasta este asistată de calculator.

Programarea roboților industriali pentru executarea operațiilor de manipulare parte componentă a procesului tehnologic se realizează la rândul ei de către operatori umani programatori.

#### **3.3.4.2 Principiile întocmirii unui program-piesă CAM**

Programul piesă conține informații cu privire la parametrii procesului tehnologic de prelucrare înscrise sub forma unor simboluri compuse din litere și cifre.

Programul piesă se compune din fraze (cicluri), care la rândul lor conțin cuvinte exprimate prin litere majuscule și cifre (Fig. 3.17). Simbolurile utilizate în programe piesă sunt standardizate (Standardul RS 2743 al EN, preluat de ISO), programele scrise cu ajutorul lor putând fi interpretate de toate sistemele NC, indiferent de furnizor.

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

Fig. 3.17 Structura unui program piesă

Numărul frazei (ciclului) se simbolizează printr-o cifră precedată de litera N. Fiecare cuvânt conține un titlu simbolizat de o literă majusculă, un semn (facultativ) și o valoare exprimată prin două cifre.

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

Literele cuprinse în titlu prezintă următoarele semnificații

- funcție pregătitoare (G);
- coordonate liniare, unghiulare, principale, secundare (X, Y, Z, U, W, P, Q, R, A, B, C, D, E);
- date cu privire la natura interpolării (I, J, K);
- avans (F);
- viteză liniară/unghiulară (S);
- sculă și corecție sculă (T);
- funcție mixtă auxiliară (M).

Semnele conținute în cuvinte sunt  $\pm$  și # (simbolul registrului).

Cifrele din cuvinte reprezintă mărimi efective (coordoate carteziene/polare, avans, viteze) sau coduri (de sculă, de operație, de pornire/oprire, schimbare etc.).

Înainte de a începe programarea propriu-zisă a fiecărei mișcări în parte, adică de a stabili mișcările pe care trebuie să le efectueze mașina, avansurile și turațiile, trebuie calculate pozițiile unor puncte ajutătoare pentru comanda de deplasare, puncte aparținând traiectoriei descrise de punctul caracteristic al sculei.

În sistemul de coordonate ales nu se stabilesc coordonatele absolute ale punctelor caracteristice, ci se calculează coordonatele relative ale fiecărui punct față de precedentul, în ordinea apariției lor la parcurgerea traiectoriei, plecând din punctul de pornire. Cu valorile stabilite se întocmește programul piesă.

### 3.3.5 Principiile întocmirii unui program “on-line” de conducere a unui robot

Programarea “on-line” se realizează “în prezența” robotului. În decursul programării “on-line” operatorul uman comunică instrucțiunile programului sistemului de comandă al robotului, care emite la rândul lui comenzi, în conformitate cu instrucțiunile primite. Operatorul uman verifică corectitudinea execuției operației și după ce a constatat-o, prescrie instrucțiuni de memorare a mișcărilor/acțiunilor efectuate corect. Procedura poartă denumirea de *instruire* (“*teach-in*”).

După terminarea modului de funcționare în regim de instruire, robotul poate trece în momentul prescris de operatorul uman, în modul de lucru în regim operațional, când va executa sarcina pentru care a fost programat (“play back”).

Programarea prin instruire intră în categoria programării prin exemple. Ea se poate realiza *cu acționare* sau *prin conducere directă* (manuală).

**Programarea cu acționare** se realizează cu ajutorul unor dispozitive de instruire, care constau din butoane, întrerupătoare, manete etc. Dispozitivele de instruire pot emite comenzi pentru efectuarea mișcărilor relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare sau pentru mișcarea efectorului final.

De regulă componentele dispozitivului de instruire sunt montate pe un panou de instruire (“teach-pendant”) portabil.

**Programarea prin conducere directă** se realizează de către operatorul uman programator, prin mișcarea nemijlocită a dispozitivului de ghidare al robotului. Prin deplasarea manuală a unei manete legate de ultimul element al dispozitivului de ghidare, respectiv efectorul final, operatorul uman deplasează elementele cuplelor cinematice conducătoare ale dispozitivului de ghidare în situațiile succesive pe care efectorul final trebuie să le ocupe în decursul execuției sarcinii de programare. Aceste situații sunt memorate, ele fiind recitate de către sistemul de comandă în momentul trecerii în regim operațional.

Din cele prezentate rezultă că în cazul programării funcționării unui SFF se descrie de fapt procesul tehnologic de realizat în mod codificat matematic (alfanumeric), întocmindu-se de către operatori umani utilizând convenții de notare specifice “programe piesă” CAM și programe de funcționare a roboților de manipulare/lucru. Cu alte cuvinte, caracterul continuu automat al fluxului de informații concepție → execuție este întrerupt de existența operatorului uman programator.

### 3.3.6 Codificarea matematică a proceselor tehnologice prin programare NC

#### 3.3.6.1 Generalități

În cadrul unui proces de aşchiere convențional operatorul uman prelucrează obiectul de lucru prin deplasarea manuală a sculei aşchietoare. Sistemul NC înlocuiește acțiunea manuală a operatorului necesară în cazul mașinilor unelte convenționale. Dacă programarea NC se utilizează într-un mediu CAD/CAM integrat, generarea traiectoriei sculei, verificarea și postprocesarea sunt realizate de pachetul NC.

Pentru a realiza o piesă utilizând programare NC este necesară parcurgerea mai multor etape. Prima etapă constă în realizarea unei fișe tehnologice pe baza desenelor tehnice. Această etapă stabilește ce operații NC trebuie efectuate. A doua etapă constă în determinarea traiectoriei (traiectoriilor) punctului caracteristic al sculei pe care acesta o va parcurge cu parametri de aşchiere corespunzători. Traiectoria punctului caracteristic al sculei este traiectoria pe care acesta trebuie să o urmărească de la poziția sa “de acasă” pentru a prelucra piesa și înapoi la poziția “de acasă”.

Detaliile traiectoriei se finalizează prin scrierea unui program NC utilizând sintaxa unui limbaj de programare adecvat.

#### 3.3.6.2 Limbaje de programare NC

Limbajele de programare NC, cum ar fi limbajul APT (Automatically Programmed Tools), limbaje asemănătoare cu APT (ADAPT, EXAPT, UNIAPT, MINIAPT etc.), COMPACT II, SPLIT, PROMPT, CINTURN II sunt considerate limbaje de nivel înalt.

Instrucțiunile unui limbaj de programare se pot divide în opt grupe sau tipuri:

1. **Caracteristici de limbaj.** Se pot defini variabile (nume simbolice) și subscrise variabile scalare și entități geometrice într-un program piesă.
2. **Instrucțiuni geometrice.** Se pot utiliza reprezentări analitice (puncte, linii, conice, suprafețe plane, suprafețe cuadratice etc.) reprezentări de suprafețe Z pentru atribuirea coordonatelor (utilizate pentru suprafețe sintetice) precum și instrucțiuni de nesting. În mediul CAD, informațiile geometrice necesare acestor instrucțiuni se generează interactiv atunci când utilizatorul digitizează suprafața de prelucrat. Instrucțiunile geometrice trebuie să preceadă instrucțiunile de mișcare.
3. **Instrucțiuni referitoare la sculă.** În cadrul acestor instrucțiuni se pot defini forma sculei, orientarea axei sculei și caracteristicile sculei în funcție de toleranțele admisibile ale piesei de prelucrat.



4. **Instrucțiuni de mișcare.** Aceste instrucțiuni comandă scula în mișcările ei. Ele furnizează instrucțiuni referitoare la tipul prelucrării (PTP sau continuă), direcția așchierii, viteză și avans etc.
5. **Instrucțiuni aritmetice.** Sunt disponibile operații aritmetice ca adunare, scădere etc., precum și funcții (extragerea rădăcinii, funcții trigonometrice etc.).
6. **Programare repetitivă.** Sunt disponibile instrucțiuni care generează looping, ramificare, copiere de coordonate și transformări de coordonate. Facilitățile macro conținute permit o programare repetitivă mai eficientă.
7. **Facilități output.** Un program piesă formează ceea ce se numește dată CL (cutter location) stocată într-un fișier numit fișier CL. Fișierul CL este stocat de obicei într-un format ASCII. În scopul reducerii dimensiunii fișierului și măririi vitezei de postprocesare, programul piesă poate fi stocat și în format binar. În acest caz fișierul poartă denumirea de fișier BCL. Alte facilități includ listarea programului piesă cu diagnosticarea erorilor de sintaxă.
8. **Instrucțiuni de postprocesare.** Fișierul CL (sau BCL) este scris în sintaxa limbajului de programare. Această sintaxă este o formă de nivel înalt pe care controllerul mașinii este incapabil să o citească și să o interpreteze. Din această cauză fișierul CL trebuie postprocesat cu ajutorul unui program numit postprocesor. Un postprocesor este scris pentru o anumită combinație de mașină și controller. El convertește fișierul CL în instrucții și coduri pe care controllerul le poate accepta. Multe controllere acceptă coduri G și M care descriu tipuri de mișcări ale mașinii unelte, precum și coduri F care descriu rata avansului. Aceste coduri pot fi considerate ca limbaje de programare de nivel jos (similare limbajelor de asamblare).

### **3.4 Model matematic generalizat al proceselor tehnologice pe baza descrierii mișcării necesare de realizat de către sculă față de obiectul de lucru [Kov01]**

#### **3.4.1 Introducere**

În cazul unei producții mai mult sau mai puțin automatizate, componentele hipersistemului CIM sunt legate între ele printr-o rețea informațională care face posibil transferul rezultatelor activității conceptuale (atât constructivă cât și tehnologică), realizate simultan (inginerie concurentă CAD/CAPP), prin intermediul facilității CAM, la sistemele de prelucrare flexibilă. S-a arătat în capitolul 1 faptul, că acest transfer nu se realizează în întregime fără intervenția operatorilor umani.

În continuare se propune o modalitate de transfer direct de date de la facilități CAD/CAM la SFF, fără intervenția operatorilor umani.

Majoritatea proceselor tehnologice se bazează pe mișcarea relativă dintre o sculă și o piesă (spre exemplu scula așchietoare și piesa prelucrată, sau capul de sudare și componentele de asamblat) în timpul fazei de prelucrare a procesului (așchiere, asamblare), sau o mișcare relativă între efectorul final al robotului/dispozitivul de fixare a piesei și diferite componente ale SFF în timpul fazei de manipulare a procesului. Programarea unui proces tehnologic este în cele mai multe cazuri reductibil la programarea mișcărilor, traiectoriilor, amplitudinilor, curselor, vitezelor, accelerațiilor etc.

Concepția constructivă și tehnologică modernă se bazează pe modelare și simulare. Formele și dimensiunile pieselor se modelează utilizând modelare geometrică 3D; procesele tehnologice – inclusiv mișcările relative menționate anterior – se simulează. Formele și dimensiunile pieselor se definesc prin intermediul formei sculelor utilizate și a amplitudinilor/curselor mișcărilor lor, simulate în timpul fazei de concepție. Simularea diferitelor mișcări în timpul fazei de concepție se poate transfera direct, fără intervenția operatorilor umani prin programe de mișcare ale componentelor SFF, controlate de calculator. Condiția acestui transfer este elaborarea unui model matematic generalizat al proceselor tehnologice având în vedere observațiile anterioare legate de mișcările relative sculă – piesă etc. Un astfel de model matematic face posibilă și estimarea preciziei obiectului prelucrat, pornind de la calculul influenței diferitelor erori posibile asupra mișcărilor menționate.

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

### 3.4.2 Model matematic pentru situarea relativă a corpurilor

Sistemele de axe de coordonate  $O_0, O_1, O_2$  sunt solidarizate cu corpurile 0, 1, 2.  ${}^0\bar{\mathbf{p}}_2, {}^0\bar{\mathbf{p}}_1$  sunt vectorii de poziție ale originilor  $O_2$  și  $O_1$  ale sistemelor de coordonate echivalente față de sistemul  $O_0$ .  ${}^1\bar{\mathbf{p}}_2$  este vectorul de poziție a originii  $O_2$  față de sistemul  $O_1$ .  $\bar{\mathbf{r}}_1, \bar{\mathbf{r}}_2$  sunt vectorii de poziție ale punctului P al corpului 2 (Fig. 3.18).

Între vectorii de poziție menționați există următorul sistem de relații

$$\begin{cases} \bar{\mathbf{r}}_0 = \bar{\mathbf{r}}_1 + {}^0\bar{\mathbf{p}}_1 = \bar{\mathbf{r}}_2 + {}^1\bar{\mathbf{p}}_2 + {}^0\bar{\mathbf{p}}_1 \\ \bar{\mathbf{r}}_1 = \bar{\mathbf{r}}_2 + {}^0\bar{\mathbf{p}}_2 \end{cases} \quad (3.2)$$

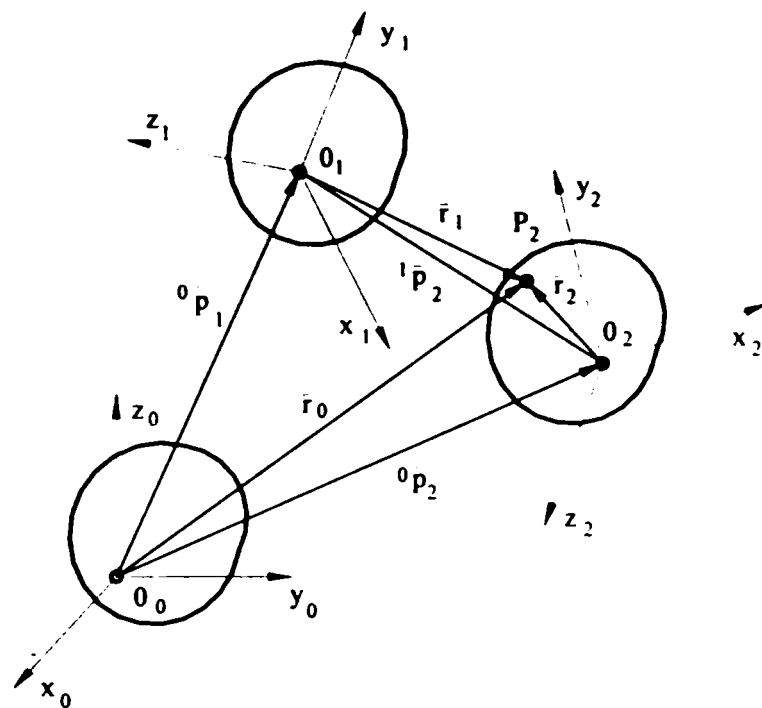


Fig. 3.18 Situația relativă a corpurilor 0, 1, 2

Sub formă matriceală, (3.2) poate fi scris

$$\begin{cases} \underline{r}_0 = {}^0\mathbf{T}_2 \cdot \underline{r}_2 = {}^0\mathbf{T}_1 \cdot {}^1\mathbf{T}_2 \cdot \underline{r}_2 \\ \underline{r}_1 = {}^1\mathbf{T}_2 \cdot \underline{r}_2 \end{cases} \quad (3.3)$$

De unde

$${}^0\mathbf{T}_2 = {}^0\mathbf{T}_1 \cdot {}^1\mathbf{T}_2 \quad (3.4)$$

în care

$${}^i\mathbf{T}_j = \begin{bmatrix} {}^i n_{x_j} & {}^i o_{x_j} & {}^i a_{x_j} & {}^i p_{x_j} \\ {}^i n_{y_j} & {}^i o_{y_j} & {}^i a_{y_j} & {}^i p_{y_j} \\ {}^i n_{z_j} & {}^i o_{z_j} & {}^i a_{z_j} & {}^i p_{z_j} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [{}^i e_j] \quad (3.5)$$

este matricea de transformare de la sistemul  $O_j$  la sistemul  $O_i$  ( $i = 0, 1; j = 1, 2$ )

În (3.5) elementele matricei sunt

$$\left. \begin{array}{l} \cos(x_j, x_i) = {}^i n_{x_j} \\ \cos(x_j, y_i) = {}^i n_{y_j} \\ \vdots \\ \cos(y_j, x_i) = {}^i o_{x_j} \\ \vdots \\ \cos(z_j, z_i) = {}^i a_{z_j} \end{array} \right\} \quad (3.5')$$

iar  ${}^i p_{x_j}, {}^i p_{y_j}, {}^i p_{z_j}$  sunt proiecțiile lui  $\bar{\mathbf{p}}_j$  pe axele sistemului  $O_i$ . Argumentele  $(x_j, x_i)$  etc. sunt unghiurile formate de axele  $O_j x_j, O_i x_i$  etc.

În cazul mișcării relative între corpuri, elementele matricei de transformare sunt funcții de timp ( $t$ ). De exemplu viteza punctului P față de sistemul  $O_0$  este

$$\underline{\mathbf{v}}_0 = \underline{\mathbf{r}}_0 = {}^0 \underline{\mathbf{T}}_2 \cdot \underline{\mathbf{r}}_2 + {}^0 \underline{\mathbf{T}}_2 \cdot \underline{\mathbf{r}}_2 \quad (3.6)$$

Dacă punctul P este un punct rigid al corpului 2,  $\dot{\underline{\mathbf{r}}}_2 = 0$  iar viteza unghiulară a corpului 2 față de sistemul  $O_0$  este

$${}^0 \underline{\omega}_2 = \frac{|\underline{\mathbf{v}}_0|}{|\underline{\mathbf{r}}_0|} \cdot \frac{\underline{\mathbf{v}}_0 \times \underline{\mathbf{r}}_0}{|\underline{\mathbf{v}}_0| \cdot |\underline{\mathbf{r}}_0|} \quad (3.7)$$

Eroarea de situare a corpului  $i+1$  față de sistemul  $O_i$  se exprimă în formă matriceală ca

$${}^i \underline{\mathbf{E}}_{i+1} = ({}^i \underline{\mathbf{T}}_{i+1})_{\text{real}} \cdot ({}^i \underline{\mathbf{T}}_{i+1})_{\text{ideal}}^{-1} \quad (3.8)$$

unde  $({}^i \underline{\mathbf{T}}_{i+1})_{\text{real}}, ({}^i \underline{\mathbf{T}}_{i+1})_{\text{ideal}}^{-1}$  sunt matricile de transformare de la sistemul  $O_{i+1}$ , la sistemul  $O_i$  în situație ideală și reală.

Elementele matricii  ${}^i \underline{\mathbf{E}}_{i+1}$  se pot calcula pe baza unor condiții fizice, determinând situarea reală a corpului  $i+1$ .

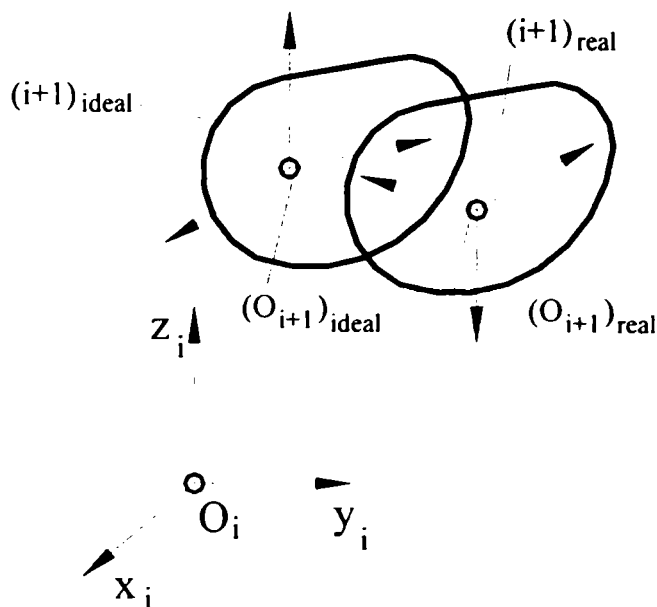


Fig. 3.19 Eroarea de situare

### 3.4.3 Modelul matematic al definirii piesei prin mișcarea relativă a sculei în timpul fazei de prelucrare a procesului

O sculă este un corp cu o suprafață activă. În timpul procesului tehnologic, suprafața activă a sculei este în contact cu piesa și datorită mișcării lor relative, determină o schimbare a dimensiunilor și a formei celei din urmă. Suprafața activă este una analitică 3D în procesele de deformare plastică (ambutisare) sau de suprafață, degenerază într-o curbă analitică la prelucrarea prin așchiere respectiv într-un punct (teoretic) în procesele de sudare.

Ecuția unei suprafețe active generale este

$${}^{SC} \underline{r}_{SA} = {}^{SC} \underline{r}_{SA}(u, v) \quad (3.9)$$

unde  ${}^{SC} \underline{r}_{SA}$  este vectorul de poziție al punctului curent al suprafeței, SC indică sistemul de referință  $O_{SC}$  atașat sculei iar  $u, v$ , sunt parametri scalari:

$$\left. \begin{array}{l} u \in (a_1, b_1) \\ v \in (a_2, b_2) \end{array} \right\} \quad (3.10)$$

$a_1, b_1, a_2, b_2$  fiind valorile lor limită (Fig. 3.20).

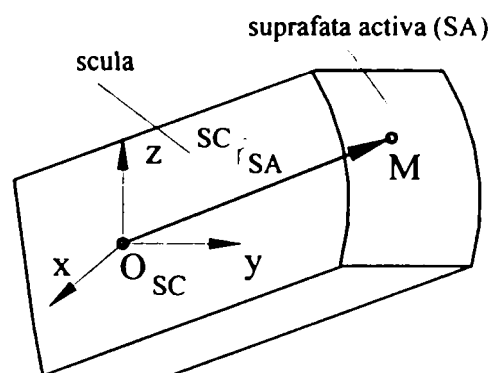


Fig.3.20 Modelul geometric al suprafeței active (SA) a sculei

Dacă scula execută o mișcare relativă față de piesă, descrisă printr-o matrice de transformare între sistemele  $O_{SC}$  și  $O_P$  (solidar cu piesa) cu elemente variabile în timp ( $t$ ), suprafața activă va ocupa pentru fiecare valoare a lui  $t$  o anumită situație  $(SA_1) \dots (SA_n)$ .

Înfășurătoarea (SP) a familiei de suprafețe active  $(SA_1) \dots (SA_n)$  este suprafața piesei (SP) care se obține ca rezultat al acțiunii sculei.

$$\left\{ \begin{array}{l} {}^P \underline{T}_{SC} \cdot {}^{SC} \underline{r}_{SA} - {}^P \underline{r}_{SA} = 0 \\ \frac{\partial ({}^P \underline{T}_{SC} \cdot {}^{SC} \underline{r}_{SA} - {}^P \underline{r}_{SA})}{\partial t} = 0 \end{array} \right. \quad (3.11)$$

Ecuția suprafeței SP se poate calcula utilizând sistemul (3.12):

$$\begin{cases} {}^P \underline{T}_{SC} = {}^P \underline{T}_{SC}(t) \\ {}^P \underline{r}_{SA} = {}^P \underline{r}_{SA}(t) \end{cases} \quad (3.12)$$

Forma piesei este dată de una sau mai multe suprafețe ale ei. Dimensiunile piesei sunt limitele geometrice ale suprafețelor piesei. Aceste dimensiuni sunt dependente de amplitudinile (cursele) mișcării (mișcărilor) relative a sculei (sculelor) față de piesă și geometria suprafeței (suprafețelor) active a sculei (sculelor).

Dimensiunile piesei se pot exprima ca și componentele unui multiD-vector  $\underline{D}_P$ :

$$\underline{D}_P = [d_1 \quad d_2 \quad d_3 \quad \dots \quad d_m]^T = f({}^P \underline{T}_{SC}(t), {}^{SC} \underline{r}_{SA}) \quad (3.13)$$

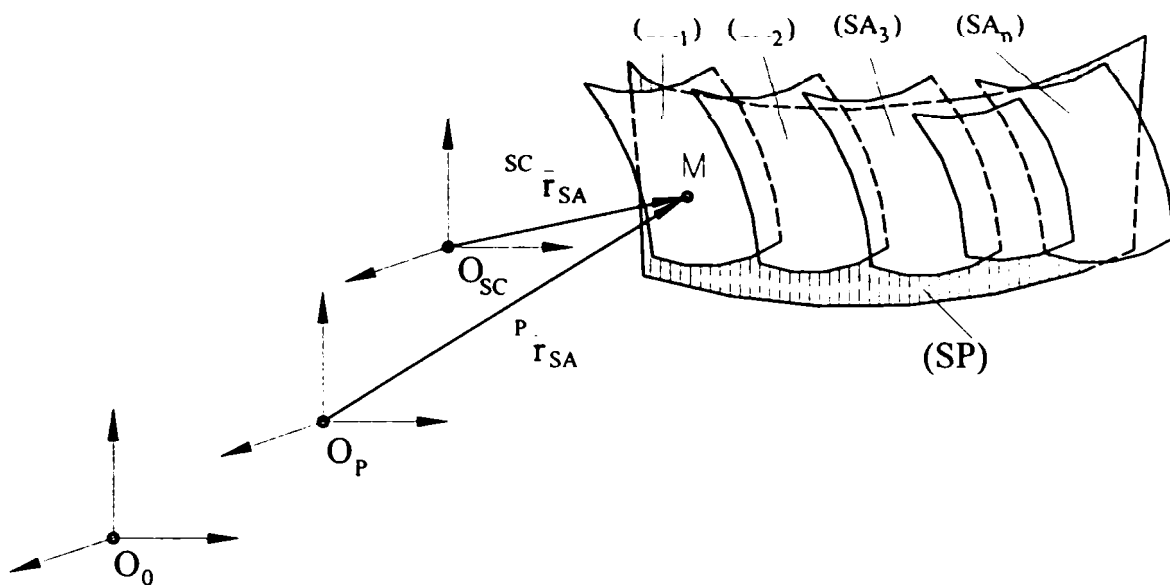


Fig. 3.21 Modelul geometric al suprafeței piesei (SP) ca înfășurătoare a mai multor situații a unei suprafețe active a sculei ( $SA_1, SA_2, \dots, SA_n$ )

În modelul geometric din figura 3.21 sistemul  $O_0$  este atașat părții fixe a modelului geometric al mașinii de lucru utilizate pentru prelucrarea piesei. Mărimea (dată dimensională) acestei mașini definește matricea de trecere dintre sistemele  $O_P$  și  $O_0$  ( ${}^0 \underline{T}_P$ ).

### 3.4.4 Modelul geometric al manipulării piesei/sculei cu ajutorul unui robot și/sau dispozitiv de transfer comandat de calculator

Dacă o sculă este manipulată de un robot, ea realizează faza de lucru a procesului tehnologic. Definirea piesei se realizează cu ajutorul modelului matematic descris în paragraful anterior. Dacă o piesă este manipulată de robot în zona SFF, în mod obișnuit situațiile de început, sfârșit și intermediare, relativ la diferite componente ale sistemului sunt prescrise. Pentru modelarea acestei faze de manipulare, componentelor menționate le sunt atașate sisteme de axe de coordonate pentru a marca situațiile piesei manipulate. Transferul piesei din situația  $k$  în situația  $k+1$  este descris prin matricea de transformare  ${}^{k+1}\underline{T}_k$  (Fig.3.22).

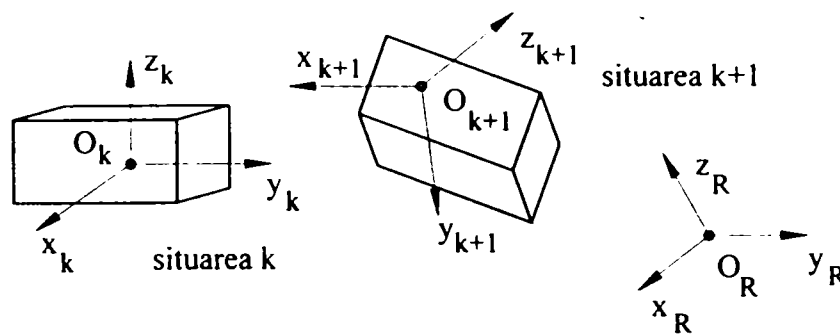


Fig. 3.22 Sistemele de axe de coordonate atașate componentelor SFF

În modelul geometric din figura 3.22 sistemul  $O_R$  este atașat părții fixe a modelului geometric al robotului (sau dispozitivului de transfer) utilizat pentru manipularea piesei. Layout-ul SFF definește matricea de transformare dintre sistemele  $O_k$  și  $O_R$ , de ex.  ${}^R\underline{T}_k$ .

### 3.4.5 Modelarea fazelor de prelucrare și de manipulare ale procesului tehnologic luând în considerare erorile de situație

Conceptul de precizie a SFF are două înțelesuri.

**Precizia performanțelor** unei anumite componente a SFF exprimă gradul capacității sale de a realiza operația comandată. La rândul ei 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 măsura în care corespondența se menține în timp.

**Precizia caracteristicilor** unui produs (de ex. piesă) 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 relativă a diferitelor corpuri existente în SFF (mașini, roboți, dispozitive, piese etc.). La rândul lor erorile de situare relativă sunt cauzate de erorile dimensionale ale semifabricatelor, sculelor și dispozitivelor, jocurile din cuplele cinematice conducătoare ale diferitelor mecanisme ce aparțin componentelor SFF, deformațiile componentelor datorate încărcării cu forțe generalizate sau influențe termice, erorile de conducere.

Ca rezultat al erorilor mai sus menționate, în timpul fazei de prelucrare a procesului tehnologic, situarea relativă a sculei față de piesă diferă față de cea comandată (imprecizia performanței) iar caracteristica dimensională a piesei prelucrate va diferi de cea concepută (imprecizia caracteristicilor).

În timpul fazei de manipulare a procesului tehnologic, situarea relativă finală a piesei manipulate va diferi de cea programată (imprecizie de performanță).

Erorile de situare relativă pot fi calculate cunoscând valorile cauzelor acestor erori (de ex. toleranțe dimensionale, jocuri, temperaturi etc.). În mod obișnuit, o anumită eroare are mai multe cauze, care nu acționează simultan la valoarea lor maximă. De aceea, este necesară luarea în considerare și a unei abordări statistice a calculului erorilor.

### **3.4.6 Concepția constructivă și tehnologică (ingineria concurentă) utilizând**

#### **modelele matematice propuse și transferul rezultatelor la componentele SFF**

Mișcarea relativă dintre diferitele părți ale componentelor SFF se realizează cu axe controlate prin calculator (translații și rotații relative ale cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor).

Mașinile unelte și roboții au mai multe axe dispuse relativ în funcție de o anumită structură. Dispozitivele de transfer au de obicei o singură axă.

Pentru faza de lucru a procesului, după schimbarea suprafeței active a sculei ( ${}^{SC} \mathbf{r}_{SA}$ ), prin calcul cinematic invers, variația în timp a situației relative a sculei față de piesă ( ${}^P \mathbf{T}_{SC}(t)$ ) este determinată luând în considerare și recomandările pentru parametrii tehnologici de utilizat (de ex. viteză, avans etc.)



Variația în timp a situației sculei față de partea fixă a mașinii unelte se poate calcula cu ajutorul relației (3.14):

$${}^0\mathbf{T}_{SC} = {}^0\mathbf{T}_{SC}(t) = {}^0\mathbf{E}_P \cdot {}^0\mathbf{T}_P \cdot {}^P\mathbf{E}_{SC} \cdot {}^P\mathbf{T}_{SC}(t) \quad (3.14)$$

unde  ${}^0\mathbf{E}_P$  este eroarea de situare a piesei față de partea fixă a mașinii unelte (cauzată de ex. de toleranțele semifabricatului și erorile dimensionale ale sistemului de prindere a dispozitivului de lucru etc.) și  ${}^P\mathbf{E}_{SC}$  este eroarea de situare a sculei față de piesă (cauzată de erori de control, erori de formă a suprafeței active etc.).

Pentru programarea automată a mișcării axelor 1...n ale mașinii unelte, matricea de transformare  ${}^0\mathbf{T}_{SC}(t)$  care descrie variația în timp a situației părților mobile față de partea fixă, se poate determina prin calcul invers din matricea  ${}^0\mathbf{T}_{SC}$ .

Programul de lucru al mașinii unelte constă din matricea  ${}^0\mathbf{T}_{SC}(t)$  stocată în memoria sistemului de comandă a mașinii unelte.

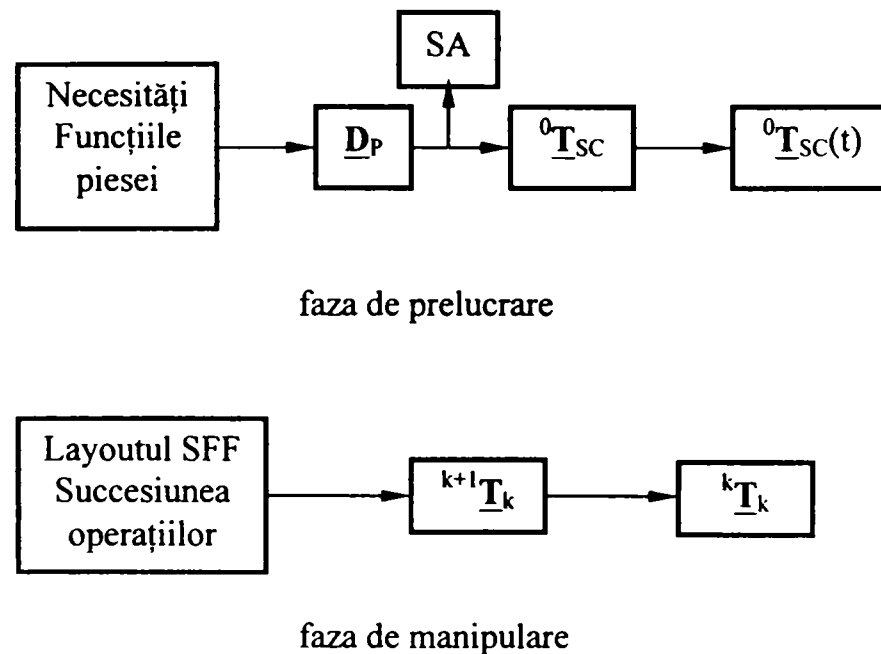


Fig. 3.23 Schema logică a modelului matematic

Pentru faza de manipulare, în funcție de layoutul SFF și precizia operațiilor de prelucrare, se definesc matricile de transformare  ${}^{k+1}\mathbf{T}_k$ , iar prin calcul invers matricile de trecere  ${}^R\mathbf{T}_m$  corespondente pentru descrierea mișcărilor axelor (1...m) ale robotului (dispozitivului de transfer) necesare manipulării piesei.

Succesul sau insuccesul previzibil al manipulării trebuie verificat prin calculul erorilor.

Programul de manipulare (PTP) al axelor robotului (dispozitivului de transfer) constă în matricile de transformare  ${}^R T_m(t)$  și programarea timpilor de început/sfârșit ale mișcărilor necesare în sistemul de comandă corespunzător.

Utilizarea modelului matematic propus pentru procese tehnologice face posibilă legătura complet automată între facilitățile CAD, CAPP și SFF. Pe baza principiilor descrise se pot elabora modele specifice pentru diferite procese tehnologice.

### 3.5 Transmiterea informațiilor între sistemele CAD/CAM

#### 3.5.1 Principii

Activitățile desfășurate în cadrul procesului CAM necesită transmiterea informațiilor stocate în bazele de date CAD. Schimbul de informații este îngreunat de marea varietate și complexitate a sistemelor CAD/CAM. Transferul de date între sisteme CAD/CAM nesimilare trebuie să cuprindă descrierea completă a produsului stocată în baza de date. Există patru tipuri de date de modelare care realizează această descriere:

- datele referitoare la formă cuprind informații geometrice și topologice precum și caracteristici de alcătuire a piesei;
- datele globale constau în informații despre unitățile de măsură ale bazei de date și rezoluția de stocare a valorilor numerice ale bazei de date;
- datele de concepție cuprind informațiile generate de designer în scopuri de analiză cum ar fi proprietățile masice și de element finit;
- datele tehnologice constau din informații despre alegerea sculelor, traiectorii NC, toleranțe, liste de materiale etc.

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

În cazul sistemelor similare, schimbul de date se realizează fără dificultate, în mod direct. Translatorul de date convertește datele direct, într-o singură etapă (Fig.3.24).

Translatorile directe sunt programe de translație dedicate, pentru legarea unei perechi de sisteme fiind necesare două astfel de programe. Spre exemplu două translatorile sunt necesare pentru a transfera datele între sistemul 1 și 2: unul de la sistemul 1 la 2, un al doilea de la sistemul 2 la 1.

Pentru transferul datelor între sisteme nesimilare este necesară utilizarea unor formate neutre, care reflectă structura neutră a bazei de date. Fiecare sistem își are propria pereche de procesoare pentru transferul de date de la și la acest format neutru (Fig.3.25).

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

Translatorul care realizează transferul din format neutru într-un format al bazei de date al unui sistem dat poartă denumirea de *postprocesor*.

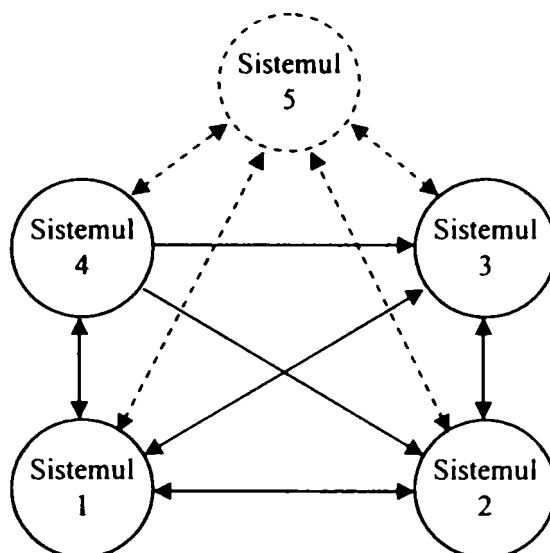


Fig. 3.24 Translație directă

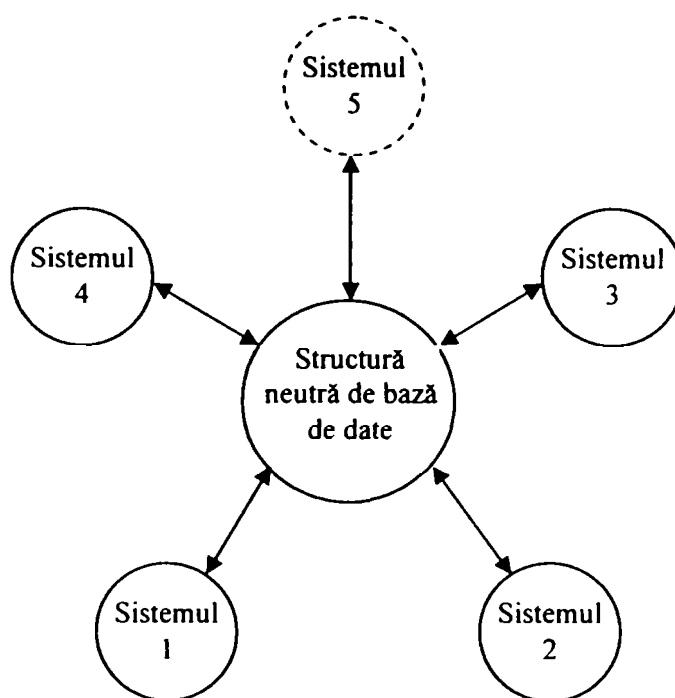


Fig. 3.25 Translație indirectă

Translatorile directe dau rezultate satisfăcătoare doar în cazul în care este necesară legarea unui număr mic de sisteme. Pe măsură ce numărul acestora crește, numărul programelor de translație necesare devine prohibitiv. În exemplul din figura 3.24 sunt necesare 8 translatorile

adiționale (reprezentate cu linie punctată) pentru a realiza schimbul de date cu sistemul 5. În cazul a  $n$  sisteme legate între ele este necesar de un număr de  $N = n(n-1)$  programe de translație care trebuie scrise. Translația directă are loc însă mai rapid decât cea indirectă iar fișierele pe care la produce sunt de dimensiune mai mică decât fișierele neutre create de translatoarele indirecte. Pe de altă parte translatoarele indirecte nu sunt afectate de creșterea numărului de programe care trebuie scrise odată cu creșterea numărului de sisteme legate. Numărul translatoarelor indirecte necesare pentru transferul de date între  $n$  sisteme este  $N=2n$ . Cerințele impuse unui standard pentru comunicarea datelor de modelare între sisteme CAD/CAM nesimilare nu se pot asigura fără probleme și anumite limitări. În primul rând există probleme legate de definiții, standardul putând utiliza definiții și terminologii care să nu corespundă cu cele ale furnizorilor de sisteme. Apoi, nu toate sistemele pot oferi suport tuturor entităților pentru care oferă suport standardul. De asemenea există probleme de implementare. Pot apare anumite erori numerice la convertirea în format neutru a anumitor entități, cum sunt curbele și suprafețele de formă liberă. Cu toate acestea, un standard neutru este soluția optimă pentru integrarea sistemelor CAD/CAM nesimilare.

### **3.5.2 IGES (Initial Graphics Exchange Specification)**

IGES este primul format standard dezvoltat pentru transferul datelor între sisteme CAD/CAM nesimilare. IGES definește o bază de date neutră, sub forma unui format-fișier, care descrie un "model IGES" al datelor de modelare a unui produs dat. Modelul IGES poate fi citit și interpretat de sisteme CAD/CAM nesimilare. IGES descrie entitățile de informație posibile pentru a fi utilizate la construirea unui model IGES, parametrii (datele) necesare pentru definirea entităților modelului și relațiile și asociațiile posibile între entitățile modelului.

Unitatea fundamentală de informație în model, deci și în fișierul IGES, o constituie 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 și negeometrice. Entitățile geometrice realizează definirea formei produsului și includ curbe și suprafețe. Entitățile negeometrice constau din entități de adnotare și de structură. Entitățile de adnotare includ diferite tipuri de dimensiuni, notițe, etichete, simboluri etc. Entitățile de structură includ vederi, desene, atribute, proprietăți, entități externe de referință (pentru ansambluri), simboluri și macrouri (pentru definirea

etichete, simboluri etc. Entitățile de structură includ vederi, desene, atribute, proprietăți, entități externe de referință (pentru ansambluri), simboluri și macrouri (pentru definirea parametrică a pieselor). Într-un fișier neutru IGES, se înscrie codul tipului de entitate și cifre care caracterizează entitatea respectivă.

În figura 3.26 este reprezentat schimbul de date utilizând IGES. Baza de date arhivă este un beneficiu colateral al IGES.

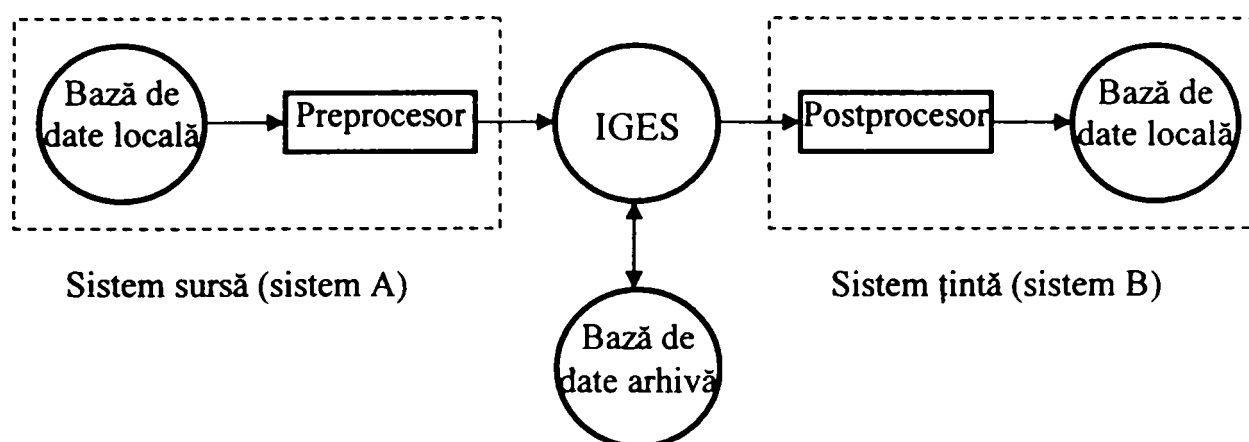


Fig. 3.26 Schimb de date utilizând IGES

IGES utilizează două sisteme de axe de coordonate diferite dar înrudite pentru reprezentarea tipurilor de entități geometrice. Acestea sunt sistemele de axe de coordonate MCS (Model Coordinate System) și respectiv WCS (Working Coordinate System). Sistemul MCS definește spațiul modelului, iar WCS definește spațiul de lucru.

Sistemul MCS se definește ca spațiul de referință al modelului. Este un sistem de axe de coordonate cartezian utilizat de un anumit software. Originea sistemului MCS se poate alege în mod arbitrar de către utilizator, în timp ce orientarea lui se stabilește de către software-ul utilizat. Uzual, programul alege una sau două dintre orientările posibile ale MCS în spațiu. Alegerea planului XY ca plan orizontal care definește vederea de sus a modelului reprezintă una din posibilități (Fig. 3.27,a). În acest caz vederile din față și din dreapta sunt definite prin planele XZ respectiv YZ. Alegerea planului XY ca plan vertical care definește vederea din față a modelului reprezintă a doua posibilitate (Fig. 3.27,b). Ca urmare planele XZ și YZ vor defini vederile de sus și respectiv din dreapta ale modelului. În ambele cazuri de orientări, în mod obișnuit, planul XY reprezintă planul utilizat pentru construirea modelului.

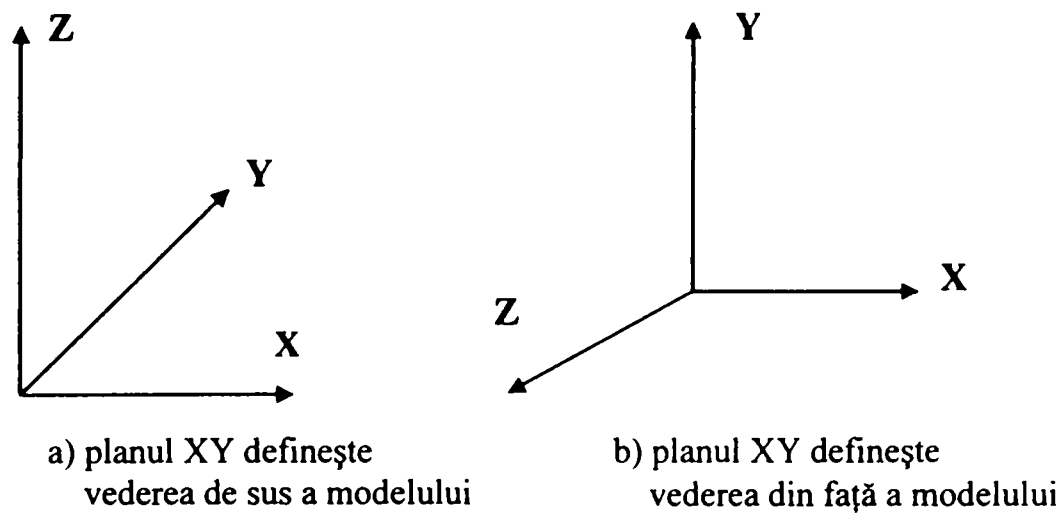


Fig. 3.27 Orientări posibile al sistemului de axe de coordonate MCS în spațiu

De multe ori la conceperea unui model geometric și introducerea datelor geometrice este necesar să se utilizeze un alt sistem de referință decât sistemul MCS. Utilizatorul poate defini un sistem de axe de coordonate carteziene al cărui plan XY să coincidă cu planul dorit pentru a realiza construcția modelului. Acest sistem este sistemul de axe de coordonate WCS. El poate fi utilizat în orice situație din spațiu dorit de utilizator. În timp ce utilizatorul poate introduce datele utilizând sistemul WCS, înainte de memorarea lor software-ul realizează transformarea lor față de sistemul MCS. Posibilitatea folosirii a două sisteme de axe de coordonate diferite în cadrul aceleiași baze de date conferă utilizatorului o flexibilitate mai mare.

Definirea sistemului de axe de coordonate WCS necesită trei puncte necoliniare. Primul definește originea iar primul împreună cu al doilea definește axa X. Al treilea punct se utilizează pentru a defini planul XY al sistemului WCS. Axa Z se determină ca produsul vectorial al celor doi versori pe direcția definită de liniile care unesc primul și al doilea punct (axa X) și primul și al treilea punct. Axa Y se determină ca produsul vectorial al versorilor axelor Z și X. Pentru a le deosebi de axele de coordonate ale sistemului MCS, axelor de coordonate ale sistemului WCS li se vor atribui în continuare indicii W. Toate pachetele de programe CAD/CAM furnizează utilizatorului trei WCS-uri 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

$$\underline{P} = [\underline{T}] \cdot \underline{P}_w \quad (3.15)$$

unde  $\underline{P}$  este vectorul de poziție al punctului față de sistemul MCS iar  $\underline{P}_w$  vectorul de poziție al aceluiași punct față de sistemul WCS. Fiecare vector este dat de relația:

$$\underline{P} = [x \ y \ z \ 1]^T \tag{3.16}$$

Matricea  $\underline{T}$  este matricea de transformare omogenă a cărei expresie este dată de relația (3.17)

$$\underline{T} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^M_w[R] & {}^M P_{w,orig} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.17}$$

unde  ${}^M_w[R]$  este matricea de rotație care definește orientarea WCS față de MCS iar  ${}^M P_{w,orig}$  este vectorul de poziție care descrie originea WCS față de MCS. Coloanele matricei  ${}^M_w[R]$  dau cosinuzii directori ai versorilor axelor  $X_w, Y_w$  și  $Z_w$  față de MCS (Fig. 3.28).

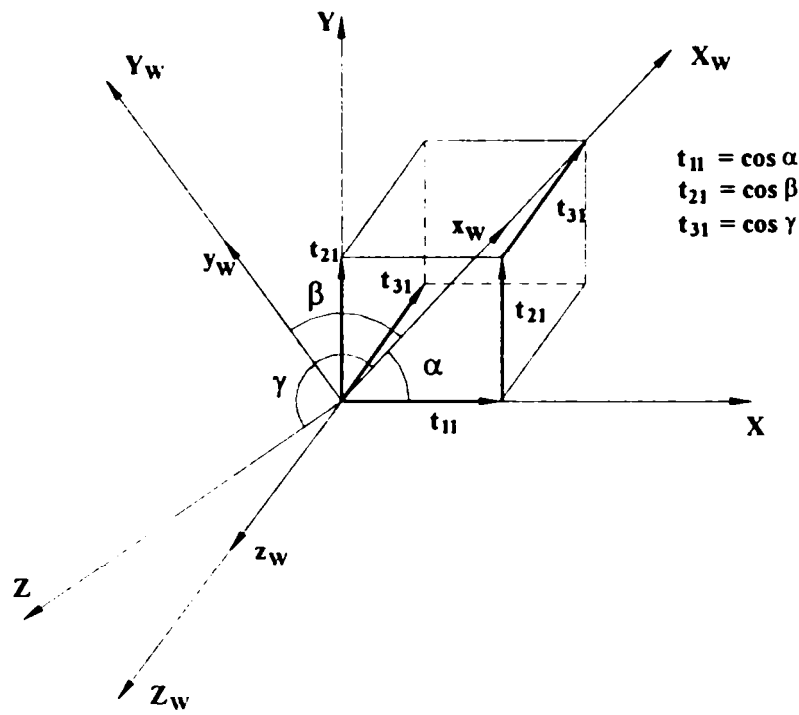


Fig. 3.28 Cosinuzii directori ai sistemului WCS față de sistemul MCS

Sistemul de axe 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. Pentru a completa reprezentarea o matrice de transformare este asociată (printr-un pointer) entității ca un parametru al ei pentru a realiza trecerea la sistemul de axe de coordonate MCS. Fiecare tip de entitate geometrică

are în IGES o astfel de matrice asociată. Ca regulă generală toate tipurile de entități geometrice sunt definite în IGES printr-un sistem de axe de coordonate WCS și o matrice de transformare.

### **3.5.3 STEP (Standard for the Transfer and Exchange of Product Model Data)**

STEP este un standard internațional pentru schimbul de date despre produs, format din mai multe module cuprinse în ISO 10303. STEP este totodată un standard de gestiune și de schimb de date tehnice produs, al cărui conținut este descris într-un document hârtie. STEP permite schimbul de date tehnice după un format neutru, în mod independent de suportul informatic folosit la crearea lor.

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

Modelul de date STEP se poate separa în trei straturi:

- aplicativ prin care se separă aspectul profesiei incluse în programele aplicative, față de restul standardului;
- logic, care este modelul de date STEP;
- fizic, prin care se definește modul de aplicare într-un anumit program.

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 generice. 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.

Pentru specificarea informației care trebuie reprezentată STEP utilizează limbajul formal EXPRESS. Utilizarea unui limbaj formal permite reprezentări precise și consecvente și facilitează dezvoltarea implementărilor.



### 3.5.4 PDES (Product Data Exchange using STEP)

PDES este un standard de schimb de date tehnice al cărui obiectiv este de a codifica în format digital ansamblul informațiilor manipulate pe parcursul realizării unui produs, în toate stadiile ciclului său de viață. Datele sunt schimbate pe baza unor “modele disciplinare” sau “modele mentale”. Modelele disciplinare sunt standardizate și definite de PDES pentru a fi interpretate și utilizate de un alt calculator. Pentru aceasta modelele disciplinare trebuie să poată fi citite de calculator, să fie explicite și să poată fi schimbate cu structura intactă.

Metodologia PDES implică o arhitectură în trei straturi, modele de referință, limbaje formale și coordonarea cu alte standarde. Arhitectura în trei straturi reprezentată în figura 3.29 constituie miezul structurii PDES. În cadrul PDES se pot identifica trei straturi: stratul aplicativ, stratul logic și stratul fizic.

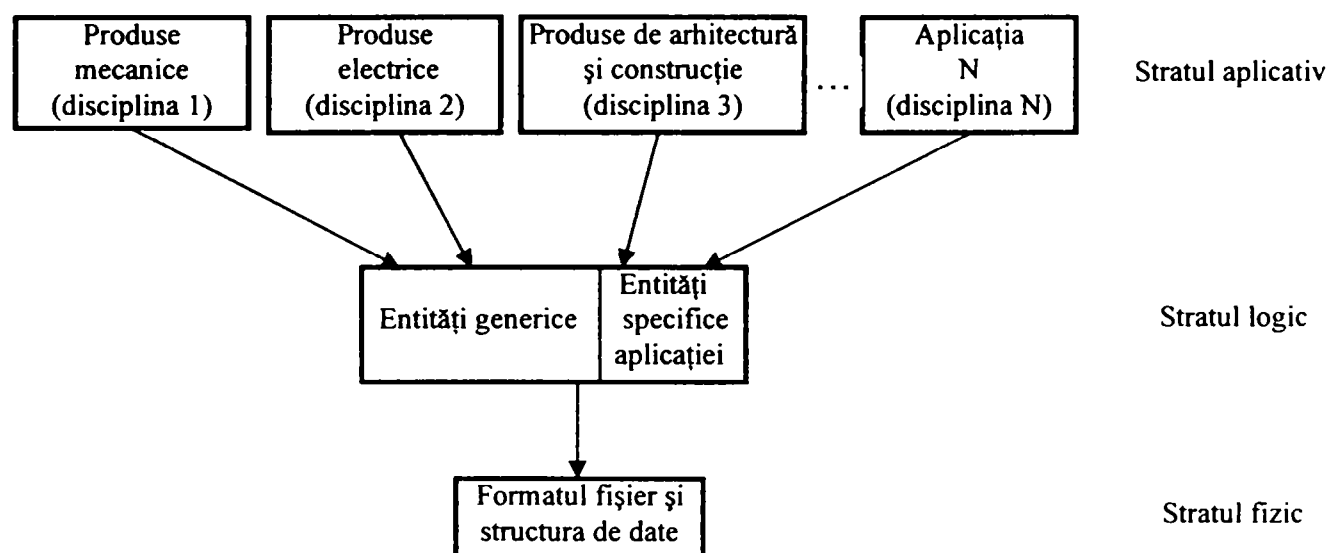


Fig. 3.29 Arhitectura în trei straturi a PDES

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 informației.

Scopul stratului logic este de a furniza o descriere consistentă a construcției datelor independentă de calculator, care să conțină informația ce urmează a fi schimbată. Un obiectiv cheie în acest caz este asigurarea neredundanței în structurile datelor generice și a relațiilor dintre ele dar în același timp aceste structuri de date trebuie să fie suficiente pentru a cuprinde un domeniu larg de aplicații.

Stratul fizic se ocupă de structurile de date și fișierul de schimb propriu-zis. Scopul îl constituie stabilirea și menținerea eficienței în ceea ce privește mărimea fișierului și durata timpului de procesare.

Figura 3.30 prezintă schimbul de date utilizând PDES. Utilizatorul, sau expertul, trebuie să definească datele produsului, respectiv aplicația ca model disciplinar. Preprocesorul folosește acest model pentru a produce “unitatea de schimb a datelor”. Această unitate se constituie din trei părți: model disciplinar, setul de entități generice și setul de corespondențe între entitățile specifice disciplinei și cele generice.

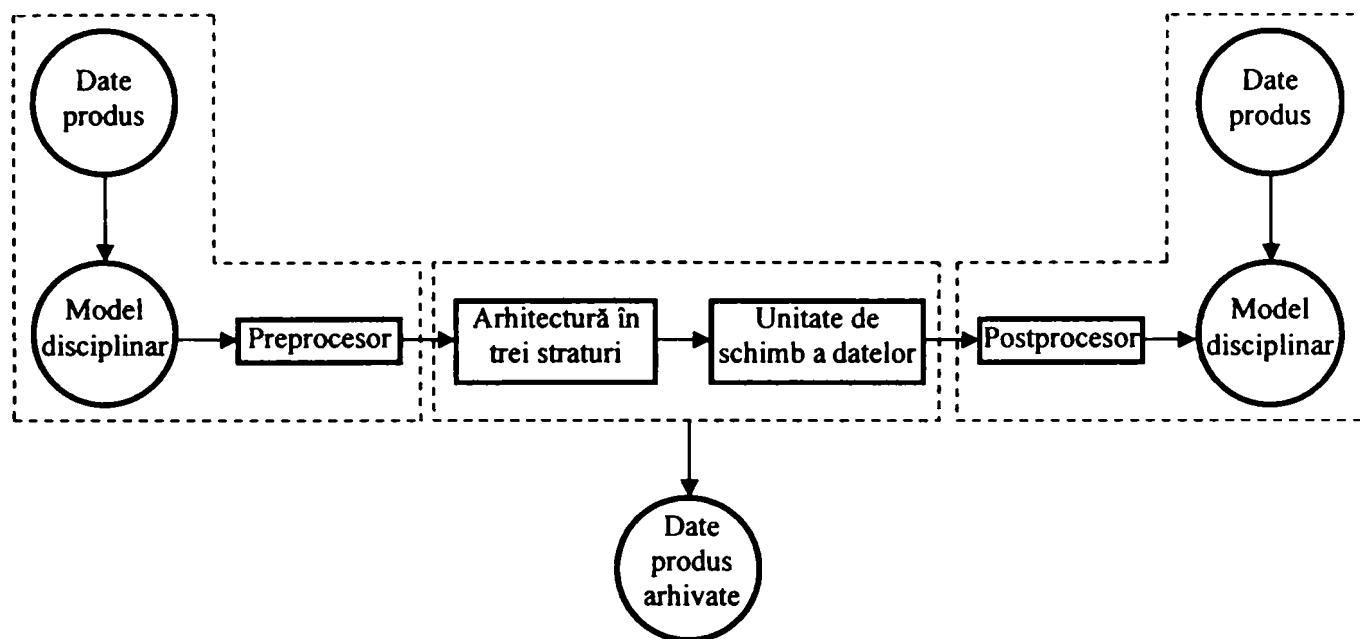


Fig. 3.30 Schimbul de date utilizând PDES

### 3.5.5 Dificultăți în utilizarea programelor de postprocesare

Există mai multe dificultăți în ceea ce privește utilizarea programelor de postprocesare. În primul rând apare problema obținerii codurilor corecte în ordinea dorită, în anumite puncte critice al programului NC, cum ar fi inițializarea programului, schimbarea sculei și încheierea programului. O altă sarcină dificilă constă în obținerea codului corect pentru compensarea uzurii sculei. Fiecare întreprindere și chiar diferite departamente din cadrul aceleiași întreprinderii adoptă metode diferite pentru a realiza schimbarea sculei sau compensarea uzurii sculei. De aceea, un postprocesor configurat pentru o întreprindere poate să fie necorespunzător pentru alta. Chiar dacă sistemul CAM utilizat este echipat cu un postprocesor preconfigurat pentru o anumită combinație mașină/controller este neverosimil ca un astfel de postprocesor să producă un program NC cu coduri care să fie exact cele dorite și exact în

ordinea dorită. În acest caz utilizatorul este pus în situația să aleagă între trei posibilități neplăcute:

- să accepte datele de ieșire așa cum au fost ele generate, ceea ce poate produce confuzii la operatorul uman;
- să editeze și să modifice fiecare program NC individual înainte ca acesta să fie transmis mașinii unelte, ceea ce conduce la erori și nepotriviri;
- să modifice configurația postprocesorului, ceea ce necesită personal cu experiență corespunzătoare sau ajutor din partea furnizorului sistemului CAM.

O altă problemă apare atunci când întreprinderea dorește achiziționarea unei mașini unelte pe care sistemul ei CAM existent nu o recunoaște. Multe sisteme CAM cu preț scăzut sau moderat nu răspund cerințelor impuse de o mașină unealtă cu axe multiple. Schimbarea sau modernizarea sistemului CAM este în aceste cazuri singura soluție.

O a treia problemă constă în faptul că în mod frecvent postprocesoarele nu prezintă suport pentru opțiunile și caracteristicile speciale conținute în unitatea de comandă a mașinii.

Necesitatea de a înlocui postprocesoarele învechite este o problemă întâlnită mai ales la întreprinderile mai mari. Dificultatea utilizării unor postprocesoare noi constă în obținerea acelorași date de ieșire ca de la cele înlocuite și compatibilitatea lor cu datele CAM existente.

Considerentele de mai sus justifică interesul pentru găsirea unei metode de transfer automat direct de informații, nu prin intermediul unei baze de date (fișier) neutre de arhivă de la baza de date locală CAD/CAPP la baza de date locală CAM.

### **3.5.6 Concluzii**

Translația de date de la concepție la execuție prin intermediul sistemelor preprocesor → bază de date neutre → postprocesor (IGES, PDES) elimină operatorul uman în contextul activității curente. Întocmirea programelor de preprocesare/postprocesare și a bazei de date neutre necesită muncă umană și prezintă dezavantajele menționate în subcapitolul 3.5.5

#### 4. Scopul și obiectivele tezei

Din conținutul capitolului 1, 2, 3 a reieșit faptul, că în momentul de față un segment important al procesului de producție, constituit din concepția constructivă și tehnologică (integrată) a obiectului de lucru și execuția lui, este automatizat doar parțial și automatizarea integrală a întregului segment de proces nu este realizată cu metodele cunoscute actualmente. Chiar în condițiile în care concepția integrată a obiectului de lucru se realizează cu o mare pondere prin metode CAD, respectiv CAPP cu asistarea operatorilor umani în mare măsură de către calculator, *codificarea rezultatelor* activității de concepție (date privind forma/dimensiunile obiectului de lucru, fazele și parametrii procesului de fabricație și succesiunea acestora) este realizată prin muncă manuală, chiar asistat de calculator. *Programarea* funcționării componentelor sistemului de fabricație pe baza datelor evidențiate anterior (întocmirea “programului piesă” CNC, programarea “on-line” sau “off-line” a roboților) se realizează prin acțiunea unor operatori umani, ca și *transmiterea datelor* pe traseul concepție-execuție (chiar în cazul utilizării unor programe de postprocesare).

*Scopul* tezei de doctorat este acela de a aduce contribuții la elaborarea unor noi metode de transmitere automată a datelor obținute în cadrul compartimentului de concepție integrată a obiectelor de lucru, la sistemul de fabricație flexibilă și de programare automată a calculatorului acestuia pe baza datelor transmise.

*Obiectivele* tezei vizează crearea condițiilor pentru realizarea scopului propus anterior:

- elaborarea unei/unor noi metode de codificare a rezultatelor concepției integrate a obiectului de lucru, în vederea facilitării transmisiei automate a datelor;
- elaborarea unei metode automate de transmitere a datelor privind concepția integrată a obiectului de lucru de la compartimentul aferent, la sistemele de comandă ale componentelor sistemului de fabricație flexibilă;
- elaborarea unei metode de programare automată a funcționării acestor componente;
- verificarea practică a metodelor teoretice printr-o aplicație constând din concepția integrată a unui obiect de lucru, codificarea automată a rezultatelor concepției integrate, transmiterea automată a datelor la sistemul de fabricație, programarea automată pe baza acestor date a simulării funcționării sistemului de fabricație și a execuției fizice a procesului de prelucrare și manipulare a obiectului de lucru în cadrul sistemului.

## **5. Codificarea matematică a informațiilor cu privire la forma/dimensiunile obiectelor de lucru și la procesele tehnologice de execuție ale acestora**

### **5.1 Introducere**

Un obiect de lucru se caracterizează, printre altele, printr-o formă geometrică și dimensiuni. Stabilirea formelor geometrice și a dimensiunilor obiectelor de lucru constituie una din etapele importante ale concepției constructive. În condițiile concepției asistate de calculator, această etapă se realizează prin modelarea 3D a obiectelor de lucru.

Întrucât forma și dimensiunile obiectului de lucru se pot obține, între altele, prin prelucrarea suprafețelor, modelarea 3D a acestora furnizează date din care se poate deduce procesul tehnologic de fabricație al obiectului respectiv.

Modelele de suprafață se utilizează în special în cazurile în care funcționarea produsului este condiționată de realizarea cu acuratețe a suprafețelor, în general complexe, care îl delimitează. Astfel de obiecte de lucru sunt spre exemplu carena unui vas, aripile și fuselajul unui avion, paletele statorice și rotorice ale mașinilor hidraulice și eoliene, matrițele pentru turnarea sub presiune sau pentru injectarea maselor plastice etc.

Modelele de suprafață prezintă un interes deosebit mai ales în cazurile în care suprafețele obiectului de lucru se obțin prin prelucrări prin așchiere, deoarece cu ajutorul modelului se poate determina geometria sculei conjugate cu care trebuie executată prelucrarea, respectiv se poate stabili mișcarea relativă necesară între această sculă și obiect. Prin simularea procesului de prelucrare se pot furniza date care se pot transmite nemijlocit mașinii de lucru cu comandă numerică care execută prelucrarea.

Avantajul modelelor de suprafață constă în faptul că ele permit:

- evidențierea tuturor datelor legate de proprietățile geometrice și dimensionale ale unui obiect;
- crearea rapidă a modelului (prototipare rapidă, rapid prototyping);
- generarea curbelor de intersecție între două suprafețe;
- modificarea geometriei suprafețelor în vederea conceperii de variante ale obiectului de lucru .

Dezavantajele modelelor de suprafață sunt următoarele:

- absența conectivităților între suprafețe poate constitui sursă de ambiguități în definirea formei obiectului;
- calculul proprietăților mecanice ale obiectelor de lucru este limitat și realizabil numai la modele 3D de suprafață simple;

- imposibilitatea de a secționa automat un obiect, în vederea obținerii de modele 2D (desene de execuție);
- utilizatorul trebuie să detecteze vizual interferențele între obiecte.

## 5.2 Modelarea 3D a suprafețelor obiectelor de lucru

### 5.2.1 Generalități

Suprafețele se pot descrie matematic, în spațiul tridimensional, cu ajutorul ecuațiilor implicite, respectiv parametrice.

Reprezentarea implicită prezintă o serie de dezavantaje motiv pentru care în general nu se utilizează în CAD/CAM.

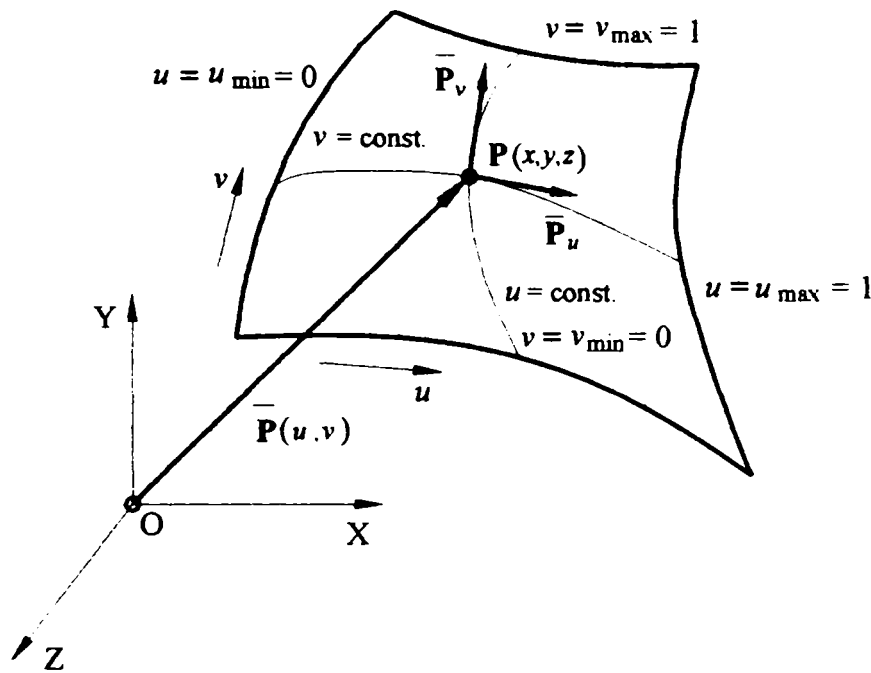


Fig. 5.1 Reprezentarea parametrică a unei suprafețe tridimensionale

Reprezentarea parametrică a unei suprafețe înseamnă o funcție vectorială continuă  $\mathbf{P}(u, v)$ , de două variabile sau parametri  $u$  și  $v$ , care pot lua valori în planul  $uv$ . Pentru o anumită valoare a lui  $u$  respectiv o anumită valoare a lui  $v$  funcția  $\mathbf{P}(u, v)$  reprezintă punctul din plan corespunzător acestor valori (Fig. 5.1).

Reprezentarea parametrică a unei suprafețe se realizează printr-o funcție vectorială continuă  $\mathbf{P}(u, v)$ . Cel mai general mod de a descrie ecuația parametrică a unei suprafețe curbe tridimensionale este:

$$\mathbf{P}(u, v) = [x \ y \ z]^T = [x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]^T \quad (5.1)$$

unde  $u_{min} \leq u \leq u_{max}$ , și  $v_{min} \leq v \leq v_{max}$ , pentru cele mai multe suprafețe aceste intervale fiind  $[0, 1]$  pentru ambii parametri.

Ecuția (5.1) arată că o suprafață tridimensională poate fi modelată prin divizarea ei într-un ansamblu de petice (patches) topologice. *Peticul* este considerat ca fiind elementul matematic de bază pentru modelarea

Unui petic rectangular  $i$  se asociază un set de condiții de frontieră. Așa cum se constată din figura 5.2 există 16 vectori și 4 curbe de frontieră. Vectorii sunt cei 4 vectori de poziție pentru cele 4 puncte  $P(0, 0)$ ,  $P(1, 0)$ ,  $P(1, 1)$  și  $P(0, 1)$  care reprezintă vârfurile conturului, 8 vectori tangentă (câte două pentru fiecare vârf) și 4 vectori de curbură.

Cele 4 curbe de frontieră se descriu menținând o variabilă parametrică la una din valorile ei limită, cealaltă variabilă putând să se modifice liber. Curbele de frontieră sunt definite în acest caz de ecuațiile  $u = 0$ ,  $u = 1$ ,  $v = 0$  și  $v = 1$ .

Pentru a genera curbe pe un petic, se poate fixa valoarea uneia din variabile, spre exemplu  $u$ , obținându-se câte o curbă pentru fiecare valoare a celeilalte variabile,  $v$ . Continuând acest proces alternativ pentru cele două variabile pentru un set de valori arbitrare din domeniul admisibil, se generează o rețea de familii de curbe parametrice. Doar o singură curbă a fiecărei familii trece printr-un punct  $P(u, v)$  al suprafeței. Sensul pozitiv al oricărei din aceste curbe este sensul în care crește valoarea parametrului nefixat.

Cunoașterea vectorilor tangentă la suprafață permite conducerea unei scule așchietoare de-a lungul suprafeței de prelucrat, iar cunoașterea vectorilor normali la suprafață furnizează direcția mișcării de apropiere și depărtare a sculei de suprafață și servește la determinarea offsetului sculei așchietoare în cazul programării mașinilor cu comandă CNC. Vectorii tangentă se pot exprima prin relațiile:

$$\mathbf{P}_u(u, v) = \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial u} = \frac{\partial x}{\partial u} \bar{\mathbf{i}} + \frac{\partial y}{\partial u} \bar{\mathbf{j}} + \frac{\partial z}{\partial u} \bar{\mathbf{k}}, \quad u_{min} \leq u \leq u_{max}, v_{min} \leq v \leq v_{max} \quad (5.2)$$

de-a lungul curbei  $v = \text{const.}$ , respectiv

$$\mathbf{P}_v(u, v) = \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial v} = \frac{\partial x}{\partial v} \bar{\mathbf{i}} + \frac{\partial y}{\partial v} \bar{\mathbf{j}} + \frac{\partial z}{\partial v} \bar{\mathbf{k}}, \quad u_{min} \leq u \leq u_{max}, v_{min} \leq v \leq v_{max} \quad (5.2')$$

de-alungul curbei  $u = \text{const.}$

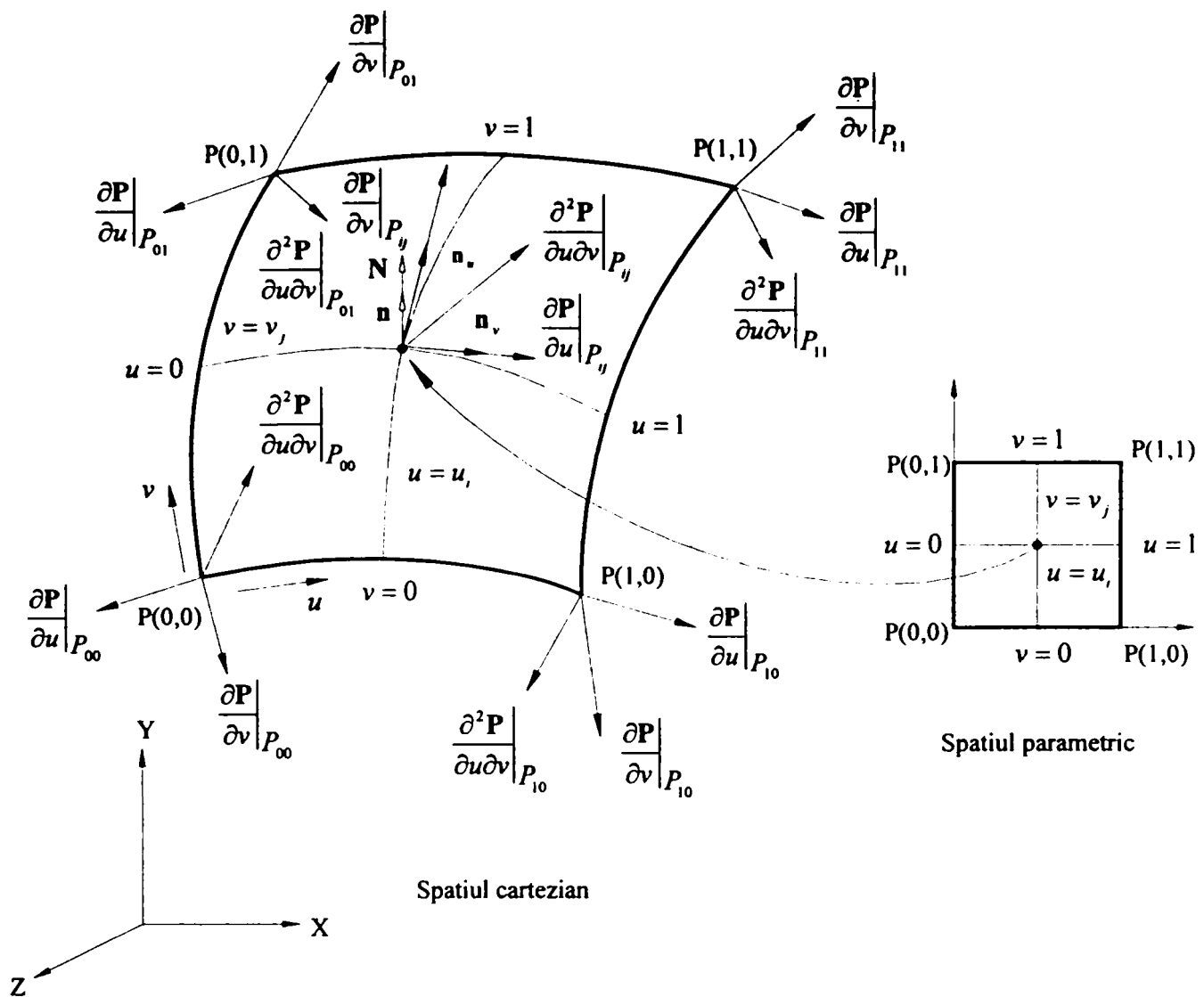


Fig.5.2 Reprezentarea parametrică a unui petic rectangular și a setului de condiții de frontieră asociat

Planul comun al vectorilor tangentă într-un punct al suprafeței poartă denumirea de plan tangent. (Fig. 5.3). Vectorii  $P_u$ ,  $P_v$  și  $Q - P$ , se găsesc pe suprafață. Normala  $\bar{n}$  este perpendiculară pe orice vector din plan. Atunci, ecuația planului tangent se poate exprima sub forma:

$$\bar{n} \cdot (Q - P) = (P_u \times P_v) \cdot (Q - P) = 0 \quad (5.3)$$

Normala într-un punct al suprafeței este un vector perpendicular pe ambii vectori tangentă în punctul respectiv și se exprimă sub forma:

$$N(u, v) = \frac{\partial P}{\partial u} \times \frac{\partial P}{\partial v} = P_u \times P_v \quad (5.4)$$



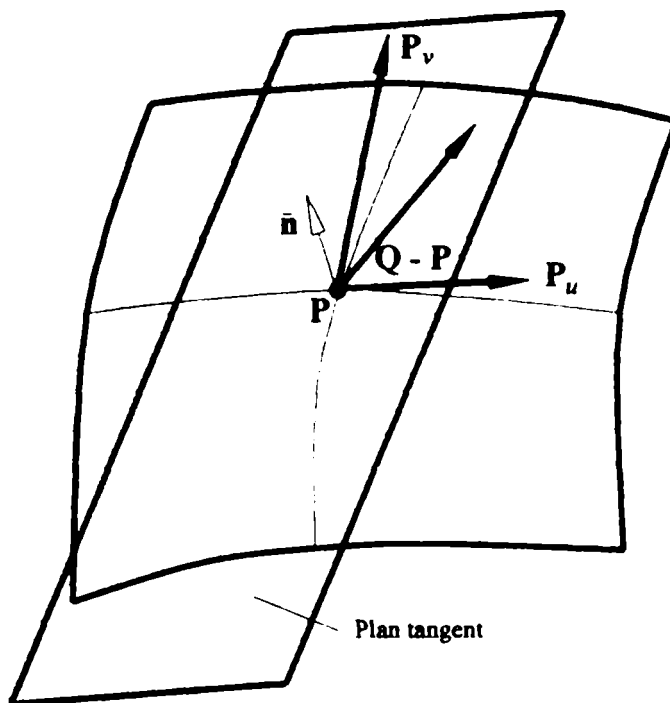


Fig. 5.3 Planul tangent la o suprafață

Relația pentru versorul normal este:

$$\bar{\mathbf{n}} = \frac{\mathbf{N}}{|\mathbf{N}|} = \frac{\mathbf{P}_u \times \mathbf{P}_v}{|\mathbf{P}_u \times \mathbf{P}_v|} \quad (5.5)$$

Sensul normalei sau al versorului normalei se alege în funcție de aplicație. În cazul prelucrării prin așchiere sensul lui  $\bar{\mathbf{n}}$  este de la suprafața de prelucrat spre exterior.

Două puncte de pe o suprafață curbă se pot uni pe suprafața respectivă printr-un număr mare de traiectorii diferite, cu lungimi diferite. Traietoriile de lungime minimă sunt analoge liniei drepte ce unește două puncte din spațiul euclidian și se numesc *geodezice*. Ele pot oferi informații pentru optimizarea planificării mișcării de-alungul unei suprafețe curbe în cazul prelucrării pe mașini cu control numeric, pentru programarea roboților etc.

Distanța infinitesimală dintre două puncte  $(u, v)$  și  $(u+du, v+dv)$  de pe o suprafață se obține cu relația:

$$ds^2 = \mathbf{P}_u \cdot \mathbf{P}_u du^2 + 2\mathbf{P}_u \cdot \mathbf{P}_v du dv + \mathbf{P}_v \cdot \mathbf{P}_v dv^2 \quad (5.6)$$

Ecuția (5.6) se numește și prima formă quadratică fundamentală a unei suprafețe și se mai scrie sub forma:

$$ds^2 = E du^2 + 2F du dv + G dv^2 \quad (5.7)$$

unde

$$E(u, v) = \mathbf{P}_u \cdot \mathbf{P}_u \quad F(u, v) = \mathbf{P}_u \cdot \mathbf{P}_v \quad G(u, v) = \mathbf{P}_v \cdot \mathbf{P}_v \quad (5.8)$$

E, F și G sunt primii coeficienți fundamentali, sau metrici, ai suprafeței. Acești coeficienți servesc la determinarea lungimilor și ariilor, precum și la specificarea direcțiilor și unghiurilor pe o suprafață.

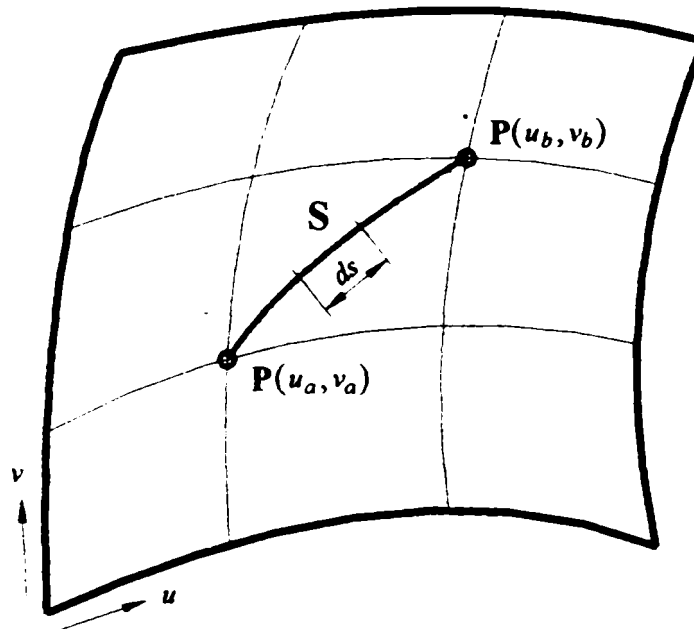


Fig. 5.4 Reprezentarea unui geodezic

Distanța dintre două puncte  $P(u_a, v_a)$  și  $P(u_b, v_b)$  (Fig. 5.4) se obține prin integrarea ecuației (5.8) de-a lungul unei traiectorii  $\{u = u(t), v = v(t)\}$  specificate pe suprafață:

$$S = \int_{t_a}^{t_b} \sqrt{Eu'^2 + 2Fu'v' + Gv'^2} dt \quad (5.9)$$

unde  $u' = du/dt$  și  $v' = dv/dt$ .

Minimul lui S este geodezicul dintre cele două puncte.

Există două categorii de suprafețe care pot fi reprezentate parametric: *analitice* și *sintetice*.

Suprafețele analitice se bazează pe entități modele de sârmă (wireframe) și cuprind suprafețele plane, suprafețele riglate, suprafețele de revoluție și suprafețele extrudate. În general suprafețele analitice nu satisfac necesitățile modelării suprafețelor complexe, fiind necesară utilizarea așa-ziselor suprafețe sintetice, neexprimabile în mod analitic.

Suprafețele sintetice sunt formate fiecare dintr-un set de puncte sau curbe și includ peticele bicubice, Bézier, B-spline și Coons. Există mai multe metode de generare a suprafețelor

sintetice cum ar fi: metoda produsului tensorial, metoda rațională și metoda îmbinării (blending). Metoda rațională dezvoltă suprafețele raționale ca o extensie a curbelor raționale. Metoda îmbinării (blending) aproximează o suprafață prin suprafețe pe porțiuni.

### 5.2.2 Suprafețe riglate, de revoluție și oarecare (sculptate). Suprafețe offset

Suprafețele (3D) care delimitează obiectele de lucru pot fi riglate, de revoluție sau oarecare (sculptate).

Se înțelege prin suprafață riglată o suprafață măturată de o dreaptă (generatoarea), care se deplasează astfel, încât două puncte ale sale se deplasează de-a lungul a două curbe aflate pe suprafață, denumite curbe directoare. Ecuația suprafeței riglate ( $S_R$ ) se poate exprima, utilizând doi parametri scalari  $0 \leq u \leq 1$  și  $0 \leq v \leq 1$ .

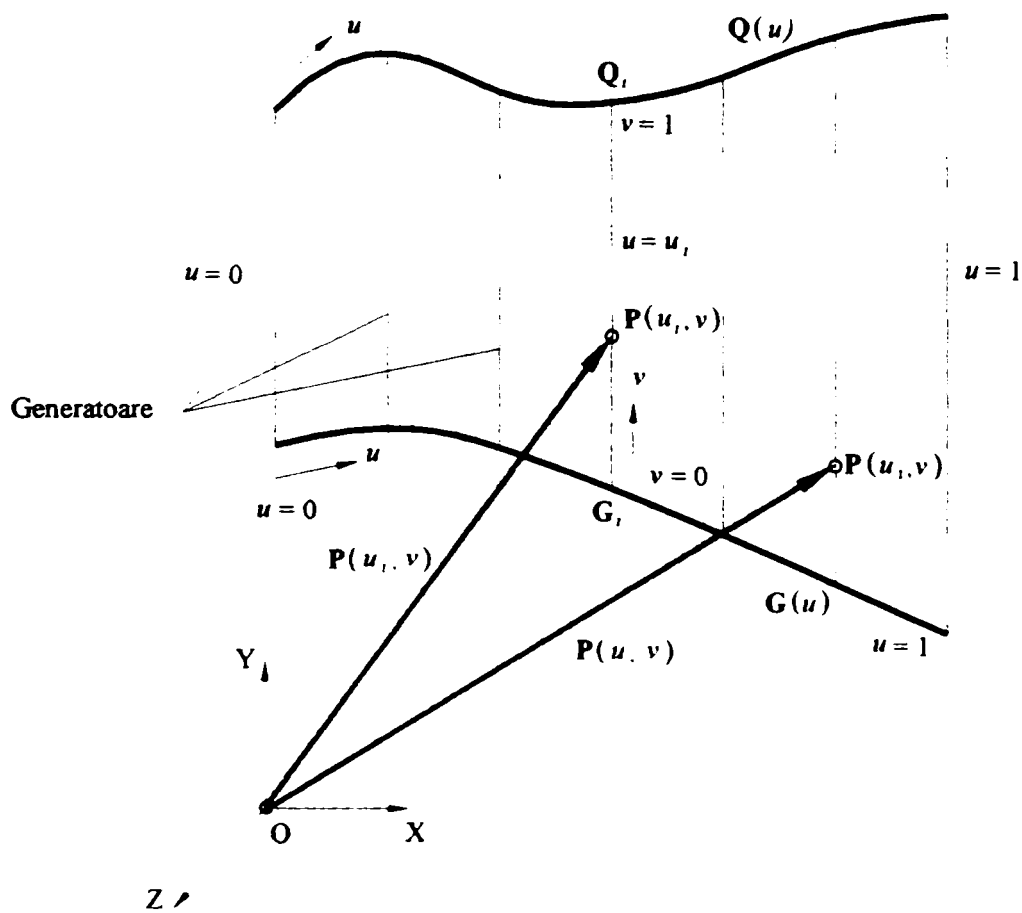


Fig. 5.5 Reprezentarea parametrică a suprafeței riglate  $S_R$

Dacă vectorii de poziție ai punctelor curente ale curbelor directoare (punctele de intersecție cu generatoarea) au expresia

$$\left. \begin{aligned} \bar{G} &= \bar{G}(u) \\ \bar{Q} &= \bar{Q}(v) \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

vectorul de poziție al unui punct curent pe generatoare are expresia

$$\bar{\mathbf{P}}(u, v) = (1 - v) \cdot \bar{\mathbf{G}}(u) + v \cdot \bar{\mathbf{Q}}(u) \quad (5.11)$$

Ecuția (5.11) este ecuația parametrică a suprafeței riglate  $S_R$  (Fig. 5.5).

Suprafața plană  $S_P$  este un caz particular al suprafeței riglate; în acest caz, curbele directoare sunt drepte paralele aflate în același plan.

În acest caz

$$\left. \begin{aligned} \bar{\mathbf{G}} &= (1 - u) \cdot \bar{\mathbf{G}}_2 + u \cdot \bar{\mathbf{G}}_1 \\ \bar{\mathbf{Q}} &= (1 - u) \cdot \bar{\mathbf{Q}}_2 + u \cdot \bar{\mathbf{Q}}_1 \end{aligned} \right\} \quad (5.12)$$

unde  $\bar{\mathbf{G}}_1, \bar{\mathbf{G}}_2, \bar{\mathbf{Q}}_1, \bar{\mathbf{Q}}_2$  sunt vectori de poziție ai dreptunghiului care delimitează suprafața plană (Fig. 5.6)

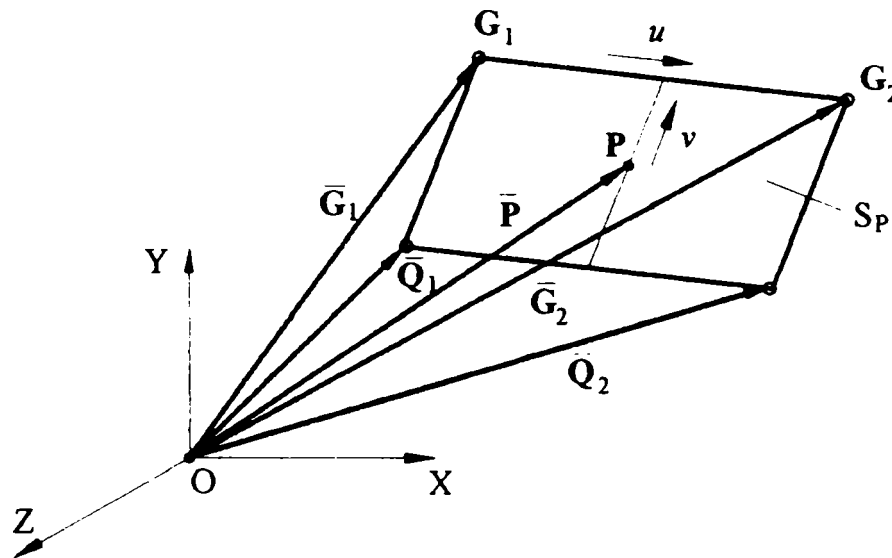


Fig. 5.6 Reprezentarea parametrică a suprafeței plane  $S_P$ , considerată ca suprafață riglată

Ecuția parametrică a suprafeței plane este dată de expresia vectorului de poziție al punctului curent:

$$\bar{\mathbf{P}}(u, v) = (1 - v) \left[ (1 - u) \cdot \bar{\mathbf{G}}_2 + u \cdot \bar{\mathbf{G}}_1 \right] + v \left[ (1 - u) \cdot \bar{\mathbf{Q}}_2 + u \cdot \bar{\mathbf{Q}}_1 \right] \quad (5.13)$$

Se numește *suprafață de revoluție* o suprafață generată prin rotirea unei curbe plane în jurul unei axe aflate în planul ei (Fig. 5.7)

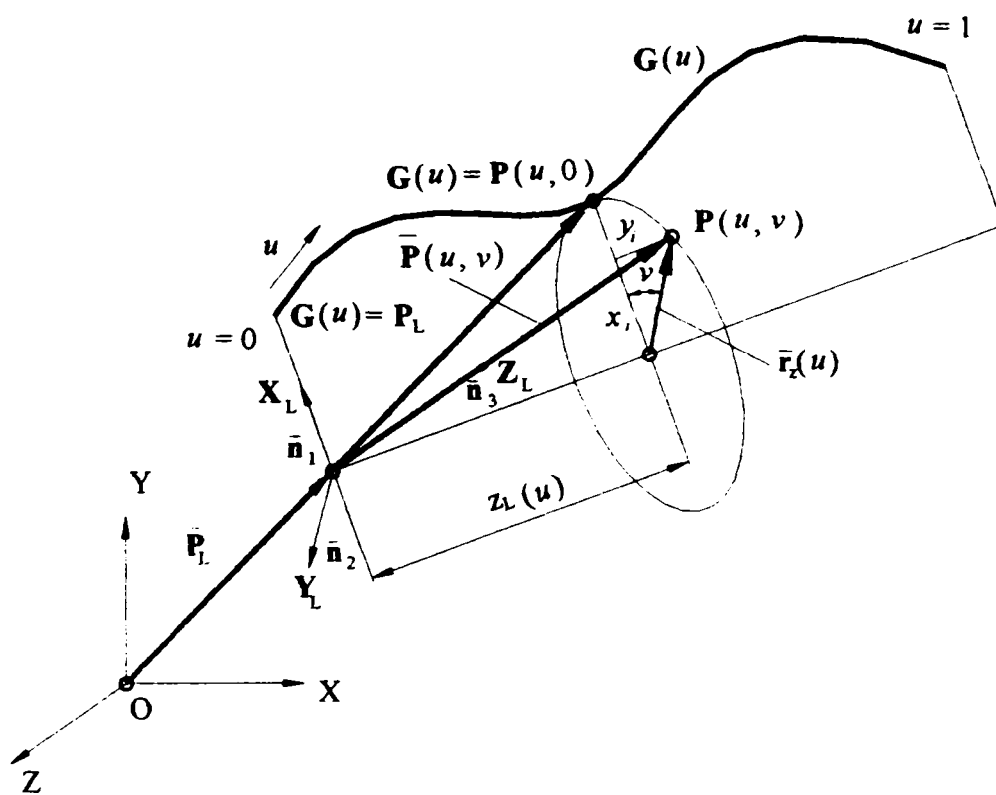
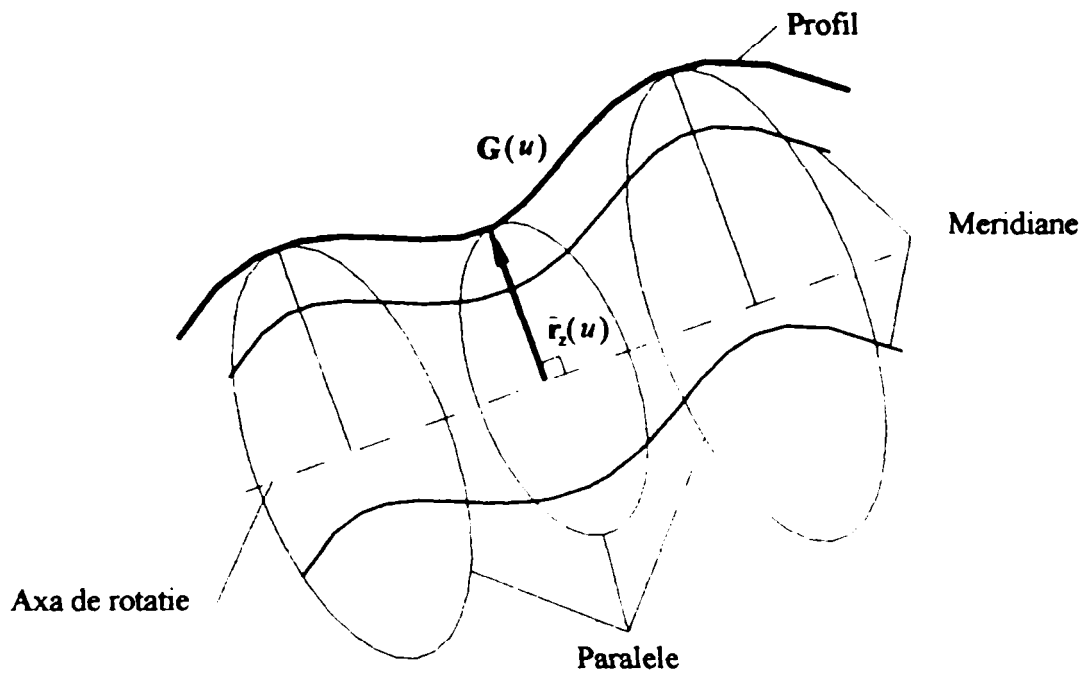


Fig. 5.7 Reprezentarea parametrică a unei suprafețe de revoluție

Vectorul de poziție al unui punct curent al suprafeței de revoluție are expresia

$$\bar{\mathbf{P}}(u, v) = r_z(u) \cdot \cos v \cdot \bar{\mathbf{n}}_1 + r_z(u) \cdot \sin v \cdot \bar{\mathbf{n}}_2 + z_L(u) \cdot \bar{\mathbf{n}}_3 \quad (5.14)$$

unde  $0 < u < 1$ ,  $0 < v < 1$  sunt parametri scalari.

Ecuția (5.14) este ecuația parametrică a suprafeței de revoluție  $S_{Re}$ .

Suprafețele cilindrice ( $S_C$ ) și tronconice ( $S_T$ ) sunt cazuri particulare ale suprafețelor de revoluție. În aceste cazuri, curba plană rotită în jurul axei este o dreaptă.

Se consideră suprafața tronconică ( $S_T$ ) din figura 5.8.

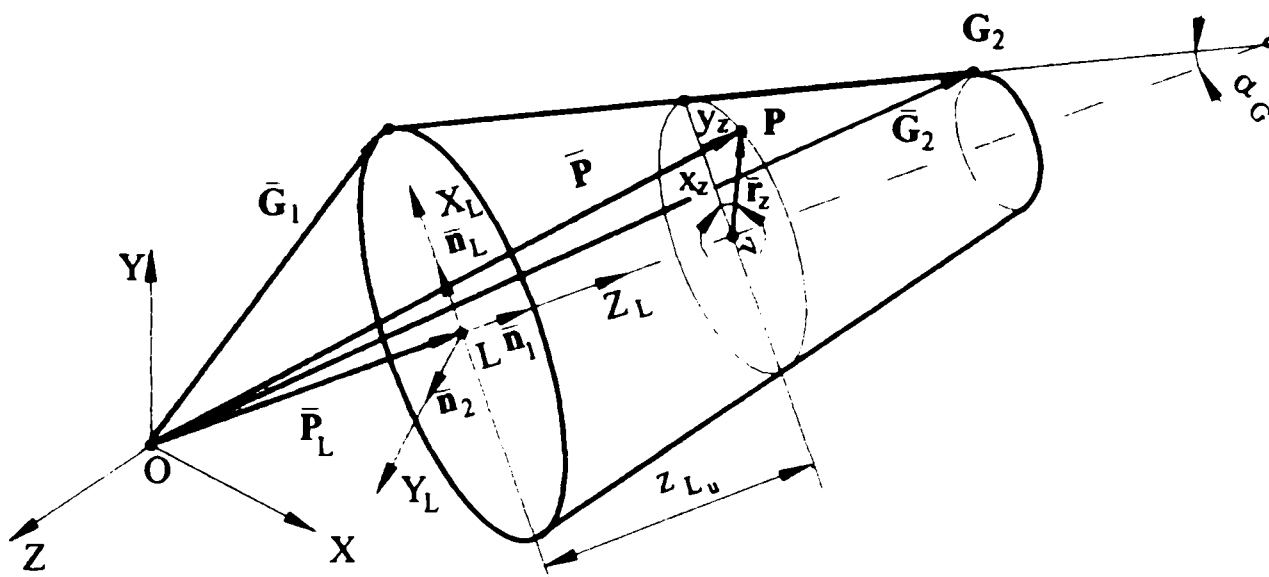


Fig. 5.8 Reprezentarea parametrică a unei suprafețe tronconice

Raza  $r_z$  va avea expresia

$$r_z = |\bar{G}_1 - \bar{P}_L| - \left| (1-u) \cdot \bar{G}_1 + u \cdot \bar{G}_2 \right| \cdot \sin \alpha_G \quad (5.15)$$

Cu acestea

$$\begin{aligned} \bar{P}(u, v) = & \left| \bar{G}_1 - \bar{P}_L \right| - \left| (1-u) \cdot \bar{G}_1 + u \cdot \bar{G}_2 \right| \cdot \sin \alpha_G \left( \cos v \cdot \bar{n}_1 + \sin v \cdot \bar{n}_2 \right) + \\ & + \left[ (1-u) \cdot \bar{G}_1 + u \cdot \bar{G}_2 \right] \cos \alpha_G \cdot \bar{n}_3 \end{aligned} \quad (5.16)$$

În cazul în care unghiul  $\alpha_G = 0$ , suprafața de revoluție va fi una cilindrică ( $S_C$ ). În expresiile (6.15) și (5.16)  $\sin \alpha_G = 0$  și  $\cos \alpha_G = 1$ .

Suprafețele conice și cilindrice pot fi considerate și suprafețe riglate. În acest caz dreapta în discuție este generatoare iar curbele directoare sunt cercuri.

Suprafețele oarecare (sculptate) sunt toate suprafețe (3D) care nu sunt nici riglate, nici de revoluție (Fig.5.9).

Vectorul de poziție al punctului curent P al suprafeței ( $S_{oa}$ ) are expresia

$$\bar{P}(u, v) = [x(u, v) \quad y(u, v) \quad z(u, v)]^T \quad 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1 \quad (5.17)$$

Vectorii tangenți pe curbele  $u = \text{const.}$ , respectiv  $v = \text{const.}$  aflate pe suprafața ( $S_{oa}$ ) au expresia:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\mathbf{P}}_u(u, v) &= \frac{\partial \bar{\mathbf{P}}}{\partial u} = \frac{\partial x}{\partial u} \bar{\mathbf{i}} + \frac{\partial y}{\partial u} \bar{\mathbf{j}} + \frac{\partial z}{\partial u} \bar{\mathbf{k}} \\ \bar{\mathbf{P}}_v(u, v) &= \frac{\partial \bar{\mathbf{P}}}{\partial v} = \frac{\partial x}{\partial v} \bar{\mathbf{i}} + \frac{\partial y}{\partial v} \bar{\mathbf{j}} + \frac{\partial z}{\partial v} \bar{\mathbf{k}} \end{aligned} \right\} \quad (5.18)$$

Ei definesc planul tangent  $(S_{PT})_P$  la  $(S_{oa})$  în punctul P, având ecuația

$$(\bar{\mathbf{P}}_u \times \bar{\mathbf{P}}_v) \cdot (\bar{\mathbf{Q}} - \bar{\mathbf{P}}) = 0 \quad (5.19)$$

unde Q este punctul curent al planului tangent, iar  $\bar{\mathbf{Q}}$ , vectorul lui de poziție și  $\bar{\mathbf{N}}$  vectorul normal în P la  $(S_{oa})$ , având expresia

$$\bar{\mathbf{N}} = \bar{\mathbf{P}}_u \times \bar{\mathbf{P}}_v \quad (5.20)$$

și versorul

$$\bar{\mathbf{n}} = \frac{\bar{\mathbf{N}}}{|\bar{\mathbf{N}}|} \quad (5.21)$$

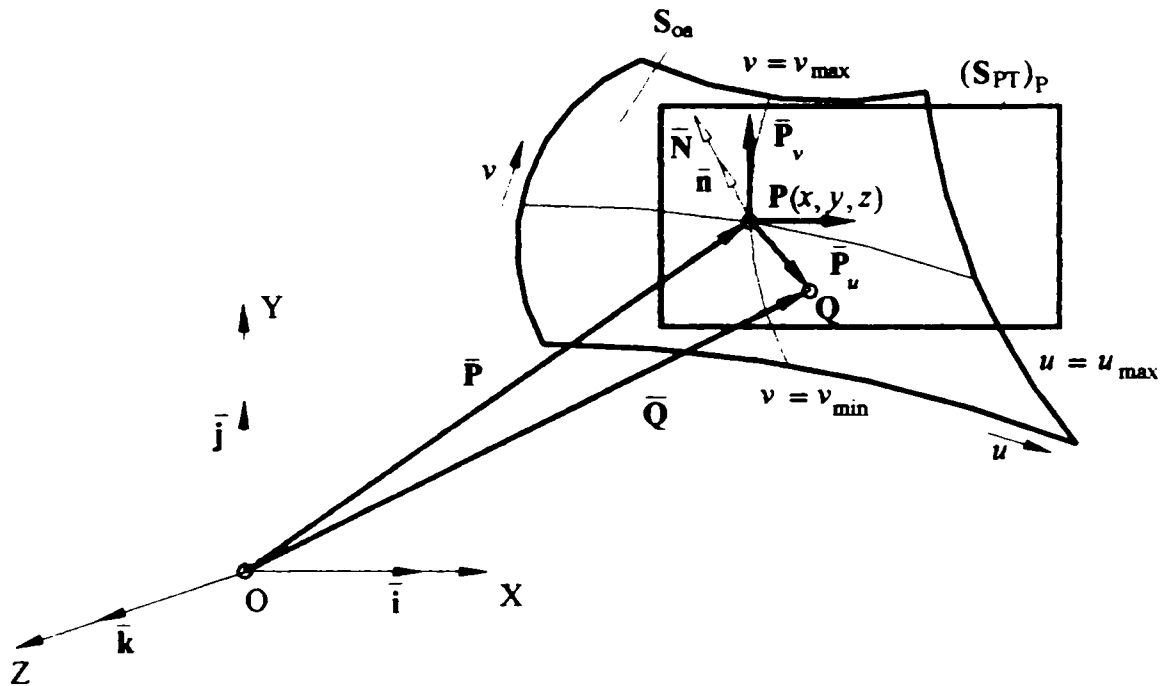


Fig. 5.9 Reprezentarea parametrică a unei suprafețe oarecare (sculptate)  $S_{oa}$

Se înțelege prin *suprafața offset* ( $O_{fs}$ ) a unei anumite suprafețe 3D de bază (S) locul geometric al punctelor care se găsesc pe normalele la suprafața de bază, ridicate la distanța  $d$  numită “offset” de punctele de pe suprafața de bază (Fig. 5.10)

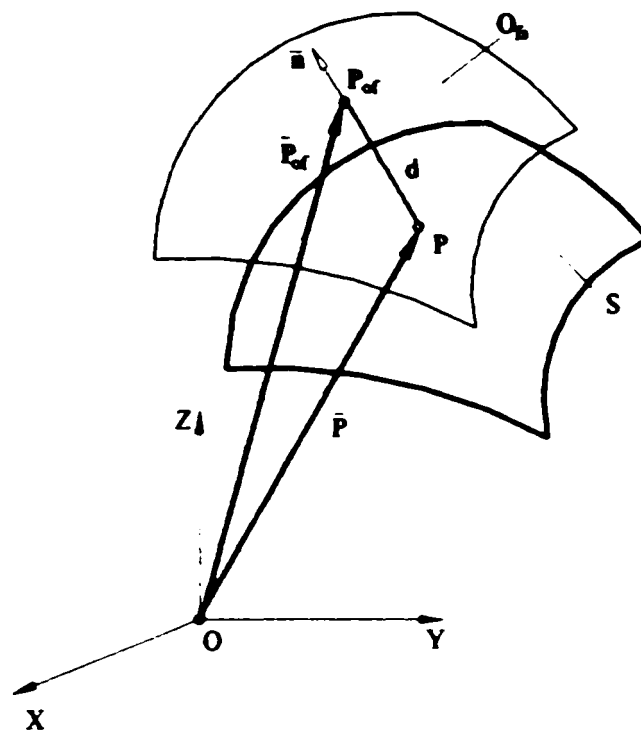


Fig. 5.10 Reprezentarea parametrică a suprafeței offset ( $O_{fs}$ ) a unei suprafețe de bază (S)

Vectorul de poziție al punctului curent a suprafeței offset ( $O_{fs}$ ) va avea expresia

$$\bar{P}_{of}(u, v) = \bar{P}(u, v) + d \cdot \bar{n} \quad (5.22)$$

unde  $\bar{P}(u, v)$  este vectorul de poziție al punctului curent al suprafeței (S),  $\bar{n}$  versorul normalei la (S) în P iar  $d$ , offsetul suprafeței.

### 5.3. Descrierea matematică a proceselor tehnologice de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor obiectelor de lucru

#### 5.3.1 Introducere

Definirea suprafețelor 3D prin intermediul unor ecuații parametrice a fost introdusă în vederea descrierii matematice a proceselor tehnologice de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor obiectelor de lucru.

În continuare se prezintă o metodă de exprimare a variației în timp a parametrilor  $u$  și  $v$  ai ecuațiilor parametrice care definesc suprafețele offset în discuție în funcție de parametrii procesului de aşchiere.

$$\left. \begin{array}{l} u = u(t) \\ v = v(t) \end{array} \right\} \quad (5.23)$$



Expresiile funcțiilor (5.23) depind de natura suprafeței, natura procesului de așchiere luat în considerare, geometria sculelor utilizate și de construcția echipamentelor tehnologice (mașini unelte, roboți industriali de prelucrare, dispozitive de lucru) cu ajutorul cărora se realizează procesul tehnologic de prelucrare prin așchiere al suprafeței.

În continuare se va discuta prelucrarea prin așchiere a suprafețelor plane, cilindrice, tronconice, elicoidale și oarecare, prin rabotare, strunjire, găurire și rectificare. Procedeele tehnologice de așchiere neluate în considerare pot fi descrise matematic relativ ușor pornind de la descrierea celor care se prezintă în continuare.

### 5.3.2. Descrierea matematică a prelucrării prin proces tehnologic de așchiere a suprafețelor plane

Suprafețele plane se pot prelucra prin așchiere prin procese tehnologice de rabotare, frezare cu freze cilindrice, respectiv frontale și rectificare.

În cazul prelucrării suprafețelor plane prin rabotare, tăișul cuțitului joacă rolul drepte care riglează suprafața (generatoarea), curbele directoare fiind în acest caz drepte paralele cu direcția de așchiere (Fig. 5.11).

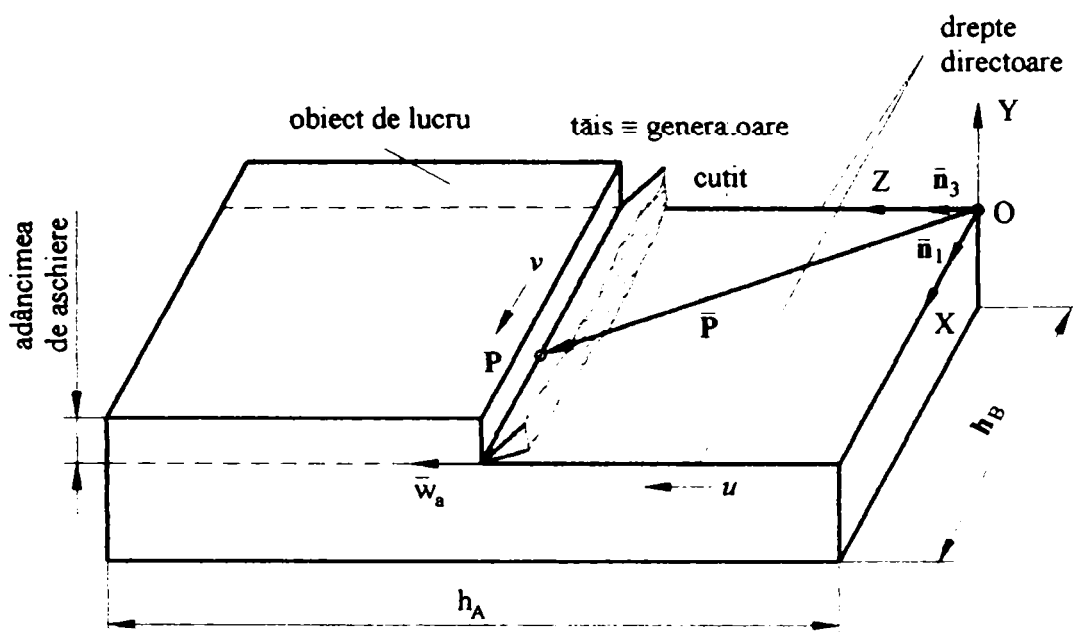


Fig. 5.11 Reprezentarea parametrică a prelucrării prin rabotare a unei suprafețe plane

Expresia parametrului  $u$  este dată de (5.24):

$$u = \frac{w_a}{h_A} t \quad 0 \leq t \leq t_{\text{recere}} \quad (5.24)$$

unde  $t$  este timpul,  $w_a$  viteza de așchiere,  $h_A$  lungimea cursei de așchiere a cuțitului.

Parametrul  $v$  ia toate valorile  $0 \leq v \leq 1$  pentru o anumită valoare a parametrului  $u$ .

Cu acestea, vectorul de poziție al punctului curent  $P$  al suprafeței ( $S_p$ ) are expresia

$$\bar{P} = u \cdot h_A \cdot \bar{n}_3 + v \cdot h_B \cdot \bar{n}_1 \quad (5.25)$$

În cazul prelucrării suprafeței plane prin frezare cu freză cilindrică, axa frezei este paralelă cu suprafața plană și se deplasează paralel cu sine însuși într-un plan paralel cu planul suprafeței de așchiat. Acest plan ( $O_{fs}$ ) constituie suprafața offset a suprafeței plane ( $S_p$ ), offsetul fiind egal cu raza frezei cilindrice (Fig. 5.12).

$$d = r_{fr} \quad (5.26)$$

Procesul de frezare a suprafeței plane ( $S_p$ ) se poate descrie matematic ca riglarea suprafeței ( $O_{fs}$ ) de către axa frezei cilindrice, care joacă rolul de generatoare. Curbele directoare sunt în acest caz două drepte paralele aflate în planul ( $O_{fs}$ ), perpendiculare pe direcția axei frezei cilindrice și paralele cu direcția de așchiere.

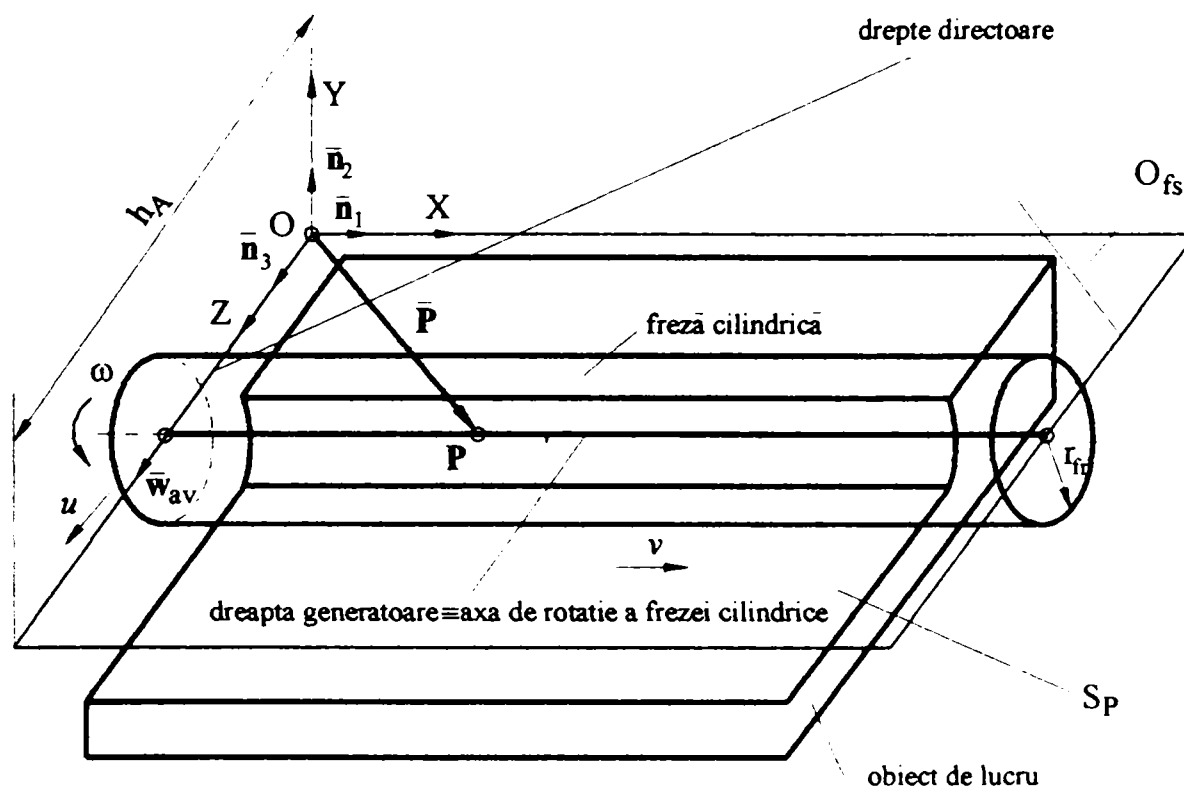


Fig. 5.12 Reprezentarea parametrică a prelucrării prin frezare cu o freză cilindrică a suprafeței plane ( $S_p$ ). Luarea în considerare a suprafeței offset ( $O_{fs}$ )

Valoarea parametrului  $u$  este dată de (5.27):

$$u = \frac{w_{av}}{h_A} t \quad 0 < t < t_{toccere} \quad (5.27)$$

unde  $w_{av}$  este viteza de avans de frezare ( $\vec{w}_{av}$  fiind perpendiculară pe axa frezei cilindrice),  $h_A$  cursa trecerii de frezare, iar  $t$  timpul,  $t_{trecere}$  timpul unei treceri.

Cu acestea, vectorul de poziție al punctului curent P are expresia din relația (5.25).

În mod obișnuit tășurile frezei cilindrice au forma unor elice, înfășurate pe suprafața cilindrică a frezei, cu pasul H (Fig. 5.13). Unghiul de pantă  $\beta$  al elicei are expresia

$$\beta = \arctg \frac{H}{2\pi r_f} \quad (5.28)$$

unde  $r_f$  este raza frezei cilindrice.

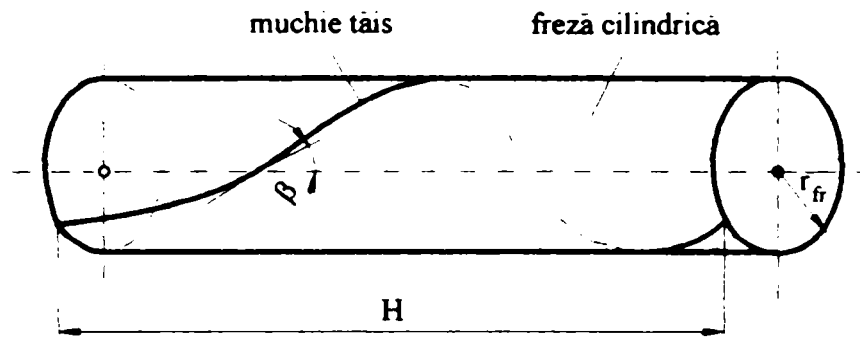


Fig. 5.13 Freză cilindrică având ca muchie tăiș o elice

Procesul de frezare a suprafeței plane  $S_P$  se poate descrie matematic și cu ajutorul suprafeței cilindrice ( $S_f$ ) (Fig. 5.14). Suprafața cilindrică ( $S_f$ ) este suprafața de trecere de la suprafața plană ( $S_{P_0}$ ) a semifabricatului, la suprafața plană ( $S_P$ ) a obiectului de lucru finit. Distanța dintre suprafețele ( $S_{P_0}$ ) și ( $S_P$ ), măsurată pe normala comună este adâncimea de așchiere. Suprafața ( $S_f$ ) este cea frezată la un moment dat, riglată de generatoarea constituită dintr-un arc al tășului elicoidal al frezei, dreptele directoare fiind intersecțiile suprafeței ( $S_f$ ) cu suprafețele plane ( $S_P$ ) și ( $S_{P_0}$ ).

Expresia parametrului  $v$  este dată de relația (5.29)

$$v = \frac{1}{h_B} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_f \cdot v_f \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{h_B} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_f^2 \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (5.29)$$

unde  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație a frezei cilindrice.

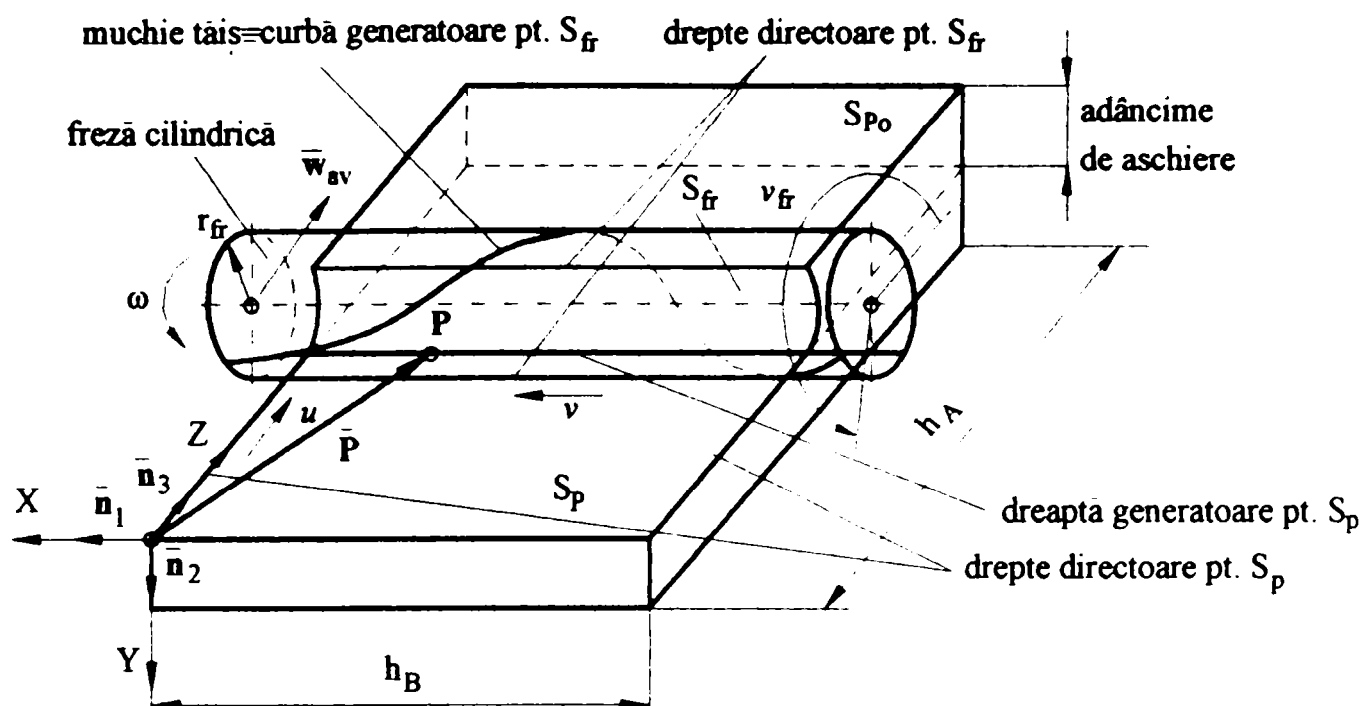


Fig. 5.14 Reprezentarea parametrică a frezării cu freză cilindrică a suprafeței plane ( $S_p$ ). Luarea în considerare a suprafeței frezate  $S_{fr}$ .

În momentul  $t_1 = t + \Delta t$ , suprafața  $S_{fr}$  este îndepărtată prin frezare, rezultând o altă suprafață  $S_{fr1}$ , translatată cu distanța  $w_{av} \cdot \Delta t$  față de  $S_{fr}$  ( $w_{av}$  fiind viteza de avans a frezei cilindrice, vector perpendicular pe axa frezei).

Suprafața  $S_p$  este riglată de dreapta tangentă a frezei cilindrice la ( $S_p$ ) ca generatoare, având ca drepte directoare două drepte aflate pe ( $S_p$ ), paralele cu vectorul  $w_{av}$ .

Expresia parametrului  $u$  este dată de relația (5.30):

$$u = \frac{w_{av}}{h_A} t \quad 0 < t < t_{trocere} \quad (5.30)$$

unde  $h_A$  are semnificația din (5.27).

În cazul prelucrării suprafeței plane ( $S_p$ ) prin frezare cu freză frontală, axa de rotație a frezei este perpendiculară pe suprafața ( $S_p$ ), iar tășurile  $T_I$ ,  $T_{II}$  etc. sunt drepte dispuse paralel cu ( $S_p$ ) la diferite distanțe (inclusiv 0), deci perpendiculare pe axa frezei, fiind radiale în puncte de concurență  $O_{fr}$  aflate pe axa frezei (Fig. 5.15).

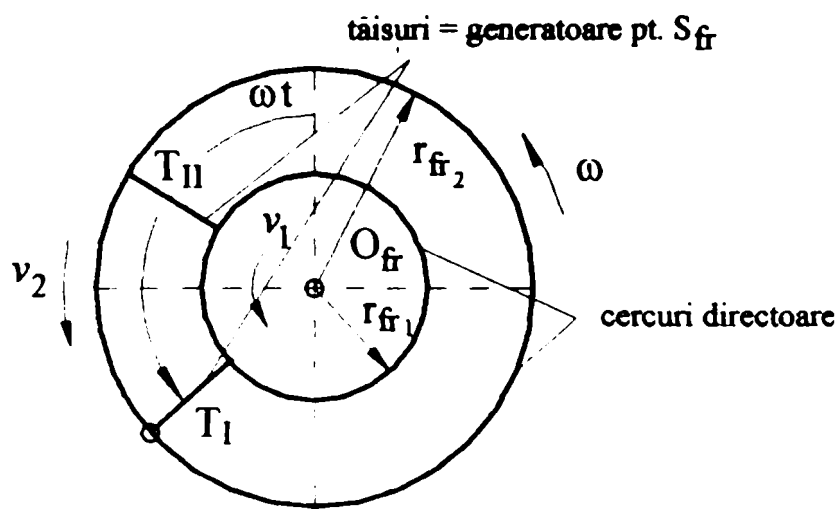


Fig. 5.15 Freză frontală

În cazul rotației frezei frontale în jurul axei sale, fiecare tăiș riclează câte o suprafață plană ( $S_{fr1}$ ), ( $S_{frII}$ ) etc. având rolul de generatoare, curbele directoare fiind cercurile de rază  $r_{fr1}$ ,  $r_{fr2}$  care delimitează tăișurile. Parametrii  $v_1$ ,  $v_2$  aferenți curbilor directoare au expresia (6.39)

$$v_i = r_{fr_i} \cdot \left( \frac{\omega \cdot t}{2\pi} - u \right) \cdot \frac{1}{h_B} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \text{numarul de rotatii complete} \quad (5.31)$$

mai mare decât 1

unde  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație a frezei, iar  $t$ , timpul.

Parametrul  $v_{fr}$  poate lua fiecare valoare a parametrului  $v$ , orice valoare între  $0 \leq v_{fr} \leq 1$ , unde 0 corespunde cercului de rază  $r_{fr1}$ , iar 1 cercului de rază  $r_{fr2}$ .

Suprafața ( $S_p$ ) este riglată de segmentul de dreaptă  $D$ , diametrul cercului de rază  $r_{fr2}$  perpendiculară pe  $\vec{w}_{av}$ , având ca drepte directoare, două drepte perpendiculare pe generatoarea  $D$  (Fig. 5.16).

Expresia parametrului  $u$  este dată de (5.32):

$$u = \frac{w_{av}}{h_A} t \quad 0 < t < t_{treccere} \quad (5.32)$$

unde  $\vec{w}_{av}$  este viteza de așchiere a frezei,  $h_A$  cursa de frezare, iar  $t$ , timpul.

Cu acestea

$$\vec{P} = \frac{2\pi}{\omega t} \cos v \cdot \vec{n}_1 + u \cdot h_A \cdot \vec{n}_3 \quad (5.33)$$

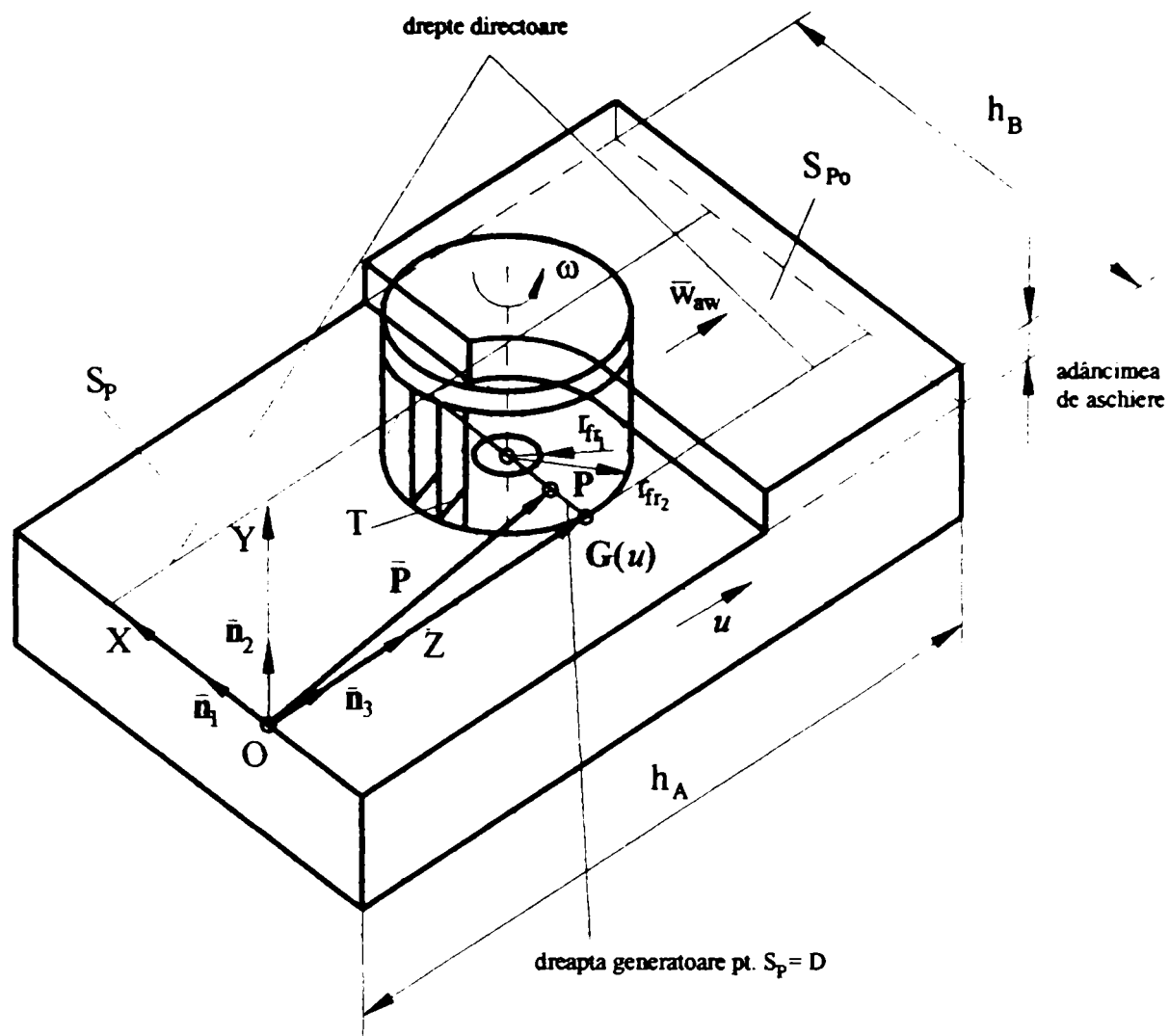


Fig. 5.16 Reprezentarea parametrică a frezării suprafeței plane ( $S_P$ )  
cu o freză frontală

### 5.3.3 Descrierea matematică a prelucrării prin proces tehnologic de aşchiere a suprafețelor riglate oarecare

Prelucrarea prin aşchiere a unei suprafețe riglate oarecare se poate realiza prin frezare cu freză cilindrică (Fig.5.17). Dreapta generatoare va fi în acest caz tangenta dintre cilindrul tăişurilor frezei și suprafața ( $S_R$ ). Pentru execuția operației de frezare, curbele directoare ale suprafeței ( $S_R$ ) trebuie să aibă razele de curbură  $\rho_i$  mai mari decât raza cilindrului tăişurilor frezei  $\rho_c$

$$\rho_i > \rho_c \cong r_{fr} \quad (5.34)$$

În timpul frezării, axa frezei cilindrice rigează o suprafață offset ( $O_{IR}$ ) a suprafeței ( $S_R$ ), offsetul fiind egal cu raza cilindrului tăişurilor frezei

$$d = r_{fr} \quad (5.35)$$

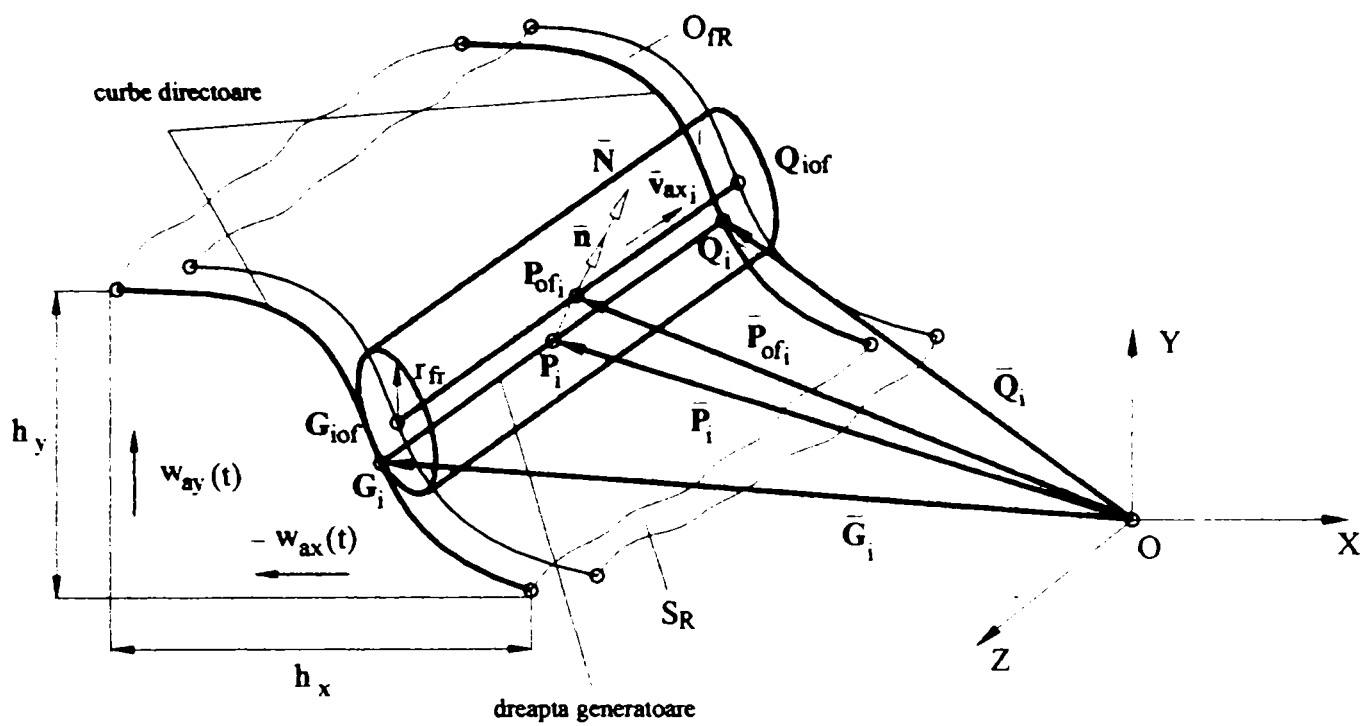


Fig. 5.17 Frezarea unei suprafețe riglate oarecare cu freză cilindrică

Vectorul de poziție al punctului curent  $P_i$  al suprafeței frezate este exprimat prin relația

$$\bar{\mathbf{P}}_i(u_i, v_i) = (1 - v_i) \cdot \bar{\mathbf{G}}(u_i) + v_i \cdot \bar{\mathbf{Q}}(u_i) \quad (5.36)$$

unde

$$u_i = u_i(t) = \left\{ \left[ \frac{-w_{ax}(t)}{h_x} \right]^2 + \left[ \frac{w_{ay}(t)}{h_y} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot t_i \quad (5.37)$$

și

$$v_i = v_i(t) = \frac{2\pi r_{fr}^2}{h_B} \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot t_i \quad (5.38)$$

Expresia vectorului de poziție al punctului curent exprimat în funcție de parametrii de așchiere este dată de relația

$$\bar{\mathbf{P}}_i = \left[ 1 - \left( \frac{2\pi r_{fr}}{h_B} \operatorname{tg} \beta \right) \right] \cdot \bar{\mathbf{G}} \left\{ \left[ \frac{w_{ax}(t_i)}{h_x} \right]^2 + \left[ \frac{w_{ay}(t_i)}{h_y} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} +$$

$$+ \left( \frac{2\pi r_{fr}}{h_B} \omega \cdot \operatorname{tg} \beta \right) \cdot \bar{Q} \left\{ \left[ \frac{w_{ax}(t_i)}{h_x} \right]^2 + \left[ \frac{w_{ay}(t_i)}{h_y} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5.39)$$

Vectorul de poziție al punctului curent  $P_{ofi}$  al suprafeței offset ( $O_{fr}$ ) este exprimat prin relația (5.40):

$$\begin{aligned} \bar{P}_{ofi}(u, v) &= \bar{P}(u, v) + r_{fr} \cdot \bar{n} = \bar{P}(u, v) + r_{fr} \cdot \frac{\partial \bar{P}}{\partial u} \times \frac{\partial \bar{P}}{\partial v} \cdot \frac{1}{\left| \frac{\partial \bar{P}}{\partial u} + \frac{\partial \bar{P}}{\partial v} \right|} = \\ (1-v)\bar{G}(u) + v\bar{Q}(u) + r_{fr} \cdot &\frac{\left[ (1-v) \cdot \frac{\partial \bar{G}}{\partial u} + v \cdot \frac{\partial \bar{Q}}{\partial u} \right] \times \left[ -\bar{G}(u) + \bar{Q}(u) \right]}{\left| \left[ (1-v) \cdot \frac{\partial \bar{G}}{\partial u} + v \cdot \frac{\partial \bar{Q}}{\partial u} \right] \times \left[ -\bar{G}(u) + \bar{Q}(u) \right] \right|} \end{aligned} \quad (5.40)$$

iar vectorul direcției axei frezei cilindrice la timpul  $t_i$  este exprimat prin relația (5.41):

$$\begin{aligned} \bar{V}_{axi} &= \bar{Q}_{i\ of}(u_i) - \bar{G}_{i\ of}(u_i) = \bar{Q}_i(u_i) + r_{fr} \cdot \frac{\frac{\partial \bar{Q}(u_i)}{\partial u} \times \left[ -\bar{G}(u_i) + \bar{Q}(u_i) \right]}{\left| \frac{\partial \bar{Q}(u_i)}{\partial u} \times \left[ -\bar{G}(u_i) + \bar{Q}(u_i) \right] \right|} - \\ &-\bar{G}_i(u_i) + r_{fr} \cdot \frac{\frac{\partial \bar{Q}(u_i)}{\partial u} \times \left[ -\bar{G}(u_i) + \bar{Q}(u_i) \right]}{\left| \frac{\partial \bar{Q}(u_i)}{\partial u} \times \left[ -\bar{G}(u_i) + \bar{Q}(u_i) \right] \right|} \end{aligned} \quad (5.41)$$

### 5.3.4 Descrierea matematică a prelucrării prin proces tehnologic de aşchiere a suprafețelor de revoluție

Prelucrarea prin aşchiere a unei suprafețe de revoluție se realizează de regulă prin strunjire (Fig. 5.18).

Tăișul  $T_i$  al cuțitului de strung în situația  $i$  (definită prin distanța  $L_i$ ) rigează ca generatoare suprafața  $S_{Si}$ , având ca și curbe directoare cercul de rază  $r_{fi}$ , cu centrul în  $O_i$ , aflat la distanța  $L_i$  de punctul de origine  $O$  de pe axa cilindrului și cercul de rază  $r_{si}$ , cu centrul în  $O_i'$ , aflat la distanța  $L_i + \Delta L_i$  de  $O$ .  $\Delta L_i$  este înălțimea trunchiului de con având ca suprafață laterală  $S_{Si}$ .

Parametrul  $v$  pentru mișcarea generatoarei este unghiular ( $0 \leq v \leq \frac{2\pi}{\omega t}$ ,  $\omega$  fiind viteza



unghiulară de rotație a semifabricatului), iar parametrul  $v$ , pentru mișcarea punctului P în lungul tăișului poate lua orice valori între 0 și 1 pentru fiecare valoare a parametrului  $v$ .

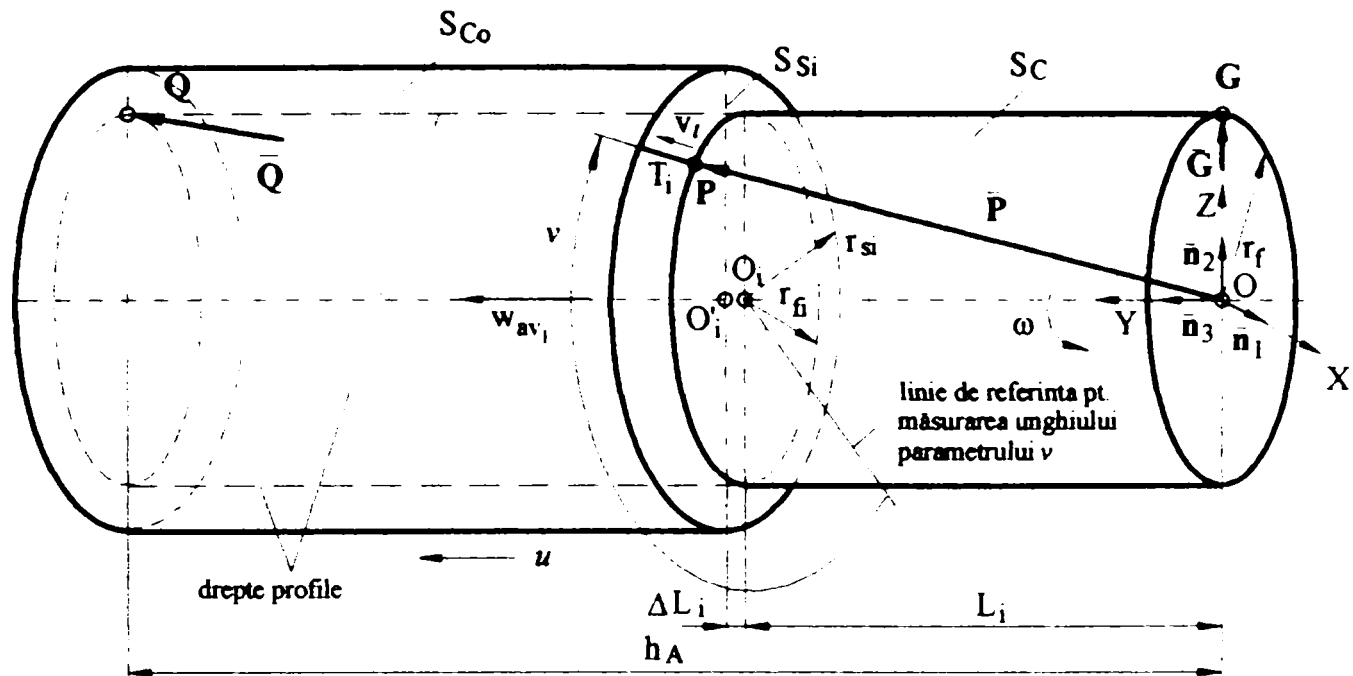


Fig. 5.18 Reprezentarea parametrică a strunjirii unei suprafețe cilindrice exterioare ( $S_C$ )

După o rotație a semifabricatului, suprafața ( $S_{Si}$ ) se poate considera îndepărtată și tăișul va rigla o altă suprafață tronconică similară cu ( $S_{Si}$ ), deplasată față de aceasta cu avansul longitudinal  $av_i$  al cuțitului, realizat în decursul unei rotații a semifabricatului.

Raționamentul de mai sus este aproximativ, el a fost prezentat în modul descris pentru a se include în demersul general al reprezentării parametrice a proceselor tehnologice de prelucrare a suprafețelor. În realitate suprafața riglată ( $S_{Si}$ ) este o suprafață elicoidală, curbele directoare ale generatoarei care riglează suprafața (tăișul  $T_i$ ) sunt niște curbe elicoidale circulare, cu razele  $r_{fi}$  și  $r_{si}$  și pasul  $av_i$ .

Suprafața  $S_C$  este măturată de paralela – cercul de rază  $r_i$  (parametrul  $v$ ) - care se deplasează în lungul a două generatoare diametral opuse ale cilindrului, având rolul de profile, parametrul aferent acestei mișcări fiind dat de expresia (5.42):

$$u = \frac{w_{av_i}}{h_A} \cdot t \quad 0 < t < t_{rocere} \quad (5.42)$$

unde  $w_{av_i}$  este viteza avansului longitudinal al cuțitului, iar  $h_A$ , cursa de așchiere executată.

Cu acestea

$$\bar{\mathbf{P}} = (r_{Si} \cdot \cos \nu) \cdot \bar{\mathbf{n}}_1 + (r_{Si} \cdot \sin \nu) \cdot \bar{\mathbf{n}}_2 + u \cdot h_A \cdot \bar{\mathbf{n}}_3 \quad (5.43)$$

unde  $L_i = u \cdot h_A$

În cazul în care

$$av_{i_i} > \Delta L_i \quad (5.44)$$

suprafața elicoidală ( $S_{Si}$ ) nu va mai fi îndepărtată la rotația următoare a semifabricatului și se va prelucra prin așchiere spre ex. o suprafață elicoidală pe o parte aparținând unui filet cilindric trapezoidal cu diametrul exterior  $2r_{Si}$  și diametrul interior  $2r_{fi}$ .

O suprafață cilindrică interioară se poate prelucra prin găurire sau strunjire.

În cazul găuririi (Fig. 5.19), tăișul  $T_i$  ca generatoare rigează o suprafață circulară conică interioară  $S_{gi}$  cu unghiul la vârf  $2\alpha$ , având ca și curbe directoare cercul de rază  $r_f$  cu centrul în  $O_i$  la distanța  $L_i$  de punctul de referință  $O$  și cercul de rază nulă redus la punctul  $O_{ci}$ . Suprafața

riglată este descrisă prin parametrul unghiular  $\nu$  ( $0 \leq \nu \leq \frac{2\pi}{\omega t}$ ),  $\omega$  fiind viteza unghiulară de

rotație a burghiului și parametrul  $\nu_r$  al mișcării punctului  $P$  în lungul tăișului (generatoare), care poate lua orice valoare ( $0 \leq \nu_r \leq 1$ ) pentru fiecare valoare a parametrului  $\nu$ .

Luând în considerare avansul de găurire ( $av_{g1}$  pentru o rotație a burghiului), suprafața  $S_{gi}$  este (ca și în cazul strunjirii suprafeței cilindrice exterioare) o suprafață elicoidală circulară cu pasul  $av_{g1}$ , care va fi îndepărtată la următoarea rotație a burghiului.

Suprafața cilindrică interioară  $S_C$  este măturată de paralela – cercul de rază  $r_f$  care se deplasează în lungul profilelor constituite de două generatoare diametral opuse ale suprafeței cilindrice interioare, parametrul acestei mișcări fiind dat de expresia (5.45):

$$u = \frac{w_{avg}}{h_A} t \quad 0 < t < t_{treccere} \quad (5.45)$$

unde  $\bar{w}_{avg}$  este viteza de avans de găurire, iar  $h_A$ , adâncimea găurii.

Cu acestea, expresia vectorului de poziție al punctului curent de pe suprafața ( $S_C$ ),  $\bar{\mathbf{P}}$  este tot (5.36).

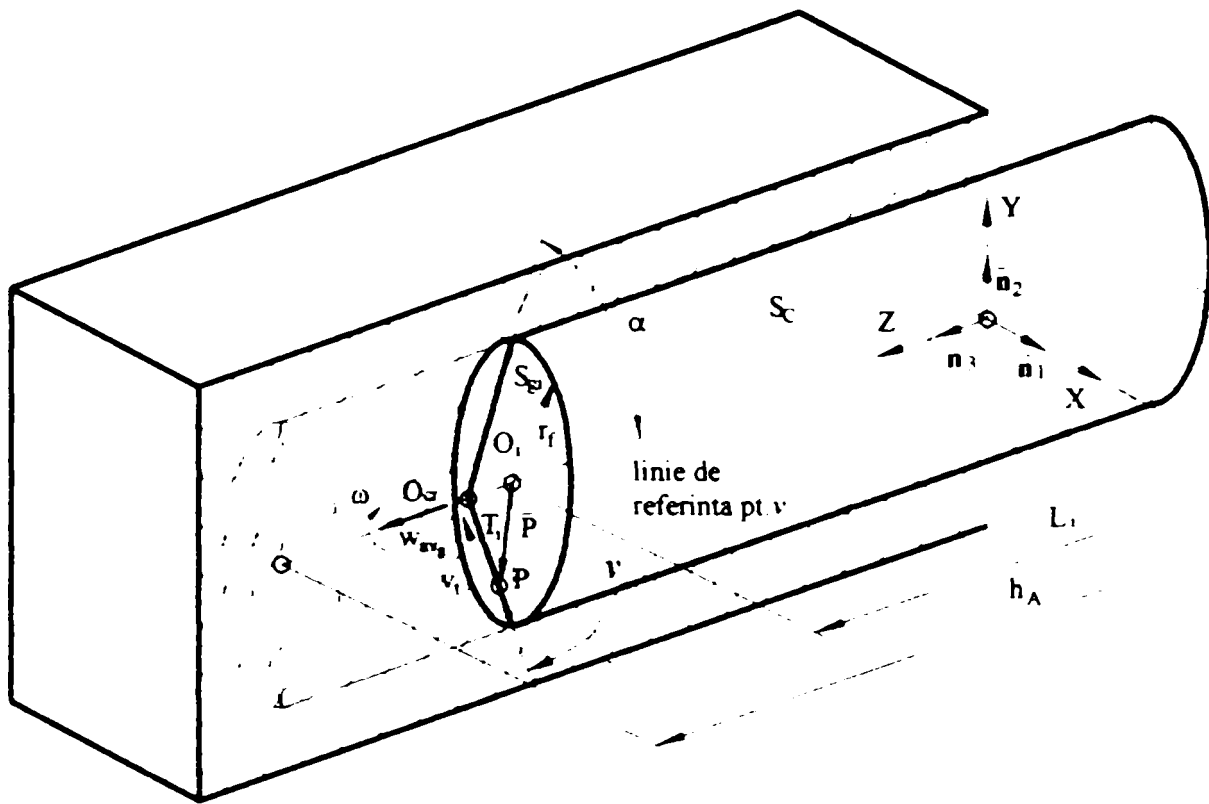


Fig. 5.19 Reprezentarea parametrică a prelucrării prin găurire a unei suprafețe cilindrice interioare

În cazul strunjirii unei suprafețe cilindrice interioare, se pornește de la un semifabricat având o altă suprafață cilindrică interioară, de diametru mai mic decât diametrul suprafeței cilindrice interioare a obiectului de lucru finit.

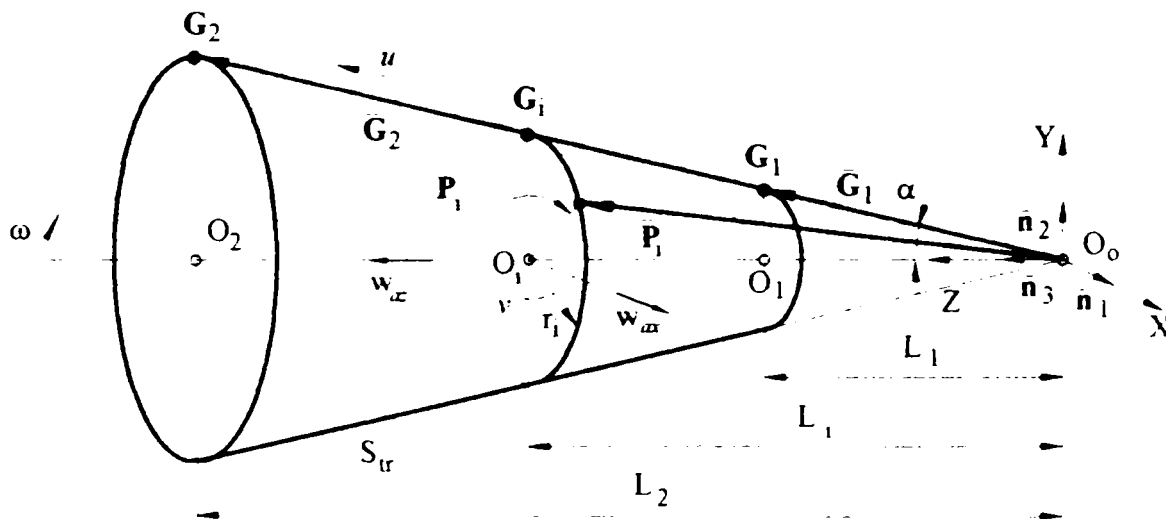


Fig. 5.20 Reprezentarea parametrică a prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice exterioare ( $S_{tr}$ )

Reprezentarea parametrică a prelucrării prin strunjire a suprafeței cilindrice interioare se poate face în mod similar cu reprezentarea prelucrării prin strunjire a suprafeței cilindrice exterioare.

Suprafața cilindrică exterioară este cazul particular al unei suprafețe conice exterioare, când unghiul la vârf al conului  $2\alpha = 0$ . În consecință principiul reprezentării parametrice a strunjirii unei suprafețe cilindrice se aplică și pentru reprezentarea parametrică a strunjirii unei suprafețe conice (tronconice) (Fig. 5.20).

Presupunând că semifabricatul are o suprafață conică exterioară cu generatoarele paralele cu generatoarea obiectului finit, suprafața  $S_{Si}$  riglată de tăișul  $T_i$  (Fig. 5.18) este o suprafață elicoidală conică, parametrul  $v$  care descrie mișcarea fiind dat de expresia

$$v = \frac{\omega t}{2\pi} - n \quad (5.46)$$

unde  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație a semifabricatului în timpul strunjirii,  $t$ , timpul, iar  $n$ , numărul rotațiilor complete efectuate de semifabricat în timpul  $t$ .

Suprafața trunchiului de con se generează de cercul – paralelă de rază  $r_i$  variabilă, care se deplasează ghidat fiind de profile constituite din două generatoare (diametral opuse) ale trunchiului de con, parametrul care descrie mișcarea fiind  $u$ , a cărei expresie este dată de relația (5.47):

$$u_i = u_i(t_i) = \frac{L_i - L_1}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{L_2 - L_1} = \frac{\bar{w}_{az} \cdot t - L_1}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{L_2 - L_1} \quad (5.47)$$

unde  $\bar{w}_{az}$  este viteza avansului longitudinal al cuțitului.

Viteza avansului radial al cuțitului are expresia

$$|\bar{w}_{ax}| = |\bar{w}_{az}| \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5.48)$$

Raza  $r_i$  a cercului secțiune aflat la distanța  $L_i$  de punctul  $O$  este dată de expresia

$$r_i = L_i \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5.49)$$

Cu acestea, vectorul de poziție al punctului curent  $P_i$  al suprafeței  $S_{ir}$  va avea expresia

$$\begin{aligned} \bar{P}_i &= L_i \cdot \left[ (\cos v_i \cdot \bar{n}_1 + \sin v_i \cdot \bar{n}_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha + \bar{n}_3 \right] = \\ &= [u_i \cdot (L_2 - L_1) \cos \varepsilon + L_1] \cdot \left[ \cos v_i \cdot \bar{n}_1 + \sin v_i \cdot \bar{n}_2 \right] \cdot \operatorname{tg} \alpha + \bar{n}_3 \end{aligned} \quad (5.50)$$

Reprezentarea parametrică a prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice interioare se face în mod similar cu cea a unei suprafețe tronconice exterioare.

Prelucrarea prin strunjire a unei suprafețe de revoluție oarecare se poate descrie prin generalizarea reprezentării parametrice a prelucrării unei suprafețe tronconice exterioare sau interioare (Fig. 5.21).

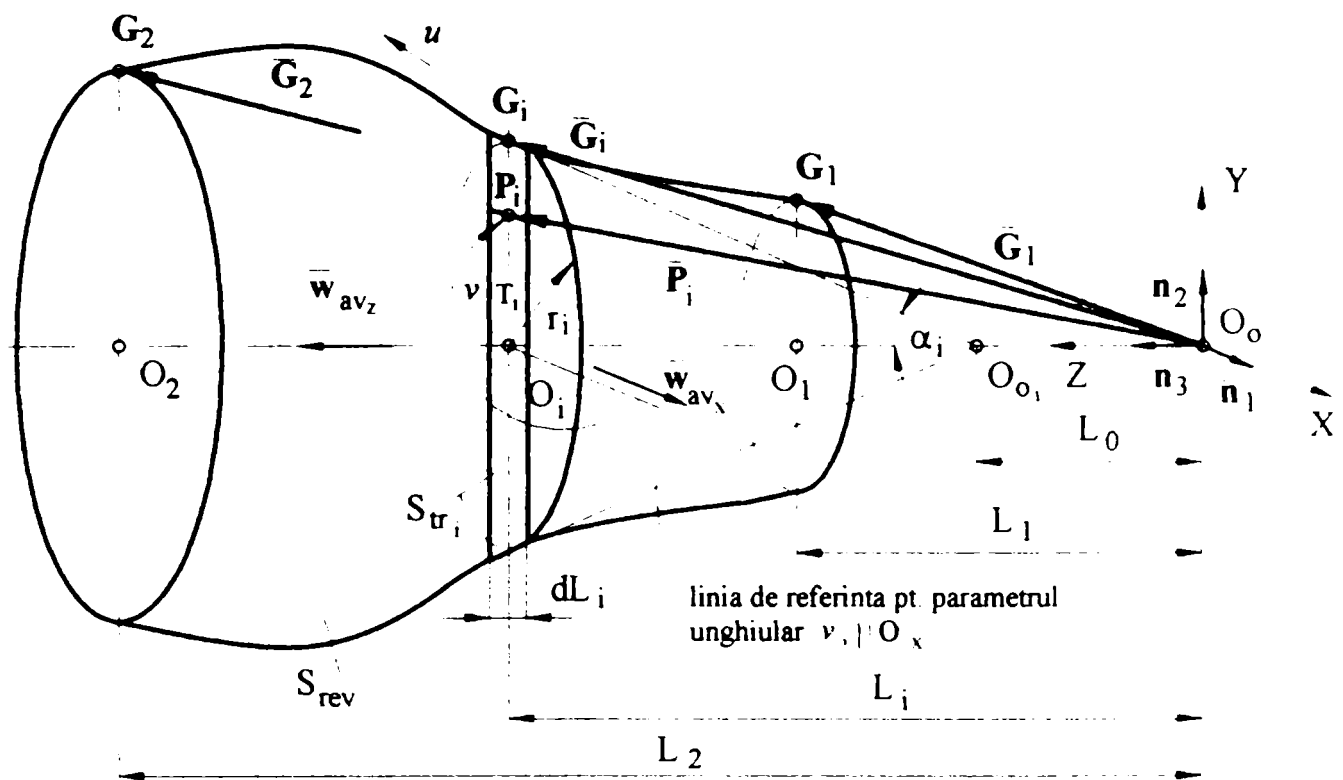


Fig. 5.21 Reprezentarea parametrică a prelucrării prin strunjire a unei suprafețe de revoluție oarecare

Suprafața de revoluție ( $S_{rev}$ ) se poate considera ca fiind compusă dintr-o infinitate de suprafețe tronconice infinitezimale ( $S_{tr_i}$ ) de înălțime  $dL_i$  tangente la suprafața de revoluție după un cerc paralel. Unghiul la vârf al suprafeței tronconice infinitezimale ( $S_{tr_i}$ ) este dată de expresia (5.51)

$$\alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{d\bar{G}_i}{du} \quad (5.51)$$

unde

$$\bar{G} = \bar{G}(u) \quad (5.52)$$

este ecuația parametrică a profilului suprafeței riglate, iar

$$\bar{G}_i = \bar{G}_i(u) \quad (5.53)$$

vectorul de poziție al punctului de tangență al profilului cu cercul-paralelă cu centrul în  $O_i$ .

Ca urmare, relațiile deduse pentru reprezentarea parametrică prin strunjire a suprafeței tronconice sunt aplicabile și pentru reprezentarea parametrică a strunjirii suprafeței de revoluție oarecare ( $S_{rev}$ ), cu observația că poziția punctului  $O_{0i}$ , vârful suprafeței conice

instantanee ( $S_{wi}$ ) și unghiul la vârf  $\alpha_i$  al acestei suprafețe variază în conformitate cu expresia (5.54).

Lungimea totală a arcului profilului (delimitat de punctele  $G_1$  și  $G_2$ ) este

$$l_{12} = \int_{G_1}^{G_2} \left| \frac{d\bar{G}}{du} \right| du \quad (5.55)$$

Distanțele  $L_0, L_1, L_2$ , sunt date de sistemul (5.51)

$$\left. \begin{aligned} L_0 &= \bar{G}_0(u_0) \cdot \bar{n}_3 \\ L_1 &= \bar{G}_1(u_1) \cdot \bar{n}_3 \\ L_2 &= \bar{G}_2(u_2) \cdot \bar{n}_3 \end{aligned} \right\} \quad (5.56)$$

iar vectorul de poziție al punctului  $G_i$  are expresia

$$\bar{G}_i = (1 - u_i) \cdot \bar{G}_2 + u_i \cdot \bar{G}_1 \quad 0 \leq u_i \leq 1 \quad (5.57)$$

Valoarea  $u_i$  a parametrului  $u$  se va calcula cu relația (5.53):

$$u_i = \int_1^i \frac{w_{sz} dt}{\cos \alpha_i} \cdot \frac{1}{\int_{G_1}^{G_2} \left| \frac{d\bar{G}}{du} \right| du} \quad (5.58)$$

unde  $\bar{w}_{sz}$  este viteza avansului longitudinal al cuțitului. Viteza avansului radial al cuțitului va fi

$$\left| \bar{w}_{sx} \right| = \left| \bar{w}_{sz} \right| \cdot \operatorname{tg} \alpha_i \quad (5.59)$$

Raza cercului paralelă va avea expresia

$$r_i = (L_i - L_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha_i \quad (5.60)$$

Cu acestea, vectorul de poziție al punctului curent  $P_i$  al suprafeței de revoluție ( $S_{rev}$ ) va fi dată de expresia

$$\begin{aligned} \bar{P}_i &= \left\{ \left[ (1 - u_i) \cdot \bar{G}_2 + u_i \cdot \bar{G}_1 \right] \cdot \bar{n}_3 - L_1 \right\} \cdot \left[ \cos v_i \cdot \bar{n}_1 + \sin v_i \cdot \bar{n}_2 \right] + \\ &+ \left[ (1 - u_i) \cdot \bar{G}_2 - u_i \cdot \bar{G}_1 \right] \cdot \bar{n}_3 \end{aligned} \quad (5.61)$$

sau ținând cont de parametrii de așchiere

$$\begin{aligned} \bar{P}_i &= \left\{ \left[ \left[ 1 - \int \frac{w_{sz} dt}{\cos \alpha_i} \cdot \left( \int_{G_1}^{G_2} \left| \frac{d\bar{G}}{du} \right| du \right)^{-1} \right] \cdot \bar{G}_2 + \right. \right. \\ &\left. \left. + \left[ \int \frac{w_z dt}{\cos \alpha_i} \cdot \left( \int_{G_1}^{G_2} \left| \frac{d\bar{G}}{du} \right| du \right)^{-1} \right] \cdot \bar{G}_1 \right\} \cdot \bar{n}_3 - L_1 \right\} \cdot \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \left[ \cos\left(\frac{\omega t_i}{2\pi} - n_i\right) \cdot \bar{\mathbf{n}}_1 + \sin\left(\frac{\omega t_i}{2\pi} - n_i\right) \cdot \bar{\mathbf{n}}_2 \right] + \\
& + \left[ 1 - \int_1^{\frac{w_{avz}}{\cos \alpha_i}} dt \cdot \left( \int_{G_1}^{G_2} \left| \frac{d\bar{\mathbf{G}}}{du} \right| du \right)^{-1} \right] \cdot \bar{\mathbf{G}}_2 - \\
& - \left[ \int_1^{\frac{w_{avz}}{\cos \alpha_i}} dt \cdot \left( \int_{G_1}^{G_2} \left| \frac{d\bar{\mathbf{G}}}{du} \right| du \right)^{-1} \right] \cdot \bar{\mathbf{G}}_1
\end{aligned} \tag{5.62}$$

### 5.3.5 Descrierea matematică a prelucrării prin aşchiere a unei suprafeţe oarecare (sculptate)

Suprafeţele oarecare se pot prelucra prin proces de aşchiere, folosindu-se în acest scop ca şi scule freze cilindrice, freze frontale (cilindro-frontale), sferice sau toroidale.

Situarea relativă la un timp  $t_i$  dat a sculei în raport cu obiectul de lucru a cărui suprafaţă se prelucrează se defineşte cu ajutorul punctului său caracteristic şi a dreptei sale caracteristice. Prin analogie cu definirea acestor noţiuni în Robotică, **punctul caracteristic** este un punct al sculei cu ajutorul căruia se defineşte poziţia acesteia, iar **dreapta caracteristică**, o dreaptă a sculei, care trece în mod obişnuit prin punctul caracteristic şi serveşte la definirea orientării sculei.

În decursul prelucrării prin aşchiere, punctul caracteristic al sculei se deplasează pe o suprafaţă offset faţă de suprafaţa prelucrată, dimensiunea offsetului depinzând de alegerea poziţiei punctului caracteristic în raport cu suprafaţa care conţine tăişurile sculei.

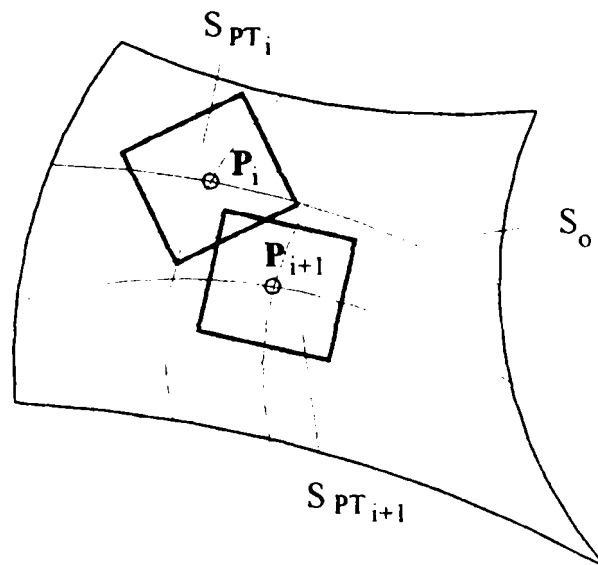


Fig. 5.22 Suprafaţa ( $S_0$ ) rezultă ca înfăşurătoare a suprafeţelor tangente în  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

În cazul prelucrării suprafețelor oarecare (sculptate,  $S_o$ ) cu ajutorul unor freze cilindrice sau frontale (cilindro-frontale), pentru o anumită poziție a punctului curent  $P_i$  pe suprafață, scula prelucrează de fapt o suprafață plană de dimensiuni mici tangentă în punctul  $P_i$  la ( $S_o$ ). Pentru o poziție  $P_{i+1}$ , vecină a punctului curent, suprafața plană tangentă va avea o altă situație. Suprafața ( $S_o$ ) rezultă ca înfășurătoarea mulțimii de suprafețe de dimensiuni mici, prelucrate. Distanțele  $P_i P_{i+1}$  se aleg în funcție de toleranțele dimensionale și de formă ale ( $S_o$ ) (Fig. 5.22). În figura 5.23 se prezintă prelucrarea unei suprafețe oarecare (sculptată,  $S_o$ ) cu ajutorul unei freze cilindrice. Punctul caracteristic al frezei cilindrice se găsește pe axa acesteia, iar dreapta caracteristică a frezei coincide cu axa ei.

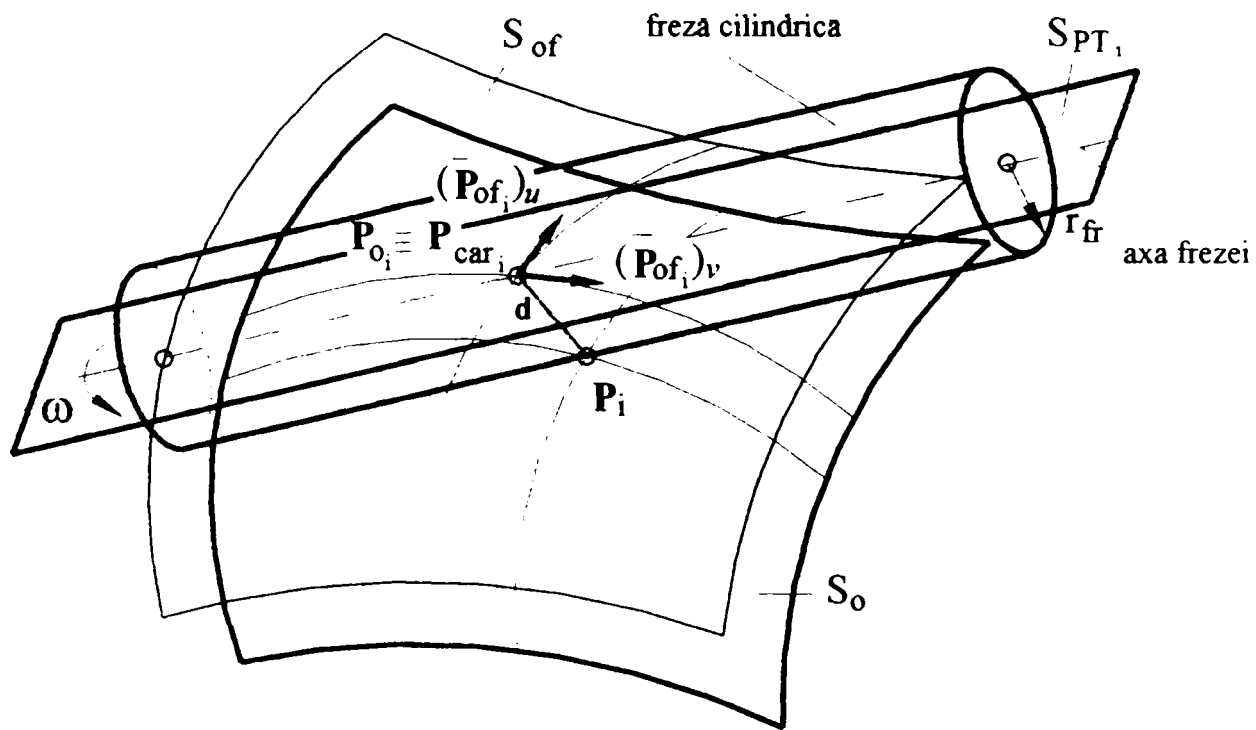


Fig. 5.23 Prelucrarea suprafeței  $S_o$  cu o freză cilindrică

În timpul prelucrării, punctul caracteristic al sculei va coincide cu punctul conjugat punctului  $P_i$  ( $P_{car_i} = P_{o_i}$ ) prelucrat. El se deplasează pe suprafața offset ( $S_{of}$ ) a suprafeței ( $S_o$ ), ( $d = r_{fr}$ ), iar axa frezei se află în planul tangent la suprafața ( $S_{of}$ ) în punctul  $P_{of}$ . În consecință vectorul de poziție al unui punct  $P_{fr}$  pe axa frezei diferit de punctul caracteristic, la timpul  $t$ , va avea expresia (5.58):



$$\bar{\mathbf{P}}_{f_i} = \bar{\mathbf{P}}_{o_i} + a \frac{\partial \bar{\mathbf{P}}_{o_i}}{\partial u} + b \frac{\partial \bar{\mathbf{P}}_{o_i}}{\partial v} \quad (5.58)$$

unde  $\mathbf{P}_{of}$  este punctul de pe ( $O_{of}$ ) corespunzător punctului  $P_i$  de pe suprafața ( $S_o$ ), iar  $a, b$ , niște mărimi scalare oarecare.

În cazul prelucrării suprafeței oarecare (sculptate,  $S_o$ ) cu ajutorul unei freze frontale (cilindro-frontale) (Fig.5.24), punctul caracteristic al frezei se găsește de asemenea pe axa frezei, iar dreapta caracteristică a ei coincide cu axa.

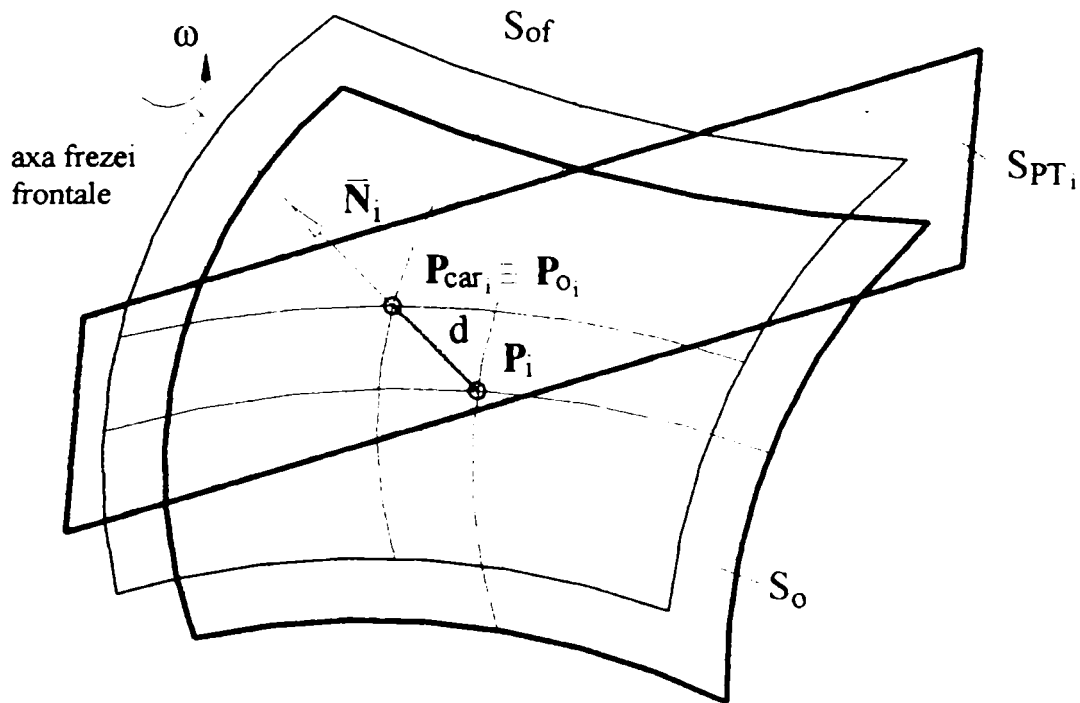


Fig. 5.24 Prelucrarea suprafeței  $S_o$  cu o freză frontală

Și în acest caz, în timpul prelucrării, punctul caracteristic se găsește pe suprafața offset a suprafeței ( $S_o$ ) ( $d$  având valoarea aleasă cu ocazia stabilirii poziției punctului caracteristic pe axa frezei), iar axa frezei are direcția normalei pe ( $S_o$ ) în punctul  $P_i$ . Cu acestea, vectorul de poziție al unui punct  $\mathbf{P}_{f_i}$  de pe axa frezei, la timpul  $t_i$  va avea expresia (5.59):

$$\bar{\mathbf{P}}_{f_i} = \bar{\mathbf{P}}_i + a \frac{\partial \bar{\mathbf{P}}_i}{\partial u} \times \frac{\partial \bar{\mathbf{P}}_i}{\partial v} \quad (5.59)$$

unde  $a$  este o mărime scalară oarecare.

În cazul prelucrării suprafeței oarecare (sculptată,  $S_o$ ) cu ajutorul unei freze sferice (Fig.5.25), punctul caracteristic  $\mathbf{P}_{car}$  al sculei este centrul suprafeței sferice pe care se găsesc tăișurile și în

timpul prelucrării, el se va mișca pe suprafața offset la suprafața ( $S_o$ ), ( $d = r_{fr}$ ,  $r_{fr}$  fiind raza sferei). Axa frezei poate avea o orientare oarecare.

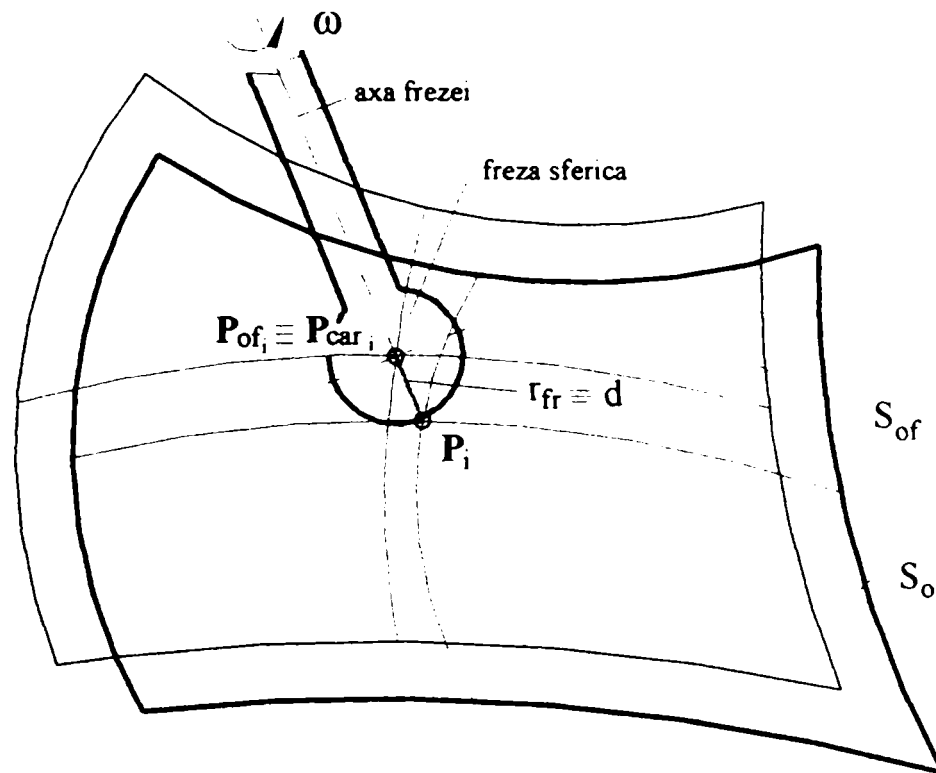


Fig. 5.25 Prelucrarea suprafeței  $S_o$  cu o freză sferică

Prelucrarea cu o freză sferică prezintă dezavantajul faptului că, în punctul de contact tăiș – suprafața  $P_i$ , viteza de așchiere este redusă, datorită faptului că axa frezei se găsește la o distanță mică de  $P$ . Dezavantajul se elimină prin utilizarea frezelor toroidale, în care caz axa frezei se găsește în timpul prelucrării la o distanță mai mare de punctul  $P$  (Fig. 5.26). În acest caz se va considera ca și punct caracteristic al frezei centrul  $C_{sf}$  al cercului-secțiune al suprafeței toroidale tangent în  $P_i$  (punctul curent al suprafeței oarecare prelucrate la timpul  $t_i$ ). Acest punct se va afla pe suprafața offset ( $O_{of}$ ) ( $d = r_{fr}$ , ca și în cazul frezei sferice). Axa frezei toroidale este axa de simetrie a suprafeței toroidale, la timpul  $t_i$ . Ea poate avea o orientare oarecare, dar tangentă la sfera cu centrul  $C_{sf}$  și de rază  $r_T$ , egală cu raza cercului pe care se află punctele  $C_{sf}$  (Fig. 5.27).

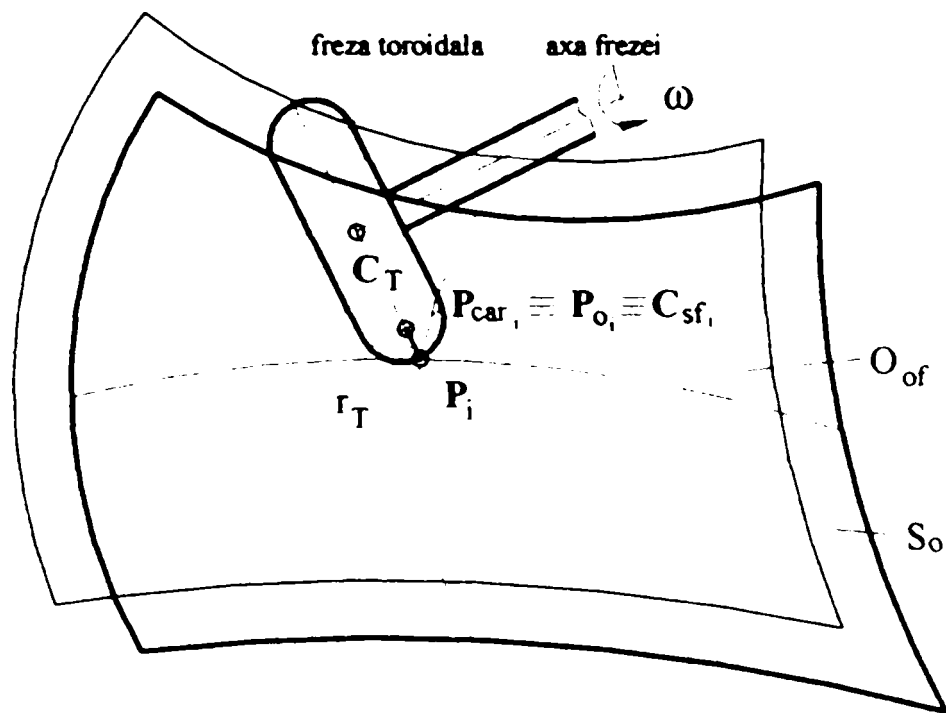


Fig. 5.26 Prelucrarea suprafeței  $S_o$  cu o freză toroidală

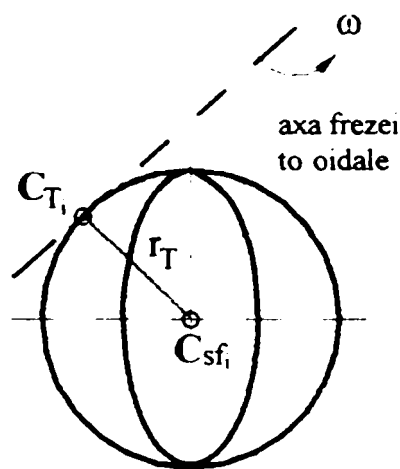


Fig. 5.27 Axa frezei toroidale este tangentă la sfera cu centrul în  $C_{sf_i}$  și având raza  $r_T$

### 5.3.5.1 Tipuri de traiectorii ale punctului caracteristic al sculei la prelucrarea prin aşchiere a suprafeţelor oarecare (sculptate) cu freze sferice sau toroidale

În timpul prelucrării prin frezare a suprafeţelor oarecare (sculptate) scula aşchietoare este în permanenţă în contact cu obiectul de lucru, ceea ce include procedeul de prelucrare prin frezare în categoria prelucrărilor prin aşchiere care se realizează după o traiectorie continuă. Pentru ca în urma prelucrării să se obţină piesa dorită, punctul caracteristic al sculei

așchietoare trebuie condus de-a lungul unei traiectorii bine determinate, aflate pe suprafața offset.

Conducerea punctului caracteristic al sculei așchietoare se poate realiza după mai multe tipuri de traiectorii.

**Traietoriile paralele** concentrice sau în zig-zag se utilizează pentru realizarea unor buzunare” cu sau fără insule (Fig. 5.28). Aceste traiectorii trebuie să țină cont de geometria flancurilor buzunarelor, ceea ce înseamnă impunerea unor condiții restrictive particulare pentru a obține suprafața modelată inițial.

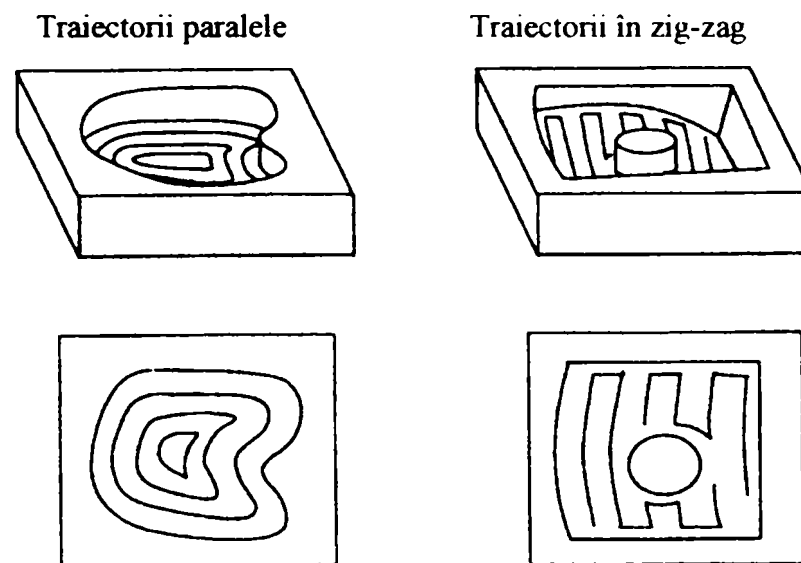


Fig. 5.28 Traietorii utilizate pentru prelucrarea “buzunarelor”

**Traietoriile spirale, în zig-zag și unidirecționale** se utilizează pentru prelucrarea suprafețelor exterioare (Fig.5.29). De cele mai multe ori aceste traiectorii sunt isoparametricele peticelor care constituie suprafața. Principala dificultate legată de acest tip de traiectorii o constituie necesitatea înlănțuirii peticelor, adică construirea unor traiectorii care să-și păstreze continuitatea la traversarea unei frontiere. Posibilitatea de înlănțuire este funcție de dispunerea peticelor, deci de descompunerea suprafeței în petice.

**Traietoriile dispuse în plane offset** (Fig.5.30) se obțin prin intersecția dintre o serie de plane și suprafața offset. Pentru o sculă sferică de raza  $r_{fr}$ , suprafața offset este situată la distanța  $r_{fr}$  de suprafața de prelucrat. Acest tip de traiectorie elimină problema înlănțuirii și conduce la generarea unei traiectorii continue pe ansamblul unei suprafețe.

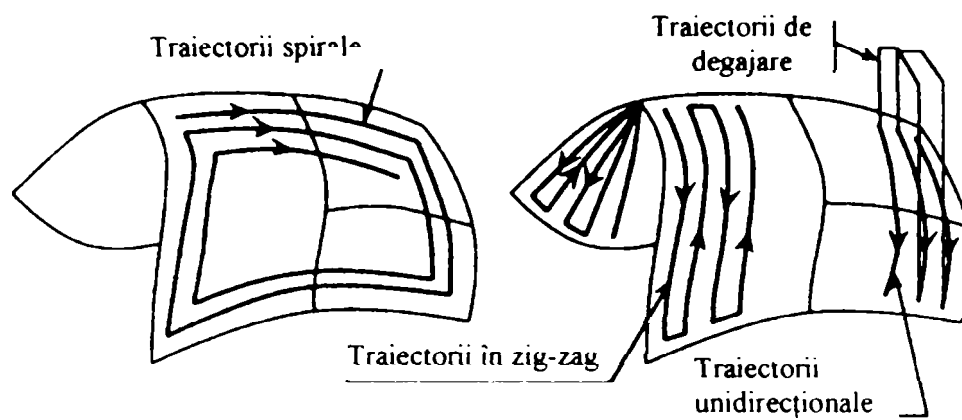


Fig. 5.29 Traiectorii utilizate pentru prelucrarea suprafețelor exterioare

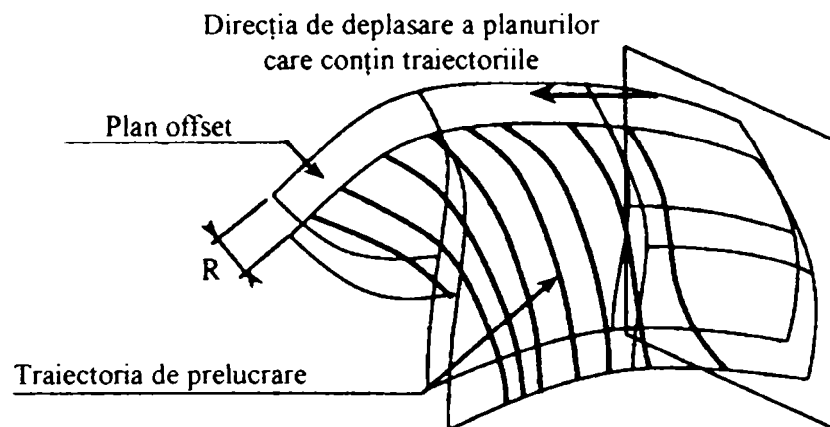


Fig. 5.30 Traiectorii definite în plane offset

### 5.3.5.2 Generarea traiectoriei punctului caracteristic al frezei sferice sau toroidale la prelucrarea suprafețelor oarecare (sculptate)

Există două metode pentru generarea și programarea traiectoriilor punctelor caracteristice ale sculei pe suprafața offset.

Prima metodă poartă denumirea de programarea punctului caracteristic al sculei sau de "programarea sculei" ("programming the tool") și ia în considerare, în timpul generării traiectoriei, valoarea momentană a razei sferei pentru calculul offsetului sferei echivalente. Metoda este predispusă erorilor iar programul este valid doar pentru o singură sculă.

A doua metodă, se utilizează în cazul prelucrării pe mașini unelte cu comandă numerică care posedă caracteristici avansate de compensare a uzurii sculei. Această metodă poartă denumirea de metoda de programare a razei zero a sferei sau de “programare a piesei” (“programming the part”). Specificând că offsetul este egal cu raza instantanee a sferei frezei, mașina unealtă compensează uzura sculei în timpul execuției programului. Această metodă de programare este mai ușoară și în același timp flexibilă, permițând utilizarea unor scule cu raze diferite.

Pentru a prelucra prin frezare cu freză sferică o suprafață oarecare (sculptată), se generează pozițiile punctului caracteristic al sculei utilizând definiția matematică a suprafeței și parametrii stabiliți ai procesului de așchiere. Freza este comandată să se deplaseze cu punctul caracteristic în fiecare din aceste poziții în lungul unor segmente de dreaptă. Cu cât aceste poziții sunt în număr mai mic, cu atât suprafața rezultată aproximează mai grosolan suprafața proiectată. Nici un număr prea mare de puncte nu este dezirabil, întrucât crește volumul de memorie necesar stocării datelor și timpul necesar calculării traiectoriei, deci și a prelucrării propriu-zise.

Pentru a evita traiectorii ale punctului caracteristic care se autointersectează, se vor alege freze sferice cu raza mai mică decât valoarea minimă a razei de curbură a traiectoriei offset a punctului caracteristic.

### **5.3.6 Observații cu privire la prelucrarea prin rectificare a suprafețelor obiectelor de lucru**

Considerentele prezentate în cadrul paragrafului 3.3.2 cu privire la prelucrarea prin așchiere a suprafețelor utilizând ca și scule cuțite respectiv freze sunt valabile și în cazul în care scula folosită este una de rectificat. Aceasta poate fi considerată ca o freză cu un număr mare (infini) de tășuri, respectiv generatoarea de contact a sculei de rectificat cu suprafața de prelucrat poate fi asemuită cu tășul unui cuțit.

### **5.3.7 Calculul direct și calculul invers**

Prin introducerea parametrilor și valorilor rezultate la timpul  $t_i$  în ecuațiile vectorilor de poziție ale punctelor situate pe suprafețele prelucrate se determină geometria 3D a acestora. Acest calcul este unul “direct” având ca rezultat modelul matematic al suprafeței prelucrate, în funcție de parametrii de așchiere.

Fiind dată geometria 3D a suprafeței, considerând o anumită evoluție în timp a procesului de prelucrare, prin rezolvarea aceluiași ecuații se pot deduce parametrii procesului de așchiere. Acest calcul este unul “invers”.

#### 5.4 Axe energetice pentru generarea mișcării sculei și comanda lor

Din cele prezentate mai sus, rezultă că prelucrarea prin așchiere a suprafețelor obiectelor de lucru presupune mișcarea relativă a sculei față de obiectul de lucru. Pentru a putea ocupa orice situație în raport cu obiectul, sculei trebuie să i se confere mișcări relative față de acesta după 6 grade de libertate.

Mișcarea sculei față de obiectul de lucru se realizează prin atașarea uneia dintre ele, sau amândurora, la elementul de execuție, a unei sau mai multor axe energetice.

Se înțelege prin *axă energetică* [Var01] un traseu de dispozitive care vehiculează energie (în cazul considerat, mecanică) de la o sursă de energie la un element de execuție.

De regulă, o axă energetică asigură mișcarea relativă sculă – obiect de lucru corespunzătoare unui grad de libertate. În consecință pentru realizarea unei situații relative oarecare a sculei este necesară acțiunea a 6 axe energetice. Ele pot fi componente ale mașinii unelte, ale robotului de prelucrare care manipulează scula respectiv capul de forță cu scula sau ale dispozitivului de lucru.

Axele energetice pot fi comandate bipozițional, analogic (cu ajutorul unui regulator de axă) sau digital (cu ajutorul unui sistem de urmărire).

Din punct de vedere al rolului jucat de mișcarea relativă generată în procesul de așchiere, axele energetice pot fi pentru mișcarea principală (de așchiere) sau pentru o mișcare de avans. În cazul prelucrării prin rabotare a unei suprafețe plane, axa energetică a mișcării principale generează o translație a sculei față de obiectul de lucru iar axele energetice ale mișcării de avans generează translații ale sculei perpendiculare pe direcția mișcării principale și între ele (avans transversal și cel de realizare a unei anumite adâncimi de așchiere). Toate cele trei axe energetice amintite se comandă bipozițional.

În cazul prelucrării unei suprafețe de revoluție prin strunjire, axa energetică a mișcării principale generează mișcarea de rotație a obiectului de lucru în jurul axei de revoluție. Axele mișcărilor de avans generează translația sculei paralelă cu axa de revoluție (avans longitudinal) și una perpendiculară pe aceasta (avans transversal).

Pentru strunjirea suprafețelor cilindrice exterioare/interioare, toate axele energetice se comandă bipozițional.

Pentru strunjirea suprafețelor tronconice exterioare/interioare, axa energetică a mișcării principale (pentru menținerea constantă a vitezei de așchiere) și axa energetică pentru avansul transversal se comandă analogic, iar axa energetică pentru avansul longitudinal se comandă bipozițional. În cazul strunjirii suprafețelor de revoluție oarecare, atât axa energetică a mișcării principale cât și cele ale mișcărilor de avans se comandă digital.

În cazul prelucrării suprafețelor cilindrice interioare prin găurire, axa energetică a mișcării principale de rotație a burghiului și axa energetică de avans longitudinal se comandă bipozițional.

Orice prelucrare prin frezare presupune mișcarea principală de rotație a frezei în jurul axei sale, acționată de o axă energetică comandată bipozițional.

În cazul frezării unei suprafețe plane, freza cilindrică sau frontală va avea mișcări de avans longitudinal, transversal și corespunzător adâncimii de așchiere comandate bipozițional.

S-a arătat la punctul 5.3.3. faptul, că pentru frezarea unei suprafețe riglate oarecare (Fig. 5.17) punctul caracteristic al frezei cilindrice trebuie să poată ocupa orice poziție pe suprafața offset, iar axa frezei orice orientare impusă de situarea generatoarei suprafeței (a se vedea relațiile (5.40), (5.41)). Ca urmare, mișcarea relativă a frezei cilindrice în raport cu obiectul de lucru trebuie acționată de 6 axe energetice de avans, comandate digital.

Cazul frezării unei suprafețe oarecare (sculptate) cu ajutorul unei freze cilindrice sau frontale (cilindro-frontale) este similară cu cazul frezării suprafeței riglate oarecare: punctul caracteristic al frezei trebuie să poată ocupa orice poziție pe suprafața offset, iar dreapta caracteristică (axa frezei) să ocupe orientări în planele tangente, respectiv după direcția normalelor aferente punctelor de pe suprafața oarecare (sculptată) ((Fig. 5.23) (Fig. 5.24) și relațiile (5.58) (5.59)). O asemenea prelucrare se poate realiza pe mașini de frezat “cu 2 ½ axe” (Fig. 5.31) sau “cu axe multiple” (4, 5 sau 6 axe) (Fig. 5.32).

În cazul mașinilor unelte cu 2 ½ axe, punctul caracteristic se poate deplasa simultan de-a lungul axelor X și Y, iar dreapta caracteristică rămâne paralelă cu axa Z, planul acesteia putând fi însă înclinat față de planul XY.

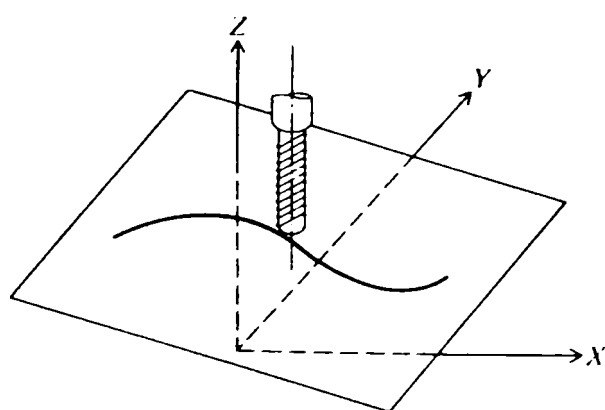


Fig. 5.31 Mașină uneltă “cu 2 ½ axe”

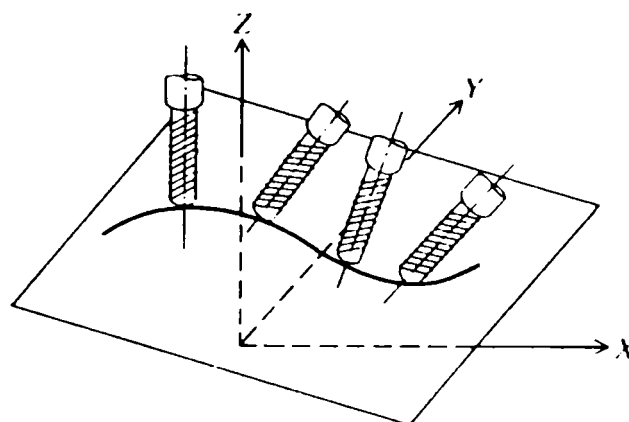


Fig. 5.32 Mașină uneltă “cu axe multiple”



La mașinile unelte “cu axe multiple” dreapta caracteristică poate ocupa diferite orientări față de axa Z . Spre exemplu o mașină unealtă cu 6 axe poate deplasa punctul caracteristic simultan de-a lungul celor trei axe X, Y și Z și în același timp să rotească dreapta caracteristică în jurul fiecăreia din aceste axe.

În cazul frezării unei suprafețe oarecare (sculptate) cu freze sferice sau toroidale, pe lângă varianta de mișcare relativă descrisă în legătură cu frezarea suprafeței cu freze cilindrice, respectiv frontale, există și posibilitatea ca orientarea drepte caracteristice (axeii frezei) să rămână neschimbată (paralelă cu sine însuși).

În acest caz, mișcările de avans ale sculei trebuie să asigure doar deplasarea punctului caracteristic al acesteia pe suprafața offset, deci, se necesită trei axe energetice generând mișcări de translație.

În cazul mașinilor de frezat “cu 3 axe” toate cele 3 axe energetice generând mișcări de translație paralele cu axele de coordonate  $O_X$ ,  $O_Y$  și  $O_Z$  sunt comandate digital.

## **5.5 Concepția integrată (constructivă și tehnologică) a obiectelor de lucru care urmează să fie fabricate prin procese de așchiere, utilizând noțiunea de “perechi de sisteme de referință (PeSiR)” pentru codificarea dimensiunilor și parametrilor procesului tehnologic**

### **5.5.1 Introducere**

În cadrul paragrafului 3.4.2 s-a arătat că situarea relativă a două corpuri se poate modela matematic prin matricea de transformare (de trecere) de la un sistem de referință  $O_j$  atașat unuia dintre corpuri la sistemul de referință  $O_i$  atașat celuilalt corp. Aceste două sisteme de referință constituie “perechea de sisteme de referință (PeSiR)”.

Matricea de transformare de la sistemul  $O_j$  la sistemul  $O_i$  se scrie conform relației (3.5), elementele matricei fiind exprimate prin relația (3.5') [Kov1],[Kov01'].

În paragraful 3.4.3 s-a prezentat modelul matematic al definirii unui obiect de lucru prelucrat prin așchiere prin mișcarea relativă a sculei față de el [Kov01].

Pentru modelarea operației de prelucrare se atașează sistemul de referință  $O_{Maș}$  mașinii de lucru, sistemul de referință  $O_{ML}$  mesei de lucru și/sau sistemul de referință  $O_{DL}$  dispozitivului de lucru, sistemul de referință  $O_{SC}$  sculei și sistemul de referință  $O_{OL}$ , obiectului de lucru. Aceste sisteme de referință formează următoarele PeSiR:  $O_{OL} - O_{Maș}$ ,  $O_{OL} - O_{ML}$ ,  $O_{OL} - O_{DL}$ ,  $O_{OL} - O_{SC}$ ,  $O_{SC} - O_{Maș}$ ,  $O_{SC} - O_{ML}$  și  $O_{DL} - O_{Maș}$  (Fig. 5.33).

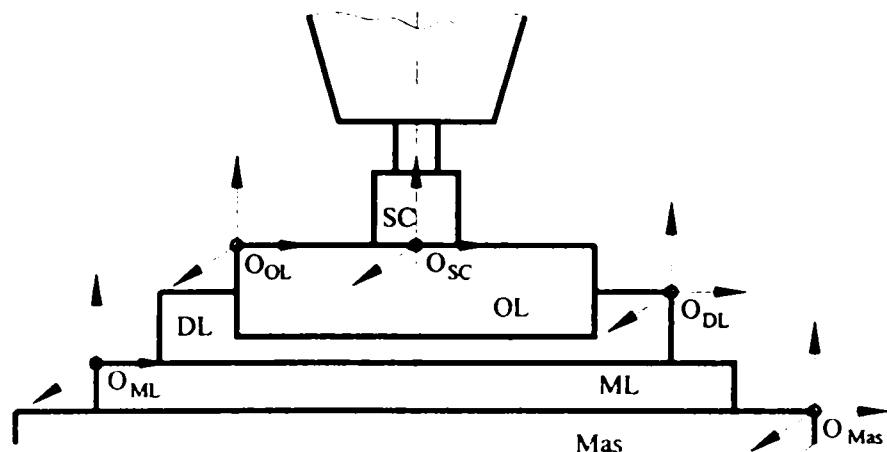


Fig. 5.33 PeSiR pentru modelarea operațiilor de prelucrare

Procesul de prelucrare prin așchiere a obiectului de lucru se modelează prin PeSiR  $O_{SC} - O_{OL}$ . Matricea de transformare de la sistemul de referință  $O_{SC}$  atașat sculei la sistemul de referință  $O_{OL}$  atașat obiectului de lucru (Fig.5.33) se poate exprima prin relația

$${}^{OL}\underline{T}_{SC} = {}^{OL}\underline{T}_{DL} \cdot {}^{DL}\underline{T}_{ML} \cdot {}^{ML}\underline{T}_{Mas} \cdot {}^{Mas}\underline{T}_{SC} = [{}^{OL}e_{ijOL}]^T \cdot [{}^{DL}e_{ijML}]^T \cdot [{}^{ML}e_{ijMas}]^T \cdot [{}^{Mas}e_{ijSC}]^T \quad (5.60)$$

unde  $[e_{i,j}]$  sunt elementele matricilor de transformare respective.

Mișcările relative ale PeSiR se modelează prin funcții de timp cunoscute din regimul de funcționare a mașinii de lucru:

$$\left. \begin{aligned} [{}^{Mas}e_{SC}]^T &= [{}^{Mas}e_{SC}(t)]^T \\ [{}^{Mas}e_{OL}]^T &= [{}^{Mas}e_{OL}(t)]^T \end{aligned} \right\} \quad (5.61)$$

În paragraful 3.4.3 prin relația (3.9) s-a definit suprafața activă SA a sculei în raport cu sistemul  $O_{SC}$ .

Luând în considerare relațiile (5.60) și (5.61) se poate scrie

$${}^{OL-}\underline{r}_{SA} = {}^{OL-}\underline{r}_{SA}(u, v, t) \quad (5.62)$$

unde  $t$  este parametrul timp.

Ecuția suprafeței SP prelucrată de sculă în obiectul de lucru va avea expresia

$${}^{OL-}\underline{r}_{SP} = {}^{OL-}\underline{r}_{SP}(u, v) \quad (5.63)$$

obținută prin eliminarea parametrului  $t$  între ecuațiile sistemului

$$\left. \begin{aligned} {}^{OL-}\underline{r}_{SA} &= {}^{OL-}\underline{r}_{SA}(u, v, t) = 0 \\ \frac{\partial {}^{OL-}\underline{r}_{SA}}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.64)$$

În același timp, ecuația (5.63) dă indicații și asupra dimensiunilor obiectului de lucru.

Procesul de fabricație prin așchiere a unui obiect de lucru conține pe lângă operații de prelucrare, despre care s-a discutat până în acest loc și operații de manipulare executate în cadrul sistemului de fabricație (modul, celulă etc.). În cazul în care aceste operații de manipulare se efectuează de către un robot industrial, sistemele de referință pentru modelarea operației de manipulare se atașează obiectului de lucru ( $O_{OL}$ ), dispozitivului de lucru ( $O_{DL}$ ), bazei robotului ( $O_R$ ), efectorului final al robotului ( $O_{EF}$ ), mașinii de lucru ( $O_{Mas}$ ) și dispozitivelor de transfer ale sistemului ( $O_{Di}, i = 1, 2, \dots, i$ ).

Pentru modelarea operațiilor de manipulare PeSiR se formează după cum urmează (Fig.5.34):

$O_{OL} - O_{Di}, O_{OL} - O_{EF}, O_{OL} - O_{DL}, O_{OL} - O_{Mas}, O_{DL} - O_{Mas}, O_{Di} - O_R, O_{Di} - O_{Mas}, O_{Di} - O_{Di+1}, O_{Di} - O_R, O_R - O_{Mas}, O_{EF} - O_R, O_{EF} - O_{Mas}, O_{EF} - O_{Di}$ .

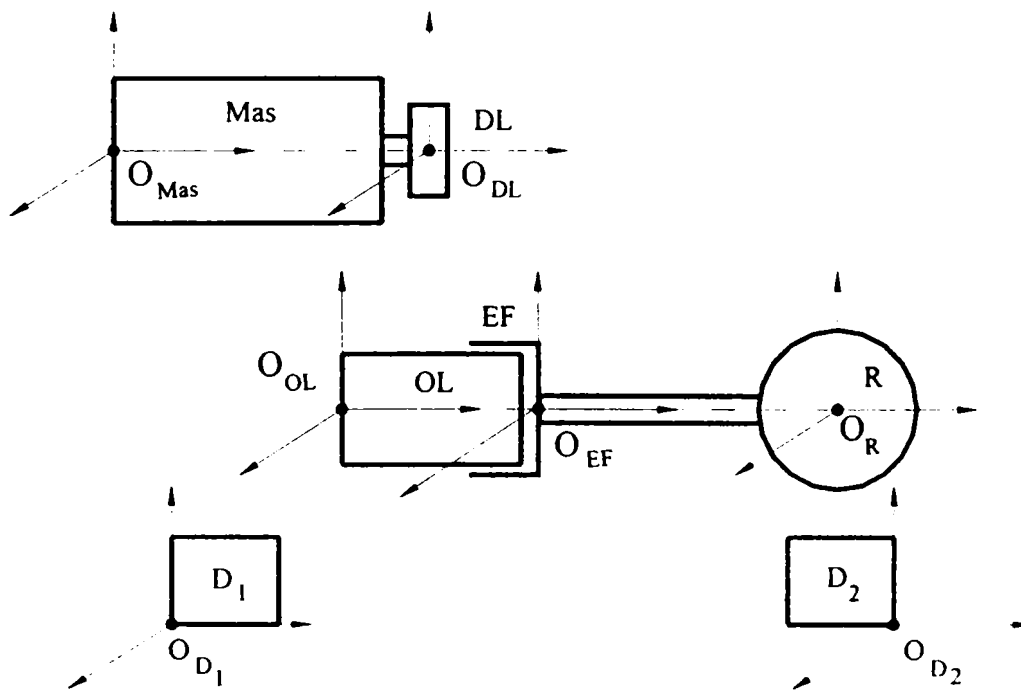


Fig. 5.34 PeSiR pentru modelarea operațiilor de manipulare într-un sistem de fabricație pentru prelucrări prin așchiere

O anumită secvență a operației de manipulare se modelează prin PeSiR  $O_{OL} - O_{componentă}$  a sistemului. Spre exemplu, pentru introducerea obiectului de lucru în dispozitivul de lucru DL se poate scrie matricea de transformare aferentă PeSiR  $O_{OL} - O_{DL}$

$${}^{DL} \mathbf{T}_{OL} = {}^{Mas} \mathbf{T}_{DL} \cdot {}^R \mathbf{T}_{Mas} \cdot {}^{EF} \mathbf{T}_R \cdot {}^{EF} \mathbf{T}_{OL} = [{}^{Mas} e_{y_{DL}}]^T \cdot [{}^R e_{y_{Mas}}]^T \cdot [{}^{EF} e_{y_R}]^T \cdot [{}^{EF} e_{y_{OL}}]^T \quad (5.65)$$

Toate matricile de transformare din (5.65) sunt constante, cu excepția  ${}^{EF}\mathbf{T}_R$

$$\left[ {}^R e_{i, JEF} \right]^T = \left[ {}^R e_{i, JEF} (t) \right]^T \quad (5.66)$$

Programarea robotului R pentru secvența în curs a aplicației de manipulare la timpul  $t$  prevăzut în ciclograma de funcționare se realizează pe baza rezolvării ecuației matriciale (5.65)

### 5.5.2 Principiile codificării matematice a informațiilor rezultate din concepția integrată a obiectelor de lucru fabricate prin procese de aşchiere, folosind noțiunea PeSiR

Proiectul constructiv al obiectului de lucru și cel al procesului tehnologic de prelucrare prin aşchiere se elaborează simultan. Elaborarea modelului de lucru cuprinde următoarele etape:

- stabilirea formei și a dimensiunilor obiectului de lucru, pornind de la cerințe funcționale și constructive;
- stabilirea parametrilor procesului tehnologic.

În faza de proiect se aleg sistemele de referință ale modelului  $O_{Mas}^m, O_{ML}^m, O_{DL}^m, O_{SC}^m, O_{OL}^m$ , unde indicele  $m$  se referă la faptul că este vorba de model). Pe cât posibil aceste sisteme de referință ale modelului vor avea aceleași situații relative cu cele ale sistemelor de referință ale mașinii, mesei mașinii, dispozitivului de lucru, sculei și obiectului de lucru din timpul prelucrării  $O_{Mas}^p, O_{ML}^p, O_{DL}^p, O_{SC}^p, O_{OL}^p$ , unde indicele  $p$  se referă la faptul că este vorba de prelucrare, sau distanțele dintre originile sistemelor de referință vor fi proporționale iar orientările axelor sistemelor identice pentru cazul modelului și cazul prelucrării.

În cadrul modelării, procesul de prelucrare se modelează prin alegerea “situațiilor semnificative” relative ale sistemelor de referință  $O_{Mas}^m, O_{ML}^m, O_{DL}^m, O_{SC}^m, O_{OL}^m$  grupate în PeSiR. Modelul elaborat servește la programarea off-line a mașinii de lucru.

Prin noțiunea de *situare semnificativă* se înțelege situarea relativă a PeSiR  $O_{OL}-O_{Mas}$ , și  $O_{SC}-O_{Mas}$  utilizată pentru codificarea formei/dimensiunilor OL, respectiv a parametrilor procesului de aşchiere.

Parametrii procesului de aşchiere care se iau în considerare sunt mișcarea principală, avansul, adâncimea de aşchiere, orientarea sculei.

Situațiile semnificative ale sistemului de referință a sculei se aleg :

- pentru începutul/sfârșitul fiecărei secvențe de mișcare a sculei (programare secvențială, sau PTP, “punct cu punct”, prin analogie cu comanda roboților);

➤ în intervale de timp mici, alese de proiectant (programare multipunct, de traiectorie sau contur, prin analogie cu comanda roboților).

În cele ce urmează, codificarea matematică se realizează pentru fiecare fază a operației de prelucrare a obiectului de lucru. Pentru fiecare trecere din cadrul aceleiași faze, se definește în mod integrat câte un obiect de lucru „intermediar” (formă/dimensiuni, parametrii procesului). Pentru trecerea 1, obiectul de lucru “prelucrat” la trecerea 0 este semifabricatul de la care se pornește prelucrarea. Pentru trecerea  $i+1$ , obiectul de lucru prelucrat la trecerea  $i$  devine semifabricat. Pentru fiecare trecere se stabilesc “situările semnificative” necesare definirii formei/dimensiunilor obiectului de lucru și a parametrilor procesului de prelucrare.

În faza de concepție constructivă a obiectului de lucru și a concepției procesului tehnologic de prelucrare prin aşchiere a acestuia se stabilesc pentru început situările semnificative în timp ale sculei în raport cu obiectul de lucru, modelând aceste situații semnificative prin modelul PeSiR  $O_{SC} - O_{OL}$ .

În principiu, forma/dimensiunile obiectului impun situările semnificative relative ale sistemului de referință  $O_{SC} - O_{OL}$  (spre ex. lungimea unui obiect cilindric prin situările semnificative relative corespunzătoare capetelor de cursă), iar timpii când se realizează situațiile semnificative relative impun parametrii procesului tehnologic (spre ex. în cazul amintit anterior, viteza avansului longitudinal al sculei).

În faza de programare a mașinii de lucru, se necesită determinarea situațiilor relative în timp ale sculei în raport cu mașina de lucru, în conformitate cu situațiile semnificative relative ale sculei față de obiectul de lucru, stabilite în faza concepției integrate (constructivă și tehnologică) ale acestuia. Modelarea situațiilor semnificative relative ale sculei față de mașina de lucru se realizează prin modelul PeSiR  $O_{SC} - O_{Maș}$ , care se deduce din modelul PeSiR  $O_{SC} - O_{OL}$  folosind relația (5.60).

Atât stabilirea modelului PeSiR  $O_{SC} - O_{OL}$ , cât și a modelului PeSiR  $O_{SC} - O_{Maș}$  se face în funcție de forma obiectului de lucru și de natura mașinii de lucru. Pentru exemplificarea modului de stabilire a modelelor PeSiR se prezintă în continuare concepția integrată a prelucrării prin aşchiere a unor obiecte de lucru având suprafețe plane, prin rabotare, prin frezare cu freză cilindrică și cilindro-frontală și prin strunjire frontală, a unor obiecte de lucru având suprafața exterioară cilindrică, respectiv conică, ambele circulare, prin strunjire, a unui obiect de lucru având o suprafață oarecare (sculptată) exterioară prin frezare cu sferă sferică în două cazuri

➤ axa frezei sferice are o situație invariantă în raport cu mașina de lucru sau o componentă mobilă a acesteia, având o mișcare secvențială;

► freza este acționată de un cap de forță-efector final al unui robot industrial de lucru.

Se menționează faptul că metoda de codificare a rezultatelor concepției integrate este utilizată pentru toate condițiile de execuție a proceselor tehnologice: „clasică” (cu operatori umani), automată, cu programarea mașinilor de lucru/roboților industriali de către operatori umani și automată, cu transmiterea datelor privind prelucrarea/manipularea obiectului de lucru la componentele SFF fără intervenția operatorului uman.

### 5.5.3 Codificarea matematică a informațiilor pentru prelucrarea prin așchiere a unor obiecte de lucru având suprafețe plane

#### 5.5.3.1 Concepția integrată a prelucrării prin frezare cu freză cilindrică a unor obiecte de lucru având suprafețe plane

Exemplificările pentru paragraful 5.5.2 se încep prin concepția integrată a prelucrării prin frezare cu freză cilindrică a unor obiecte de lucru având suprafețe plane, dat fiind relativa simplitate a descrierii modelului care se realizează conceptual.

Se consideră că prelucrarea se realizează pe o mașină de frezat orizontală. Mișcările de avans longitudinal, transversal și vertical, care pot fi de lucru sau rapide sunt realizate de către masa mașinii, iar scula execută doar mișcarea principală de rotație.

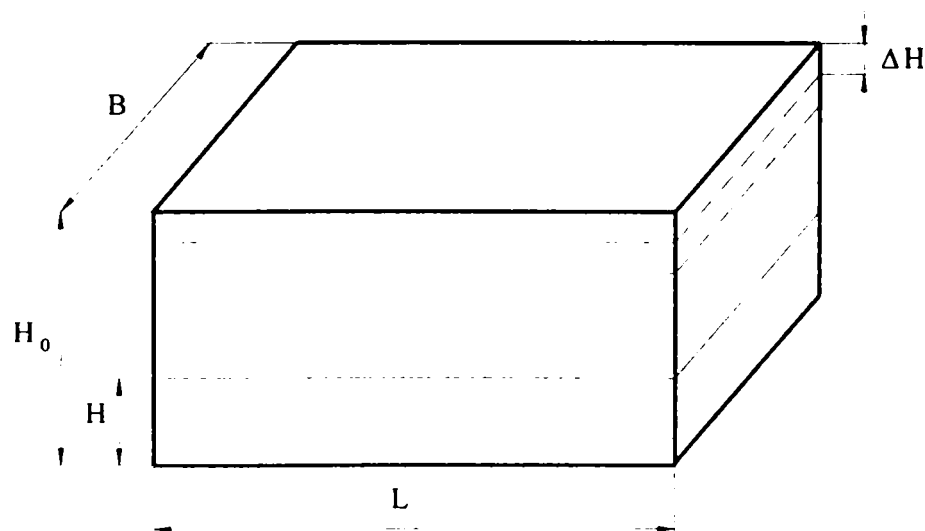


Fig. 5.35 Obiectul de lucru în cazul prelucrării unei suprafețe plane cu freză cilindrică

La începutul prelucrării, obiectul de lucru (semifabricatul) se instalează într-un dispozitiv de lucru instalat la rândul lui pe masa de lucru. Pentru începerea prelucrării se realizează situarea sculei (instalată în dornul portfreză) față de obiectul de lucru, astfel ca muchia superioară de

lățime B a semifabricatului să fie tangentă la cilindrul exterior al frezei, iar axa sculei să fie într-un plan orizontal aflat față de suprafața ce urmează a fi prelucrată, la o distanță egală cu diferența dintre lungimea razei frezei și adâncimea de așchiere  $\Delta H$ . Pentru ca frezarea să fie simetrică, planul vertical care trece prin punctul de mijloc al muchiei de lățime B al obiectului de lucru și planul vertical ce trece prin punctul de mijloc al axei frezei trebuie să coincidă.

După situarea inițială a sculei, se realizează prima trecere, masa de lucru executând mișcarea de avans longitudinal de lucru iar scula mișcarea principală de rotație. Lungimea traiectoriei măsurate de un punct de pe tangenta comună dintre sculă și obiect este egală cu lungimea obiectului de lucru cumulată cu distanța necesară pătrunderii sculei în material. Se execută mișcarea de avans vertical rapid pentru retragerea obiectului față de sculă prin ridicare, mișcarea de avans longitudinal rapid și mișcarea de avans vertical de lucru pe o distanță egală cu adâncimea de așchiere cumulată cu distanța de retragere pe verticală. La sfârșitul acestor mișcări situarea sculei este corespunzătoare celei de început a următoarei treceri. Secvențele de mișcare amintite se repetă pentru fiecare grosime intermediară, respectiv pentru cea finală.

Mărimile care se stabilesc sunt:

- dimensiunile semifabricatului (L, B,  $H_0$ ) și ale obiectului finit (L, B, H), ultimele din condițiile funcțional-constructive;
- geometria sculei;
- adâncimea de așchiere/trecere ( $\Delta H$ );
- viteza de avans longitudinal de lucru ( $v_L$ ) și rapid ( $v_{L_r}$ );
- viteza de avans vertical de lucru ( $v_v$ ) și rapid ( $v_{v_r}$ );
- turația sculei.

Se calculează:

- viteza de așchiere;
- numărul de treceri necesare, egal cu numărul grosimilor intermediare  $n = \frac{H - H_0}{\Delta H}$ ;
- distanța necesară pătrunderii sculei în material;
- durata mișcărilor de avans de lucru;
- duratele mișcărilor de avans rapide.

În cadrul programării PTP se determină:

- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru;

- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al mesei de lucru în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- timpii în care se realizează situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei și ale mesei de lucru.

În cazul prelucrării unei suprafețe plane cu o freză cilindrică, suprafața activă SA a sculei se reduce la tangenta dintre cilindrul exterior al frezei și suprafața plană.

Scula se definește cu ajutorul sistemului de axe de referință care i se atașează (Fig. 5.36).

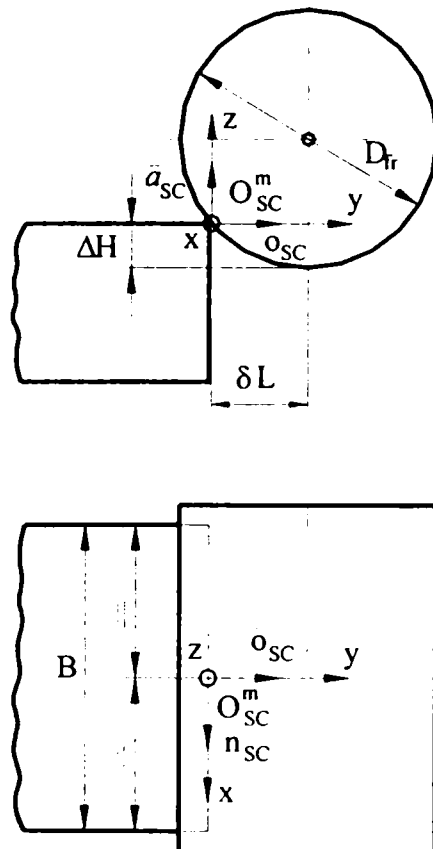


Fig. 5.36 Definirea situației inițiale a sculei solidară cu sistemul  $O_{SC}$  în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării unei suprafețe plane cu freză cilindrică

Distanța  $\delta L$  dintre obiect și planul vertical care conține axa sculei, reprezintă distanța necesară pătrunderii sculei din material și se poate exprima ca fiind:

$$\delta L = \left[ \left( \frac{D_{fr}}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_{fr}}{2} - \Delta H \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.67)$$



unde  $D_{fr}$  reprezintă diametrul sculei, iar  $\Delta H$  adâncimea de aşchiere/trecere.

Situările semnificative ale sistemului de referință al sculei față de sistemul de referință al obiectului de lucru se exprimă prin PeSiR  $O_{SC}^m - O_{OL}^m$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figuri 5.37 este

$${}^{OL}\underline{T}_{SC_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{x_i}} \\ \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{y_i}} \\ \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.68)$$

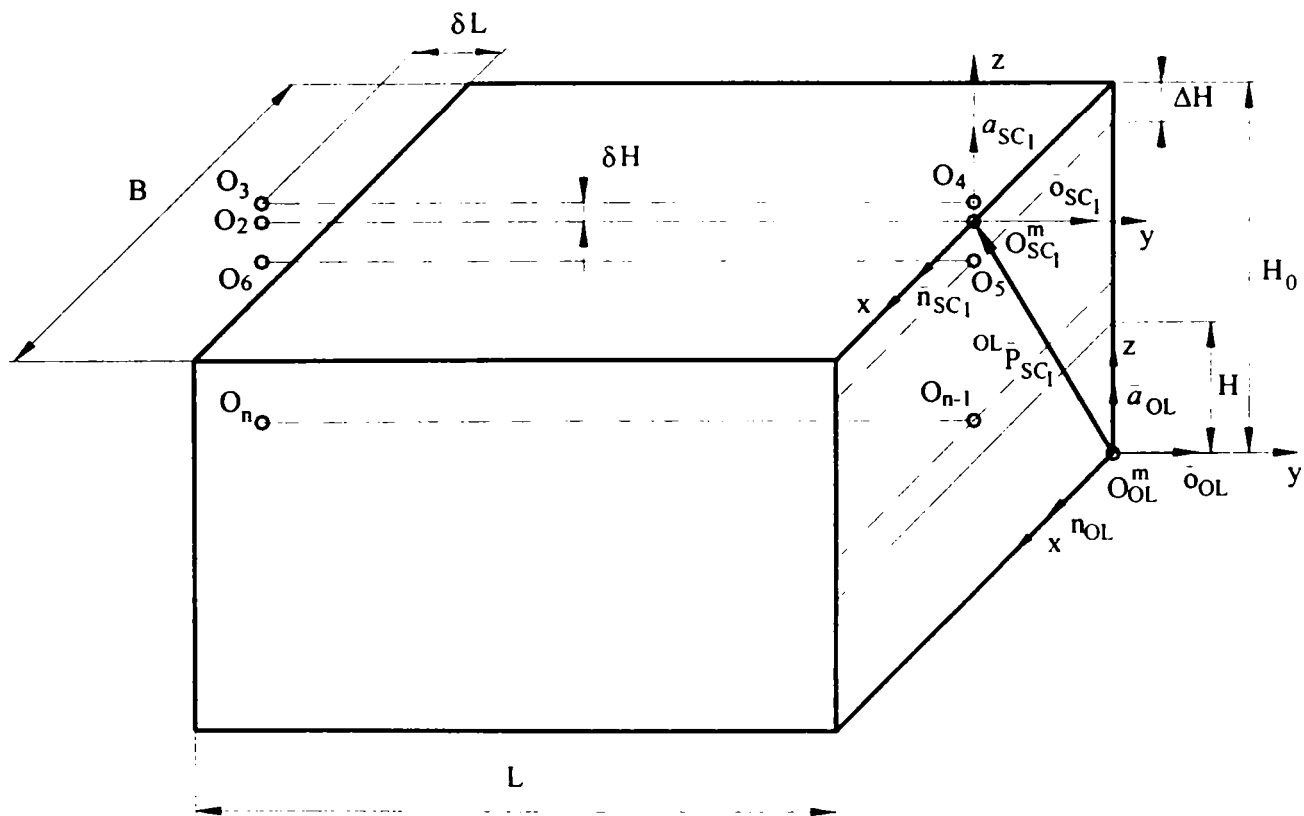


Fig. 5.37 Situările semnificative relative ale sistemului de referință al sculei  $O_{SC}$  în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru  $O_{OL}$  în cazul prelucrării unei suprafețe plane cu freză cilindrică

Valorile elementelor matricei  ${}^{OL}\underline{T}_{SC_i}$  calculate pentru diferitele situații semnificative determinate în conformitate cu procedeul descris anterior, sunt înscrise în tabelul 5.1 din anexa 1 ( $\delta L$  reprezintă distanța necesară pătrunderii sculei din material, iar  $\delta H$  distanța pe

care se realizează retragerea pe direcția verticală). Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SC}$  și  $O_{OL}$  rămân mereu paralele. Pentru programarea funcționării mașinii de lucru este necesar să se determine situațiile relative ale sistemului de referință  $O_{SC}$  a sculei în raport cu sistemul de referință a mașinii (solidarizat cu batiul acestuia). Aceste situații semnificative ale sculei se determină pornind de la situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru, conform figurii 5.37, ținând seama de relația (5.60).

Obiectul de lucru este instalat în dispozitivul de lucru DL, instalat la rândul lui pe masa de lucru ML. Sistemele de referință solidarizate cu acestea,  $O_{OL}$ ,  $O_{DL}$  și  $O_{ML}$  se pot considera suprapuse în situații relative nemodificate în timp. Ca urmare pentru modelarea PeSiR  $O_{OL} - O_{DL}$ ,  $O_{DL} - O_{ML}$  și  $O_{OL} - O_{ML}$  se poate scrie

$${}^{DL}\underline{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{ML}\underline{T}_{DL} = {}^{ML}\underline{T}_{OL} \quad (5.69)$$

Masa mașinii de frezat execută mișcări de translație alternativă prin intermediul cărora se realizează mișcările de avans longitudinal de lucru și rapid după direcția  $O_{OLY}$  și mișcările de avans vertical de lucru și rapid după direcția  $O_{OLZ}$ .

Situațiile semnificative ale mesei de lucru în raport cu mașina de frezat se exprimă prin PeSiR  $O_{ML} - O_{Mas}$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figurii 5.38 este

$${}^{Mas}\underline{T}_{ML_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{ML_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_{ML_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_{ML_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}p_{ML_{x_i}} \\ \bar{o}_{ML_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_{ML_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_{ML_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}p_{ML_{y_i}} \\ \bar{a}_{ML_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_{ML_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_{ML_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}p_{ML_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.70)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{Mas}\underline{T}_{ML_i}$  calculate conform figurii 5.37 pentru diferite situații semnificative sunt înscrise în tabelul 5.2 din anexa 1. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{ML}$  și  $O_{Mas}$  rămân tot timpul paralele.

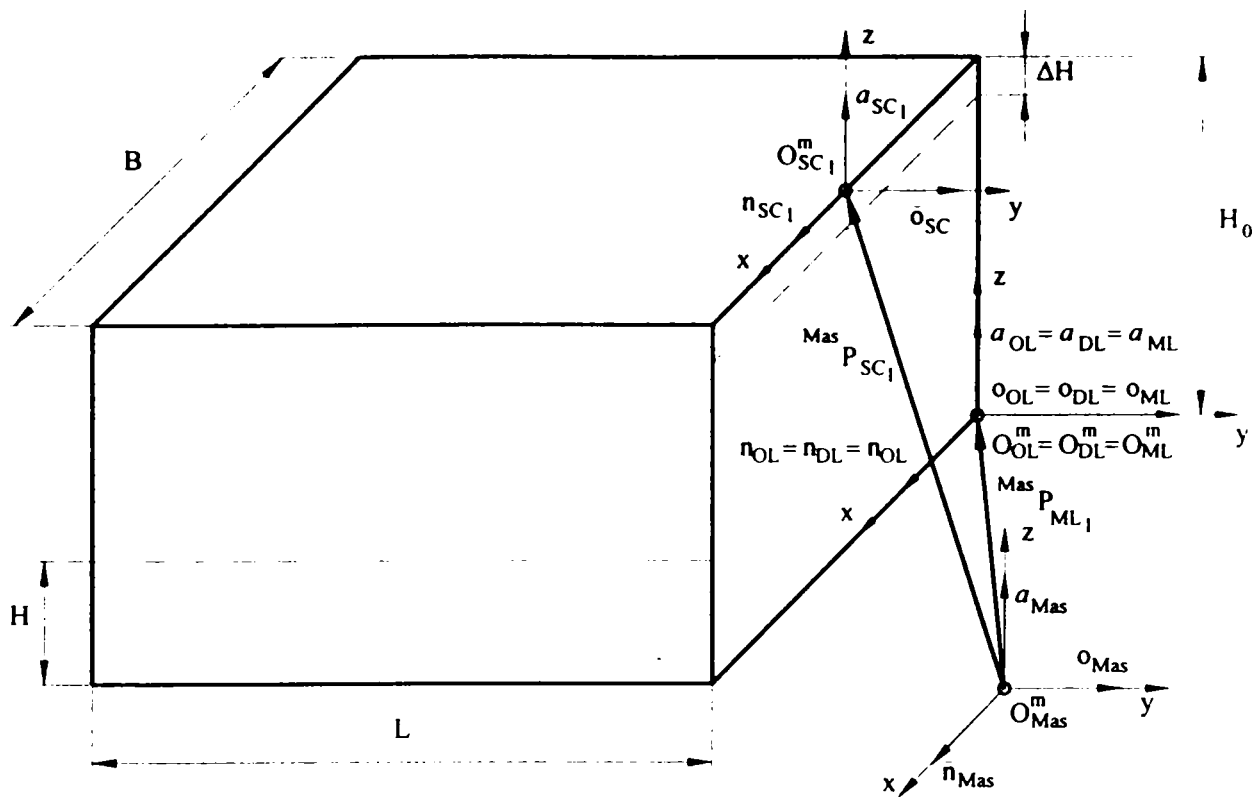


Fig. 5.38 Situațiile semnificative relative ale sistemelor de referință ale mesei de lucru  $O_{ML}$ , respectiv ale sculei  $O_{SC}$  în raport cu sistemul de referință al mașinii  $O_{Mas}$  în cazul prelucrării unei suprafețe plane cu freză cilindrică

Scula (solidară cu sistemul de referință  $O_{SC}$ ) realizează doar mișcarea de rotație principală. Cum scula este cilindrică, deci nu prezintă orientări distincte în raport cu axa  $O_{Mas}x$ , mișcarea relativă a originii  $O_{SC}$  al sistemului de referință atașat sculei se va realiza într-un plan paralel cu planul  $yO_{Mas}z$  al mașinii de lucru. Ca urmare, pentru stabilirea situațiilor semnificative ale sculei față de sistemul de referință al mașinii de lucru, se poate considera scula în mișcare de rotație, înlocuită de una de formă și dimensiuni identice care este nemișcată în raport cu sistemul de referință al mașinii.

Prin urmare, pentru modelarea PeSiR  $O_{SC} - O_{Mas}$  se poate scrie

$${}^{Mas}T_{SC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^{Mas}p_{SC_x} \\ 0 & 1 & 0 & {}^{Mas}p_{SC_y} \\ 0 & 0 & 1 & {}^{Mas}p_{SC_z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.71)$$

Intervalele de timp  $t_2 - t_1 = t_6 - t_5 = \dots = t_n - t_{n-1}$  dintre situațiile corespunzătoare ale PeSiR reprezintă durata unei treceri de aşchiere

$$t_2 - t_1 = t_6 - t_5 = \dots = t_n - t_{n-1} = \frac{L + \delta L}{v_L} \quad (5.72)$$

Intervalele de timp  $t_3 - t_2 = \dots = t_{n-3} - t_{n-4}$  dintre situațiile corespunzătoare ale PeSiR reprezintă durata mişcării de avans vertical rapid (retragere pe direcție verticală)

$$t_3 - t_2 = \dots = t_{n-3} - t_{n-4} = \frac{\delta H}{v_{v_r}} \quad (5.73)$$

Intervalele de timp  $t_4 - t_3 = \dots = t_{n-2} - t_{n-3}$  dintre situațiile corespunzătoare ale PeSiR reprezintă durata mişcării de avans longitudinal rapid (retragere pe direcție orizontală)

$$t_4 - t_3 = \dots = t_{n-2} - t_{n-3} = \frac{L + \delta L}{v_{L_r}} \quad (5.74)$$

Intervalele de timp  $t_5 - t_4 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2}$  dintre situațiile corespunzătoare ale PeSiR reprezintă durata mişcării de avans vertical de lucru (instalarea sculei în situarea corespunzătoare începerii prelucrării la o nouă grosime)

$$t_5 - t_4 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2} = \frac{\delta H + \Delta H}{v_v} \quad (5.75)$$

### 5.5.3.2 Concepția integrată a prelucrării prin frezare cu freză cilindro-frontală a unor obiecte de lucru având suprafețe plane

Se consideră cazul frezării unui obiect prismatic drept, identic cu cel din figura 5.35, utilizând o freză cilindro-frontală având diametrul mai mare decât lățimea B a semifabricatului. Prin urmare la o trecere se va îndepărta de pe întreaga suprafață a semifabricatului, un strat de material de grosime  $\Delta H$  egală cu adâncimea de aşchiere.

Se consideră că prelucrarea se realizează pe o mașină de frezat verticală. Scula instalată în sania portsculă va executa mișcarea principală de rotație. Sania portsculă va executa mișcarea de avans vertical de lucru și rapid iar masa mașinii de lucru mișcarea de avans longitudinal de lucru și rapid pe direcție orizontală.

La începutul prelucrării, obiectul de lucru (semifabricatul) se instalează într-un dispozitiv de lucru instalat la rândul lui pe masa de lucru. Se realizează situarea inițială a sculei față de obiectul de lucru, astfel ca punctul care reprezintă mijlocul muchiei superioare de lățime B a semifabricatului să se suprapună cu punctul de pe generatoarea cilindrului frezei aflat la distanța  $\Delta H$  de suprafața frontală a semifabricatului.

După situarea inițială a sculei, se realizează prima trecere de aşchiere, scula executând mişcarea principală de rotaţie iar masa de lucru mişcarea de avans longitudinal de lucru pe o distanţă egală cu lungimea obiectului de lucru cumulată cu distanţa necesară ieşirii sculei din material. Sania portsculă execută mişcarea de retragere pe direcţia verticală cu distanţa  $\delta H$  şi mişcarea de avans vertical de lucru pe o distanţă egală cu adâncimea de aşchiere cumulată cu distanţa de retragere pe verticală în timp ce masa de lucru execută mişcarea de avans longitudinal rapid (retragere) pe direcţie orizontală. La sfârşitul acestor mişcări situarea sculei este corespunzătoare celei de început a următoarei treceri.

Secvenţele de mişcare amintite se repetă pentru fiecare grosime intermediară, respectiv pentru cea finală.

Mărimile care se stabilesc sunt:

- dimensiunile semifabricatului ( $L, B, H_0$ ) şi ale obiectului finit ( $L, B, H$ ), ultimele din condiţiile funcţional-constructive;
- geometria sculei;
- adâncimea de aşchiere/trecere ( $\Delta H$ );
- avansul pe dinte şi pe rotaţie;
- viteza de aşchiere;
- viteza unghiulară a mişcării principale de rotaţie a sculei ( $\omega_{SC}$ );
- viteza de avans longitudinal de lucru ( $v_L$ ) şi rapid ( $v_{L_r}$ );
- viteza de avans vertical de lucru ( $v_v$ ) şi rapid ( $v_{v_r}$ ).

Se calculează:

- numărul de treceri necesare, egal cu numărul grosimilor intermediare  $n = \frac{H - H_0}{\Delta H}$ ;
- durata mişcărilor de avans de lucru;
- durata mişcărilor de avans rapid.

În cadrul programării se determină:

- situările semnificative ale sistemului de referinţă al sculei în raport cu sistemul de referinţă al obiectului de lucru ;
- situările semnificative ale sistemului de referinţă al sculei în raport cu sistemul de referinţă al maşinii de lucru;
- situările semnificative ale sistemului de referinţă al mesei de lucru în raport cu sistemul de referinţă al maşinii de lucru;

- situațiile semnificative ale sistemului de referință al saniei portsculă în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- timpii în care se realizează situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei, ale mesei de lucru și ale saniei.

Situarea sculei se definește cu ajutorul sistemului de axe de referință care i se atașează (Fig. 5.39). Originea sistemului de referință se amplasează în punctul de intersecție dintre generatoarea cilindrului sculei și suprafața ei frontală.

$\delta L$  reprezintă distanța necesară ieșirii sculei din material și se poate exprima ca fiind

$$\delta L = \frac{D_{fr}}{2} - \left[ \left( \frac{D_{fr}}{2} \right)^2 - \left( \frac{B}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.76)$$

unde  $D_{fr}$  reprezintă diametrul frezei, iar  $B$  lățimea obiectului de lucru.

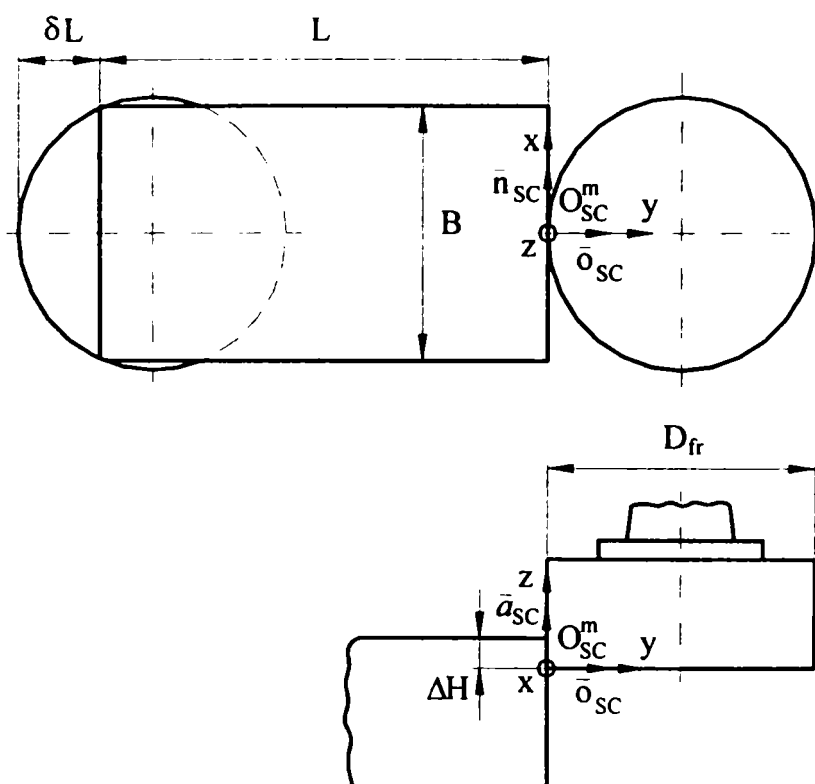


Fig. 5.39 Definierea situației inițiale a sculei solidară cu sistemul  $O_{SC}$  în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării unei suprafețe plane cu freză cilindro-frontală

Situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei față de sistemul de referință al obiectului de lucru se exprimă prin PeSiR  $O_{SC}^m - O_{OL}^m$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figurii 5.40 este

$${}^{OL}\underline{T}_{SC_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{xi}} \\ \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{yi}} \\ \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{zi}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.77)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{OL}\underline{T}_{SC_i}$  calculate pentru diferitele situații semnificative determinate în conformitate cu procedeul descris anterior, sunt înscrise în tabelul 5.3 din anexa 1. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SC}$  și  $O_{OL}$  rămân mereu paralele.

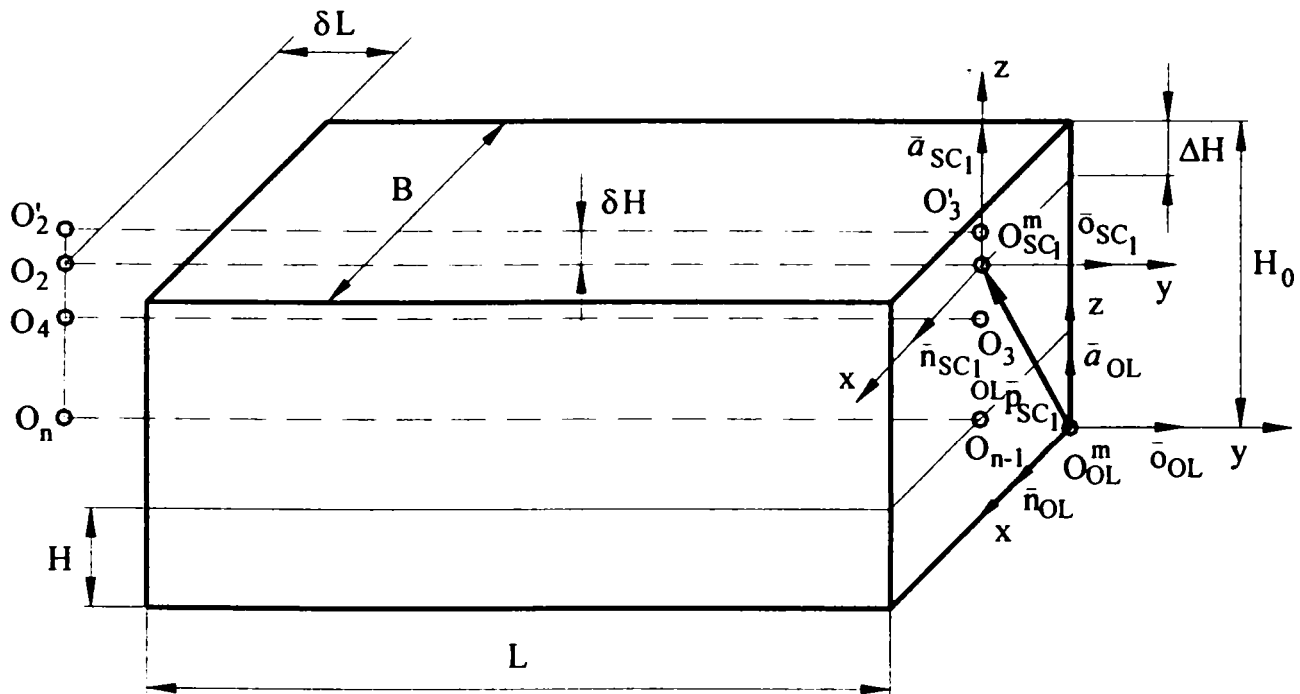


Fig.5.50 Situațiile semnificative relative ale sistemului de referință al sculei  $O_{SC}$  în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru  $O_{OL}$  în cazul prelucrării unei suprafețe plane cu o freză cilindro-frontală

Obiectul de lucru este instalat în dispozitivul de lucru DL, instalat la rândul lui pe masa de lucru ML. Sistemele de referință solidarizate cu acestea,  $O_{OL}$ ,  $O_{DL}$  și  $O_{ML}$  se pot considera suprapuse în situații relative nemodificate în timp. Ca urmare pentru modelarea PeSiR  $O_{OL} - O_{DL}$ ,  $O_{DL} - O_{ML}$  și  $O_{OL} - O_{ML}$  este valabilă relația (5.69).

Masa mașinii de frezat execută mișcări de translație alternativă prin intermediul cărora se realizează trecerile de așchiere și mișcarea de avans longitudinal rapid (retragere rapidă după direcția  $O_{OL}y$ ).

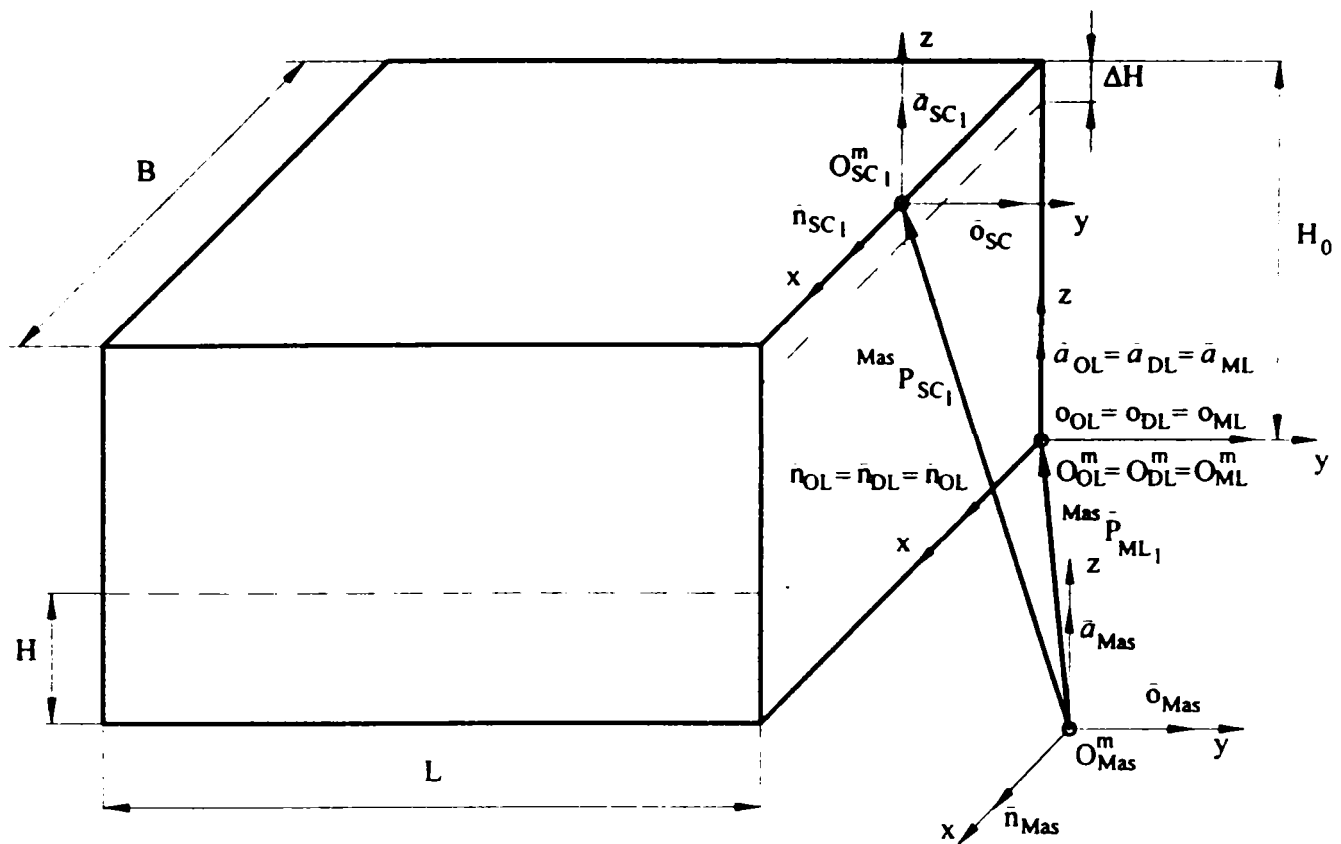


Fig. 5.51 Situațiile semnificative relative ale sistemelor de referință ale mesei de lucru  $O_{ML}$ , respectiv ale saniei  $O_{SA}$  în raport cu sistemul de referință al mașinii  $O_{Mas}$  în cazul prelucrării unei suprafețe plane cu o freză cilindro-frontală

Situațiile semnificative ale mesei de lucru în raport cu mașina de frezat se exprimă prin PeSiR  $O_{ML} - O_{Mas}$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figurii 5.51 este

$${}^{Mas} \underline{T}_{ML_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{ML_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_{ML_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_{ML_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{ML_x_i} \\ \bar{o}_{ML_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_{ML_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_{ML_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{ML_y_i} \\ \bar{a}_{ML_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_{ML_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_{ML_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{ML_z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.78)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{Mas} \underline{T}_{ML_i}$ , calculate conform figurii 5.50 pentru diferite situații semnificative sunt înscrise în tabelul din figura 5.4 din anexa 1. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{ML}$  și  $O_{Mas}$  rămân tot timpul paralele.

Scula (solidară cu sistemul de referință  $O_{SC}$ ) este instalată într-o sanie (solidară cu sistemul de referință  $O_{SA}$ ) care execută în raport cu mașina de frezat mișcări relative de translație după



axa  $O_{SAZ}$ , cu distanța  $\delta H$ , pentru realizarea mișcării de retragere pe direcție verticală a sculei după realizarea unei treceri de lucru, respectiv cu distanța  $\delta H + \Delta H$ , pentru realizarea situării sculei în vederea începerii prelucrării la o nouă grosime intermediară a obiectului de lucru.

Se consideră sistemele de referință solidarizate cu scula  $O_{SC}$ , respectiv sania  $O_{SA}$  suprapuse în situații relative nemodificate în timp

$${}^{SA} \underline{T}_{SC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.79)$$

Situațiile semnificative ale saniei în raport cu mașina de frezat se exprimă prin PeSiR  $O_{SA} - O_{Mas}$ , al cărei model la timpul la timpul  $t = t_i$  conform figurii 5.51 este

$${}^{Mas} \underline{T}_{SA_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SA_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_{SA_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_{SA_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SA_{x_i}} \\ \bar{o}_{SA_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_{SA_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_{SA_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SA_{y_i}} \\ \bar{a}_{SA_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_{SA_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_{SA_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SA_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.80)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{Mas} \underline{T}_{SA_i}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.50 sunt înscrise în tabelul 5.5 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SA}$  și  $O_{Mas}$  rămân întotdeauna paralele.

Luând în considerare ciclograma funcționării elementelor componente în mișcare relativă (masa de lucru și sania portsculă) față de sistemul de referință fix atașat batiului mașinii de lucru (Fig.5.2), se pot determina intervalele de timp dintre situațiile semnificative ale PeSiR.

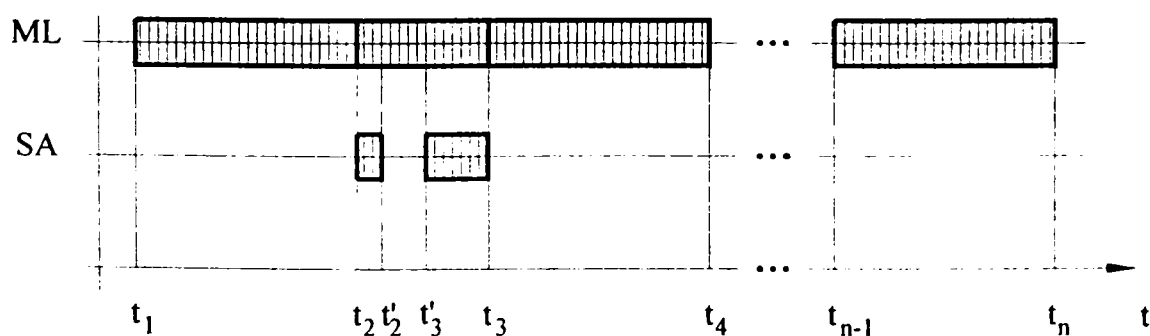


Fig. 5.52 Ciclograma de funcționare a mesei de lucru ML și a saniei portsculă SA în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin frezare cu freză cilindro-frontală

Intervalele de timp  $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = \dots = t_n - t_{n-1}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata fiecărei treceri de așchiere

$$t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = \dots = t_n - t_{n-1} = \frac{L + \delta L}{v_L} \quad (5.81)$$

Intervalele de timp  $t_3 - t_2 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata mișcării de avans longitudinal rapid (retragere rapidă pe direcție orizontală)

$$t_3 - t_2 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2} = \frac{L + \delta L}{v_{L,r}} \quad (5.82)$$

Conform ciclogramei, intervalele de timp  $t_2' - t_2$ ,  $t_3' - t_2'$  și  $t_3' - t_3'$  se suprapun intervalului de timp în care se realizează mișcarea de retragere rapidă. Valorile acestor intervale de timp sunt funcție de viteza mișcării de retragere rapidă ( $v_{L,r}$ ) executată de masa de lucru ML și de vitezele mișcărilor de retragere pe verticală ( $v_{v,r}$ ) și de avans vertical de lucru ( $v_v$ ) executate de sania portsculă SA.

Astfel, intervalele de timp  $t_2' - t_2 = \dots = t_{n-2}' - t_{n-2}$  reprezintă durata mișcării de retragere pe verticală executată de sania portsculă

$$t_2' - t_2 = \dots = t_{n-2}' - t_{n-2} = \frac{\delta H}{v_{v,r}} \quad (5.83)$$

iar intervalele de timp  $t_3 - t_3' = \dots = t_{n-1} - t_{n-1}'$  reprezintă durata mișcării de avans vertical executată de asemenea de sania portsculă

$$t_3 - t_3' = \dots = t_{n-1} - t_{n-1}' = \frac{\delta H + \Delta H}{v_v} \quad (5.84)$$

Intervalele de timp  $t_3' - t_2' = \dots = t_{n-1}' - t_{n-2}'$  reprezintă diferența duratelor dintre mișcările suprapuse ale mesei de lucru și saniei portsculă

$$t_3' - t_2' = \dots = t_{n-1}' - t_{n-2}' = (t_3 - t_2) - \left[ (t_2' - t_2) + (t_3 - t_3') \right] = \frac{L + \delta L}{v_{\text{retr H}}} - \left( \frac{\delta H}{v_{\text{retr v}}} + \frac{\delta H + \Delta H}{v_{\text{inst}}} \right) \quad (5.85)$$

### 5.5.3.3 Concepția integrată a prelucrării prin rabotare a unor obiecte de lucru având suprafețe plane

Se consideră un obiect de lucru prismatic drept (Fig. 5.53). Prelucrarea prin rabotare a obiectului se poate realiza pe o mașină de rabotat transversală (mașină de rabotat cu cap mobil sau șeping) sau pe o mașină de rabotat longitudinală (mașină de rabotat cu masă mobilă)

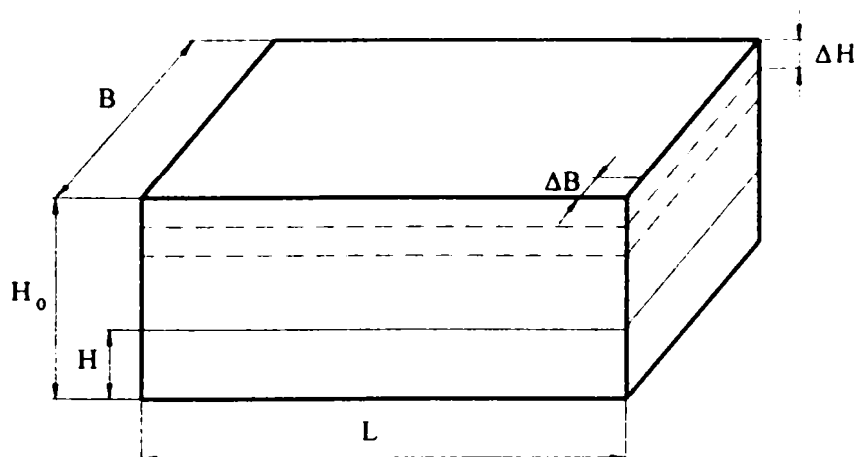


Fig. 5.53 Obiectul de lucru în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare

Obiectul de lucru se instalează într-un dispozitiv de lucru, instalat la rândul său pe masa de lucru a mașinii de rabotat. Scula se instalează în portcuțitul suportului portcuțit situat pe sanie. Se realizează situarea semnificativă inițială a sculei în raport cu obiectul de lucru. Pentru această situație semnificativă vârful sculei se poziționează conform adâncimii de așchiere alese. Se realizează prima cursă activă, executându-se mișcarea principală cu viteza corespunzătoare vitezei de așchiere. Lungimea traiectoriei parcurse de vârful sculei corespunde lungimii obiectului de lucru cumulată cu distanța necesară ieșirii sculei din material. Pe această cale se definește situația semnificativă aferentă sfârșitului primei curse active efectuate.

Din situația corespunzătoare sfârșitului cursei active începe mișcarea de retragere cu viteză rapidă (cursa în gol). La sfârșitul cursei în gol, se execută mișcarea de avans. În urma acestor mișcări scula se găsește în situația corespunzătoare începerii unei noi treceri.

După îndepărtarea primului strat de material de pe întreaga suprafață a obiectului de lucru, se execută mișcarea de avans rapid (revenire), în vederea realizării situației obiectului de lucru corespunzător începerii primei treceri a prelucrării la o nouă grosime intermediară. Urmează

mișcarea de retragere rapidă, după care se execută avansul vertical pe distanța corespunzătoare adâncimii de așchiere în vederea situării sculei pentru prima trecere a prelucrării la o nouă grosime intermediară a obiectului de lucru. Secvențele de mișcare amintite se repetă pentru fiecare trecere și pentru fiecare grosime intermediară, respectiv pentru cea finală.

În vederea prelucrării se stabilesc:

- dimensiunile semifabricatului ( $L, B, H_0$ ) și ale obiectului finit ( $L, B, H$ ), ultimele din condiții funcționale și constructive;
- geometria sculei ;
- adâncimea de așchiere/trecere ( $\Delta H$ );
- viteza de așchiere ( $v_a$ );
- viteza de retragere rapidă ( $v_g$ );
- viteza de avans de lucru ( $v_{av}$ ) și rapid ( $v_r$ );
- viteza de avans vertical ( $v_v$ )
- numărul de curse duble pe minut.

Se calculează:

- numărul de treceri necesare pentru o anumită grosime a obiectului de lucru  $n = \frac{B}{\Delta B}$

unde  $\Delta B$  este lățimea stratului de material îndepărtat la o trecere și are valoarea avansului;

- numărul grosimilor intermediare  $m = \frac{H - H_0}{\Delta H}$ ;

- durata unei treceri.

În cadrul programării se determină:

- situările semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru;
- situările semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situările semnificative ale sistemului de referință al mesei de lucru în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situările semnificative ale sistemului de referință al saniei în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situările semnificative ale sistemului de referință al suportului portcuțit în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;

► timpii în care se realizează situațiile semnificative.

Suprafața activă SA se reduce la tăișul sculei. Scula se definește în raport sistemul de referință  $O_{SC}$  (Fig. 5.36). Originea acestui sistem de referință se află în vârful sculei.

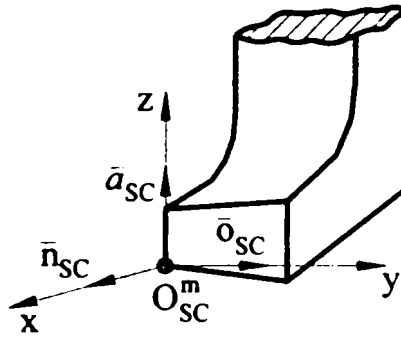


Fig. 5.54 Definirea sistemului de referință  $O_{SC}$  al sculei

Situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei față de sistemul de referință al obiectului de lucru se exprimă prin PeSiR  $O_{SC}^m - O_{OL}^m$ , al cărui model la timpul  $t = t_{ij}$ , conform figurii 5.55 este

$${}^{OL}\underline{T}_{SCij} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SCij} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SCij} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{n}_{SCij} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}P_{SCxij} \\ \bar{o}_{SCij} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SCij} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{o}_{SCij} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}P_{SCyij} \\ \bar{a}_{SCij} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{a}_{SCij} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{a}_{SCij} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}P_{SCzij} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.86)$$

unde  $i = 1 \dots n$  reprezintă indicele trecerii, iar  $j = 1 \dots m$  indicele grosimii care se realizează la timpul respectiv.

Valorile elementelor matricei  ${}^{OL}\underline{T}_{SCij}$  calculate pentru diferitele situații semnificative determinate în conformitate cu procedeul descris anterior, sunt înscrise în tabelul 5.6 din anexa 1. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SC}$  și  $O_{OL}$  rămân mereu paralele.

Pentru programarea funcționării mașinii de lucru este necesar să se determine situațiile relative ale sistemului de referință  $O_{SC}$  a sculei în raport cu sistemul de referință a mașinii (solidarizat cu batiul acestuia). Aceste situații semnificative ale sculei se determină pornind de la situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru, conform figurii 5.55, ținând seama de relația (5.60).

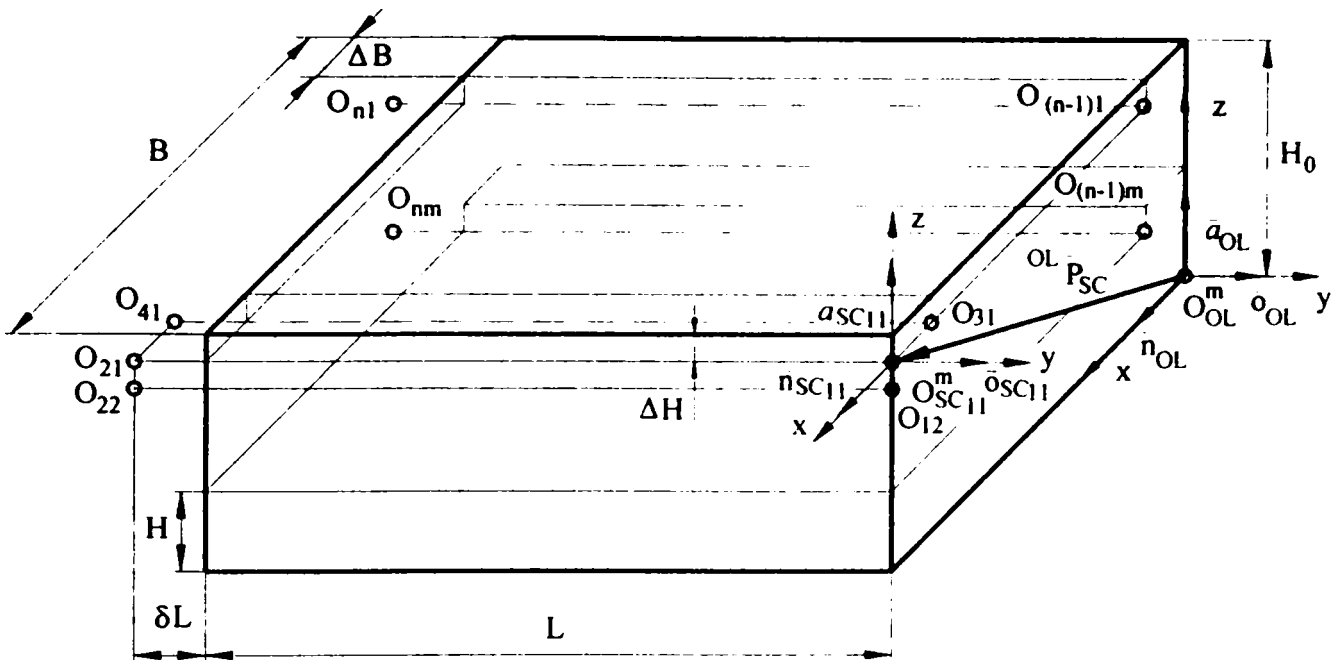


Fig. 5.55 Situațiile semnificative relative ale sistemului de referință al sculei  $O_{SC}$  în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru  $O_{OL}$  în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare

Situațiile relative ale sistemelor de referință  $O_{SC}$ ,  $O_{SP}$ ,  $O_{SA}$ ,  $O_{OL}$ ,  $O_{DL}$ ,  $O_{ML}$  și  $O_{Maș}$  sunt prezentate în figura 5.56.

Obiectul de lucru este instalat în dispozitivul de lucru DL, instalat la rândul lui pe masa de lucru ML. Sistemele de referință solidarizate cu acestea,  $O_{OL}$ ,  $O_{DL}$  și  $O_{ML}$  se pot considera suprapuse în situații relative nemodificate în timp. Ca urmare pentru modelarea PeSiR  $O_{OL} - O_{DL}$ ,  $O_{DL} - O_{ML}$  și  $O_{OL} - O_{ML}$  se poate scrie

$${}^{DL}\underline{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{ML}\underline{T}_{DL} = {}^{ML}\underline{T}_{OL} \quad (5.87)$$

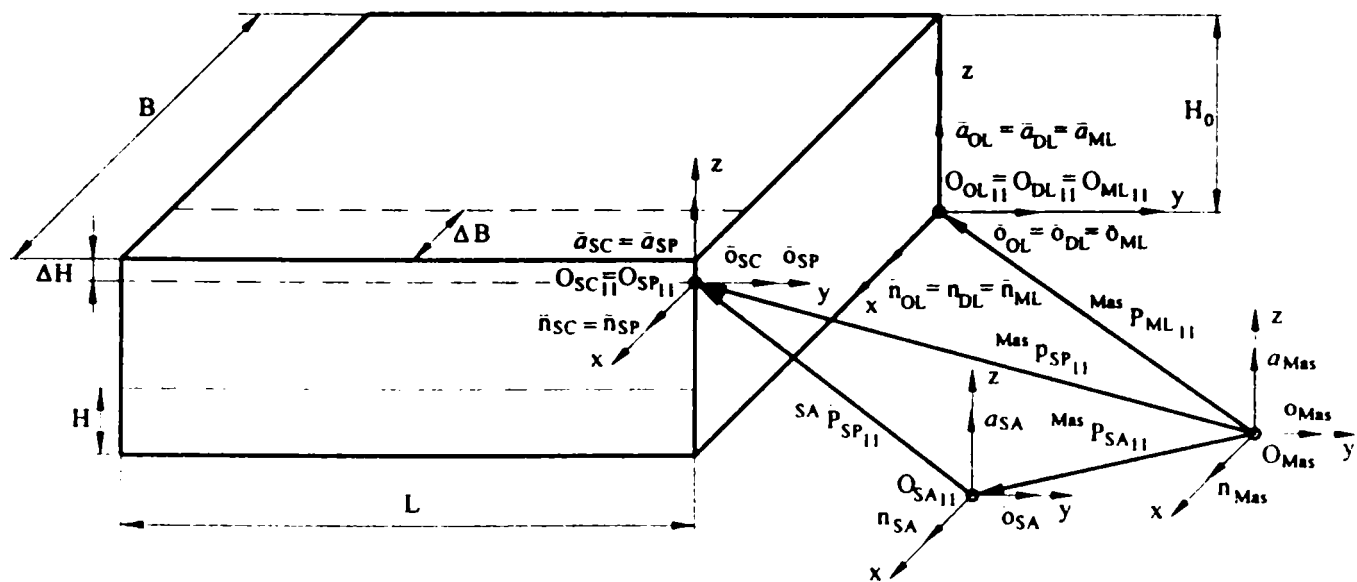


Fig.5.56 Situațiile semnificative relative ale sistemelor de referință ale mesei de lucru  $O_{ML}$ , și ale saniei  $O_{SA}$  în raport cu sistemul de referință al mașinii  $O_{Mas}$ , respectiv ale suportului portcuțit  $O_{SP}$  în raport cu sistemul de referință al saniei și mașinii, în cazul prelucrării unei suprafețe plane pe o mașină de rabotat

În cazul în care prelucrarea se realizează pe o mașină de rabotat transversală (cu cap mobil), masa de lucru execută doar mișcările de translație intermitentă prin intermediul cărora se realizează avansul de lucru și cel rapid (de revenire).

În cazul prelucrării pe o mașină de rabotat longitudinală (cu masă mobilă), masa de lucru execută mișcarea principală (cursa activă și în gol).

Situațiile semnificative ale mesei de lucru în raport cu mașina se exprimă prin PeSiR  $O_{ML} - O_{Mas}$ , al cărui model la timpul  $t = t_{ij}$ , conform figurii 5.56 este

$${}^{Mas}T_{ML_{ij}} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{ML_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_{ML_{ij}} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_{ML_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}P_{ML_{xij}} \\ \bar{o}_{ML_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_{ML_{ij}} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_{ML_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}P_{ML_{yij}} \\ \bar{a}_{ML_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_{ML_{ij}} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_{ML_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}P_{ML_{zij}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.88)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{Mas}T_{ML_{ij}}$  calculate conform figurii 5.55 pentru diferite situații semnificative sunt înscrise în tabelul 5.7 din anexa 1 pentru cazul prelucrării pe o mașină de rabotat transversală, respectiv în tabelul 5.8 din anexa 1 pentru cazul prelucrării pe o mașină de rabotat longitudinală. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{ML}$  și  $O_{Mas}$  rămân tot timpul paralele.

Scula (solidară cu sistemul de referință  $O_{SC}$ ) este instalată în portcușitul suportului portcușit (solidar cu sistemul de referință  $O_{SP}$ ). Suportul portcușit este montat pe sania SA (solidară cu sistemul de referință  $O_{SA}$ ).

Se consideră sistemele de referință solidarizate cu scula  $O_{SC}$ , respectiv suportul portcușit  $O_{SP}$  suprapuse în situații relative nemodificate în timp

$${}^{SP}\underline{T}_{SC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.89)$$

Pentru modelarea PeSiR  $O_{SP} - O_{Mas}$  se poate scrie:

$${}^{Mas}\underline{T}_{SP_{ij}} = {}^{Mas}\underline{T}_{SA_{ij}} \cdot {}^{SA}\underline{T}_{SP_{ij}} \quad (5.90)$$

În cazul prelucrării pe o mașină de rabotat transversală sania execută mișcarea principală (cursa activă și în gol), iar în cazul prelucrării pe o mașină de rabotat longitudinală ea execută doar mișcările de translație intermitentă prin intermediul cărora se realizează avansul de lucru și cel rapid (de revenire).

Situațiile semnificative ale saniei în raport cu mașina de rabotat se exprimă prin PeSiR  $O_{SA} - O_{Mas}$ , al cărui model la timpul  $t = t_{ij}$  conform figurii 5.56 este

$${}^{Mas}\underline{T}_{SA_{ij}} = \begin{bmatrix} \overline{\Pi}_{SA_{ij}} \cdot \overline{\Pi}_{Mas} & \overline{\Pi}_{SA_{ij}} \cdot \overline{O}_{Mas} & \overline{\Pi}_{SA_{ij}} \cdot \overline{a}_{Mas} & {}^{Mas}P_{SA_{x_{ij}}} \\ \overline{O}_{SA_{ij}} \cdot \overline{\Pi}_{Mas} & \overline{O}_{SA_{ij}} \cdot \overline{O}_{Mas} & \overline{O}_{SA_{ij}} \cdot \overline{a}_{Mas} & {}^{Mas}P_{SA_{y_{ij}}} \\ \overline{a}_{SA_{ij}} \cdot \overline{\Pi}_{Mas} & \overline{a}_{SA_{ij}} \cdot \overline{O}_{Mas} & \overline{a}_{SA_{ij}} \cdot \overline{a}_{Mas} & {}^{Mas}P_{SA_{z_{ij}}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.91)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{Mas}\underline{T}_{SA_{ij}}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.55 sunt înscrise în tabelul 5.9 din anexa 5.1 pentru cazul prelucrării pe o mașină de rabotat transversală, respectiv în tabelul 5.10 din anexa 1 pentru cazul prelucrării pe o mașină de rabotat longitudinală. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SA}$  și  $O_{Mas}$  rămân întotdeauna paralele.

Suportul portcușit execută față de sanie mișcări de translație intermitentă, pentru realizarea avansului vertical, atât în cazul prelucrării pe mașina de rabotat transversală, cât și pe cea longitudinală. Situațiile semnificative ale suportului portcușit în raport cu sania se modelează prin PeSiR  $O_{SP} - O_{SA}$ , al cărui model la timpul  $t = t_{ij}$  conform figurii 5.56 este



$${}^{SA}\underline{T}_{SPij} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SPij} \cdot \bar{n}_{SA} & \bar{n}_{SPij} \cdot \bar{o}_{SA} & \bar{n}_{SPij} \cdot \bar{a}_{SA} & {}^{SA}P_{SPxij} \\ \bar{o}_{SPij} \bar{n}_{SA} & \bar{o}_{SPij} \bar{o}_{SA} & \bar{o}_{SPij} \cdot \bar{a}_{SA} & {}^{SA}P_{SPyij} \\ \bar{a}_{SPij} \bar{n}_{SA} & \bar{a}_{SPij} \bar{o}_{SA} & \bar{a}_{SPij} \cdot \bar{a}_{SA} & {}^{SA}P_{SPzij} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.92)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{SA}\underline{T}_{SPij}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.55 sunt înscrise în tabelul 5.11 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SP}$  și  $O_{SA}$  rămân întotdeauna paralele. Luând în considerare ciclograma funcționării elementelor componente în mișcare relativă (masa de lucru, sania și suportul portcuțit) față de sistemul de referință fix atașat batiului mașinii de lucru (Fig. 5.57), se pot determina intervalele de timp dintre situațiile semnificative ale PeSiR.

Intervalele de timp  $t_{21} - t_{11} = t_{41} - t_{31} = \dots = t_{n1} - t_{(n-1)1} = \dots = t_{22} - t_{12} = \dots = t_{nm} - t_{(n-1)m}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata fiecărei curse active (de așchiere)

$$t_{21} - t_{11} = t_{41} - t_{31} = \dots = t_{n1} - t_{(n-1)1} = \dots = t_{22} - t_{12} = \dots = t_{nm} - t_{(n-1)m} = \frac{L + \delta L}{v_a} \quad (5.93)$$

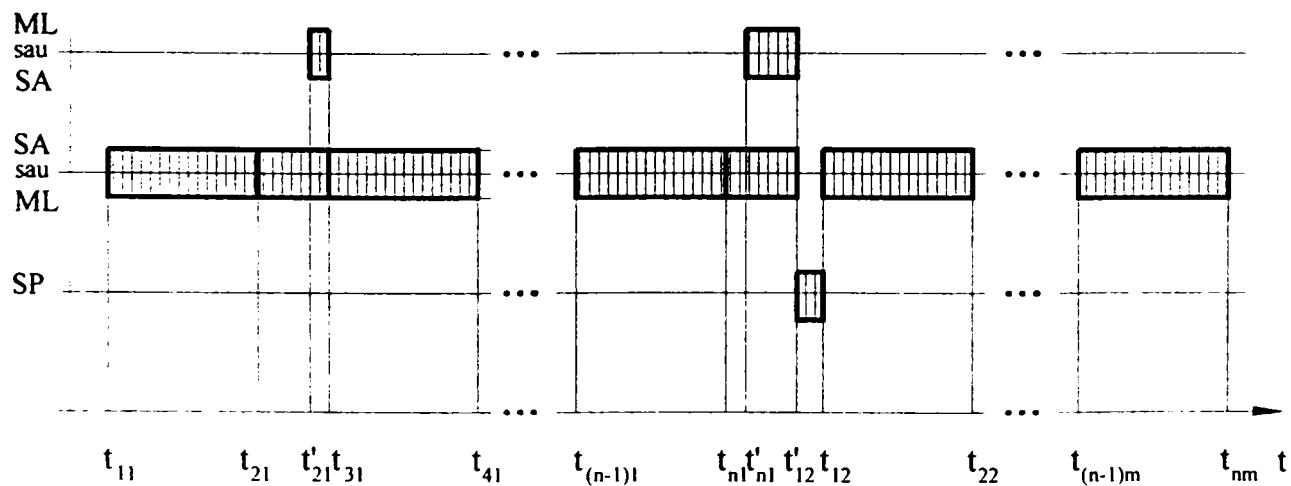


Fig. 5.57 Ciclograma de funcționare a mesei de lucru ML, saniei SA și suportului portcuțit SP în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare

Intervalele de timp  $t_{31} - t_{21} = \dots = t_{12} - t_{n1} = t_{(n-1)m} - t_{(n-2)m}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata fiecărei curse în gol

$$t_{31} - t_{21} = \dots = t_{12} - t_{n1} = \dots = t_{(n-1)m} - t_{(n-2)m} = \frac{L + \delta L}{v_g} \quad (5.94)$$

Intervalele de timp  $t_{31} - t_{21} = \dots = t_{(n-1)m} - t_{(n-2)m}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului de lucru

$$t_{31} - t_{21} = \dots = t_{(n-1)m} - t_{(n-2)m} = \frac{\Delta B}{v_{av}} \quad (5.95)$$

Intervalele de timp  $t_{12} - t_{n1} = \dots = t_{1m} - t_{n(m-1)}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata fiecărei curse de revenire (cu avans rapid)

$$t_{12} - t_{n1} = \dots = t_{1m} - t_{n(m-1)} = \frac{B - \Delta B}{v_r} \quad (5.96)$$

Intervalele de timp  $t_{12} - t_{12} = \dots = t_{1m} - t_{1m}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata mișcării de avans vertical

$$t_{12} - t_{12} = \dots = t_{1m} - t_{1m} = \frac{\Delta H}{v_v} \quad (5.97)$$

Conform ciclogramei, se observă că mișcările de avans, atât cel de lucru cât și cel rapid, se suprapun cursei în gol.

Intervalele de timp  $t'_{21} - t_{21} = t'_{(n-2)m} - t_{(n-2)m}$  reprezintă diferența dintre durata cursei în gol și durata avansului de lucru

$$t'_{21} - t_{21} = t'_{(n-2)m} - t_{(n-2)m} = \frac{L + \delta L}{v_g} - \frac{\Delta B}{v_{av}} \quad (5.98)$$

Intervalele de timp  $t'_{n1} - t_{n1} = \dots = t'_{n(m-1)} - t_{n(m-1)}$  reprezintă diferența dintre durata cursei în gol și durata avansului rapid

$$t'_{n1} - t_{n1} = \dots = t'_{n(m-1)} - t_{n(m-1)} = \frac{L + \delta L}{v_g} - \frac{B - \Delta B}{v_r}$$

#### 5.3.3.4 Concepția integrată a prelucrării prin strunjire frontală a suprafeței plane a unor obiecte de revoluție

Prelucrarea prin strunjire frontală se aplică suprafețelor plane frontale aparținând unor obiecte de lucru de revoluție. Pentru exemplificare se consideră obiectul cilindric din figura 5.58.

Obiectul de lucru se instalează în dispozitivul de lucru, instalat la rândul său pe arborele principal al mașinii de lucru împreună cu care execută mișcarea principală de rotație. Scula se instalează în portcuțitul instalat la rândul lui pe sania transversală care realizează mișcarea de

avans transversal (perpendicular pe axa obiectului) de lucru și rapid (retragere rapidă transversală). Sania transversală este instalată pe sania longitudinală care execută mișcarea de avans longitudinal (paralel cu axa obiectului) de lucru și rapid (retragere rapidă longitudinală).

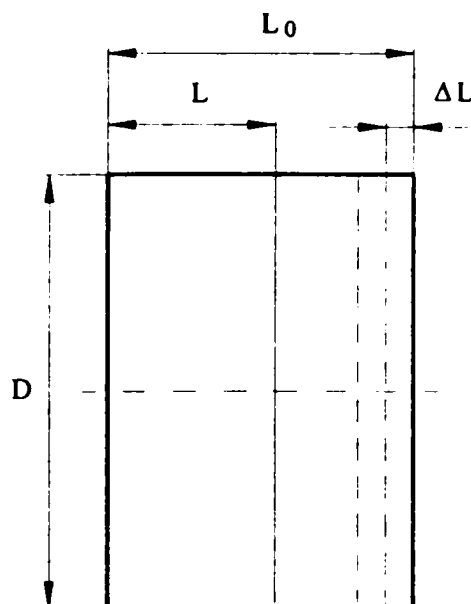


Fig. 5.58 Obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire frontală a suprafeței plane a unui obiect de revoluție

La începutul prelucrării, se imprimă obiectului mișcarea principală de rotație. Se realizează situația inițială a sculei astfel încât tăișul să fie tangent la suprafața frontală a obiectului, iar vârful să fie în planul ce conține axa obiectului și la o distanță egală cu adâncimea de așchiere față de suprafața frontală. Se execută prima trecere, sania transversală efectuând mișcarea de avans transversal până ce vârful sculei ajunge în axa obiectului, pe o distanță egală cu raza obiectului de lucru cumulată cu distanța  $\delta D$  necesară pătrunderii sculei în material. Urmează mișcarea de avans longitudinal rapid de retragere pe distanța  $\delta L$ , mișcarea de avans transversal rapid de retragere și mișcarea de avans longitudinal rapid de apropiere. În urma acestor mișcări situația sculei este cea corespunzătoare începerii unei noi treceri.

Se aleg:

- dimensiunile semifabricatului (diametrul  $D$  și lungimea  $L_0$ ) și a obiectului finit (diametrul  $D$  și lungimea  $L$ ), ultimele din condiții constructive și funcționale;
- geometria sculei;
- adâncimea de așchiere la o trecere ( $\Delta L$ );

- viteza de aşchiere ( $v_{aşch}$ ), respectiv viteza unghiulară de rotație a obiectului ( $\omega = \frac{2v_{aşch}}{D}$ );
- viteza de avans transversal de lucru ( $v_T$ ) și rapid ( $v_{T,r}$ );
- viteza de avans longitudinal de lucru ( $v_L$ ) și rapid ( $v_{L,r}$ ).

Se calculează:

- numărul de treceri necesare  $n = \frac{L_0 - L}{\Delta L}$ ;
- distanța necesară pătrunderii sculei în material;
- durata mișcărilor de avans de lucru și rapide.

În cadrul programării se determină:

- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al saniei longitudinale în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al saniei transversale în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale;
- timpii în care se realizează situațiile semnificative.

Scula se definește în raport cu sistemul de referință  $O_{SC}$  (Fig. 5.59).

$\delta D$  reprezintă distanța necesară pătrunderii sculei în material, mărimea ei fiind dependentă de adâncimea de aşchiere  $\Delta L$  și de unghiul de atac principal  $\alpha$  pe care tăișul principal al sculei îl formează cu planul  $xO_{SC}z$

$$\delta D = \frac{\Delta L}{\text{tg}\alpha} \quad (5.100)$$

Situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei față de sistemul de referință al obiectului de lucru se exprimă prin PeSiR  $O_{SC}^m - O_{OL}^m$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figurii 5.60 este

$${}^{OL}\underline{T}_{SC_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{x_i}} \\ \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{y_i}} \\ \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.101)$$

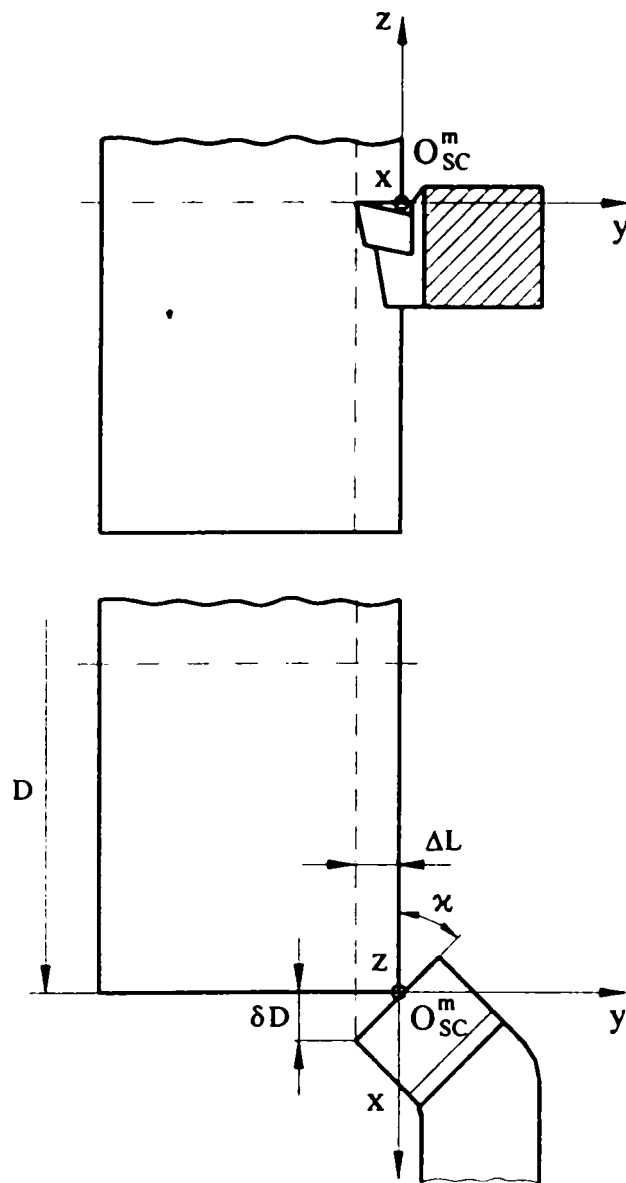


Fig. 5.59 Definirea situații inițiale a sculei solidară cu sistemul  $O_{SC}$  în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire frontală a suprafeței plane a unui obiect de revoluție.

Valorile elementelor matricei  ${}^{OL}\underline{T}_{SC_i}$  calculate pentru diferitele situații semnificative determinate conform figurii 5.60, sunt înscrise în tabelul 5.12 din anexa 1. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SC}$  și  $O_{OL}$  rămân mereu paralele.

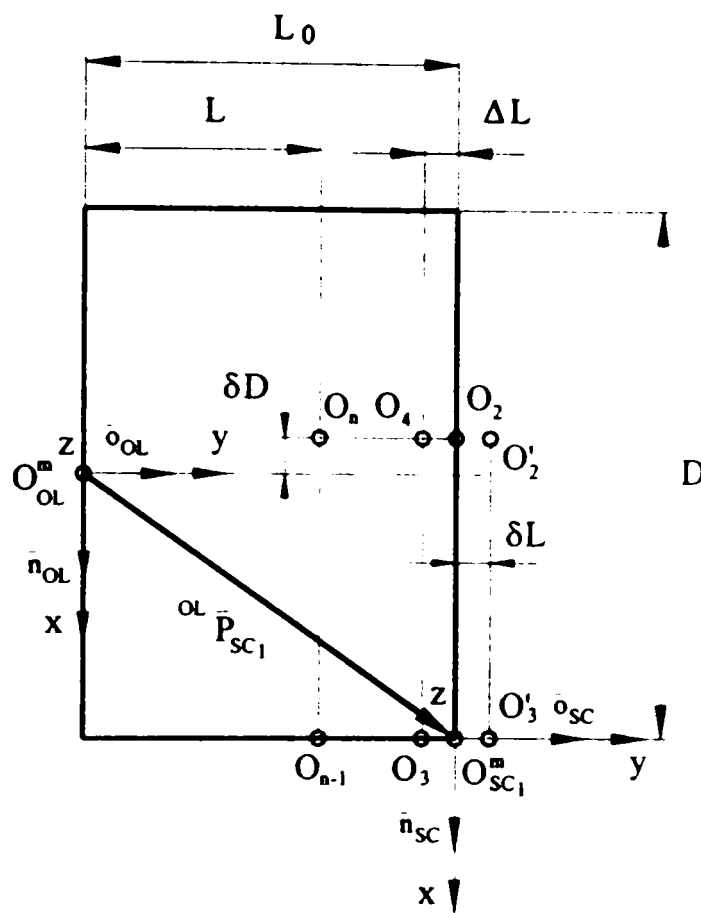


Fig.5.61 Situațiile semnificative relative ale sistemului de referință al sculei în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire frontală a suprafeței plane a unui obiect de revoluție

Obiectul de lucru este instalat în dispozitivul de lucru DL, instalat la rândul lui în arborele principal al mașinii, împreună cu care realizează mișcarea principală de rotație. Întrucât nici obiectul de lucru și nici dispozitivul de lucru nu prezintă orientări distincte în raport cu axa Oy, sistemele de referință solidarizate cu acestea,  $O_{OL}$  și  $O_{DL}$  se pot considera suprapuse, în situații relative nemodificate în timp, cu sistemul de referință atașat mașinii  $O_{Mas}$  (Fig. 5.62).

Ca urmare pentru modelarea PeSiR  $O_{OL} - O_{DL}$ ,  $O_{DL} - O_{Mas}$  și  $O_{OL} - O_{Mas}$  se poate scrie

$${}^{DL}\underline{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{Mas}\underline{T}_{DL} = {}^{Mas}\underline{T}_{OL} \quad (5.102)$$

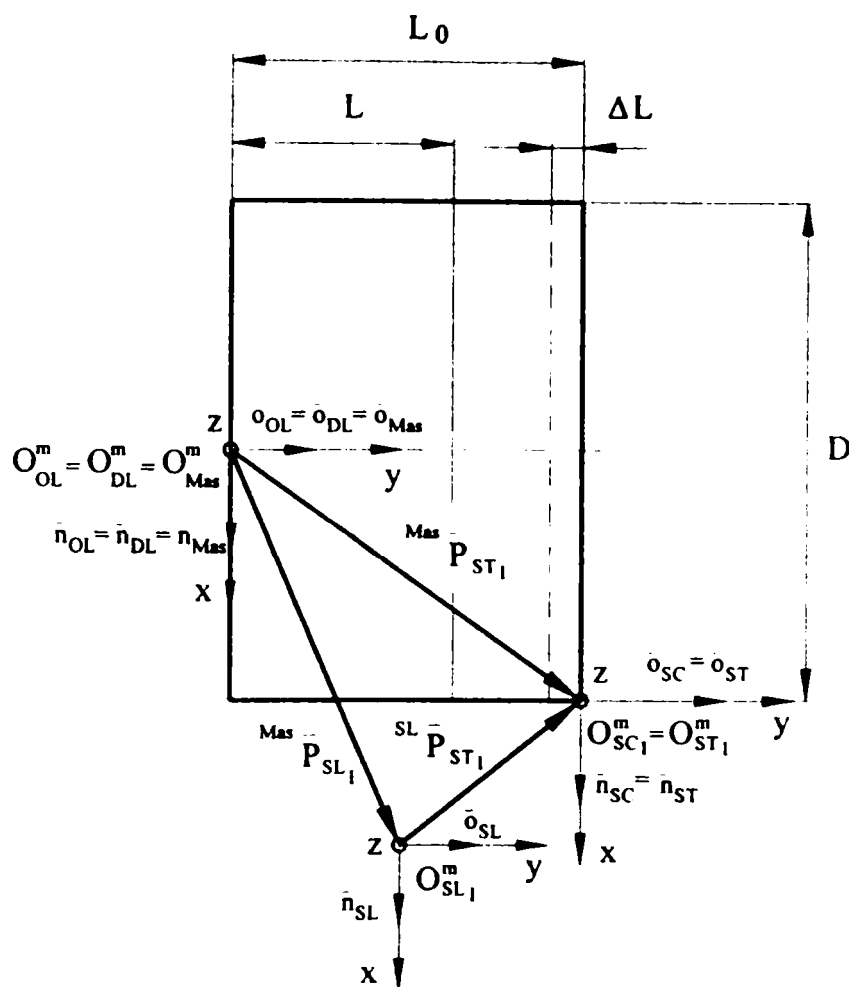


Fig.5.62 Situațiile semnificative relative ale sistemelor de referință ale dispozitivului de lucru  $O_{DL}$  și ale saniei longitudinale  $O_{SL}$  în raport cu sistemul de referință al mașinii  $O_{Mas}$ , respectiv ale saniei transversale  $O_{ST}$  în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale și al mașinii, în cazul prelucrării prin strunjire frontală

Scula (solidară cu sistemul de referință  $O_{SC}$ ) este instalată în portcușitul saniei transversale (solidară cu sistemul de referință  $O_{ST}$ ). Sania transversală este montată pe sania longitudinală (solidară cu sistemul de referință  $O_{SL}$ ).

Se consideră sistemele de referință solidarizate cu scula  $O_{SC}$ , respectiv sania transversală  $O_{ST}$  suprapuse în situații relative nemodificate în timp

$${}^{ST}\mathbf{T}_{SC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.103)$$

Pentru modelarea PeSiR  $O_{ST} - O_{Mas}$  se poate scrie:

$${}^{Mas} \underline{T}_{ST_i} = {}^{Mas} \underline{T}_{SL_i} \cdot {}^{SL} \underline{T}_{ST_i} \quad (5.104)$$

Sania longitudinală execută mișcarea de avans longitudinal rapid de retragere pe distanța  $\delta L$ , precum și mișcarea de avans longitudinal rapid de apropiere pe distanța  $\delta L + \Delta L$ , ambele suprapuse cu mișcarea de retragere a saniei transversale.

Situările semnificative ale saniei longitudinale în raport cu mașina se exprimă prin PeSiR  $O_{SL} - O_{Mas}$ , al cărei model la timpul la timpul  $t = t_i$  conform figurii 5.62 este

$${}^{Mas} \underline{T}_{SL_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SL_x_i} \\ \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SL_y_i} \\ \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SL_z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.105)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{Mas} \underline{T}_{SL_i}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.61 sunt înscrise în tabelul 5.13 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SL}$  și  $O_{Mas}$  rămân întotdeauna paralele.

Sania transversală execută față de sania longitudinală mișcări de translație alternativă pentru realizarea avansului transversal de lucru și rapid. Situațiile semnificative ale saniei transversale în raport cu sania longitudinală se modelează prin PeSiR  $O_{ST} - O_{SL}$ , al cărei model la timpul  $t = t_i$  conform figurii 5.62 este

$${}^{SL} \underline{T}_{ST_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL} p_{ST_x_i} \\ \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL} p_{ST_y_i} \\ \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL} p_{ST_z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.106)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{SL} \underline{T}_{ST_i}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.61 sunt înscrise în tabelul 5.14 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SP}$  și  $O_{SA}$  rămân întotdeauna paralele. Luând în considerare ciclograma funcționării elementelor componente în mișcare relativă (sania transversală și sania longitudinală) față de sistemul de referință fix atașat batiului mașinii de lucru (Fig. 5.63), se pot determina intervalele de timp dintre situațiile semnificative ale PeSiR.



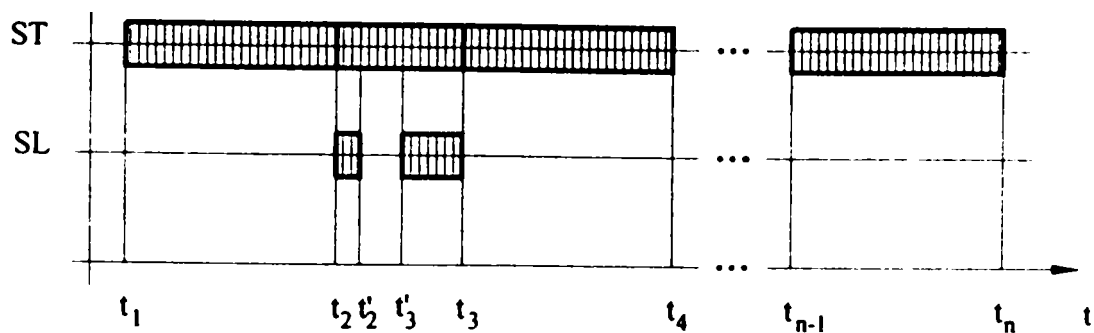


Fig.5.63 Ciclograma de funcționare a saniei transversale ST și a saniei și longitudinale SL în cazul prelucrării prin strunjire frontală a unei suprafețe plane a unui obiect de revoluție

Intervalele de timp  $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = \dots = t_n - t_{n-1}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului de transversal de lucru

$$t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = \dots = t_n - t_{n-1} = \frac{\frac{D}{2} + \delta D}{v_T} \quad (5.107)$$

Intervalele de timp  $t_3 - t_2 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului transversal rapid (de retragere transversală)

$$t_3 - t_2 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2} = \frac{\frac{D}{2} + \delta D}{v_{T_r}} \quad (5.108)$$

Conform ciclogramei, intervalele de timp  $t'_2 - t_2$ ,  $t'_3 - t'_2$  și  $t_3 - t'_3$  se suprapun intervalului de timp în care sania transversală ST execută mișcarea de avans transversal rapid (retragere transversală rapidă). Valorile acestor intervale de timp sunt funcție de viteza acestei mișcări și a vitezelor mișcărilor de avans longitudinal rapid ( $v_{L_r}$ ) și de lucru ( $v_L$ ) executate de sania longitudinală SL.

Astfel, intervalele de timp  $t'_2 - t_2 = \dots = t'_{n-2} - t_{n-2}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului longitudinal rapid (de retragere longitudinală)

$$t'_2 - t_2 = \dots = t'_{n-2} - t_{n-2} = \frac{\delta L}{v_{L_r}} \quad (5.109)$$

iar intervalele  $t_3 - t_3^i = \dots = t_{n-1} - t_{n-1}^i$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului longitudinal de lucru

$$t_3 - t_3^i = \dots = t_{n-1} - t_{n-1}^i = \frac{\delta L + \Delta L}{v_{Lr}} \quad (5.110)$$

Intervalele de timp  $t_3^i - t_2^i = \dots = t_{n-1}^i - t_{n-2}^i$  reprezintă diferența duratelor dintre mișcările suprapuse ale saniei transversale și saniei longitudinale

$$t_3^i - t_2^i = \dots = t_{n-1}^i - t_{n-2}^i = \frac{\frac{D}{2} + \delta D}{v_{Tr}} - \frac{2\delta L + \Delta L}{v_{Lr}} \quad (5.111)$$

#### 5.5.4 Codificarea matematică a informațiilor pentru prelucrarea prin așchiere a unor obiecte de lucru având suprafețe de revoluție

##### 5.5.4.1 Concepția integrată a prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare

În cazul prelucrării prin strunjire, obiectul de lucru se instalează în dispozitivul de lucru, instalat la rândul său în arborele principal al mașinii, împreună cu care execută mișcarea principală de rotație. Scula se instalează în portcuțitul instalat la rândul lui pe sania transversală care realizează mișcarea de avans transversal (perpendicular pe axa obiectului) de lucru și rapid (retragere rapidă transversală). Sania transversală este instalată pe sania longitudinală care execută mișcarea de avans longitudinal (paralel cu axa obiectului) de lucru și rapid (retragere rapidă longitudinală).

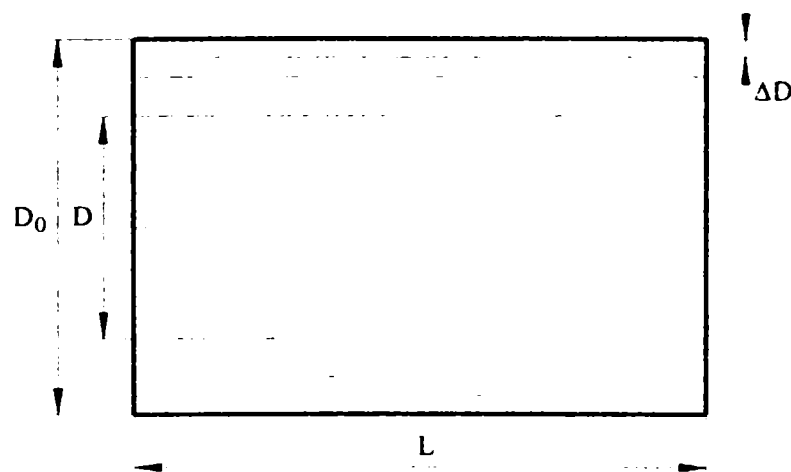


Fig.5.64 Obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare

La începutul prelucrării, se imprimă obiectului mișcarea principală de rotație iar scula se instalează astfel încât tăișul să fie tangent la suprafața frontală a obiectului iar vârful sculei să fie situat în planul ce conține axa obiectului și față de aceasta la o distanță egală cu diferența dintre rază și adâncimea de așchiere. Se realizează prima trecere, sania longitudinală executând mișcarea de avans longitudinal de lucru pe o distanță egală cu lungimea obiectului cumulată cu distanța  $\delta L$  necesară pătrunderii sculei în material. Urmează mișcarea de avans transversal rapid (de retragere transversală rapidă) pe distanța  $\delta D$ , mișcarea de avans longitudinal rapid (de retragere longitudinală rapidă) și mișcarea de avans transversal rapid (de apropiere). În urma acestor mișcări scula se găsește în situarea corespunzătoare începerii unei noi treceri.

Se stabilesc:

- dimensiunile semifabricatului (diametrul  $D_0$  și lungimea  $L$ ) și a obiectului finit (diametrul  $D$  și lungimea  $L$ ) din condiții constructive și funcționale;
- geometria sculei;
- viteza de așchiere ( $v_{a\text{sch}}$ ), respectiv viteza unghiulară de rotație a obiectului ( $\omega = \frac{2v_{a\text{sch}}}{D_0}$ );
- viteza de avans longitudinal de lucru ( $v_L$ ) și rapid ( $v_{L_r}$ );
- viteza de avans transversal de lucru ( $v_T$ ) și rapid ( $v_{T_r}$ );
- adâncimea de așchiere la o trecere ( $\Delta D$ ).

Se calculează:

- numărul necesar de treceri:  $n = \frac{D_0 - D}{2\Delta D}$ ;
- distanța necesară pătrunderii sculei în material;
- durata mișcărilor de avans de lucru și rapide.

În cadrul programării se determină:

- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al saniei longitudinale în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situațiile semnificative al sistemului de referință al saniei transversale în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale;

► timpii în care se realizează situațiile semnificative ale sistemelor de referință.

Scula se definește în raport cu sistemul de referință  $O_{SC}$  (Fig. 5.65).

$\delta L$  reprezintă distanța necesară pătrunderii sculei în material, mărimea ei fiind dependentă de adâncimea de așchiere  $\Delta D$  și de unghiul de atac principal  $\kappa$  pe care tăișul principal al sculei îl formează cu planul  $yO_{SC}z$

$$\delta L = \frac{\Delta D}{\operatorname{tg} \kappa} \quad (5.112)$$

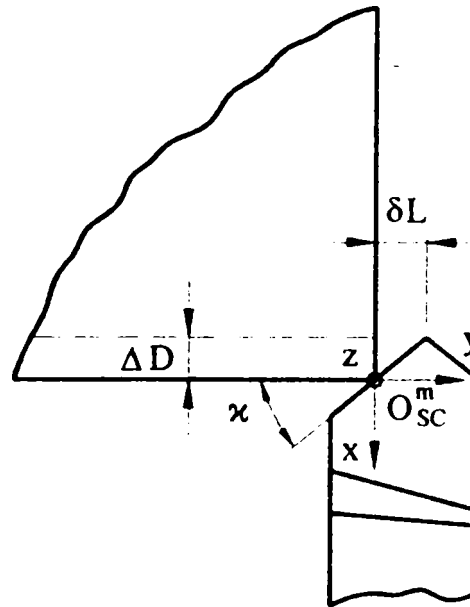


Fig. 5.65 Definierea situației inițiale a sistemului de referință al sculei  $O_{SC}$  în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare

Situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei față de sistemul de referință al obiectului de lucru se exprimă prin  $P_{eSiR}^{O_{SC}^m - O_{OL}^m}$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figurii 5.66 este

$${}^{OL} \underline{T}_{SC_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL} p_{SC_{x_i}} \\ \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL} p_{SC_{y_i}} \\ \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL} p_{SC_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.113)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{OL}\underline{T}_{SC_i}$  calculate pentru diferitele situații semnificative determinate în conformitate cu procedeul descris anterior, sunt înscrise în tabelul 5.15 din anexa 1. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SC}$  și  $O_{OL}$  rămân mereu paralele.

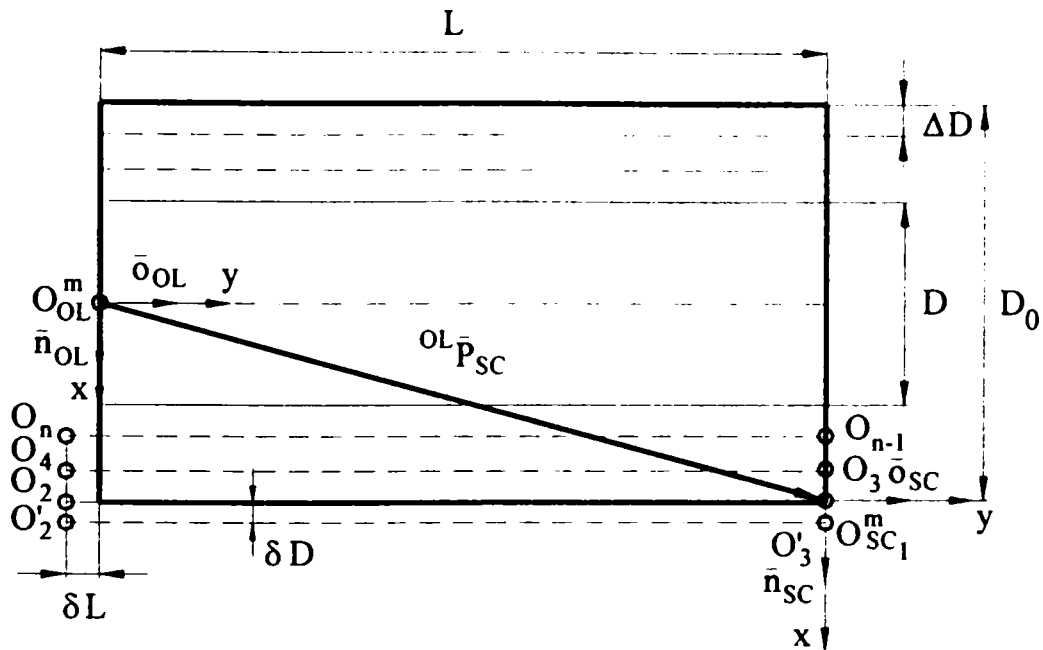


Fig.5.66 Situațiile semnificative relative ale sistemului de referință al sculei în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare

Obiectul de lucru este instalat în dispozitivul de lucru DL, instalat la rândul lui în arborele principal al mașinii Maș, împreună cu care realizează mișcarea principală de rotație. Întrucât nici obiectul de lucru și nici dispozitivul de lucru nu prezintă orientări distincte în raport cu axa Oy, sistemele de referință solidarizate cu acestea,  $O_{OL}$  și  $O_{DL}$  se pot considera suprapuse, în situații relative nemodificate în timp, cu sistemul de referință atașat mașinii  $O_{Maș}$  (Fig. 5.67).

Ca urmare pentru modelarea PeSiR  $O_{OL} - O_{DL}$ ,  $O_{DL} - O_{Maș}$  și  $O_{OL} - O_{Maș}$  se poate scrie

$${}^{DL}\underline{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{Mas}\underline{T}_{DL} = {}^{Mas}\underline{T}_{OL} \quad (5.114)$$

Scula (solidară cu sistemul de referință  $O_{SC}$ ) este instalată în portcuțul saniei transversale (solidară cu sistemul de referință  $O_{ST}$ ). Sania transversală este montată pe sania longitudinală (solidară cu sistemul de referință  $O_{SL}$ ).

Se consideră sistemele de referință solidarizate cu scula  $O_{SC}$ , respectiv sania transversală  $O_{ST}$  suprapuse în situații relative nemodificate în timp

$${}^{ST}\underline{T}_{SC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.115)$$

Pentru modelarea PeSiR  $O_{ST} - O_{Mas}$  se poate scrie:

$${}^{Mas}\underline{T}_{ST_i} = {}^{Mas}\underline{T}_{SL_i} \cdot {}^{SL}\underline{T}_{ST_i} \quad (5.116)$$

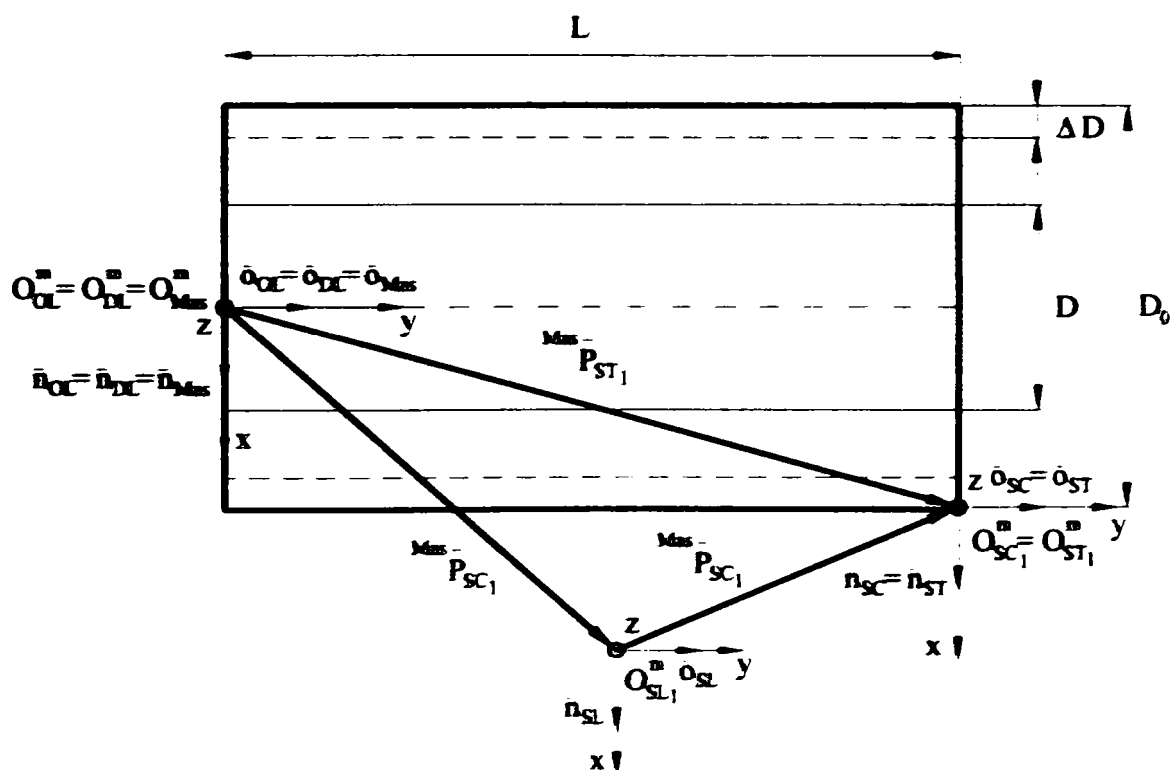


Fig. 6.67 Situațiile semnificative relative ale sistemelor de referință ale dispozitivului de lucru  $O_{TL}$  și ale saniei longitudinale  $O_{SL}$  în raport cu sistemul de referință al mașinii  $O_{Mas}$ , respectiv ale saniei transversale  $O_{ST}$  în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale și al mașinii, în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare

Sania longitudinală execută mișcarea de avans longitudinal de lucru și rapid (retragere longitudinală) ambele pe distanța  $\delta L + \Delta L$ .

Situările semnificative ale saniei longitudinale în raport cu mașina se exprimă prin PeSiR  $O_{SL} - O_{Mas}$ , al cărei model la timpul  $t = t_i$  conform figurii 5.67 este

$${}^{Mas} \underline{T}_{SL_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SL_{x_i}} \\ \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SL_{y_i}} \\ \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{SL_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.117)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{Mas} \underline{T}_{SL_i}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.66 sunt înscrise în tabelul 5.16 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SL}$  și  $O_{Mas}$  rămân întotdeauna paralele.

Sania transversală execută față de sania longitudinală mișcări de translație alternativă pentru realizarea avansului transversal rapid, de retragere rapidă pe distanța  $\delta D$  și de apropiere rapidă pe distanța  $\delta D + \Delta D$ , ambele suprapuse cu mișcarea de retragere a saniei longitudinale.

Situările semnificative ale saniei transversale în raport cu sania longitudinală se modelează prin PeSiR  $O_{ST} - O_{SL}$ , al cărei model la timpul  $t = t_i$  conform figurii 5.67 este

$${}^{SL} \underline{T}_{ST_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL} p_{ST_{x_i}} \\ \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL} p_{ST_{y_i}} \\ \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL} p_{ST_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.118)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{SL} \underline{T}_{ST_i}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.66 sunt înscrise în tabelul 5.17 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SP}$  și  $O_{SA}$  rămân întotdeauna paralele.

Luând în considerare ciclograma funcționării elementelor componente în mișcare relativă (sania transversală și sania longitudinală) față de sistemul de referință fix atașat batiului mașinii de lucru (Fig. 5.68), se pot determina intervalele de timp dintre situațiile semnificative ale PeSiR.

Intervalele de timp  $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = \dots = t_n - t_{n-1}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului de longitudinal de lucru

$$t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = \dots = t_n - t_{n-1} = \frac{L + \delta L}{v_L} \quad (5.119)$$

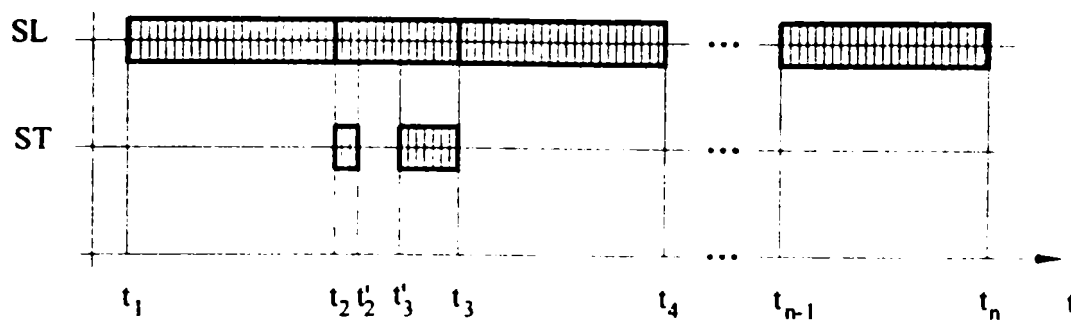


Fig.5.68 Ciclograma de funcționare a saniei transversale ST și a saniei și longitudinale SL în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare

Intervalele de timp  $t_3 - t_2 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului longitudinal rapid (de retragere longitudinală)

$$t_3 - t_2 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2} = \frac{L + \delta L}{v_{Lr}} \quad (5.120)$$

Conform ciclogramei, intervalele de timp  $t'_2 - t_2$ ,  $t'_3 - t'_2$  și  $t_3 - t'_3$  se suprapun intervalului de timp în care sania longitudinală SL execută mișcarea de avans longitudinal rapid (retragere longitudinală). Valorile acestor intervale de timp sunt funcție de viteza acestei mișcări și a vitezelor mișcărilor de avans transversal rapid ( $v_{Tr}$ ) executate de sania transversală ST.

Astfel, intervalele de timp  $t'_2 - t_2 = \dots = t'_{n-2} - t_{n-2}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului transversal rapid de retragere

$$t'_2 - t_2 = \dots = t'_{n-2} - t_{n-2} = \frac{\delta D}{v_{Tr}} \quad (5.121)$$

iar intervalele  $t_3 - t'_3 = \dots = t_{n-1} - t'_{n-1}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata avansului transversal rapid de apropiere

$$t_3 - t'_3 = \dots = t_{n-1} - t'_{n-1} = \frac{\delta D + \Delta D}{v_{Tr}} \quad (5.122)$$

Intervalele de timp  $t'_3 - t'_2 = \dots = t'_{n-1} - t'_{n-2}$  reprezintă diferența duratelor dintre mișcările suprapuse ale saniei transversale și saniei longitudinale

$$t'_3 - t'_2 = \dots = t'_{n-1} - t'_{n-2} = \frac{L + \delta L}{v_{Lr}} - \frac{2\delta D + \Delta D}{v_{Tr}} \quad (5.123)$$



#### 5.5.4.2 Concepția integrată a prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare

Strunjirea unei suprafețe tronconice circulare exterioare, se realizează prin executarea simultană, corelată, a mișcării de avans longitudinal de către sania longitudinală și a mișcării de avans transversal de către sania transversală.

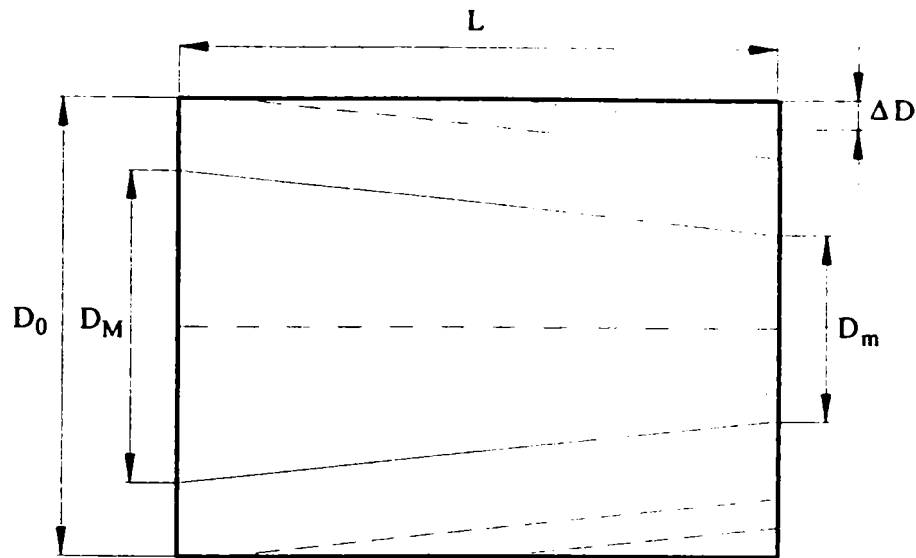


Fig. 5.69 Obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare

Obiectul de lucru (Fig. 5.69) se instalează în dispozitivul de lucru, instalat la rândul său în arborele principal al mașinii, împreună cu care execută mișcarea principală de rotație. Scula se instalează în portcușitul instalat la rândul lui pe sania transversală care realizează mișcarea de avans transversal (perpendicular pe axa obiectului) de lucru și rapid (retragere rapidă transversală). Sania transversală este instalată pe sania longitudinală care execută mișcarea de avans longitudinal (paralel cu axa obiectului) de lucru și rapid (retragere rapidă longitudinală). La începutul prelucrării, se imprimă obiectului mișcarea principală de rotație iar scula se situează astfel încât tășul să fie tangent la suprafața frontală a obiectului iar vârful sculei să fie în planul ce conține axa obiectului și față de aceasta la o distanță egală cu diferența dintre rază și adâncimea de așchiere. Se realizează pătrunderea sculei în material prin executarea avansului de lucru de către sania longitudinală. În continuare vârful sculei va descrie o traiectorie oblică, obținută prin executarea avansului de lucru longitudinal și transversal având

vitezele corelate corespunzător conicității dorite. Se realizează mișcarea de avans longitudinal rapid (retragere rapidă), urmată de mișcarea de avans transversal rapid (apropiere rapidă). În urma acestor mișcări, scula va fi în situarea corespunzătoare începerii unei noi treceri.

Se efectuează un număr de treceri care să asigure obținerea în final a conicității pe întreaga lungime a obiectului de lucru conform figurii 5.69.

Mărimile care se aleg sunt:

- dimensiunile semifabricatului (diametrul  $D_0$ , și lungimea  $L$ ) și a obiectului finit (diametrul minim  $D_m$ , diametrul maxim  $D_M$  și lungimea  $L$ ) din condiții constructive și funcționale;
- geometria sculei;
- adâncimea de așchiere la o trecere ( $\Delta D$ );
- viteza de așchiere ( $v_{a\text{sch}}$ ), respectiv viteza unghiulară de rotație a obiectului ( $\omega = \frac{2v_{a\text{sch}}}{D_0}$ );
- viteza de avans longitudinal de lucru ( $v_L$ ) și rapid ( $v_{L_r}$ );
- viteza de avans transversal rapid ( $v_{T_r}$ );

Se calculează:

- conicitatea  $K = \frac{D_M - D_m}{2L}$  și unghiul corespunzător  $\theta = \arctg K$ ;
- numărul necesar de treceri  $n = \frac{D_0 - D_m}{2\Delta D}$ ;
- viteza de avans transversal de lucru corelată  $v_T = \frac{v_L}{\tg\theta}$ ;
- distanța necesară pătrunderii sculei în material;
- durata mișcărilor de avans de lucru și rapide.

În cadrul programării se determină:

- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situațiile semnificative ale sistemului de referință al saniei longitudinale în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru;
- situațiile semnificative al sistemului de referință al saniei transversale în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale;
- timpii în care se realizează situațiile semnificative ale sistemelor de referință.

Scula se definește în raport cu sistemul de referință  $O_{SC}$  (Fig. 5.70).

$\delta L$  reprezintă distanța necesară pătrunderii sculei în material, mărimea ei fiind dependentă de adâncimea de așchiere  $\Delta D$  și de unghiul de atac principal  $\alpha$  pe care tăișul principal al sculei îl formează cu planul  $yO_{SC}z$

$$\delta L = \frac{\Delta D}{\operatorname{tg}\alpha} \quad (5.124)$$

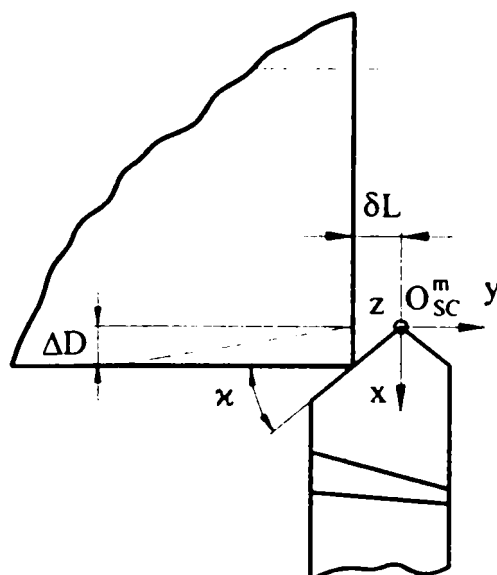


Fig. 5.70 Definierea situației inițiale a sistemului de referință al sculei  $O_{SC}$  în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare

Situațiile semnificative ale sistemului de referință al sculei față de sistemul de referință al obiectului de lucru se exprimă prin PeSiR  $O_{SC}^m - O_{OL}^m$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figurii 5.71 este

$${}^{OL}\underline{T}_{SC_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{x_i}} \\ \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{y_i}} \\ \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}p_{SC_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.125)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{OL}\underline{T}_{SC_i}$  calculate pentru diferitele situații semnificative determinate în conformitate cu procedeul descris anterior, sunt înscrise în tabelul 5.18 din anexa 1. Calculul valorilor acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SC}$  și  $O_{OL}$  rămân mereu paralele.

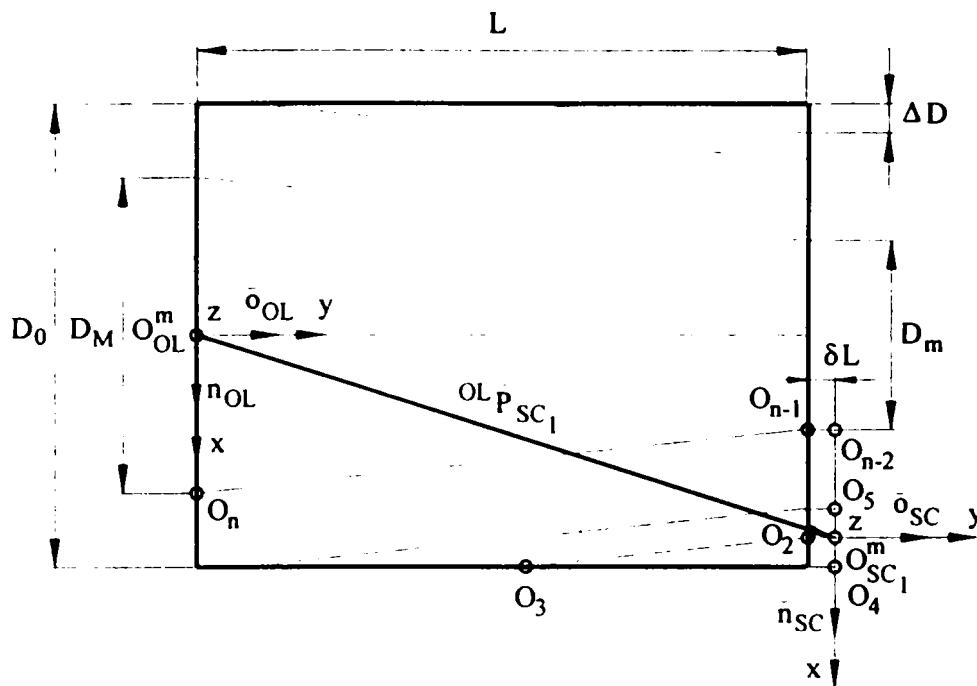


Fig.5.71 Situațiile semnificative relative ale sistemului de referință al sculei în raport cu obiectul de lucru în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare

Obiectul de lucru este instalat în dispozitivul de lucru DL, instalat la rândul lui în arborele principal al mașinii Maș, împreună cu care realizează mișcarea principală de rotație. Întrucât nici obiectul de lucru și nici dispozitivul de lucru nu prezintă orientări distincte în raport cu axa Oy, sistemele de referință solidarizate cu acestea,  $O_{OL}$  și  $O_{DL}$  se pot considera suprapuse, în situații relative nemodificate în timp, cu sistemul de referință atașat mașinii  $O_{Mas}$  (Fig. 5.72).

Ca urmare pentru modelarea PeSiR  $O_{OL} - O_{DL}$ ,  $O_{DL} - O_{Mas}$  și  $O_{OL} - O_{Mas}$  se poate scrie

$${}^{DL}\mathbf{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{Mas}\mathbf{T}_{DL} = {}^{Mas}\mathbf{T}_{OL} \quad (5.126)$$

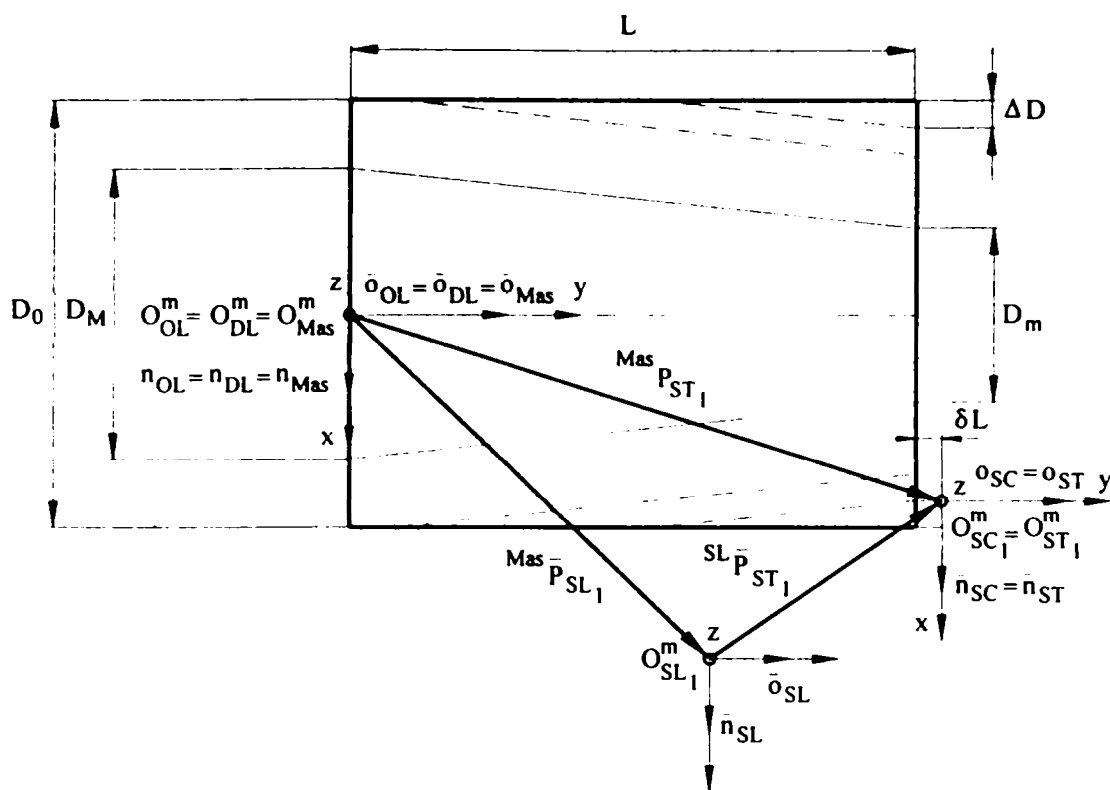


Fig. 5.72 Situațiile semnificative relative ale sistemelor de referință ale dispozitivului de lucru  $O_{DL}$  și ale saniei longitudinale  $O_{SL}$  în raport cu sistemul de referință al mașinii  $O_{Mas}$ , respectiv ale saniei transversale  $O_{ST}$  în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale și al mașinii, în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare. Scula (solidară cu sistemul de referință  $O_{SC}$ ) este instalată în portcuțul saniei transversale (solidară cu sistemul de referință  $O_{ST}$ ). Sania transversală este montată pe sania longitudinală (solidară cu sistemul de referință  $O_{SL}$ ).

Se consideră sistemele de referință solidarizate cu scula  $O_{SC}$ , respectiv sania transversală  $O_{ST}$  suprapuse în situații relative nemodificate în timp

$${}^{ST}\underline{T}_{SC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.127)$$

Pentru modelarea PeSiR  $O_{ST} - O_{Mas}$  se poate scrie:

$${}^{Mas}\underline{T}_{ST_i} = {}^{Mas}\underline{T}_{SL_i} \cdot {}^{SL}\underline{T}_{ST_i} \quad (5.128)$$

Situațiile semnificative ale saniei longitudinale în raport cu mașina se exprimă prin PeSiR  $O_{SL} - O_{Mas}$ , al cărei model la timpul  $t = t_i$  conform figurii 5.72 este

$${}^{Mas}\underline{T}_{SL_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}p_{SL_x_i} \\ \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}p_{SL_y_i} \\ \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas}p_{SL_z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.129)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{Mas}\underline{T}_{SL_i}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.71 sunt înscrise în tabelul 5.19 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SL}$  și  $O_{Mas}$  rămân întotdeauna paralele.

Sania transversală execută față de sania longitudinală mișcări de translație alternativă pentru realizarea avansului de lucru și a avansului transversal rapid, de retragere și de apropiere.

Situațiile semnificative ale saniei transversale în raport cu sania longitudinală se modelează prin PeSiR  $O_{ST} - O_{SL}$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$  conform figurii 5.72 este

$${}^{SL}\underline{T}_{ST_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL}p_{ST_x_i} \\ \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL}p_{ST_y_i} \\ \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL} & \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL} & \bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL} & {}^{OL}p_{ST_z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.130)$$

Valorile elementelor matricii  ${}^{SL}\underline{T}_{ST_i}$  calculate pentru diferite situații semnificative conform figurii 5.71 sunt înscrise în tabelul 5.20 din anexa 1. Calculul acestor elemente s-a făcut ținând seama de faptul că axele sistemelor de referință  $O_{SP}$  și  $O_{SA}$  rămân întotdeauna paralele.

Luând în considerare ciclograma funcționării elementelor componente în mișcare relativă (sania transversală și sania longitudinală) față de sistemul de referință fix atașat batiului mașinii de lucru (Fig. 5.73), se pot determina intervalele de timp dintre situațiile semnificative ale PeSiR.

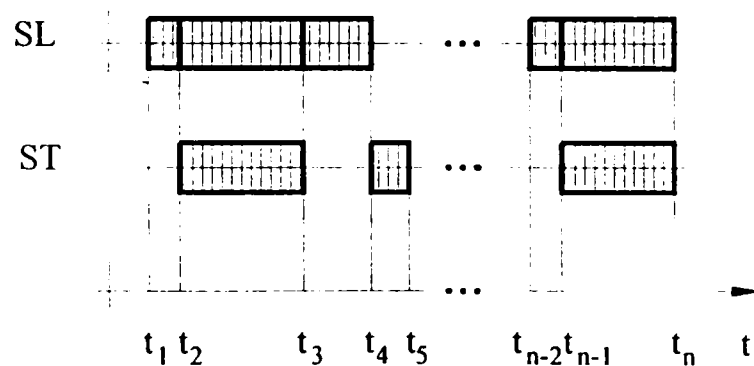


Fig. 5.73 Ciclograma de funcționare a saniei transversale ST și a saniei și longitudinale SL în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare

Intervalele de timp  $t_2 - t_1 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata pătrunderii sculei în material

$$t_2 - t_1 = \dots = t_{n-1} - t_{n-2} = \frac{\delta L}{v_L} \quad (5.131)$$

Intervalele de timp  $t_3 - t_2 = \dots = t_n - t_{n-1}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata mișcărilor de avans de lucru longitudinal și transversal corelate în vederea obținerii conicității

$$t_3 - t_2 = \dots = t_n - t_{n-1} = \frac{\Delta D}{v_L \cdot \text{tg}\theta} = \frac{\Delta D}{v_T} \quad (5.132)$$

Intervalele de timp  $t_4 - t_3 = \dots = t_{n-3} - t_{n-4}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata mișcării de retragere rapidă longitudinală

$$t_4 - t_3 = \dots = t_{n-3} - t_{n-4} = \frac{\frac{\Delta D}{\text{tg}\theta} + \delta L}{v_{Lr}} \quad (5.133)$$

Intervalele de timp  $t_5 - t_4 = \dots = t_{n-2} - t_{n-3}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata mișcării de avans transversal rapid (apropiere rapidă)

$$t_5 - t_4 = \dots = t_{n-2} - t_{n-3} = \frac{2 \cdot \Delta D}{v_{Tr}} \quad (5.134)$$

Intervalul de timp  $t_n - t_{n-1}$  dintre situațiile semnificative ale PeSiR corespunzătoare acestor timpi, reprezintă durata ultimei treceri

$$t_n - t_{n-1} = \frac{L \cdot \text{tg}\theta}{v_L}$$

## 5.5.5 Prelucrarea prin frezare cu freză sferică a unei suprafețe oarecare (sculptate)

### 5.5.5.1 Prelucrarea pe o mașină de frezat cu 3 axe

Se consideră că prelucrarea prin frezare cu freză sferică a suprafețelor oarecare  $S_{OL}$  a obiectului de lucru OL se realizează la o mașină de frezat cu trei axe de translație cu direcțiile perpendiculare  $(\frac{B}{\infty}, \frac{C}{\infty}, \frac{D}{\infty})$ . Mecanismul activ de structură TTT de acționare a axelor

energetice ale mișcărilor de avans ale mesei de lucru ML este prezentat în figura 6.5 c. Prin deplasări relative adecvate ale elementelor celor 3 cuple cinematice conducătoare, un punct al obiectului de lucru OL poate fi adus în orice poziție într-un spațiu de lucru 3D.

Se consideră de asemenea că semifabricatul care se prelucurează este unul turnat, suprafața turnată fiind o suprafață offset  $S_{of_0}$  în raport cu suprafața de prelucrat  $S_{OL}$  a obiectului de lucru. Dimensiunea offset corespunzătoare suprafeței  $S_{of_0}$  obținută prin turnare, este distanța  $H$  măsurată pe direcția normalei în orice punct de pe suprafața  $S_O$  (Fig.5.74 )

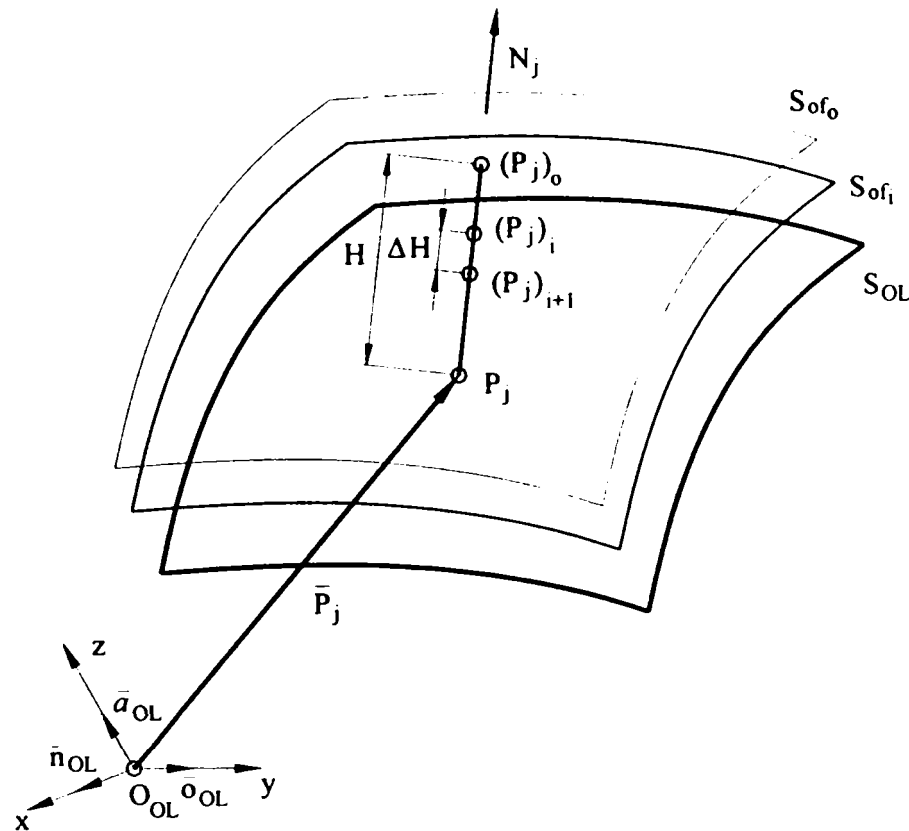


Fig. 5.74 Suprafața oarecare a obiectului de lucru ( $S_{OL}$ ), cea a semifabricatului ( $S_{of_0}$ ) și suprafața offset corespunzătoare trecerii  $i$  ( $S_{of_i}$ )

Prelucrarea prin frezare se realizează prin mai multe treceri, la fiecare trecere efectuându-se prelucrarea câte unei suprafețe offset  $S_{of_i}$ . Dimensiunea offset între suprafețele  $S_{of_i}$  și  $S_{of_{i+1}}$  este tocmai adâncimea de așchiere  $\Delta H$ . Cu acestea, numărul de treceri necesare pentru prelucrarea suprafeței  $S_{OL}$  este  $n_H = \frac{H}{\Delta H}$  (5.136)



În cursul prelucrării prin aşchiere a suprafeţei  $S_{of_i}$ , mecanismul activ al avansurilor maşinii de frezat deplasează centrul sferei circumscrise tăişurilor frezei sferice (punctul caracteristic al sculei) pe suprafaţa offset  $S_{ofSC_i}$ . Dimensiunea offset corespunzătoare, măsurată pe normala comună a suprafeţelor  $S_{of_i}$  şi  $S_{ofSC_i}$  în oricare punct al uneia, este distanţa  $r_{SC}$ , raza sferei circumscrise tăişurilor sculei (Fig.5.75)

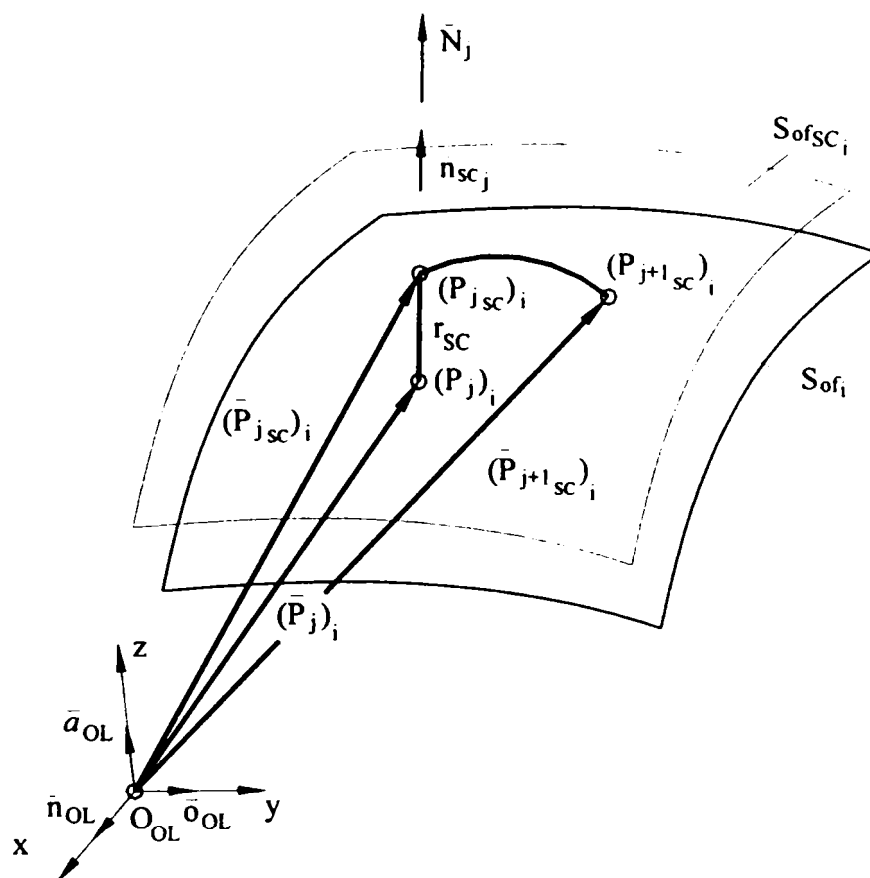


Fig.5.75 Suprafaţa offset corespunzătoare trecerii  $i$  şi suprafaţa offset al punctului caracteristic al sculei la trecerea  $i$

În vederea concepţiei integrate a obiectului de lucru mărginit de suprafeţe oarecare  $S_{OL}$

- se aleg dimensiunile principale ale obiectului de lucru;
  - se alege forma geometrică a suprafeţei oarecare  $S_{OL}$  care delimitează semifabricatul  $S_{of_0}$ ;
- modelul geometric 3D al acestei suprafeţe va fi

$$\bar{\mathbf{P}}_j = \bar{\mathbf{P}}_j(u, v) = [x_p(u, v) \quad y_p(u, v) \quad z_p(u, v)] \quad (5.137)$$

unde  $u, v$  sunt parametrii scalari având valori

$$\left. \begin{array}{l} u_{\min} < u < u_{\max} \\ v_{\min} < v < v_{\max} \end{array} \right\} \quad (5.138)$$

$P_j$  este punctul curent al suprafeței  $S_{OL}$  corespunzător timpului  $t_j$ , iar  $\bar{P}_j$ , vectorul de poziție al acestui punct în raport cu sistemul de referință  $O_{OL}$ , atașat obiectului de lucru;

➤ se alege forma generală a suprafeței  $S_{of_0}$  care delimitează semifabricatul, ca fiind o suprafață offset față de suprafața  $S_{OL}$ ; cu dimensiunea offset  $H$ , va avea modelul geometric

$$\left(\bar{P}_j\right)_o = \bar{P}_j(u, v) + H \cdot \frac{\frac{\partial \bar{P}_j}{\partial u} + \frac{\partial \bar{P}_j}{\partial v}}{\left| \frac{\partial \bar{P}_j}{\partial u} + \frac{\partial \bar{P}_j}{\partial v} \right|} \quad (5.139)$$

➤ se alege scula freză sferică utilizată; rezultă raza  $r_{SC}$ ;

➤ se alege viteza de așchiere  $v_{asch}$ ;

➤ se alege viteza unghiulară de rotație a sculei în raport cu axa sa  $\omega_{SC}$ ;

➤ rezultă raportul dintre viteza de așchiere și viteza unghiulară de rotație a sculei  $\frac{v_{asch}}{\omega_{SC}}$ ;

➤ cu acest raport se calculează lungimea arcului parcurs de punctul caracteristic al sculei la o rotație a acesteia

$$s_{C_1} = 2\pi \cdot \frac{v_{asch}}{\omega_{SC}} \quad (5.140)$$

➤ se alege adâncimea de așchiere  $\Delta H$ ;

➤ se calculează numărul de treceri necesare  $n_H = \frac{H}{\Delta H}$ .

Modelul geometric al suprafeței oarecare offset  $S_{ofSC_1}$  care este locul geometric al punctului caracteristic al sculei în timpul prelucrării suprafeței  $S_{of_1}$  este

$$\left(\bar{P}_{jSC}\right)_i = \frac{\left| \left(\bar{P}_{j+1SC}\right)_i - \left(\bar{P}_{jSC}\right)_i \right|}{s_{S_1}} \cdot \frac{2\pi}{\omega_{SC}} \quad (5.141)$$

În tabelul 5.21 se prezintă pozițiile punctului  $\left(\bar{P}_{jSC}\right)_i$ , ale punctului caracteristic al sculei (freză sferică) la trecerea  $i$  și situațiile vectorilor normali la suprafața offset  $S_{ofSC_1}$  în aceleași puncte, pentru timpii  $t_j$  și  $t_{j+1}$ , în raport cu sistemul de referință atașat obiectului de lucru OL.

S-a notat

$$\bar{N}_j = \left| \bar{N}_j \right| \cdot \bar{n}_{SC_j} = \frac{\partial \bar{P}_j}{\partial u} + \frac{\partial \bar{P}_j}{\partial v} \quad (5.142)$$

unde  $\bar{N}_j$  este vectorul normală la suprafața  $S_{OL}$  în punctul  $P_j$ , iar  $\bar{n}_j$  este vectorul unitar al aceleiași normale.

| Nr. crt. | t         | ${}^{OL}P_{SCx}$                         | ${}^{OL}P_{SCy}$                         | ${}^{OL}P_{SCz}$                         | $\bar{n}_{SC} \cdot \bar{n}_{OL}$  | $\bar{n}_{SC} \cdot \bar{o}_{OL}$  | $\bar{n}_{SC} \cdot \bar{a}_{OL}$  |
|----------|-----------|--|--|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| j        | $t_j$     | $(\bar{P}_{jSC})_i \cdot \bar{n}_{OL}$   | $(\bar{P}_{jSC})_i \cdot \bar{o}_{OL}$   | $(\bar{P}_{jSC})_i \cdot \bar{a}_{OL}$   | $\bar{N}_j \cdot \bar{n}_{OL}$     | $\bar{N}_j \cdot \bar{o}_{OL}$     | $\bar{N}_j \cdot \bar{a}_{OL}$     |
| j+1      | $t_{j+1}$ | $(\bar{P}_{j+1SC})_i \cdot \bar{n}_{OL}$ | $(\bar{P}_{j+1SC})_i \cdot \bar{o}_{OL}$ | $(\bar{P}_{j+1SC})_i \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{N}_{j+1} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{N}_{j+1} \cdot \bar{o}_{OL}$ | $\bar{N}_{j+1} \cdot \bar{a}_{OL}$ |
| ⋮        | ⋮         | ⋮  | ⋮  | ⋮  | ⋮                                  | ⋮                                  | ⋮                                  |

Tab.5.21 Pozițiile punctului caracteristic al sculei și situațiile vectorilor normali la trecerea i

Cu ajutorul datelor din tabelul 5.21, exprimate numeric, se programează mișcările c.c.c. ale mecanismului activ de acționare a avansurilor mașinii de frezat, pentru prelucrarea prin aşchiere a suprafeței oarecare  $S_{OL}$  a obiectului de lucru OL.

#### 5.5.5.2 Prelucrarea cu ajutorul unui robot industrial de prelucrare, având ca efector final un cap de forță de frezat cu freză sferică

În cazul prelucrării pe mașina de frezat, mecanismul activ de acționare a avansurilor mașinii de frezat cu 3 axe de translație, deplasează obiectul de lucru instalat în dispozitivul de lucru astfel, încât punctul caracteristic al frezei, invariant față de sistemul de referință atașat batiului mașinii de frezat, parcurge în raport cu obiectul de lucru la trecerea i, suprafața offset  $S_{ofSC_i}$ .

În cazul prelucrării cu robot industrial de prelucrare, având ca efector final un cap de frezat cu freză sferică, obiectul de lucru este fix, instalat într-un dispozitiv de lucru nemișcat și dispozitivul de ghidare al robotului industrial este cel care deplasează punctul caracteristic al sculei astfel încât acesta parcurge la trecerea i, suprafața  $S_{ofSC_i}$  în raport cu obiectul de lucru OL.

În acest caz, relațiile prezentate în paragraful 5.5.5.1 și tabelul întocmit cu ajutorul lor se folosesc pentru programarea mișcărilor c.c.c al dispozitivului de ghidare al robotului industrial de prelucrare.

#### 5.5.6 Concepția operației de manipulare de către robotul industrial a unui obiect de lucru cilindric într-o celulă de fabricație pentru prelucrare prin strunjire

Pentru modelarea manipulării unui obiect cilindric de către robotul industrial în cadrul unei celule de fabricație pentru prelucrare prin strunjire se consideră cunoscute layout-ul celulei de fabricație și ciclograma funcționării sale. Componenta celulei de fabricație robotizată este

următoare: mașina de lucru Maș, dispozitivul de lucru DL, dispozitivele de transfer  $D_1$  și  $D_2$  și robotul industrial RI. Componentelor sistemului fizic i se atașează sisteme de referință ale căror axe rămân mereu paralele. Pentru modelul matematic al operației de manipulare, distanțele între originile sistemelor de referință ale PeSiR din model vor fi proporționale cu distanțele corespunzătoare din sistemul fizic. Layout-ul celulei de fabricație și situațiile semnificative ale sistemelor de referință sunt reprezentate în figura 5.76.

Pentru denumirea sistemelor de referință s-au utilizat simbolurile originilor acestora, afectate de indici corespunzătoare secvențelor de mișcare. Layout-ul celulei de fabricație s-a cotoat în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului industrial ( $O_{RI}$ ).

Modelarea layout-ului se realizează prin PeSiR scrise între sistemele de referință atașate componentelor fixe ale celulei de fabricație și sistemul de referință atașat bazei robotului industrial, situațiile semnificative ale acestora nemodificându-se în timp.

Situarea relativă a sistemului de referință atașat dispozitivului de transfer  $D_1$  ( $O_{D_1}$ ) în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului RI ( $O_{RI}$ ) se exprimă prin matricea de transformare

$${}^{RI}\underline{T}_{D_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_D \\ 0 & 1 & 0 & -L_{D_1} \\ 0 & 0 & 1 & -L_{D_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.143)$$

Situarea relativă a sistemului de referință atașat dispozitivului de transfer  $D_2$  ( $O_{D_2}$ ) în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului RI ( $O_{RI}$ ) se exprimă prin matricea de transformare

$${}^{RI}\underline{T}_{D_2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & B_D \\ 0 & 1 & 0 & B_D \\ 0 & 0 & 1 & B_D \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.144)$$

Dispozitivul de lucru în cazul strunjirii (universal cu 3 bacuri), execută în timpul prelucrării, împreună cu obiectul de lucru, o mișcare de rotație în jurul axei  $O_{DLY}$  în coincidere cu axa  $O_{OLX}$  a obiectului de lucru. Întrucât nici dispozitivul de lucru, nici obiectul de lucru nu prezintă orientări distincte față de aceste axe, ele se pot considera ca rămânând nemișcate.

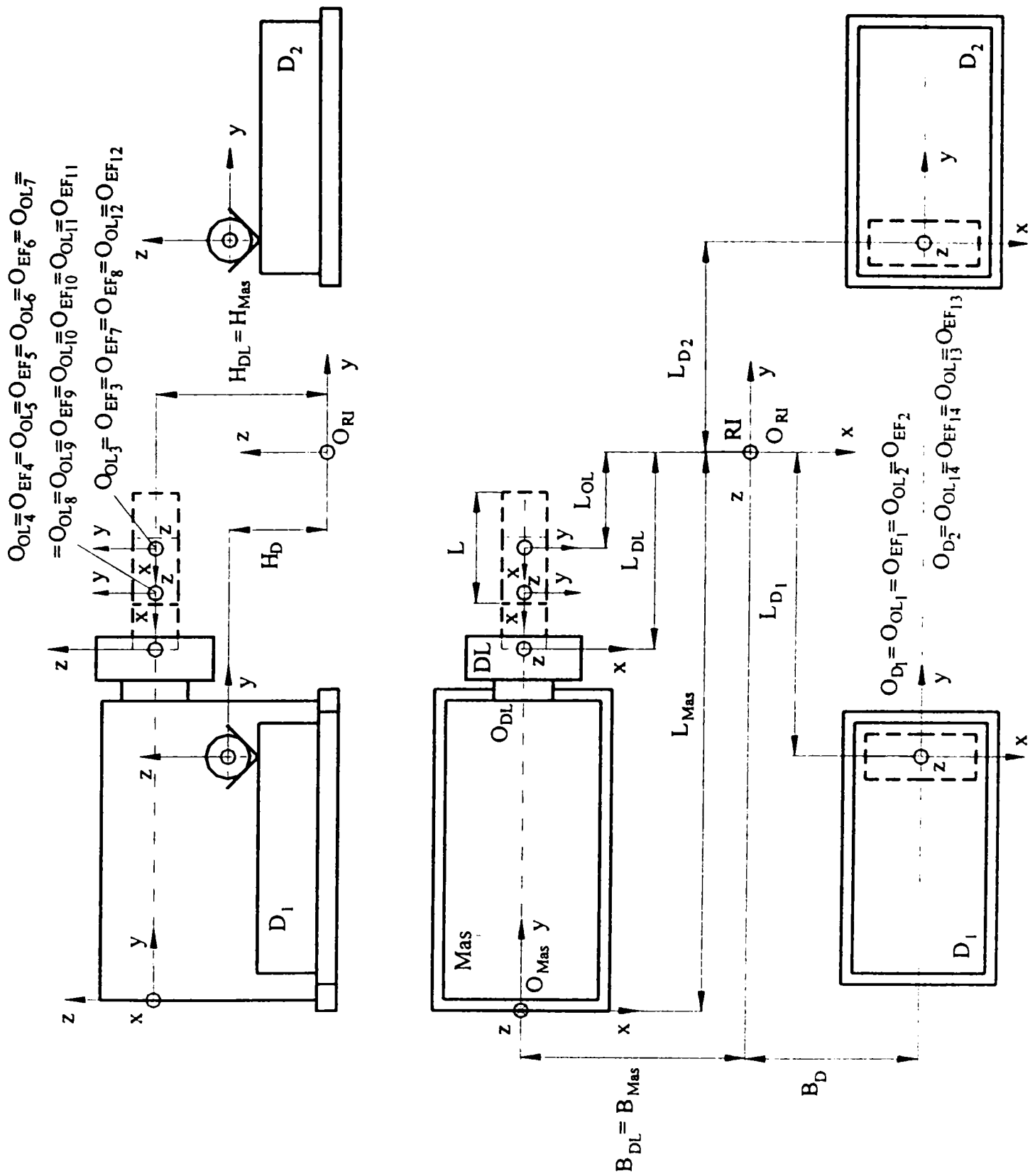


Fig.5.76. Layout-ul celulei de fabricatierobotizată și situările relative semnificative ale sistemului de referință al obiectului de lucru respectiv al efectorului final în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului

Prin urmare, situarea relativă a sistemului de referință atașat dispozitivului de lucru DL ( $O_{DL}$ ) în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului RI ( $O_{RI}$ ) se poate exprima prin matricea de transformare

$${}^{RI}\underline{T}_{DL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -B_{DL} \\ 0 & 1 & 0 & -L_{DL} \\ 0 & 0 & 1 & H_{DL} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.145)$$

Situarea relativă a sistemului de referință atașat dispozitivului de lucru Maș ( $O_{Mas}$ ) în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului RI ( $O_{RI}$ ) se exprimă prin matricea de transformare

$${}^{RI}\underline{T}_{Mas} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -B_{Mas} \\ 0 & 1 & 0 & -L_{Mas} \\ 0 & 0 & 1 & H_{Mas} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (5.146)$$

În timpul operației de manipulare sistemul de referință al efectorului final se consideră suprapus cu sistemul de referință al obiectului manipulat, deci  $O_{EF} \equiv O_{OL}$ .

Situările semnificative ale sistemelor de referință în mișcare ( $O_{EF}$  și  $O_{OL}$ ) se aleg acelea, în care se termină o secvență de manipulare și începe alta.

Comanda robotului este PTP.

Ciclograma funcționării celulei de fabricație este redată în figura 5.77.

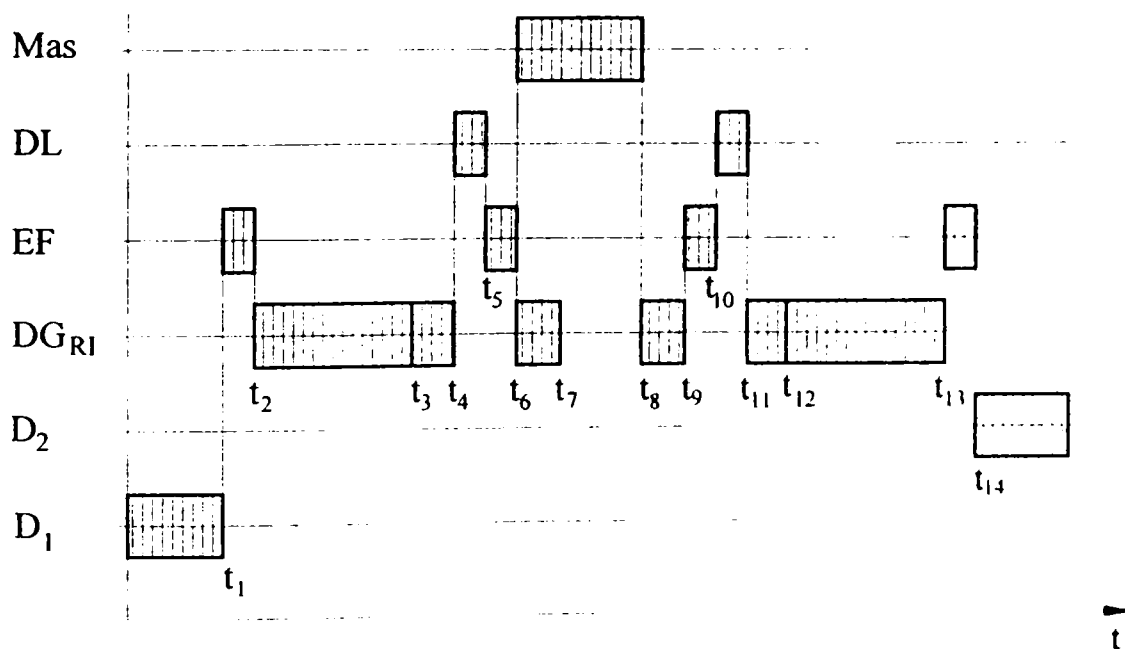


Fig. 5.77 Ciclograma funcționării celulei de fabricație

Conform ciclogramei din care se extrag timpii  $t_i$  ( $i = 1 \div 7$ ), secvențele operației de manipulare (mișcările indicate se referă la originile sistemelor de referință  $O_{OL_i} = O_{EF_i}$ ), sunt următoarele:

$t_1 \div t_2$ : efectorul final EF se închide, apucând obiectul de lucru OL aflat în locașul dispozitivului  $D_1$ , deci  $O_{D_1} = O_{OL_1} = O_{EF_1} = O_{OL_2} = O_{EF_2}$ ;

$t_2 \div t_3$ : dispozitivul de ghidare al robotului industrial realizează mișcările prin care efectorul final EF împreună cu obiectul de lucru OL ajung în dreptul axei dispozitivului de lucru DL în situația corespunzătoare  $O_{EF_3} = O_{OL_3}$ ;

$t_3 \div t_4$ : dispozitivul de ghidare al robotului industrial realizează mișcarea prin care efectorul final EF introduce obiectul de lucru OL în dispozitivul de lucru DL al mașinii Maș astfel încât  $O_{DL} = O_{OL_4} = O_{EF_4}$ ;

$t_4 \div t_5$ : dispozitivul de lucru se închide și fixează obiectul de lucru, deci  $O_{DL} = O_{OL_4} = O_{EF_4} = O_{OL_5} = O_{EF_5}$ ;

$t_5 \div t_6$ : efectorul final EF se deschide, eliberează obiectul de lucru care rămâne instalat în dispozitivul de lucru, deci  $O_{DL} = O_{OL_6} = O_{EF_6} = O_{OL_5} = O_{EF_5} = O_{OL_4} = O_{EF_4}$ ;

$t_6 \div t_7$ : dispozitivul de ghidare al robotului industrial realizează mișcarea prin care efectorul final se retrage în situația corespunzătoare  $O_{EF_7} = O_{EF_3}$ ;

$t_7 \div t_8$ : mașina de lucru efectuează prelucrarea obiectului de lucru,  $O_{EF_8} = O_{EF_7} = O_{EF_3}$  iar  $O_{DL} = O_{OL_8} = O_{OL_7} = O_{OL_6} = O_{OL_5} = O_{OL_4}$ ;

$t_8 \div t_9$ : dispozitivul de ghidare al robotului industrial realizează mișcarea prin care efectorul final ajunge în dreptul obiectului de lucru prelucrat, astfel încât  $O_{DL} = O_{OL_9} = O_{EF_9} = O_{OL_8} = O_{OL_7} = O_{OL_6} = O_{EF_6} = O_{OL_5} = O_{EF_5} = O_{OL_4} = O_{EF_4}$

$t_9 \div t_{10}$ : efectorul final EF se închide și apucă obiectul de lucru OL aflat în dispozitivul de lucru, deci  $O_{DL} = O_{OL_{10}} = O_{EF_{10}} = O_{OL_9} = O_{EF_9} = O_{OL_8} = O_{OL_7} = O_{OL_6} = O_{EF_6}$   
 $= O_{OL_5} = O_{EF_5} = O_{OL_4} = O_{EF_4}$ ;

$t_{10} \div t_{11}$ : dispozitivul de lucru se deschide eliberând obiectul de lucru, deci  $O_{DL} = O_{OL_{11}} = O_{EF_{11}} = O_{OL_{10}} = O_{EF_{10}} = O_{OL_9} = O_{EF_9} = O_{OL_8} = O_{OL_7} = O_{OL_6} = O_{EF_6}$   
 $= O_{OL_5} = O_{EF_5} = O_{OL_4} = O_{EF_4}$ ;

$t_{11} \div t_{12}$ : dispozitivul de ghidare al robotului industrial realizează mișcarea prin care efectorul final împreună cu obiectul se retrage în situația corespunzătoare

$$O_{EF_2} = O_{OL_{12}} = O_{EF_7} = O_{EF_3} = O_{OL_3} ;$$

$t_{12} \div t_{13}$ : dispozitivul de ghidare al robotului industrial realizează mișcările prin care efectorul final EF împreună cu obiectul de lucru OL ajung în dreptul locașului dispozitivului  $D_2$ , astfel

$$\text{încât } O_{D_2} = O_{EF_3} = O_{OL_{13}} ;$$

$t_{13} \div t_{14}$ : efectorul final EF se deschide și eliberează obiectul care rămâne în locașul dispozitivului  $D_2$ , deci.  $O_{D_2} = O_{EF_{14}} = O_{OL_{14}} = O_{EF_3} = O_{OL_{13}}$ .

Situațiile semnificative ale sistemului de referință al efectorului final față de sistemul de referință atașat bazei robotului se exprimă prin PeSiR  $O_{EF} - O_{RI}$ , al cărui model la timpul  $t = t_i$ , conform figurii 5.76 este

$${}^{RI}\underline{T}_{EF_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{EF_i} \cdot \bar{n}_{RI} & \bar{n}_{EF_i} \cdot \bar{o}_{RI} & \bar{n}_{EF_i} \cdot \bar{a}_{RI} & {}^{OL}P_{EF_{x_i}} \\ \bar{o}_{EF_i} \cdot \bar{n}_{RI} & \bar{o}_{EF_i} \cdot \bar{o}_{RI} & \bar{o}_{EF_i} \cdot \bar{a}_{RI} & {}^{OL}P_{EF_{y_i}} \\ \bar{a}_{EF_i} \cdot \bar{n}_{RI} & \bar{a}_{EF_i} \cdot \bar{o}_{RI} & \bar{a}_{EF_i} \cdot \bar{a}_{RI} & {}^{OL}P_{EF_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.147)$$

Valorile elementelor matricei  ${}^{RI}\underline{T}_{EF_i}$  calculate pentru diferitele situații semnificative determinate în conformitate cu procedeul descris anterior, sunt înscrise în tabelul 5.22 din anexa 1.

Considerând că deplasarea efectorului final se realizează cu viteza constantă  $v_{EF}$ , intervalele de timp în care se realizează situațiile semnificative ale sistemului de referință al efectorului final vor fi următoarele:

➤ intervalul  $t_3 - t_2$  reprezintă timpul în care se realizează deplasarea efectorului final din situația semnificativă din dreptul locașului din dispozitivul  $D_1$  în situația semnificativă din dreptul dispozitivului de lucru

$$t_3 - t_2 = \frac{\left[ (B_D + B_{DL})^2 + (L_{D_1} - L_{OL})^2 + (H_{DL} - H_D)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{v_{EF}} ; \quad (5.148)$$

➤ intervalul  $t_4 - t_3$  reprezintă timpul în care se realizează introducerea obiectului de lucru de către efectorul final, în dispozitivul de lucru DL

$$t_4 - t_3 = \frac{L}{v_{EF}} ; \quad (5.149)$$



- intervalul  $t_7 - t_6$  reprezintă timpul în care se realizează retragerea efectorului final care a eliberat obiectul de lucru în poziția de așteptare

$$t_7 - t_6 = \frac{L}{v_{EF}}; \quad (5.150)$$

- intervalul  $t_9 - t_8$  reprezintă timpul în care se realizează deplasarea efectorului final în dreptul obiectului de lucru din dispozitivul de lucru

$$t_9 - t_8 = \frac{L}{v_{EF}}; \quad (5.151)$$

- intervalul de timp  $t_{12} - t_{11}$  reprezintă timpul în care se realizează retragerea efectorului final împreună cu obiectul prelucrat

$$t_{12} - t_{11} = \frac{L}{v_{EF}}; \quad (5.152)$$

- intervalul de timp  $t_{14} - t_{13}$  reprezintă timpul în care se realizează deplasarea efectorului final împreună cu obiectul în dreptul dispozitivului  $D_2$  și depunerea obiectului în locașului acestuia

$$t_{14} - t_{13} = \frac{\left[ (B_{DL} + B_D)^2 + (L_{OL} + L_{D_2}) + (H_{DL} - H_D)^2 \right]^{1/2}}{v_{EF}} \quad (5.153)$$

Efectorul final este atașat ultimului element al dispozitivului de ghidare al robotului industrial.

Considerând că  $O_{EF}'$  este originea sistemului de referință comun efectorului final și ultimului element al dispozitivului de ghidare al robotului (toolpoint) (Fig. 5.78).

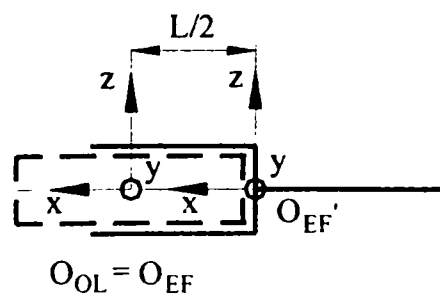


Fig. 5.78 Sistemele de referință atașate efectorului final

Situarea relativă a sistemului de referință  $O_{EF} \equiv O_{OL}$  și  $O_{EF}'$  depinde de forma și dimensiunile obiectului de lucru manipulat OL. Pentru obiecte de lucru cilindrice matricea de transformare

${}^{EF}' \underline{T}_{EF}$  care descrie situarea relativă va fi

$${}^{EF'} \underline{T}_{EF} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{L}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.154)$$

Ca urmare situarea relativă a sistemului de referință  $O_{EF'}$  a efectorului final în raport cu sistemul de referință  $O_{RI}$  atașat bazei robotului va fi descris de matricea de transformare

$${}^{RI} \underline{T}_{EF'} = {}^{RI} \underline{T}_{EF_1} \cdot {}^{EF} \underline{T}_{EF_1}^{-1} \quad (5.155)$$

## **6. Transmiterea automată a datelor de la compartimentul de concepție integrată la SFF de execuție**

### **6.1 Introducere**

Scopul capitolului 6 constă în stabilirea modalităților de transfer automat a datelor elaborate în decursul concepției integrate (constructive și tehnologice) din faza de model la faza de execuție.

Situările semnificative ale sistemelor de referință atașate sculei, respectiv efectorului final (pentru manipulare) se găsesc în spațiul cartezian al „universului”, atât în faza de model (în decursul concepției integrate a obiectului de lucru și a tehnologiei de prelucrare, cât și în faza de execuție (în „universul SFF”, în cursul prelucrării propriu-zise).

În cazul în care s-a respectat cerința ca situările relative ale sistemelor de referință atașate componentelor SFF să fie aceleași atât în cazul „universului modelului” cât și în cazul „universului SFF”, transferul informațiilor se poate face direct.

În cazul în care condiția nu este îndeplinită, se aplică pentru calcul operații de scalare (pentru distanțe) și operații de transformare a sistemelor de referință (submatrici de orientare).

Structura mecanismelor care realizează avansurile la mașini unelte care realizează operații de prelucrare și structura dispozitivului de ghidare a roboților care execută operații de manipulare este același: ambele sunt mecanisme active [Vuk82], având o topologie serială. Aceste mecanisme au la bază lanțuri cinematice deschise având elementele legate în serie. Conducerea automată (comanda + acționarea) a funcționării mecanismelor active se realizează prin punerea în funcție a axelor energetice aferente cuplelor cinematice conducătoare. Prin axă energetică se înțelege traseul de dispozitive legate în serie, care vehiculează energia necesară realizării acțiunii elementelor de execuție, de la sursa de energie la elementul de execuție.

Se comunică motoarelor începutul/sfârșitul mișcării și – de regulă – viteza relativă generalizată a elementelor cuplelor cinematice conducătoare; de aici rezultă dependența în funcție de timp a situării relative ( pentru cuple de rotație R și translație T, a poziției relative unghiulare respectiv lineare) a elementelor cuplelor cinematice conducătoare (c.c.c.).

Situările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare se definesc în „coordonatele articulare” ale mecanismului activ („spațiul articular”). Pentru conducerea mecanismului activ, se necesită trecerea informațiilor privind situările semnificative din spațiul cartezian (în care sunt definite în timpul concepției integrate) în spațiul articular. Acest

lucru se realizează prin trecerea de la „modelul geometric direct”, la „modelul geometric invers” al mecanismului activ în cauză.

Comanda mecanismelor active poate fi:

- secvențială, caz în care mișcarea se compune din atâtea secvențe câte cuple cinematice conducătoare contribuie la realizarea ei; în decursul unei mișcări se realizează mișcarea relativă a elementelor unei singure cuple cinematice conducătoare, elementele celorlalte cuple cinematice conducătoare fiind în repaus;
- punct cu punct, caz în care mișcările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare care contribuie la realizarea mișcării se încep și se termină în același timp; mișcările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare nu sunt corelate;
- multipunct, care este de fapt o succesiune de secvențe de mișcări realizate în condițiile comenzii punct cu punct; corelarea între mișcările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare constă în faptul, că în anumite momente intervalului de timp în care se realizează mișcarea, parametrii cinematici ai mișcării relative trebuie să aibă valori prescrise; acestor valori prescrise îi corespund așa zisele „puncte de precizie” ale mișcării;
- de traiectorie continuă, care impune ca parametrii mișcărilor relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare să aibă pe toată durata mișcării valori corelate cu ajutorul unor funcții de interpolare.

Pentru comanda robotului industrial care execută operații de manipulare se utilizează comanda punct cu punct.

Mișcările de lucru sunt comandate de regulă secvențial, eventual punct cu punct. Comanda de traiectorie continuă se utilizează în cazul prelucrării „suprafețelor sculptate”, gravare etc.

Transferul informațiilor de la compartimentul de concepție integrată la compartimentul de execuție se realizează:

- prin programe de transformare „model geometric direct” în „model geometric invers”;
- transformarea din „spațiul modelelor” în „spațiul articular”, situațiile semnificative fiind trecute din spațiul cartezian în spațiul articular;
- întocmirea ciclogramelor de funcționare pentru c.c.c. conform tipului de comandă utilizat; acestea conțin și informații privind pornirea/oprirea mișcării motorului axei energetice a mișcării principale a mașinii de lucru și închiderea/deschiderea degetelor/bacurilor dispozitivelor de prehensiune respectiv ale dispozitivelor de lucru;
- emiterea/recepționarea semnalelor pentru întrerupătoarele/regulatoarele motoarelor axelor energetice;
- interfețe hard/soft adecvate.

## 6.2 Stabilirea naturii comenzilor pentru mecanismele active din componența mașinilor de lucru (care realizează mișcarea de avans) și ale roboților din cadrul SFF pentru prelucrarea prin așchiere

### 6.2.1 Prelucrarea prin rabotare a suprafețelor plane ale obiectelor de lucru

Prelucrarea prin rabotare a suprafețelor plane ale obiectelor de lucru se poate realiza cu mașina de rabotat longitudinală (cu masă mobilă) sau cu mașina de rabotat transversală (cu cap mobil sau șeping).

În cazul utilizării unei mașini de rabotat longitudinale, mecanismul activ conține două ramuri: lanțul cinematic pentru mișcarea alternativă a mesei de lucru ML având  $M_{ML} = 1$ ,  $c_{scond\ ML} = 1$  ( $\frac{A}{\infty}$  de translație),  $n_{ML} = 2$  (0 și 1), elementul 1 este solidar cu consola ML și lanțul cinematic pentru mișcările saniei SA, având  $M_{SA} = 2$ ,  $c_{scond\ SA} = 2$  ( $\frac{B}{\infty}$  și  $\frac{C}{\infty}$  de translație) și  $n_{SA} = 3$  (0, 2 și 3), elementul 3 este solidar cu scula SC, ca urmare, mecanismul activ are structură TTT (Fig. 6.1 a)

Comanda este secvențială pentru un sens de mișcare a mesei (c.c.c.  $\frac{A}{\infty}$ ) și coborârea/ridicarea sculei SC (c.c.c.  $\frac{C}{\infty}$ ) și punct cu punct pentru retragerea mesei de lucru și avansul transversal al sculei (c.c.c.  $\frac{A}{\infty}$  și  $\frac{B}{\infty}$ ), care se petrec simultan.

În cazul utilizării unei mașini de rabotat transversală (cu cap mobil sau șeping) mecanismul activ conține două transmisii: lanțul cinematic pentru mișcarea alternativă a saniei SA (berbecului), având  $M_{SA} = 1$ ,  $c_{scond\ SA} = 1$  ( $\frac{A}{\infty}$  de translație),  $n_{SA} = 2$  (0 și 1), elementul 1 este solidar cu scula SC și lanțul cinematic pentru mișcările mesei de lucru ML având  $M_{ML} = 2$ ,  $c_{scond\ ML} = 2$  ( $\frac{B}{\infty}$  și  $\frac{C}{\infty}$  de translație) și  $n_{ML} = 3$  (0, 2 și 3), elementul 2 fiind solidar cu masa de lucru ML. În consecință mecanismul activ are tot structură TTT (Fig.6.1 b)

Comanda este secvențială pentru un sens de mișcare a saniei (avansul longitudinal, c.c.c.  $\frac{A}{\infty}$ ) și mișcarea de ridicare/coborâre a mesei de lucru, c.c.c.  $\frac{B}{\infty}$ ) și punct cu punct pentru retragerea saniei SA (c.c.c.  $\frac{A}{\infty}$ ) și avansul transversal al mesei de lucru ML (c.c.c.  $\frac{C}{\infty}$ )

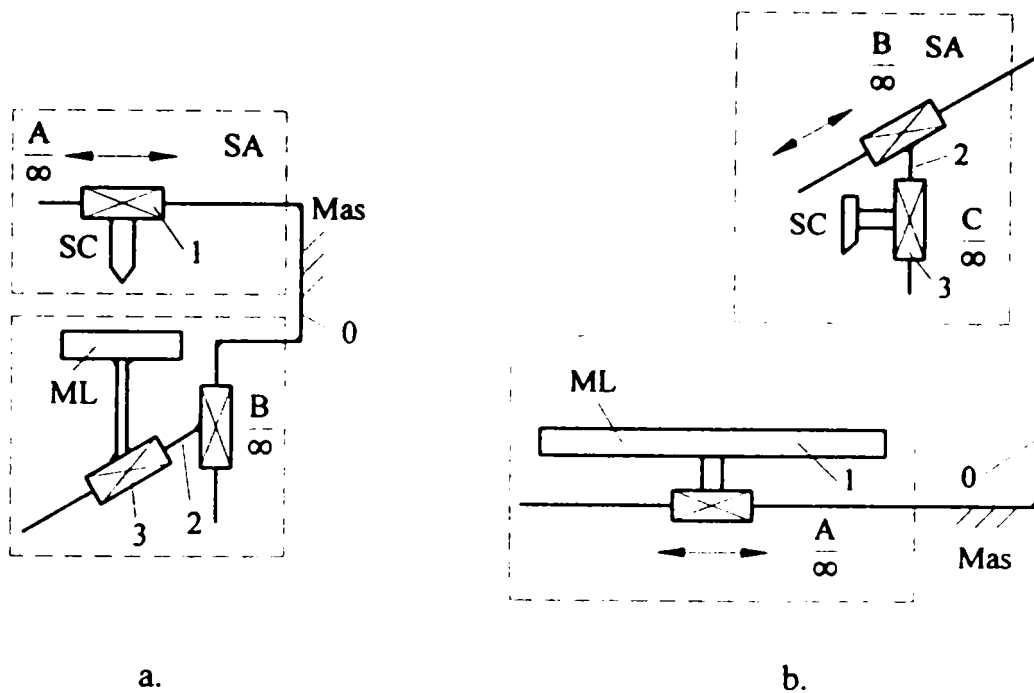


Fig.6.2 Schema cinematică a mecanismului activ pentru realizarea mișcărilor de avans la mașina de rabotat

a. transversală (cu cap mobil sau șeping); b. longitudinală (cu masă mobilă)

### 6.2.2 Prelucrarea prin frezare a suprafețelor plane ale obiectelor de lucru cu freze cilindrice

Mecanismul activ acționează mișcările mesei de lucru ML de ridicare/coborâre și pentru realizarea avansului longitudinal, respectiv avansului transversal.

Ca urmare, el are  $M = 2$ ,  $c_{scond} = 3$  (cuplurile cinematice de translație  $\frac{A}{\infty}$  pentru ridicarea/coborârea ML,  $\frac{B}{\infty}$  și  $\frac{C}{\infty}$ ) și elementele 0 (batiul mașinii de frezat), 1 și 2, masa de lucru ML fiind solidară cu aceasta din urmă. În consecință, mecanismul activ are structură TTT (Fig. 6.2)

Comanda acționării cuplurilor cinematice conducătoare se realizează secvențial.

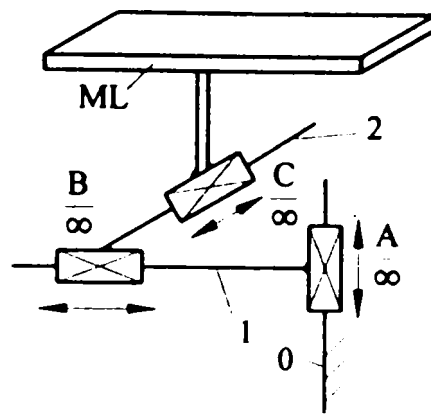


Fig. 6.2 Schema cinematică a mecanismului activ pentru realizarea a 3 mișcări a mesei de lucru ML a mașinii de frezat

### 6.2.3 Prelucrarea prin frezare cu freză deget a unor canale în suprafețe plane ale unor obiecte de lucru

Într-o variantă, mecanismul activ este similar cu cel din figura 6.3. Cupla cinematică conducătoare de translație  $\frac{A}{\infty}$  se comandă secvențial, iar cuplele cinematice de translație  $\frac{B}{\infty}$ ,  $\frac{C}{\infty}$  cu comandă e traiectorie continuă pentru cazul în care profilul canalului este o curbă plană oarecare și punct cu punct, în cazul în care acest profil este o linie dreaptă. În cazul particular în care dreapta-profil este paralelă cu direcția de translație a cuplei  $\frac{B}{\infty}$  sau  $\frac{C}{\infty}$ , cupla cinematică conducătoare respectivă se comandă secvențial.

În altă variantă, mecanismul activ pentru realizarea avansurilor este compus din două lanțuri cinematice: unul cu  $M = 2$ ,  $c_{\text{scind}} = 2$  (cuplele cinematice de translație  $\frac{A}{\infty}$ ,  $\frac{B}{\infty}$ )  $n = 3$ . Elementele 0 (batiul mașinii), 1, 2, cu care este solidarizată masa de lucru au rolul de a permite avansul longitudinal și transversal al ML. Cel de-al doilea lanț cinematic realizează ridicarea/coborârea saniei SA, de care este fixat capul de forță cu scula SC /freză deget).

Acest lanț cinematic are  $M = 1$ ,  $c_{\text{scind}} = 1$  (cupla cinematică de translație  $\frac{C}{\infty}$ ) și 2 elemente 0.

batiul și 3, solidar cu sania SA și scula SC (Fig. 6.3).

În consecință mecanismul activ are structura TTT.

Cuplele cinematice  $\frac{A}{\infty}$  și  $\frac{B}{\infty}$  se comandă punct cu punct, cupla cinematică  $\frac{C}{\infty}$ , secvențial.

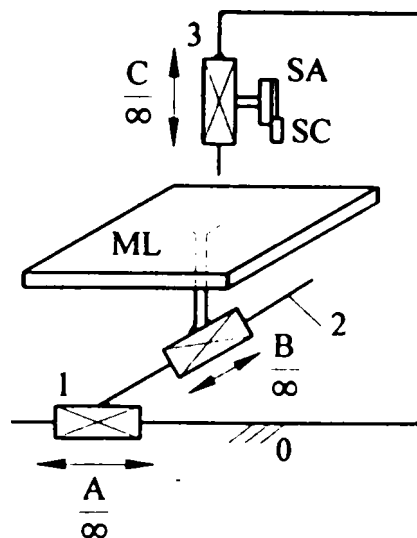


Fig. 6.3 Schema cinematică a mecanismului activ pentru realizarea a 2 mișcări a mesei de lucru și cea a saniei cu sculă la mașina de frezat

#### 6.2.4 Prelucrări prin strunjire a obiectelor de lucru

Mecanismul activ trebuie să realizeze avansul longitudinal și avansul radial (transversal) al sculei. Ca urmare, el are la bază un singur lanț cinematic cu  $M_{str} = 2$ ,  $c_{scind_{str}} = 2 \left( \frac{A}{\infty}, \frac{B}{\infty} \right)$ , de translație),  $n_{str} = 3$  (0, 1 și 2). Elementul 0 este batiul BA al strungului, elementul 1 este căruciorul CA pentru avansul longitudinal iar 2, sania SA pentru avansul transversal, solidară cu scula SC. Cupla cinematică  $\frac{A}{\infty}$  realizează avansul longitudinal, iar cupla cinematică conducătoare  $\frac{B}{\infty}$ , realizează avansul transversal. În consecință mecanismul activ are structură TTT (Fig. 6.4).

Pentru strunjirea unei suprafețe cilindrice circulare și strunjirea unor suprafețe frontale a obiectelor de lucru, comanda cuplelor cinematice conducătoare se realizează secvențial.

Pentru strunjirea suprafețelor tronconice circulare ale obiectelor de lucru, comanda mecanismului activ se realizează punct cu punct în faza strunjirii tronconice. În faza de retragere a sculei, cupla cinematică conducătoare  $\frac{A}{\infty}$  se comandă secvențial, iar în faza de



instalare a sculei pentru trecerea următoare, cupla cinematică conducătoare  $\frac{B}{\infty}$  se comandă de asemenea secvențial.

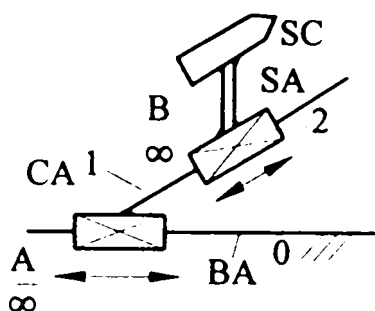


Fig. 6.4 Schema cinematică a mecanismului activ pentru realizarea mișcărilor de avans la strunjire

### 6.2.5 Prelucrarea cu ajutorul unei freze sferice a suprafeței oarecare (sculptate) a unui obiect de lucru

Prelucrarea se poate face pe mașini de frezat cu  $2 \frac{1}{2}$  axe sau cu 3 axe.

În cazul prelucrării pe mașini de frezat cu  $2 \frac{1}{2}$  axe, mecanismul activ trebuie să asigure ridicarea/coborârea mesei de lucru ML, avansul transversal al acestuia și înclinarea ei în jurul a 2 axe, de regulă concurente și perpendiculare. Ca urmare, mecanismul activ are  $M = 4$ , cu  $c_{5\text{cond}} = 4$  (cuplele cinematice de translație  $\frac{A}{\infty}$  pentru ridicarea/coborârea ML,  $\frac{B}{\infty}$  pentru avansul transversal și de rotație, C și D pentru bascularea ML) și  $n = 5$  (0, 1, 2, 3, și 4). Elementul 0 este batiul mașinii, 1 și 2 sunt săniile verticală  $SA_V$  și respectiv transversală  $SA_T$ . Ca urmare, structura mecanismului activ este TTRR (Fig. 6.5 a).

Comanda acționării cuplelor cinematice conducătoare  $\frac{A}{\infty}$  și  $\frac{B}{\infty}$  se realizează secvențial, iar cea a cuplelor cinematice C și D cu comandă de traiectorie continuă.

În cazul prelucrării pe mașini de frezat cu 3 axe, într-o variantă, mecanismul activ trebuie să asigure ridicarea/coborârea mesei de lucru ML și înclinarea acestuia în jurul a 3 axe perpendiculare concurente. Ca urmare, mecanismul activ are  $M = 4$  grade de mobilitate, cu  $c_{5\text{cond}} = 4$  (cupla cinematică de translație  $\frac{A}{\infty}$  pentru ridicarea/coborârea mesei de lucru ML și cuplele cinematice de rotație B, C și D pentru bascularea ML) și numărul elementelor  $n = 5$ .

Elementul 0 este batiul mașinii, 1 sania verticală SA<sub>V</sub>, iar 3, 4, 5 sunt aferente mișcărilor de basculare. Ca urmare, mecanismul activ are structura TRRR (Fig.6.5 b).

Comanda acționării cuplei cinematice conducătoare  $\frac{A}{\infty}$  se face secvențial, iar cea a cuplelor cinematice, B, C și D cu comandă de traiectorie continuă.

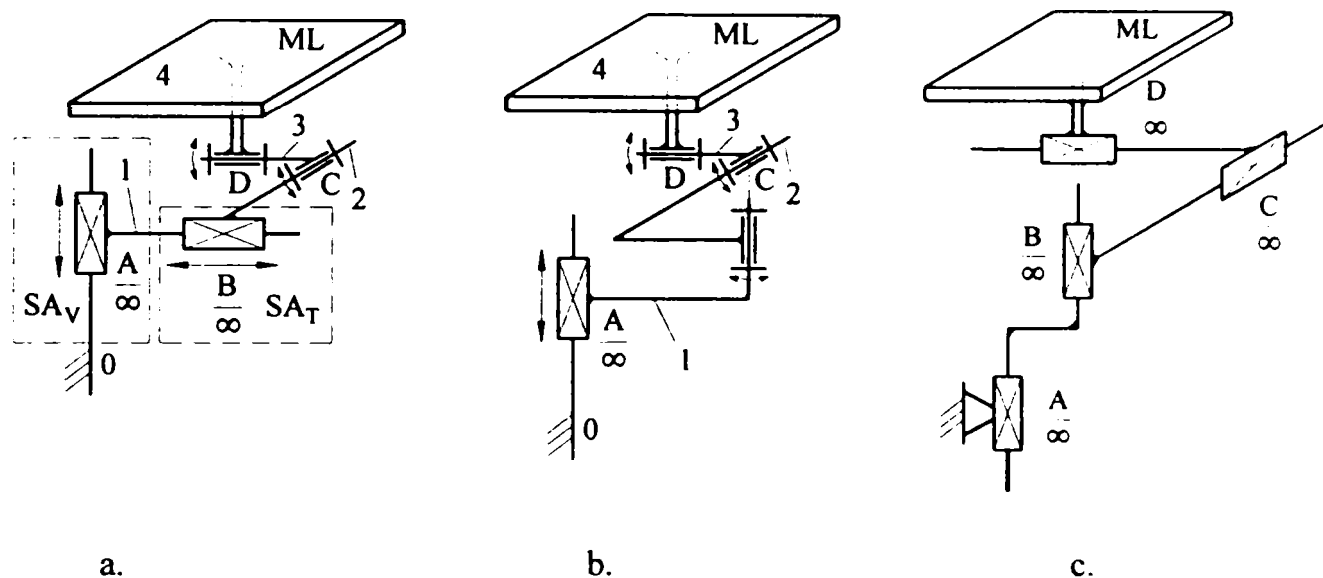


Fig. 6.5 Schema cinematică a mecanismului activ pentru realizarea mișcărilor mesei de lucru ML: a. la mașina de frezat cu 2 ½ axe; b. la mașina de frezat cu 3 axe; c. la mașina de frezat cu 3 axe având c.c.c. de translație

Într-o altă variantă, locul celor 3 cuple cinematice de rotație este preluat de cuplele cinematice de translație  $\frac{B}{\infty}$ ,  $\frac{C}{\infty}$  și  $\frac{D}{\infty}$ , având direcțiile de translație perpendiculare. Cuplele cinematice  $\frac{B}{\infty}$ ,  $\frac{C}{\infty}$  și  $\frac{D}{\infty}$  servesc la situarea mesei de lucru ML, respectiv a unui punct al obiectului de lucru instalat pe el prin intermediul dispozitivului de lucru în orice poziție într-un spațiu de lucru 3D.

Numărul axelor (ale c.c.c.) mecanismului activ este tot  $c_{scond} = 4$ , numărul gradelor de mobilitate  $M = 4$  și numărul elementelor  $n = 5$  (Fig. 6.5 c). Ca urmare, structura mecanismului activ este TTTT.

În cazul unor soluții constructive, cupla cinematică conducătoare  $\frac{A}{\infty}$  lipsește.

Cuplele cinematice conducătoare  $\frac{B}{\infty}$ ,  $\frac{C}{\infty}$  și  $\frac{D}{\infty}$  se comandă și în acest caz cu traiectorie continuă, iar c.c.c.  $\frac{A}{\infty}$ , secvențial.

Cuplele cinematice  $\frac{B}{\infty}$ ,  $\frac{C}{\infty}$  și  $\frac{D}{\infty}$  servesc la situarea mesei de lucru ML, respectiv a unui punct al obiectului de lucru instalat pe el prin intermediul dispozitivului de lucru, în orice poziție într-un spațiu de lucru 3D.

### 6.2.6 Acționarea închiderii/deschiderii fălcilor dispozitivelor de lucru de tip menghină

Mecanismul activ (Fig.6.6) are  $M = 1$ ,  $c_{\text{scind}} = 1$  (cuplă cinematică conducătoare de translație  $\frac{A}{\infty}$ ),  $n = 2$  (elementele 0 și 1). Elementul 0 este falca fixă soldară cu batiul dispozitivului, iar

elementul 1 este falca mobilă. Cupla cinematică conducătoare  $\frac{A}{\infty}$  se comandă secvențial.

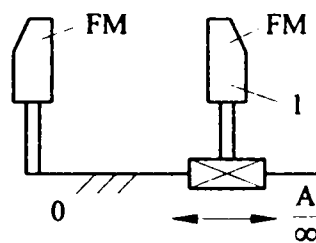


Fig. 6.6 Schema cinematică a mecanismului de acționare a fălcii mobile la dispozitive de lucru de tip menghină

### 6.2.7 Manipularea obiectului de lucru de către un robot industrial

Robotul industrial trebuie să aibă dispozitivul de ghidare cu  $M = 6$ , de regulă cu structuri RRR-RRR (antropomorfă) (Fig. 6.7), TTT-RRR (carteziana) (Fig. 6.11), RTT-RRR (cilindrică) (Fig. 6.12) sau RRT-RRR (sferică) (Fig. 6.13), având la bază mecanisme active. Cele  $c_{\text{scind}} = 6$  cuple cinematice conducătoare ale mecanismului activ al dispozitivului de ghidare se comandă în cazul operației de manipulare punct cu punct.

Uneori, organizarea layoutului SFF necesită creșterea spațiului de lucru al robotului industrial. De regulă această creștere se realizează prin atașarea dispozitivului de ghidare a unei axe de „translație lungă”. Cupla cinematică conducătoare aferentă axei de „translație Lungă” se

comandă secvențial. În figura 6.7, se prezintă dispozitivul de ghidare RRR-RRR montat pe o axă de translație lungă, având cupla cinematică conducătoare  $\frac{K}{\infty}$  de translație.

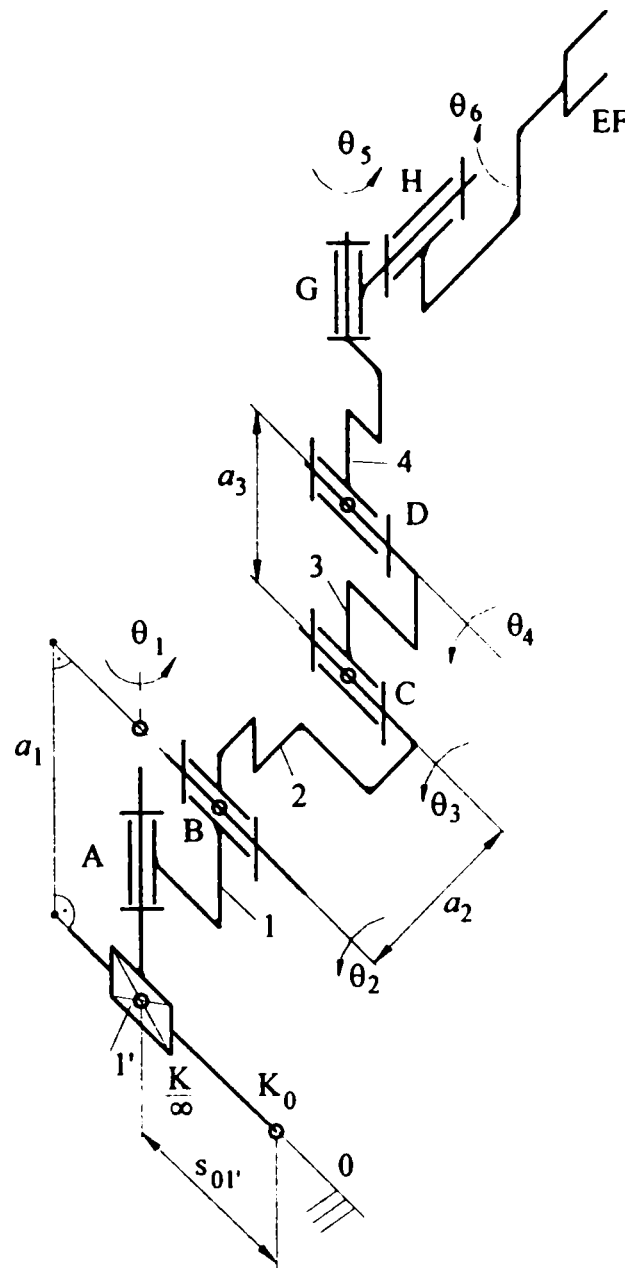


Fig. 6.7 Mecanism activ pentru dispozitivul de ghidare al robotului industrial de manipulare cu structură RRR-RRR și axă de translație lungă

### 6.3 Modele geometrice inverse pentru mecanismele de acționare ale avansurilor mașinilor de lucru și active ale dispozitivelor de ghidare ale roboților industriali de manipulare folosiți în SFF [Rán85]

#### 6.3.1 Considerații generale

S-a arătat în subcapitolul 6.1 că, situațiile semnificative ale sculei, respectiv efectorului final sunt calculate în faza de concepție integrată, în spațiul cartezian. Pentru a realiza comanda cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor active, datele respective trebuie transformate în spațiul articular, folosind modelele geometrice inverse ale mecanismelor active în cauză.

În continuare se prezintă aceste modele geometrice inverse pentru câteva mecanisme active. Modelul geometric direct al unui mecanism activ exprimă situarea sistemului de referință atașat sculei  $O_{SC}$  respectiv efectorului final  $O_{EF}$  în raport cu sistemul de referință atașat mașinii  $O_{Mas}$  sau robotului industrial  $O_{RI}$  sub forma matricei de situare  ${}^{Mas}\underline{T}_{SC}$  sau  ${}^{RI}\underline{T}_{EF}$  scris pentru timpul  $t = t_i$

$${}^{EF}\underline{T}_{EF_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_i \cdot \bar{n}_o & \bar{n}_i \cdot \bar{o}_o & \bar{n}_i \cdot \bar{a}_o & p_{x_i} \\ \bar{o}_i \cdot \bar{n}_o & \bar{o}_i \cdot \bar{o}_o & \bar{o}_i \cdot \bar{a}_o & p_{y_i} \\ \bar{a}_i \cdot \bar{n}_o & \bar{a}_i \cdot \bar{o}_o & \bar{a}_i \cdot \bar{a}_o & p_{z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Coordonatele articulare (situațiile relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare) se exprimă în funcție de elementele matricei de situare (6.1).

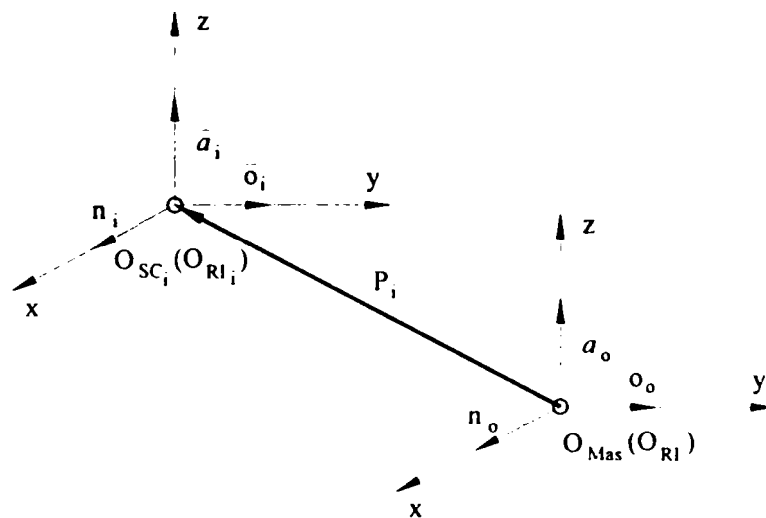


Fig.6.8 Situația relativă a sistemelor de referință  $O_{SC} - O_{Mas}$  ( $O_{EF} - O_{RI}$ )

Pentru exprimarea modelelor geometrice inverse se atașează câte un sistem de referință cartezian fiecărui element al cuplelor cinematice conducătoare. Coordonatele articulare vor exprima poziția/orientarea relativă a acestor sisteme de referință.

### 6.3.2 Modele geometrice inverse pentru structuri T, TT și TTT

#### Structura T

Schema cinematică a unui mecanism activ cu structură T este prezentată în figura 6.9.

- poziția  $O_{10}$  este poziția cea mai apropiată de  $O_0$  a lui  $O_1$  (la timpul  $t_i = t_0$ );
- $O_{1i}$  este poziția lui  $O_1$  la timpul  $t_i$ .

$$s_{10_i} = p_{z_i} - s_{10_0} \quad (6.2)$$

unde  $s_{10_0} = p_{z_i}$  corespunde timpului  $t_i = t_0$

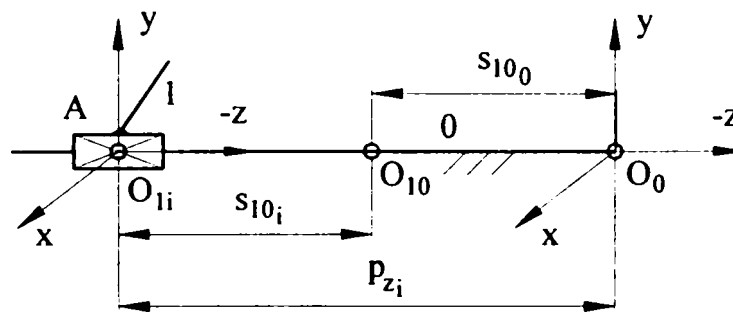


Fig. 6.9 Schema cinematică a unui mecanism activ cu structură T

#### Structura TT

Schema cinematică a unui mecanism activ cu structură TT este prezentată în figura 6.10

- poziția  $O_{20}$  este poziția lui  $O_2$  cea mai apropiată de  $O_1$  (la timpul  $t_i = t_0$ );
- $O_{2i}$  este poziția lui  $O_2$  la timpul  $t_i$ .

$$\left. \begin{aligned} s_{10_i} &= p_{z_i} - s_{10_0} \\ s_{21_i} &= p_{z_i} - s_{21_0} \end{aligned} \right\} \quad (6.3)$$

unde  $s_{10_0} = p_{z_i}$  și  $s_{21_0} = p_{x_i}$  corespunde timpului  $t_i = t_0$

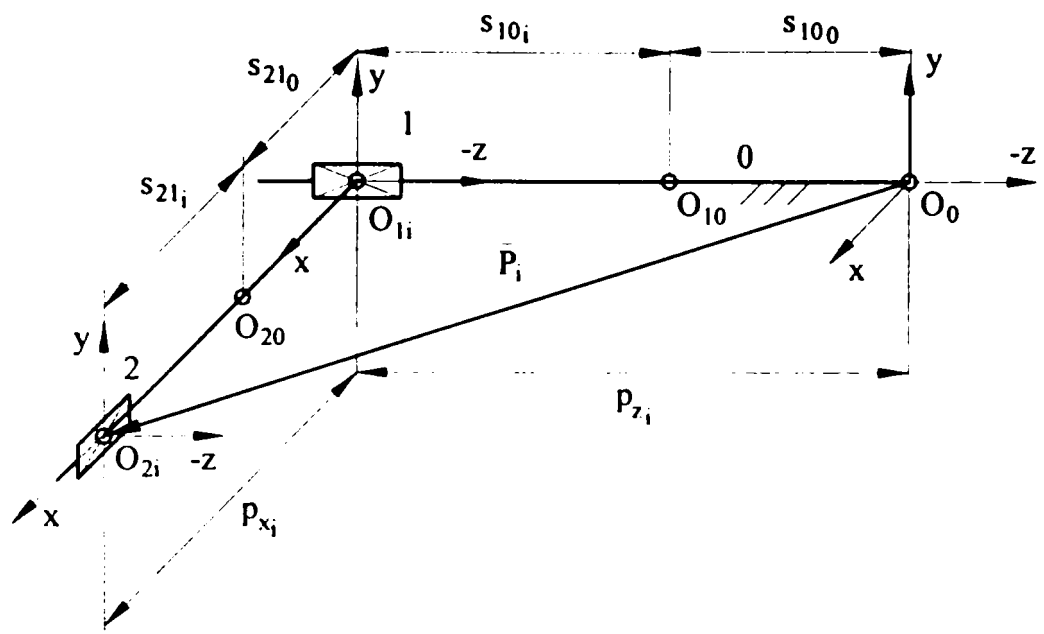


Fig. 6.10 Schema cinematică a unui mecanism activ cu structură TT

**Structura TTT**

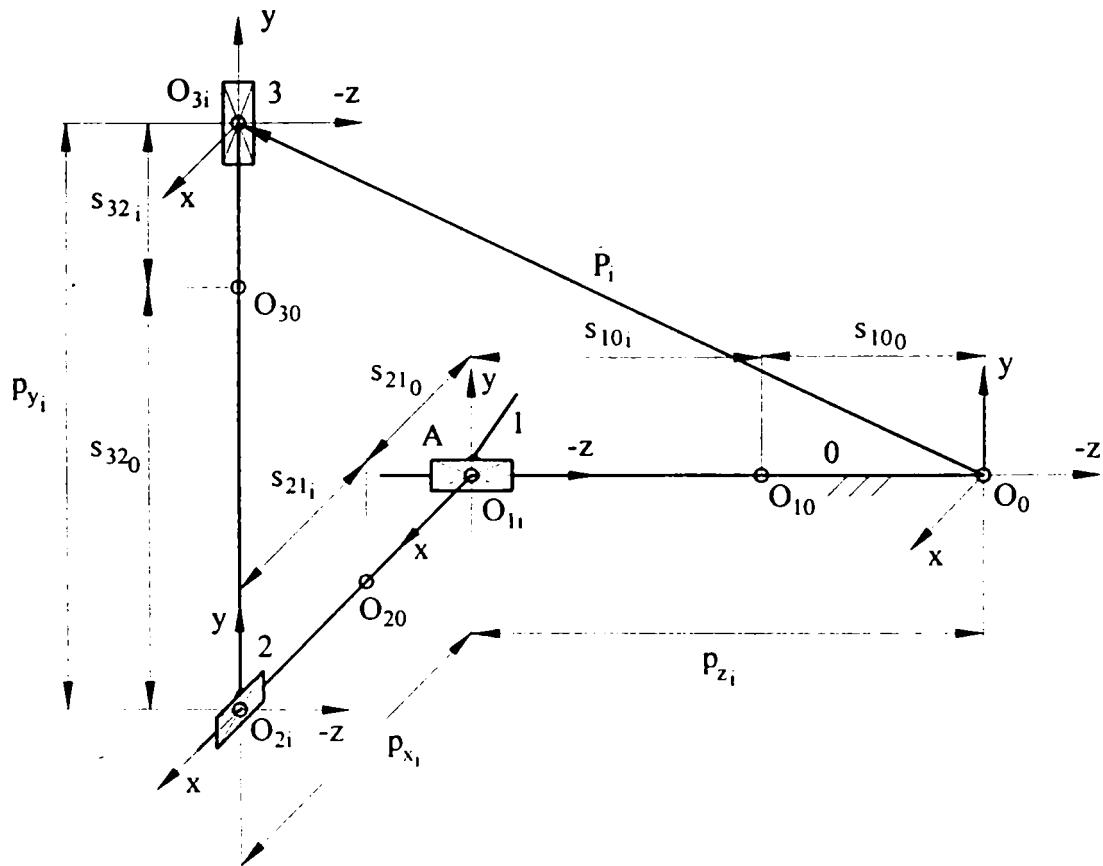


Fig. 6.11 Mecanism activ cu structură TTT

Schema cinematică a unui mecanism activ cu structură TTT este prezentată în figura 6.11.

- poziția  $O_{30}$  este poziția lui  $O_3$  cea mai apropiată de  $O_2$  (la timpul  $t_i = t_0$ );
- $O_{3i}$  este poziția lui  $O_3$  la timpul  $t_i$ .

$$\left. \begin{aligned} s_{21i} &= p_{x_i} - s_{210} \\ s_{32i} &= p_{y_i} - s_{320} \\ s_{10i} &= p_{z_i} - s_{100} \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

unde  $s_{100} = p_{z_0}$ ,  $s_{320} = p_{y_0}$  și  $s_{210} = p_{x_0}$  corespunde timpului  $t_i = t_0$

### 6.3.3 Modele geometrice inverse pentru structuri RRR ale mecanismelor de orientare

Mecanismele active ale dispozitivelor de ghidare cu topologie serială ale roboților industriali conțin, legate în serie, un mecanism generator de traiectorii și un mecanism de orientare cu structură RRR, având axele cuplelor cinematice conducătoare concurente într-un singur punct. În figura 6.7, mecanismul de orientare are elementele 4, 5, 6 și cuplele cinematice conducătoare D, G, D, având coordonatele unghiulare  $\theta_4$ ,  $\theta_5$ , și  $\theta_6$ .

Modelul geometric invers aferent este:

$$\left. \begin{aligned} \theta_{4i} &= \arctg \frac{\overline{a_i} \cdot \overline{O_o}}{\overline{a_i} \cdot \overline{n_o}} - \theta_{40} \\ \theta_{5i} &= \arctg \frac{c_{4i} \overline{a_i} \cdot \overline{n_o} + s_{4i} \overline{a_i} \cdot \overline{O_o}}{\overline{a_i} \cdot \overline{a_o}} - \theta_{50} \\ \theta_{6i} &= \arctg \frac{-s_{4i} \overline{n_i} \cdot \overline{n_o} + c_{4i} \overline{n_i} \cdot \overline{O_o}}{-s_{4i} \overline{O_i} \cdot \overline{n_o} + c_{4i} \overline{O_i} \cdot \overline{O_o}} - \theta_{60} \end{aligned} \right\} \quad (6.5)$$

unde  $c_{4i} = \cos \theta_{4i}$ ,  $s_{4i} = \sin \theta_{4i}$ , iar  $\theta_{40}$ ,  $\theta_{50}$ ,  $\theta_{60}$  sunt pozițiile unghiurilor relative ale elementelor 4 și 3, 5 și 4, respectiv 6 și 5 la timpul  $t_i = t_0$ .

### 6.3.4 Modele geometrice inverse pentru mecanisme generatoare de traiectorie

#### *Structură antropomorfă (RRR)*

În figura 6.7 mecanismul generator de traiectorie antropomorf de structură RRR este cel având cuplele cinematice conducătoare A, B, C și elementele 0, 1, 2, 3 având coordonatele unghiulare  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ .

Modelul geometric invers aferent este



$$\left. \begin{aligned} \theta_{1_i} &= \arctg \frac{p_{y_i}}{p_{x_i}} - \theta_{10} \\ \theta_{2_i} &= \arctg \frac{\pm \beta_i}{\sqrt{p_{z_i}^2 - \alpha_i^2 - \beta_i^2}} - \arctg \frac{\alpha_i}{p_{z_i}} - \theta_{20} \\ \theta_{3_i} &= \arctg \frac{p_{z_i} - a_2 \sin \theta_{2_i}}{\alpha_i^2 - a_2 \cos \theta_{2_i}} - \theta_{2_i} - \theta_{30} \end{aligned} \right\} \quad (6.6)$$

unde  $\alpha_i = \sqrt{p_{x_i}^2 + p_{y_i}^2}$  și  $\beta_i = \frac{\alpha_i^2 + p_{z_i}^2 + a_2^2 - a_3^2}{2a_2}$

### Structură cilindrică RTT

Schema cinematică a unui mecanism generator de traiectorie cu structură cilindrică este prezentată în figura 6.12.

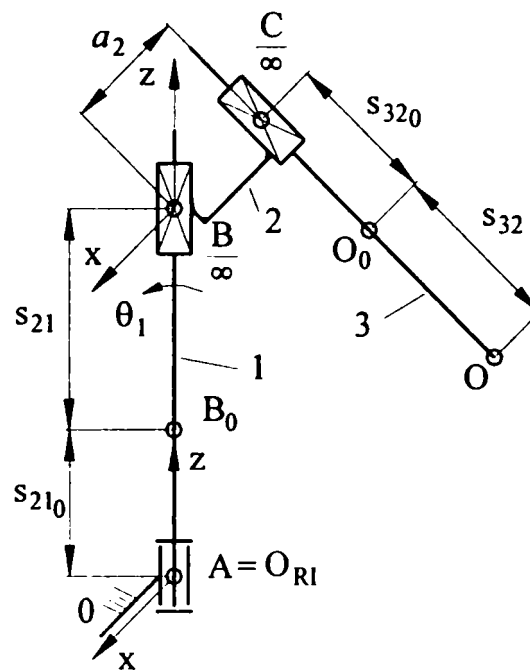


Fig. 6.12 Mecanism generator de traiectorie cu structură cilindrică RTT

Modelul geometric invers aferent este

$$\left. \begin{aligned} \theta_{1_i} &= \arctg \frac{a_2}{s_{32_0}} - \arctg \frac{\mp p_{x_i}}{p_{y_i}} - \theta_{10} \\ s_{21_i} &= p_{z_i} - s_{21_0} \\ s_{32_i} &= \sqrt{p_{x_i}^2 + p_{y_i}^2 - a_2^2} - s_{32_0} \end{aligned} \right\} \quad (6.7)$$

unde  $\theta_{10}$ ,  $s_{21_0}$ ,  $s_{32_0}$  sunt valorile lui  $\theta_{1_i}$ ,  $s_{21_i}$  și  $s_{32_i}$  pentru timpul  $t_i = 0$

### Structură sferică RRT

Schema cinematică a unui mecanism generator de traiectorie cu structură sferică este prezentată în figura 6.13.

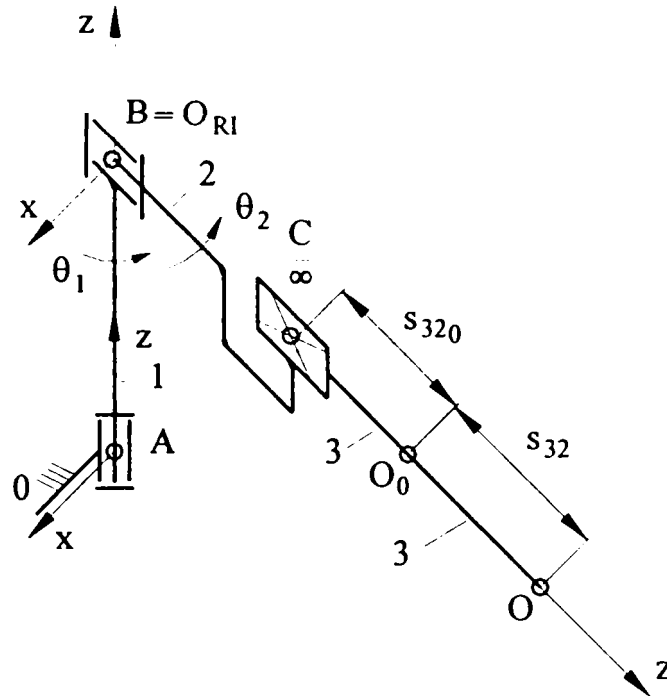


Fig.6.13 Mecanism generator de traiectorie cu structură sferică RRT

Modelul geometric invers aferent este

$$\left. \begin{aligned} \theta_{1_i} &= \arctg \frac{p_{y_i}}{p_{x_i}} - \theta_{10} \\ \theta_{2_i} &= \arctg \frac{\pm \sqrt{p_{x_i}^2 + p_{y_i}^2}}{p_{z_i}} - \theta_{20} \\ s_{32_i} &= \sqrt{p_{x_i}^2 + p_{y_i}^2 + p_{z_i}^2} - s_{32_0} \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

unde  $\theta_{10}$ ,  $\theta_{20}$  și  $s_{32_0}$  sunt valorile lui  $\theta_{1_i}$ ,  $\theta_{2_i}$  și  $s_{32_i}$  pentru  $t_i = 0$ .

**6.3.5 Model geometric invers pentru mecanismul activ de acționare  
a închiderii/deschiderii degetelor dispozitivului de prehensiune  
EF al robotului industrial**

Conform figurii 6.9, mecanismul activ are  $M = 1$ ,  $c_{\text{scind}} = 1$  (cupla cinematică de translație  $\frac{A}{\infty}$ ), două elemente (0 și 1). Poziția elementului 1 la timpul  $t = t_i$  este dată de relația (6.2).

**6.4 Modele cinematice (de ordinul 1) inverse ale mecanismelor active pentru acționarea avansurilor mașinilor de lucru, respectiv ale dispozitivelor de ghidare ale roboților industriali utilizați în SFF**

Modelele cinematice inverse ale vitezelor generalizate (de ordinul 1) ale mecanismelor active se deduc fie prin descrierea o singură dată în funcție de timp a expresiilor modelelor geometrice inverse ale acestor mecanisme (relațiile 6.2 ÷ 6.8), cunoscând faptul că situațiile relative ale sistemelor de referință atașate elementelor mecanismelor sunt variabile în timp, fie pornind de la starea de viteză a elementului de execuție (spre ex. a efectorului final al robotului), scriind relații cuprinzând matrici jacobiene inverse

$$\underline{\dot{Q}} = \underline{J}^{-1} \cdot \underline{\dot{X}} \tag{6.9}$$

unde  $\underline{\dot{Q}} = [\dot{q}_i]^T$   $i = 1, 2, \dots$  nr. c.c.c.

$$\underline{\dot{X}} = [\dot{p}_x \quad \dot{p}_y \quad \dot{p}_z \quad \dot{\Omega}_x \quad \dot{\Omega}_y \quad \dot{\Omega}_z]^T$$

$$\underline{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_x}{\partial q_i} & \frac{\partial p_y}{\partial q_i} & \frac{\partial p_z}{\partial q_i} & \frac{\partial \Omega_x}{\partial q_i} & \frac{\partial \Omega_y}{\partial q_i} & \frac{\partial \Omega_z}{\partial q_i} \end{bmatrix}$$

**6.5 Model de transmitere a comenzilor de execuție (prelucrare și manipulare) a obiectului de lucru de la concepția integrată la componentele SFF robotizate**

**6.5.1 Introducere**

Comenzile care sunt transmise se referă la pornirea/oprirea mișcării componentelor SFF, situațiile relative ale sistemelor de referință atașate organelor de lucru respectiv batiurilor la timpii  $t_i$ , prescriși, parametrii mișcării relative ale sistemelor de referință amintiți la timpii  $t_i$  (de regulă vitezele generalizate ale acestor mișcări relative).

Comenzile menționate anterior se emit de către calculatorul cu ajutorul căruia se realizează concepția integrată (constructivă și tehnologică) a obiectului de lucru sau de către un

calculator legat într-o rețea cu calculatorul cu ajutorul căruia se realizează concepția integrată a obiectului de lucru.

Comenzile transmise la componentele SFF se elaborează de către calculatorul de comandă a SFF pe baza datelor cu privire la situațiile semnificative ale sistemului de referință atașat sculei în raport cu sistemul de referință atașat mașinii de lucru, respectiv ale sistemului de referință atașat efectorului final în raport cu sistemul de referință atașat robotului industrial (Fig. 5.36 ÷ 5.77). La acestea se adaugă comenzi pentru pornirea/oprirea mișcării principale de așchiere la operații de strunjire și frezare, respectiv închiderea/deschiderea bacurilor dispozitivelor de lucru și a degetelor dispozitivelor de prehensiune-efectori finali ai roboților industriali.

Transformarea datelor referitoare la situațiile semnificative în date pentru comenzile componentelor SFF se realizează de către o interfață conținând o familie de programe modulare, formată din:

- module de program pentru efectuarea calculelor referitoare la modelele geometrice inverse pentru mecanismele active ale componentelor, câte una pentru fiecare structură de mecanism activ; datele privind dimensiunile schemei cinematice și selectarea structurii se face de către utilizator;
- module de program pentru deducerea ciclogramelor de funcționare a cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor active;
- modul pentru calculul variației în timp a vitezelor generalizate de mișcare relativă a sistemelor de coordonate atașate elementelor cuplelor cinematice conducătoare;
- module de calcul a variației în timp a tensiunii aplicate bornelor motoarelor electrice de curent continuu sau alternativ respectiv a variației în timp a frecvenței de impulsuri aplicate la bornele motoarelor electrice pas cu pas, folosite în sistemele de acționare ale componentelor;
- module de calcul a valorilor de referință pentru comparatoarele reguletoarelor de axă (ale cuplelor cinematice conducătoare).

### **6.5.2 Determinarea ciclogramelor de funcționare a acționărilor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor active**

Ciclogramele de funcționare a acționărilor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor active sunt diagrame unidimensionale în funcție de timp, care indică momentele schimbării stării de mișcare relativă a elementelor cuplelor cinematice conducătoare în sensul mișcării.

Pentru comanda secvențială, punct cu punct și de traiectorie continuă momentele schimbărilor de stare de mișcare semnalate în ciclogramă sunt pornirea/oprirea mișcării relative a elementelor cuplelor cinematice conducătoare, respectiv schimbarea sensului de mișcare.

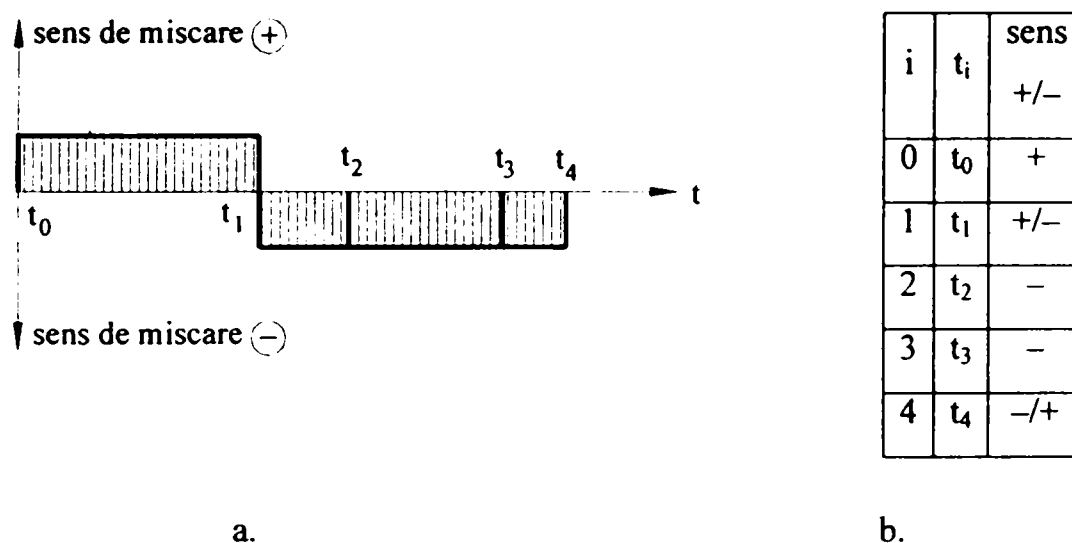


Fig. 6.14 Exemple de ciclograme de mișcare relativă a elementelor c.c.c.

Pentru comanda punct cu punct, în mod suplimentar, ciclograma indică și timpii când se produce o schimbare bruscă a modulului vitezei generalizate a mișcării relative.

Ciclogramele se deduc din modelul geometric (de ordinul 0) invers al mecanismelor active la mișcările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare la care se referă.

Se prezintă exemple de ciclograme de mișcare relativă a elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor active sub formă grafică (Fig.6.14 a) respectiv tabelară (Fig. 6.14.b).

### 6.5.3 Calculul vitezelor relative generalizate ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismelor active

Variația în timp a vitezelor relative generalizate ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare se deduce pe baza modelului cinematic (de ordinul 1) invers al mecanismelor active din care fac parte, în funcție de natura comenzii realizate.

#### Comanda secvențială

$$\dot{q}_{01} = \frac{q_{01}}{t_1 - t_0} \tag{6.10}$$

unde  $q_{01} = s_{10}$  pentru T (c.c.c. de translație)

$q_{01} = \theta_{10}$  pentru R (c.c.c. de rotație)

### Comanda punct cu punct nesincronă

Calculul vitezelor relative generalizate se va face cu relația (6.10).

### Comanda punct cu punct sincronă

$$(\dot{q}_{01})_i = \frac{(q_{01})_i}{(t_1 - t_0)_{\max}} \quad (6.11)$$

unde  $(\dot{q}_{01})_i$  este viteza deplasării relative generalizate pentru cupla cinematică conducătoare  $i$ ,  $(t_1 - t_0)_{\max}$  este durata maximă de deplasare relativă a două elemente ale celor două cuple cinematice  $i$  și  $i-1$  care se mișcă împreună.

### Comanda de traiectorie continuă

$$\frac{\dot{q}_i}{\dot{q}_{i-1}} = f(t) \quad (6.12)$$

Comanda (secvențială sau punct cu punct) a c.c.c. ale dispozitivelor de ghidare ale roboților industriali se realizează de obicei cu *palier de viteză generalizată*.

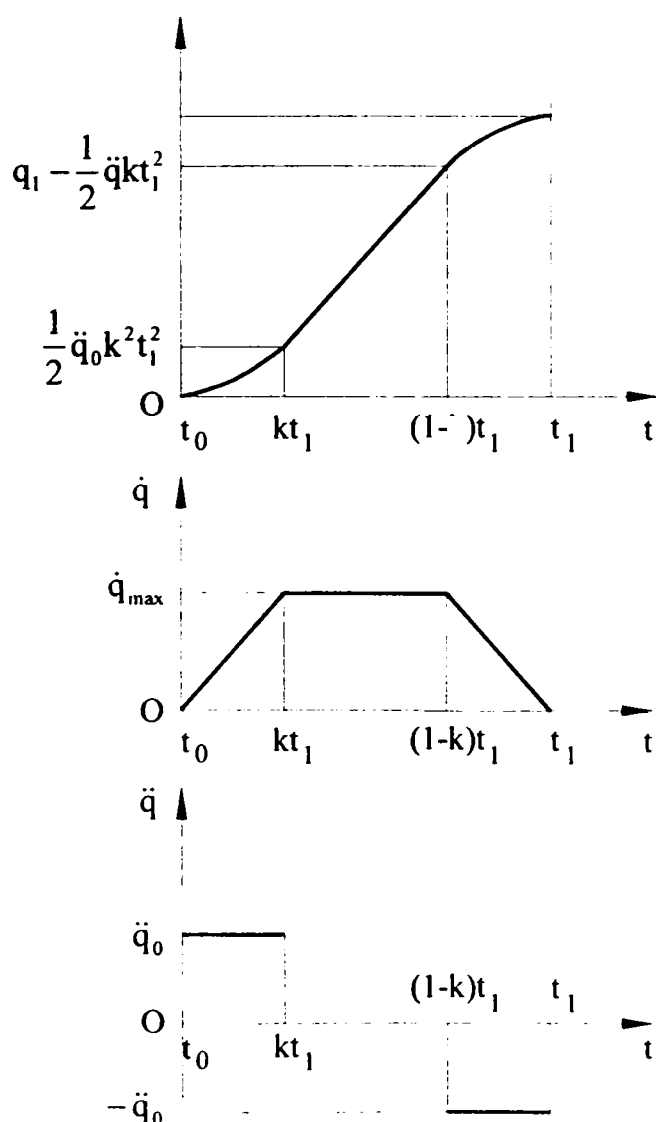


Fig. 6.15 Legile de mișcare „cu palier de viteză”

În acest caz, pentru evitarea șocurilor la pornirea/oprirea mișcării relative ale elementelor c.c.c. (cauzate de apariția/dispariția instantanee a forței rezultante de inerție generalizate), un anumit interval de timp (de regulă la  $t_1$ ), viteza relativă generalizată va crește liniar (cu accelerația generalizată  $\ddot{q} = \ddot{q}_0$ ), va rămâne constantă ( $\ddot{q}_{\max} = \ddot{q} kt_1$ ) un alt interval de timp (de durată  $(1 - 2k)t_1$ ), ca să scadă la valoarea 0 în ultimul interval de timp (de durată  $kt_1$ ) (Fig.6.15).

Coeficientul de accelerare  $k$  se alege  $0 < k < 1$ , ca și accelerația generalizată  $\ddot{q}_0$  din condiții de comportament dinamic a mecanismului.

#### **6.5.4 Calculul variației în timp a tensiunii curentului de alimentare a bornelor motoarelor electrice (c.c. sau c.a.), respectiv a frecvenței impulsurilor de tensiune de alimentare a motoarelor electrice pas cu pas pentru acționarea c.c.c. ale mecanismelor active. Calculul valorilor de referință pentru dispozitivele comparatoare ale reguletoarelor axelor energetice ale c.c.c. ale mecanismelor active**

Calculatorul sistemului de comandă prescrie la un timp  $t_i$  dat, mărimea elementelor c.c.c. printr-o comandă sub forma unui număr  $n_j$ .

În cazul motoarelor electrice de c.c. sau c.a., un convertor digital/analog comandă pe baza acestui număr aplicarea unei tensiuni electrice la bornele motorului.

Viteza unghiulară a rotorului motorului electric și viteza relativă generalizată a elementelor c.c.c. sunt proporționale cu tensiunea aplicată la bornele motorului.

$$\dot{q}_i = c_U \cdot U_i \quad (6.13)$$

unde  $U_i$  este tensiunea aplicată la timpul  $t_i$ , iar  $c_U$  un coeficient care depinde de construcția motorului și schema cinematică a mecanismelor transmisiei mecanice a axei energetice.

În cazul motoarelor electrice pas cu pas, un generator de impulsuri va emite un tren de impulsuri de tensiune de o anumită frecvență, impulsuri care se aplică la bornele motorului.

Viteza relativă generalizată a elementelor c.c.c. este proporțională cu frecvența impulsurilor

$$\dot{q}_i = c_f \cdot f_i \quad (6.14)$$

unde  $\dot{q}_i$  este viteza relativă generalizată,  $f_i$  este frecvența impulsului la timpul  $t_i$ , iar  $c_f$  un coeficient care depinde de construcția motorului electric pas cu pas și de schema cinematică a mecanismelor transmisiei mecanice a axei energetice a c.c.c.

În intervalul de timp  $t_j - t_{j+1}$  ( $j \leq i \leq j+1$ ) în decursul căruia elementele cuplei cinematice conducătoare trebuie să realizeze deplasare relativă generalizată

$$q_{j+1} - q_j = \int_j^{j+1} \dot{q}_i \quad (6.15)$$

calculatorul sistemului de comandă prescrie numărul de impulsuri  $n_{TD,j,j+1}$  pe care trebuie să-l emită traductorul de deplasare incremental al regulatorului axei energetice corespunzătoare cuplei cinematice conducătoare în cauză

$$n_{TD,j,j+1} = \frac{q_{j+1} - q_j}{c_{TD}} \quad (6.16)$$

unde  $c_{TD}$  este un coeficient constant, care depinde de construcția traductorului.

Dispozitivul comparator al regulatorului de axă compară numărul de impulsuri prescris  $n_{TD,j,j+1}$  cu numărul de impulsuri emise în realitate de către traductorul incremental de

deplasare a axei  $(n_{TD,j,j+1})_{real}$ . În momentul în care

$$\delta_{n_{TD,j,j+1}} = n_{TD,j,j+1} - (n_{TD,j,j+1})_{real} = 0 \quad (6.17)$$

alimentarea motorului electric cu curent de anumită tensiune sau cu impulsuri de tensiune având anumită frecvență încetează. În acest caz, fie că mișcarea de rotație a rotorului motorului încetează, fie că calculatorul sistemului de comandă prescrie alimentarea cu curent electric de altă tensiune sau impulsuri de tensiune cu altă frecvență, schimbându-se pe această cale viteza unghiulară de rotație a rotorului motorului.

În cazul comenzii secvențiale fără palier de viteză

$$\dot{q} = ct. \quad (6.19)$$

și deplasarea generalizată  $q_{j+1} - q_j$  corespunde vitezei secvenței de mișcare.

În cazul comenzii punct cu punct nesincron, mișcarea relativă a elementelor fiecărei cuple cinematice conducătoare a mecanismului activ se produce secvențial, dacă începutul aplicării la bornele motorului electric al curentului de anumită tensiune sau a unui tren de impulsuri de tensiune de o anumită frecvență este același.

În cazul comenzii punct cu punct, începutul aplicării curentului de anumită tensiune/trenului de impulsuri de tensiune de o anumită frecvență este același pentru motoarele axelor energetice ale tuturor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului activ comandat în acest mod. Această aplicare de curent de anumită tensiune/tren de impulsuri de o anumită frecvență încetează în momentul în care la una din cuplele cinematice conducătoare se îndeplinește condiția (6.17).

În cazul comenzii cu palier de viteză, într-un interval de timp

$$\Delta T = t_{j+1} - t_j \quad (6.19)$$



care constituie o caracteristică de eșantionare a calculatorului, motorul electric al axei energetice este alimentat cu energie electrică având parametri corespunzători vitezei generalizate  $\dot{q}_j$ . Ca urmare numărul de impulsuri de referință  $n_{TD,j,j+1}$  pentru traductorul incremental de deplasare se calculează din deplasarea generalizată

$$q_{j+1} - q_j = \dot{q}_j \Delta T \quad (6.20)$$

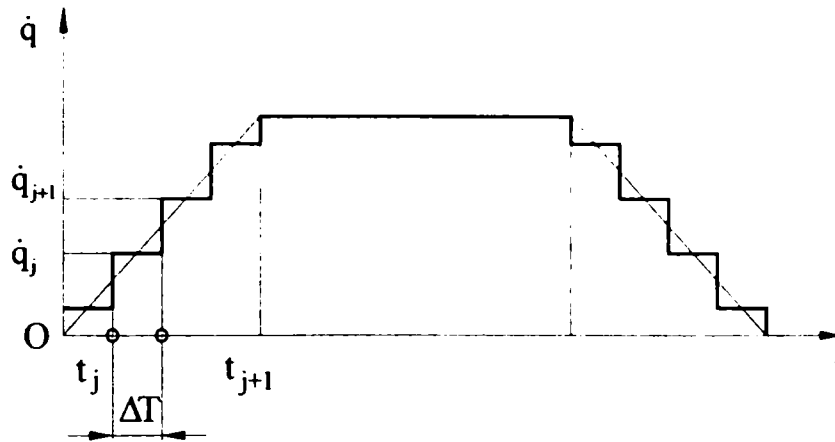


Fig. 6.16 Comanda cu „palier de viteză”

La atingerea numărului real de impulsuri date de traductor

$$\left( n_{TD,j,j+1} \right)_{real} = n_{TD,j,j+1} \quad (6.17)'$$

parametrul de alimentare cu energie electrică a motorului se schimbă astfel, încât să corespundă vitezei generalizate  $\dot{q}_{j+1}$ .

În cazul comenzii de traiectorie continuă, legea de mișcare relativă ( $q = q(t)$  sau  $\dot{q} = \dot{q}(t)$ ) a elementelor cuplei cinematice conducătoare comandate se interpolează astfel încât graficul legii să treacă printr-un număr de puncte („de precizie”), distanțate în timp cu intervalul  $\Delta t$ , de durată care depinde de construcția calculatorului sistemului de comandă. Punctele „de precizie” se amplasează pe o „curbă de interpolare” aleasă de programator (de ex. dreaptă, arc de cerc, arc de funcții trigonometrice etc.).

În intervalul de timp între 2 puncte „de precizie” ( $j, j+1$ ), elementele cuplei cinematice conducătoare se deplasează cu viteză generalizată constantă  $\dot{q}_j$ . Comanda schimbării vitezei se realizează în modul descris pentru comanda cu palier de viteză (Fig. 6.16, relațiile 6.15 ÷ 6.20).

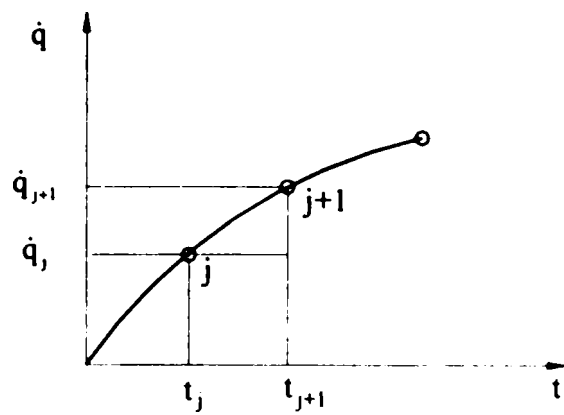


Fig. 6.17 Curbă de interpolare pentru „puncte de precizie”

În cazul în care elementele a două sau mai multe cuple cinematice conducătoare comandate cu traiectorie continuă se mișcă în același timp, între vitezele relative generalizate ale acestora va trebui să respecte relația (6.12).

Regulatorul axei energetice a cuplei cinematice conducătoare comandată cu traiectorie continuă și acționată de un motor electric de c.c. sau c.a., conține un traductor de viteză relativă generalizată a elementelor c.c.c., de obicei un tahogenerator. Semnalul emis de tahogenerator este un curent electric al cărui tensiune la timpul  $t_i$  este proporțională cu viteza relativă generalizată a elementelor c.c.c.

$$U_{i\_real} = c_{TU} \cdot \dot{q}_i \quad (6.21)$$

unde  $c_{TU}$  este un coeficient care depinde de construcția tahogeneratorului.

Tensiunea curentului electric semnal emis de tahogenerator este comparată de calculator cu tensiunea de comandă a motorului axei, stabilindu-se semnalul de eroare de viteză relativă generalizată

$$\Delta U_i = U_i - U_{i\_real} \quad (6.22)$$

cu care se corectează tensiunea de comandă.

În cazul în care axa energetică a c.c.c. comandat cu traiectorie continuă este un motor electric pas cu pas, nu mai este necesară cuprinderea în structura axei a unui traductor de viteză relativă generalizată. În acest caz frecvența impulsurilor de tensiune emise de traductorul de deplasare la timpul  $t_i$  va fi proporțională cu viteza relativă generalizată

$$f_{i\_real} = c_{TDf} \cdot \dot{q}_i \quad (6.23)$$

unde  $c_{TDf}$  este un coeficient care depinde de construcția traductorului de deplasare incremental.

Dispozitivul comparator al calculatorului va determina eroarea de frecvență la timpii  $t_i$

$$\Delta f_i = f_i - f_{i, \text{real}} \quad (6.24)$$

cu care se va corecta frecvența impulsurilor emise de generatorul de impulsuri în vederea comandării motorului pas cu pas al axei energetice.

În conformitate cu cele prezentate anterior se indică schemele-bloc structural funcționale ale reguletoarelor axelor energetice de acționare a mișcării relative a elementelor c.c.c.

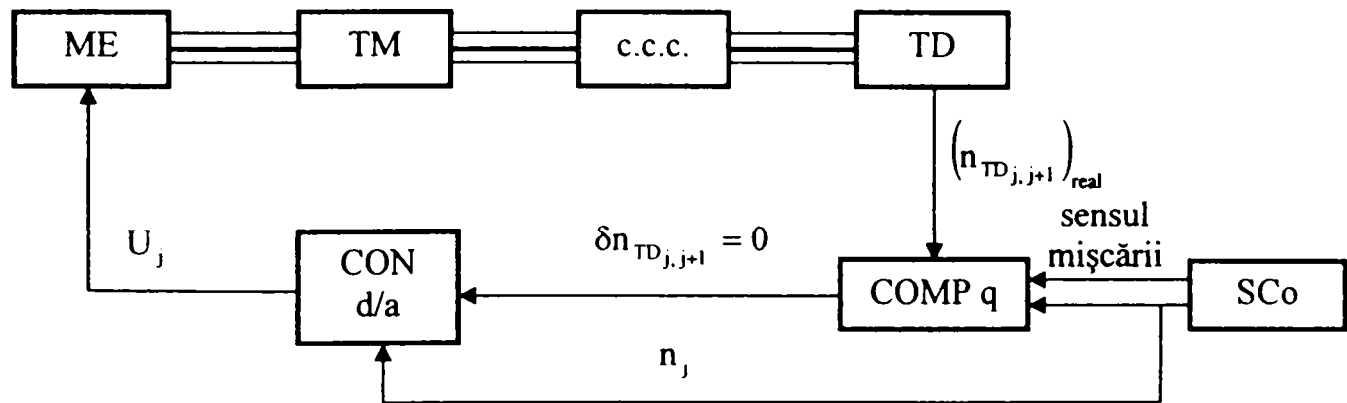


Fig. 6.18 Schema-bloc structural-funcțională a regulatorului axei energetice de acționare a mișcării relative a elementelor c.c.c. cu motor electric de c.c./c.a. în cazul comenzii secvențiale și punct cu punct

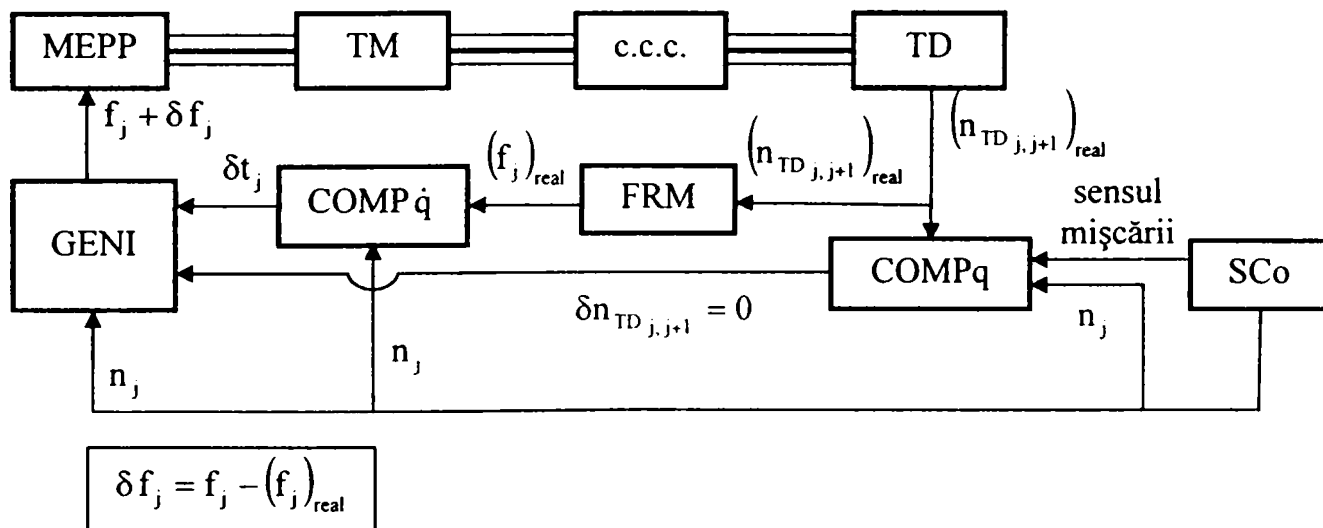


Fig. 6.19 Schema-bloc structural-funcțională a regulatorului axei energetice de acționare a mișcării relative a elementelor c.c.c. cu motor electric pas cu pas

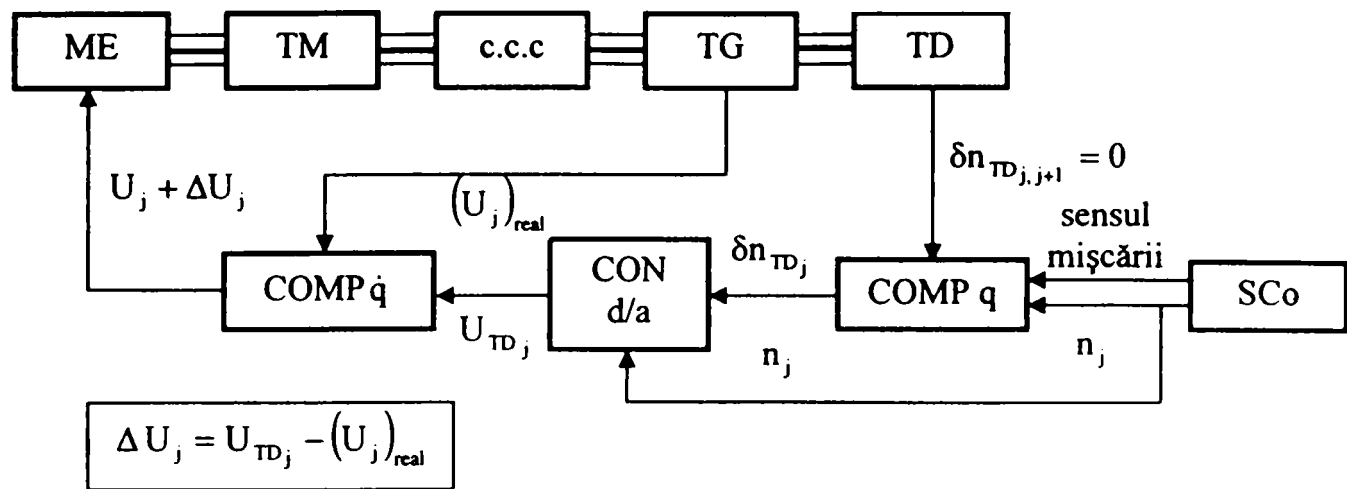


Fig.6.20 Schema-bloc structural-funcțională a regulatorului axei energetice de acționare a mișcării relative a elementelor c.c.c. cu motoare electrice c.c./c.a. în cazul comenzii de traiectorie continuă

În cazul acționării cu motoare electrice de c.c., c.a. sau pas cu pas structura regulatorului axei energetice conține motorul electric ME sau MEPP, transmisia mecanică TM, cupla cinematică conducătoare c.c.c., traductorul de deplasare incremental TD. În cazul comenzii secvențiale sau punct cu punct și acționare cu motoare electrice de c.c. sau c.a., schema structurală conține comparatorul de deplasare relativă generalizată COMPq și convertorul digital/analog CON d/a. În cazul comenzii de traiectorie continuă, structura regulatorului se mai completează cu comparatorul de viteză generalizată COMP  $\dot{q}$  și tahogeneratorul TG.

În cazul acționării cu motor electric pas cu pas și a comenzilor secvențial, punct cu punct și de traiectorie continuă, structura mai conține frecvențmetrul FRM, comparatorul de viteză relativă generalizată COMP  $\dot{q}$  și generatorul de impulsuri GENI.

Funcționarea regulatorului axei energetice, acționată cu motor electric de c.c./c.a., în cazul comenzii secvențiale, respectiv punct cu punct se realizează în modul următor (Fig. 6.18):

- calculatorul sistemului de comandă SCo al mașinii de lucru/robotului industrial trimite la momentul  $t_j$  la comparatorul analog/digital CON d/a o comandă sub forma unui număr  $n_j$ , modificând deplasarea relativă generalizată a elementelor c.c.c. în intervalul de timp  $t_{j+1} - t_j$ , cu deplasarea relativă generalizată  $q_{j+1} - q_j$  și cu viteza relativă generalizată  $\dot{q}_j$  (calculată pe baza relațiilor 6.10 ÷ 6.12;
- convertorul CON d/a va comanda aplicarea la bornele motorului electric ME a unei tensiuni  $U_j$  corespunzătoare lui  $\dot{q}_j$ ;

- motorul ME va acționa mișcarea relativă a elementelor c.c.c., care vor realiza deplasarea relativă generalizată comandată;
- deplasarea relativă generalizată este controlată de traductorul de deplasare incremental TD, care emite un tren cu numărul de impulsuri  $\left(n_{TD_{j,j+1}}\right)_{real}$ ;
- comparatorul COMPq compară numărul de impulsuri  $\left(n_{TD_{j,j+1}}\right)_{real}$  cu numărul  $n_j$  și calculează diferența  $\delta n_{TD_{j,j+1}}$  conform relației (6.17);
- la timpul când  $\delta n_{TD_{j,j+1}} = 0$ , semnalul transmis la CON d/a anulează numărul  $n_j$  și tensiunea de alimentare  $U_j$  a bornelor ME; ca urmare, mișcarea relativă a elementelor c.c.c. încetează.

În cazul comenzii de traiectorie continuă (Fig.6.20), în plus față de cele descrise anterior, tensiunea  $U_{TD_j}$  comandată de CON d/a se compară de către COMPq cu tensiunea  $\left(U_j\right)_{real}$ , semnalul emis de TG, semnal proporțional cu viteza relativă generalizată efectivă a elementelor c.c.c.  $\dot{q}$ , determinându-se eroarea de tensiune

$$\Delta U_j = U_{TD_j} - \left(U_j\right)_{real} \quad (6.25)$$

iar la bornele motorului electric ME se aplică tensiunea  $U_{TD_j} + \Delta U_j$ .

În cazul acționării c.c.c. cu motor electric pas cu pas MEPP (Fig. 6.19):

- sistemul de comandă SCo emite o comandă sub forma unui număr  $n_j$  definit similar ca mai sus. Generatorul de impulsuri GENI comandat astfel, emite un tren de impulsuri de tensiune cu frecvența  $f_j + \Delta f_j$ , alimentând motorul MEPP, care acționează deplasarea relativă  $q_{j+1} - q_j$  a elementelor c.c.c. cu viteza relativă  $\dot{q}_j$ ;
- traductorul TD emite trenul de un număr de  $\left(n_{TD_{j,j+1}}\right)_{real}$  impulsuri de tensiune, care sunt comparate de către comparatorul COMPq cu numărul  $n_j$ ;
- COMPq calculează diferența  $\delta n_{TD_j}$  (6.17); când  $\delta n_{TD_j} = 0$ , semnalul transmis la generatorul de impulsuri GENI întrerupe emiterea de către acesta a trenului de impulsuri;
- trenul de impulsuri emis de TD este recepționat și de frecvențmetrul FRM; semnalul emis de acesta  $\left(f_j\right)_{real}$  – frecvența reală a impulsurilor de tensiune emis de TD – este comparat de comparatorul COMPq cu numărul  $n_j$ , rezultând eroarea de frecvență

$$\delta f_j = f_j - \left(f_j\right)_{real} \quad (6.26)$$

cu care se corectează frecvența  $f_j$  a impulsurilor de tensiune emise de GENI.

În cazul în care prelucrarea obiectului de lucru se realizează prin strunjire, frezare, rectificare, mișcarea principală este una de rotație, cu viteză unghiulară constantă  $\omega_{pr}$ , executată de arborele principal al strungului, respectiv de scula freză sau piatră de rectificat.

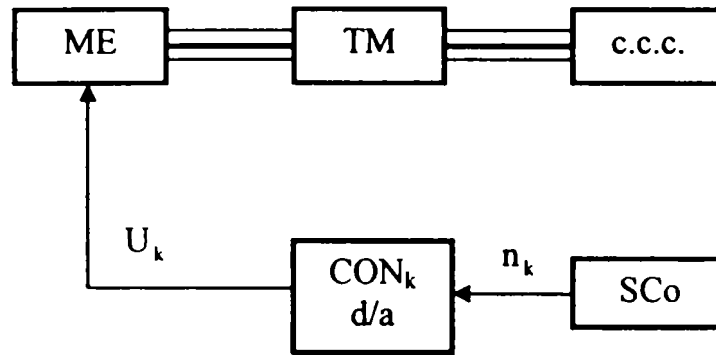


Fig. 6.21 Schema-bloc a axei energetice pentru acționarea mișcării principale mașinii de lucru

Comanda pornirii/oprirei mișcării principale și a acționării axei energetice aferente cu motorul electric de c.c./c.a. ME în cazurile amintite mai sus se face tot de către calculatorul sistemului de comandă sub formă digitală, transmițându-se la timpul  $t_k$  un număr  $n_k$ . Convertorul digital/analog  $CON_k$  d/a va impune aplicarea unei tensiuni  $U_k$  la bornele motorului electric de acționare a axei energetice

$$U_k = c_k \cdot \omega_{pr} \quad (6.27)$$

unde  $c_k$  este un coeficient care depinde de construcția motorului electric de acționare și de schema cinematică a mecanismelor transmisiilor mecanice TM la axele energetice.

La rândul său

$$U_k = f_{d/a}(n_k) \quad (6.28)$$

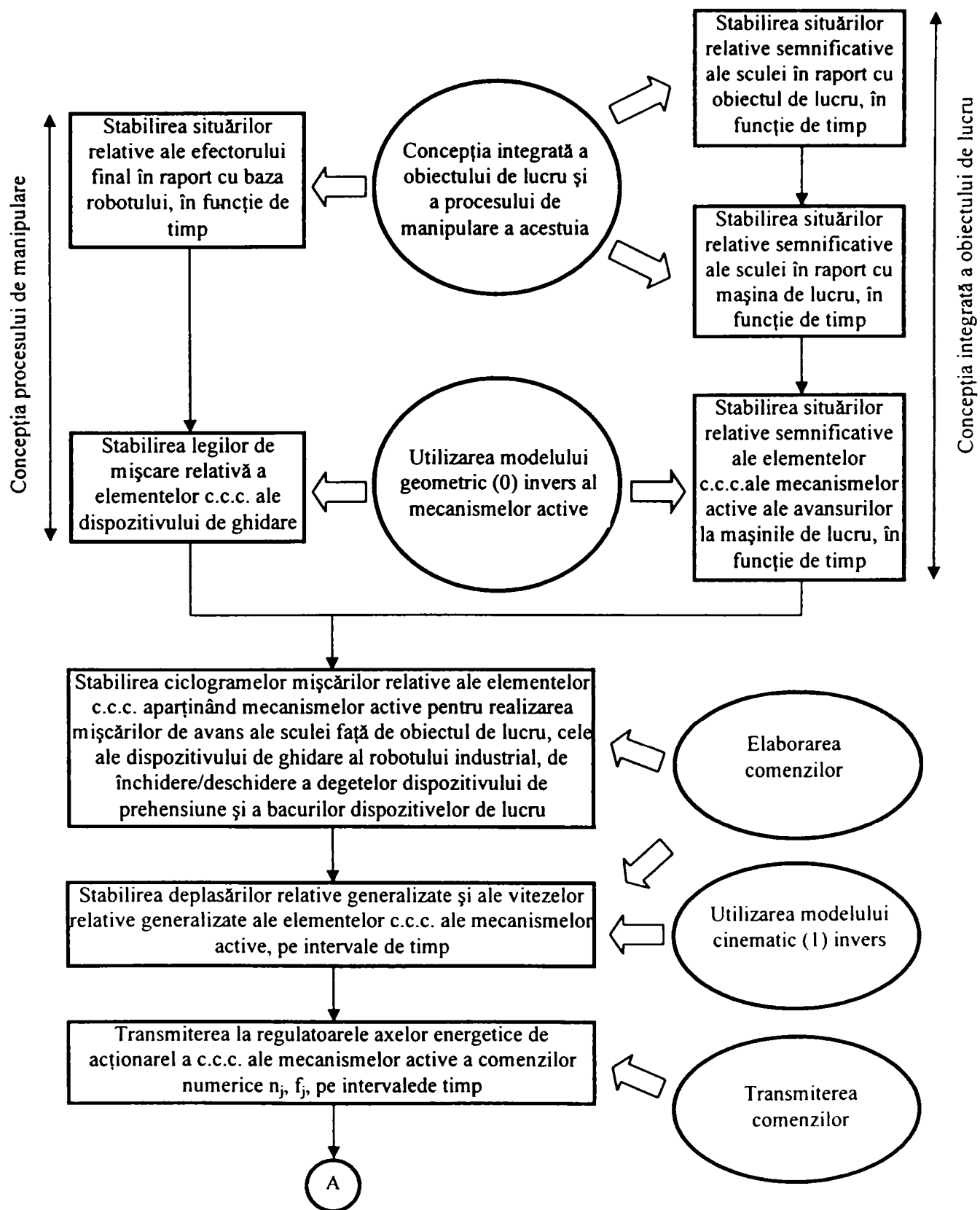
unde  $f_{d/a}$  este o funcție care depinde de construcția convertorului digital/analog.

Oprirea mișcării principale se realizează prin emiterea unei mărimi digitale, căreia îi corespunde tensiunea  $U_k = 0$ .

Comanda axei energetice pentru acționarea închiderii/deschiderii degetelor dispozitivului de prehensiune a robotului, respectiv a bacurilor dispozitivului de lucru se realizează în mod similar.

## 6.6. Concluzii

În figura 6.21 se prezintă ordinograma concepției integrate a obiectelor de lucru și a transmiterii automate a comenzilor de execuție de la compartimentul de concepție integrată la sistemul de fabricație robotizată pentru prelucrări prin așchiere.



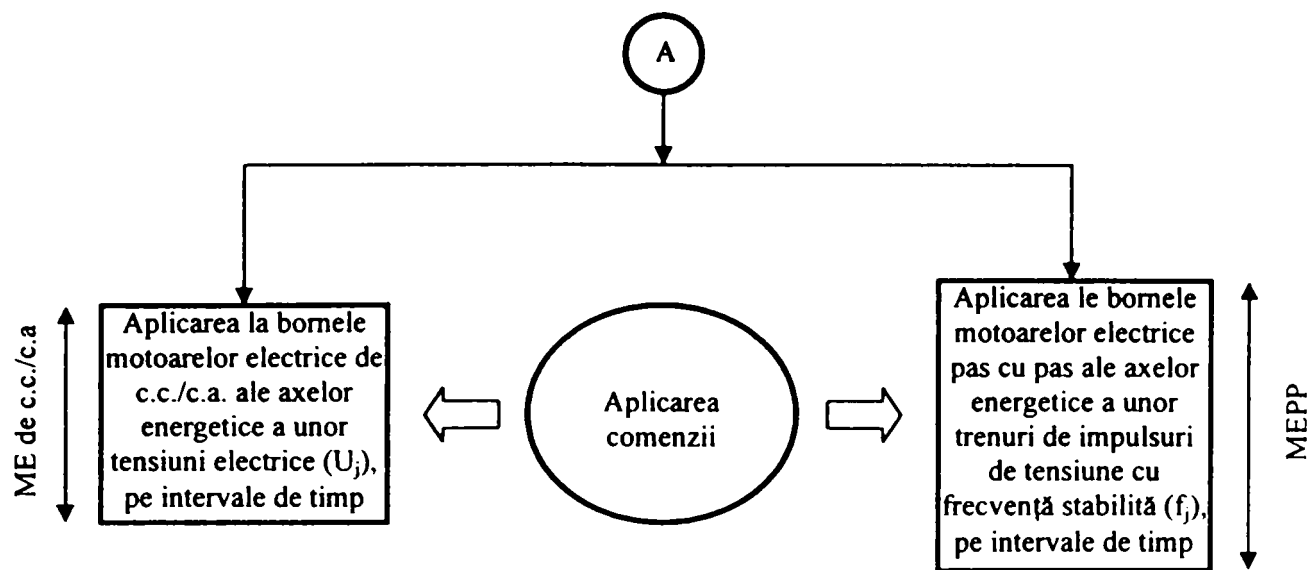


Fig. 6.21 Ordinograma concepției integrate a obiectului de lucru și a transmiterii comenzilor de execuție de la compartimentul de concepție integrată la sistemul de fabricație robotizat pentru prelucrări prin așchiere

Ordinograma din figura 6.21 se completează cu cea din figura 6.22 pentru cazul în care prelucrarea obiectului de lucru se realizează prin strunjire, frezare sau rectificare.

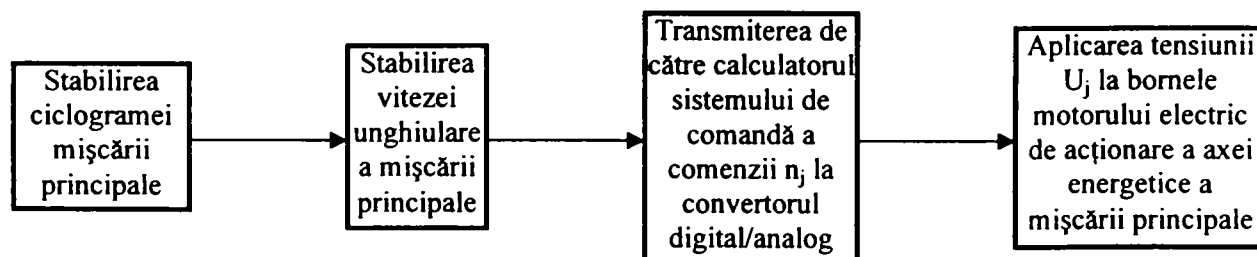


Fig.6.22 Ordinograma de transmitere a comenzii pentru axa energetică care acționează mișcarea principală

În tabelul 6.1 se prezintă datele care se transmit succesiv sistemului automat care realizează prelucrarea prin așchiere și intervalele în care ele se elaborează succesiv în decursul concepției integrate a obiectului de lucru.



| t                               | Situarea relativă semnificativă sculă-obiect de lucru                                | Situarea relativă semnificativă sculă -mașină  | c.c.c. al mecanismului activ | Deplasarea relativă generalizată a elementelor c.c.c   | Viteza relativă generalizată a elementelor c.c.c.c.                                | Comanda numerică transmisă                                       | Tensiunea aplicată la bornele ME c.c./c.a.                       | Frecvența trenului de impulsuri aplicată la bornele MEPP         | Obs. |
|---------------------------------|--|--|------------------------------|--|--|--|--|--|------|
| 1                               | 2  | 3  | 4                            | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10   |
| $t_j$<br>↓<br>$t_{j+1}$         | $OL \underline{\mathbf{T}}_{SC_j}$<br>$OL \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+1}}$         | $Max \underline{\mathbf{T}}_{SC_j}$<br>$Max \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+1}}$         | A<br>B<br>⋮<br>N             | $(q_{j+1} - q_j)_A$<br>$(q_{j+1} - q_j)_B$<br>⋮<br>$(q_{j+1} - q_j)_N$                         | $(\dot{q}_j)_A$<br>$(\dot{q}_j)_B$<br>⋮<br>$(\dot{q}_j)_N$                         | $(n_j)_A$<br>$(n_j)_B$<br>⋮<br>$(n_j)_N$                         | $(U_j)_A$<br>$(U_j)_B$<br>⋮<br>$(U_j)_N$                         | $(f_j)_A$<br>$(f_j)_B$<br>⋮<br>$(f_j)_N$                         |      |
| $t_{j+1}$<br>↓<br>$t_{j+2}$     | $OL \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+1}}$<br>$OL \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+2}}$     | $Max \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+1}}$<br>$Max \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+2}}$     | A<br>B<br>⋮<br>N             | $(q_{j+2} - q_{j+1})_A$<br>$(q_{j+2} - q_{j+1})_B$<br>⋮<br>$(q_{j+2} - q_{j+1})_N$             | $(\dot{q}_{j+1})_A$<br>$(\dot{q}_{j+1})_B$<br>⋮<br>$(\dot{q}_{j+1})_N$             | $(n_{j+1})_A$<br>$(n_{j+1})_B$<br>⋮<br>$(n_{j+1})_N$             | $(U_{j+1})_A$<br>$(U_{j+1})_B$<br>⋮<br>$(U_{j+1})_N$             | $(f_{j+1})_A$<br>$(f_{j+1})_B$<br>⋮<br>$(f_{j+1})_N$             |      |
| ⋮                               | ⋮  | ⋮  | ⋮                            | ⋮  | ⋮  | ⋮  | ⋮  | ⋮  |      |
| $t_{j+(n-1)}$<br>↓<br>$t_{j+n}$ | $OL \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+(n-1)}}$<br>$OL \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+n}}$ | $Max \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+(n-1)}}$<br>$Max \underline{\mathbf{T}}_{SC_{j+n}}$ | A<br>B<br>⋮<br>N             | $(q_{j+(n-1)} - q_{j+n})_A$<br>$(q_{j+(n-1)} - q_{j+n})_B$<br>⋮<br>$(q_{j+(n-1)} - q_{j+n})_N$ | $(\dot{q}_{j+(n-1)})_A$<br>$(\dot{q}_{j+(n-1)})_B$<br>⋮<br>$(\dot{q}_{j+(n-1)})_N$ | $(n_{j+(n-1)})_A$<br>$(n_{j+(n-1)})_B$<br>⋮<br>$(n_{j+(n-1)})_N$ | $(U_{j+(n-1)})_A$<br>$(U_{j+(n-1)})_B$<br>⋮<br>$(U_{j+(n-1)})_N$ | $(f_{j+(n-1)})_A$<br>$(f_{j+(n-1)})_B$<br>⋮<br>$(f_{j+(n-1)})_N$ |      |

Tab. 6.1 Prezentarea tabelară a datelor care se elaborează succesiv în decursul concepției integrate a obiectului de lucru și a celor care se transmit succesiv sistemului care realizează prelucrarea prin așchiere

Pentru comanda mișcării principale la prelucrarea prin strunjire, frezare, rectificare, respectiv pentru comanda închiderii/deschiderii degetelor dispozitivului de prehensiune/bacurilor dispozitivului de lucru, datele se prezintă în tabelul 6.2.

| t         | c.c.c.                              | Comanda digitală | Tensiunea aplicată la bornele motorului electric | Obs. |
|-----------|-------------------------------------|------------------|--|------|
| $t_k$     | al mișcării principale              | $n_k$            | $U_k$  |      |
| $t_{k+1}$ | al mișcării de închidere/deschidere | $n_{k+1}$        | 0  |      |

Tab. 6.2 Prezentarea tabelară a datelor pentru comanda mișcării principale, respectiv a închiderii/deschiderii degetelor dispozitivului de prehensiune/bacurilor dispozitivului de lucru

Semnificațiile simbolurilor utilizate în tabelele 6.1 și 6.2 au fost explicate în subcapitolele 5.5, 6.2 ÷ 6.5.

Pentru elaborarea concepției procesului de manipulare a obiectului de lucru și pentru transmiterea comenzilor aferente se întocmește un tabel similar cu Tab. 6.1, în care coloana 2 se referă la situarea relativă a efectorului final în raport cu baza robotului ( ${}^R \underline{T}_{EF}$ ), iar coloana 3 lipsește.

În cursul prelucrării unui obiect de lucru cu suprafață oarecare „sculptată” cu freză sferică activată de un cap de forță efector final al unui robot industrial de prelucrare, coloana ”concepția integrată a obiectului de lucru” din ordinograma din figura 6.21 se înlocuiește cu coloana prezentată în figura 6.23. Tabelul 6.1 va conține în acest caz în coloana 3, simboluri

$${}^R \underline{T}_{EF}$$

## 7. Aplicație

### 7.1 Introducere

Pentru verificarea practică a metodelor de concepție integrată a obiectelor de lucru, propuse în capitolul 5 și de transmiterea automată a datelor elaborate în cadrul concepției integrate la sistemele de fabricație, propuse în capitolul 6 s-a elaborat o aplicație, constând din:

- concepția integrată a unui obiect de lucru din material plastic (metacrilat de metil) inscripționat cu litere prelucrate prin frezare cu o sculă freză deget (stabilirea formei/dimensiunilor obiectului de lucru, proiectarea procesului tehnologic de frezare, proiectarea procesului tehnologic de manipulare a semifabricatului și obiectului de lucru finit);
- transferul automat al informațiilor cu privire la datele rezultate din concepția integrată la sistemul de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC, din cadrul laboratorului CIM la scară redusă de la Departamentul de Mecatronică, Facultatea de Mecanică, Universitatea „Politehnica” din Timișoara și programarea automată a funcționării componentelor acestuia;
- execuția fizică a procesului tehnologic de prelucrare prin așchiere și de manipulare a semifabricatului /obiectului de lucru;
- verificarea prin măsurări a corespondenței dimensionale între obiectul de lucru conceput și cel executat.

În vederea realizării aplicației, au fost elaborate programe pentru :

- stabilirea automată a formei și dimensiunilor textului care urmează să fie inscripționat pe obiectul de lucru (programul „GravText”);
- deducerea automată a variației în timp a situațiilor relative semnificative ale sistemului de referință atașat sculei în raport cu sistemul de referință atașat obiectului de lucru (programul „GenSitSemnifCNC” );
- simularea mișcării sculei în raport cu obiectul de lucru;
- elaborarea automată a ciclogramei de manipulare și prelucrare în cadrul sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC (programul „GenCiclograma” );
- deducerea automată a variației în timp a situațiilor relative semnificative ale sistemului de referință atașat sculei freză deget, al sistemului de referință atașat saniei portsculă, respectiv al sistemului de referință atașat mesei de lucru în raport cu sistemul de referință atașat mașinii de frezat (programul „GenSitSemnifCNC”);

- deducerea automată a situațiilor relative ale elementelor cuplurilor cinematice conducătoare ale robotului SCORBOT-ER V pe baza modelului geometric invers al acestuia (programul „Robsim” [Mac02] );
- programarea automată a robotului SCORBOT-ER V (programul „Robsim” [Mac02] );
- simularea grafică 3D a executării procesului tehnologic de prelucrare și a celui de manipulare (programul „SimFrez”).

## 7.2 Concepția integrată a obiectului de lucru cu litere prelucrate prin frezare pe o față

Semifabricatul folosit este un corp paralelipipedic din material plastic ( metacrilat de metil) cu dimensiunile 90x50x15 mm (Fig. 7.1).

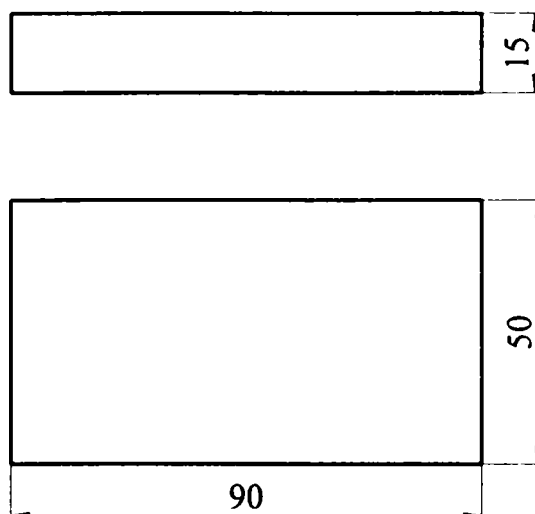


Fig. 7.1 Semifabricatul utilizat

S-a ales materialul în cauză, deoarece prelucrarea lui prin frezare se realizează cu forțe de așchiere de valoare redusă.

În figura 7.2 se prezintă caseta de dialog cu calculatorul, aferent programului „GravText” pentru stabilirea caracteristicilor textului prelucrat.

În figura 7.3 sunt indicate situațiile relative ale sistemelor de referință atașate sculei, respectiv obiectului de lucru, pentru prelucrarea prin frezare a literei „r”.

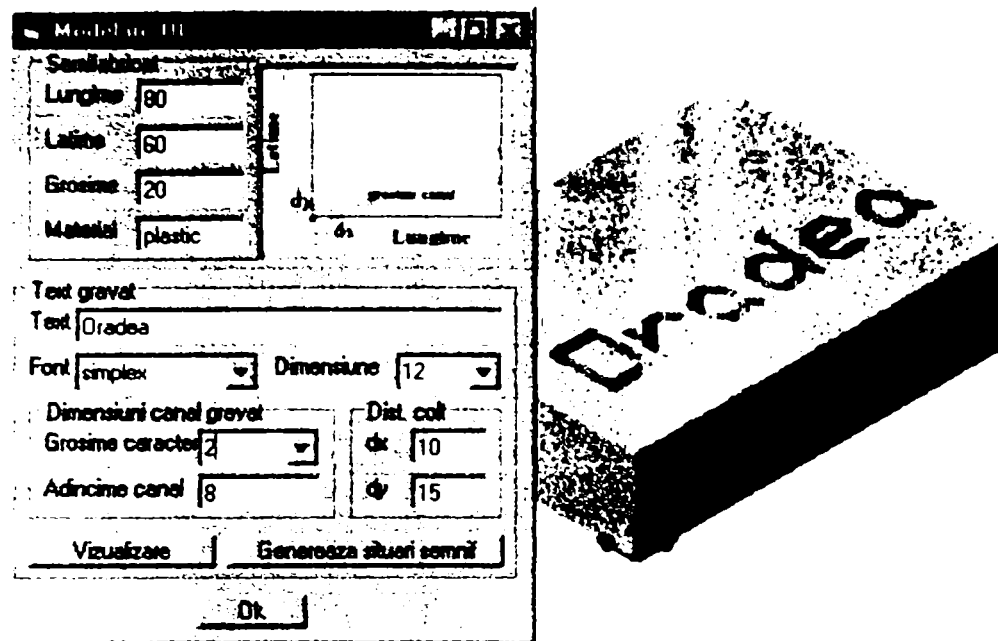


Fig.7.2 Caseta de dialog pentru stabilirea caracteristicilor textului

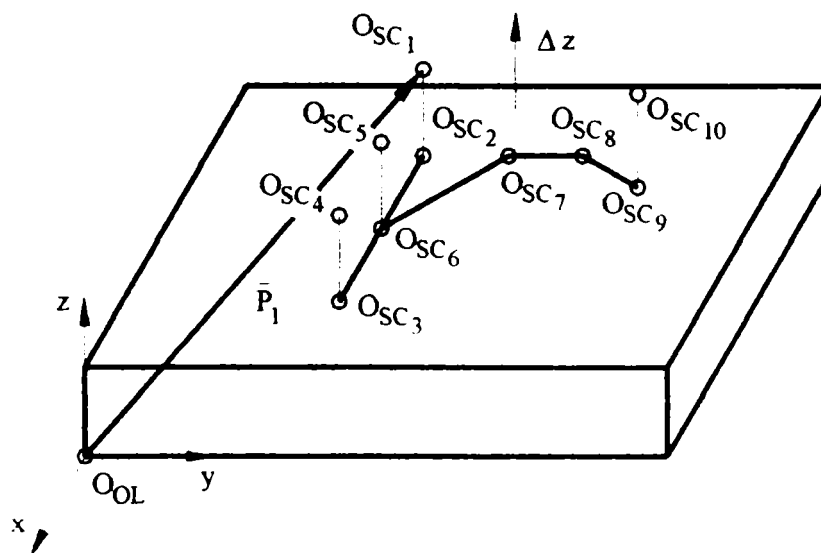


Fig. 7.3 Situaţiile relative semnificative ale sistemului de referinţă  $O_{SC}$  ataşat sculei, respectiv  $O_{OL}$  ataşat obiectului de lucru

Secvențele de mișcare ale originii  $O_{SC}$  – punctul caracteristic al sculei sunt:

- $O_{SC1} - O_{SC2}$  pătrunderea sculei în materialul semifabricatului cu viteza de avans pe verticală  $v_{1,2} = v_{vert} = 1,66$  mm/s
- $O_{SC2} - O_{SC3}$  aşchiere în planul paralel cu planul  $xO_{OLY}$  cu viteza de avans  $v_{2,3} = v_{av} = 1,66$  mm/s; punctul caracteristic al sculei descrie polilinia I, situațiile succesive ale axei  $O_{SCZ}$  fiind vertexurile punctelor 2 și 3;
- $O_{SC3} - O_{SC4}$  retragerea pe verticală a sculei cu viteza  $v_{3,4} = v_{vert} = 6,66$  mm/s ;
- $O_{SC4} - O_{SC5}$  avans rapid al sculei în planul paralel cu planul  $xO_{OLY}$  cu viteza  $v_{4,5} = v_{rap} = 6,66$  mm/s
- $O_{SC5} - O_{SC6}$  pătrunderea sculei în materialul semifabricatului cu viteza  $v_{5,6} = v_{vert} = 1,66$  mm/s
- $O_{SC6} - O_{SC7} - O_{SC8} - O_{SC9}$  aşchiere într-un plan paralel cu planul  $xO_{OLY}$  cu viteza liniară de avans  $v_{6,7,8,9} = v_{av} = 1,66$  mm/s; punctul caracteristic al sculei parcurge polilinia II, situațiile succesive al axei  $O_{SCZ}$  fiind vertexurile punctelor 6, 7, 8, 9;
- $O_{SC9} - O_{SC10}$  retragerea pe verticală a sculei cu viteza  $v_{9,10} = v_{vert} = 6,66$  mm/s

În figura 7.4 este reprezentată simularea 3D a mișcării sculei (frezei) în raport cu obiectul de lucru, în conformitate cu secvențele prezentate

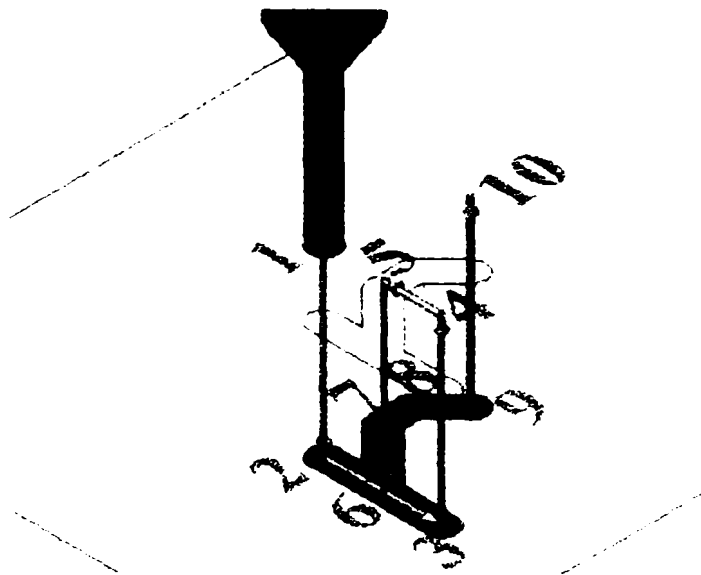


Fig. 7.4 Simularea 3D a mișcării sculei

În figura 7.5 sunt indicate lungimile  $l_{ij}$  a segmentelor poliliniilor I și II și orientarea acestora în raport cu axele sistemului de referință  $O_{OL}$ . Cu ajutorul acestora s-au calculat timpii  $t_{ij}$  de parcurgere ale segmentelor aferente secvențelor mișcărilor sculei, folosind relația (7.1)

$$t_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{v_{i,j}} \quad (7.1)$$

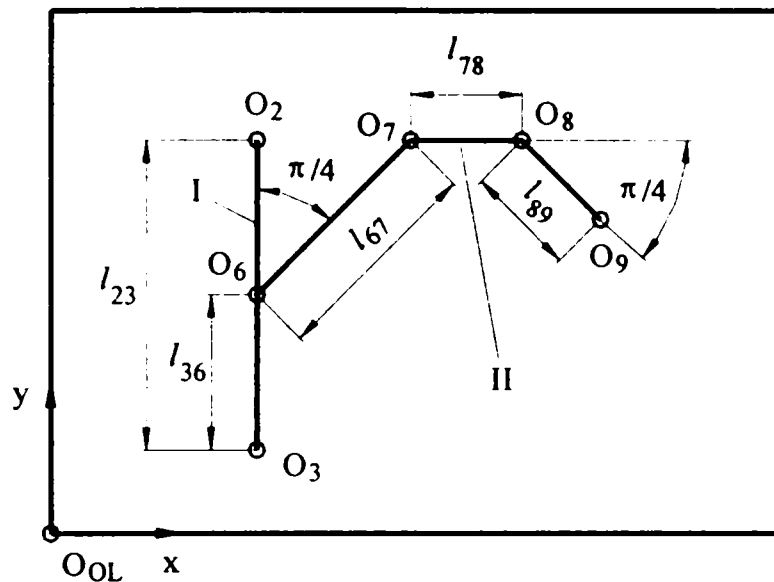


Fig.7.5 Lungimile segmentelor poliliniilor I și II

În tabelul 7.1 se prezintă valorile  $l_{i,j}$ ,  $v_{i,j}$  și  $t_{i,j}$ .

| $i, j$ | $l_{i,j}$<br>[mm] | $v_{i,j}$<br>[mm/s] | $t_{i,j}$<br>[s] |
|--------|-------------------|---------------------|------------------|
| 1, 2   | 4,00              | 1,66                | 2,4              |
| 2, 3   | 23,33             | 1,66                | 14,05            |
| 3, 4   | 4,00              | 6,66                | 0,60             |
| 4, 5   | 11,66             | 6,66                | 1,75             |
| 5, 6   | 4,00              | 1,66                | 2,4              |
| 6, 7   | 16,48             | 2,35                | 7,01             |
| 7, 8   | 5,82              | 1,66                | 3,51             |
| 8, 9   | 8,24              | 2,35                | 3,50             |
| 9, 10  | 4,00              | 6,66                | 0,60             |

Tab. 7.1 Lungimile segmentelor  $l_{i,j}$  ale secvențelor mișcărilor sculei și duratele de timp  $t_{i,j}$  de parcurgere ale acestor secvențe

Cu ajutorul datelor din figura 7.5, a celor din tabelul 7.1 și a programului s-a întocmit fișierul Tab.7.2 din anexa 2, cu variația în timp a elementelor matricii de situare relativă semnificativă a sistemelor de referință  $O_{SC_i}$  și  $O_{OL}$ , având modelul

$${}^{OL}T_{SC_i} = \begin{bmatrix} \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}P_{SC_{x_i}} \\ \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}P_{SC_{y_i}} \\ \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL} & \bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL} & {}^{OL}P_{SC_{z_i}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

În figura 7.6 se prezintă captura de ecran cu datele fișierului 7.2. Semnificația fiecărei linii de text este :

$i$ ,  $P_{SC_{x_i}}$ ,  $P_{y_i}$ ,  $P_{z_i}$ ,  $\bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ ,  $\bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL}$ ,  $\bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ ,  $\bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ ,  $\bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL}$ ,  $\bar{o}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ ,  $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ ,  $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{o}_{OL}$ ,  $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ ,  $t_i$ , descrierea secvenței.

```

situariSemnifCNC - Notepad
File Edit Search Help
1',142.80, 79.14,103.08,1,0,0,0,1,0,0,0,1,95.01, deplasare de acasa
1,10.30,38.33,3.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,117.27, situarea in pct.1
2,10.30,38.33,-1.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,119.67,patrundere scula
3,10.30,15.00,-1.00,1,0,0,0,1,0,0,1,133.72,aschiere
4,10.30,15.00,3.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,134.32,retragere scula
5,10.30,26.66,3.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,136.07,deplasare deasupra pct.6
6,10.30,26.66,-1.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,138.47,patrundere scula
7,21.95,38.33,-1.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,145.48,aschiere
8,27.77,38.33,-1.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,148.99,aschiere
9,31.88,32.50,-1.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,152.49,aschiere
10,31.88,32.50,3.00,1,0,0,0,1,0,0,0,1,153.09,retragere scula
10',142.80,79.14,103.08,1,0,0,0,1,0,0,0,1,178.73,deplasare acasa
  
```

Fig7.6 Captură de ecran pentru tabelul 7.2

### 7.3 Concepția procesului de manipulare a obiectului de lucru în cadrul sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC

#### 7.3.1 Layout-ul sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC

În figura 7.7 se prezintă layout-ul sistemului de fabricație. Acesta are ca și componente mașina de frezat Maș tip F-1 CNC EMCO, dispozitivul de lucru DL de tip menghină acționată



automat, robotul industrial R tip SCORBOT-ER V montat pe o translație lungă Tr, suportul Su pe care se găsește paleta Pa.

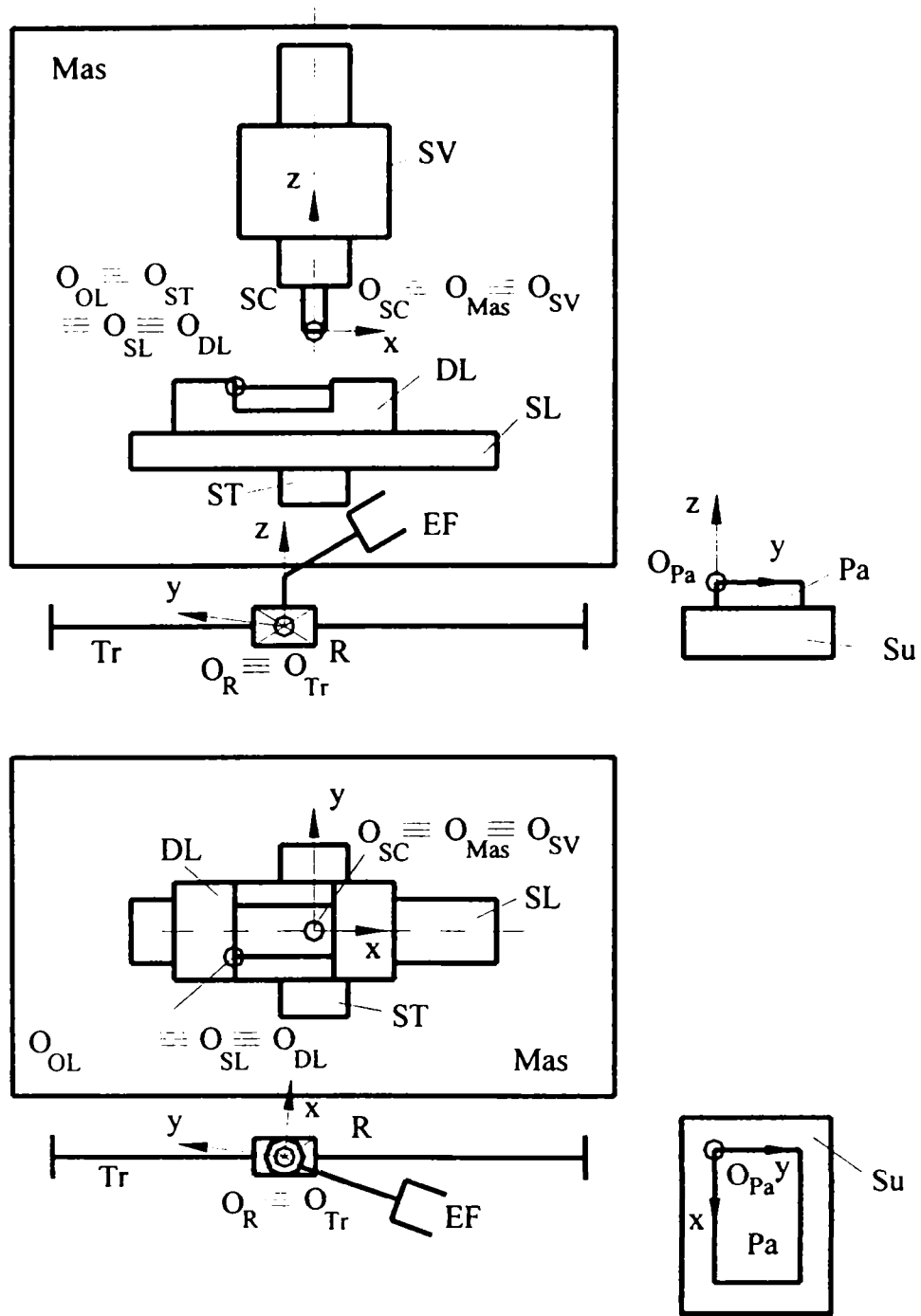


Fig.7.7 Layout-ul sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC

În figura 7.7 s-au indicat de asemenea sistemele de referință atașate componentelor sistemului. Pentru componentele ale căror axe de referință omoloage s-au ales paralele, sistemele de referință s-au indicat prin originile lor. Pentru simplificare sistemele de referință atașate obiectului de lucru OL, dispozitivului de lucru DL, saniei longitudinale SL și saniei

transversale ST, respectiv ale sculei, mașinii, și saniei verticale s-au considerat suprapuse, situarea lor inițială fiind cea corespunzătoare celei „de acasă”. Având în vedere că această situație „de acasă” corespunde și situației necesare introducerii preluării Ol. în/din DL, și originea sistemului de referință atașat robotului, suprapus cu sistemul de referință al translației lungi Tr, s-a ales în conformitate. Datele dimensionale ale layout-ului au fost consemnate sub forma PeSiR  $O_{componentă} = O_{Mas} ({}^{Mas} \underline{T}_{componentă})$  în tabelul modelelor (Tab.7.3 din anexa 2)

$${}^{Mas} \underline{T}_C = \begin{bmatrix} \bar{n}_C \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{n}_C \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{n}_C \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{C_x} \\ \bar{o}_C \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{o}_C \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{o}_C \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{C_y} \\ \bar{a}_C \cdot \bar{n}_{Mas} & \bar{a}_C \cdot \bar{o}_{Mas} & \bar{a}_C \cdot \bar{a}_{Mas} & {}^{Mas} p_{C_z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

În figura 7.8 se prezintă modelul 3D al sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC.

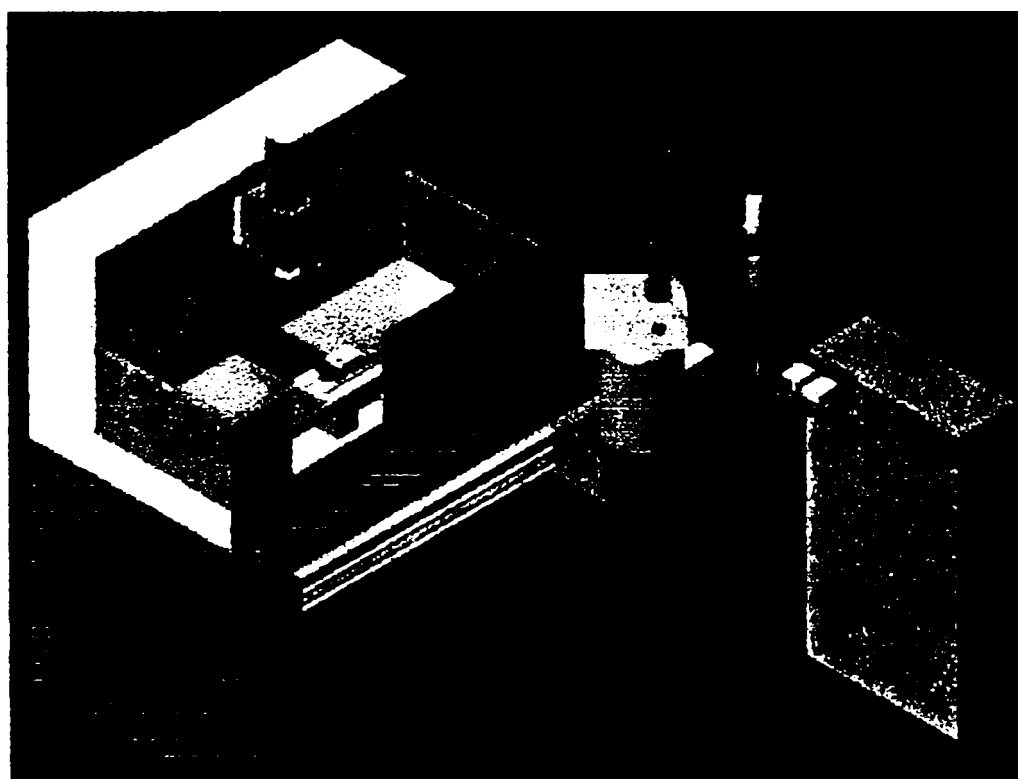


Fig. 7.8 Modelul 3D al sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC

### 7.3.2 Ciclograma de funcționare a sistemului de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC pentru prelucrarea prin frezare pe o față a obiectului de lucru a literei „r”

Funcționarea sistemului de fabricație flexibilă se realizează conform secvențelor și timpilor înseriși în tabelul 7.4

| Secvența  | Momentul de timp |       | Durata                |       |
|---|------------------|-------|-----------------------|-------|
|   | $t_i$            | [s]   | $t_{i+1} - t_i$       | [s]   |
| robotul R se deplasează pe translația lungă până în situația aferentă preluării obiectului Ol din paleta Pa   | $t_0$            | 0     | $t_{11} - t_0$        | 10.37 |
| robotul R introduce efectorul final în zona paletei Pa aflate pe suportul Su  | $t'_{11}$        | 10.37 | $t_{11} - t'_{11}$    | 12.59 |
| efectorul final EF închide degetele și prehensează obiectul de lucru OL   | $t_{11}$         | 22.96 | $t^*_{11} - t_{11}$   | 1.2   |
| robotul preia obiectul Ol din paleta Pa   | $t^*_{11}$       | 24.16 | $t''_{11} - t^*_{11}$ | 12.59 |
| robotul R se deplasează pe translația lungă Tr până în situația aferentă introducerii obiectului de lucru OL în dispozitivul de lucru DL                            | $t''_{11}$       | 36.75 | $t'_{12} - t''_{11}$  | 10.37 |
| robotul R introduce obiectul de lucru OL în dispozitivul de lucru DL  | $t'_{12}$        | 47.12 | $t_{12} - t'_{12}$    | 20.48 |
| efectorul final EF deschide degetele  | $t_{12}$         | 67.60 | $t^*_{12} - t_{12}$   | 1.2   |
| robotul R retrage efectorul final EF din zona dispozitivului de lucru DL  | $t^*_{12}$       | 68.80 | $t''_{12} - t^*_{12}$ | 20.48 |
| bacurile dispozitivului de lucru DL se închid, strângând obiectul de lucru OL   | $t''_{12}$       | 89.28 | $t_1 - t''_{12}$      | 5.73  |
| mecanismul activ al avansurilor deplasează sania transversală, longitudinală și verticală din situația „de acasă” în situația corespunzătoare începerii prelucrării | $t_1$            | 95.01 | $t_1 - t_1$           | 22.26 |

|  |            |        |                       |       |
|--|------------|--------|-----------------------|-------|
| mecanismul activ ale avansurilor deplasează săniile conform preluării; seula SC prelucrează semifabricatul OL, apoi mișcarea ei se oprește | $t_1$      | 117,27 | $t_{10} - t_1$        | 35,82 |
| mecanismul activ al avansurilor deplasează sania transversală, longitudinală și verticală în situația „de acasă”                           | $t_{10}$   | 153,09 | $t'_{10} - t_{10}$    | 25,64 |
| bacurile dispozitivului de lucru DL se deschid, eliberând obiectul de lucru OL   | $t'_{10}$  | 178,73 | $t'_{13} - t'_{10}$   | 5,73  |
| robotul R introduce efectorul final EF în zona dispozitivului de lucru DL  | $t'_{13}$  | 184,46 | $t_{13} - t'_{13}$    | 20,48 |
| efectorul final EF al robotului R închide degetele prehendând obiectul de lucru OL   | $t_{13}$   | 204,94 | $t^*_{13} - t_{13}$   | 1,2   |
| robotul R retrage efectorul final EF cu obiectul prehendat din dispozitivul de lucru DL  | $t^*_{13}$ | 206,14 | $t''_{13} - t^*_{13}$ | 20,48 |
| robotul R se deplasează pe translația lungă $T_r$ până în situația aferentă predării obiectului de lucru OL                                | $t''_{13}$ | 226,62 | $t'_{14} - t''_{13}$  | 10,37 |
| robotul R depune obiectul de lucru OL în paleta Pa de pe suportul Su   | $t'_{14}$  | 236,99 | $t_{14} - t'_{14}$    | 12,59 |
| degetele efectorului final EF se deschid   | $t_{14}$   | 249,58 | $t^*_{14} - t_{14}$   | 1,2   |

Tab. 7.4 Funcționarea sistemului de fabricație flexibilă: secvențe, timpi, durate

În figura 7.9 se prezintă ciclograma de funcționare a sistemului în conformitate cu secvențele descrise anterior.

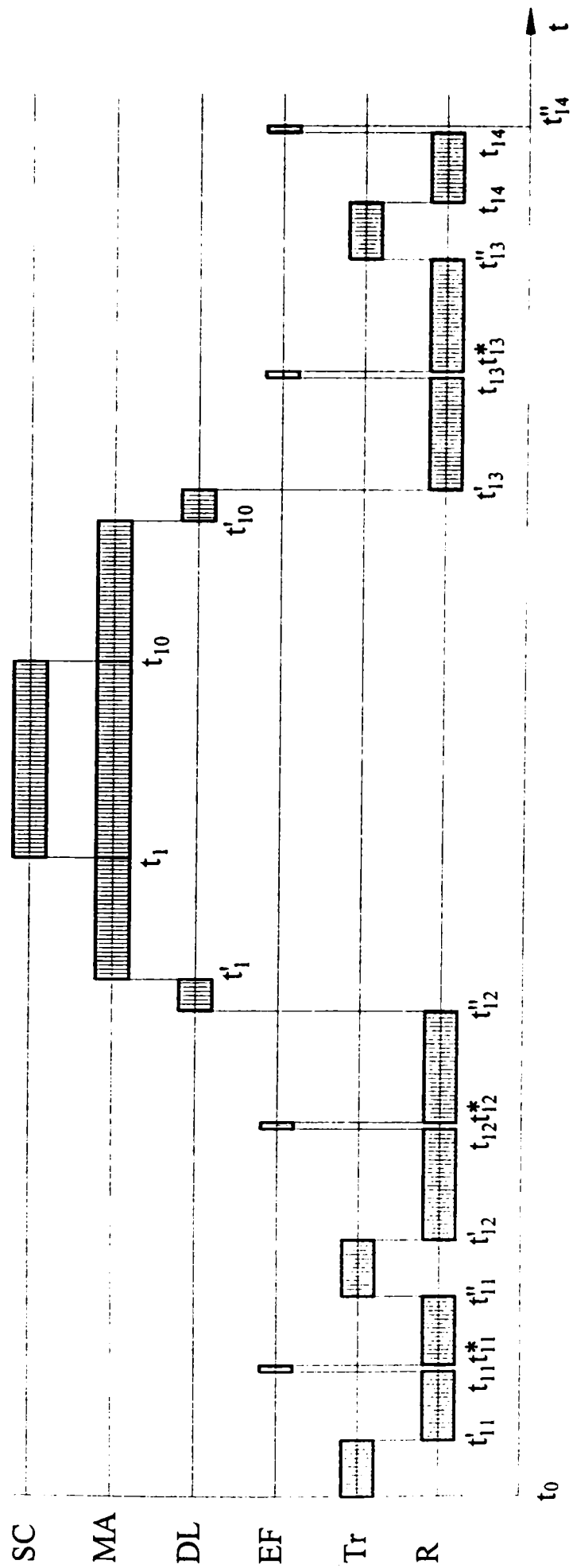


Fig.7.9 Ciclograma funcționării celulei de fabricație flexibilă ESHED ROBOTEC pentru manipularea OL și prelucrarea pe o suprafață a ei a literei „r”

### 7.3.3 Determinarea situațiilor relative semnificative ale sistemului de referință atașat obiectului de lucru în raport cu sistemul de referință atașat mașinii de frezat. Determinarea situațiilor relative semnificative ale sistemului de referință atașat efectorului final, în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului

În cursul manipulării, semifabricatul/obiectul de lucru finit are succesiv una din următoarele situații:

- instalat în paleta Pa;
- prehensat de efectorul final EF al robotului;
- instalat în dispozitivul de lucru DL al mașinii de frezat.

Având în vedere că în timpul prelucrării situarea obiectului de lucru în raport cu dispozitivul de lucru, respectiv a dispozitivului de lucru față de sania longitudinală nu suferă modificări, iar sistemele lor de referință s-au ales suprapuse, matricile de transformare care modelează aceste PeSiR vor avea expresiile

$${}^{DL}\underline{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad {}^{SL}\underline{T}_{DL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (7.4)$$

În figura 7.10 sunt prezentate situațiile relative ale sistemului de referință atașat obiectului de lucru  $O_{OL}$  în raport cu sistemele de referință atașat paletei  $O_{Pa}$  și efectorului final  $O_{EF}$ , constituind fiecare câte un PeSiR.

Acestea se modelează prin matricile de transformare aferente  ${}^{Pa}\underline{T}_{OL}$  și  ${}^{EF}\underline{T}_{OL}$  având expresiile

$${}^{Pa}\underline{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 43,38 \\ 0 & 0 & 1 & 78,08 \\ 0 & 1 & 0 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad {}^{EF}\underline{T}_{OL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -70 \\ 0 & 1 & 0 & -45 \\ 0 & 0 & 1 & -7,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = ct. \quad (7.5)$$

Distanța dintre originea sistemului de referință atașat efectorului final  $O_{EF}$  și punctul articulației carpiene (wrist point)  $O_w$  al robotului este  $d_w = 82$  mm, măsurată pe direcția axei  $O_{EFY}$ , în sens negativ.

Cunoscând datele înscrise în tabelul 7.3 și cele din relațiile (7.4) și (7.5) rezultă situațiile relative semnificative ale sistemului de referință atașat obiectului de lucru față de sistemul de referință atașat mașinii de frezat. Aceste situații relative sunt în același timp și situațiile semnificative ale obiectului de lucru OL în cursul procesului de manipulare. Ele sunt

exprimate cu ajutorul matricilor de transformare care modelează PeSiR aferente, de forma (7.3). Elementele acestor matrici se prezintă în tabelul 7.5 din anexa 2.

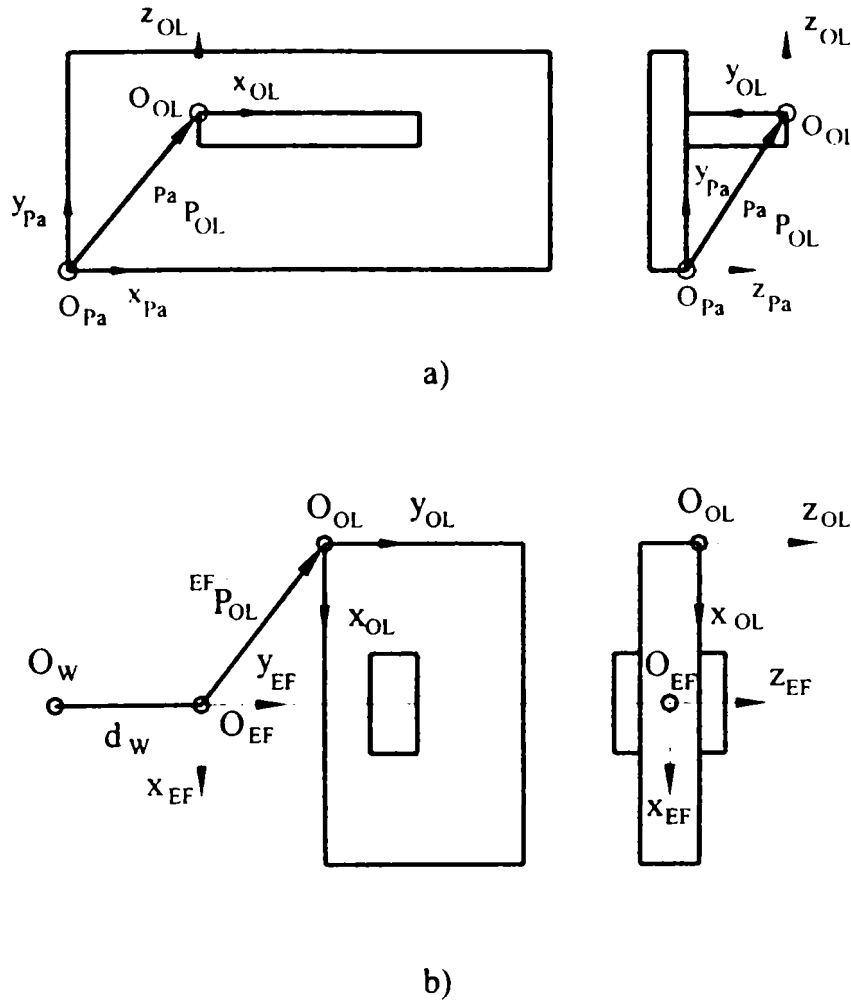


Fig. 7.10 Situațiile relative ale sistemelor de referință atașate obiectului de lucru, respectiv a) paletei Pa; b) efectorului final EF;

Cu datele din tabelele 7.3 și 7.5 și relațiile 7.4 și 7.5 se pot determina situațiile relative semnificative ale sistemului de referință atașat efectorului final EF în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului R. Ele se exprimă tot prin matrici de transformare de forma (7.3); valorile elementelor acestora sunt înscrise în tabelul 7.6 din anexa 2.

#### 7.4 Determinarea situațiilor relative semnificative ale sistemelor de referință atașate unor sănii ale mașinii de frezat în raport cu sistemele de referință atașate altor sănii, respectiv mașinii de frezat, în cursul prelucrării prin frezare a literei „r” de pe fața obiectului de lucru

Deplasările relative ale sistemelor de referință atașate săniilor mașinii de frezat, respectiv ale celor atașate acestuia din urmă se calculează pe baza situațiilor relative semnificative ale sculei în raport cu obiectul de lucru (a se vedea subcapitolul 7.2). Se consideră sistemul de referință atașat saniei verticale  $O_{SV}$  (sania portsculă), suprapus și solidar cu sistemul de referință atașat sculei. Între sistemul de referință atașat obiectului de lucru  $O_{OL}$  și sistemul de referință atașat saniei longitudinale  $O_{SL}$ , respectiv dispozitivului de lucru  $O_{DL}$  există relațiile de situație invariante în timp descrise prin relația (7.6)

$${}^{SL}\underline{T}_{OL} = {}^{SL}\underline{T}_{DL} \cdot {}^{DL}\underline{T}_{OL} \quad (7.6)$$

Cu acestea, la timpul  $t_i$

$$\begin{aligned} \left( {}^{OL}\underline{T}_{SC} \right)_i &= {}^{OL}\underline{T}_{DL} \cdot {}^{DL}\underline{T}_{SL} \cdot \left( {}^{SL}\underline{T}_{ST} \right)_i \cdot \left( {}^{ST}\underline{T}_{Mas} \right)_i \cdot \left( {}^{Mas}\underline{T}_{SC} \right)_i = \\ &= {}^{OL}\underline{T}_{DL} \cdot {}^{DL}\underline{T}_{SL} \cdot \left( {}^{ST}\underline{T}_{SL}^{-1} \right)_i \cdot \left( {}^{Mas}\underline{T}_{ST}^{-1} \right)_i \cdot \left( {}^{Mas}\underline{T}_{SC} \right)_i \end{aligned} \quad (7.7)$$

Matricile de transformare  $\left( {}^{ST}\underline{T}_{SL} \right)_i$ ,  $\left( {}^{Mas}\underline{T}_{ST} \right)_i$ ,  $\left( {}^{Mas}\underline{T}_{SC} \right)_i$  sunt de forma (7.3). Elementele lor se determină cunoscând dimensiunile poliliniilor care constituie litera „r” prelucrată prin frezare (cf. Fig. 7.3). Ele sunt prezentate în tabelele 7.7 din anexa 2 și 7.8 din anexa 2.

#### 7.5 Transmiterea automată a comenzilor de la compartimentul de concepție integrată la sistemul de fabricație flexibilă. Programarea automată off-line a mașinii de frezat cu comandă numerică și a robotului

##### 7.5.1 Schemele cinematice ale mecanismelor active ale componentelor sistemului de fabricație

Schema cinematică a mecanismului activ al robotului SCORBOT-ER V este reprezentată în figura 7.11.



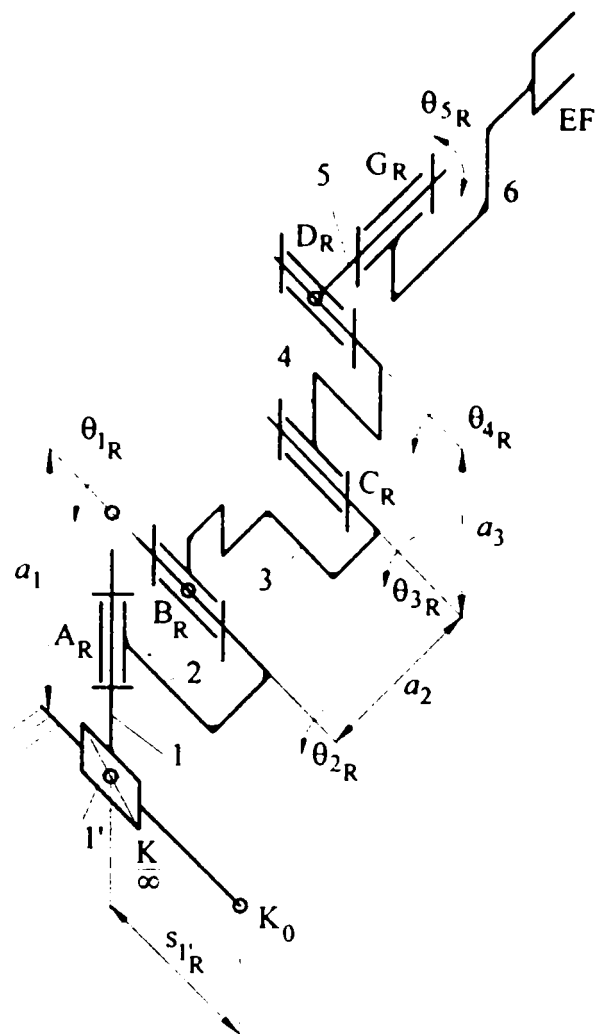


Fig. 7.11 Schema cinematică a dispozitivului de ghidare a robotului SCORBOT-ER V

Tabelul 7.9 conține dimensiunile elementelor dispozitivului de ghidare .

| Elementul<br>$i_R$ | c.c.c | lungimea<br>$a_{iR}$ | $q_{iR}$      |
|--------------------|-------|----------------------|---------------|
| $1'_R$             | $K_R$ |                      | $s_{iR}$      |
| $1_R$              | $A_R$ | $a_1$                | $\theta_{1R}$ |
| $2_R$              | $B_R$ | 0                    | $\theta_{2R}$ |
| $3_R$              | $C_R$ | $a_2$                | $\theta_{3R}$ |
| $4_R$              | $D_R$ | $a_3$                | $\theta_{4R}$ |
| $5_R$              | $E_R$ | 0                    | $\theta_{5R}$ |
| $6_R$              | $F_R$ |                      | $\theta_{6R}$ |

Tab. 7.9 Dimensiunile elementelor dispozitivului de ghidare al robotului SCORBOT-ER V

Cuplele cinematice conducătoare ale robotului SCORBOT-ER V sunt comandate punct cu punct.

Schema cinematică a mecanismului activ de acționare a axelor energetice ale avansurilor săniilor mașinii de frezat cu comandă numerică este prezentată în figura 7.12. Tabelul 7.10 conține parametrii generalizați ai mișcării relative ale elementelor c.c.c.

| Elementul<br>$i_{Mas}$ | c.c.c.    | $q_{i_{Mas}}$ |
|------------------------|-----------|---------------|
| $1_{Mas}$              | $A_{Mas}$ | $s_{1_{Mas}}$ |
| $2_{Mas}$              | $B_{Mas}$ | $s_{2_{Mas}}$ |
| $3_{Mas}$              | $C_{Mas}$ | $s_{3_{Mas}}$ |

Tab. 7.10 Parametrii generalizați ai mișcărilor relative ale elementelor c.c.c.

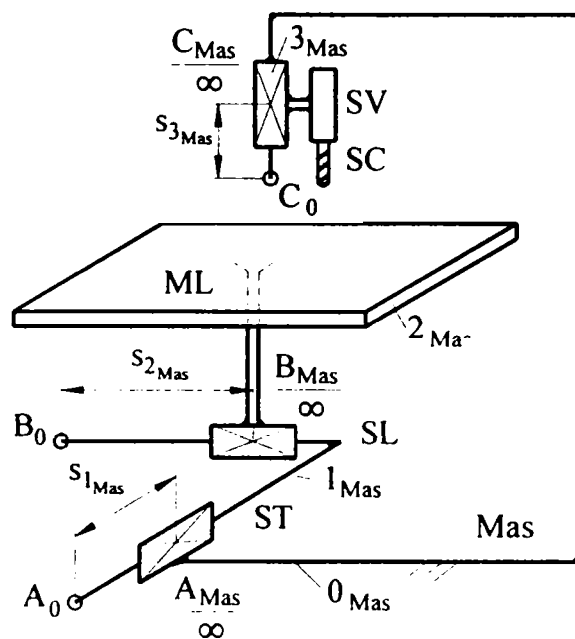


Fig. 7.12 Schema cinematică a mecanismelor pentru acționare axelor energetice ale avansurilor mașinii de frezat cu comandă numerică

Cuplele cinematice conducătoare  $\frac{A_{Mas}}{\infty}$  și  $\frac{B_{Mas}}{\infty}$  ale mecanismelor active care acționează axele energetice ale mecanismelor săniilor mașinii de frezat CNC sunt comandate fie secvențial, fie punct cu punct. În figura 7.13 este prezentată ciclograma de funcționare a mecanismelor active pentru realizarea mișcărilor de avans ale mașinii de frezat cu comandă numerică.

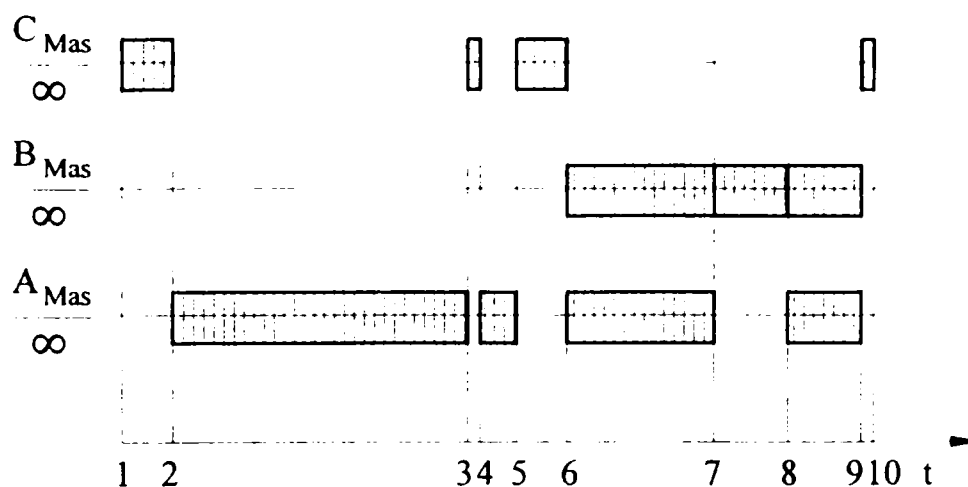


Fig. 7.13 Ciclograma mișcărilor relative ale elementelor mecanismelor active care acționează mișcările de avans ale mașinii de frezat cu comandă CNC

### 7.5.2 Date transmise de la compartimentul de concepție integrată la sistemul de fabricație flexibilă prin intermediul cărora se programează automat prelucrarea și manipularea obiectului de lucru

Datele în cauză sunt elaborate în conformitate cu cele prezentate în capitolul 7 și prezentate în tabelele 7.11, 7.12, 7.13 și 7.14 , cu ordinograma propusă în capitolul 6, tabelele 6.1 și 6.2

| i  | $t_i$<br>[s]      | c.c.c.                             | comanda<br>digitală | Obs.    |
|----|-------------------|------------------------------------|---------------------|---------|
| 1  | $t_1 = 117,27$    | al mecanismului<br>axei energetice | 1                   | pornire |
| 10 | $t_{10} = 153,09$ | a mișcării principale              | 0                   | oprire  |

Tab. 7.12 Date pentru programarea automată a funcționării axei energetice a mișcării principale a mașinii de frezat cu comandă CNC

| i  | t <sub>i</sub><br>[s]    | c.c.c  | comanda<br>digitală | Obs.       |
|----|--------------------------|--|---------------------|------------|
| 11 | t <sub>11</sub> = 22,96  | al mecanismului<br>efectorului<br>final (EF) | 1                   | închidere  |
| 12 | t <sub>12</sub> = 67,60  |  | 0                   | deschidere |
| 13 | t <sub>13</sub> = 204,94 |  | 1                   | închidere  |
| 14 | t <sub>14</sub> = 249,58 |  | 0                   | deschidere |

Tab. 7.13 Date pentru programarea automată a deschiderii/închiderii degetelor dispozitivului de prehensiune (EF)

| i    | t <sub>i</sub>            | c.c.c.   | comanda<br>digitală | Obs.       |
|------|---------------------------|--|---------------------|------------|
| 12'' | t'' <sub>12</sub> = 89,28 | al mecanismului de acționare a axei energetice | 1                   | închidere  |
| 10'  | t' <sub>10</sub> = 178,73 | închidere/deschidere a bacurilor DL            | 0                   | deschidere |

Tab. 7.14 Date pentru programarea automată a deschiderii/închiderii bacurilor dispozitivului de lucru DL

### 7.6 Modelarea și simularea funcționării sistemului de fabricație pentru prelucrarea prin frezare a literei „r” pe o față a obiectului de lucru. Validarea simulării prin execuția fizică a obiectului

Modelarea funcționării simulării s-a făcut prin programul (pentru mașina de frezat cu comandă numerică EMCO F1-CNC) și cu o variantă a programului ROBSIM [Mac02].

În figura 7.14 se prezintă capturi de ecran cu faze ale simulării efectuate.

Simularea funcționării sistemului de fabricație a fost validat prin execuția fizică a obiectului de lucru (Fig. 7.15). Faze ale prelucrării și ale procesului de manipulare sunt prezentate în figura 7.16.

Programarea automată atât a simulării cât și a execuției fizice s-au realizat cu modelele descrise în capitolele 6 și 7.

S-a efectuat și o predicție a erorilor de execuție și de manipulare, în conformitate cu cele descrise în capitolul 3. Predicția s-a verificat prin măsurările efectuate asupra obiectului de lucru și asupra componentelor sistemului. Măsurările au validat metoda de predicție.

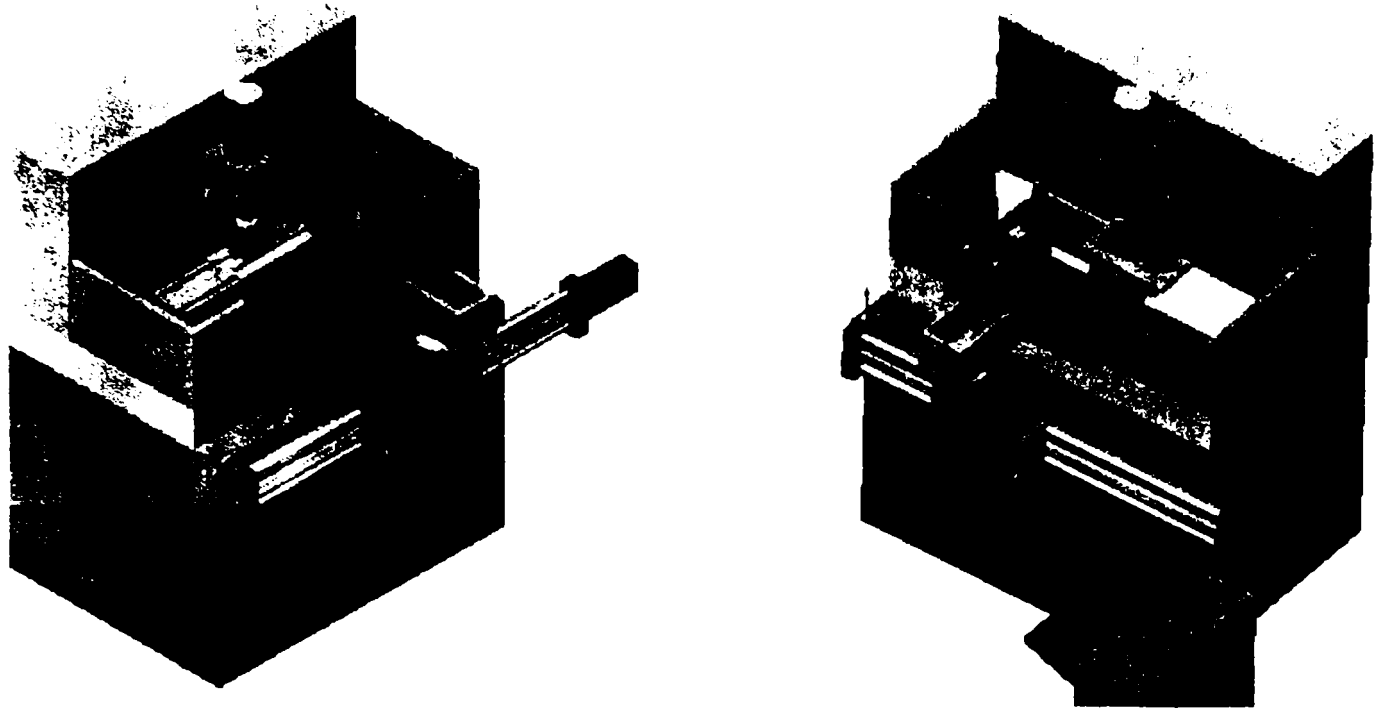


Fig.7.14 Faze ale simulării efectuate

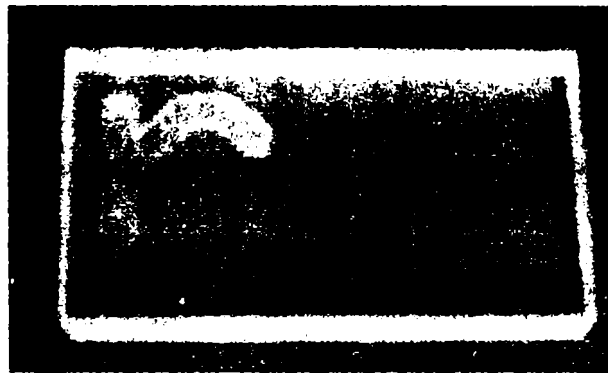
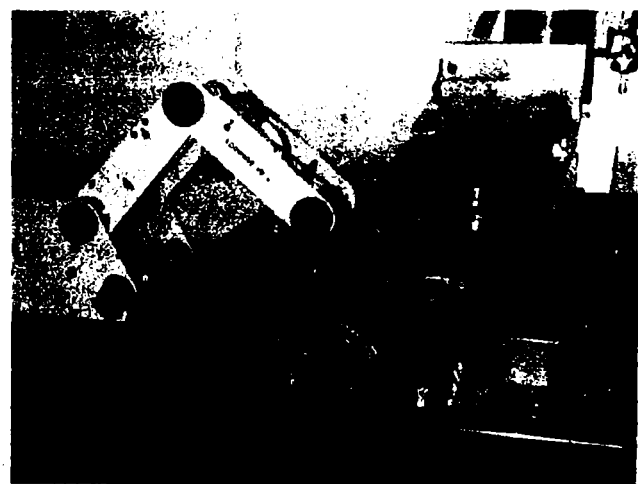
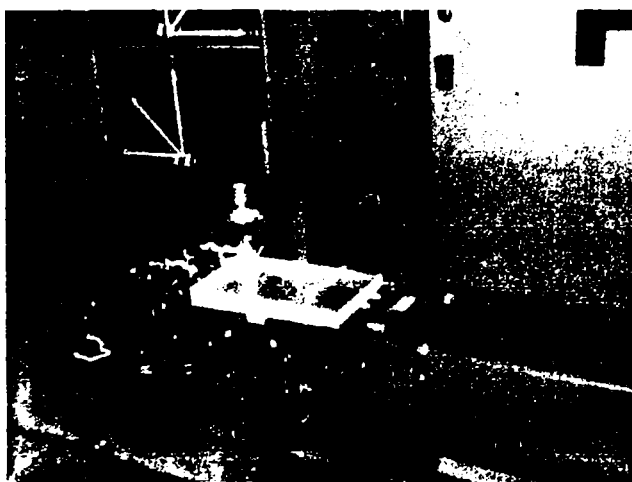


Fig.7.15 Fotografia obiectului de lucru OL



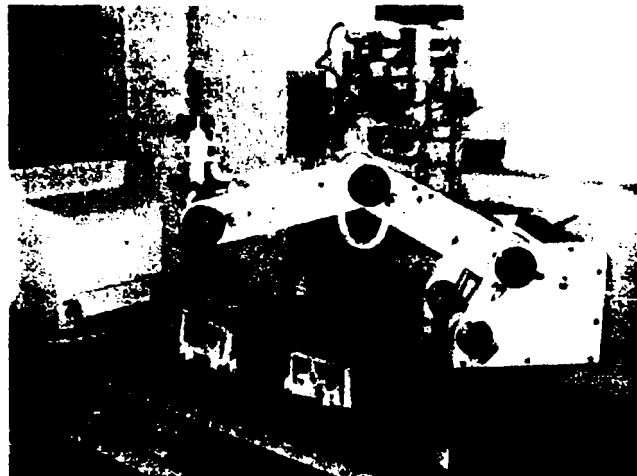
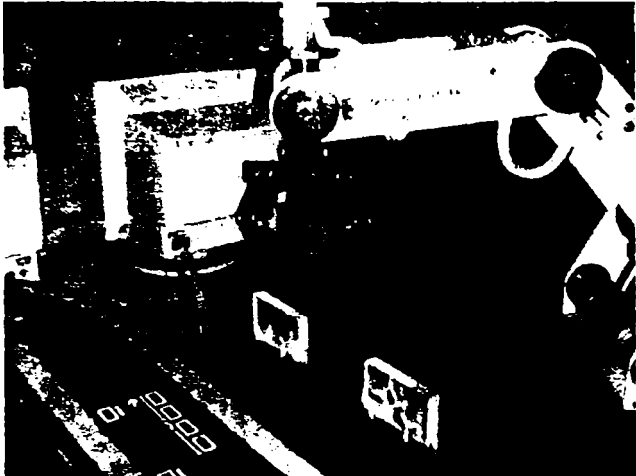
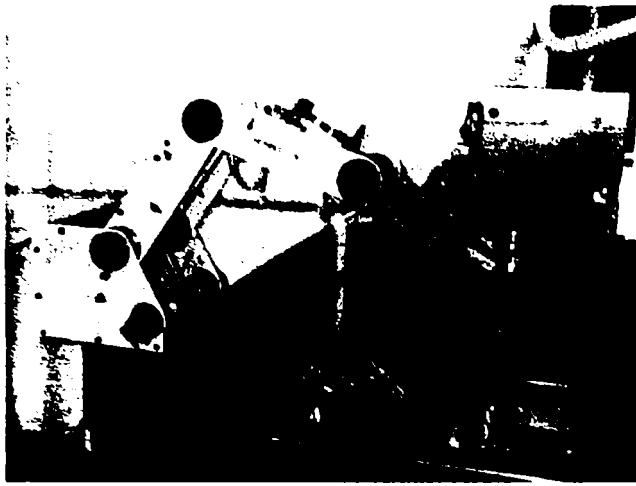


Fig. 7.16 Faze ale procesului de prelucrare și ale procesului de manipulare, execuția fizică

### 7.7 Concluzii

În capitolul 7 al tezei de doctorat s-a prezentat pe larg o aplicație a metodei de programare automată a funcționării componentelor sistemului de fabricație flexibilă, pornind de la datele elaborate în cadrul compartimentului de concepție integrată și transmise sistemelor de comandă ale componentelor sistemului de fabricație flexibilă.

Aplicația s-a referit la prelucrarea prin frezare a literei „r” pe o față a unui obiect de lucru executat din

Reușita operației de prelucrare a validat metodele de concepție și transmitere a datelor/programarea automată propusă în capitolele 5 și 6.

## 8. Concluzii generale. Contribuții personale

### 8.1 Concluzii generale

Teza de doctorat intitulată *Programarea “off line” a roboților industriali pe baza procesului tehnologic de executat* începe în cadrul capitolului 2 cu stadiul actual al cercetărilor și realizărilor în domeniul programării off-line a roboților. Sunt prezentate modalitățile utilizate, limbajele de programare, relațiile dintre modelarea și simularea funcțională și programarea roboților, avantajele și dificultățile programării off-line a roboților.

Mecanismele dispozitivelor de ghidare ale roboților sunt mecanisme active (în conformitate cu terminologia introdusă de Vukobratović [Vuk82]), caracterizate prin faptul că toate cuplele lor cinematice sunt conducătoare. Mecanismele de acționare a axelor energetice ale mișcărilor de avans ale mașinilor unelte automate cu comandă numerică care efectuează operații tehnologice de prelucrare prin așchiere, sunt la rândul lor mecanisme active. În consecință, modalitățile de programare “off-line” a roboților se pot aplica și pentru programarea “off-line” a mașinilor unelte automate cu comandă numerică, cu adaptări corespunzătoare ale construcției sistemelor de comandă ale acestora, prin interfețe hard și soft.

În cadrul capitolului 3, teza tratează problematica ingineriei integrate a produselor, în particular concepția integrată constructiv-tehnologică a obiectelor de lucru fabricate prin prelucrarea prin așchiere a unor semifabricate.

Se prezintă modurile de codificare matematică a rezultatelor activității de concepție integrată: “clasic”, prin “programe-piesă” NC și CNC, programe de manipulare/prelucrare cu ajutorul unor capete de forță și scule pentru roboți.

Modelul matematic generalizat al proceselor tehnologice de așchiere bazat pe descrierea mișcării relative sculă-obiect de lucru, folosind noțiunea PeSiR [Kov ] este dezvoltată pentru cerințele conținutului tezei.

Scopul tezei este acela de a elabora o metodă de transmitere automată a datelor obținute în cadrul activității de concepție integrată și utilizarea acestor date pentru programarea automată a funcționării mașinilor unelte cu comandă numerică și a roboților din cadrul sistemelor de fabricație flexibilă care realizează prelucrarea prin așchiere a obiectului de lucru conceput.

În vederea realizării scopului enunțat sunt propuse și rezolvate următoarele obiective ale tezei:

a) Elaborarea unei noi metode de codificare matematică a datelor referitoare la forma și dimensiunile obiectului de lucru și referitoare la procesul de prelucrare prin așchiere, respectiv privind manipularea acestuia, în cadrul sistemului de fabricație flexibilă.

Pentru procesul tehnologic de aşchiere, metodele elaborate corelează pe de o parte modelele de suprafaţă 3D ale obiectului de lucru cu parametrii procesului de aşchiere, pe de altă parte permit determinarea situaţiilor relative semnificative succesive ale sistemului de referinţă ataşat sculei, în raport cu sistemul de referinţă ataşat obiectului de lucru.

Situaţiile relative semnificative succesive ale sistemelor de referinţă ataşate sculei, respectiv obiectului de lucru au permis determinarea situaţiilor relative semnificative ale sistemelor de referinţă ataşate maşinii unelte (batiului acesteia), dispozitivelor de lucru, diferitelor sănii şi mese de lucru ale maşinii unelte.

Pentru procesul tehnologic de manipulare a obiectului de lucru se stabilesc situaţiile relative semnificative succesive ale sistemului de referinţă ataşat obiectului de lucru, în raport cu sistemele de referinţă ataşate componentelor sistemului de fabricaţie flexibilă (maşini unelte, dispozitive de lucru, dispozitive de transfer). Cu ajutorul acestor date, se determină situaţiile relative semnificative succesive ale sistemului de referinţă ataşat efectorului final al robotului în raport cu sistemul de referinţă ataşat robotului (bazei acestuia).

b) Elaborarea unei metode de transmitere automată a datelor cu privire la situaţiile relative semnificative succesive ale sistemelor de referinţă amintite la punctul a), la sistemele de comandă ale componentelor sistemului de fabricaţie flexibilă şi programarea automată a sistemelor de comandă pe baza acestor date.

S-a realizat în acest scop o metodă de elaborare automată a ciclogramei de funcţionare a sistemului de fabricaţie flexibilă şi a subsistemelor acestuia şi de elaborare automată a unui fişier care conţine, desfăşurate în timp, datele obţinute conform punctului a), în diferite forme succesive, ultima formă fiind comanda numerică transmisă sistemului de comandă.

Pentru “traducerea” datelor de la forma dintr-o “coloană” a fişierului la forma dintr-o altă “coloană” s-au elaborat programe de calcul originale, sau au fost realizate adaptări originale ale unor programe existente.

Verificarea metodelor teoretice propuse în teză s-a făcut printr-o aplicaţie, descrisă în capitolul 7. În cadrul aplicaţiei s-a realizat concepţia integrată a unui obiect de lucru din metacrilat de metil, pe o faţă a căruia s-a prelucrat prin frezare litera „r”. În acest scop, s-a realizat un program de calcul pentru deducerea automată a situaţiilor relative semnificative succesive ale sistemului de referinţă ataşat sculei, respectiv obiectului de lucru.

Execuţia fizică a obiectului de lucru s-a realizat în cadrul sistemului de fabricaţie flexibilă la scară redusă ESHED ROBOTEC din Laboratorul de Robotică al Departamentului de Mecatronică a Universităţii “Politehnica” din Timişoara.



Transmiterea automată a datelor de la compartimentul de concepție s-a realizat deja prin metoda propusă de autoare. Cu ajutorul acestor date s-a programat atât simularea pe calculator, pe baza unui model original, a funcționării sistemului de fabricație flexibilă cât și funcționarea fizică a sistemului.

Deoarece sistemul de comandă al mașinii de frezat F1-CNC EMCO a sistemului de fabricație nu a putut fi accesat direct pentru transmiterea automată a datelor, a fost necesară elaborarea unui program original de transfer automat a acestor date într-un “program piesă” CNC.

Măsurările efectuate asupra obiectului de lucru executat fizic cât și simularea procesului de fabricație au validat metodele și programele utilizate.

Ca urmare a celor concluzionate anterior, autoarea consideră că scopul și obiectivele tezei prezentate în capitolul 4 au fost îndeplinite.

Autoarea apreciază că cercetările efectuate, ale căror rezultate sunt prezentate în teză pot fi dezvoltate, între altele, pe următoarele direcții:

- construirea unor sisteme de comandă pentru mașini de lucru care să accepte transferul automat al datelor elaborate în cadrul compartimentului de concepție integrată și care să poată fi programate automat pe baza acestor date, fără a se mai trece prin “programe piesă” CNC elaborate automat;
- elaborarea unor metode de predicție/luare în considerare a erorilor dimensionale ale obiectelor de lucru în cadrul concepției integrate a acestora și a execuției lor fizice.

## **8.2 Contribuții personale**

Autoarea a adus următoarele contribuții personale elaborând teza:

**8.2.1** Sistematizarea informațiilor existente în literatura de specialitate privind rezultatele cercetărilor și realizărilor în domeniul programării “off line” a roboților. Evidențierea faptului că aceste cercetări și realizări sunt aplicabile și pentru programarea “off line” a mecanismelor active de acționare a axelor energetice ale mișcărilor de avans ale mașinilor unelte.

**8.2.2** Sistematizarea informațiilor existente în literatura de specialitate privind rezultatele cercetărilor și realizărilor în domeniul ingineriei integrate a produselor.

**8.2.3** Sistematizarea informațiilor existente în literatura de specialitate privind metode de codificare matematică a datelor elaborate în cadrul procesului de concepție integrată și de transmitere a acestor date la sisteme de fabricație.

- 8.2.4** Elaborarea unei noi metode de codificare matematică a informațiilor cu privire la forma/dimensiunile obiectelor de lucru și la procesul tehnologic de realizare a acestora, pornind de la modelul 3D al obiectului.
- 8.2.5** Elaborarea unei noi metode de codificare matematică a informațiilor cu privire la forma/dimensiunile obiectelor de lucru și la procesul tehnologic de prelucrare prin așchiere și de manipulare, bazat pe situațiile relative semnificative ale sistemelor de referință atașate obiectului de lucru, sculei, dispozitivelor de lucru și de transfer, mașinii de lucru (batiului), săniilor și meselor de lucru ale acestuia, efectorului final al robotului și bazei acestuia.
- 8.2.6** Elaborarea unei noi metode de transmitere automată a datelor referitoare la concepția integrată a obiectului de lucru, la sistemele de comandă ale componentelor sistemelor de fabricație flexibilă și programarea automată a sistemelor de comandă pe baza acestor date.
- 8.3.7** Elaborarea unui număr de 3 programe de calcul originale și adaptarea originală a unui program de calcul existent.

## Bibliografie

- [Ade99] \*\*\*, *Adept Digital Workcell*, Adept Technology Inc., 1999
- [And87] Andreasen, M.M., Hein, L., *Integrated Product Development*, Springer Verlag, Berlin, 1987
- [And86] Andrașiu, M., Baci, A., Pascu, A., ș.a., *Metode de decizii multicriteriale*, Editura Tehnică, București, 1986
- [Any98] \*\*\*, *AnySIM*, AnySIM Simulationssysteme GmbH, Aschheim-Dornach, 1998
- [Ari93] Ariss, C.G., *Optimising reach and off-line programming in an arc welding workcell*, Robot Simulation Ltd., 1993
- [Bac88] Baci, A., Pascu, A., Pușcaș, E., *Aplicații ale cercetării operaționale*, Editura Militară, București, 1988
- [Bar88] Bartels, R.H., Beaty, J.C., Barsky, B.A., *Mathematiques et CAO 6*, Édition Hermés, 1988
- [Bar88]' Bartels, R.H., Beaty, J.C., Barsky, B.A., *Mathematiques et CAO 7*, Édition Hermés, 1988
- [Ble94] Blebea, I., Ispas, V., *Calculul și construcția roboților industriali*, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 1994
- [Blu87] Blume, Ch., Jakob, W., *Ipari robotok programozás nyelvei*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1987
- [Bog94] Bogdanov, I., *Problema conducerii unui robot industrial*, Simpozionul Național de Roboți Industriali - ediția a XII-a, Timișoara, 16-19 Noiembrie 1994
- [Bog94]' Bogdanov, I., *Legătura spațiu-timp în conducerea unui robot industrial*, Simpozionul Național de Roboți Industriali - ediția a XII-a, 16-19 Noiembrie 1994
- [Bog92] Bogdanov, I., *Optimizarea sistemelor automate de conducere a acționărilor electrice pentru roboți industriali*, Teză de doctorat, U.T. Timișoara, 1992
- [Bor88] Boroș, E., Opreș, D., *Capitole de cercetări operaționale*, Universitatea din Timișoara, Facultatea de științe ale naturii, Timișoara 1988
- [Bos91] Bossert, J.I., *Quality Function Deployment. A practician's Approach.*, ASPC Quality Press Milwaukee USA, 1991

- [Bru96] Brussel, H. Van, Persoons, W., Aertbelien, E., *Model based off-line of robots*, Katholieke Universiteit Leuven, 1996
- [Buc92] Buckley, S.J., Collins, G.F., *A Structured Programming Robot Language*, Handbook of Industrial Robotics, chapter 21, pp.381-403, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida 1992
- [Cal94] \*\*\*, *Calibration Plus: Robot and Fixture Calibration for Off-line Programming*, 1994
- [Cat97] \*\*\*, *CATIA Manufacturing Solutions*, IBM Deutschland Informations-systeme GmbH, Stuttgart, 1997
- [Che99] Chedmail, P., Dombre, E., Wenger, P., *La CAO en Robotique*, Édition Hermes 1999
- [Che86] Chenin, P., Cosnard, M., Gardan, Y., Robert, F., Robert, Y., Witomski, P., *Mathematiques et CAO 1: méthodes de base*, Éditions Hermès, 1986
- [Izv94] Izvercian, P.N., Crețu, V., Izvercian, M., Resiga, R., *Introducere în teoria grafurilor. Metoda drumului critic*, Editura de Vest, Timișoara, 1994
- [Cim98] \*\*\*, *CimStation Robotics*, SILMA – A Division of Adept Technology Inc., 1998
- [Cli00] Cline, A., *Concurrent Engineering Primary Principles*, White Paper, Carolla Development, 2000
- [Coj86] Cojocaru, G., Kovács, Fr., *Roboți în acțiune. Probleme ale sintezei sistemelor de fabricație flexibilă*, Editura Facla, Timișoara, 1986
- [Coj85] Cojocaru, G., Kovács, Fr., *Roboții în acțiune. Sistemele flexibile și fabricația în serie*, Editura Facla, Timișoara, 1985
- [Coo87] Coons, S., *Mathematiques et CAO 5: Méthode matricielle*, Éditions Hermès 1987
- [Cos96] \*\*\*, *COSIMIR*, Institut für Roboterforschung, Universität Dortmund, Dortmund, 1996
- [Cra86] Craig, J., J., *Introduction to Robotics*, Adisson Wessley Publishing Company Reading Mass, Menlo Park, California, 1986
- [Cro97] Crow, K., *Design Automation Requirements to Support Integrated Product Development*, Product Development Forum, 1997
- [Daf95] Dafe, O. I., *Off-line Robot Programming and Simulation. Thesis abstract*, 1995

- [Dav86] Davidoviciu, A., Drăgănoiu, Gh., Moangă, A., *Modelarea, simularea și comanda manipuletoarelor și roboților industriali*, Ed. Tehnică, București, 1986
- [Dei92] Deisenroth, M.P., *Robot Teaching*, Handbook of Industrial Robotics, chapter 19, pp.352-365, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1992
- [Dră99] Drăghici, G., *Inginerie integrată*, Ed. Eurobit, Timișoara, 1999
- [Dră84] Drăghici, Gherman, *Tehnologia construcțiilor de mașini*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1984
- [Dre96] Dreucean, M., Ioanovici, F., *Mașini de lucru în procese robotizate*, Centrul de multiplicare Universitatea "Politehnica" Timișoara, 1996
- [Dri85] Drimer, D., Oprean, A., *Roboți industriali și manipuloare*, Editura Tehnică, București, 1985
- [Edk85] Edkins, M., Smith, C.R.T., *The practical problems involved in off-line programming a robot from a C.A.D. system*, Robot and automated manufacture, paper 3, pp. 29-39, IEE Control Engineering Series 28, London, 1985
- [Eve93] Evershaim, W., *Organisation in der Produktionstechnik*, Springer Verlag, Berlin, 1993
- [Fam99] \*\*\*, *FAMOS – Off-line Programming System for Industrial Robots*, Carat Robotic Innovation GmbH, Unna, 1999
- [Flo02] Florea, M., *Needed repeatability of manipulating robot serving milling cell*, Robotica & Management, volumul 7, nr. 2, decembrie, 2002, pag. 30-33
- [Flo01] Florea, M., *Workpiece Position-Orientation Error Computation in Robotized Flexible Milling Systems. Part I*, the Eighth IFToMM International Symposium on Theory of Machines and Mechanisms SYROM 2001, Bucharest, August 28 – September 1, 2001, Vol. II., pp.131 -136
- [Flo00] Florea, M., *Problems Involved in Off-line Programming of Robots*, Simpozionul Național de Roboți Industriali - ediția a XV-a, (cu participare internațională), Oradea, 13-15 octombrie 2000
- [Flo00]' Florea, M., *Robot Simulator and Off-line Programming Systems*, Simpozionul Național de Roboți Industriali - ediția a XV-a, (cu participare internațională), Oradea, 13-15 octombrie 2000
- [Ful91] Fuller, J. L., *Robotics. Introduction, Programming and Projects*, Macmillan Publishing Company, New York, 1991

- [Gan93] Ganter, M.A., Storti, D.W., *Implicit SolidModeling: A Renewed Method For Geometric Design*, Innovations in Engineering Design Education Resource Guide, American Society of Mechanical Engineers, 1993
- [Gas87] Gaspart, P., *Langages de programmation de la robotique*, Edition Hermes, Paris, 1987
- [Gaw93] Gawehn, W., *Vektor- und Matrizenalgebra für Maschinenbauer: mit Anwendungen*, Wissenschaftsverlag, 1993
- [Ger96] Gerwin, D., Susman, G., *Special Issue on Concurrent Engineering*", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 43, No. 2, mai, pag. 118-123
- [Gra98] \*\*\*, *GRASP – Off-line Programming*, BYG Systems Limited, Nottingham, 1998
- [Gri00] Grigorescu, S.M., *Optimizarea sistemelor de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin așchiere*, Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, 2000
- [Igr98] \*\*\*, *IGRIP (Interactive Graphics Robot Instruction Program)*, Deneb Deutschland GmbH, Neuss, 1998
- [Inh00] \*\*\*, *InhaOLP for LPR*, Treeman's home page, 2000
- [Isp90] Ispas, V., *Aplicațiile cinematicii în construcția manipuloarelor și a roboților industriali*, Editura Academiei Române, 1990
- [Isp85] Ispas, V.ș.a., *Roboți industriali*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1985
- [Jan97] Jansen, L., Nilson, D., *3-D Simulation of Robot Welding Line*. Volvo Wheel Loaders AB, Sweden, 1997
- [Kis98] \*\*\*, *KISMET*, Telerobot Engineering, 1998
- [Kie91] Kief, H.,B., *NC/CNC Handbuch '91*, Carl Hanser Verlag München Wien, 1991
- [Kon86] Kondriavtsev, B., Démidovitch, B., *Cours élémentaire de mathématiques supérieures*, deuxième édition, Editions MIR, Moscou, 1986
- [Kop84] Kopchenova, N.V., Maron, I., A., *Computational Matematics*, Mir Publisher, Moscow, 1984
- [Kov02] Kovács, F.W., Florea, M., *Mathematical modeling of ruled and of revolution surfaces machining processes*, Robotica & Management, volumul 7, nr. 2, decembrie, 2002, pag. 22-25
- [Kov01] Kovács, F.W., *General Mathematic Model of Technological Processes Based on Relative Motion*, Proceedings LSS-IFAC, București, 2001

- [Kov01]' Kovács, F.W., Florea, M., *Error Computation in Robotized Flexible Milling Systems*, the Eighth IFToMM International Symposium on Theory of Machines and Mechanisms SYROM 2001, Bucharest, August 28 – September 1, 2001, Vol. II., pp.169 -174
- [Kov01]'' Kovács, F., Rădulescu, C., Varga, Șt., Grigorescu S., Diaconu A., *Sisteme de fabricație flexibilă-robotică*, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001
- [Kov00} Kovács, F.W., Varga, St., Pau, V., *Introducere în robotică*, Ed. Printech, București, 2000
- [Kov00]' Kovács, F.W., *General și particular în concepția sistemelor de fabricație flexibilă robotizată*, Lucrările Conferinței “Sudura 2000”, Arad, 2000
- [Kov99] Kovács, F.W., Varga, St., *Fabrica viitorului*, Ed. Multimedia Internațional, Arad,1999
- [Kov94] Kovács, Fr., Grigorescu, S., Rădulescu, C., *Sisteme de fabricație flexibilă robotizate*, Litografia Universității Tehnice Timișoara, 1994
- [Kov92] Kovács, Fr., Rădulescu, C., *Roboți industriali*, Litografia U.T.Timișoara, 1992
- [Kov62] Kovács, Fr., Cojocaru, G., *Manipulatoare, roboți și aplicațiile lor industriale*, Editura Facla, Timișoara, 1962
- [Lan91] Lantos, B., *Robotok irányítása*, Akadémiai Kiadó, Budapest,1991
- [Léo91] Léon, J.-C., *Modélisation et construction de surfaces pour la CFAO*, Édition Hermès, Paris, 1991
- [Len01] Lennings, L., *An introduction to CAM software*, 2001
- [Loz92] Lozano-Pérez, T., Brooks, R.A., *Task-Level Manipulator Programming*, Handbook of Industrial Robotics, chapter 22, pp.404-418, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida 1992
- [Mac02] Maci, C., A., *Contribuții la construcția și utilizarea digitizoarelor 3D în proiectarea asistată de calculator și programarea roboților industriali*, Teză de doctorat, U.”Politehnica” Timișoara, 2002
- [Mac03] Maci, C., A., Florea., M., Grigorescu, S., Ciupe, V., *Concepția integrată (constructivă și tehnologică) a obiectelor de lucru fabricate prin procese de aşchiere utilizând noțiunea de PeSiR*, Robotica & Management, volumul 8, nr. 1, iunie, 2003
- [Maz00} \*\*\*, *MazaCAM*, Solution Ware Corporation, 2000
- [Mic88] Micșa, I., Nica, M., Pircea, I., Drăghici, G., *Tehnologia construcțiilor de mașini. Îndrumător de proiectare*. Litografia I.P.Timișoara, 1988

- [Mur62] Murgulescu, E., ș.a., *Geometrie analitică și diferențială*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1962
- [Nic01] Nica, M., Crețu-Nica, M., Turc, C., *Tehnologii și materiale metalice*, Ed. Politehnica Timișoara, 2001
- [Ngo99] Ngosso, L., Smet, E., *HOBU project: Off-line programming of robots: also for SME's*, Hoboken, Belgium, 1999
- [Nof92] Nof, S. Y., *Handbook Of Industrial Robotics*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida , 1992
- [Opr98] Opruța, D., *Proiectarea, modelarea, simularea sistemelor flexibile de fabricație*, Editura Quo Vadis, Cluj-Napoca, 1998
- [Owe98] Owens, J., *Off-line programming and robot calibration – The car industry*, Robot Simulation Ltd. 1998
- [Par83] Parent, M., Laugeau, C., *Les Robots Tome 5. Langages et methodes de programmation*, Hermes Publishing (France) 1983
- [Par99] Parker, G., Bonser, G., *Robotic Off-line Programming (OLP). Improvements to Robotic Off-line Programming*, University of Surrey, United Kingdom, 1999
- [Pau81] Paul, R., P., *Robot manipulators: Mathematics, programming and Control*, The MIT Press, Cambridge, Mass and London, 1981
- [Păn95] Pănescu , D., A., *Sisteme de conducere a roboților industriali*, Lit. U.T. „Gh. Asachi“ Iași, 1995
- [Per97] Persoons, W., *Moodel Based Off-line programming of Robots. Thesis abstract*, Katholieke Universiteit Leuven, 1997
- [Pii97] \*\*\*, *Pii-Path Robot Off-line Programming Package*, Pii-Robotics Ltd., 1997
- [Pin98] \*\*\*, *PIN-System – An Off-line Programming and Simulation System for Welding Robots*, Europäisches Centrum für Mechatronik, Aachen, 1998
- [Pro97] \*\*\*, *PROARC. CAD-Based Programming System for Arc Welding Robots in One-Off-Production Runs*, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen, 1997
- [Rán85] Ránky, P., G., Ho, C., Y., *Robot modelling. Control and applications with software*, IFS (Publications) LTD, UK, Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg·New York·Tokyo, 1985
- [Red85] Redford, A.H., *An aid to effective off-line programming of assembly robots*, Robots and automated manufacture, paper 10, pp.129-138, IEE Control Engineering Series 28, London, 1985



- [Rob98] \*\*\*, *ROBCAD*, Tecnomatix Automatisierungssysteme GmbH, Dietzenbach, 1998
- [Rob97] \*\*\*, *RoboPlan: Das wirtschaftliche Offline-Programmiersystem für Schweißroboter*, NIS Norddeutsche Informationssysteme GmbH, Ralsdorf, 1997
- [Rob96] \*\*\*, *Robotrak Information. Robot Calibration. Inherent Problems with Off-line Programming*, Robotic Workspace Technologies Inc., RWT Homepage, 1996
- [Rok99] Rokossa, D., *Prozeßorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern*, Institut für Roboterforschung Dortmund, 1999
- [Rok99]' Rokossa, D., *Prozeßorientierte Trajektoriengenerierung bei der Offline-Programmierung von Industrierobotern*, Institut für Roboterforschung Dortmund, 1999
- [Rok99]'' Rokossa, D., *Prozeßsimulation von Bearbeitungsvorgängen bei der Offline-Programmierung von Industrierobotern*, Institut für Roboterforschung Dortmund, 1999
- [Rop71] Ropohl, G., *Flexible Fertigungssysteme*. Krausskopf Verlag GmbH, Mainz 1971
- [Rop00] \*\*\*, *Ropsim – PC-based off-line programming system*, Camelot Off-line Programming, Denmark, 2000
- [Sav97] Savii, G.G., *Bazele proiectării asistate de calculator.CAD*, Ed. Mirton, Timișoara, 1997
- [Spu84] Spur, G., Krause, F.-L., *CAD-Technik Lehr- und Arbeitsbuch für die Rechnerunterstützung in Konstruktion und Arbeitsplanung*, Hanser Verlag, München Wien, 1984
- [Sto85] Stobart, R.K., Daily, C., *The use of simulation in the off-line programming of robots*, Robots and automated manufacture, paper 2, pp.11-28, IEE Control Engineering Series 28, London, 1985
- [Sto96] Stoicu-Tivadar, L., *Programarea roboților industriali și a mașinilor unelte cu comandă numerică*, Litografia Universității "Politehnica" din Timișoara, 1996
- [Sum01] Summers, P.J., *CNC Machining — Move your Model to Metal. How one company successfully integrates CNC technology*, CADALYST Magazine 2001
- [Sun98] Sun, H., Kroszynski, U.I., *Integrating robot task planning into off-line programming systems*, IFAC, Danemarca, 1998
- [Urd93] Urdea, G., *Mașini-unelte și agregate*, Lit. UPT, Timișoara, 1993

- [Vai70] Vaida, A., Aelenei, M., Albu, A., Botez, E., Dodon, E., *Mașini-unelte*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1970
- [Var01] Varga, Șt., *Condițiile funcționării automate a SFF. Comanda numerică a axei energetice*, în Kovács, F., Rădulescu, C., Varga, Șt., Grigorescu, S., Diaconu, A., *Sisteme de fabricație flexibilă. Robotică.*, Ed. Orizonturi universitare, Timișoara, 2001
- [Văc98] Văcărescu, V., Văcărescu, I., *Roboți industriali. Performanțe și testare*, Editura Mirton, Timișoara, 1998
- [Vân99] Vântu, M., *Programarea roboților industriali*, Editura Aldus, Brașov, 1999
- [Voi87] Voicu, M., Lazăr, C., *Sisteme de conducere a roboților industriali, vol.III. Proiectare funcțională, conducere pe traiectorie, algoritmi și structuri de conducere, programare, roboți cu vedere artificială, aplicații*, Lit. I.P.Iași, 1987
- [Vol81] Volmer, J., ș.a., *Industrieroboter*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1981
- [Vor99] \*\*\*, *WORKSPACE: A Microcomputer-Based Industrial Robot Simulator and Off-line Programming System*, Robot Simulations Ltd., Newcastle-upon-Tyne, 1999
- [Vuk82] Vukobratović, M., Postporniak, V., *Dynamics of Manipulation Robots*, Springer –Verlag, Berlin-Heidelberg-New-York, 1982
- [War95] Warnecke, H-J., *Der Produktionsbetrieb 1. Organisation, Produkt, Planung*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1984, 1993 und 1995
- [War90] Warnecke, H-J., Schraft, R., D., *Industrieroboter. Handbuch für Industrie und Wissenschaft*, SpringerVerlag, Berlin·Heidelberg·NewYork·London·Paris·Tokyo ·HongKong, 1990
- [War83] Warnecke, H.,J., Schraft R., D., *Industrieroboter*, Krauskopf-Verlag GmbH, Mainz, 1983
- [Wha98] \*\*\*, *What's Wrong With Postprocessors*, Metalworking Tehnology Guide, Gardner Publications, 1998
- [Yon92] Yong, Y.F., Gleave, J.A., Green, J.I., Bonney, M.C., *Off-Line Programming of Robots*, Handbook of Industrial Robotics, Chapter 20, pp.366-380, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1992
- [Zei91]. Zeid, I., *CAD/CAM. Theory and Practice*, Mc Grow-Hill, 1991

Anexa 1.

| $i$ | $t_i$ | $^{OL}P_{SC_{x_i}}$ | $^{OL}P_{SC_{y_i}}$ | $^{OL}P_{SC_{z_i}}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot O_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_i} \cdot O_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot O_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ |
|-----|-------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1   | 2     | 3                   | 4                   | 5                   | 6                             | 7                             | 8                             | 9                             | 10                            | 11                            | 12                            | 13                            | 14                            |
| 1   | $t_1$ | B/2                 | 0                   | $H_0$               | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 2   | $t_2$ | B/2                 | $-L - \delta y$     | $H_0$               | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 3   | $t_3$ | B/2                 | $-L - \delta y$     | $H_0 + \delta H$    | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 4   | $t_4$ | B/2                 | 0                   | $H_0 + \delta H$    | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 5   | $t_5$ | B/2                 | 0                   | $H_0 - \Delta H$    | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 6   | $t_6$ | B/2                 | $-L - \delta y$     | $H_0 - \Delta H$    | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| :   | :     | :                   | :                   | :                   | :                             | :                             | :                             | :                             | :                             | 1                             | :                             | :                             | :                             |
| n   | $t_n$ | B/2                 | $-L - \delta y$     | $H + \Delta H$      | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |

Tabelul 5.1 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru, în cazul prelucrării prin frezare cu freză cilindrică (modelată prin relația 5.68)

| $i$   | $t_i$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}}$                | $Mas p_{ML_{z1}}$                 | $\bar{n}_{ML1} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{ML1} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{n}_{ML1} \cdot \bar{a}_{ML}$ | $\bar{O}_{ML1} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{ML1} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{ML1} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{ML1} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{ML1} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{ML1} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|-------|-----------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1     | 2         | 3                 | 4                                | 5                                 | 6                                   | 7                                   | 8                                  | 9                                   | 10                                  | 11                                  | 12                                  | 13                                  | 14                                  |
| 1     | $t_1$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}}$                | $Mas p_{ML_{z1}}$                 | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2     | $t_2$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $Mas p_{ML_{z1}}$                 | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3     | $t_3$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $Mas p_{ML_{z1}} - \delta H$      | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 4     | $t_4$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}}$                | $Mas p_{ML_{z1}} - \delta H$      | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 5     | $t_5$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}}$                | $Mas p_{ML_{z1}} + \Delta H$      | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 6     | $t_6$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $Mas p_{ML_{z1}} + \Delta H$      | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| :     | :         | :                 | :                                | :                                 | :                                   | :                                   | :                                  | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   |
| $n-1$ | $t_{n-1}$ | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}}$                | $Mas p_{ML_{z1}} + (n-1)\Delta H$ |                                     |                                     |                                    |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
| $n$   | $t_n$     | $Mas p_{ML_{x1}}$ | $Mas p_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $Mas p_{ML_{z1}} + (n-1)\Delta H$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |

Tabelul 5.2 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al mesei de lucru în raport cu sistemul de referință al mașinii, în cazul prelucrării prin frezare cu freză cilindrică (modelată prin relația 5.70)

| $i$ | $t_j$     | $^{OL}P_{SC_{xj}}$ | $^{OL}P_{SC_{yj}}$ | $^{OL}P_{SC_{zj}}$          | $\bar{n}_{SC_j} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_j} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{o}_{SC_j} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{o}_{SC_j} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_j} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_j} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_j} \cdot \bar{o}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_j} \cdot \bar{o}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_j} \cdot \bar{a}_{OL}$ |
|-----|-----------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 2         | 3                  | 4                  | 5                           | 6                                   | 7                                   | 8                                   | 9                                   | 10                                  | 11                                  | 12                                  | 13                                  | 14                                  |
| 1   | $t_1$     | B/2                | 0                  | $H_0 - \Delta H$            | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2   | $t_2$     | B/2                | $-L - \delta L$    | $H_0 - \Delta H$            | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2'  | $t_2'$    | B/2                | $-L - \delta L$    | $H_0 - \Delta H + \delta H$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3'  | $t_3'$    | B/2                | 0                  | $H_0 - \Delta H + \delta H$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3   | $t_3$     | B/2                | 0                  | $H_0 - 2\Delta H$           | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 4   | $t_4$     | B/2                | $-L - \delta L$    | $H_0 - 2\Delta H$           | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| :   | :         | :                  | :                  | :                           | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   |
| n-1 | $t_{n-1}$ | B/2                | 0                  | H                           | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| n   | $t_n$     | B/2                | $-L - \delta L$    | H                           | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |

Tab. 5.3 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru, în cazul prelucrării prin frezare cu freză cilindro-frontală (modelată prin relația 5.77)

| $i$   | $t_i$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}}$                | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} \cdot \overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ |   |
|-------|-----------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1     | 2         | 3                                   | 4  | 5                                   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |   |   |   |   |   |
| 1     | $t_1$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}}$                | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |
| 2     | $t_2$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |
| 2'    | $t_2'$    | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |
| 3'    | $t_3'$    | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}}$                | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |
| 3     | $t_3$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}}$                | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |
| 4     | $t_4$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |
| :     | :         | :                                   | :  | :                                   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | :   | : |
| $n-1$ | $t_{n-1}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}}$                | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |
| $n$   | $t_n$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{x1}}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{y1}} + L + \delta L$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{ML_{z1}}$ | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |

Tab.5.4 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință a mesei de lucru în raport cu sistemul de referință al mașinii, în cazul prelucrării prin frezare cu freză cilindro-frontală (modelată prin relația 5.78)

| $i$ | $t_i$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx_i}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy_i}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz_i}$                | $\overset{-}{n}_{SA_1} \cdot \overset{-}{n}_{Mas}$ | $\overset{-}{n}_{SA_1} \cdot \overset{-}{O}_{Mas}$ | $\overset{-}{n}_{SA_1} \cdot \overset{-}{a}_{ML}$ | $\overset{-}{O}_{SA_i} \cdot \overset{-}{n}_{Mas}$ | $\overset{-}{O}_{SA_1} \cdot \overset{-}{O}_{Mas}$ | $\overset{-}{a}_{SA_1} \cdot \overset{-}{a}_{Mas}$ | $\overset{-}{n}_{SA_1} \cdot \overset{-}{n}_{Mas}$ | $\overset{-}{a}_{SA_1} \cdot \overset{-}{O}_{Mas}$ | $\overset{-}{a}_{SA_1} \cdot \overset{-}{O}_{Mas}$ | $\overset{-}{a}_{SA_1} \cdot \overset{-}{a}_{Mas}$ |
|-----|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 1   | 2         | 3                                 | 4                                 | 5  | 6  | 7  | 8   | 9  | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |  |
| 1   | $t_1$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1}$                 | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 2   | $t_2$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1}$                 | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 2'  | $t_2$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1} + \delta H$      | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 3'  | $t_3$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1} + \delta H$      | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 3   | $t_3$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1} - \Delta H$      | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 4   | $t_4$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1} - \Delta H$      | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| :   | :         | :                                 | :                                 | :  | :  | :  | :   | :  | :  | :  | :  | :  | :  | :  |
| n-1 | $t_{n-1}$ | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1} - (n-1)\Delta H$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| n   | $t_n$     | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAx1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAy1}$  | $\overset{\text{Mas}}{p}_{SAz1} - (n-1)\Delta H$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |

Tab. 5.5 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al saniei în raport cu sistemul de referință al mașinii, în cazul prelucrării pe mașina de frezată cilindro-frontală (modelată prin relația 5.80)

| ij           | $t_{ij}$         | $OL P_{SC_{xij}}$   | $OL P_{SC_{yij}}$ | $OL P_{SC_{zij}}$ | $\bar{n}_{SC_{ij}} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_{ij}} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_{ij}} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_{ij}} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_{ij}} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_{ij}} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_{ij}} \cdot \bar{O}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_{ij}} \cdot \bar{a}_{OL}$ |    |
|--------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| 1            | 2                | 3                   | 4                 | 5                 | 6                                      | 7                                      | 8                                      | 9                                      | 10                                     | 11                                     | 12                                     | 13                                     | 14 |
| 11           | $t_{11}$         | B                   | 0                 | $H_0 - \Delta H$  | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| 21           | $t_{21}$         | B                   | $-L - \delta L$   | $H_0 - \Delta H$  | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| 31           | $t_{31}$         | $B - \Delta B$      | 0                 | $H_0 - \Delta H$  | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| 41           | $t_{41}$         | $B - \Delta B$      | $-L - \delta L$   | $H_0 - \Delta H$  | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| ⋮            | ⋮                | ⋮                   | ⋮                 | ⋮                 | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮  |
| $(n-1)1$     | $t_{(n-1)1}$     | $B - (n-1)\Delta B$ | 0                 | $H_0 - \Delta H$  | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| n1           | $t_{n/}$         | $B - (n-1)\Delta B$ | $-L - \delta L$   | $H_0 - \Delta H$  | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| ⋮            | ⋮                | ⋮                   | ⋮                 | ⋮                 | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮  |
| 12           | $t_{12}$         | B                   | 0                 | $H_0 - 2\Delta H$ | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| 22           | $t_{22}$         | B                   | $-L - \delta L$   | $H_0 - 2\Delta H$ | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| ⋮            | ⋮                | ⋮                   | ⋮                 | ⋮                 | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮                                      | ⋮  |
| $(n-1)(m-1)$ | $t_{(n-1)(m-1)}$ | $\Delta B$          | 0                 | H                 | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |
| nm           | $t_{nm}$         | $\Delta B$          | $-L - \delta L$   | H                 | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1                                      | 0                                      | 0                                      | 0                                      | 1  |

Tab.5.6 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al sculei în raport

cu sistemul de referință al obiectului de lucru în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare (modelată prin relația 5.86)



| $i, j$       | $t_{ij}$         | $P_{ML_{x_{ij}}}^{Mas}$              | $P_{ML_{y_{ij}}}^{Mas}$ | $P_{ML_{z_{ij}}}^{Mas}$ | $\bar{n}_{SC_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SC_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SC_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SC_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SC_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SC_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SC_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SC_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SC_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|--------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1            | 2                | 3                                    | 4                       | 5                       | 6                                       | 7                                       | 8                                       | 9                                       | 10                                      | 11                                      | 12                                      | 13                                      | 14                                      |
| 11           | $t_{11}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas}$                 | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 21           | $t_{21}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas}$                 | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 21'          | $t_{21}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas}$                 | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 31           | $t_{31}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas} + \Delta B$      | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 41           | $t_{41}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas} + \Delta B$      | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| :            | :                | :                                    | :                       | :                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       |
| $(n-1)1$     | $t_{(n-1)1}$     | $P_{ML_{x11}}^{Mas} + (n-1)\Delta B$ | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| $n1$         | $t_{n1}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas} + (n-1)\Delta B$ | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| $n1'$        | $t_n'$           | $P_{ML_{x11}}^{Mas} + (n-1)\Delta B$ | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 12'          | $t_{12}'$        | $P_{ML_{x11}}^{Mas}$                 | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 12           | $t_{12}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas}$                 | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 22           | $t_{22}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas}$                 | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| :            | :                | :                                    | :                       | :                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       |
| $(n-1)(m-1)$ | $t_{(n-1)(m-1)}$ | $P_{ML_{x11}}^{Mas} + (n-1)\Delta B$ | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| $nm$         | $t_{nm}$         | $P_{ML_{x11}}^{Mas} + (n-1)\Delta B$ | $P_{ML_{y11}}^{Mas}$    | $P_{ML_{z11}}^{Mas}$    | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |

Tab.5.7 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al mesei de lucru în raport cu sistemul de referință al mașinii în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare pe mașina de rabotat transversală (modelată prin relația 5.88)

| ij         | $t_{ij}$         | Mas $p_{ML-xij}$ | Mas $p_{ML-yij}$                | Mas $p_{ML-zij}$ | $\bar{n}_{SCij} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SCij} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SCij} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SCij} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SCij} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SCij} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SCij} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |    |    |
|------------|------------------|------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----|----|
| 1          | 2                | 3                | 4                               | 5                | 6                                    | 7                                    | 8                                    | 9                                    | 10                                   | 11                                   | 12                                   | 13 | 14 |
| 11         | $t_{11}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11}$                | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| 21         | $t_{21}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11} + L + \delta L$ | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| 31         | $t_{31}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11}$                | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| 41         | $t_{41}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11} + L + \delta L$ | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| ⋮          | ⋮                | ⋮                | ⋮                               | ⋮                | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮  | ⋮  |
| (n-1)1     | $t_{(n-1)1}$     | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11}$                | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| n1         | $t_{n1}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11} + L + \delta L$ | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| 12'        | $t_{12}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11}$                | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| 12         | $t_{12}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11}$                | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| 22         | $t_{22}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11} + L + \delta L$ | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| ⋮          | ⋮                | ⋮                | ⋮                               | ⋮                | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮                                    | ⋮  | ⋮  |
| (n-1)(m-1) | $t_{(n-1)(m-1)}$ | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11}$                | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |
| nm         | $t_{nm}$         | Mas $p_{ML-x11}$ | Mas $p_{ML-y11} + L + \delta L$ | Mas $p_{ML-z11}$ | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0  | 1  |

Tab.5.8 Variația în timp a situațiilor semnificative relative ale sistemului de referință al mesei de lucru în raport cu sistemul de referință al mașinii în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare pe mașina de rabotat longitudinală (modelată prin relația 5.88)

| $ij$         | $t_{ij}$         | $Mas p_{SA_{xij}}$ | $Mas p_{SA_{yij}}$                | $Mas p_{SA_{zij}}$ | $\bar{n}_{SA_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SA_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SA_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SA_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SA_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SA_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SA_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SA_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SA_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|--------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1            | 2                | 3                  | 4                                 | 5                  | 6                                       | 7                                       | 8                                       | 9                                       | 10                                      | 11                                      | 12                                      | 13                                      | 14                                      |
| 11           | $t_{11}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{y11}}$                | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 21           | $t_{21}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{x11}} - L - \delta L$ | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 31           | $t_{31}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{y11}}$                | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 41           | $t_{41}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{x11}} - L - \delta L$ | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| $\vdots$     | $\vdots$         | $\vdots$           | $\vdots$                          | $\vdots$           | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                |
| $(n-1)1$     | $t_{(n-1)1}$     | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{y11}}$                | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| n1           | $t_{n1}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{x11}} - L - \delta L$ | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 12'          | $t_{12}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{y11}}$                | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 12           | $t_{12}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{y11}}$                | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 22           | $t_{22}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{x11}} - L - \delta L$ | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| $\vdots$     | $\vdots$         | $\vdots$           | $\vdots$                          | $\vdots$           | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                | $\vdots$                                |
| $(n-1)(m-1)$ | $t_{(n-1)(m-1)}$ | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{y11}}$                | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| nm           | $t_{nm}$         | $Mas p_{SA_{x11}}$ | $Mas p_{SA_{x11}} - L - \delta L$ | $Mas p_{SA_{z11}}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |

Tab.5.9 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al saniei în raport cu sistemul de referință al mașinii de lucru în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare cu mașina de rabotat transversală (modelată prin relația 5.91)

| ij         | $t_{ij}$         | $p_{SA_{xij}}^{Mas}$                 | $p_{SA_{yij}}^{Mas}$ | $p_{SA_{zij}}^{Mas}$ | $\bar{n}_{SA_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SA_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SA_{ij}} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SA_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SA_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SA_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SA_{ij}} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SA_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SA_{ij}} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|------------|------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1          | 2                | 3                                    | 4                    | 5                    | 6                                       | 7                                       | 8                                       | 9                                       | 10                                      | 11                                      | 12                                      | 13                                      | 14                                      |
| 11         | $t_{11}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas}$                 | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 21         | $t_{21}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas}$                 | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 21'        | $t_{21}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas}$                 | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 31         | $t_{31}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas} - \Delta B$      | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 41         | $t_{41}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas} - \Delta B$      | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| :          | :                | :                                    | :                    | :                    | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       |
| (n-1)1     | $t_{(n-1)1}$     | $p_{SA_{x11}}^{Mas} - (n-1)\Delta B$ | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| n1         | $t_{n1}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas} - (n-1)\Delta B$ | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| n'         | $t_{n1}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas} - (n-1)\Delta B$ | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 12'        | $t_{12}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas}$                 | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 12         | $t_{12}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas}$                 | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| 22         | $t_{22}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas}$                 | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| :          | :                | :                                    | :                    | :                    | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       | :                                       |
| (n-1)(m-1) | $t_{(n-1)(m-1)}$ | $p_{SA_{x11}}^{Mas} - (n-1)\Delta B$ | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |
| nm         | $t_{nm}$         | $p_{SA_{x11}}^{Mas} - (n-1)\Delta B$ | $p_{SA_{y11}}^{Mas}$ | $p_{SA_{z11}}^{Mas}$ | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       | 0                                       | 0                                       | 0                                       | 1                                       |

Tab.5.10 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al saniei în raportcu sistemul de referință al mașinii de lucru în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare cu mașina de rabotat longitudinală (modelată prin relația 5.91)

| $i\bar{j}$   | $t_{ij}$         | ${}^{SA}p_{SP_x ij}$ | ${}^{SA}p_{SP_y ij}$ | ${}^{SA}p_{SP_z ij}$                 | $\bar{n}_{SA ij} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SP ij} \cdot \bar{O}_{SA}$ | $\bar{n}_{SP ij} \cdot \bar{a}_{SA}$ | $\bar{O}_{SP ij} \cdot \bar{n}_{SA}$ | $\bar{O}_{SP ij} \cdot \bar{O}_{SA}$ | $\bar{a}_{SP ij} \cdot \bar{a}_{SA}$ | $\bar{a}_{SP ij} \cdot \bar{n}_{SA}$ | $\bar{a}_{SP ij} \cdot \bar{O}_{SA}$ | $\bar{a}_{SP ij} \cdot \bar{a}_{SA}$ |
|--------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1            | 2                | 3                    | 4                    | 5                                    | 6                                     | 7                                    | 8                                    | 9                                    | 10                                   | 11                                   | 12                                   | 13                                   | 14                                   |
| 11           | $t_{11}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11}$                 | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| 21           | $t_{21}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11}$                 | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| 31           | $t_{31}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11}$                 | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| 41           | $t_{41}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11}$                 | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| $\vdots$     | $\vdots$         | $\vdots$             | $\vdots$             | $\vdots$                             | $\vdots$                              | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             |
| $(n-1)1$     | $t_{(n-1)1}$     | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11}$                 | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| n1           | $t_{n1}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11}$                 | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| 12'          | $t_{12}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11}$                 | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| 12           | $t_{12}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11} - \Delta H$      | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| 22           | $t_{22}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11} - \Delta H$      | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| $\vdots$     | $\vdots$         | $\vdots$             | $\vdots$             | $\vdots$                             | $\vdots$                              | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             | $\vdots$                             |
| $(n-1)(m-1)$ | $t_{(n-1)(m-1)}$ | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11} - (m-1)\Delta H$ | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |
| nm           | $t_{nm}$         | ${}^{SA}p_{SP_x 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_y 11}$ | ${}^{SA}p_{SP_z 11} - (m-1)\Delta H$ | 1                                     | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    | 0                                    | 0                                    | 0                                    | 1                                    |

Tab.5.11 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al suportului portcuțit în raport cu sistemul de referință al saniei în cazul prelucrării unei suprafețe plane prin rabotare cu mașina de rabotat transversală sau longitudinală (modelată prin relația 5.92)

| $i$ | $t_i$     | $^{OL} p_{SC_x i}$ | $^{OL} p_{SC_y i}$    | $^{OL} p_{SC_z i}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot o_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ | $\bar{o}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{o}_{SC_i} \cdot o_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot o_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ |
|-----|-----------|--------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1   | 2         | 3                  | 4                     | 5                  | 6                             | 7                             | 8                             | 9                             | 10                            | 11                            | 12                            | 13                            | 14                            |
| 1   | $t_1$     | $\frac{D}{2}$      | $L_0$                 | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 2   | $t_2$     | $-\delta D$        | $L_0$                 | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 2'  | $t_2'$    | $-\delta D$        | $L_0 + \delta L$      | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 3'  | $t_3'$    | $\frac{D}{2}$      | $L_0 + \delta L$      | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 3   | $t_3$     | $\frac{D}{2}$      | $L_0 - \Delta L$      | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 4   | $t_4$     | $-\delta D$        | $L_0 - \Delta L$      | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| :   | :         | :                  | :                     | :                  | :                             | :                             | :                             | :                             | :                             | :                             | :                             | :                             | :                             |
| n-1 | $t_{n-1}$ | $\frac{D}{2}$      | $L_0 - (n-1)\Delta L$ | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| n   | $t_n$     | $-\delta D$        | $L_0 - (n-1)\Delta L$ | 0                  | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |

Tab. 5.12 Variația în timp a situațiilor semnificative relative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru în cazul prelucrării prin strunjire frontală a suprafeței plane a unui obiect de revoluție (modelată prin relația 5.101)

| $i$ | $t_i$     | $\text{Mas } p_{SL_{x_i}}$ | $\text{Mas } p_{SL_{y_i}}$                | $\text{Mas } p_{SL_{z_i}}$ | $\bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SL_i} \cdot O_{Mas}$ | $\bar{n}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{ML}$ | $\bar{O}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SL_i} \cdot O_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL_i} \cdot O_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL_i} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|-----|-----------|----------------------------|---|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1   | 2         | 3                          | 4   | 5                          | 6                                    | 7                              | 8                                   | 9                                    | 10                             | 11                                   | 12                                   | 13                             | 14                                   |
| 1   | $t_1$     | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{y1}}$                 | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |
| 2   | $t_2$     | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{y1}}$                 | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |
| 2'  | $t_2$     | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{z1}} + \delta L$      | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |
| 3'  | $t_3$     | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{z1}} + \delta L$      | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |
| 3   | $t_3$     | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{y1}} - \Delta L$      | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |
| 4   | $t_4$     | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{y1}} - \Delta L$      | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |
| :   | :         | :                          | :   | :                          | :                                    | :                              | :                                   | :                                    | :                              | :                                    | :                                    | :                              | :                                    |
| n-1 | $t_{n-1}$ | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{y1}} - (n-1)\Delta L$ | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |
| n   | $t_n$     | $\text{Mas } p_{SL_{x1}}$  | $\text{Mas } p_{SL_{y1}} - (n-1)\Delta L$ | $\text{Mas } p_{SL_{z1}}$  | 1                                    | 0                              | 0                                   | 0                                    | 1                              | 0                                    | 0                                    | 0                              | 1                                    |

Tab.5.13 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al saniei longitudinale în raport cu sistemul de referință al mașinii, în cazul prelucrării prin strunjire frontală a unei suprafețe plane a unui obiect de revoluție (modelată prin relația 5.105)

| $i$ | $t_i$     | ${}^{SL}p_{ST_{x_i}}$                          | ${}^{SL}p_{ST_{y_i}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_i}}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{O}_{SL}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ | $\bar{O}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{O}_{ST_i} \cdot \bar{O}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{O}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ |
|-----|-----------|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 2         | 3  | 4                     | 5                     | 6                                   | 7                                   | 8                                   | 9                                   | 10                                  | 11                                  | 12                                  | 13                                  | 14                                  |
| 1   | $t_1$     | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}}$                          | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2   | $t_2$     | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}} - \frac{D}{2} - \delta D$ | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2'  | $t_2'$    | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}} - \frac{D}{2} - \delta D$ | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3'  | $t_3'$    | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}}$                          | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3   | $t_3$     | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}}$                          | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 4   | $t_4$     | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}} - \frac{D}{2} - \delta D$ | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| :   | :         | :  | :                     | :                     | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   |
| n-1 | $t_{n-1}$ | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}}$                          | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| n   | $t_n$     | ${}^{SL}p_{ST_{x_1}} - \frac{D}{2} - \delta D$ | ${}^{SL}p_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}p_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |

Tab. 5.14 Variația în timp a situațiilor semnificative relative ale sistemului de referință al saniei transversale în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale în cazul prelucrării prin strunjire frontală a suprafeței plane a unui obiect de revoluție (modelată prin relația 5.106)



| i        | $t_i$     | $^{OL}P_{SCx_i}$                | $^{OL}P_{SCy_i}$ | $^{OL}P_{SCz_i}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{Osc}_i \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{Osc}_i \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{Osc}_i \cdot \bar{OOL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{OOL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ |
|----------|-----------|---------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1        | 2         | 3                               | 4                | 5                | 6                                   | 7                                   | 8                                | 9                                | 10                            | 11                                  | 12                                  | 13                               | 14                                  |
| 1        | $t_1$     | $\frac{D_0}{2}$                 | L                | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |
| 2        | $t_2$     | $\frac{D_0}{2}$                 | $-\delta L$      | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |
| 2'       | $t'_2$    | $\frac{D_0 + \delta D}{2}$      | $-\delta L$      | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |
| 3'       | $t'_3$    | $\frac{D_0 + \delta D}{2}$      | L                | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |
| 3        | $t_3$     | $\frac{D_0 - \Delta D}{2}$      | L                | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |
| 4        | $t_4$     | $\frac{D_0 - \Delta D}{2}$      | $-\delta L$      | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |
| $\vdots$ | $\vdots$  | $\vdots$                        | $\vdots$         | $\vdots$         | $\vdots$                            | $\vdots$                            | $\vdots$                         | $\vdots$                         | $\vdots$                      | $\vdots$                            | $\vdots$                            | $\vdots$                         | $\vdots$                            |
| n-1      | $t_{n-1}$ | $\frac{D_0 - (n-1)\Delta D}{2}$ | L                | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |
| n        | $t_n$     | $\frac{D_0 - (n-1)\Delta D}{2}$ | $-\delta L$      | 0                | 1                                   | 0                                   | 0                                | 0                                | 1                             | 0                                   | 0                                   | 0                                | 1                                   |

Tab. 5.15 Variația în timp a situațiilor semnificative relative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru în cazul prelucrării prin strunjire

a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare (modelată prin relația 5.113)

| $i$ | $t_i$     | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1}$                | $Mas p_{SLz1}$ | $\bar{n}_{SL1} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SL1} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{n}_{SL1} \cdot \bar{a}_{ML}$ | $\bar{O}_{SL1} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{SL1} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL1} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL1} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL1} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{SL1} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|-----|-----------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 2         | 3              | 4                             | 5              | 6                                   | 7                                   | 8                                  | 9                                   | 10                                  | 11                                  | 12                                  | 13                                  | 14                                  |
| 1   | $t_1$     | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1}$                | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2   | $t_2$     | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1} - L - \delta L$ | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2'  | $t_2'$    | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1} - L - \delta L$ | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3'  | $t_3'$    | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1}$                | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3   | $t_3$     | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1}$                | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 4   | $t_4$     | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1} - L - \delta L$ | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| :   | :         | :              | :                             | :              | :                                   | :                                   | :                                  | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   |
| n-1 | $t_{n-1}$ | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1}$                | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| a   | $t_n$     | $Mas p_{SLx1}$ | $Mas p_{SLy1} - L - \delta L$ | $Mas p_{SLz1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                  | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |

Tab.5.16 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al saniei longitudinale în raport cu sistemul de referință al mașinii, în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare (modelată prin relația 5.117)

| $i$ | $t_i$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_i}}$                 | ${}^{SL}P_{ST_{y_i}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_i}}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{O}_{SL}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ | $\bar{O}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{O}_{ST_i} \cdot \bar{O}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{O}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ |
|-----|-----------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 2         | 3                                     | 4                     | 5                     | 6                                   | 7                                   | 8                                   | 9                                   | 10                                  | 11                                  | 12                                  | 13                                  | 14                                  |
| 1   | $t_1$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}}$                 | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2   | $t_2$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}}$                 | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2'  | $t_2$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}} + \delta D$      | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3'  | $t_3$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}} + \delta D$      | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3   | $t_3$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}} - \Delta D$      | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 4   | $t_4$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}} - \Delta D$      | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| :   | :         | :                                     | :                     | :                     | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   |
| n-1 | $t_{n-1}$ | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}} - (n-2)\Delta D$ | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| n   | $t_n$     | ${}^{SL}P_{ST_{x_1}} - (n-2)\Delta D$ | ${}^{SL}P_{ST_{y_1}}$ | ${}^{SL}P_{ST_{z_1}}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |

Tab. 5.17 Variația în timp a situațiilor semnificative relative ale sistemului de referință al saniei transversale în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice circulare exterioare (modelată prin relația 5.118)

| $i$   | $t_i$     | ${}^{OL}P_{SC_{X_i}}$       | ${}^{OL}P_{SC_{Y_i}}$                  | ${}^{OL}P_{SC_{Z_i}}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{n}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{O}_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot \bar{a}_{OL}$ |    |
|-------|-----------|-----------------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----|
| 1     | 2         | 3                           | 4                                      | 5                     | 6                                   | 7                                   | 8                                   | 9                                   | 10                                  | 11                                  | 12                                  | 13                                  | 14 |
| 1     | $t_1$     | $\frac{D_0 - \Delta D}{2}$  | $L + \delta L$                         | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |
| 2     | $t_2$     | $\frac{D_0 - \Delta D}{2}$  | L                                      | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |
| 3     | $t_3$     | $\frac{D_0}{2}$             | $L - \frac{\Delta D}{\text{tg}\theta}$ | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |
| 4     | $t_4$     | $\frac{D_0}{2}$             | $L + \delta L$                         | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |
| 5     | $t_5$     | $\frac{D_0 - 2\Delta D}{2}$ | $L + \delta L$                         | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |
| :     | :         | :                           | :                                      | :                     | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :  |
| $n-2$ | $t_{n-2}$ | $\frac{D_m}{2}$             | $L + \delta L$                         | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |
| $n-1$ | $t_{n-1}$ | $\frac{D_m}{2}$             | L                                      | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |
| $n$   | $t_n$     | $\frac{D_0 - D_M}{2}$       | 0                                      | 0                     | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1  |

Tab. 5.18 Variația în timp a situațiilor semnificative relative ale sistemului de referință al sculei în raport cu sistemul de referință al obiectului de lucru în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe tronconice circulare exterioare (modelată prin relația 5.125)

| $i$   | $t_i$     | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}}$   | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | $\overset{Mas}{n}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{n}_{Mas}$ | $\overset{Mas}{n}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{O}_{Mas}$ | $\overset{Mas}{n}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{a}_{ML}$ | $\overset{Mas}{O}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{n}_{Mas}$ | $\overset{Mas}{O}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{a}_{Mas}$ | $\overset{Mas}{a}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{n}_{Mas}$ | $\overset{Mas}{a}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{O}_{Mas}$ | $\overset{Mas}{a}_{SL_1} \cdot \overset{Mas}{a}_{Mas}$ |    |
|-------|-----------|------------------------------|--|------------------------------|--|--|---|--|--|--|--|--|----|
| 1     | 2         | 3                            | 4  | 5                            | 6  | 7  | 8   | 9  | 10   | 11   | 12   | 13   | 14 |
| 1     | $t_1$     | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}}$   | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 2     | $t_2$     | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}} - \delta L$                                    | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 3     | $t_3$     | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}} - \delta L - \frac{\Delta D}{\text{tg}\theta}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 4     | $t_4$     | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}}$   | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 5     | $t_5$     | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}}$   | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| :     | :         | :                            | :  | :                            | :  | :  | :   | :  | :  | :  | :  | :  | :  |
| $n-2$ | $t_{n-2}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}}$   | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| $n-1$ | $t_{n-1}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}} - \delta L$                                    | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| $n$   | $t_n$     | $\overset{Mas}{P}_{SL_{x1}}$ | $\overset{Mas}{P}_{SL_{y1}} - \delta L - L$                                | $\overset{Mas}{P}_{SL_{z1}}$ | 1  | 0  | 0   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |

Tab.5.19 Variația în timp a situațiilor semnificative ale sistemului de referință al saniei longitudinale în raport cu sistemul de referință al mașinii, în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice tronconice exterioare (modelată prin relația 5.129)

| $i$ | $t_i$     | ${}^{SL}p_{ST\ x_i}$                           | ${}^{SL}p_{ST\ y_i}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_i}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL}$ | $\bar{n}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ | $\bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{o}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{n}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{o}_{SL}$ | $\bar{a}_{ST_i} \cdot \bar{a}_{SL}$ |
|-----|-----------|--|----------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 2         | 3  | 4                    | 5                    | 6                                   | 7                                   | 8                                   | 9                                   | 10                                  | 11                                  | 12                                  | 13                                  | 14                                  |
| 1   | $t_1$     | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$                           | ${}^{SL}p_{ST\ y_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2   | $t_2$     | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$                           | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3   | $t_3$     | ${}^{SL}p_{ST\ x_1} + \Delta D$                | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 4   | $t_4$     | ${}^{SL}p_{ST\ x_1} + \Delta D$                | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 5   | $t_5$     | ${}^{SL}p_{ST\ x_1} - \Delta D$                | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| :   | :         | :  | :                    | :                    | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   | :                                   |
| n-2 | $t_{n-2}$ | ${}^{SL}p_{ST\ x_1} - (n-1)\Delta D$           | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| n-1 | $t_{n-1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ x_1} - (n-1)\Delta D$           | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| n   | $t_n$     | ${}^{SL}p_{ST\ x_1} + L \cdot \text{tg}\theta$ | ${}^{SL}p_{ST\ x_1}$ | ${}^{SL}p_{ST\ z_1}$ | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |

Tab. 5.20 Variația în timp a situațiilor semnificative relative ale sistemului de referință al saniei transversale în raport cu sistemul de referință al saniei longitudinale în cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice tronconice exterioare (modelată prin relația 5.130)

| $i$ | $t_i$    | ${}^{RI}P_{EFx_i}$ | ${}^{RI}P_{EFy_i}$ | ${}^{RI}P_{EFz_i}$ | $\bar{n}_{EF_i} \cdot \bar{n}_{RI}$ | $\bar{n}_{EF_i} \cdot \bar{O}_{RI}$ | $\bar{n}_{EF_i} \cdot \bar{a}_{RI}$ | $\bar{O}_{EF_i} \cdot \bar{n}_{RI}$ | $\bar{O}_{EF_i} \cdot \bar{O}_{RI}$ | $\bar{O}_{EF_i} \cdot \bar{a}_{RI}$ | $\bar{a}_{EF_i} \cdot \bar{n}_{RI}$ | $\bar{a}_{EF_i} \cdot \bar{O}_{RI}$ | $\bar{a}_{EF_i} \cdot \bar{a}_{RI}$ |
|-----|----------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | $t_1$    | $B_D$              | $-L_{D_1}$         | $H_D$              | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 2   | $t_2$    | $B_D$              | $-L_{D_1}$         | $H_D$              | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 3   | $t_3$    | $-B_{DL}$          | $-L_{OL}$          | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 4   | $t_4$    | $-B_{DL}$          | $-(L_{DL}-L/2)$    | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 5   | $t_5$    | $-B_{DL}$          | $-(L_{DL}-L/2)$    | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 6   | $t_6$    | $-B_{DL}$          | $-(L_{DL}-L/2)$    | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 7   | $t_7$    | $-B_{DL}$          | $-L_{OL}$          | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 8   | $t_8$    | $-B_{DL}$          | $-L_{OL}$          | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 9   | $t_9$    | $-B_{DL}$          | $-(L_{DL}-L/2)$    | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 10  | $t_{10}$ | $-B_{DL}$          | $-(L_{DL}-L/2)$    | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 11  | $t_{11}$ | $-B_{DL}$          | $-(L_{DL}-L/2)$    | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 12  | $t_{12}$ | $-B_{DL}$          | $-(L_{DL}-L/2)$    | $H_{DL}$           | 0                                   | 1                                   | 0                                   | -1                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 13  | $t_{13}$ | $B_D$              | $L_{D_2}$          | $H_D$              | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |
| 14  | $t_{14}$ | $B_D$              | $L_{D_2}$          | $H_D$              | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   |

Tab. 5.22 Situațiile relative semnificative ale sistemului de referință ale efectorului final  $O_{EF}$ , considerat în timpul manipulării în coincidență cu cel al obiectului de lucru  $O_{OL}$ , în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului industrial  $O_{RI}$

Anexa 2

| i  | $t_i$<br>[s] | $OL p_{SC_{x_i}}$<br>[mm] | $OL p_{SC_{y_i}}$<br>[mm] | $OL p_{SC_{z_i}}$<br>[mm] | $\bar{n}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot O_{OL}$ | $\bar{n}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{O}_{SC_i} \cdot O_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot n_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot O_{OL}$ | $\bar{a}_{SC_i} \cdot a_{OL}$ |
|----|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1  | 2            | 3                         | 4                         | 5                         | 6                             | 7                             | 8                             | 9                             | 10                            | 11                            | 12                            | 13                            | 14                            |
| 1' | 95,01        | 142,80                    | 79,14                     | 103,08                    | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 1  | 117,27       | 10,30                     | 38,33                     | 3,00                      | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 2  | 119,67       | 10,30                     | 38,33                     | -1,00                     | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 3  | 133,72       | 10,30                     | 15,00                     | -1,00                     | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 4  | 134,32       | 10,30                     | 15,00                     | 3,00                      | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 5  | 136,07       | 10,30                     | 26,66                     | 3,00                      | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 6  | 138,47       | 10,30                     | 26,66                     | -1,00                     | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 7  | 145,48       | 21,95                     | 38,33                     | -1,00                     | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 8  | 148,99       | 27,77                     | 38,33                     | -1,00                     | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 9  | 152,49       | 31,88                     | 32,50                     | -1,00                     | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |
| 10 | 153,09       | 31,88                     | 32,50                     | 3,00                      | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1                             |

Tab. 7.2 Variația în timp a elementelor matricii de situație relativă semnificativă a sistemelor de referință  $O_{sc}$  și  $O_{ol}$



| Nr. crt. | PeSiR              | Mas $\underline{T}_C$    | Mas $P_{C_x}$<br>[mm] | Mas $P_{C_y}$<br>[mm] | Mas $P_{C_z}$<br>[mm] | $\bar{n}_C \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_C \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{n}_C \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{O}_C \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_C \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{O}_C \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_C \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_C \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_C \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|----------|--------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1        | $O_R - O_{Mas}$    | Mas $\underline{T}_R$    | -106,16               | -501,79               | -600                  | 0,087                           | 0,996                           | 0                               | -0,996                          | 0,087                           | 0                               | 0                               | 0                               | 1                               |
| 2        | $O_{Tr} - O_{Mas}$ | Mas $\underline{T}_{TR}$ | -106,16               | -501,79               | -600                  | 0,087                           | 0,996                           | 0                               | -0,996                          | 0,087                           | 0                               | 0                               | 0                               | 1                               |
| 3        | $O_{Pa} - O_{Mas}$ | Mas $\underline{T}_{Pa}$ | 740                   | -730                  | -500                  | 0                               | -1                              | 0                               | 1                               | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | 1                               |
| 4        | $O_{SL} - O_{Mas}$ | Mas $\underline{T}_{SL}$ | -142,85               | -79,14                | -118,08               | 1                               | 0                               | 0                               | 0                               | 1                               | 0                               | 0                               | 0                               | 1                               |
| 5        | $O_{ST} - O_{Mas}$ | Mas $\underline{T}_{ST}$ | -142,85               | -79,14                | -118,08               | 1                               | 0                               | 0                               | 0                               | 1                               | 0                               | 0                               | 0                               | 1                               |

Tab. 7.3 Elementele matricilor care modelează PeSiR ale situații „de acasă” a componentelor C în raport mașina de lucru

| i  | $t_i$    | Mas $\underline{T}$  | Mas $P_{OL_x}$<br>[mm] | Mas $P_{OL_y}$<br>[mm] | Mas $P_{OL_z}$<br>[mm] | $\bar{n}_{OL} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{OL} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{n}_{OL} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{O}_{OL} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{OL} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{O}_{OL} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{OL} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{OL} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{OL} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|----|----------|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 11 | $t_{11}$ | $\left( \begin{matrix} \text{Mas} \\ \underline{T}_{OL} \end{matrix} \right)_{/11} = \text{Pa} \cdot \text{Mas} \underline{T}_{Pa} \cdot \text{Pa} \underline{T}_{OL}$   | 833,08                 | 744,6                  | -450                   | 0                                  | -1                                 | 0                                  | 0                                  | 0                                  | 1                                  | 1                                  | 0                                  | 0                                  |
| 14 | $t_{14}$ |  |                        |                        |                        |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
| 12 | $t_{12}$ | $\left( \begin{matrix} \text{Mas} \\ \underline{T}_{OL} \end{matrix} \right)_{/12} = \left( \begin{matrix} \text{Mas} \\ \underline{T}_{ST} \end{matrix} \right)_{/12} \cdot \left( \begin{matrix} \text{ST} \\ \underline{T}_{SL} \end{matrix} \right)_{/12} \cdot \text{SL} \underline{T}_{DL} \cdot \text{DL} \underline{T}_{OL}$ | -142,85                | -79,14                 | -118,08                | 1                                  | 0                                  | 0                                  | 0                                  | 1                                  | 0                                  | 0                                  | 0                                  | 1                                  |
| 13 | $t_{13}$ |  |                        |                        |                        |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |

Tab. 7.5 Elementele matricilor care modelează PeSiR ale situațiilor semnificative ale obiectului de lucru  $O_{OL}$

în raport cu sistemul de referință a mașinii de frezat  $O_{Mas}$

| i  | $t_i$    | $\underline{\mathbf{T}}$   | Mas $p_{OL,x}$<br>[mm] | Mas $p_{OL,y}$<br>[mm] | Mas $p_{OL,z}$<br>[mm] | $\bar{n}_{OL} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{n}_{OL} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{n}_{OL} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{O}_{OL} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{O}_{OL} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{O}_{OL} \cdot \bar{a}_{Mas}$ | $\bar{a}_{OL} \cdot \bar{n}_{Mas}$ | $\bar{a}_{OL} \cdot \bar{O}_{Mas}$ | $\bar{a}_{OL} \cdot \bar{a}_{Mas}$ |
|----|----------|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 11 | $t_{11}$ | $\begin{pmatrix} {}^R \underline{\mathbf{T}}_{EF} / 11 \\ \text{Mas} \underline{\mathbf{T}}_{OL} / 11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} {}^R \underline{\mathbf{T}}_{Mas} / 11 \\ {}^{OL} \underline{\mathbf{T}}_{EF} \end{pmatrix} \cdot$ | -222,6                 | -363,2                 | 238,9                  | 0,087                              | 0,996                              | 0                                  | 0,996                              | 0,087                              | 1                                  | 1                                  | 0                                  | 0                                  |
| 14 | $t_{14}$ |  | 477,6                  | 32,8                   | 282,5                  | 0,087                              | 0,996                              | 0                                  | -0,996                             | 0,087                              | 0                                  | 0                                  | 0                                  | 1                                  |
| 12 | $t_{12}$ | $\begin{pmatrix} {}^R \underline{\mathbf{T}}_{EF} / 12 \\ \text{Mas} \underline{\mathbf{T}}_{OL} / 12 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} {}^R \underline{\mathbf{T}}_{Mas} / 12 \\ {}^{OL} \underline{\mathbf{T}}_{EF} \end{pmatrix} \cdot$ |                        |                        |                        |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
| 13 | $t_{13}$ |  |                        |                        |                        |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |

Tab. 7.6 Elementele matricilor care modelează PeSiR ale situațiilor semnificative ale efectorului final EF în raport cu sistemul de referință al robotului

| PeSiR     | $\underline{T}$          | c.c.c      | i   | $t_i$     | $p_{x_i}$  | $p_{y_i}$                   | $P_{z_i}$            | $\bar{n} \cdot \bar{n}$ | $\bar{n} \cdot \bar{o}$ | $\bar{n} \cdot \bar{a}$ | $\bar{o} \cdot \bar{o}$ | $\bar{o} \cdot \bar{a}$ | $\bar{a} \cdot \bar{n}$ | $\bar{a} \cdot \bar{o}$ | $\bar{a} \cdot \bar{a}$ |    |
|-----------|--------------------------|------------|-----|-----------|------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----|
| 1         | 2                        | 3          | 4   | 5         | 6          | 7                           | 8                    | 9                       | 10                      | 11                      | 12                      | 13                      | 14                      | 15                      | 16                      | 17 |
|           |                          |            | 1'  | $t'_1$    | 0          | 0                           | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 1   | $t_1$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 2   | $t_2$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1} - \Delta z$ | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 3   | $t_3$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1} - \Delta z$ | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 4   | $t_4$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
| $O_{SV}$  |                          |            | 5   | $t_5$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
| $O_{Mas}$ | $Mas \underline{T}_{SV}$ | $C \infty$ | 6   | $t_6$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1} - \Delta z$ | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
| $O_{SC}$  |                          |            | 7   | $t_7$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1} - \Delta z$ | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
| $O_{Mas}$ |                          |            | 8   | $t_8$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1} - \Delta z$ | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 9   | $t_9$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1} - \Delta z$ | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 10  | $t_{10}$  | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 10' | $t'_{10}$ | 0          | 0                           | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 1'  | $t'_1$    | $p_{x_1'}$ | $p_{y_1'}$                  | $P_{z_1'}$           | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 1   | $t_1$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 2   | $t_2$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1}$                   | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 3   | $t_3$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1} - l_{23}$          | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 4   | $t_4$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1} - l_{23}$          | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 5   | $t_5$     | $p_{x_1}$  | $p_{x_1} - l_{23}$          | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 6   | $t_6$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1} - l_{23} + l_{36}$ | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |
|           |                          |            | 7   | $t_7$     | $p_{x_1}$  | $p_{y_1} - l_{23} + l_{36}$ | $P_{z_1}$            | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1  |

| 1                  | 2                        | 3                         | 4   | 5         | 6   | 7         | 8         | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |   |   |   |   |   |   |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----|-----------|---|-----------|-----------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|
| $O_{ST} - O_{Mas}$ | $Mas \underline{T}_{ST}$ | $A \frac{\infty}{\infty}$ | 8   | $t_8$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |   |   |   |   |   |   |
|                    |                          |                           | 9   | $t_9$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 1 |   |   |   |   |
|                    |                          |                           | 10  | $t_{10}$  | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 | 1 |   |   |   |
|                    |                          |                           | 10' | $t'_{10}$ | $P_{x1'}$   | $P_{y1'}$ | $P_{z1'}$ | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 | 1 |   |   |   |
|                    |                          |                           | 1'  | $t'_1$    | 0   | 0         | 0         | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 |   |   |
|                    |                          |                           | 1   | $t_1$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 |   |   |
|                    |                          |                           | 2   | $t_2$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 |   |   |
|                    |                          |                           | 3   | $t_3$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 |   |   |
|                    |                          |                           | 4   | $t_4$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 |   |   |
|                    |                          |                           | 5   | $t_5$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |   |
| $O_{SL} - O_{ST}$  | $ST \underline{T}_{SL}$  | $B \frac{\infty}{\infty}$ | 6   | $t_6$     | $P_{x1}$  | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 1 |   |   |   |   |
|                    |                          |                           | 7   | $t_7$     | $P_{x1} - l_{67} \cdot \sin \pi / 2$                                      | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 |   |   |
|                    |                          |                           | 8   | $t_8$     | $P_{x1} + l_{67} \cdot \sin \pi / 2 + l_{78}$                             | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |   |
|                    |                          |                           | 9   | $t_9$     | $P_{x1} + l_{67} \cdot \sin \pi / 2 + l_{78} + l_{89} \cdot \cos \pi / 2$ | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |   |
|                    |                          |                           | 10  | $t_{10}$  | $P_{x1} + l_{67} \cdot \sin \pi / 2 + l_{78} + l_{89} \cdot \cos \pi / 2$ | $P_{y1}$  | $P_{z1}$  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |   |
|                    |                          |                           | 10' | $t'_{10}$ | 0   | 0         | 0         | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tab. 7.7 Elementele matricilor care modelează PeSiR ale situațiilor semnificative relative ale săniilor mașinii de frezat

| PeSiR  | $\underline{\mathbf{T}}$                  | c.c.c         | i      | $t_i$<br>[s] | $P_{x_i}$<br>[mm] | $P_{y_i}$<br>[mm] | $P_{z_i}$<br>[mm]    | $\bar{n} \cdot \bar{n}$ | $\bar{n} \cdot \bar{o}$ | $\bar{n} \cdot \bar{a}$ | $\bar{o} \cdot \bar{n}$ | $\bar{o} \cdot \bar{o}$ | $\bar{o} \cdot \bar{a}$ | $\bar{a} \cdot \bar{n}$ | $\bar{a} \cdot \bar{o}$ | $\bar{a} \cdot \bar{a}$ |   |   |   |
|--|---|---------------|--------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|---|---|
| 1  | 2   | 3             | 4      | 5            | 6                 | 7                 | 8                    | 9                       | 10                      | 11                      | 12                      | 13                      | 14                      | 15                      | 16                      | 17                      |   |   |   |
| O <sub>SV</sub> -<br>O <sub>Mas</sub><br>O <sub>SC</sub> -<br>O <sub>Mas</sub> | $\text{Mas } \underline{\mathbf{T}}_{SV}$ | C<br>$\infty$ | 1'     | 95,01        | 0                 | 0                 | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1 |   |   |
|  |   |               | 1      | 117,27       | 0                 | 0                 | -100,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0 | 1 |   |
|  |   |               | 2      | 119,67       | 0                 | 0                 | -104,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 3      | 133,72       | 0                 | 0                 | -104,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 4      | 134,32       | 0                 | 0                 | -100,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 5      | 136,07       | 0                 | 0                 | -100,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 6      | 138,47       | 0                 | 0                 | $p_{z_i} - \Delta z$ | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 7      | 145,48       | 0                 | 0                 | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 8      | 148,99       | 0                 | 0                 | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 9      | 152,49       | 0                 | 0                 | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
| 10   | 153,09                                    | 0             | 0      | 0            | 1                 | 0                 | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       |   |   |   |
| 10'  | 178,73                                    | 0             | 0      | 0            | 1                 | 0                 | 0                    | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       |   |   |   |
| O <sub>ST</sub> -<br>O <sub>Mas</sub>  | $\text{Mas } \underline{\mathbf{T}}_{ST}$ | A<br>$\infty$ | 1'     | 95,01        | -142,85           | -79,14            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1 |   |   |
|  |   |               | 1      | 117,27       | -142,85           | -39,44            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0 | 1 |   |
|  |   |               | 2      | 119,67       | -142,85           | -39,44            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 1 |   |
|  |   |               | 3      | 133,72       | -142,85           | -62,77            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 4      | 134,32       | -142,85           | -62,77            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 5      | 136,07       | -142,85           | -51,11            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 6      | 138,47       | -142,85           | -51,11            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 7      | 145,48       | -142,85           | -39,44            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 8      | 148,99       | -142,85           | -39,44            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
|  |   |               | 9      | 152,49       | -142,85           | -56,94            | -103,08              | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0 | 0 | 1 |
| 10   | 153,09                                    | -142,85       | -56,94 | -103,08      | 1                 | 0                 | 0                    | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       |   |   |   |
| 10'  | 178,73                                    | -142,85       | -79,14 | -103,08      | 1                 | 0                 | 0                    | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       |   |   |   |

| 1 | 2 | 3 | 4   | 5      | 6     | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|---|---|---|-----|--------|-------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   |   |   | 1'  | 95,01  | 0     | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|   |   |   | 1   | 117,27 | 10,30 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 2   | 119,67 | 10,30 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 3   | 133,72 | 10,30 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 4   | 134,32 | 10,30 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 5   | 136,07 | 10,30 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 6   | 138,47 | 10,30 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 7   | 145,48 | 21,69 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 8   | 148,99 | 27,52 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 9   | 152,49 | 33,34 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 10  | 153,09 | 33,34 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|   |   |   | 10' | 178,73 | 0     | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |

Tab. 7.8 Elementele matricilor care modelează PeSiR ale situațiilor semnificative relative ale săniilor mașinii de frezat (valori numerice)

| i  | $t_i$<br>[s]      | c.c.c                 | Deplasarea generalizată comandată<br>$q_{j+1}-q_j$<br>[mm] sau [rad] | Viteza generalizată comandată<br>$ \dot{q}_j $<br>[mm/s] sau [rad/s] | Comanda numerică<br>$n_j$<br>[impulsuri] | Obs.   |
|----|-------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| 1  | 2                 | 3                     | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 1' | $t'_1 = 95,01$    | $A_{Mas}$<br>$\infty$ | 38,33  | 6,66   | 3833                                     | deplasare din poziția „de acasă” în situația de începere a prelucrării |
| 1  | $t_1 = 117,27$    |                       | 0  | 0  | 0  | pătrundere sculă   |
| 2  | $t_2 = 119,67$    |                       | $-l_{2,3} = 23,33$   | 1,66   | 2333                                     | așchiere   |
| 3  | $t_3 = 133,72$    |                       | 0  | 0  | 0  | retragere sculă  |
| 4  | $t_4 = 134,32$    |                       | $l_{36} = 11,66$   | 6,66   | 1166                                     | deplasare rapidă   |
| 5  | $t_5 = 136,07$    |                       | 0  | 0  | 0  | pătrundere sculă   |
| 6  | $t_6 = 138,47$    |                       | $l_{6,7} \cdot \cos 45 = -11,65$                                     | 1,66   | 1165                                     | așchiere   |
| 7  | $t_7 = 145,48$    |                       | 0  | 0  | 0  | așchiere   |
| 8  | $t_8 = 148,99$    |                       | $-l_{8,9} \cdot \sin 45 = 4,11$                                      | 1,66   | 411                                      | așchiere   |
| 9  | $t_9 = 152,49$    |                       | 0  | 0  | 0  | retragere sculă  |
| 10 | $t_{10} = 153,09$ | 32,50                 | 6,66   | 3250   | deplasare în poziția „de acasă”          |  |
| 1' | $t'_1 = 95,01$    | $B_{Mas}$<br>$\infty$ | 10,30  | 6,66   | 1030                                     | deplasare din poziția „de acasă” în situația de începere a prelucrării |
| 1  | $t_1 = 117,27$    |                       | 0  | 0  | 0  | pătrundere sculă   |
| 2  | $t_2 = 119,67$    |                       | 0  | 0  | 0  | așchiere   |
| 3  | $t_3 = 133,72$    |                       | 0  | 0  | 0  | retragere sculă  |
| 4  | $t_4 = 134,32$    |                       | 0  | 0  | 0  | deplasare rapidă   |
| 5  | $t_5 = 136,07$    | 0                     | 0  | 0  | pătrundere sculă                         |  |

| 1    | 2                  | 3                     | 4  | 5    | 6     | 7  |
|------|--------------------|-----------------------|--|------|-------|--|
| 6    | $t_6 = 138,47$     | $B_{Mas}$<br>$\infty$ | $l_{6,7} \cdot \sin 45 = 11,65$<br>$l_{78} = 5,82$ | 1,66 | 1165  | așchiere   |
| 7    | $t_7 = 145,48$     |                       |  | 1,66 | 582   | așchiere   |
| 8    | $t_8 = 148,99$     |                       |  | 1,66 | 411   | așchiere   |
| 9    | $t_9 = 152,49$     |                       |  | 0    | 0     | retragere<br>scula   |
| 10   | $t_{10} = 153,09$  |                       | 31,88  | 6,66 | 3188  | deplasare în<br>poziția „de acasă”   |
| 1'   | $t'_1 = 95,01$     | $C_{Mas}$<br>$\infty$ | -100,08  | 6,66 | 10008 | deplasare din poziția<br>„de acasă” în situația<br>de începere a prelucrării |
| 1    | $t_1 = 117,27$     |                       | $-\Delta z = 4$                                    | 1,66 | 400   | pătrundere<br>scula  |
| 2    | $t_2 = 119,67$     |                       | 0  | 0    | 0     | așchiere   |
| 3    | $t_3 = 133,72$     |                       | $\Delta z = 4$                                     | 6,66 | 400   | retragere<br>scula   |
| 4    | $t_4 = 134,32$     |                       | 0  | 0    | 0     | deplasare<br>rapidă  |
| 5    | $t_5 = 136,07$     |                       | $-\Delta z = 4$                                    | 1,66 | 400   | pătrundere<br>scula  |
| 6    | $t_6 = 138,47$     |                       | 0  | 0    | 0     | așchiere   |
| 7    | $t_7 = 145,48$     |                       | 0  | 0    | 0     | așchiere   |
| 8    | $t_8 = 148,99$     |                       | 0  | 0    | 0     | așchiere   |
| 9    | $t_9 = 152,49$     |                       | $\Delta z = 4$                                     | 6,66 | 400   | retragere<br>scula   |
| 10'  | $t_{10} = 153,09$  |                       | 100,08   | 6,66 | 10008 | deplasare în<br>poziția „de acasă”   |
| 0    | $t_0 = 0,00$       | $K_R$<br>$\infty$     | $(s_1)_0 = 622,38$                                 | 60   | 8427  | deplasare pe<br>translația lungă   |
| 11'  | $t'_{11} = 10,37$  |                       | 0  | 0    | 0     | prehensare<br>OL din Pa  |
| 11   | $t_{11} = 22,96$   |                       | 0  | 0    | 0     | preluare<br>Ol din Pa  |
| 11'' | $t''_{11} = 36,75$ |                       | $-(s_1)_{11} = 622,38$                             | 60   | -8427 | deplasare pe<br>translația lungă   |



| 1    | 2                  | 3                     | 4                               | 5                              | 6                                  | 7  |                                    |
|------|--------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|
| 6    | $t_6 = 138,47$     | $B_{Mas}$<br>$\infty$ | $l_{6,7} \cdot \sin 45 = 11,65$ | 1,66                           | 1165                               | așchiere   |                                    |
| 7    | $t_7 = 145,48$     |                       |                                 | $l_{78} = 5,82$                | 1,66                               | 582  | așchiere                           |
| 8    | $t_8 = 148,99$     |                       |                                 | $l_{8,9} \cdot \cos 45 = 4,11$ | 1,66                               | 411  | așchiere                           |
| 9    | $t_9 = 152,49$     |                       |                                 | 0                              | 0                                  | 0  | retragere<br>sculă                 |
| 10   | $t_{10} = 153,09$  |                       |                                 | 31,88                          | 6,66                               | 3188   | deplasare în<br>poziția „de acasă” |
| 1'   | $t'_1 = 95,01$     | $C_{Mas}$<br>$\infty$ | -100,08                         | 6,66                           | 10008                              | deplasare din poziția<br>„de acasă” în situația<br>de începere a prelucrării |                                    |
| 1    | $t_1 = 117,27$     |                       | $-\Delta z = 4$                 | 1,66                           | 400                                | pătrundere<br>sculă  |                                    |
| 2    | $t_2 = 119,67$     |                       | 0                               | 0                              | 0                                  | așchiere   |                                    |
| 3    | $t_3 = 133,72$     |                       | $\Delta z = 4$                  | 6,66                           | 400                                | retragere<br>sculă   |                                    |
| 4    | $t_4 = 134,32$     |                       | 0                               | 0                              | 0                                  | deplasare<br>rapidă  |                                    |
| 5    | $t_5 = 136,07$     |                       | $-\Delta z = 4$                 | 1,66                           | 400                                | pătrundere<br>sculă  |                                    |
| 6    | $t_6 = 138,47$     |                       | 0                               | 0                              | 0                                  | așchiere   |                                    |
| 7    | $t_7 = 145,48$     |                       | 0                               | 0                              | 0                                  | așchiere   |                                    |
| 8    | $t_8 = 148,99$     |                       | 0                               | 0                              | 0                                  | așchiere   |                                    |
| 9    | $t_9 = 152,49$     |                       | $\Delta z = 4$                  | 6,66                           | 400                                | retragere<br>sculă   |                                    |
| 10'  | $t_{10} = 153,09$  | 100,08                | 6,66                            | 10008                          | deplasare în<br>poziția „de acasă” |  |                                    |
| 0    | $t_0 = 0,00$       | $K_R$<br>$\infty$     | $(s_1)_0 = 622,38$              | 60                             | 8427                               | deplasare pe<br>translația lungă   |                                    |
| 11'  | $t'_{11} = 10,37$  |                       | 0                               | 0                              | 0                                  | prehensare<br>OL din Pa  |                                    |
| 11   | $t_{11} = 22,96$   |                       | 0                               | 0                              | 0                                  | preluare<br>Ol din Pa  |                                    |
| 11'' | $t''_{11} = 36,75$ |                       | $-(s_1)_{11} = 622,38$          | 60                             | -8427                              | deplasare pe<br>translația lungă   |                                    |

| 1   | 2                   | 3              | 4                           | 5     | 6      | 7                                |
|-----|---------------------|----------------|-----------------------------|-------|--------|----------------------------------|
| 11  | $t_{11} = 22,96$    | B <sub>R</sub> | $-(\theta_2)_{11} = -3,129$ | 0,248 | 10182  | preluare<br>Ol din Pa            |
| 11" | $t''_{11} = 36,75$  |                | 0                           | 0     | 0      | deplasare pe<br>translația lungă |
| 12' | $t'_{11} = 36,75$   |                | $-(\theta_2)_{12} = -2,63$  | 0,128 | 8567   | introducere<br>Ol în DL          |
| 12  | $t'_{12} = 47,12$   |                | $(\theta_2)_{12} = 2,63$    | 0,128 | -8567  | retragere EF<br>din zona DL      |
| 13' | $t_{12} = 67,60$    |                | $-(\theta_2)_{13} = -2,63$  | 0,128 | 8567   | prehensare<br>Ol din DL          |
| 13  | $t'_{13} = 184,46$  |                | $(\theta_2)_{13} = 2,63$    |       | -8567  | preluare<br>OL din DL            |
| 13" | $t_{13} = 206,14$   |                | 0                           | 0     | 0      | deplasare pe<br>translația lungă |
| 14' | $t''_{13} = 226,62$ |                | $(\theta_2)_{14} = 3,129$   | 0,248 | -10182 | depunere<br>Ol în Pa             |
| 0   | $t_0 = 0,00$        | C <sub>R</sub> | 0                           | 0     | 0      | deplasare pe<br>translația lungă |
| 11' | $t'_{11} = 10,37$   |                | $-(\theta_3)_{11} = -1,55$  | 0,123 | 5054   | prehensare<br>OL din Pa          |
| 11  | $t_{11} = 22,96$    |                | $(\theta_3)_{11} = 1,55$    | 0,123 | -5054  | preluare<br>Ol din Pa            |
| 11" | $t''_{11} = 36,75$  |                | 0                           | 0     | 0      | deplasare pe<br>translația lungă |
| 12' | $t'_{12} = 47,12$   |                | $(\theta_3)_{12} = 2,31$    | 0,113 | -7513  | introducere<br>Ol în DL          |
| 12  | $t_{12} = 67,60$    |                | $-(\theta_3)_{12} = -2,31$  | 0,113 | 7513   | retragere EF<br>din zona DL      |
| 13' | $t'_{13} = 184,46$  |                | $(\theta_3)_{13} = 2,31$    | 0,113 | -7513  | prehensare<br>Ol din DL          |
| 13  | $t_{13} = 206,14$   |                | $-(\theta_3)_{13} = -2,31$  | 0,113 | 7513   | preluare<br>OL din DL            |
| 13" | $t''_{13} = 226,62$ |                | 0                           | 0     | 0      | deplasare pe<br>translația lungă |
| 14' | $t'_{14} = 236,99$  |                | $-(\theta_3)_{14} = -1,55$  | 0,123 | 5054   | depunere<br>Ol în Pa             |

| 1    | 2                   | 3                          | 4                          | 5                          | 6     | 7                                |                                  |
|------|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0    | $t_0 = 0,00$        | DR                         | 0                          | 0                          | 0     | deplasare pe<br>translația lungă |                                  |
| 11'  | $t'_{11} = 10,37$   |                            | $-(\theta_4)_{11} = -0,38$ | 0,030                      | -609  | prehensare<br>OL din Pa          |                                  |
| 11   | $t_{11} = 22,96$    |                            | $(\theta_4)_{11} = 0,38$   | 0,030                      | 609   | preluare<br>OI din Pa            |                                  |
| 11'' | $t''_{11} = 36,75$  |                            | 0                          | 0                          | 0     | deplasare pe<br>translația lungă |                                  |
| 12'  | $t'_{12} = 47,12$   |                            | $(\theta_4)_{12} = 0,58$   | 0,028                      | 941   | introducere<br>OI în DL          |                                  |
| 12   | $t_{12} = 67,60$    |                            | $-(\theta_4)_{12} = -0,58$ | 0,028                      | -941  | retragere EF<br>din zona DL      |                                  |
| 13'  | $t'_{13} = 184,46$  |                            | $(\theta_4)_{13} = 0,58$   | 0,028                      | 941   | prehensare<br>OI din DL          |                                  |
| 13   | $t_{13} = 206,14$   |                            | $-(\theta_4)_{13} = -0,58$ | 0,028                      | -941  | preluare<br>OL din DL            |                                  |
| 13'' | $t''_{13} = 226,62$ |                            | 0                          | 0                          | 0     | deplasare pe<br>translația lungă |                                  |
| 14'  | $t'_{14} = 236,99$  |                            | $-(\theta_4)_{14} = -0,38$ | 0,030                      | -609  | depunere<br>OI în Pa             |                                  |
| 0    | $t_0 = 0,00$        |                            | GR                         | 0                          | 0     | 0                                | deplasare pe<br>translația lungă |
| 11'  | $t'_{11} = 10,37$   |                            |                            | $-(\theta_5)_{11} = -1,05$ | 0,083 | -1685                            | prehensare<br>OL din Pa          |
| 11   | $t_{11} = 22,96$    |                            |                            | $(\theta_5)_{11} = 1,05$   | 0,083 | 1685                             | preluare<br>OI din Pa            |
| 11'' | $t''_{11} = 36,75$  |                            |                            | 0                          | 0     | 0                                | deplasare pe<br>translația lungă |
| 12'  | $t'_{12} = 47,12$   | $-(\theta_5)_{12} = -0,79$ |                            | 0,038                      | -1262 | introducere<br>OI în DL          |                                  |
| 12   | $t_{12} = 67,60$    | $(\theta_5)_{12} = 0,79$   |                            | 0,038                      | 1262  | retragere EF<br>din zona DL      |                                  |
| 13'  | $t'_{13} = 184,46$  | $-(\theta_5)_{13} = -0,79$ |                            | 0,038                      | -1262 | prehensare<br>OI din DL          |                                  |
| 13   | $t_{13} = 206,14$   | $(\theta_5)_{13} = 0,79$   |                            | 0,038                      | 1262  | preluare<br>OL din DL            |                                  |

| 1    | 2                   | 3     | 4                          | 5     | 6     | 7                                |
|------|---------------------|-------|----------------------------|-------|-------|----------------------------------|
| 13'' | $t''_{13} = 226,62$ | $G_R$ | 0                          | 0     | 0     | deplasare pe<br>translația lungă |
| 14'  | $t'_{14} = 236,99$  |       | $-(\theta_4)_{14} = -1,05$ | 0,083 | -1685 | depunere<br>Ol în Pa             |

Tab.7.11 Date pentru programarea automată a funcționării componentelor mașină de lucru și robot  
din cadrul celulei de fabricație flexibilă

### Anexa 3

#### Cod sursă din cadrul aplicațiilor *GravText* și *GenSitSemnifCNC*

##### 1.1. Codul sursă care controlează entitățile din cadrul casetei de dialog “Modelare OL”

Option Explicit

'Variabile private

'-----

'Semnifabricatul iar dupa simulare, modelul piesei

Private m\_solidSemif As Acad3DSolid

'Coordonatele vertexurilor tuturor poliliniilor ce formeaza literele

Private m\_colCoordonateVertexui As New Collection

'Distanța de retragere a sculei măsurată de la planul inferior al canalului gravat

Private m\_distRetragereScula As Double

'Înălțimea planului inferior al canalului frezat

Dim m\_inaltimePlanInfLitera As Double

'Generează modelul solid care reprezintă semifabricatul

Private Sub GenereazaSemnifabricat()

Dim dblLungime As Double

Dim dblLatime As Double

Dim dblGrosime As Double

dblLungime = Val(txtSemifLungime.Text)

dblLatime = Val(txtSemifLatime.Text)

dblGrosime = Val(txtSemifGrosime.Text)

Dim origine(0 To 2) As Double

origine(0) = dblLungime / 2

origine(1) = dblLatime / 2

origine(2) = dblGrosime / 2

Dim semnif3D As Acad3DSolid

Set semnif3D = g\_acadApp.ActiveDocument.ModelSpace.AddBox(origine, dblLungime, dblLatime, dblGrosime)

Set m\_solidSemif = semnif3D

ZoomExtents

End Sub

Private Sub cmdGenereazaSituariSeminf\_Click()

Unload Me

'Creeaza o entitate AutoCAD de tip block cu modelul geom 3D al piesei  
CreeazaBlocDinPiesaSiSalveazaPeDisk

'Initializeaza pozitia de acasa  
InitializeazaPozitieSRsculaSRPiesa

'Genereaza o polilinie 3D reprezentind traiectoria punctului caracteristic al sculei  
GenereazaTraiectorieScula

g\_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "shademode" & vbCr & "3D" & vbCr

'Genereaza fisier situari semnificative  
GenerareSituariSemnifCNC g\_colVertTraFreza

'Generare fisier in format CNC  
PostprocesareSituariCNC

End Sub

'Creeaza o entitate AutoCAD de tip block cu modelul geom 3D al piesei  
Private Sub CreeazaBlocDinPiesaSiSalveazaPeDisk()

Dim strCaleFisier As String  
strCaleFisier = g\_strFolderPath & "\" & "model3DPiesa.dwg"

'Creeza bloc din piesa si salveaza  
g\_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "Filedia" & vbCr & "0" & vbCr  
g\_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "-wblock" & vbCr & strCaleFisier & vbCr &  
"" & vbCr  
g\_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "Filedia" & vbCr & "1" & vbCr

End Sub

'Initializeaza pozitia de acasa  
Public Sub InitializeazaPozitieSRsculaSRPiesa()  
'102.5702 Y = 150.0000 Z = 141.0000  
g\_dxSRPiesaScula = 102.5702 'HARDCODED  
g\_dySRPiesaScula = 150# 'HARDCODED  
g\_dzSRPiesaScula = 141# 'HARDCODED  
End Sub

'Genereaza traiectoria punctului caracteristic al sculei ca polilinie 3D  
Private Sub GenereazaTraiectorieScula()

'Uneste toate poliliniile si formeaza o colectie de vertexuri 3D, considerind si retragerile  
sculei

```

Dim colPolilinieTraiectorie As New Collection
Dim colPolilinie As New Collection
Dim colVertex As New Collection
Dim colVertexSuplim As New Collection
Dim dblVertex(0 To 2) As Double
Dim i As Integer
Dim j As Integer
For i = 1 To m_colCoordonateVertexui.Count
    Set colPolilinie = m_colCoordonateVertexui(i)
    For j = 1 To colPolilinie.Count
        Set colVertex = colPolilinie(j)

        'Se adauga un vertex pentru inceputul polilinieii
        'Cursa de INTRARE in material
        If j = 1 Then
            dblVertex(0) = colVertex(1)
            dblVertex(1) = colVertex(2)
            dblVertex(2) = colVertex(3) + m_distRetragereScula
            Set colVertexSuplim = Nothing
            colVertexSuplim.Add dblVertex(0)
            colVertexSuplim.Add dblVertex(1)
            colVertexSuplim.Add dblVertex(2)
            colPolilinieTraiectorie.Add colVertexSuplim
        End If

        'Se adauga vertexurile polilinieii
        dblVertex(0) = colVertex(1)
        dblVertex(1) = colVertex(2)
        dblVertex(2) = m_inaltimePlanInfLitera
        Set colVertexSuplim = Nothing
        colVertexSuplim.Add dblVertex(0)
        colVertexSuplim.Add dblVertex(1)
        colVertexSuplim.Add dblVertex(2)
        colPolilinieTraiectorie.Add colVertexSuplim

        'Se adauga un vertex pentru sfirsitul polilinieii
        'Cursa de IESIRE in material
        If j = colPolilinie.Count Then
            dblVertex(0) = colVertex(1)
            dblVertex(1) = colVertex(2)
            dblVertex(2) = colVertex(3) + m_distRetragereScula
            Set colVertexSuplim = Nothing
            colVertexSuplim.Add dblVertex(0)
            colVertexSuplim.Add dblVertex(1)
            colVertexSuplim.Add dblVertex(2)
            colPolilinieTraiectorie.Add colVertexSuplim
        End If
    Next ' j
Next ' i

```

'Aduaga 2 vertexuri corespunzatoare pozitiei de home a CNC

```
'-----  
Dim colVertexPozAcasa As New Collection  
colVertexPozAcasa.Add g_dxSRPiesaScula  
colVertexPozAcasa.Add g_dySRPiesaScula  
colVertexPozAcasa.Add g_dzSRPiesaScula  
'Poz de acasa la sfirsitul traiectoriei  
colPolilinieTraiectorie.Add colVertexPozAcasa  
'Poz de acasa la inceputul traiectoriei  
colPolilinieTraiectorie.Add colVertexPozAcasa, , 1
```

Set g\_colVertTraFreza = colPolilinieTraiectorie

```
'-----  
'Traseaza polilinia 3D care reprezinta traiectoria sculei  
'-----
```

```
Dim coord3DTraiectorie() As Double  
j = 0  
For i = 1 To colPolilinieTraiectorie.Count  
    Set colVertex = colPolilinieTraiectorie(i)  
    ReDim Preserve coord3DTraiectorie(j)  
    coord3DTraiectorie(j) = colVertex(1)  
    ReDim Preserve coord3DTraiectorie(j + 1)  
    coord3DTraiectorie(j + 1) = colVertex(2)  
    ReDim Preserve coord3DTraiectorie(j + 2)  
    coord3DTraiectorie(j + 2) = colVertex(3)  
    j = j + 3  
Next  
Dim poli3DTraiectorie As Acad3DPolyline  
Set poli3DTraiectorie =  
g_acadApp.ActiveDocument.ModelSpace.Add3DPoly(coord3DTraiectorie)  
poli3DTraiectorie.Color = acGreen  
poli3DTraiectorie.Update
```

End Sub

```
Private Sub cmdOk_Click()  
    Unload Me  
End Sub
```

'Genereaza o imagine a placii gravate in 3D  
Private Sub Vizualizare()

```
'Distanta de retragere de la suprafata placi  
Dim distRetragereDeLaSup As Double  
distRetragereDeLaSup = 5 'mm HARDCODED
```



```

'Deschide un nou document
g_acadApp.Documents.Add

g_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "erase" & vbCr & "all" & vbCr & vbCr

'Genereaza semifabricatul
GenereazaSeminfabricat

'Genereaza textul cu caracteristicile date
Dim insertionPoint(0 To 2) As Double
Dim strText As String
Dim strFont As Font
Dim dblHeigth As Double
Dim razaSc As Double
razaSc = Val(cmbGrosimeCaracter.Text) / 2
Dim inaltimePlanInfLitera As Double
inaltimePlanInfLitera = Val(txtSemifGosime) - Val(txtAdincimeCanal)
m_inaltimePlanInfLitera = inaltimePlanInfLitera

'Setarea distantei pentru retragerea sculei
m_distRetragereScula = inaltimePlanInfLitera + Val(txtAdincimeCanal) +
distRetragereDeLaSup 'HARDCODED distanta de la suprafata placii

'Seteaza unghiul de vedere
g_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "vpoint" & vbCr & "0,0,1" & vbCr
g_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "shademode" & "3D" & vbCr

strText = txtText.Text
dblHeigth = cmbFontDimens.Text
insertionPoint(0) = Val(txtDxDeLaColtPlaca.Text)
insertionPoint(1) = Val(txtDyDeLaColtPlaca.Text)
insertionPoint(2) = Val(txtSemifGosime.Text) - Val(txtAdincimeCanal.Text)
Dim objText As AcadText
Set objText = g_acadApp.ActiveDocument.ModelSpace.AddText(strText, insertionPoint,
dblHeigth)

'Sterge toate poliliniile din model inainte de explozarea textului
Dim selPolAnteriorText As AcadSelectionSet
Set selPolAnteriorText =
g_clsUtility.formeazaSelSetCuEntitatileDinModel("POLYLINE")
selPolAnteriorText.Erase

'Explodeaza textul si genereaza polilinii 2D
g_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "txtexp" & vbCr & "all" & vbCr & vbCr

'Extrage poliliniile 3D create prin explozia textului
Dim selPolRezultateDinText As AcadSelectionSet
Set selPolRezultateDinText =
g_clsUtility.formeazaSelSetCuEntitatileDinModel("POLYLINE")

```

```

'Formeaza o colectie cu coordonatele vertexurilor
Dim colCoordVertexuri As New Collection
Set colCoordVertexuri =
g_clsUtility.ExtrageVertexuriPoliliniiRezDinText(selPolRezultateDinText)
Set m_colCoordonateVertexui = colCoordVertexuri

'Seteaza unghiul de vedere
g_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "vpoint" & vbCr & "-1,-1,1" & vbCr

'Simuleaza extragerea de material
Dim colCoordPoliline As New Collection
Dim i As Integer
For i = 1 To colCoordVertexuri.Count

    Set colCoordPoliline = colCoordVertexuri(i)

    'Apeleaza functia pentru determinarea polilinieii inchise de contur a literei
    Dim LiteraSolida As Acad3DSolid
    Set LiteraSolida = g_clsUtility.ConstrieLiteraCaSolid(colCoordPoliline, razaSc,
inaltimePlanInfLitera)
    LiteraSolida.Color = acRed

    'Substrage litera din placa
    m_solidSemif.Boolean acSubtraction, LiteraSolida
    m_solidSemif.Update

Next

'Sterge toate poliliniile din model inainte de explodarea textului
Dim selLinii As AcadSelectionSet
Set selLinii = g_clsUtility.formeazaSelSetCuEntitatileDinModel("POLYLINE")
selLinii.Erase

g_acadApp.ActiveDocument.SendCommand "shademode" & vbCr & "Gouraud" & vbCr

End Sub

'Permite vizualizarea modelului piesei rezultate in urma gravarii
Private Sub cmdVizualizare_Click()
    Vizualizare
End Sub

'Incarca forma pentru setarile obiectului de lucru
Private Sub Form_Load()

    cmbFont.AddItem "simplex"
    cmbFont.AddItem "shx"
    cmbFont.Text = cmbFont.List(0)
    cmbFont.Refresh

```

```
cmbFontDimens.AddItem 12
cmbFontDimens.AddItem 14
cmbFontDimens.AddItem 16
cmbFontDimens.AddItem 18
cmbFontDimens.Text = cmbFontDimens.List(1)
cmbFontDimens.Refresh
```

```
cmbGrosimeCaracter.AddItem 3
cmbGrosimeCaracter.AddItem 4
cmbGrosimeCaracter.AddItem 5
cmbGrosimeCaracter.Text = cmbGrosimeCaracter.List(1)
cmbGrosimeCaracter.Refresh
```

End Sub

'Genereaza un fisier cu situarile semnificative corespunzatoare CNC

'Forma de stocare :

' NrCrt, x, y, z, nx, ny, nz, ox, oy, oz, ax, ay, az, timp, tipMiscare

Public Function GenerareSituariSemnifCNC(colVert As Collection) As Boolean

GenerareSituariSemnifCNC = False

'Se determina vitezele de intrare in aschiere, aschiere, retragere, deplasare

' a frezei deasupra materialului

Dim vAschiere As Double

Dim vPatrundere As Double

Dim vRetragere As Double

Dim vDeplasareExtPiesa As Double

'HARDCODED - Ochiometric

vAschiere = 0.001 'm/s

vPatrundere = 0.002 'm/s

vRetragere = 0.01 'm/s

vDeplasareExtPiesa = 0.02 'm/s

'Se deschide un fisier pentru scrierea situarilor semnificative pentru CNC

'scrie in fisierul text asociat programului

Dim fso As FileSystemObject

Dim txtstr As TextStream

Dim f As File

Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")

Dim strCaleFisier As String

strCaleFisier = g\_strFolderPath & "\" & "situariSemnifCNC.txt"

Set txtstr = fso.CreateTextFile(strCaleFisier, True)

'Se porneste de la colectia cu vertexurile punctului caracteristic al sculei pe traiectorie

Dim colV1 As New Collection

Dim colV2 As New Collection

Dim xV1 As Double

Dim yV1 As Double

```

Dim zV1 As Double
Dim xV2 As Double
Dim yV2 As Double
Dim zV2 As Double
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim dist As Double
Dim timp As Double
Dim strComentariu As String
Dim strSituareSemnif As String
Dim zFundCanal As Double
Dim zAfaraPiesa As Double 'Cota z a traiectoriei pt. caract al sculei deasupra piesei
Dim intTipMiscare As Integer ' 1-patrundere, 2-aschiere, 3-retragere , 4-deasupra
colVert.Add colVert(colVert.Count) 'Se mai adauga inca o data ultimul vertex pt scrierea
in fisier
For i = 1 To (colVert.Count - 1)

```

```

    strSituareSemnif = ""

```

```

    'Se considera 2 vertexuri succesive

```

```

    Set colV1 = colVert(i)

```

```

    Set colV2 = colVert(i + 1)

```

```

    xV1 = Round(colV1(1), 3)

```

```

    yV1 = Round(colV1(2), 3)

```

```

    zV1 = Round(colV1(3), 3)

```

```

    xV2 = Round(colV2(1), 3)

```

```

    yV2 = Round(colV2(2), 3)

```

```

    zV2 = Round(colV2(3), 3)

```

```

    'Setarea cotei z

```

```

    If i = 1 Then

```

```

        zAfaraPiesa = zV1

```

```

        zFundCanal = zV2

```

```

    End If

```

```

    'se compune sirul pentru situarea semnificativa

```

```

    strSituareSemnif = strSituareSemnif & CStr(i) & "," & _
        CStr(xV1) & "," & CStr(yV1) & "," & CStr(zV1) & ","

```

```

    strSituareSemnif = strSituareSemnif & "1,0,0,0,1,0,0,0,1,"

```

```

    'Se determina tipul miscarii intre cele 2 situari

```

```

    If zV2 < zV1 Then

```

```

        intTipMiscare = 1

```

```

    End If

```

```

    If (zV1 = zFundCanal) And (zV2 = zFundCanal) Then

```

```

        intTipMiscare = 2

```

```

    End If

```

```

    If zV2 > zV1 Then

```

```

        intTipMiscare = 3

```

```

End If
If (zV1 = zAfaraPiesa) And (zV2 = zAfaraPiesa) Then
    intTipMiscare = 4
End If

'Se determina distanta intree situarile semnificative
dist = Round(g_clsUtility.GetDistPtCol(colV1, colV2), 2)

'se calculeaza timpul necesar miscarii in secunde
Select Case intTipMiscare
    Case 1
        timp = (dist / 1000) / vPatrundere
        strComentariu = "patrunderea sculei"
    Case 2
        timp = (dist / 1000) / vAschiere
        strComentariu = "aschiere"
    Case 3
        timp = (dist / 1000) / vRetragere
        strComentariu = "retragerea sculei"
    Case 4
        timp = (dist / 1000) / vDeplasareExtPiesa
        strComentariu = "deplasarea sculei deasupra materialului"
    Case Else
        MsgBox "Traectoria sculei e ciudata !"
End Select

'se compune linia de text care se scrie in fisier
strSituareSemnif = strSituareSemnif & CStr(timp) & "," & strComentariu

'se scrie linia in fisier
txtstr.WriteLine strSituareSemnif

Next

'Inchiderea fisierului
txtstr.Close

GenerareSituariSemnifCNC = True

End Function

'Transformare din format cu situari in format CNC
Public Function PostprocesareSituariCNC()

'Deschidere fisier cu situarile semnificative pentru CNC
Dim fso As FileSystemObject
Dim txtstrSituari As TextStream
Dim f As File
Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")

```

```
Dim strCaleFisierSituariCNC As String
strCaleFisierSituariCNC = g_strFolderPath & "\" & "situariSemnifCNC.txt"
Set txtstrSituari = fso.OpenTextFile(strCaleFisierSituariCNC, True)
```

```
'Deschidere fisier pentru scrierea codului CNC
Dim txtstrCNC As TextStream
Dim strCaleFisierCodCNC As String
strCaleFisierCodCNC = g_strFolderPath & "\" & "codSursaCNC.txt"
Set txtstrCNC = fso.CreateTextFile(strCaleFisierCodCNC, True)
```

```
'Postprocesare fisier situari
```

```
'Inchidere fisier cu situarile semnificative pentru CNC
txtstrSituari.Close
```

```
'Inchidere fisier pentru scrierea codului CNC
txtstrCNC.Close
```

```
End Function
```

## 1.2. Cod sursă din cadrul clasei cu funcții utilitare

Option Explicit

```
'-----
'Formeaza o multime de selectie cu toate entitatile din document
'de tipul specificat ca parametru
'-----
Public Function formeazaSelSetCuEntitatileDinModel(strTip As String) As AcadSelectionSet

'Creeaza multimea de selectie
Dim ssPol As AcadSelectionSet
On Error Resume Next
'Sterge multimea de selectie
g_acadApp.ActiveDocument.SelectionSets("TempForSelect").Clear
g_acadApp.ActiveDocument.SelectionSets("TempForSelect").Delete
If Err.Number <> 0 Then Err.Clear
On Error GoTo 0
Set ssPol = g_acadApp.ActiveDocument.SelectionSets.Add("TempForSelect")

Dim gpCode(0) As Integer
gpCode(0) = 0

Dim dataValue(0) As Variant
dataValue(0) = strTip

Dim groupCode As Variant, dataCode As Variant

groupCode = gpCode
```

```
dataCode = dataValue
```

```
'Permite selectarea entitatilor in acad  
ssPol.Select acSelectionSetAll, , , groupCode, dataCode
```

```
Set formeazaSelSetCuEntitatileDinModel = ssPol
```

```
End Function
```

```
'-----  
'Extrage vertexurile poliliniilor rezultate din text  
'-----
```

```
Public Function ExtrageVertexuriPoliliniiRezDinText(selPol As AcadSelectionSet) As  
Collection
```

```
'Extrage coordonate vertexuri polilinii  
Dim colPolilinii As New Collection  
Dim colPolilinie As New Collection  
Dim colVertPolil As New Collection
```

```
Dim entPolil As AcadEntity  
Dim polPolil As AcadPolyline  
Dim coordPolil As Variant  
Dim i As Integer  
Dim j As Integer  
For Each entPolil In selPol  
Set polPolil = entPolil  
coordPolil = polPolil.Coordinates  
i = 0  
While i < UBound(coordPolil)  
colVertPolil.Add coordPolil(i)  
colVertPolil.Add coordPolil(i + 1)  
colVertPolil.Add coordPolil(i + 2)  
colPolilinie.Add colVertPolil  
Set colVertPolil = Nothing  
i = i + 3  
Wend  
colPolilinii.Add colPolilinie  
Set colPolilinie = Nothing  
Next
```

```
Set ExtrageVertexuriPoliliniiRezDinText = colPolilinii
```

```
End Function
```

```
'-----  
'Determina polilinie inchisa Offset  
'-----
```

```
Public Function ConstriesteLiteraCaSolid(colVertexuri As Collection, _
```

razaSc As Double, inaltimePlanInfLitera As Double) As Acad3DSolid

'Documentul activ

Dim doc As AcadDocument

Set doc = g\_acadApp.ActiveDocument

'Spatiul model a documentului activ

Dim model As AcadModelSpace

Set model = doc.ModelSpace

'Utility a documentului activ

Dim util As AcadUtility

Set util = doc.Utility

'Se considera succesiv cite 2 vertexuri

Dim i As Integer

Dim colV1 As New Collection

Dim colV2 As New Collection

Dim v1(0 To 2) As Double

Dim v2(0 To 2) As Double

Dim angleV1V2 As Double

Dim distV1V2 As Double

Dim ptCenterSolid(0 To 2) As Double

Dim solidCurent As Acad3DSolid

Dim solidLitera As Acad3DSolid

For i = 1 To colVertexuri.Count - 1

    Set colV1 = colVertexuri(i)

    Set colV2 = colVertexuri(i + 1)

    v1(0) = colV1(1)

    v1(1) = colV1(2)

    v1(2) = colV1(3)

    v2(0) = colV2(1)

    v2(1) = colV2(2)

    v2(2) = colV2(3)

    angleV1V2 = util.AngleFromXAxis(v1, v2)

    distV1V2 = CalcDist(v1, v2)

    'Se genereaza un cilindru in primul vertex al polilinieii

    If i = 1 Then

        ptCenterSolid(0) = v1(0)

        ptCenterSolid(1) = v1(1)

        ptCenterSolid(2) = inaltimePlanInfLitera + (20# / 2)

        Set solidLitera = model.AddCylinder(ptCenterSolid, razaSc, 20#)

        solidLitera.Color = acRed

        solidLitera.Update

    End If

'Se genereaza canalul intre 2 vertexuri

ptCenterSolid(0) = (v1(0) + v2(0)) / 2

ptCenterSolid(1) = (v1(1) + v2(1)) / 2

ptCenterSolid(2) = inaltimePlanInfLitera + (20# / 2)



```
Set solidCurent = model.AddBox(ptCenterSolid, distV1V2, 2 * razaSc, 20#)
'roteste solidul pentru alinierea cu canalul
solidCurent.Rotate ptCenterSolid, angleV1V2
'Uneste solidul cu cel anterior
solidLitera.Boolean acUnion, solidCurent
solidLitera.Update
```

```
'Se genereaza un cilindru in primul vertex al polilinieii
ptCenterSolid(0) = v2(0)
ptCenterSolid(1) = v2(1)
ptCenterSolid(2) = inaltimePlanInfLitera + (20# / 2)
Set solidCurent = model.AddCylinder(ptCenterSolid, razaSc, 20#)
'Uneste solidul cu cel anterior
solidLitera.Boolean acUnion, solidCurent
solidLitera.Update
```

Next

```
Set ConstriesteLiteraCaSolid = solidLitera
```

End Function

```
Public Function CalcDist(p1 As Variant, p2 As Variant) As Double
    CalcDist = Sqr((p2(0) - p1(0)) ^ 2 + (p2(1) - p1(1)) ^ 2 + (p2(2) - p1(2)) ^ 2)
End Function
```

```
Public Function GetDistPtCol(p1 As Collection, p2 As Collection) As Double
    GetDistPtCol = Sqr((p2(1) - p1(1)) ^ 2 + (p2(2) - p1(2)) ^ 2 + (p2(3) - p1(3)) ^ 2)
End Function
```

## Anexa 4

### Cod sursa din cadrul aplicatiei *SimFrez*

#### Option Explicit

##### 'Variabile locale

```
Private m_cap_frezare As AcadEntity
Private m_masa_freza_depl_Y As AcadEntity
Private m_masa_freza_depl_X As AcadEntity
Private m_bac_mobil_menghina As AcadEntity
Private m_piesa As AcadEntity
Private m_usaProtectie As AcadEntity
```

##### 'Regenereaza ecranul pentru vizualizare

```
Private Function UpdateEntsCIM()
    m_cap_frezare.Update
    m_masa_freza_depl_X.Update
    m_bac_mobil_menghina.Update
    m_masa_freza_depl_Y.Update
    m_piesa.Update
End Function
```

##### 'Initializeaza entitatile AutoCAD

```
Public Function InitializeazaEntitatiAcad()
```

##### 'Insereaza blocul cu piesa

```
'-----
Dim strCaleFisier As String
strCaleFisier = g_strFolderPath & "\" & "model3DPiesa.dwg"
Dim ptInsertie(0 To 2) As Double
ptInsertie(0) = 395#
ptInsertie(1) = 250#
ptInsertie(2) = 929#
Dim blref As AcadBlockReference
Set blref = g_acadApp.ActiveDocument.ModelSpace.InsertBlock(ptInsertie, strCaleFisier,
1#, 1#, 1#, 0#)
```

##### 'Seteaza variabilele private

```
'-----
Set m_cap_frezare = g_acadApp.ActiveDocument.HandleToObject("1C1")
Set m_masa_freza_depl_Y = g_acadApp.ActiveDocument.HandleToObject("193")
Set m_masa_freza_depl_X = g_acadApp.ActiveDocument.HandleToObject("18D")
Set m_bac_mobil_menghina = g_acadApp.ActiveDocument.HandleToObject("187")
Set m_usaProtectie = g_acadApp.ActiveDocument.HandleToObject("14E")
Set m_piesa = blref
```

```
End Function
```

##### 'Simuleaza deaschiderea si inchiderea usii

```
Private Function DeschideInchideUsa(bolIfDeschide As Boolean)
```

```

Dim p1(0 To 2) As Double
Dim p2(0 To 2) As Double
p1(0) = 0
p1(1) = 0
p1(2) = 0
If bollfDeschide = True Then
    p2(0) = 20
Else
    p2(0) = -20
End If
p2(1) = 0
p2(2) = 0

Dim i As Integer
For i = 1 To 20
    m_usaProtectie.Move p1, p2
    m_usaProtectie.Update
Next
End Function

```

‘Simuleaza deschiderea si inchiderea mec de prehensiune

Private Function DeschideInchideMecPrehens(bollfDeschide As Boolean)

```

Dim p1(0 To 2) As Double
Dim p2(0 To 2) As Double
p1(0) = 0
p1(1) = 0
p1(2) = 0
If bollfDeschide = True Then
    p2(0) = -30
Else
    p2(0) = 30
End If
p2(1) = 0
p2(2) = 0

```

```

m_bac_mobil_menghina.Move p1, p2

```

End Function

Private Function DeplaseazaX(depl As Double)

```

If depl = 0 Then Exit Function
Dim p1(0 To 2) As Double
Dim p2(0 To 2) As Double
p1(0) = 0
p1(1) = 0
p1(2) = 0
p2(0) = depl
p2(1) = 0
p2(2) = 0

```

```
m_masa_freza_depl_X.Move p1, p2
m_bac_mobil_menghina.Move p1, p2
m_piesa.Move p1, p2
```

End Function

Private Function DeplaseazaY(depl As Double)

If depl = 0 Then Exit Function

```
Dim p1(0 To 2) As Double
```

```
Dim p2(0 To 2) As Double
```

```
p1(0) = 0
```

```
p1(1) = 0
```

```
p1(2) = 0
```

```
p2(0) = 0
```

```
p2(1) = depl
```

```
p2(2) = 0
```

```
m_masa_freza_depl_X.Move p1, p2
```

```
m_bac_mobil_menghina.Move p1, p2
```

```
m_piesa.Move p1, p2
```

```
m_masa_freza_depl_Y.Move p1, p2
```

End Function

Private Function DeplaseazaZ(depl As Double)

If depl = 0 Then Exit Function

```
Dim p1(0 To 2) As Double
```

```
Dim p2(0 To 2) As Double
```

```
p1(0) = 0
```

```
p1(1) = 0
```

```
p1(2) = 0
```

```
p2(0) = 0
```

```
p2(1) = 0
```

```
p2(2) = depl
```

```
m_cap_frezare.Move p1, p2
```

End Function

Private Sub cmdExecutaRel\_Click()

```
DeplaseazaX (Val(txtDepXrel.Text))
```

```
DeplaseazaY (Val(txtDepYrel.Text))
```

```
DeplaseazaZ (Val(txtDepZrel.Text))
```

```
UpdateEntsCIM
```

End Sub

Private Sub cmdOk\_Click()

    Unload Me

End Sub

‘Porneste simularea pe baza fisierului cu situarile semnificative ale sculei in raport cu OL

Private Sub cmdStartSimulare\_Click()

    '-----

    'Deschide fisierul cu situari si formeaza o colectie

    'cu elem situari

    '-----

    Dim fso As FileSystemObject

    Dim txtstr As TextStream

    Dim f As File

    Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")

    Dim strCaleFisier As String

    strCaleFisier = g\_strFolderPath & "\" & "situariSemnifCNC.txt"

    Set txtstr = fso.OpenTextFile(strCaleFisier, ForReading)

    Dim strLinieFis As String

    Dim colLiniiFisierSituari As New Collection

    While (txtstr.AtEndOfStream = False)

        colLiniiFisierSituari.Add txtstr.ReadLine

    Wend

    txtstr.Close

    'Pentru fiecare situatie

    '-----

    Dim depAbsXCurent As Double

    Dim depAbsYCurent As Double

    Dim depAbsZCurent As Double

    Dim depAbsXAnterior As Double

    Dim depAbsYAnterior As Double

    Dim depAbsZAnterior As Double

    Dim dX As Double 'Deplasari relative

    Dim dY As Double

    Dim dZ As Double

    Dim varLinieFis As Variant

    Dim colDateSituareSemnif As New Collection

    Dim bolIsPrimaLinie As Boolean

    bolIsPrimaLinie = True

    For Each varLinieFis In colLiniiFisierSituari

        strLinieFis = CStr(varLinieFis)

        Set colDateSituareSemnif = StrCuSepToCol(strLinieFis, ",")

        depAbsXCurent = Val(colDateSituareSemnif(2))

```

depAbsYCurent = Val(colDateSituareSemnif(3))
depAbsZCurent = Val(colDateSituareSemnif(4))

'Completeaza forma
'-----
txtDepXabs.Text = CStr(depAbsXCurent)
txtDepYabs.Text = CStr(depAbsYCurent)
txtDepZabs.Text = CStr(depAbsZCurent)
txtAvans.Text = Int(colDateSituareSemnif(14)) * 10
txtDescriere.Text = CStr(colDateSituareSemnif(15))
txtNrSituare.Text = CStr(colDateSituareSemnif(1)) & "/" &
CStr(colLiniiFisierSituari.Count)
If bolIsPrimaLinie = True Then
    depAbsXAnterior = depAbsXCurent
    depAbsYAnterior = depAbsYCurent
    depAbsZAnterior = depAbsZCurent
Else
    txtPozX.Text = CStr(depAbsXAnterior)
    txtPozY.Text = CStr(depAbsYAnterior)
    txtPozZ.Text = CStr(depAbsZAnterior)
    dX = depAbsXCurent - depAbsXAnterior
    dY = depAbsYCurent - depAbsYAnterior
    dZ = depAbsZCurent - depAbsZAnterior
    txtDepXrel.Text = CStr(dX)
    txtDepYrel.Text = CStr(dY)
    txtDepZrel.Text = CStr(dZ)
End If

depAbsXAnterior = depAbsXCurent
depAbsYAnterior = depAbsYCurent
depAbsZAnterior = depAbsZCurent

Me.Refresh

'Executa miscarea
DeplaseazaX -1 * dX
DeplaseazaY -1 * dY
DeplaseazaZ dZ
UpdateEntsCIM

'Creaza fisierul in format CNC
CreazaFisierCNCdinSitSemnif

sleep 200

bolIsPrimaLinie = False

Next

End Sub

```

Private Sub Form\_Load()

    InitializeazaEntitatiAcad

End Sub

Private Sub optMenghinaDeschisa\_Click()

    DeschideInchideMecPrehens (True)

End Sub

Private Sub optMenghinaInchisa\_Click()

    DeschideInchideMecPrehens (False)

End Sub

Private Sub optUsaDeschisa\_Click()

    DeschideInchideUsa (True)

End Sub

Private Sub optUsaInchisa\_Click()

    DeschideInchideUsa (False)

End Sub