

Nr. Inv. 027/34

Dulap _____ Lit. 5

tatea "Politehnica" din Timișoara

**OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE FABRICAȚIE FLEXIBILĂ
PENTRU PRELUCRĂRI PRIN AȘCHIERE/EROZIUNE**

Teză de doctorat

Autor:

ing. Sanda Margareta Grigorescu

Conducător științific

Prof. Dr. ing. Dr. h. c. Francisc V. Kovács

2000

Cuvânt înainte

627-704
181 E

Domeniul fabricației flexibile este multidisciplinar, însumând informații și tehnici foarte diferite ce aparțin unor teme educaționale și de cercetare diverse: tehnologii, mașini de lucru cu comandă numerică, robotică, informatică, automatică.

“Sistemul cunoștințelor” necesare sintezei și exploatării sistemelor de fabricație flexibilă este deosebit de complex, având un număr mare de elemente de informație și puternice și determinante corelații între acestea.

Abordarea unui astfel de domeniu implică o puternică viziune de ansamblu și deopotrivă o atentă aplecare asupra detaliilor.

Pot afirma aici că o asemenea formare a fost posibilă sub atenta îndrumare a Domnului Profesor Doctor inginer Francisc Kovacs, căruia îi datorez introducerea mea în acest univers fascinant și de asemenea aprofundarea cunoștințelor teoretice și practice cuprinse în aceste pagini. Tot Dânsului îi datorez oportunitatea de a învăța, lucra și utiliza echipamentul performant care este sistemul CIM Eshed Robotec. Ii mulțumesc cu acest prilej și îi dedic această lucrare.

Aș dori să mulțumesc și referenților științifici ai tezei pentru grija cu care au parcurs lucrarea și sugestiile pentru continuarea cercetărilor.

Sanda Grigorescu

Cuprins

Pagina

Cuvânt înainte	
1. Introducere	
2. Stadiul actual al cercetărilor și realizărilor în domeniul SFF	1
2.1. Automatizarea flexibilă a fabricației	1
2.2. Definiții și structura SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune	5
2.2.1. Analiza definițiilor SFF	5
2.2.2. Structura și funcțiile SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune	7
2.3. Sinteza SFF	10
2.3.1. Etapele sintezei SFF	10
2.3.2. Elaborarea tehnologiei de grup	12
2.3.3. Alegerea componentelor SFF	13
2.3.3.1. Alegerea componentelor subsistemului de prelucrare	13
2.3.3.2. Alegerea componentelor subsistemului de manipulare	14
2.3.4. Stabilirea ciclogramei de funcționare	14
2.3.5. Stabilirea planului de amplasament al componentelor SFF	15
2.4. Structuri MAP pentru SFF	16
2.4.1. Protocoale de comunicare MAP/TOP	16
2.4.2. Arhitectura ierarhizată a sistemelor de comandă a SFF	18
2.4.3. Arhitectura descentralizată a sistemelor de comandă a SFF	23
2.5. Monitorizarea și diagnoza automată a SFF	26
2.5.1. Considerații generale	26
2.5.2. Metode de monitorizare și diagnoză	33
2.6. Modelarea SFF și simularea funcționării sistemelor	35
2.6.1. Modelarea și simularea ca mijloace de asistare a sintezei SFF	35
2.6.2. Modelarea în rețea a șirurilor de aşteptare	37
2.6.3. Modelarea prin programare matematică	39
2.6.4. Modelarea prin utilizarea rețelelor Petri	40
2.6.5. Modelarea și simularea pe calculator a funcționării SFF	43
2.7. Exemple de SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune	45
2.7.1. Exemple de SFF pentru prelucrări prin aşchiere	45
2.7.2. Exemple de SFF pentru prelucrări prin eroziune	49
2.8. Considerații economice și sociale pentru evaluarea SFF	51
2.8.1. Considerații economice ale evaluării SFF	51
2.8.2. Considerații sociale ale evaluării SFF	52
3. Scopul lucrării	53
3.1. Formularea obiectului cercetării sistemice a SFF	53
3.1.1. Relații matematice de modelare a unui sistem	53
3.1.2. Relații matematice fundamentale de modelare a SFF	54
3.2. Modelul optimizării unui sistem discret	57
3.3. Optimizarea SFF	59
4. Contribuții la sinteza optimală a SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune	61
4.1. Analiza sarcinii de fabricație a unui SFF	61
4.1.1. Flexibilitatea SFF	61
4.1.2. Modalități de evaluare a atributelor de flexibilitate ale componentelor	64
4.1.3. Modalități de estimare a atributelor de flexibilitate ale componentelor SFF	66
4.1.4. Modalități de corelare a sarcinii de fabricație cu flexibilitatea componentelor sistemului	67
4.1.5. Criterii de clasificare a pieselor aplicabile tehnologiei de grup	72
4.1.6. Metodă matricială de elaborare a proceselor tehnologice de grup pentru	

prelucrări prin aşchiere/eroziune	75
4.1.7. Metodă matricială pentru determinarea numărului de tipuri de maşini din SFF şi capacităţii magaziei de scule (aplicaţia A)	77
4.1.8. Metodă matricială pentru determinarea familiilor (grupelor) de piese (aplicaţia B)	80
4.1.9. Contribuţii la creşterea flexibilităţii dispozitivelor de situare a pieselor în SFF	81
4.1.9.1. Dispozitive de situare a pieselor în SFF	81
4.1.9.2. Situarea pieselor cu suprafeţe principale de revoluţie pe palete	82
4.1.9.3. Modelul programării matematice liniare pentru optimizarea dimensionării prisme cu role reglabile	84
4.1.9.4. Situarea pieselor prismatice pe palete	86
4.2. Contribuţii la sinteza structurală a SFF	89
4.2.1. Arhitectura SFF	89
4.2.2. Criterii de alegere a componentelor SFF	91
4.2.3. Structura subsistemului de prelucrare	93
4.2.4. Structura subsistemului de manipulare	96
4.2.4.1. Stabilirea structurii subsistemului de manipulare propriu-zisă	96
4.2.4.2. Stabilirea structurii subsistemului de depozitare	100
4.2.4.3. Stabilirea structurii subsistemului de transfer lung	104
4.2.5. Alegerea variantei optime de structură a SFF	105
4.2.6. Program de stabilire a structurii unui SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune	107
4.3. Contribuţii la optimizarea planului de amplasament (“layout”) al SFF	108
4.3.1. Consideraţii generale privind planul de amplasament (“layout”)	108
4.3.2. Contribuţii la definirea spaţiilor de lucru şi de coliziune ale elementelor componente ale SFF	110
4.3.3. Relaţii matematice de determinare a elementelor geometrice necesare modelării planului de amplasament al SFF	117
4.3.3.1. Relaţii matematice pentru determinarea frontierelor spaţiilor de lucru	117
4.3.3.2. Relaţii geometrice între spaţiile de lucru aparţinând unor echipamente diferite	121
4.3.3.3. Relaţii matematice pentru determinarea frontierelor spaţiilor de coliziune	123
4.3.3.4. Relaţii geometrice între frontierele spaţiilor de lucru/de coliziune definite în raport cu sisteme de referinţă diferite	216
4.3.3.5. Determinarea lungimii segmentului de dreaptă delimitat de poziţia “start” şi poziţia “pintă”	127
4.3.4. Modelul optimizării planului de amplasament al SFF pentru prelucrări prin aşchiere/ero- ziune	129
4.3.5. Optimizarea planului de amplasament al staţiei de frezare a sistemului CIM Eshed-Robotec	132
4.4. Contribuţii la sinteza optimală a ciclogramelor de funcţionare a SFF	152
4.4.1. Definiţia ciclogramei şi scopul sintezei acesteia	152
4.4.2. Obiectivele optimizării ciclogramei de funcţionare a SFF	155
4.4.3. Optimizarea manipulării de către robotul industrial a obiectului de lucru între o situare iniţială şi finală a acestuia	158
4.4.3.1. Introducere	158
4.4.3.2. Minimizarea timpului de trecere din situarea iniţială în situarea finală a obiectului de lucru/dispozitivului de prehensiune	162
4.4.3.3. Reducerea amplitudinilor “mişcărilor parazite” ale punctului caracteristic între poziţia “start” şi poziţia “pintă”	166
4.4.3.4. Limitarea intensităţii rezultantei forţei masice care acţionează asupra obiectului de lucru/dispozitivului de prehensiune în timpul deplasării între poziţiile “start” şi “pintă”	169

4.4.3.5. Exemplu de rezolvare a optimizării manipulării de către robot a unui obiect de lucru	172
4.4.4. Maximizarea simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare	179
4.4.4.1 Introducere	179
4.4.4.2. Verificarea capacității productive a componentei de manipulare CSNS sau CNS pentru activități nesimultane de servire a M_s mașini de lucru	184
4.4.4.3. Verificarea posibilităților de începere a activităților simultane cu operațiile de prelucrare pentru componenta de manipulare care desfășoară și activități simultane și activități nesimultane (CSNS)	186
4.4.4.4 Verificarea posibilităților de desfășurare a activităților simultane cu operațiile de prelucrare pentru componenta de manipulare CS care colaborează cu componenta CSNS	188
4.4.4.5 Verificarea posibilităților de desfășurare a activităților simultane cu operațiile de prelucrare pentru componenta CS care colaborează cu o componentă CNS	190
4.4.4.6. Structura programului de maximizare a simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare	195
4.4.5. Stabilirea succesiunii de desfășurare a activităților pe baza unui protocol de funcționare optim	195
4.4.5.1. Stabilirea succesiunii operațiilor desfășurate de subsistemul de prelucrare	195
4.4.5.2. Optimizarea succesiunii operațiilor de prelucrare funcție de ordinea de intrare a pieselor în sistem	202
4.4.5.3. Stabilirea succesiunii de desfășurare a activităților subsistemului de manipulare	209
4.4.6. Studii de caz ale unor optimizări de ciclograme de funcționare a SFF	214
4.4.6.1. Studiu de caz având ca obiectiv maximizarea simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare	214
4.4.6.2. Implementarea protocolului de funcționare “timpul rămas de prelucrare” în cazul sistemului “CIM-Eshed Robotec”	219
4.4.6.3. Concluzii privind optimizarea ciclogramei de funcționare a SFF	224
5. Contribuții la modelarea SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune și simularea funcționării acestora pe calculator	226
5.1. Introducere	226
5.2. Structura modelului corespunzător SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune	227
5.2.1. Modelarea echipamentelor de depozitare centrală din cadrul SFF	227
5.2.1.1. Entitățile permanente ale modelului echipamentelor de depozitare centrală	227
5.2.1.2. Entitățile temporale ale modelului echipamentelor de depozitare centrală	228
5.2.1.3. Atributele entităților modelului echipamentelor de depozitare centrală	228
5.2.1.4. Variabilele de stare ale entităților modelului echipamentelor de depozitare centrală	229
5.2.1.5. Activitățile entităților permanente ale modelului echipamentelor de depozitare centrală	230
5.2.1.6. Condițiile de pornire ale activităților entităților permanente din modelul echipamentelor de depozitare centrală	231
5.2.1.7. Contoarele parametrilor de performanță ai modelului echipamentelor de depozitare centrală	232
5.2.2. Modelarea echipamentelor de transfer lung din cadrul SFF	232
5.2.2.1. Entitățile permanente ale modelului dispozitivelor de transfer lung	232
5.2.2.2. Entitățile temporale ale modelului dispozitivelor de transfer lung	234
5.2.2.3. Atributele entităților modelului dispozitivelor de transfer lung	234
5.2.2.4. Variabilele de stare ale entităților modelului dispozitivelor de transfer lung	234
5.2.2.5. Activitățile entităților permanente ale modelului dispozitivelor de transfer lung	235
5.2.2.6. Condițiile de pornire ale activităților entităților permanente din modelul dispozitivelor de transfer lung	236
5.2.2.7. Contoarele parametrului de performanță al modelului dispozitivelor de transfer lung	238

5.2.2.8. Modelarea dispozitivelor cu funcții de manipulare în cadrul SFF	238
5.2.3. Modelarea mașinilor de lucru din cadrul SFF	239
5.2.3.1. Entitățile permanente ale modelului mașinilor de lucru	239
5.2.3.2. Entitățile temporale ale modelului mașinilor de lucru	239
5.2.3.3. Atributele entităților modelului mașinilor de lucru	240
5.2.3.4. Variabilele de stare ale entităților modelului mașinilor de lucru	240
5.2.3.5. Activitățile entităților permanente ale modelului mașinilor de lucru	241
5.2.3.6. Condițiile de pornire ale activităților entităților permanente din modelul mașinilor de lucru	241
5.2.3.7. Contoarele parametrilor de performanță ai modelului mașinilor de lucru	241
5.2.4. Modelarea echipamentelor de manipulare din cadrul SFF	242
5.2.4.1. Entitățile permanente ale modelului echipamentelor de manipulare	242
5.2.4.2. Entitățile temporale ale modelului echipamentelor de manipulare	243
5.2.4.3. Atributele entităților modelului echipamentelor de manipulare	243
5.2.4.4. Variabilele de stare ale entităților modelului echipamentelor de manipulare	244
5.2.4.5. Activitățile entităților permanente ale modelului echipamentelor de manipulare	244
5.2.4.6. Condițiile de pornire ale activităților entităților permanente din modelul echipamentelor de manipulare	244
5.2.4.7. Contoarele parametrilor de performanță ai modelului echipamentelor de manipulare	245
5.3. Protocoale de funcționare din cadrul modelului SFF	245
5.3.1. Generalități	245
5.3.2. Protocoale de funcționare pentru modelul depozitului central	246
5.3.3. Protocoale de funcționare pentru modelul dispozitivelor de transfer lung	251
5.3.4. Protocoale de funcționare pentru modelul roboților cu poliservire	254
5.4. Datele inițiale ale programului de simulare a funcționării SFF	255
5.5. Structura programului de simulare pe bază de activități a funcționării SFF	256
5.6. Validarea programului de simulare	256
5.7. Analiza valorilor parametrilor de performanță rezultați în urma simulării de sistem	256
6. Contribuții la monitorizarea și diagnoza operațională automată	259
6.1. Introducere	259
6.2. Sinteza sistemului de monitorizare operațională automată a sistemului CIM Eshed Robotec	261
6.2.1. Facilități și elemente existente pentru supravegherea funcționării sistemului CIM Eshed Robotec	261
6.2.2. Succesiunea activităților, condițiile de început și rapoarte de sfârșit ale acestora pentru desfășurarea fabricației la sistemul CIM Eshed Robotec	264
6.2.3. Stabilirea semnalelor de monitorizare operațională și simptomelor defecțiunilor posibile în funcționarea sistemului CIM Eshed Robotec	271
6.2.3.1. Stabilirea semnalelor de monitorizare operațională. Stabilirea echipamentelor aferente	271
6.2.3.2. Stabilirea simptomelor și modalităților de sesizare a defecțiunilor	273
6.3. Sinteza sistemului de diagnoză operațională automată a sistemului CIM Eshed Robotec	276
6.3.1. Stabilirea schemei logice simptom-cauză	276
6.3.2. Exemplu de modificare a programelor de utilizator ale stației ASRS pentru monitorizarea preluării paletelor din locul depozitului	283
7. Concluzii și contribuții personale	285
8. Bibliografie	288

1. Introducere

Sistemele de fabricație flexibilă (SFF) constituie de mai bine de douăzeci de ani, mijlocul prin care, pe plan mondial, s-a obținut un progres tehnic constant, în condițiile unui mediu concurențial puternic constrângător privind calitatea, varietatea produselor și productivitatea.

Problemele actuale ale SFF nu privesc implementarea lor în cadrul diferitelor tehnologii, ceea ce s-a realizat deja, ci o mai bună funcționare a sistemelor, un “răspuns” rapid și de calitate a acestora la cererile pieței. Optimizarea funcționării sistemelor instalate sau a celor ce urmează să fie realizate este principalul țel al caselor de sistem și al acestei lucrări.

La noi în țară sunt prea puține exemple de instalări și utilizări ale SFF în industrie. S-ar putea crede că, fiind o țară cu o forță de muncă ieftină, motivul unui slab interes în industrie pentru SFF ar fi de ordin financiar și social. Însă condamnarea “apriori” a forței de muncă la o activitate manufacturieră, mecanizată sau slab automatizată este semnarea condamnării la rămânere într-un stadiu de înapoiere a întregii industrii, chiar și a ramurilor care au viitor de dezvoltare în România.

Părerea personală a autoarei este că automatizarea flexibilă este necesară, introducerea acesteia trebuie să se realizeze gradual, din motive financiare, dar și din necesitatea câștigării încrederii specialiștilor (și managerilor) din industrie în utilitatea SFF.

Este necesară identificarea acelor tehnologii în care calitatea produselor suferă din cauza nerespectării disciplinei tehnologice sau în care calitatea produselor depinde în mare măsură de constanța mișcărilor și precizia oferită de echipamentele automate.

Se propune în continuare o analiză (SWOT) a avantajelor/dezavantajelor, oportunităților și amenințărilor în implementarea SFF. În tabelul 1.1. se prezintă sintetic această analiză.

Analiza SWOT a implementării SFF este necesară stabilirii celei mai bune strategii de dezvoltare a noii tehnologii la noi în țară. Se identifică 4 categorii de strategii deduse din analiza SWOT:

SO (avantaje și oportunități) este o strategie prin care avantajele SFF sunt utilizate la maximum pentru a profita de oportunitățile mediului extern;

WO (dezavantaje și oportunități) este o strategie prin care se depășesc slăbiciunile procesului implementării SFF pentru a utiliza la maximum oportunitățile mediului extern;

ST (avantaje și amenințări) este o strategie care profită de avantajele SFF pentru a minimiza amenințările mediului extern;

WT (dezavantaje și amenințări) este o strategie menită să minimizeze dezavantajele implementării SFF și respectiv amenințările mediului extern.

Se consideră că cea mai potrivită strategie de adoptat pentru implementarea SFF este strategia SO.

Domeniul prelucrărilor prin așchiere și al electroeroziunii care constituie aria tehnologică de extindere a utilizării sistemelor analizate în această lucrare, este un domeniu de preocupare constantă a specialiștilor ultimilor decenii. Dacă problemele vizând exclusiv prelucrarea propriuzisă a pieselor sunt rezolvate, problemele de optimizare legate de manipularea pieselor și planificarea fabricației la SFF pentru prelucrări prin așchiere/eroziune oferă un câmp larg de preocupare și analiză.

Tendențele de dezvoltare a SFF pe plan mondial sunt de creere a unor sisteme cât mai fiabile și mai "inteligente". Capacitatea unui sistem de comandă de a lua decizii în timp real în funcție de situația curentă este o abilitate caracteristică "inteligenței artificiale". Aceste tendințe sunt reprezentată în lucrare prin analiza comportamentului sistemului pe bază de protocoale de funcționare și prin sinteza a unui sistem de monitorizare și diagnoză operațională automată.

Optimizarea sintezei SFF nu se poate realiza prin utilizarea unei singure metode sau a unui model global, pentru că problemele de rezolvat sunt foarte diverse și dificile. Din această cauză s-au prezentat în lucrare metode de optimizare diferite, în funcție de natura concretă a problemei de rezolvat.

Tabelul 1.1. Analiza implementării automatizării flexibile la noi în țară

Avantaje	Dezavantaje
<p>Capacitatea productivă mai mare decât în cazul sistemelor de fabricație mecanizate</p> <p>Calitatea produselor mai bună prin asigurarea reproducerii constante și ritmice a condițiilor de fabricație</p> <p>Scutirea operatorului uman de o muncă solicitantă fizic și psihic sau de condiții neprielnice sau chiar periculoase de muncă</p> <p>Facilizarea controlului și planificării fabricației, îmbunătățirea logisticii în fabrică, onorarea contractelor cu clienții la timp.</p> <p>Creerea condițiilor de implicare creativă a specialiștilor în automatizare flexibilă</p>	<p>Investiție financiară mare</p> <p>Probleme de fiabilitate crescute la sisteme de mare amploare</p> <p>Necesitatea asigurării unor comenzi de fabricație ferme pentru exploatarea la maximum a sistemului</p> <p>Dificultăți în introducerea în fabricație a unor noi piese în cazul sistemelor de flexibilitate scăzută</p> <p>Creșterea investiției sistemului proporțional cu creșterea flexibilității acestuia</p>
Oportunități	Amenințări
<p>Integrarea României în structurile Euro-Atlantice impune re tehnologizarea fabricilor și introducerea automatizării flexibile ca una din posibilitățile de a face față concurenței</p> <p>Perfecționarea și actualizarea continuă a învățământului politehnic de formare a specialiștilor în domeniu</p> <p>Investiții externe de mare anvergură doritoare de progres tehnic în România</p>	<p>Necunoașterea, lipsa de încredere a managerilor a beneficiilor automatizării flexibile</p> <p>Opoziția manifestată de forța de muncă slab calificată, care își vede amenințate locurile de muncă</p> <p>Dezvoltarea la nivel național a acelor ramuri industriale care necesită în exclusivitate muncă manuală</p>

2. Stadiul actual al cercetărilor și realizărilor în domeniul sistemelor de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune

2.1. Automatizarea flexibilă a fabricației

Procesul de fabricație este “succesiunea de stări, etape, stadii prin care trec, în desfășurarea lor temporală, în schimbare și transformare, materiile prime și semifabricatele în produse finite [MDE'78 p.778].

Automatizarea este “procesul prin care o activitate, un proces se desfășoară sau o mașină funcționează fără a necesita intervenția unui operator uman” [Gra'88 p.60]. Implicarea operatorului uman în realizarea unui proces automat nu înseamnă participarea acestuia “în mod continuu și într-un ritm impus” [Dolezalek].

Funcțiile îndeplinite de către factorul uman într-un proces de fabricație mecanizat sunt: recepționarea informațiilor despre piesele de prelucrat, aducerea semifabricatelor la mașină, evacuarea pieselor prelucrate de la mașină, schimbarea/asigurarea de unelte de lucru/scule, dispozitive și verificatoare, reglarea poziției sculei față de piesă, comanda pornirii/opririi mașinilor, reglarea parametrilor de funcționare ai mașinilor, controlul/testarea piesei prelucrate, evacuarea deșeurilor/rebuturilor, supravegherea funcționării mașinii, luarea de decizii cu privire la întreruperi ale procesului, îndeplinirea acțiunilor de întreținere/mentenanță sau de reparare.

Operatorul uman implicat într-un proces automatizat trebuie să:

- supravegheze procesul sau să urmărească parametrii de monitorizare automată și să ia decizii cu privire la proces (supraveghetori);
- realizeze programarea echipamentelor automate (programatori);
- intervină periodic (mentenanță preventivă) sau în funcție de necesități (mentenanță corectivă) asupra echipamentelor automate pentru a le menține în stare de funcționare (personal de întreținere);
- încarce semifabricatele/evacueze piesele prelucrate în/dintr-un depozit automat (încărcători).

Așa cum se poate observa, o parte semnificativă a funcțiilor operatorului uman într-un proces neautomatizat sunt preluate de către echipamente capabile să îndeplinească cu succes aceste funcții.

Extrapolând ideea generală potrivit căreia omul, informat și cu experiență, este cel care se adaptează cel mai ușor oricăror situații din domeniul tehnologic, se poate afirma că omul este “cel mai elastic

element tehnologic ale fabricației”, cel care, dacă are la dispoziție mașinile și sculele necesare, poate executa o varietate foarte mare de tipuri de piese.

Inlocuirea operatorului uman cu echipamente capabile să îndeplinească o parte din funcțiile omului dintr-un proces de fabricație, în aceleași coordonate ale varietății de tipuri de piese, fără intervenții costisitoare sau de lungă durată, este un deziderat spre care evoluează progresul tehnic și spre care tunde și automatizarea flexibilă. Constrângerile introduse varietății tipurilor de piese pe care le pot executa aceste echipamente sunt de natură economică și sunt limitate de criteriile de eficiență economică a procesului de fabricație automatizat.

Mulțimea tipurilor de piese pentru care un echipament își poate îndeplini funcția prevăzută prin procesul de concepție, constituie spectrul sarcinilor de fabricație ale acestuia.

În tabelul 2.1 sunt prezentate principalele posibilități tehnice actuale de îndeplinire a funcțiilor automatizate ale unui proces de fabricație prin prelucrări prin așchiere/eroziune.

Tabelul 2.1. Automatizarea funcțiilor unui proces de fabricație prin prelucrări prin așchiere/eroziune

Funcția	Scop	Soluția tehnică adecvată
Recepționarea informațiilor despre procesul de fabricație	Introducerea manuală a informațiilor	Prin interfață om-proces și program de convertire în limbaj specific
	Transmiterea automată a informațiilor din procesul de concepție a produsului	Prin rețele și protocoale MAP de transmitere a informațiilor din hipersisteme CIM
Aducerea semifabricatelor la mașină/evacuarea pieselor prelucrate de la mașină	Manipularea pieselor, adică poziționarea și orientarea piesei în vederea prelucrării la mașină	Echipamente automate ale instalațiilor aducătoare/de evacuare
Fixarea semifabricatului în dispozitivul de situare a piesei la mașină, defixarea piesei prelucrate de la mașină	Realizarea forței de strângere a piesei în dispozitiv în vederea învingerii forțelor dezvoltate în procesul de așchiere/eroziune	Dispozitiv de situare a piesei la mașină cu elemente de strângere automată
Asigurarea necesarului de scule al mașinii	Depozitarea ordonată a sculelor necesare procesului	Depozite automate de scule externe mașinii
Schimbarea sculei/dispozitivului de situare a piesei la mașină funcție de necesități	Evacuarea sculei/dispozitivului utilizat în faza anterioară sau a sculei uzate și aducerea sculei/dispozitivului necesar la mașină	Instalații aducătoare/de evacuare automate ale sculelor/dispozitivelor

Funcția	Scop	Soluția tehnică adecvată
Reglarea poziției sculă piesă	Situarea la distanță prescrisă a sculei față de piesă	Prin port-scule adecvate, sisteme de calibrare a sculelor și corecții introduse în programul-piesă
Mișcarea relativă sculă piesă	Deplasarea relativă a sculei și a piesei în vederea realizării procesului de aşchiere/eroziune	Prin comanda numerică a mașinilor CNC sau DNC și program adecvat
Comanda pornirii/opririi mașinii	Pornirea/oprirea procesului dacă anumite condiții sunt îndeplinite și la un moment dat	Prin sistem de comandă al mașinii și comunicări cu alte echipamente de comandă/conducere
Reglarea parametrilor de desfășurare ai procesului	Selectarea valorilor parametrilor caracteristici ai procesului din domeniul de variație ai acestora	Prin sistem de comandă și acționare a mașinii și valori ale parametrilor caracteristici introduse în programul-piesă sau comanda adaptivă
Controlul/ testarea piesei prelucrate	Verificarea în conformitate cu diferite criterii a corectitudinii execuției piesei prelucrate	Prin sistem de control automat activ (în timpul defășurării procesului) sau pasiv (postproces)
Evacuarea deșeurilor	Curățarea mașinii de șpan, separarea electro-magnetică de lichidul de răcire-ungere/dielectric, filtrare, recirculare a lichidului de răcire-ungere sau lichidului dielectric	Prin echipamente automate ale instalației de evacuare a șpanului
Supravegherea funcționării corecte a procesului și decizii privind întreruperi ale procesului	Urmărirea încadrării variației parametrilor procesului în limite normale, întreruperi ale procesului în caz de depășire a valorilor normale ale parametrilor	Sistem de monitorizarea automată
Acțiuni de întreținere/reparare a mașinii	Realizarea curățării și ungerii ghidajelor mașinii, depistarea defecțiunilor	Pompă automată de lichid de răcire-ungere, sistem de diagnoză automată

Echipamentele care îndeplinesc funcțiile operatorului uman în cadrul procesului trebuie să prezinte anumite cerințe care să corespundă cu abilitățile și simțurile umane, iar tendința actuală de implementare în sistemele tehnologice a inteligenței artificiale și de dezvoltare a acestor tehnici (fuzzy-logic, rețele neuronale, sisteme de vedere artificiale performante etc.) se înscrie în aceste deziderate.

Cerințele care sporesc capacitățile echipamentelor de a se adapta la schimbări ale tipului de piesă de executat și de a lua decizii în legătură cu aceste schimbări sunt prezentate comparativ cu calitățile umane în tabelul 2.2 [Bră'96 p. 22].

Tabelul 2.2. Cerințe față de adaptabilitatea echipamentelor la schimbări ale sarcinii de fabricație comparativ cu omul

Funcția	Scop	Modul de realizare	
		om	echipament
Recepționarea informației	Măsurarea informațiilor externe și interne și convertirea lor în limbajul specific echipamentului	Văz, auz, pipăit, miros	Programe și informații transmise prin rețea de calculatoare, senzori, traductoare, aparate de măsură
Păstrarea informațiilor	Memorizarea informațiilor	Memorie	Memoria sistemelor de comandă a procesului, a calculatoarelor
Prelucrarea informațiilor și stabilirea deciziilor	Prelucrarea informațiilor primite și stocate în memorie și luarea deciziilor	Sistem nervos superior	Elemente logice în programe, sisteme adaptive, rețele neuronale
Execuția	Efectuarea acțiunilor și activităților din proces pe baza deciziilor	Sistemul osos și muscular	Sistemul mecanic, de acționare și de comandă al echipamentului

Scopul automatizării a fost inițial de a ușura munca oamenilor și de divertisment și a constituit o preocupare a tehnicienilor mai multe sute de ani. Dacă întâile automatizări s-au obținut pe bază de ingenioase mecanisme din păpuși și orologii, a fost nevoie să se ajungă la o organizare judicioasă a producției din anii 1920-1930 pentru a se observa necesitatea înlocuirii muncii omului cu “ceva” ce s-ar putea numi “robot” conceput ca o ficțiune de către Capek (1920).

Scopul automatizării flexibile a fost acela de a face față modificărilor mediului economico-financiar mondial din anii 1950, în care diversificarea produselor și creșterea pretențiilor clienților cu privire la calitatea acestora, a dus la căutarea de soluții tehnice care să satisfacă cererea de profit pentru o producție de serie mică. Pe măsură ce echipamentele automate au evoluat, devenind mai complexe tehnic și mai fiabile, s-a constatat că înlocuirea muncii manuale aduce beneficii prin creșterea capacității productive și a calității produselor obținută prin respectarea disciplinei tehnologice.

2.2. Definiții și structura sistemelor de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin așchiere/eroziune

2.2.1. Analiza definițiilor SFF

Sistemul de fabricație definit din punctul de vedere al teoriei sistemelor, este mulțimea instalațiilor tehnice și mulțimea relațiilor dintre acestea, constituite în vederea rezolvării unei sarcini de fabricație; instalațiile tehnice pot fi un mijloc, un procedeu, o schemă pentru prelucrarea în timp a unor intrări constituite din materiale, energie, informații și, ca rezultat al funcției de transfer, transformarea intrărilor în ieșiri de aceeași natură.[Rop'71] O altă definiție din literatura de specialitate a sistemului de fabricație este: “un ansamblu de mașini, utilaje, instalații și dispozitive grupate în spațiu și destinate efectuării unor funcțiuni din procesul tehnologic”. [Abr'96, p132]

Sarcina de fabricație a unui sistem [Kov'94, p22] este diferența de eliminat între starea inițială a materiei prime/semifabricatului și starea finală, propusă mintal a produsului finit. Prin “fabricație” se înțelege totalitatea procedeelor tehnologice utilizate pentru a se realiza un produs finit.

În literatura de specialitate de la noi în țară se întâlnesc două denumiri utilizate pentru a desemna aceeași noțiune. Ele corespund traducerii denumirilor de “Flexible Manufacturing System”, “Flexible Fertigungssystemen” sau “Système Flexible de Fabrication”. Astfel, se utilizează atât denumirea de “Sistem de fabricație flexibilă” (SFF) cât și cea de “Sistem flexibil de fabricație”. Prezenta lucrare consideră adecvată denumirea de sistem de fabricație flexibilă, aducându-se ca argument faptul că în cadrul sistemului, procesul de fabricație este flexibil, sarcina de fabricație pentru un SFF cuprinzând totalitatea operațiilor tehnologice de prelucrare și de manipulare pe care sistemul le poate realiza în mod automat asupra unui grup de obiecte, “trecerea la fabricarea unui nou obiect se face cu consum minim de material și manoperă” [Kov'94, p4]. Dacă procesul de fabricație este flexibil, este evident ca și sistemul adecvat acestui tip de fabricație trebuie să posede proprietăți de flexibilitate.

Nu s-a stabilit încă o definiție general acceptată la nivel mondial a SFF, cele mai multe încercări de definire a sistemelor de fabricație flexibilă vizează punctul de vedere fie al utilizatorului, fie al proiectantului de asemenea sisteme.

Biroul National de Standardizare al USA [Ayr '92], definește SFF ca pe un “aranjament de mașini (uzual, centre de prelucrare cu comandă numerică, cu schimbare automată a sculei) interconectate printr-un sistem de transport. Un calculator central comandă atât mașinile cât și sistemul de transport. SFF prelucrează uneori, în același timp tipuri diferite de piese.” Asociația Fabricanților în

Domeniul Electric (SUA) [Ayr '92], definește SFF ca fiind “patru sau mai multe mașini integrate cu un sistem de manipulare, conduse de un calculator sau comandate de un automat programabil.” GOST în 1985, propune ca definiție a SFF, “o combinație de mașini unelte cu comandă numerică, la care se utilizează roboți industriali și alte elemente tehnologice, împreună cu un sistem care permite funcționarea în regim automat a sistemului pentru o perioadă de timp dată. Aceste elemente pot fi reprogramate automat, astfel încât să se poată produce în sistem orice piese situate între anumite limite și caracteristici”.

Dacă se urmărește strict punctul de vedere al utilizatorilor de sisteme, SFF este “o unitate de producție capabilă să realizeze un număr de produse discrete cu intervenție manuală minimă” [Ayr'92] sau “un sistem de fabricație este flexibil dacă este capabil să realizeze un număr de tipuri diferite de piese în mod automat și în orice ordine”. [Tav'88]

Și în țara noastră se cunosc în literatura de specialitate puncte de vedere diferite ale specialiștilor, care au generat variate definiții ale SFF. O definiție care vizează flexibilitatea sistemului este: “o structură tehnologică flexibilă, în limita unei game de tipodimensiuni și operații tehnologice, cu posibilitatea de funcționare automată cel puțin pe durata unui schimb”[Opr'99, p12]. Flexibilitatea sistemului este punctul de pornire și în definiția: “sistemul de structură variabilă compus din subsisteme mono și poliscope, care sunt utilizate și schimbate după necesitate. Sistemul este programat pentru un spectru larg de sarcini de fabricație, programul făcându-se prin selectarea unui set de variabile funcționale, iar selecția se face dintr-o structură prealabilă stabilită (apriori) sau prin schimbarea structurii (aposteriori)”. [Kov'94, p42]

În lucrarea [Abr'96, p30] este prezentată o sinteză a 45 de definiții din literatură, în care se precizează și procentul de apariție în acestea a diferitelor aspecte legate de SFF: referiri la mașini, comanda și supravegherea funcționării sistemului, sarcina de fabricație, aprovizionarea cu piese și scule, controlul fabricației etc. Astfel, se întâlnesc la mai mult de jumătate din definiții referiri la: numărul mașinilor sau stațiilor de lucru, comandă numerică a mașinilor, calculator central pentru controlul sistemului, sistem de comandă și control ierarhizat pe niveluri, produse (repere diferite) și flux automat de materiale cu succesiune programată.

O definiție care face referire atât la componența sistemului cât și la utilizarea acestuia, în condițiile fabricației flexibile, este: “sistemul flexibil de prelucrare este o unitate funcțională integrată prin calculator, formată din mașini unelte cu comandă automată, instalații automate de manipulare a semifabricatelor, sculelor, dispozitivelor, echipamente automatizate de măsurare și testare, care în condiții de intervenție manuală minimă se poate autoregla și poate prelucra orice produs aparținând

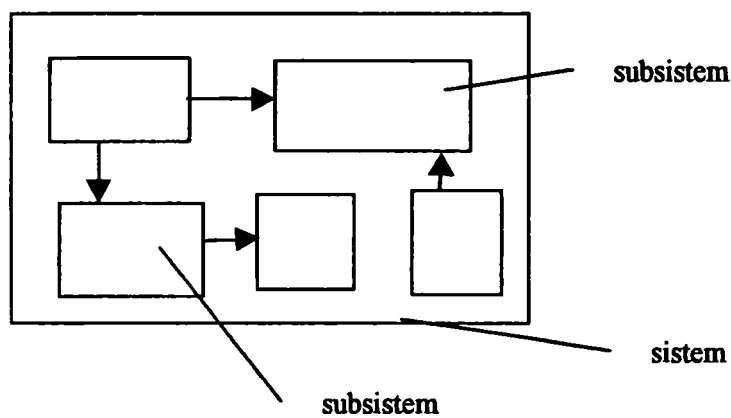
unei familii specifice, în limitele unei capacități și a unui program (algoritm) de fabricație prestabilite”. [Pau’98’ p16]

În definiția prezentată s-a precizat o parte din componenta fluxului material din cadrul SFF (semifabricate, scule, dispozitive). Se adoptă în cadrul lucrării de față denumirea de obiecte de lucru pentru entități fizice care aparțin fluxului material al SFF și care își modifică situația în spațiu și în timp pe parcursul funcționării sistemului. Prin obiect de lucru se înțelege semifabricatul, piesa finită, paleta de transfer, paleta de transfer și de lucru, scula, dispozitivul, materialul auxiliar, piesa rebutată, șpanul care sunt manipulate în cadrul SFF.

O definiție care se referă la echipamentele din componența sistemului este: ”un număr de stații de lucru, cuprinzând mașini unelte și mașini de lucru cu comandă numerică, care sunt capabile să realizeze automat operații de prelucrare necesare pe un număr diferit de piese, cu stațiile de lucru legate printr-un sistem de manipulare, comandate de un calculator care planifică mișcările pieselor între stațiile de lucru și între acestea și stațiile de încărcare/descărcare”. [Tav’88, p62]

2.2.2. Structura și funcțiile SFF pentru prelucrare prin așchiere/eroziune

Structura unui sistem este mulțimea elementelor sistemului și mulțimea relațiilor stabilite între acestea. [Abr’96 p.18] Altă definiție a structurii unui sistem [Kov’94 p.18] precizează că noțiunea cuprinde “natura subsistemelor sale, numărul acestora, natura și numărul relațiilor care există între subsisteme”. În figura 2.1 este prezentat grafic un sistem sub aspect structural. Prin săgeți s-au prezentat vectorii de relații orientate stabilite între subsisteme, sensul săgeții indicând vectorul ieșirilor dintr-un subsistem care constituie vectorul intrărilor în alt subsistem.



Un SFF este, sub aspect organizatoric, structurat ierarhic, la care se identifică ranguri de subordonare ale subsistemelor de rang inferior în sistemul corespunzător de rang imediat superior.

Figura 2.1. Reprezentarea grafică a unui sistem sub aspect structural

În figura 2.2 se prezintă structura unui SFF (de rang R) până la subordonarea de rang R-3 [Kov’94 p.6].

Rang "R"

Rang "R-1"

Rang "R-2"

Rang "R-3"

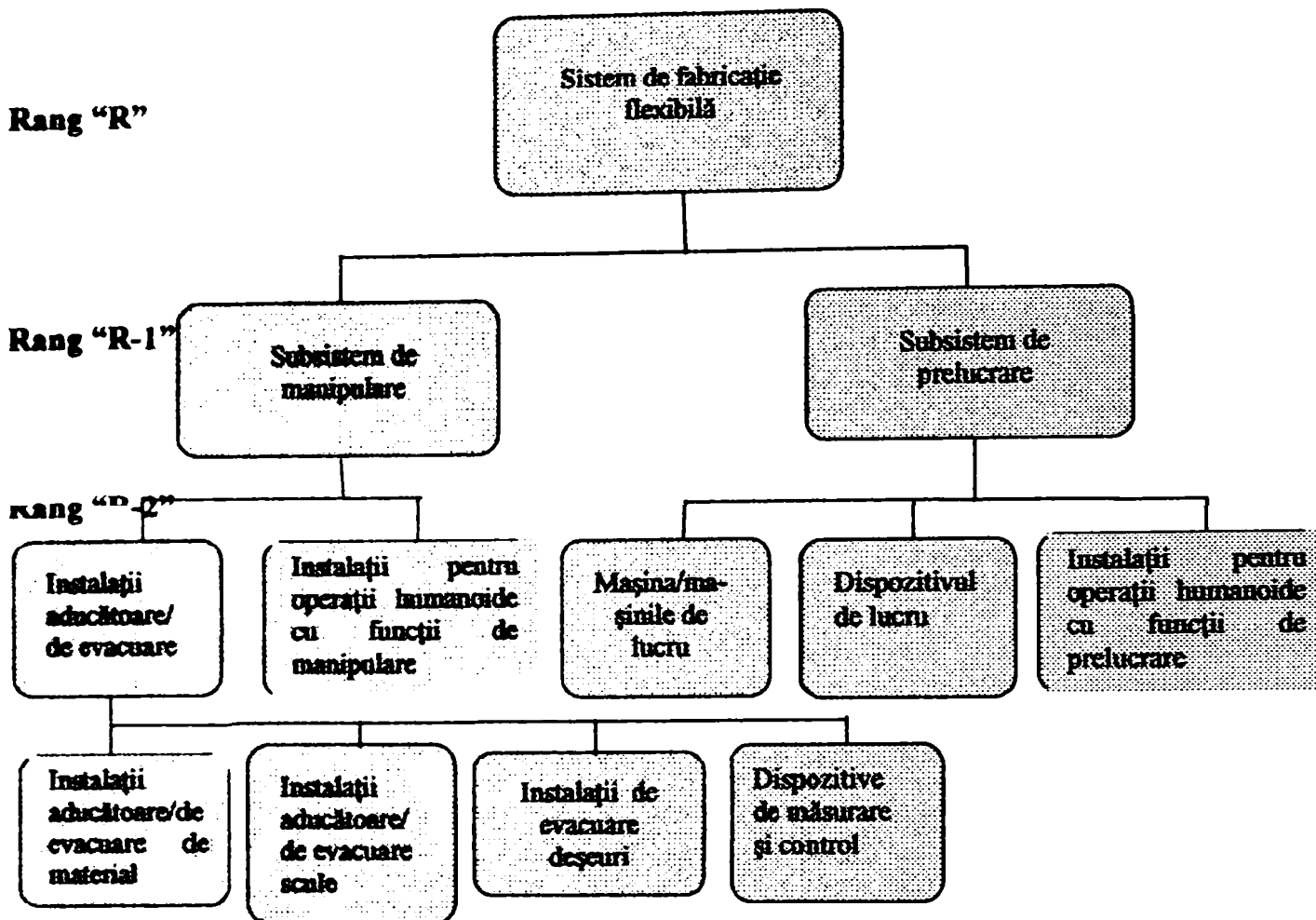


Figura 2.2. Structura unui SFF

Descrierea unui SFF sub aspect funcțional se exprimă într-o formă cauzală, "de dependență a ieșirilor din sistem de intrările în sistem" [Abr'96 p.18]. Atât ieșirile cât și intrările în SFF se pot clasifica în intrări/ieșiri de natură materială, informațională, energetică. Variația acestora în raport cu timpul constituie fluxul de materie, de informații și de energie.

Funcția unui subsistem al SFF exprimă dependența vectorului de ieșire de vectorul de intrare și de structura acestuia sub forma: $\bar{y} = \underline{T} \cdot \bar{x}$, în care y , x este vectorul ieșirilor, respectiv al intrărilor în subsistem, iar T este funcția de transfer al subsistemului. Funcțiile de transfer ale subsistemelor sunt conținute de funcția sistemului ca funcții parțiale.

Denumirile subsistemelor componente ale SFF din figura 2.2. sugerează în mare parte funcțiile pe care acestea le îndeplinesc în cadrul sistemului. Subsistemele de rang R-2 și R-3 componente ale SFF au următoarele funcții:

- de aducere/evacuare a obiectelor de lucru în cadrul sistemului, adică "generarea unor anumite mișcări ale obiectului manipulat și efectuarea acestora în conformitate cu o

anumită logică secvențială și cu cerințele de manipulare care urmează a fi realizate” [Coj’85 p/220];

- pentru operații humanoide cu funcții de manipulare, adică realizarea modificării situației obiectului manipulat după program, prin utilizarea roboților, manipuloarelor, instalațiilor de teleoperare, robocarelor etc;
- de prelucrare prin așchiere sau electroeroziune în cazul acestei lucrări, care se realizează prin utilizarea mașinilor de lucru cu comandă numerică CNC sau DNC;
- de situare și fixare a obiectului de lucru în vederea prelucrării, funcție care se realizează cu dispozitivele adecvate ale mașinii și denumite generic dispozitive de lucru;
- de prelucrare prin așchiere, funcție care se realizează prin utilizarea roboților care au ca element terminal capete de forță.

Dispozitivele instalațiilor aducătoare/de evacuare au funcții “aducătoare” care au fost prezentate exhaustiv în [Coj’85 p.220-285], din care în cadrul SFF pentru prelucrări prin așchiere/eroziune se utilizează cu precădere:

- instalații aducătoare/de evacuare cu funcții de depozitare a obiectelor de lucru (materiale, scule, deșeuri);
- instalații aducătoare/de evacuare cu funcții de transfer a obiectelor de lucru;
- instalații aducătoare cu funcții de control existență sau control dimensional;
- instalații aducătoare cu funcții de poziționare/fixare/instalare.

Dispozitivele instalației aducătoare/de evacuare pot îndeplini una sau mai multe din funcțiile menționate mai sus.

Funcția de manipulare are ca scop modificarea comandată a situației obiectelor de lucru în spațiu și în raport cu timpul.

Funcția de depozitare este funcția de manipulare la care se păstrează situația obiectelor de lucru în spațiu un interval de timp determinat sau aleator. Depozitarea pentru întregul sistem se realizează în depozite automate (ASRS) de diferite tipuri sau pe conveioare, iar la mașinile de lucru, depozitarea pentru un interval de timp limitat, se realizează în posturile de așteptare sau pe mese de indexare cu 2, 4, 6, 8 locașuri de situare a obiectelor de lucru.

Funcția de transfer este funcția de manipulare în care se realizează deplasarea în spațiu a obiectelor de lucru de la o mașină la alta (transfer lung sau transport) sau între dispozitivul de depozitare local și mașină (transfer scurt).

Transferul lung se realizează cu conveioare, robocare, roboți portali etc, iar transferul scurt se realizează cu roboți, dispozitive transpaletă sau dispozitive de livrare/evacuare.

Funcția de control existență constă în verificarea automată a existenței obiectului de lucru într-o anumită situație, cea de control dimensional în verificarea prin măsurare automată a dimensiunilor obiectului de lucru.

Situarea (poziționarea și orientarea) este funcția prin care elemente ale obiectului de lucru se suprapun cu elemente similare ale dispozitivului de lucru al mașinii. Fixarea este funcția de menținere în timp a situației obiectelor. Fixarea se realizează prin acțiunea automată a elementelor de strângere ale dispozitivului de lucru care exercită asupra obiectului de lucru forțe de strângere în vederea imobilizării acestuia față de elementul în raport cu care a fost situat. Situarea și fixarea sunt denumite împreună funcții de instalare.

Un element important al SFF este paleta care poate fi atât un dispozitiv cu funcții de situare a obiectului de lucru, împreună cu care se realizează funcțiile de transfer lung în cadrul sistemului (paletă de transfer) cât și un dispozitiv cu funcții de instalare ale obiectului de lucru, împreună cu care se realizează funcțiile de transfer și de prelucrare (paletă de transfer și de lucru).

2.3. Sinteza SFF

2.3.1. Etapele sintezei SFF

Sinteza SFF este un proces complex, creativ, în mai multe etape iterative, în cadrul căruia se stabilește structura sistemului și sunt îndeplinite toate condițiile pentru ca sistemul să-și îndeplinească funcția de transfer stabilită prin tema de proiect.

În cadrul temei de proiect se cunosc: vectorii mărimilor de intrare și de ieșire și valoarea propusă a investiției sistemului. În definirea fluxului material de intrare/ieșire al sistemului sunt necesare informații de natură tehnologică despre sarcina de fabricație, informații despre mărimea seriei de fabricație și capacitatea productivă a viitorului sistem.

În figura 2.3 se prezintă ordinograma procesului de sinteză al unui SFF. Introducerea automatizării flexibile se poate realiza fie prin concepția unui sistem nou, fie prin modernizarea și integrarea unor mașini de lucru existente, caz în care nu se achiziționează componente, ci se stabilesc măsurile de modernizare a sistemului de comandă și de acționare ale acestora.

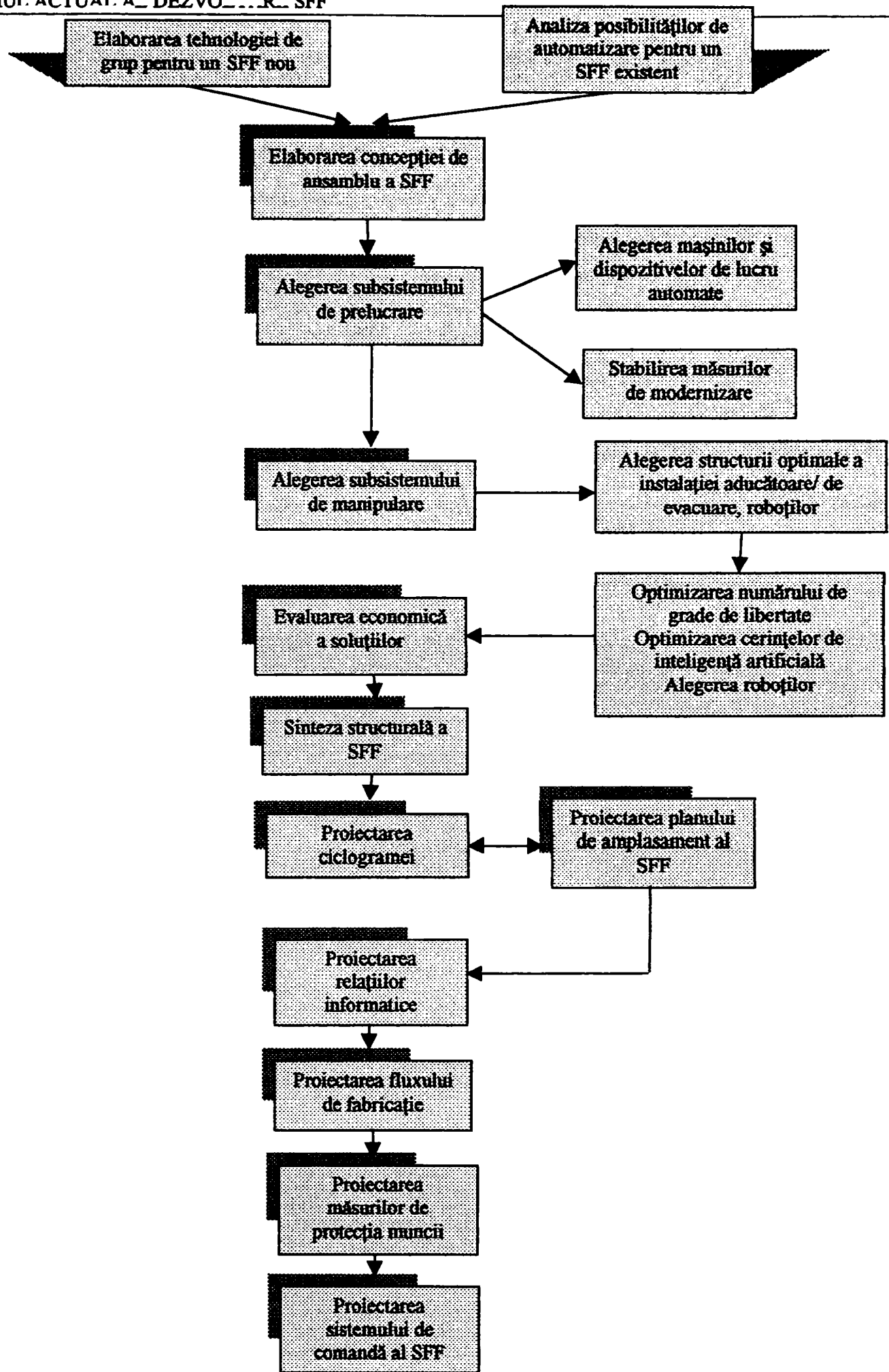


Figura 2.3. Ordinograma procesului de sinteză a unui SFF

2.3.2. Elaborarea tehnologiei de grup

Problema de început a sintezei SFF este de a selecta din spectrul de piese al beneficiarului, tipurile de piese care se vor prelucra în sistem. Selectarea tipurilor de piese însă, nu se poate realiza, fără a se cunoaște tipurile de mașini de lucru care vor face parte din sistem. De asemenea, numărul de piese de un anumit tip, de prelucrat în sistem un interval de timp determinat, este mic, aceasta fiind o caracteristică a producției de serie mică pentru care este adecvată automatizarea flexibilă.

O încercare de a proiecta un SFF universal pentru toate tipurile de piese din spectrul beneficiarului nu poate fi încununată cu succes, dacă nu se aplică principiile de tehnologiei de grup pentru formarea de familii de piese. Acestea includ ca membrii ai aceleiași familii un număr mai mare sau mai mic de tipuri de piese. Astfel, în loc de a lucra cu un număr de sute sau chiar mii de tipuri de piese, proiectantul de sistem are posibilitatea de a identifica, funcție de necesități, un număr de zeci de familii de piese. Avantajele aplicării tehnologiei de grup sunt multiple și se identifică în toate etapele concepției, pregătirii fabricației și fabricației propriu-zise (figura 2.4).

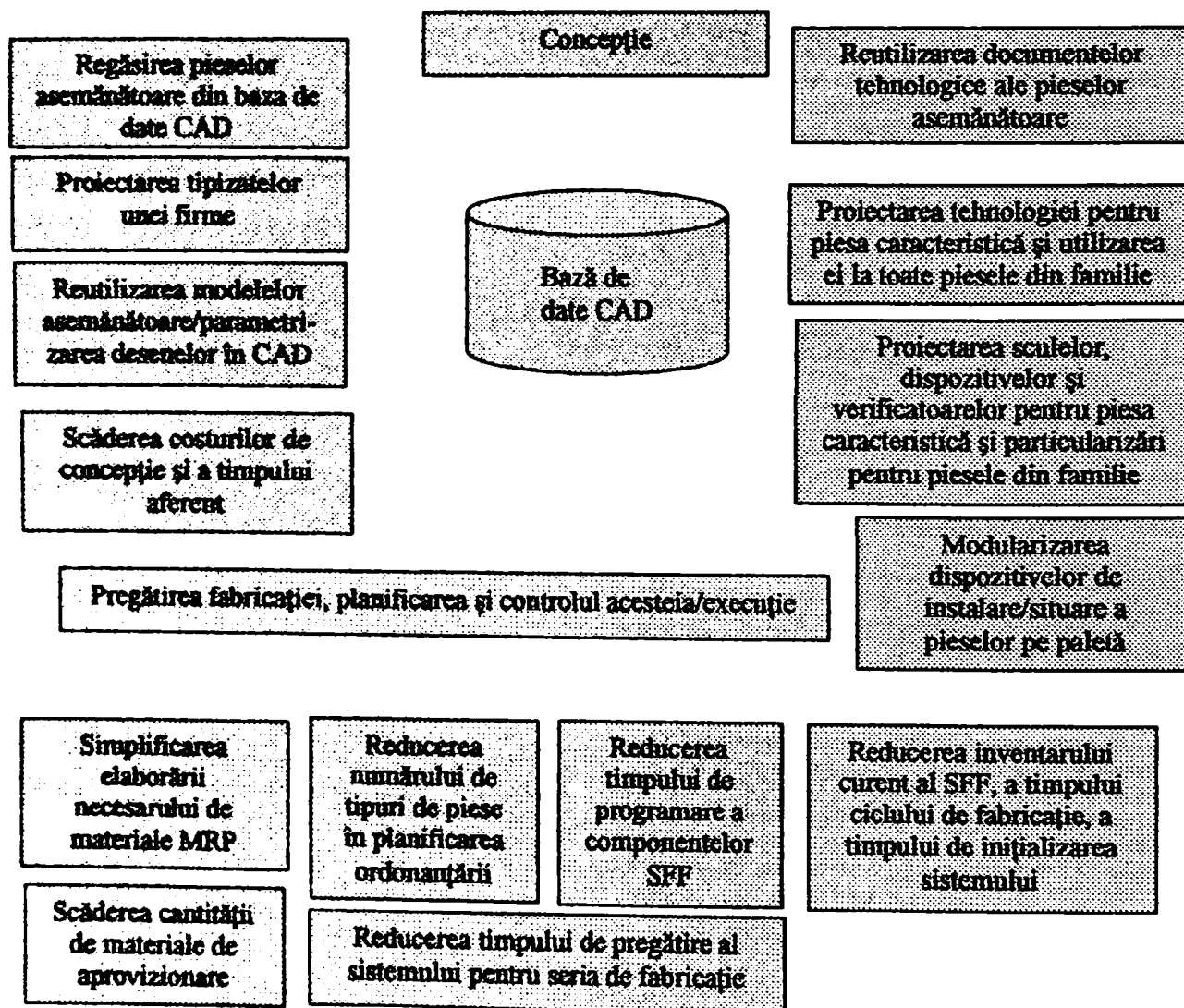


Figura 2.4. Avantajele utilizării principiilor tehnologiei de grup

În figura 2.4 CAD semnifică concepția asistată de calculator, MRP este planificarea necesarului de materiale în fabricație, ordonanțarea este planificarea fabricației pe termen scurt (săptămâni, zile) pentru un sistem de fabricație, inventarul curent al SFF este cantitatea curentă de obiecte de lucru aflate în curs de prelucrare în SFF, ciclul de fabricație al unui tip de piesă este intervalul de timp mediu scurs între intrarea unei piese în sistem și ieșirea ei ca piesă finită a acelui SFF, timpul de inițializare a unui SFF este timpul necesar pentru realizarea programării componentelor, pregătirii necesarului de scule, dispozitive, palete, semifabricate și introducerii comenzilor de producție.

Tehnologia de grup se bazează pe un sistem de codificare/clasificare a fiecărui tip de piesă, pe selecția familiilor de piese pe baza prelucrărilor computerizate ale codurilor și pe găsirea unui tip de piesă caracteristică (reală sau virtuală) care să includă toate caracteristicile semnificative ale pieselor din familie.

Piesa caracteristică (ideală) este “elementul de însumare” al familiei, ea corespunde de cele mai multe ori celei mai complexe piese din punct de vedere al formei și tehnologiei de fabricare.

În literatura de specialitate sunt prezentate [Bră'96p.108-159] o serie de coduri și sisteme de clasificare, din țară și străinătate, a pieselor, mașinilor unelte, sculelor și dispozitivelor pentru sisteme de fabricație.

Pentru SFF, există preocupări de codificare/clasificare a pieselor prismatice [Opr'96 p27-39] în care s-a utilizat un sistem numeric cu 10 poziții: poziția 1 pentru tipul reperului, poziția 2 pentru forma caracteristică exterioară, poziția 3 pentru suprafața funcțională exterioară, poziția 4 pentru direcția de prelucrare a alezajelor sau a găurilor funcționale, poziția 5 pentru suprafețe funcționale interioare, poziția 6 și 7 pentru dimensiunile de gabarit ale piesei, poziția 8 pentru precizia generală a piesei, poziția 9 și 10 pentru materialul piesei. Programul care utilizează acest tip de codificare este interactiv cu utilizatorul și identifică în mod automat familii de piese de prelucrat în sistem.

2.3.3. Alegerea componentelor SFF

2.3.3.1. Alegerea componentelor subsistemului de prelucrare

În procesul de alegere a mașinilor de lucru se pornește de la adecvarea tipului de mașină pentru prelucrarea familiilor de piese identificate în etapa de tehnologie de grup. Se realizează un studiu de piață și se selectează oferta cea mai avantajoasă din punct de vedere al raportului preț/calitate sau se stabilesc măsurile de modernizare necesare (în general la sistemul de acționare și de comandă numerică) a mașinii de lucru.

Un aspect deloc de neglijat este necesitatea integrării informatice a mașinilor de lucru provenind de la firme producătoare diferite și verificarea posibilităților de comunicare între acestea prin protocol MAP (paragraful 2.4)

2.3.3.2. Alegerea componentelor subsistemului de manipulare [Kov'94 p.60-68]

Alegerea componentelor subsistemului de manipulare presupune:

- stabilirea structurii adecvate a instalației aducătoare/de evacuare;
- optimizarea manipulării obiectului de lucru în cadrul sistemului;
- stabilirea cerințelor de inteligență artificială sau comportament logic secvențial a acestor componente.

Alegerea roboților presupune luarea de decizii privitoare la:

- firma producătoare și tipul robotului (sarcină utilă, acționare, număr de cuple cinematice conducătoare ale dispozitivului de ghidare, mărimea curselor axelor comandate, tipul conducerii și al programării etc.);
- modul de amplasare (pe sol, suspendat, pe ghidajul mașinii de lucru, pe robocar) al robotului;
- numărul de mașini servite de către un robot și numărul de roboți necesari în sistem.

2.3.4 Stabilirea ciclogramei de funcționare

Ciclograma de funcționare a unui sistem reprezintă o diagramă unidimensională, în funcție de timp, care pune în evidență secvențele de funcționare/mișcare sau de repaus ale sistemului [Kov'94 p.70].

În elaborarea ciclogramei de funcționare se iau în considerare secvențele de funcționare ale fiecărei componente a sistemului. Elemente de construcție importante ale ciclogramei de funcționare sunt duratele tuturor secvențelor de funcționare/mișcare. În figura 2.6 este prezentată ciclograma de funcționare [Pău'98 p.93] a sistemului a cărui schemă simplificată este prezentată în figura 2.5.

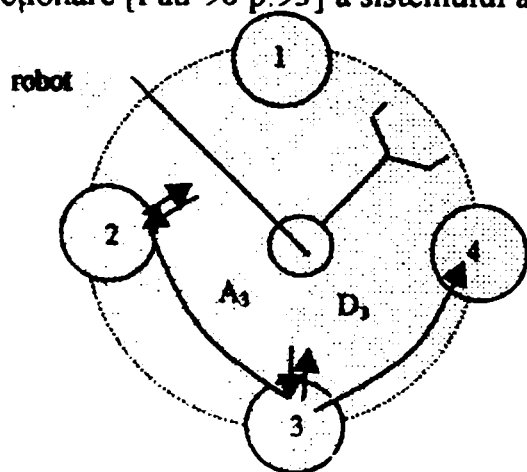


Figura 2.5. Modelul unui SFF

În figură s-au notat cu 1÷4 mașinile de lucru servite de către robot, cu A_k timpii de alimentare ai mașinii k și cu D_k timpii de transfer ai robotului de la mașina k la mașina următoare.

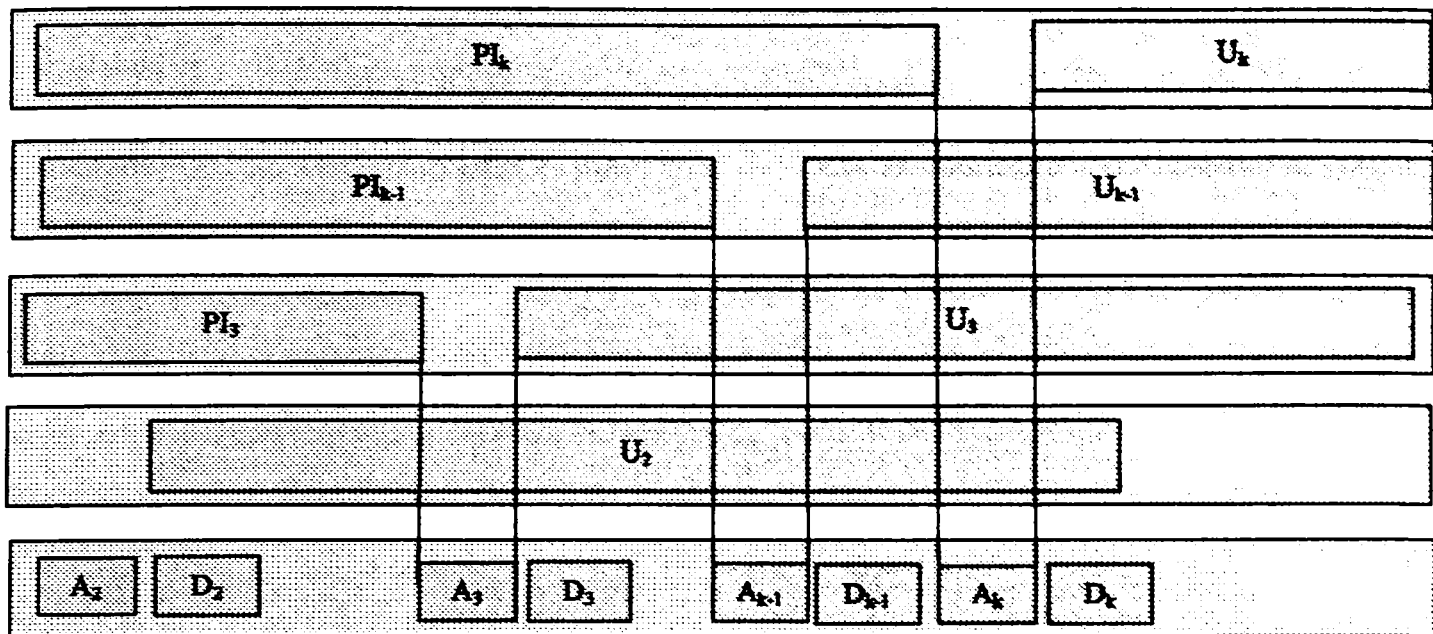


Figura 2.6. Ciclograma de funcționare a sistemului al cărui model grafic este prezentat în figura 2.5
 În figura 2.6 s-au notat cu PI_k timpul de continuare a prelucrării piesei dintr-un ciclu anterior și cu U_k timpul de prelucrare al unui semifabricat k .

2.3.5. Stabilirea planului de amplasament al componentelor SFF

Prin plan de amplasament ("layout") se stabilesc pozițiile relative ale componentele SFF [Kov'94 p.74]. Proiectarea planului de amplasament constă în determinarea situațiilor relative ale sistemelor de referință atașate tuturor componentelor SFF față de un sistem de referință fix. Componentele SFF se vor amplasa relativ prin respectarea regulilor următoare:

- spațiile de lucru ale componentelor (spații determinate de mulțimile pozițiilor posibile ale punctelor aparținând obiectelor de lucru manipulate sau prelucrate de către componentă) care au relații de transfer de material trebuie să se intersecteze;
- spațiile de coliziune instantanee (mulțimea punctelor materiale ale componentelor în fiecare moment al mișcării lor relative) ale echipamentelor nu trebuie să se intersecteze;
- timpii de mișcare a componentelor mobile să fie minimi;
- se vor evita influențe relative reciproce nefavorabile din partea unor componente învecinate;
- lungimile conductelor purtătoare de energie și conductorilor purtători de informație vor fi optimale;
- se vor evita apariția "colțurilor de strivire" (porțiuni de acces al operatorului uman de distanță mai mică decât cea din normativele legale) între componente învecinate.

2.4. Structuri MAP pentru SFF

2.4.1. Protocoale de comunicare MAP/TOP

O cerință esențială într-un atelier automat (sau SFF) este existența unui flux constant de informații între echipamentele care comandă, conduc și monitorizează procesele în desfășurare. Pe de altă parte, în sinteza și exploatarea SFF este necesar să se utilizeze echipamente automate provenind de la diferite firme producătoare care, în urma instalării lor trebuie să funcționeze coordonat în timp.

Informațiile de natură tehnică (tehnologică) care descriu caracteristicile proceselor și tipurilor de piese de executat trebuie transferate de la posturile în care se elaborează tehnologia lor de execuție la echipamentele de comandă a proceselor din cadrul SFF.

Integrarea informațională a echipamentelor de conducere a proceselor, provenind de la firme producătoare diferite se poate realiza prin implementarea conceptului MAP (Manufacturing Automation Protocol: protocol a telecomunicărilor pentru automatizarea industrială). Integrarea informațională a rețelelor de calculatoare utilizează protocoalele TOP (Technical and Office Protocols: protocoale tehnice și de birou ale telecomunicărilor). Printr-o comparație simplificatoare se poate afirma că utilizarea principiului MAP/TOP este similară cu conectarea la circuitul electric domestic și funcționarea corespunzătoare a aparatelor electrice, indiferent de firmele producătoare. Organizația Internațională a Standardizării (ISO) a elaborat un model de referință pe șapte nivele pentru comunicația în sistemelor deschise OSI (Open System Interconnection). Modelul de "interconectare a sistemelor deschise" are ca scop facilitarea de schimburi de informații în cadrul sistemelor distribuite. Arhitectura distribuită de calculatoare permite accesul la date și resurse în comun de către mai mulți utilizatori. Conceptul MAP a fost dezvoltat inițial de către firma General Motors ca o rețea centrală de comunicare sau un "bus" la care trebuia să se adapteze toate sistemele informaționale din uzină și a preluat standardele OSI ca bază pentru MAP. Firma Boeing a dezvoltat, în paralel cu General Motors, un sistem de comunicare asemănător denumit TOP și, începând cu 1985, cele două grupuri de cercetare au fuzionat într-un comitet MAP/TOP [Kuz'88]. În figura 2.7 [Dwy'91, p43] se prezintă protocoalele rețelelor MAP/TOP. Nivelele 1÷4 sunt grupate în domeniul orientat pe transportul informației, iar nivelele 5÷7 aparțin domeniului orientat pe aplicație. Primele două nivele (1-2) sunt concretizate prin legăturile fizice între aparate, celelalte sunt realizate sub formă de programe pe calculator. "Conversația" între două echipamente echivalează cu un dialog între două nivele echivalente ale acestora. Totalitatea convențiilor utilizate în dialog pe un anumit nivel constituie protocolul corespunzător nivelului.

În cadrul nivelului aplicație [Gra'88,p.382-392], protocolul FTAM conține caracteristici care pot fi utilizate pentru aplicații de acces și manipulare a transferului de fișiere. Protocolul MAP specifică un limbaj independent față de tipurile de echipament, natura schimbului de informații în timpul procesului și tipurile de controlere ale roboților sau automate programabile.

Nivelul	Protocoale TOP versiunea 1.0	Protocoalele MAP versiunea 2.1	Funcția
Nivelul 7: Aplicație	ISO (DP) 8571 Protocol de transfer de fișiere (FTAM)	ISO FTAM (DP) 8571, standard al formatului mesajului de fabricație, (MMFS) și elemente de serviciu a aplicațiilor curente (CASE)	Furnizează toate serviciile utilizabile de către programele de aplicație
Nivelul 6: Prezentare	Nul (ASCII și codificare binară)		Transformă datele de intrare sau ieșire în formate standardizate negociate
Nivelul 5: Sesiune	ISO 8073		Sincronizează și coordonează datele
Nivelul 4: Transport	Transport ISO 8327 clasa 4		Furnizează un transfer fiabil și determinabil de date de la un nod terminal la altul
Nivelul 3: Rețea	ISO Internet (DIS) 8473 fără conexiune pentru X.25. Protocol dependent de sub-rețele		Efectuează dirijarea informațiilor între noduri pe o anumită direcție
Nivelul 2: Legătură de date	ISO Control legăturii logice 8802.3/2 IEEE802.2		Detectează erorile în mesaje înainte de a se realiza un transfer între noduri
Nivelul 1: Fizic	ISO CSMA/CD 8802/3 (IEEE802.3) Controlul accesului media	Bus cu jeton ISO 8802/4 (IEEE802.4) Controlul accesului la bus prin jeton	Codificare electrică și efectuare a transferului fizic al mesajului de la un nod la altul

Figura 2.7. Protocoalele rețelei MAP/TOP

Standardul formatului mesajului în fabricație (MMFS în versiunea MAP 2.1) sau serviciul mesajului de fabricație (MMS pentru versiunea MAP 3.1) stabilește sintaxa mesajului și semantica componentelor acestuia. De exemplu, MMFS definește codificarea biților și semnificația acestora pentru comenzi ca citirea sau scrierea în registrele I/O ale automatelor programabile.

Nivelul de prezentare oferă un set de servicii ale reprezentării datelor. Se acceptă mai întâi un set de reguli de codificare a informației ca de exemplu: cod de caractere, numere reale, formate ale fișierelor. Scopul acestui nivel este de a negocia un set de reguli comune de codificare a datelor.

Prin nivelul sesiune se facilitează stabilirea conexiunilor și întreruperea acestora, controlul prin jeton și sincronizarea datelor. Controlul prin jeton permite, de exemplu, stabilirea dreptului de a trimite datele când se utilizează o conexiune cu dublu sens. Serviciul de sincronizare permite identificarea diferitelor puncte din fluxului de date și resincronizarea datelor la un anumit punct.

Nivelul transport are funcția de transmitere fără erori a mesajelor care au trecut de nivelul sesiune. ISO a divizat protocoalele nivelului de transport în 5 clase: clasa 0 asigură facilitățile pentru stabilirea conexiunilor, transfer de date și protocol de raport al erorilor, clasa 1 oferă suplimentar abilitatea de restabilire a transportului de date la resetare sau deconectare, clasa 2 permite optimizarea conexiunilor prin multiplexarea mai multor conexiuni de transport printr-o singură conexiune în rețea, clasa 3 are în plus controlul fluxului și refacerea conexiunilor după deconectarea rețelei, clasa 4 oferă abilitatea de detectare a erorilor și reconectare după o asemenea eroare.

Nivelul rețea coordonează dirijarea mesajelor schimbate între două entități de transport. ISO a stabilit 8 standarde care descriu serviciile și funcțiile acestui nivel.. Protocolul Internet realizează dirijarea, adresarea și optimizarea mărimii unităților de date care sunt transferate în sub-rețele.

Nivelul legătură de date oferă servicii nivelului rețea pentru transferul de date între două sisteme alăturate legate prin medii fizice de comunicare. Controlul legăturii logice permite nivelului rețea să realizeze schimbul de date fără a fi necesară o legătură specifică.

Nivelul fizic asigură o interfață electrică a mediului de transfer de date. La acest nivel se realizează atât conectarea mecanică a aparatelor cu mediul de transmitere a datelor (cablu torsadat, coaxial, optic) cât și posibilitatea de a activa mediul la transferul de biți.

Avantajele utilizării MAP sunt: scăderea timpului de implementare a echipamentelor în cadrul SFF sau rețelelor de calculatoare, costuri de instalare ale acestora mai mici. În exploatare MAP permite o mai ușoară și mai largă comunicare între diferite sectoare ale fabricii, prin capacitatea de monitorizare continuă și de calitate a parametrilor specifici de producție.

2.4.2. Arhitectura ierarhizată a sistemelor de comandă a SFF

Sistemul de comandă al SFF este ansamblul de calculatoare, echipamente de automatizare, sisteme de conducere a proceselor și/sau a componentelor sistemului și echipamente de comandă numerică

a mașinilor de lucru care asigură funcționarea automată, secvențială și coordonată a componentelor SFF.

Arhitectura ierarhizată a sistemului de comandă a SFF este organizată pe nivele ierarhice care conferă structurii o alură piramidală (figura 2.8). Nivele sunt populate de echipamente de conducere cu funcții de sine stătătoare și de comunicare subordonată cu nivelul imediat superior (comenzi transmise de la echipamentul pe nivelul "superior" și rapoarte transmise de echipamentele de pe nivelul "inferior"). În cazul în care integrarea se realizează pentru toate informațiile care sunt necesare și circulă într-o fabrică, sistemul integrat de comunicare precum și sistemul de programe care generează automat sau interactiv aceste informații este denumit CIM (Computer Integrated Manufacturing). În figura 2.9 se prezintă un exemplu de sistem de comandă ierarhizată a SFF, iar în figura 2.10 se prezintă un exemplu de integrare informațională parțială a unui sistem CIM [Zei '96 p98-99].

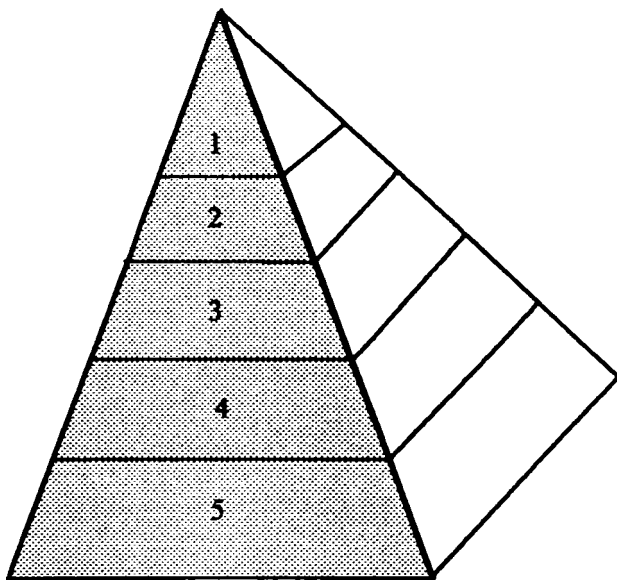


Figura 2.8. Alura piramidală a structurii ierarhizate a sistemului de comandă al SFF [Kov'94, p114]

Nivelul 1: nivel decizional tactic al planificării fabricației pe termen mediu

Nivelul 2: nivel al planificării fabricației pe termen scurt și lansarea fabricației

Nivelul 3: nivel al conducerii fabricației în timp real și a coordonării comenzilor și a cașe pentru F

Nivelul 4: nivel al coordonării stațiilor de lucru sau al celulelor de fabricație flexibilă din cadrul SFF

Nivelul 5: nivel al conducerii locale a componentelor SFF (mașini de lucru, roboți etc).

În figura 2.11 se prezintă o arhitectură de comandă a aplicației în producție a protocolului MAP (CNMA), realizat în Marea Britanie, în cadrul programului de cercetare european ESPRIT. Sistemul de fabricație flexibilă la care a fost realizată implementarea unui sistem de comandă ierarhizată este format dintr-un centru de prelucrare cu comandă numerică NUM 760 GEC, un sistem de transfer lung automat comandat de un automat programabil GEM 80 GEC, un robot Siemens condus de automatul programabil S5/150U Siemens și stații de încărcare/descărcare manuale. Aceste echipamente de automatizare locală sunt legate cu un microcalculator Bull SPS7,

un minicalculator Olivetti M44, un microcalculator Ixdorf Targan 35 și un minicalculator M70 Siemens.

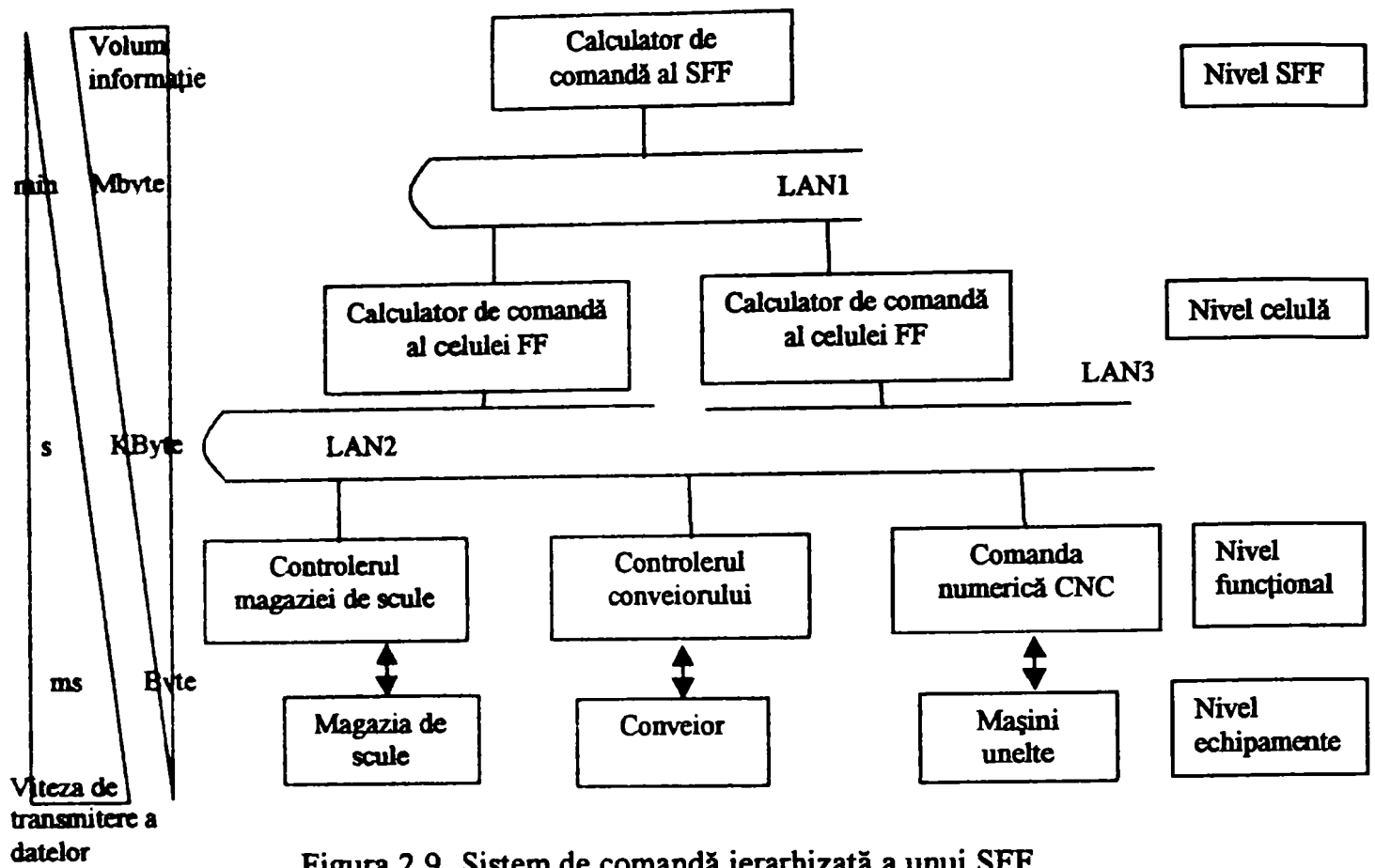


Figura 2.9. Sistem de comandă ierarhizatã a unui SFF

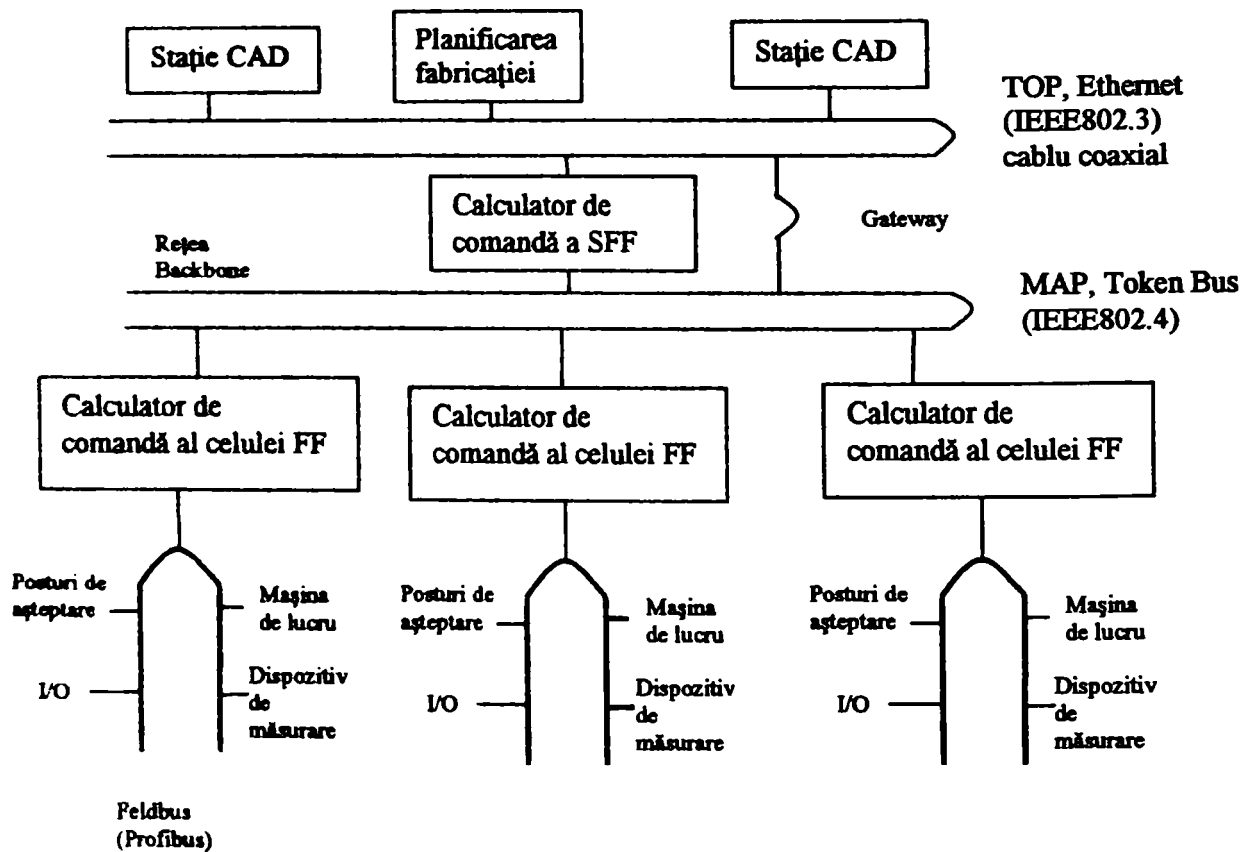


Figura 2.10. Porțiuni dintr-un sistem CIM (integrare MAP/TOP)

Rețeaua mai cuprinde un macaz cu două căi Siemens (gateway) pentru legătura dintre un segment de rețea IEEE 802.3 LAN cu capacitate de 10 Mbiți (Local Area Network) și rețeaua MAP IEEE 802.4 și un releu de legătură între rețelele de calculatoare IEEE802.3 LAN de 10 Mbiți și rețeaua IEEE 802.4 LAN de bandă largă.

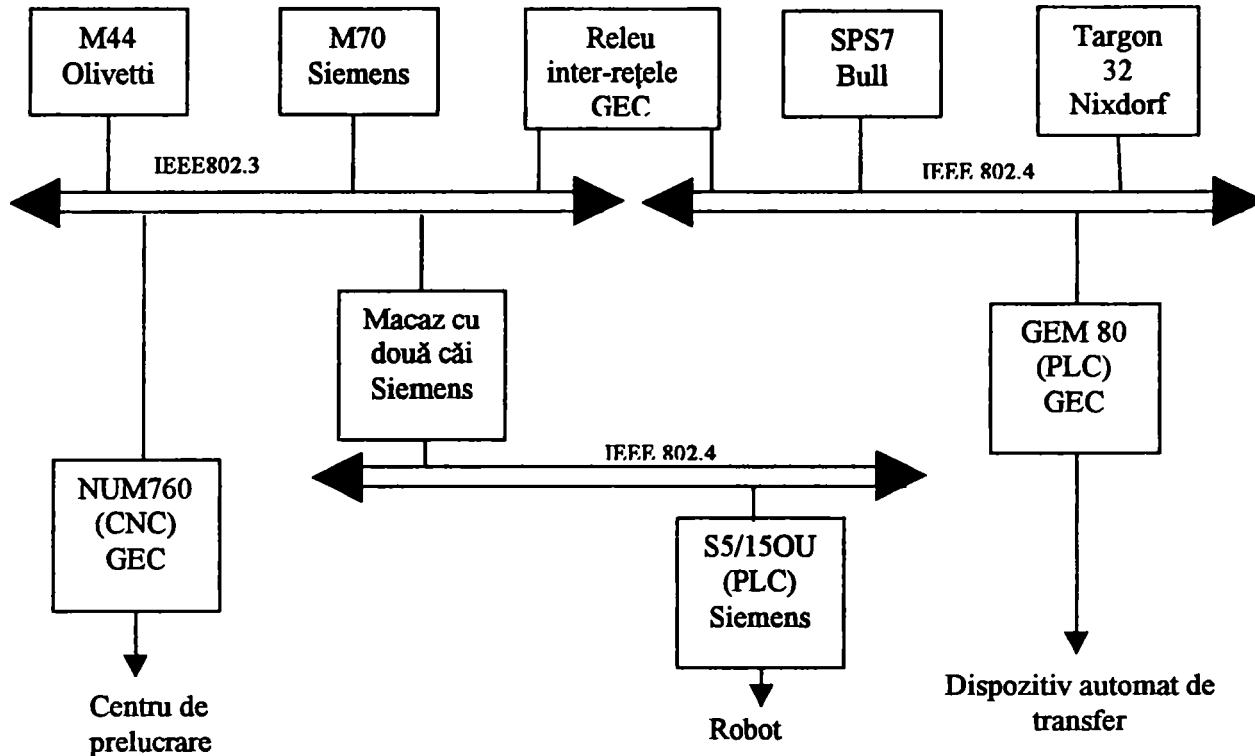


Figura 2.11. Arhitectura conducerii CNMA

Arhitectura ierarhizată a sistemului CIM-Eshed Robotec instalat în laboratorul SFF este prezentată în figura 2.12 [Kov'96, p40-51]. Sistemul de comandă este format din:

- un calculator central care conține o bază de date și o interfață sistem-operator uman
- un controler central care conține programele de management de sistem
- 3 controlere de stație pentru conducerea echipamentelor din stațiile respective
- comanda numerică CNC a mașinii de frezat EMCO-F1
- calculatorul pentru stația 2, care conține programele-piesă pentru comanda numerică și programul AUTOCNC pentru încărcarea automată a fișierului cu programul piesă corespunzător procesului de frezare
- calculatorul de stație 3, care conține programul de prelucrare a imaginii ROBOTVISIONpro preluate de către camera video CCD
- un automat programabil PLC pentru comanda stațiilor de oprire de pe conveyer.

Modalitatea de transmitere a datelor între diferitele echipamente de automatizare în timpul desfășurării automate a producției este:

- prin rețea serială RS232, în conexiunea “punct-cu punct” dintre controlerele de stație și cel central;
- prin cutia de conexiuni și rețeaua serială RS232 se realizează conectarea calculatorului de stație 2 și CNC pentru încărcarea fișierului care conține programul piesă corespunzător procesului tehnologic, respectiv conectarea calculatorului cu controlerul de stație 3 pentru coordonarea programelor robotului cu rezultatele rulării programului de prelucrare a imaginii ROBOTVISIONpro preluată de camera video CCD;
- prin conexiunile I/O ale automatului programabil PLC cu controlerele de stație pentru oprirea cărucioarelor în stații.

În vederea vizualizării și modificării programelor ACL din memoria RAM a controlerelor și programării roboților, calculatoarele central și de stație se conectează cu controlerele prin cutiile de conexiuni centrală și locale.

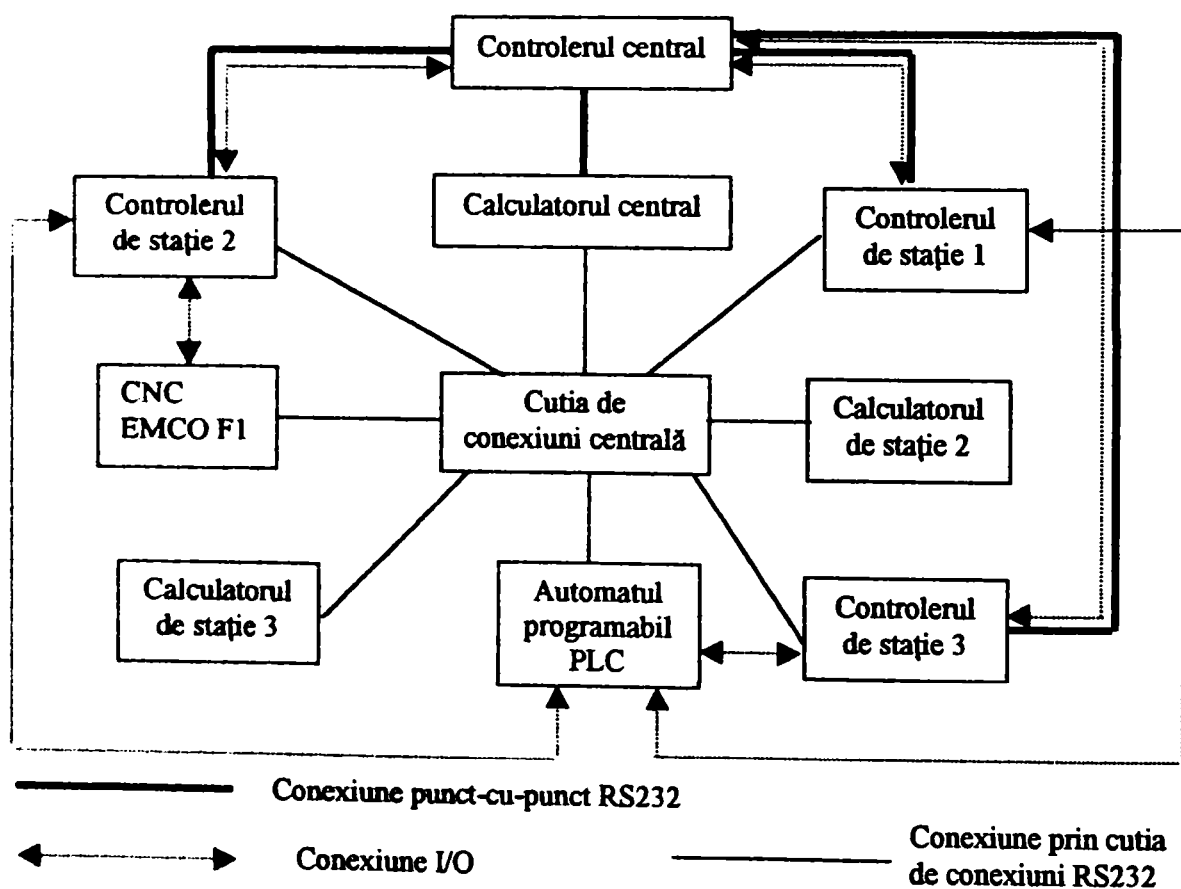


Figura 2.12. Arhitectura ierarhizată a sistemului de comandă a sistemului CIM Eshed-Robotec
 Secvențele de comunicare stabilite pentru corelarea activităților unei stații din timpul desfășurării automate a producției la sistemul CIM Eshed-Robotec sunt:

Datele de producție sunt încărcate de la calculatorul central la controlerul central (punct-cu-punct RS232) D₁

Semnalele de începe a producției sunt date (I/O și punct-cu punct RS232) D₂

Controlerul de stație semnalează PLC să oprească căruciorul cu paleta conținând piesa necesară la stație (I/O) D₃

Se citește codul căruciorului oprit în stație (I/O) D₄

Codul de identificare al căruciorului este transmis la controlerul central (punct-cu-punct RS232) D₅

Datele relevante de producție sunt transmise la controlerul stației (punct-cu-punct RS232) D₆

Paleta cu piesa necesară este preluată de pe cărucior și aceasta pleacă din stație (I/O) D₇

Operația de realizat la stație este verificată prin valoarea unor variabile din controlerul central (punct-cu-punct RS232) D₈

• Dacă programul piesă CNC trebuie încărcat de pe hard-disk-ul calculatorului de stație 2, controlerul stației trimite un semnal la calculatorul de stație 2 (cutie de conexiuni RS232)

• Calculatorul stației 2 încarcă programul piesă corespunzător (cutie de conexiuni RS232)

• Mașina de frezat este încărcată cu piesă și se realizează prelucrarea (I/O)

Datele de producție curente (rapoarte) sunt transmise la controlerul central (punct-cu-punct RS232) D₉

Controlerul central reactualizează variabilele care descriu datele de producție și transmite datele curente (starea de execuție a comenzii) la calculatorul central (punct-cu-punct RS232) D₁₀.

Secvențele notate cu • sunt specifice funcționării stației 2. În figura 2.13 se prezintă schema logică a schimbului de informații necesare corelării activităților unei stații.

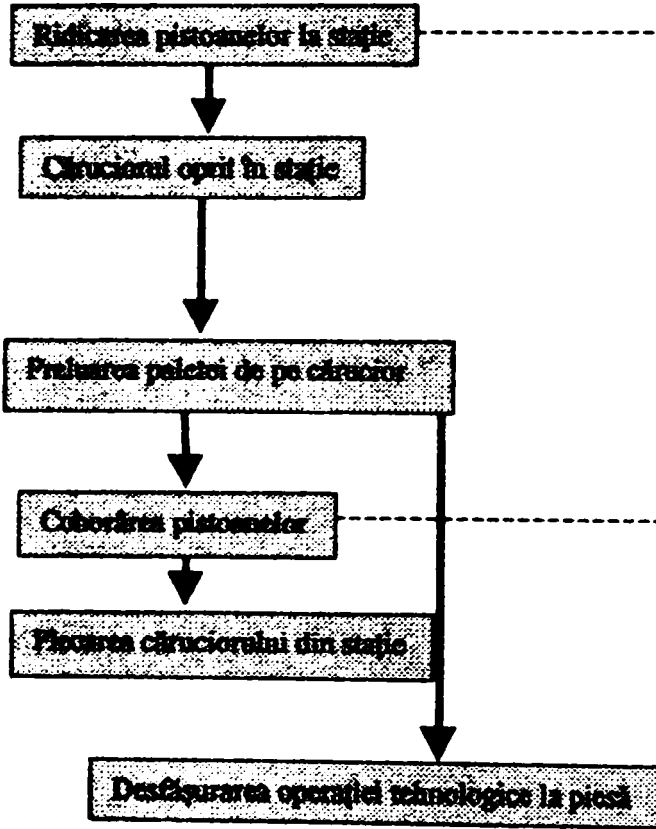
2.4.3. Arhitectura descentralizată a sistemelor de comandă a SFF [Bru'96 p40-60]

Prin descentralizarea sistemelor de comandă a SFF se înțelege modificarea structurii acestuia, prin care:

- se elimină ierarhizarea echipamentelor pe nivele diferite între care există relații de subordonare;
- echipamentele de comandă a stațiilor au autonomie de lucru și de decizie, fără a primi comenzi de la echipamentul de coordonare de pe nivelul imediat superior, echipament care este eliminat din structura sistemului de comandă al SFF;

- se obține o structură modulară care permite o mai mare flexibilitate de integrare structurală a sistemului în general și a sistemului de comandă al SFF în particular;
- fiecare sistem de comandă preia comanda stației de lucru în conformitate cu particularitățile funcționale ale acesteia, coordonarea funcționării sistemului (a tuturor stațiilor de lucru) este distribuită fiecărei stații autonome de fabricație flexibilă.

fluxul material



S-a notat cu:

- PCC calculatorul central
- CC controlerul central
- CS conectorul de stație
- PLC automatul programabil al conveierului
- S1, S2, S3, S4 senzorii de identificare ai codului cărții de lucru

fluxul de informații

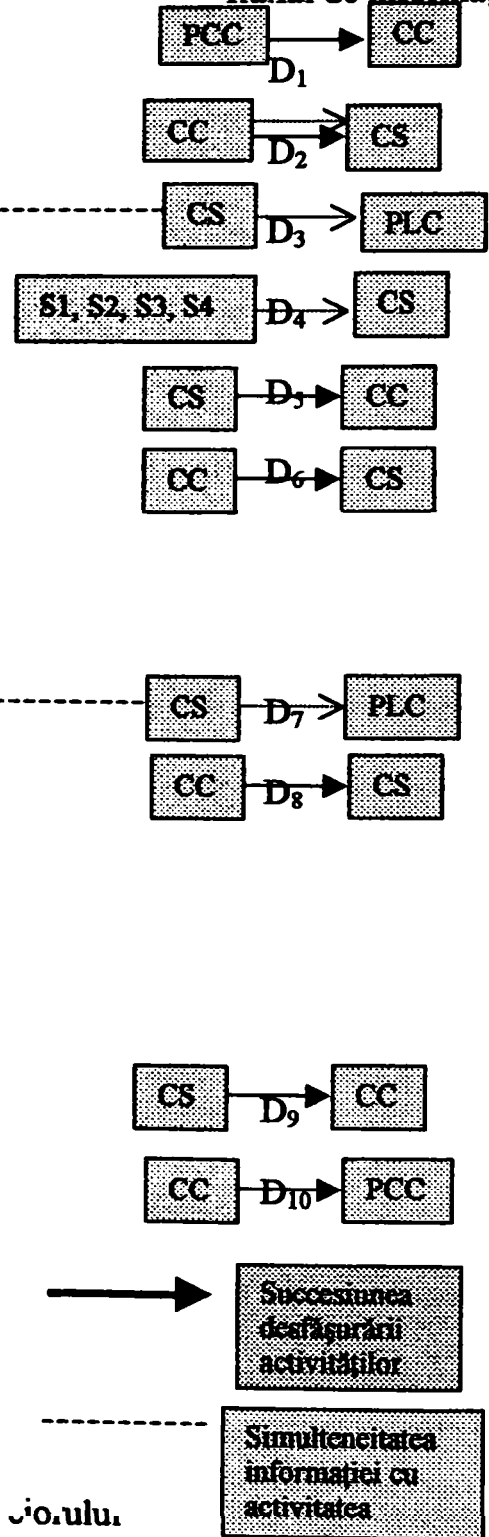


Figura 2.13. Schema corelațiilor dintre fluxul informațional și material în funcționarea unei stații de lucru a sistemului CIM Eshed Robotec

În figura 2.14 este prezentat un sistem descentralizat de comandă a SFF. Coordonarea funcționării stațiilor de lucru unui SFF se realizează prin informații structurate asupra sarcinii de fabricație și astfel se asociază fluxul de informații direct la fluxul material. Fiecărui obiect de lucru care aparține fluxului material i se asociază o entitate informațională, denumită "jeton". Acesta cuprinde două categorii de informații:

- date privind **tehnologia piesei** (operațiile tehnologice și succesiunea lor, stațiile la care acestea se pot realiza, codul de identificare al programului-piesă CN pentru operație etc)
- informații descriind elemente ale **planificării operaționale ale fabricației** (număr de piese de realizat, priorități ale piesei, termen de livrare/lansare limită a produsului, întâzieri admise la livrare, valoarea medie a timpilor de lucru fără defectare a echipamentului (MTTF [Băj'97]) etc).

Funcționarea sistemului de comandă neierarhizat presupune ca la fiecare lansare în fabricație a unui nou spectru de sarcini de fabricație să se inițializeze variabilele necesare comenzii din sistemele de comandă ale fiecărei stații de lucru. În structura autonomă a sistemului de comandă al SFF este inclus un generator de "jeton" care este atașat fiecărui obiect de lucru introdus în sistem.

Itinerarul piesei în sistem este determinat de "sosirea jetonului" la stația de lucru capabilă să execute următoarea operație tehnologică asupra piesei, la "ieșirea jetonului" și plecarea piesei din stație, informațiile cuprinse în jeton sunt modificate în conformitate cu stadiul de prelucrare curent al obiectului de lucru.

Avantajele unui sistem de comandă neierarhizat al SFF decurg din:

- posibilitatea de planificare globală fabricației pe termen mediu și acordarea unei autonomii sistemelor de comandă ale stațiilor de lucru care conferă sistemului reacții mai rapide la incertitudini, perturbații ale mediului sau defecțiuni ale componentelor acestuia;
- adaptabilitatea și reacția rapidă a sistemului la schimbările sarcinii de fabricație;
- adaptarea (chiar optimizarea) ordonanțării în cursul desfășurării fabricației, pentru că fluxul material și cel informațional este direct determinat de starea stațiilor de lucru: stare de funcționare/nefuncționare, stare de încărcare a posturilor de așteptare;
- micșorarea traficului de informații din rețeaua MAP, nemaifiind necesare secvențele de comunicare pentru corelarea activităților dintre controlerele de stații și cel central, prezentate în paragraful anterior.

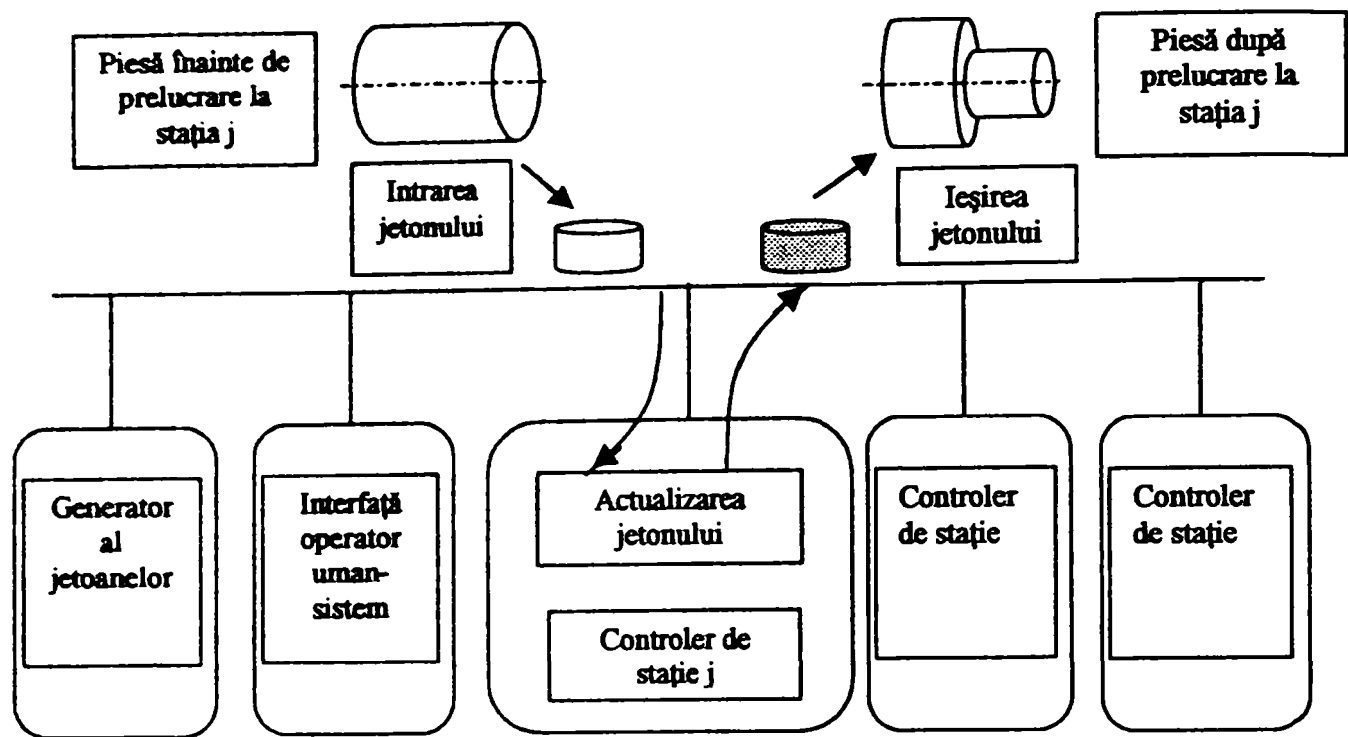


Figura 2.14. Structură descentralizată a sistemului de comandă a SFF

2.5. Monitorizarea și diagnoza automată a SFF

2.5.1. Considerații generale

În timpul desfășurării automate a fabricației în cadrul unui SFF pot să apară o serie de situații anormale, neprevăzute prin proiectare/programare, legate de funcționarea incorectă sau nefuncționarea componentelor sale. Disfuncționalitățile unui sistem de fabricație pot fi generate de defecțiuni sau de erori de funcționare.

Defecțiunile sunt nefuncționări sau funcționări necorespunzătoare datorate deteriorărilor fizice ale unor componente. Defecțiunea [Băj'97 p.240] este "sfârșitul capacității unei unități considerate de a îndeplini funcția cerută" sau "pierderea aptitudinii unui dispozitiv de a-și îndeplini funcțiunea cerută în condiții date".

În funcție de apariția, evoluția în timp și de amploarea defecțiunilor din sistem, se pot identifica următoarele tipuri de defecțiuni:

Defecțiunea bruscă este o consecință a evenimentului "defectare" care nu putea fi prevăzută prin verificări anterioare pentru că evoluția acestuia în timp este foarte rapidă;

Defecțiunea independentă apare la un element fără a fi consecința defecțiunilor unor elemente și fără a cauza defectarea altor elemente cu care interacționează în sistem;

Defecțiunea dependentă (secundară) a unui element este cauzată de defectarea altei componente legate din punct de vedere funcțional cu acesta;

Defecțiunea progresivă are o evoluție lentă și previzibilă prin verificările periodice ale caracteristicilor elementului, declararea defecțiunii făcându-se la atingerea unor valori critice ale parametrilor de funcționare ai elementului;

Defecțiunea totală (completă) are ca efect pierderea totală a funcției unui element.

Erorile de funcționare în sistemul de fabricație flexibilă sunt rezultatul unor cunoașteri incorecte, false ale realității sau funcționărilor incorecte ale unor componente. În concepție sistemică, o eroare este generată de un răspuns eronat, incorect al unui sistem la intrări corecte.

Situațiile anormale care apar în sistemele de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin așchiere/eroziune sunt foarte diverse și provin din surse **interioare** sau **exterioare** sistemului. Sursele din interiorul sistemului de fabricație flexibilă pot fi defecțiuni sau erori de funcționare ale:

- echipamentului de conducere (defecțiuni ale componentelor electronice, ca de exemplu: scurtcircuit, întrerupere, erori de funcționare, erori de citire a datelor, erori de memorare);
- sistemului de acționare (suprasarcini electrice sau mecanice, defecțiuni electrice, obturarea conductelor de alimentare hidraulică/pneumatică, blocări ale componentelor hidraulice/pneumatice, întreruperi necomandate de alimentări cu energie);
- sistemului mecanic al componentelor (eroi cinematice, uzuri ale elementelor de transmisie, uzuri ale lagărelor, neechilibrări de mase, uzuri premature ale sculelor, decalibrare a sculelor);
- sistemului de traductoare/senzori/aparate de măsură (iluminare incorectă/umbre la senzorul de vedere artificială, defecțiuni ale senzorilor sau unităților analog/digitale, blocări ale întrerupătoarelor de capăt de cursă).

Sursele exterioare sistemului pot fi:

- erori provenind din mediul sistemului de fabricație (vibrații transmise de la alte echipamente, câmpuri electrice/magnetice perturbatoare, dimensiuni ale semifabricatului din afara câmpului de toleranță, caracteristici mecanice necorespunzătoare ale materialului pieselor);
- erori ale operatorului uman (comenzi greșite, introducere eronată a datelor).

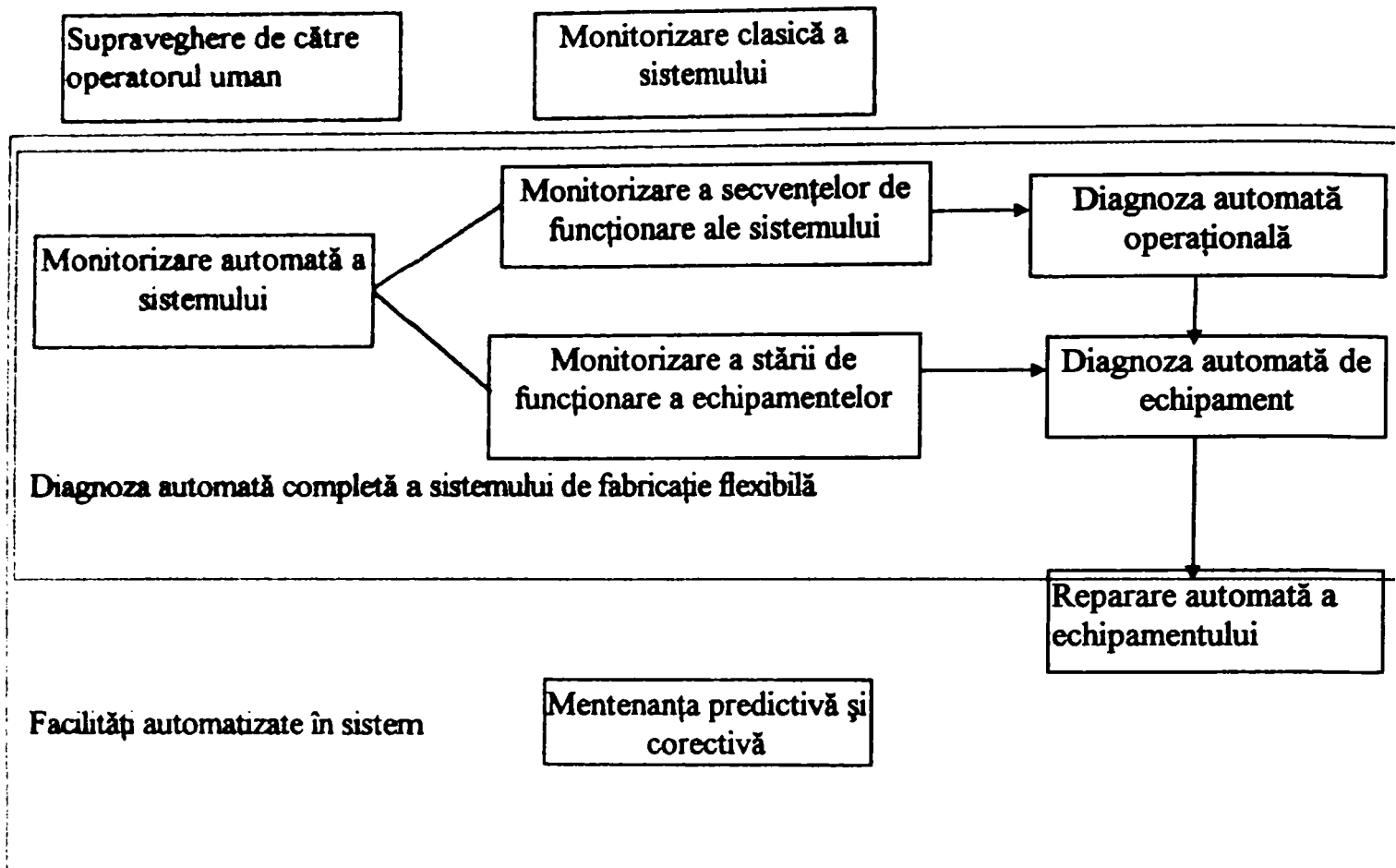


Figura 2.15. Metode de cunoaștere, prevenire și corectare a defecțiunilor și erorilor de funcționare din cadrul SFF

Metodele de cunoaștere, prevenire și intervenție în cazul situațiilor anormale din funcționarea sistemului de fabricație flexibilă sunt prezentate în figura 2.15, unde prin săgeți a fost simbolizat fluxul informațional (transmitere de informații) între modulele automatizate.

Detectarea defecțiunilor/erorilor în funcționarea sistemelor de fabricație flexibilă se poate realiza prin supraveghere sau monitorizare a desfășurării producției, fie direct de către operatorul uman, fie în mod automat, prin mijloace adecvate. În cazul sistemelor flexibile la scară industrială, complexe și de mari dimensiuni, urmărirea de către operatorul uman a derulării producției este dificilă, de multe ori imposibilă. În aceste cazuri, sistemul este dotat minimal cu un sistem de supraveghere, prin care operatorul uman urmărește afișarea pe un ecran, în timpul derulării producției, a comenzilor sistemului de conducere al SFF. În caz de disfuncționalitate, sistemul de conducere furnizează un minim de informații legate de blocarea funcționării sistemului de fabricație. Un exemplu de afișare pe ecran a informațiilor furnizate de către sistemul de supraveghere este:

Ora	Stația de lucru	Activități comandate
10.30.10	ASRS (depozit automat)	Robotul preia semifabricatul #ID (numărul tipului de semifabricat) din depozit
10.30.20	ASRS (depozit automat)	Lipsă semifabricat #ID din depozit

Monitorizarea clasică a funcționării sistemului de fabricație este activitatea prin care operatorul uman urmărește indicațiile aparatelor de măsură sau semnalelor senzorilor integrați în sistem și ia decizii de oprire și intervenție în cazul în care acestea depășesc valorile de referință normale respectiv semnalele sunt eronate. În cazul sistemelor de fabricație complexe, monitorizarea clasică este dificilă din cauza volumului mare al informațiilor și a vitezei mari de modificare a acestora.

Integrarea unui sistem de monitorizare automată se justifică economic prin calcularea pierderilor financiare din cauza posibilelor efecte negative ale unei defecțiuni nesesizate în momentul apariției asupra funcționării altor componente ale sistemului (defectare secundară) și a timpului suplimentar de oprire a producției necesar identificării simptomului de defectare.

Monitorizarea automată a SFF presupune preluarea informațiilor din sistem prin mijloace adecvate, prelucrarea și utilizarea acestora în scopul deciziei automate de semnalare a situațiilor anormale în funcționarea sistemului.

Monitorizarea automată a sistemelor de fabricație flexibilă are două valențe:

- monitorizarea secvențelor de funcționare ale sistemului (urmărirea succesiunii logice de derulare a activităților comandate și a executării acestora, traseului pieselor în sistem, identificării tipului de piesă, numărului de piese în circulație etc.);
- monitorizarea stării de funcționare a echipamentelor (monitorizarea automată a fenomenelor dezvoltate în funcționare: vibrații, caldură degajată, contaminarea lubrifiantului, dezvoltarea de forțe/momente în cuplul sculă-piesă etc.).

Monitorizarea secvențelor de funcționare ale sistemului are ca scop verificarea desfășurării secvențiale a activităților componentelor din sistem și semnalarea situațiilor anormale. În majoritatea cazurilor, monitorizarea automată se realizează prin senzori de existență/proximitate, sisteme de identificare a codului piesei/paletei, întrerupătoare de capăt de cursă, sisteme de monitorizare a valorilor intensității curentului de alimentare a motoarelor, aparate pentru măsurarea presiunii hidraulice/pneumatice etc. Aceste informații sunt utilizate pentru fiecare secvență de funcționare a componentelor sistemului prin implementarea în programul acestora de comandă a unei baze de cunoștințe, prin care se verifică corectitudinea valorilor sau încadrarea acestora în limite normale.

Funcționarea anormală a sistemului la un moment dat este cauzată fie de **erori operaționale** (provenind din mediul sistemului de fabricație, de la operatorul uman sau de la sistemul de traductoare și senzori) fie de **defectări ale echipamentelor**. Informațiile corespunzătoare unei funcționări incorecte, obținute din monitorizarea automată a secvențelor de funcționare sunt utilizate în diagnoza operațională. Sistemele de monitorizare automată a echipamentelor sunt scumpe și sofisticate și, în general, nu toate mijloacele de producție din sistem sunt monitorizate.

Monitorizarea automată a echipamentelor sistemului de fabricație flexibilă este activitatea de obținere de informații de stare prin înregistrări, procesări de date și memorări de valori furnizate de instrumente/aparate de măsură. Monitorizarea automată a funcționării componentelor sistemului de fabricație flexibilă sesizează modificările de stare și furnizează informații pentru organizarea remedierilor.

Scopul monitorizării este verificarea normalității funcționării sistemului/echipamentului, detectării abaterilor și furnizării informațiilor suport pentru opriri, alarmă și inițierea procedurii de diagnoză a echipamentului.

Funcțiile sistemului de monitorizare sunt de protecție a personalului și echipamentelor, de prevenire a accidentelor și a apariției defectiunilor.

Din cauza complexității și varietății aplicațiilor de automatizare flexibilă, în literatura de specialitate se prezintă un număr mare de tipuri de fenomene monitorizate la echipamente: uzare, contorizarea timpului, comunicări prin rețea, ungere, căldură degajată prin frecare etc. Fiecare dintre aceste fenomene pot fi monitorizate printr-un număr mare de parametri: temperatură; deplasare, viteza și accelerația (pentru vibrații); gradul de impurificare al uleiului cu particule de uzură; dimensiuni și calitatea suprafețelor prelucrate; rezultate ale testărilor microprocesoarelor din sistemul de conducere; forțe și momente dezvoltate la scule; uzuri ale sculelor; presiunea uleiului din conducte hidraulice etc.

Pentru transmiterea informațiilor sistemului de autodiagnoză, sistemul de monitorizare mai poate avea și funcția de selectare a principalelor modificări de stare în evoluție și de stabilire a soluțiilor de intervenție. Prin monitorizare se realizează economii importante datorită scurtării timpului până la intervenție în caz de defectare și a micșorării costurilor reparațiilor unor defectări diagnosticate timpuriu.

Rolul diagnozei operaționale este de a verifica și decide, în primul rând, dacă anomalia a apărut din cauza erorilor operaționale sau a defectării unui echipament. Declararea unei erori operaționale și a cauzelor

acesteia de către sistemul de diagnoză operațională prezintă un grad ridicat de risc, din acest motiv este necesară verificarea deciziei luate.

Validarea declarării erorii operaționale se poate realiza prin mai multe metode:

- redundanța materială care constă în utilizarea mai multor senzori pentru aceleași funcții (de exemplu: senzori de existență ai piesei) ;
- redundanța analitică care presupune verificarea coerenței informațiilor obținute din monitorizare pe modele matematice. Dacă nu există un model matematic pentru procesul de fabricație, se poate utiliza și un model de bază de date sau de cunoștințe.

În cazul declarării defecțiunii de echipament, se identifică echipamentele defectate și se activează diagnoza specifică de echipament. În paralel cu monitorizarea automată a secvențelor de funcționare, componentele sistemului pot fi monitorizate separat, ceea ce mărește viteza de reacție la apariția defecțiunilor de echipament, respectiv gradul de încredere în decizia diagnozei operaționale. În general, etapele de parcurs pentru realizarea diagnozei automate (operaționale sau de echipament) sunt:

- a. stabilirea celor mai frecvente defecțiuni în funcționare și a parametrilor controlați care le semnalează;
- b. monitorizarea automată a funcționării sistemului prin urmărirea permanentă/intermitentă a valorilor acestor indicatori;
- c. compararea valorilor parametrilor de monitorizare cu valori de referință cunoscute apriori și, în caz de comportament anormal, stabilirea cu precizie a simptomelor manifestate;
- d. determinarea automată a cauzelor defecțiunii și afișarea acestora pentru intervenția echipei de întreținere.

Prin parcurgerea primelor trei etape se realizează condițiile monitorizării anomaliilor în funcționarea sistemului, în etapa a patra se determină tipul de defecțiune, gravitatea, locul de apariție și urmările acesteia.

Monitorizarea automată și diagnoza operațională a SFF fac obiectul unei analize aprofundate, prezentate în cadrul acestei lucrări.

Diagnoza automată de echipament este activitatea de identificare a defecțiunilor și erorilor în funcționare, a cauzelor acestora pe baza datelor obținute prin control, supraveghere, monitorizare. În vederea diagnosticării funcționării sistemelor trebuie stabilite relațiile cauzale: simptom → sesizarea defecțiunii → identificarea defecțiunii → cauzele defecțiunii → măsuri de intervenție (reparații).

Sinteza sistemului de monitorizare/diagnoză a defecțiunilor de echipament trebuie să țină cont de criterii de eficiență economică legate de costul echipamentului și de efectele unei eventuale defectări asupra desfășurării fără întreruperi a procesului de fabricație automatizat.

Astfel, pentru **mașini unelte cu un cost mai mic** și a căror defectare nu influențează decât în mică măsură funcționarea sistemului, există practica utilizării mașinii până la defectare, fără supraveghere/monitorizare automată sau cu supraveghere intermitentă. În acest caz se preferă ca sarcina de fabricație să fie preluată de către o altă mașină, prin exercitarea proprietății de flexibilitate de utilizare a acesteia, iar sistemul de conducere să adopte trasee ocolitoare ale fluxului material în sistem.

Pentru **mașinile unelte/echipamentele cu cost ridicat** și a căror defectare conduce la pierderi de producție mari, prin întreruperea completă a sistemului, se crează un sistem de monitorizare a mai mulți parametri. Aceștia pot fi: temperatura, deplasarea, viteza și accelerația mișcărilor vibratorii, presiunea și debitul uleiului de ungere, etc. Se realizează o analiză de spectru “în timp real”, se urmărește tendința de evoluție a valorilor parametrilor și se inițiază diagnoza automată de echipament.

Pentru **echipamentele de cost mediu** și cu implicații parțiale în continuarea producției în caz de defectare, parametrii de monitorizare sunt aceiași ca și în cazul anterior, sunt *periodic* înregistrate și memorate datele, cu analize de spectru și urmărirea tendințelor de evoluție a datelor.

Pentru **mașini fără importanță deosebită**, dar cu costuri ridicate de întreținere, parametrii de monitorizare sunt: deplasarea, viteza și accelerația (vibrațiilor), parametrii procesului tehnologic, forțe/momente dezvoltate în procesul tehnologic, temperatura diverselor componente ale mașinii.

Programul de diagnoză automată, inițiat de către sistemul de monitorizare, trebuie să furnizeze informații cu privire la cauzele apariției simptomelor sesizate și soluții pentru reparații. În general, sistemul de autodiagnoză se limitează la semnalarea modulelor defectate. În cazul unei avarii severe, diagnosticarea completă se realizează de către personal calificat, prin utilizarea unei aparaturi complexe suplimentare.

Mentenanța sistemelor de fabricație flexibilă este activitatea periodică de intervenție cu planificare rigidă (la intervale de timp prestabilite) sau în caz de necesitate, având scopul de menținere a parametrilor de funcționare a componentelor la valori normale/optime.

Mentenanța [Băj'97 p. 244] este “totalitatea acțiunilor executate periodic în scopul menținerii (sau refacerii) caracteristicilor de funcționare a elementelor, în limitele impuse de specificații”.

Intervențiile impuse de sistemul de mentenanță sunt realizate la pornirea sistemului și periodic de către operatorii umani. Intervențiile automate se realizează în timpul funcționării sistemului și pot fi **activități de întreținere sau de reparare curentă**. Se poate automatiza activitatea de întreținere pentru reascuțirea discului abraziv la mașinile de rectificat CNC sau ungerea periodică a ghidajelor

mașinilor unelte. Prin sistemul de control activ se corectează situația relativă sculă-piesă, corecții necesare datorită decalibrării sculei sau a uzurilor apărute la vârful acesteia.

Repararea [Băj'97 p.245] este "acțiunea necesară menținerii sau readucerii unui element în stare de funcționare".

Repararea automată este activitatea ce succede diagnozei și care se declanșează în momentul în care defecțiunea declarată poate fi înlăturată în mod automat, prin rularea unor programe și înlocuiri de componente. Repararea automată se poate realiza prin existența în spațiul sistemului a unor componente redundante activ sau pasiv și înlocuirea componentelor defecte cu acestea, prin activități corespunzătoare.

Elementul redundant activ este un element de rezervă care funcționează concomitent cu elementul pe care-l va înlocui în caz de defectare și în aceleași condiții de solicitare, iar elementul redundant pasiv este acel element de rezervă care intră în funcțiune în momentul defectării elementului de bază.

De exemplu, prin monitorizarea forței/momentului la sculă în timpul procesului de așchiere, se poate sesiza uzura prematură a acesteia. Dacă există în magazie o sculă de rezervă și un dispozitiv de schimbare și instalare automată a sculei, se va proceda la înlăturarea defecțiunii prin înlocuirea în mod automat a sculei uzate.

Nu toate defecțiunile pot fi înlăturate în mod automat și de multe ori este necesară intervenția personalului de întreținere sau de reparații.

2.5.2. Metode de monitorizare și diagnoză [Bor'89]

Factorii care influențează strategia de monitorizare a sistemelor de fabricație flexibilă sunt:

- gradul de automatizare al întregului sistem și complexitatea componentelor acestuia;
- disponibilitatea sistemului de măsurare și control: grad de automatizare, complexitate și cost;
- criteriul de calitate impus produselor: parametrii de calitate și metode de asigurarea calității;
- criteriul de eficiență economică (analiză a creșterii investiției cu introducerea sistemului de monitorizare față de pierderile de producție prin întreruperi din cauza avariilor);
- corelarea cu măsurile de protecția contra accidentelor a personalului și mașinilor.

Tipul de monitorizare și diagnoză (operațională și de echipament) este determinat de timp: frecvență, durată și moment.

Funcție de frecvență, monitorizarea și diagnosticarea pot fi continui (pe toată durata funcționării) și discontinui (pentru fiecare a n-a piesa introdusă în sistem sau pentru prima piesă din lot).

Funcție de momentul în care se face monitorizarea și diagnoza, acestea se pot realiza: în timpul procesului, în perioadele de întrerupere sau post reparație.

Procedurile tipice de monitorizare și diagnoză sunt:

a) *Testul general la începutul producției* se execută la intervale mari de timp și cuprinde verificări, realizate automat, sub supravegherea operatorului uman, asupra:

sistemului de conducere (teste de memorie, de introducere de date, de verificare a secvențelor de funcționare, de comunicări prin rețea);

mașinilor (punct de referință al mașinii, deplasări ale meselor, funcționare la mers în gol, măsurarea curentului acționării principale, verificarea limitatoarelor de cursă și a instalației pentru lichidul de răcire/ungere);

roboților (aducerea în poziție de "acasă" cu verificarea semnalelor de la traductoare);

dispozitivelor instalației aducătoare/de evacuare (funcționare la mers în gol, aducere în poziție de "acasă").

b) *Monitorizarea continuă în timpul funcționării* se realizează prin prelevarea unui număr mare de valori ale parametrilor din proces. Pe lângă informațiile pentru urmărirea circulației pieselor în sistem în monitorizarea operațională, se mai pot urmări continuu: căldura dezvoltată de procesul de prelucrare, forța/momentul de așchiere, o serie de parametri ai vibrațiilor la mașini, capacitatea electrică a dielectricului la prelucrarea prin electroeroziune etc.

Pentru o monitorizare și diagnoză eficientă, din cauza volumului mare de date și calcul, se admite și compararea, pentru decizii rapide, a unor ansambluri de date culese din proces cu altele memorate. Forța de așchiere se poate măsura direct din proces prin determinarea dependenței între aceasta și curentul acționării principale pentru un anumit regim de așchiere. Intensitatea curentului se măsoară direct și, prin comparații între datele reale cu datele tabelare stabilite apriori prin experiment din memoria procesorului la adresa adecvată, se determină forța de așchiere. În continuare, cunoscându-se dependența dintre forța și uzura sculei, se poate decide rapid, funcție de variația intensității curentului, schimbarea sculei din cauza uzurii.

c) *Diagnoza la "cerere"* se realizează când are loc o avarie sau o întrerupere. De obicei acest tip de diagnoză presupune și prezența unui operator uman. Gradul de calificare și specializare a acestuia crește cu amploarea defecțiunii din sistem. Pe lângă rezultatele obținute prin monitorizare și diagnoză automate ("on line"), prin memorare și transmitere de date se poate realiza și diagnoza "off line", la care să se adauge datele obținute, cu aparatura specială, ale personalului de reparații.

d) *Diagnoza la perioade lungi* se face în timpul reviziilor și reparațiilor capitale. Se utilizează aparatură adecvată (interferometre, laser, analiză modală, mijloace endoscopice) și se determină gradul de uzură fizică a echipamentelor, în vederea reparațiilor.

2.6. Modelarea SFF și simularea funcționării sistemelor

2.6.1. Modelarea și simularea ca mijloace de asistare a sintezei SFF

Înainte de a se lansa un nou proces de sinteză a unui SFF, este necesară execuția unui studiu de **fezabilitate** prin care să se certifice oportunitatea implementării automatizării flexibile la segmentul tehnologic al beneficiarului. După analiza tehnică, economică și financiară a problemei și concluzii pozitive asupra eficienței funcționării unui SFF, trebuie elaborată o **strategie de finanțare și de instalare a sistemului**, pentru a nu se induce perturbații majore în funcționarea secției unde se realizează modernizarea. Toate aceste considerații tehnico-economice sunt incluse la nivelul planificării strategice a producției unei întreprinderi (pe termen lung al timpului, măsurabil în ani), în care se aduc contribuții și decizii importante la nivel managerial.

Pentru optimizări și luări de decizii în cadrul planificării strategice a producției sunt cunoscute tehnici informatice evolute, ca de exemplu, sisteme expert sau de bază de cunoștințe. Alegerea unei variante optime de structură a viitorului sistem se realizează utilizându-se **tehnici de logică vagă și de decizii multicriteriale** [Cal'88] sau stabilirea unei configurații optime a SFF se realizează prin **programare matematică** [Abr'96 p.132].

La începutul sintezei sistemului o problemă care trebuie rezolvată este stabilirea tipurilor de piese care se vor prelucra în sistem. Rezolvarea acestei probleme necesită utilizarea tehnicilor informatice bazate pe principiile **tehnologiei de grup**.

Alocarea fiecărei operații de prelucrare din spectrul de piese, tipul de mașină de lucru adecvat, ducă la o configurație de sistem a cărei capacitate productivă și inventar curent, timp de așteptare al pieselor sunt determinate în valori medii prin **modelarea în rețea a șirurilor de așteptare**.

Metodele programării matematice sunt utilizate și în optimizarea preliminară a itinerarelor obiectelor de lucru în cadrul unui sistem complex.

Validarea sistemului sintetizat este o etapă prin care se verifică corespondența dintre valorile parametrilor de performanță prestabiliți în faza de planificare strategică a producției cu cei obținuți prin **simularea unui model detaliat al sistemului** pe calculator.

În tabelul 2.3. se prezintă etapele sintezei SFF, problemele de rezolvat și metodele de modelare/simulare adecvate.

În figura 2.16 este prezentată clasificarea metodelor de modelare și simulare utilizate în domeniul SFF. Metodele de evaluare ale modelului au ca scop prelucrarea datelor referitoare la stările succesive ale sistemului și stabilirea performanțelor SFF într-o anumită variantă de funcționare (se evaluează un set de decizii luate de către utilizator).

Tabelul 2.3. Etapele sintezei, problemele de rezolvat în fiecare etapă și metodele de modelare/simulare corespunzătoare

Etapele sintezei SFF	Probleme de rezolvat	Metoda de modelare/simulare utilizată
Studiul de fezabilitate al introducerii automatizării flexibile	Mărimea investiției Anii de returnare ai investiției Spectrul de piese de prelucrat în SFF	Programare matematică Tehnologii de grup
	Variante de structură a sistemului	Decizii multicriteriale și tehnici de logică vagă
Tehnologie de grup	Stabilirea familiilor de piese de prelucrat în sistem	Tehnologii de grup
Alegerea și stabilirea componenței subsistemului de prelucrare	Stabilirea numărului de tipuri de mașini	Modelarea în rețea a șirurilor de așteptare
Optimizarea itinerarelor tehnologice ale familiilor de piese	Stabilirea coeficientului de utilizare al mașinilor Stabilirea numărului de palete necesare	Programare matematică
Proiectarea fluxului material de intrare în sistem	În etape timpurii ale sintezei	Modelarea în rețea a șirurilor de așteptare
	La finalul sintezei sau în exploatarea sistemului	Modelarea și simularea funcționării SFF Rețele Petri
Validarea structurii finale a sistemului	Verificarea corelării desfășurării activităților tuturor componentelor pentru un anumit flux material de intrare	Modelarea de detaliu și simularea funcționării SFF Rețele Petri

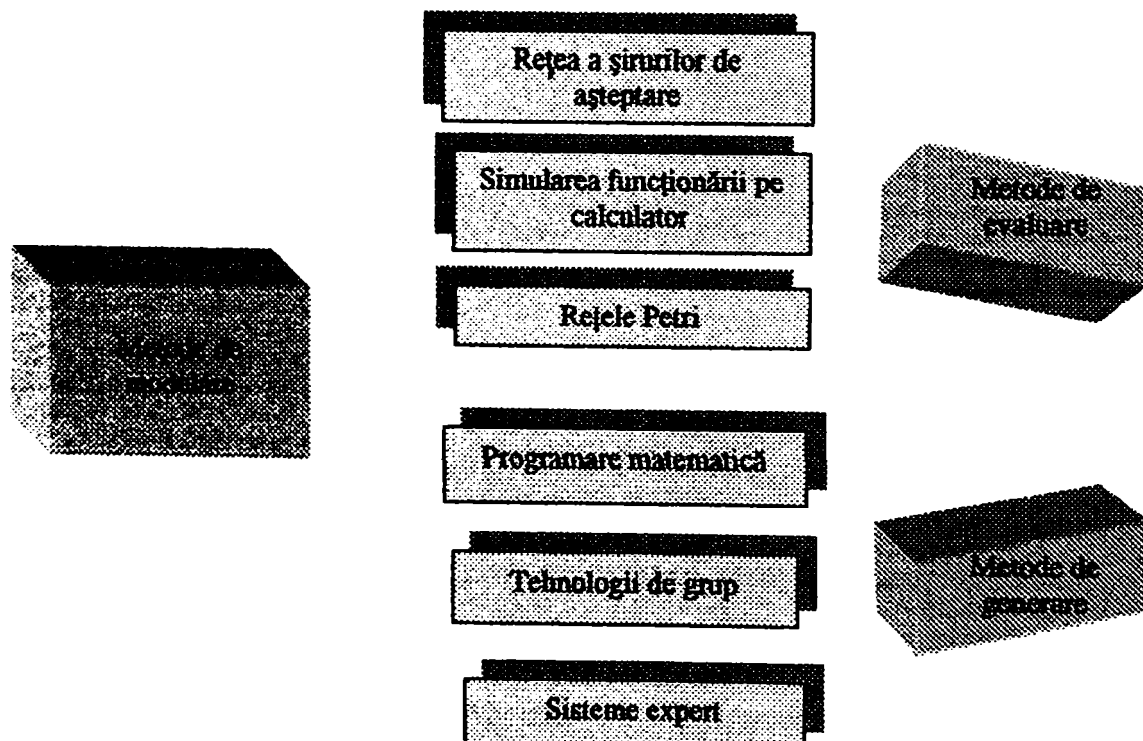


Figura 2.16. Clasificarea metodelor de modelare și simulare a SFF

Metodele de generare asigură obținerea unor soluții optime la o problemă specifică de sinteză a SFF prin utilizarea calculului automat. Schema de principiu a acestor metode este prezentată în figura 2.17.

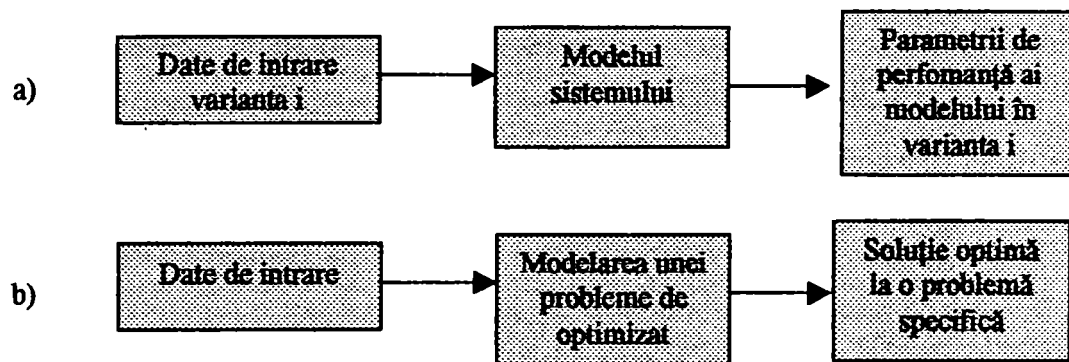


Figura 2.17. Scheme de principiu a metodelor de modelare de evaluare (a) și de generare (b)

2.6.2. Modelarea în rețea a șirurilor de așteptare

Structura și componentele SFF permit fabricarea unor obiecte de lucru diferite, aparținând aceleiași familii de piese stabilite prin tehnologie de grup. Deplasarea în cadrul sistemului a pieselor de la o mașină de lucru la alta, se face automatizat, după itinerare tehnologice diferite. Pentru modelarea SFF în rețea a șirurilor de așteptare, acesta este analizat din perspectiva mișcării materialului, a circulației de piese în sistem. Noțiunile specifice utilizate în acest tip de modelare sunt:

- ruta (dictată de itinerarul tehnologic ale piesei în sistem) este itinerarul unic sau itinerarele posibile ale obiectului de lucru în SFF;
- stația de lucru este subsistemul component al SFF format din mașina de lucru și dispozitivele automate de manipulare ale pieselor corespunzătoare servirii acestor echipamente de prelucrare;
- coada sau șirul de așteptare al unei stații de lucru este numărul de piese care așteaptă să fie prelucrate și disciplina de așteptare a pieselor la cozi (de cele mai multe ori se utilizează disciplina PVPS, Primul Venit Primul Servit, adică obiectul aflat în prima poziție în șir va fi primul prelucrat) ;
- ramificație este punctul de selecție a rutei obiectului după criterii de încărcare și adecvare a mașinilor de lucru la sarcina de fabricație;
- timpul de servicii ale unei stații de lucru este timpul de prelucrare și servire (manipulare a piesei) al unei mașini de lucru;

- timpul de așteptare al unei piese la stația de lucru.

Performanțele determinabile în urma prelucrării datelor modelului sunt:

- capacitatea productivă a modelului sistemului și a componentelor subsistemului de prelucrare;
- inventarul curent al sistemului modelat;
- timpul necesar unei piese de parcurgere a sistemului, cu execuția tuturor operațiilor de prelucrare aferente tipului de piesă și timpul de așteptare al unui obiect la o stație de lucru.

Funcție de valoarea constantă sau variabilă a numărului de piese (notat cu N) în sistemul modelat, se consideră două concepte de bază de modelare:

- în rețea închisă, în care $N = \text{constant}$ și limitat (schema de principiu a modelului este prezentată în figura 2.18. a);
- în rețea deschisă, în care $N = \text{variabil}$ și nelimitat (schema de principiu este prezentată în figura 2.18.b [Abr'96 p.148]).

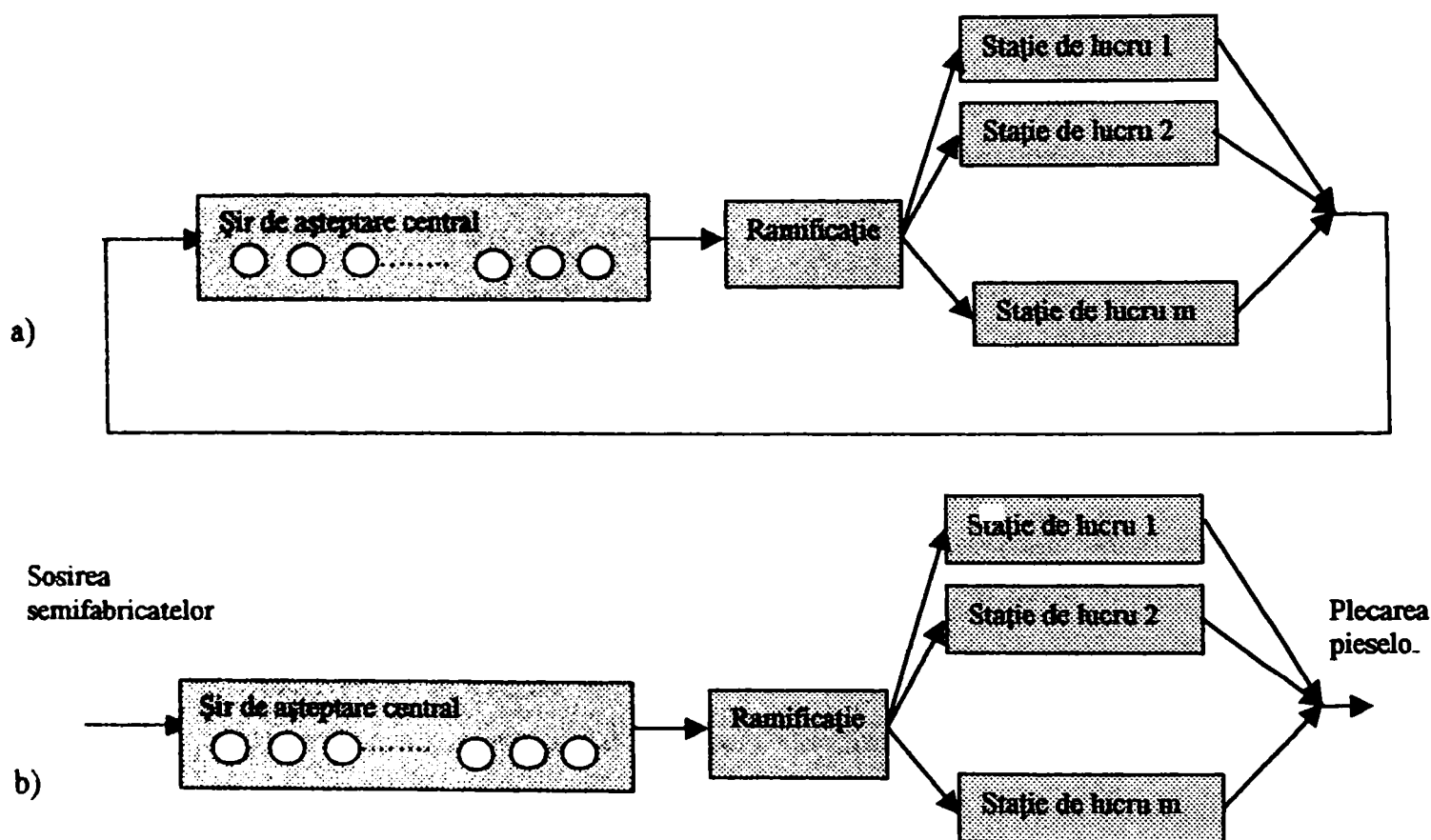


Figura 2.18. Modelul SFF cu șiruri de așteptare în rețea închisă (a) și deschisă (b)

Modelul SFF cu șiruri de așteptare în rețea închisă poate fi prelucrat [Tav'88] după metoda "clasică", cu utilizarea programului CAN-Q (Computer Aided Network-of- Queue), metoda de analiză a valorilor medii sau de analiză operațională.

Modelul în rețea deschisă a fost dezvoltat în [Tav'88], [Abr'96 p148-172] și [Opr'98 p.71-84]. Ceea ce deosebește cele două modele este introducerea suplimentară a variației statistice a intrărilor de semifabricate în sistem și a timpului de prelucrare al pieselor la stații, la varianta de modelare în rețea deschisă.

Structura sistemului modelat are o importanță deosebită în determinarea formulelor de calcul al parametrilor de performanță, astfel că se regăsesc în literatură relații diferite în funcție de varianta de model utilizat, care se notează unitar astfel: $A/B/m$, unde A și B sunt distribuția de probabilitate a sosirilor, respectiv al prelucrărilor și m este numărul de mașini de lucru din SFF.

Valorile indicatorilor de performanță ai sistemului modelat sunt valori medii, modelul SFF este aproximativ și introduce o serie de simplificări, ca de exemplu: mărirea șirului de așteptare de la stațiile de lucru, rutele pieselor în sistem în care, la fiecare execuție a operației de prelucrare la o stație de lucru, piesa este dirijată în șirul de așteptare central sau execuția unei singure operații de prelucrare la piese în cazul modelării în rețea deschisă.

2.6.3. Modelarea prin programare matematică

Modelarea prin programare matematică este utilizată pentru optimizări punctuale, în probleme de stabilire a structurii subsistemului de prelucrare, al calculelor de eficiență economică, de optimizare a logisticii unei întreprinderi etc [May'75'p.485-545], [Abr'96p. 132-135]].

Principiul metodei de programare matematică liniară se bazează pe:

- formularea obiectivului de optimizat: maximizarea, minimizarea **funcției obiectiv**;
- utilizarea, în descrierea funcției obiectiv, a **variabilelor de decizie** ale căror valori, limitate în domenii definite, determină obținerea valorilor extreme ale funcției obiectiv;
- formularea matematică a restricțiilor, adică găsirea unor relații între **parametrii caracteristici** ai problemei (cei care intervin în relații prin valori constante) și variabilele de decizie.

Valorile admise ale variabilelor de decizie pot fi valori întregi sau numere raționale.

Prelucrări ale modelelor bazate de programare matematică se pot realiza în Excel, prin utilitatea Solver.

2.6.4. Modelarea prin utilizarea rețelelor Petri

Modelarea funcționării unui SFF se poate realiza prin utilizarea de tehnici bazate pe diferite tipuri de grafuri (GRAFCET, UCLA, LOGOS, Petri) [Căl'88]. Modelul grafic al rețelelor Petri se bazează pe două tipuri de noduri (poziții și tranziții) care sunt legate prin relații orientate, reprezentate prin săgeți. Prin rețea navighează în sensul săgeților, dacă sunt îndeplinite anumite condiții, unul sau mai multe simboluri sau mărci (token) care semnifică modificarea stării sistemului modelat. Starea unui sistem este un ansamblu de proprietăți ale componentelor acestuia care se păstrează nemodificate un interval de timp. Funcționarea în ansamblu a unui SFF evidențiază evoluția discretă a acestor stări. Eveniment este considerat orice modificare a stării uneia din componentele sistemului.


Condiția/condițiile ce se pot identifica pentru ca un anumit eveniment să se producă sunt modelate prin poziții, producerea evenimentului propriu-zis este modelată printr-o tranziție.

Utilizarea rețelelor Petri în modelarea și simularea funcționării SFF prezintă următoarele etape:

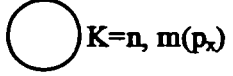

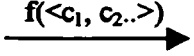

- realizarea reprezentării grafice a modelului SFF cu una dintre variantele de rețele Petri;
- introducerea rețelei Petri într-un program adecvat și simularea acesteia;
- analiza rezultatelor simulării rețelei și extragerea de concluzii cu privire la comportamentul sistemului modelat.

Elementele de bază ale rețelei și semnificația acestora este reprezentată în tabelul 2.4 [We'91,p.42].

Tipurile de rețele Petri sunt:

- rețele Petri binare ($K=1, G=1, m(p_x)=1$ sau $m(p_x)=0, t=0$);
- rețele Petri cu arce multiple ($K>1, G>1, t=0$);
- rețele Petri temporizate ($T \neq 0$);
- rețele Petri colorate (, $\langle c_1, c_2, \dots \rangle$, unde c_1 și c_2, \dots sunt atribute ale marcajului, iar $f(\langle c_1, c_2, \dots \rangle) = \langle cx_1, cx_2, \dots \rangle$ este funcția de transformare a atributelor marcajului);
- rețele Petri hibride, rezultate ca o combinație a celor de mai sus (de exemplu: temporizate și colorate).

Tabelul 2.4. Elemente de bază ale rețelelor Petri

Nume	Poziții	Tranziții	Săgeți	Mărci (jetoane)
Simbol	Semnificația p_x  $K=n, m(p_x)$	Semnificația t_x  <hr/>	Capacitatea săgeții G 	Număr de mărci= n  Neindividualizate sau individualizate ($\langle\langle c_1, c_2.. \rangle\rangle$)
Parametrii	Text de comentarii care definesc semnificația simbolului față de realitate K definește capacitatea poziției (număr maxim de mărci) $m(p_x)$ este conținutul de mărci al poziției	Text de comentarii care definesc semnificația simbolului față de realitate T definește durata de execuție a tranziției	G definește numărul de mărci care trec prin săgeată $f(\langle c_1, c_2.. \rangle)$ este funcția de transformare a mărcii în urma execuției tranziției	n definește numărul de mărci din poziție la un moment dat $\langle c_1, c_2.. \rangle$ este "culoarea" mărcii
Explicații	Definește condiția reală de activare a tranziției din model	Definește activitățile din model	Definește legătura causală dintre poziții și tranziții	Existența unei/unor mărci în poziție înseamnă îndeplinirea condiției (în poziția de intrare la tranziție) După tranziție, deplasarea mărcii înseamnă execuția tranziției

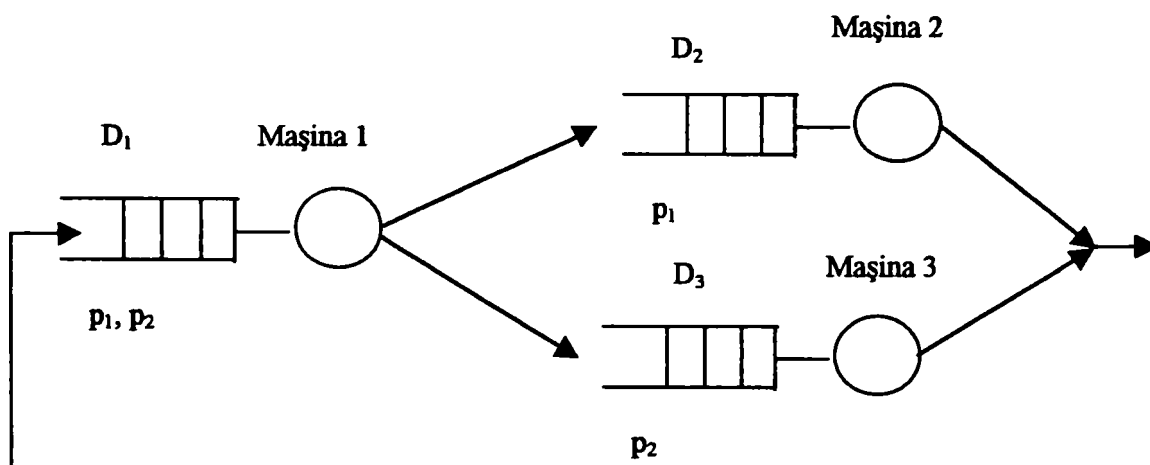


Figura 2.19.a Schema de principiu a sistemului modelat cu rețele Petri

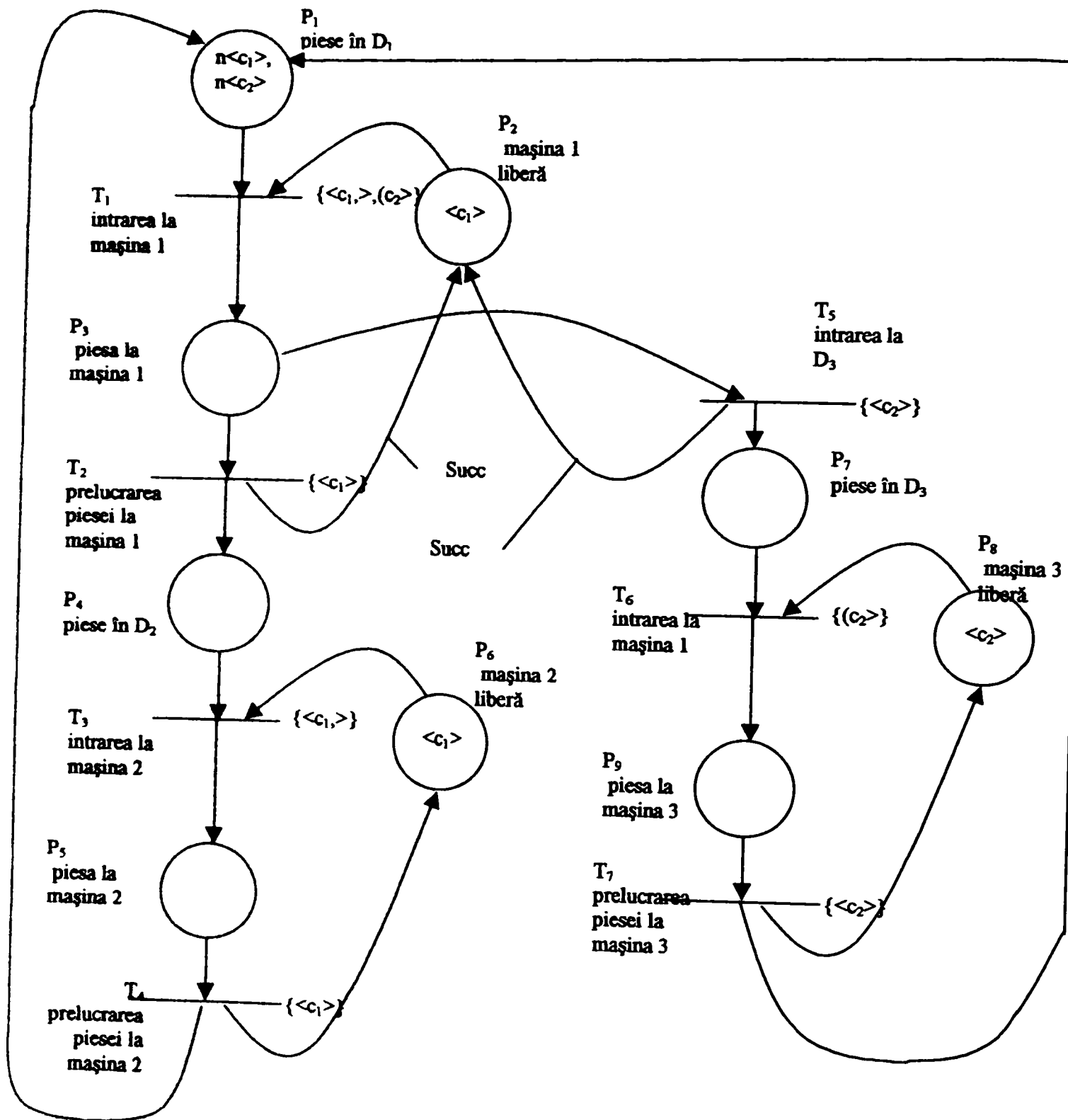


Figura 2.19.b Rețeaua Petri care modelează sistemul din figura 2.19a

$Succ(\langle c_1 \rangle) = \langle c_2 \rangle$; $Succ(\langle c_2 \rangle) = \langle c_1 \rangle$ funcția de transformare a tranziției T_2 și respectiv T_5

În figura 2.19b și c se prezintă 2 exemple [Re'92] de rețele Petri colorate care modelează un sistem de fabricație (reprezentat schematic în figura 2.19a) compus din 3 mașini, fiecare dintre mașini având un depozit de intrare de piese (D_i). În sistem se produc 2 tipuri de piese p_1 și p_2 . Itinerarul tehnologic al pieselor este: p_1 se prelucerează la mașina 1 și apoi la mașina 2, piesa p_2 se prelucerează la mașina 1 și apoi la mașina 3. Mașina 1 este o resursă partajată, de aceea se impune ordonanțarea: $p_1, p_2, p_1, p_2, \dots$. Piesele sunt situate pe palete (n palete pentru p_1 și respectiv p_2) care sunt reciclate la sfârșitul prelucrării piesei. Paletele sunt inițial la mașina 1.

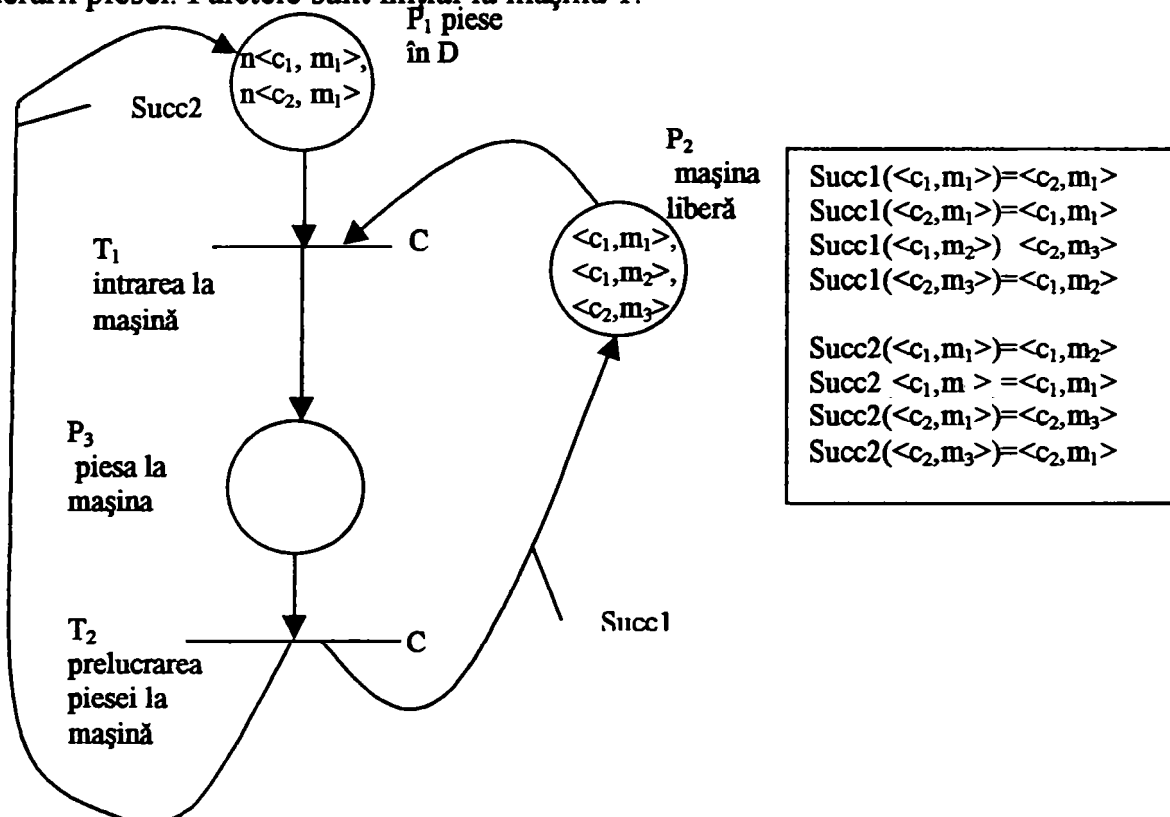


Figura 2.19c. Rețea Petri colorată care modelează sistemul din figura 2.19a

2.6.5. Modelarea și simularea pe calculator a funcționării SFF

Posibilitățile de bază pentru obținerea unui model detaliat al SFF sunt legate de variantele informatice de realizare a programului utilitar de simulare:

- scrierea unui program într-un limbaj general de programare (de exemplu C++);
- utilizarea unui pachet de programe de simulare și transpunerea modelului în acel limbaj specific de simulare;
- utilizarea unui program generic, specific unei structuri a sistemului [Tav'88], [Ca'89].

Modelarea SFF se poate realiza diferit, în funcție de concepția generală despre sistem și de modul în care este exprimată logica modelului:

- modelul pe bază de activități care se desfășoară în sistem;

- modelul pe bază de evenimente din sistem;
- modelul pe bază de descrieri adecvate ale proceselor din sistem.

În figura 2.20 se prezintă ordinograma realizării programului pentru modelarea pe bază de activități, iar în tabelul 2.5 se prezintă comparativ cele 3 posibilități de modelare detaliată a SFF.

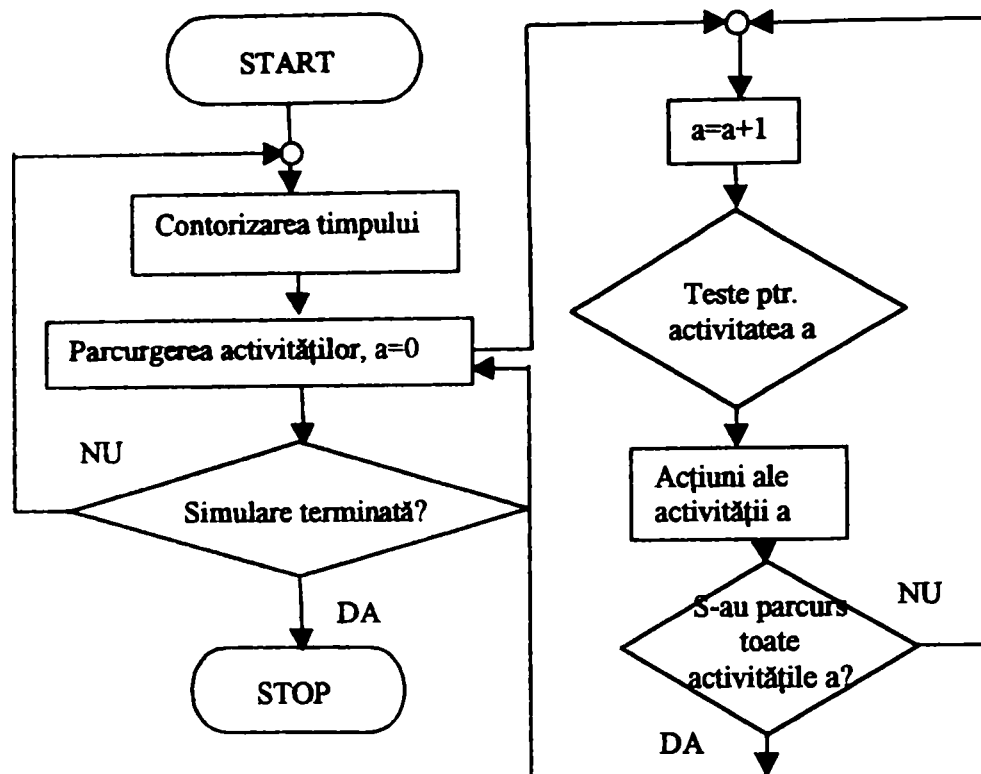


Figura 2.20. Ordinograma programului de simulare a modelului pe bază de activități a SFF

Tabelul 2.5. Comparații ale metodelor de modelare și simulare a SFF

Modelarea pe bază de activități ale sistemului	Cea mai facilă posibilitate de modelare și programare de către un nespecialist Se realizează ușor și corect simultaneitatea și succesiunea activităților Necesită testarea tuturor activităților la fiecare valoare a timpului, ceea ce este caracteristică cronofagă a programului
Modelarea pe bază de evenimente ale sistemului	Cea mai flexibilă posibilitate de modelare Simularea modelului este rapidă Necesită o experiență mai mare în programare a utilizatorului
Modelarea pe bază de procesele tehnologice din sistem	Mai dificil de modelat SFF cu mai multe tipuri de mașini de lucru Se realizează testări neproductive pentru fiecare început de proces

2.7. Exemple de SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune

2.7.1. Exemple de SFF pentru prelucrări prin aşchiere

Literatura de specialitate [Tav'88], [Gl'88], [No'92], [Be'91], [Bi'93], [Ay'93], [Bu'93], [Ko'99] etc, abundă în exemple de SFF pentru prelucrări prin aşchiere, cu explicații mai detaliate sau nu asupra sarcinii de fabricație a sistemului.

Se vor prezenta în continuare două structuri tipice ale SFF pentru prelucrări prin aşchiere, considerându-se că aceste sisteme sunt reprezentative pentru întreaga populație a sistemelor cu sarcina de fabricație piese prismatice (figura 2.21) și piese cu suprafețe de revoluție (figura 2.22).

Sistemul prezentat în figura 2.21 conține 3 centre de prelucrare, fiecare dintre acestea având câte două posturi de aşteptare. Obiectele de lucru sunt instalate pe palete de transfer și de lucru care sunt depozitate într-o magazie de palete de capacitate corespunzătoare unei autonomii de lucru de 8 ore a sistemului. Transferul lung al paletelor se realizează de către un cărucior montat pe conveyior. Instalarea pieselor pe palete se realizează într-un post de încărcare/descărcare manual.

O structură asemănătoare de SFF conține un număr mai mare de centre de prelucrare și un echipament de transfer lung al paletelor format din robocare, dispunerea componentelor în planul de amplasament al sistemului nemaifiind obligatorie în linie dreaptă.

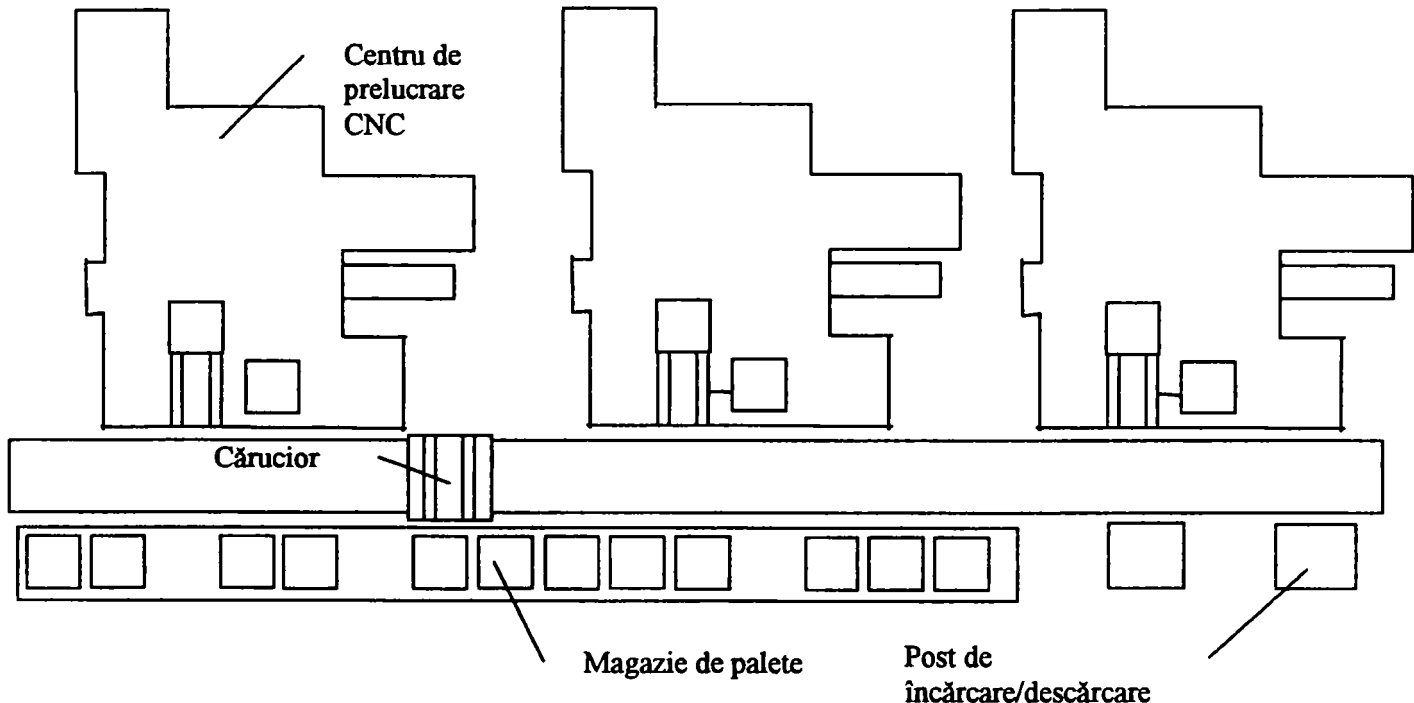


Figura 2.21. SFF pentru prelucrări prin aşchiere a pieselor prismatice

SFF prezentat în figura 2.22 este adecvat prelucrărilor prin aşchiere a pieselor cu suprafețe principale de revoluție și este format din: două strunguri CNC, post de măsurare și control al pieselor prelucrate, robot de manipulare a obiectelor de lucru și conveioare de intrare a semifabricatelor, de ieșire a pieselor prelucrate, de evacuare a deșeurilor. Magaziile verticale sunt depozite temporare a obiectelor de lucru pentru perioada de funcționare a sistemului în timpul schimbului 3, în care conveioarele de intrare/ieșire nu funcționează.

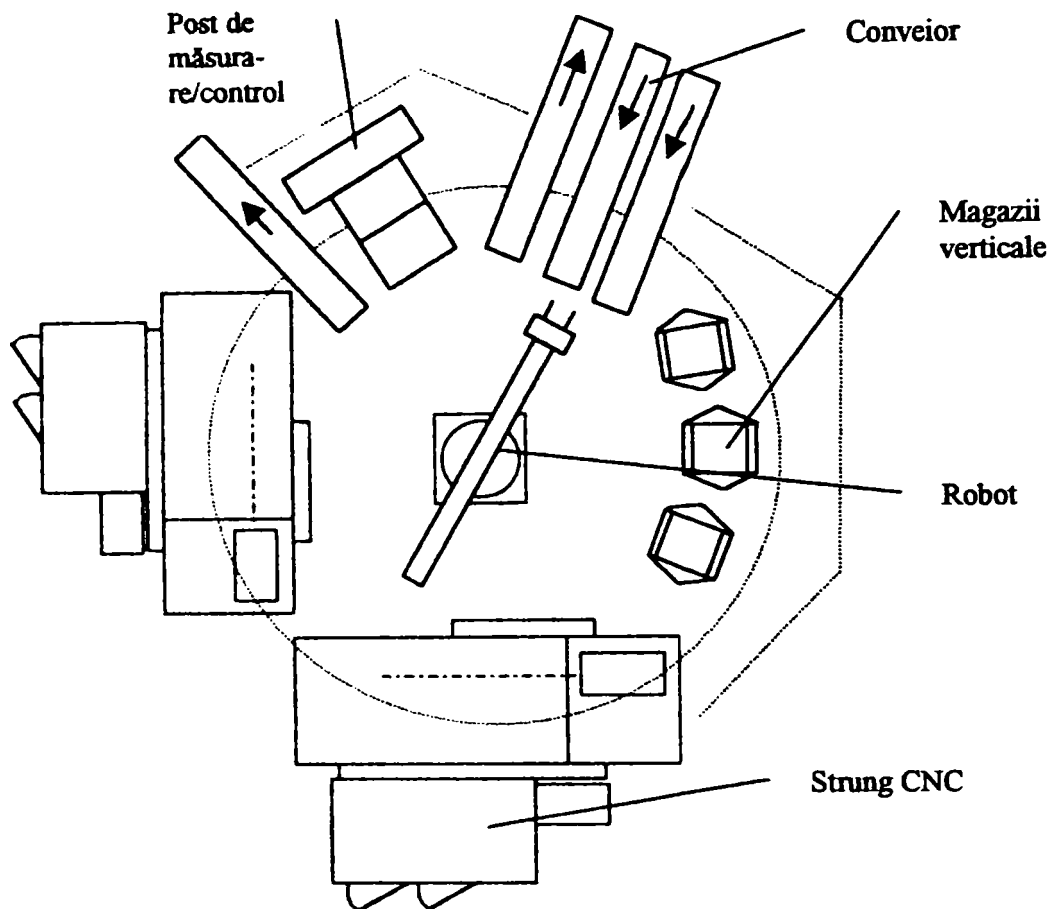


Figura 2.22. Plan de amplasament al unei celule de fabricație flexibilă pentru strunjire

În figura 2.24. se prezintă planul de amplasament al sistemului CIM Eshed-Robotec instalat în laboratorul de SFF al Universității "Politehnica" Timișoara. Acest sistem este format din 3 celule flexibile (stații de lucru): stația 1 (ASRS) de depozitare automată a pieselor, stația 2 de frezare și stația 3 de asamblare automată. Transferul lung al pieselor se realizează prin intermediul a 4 cărucioare ce se deplasează pe lanțul conveiorului circular. Oprirea cărucioarelor în stații se realizează prin acționarea pneumatică unor pistoane-opritor, comandate de un automat programabil (PLC).

Componentele stației 1 sunt:

- robot de manipulare ER VII cu 5 cuple cinematice de rotație;

- depozit de tip carusel, cu 3 etaje și 18 locașuri pe etaj, pentru depozitarea pieselor situate pe palete de transfer;
- două posturi de așteptare ale stației;
- controler (de tip A) care are funcții de conducere a robotului și a axei de rotație a depozitului carusel, de comunicare cu controlerul central și calculatorul central pentru actualizarea conținutului depozitului.

Stația de frezare 2 este compusă din:

- robot ERV+ de servire a mașinii de lucru, cu 5 axe comandate aparținând structurii mecanice a robotului și o axă suplimentară de translație montată pe batiul mașinii de frezat;
- mașină de frezat EMCO cu comandă numerică CNC, 2 1/2 axe comandate și dispozitiv de lucru de tip menghină cu deschidere automată;
- două posturi de așteptare ale stației;
- controler pentru conducerea robotului și transmițeri de informații la controlerul central;
- calculatorul stației 2 care are rolul de a stoca și transmite în mod automat programele-piesă necesare la comanda numerică a mașinii de frezat.

Structura stației 3 de asamblare are în componență:

- un robot SCORA ER-14 având structura mecanică a roboților de montaj de tip SCARA, montat pe masa de asamblare și având un dispozitiv de schimbare automată al efectorului terminal acționat pneumatic;
- o paletă de depozitare temporară a pieselor înaintea asamblării;
- o masă de poziționare cu două axe de translație, XY și dispozitiv de situare a pieselor;
- o șurubelniță automată;
- o cameră video CCD pentru prelevarea imaginilor;
- un monitor necesar utilizatorului pentru corecțiile reglării imaginii;
- un dispozitiv de ordonare și transfer al șuruburilor la șurubelniță;
- un dispozitiv de ordonare și livrare a pieselor de tip "bilă" necesare ansamblului;
- depozit conținând un dispozitiv de prehensiune și unul de aspirat bilele;
- un controler (de tip B) pentru conducerea robotului și mesei de poziționare, comanda pornirii/oprii motorului de acționare a dispozitivului de ordonare și livrare bile, comanda prin servovalve activate electromagnetic a dispozitivelor automate: de schimbare a efectorului final, de închidere/deschidere a dispozitivului de prehensiune și de aspirare a bilelor, de livrare a câte un șurub la șurubelniță.

În figura 2.23 a și b se prezintă două fotografii ale laboratorului CIM Eshed-Robotec.

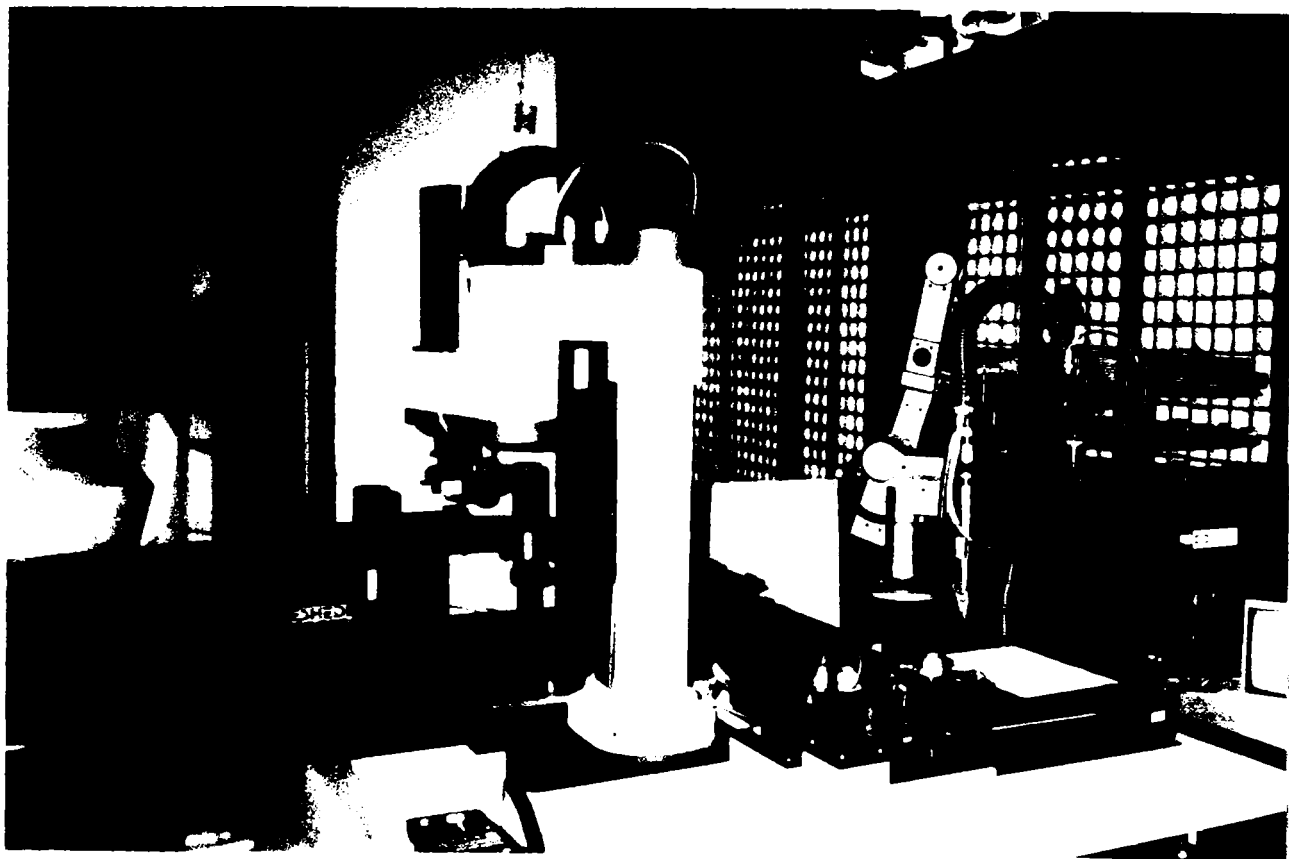
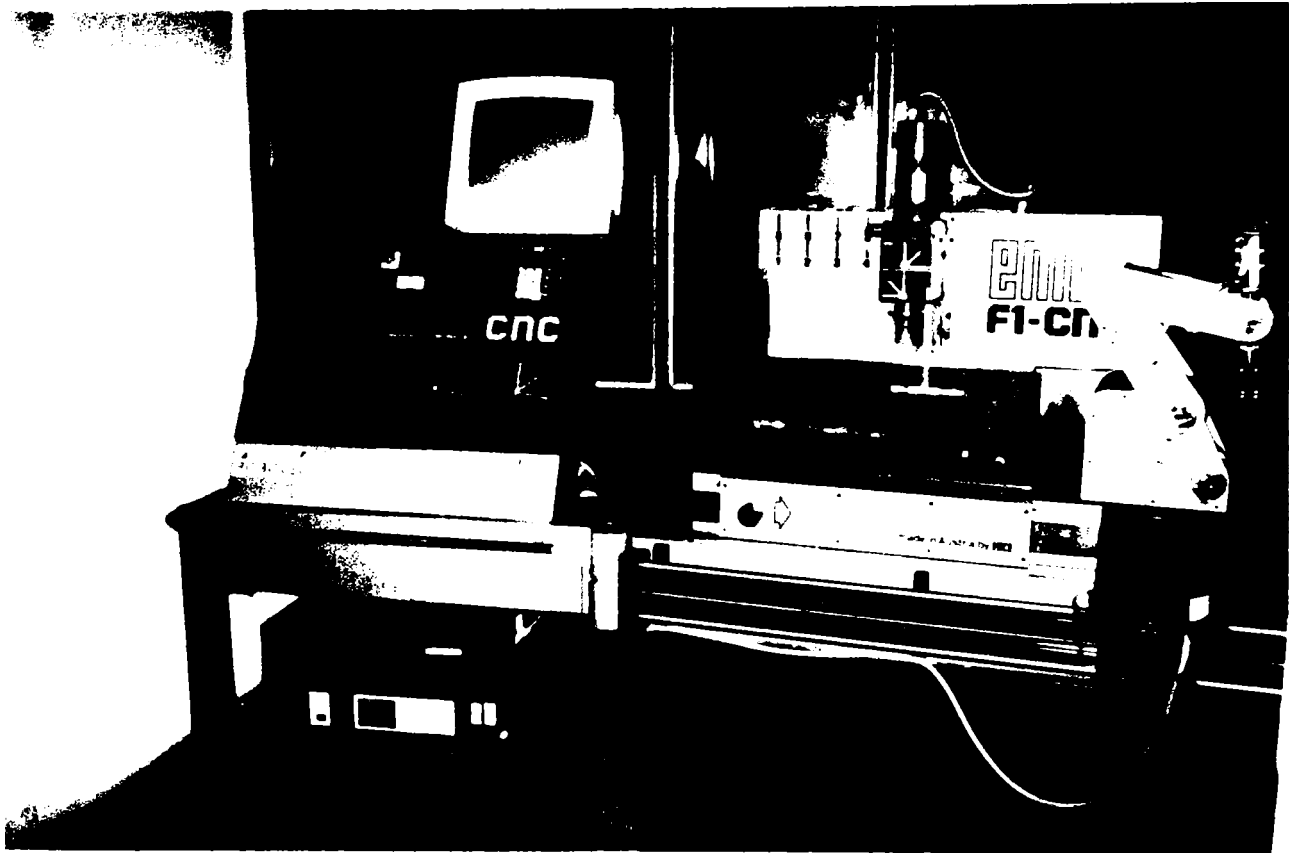


Figura 2.23. Aspecte din laboratorul CIM Eshed-Robotec

- un calculator de stație 3, cu placă de achiziții imagini și program ROBOTVISION de prelucrare a acestora.

Funcționarea întregului sistem este coordonată de către un controler central, care, pe baza informațiilor introduse de către utilizator în baza de date a calculatorului central și a rapoartelor de stare provenind de la controlerele de stații, transmite secvențial comenzi stațiilor sistemului.

2.7.2. Exemple de SFF pentru prelucrări prin eroziune

SFF pentru prelucrări prin eroziune prezintă multe asemănări cu sistemele pentru prelucrări prin așchiere, iar deosebirile provin din particularitățile procesului de eroziune.

Dintre procedeele de prelucrări prin eroziune, prelucrarea prin electroeroziune cu electrod profilat a pieselor cu suprafețe interioare profilate străpunse sau în formă de cavități este cea mai adecvată automatizării flexibile.

Problemele specifice automatizării acestui tip de tehnologie sunt legate de:

- timpi relativ mari de prelucrare pentru tensiuni mici de descărcare între electrod și piesă și adaos mare de prelucrare;
- utilizarea mașinilor de prelucrat prin electroeroziune cu comandă numerică care să aibă rolul de a menține parametrii de funcționare la valori prestabilite (interstițiul între piesă și sculă, căderea de tensiune și intensitatea curentului electric), de a asigura funcționarea automată a pompei de lichid dielectric pentru păstrarea nivelului optim de lichid în baie.

Prin menținerea valorii optime și constante a distanței între electrod și piesă se evită anomaliile ale prelucrării, ca de exemplu: scurt-circuite, descărcări anormale între electrod și piesă care duc fie la creerea unui arc de sudură între cele două componente, fie la uzura prematură a electrodului.

Creșterea valorilor parametrilor de prelucrare (viteze mari de prelucrare și uzuri minime ale electrodului) și îmbunătățirea calității suprafeței (eliminarea apariției microfisurilor la utilizarea unei tensiuni mari de descărcare între electrod și piesă) se realizează prin utilizarea comenzii adaptive a mașinii.

În figura 2.25 se prezintă planul de amplasament tipic al unui SFF pentru prelucrări prin eroziune conținând o mașină de prelucrat prin electroeroziune, un robot de servire a acesteia, o magazie de electrozi și semifabricate/piese prelucrate. În figura 2.26 este reprezentată o altă variantă a sistemului din figura anterioară în care robotul poate să servească două asemenea mașini.

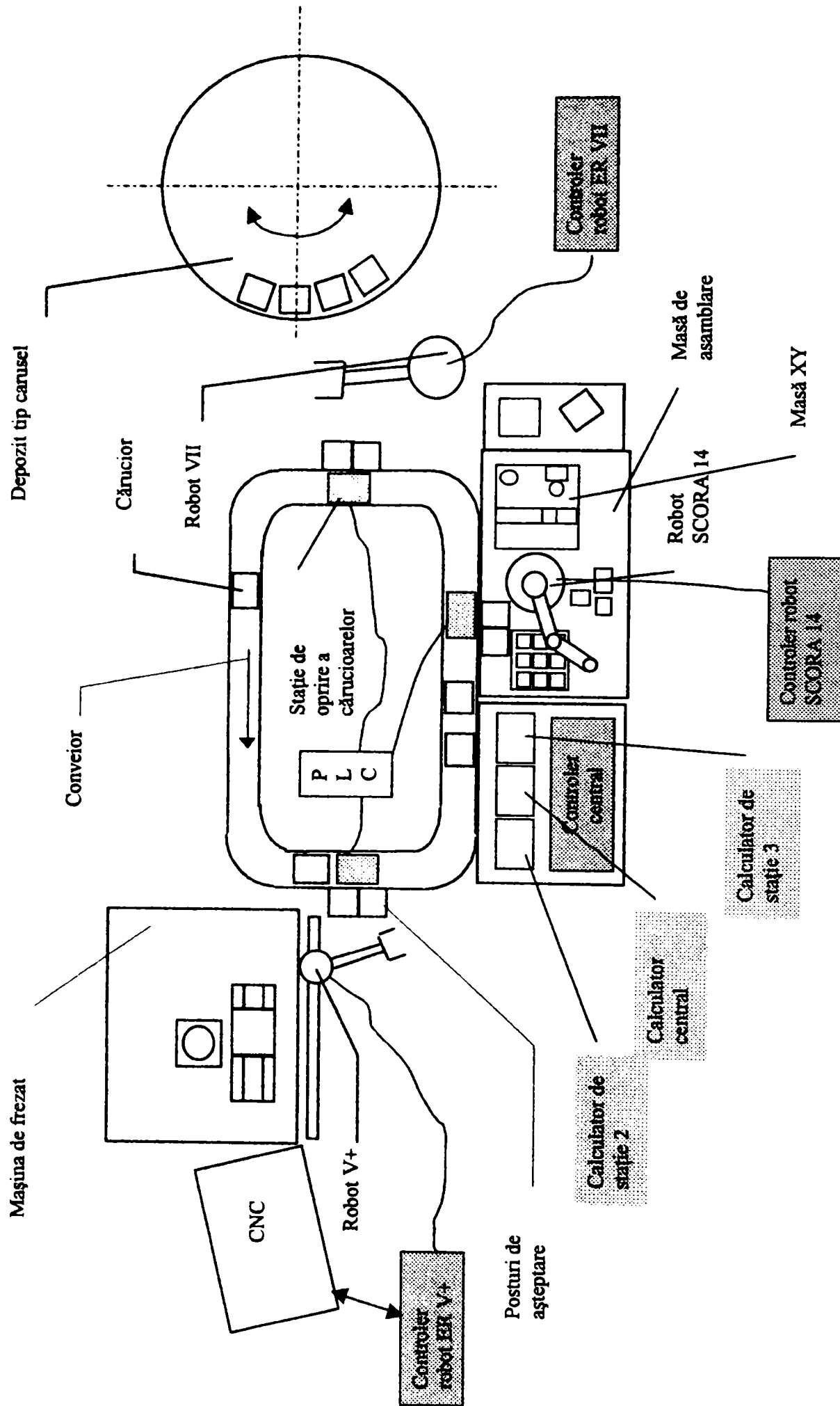


Figura 2.24. Planul de amplasament al sistemului CIM Eshed Robotec

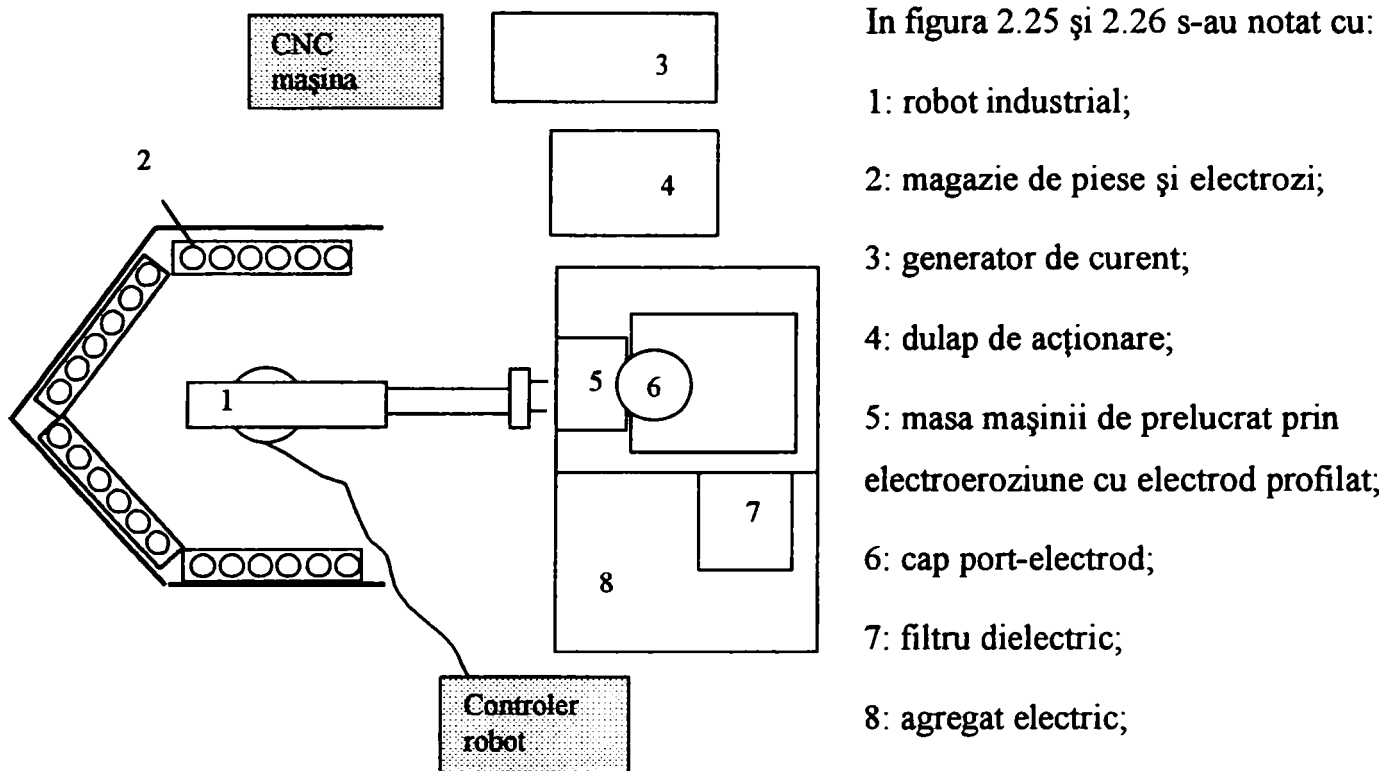


Figura 2.25. SFF pentru prelucrări prin electroeroziune

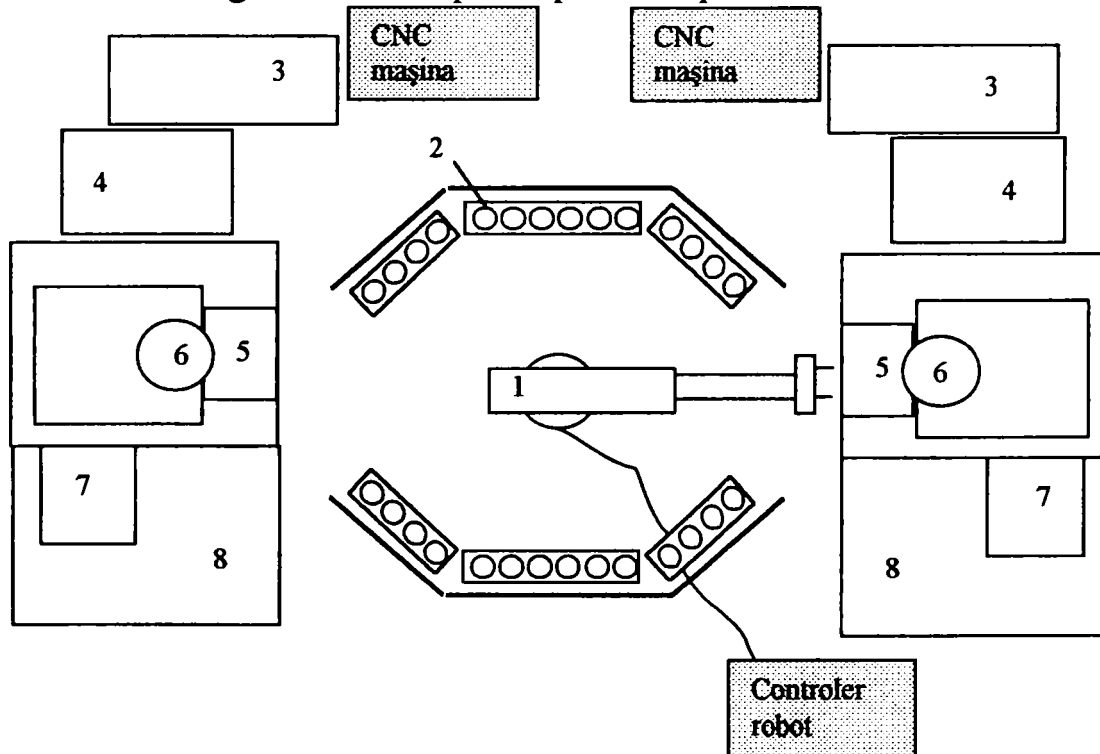


Figura 2.26. Variantă a sistemului din figura 2.25 cu două mașini de prelucrat prin electroeroziune

2.8. Considerații economice și sociale pentru evaluarea SFF

2.8.1. Considerații economice ale evaluării SFF

Analiza economică primară a sintezei SFF ia în discuție noțiuni legate de costul global al sistemului (investiția), economiile anuale sau beneficiul realizat în urma exploatării SFF, ani de recuperare ai investiției, economia la prețul de cost al produselor realizate în sistem automat flexibil etc.

Există mai multe modele de analiză economică primară [Nof'92] adecvate SFF, de exemplu, modelul "investiției maxime" și modelul "costului unitar mediu" al produselor.

Concluzia analizei economico-financiare utilizând modelul "investiției maxime" este că un număr mic de ani de recuperare (1, 2 ani) limitează superior valoarea investiției în sistem pentru că beneficiul anual rezultat este mai mic pentru un sistem cu capacitate productivă mai mică și de mai mică anvergură. "Valoarea investiției derivă din prețul de cost al fabricației" în SFF (beneficiul rezultat față de fabricația clasică) [Tav'88, p.320] evidențiază faptul că un calcul de evaluare al beneficiilor obținute în urma introducerii automatizării flexibile trebuie să pornească de la estimarea economiilor anuale și de aici, să se determine valoarea investiției pentru sistem.

Modelul "costului unitar mediu" evidențiază o dependență invers proporțională între costul produselor și volumul anual al fabricației în automatizarea flexibilă.

În lucrarea [Abr'96, p.136] se prezintă o analiză a prețului de cost al produselor, ca principală sursă de economii obținute prin utilizarea SFF. Pentru determinarea configurației minime a unui SFF, în condițiile limitării inferioare a coeficientului de utilizare al modulelor-operație (mașini de lucru) și încadrării într-o perioadă limitată de ani a recuperării investiției sistemului, se poate utiliza modelarea prin programare matematică liniară cu numere întregi.

2.8.2. Considerații sociale ale evaluării SFF

Considerațiile sociale ale introducerii automatizării flexibile trebuie să ia în considerare două aspecte :

- condițiile neprielnice operatorului uman la locul de muncă;
- problema disponibilizării personalului de calificare mai scăzută.

Se apreciază că tehnologia prelucrărilor prin așchiere/eroziune nu crează condiții foarte grele pentru operatorul uman, care trebuie să impună neapărat automatizarea flexibilă. În literatură [War'90] se prezintă un model de analiză a condițiilor la locurile de muncă pentru determinarea oportunității introducerii automatizării flexibile. Suma cifrelor (c_i) de ordonare a criteriilor sociale care descriu condiții de disconfort pentru operatorul uman este de 18 (pericol de accidente $c_1=5$, monotonicitate $c_2=4$, umezeală $c_3=2$; zgomot $c_9=4$; se necesită haine de protecție $c_{14}=1$), ceea ce în opinia autorului nu impune automatizarea/robotizarea.

Problema disponibilizării personalului în urma introducerii automatizării flexibile se rezolvă prin recalificări, redirectionări ale forței de muncă spre alte sectoare, perfecționări continue asigurate de învățare permanentă care să instruiască personalul în acest nou domeniu.

3. Scopul lucrării

3.1. Formularea obiectului cercetării sistemice a SFF

3.1.1. Relații matematice de modelare a unui sistem

Un sistem este o reuniune ordonată de elemente între care se stabilesc relații determinate pentru realizarea unui obiectiv definit în prealabil.

Modelul matematic (relația 3.1) al unui sistem utilizează o serie de variabile (corespunzătoare atributelor elementelor sistemului), dependente de timp, legate între ele printr-un grup de relații matematice independente și coerente.

$$\begin{aligned} R_1(V_1, V_2, \dots, V_n, t) &= 0 \\ R_2(V_1, V_2, \dots, V_n, t) &= 0 \\ &\dots\dots\dots \\ R_m(V_1, V_2, \dots, V_n, t) &= 0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Mulțimea de variabile $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ se împarte în două clase de variabile: **variabile date** și **variabile determinate**. Cunoscându-se evoluția în timp a clasei de variabile date, se determină, prin precizarea în mod univoc a unor condiții, evoluția celeilalte clase de variabile.

Clasificarea variabilelor $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, prin care se evidențiază relația cauză-efect stabilită în cadrul sistemului, identifică următoarele clase de variabile:

- **variabile (sau mărimi) de intrare** $\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq}\}$ care variază în funcție de timp și care influențează direct, într-un mod controlat, evoluția sistemului în direcția obiectivului prestabilit;

- **variabile perturbatoare** $\{x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pl}\}$ care influențează într-un mod nedorit evoluția sistemului și a căror variație în timp se descrie printr-un proces stohastic;

- **variabile de ieșire** $\{x_{e1}, x_{e2}, \dots, x_{es}\}$ a căror evoluție este determinată de mărimile de intrare, variabilele perturbatoare și structura sistemului.

Dacă se introduce reprezentarea vectorială a variabilelor și a funcției R , descrierea sistemului, prin utilizarea unui model sistemic, este de forma:

$$R(X_i, X_p, X_e, t) = 0 \quad (3.2)$$

unde $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq})$ este vectorul mărimilor de intrare q -dimensional, $X_p = (x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pl})$ este vectorul mărimilor perturbatoare l -dimensional, $X_e = (x_{e1}, x_{e2}, \dots, x_{es})$ este vectorul mărimilor de ieșire s -dimensional și ale căror componente sunt funcții de timp, iar $R = (R_1, R_2, \dots, R_m)$ este vectorul relațiilor stabilite între elementele sistemului, m -dimensional.

Clasele de mărimi de intrare X_i și perturbatoare X_p , prin faptul că influențează evoluția în timp a clasei mărimilor de ieșire X_e , au denumirea de **mărimi de conducere** $(u_1, u_2, \dots, u_c) = U$.

Vectorul relațiilor determinate din sistem R descrie dependența vectorului mărimilor de ieșire X_e în funcție de mărimile de conducere U și caracterul de univocitate al acestor relații, cu influențe minime din partea perturbațiilor. Operația R are un caracter general, putând să fie scrisă sub forma unor operații matematice, operații Boole-ene, relații de logică matematică etc. Un sistem este mulțimea acelor elemente între care numărul și intensitatea coeziunilor (relațiilor) între elementele sistemului este mult mai mare decât între acesta și mediul său.

Determinarea univocă a vectorului mărimilor de ieșire în funcție de vectorul variabilelor de conducere este posibilă prin cunoașterea **vectorului de stare al sistemului**. Acesta este o mărime interioară sistemului, în general greu accesibilă, care este dependentă de numărul și natura elementelor sistemului, de relațiile stabilite între ele (structura sistemului) și care evoluează în timp.

Dacă se cunoaște starea sistemului la momentul t_0 ca un vector finit de valori $S_0 = (S_{01}, S_{02}, \dots, S_{0n})$ și evoluția în timp a vectorului mărimilor de intrare, pentru un moment de timp $t > t_0$, se poate determina vectorul mărimilor de ieșire, conform relației:

$$X_e(t) = A [X_i(t), S_0] \quad (3.3)$$

În cazul în care, pe toată perioada de evoluție în timp a sistemului în conformitate cu scopul predefinit, se pot identifica momente succesive ale timpului t_{j-1}, t_j la care vectorul de stare are valori determinabile discrete $S(t_{j-1}) = S_{j-1}, S(t_j) = S_j$ și dacă starea sistemului nu se modifică în intervalul de timp $[t_{j-1}, t_j)$, vectorul de stare fiind univoc determinat $S(t) = S_{j-1}$ pentru $t \in [t_{j-1}, t_j)$, atunci starea sistemului are o evoluție discontinuă în raport cu timpul, fiind denumit **sistem discret**. Un sistem de fabricație flexibilă este un sistem discret și optimizarea acestuia face obiectul prezentei lucrări.

3.1.2. Relații matematice fundamentale de modelare a SFF

Sistemul de fabricație flexibilă este un sistem format din echipamente tehnologice și obiecte de lucru între care există interacțiuni (relații) care evoluează în timp conform scopului propus. Obiectivul sistemului este de a executa în mod automat un număr determinat de piese finite aparținând unui spectru de tipuri de piese posibil de realizat. Elementele SFF sunt de două categorii: elemente permanente (echipamentele) și elemente temporare (obiectele care circulă în sistem: paletele de transport, semifabricatele, sculele, dispozitivele, piesele în curs de prelucrare, piesele finite etc.).

Relațiile stabilite între componentele sistemului se pot împărți în relații statice, nedependente de variabila timp și relații dinamice, dezvoltate în timpul funcționării sistemului.

Relațiile nedependente de timp între elementele sistemului sunt de natură geometrică, de situație în spațiu a componentelor sistemului și sunt stabilite prin sinteza planului de amplasament al SFF.

Relațiile dinamice se concretizează în interacțiuni care evoluează în timp, de natură materială, informațională și energetică. Vectorul mărimilor de intrare și de ieșire este de natură materială, informațională și energetică.

Parametrul caracterizat de “viteza de transmitere a unei mărimi printr-o anumită suprafață” este denumit flux [M.D.E.’78 p309]. Fluxul tehnologic este “circulația continuă a materiei prime, a semifabricatelor etc. în succesiunea operațiilor dintr-un proces tehnologic” [M.D.E.’78 p309].

Variația în timp a mărimilor de intrare/ieșire în sistem, adică, variația cantității de materiale, a consumului de energie sau a cuantumului de informații în raport cu timpul, este denumită în literatură fluxul sistemului de fabricație.

Se notează cu M_i , I_i , și E_i vectorul fluxului de intrare în sistem de materiale, informații și energie. Similar, fluxul de ieșire din sistem este de aceeași natură și se notează cu M_e , I_e , și E_e .

Fluxul de materiale în raport cu elementele sistemului este variația în timp a cantității de materiale de intrare și ieșire a fiecărei componente și, conform principiului conservării materiei, suma acestuia este constantă, adică $M_i = M_e + (\sum (M_{ij}) - \sum (M_{ej}))$ pentru $j=1 \div N$, unde M_{ij} și M_{ej} sunt fluxurile de intrare respectiv de ieșire a fiecărei componente j , iar N este numărul de componente din sistem care au mărimi de intrare/ieșire de natură materială. $(\sum (M_{ij}) - \sum (M_{ej}))$ este variația în timp a cantității curente de materiale din cadrul sistemului.

Fluxul de informații este “raportul dintre cantitatea de informații și timpul în care ea este transmisă” [M.D.E. ’78 p309] și este constituit din: fluxul informațional de intrare în sistem (informații de fabricație și tehnologice), fluxul de ieșire din sistem (rapoarte de stare a sistemului și de fabricație executată) și de cuantumul de informații transmise în timpul producției între componentele sistemului integrate informațional.

Fluxul de energie este variația în timp a cantității de energie consumată de către componentele SFF și este constituit din fluxul energetic necesar manipulării și prelucrării materialului respectiv informației.

Modelul SFF exprimat printr-o relație vectorială este:

$$R(M_i, I_i, E_i, M_e, I_e, E_e) = 0 \quad (3.4)$$

În vectorul R de relații stabilite între componentele sistemului în timp se pot individualiza momente ale timpului în care cel puțin două elemente ale SFF interacționează prin flux de informații și/sau de material. Relația prin care între două componente se transmite un flux energetic corespunde unui caz particular de acționare a celor două elemente ale sistemului.

O caracteristică importantă a SFF este **structura ierarhizată** prin care: orice sistem are în componența sa subsisteme de rang inferior și orice sistem poate fi considerat ca subsistem al unui sistem de rang superior.

Se consideră două subsisteme ale SFF și reprezentarea grafică a relațiilor stabilite între acestea este de forma prezentată în figura 3.1, în care, prin săgeți, s-au simbolizat relațiile orientate de diverse naturi stabilite între subsistemul 1 și 2.

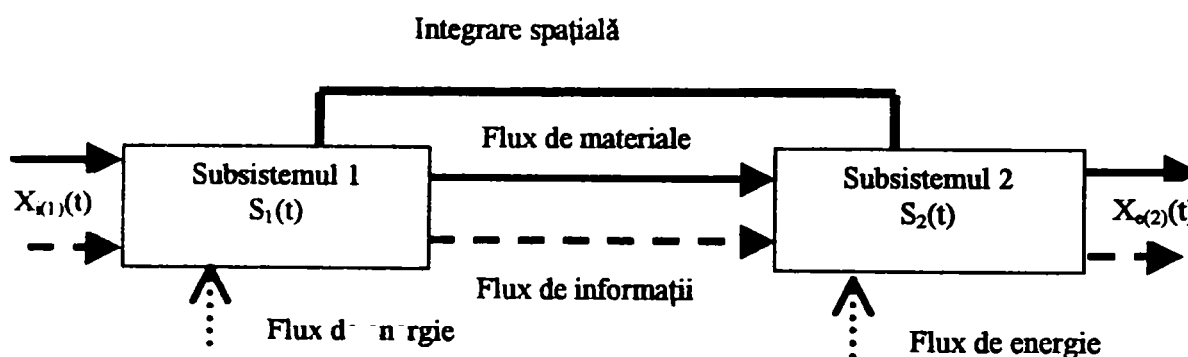


Figura 3.1. Relațiile dintre două subsisteme componente ale SFF

La momentul $t=t_k$, starea celor două subsisteme este notată cu $S_1(t) = S_{k1}$ și respectiv $S_2(t) = S_{k2}$.

Relația de transmitere de material/informații între cele două subsisteme poate fi de forma:

$$X_{e(1)}(t_k) = X_{i(2)}(t_k) \quad (3.5)$$

Relația 3.3. particularizată pentru cele două subsisteme 1 și 2, devine:

$$X_{e(1)}(t_k) = A_1 [X_{i(1)}(t_k), S_{k1}] \quad X_{e(2)}(t_k) = A_2 [X_{i(2)}(t_k), S_{k2}] \quad (3.6)$$

Din relațiile 3.5 și 3.6. se poate scrie:

$$X_{e(2)}(t_k) = A_2 [A_1 [X_{i(1)}(t_k), S_{k1}], S_{k2}] \quad (3.7)$$

unde $X_{i(1)}$ și $X_{e(2)}$ sunt: vectorul mărimilor de intrare în subsistemul 1 și respectiv al mărimilor de ieșire din subsistemul 2.

Integrarea componentelor unui SFF este procesul prin care între elemente se stabilesc un număr de tipuri de relații ce permit funcționarea acestora în timp ca un tot unitar, care este sistemul.

În cazul sintezei SFF se pune problema compunerii unui sistem din componente adecvate integrării, respectiv, în exploatarea unui SFF existent, integrarea unei noi componente înseamnă includerea acesteia în elementele sistemului.

Noțiunea de integrare este utilizată în cadrul sintezei SFF ca fiind acțiunea de **alegere a elementelor și de compatibilizare** a acestora. Integrarea componentelor permanente ale sistemului se realizează sub două aspecte:

- integrare fizică;
- integrare funcțională.

Integrarea fizică prin alegerea componentelor unui sistem urmărește selectarea acelor elemente permanente adecvate sarcinii de fabricație din punct de vedere constructiv și al gabaritului. Integrarea funcțională presupune selectarea echipamentelor ale căror funcții corespund: scopului urmărit și sarcinii de fabricație a fiecărui element al sistemului.

Integrarea fizică prin compatibilizare a două subsisteme se realizează prin dispunerea relativă a acestora în spațiu astfel încât între cele două subsisteme să se stabilească o relație de integrare spațială și de flux de materiale.

Integrarea funcțională prin compatibilizarea subsistemelor se realizează prin programare și legare prin rețea informațională astfel încât să fie posibilă relația de flux de informații între cele două echipamente.

Modelul întregului sistem depinde de structura acestuia și este constituit din mulțimea relațiilor de forma (3.7) determinate pentru toate momentele t_k la care subsistemele componente își modifică starea și de mulțimea relațiilor de integrare spațială pentru toate componentele.

Modelul unui SFF depinde de scopul urmărit prin modelare, de factorii pe care utilizatorul dorește să-i ia în considerare și de ipotezele pe care acesta le concepe în legătură cu influența mărimilor de conducere asupra sistemului.

3.2. Modelul optimizării unui sistem discret

Optimizarea [M.D.E.'78 p.679] este "calcularea programului de dezvoltare economică, la nivel macro și micro, caracterizat prin obținerea celei mai favorabile situații între efectul economic și efortul depus". O altă definiție a optimizării este [Lar'95 p.720] "a asigura unei mașini sau întreprinderi randamentul optimal prin creerea celor mai favorabile condiții".

Conceptul de optimizare a unui sistem tehnic [Bra '96, p38] se poate defini în asociere cu noțiunile de adaptabilitate și optimalitate.

Astfel, adaptabilitatea este obligativitatea unui sistem de a satisface o clasă de performanțe rezultată din destinația pe care o are sistemul.

Pentru un interval de timp $[t_0, t_1]$, cunoscându-se evoluția mărimilor de intrare și ieșire ale sistemului, adică $X_i(t_0, t_1)$ și $X_e(t_0, t_1)$, operatorul de performanță P aplicat acestei perechi va furniza valorile care descriu performanța sistemului, conform relației:

$$P [X_i(t_0, t_1), X_e(t_0, t_1)] = P [X_i(t_0, t_1), A[X_i(t_0, t_1), S_0]] = (p_1, p_2, \dots, p_r) = p \quad (3.8)$$

Dacă se notează cu $P_{\text{fintă}}$ mulțimea de performanțe de valori definite fie prin scopul propus în sinteza sistemului, fie prin exigențe în exploatarea sistemului, se poate constata că sistemul satisface pretențiile impuse funcționării sale, dacă:

$$\{p_1, p_2, \dots, p_r\} \in P_{\text{fintă}} \quad (3.9)$$

Optimalitatea unui SFF urmărește extremizarea performanțelor, fiind un caz particular de adaptabilitate. Activitatea de a sintetiza un sistem sau de a crea condiții de exploatare optime pentru un sistem este optimizare. Determinarea extremelor performanțelor unui SFF nu înseamnă obținerea unor extreme analitice, ci, prin instrumentul **programării matematice**, se pot rezolva probleme de determinare a extremelor cu restricții. Procesul de optimizare devine astfel:

$$P [X_i(t_0, t_1), A[X_i(t_0, t_1), S_0]] \in Fr(P_{\text{fintă}}) \quad (3.10)$$

unde $Fr(P_{\text{fintă}})$ este frontiera mulțimii performanțelor care corespunde valorilor extreme dorite din funcționarea sistemului.

În cazul sistemelor complexe (număr mare de elemente și de relații), determinarea performanțelor este dificil de exprimat prin relații algebrice. Analiza evoluției sistemului pentru un vector determinat al mărimilor de intrare și ieșire se poate realiza în spațiul stărilor observabile ale sistemului. Se consideră astfel, două stări ale sistemului în momente de timp diferite $S_0 = S(t_0)$ și $S_1 = S(t_1)$.

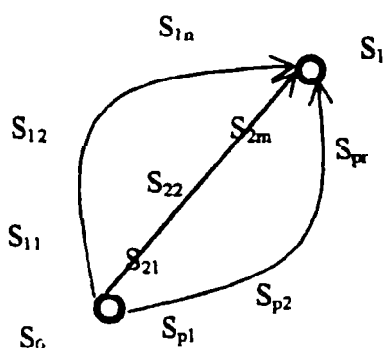


Figura 3.2. Grafuri posibile de trecere ale unui sistem dintr-o stare în alta

Trecerea sistemului din starea S_0 în starea S_1 , la aceiași vectori ai mărimilor de intrare și ieșire, este posibilă printr-o mulțime de arce care unesc nodurile

(succesiunea de stări ale elementelor sistemului) notate în figura 3.2 cu $\{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1n}\}, \{S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2m}\}, \{S_{p1}, S_{p2}, \dots, S_{pr}\}$ etc.

Modelarea unui sistem prin determinarea vectorilor de stări observabile ale elementelor sistemului este tratată în extenso în capitolul 5.

Adoptarea uneia dintre posibilele traiectorii de trecere din S_0 în S_1 se realizează prin definirea vectorului mărimilor de comandă $c_{tr}(t_0, t_1)$ corespunzătoare traiectoriei "tr".

Se asociază fiecărei traiectorii de trecere "tr" dintr-o stare în alta a sistemului un vector de performanță $P[S_0, S_1, c_{tr}(t_0, t_1), X_i(t_0), X_e(t_1)]$. Deci, mărimile vectorului de performanță, pentru aceleași mărimi de intrare și ieșire și aceleași stări S_0 și S_1 ale sistemului depinde de succesiunea stărilor tuturor elementelor sistemului, adică de comanda sistemului.

Optimizarea unui sistem constă în determinarea traiectoriei optimale a sistemului prin compararea mărimilor vectorilor de performanță. Traiectoriei optimale de trecere dintr-o stare a sistemului în alta i se asociază comanda optimală, care determină pentru elementele sistemului o anumită succesiune de stări intermediare.

3.3. Optimizarea SFF

Problema optimizării SFF se pune sub două aspecte:

1) Sinteza unui **sistem nou** care să satisfacă o clasă de performanțe exprimabile prin "execuția în timp minim a tipurilor și numărului dorit din programarea fabricației, de piese prelucrate la calitatea prescrisă și cu cheltuieli minime de investiție și de producție";

2) Asigurarea funcționării unui **sistem existent** la valori extreme ale vectorului de performanță.

În ambele cazuri se cunoaște variația fluxului de material și de informații de intrare din sistem M_i, I_i și caracteristicile vectorului mărimilor de ieșire X_e , fără a se putea exprima variația acestuia în timp decât sub forma performanțelor dorite din partea sistemului.

1) Pentru un SFF nou, trebuie să se determine structura sistemului, adică să se identifice care sunt elementele componente și relațiile dintre acestea astfel încât să fie îndeplinit scopul propus.

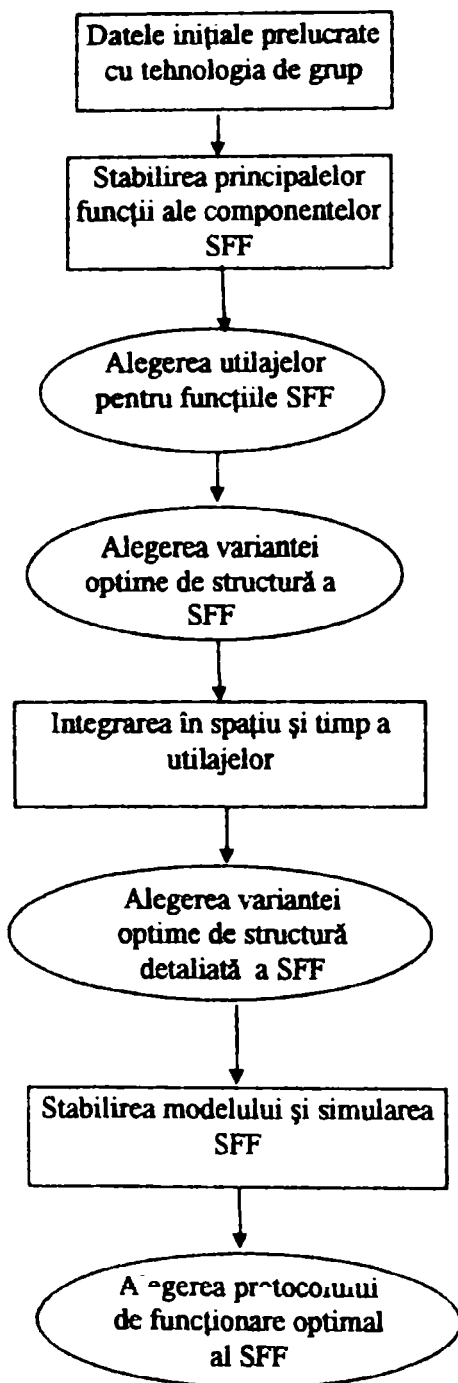
Considerându-se că există o mulțime de variante de structură de sisteme capabile să realizeze transformarea fluxului de material și de informații de intrare în flux de ieșire, se va alege varianta optimă prin metoda adoptării deciziilor multiatribut prin intermediul mulțimilor vagi.

Pentru varianta de structură aleasă se vor stabili relațiile între subsisteme prin optimizarea integrării:

- spațiale a componentelor (plan de amplasament);
- temporale a funcționării componentelor (ciclograme de funcționare);
- informaționale a elementelor sistemului (programele de comandă, comandă optimală și

stabilirea comunicărilor între subsisteme în timpul funcționării sistemului).

2) Pentru un SFF existent, intervenția utilizatorului se poate face la nivelul optimizării fluxului de material de intrare în sistem (ordonanțare) și a intervenției asupra programelor de comandă a subsistemelor pentru stabilirea unei comenzi optimale secvențiale a componentelor sistemului.



Scopul lucrării este realizarea unui model complex de optimizare a sintezei SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune. Obiectivele propuse în acest context sunt rezolvarea problemelor de:

- analiză a sarcinii de fabricație prin prisma sintezei unei flexibilități optime a SFF;
- alegere a variantei de structură optime în cadrul sintezei structurale a SFF;
- sinteza optimală a planului de amplasament a SFF;
- optimizare a ciclogramelor de funcționare a SFF;
- determinare a protoalelor de funcționare optime prin modelare și simulare a funcționării SFF;
- identificare a erorilor de funcționare/defecțiunilor prin monitorizare și diagnoză automată operațională a SFF.

Structura sistemului unitar de tratare a problemei sintezei optimale a SFF este prezentată în figura 3.3.

Datele inițiale ale sintezei SFF sunt informațiile despre spectrul de piese care urmează să fie prelucrate și previziuni cu privire la structura și volumul producției. Aceste informații sunt prelucrate cu principiile tehnologiei de grup și se obține astfel structura optimă a datelor inițiale de sinteză a SFF.

Figura 3.3. Ordinograma sintezei optimale a SFF

Funcțiile generale ale SFF de prelucrare, manipulare, transport și depozitare sunt concretizate prin stabilirea numărului și tipului de utilaj adecvat. Pentru varianta de structură optimă a SFF se face verificarea și optimizarea integrabilității în spațiu (plan de amplasament) și timp (ciclograma de funcționare) a componentelor. Validarea structurii detaliate a SFF se realizează prin modelare, simulare și stabilirea protocolului optimal de funcționare a sistemului.

4. Contribuții la sinteza optimală a SFF pentru prelucrări prin așchiere/eroziune

4.1. Analiza sarcinii de fabricație a unui SFF

4.1.1. Flexibilitatea sistemelor de fabricație flexibilă

Flexibilitatea este [Kov'94 p39] "capacitatea unui sistem de adaptare la cerințele pieței, cu productivitate maximă și cheltuieli minime, în condițiile unei fabricații cu grad parțial sau integral automat". O altă definiție a flexibilității [Abr '96 p22] este "capacitatea sistemului de a se adapta rapid și economic la schimbări provenite din mediul exterior sau din interiorul său, schimbări care pot fi predeterminate sau accidentale, previzibile sau imprevizibile și pot avea caracter de durată sau temporar".

Proprietatea de flexibilitate a unui SFF este rezultatul reuniunii de capacități ale fiecărei componente a sistemului de a răspunde la schimbările sarcinilor de fabricație într-un mod eficient din punct de vedere economic. Ca urmare, flexibilitatea sistemului este depinde de flexibilitatea fiecărui element al acestuia și a corelațiilor dintre componente.

Flexibilitatea unei componente a SFF poate să fie intrinsecă sau extrinsecă acesteia.

Flexibilitatea intrinsecă (de utilizare) este capacitatea unei componente de a executa, fără modificări ale acesteia, diferite sarcini de fabricație dintr-un spectru limitat de sarcini specifice tipului de echipament și depinde de caracteristicile constructive, dimensionale și funcționale ale componentei respective.

Flexibilitatea extrinsecă (de adaptare) este capacitatea unui echipament de a se adapta la schimbarea sarcinii de fabricație în timp și cu costuri minime și depinde de caracteristicile constructive ale componentei și de acțiunile întreprinse în acest scop.

Echipamentul, pentru a se adapta la schimbarea sarcinii de fabricație în condiții de eficiență, trebuie să prezinte unele caracteristici constructive specifice, ca de exemplu: modularitate și interschimbabilitate.

Adaptarea (neautomată sau automată) echipamentului se poate realiza prin:

- reechipare, adică înlocuirea unor repere sau subansambluri ale componentei cu altele noi, astfel încât echipamentul să fie adecvat noii sarcini de fabricație;
- selectare, adică înlocuirea unor elemente funcționale ale echipamentului cu altele adecvate, care există în componența acestuia;
- reglare, care constă în modificarea valorilor unor parametri funcționali ai echipamentului astfel încât aceștia să corespundă cerințelor noii sarcini de fabricație.

Flexibilitatea, rezultată în urma relațiilor stabilite între elementele sistemului, poate fi:

- de acces, adică proprietatea unui SFF de a admite diferite trasee tehnologice, prin preluarea a diferite sarcini de fabricație de către componente;
- de redundanță, care este capacitatea unui sistem de a avea disponibil mai multe componente pentru aceeași sarcină de fabricație;
- de integrare structurală, adică proprietatea unui sistem de a-și modifica structura prin extindere sau restrângere [Kov '94 p40].

Analizând flexibilitatea componentelor SFF în raport cu funcțiile îndeplinite de către acestea, se pot identifica următoarele **atribute ale flexibilității**:

a) subsistemului de prelucrare:

a1) comutarea/încărcarea programelor piesă la comanda CNC a mașinilor de lucru depinde de capacitatea memoriei tampon a echipamentului de comandă CNC (sau DNC) și de viteza de transmitere a biților (baud rate) prin rețea paralelă sau serială;

a2) selectarea/reglarea/adaptarea elementelor regimurilor de funcționare depinde de tipul sistemului de acționare și al transmisiei mecanice și de existența comenzilor numerice sau adaptive la mașinile de lucru;

a3) schimbarea/selectarea sculelor și dispozitivelor de lucru depinde existența sistemului de schimbare automată a sculelor/dispozitivelor și de tipul sculelor/dispozitivelor (universale, specializate, speciale);

a4) spectrul de suprafețe de generat prin mișcarea relativă sculă-piesă depinde de numărul și tipul de axe comandate ale mașinilor de lucru și de forma suprafețelor active ale sculelor;

b) părții din subsistemul de manipulare cu funcții de manipulare propriu-zisă:

- b1) selectarea/reglarea/adaptarea elementelor regimurilor de funcționare depinde de sistemul de conducere al echipamentelor;
- b2) selectarea/schimbarea programelor de manipulare ale piesei depinde de existența sistemului de senzori externi și de comenzile de la sistemul de comandă al SFF, tipul programării (on line sau off line) și instrucțiunile din programele de comandă ale echipamentelor;
- b3) selectarea/schimbarea/adaptarea dispozitivelor/elementelor de interfață cu piesa de manipulat depinde de existența sistemului de schimbare automată a acestor dispozitive și de caracteristicile constructiv-funcționale ale dispozitivelor/elementelor de interfață;
- b4) mărimea spectrului de tipuri de piese și mulțimea situărilor obiectelor de lucru în spațiul SFF depinde de caracteristicile constructive, dimensionale și funcționale ale echipamentelor de manipulat;
- c) părți din subsistemul de manipulare cu funcții de depozitare;
 - c1) reglarea încărcării mașinilor de lucru prin dispozitivele de depozitare locală depinde de numărul, construcția și funcționarea posturilor de așteptare la mașinile de lucru;
 - c2) schimbarea/adaptarea capacității de depozitare centrale la cerințele SFF depinde de tipul și sistemul de comandă al depozitului;
 - c3) selecția/schimbarea dispozitivelor de interfață între depozit și piesele de depozitat depinde de caracteristicile constructive ale acestor dispozitive;
- d) părți din subsistemul de manipulare cu funcții de transfer în cadrul sistemului;
 - d1) schimbarea/selectarea/corelarea transferului pieselor conform itinerarelor tehnologice sau de ocolire a componentelor defecte depinde de tipul, construcția și funcționarea sistemului de transfer și comanda acestuia și de corelațiile între componentele sistemului;
 - d2) modificarea structurii sistemului prin extindere/restrângere depinde de tipul sistemului de transfer și de relațiile stabilite între elementele SFF;
 - d3) selectarea/reglarea/adaptarea elementelor regimului de funcționare depinde de sistemul de conducere al echipamentului;
 - d4) selectarea/schimbarea elementelor de interfață cu piesa transferată depinde de tipul, construcția și dimensiunile dispozitivului de situare a piesei;

e) sistemului de conducere locală și comandă centrală a SFF;

e1) încadrare în parametri optimi de funcționare a echipamentelor de conducere depinde de tipul și construcția regulatorului de axă comandată;

e2) selecția/modificarea/adaptarea programelor de comandă la nivel local și central pentru decizii de conducere optimă a sistemului în limitele criteriilor de eficiență economică depinde de protocoalele de funcționare ale SFF sau prioritățile stabilite de către utilizator;

e3) decizii de alarmare și/sau schimbarea elementelor defecte depinde de structura sistemului de monitorizare al SFF și de elementele redundante pasive sau active din sistem.

4.1.2. Modalități de evaluare a atributelor de flexibilitate ale componentelor SFF

Flexibilitatea de utilizare a SFF se calculează [Kov'94 p39] conform relației:

$$F_u = S_R / S_P$$

unde S_R este numărul de sarcini de fabricație realizate de către SFF și S_P este numărul de sarcini posibil de realizat.

Valoarea flexibilității de utilizare a SFF se calculează relativ la un număr maximal de sarcini de fabricație al unui SFF a cărui structură și funcționare corespunde criteriilor de eficiență economică. Determinarea valorii S_P se realizează cu un grad de incertitudine mare pentru că nu este definit în literatură un SFF "ideal" pentru care numărul de sarcini posibil de realizat are valoare maximă.

Se propune în continuare o altă modalitate de evaluare cantitativă a atributelor flexibilității componentelor SFF care să corespundă scopului de a sintetiza un sistem cu o flexibilitate în concordanță cu cerințele impuse de sarcinile de fabricație.

Criteriile de evaluare a atributelor flexibilității de utilizare a componentelor pot fi **generale**, adică adecvate tuturor componentelor permanente ale SFF sau **specifice** fiecărui tip de echipament în parte.

Criteriile de evaluare a atributelor flexibilității de utilizare generale ale componentelor sunt :

- gabaritul spațiului echipamentului în care se realizează operația corespunzătoare funcției componente. Criteriul de gabarit se notează cu $G=\{L_{max}, l_{max}, h_{max}\}$ și este mulțimea valorilor maxime ale spațiului echipamentului;

- domeniul de variație al parametrilor de funcționare a echipamentului, se notează cu $F=\{p_{1min}, p_{1max}, p_{2min}, p_{2max}, \dots, p_{nmin}, p_{nmax}\}$ unde p_{imin}, p_{imax} sunt valorile extreme ale domeniilor de variație ale parametrului i de funcționare al echipamentului $i=1 \div n$;

- capacitatea de memorare a programelor de comandă a echipamentelor este notată cu Mem [biți, megabiți] valoarea memoriei RAM sau tampon a echipamentelor de conducere;

- numărul N de tipuri de piese situate (și fixate) în dispozitivul de interfață piesă-echipament.

Criteriile de evaluare a atributelor flexibilității de utilizare specifice sunt:

a) pentru subsistemul de prelucrare:

- viteza de încărcare a programului piesă la echipamentul CNC (DNC), baud rate [biți/sec];
- numărul de locașuri ale magaziei de scule notat cu Sc;
- numărul de axe comandate ale mașinii de lucru notat cu A;
- numărul de tipuri de suprafețe generate prin prelucrări (de către o curbă oarecare care-și schimbă forma sau nu, prin deplasarea sa în spațiu [Bră '96 p131]), Ns;
- numărul de direcții posibile de acces ale piesei la mașină, Ac.

b) pentru subsistemul de manipulare cu funcții de manipulare propriu-zisă:

- gabaritul spațiului de lucru al echipamentului de manipulare, Spl;
- gradul de mobilitate al structurii mecanice a componentei, M;
- numărul de efectoare finale schimbabile ale echipamentului, Nef;
- sarcina utilă a componentei, Su [daN].

c) subsistemul de manipulare cu funcții de depozitare

- numărul de posturi de așteptare la mașina j, $n_b(j)$;
- numărul de locașuri de depozitare sau de piese depozitate în depozitul central al SFF, N_D ;

d) subsistemul de manipulare cu funcții de transfer

- numărul de traiectorii posibile ale pieselor asigurate de către echipament, N_t .

Flexibilitatea de adaptare F_a se poate calcula în două moduri:

- În raport cu costurile necesare pentru acțiunile de reechipare/selectare/reglare la schimbarea sarcinii de fabricație cu relația [Kov'94 p40]:

$$F_a = 1 - (Ch_{mar} + Ch_{man} + V_{EF}) / V \quad (4.1.1)$$

unde Ch_{mat} , Ch_{man} este suma cheltuielilor pentru materiale respectiv pentru manoperă necesară adaptării, V_{EF} , V reprezintă valoarea în lei a elementelor funcționale schimbate sau suplimentare respectiv a sistemului în ansamblu;

- În raport cu timpul necesar de adaptare [Abr'96 p24]:

$$G_{AT} = e^{-(Tr/Tr0)} \quad (4.1.2)$$

unde G_{AT} este gradul flexibilității de adaptare exprimat în timp, Tr este timpul de reechipare, $Tr0$ este timpul de reechipare al unui sistem de comparație.

Relația (4.1.1) se poate explicita pentru fiecare componentă i a SFF, astfel:

$$F_{ai} = 1 - (Ch_{mati} + Ch_{mani} + V_{EFi}) / V_i \quad (4.1.1')$$

unde Ch_{mati} , Ch_{mani} este suma cheltuielilor pentru materiale respectiv pentru manoperă necesară adaptării componentei i , V_{EFi} , V_i reprezintă valoarea în lei a elementelor funcționale schimbate sau suplimentare respectiv a componentei i a sistemului.

Pentru întregul sistem, coeficientul de apreciere al flexibilității de adaptare este:

$F_a = \sum (F_{ai})$ unde i sunt componentele sistemului asupra cărora s-a intervenit pentru adaptarea la noua sarcină de fabricație.

4.1.3. Modalități de estimare a atributelor de flexibilitate a componentelor SFF

Unele dintre atributele de flexibilitate de utilizare ale componentelor nu pot fi exprimate prin valori discrete care să permită comparațiile necesare în sinteza SFF și, din acest motiv, se propune în cele ce urmează o modalitate de estimare a acestor tipuri de proprietăți prin tehnica mulțimilor vagi.

Principala caracteristică a elementelor unei mulțimi vagi este reprezentată prin funcția de apartenență a elementului care exprimă gradul de apartenență al acestuia la mulțimea respectivă.

De exemplu, atributele de flexibilitate de utilizare pot să fie apreciate lingvistic prin una din calificativele “foarte mare”, “mare”, “mediu”, “mic”, “foarte mic” în condițiile comparației flexibilității a două echipamente.

Exemple de atribute ale flexibilității de utilizare a componentelor care se pot estima prin intermediul mulțimilor vagi sunt:

- gradul de versatilitate al robotului de a atinge punctele țintă necesare în sistem (unde versatilitatea robotului este proprietatea acestuia de a atinge un număr maxim de situații ale efectorului final, fără blocarea brațului din cauza caracteristicilor structurii mecanice a acestuia);

- gradul de adaptare al senzorului vizual la perturbații de luminozitate din mediu.

4.1.4. Modalități de corelare a sarcinii de fabricație cu flexibilitatea componentelor sistemului

Sarcina de fabricație este un factor decisiv și determinant al tuturor etapelor sintezei SFF.

Cerințele de flexibilitate sunt caracteristici ale sarcinii de fabricație care indică atributele cantitative sau calitative de flexibilitate pe care trebuie să le îndeplinească componentele sistemului.

Analiza sarcinii de fabricație pentru identificarea cerințelor de flexibilitate se poate face în cazul sintezei preliminare a sistemului sau în cel al exploatării sistemului, situație în care se verifică adecvarea sau se realizează adaptarea SFF pentru noile piese de realizat în sistem.

Caracteristicile sarcinii de fabricație care trebuie analizate pentru determinarea cerințelor de flexibilitate ale componentelor sistemului sunt:

a) caracteristici tehnologice ale pieselor:

- tipul reperului;
- formele geometrice ale suprafețelor piesei;
- dimensiunile de gabarit;
- greutatea maximă a pieselor;
- cerințele de precizie dimensională, de formă și de poziție reciprocă a suprafețelor;
- cerințele de calitate a suprafețelor;
- caracteristicile materialului piesei și de tratament termic;
- caracteristicile semifabricatului din care se execută piesa;

b) caracteristicile volumului de producție (numărul de piese din seria de fabricație) și termenele de execuție.

Dacă se notează generic cu A_S mulțimea atributelor de flexibilitate ale componentelor sistemului și C_{SF} mulțimea de caracteristici ale cerințelor de flexibilitate, un SFF de flexibilitate optimă este acel sistem pentru care este îndeplinită relația:

$$A_S \equiv C_{SF} \quad (4.1.3)$$

Orice altă relație între cele două mulțimi nu asigură flexibilizarea optimă a sistemului.

Analiza corelării dintre cerințele de flexibilitate ale sarcinii de fabricație și atributele de flexibilitate ale componentei "i" utilizează matricea de legătură prezentată în figura 4.1.1.

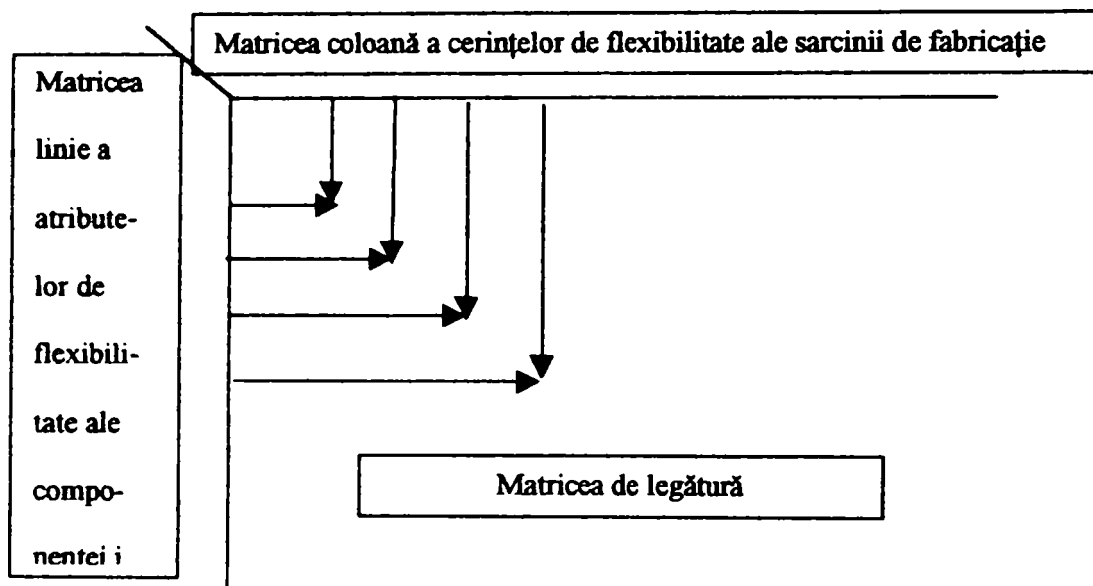


Figura 4.1.1. Modalitatea de compunere a matricii de legătură

Matricea de legătură este specifică fiecărei componente a SFF. Pentru a se îndeplini condițiile unei flexibilități optime a sistemului, între elementele matricii cerințelor de flexibilitate ale sarcinii de fabricație și cele ale atributelor de flexibilitate ale componente i trebuie să existe o relație de identitate.

În cazul exploatării unui SFF existent, sarcina nouă de fabricație poate să impună modificări asupra domeniului de definiție al cerințelor de flexibilitate și între unele dintre elementele matricii de legătură să existe relația: "cerința de flexibilitate" > "atribut de flexibilitate de utilizare". În acesta situație trebuie să se exploreze posibilitățile de reechipare, selectare, reglare asupra componentelor pentru a se reveni la relația de identitate între aceste elemente.

În cazul sintezei SFF, matricea de legătură se utilizează la determinarea domeniilor de definiție ale atributelor de flexibilitate ale componentelor sistemului, ca în figura 4.1.2.

In figura 4.1.3 se prezintă un exemplu de matrice de legătură pentru determinarea atributelor de flexibilitate ale componente "conveior liniar".

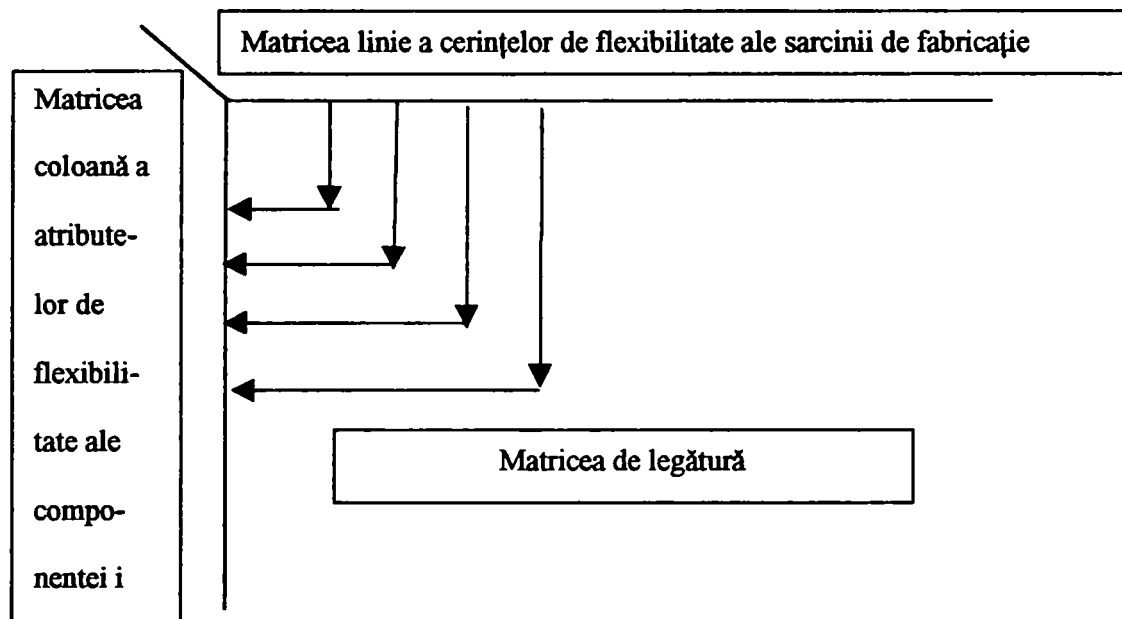


Figura 4.1.2. Matricea de legătură în cazul sintezei SFF

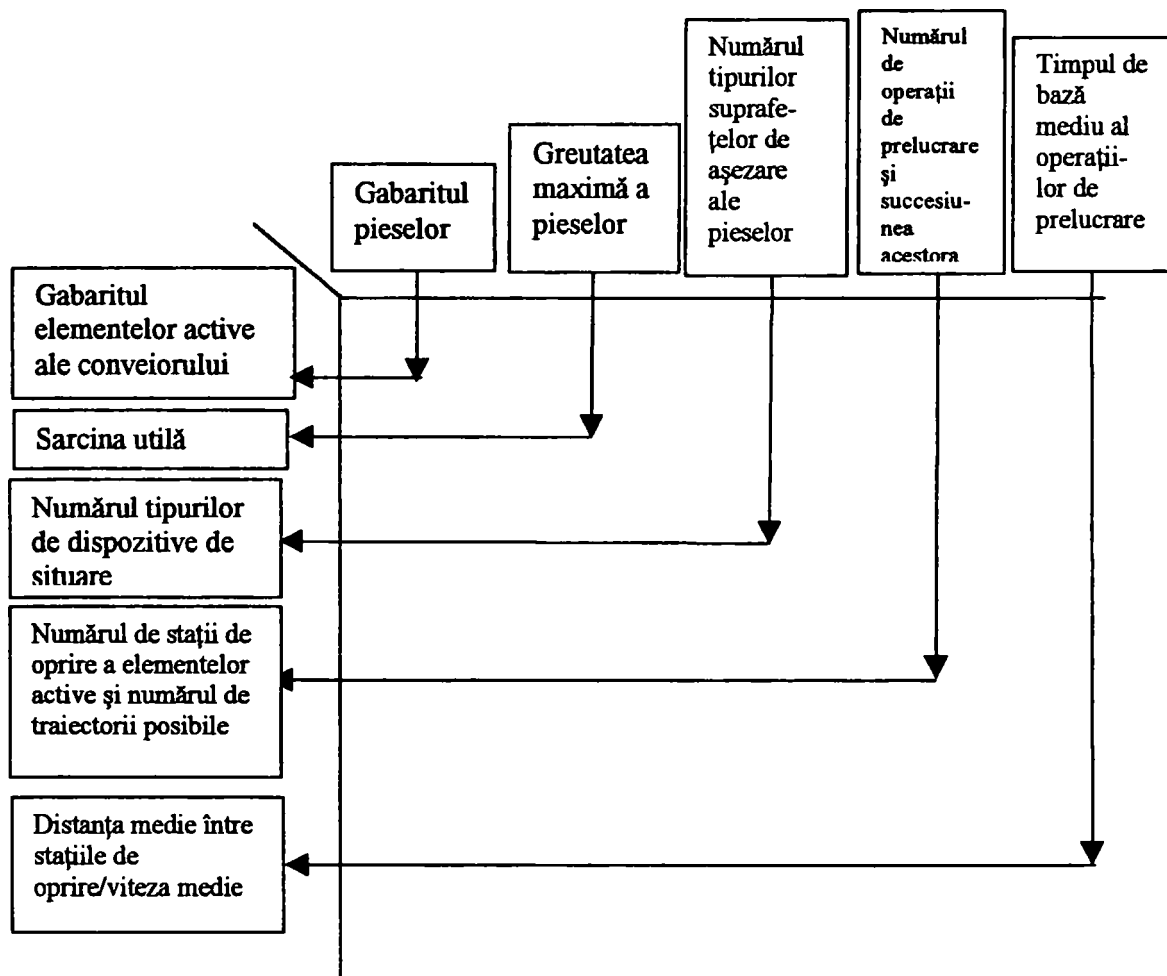


Figura 4.1.3. Matricea de legătură pentru determinarea atributelor de flexibilitate ale unui conveior liniar

În condițiile în care domeniile de definiție ale atributelor de flexibilitate ale componentelor sistemului sunt limitate de criterii de eficiență economică, complexitate tehnică, caracteristici constructive și dimensionale etc, rezultă o necesitate a limitării temei de proiect a sintezei SFF.

Tema de proiect a sintezei SFF este mulțimea informațiilor furnizate casei de sistem de către beneficiarii viitorului sistem de fabricație. Aceste informații se structurează în două categorii: tehnologică și financiară. În categoria informațiilor tehnologice se încadrează spectrul de piese de fabricat în mod automat, tehnologiile de execuție aferente acestor piese, volumul predictibil pe o unitate de timp (an, lună, săptămână) a producției. În cadrul informațiilor economico-financiare, trebuie precizată mărimea investiției în valori bănești și anii preconizați de returnare a acesteia.

Astfel, din spectrul de piese care constituie datele de intrare în sinteza sistemului, trebuie selectate acele tipuri de piese ale căror cerințe de flexibilitate să corespundă atributelor flexibilității tuturor componentelor sistemului. În figura 4.1.4. se reprezintă în mod simbolic acest raționament logic.

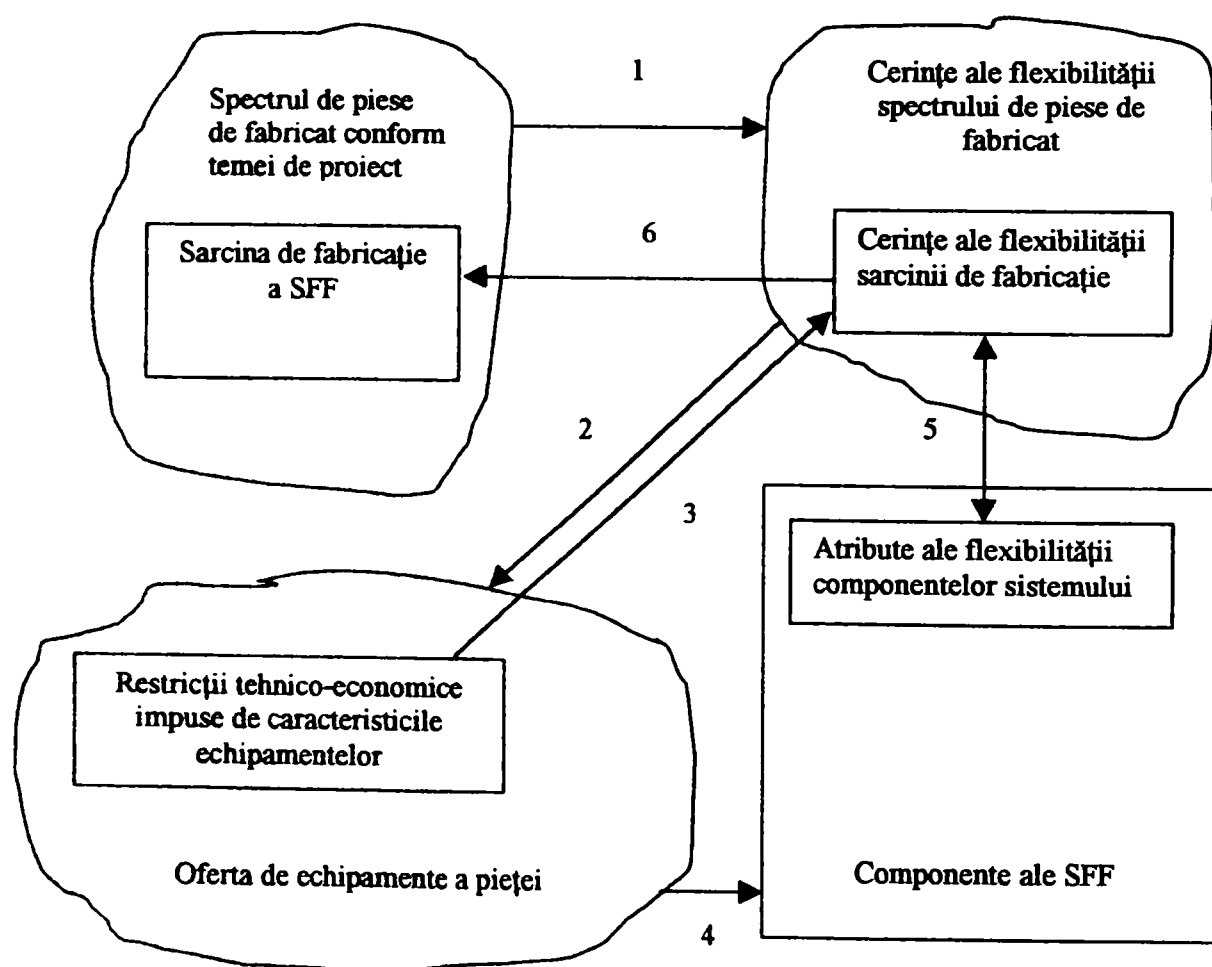


Figura 4.1.4. Raționamentul logic al limitării sarcinii de fabricație din spectrul de piese ale temei de proiect

Notățiile din figura 4.1.4. au următoarea semnificație:

1 este operația de identificare al domeniului larg al cerințelor de flexibilitate al spectrului de piese din tema de proiectare a SFF;

2 este analiza ofertei de echipamente a pieței și identificarea limitelor impuse de eficiență economică a soluțiilor tehnice ale posibilelor componente ale SFF;

3 este identificarea cerințelor de flexibilitate ale sarcinii de fabricație prin eliminarea acelor cerințe care nu corespund restricțiilor tehnice și economice ale ofertei de echipamente;

4 este alegerea componentelor SFF din oferta de piață, pe baza datelor cuprinse în matricea cerințelor de flexibilitate ale sarcinii de fabricație;

5 este verificarea corelării, prin utilizarea matricii de legătură, a cerințelor de flexibilitate ale sarcinii de fabricație cu atributele de flexibilitate ale componentelor SFF;

6 este definirea sarcinii de fabricație a SFF.

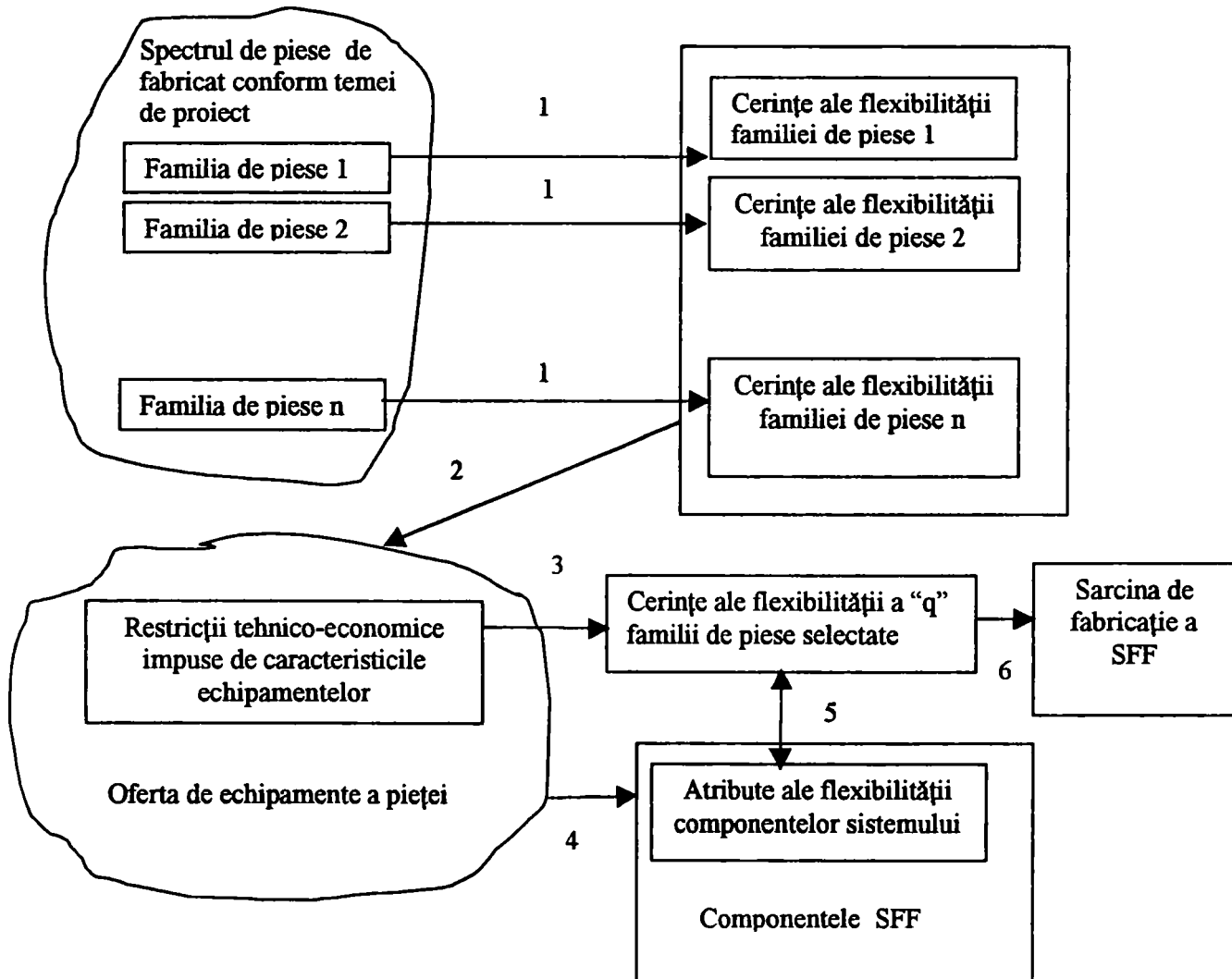


Figura 4.1.5. Limitarea sarcinii de fabricație din spectrul de piese al temei de proiect prin utilizarea tehnologiei de grup

Schema raționamentului logic din figura 4.1.4. prezintă dezavantajul necesității unei analize exhaustive atât a cerințelor de flexibilitate ale spectrului de piese cât și a ofertei de echipamente ale pieței pentru identificarea restricțiilor tehnico-economice impuse de caracteristicile posibilelor componente ale SFF.

În cele ce urmează se propune utilizarea metodei **tehnologiei de grup** pentru spectrul de piese ale temei de proiectare care facilitează întreg procesul de decizie prezentat în figura 4.1.4.

În figura 4.1.5 se prezintă o propunere de determinare a sarcinii de fabricație a SFF prin utilizarea tehnologiei de grup aplicată la spectrul de piese al temei de proiect a sistemului.

Semnificațiile notațiilor din figura 4.1.5 care au fost modificate față de cele din figura 4.1.4 sunt:

1 este operația de identificare a cerințelor de flexibilitate a fiecărei familii de piese identificate din spectrul de piese al temei de proiect al SFF;

3 este operația de selectare a “q” din cele “n” familii de piese ale căror cerințe corespund restricțiilor tehnico-economice ale ofertei pieței. Celelalte notații corespund semnificațiilor celor din figura 4.1.4.

Impărțirea reperelor de prelucrat din spectrul de piese ale temei de proiect în familii trebuie să se realizeze pe baza unor criterii care să permită mai ușor identificarea componentelor din oferta de echipamente ale pieței și să țină cont și de corespondența dintre cerințele de flexibilitate ale familiilor de piese și atributele de flexibilitate ale elementelor sistemului.

4.1.5. Criterii de clasificare a pieselor aplicabile tehnologiei de grup

“Necesitatea clasificării pieselor decurge din păstrarea avantajelor producției de serie mare și la producția de serie mică” [Bră’96 p105]. Clasificarea propusă în continuare ține cont de adecvarea acesteia atât pentru subsistemul de prelucrare cât și pentru cel de manipulare al SFF.

Scopul clasificării este găsirea de familii în cadrul cărora piesele necesită operații de prelucrare și de manipulare executate de către aceleași echipamente de prelucrare, respectiv de manipulare. În figura 4.1.6 sunt prezentați parametrii care definesc operațiile de prelucrare și de manipulare. Prin săgeți s-a simbolizat faptul că parametrii operației de prelucrare determină pe cei ai operației de manipulare. Pe lângă dependența reprezentată în figură, caracteristicile constructive, dimensionale și funcționale ale echipamentelor sunt de asemenea factori de influență asupra parametrilor operațiilor de prelucrare și de manipulare. Suprafața de prehensare este suprafața prin care se realizează contactul dintre dispozitivul de prehensiune al robotului și piesa a cărei situație se

modifică în cadrul operației de manipulare. În continuare se prezintă criteriile de clasificare ale pieselor adecvate aplicării principiilor tehnologiei de grup la sinteza SFF.

a) Criteriul de clasificare după forma suprafețelor principale exterioare ale pieselor

Suprafețele principale sunt cele care au o pondere mai mare de 50% din totalul suprafețelor exterioare ale pieselor. Acest criteriu împarte reperatele în: piese cu suprafețe de revoluție și piese prismatice.

b) Criteriul de clasificare după dimensiunile și rapoarte de dimensiuni ale pieselor

Gabaritul pieselor influențează direct categoria de utilaj tehnologic ales pentru operațiile de prelucrare/manipulare. În codurile de clasificare ale mașinilor unelte [Bră '96 p124-131] sunt incluse și dimensiuni caracteristice, diferite în funcție de tipul utilajului. În consecință, se propune o împărțire a dimensiunilor de gabarit ale pieselor în următoarele intervale: $dim_{max} < 250$ mm; $dim_{max} \in [250mm, 500mm]$ și $dim_{max} > 500mm$. Limitarea superioară a dimensiunilor de gabarit ale pieselor este impusă de analiza oportunității organizării unui SFF [Kov' 94 p53].

Rapoartele de dimensiuni împart piesele în:

- piese cu suprafețe de revoluție: $L/D \leq 0,5$ arbori scurți ; $0,5 < L/D \leq 3$ arbori normali; $L/D > 3$ arbori lungi, unde L și D sunt lungimea și diametrul maxim al piesei;
- piese cu suprafețe plane: $a/b < 3$ și $a/h < 4$ corpuri masive; $a/b < 3$ și $a/g > 4$ și $g > 5mm$ corpuri plate; $a/b > 3$ corpuri svelte [Opr' 98 p27], unde a este lungimea, b este lățimea, h este înălțimea de gabarit a piesei, g este grosimea minimă a piesei.

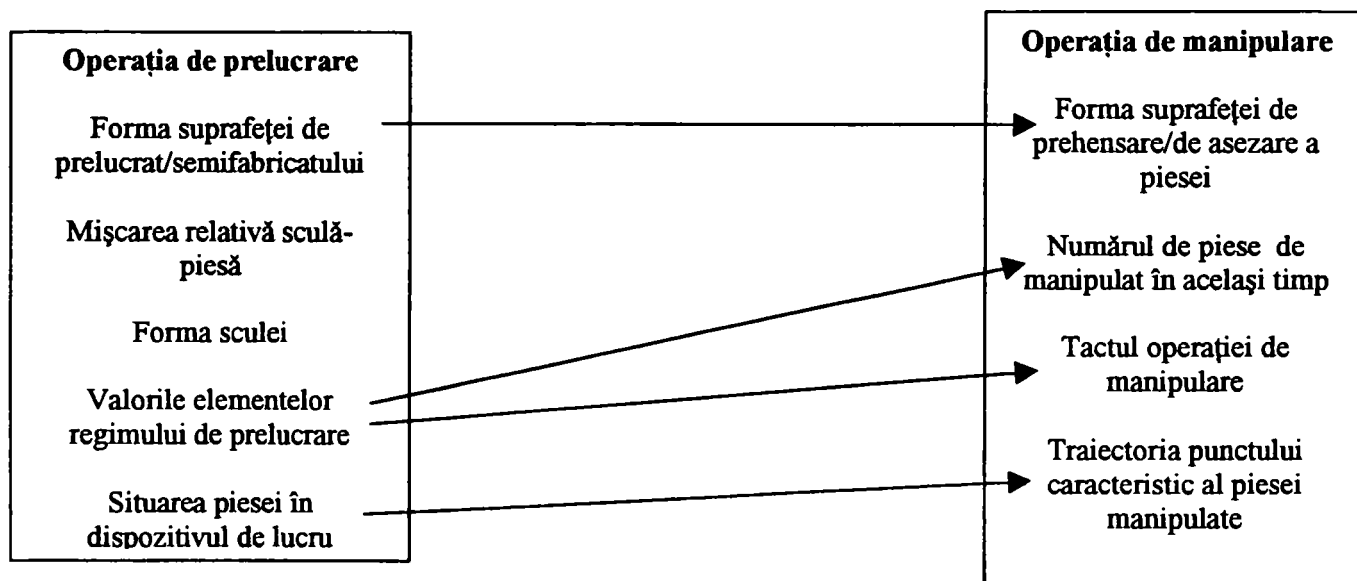


Figura 4.1.6. Parametrii de definire a operațiilor de prelucrare și manipulare

Identificarea clasei de piese: arbori lungi sau piese svelte, impune luarea de măsuri suplimentare la situarea pieselor în dispozitivele de lucru sau în cele ale echipamentelor de manipulare.

c) Criteriul de clasificare după tipul de mașină de lucru adecvată execuției operațiilor de prelucrare a tipurilor de piese

În tabelul 4.1.1. sunt prezentate principalele tipuri de mașini unelte și de prelucrări prin electroeroziune care corespund tipurilor de piese de prelucrat în SFF.

Tabelul 4.1.1. Principalele tipuri de mașini de lucru din cadrul SFF

Piese cu suprafețe de revoluție	Piese prismatice
Strung (S)	Mașină de frezat (MF)
Mașină de frezat (MF)	Mașină de găurit (MG)
Mașină de broșat (MB)	Mașină de mortezat (MM)
Mașină de mortezat (MM)	Mașină de broșat (MB)
Mașină de rectificat rotund interior (MRRI)	Mașină de rectificat plan (MRP)
Mașină de rectificat rotund exterior (MRRE)	Mașina de prelucrat prin electroeroziune cu electrod filiform (MEEF)
Mașina de frezat danturi (MFD)	Mașină de prelucrat prin electroeroziune cu electrod profilat (MEEP)
Mașina de mortezat danturi (MMD)	-
Mașina de mortezat danturi interioare (MMDI)	-

În tabel, între paranteze s-au precizat și notațiile prescurtate ale denumirilor mașinilor de lucru care se vor utiliza în continuare.

Acest criteriu de clasificare al tipurilor de piese se bazează pe corelația dintre tipurile de suprafețe ale pieselor și tipurile principale de mașini de lucru care pot executa prelucrarea acestor suprafețe.

d) Criteriul de clasificare după greutatea maximă a pieselor

Între acest criteriu și cel al clasificării pieselor după dimensiuni se poate stabili o corelație liniară în cazul pieselor pline (fără volume semnificative determinate de suprafețe interioare ale piesei). Această clasificare se utilizează la:

- aproximarea duratei ciclului de fabricație, pentru că “piesele cuprinse în aceeași grupă de greutate au aproape același ciclu de fabricație” [Bră’96 p.107]

- dimensionarea sistemului mecanic și de acționare sau la alegerea echipamentelor de manipulare funcție de sarcina utilă a acestora.

e) Criteriul de clasificare după calitatea suprafeței piesei și precizia dimensională și de poziție reciprocă a suprafețelor

Intre criteriile de calitate a suprafeței, de precizie dimensională și de poziție reciprocă a suprafețelor există o strânsă corelare tehnologică. În tabelul 4.1.2. se prezintă [Bră '96 p118] un exemplu de împărțire în clase a elementelor tehnologice de toleranță și rugozitate a suprafeței piesei.

Tabelul 4.1.2. Clasificarea indicațiilor de precizie dimensională și calitate a suprafețelor

Precizie	Toleranță	Calitatea suprafeței (R_a)
Grosolană	$>0,2$	18,6
Medie	$0,2 \div 0,1$	$12,3 \div 2,2$
Ridicată	$<0,1$	2,2

Acest criteriu de clasificare se utilizează la identificarea operațiilor de prelucrare de finisare din itinerarul tehnologic al pieselor.

f) Criteriul de clasificare după calitatea materialului și de tratamentul termic aplicat materialului pieselor

Materialul diferit al pieselor impune precauții în ceea ce privește ordonanțarea pieselor care intră în SFF, pentru acțiunea de colectare a șpanului. Se recomandă o grupare a pieselor prelucrate în sistem pe criteriul de împărțire al materialului în: metale și nemetale. Materialele metalice care trebuie separate sunt, de exemplu: fontele, oțelurile carbon, oțelurile carbon de calitate, aliajele de aluminiu, alamele, bronzurile etc.

Tratamentele termice interoperații aplicate materialului (călire și revenire, nitrurare etc.) impun ieșirea pieselor din SFF și reintrarea acestora după tratament, ceea ce le particularizează traseul tehnologic în cadrul sistemului.

În tabelul 4.1.3. și 4.1.4 sunt prezentate exemple de clasificare a pieselor cu suprafețe principale exterioare de revoluție și respectiv prismatice după criteriile enunțate mai sus.

4.1.6. Metodă matricială de elaborare a proceselor tehnologice de grup pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune

Elaborarea tehnologiei de grup este un proces în care, pe baza clasificării pieselor din spectrul de repere ale temei de proiect, se stabilesc familiile de piese care prezintă tehnologii individuale

asemănătoare. Gradul de asemănare dintre membrii aceleiași familii este adecvat procesului de sinteză al SFF.

În cadrul procesului tehnologic de grup se vor stabili: itinerarul tehnologic al familiei, mașinile de lucru, sculele și dispozitivele de lucru necesare.

Tabelul 4.1.3. Clasificarea pieselor cu suprafețe exterioare de revoluție

Piese cu suprafețe principale exterioare de revoluție				
Dimensiuni și rapoarte de dimensiuni	Tipurile de mașini de lucru adecvate operațiilor de prelucrare ale pieselor	Greutatea piesei	Calitatea suprafeței și precizia	Materialul și tratamentul termic
$D < 250\text{mm}$	S	$G < 10\text{ kg}$	Grosolană	Oțel carbon
$250\text{mm} < D < 500\text{mm}$	MF	$10 < G < 50\text{ kg}$	Medie	Oțel carbon de calitate
$D > 500\text{mm}$	MB	$G > 50\text{ kg}$	Ridicată	Oțeluri aliate
$L/D < 0,5$	MM	-	-	Fonte
$0,5 < L/D < 3$	MRR1	-	-	Aliaje de Cu
$L/D > 3$ L este lungimea maximă a piesei (mm) D este diametrul maxim al piesei	MMRE	-	-	Tratamente termice interoperații
-	MFD	-	-	-
-	MMD	-	-	-
-	MMDI	-	-	-

Tabelul 4.1.4. Clasificarea pieselor prismatice

Piese prismatice				
Dimensiuni și rapoarte de dimensiuni	Tipurile de mașini de lucru adecvate operațiilor de prelucrare ale pieselor	Greutatea piesei	Calitatea suprafeței și precizia	Materialul și tratamentul termic
$\text{Max}(a, b, g, h) < 250\text{mm}$	MF	$G < 10\text{ kg}$	Grosolană	Oțel carbon
$250\text{mm} < \text{Max}(a, b, g, h) < 500\text{mm}$	MG	$10 < G < 50\text{ kg}$	Medie	Oțel carbon de calitate
$\text{Max}(a, b, g, h) > 500\text{mm}$	MM	$G > 50\text{ kg}$	Ridicată	Oțeluri aliate
$a/b < 3; a/g > 4; g > 5\text{ mm}$	MB	-	-	Fonte
$a/b > 3$	MRP	-	-	Aliaje de Cu
a este lungimea piesei (mm) b este lățimea piesei; g este grosimea minimă a piesei; h este înălțimea de gabarit a piesei	MEEF	-	-	Tratamente termice interoperații
-	MEEP	-	-	-

Principiul metodei matriciale utilizate în elaborarea proceselor tehnologice de grup constă în determinarea unei **matrici de incidență**, a cărei elemente sunt expresia matematică a unei relații de dependență între două categorii de mulțimi de elemente tehnologice, M_1 și M_2 . Numărul de elemente tehnologice ale celor două mulțimi M_1 și M_2 determină mărimea matricii de incidență, fiind egal cu numărul de linii respectiv numărul de coloane ale acesteia.

Relația de dependență între elementele tehnologice ale mulțimilor M_1 și M_2 indică valoarea elementelor matricii de incidență, astfel:

$e_{ij} = 1$ dacă există o relație de corelare din punct de vedere tehnologic între elementul i al mulțimii M_1 și elementul j al mulțimii M_2 ;

$e_{ij} = 0$ dacă nu există o relație de dependență (determinare) între cele două elemente tehnologice ale acestor mulțimi.

Matricea de incidență este definită prin mulțimea ordonată de elemente $[e_{ij}]$, unde $i=1 \div n$, i este contorul liniilor matricii, n este numărul de elemente ale mulțimii M_1 și $j=1 \div m$, j este contorul coloanelor matricii, m este numărul de elemente ale mulțimii M_2 .

Mulțimea problemelor din cadrul elaborării proceselor tehnologice de grup care se pot rezolva prin metoda matricială sunt prezentate în figura 4.1.6'.

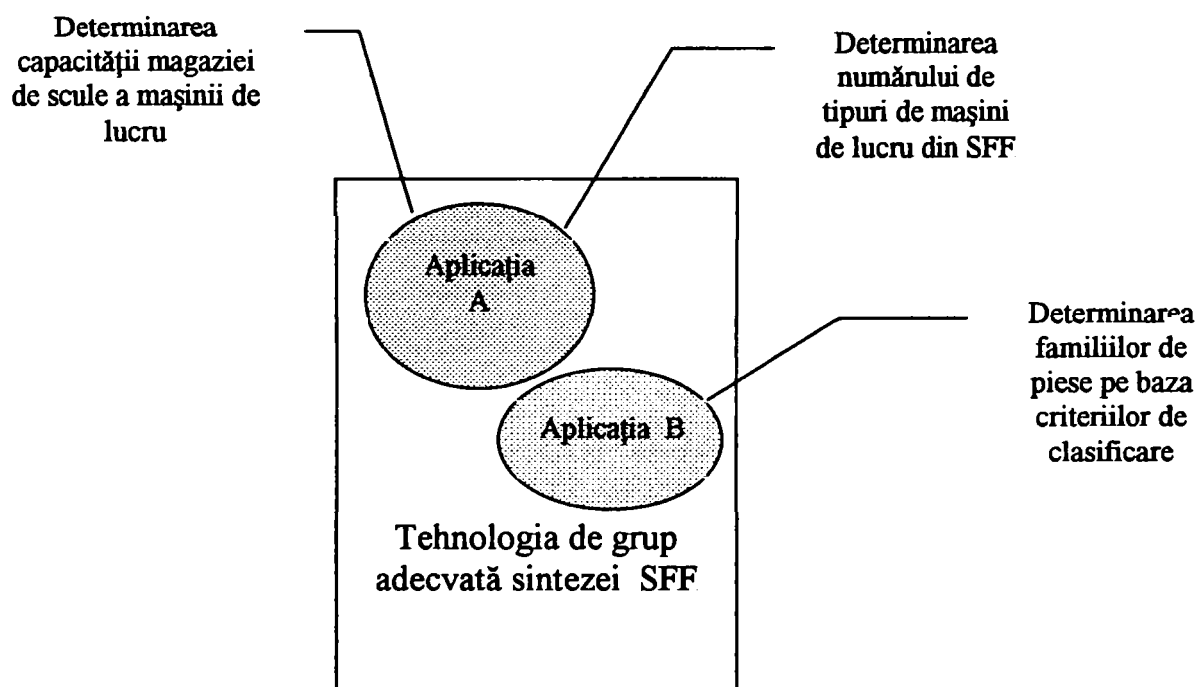


Figura 4.1.6'. Probleme ale tehnologiei de grup rezolvabile prin metoda matricială

Prelucrările aplicate matricii de incidență sunt diferite în funcție de natura problemelor de rezolvat, ceea ce împarte metoda matricială în două categorii de aplicații, A și B.

4.1.7. Metodă matricială pentru determinarea numărului de tipuri de mașini din SFF și capacității magaziei de scule (aplicația A)

Principiile clasice ale tehnologiei de grup trebuie adaptate la problemele automatizării flexibile sub aspectele:

- sintezei unui nou SFF ;

- planificării producției pe termen scurt (ordonanțare) și introducerii unui nou tip de piesă în sistem.

În cazul concepției unui nou sistem de fabricație, se pornește de la itinerarul tehnologic al tuturor pieselor p_i ($i=1 \div n$) din spectrul de piese propus de client casei de sistem.

Informațiile tehnologice ale piesei p_i , conțin, pentru fiecare operație de prelucrare Op_i ($i=1 \div n_{op}$):

- tipurile de mașini de lucru m_j necesare prelucrării tipului de piesă p_i $j=1 \div n_m$;
- sculele necesare fiecărei operații Sc_{kj} $k=1 \div n_{sj}$ la mașina j ,
- dispozitivele de lucru Dl_z $z=1 \div D$.

Rezolvarea problemei de structură a viitorului sistem flexibil se face în primul rând prin stabilirea tipurilor de mașini de lucru care vor fi integrate în sistem.

Elementele mulțimii M_1 descriu tipurile de piese din spectrul de piese al temei de proiect, numărul de elemente ale mulțimii determinând numărul de linii ale matricii de incidență. Elementele mulțimii M_2 descriu tipurile de mașini de lucru adecvate prelucrării tipurilor de piese, numărul de elemente ale mulțimii indicând numărul de coloane ale matricii de incidență.

Relația de dependență dintre elementele celor două mulțimi devine în acest caz:

- $e_{ij}=1$ dacă piesa p_i sau operația Op_i se poate realiza la mașina de lucru m_j ;
- $e_{ij}=0$ în caz contrar.

În cazul sintezei unui SFF numărul de linii ale matricii sunt de ordinul zecilor sau sutelor, respectiv al coloanelor este de ordinul zecilor.

Prin rearanjarea liniilor și coloanelor matricii de incidență, fără a se modifica valoarea elementelor e_{ij} , în așa fel încât să se obțină submatrici cu cât mai multe elemente nenule, se poate lua decizia cu privire la selectarea mașinilor de lucru și a pieselor de prelucrat în SFF.

Prelucrarea matricii de incidență se realizează, avându-se în vedere mărimea acestei matrici, în mod automat, prin utilizarea unui program adecvat.

Fie, de exemplu, matricea de incidență:

$$M_{(1)} = \begin{bmatrix} & m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & m_6 & m_7 & m_8 \\ p_1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ p_3 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ p_4 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ p_5 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ p_6 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_7 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_8 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ p_9 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ p_{10} & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1.4)$$

în care s-au notat cu m_j ($j=1-8$) tipurile de mașini de lucru adecvate prelucrării tipurilor de piese p_i ($i=1-10$).

Prin rearanjarea liniilor și coloanelor matricii de incidență, se obține:

$$M_{(1)}^r = \begin{bmatrix} & m_2 & m_3 & m_1 & m_4 & m_6 & m_8 & m_7 & m_5 \\ p_1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ p_6 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ p_7 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_8 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ p_{10} & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ p_2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ p_4 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ p_5 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ p_9 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.1.5)$$

Din matricea de incidență rearanjată $M_{(1)}^r$ se pot identifica două grupări de mașini (2 și 3) și (1, 4, 6, 8, 5, 7) și piesele ce se vor prelucra la aceste grupe de mașini de lucru sunt (1, 3, 6, 7) respectiv (8, 10, 2, 4, 5, 9). Se observă că piesele 3, 6, 8, 10 trebuie să fie prelucrate la ambele grupe de mașini. Decizia finală cu privire la structura subsistemului de prelucrare (număr de tipuri de mașini de lucru și număr de mașini de lucru de același tip din SFF) se ia în urma analizei parametrilor de capacitate productivă și de valoare a investiției. Problemele acestei decizii sunt prezentate în subcapitolul 4.2.

O problemă de alegere a subsistemului de prelucrare din cadrul sintezei SFF este stabilirea capacității magaziiilor de scule. Dacă pentru fiecare tip de mașină m_j se stabilește la fiecare operație tehnologică Op_i care sunt sculele necesare Sc_{kj} , se poate determina o matrice de incidență corespunzătoare de forma:

$$M_{(j)} = \begin{bmatrix} & Op_1 & Op_n \\ Sc_{1j} & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ Sc_{skj} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1.6)$$

Prin rearanjarea matricii de incidență și obținerea de submatrici cu elemente nenule se decide numărul de locașuri din magazia de scule pentru fiecare tip de mașină de lucru, numărul de scule universale și de scule speciale necesare prelucrării grupelor selectate de tipuri de piese prin matricea de incidență de forma $M_{(1)}^r$.

Capacitatea magaziei de scule a mașinii m_j va fi mai mare decât numărul de scule universale și va avea o rezervă de locașuri libere pentru scule speciale proporțională cu suma timpilor de bază ai operațiilor care necesită aceste scule.

Pentru planificarea producției pe termen scurt (ordonanțare), din spectrul de piese planificate pe termen mediu de a fi prelucrate în SFF trebuie alese acele piese care se pot introduce în sistem fără intervenții de reglare, reprogramare, instalare de elemente suplimentare.

4.1.8. Metodă matricială pentru determinarea familiilor (grupelor) de piese (aplicația B)

Scopul alcătuirii matricei de incidență pentru aplicația B este descrierea reperelor din spectrul de piese ale temei de proiect sub diverse aspecte tehnologice importante care influențează procesul sintezei SFF.

În figura 4.1.7 se prezintă două exemple de piese analizate și matricea lor de incidență.

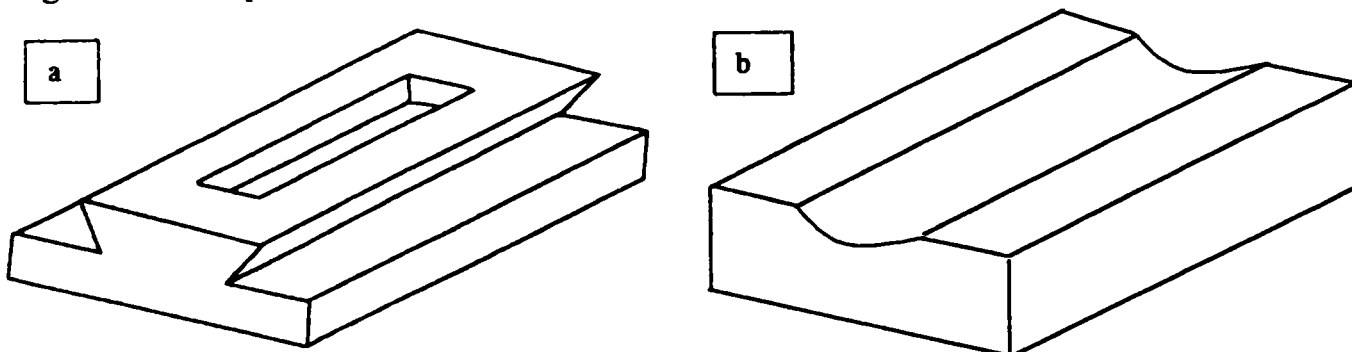


Figura 4.1.7. Exemple de schițe de piese și modalitatea de alcătuire a matricii lor de incidență

N.c.	Dimensiuni		Tipuri de mașini de lucru		Greutatea piesei		Precizia		Material și t. t.	
	Criteriul b		Criteriul c		Criteriul d		Criteriul e		Criteriul f	
1	Dim max < 250 mm	1	MF	1	G < 10 kg	1	Grosolană	0	Ot. carbon	1
2	250 < Dim max < 500 mm	0	MG	0	10 < G < 50 kg	0	Medie	1	Ot. carbon de calitate	0
3	Dim max > 500 mm	0	MM	0	G > 50 kg	0	Ridicată	0	Ot. aliat	0
4	$a/b < 3$; $a/h < 4$	0	MB	0		0	-	0	Fonte	0
5	$a/b < 3$; $a/g > 4$, $b > 5$	1	MRP	0	-	0	-	0	Aliaje de Cu	0
6	$a/b > 3$	0	MEEF	0	-	0	-	0	T.T. interoperatii	0
7	-	0	MEEP	0	-	0	-	0	-	0

Astfel, matricea de incidență pentru clasa de piese prismatice va avea 5 coloane (5 criterii de clasificare: dimensiuni și rapoarte de dimensiuni; tipuri de mașini de lucru; greutate; calitate a suprafețelor, precizie dimensională și de poziție relativă; calitate a materialului și tratamente termice) și 7, 9 linii corespunzând numărului maxim de domenii de încadrare a caracteristicilor pieselor cu suprafețe de revoluție, respectiv prismatice, conform criteriilor de clasificare prezentate.

Caracteristicile tehnologice ale obiectelor de lucru aparținând spectrului de piese vor fi descrise de câte o matrice de incidență corespunzătoare.

Matricea de incidență care descrie caracteristicile piesei din exemplu (figura 4.1.7.a) este:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.1.7)$$

Determinarea familiilor/grupelor de piese se va realiza pe baza comparațiilor realizate între matricile de incidență, la care se va urmări **identitatea elementelor matricii** aparținând coloanelor 1÷4 și liniilor 1÷9 sau 1÷7, pentru tipurile de piese cu suprafețe de revoluție, respectiv prismatice. Elementele matricii de incidență aparținând coloanei 5 conțin informații necesare planificării pe termen scurt a producției și sunt necesare la activitatea de curățire a mașinii de șpan și de colectare a acestuia, dat fiind că valorile elementelor regimului de așchiere care depind de materialul piesei sunt conținute, în general, în domeniul de variație a parametrilor de funcționare al mașinii de lucru. Fie piesa din figura 4.1.7b. Matricea de incidență corespunzătoare acestui exemplu de piesă este identică cu cea din relația (4.1.7), ceea ce conduce la concluzia că piesele din figurile 4.1.7.a și b fac parte din aceeași grupă de piese ce se vor prelucra în SFF. Criteriile de clasificare ale pieselor care stau la baza determinării matricii de incidență sunt generale și nu permit obținerea piesei caracteristice (virtuale) a familiei (grupe) de piese. Odată obținută selectarea pieselor pe baza metodei prezentate, se poate aplica una dintre metodele de codificare ale pieselor din literatură pentru a se obține piesa caracteristică.

4.1.9. Contribuții la creșterea flexibilității dispozitivelor de situare a pieselor în SFF

4.1.9.1. Dispozitive de situare a pieselor în SFF

Instalația aducătoare/de evacuare a materialului are rolul de a situa semifabricatele într-o poziție determinată și de a le pune la dispoziția stațiilor sau mașinilor de lucru în momentul impus de funcționarea întregului SFF, respectiv de a evacua piesele prelucrate în poziția și la momentul impus

de funcționarea mașinilor de lucru. De multe ori se utilizează aceleași dispozitive pentru funcția de aducere și de evacuare.

Flexibilitatea de adaptare la schimbarea sarcinii de fabricație a acestor instalații se asigură prin reglarea (manuală) a poziției reperelor dispozitivelor sau prin reechipare sau selectare.

Paletele de transfer semifabricate/piese prelucrate se regăsesc în structura acestei instalații. Problema este de a proiecta aceste palete de transfer astfel încât ele să poată să situeze cât mai multe tipodimensiuni de piese din spectrul de piese al SFF.

Se va analiza situarea pe palete de transfer a celor două mari familii de piese din construcția de mașini: piese cu suprafețe principale de revoluție și piese prismatice.

4.1.9.2. Situarea pieselor cu suprafețe principale de revoluție pe palete

Piesele de tip arbore se situează în general pe prisme. Dezavantajul utilizării prisme ca element de situare pe paletă este că, la diametre diferite ale arborilor, axa orizontală a piesei se poziționează la cote diferite față de suprafața de bazare a paletii (vezi figura 4.1.8). Ca urmare, dacă diferența dintre diametrul maxim și cel minim al arborilor situați pe aceeași prismă este semnificativ, vor fi necesare poziții diferite de preluare/predare ale robotului de manipulare, chiar dacă acesta are dispozitiv de prehensiune cu bacuri în formă de prisme. Un experiment simplu cu o prismă de $\alpha=150^\circ$, a determinat o eroare de poziționare a axei orizontale de 6,6 mm pentru o diferență de diametre de 9 mm. Problema se poate rezolva prin programare prin învățare de poziții diferite ale robotului, dar se consumă din timpul productiv al sistemului la fiecare introducere de piesă nouă de acest tip. Alt dezavantaj la situarea pe prisme a arborilor lungi în trepte este înclinarea axei piesei (în plan vertical), dacă situarea arborelui se face pe prisme de aceleași dimensiuni (vezi figura 4.1.9). Inclinarea axei arborelui introduce probleme suplimentare la manipulări ulterioare ale piesei de către robot.

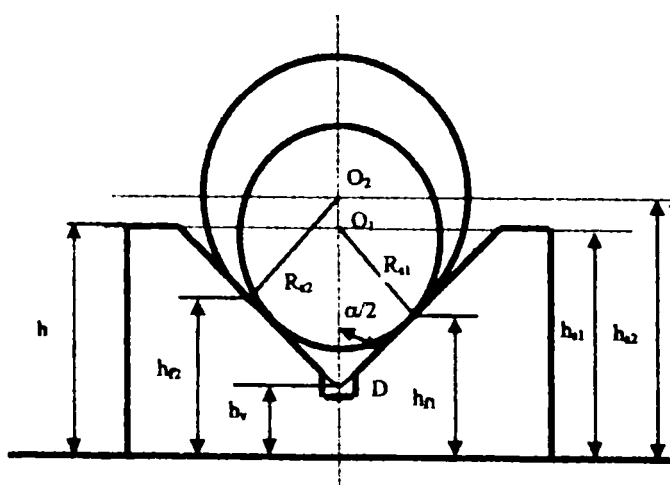


Figura 4.1.8. Situarea arborilor de diametre diferite pe prismă

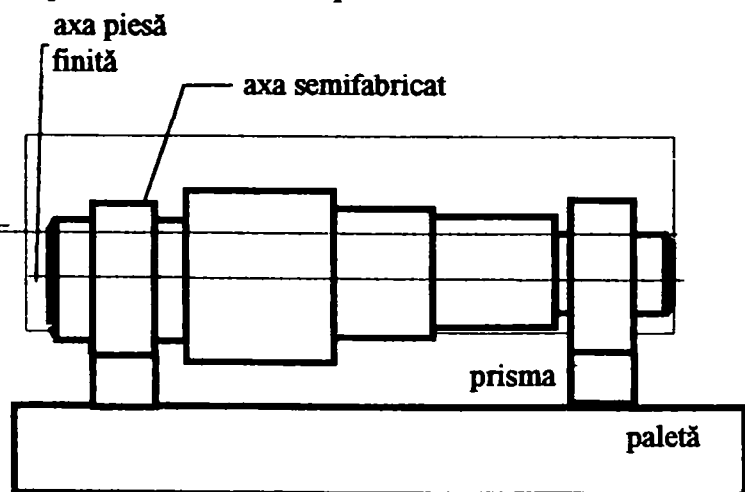


Figura 4.1.9. Inclinarea axei longitudinale a piesei față de semifabricat

Se notează cu h_{s_i} distanța de la axa longitudinală a arborelui de rază R_{s_i} la suprafața de bază a paletelor; diferența $h_{s_2}-h_{s_1}$ se calculează cu relația (4.1.8):

$$h_{s_2}-h_{s_1} = O_2D - O_1D = (R_{s_2}-R_{s_1})/\sin(\alpha/2) \quad (4.1.8)$$

unde α este unghiul dintre suprafețele de contact ale prisme cu piesa de tip "arbore".

Soluția propusă este de a utiliza prisme cu role (vezi figura 4.1.10), ale căror poziție să fie reglabilă față de planul de semicentrare al prisme. Reglarea are ca scop poziționarea, la același nivel față de suprafața de bazare a paletelor, a axei arborelui, pentru diametre diferite ale piesei. Această posibilitate exclude necesitatea reprogramării robotului la introducerea de noi tipuri de piese și oprirea de reinițializare a sistemului, reglarea prismelor putându-se realiza în timpii de pregătire ai producției suprapuși peste timpii productivi ai sistemului.

Problema de optimizare dimensională a prismelor cu role reglabile se rezolvă prin metoda programării matematice liniare, utilizându-se programul Microsoft Excel. Funcția obiectiv este maximizarea diferenței dintre diametrul maxim și cel minim al pieselor (ΔR), pentru care rolele au poziții reglabile, astfel încât să se păstreze cota h_s constantă.

În figura 4.1.11 este prezentată schema de calcul a dimensiunilor prisme cu role reglabile și a dimensiunilor maxime și minime ale pieselor ce se pot situa univoc față de paletă.

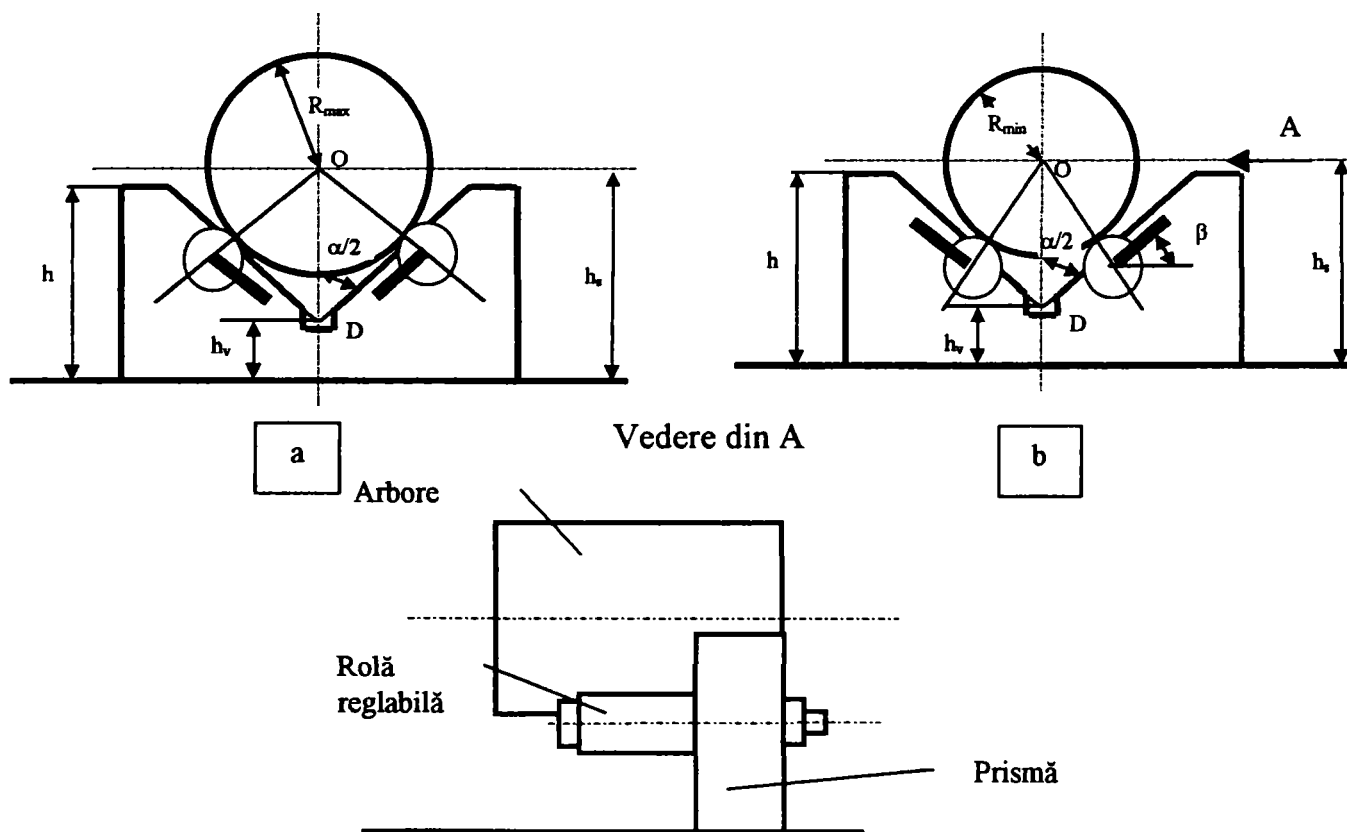


Figura 4.1.10. Prismă cu role având poziția reglabilă, rolele în poziția extremă superioară (a), respectiv în poziția extremă inferioară (b)

Conform notațiilor din figura 4.1.11, se deduce:

$$\text{Din } \Delta OA'A \Rightarrow (R_1+r)^2 = (l_2^2 + (h_1-h_2)^2)$$

$$\text{Din } \Delta OB'B \Rightarrow (R_2+r)^2 = (h_1 - h_2 - l \times \sin \beta)^2 + (l_2 + l \times \cos \beta)^2$$

$$\Delta R = R_2 - R_1 = \sqrt{(h_1 - h_2 - l \times \sin \beta)^2 + (l_2 + l \times \cos \beta)^2} - \sqrt{(l_2 + h_1 - h_2)^2} \quad (4.1.9)$$

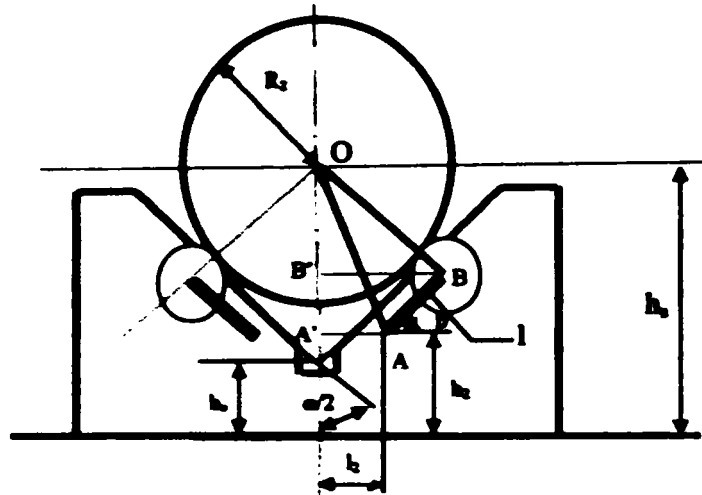


Figura 4.1.11. Determinarea relațiilor dintre dimensiunile prisme și diferența razelor arborilor situați pe prismă

4.1.9.3. Modelul programării matematice liniare pentru optimizarea dimensionării prisme cu rele reglabile

Realizarea modelului și utilizarea programării matematice liniare în rezolvarea problemelor de optimizare a SFF este prezentat în paragraful 2.6.

S-au realizat 3 modele ale optimizării dimensionale ale prisme în ipotezele de:

- determinare a dimensiunilor prisme (h_1, h_2, l_2, l) pentru maximizarea lui ΔR ;
- determinare a unghiului de înclinare al canalului (β) pentru maximizarea lui ΔR ;
- determinare a unghiului de înclinare al canalului (β) pentru minimizarea lungimii canalului (l).

În prima ipoteză se caută acea prismă pentru care diferența de diametru este maximă și se determină fie unghiul de înclinare al canalului α , fie celelalte dimensiuni ale prisme, în a doua ipoteză, pentru diametre ale arborilor și dimensiuni ale prisme date, se determină unghiul β pentru care lungimea canalului este minimă.

Notațiile utilizate în modelele având ipotezele precizate mai sus, sunt:

h_1 este distanța constantă de la axa orizontală a arborilor la suprafața de bazare a paletelor;

h_2 este distanța de la poziția inferioară a axei rolei la suprafața de bazare a paletelor;

l_2 este distanța de la planul de semicentrare al prisme la poziția inferioară a rolei măsurată pe axa orizontală;

l este lungimea canalului pentru poziționarea axei rolei;

β este unghiul de înclinare față de orizontală al canalului de reglare a roților;

r este raza minimă a roților;

R_1, R_2 sunt razele maxime sau minime ale arborilor.

α este unghiul de înclinare al suprafețelor de contact dintre prismă și piesă.

A) Modelul de determinare a dimensiunilor prisme (h_s, h_2, l_2, l) în condițiile maximizării lui ΔR

Parametrii caracteristici: α, h_s, h_2, l_2, l

Funcția obiectiv: maximizarea $|R_1 - R_2|$

Variabile de decizie: β

Constrângeri: $0 < \beta \leq \alpha/2$ (canalul de reglare al poziției rolei să fie cel mult paralel cu muchia înclinată cu $\alpha/2$ față de verticală a prisme);

$h_s > h_2 + l \sin \beta$ (nivelul constant ale axei orizontale a arborilor să fie deasupra muchiei orizontale superioare a prisme);

r_{\min} a rolei $> l_2 / \tan(\alpha/2) + l \cos((\alpha/2) + \beta)$ (suprafața cilindrică a rolei să depășească nivelul suprafeței înclinate $\alpha/2$ față de verticală a prisme);

$h_s - R_2 > h_2 + r_{\min}$ a rolei (raza maximă a arborelui să nu intersecteze suprafața înclinată cu $\alpha/2$ față de verticală a prisme).

B) Modelul de determinare a unghiului de înclinare al canalului (β) în condițiile maximizării lui ΔR ;

Parametrii caracteristici: R_1

Funcția obiectiv: maximizarea $|R_1 - R_2|$

Variabile de decizie: h_s, h_2, l_2, l, β

Constrângeri

$h_s > R_2 + h_2$ (nivelul constant ale axei orizontale a arborilor să fie deasupra muchiei orizontale superioare a prisme);

$h_s, h_2, l_2, l, \beta > 0$ (dimensiunile prisme să fie pozitive)

$h_2 \geq 30$; $l_2 \geq 20$ (dimensiuni minime constructive ale prisme).

C) Modelul de determinare a unghiului de înclinare al canalului (β) în condițiile minimizării lungimii canalului (l)

Parametrii caracteristici: h_1, h_2, l_2, R_1, R_2

Funcția obiectiv: minimizarea lui l

Variabile de decizie: β

Constrângeri

$$2l_2 \cos \beta - 2(h_1 - h_2) \sin \beta = C \text{ unde } C = ((R_2 + r)^2 - (R_1 + r)^2 - l^2) / l, \quad (4.1.10)$$

rezultată din relația (4.1.9)

$$4(h_1 - h_2)^2 + 4(l_2)^2 - C^2 \geq 0 \text{ (condiția de existență a soluțiilor ecuației (4.1.10).}$$

Din rularea în mai multe variante numerice a celor 3 modele s-a constatat că:

- introducând valorile obținute cu modelul (B) (h_1, h_2, l_2, l) ca parametrii caracteristici în modelul (A), se obține aceeași valoare a funcției obiectiv și a unghiului β ;
- modelul (C) oferă valoarea cea mai mică a soluțiilor ecuației trigonometrice (4.1.9);
- există o diferență mică între valorile unghiului β date de rezolvarea problemei prin utilizarea modelului (C) și modelele (A) și (B).

4.1.9.4. Situația pieselor prismatice pe palete

Piese prismatice sunt situate pe paletele de transfer prin cepuri de reazem cu cap de conicitate accentuată pentru facilitarea manipulării piesei. Piesa prismatică se așează pe suprafața maximă de bazare, preluarea a 3 grade de libertate (2 translații și o rotație) realizându-se prin situarea convenabilă a 4 cepuri de dimensiuni prestabilite. Studiul s-a realizat pentru cepurile, piesele și paleta de depozitare ale sistemului din laboratorul CIM-Eshed Robotec. Se dispune de o gamă discretă de dimensiuni a cepurilor de reazem (6 cepuri de dimensiuni diferite) și aceste cepuri se înlocuiesc în funcție de dimensiunile piesei. S-au analizat 3 cazuri de dimensiuni ale pieselor prismatice pentru care s-a căutat dimensiunea optimă a pasului de dispunere al găurilor din paleta (pe x și y) astfel încât să avem cel mai bun aranjament al pieselor pe paletă. În figura 4.1.12 este prezentată schema de situare a pieselor prismatice pe palete de transfer.

Optimizarea constructivă a acestei scheme de situare se face impunându-se o minimizare a suprafeței ocupate de piese pe paleta de transfer.

Funcția obiectiv este (în concordanță cu notațiile din figura 4.1.12):

minimizarea $(n \times p + m \times p)$; unde n și m sunt numărul de rânduri de găuri pe axa x , respectiv pe y la o anumită situație a piesei; p este pasul de dispunere a axelor găurilor pentru cepurile de reazem pe axa Ox și Oy ;

Parametrii caracteristici ai problemei sunt:

lungimea piesei L și lățimea l a pieselor de situat pe paletă;

pasul p de dispunere matriceală al găurilor de pe paletă.

Variabile de decizie pentru rezolvarea prin programare matematică liniară a problemei sunt:

n și m = numărul de rânduri pe axa Ox , respectiv Oy de găuri ocupate de suprafața de așezare a piesei;

α = unghiul de înclinare a piesei față de axa Ox ;

r_1, r_2, \dots, r_4 = raza cepurilor de reazem.

Minimizarea suprafeței ocupate de piesă pe paletă se face în condițiile respectării unor constrângeri de modificare a valorilor variabilelor de decizie.

Constrângeri:

n, m = valori întregi; $n, m \geq 2$;

$-\pi/4 \leq \alpha \leq \pi/4$;

$r_{\min} \leq r_1, r_2, \dots, r_6 \leq r_{\max}$;

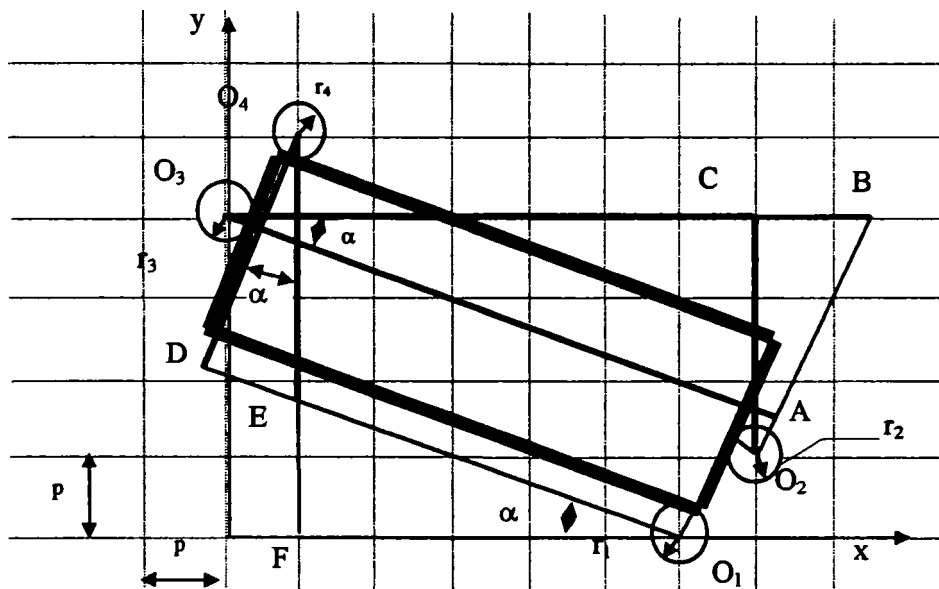


Figura 4.1.12. Schemă de calcul pentru optimizarea situației piesei pe paletă

Valoarea calculată a lungimii și lățimii piesei din formula (4.1.11 și 4.1.12) să fie egală cu parametrii caracteristici L și l a piesei situate pe paletă.

Pentru calculul lungimii L a piesei, conform notațiilor din figura 4.1.12, se obține:

$$\text{din } \Delta O_3AB, O_3A=r_3+L+r_2; O_3A=O_3B \times \cos \alpha; O_3B=n \times p+CB$$

$$\text{din } \Delta O_2CB, CB=O_2C \times \text{tg} \alpha; O_2C=(m-2) \times p \Rightarrow CB=(m-2) \times p \times \text{tg} \alpha$$

$$\text{Ca urmare, } L = ((n \times p + (m-2) \times p \times \text{tg} \alpha) \times \cos \alpha) - r_3 - r_2 = (n \times p \times \cos \alpha + (m-2) \times p \times \sin \alpha) - r_3 - r_2$$

(4.1.11)

Pentru calculul lățimii l a piesei, cu notațiile din figura 4.1.12, se obține:

$$\text{din } \Delta O_4DE, O_4D=r_1+l+r_4; O_4D=O_4E \times \cos \alpha; O_4E=m \times p-EF$$

$$\text{din } \Delta O_1EF, EF=O_1F \times \text{tg} \alpha; O_1F=(n-2) \times p \Rightarrow EF=(n-2) \times p \times \text{tg} \alpha$$

$$\text{Ca urmare } l = ((m \times p - (n-2) \times p \times \text{tg} \alpha) \times \cos \alpha) - r_1 - r_4 = (m \times p \times \cos \alpha - (n-2) \times p \times \sin \alpha) - r_1 - r_4$$

(4.1.12)

În urma rulării facilității Solver din programul Microsoft Excel, rezultă valori ale razelor r_1, r_2, r_3, r_4 care diferă de valorile cepurilor de reazem din datele de intrare. În acest caz se vor alege valorile discrete imediat inferioare ale cepurilor, altfel încât mărimile calculate pentru L și l cu formulele (4.1.11) și (4.1.12) să fie cu 0.5÷1.5 mm mai mari decât valorile date. Acest joc între dimensiunile piesei și distanțele între cepurile de reazem este necesar pentru a se facilita manipularea de către robot a piesei de pe paletă. Programul a fost rulat pentru valori ale pasului de 20, 15, 23 mm. În tabelul 4.1.5 sunt sintetic prezentate date obținute prin utilizarea metodei în cazuri numerice concrete.

Tabelul 4.1.5. Rezultatele utilizării modelului de optimizare a situării pieselor prismatice pe paletă

Pasul p [mm]	Dimensiunile pieselor [mm] L×l	m×n	Dimensiunile efective ale pieselor [mm]	r_1, r_2, r_3, r_4
15	90,5×50	7×3	90,78×50,48	3,8;4,35;5;4,35
	70×51,5	6×3	70,67×51,62	5; 5; 5; 5
	50,1×50,1	6×2	50,14×50,14	6,25; 6,25; 6,25; 6,25;
20	90,5×50	5×3	91,18×50,62	3,8;4,35;5;3,8
	70×51,5	4×3	70,58×51,97	3,8;5,65;4,35;3,8
	50,1×50,1	3×3	51,02×50,23	3,8;6,25;4,35;3,8
23	90,5×50	7×3	91,51×51,6	6,25;5,65;5,65;6,25
	70×51,5	6×3	70×52,25	5;3,8;3,8;6,25
	50,1×50,1	6×2	51,2×51,09	8,5;6,25;7,5;8,5

Analizând datele din tabel, pentru o paletă de depozitare de 250×300mm, se pot situa 10+15+20=45 piese la pasul de 20mm, 12+12+20=44 piese la pasul de 15mm, 6+12+15=33 piese la pasul de

23mm. În concluzie, pasul dintre axele găurilor de situare ale cepurilor de reazem cel mai convenabil este de 20mm. Metoda prezentată poate constitui un bun instrument în proiectarea constructivă optimală a dispozitivelor de situare cu caracteristici flexibile.

4.2. Contribuții la sinteza structurală SFF

4.2.1. Arhitectura SFF

Structura ierarhică a unui SFF este prezentată în figura 2.2, din paragraful 2.2.2. Analiza planelor de amplasament ale sistemelor identifică grupări ale componentelor în spațiu pe criterii funcționale și tehnologice. Pornind de la această observație și de la definiția din [Tav'88, p.62] se propune utilizarea noțiunii de stație de lucru care este ansamblul format din mașina de lucru și echipamentul de manipulare care o servește.

În cadrul stației se realizează operații de manipulare și/sau de prelucrare pentru un număr de tipuri diferite de obiecte de lucru. "Lucrul" care se realizează la stație este mulțimea activităților/acțiunilor necesare execuției operațiilor tehnologice de prelucrare și/sau de manipulare a pieselor. În cadrul stației de lucru se pot realiza: transformări de formă a suprafețelor piesei, modificări dimensionale, modificări ale caracteristicilor fizico-chimice ale materialului obiectului, modificări de calitate și de aspect ale suprafețelor, schimbări ale structurii unui produs (prin adaos de repere, adică asamblare sau eliminare de repere, adică dezasamblare), preluări și prelucrări de informații dimensionale și de formă ale obiectului (măsurare/testare/verificare), îndepărtări de material tehnologic de pe suprafața piesei (spălare) etc. Operațiile de manipulare din cadrul stației de lucru realizează atât modificări ale situării obiectelor în spațiu (manipulare propriu-zisă) cât și mențineri ale situării obiectelor în timp (depozitarea obiectelor de lucru). Depozitarea obiectelor se poate realiza în cadrul stației de lucru (depozitare locală) sau într-un spațiu și cu echipamente adecvate pentru toate stațiile din cadrul SFF (depozitare centrală).

Prin extrapolarea noțiunii, în cadrul sistemului se regăsesc și stații de lucru cu funcții specifice de manipulare: stații de depozitare și de transfer lung.

În cazul în care în stația de lucru se realizează numai mențineri ale situării pieselor în timp, stația de lucru este denumită stație de depozitare automată (ASRS).

Stația de transfer lung realizează legătura în flux material prin manipularea între stații ale obiectelor de lucru. Această activitate este comandată de către stațiile de lucru și se execută într-o ordine aleatoare și la intervale de timp variabile dinamic.

In concluzie, arhitectura unei stații de lucru cuprinde mașini de lucru cu comandă automată și echipamentele de manipulare automată a obiectelor de lucru. Echipamentul de manipulare al stației de lucru realizează servirea a două tipuri de resurse: mașini de lucru și stația de transfer lung.

Sistemul de comandă al stației de lucru permite coordonarea și comanda sistemelor de conducere ale componentelor stației.

Sistemele de comandă centralizate, ierarhizate ale SFF, au în componența lor sistemele de comandă al stațiilor de lucru și echipamentul de comandă central al sistemului (dispecer). Coordonarea activităților stațiilor de lucru se realizează de către un dispecer care trimite comenzi și primește rapoarte privind realizarea comenzilor de la sistemele de comandă ale stațiilor de lucru.

În cazul sistemelor de comandă distribuite ale SFF, sistemul de comandă al stației are un rol decisiv în coordonarea activităților stației, în conducerea sistemului de manipulare și în luarea de decizii “în timp real” în legătură cu desfășurarea dinamică a procesului de fabricație.

In literatura de specialitate se utilizează noțiuni de modul, celulă, linie, atelier de fabricație flexibilă, sau alte denumiri similare, de exemplu unitate flexibilă de prelucrare sau sistem flexibil de prelucrare etc [Pau'98, p21].

Se propune definirea modului de fabricație flexibilă ca fiind stația de lucru cu o singură mașină de lucru și echipament propriu de manipulare și depozitare locală a obiectelor de lucru.

Celula de fabricație flexibilă este stația de lucru formată din mai multe mașini de lucru servite de către același echipament de manipulare.

Linia de fabricație flexibilă are o arhitectură formată din mai multe celule de fabricație flexibilă și o stație de depozitare centrală a obiectelor de lucru care sunt amplasate în spațiu după o linie dreaptă. Itinerarul tehnologic al spectrului de piese realizate pe linia de fabricație cuprinde succesiunea de operații de prelucrare realizate la stațiile de lucru. Liniile de fabricație flexibilă sunt o dezvoltare a liniilor de transfer (în cadrul cărora se execută un proces de fabricație rigid), la care piesele sunt prelucrate la un post de lucru și sunt transferate la postul următor într-un ritm și pe un traseu impus. La liniile de fabricație flexibilă, deși amplasamentul stațiilor de lucru este în linie, stația de transfer lung automat realizează manipularea obiectelor de lucru pe un itinerar determinat de tehnologia de execuție a pieselor din SFF și la momentul determinat de desfășurarea procesului de fabricație din sistem.

Sistemul de fabricație flexibilă are în componența sa una sau mai multe stații de lucru, o stație de depozitare centrală și o stație de transfer lung capabile să realizeze, în orice combinație și număr de obiecte de lucru, sarcinile de fabricație ale unui spectru larg de tipuri de piese. Stația de lucru cu funcția de prelucrare/măsurare/control are în componența ei mașini de lucru cu comandă automată (numerică), echipamente proprii de manipulare a obiectelor de lucru și de comandă automată a stației. Stația de transfer lung realizează integrarea prin flux material al obiectelor de lucru între stații în orice moment funcție de necesități. Coordonarea funcționării stațiilor de lucru, de depozitare și de transfer lung se realizează prin integrarea lor în flux informațional prin echipamente adecvate. În figura 4.2.1 se prezintă arhitectura unui SFF.

Atelierul de fabricație flexibilă este compus din mai multe SFF integrate printr-un sistem de transfer lung centralizat (automat sau nu) al obiectelor de lucru.

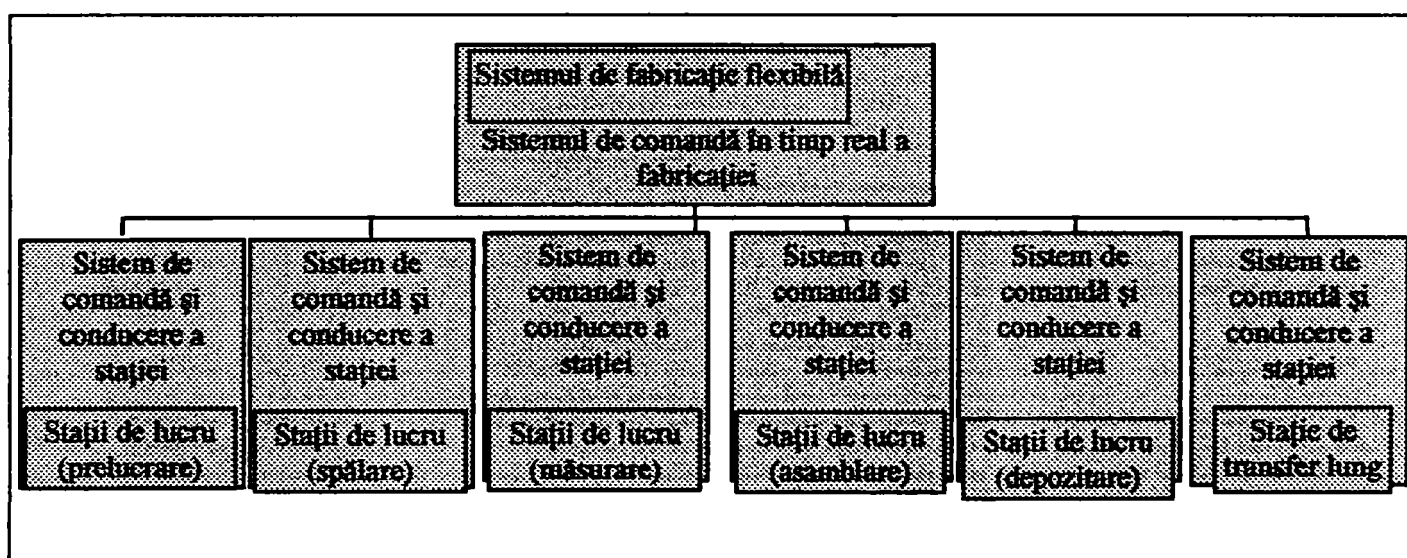


Figura 4.2.1. Arhitectura unui SFF

4.2.2. Criterii de alegere ale componentelor SFF

În procesul de sinteză structurală a SFF, pornindu-se de la datele de intrare (caracteristici ale familiilor de piese de prelucrat în sistem, determinate prin tehnologie de grup, număr de piese de prelucrat într-o unitate de timp și oferte de echipamente achiziționabile ale pieței) trebuie să se decidă componența subsistemelor de prelucrare și de manipulare. În această etapă de sinteză se realizează integrarea componentelor în sistem prin alegerea lor (integrare fizică și funcțională). Dacă prin alegerea echipamentului s-a realizat corespondența între cerințele sarcinii de fabricație și atributele componente din punct de vedere al caracteristicilor dimensionale, funcționale și al flexibilității, elementul respectiv al sistemului este adecvat sarcinii respective de fabricație. Din analiza funcțională

a echipamentelor mai multor SFF, s-au identificat funcțiile îndeplinite de către componentele sistemului: de prelucrare, de manipulare propriu-zisă, de depozitare și de transfer lung. În figura 4.2.2 este prezentată schema procesului de decizie a structurii unui SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune. Dispozitivele de lucru (DL), dispozitivele aducătoare/de evacuare scule (IA/E_s), dispozitivele de evacuare deșeuri (IE_d), dispozitivul de măsurare și control (DMC) sunt dispozitive automate care fac parte integrantă din mașina unealtă cu comandă numerică (MUCN) sau mașina de prelucrat prin electroeroziune.

Procesul de decizie de definire a structurii unui SFF este complex și dificil pentru că pentru aceleași operații există un număr mare de variante de echipamente de manipulare sau de prelucrare. Criteriile de luare a deciziei pentru una dintre variante sunt legate de caracteristicile echipamentului respectiv (de natură economico-financiară și de natură tehnico-funcțională ale echipamentului) și de complexitate a SFF. În figura 4.2.3 sunt prezentate criteriile decizionale specifice de alegere a echipamentului și parametrii de complexitate a sistemului.

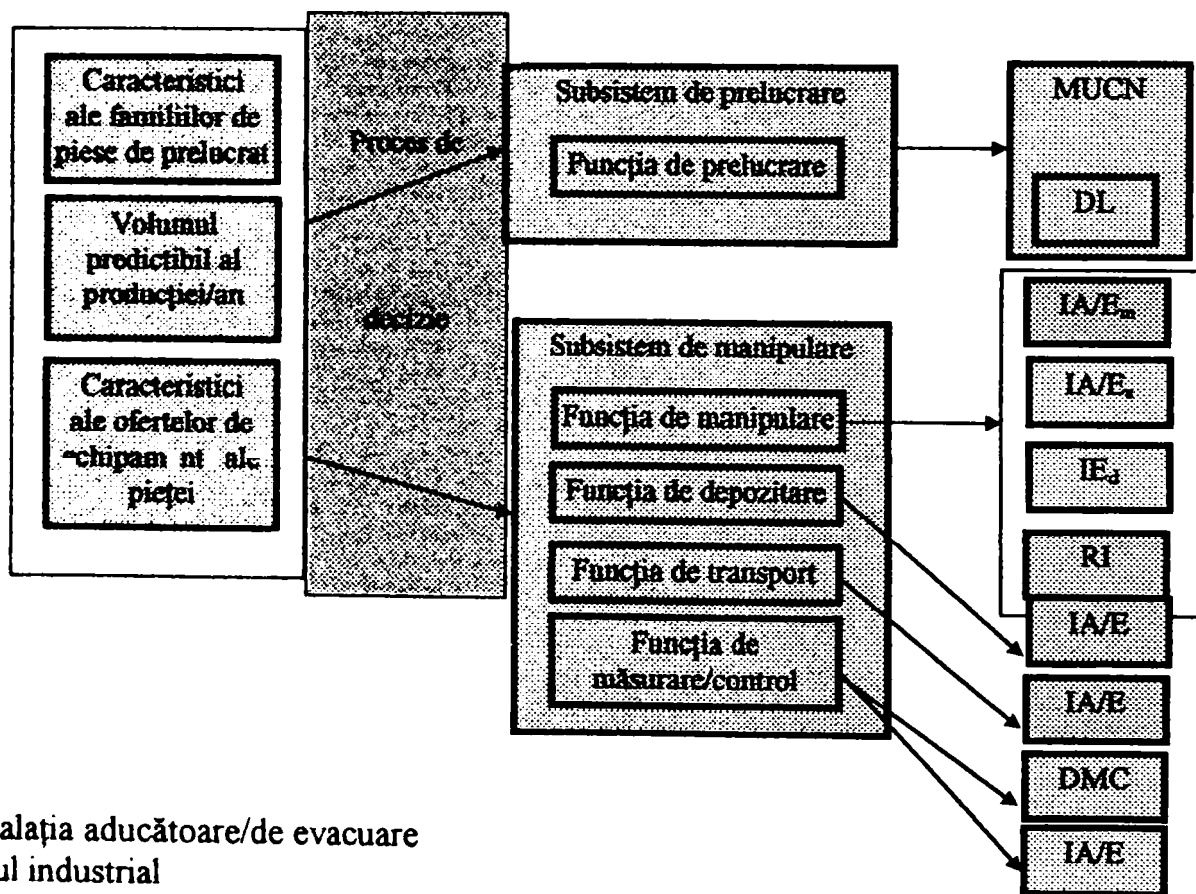


Figura 4.2.2. Schema procesului de decizie a structurii unui SFF

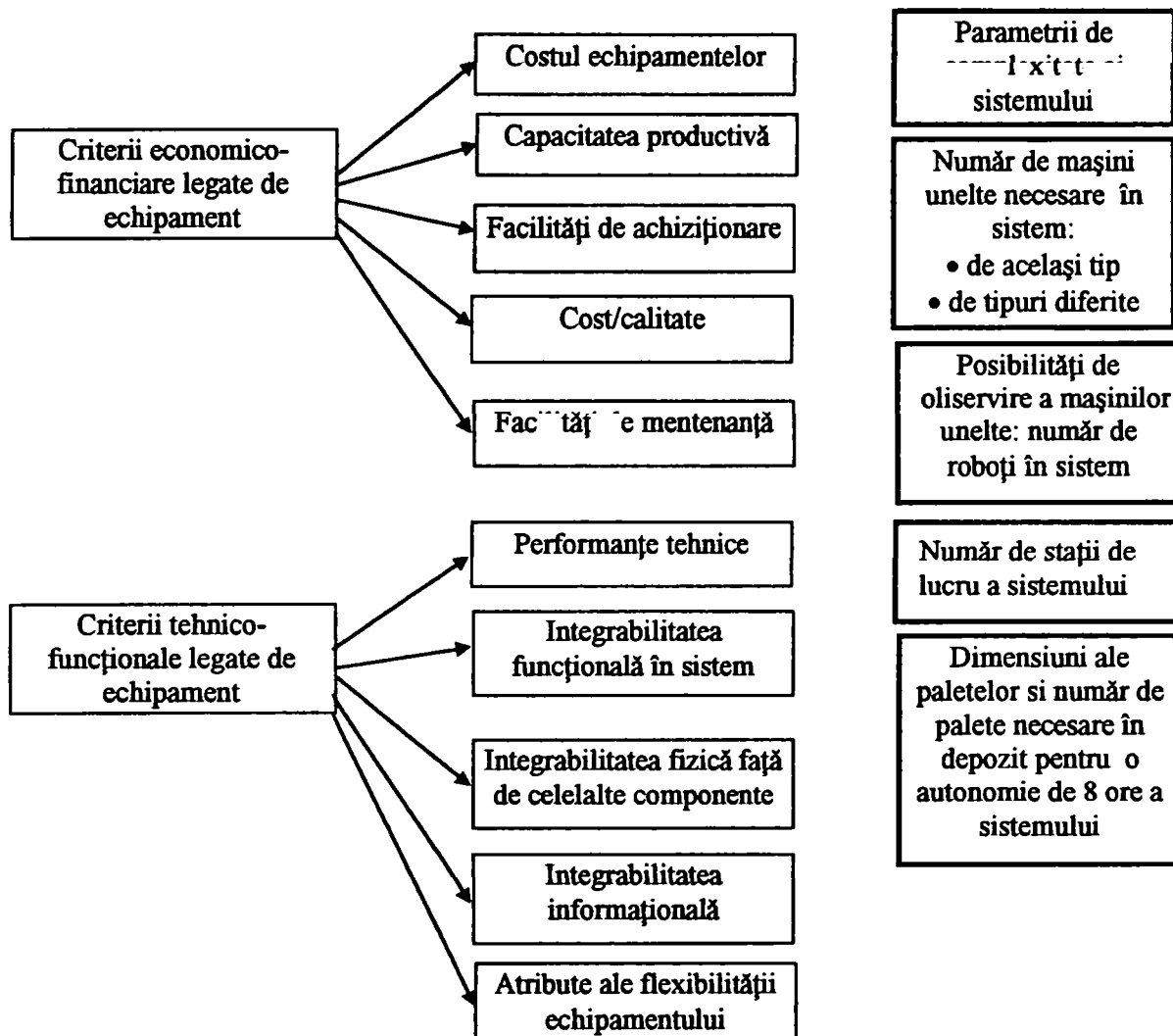


Figura 4.2.3. Criterii decizionale specifice de alegere a echipamentului și parametrii de complexitate a sistemului

4.2.3. Structura subsistemului de prelucrare

În cadrul sintezei structurii subsistemului de prelucrare se vor lua decizii cu privire la:

- tipurile de mașini de lucru de introdus în sistem;
- numărul de mașini de lucru de același tip necesare în sistem;
- legăturile dintre mașinile de lucru.

Legăturile prin flux material din cadrul subsistemului de prelucrare se realizează prin funcționarea echipamentelor de manipulare și vor fi stabilite în cadrul deciziilor privind structura subsistemului de manipulare.

Tipurile de mașini de lucru componente ale SFF sunt determinate de operațiile de prelucrare din itinerarele tehnologice ale familiilor (grupelor de piese) selectate prin metoda matricială descrisă în paragraful 4.1.7. Criteriile tehnico-funcționale ale alegerii tipului de mașină în funcție de caracteristicile familiilor de piese sunt prezentate în figura 4.2.4.

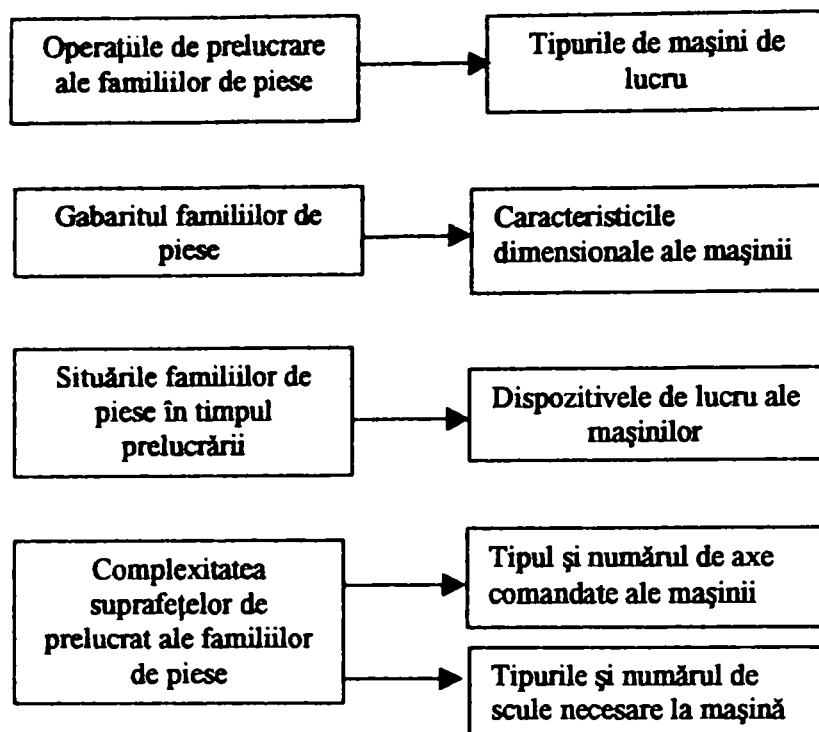


Figura 4.2.4. Criterii de alegere ale tipului de mașină în funcție de caracteristicile familiilor de piese

În cazul în care costul sistemului (investiția) are o valoare prestabilită, determinarea numărului de mașini de același tip necesare în sistem se bazează pe calcule aproximative ale coeficientului de utilizare “ $c_{util}(j)$ ” al fiecărui tip de mașină “ j ” selectat, în următorul mod:

$$T_d(j) = 365 \cdot 8 \cdot s \cdot 60 \cdot k(j) \quad [\text{min}]$$

$$T_n(j) = \sum(n(i) \cdot t_b(i,j)) \quad [\text{min}], \forall i=1 \div n$$

$$c_{util}(j) = [T_n(j) / T_d(j)] \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1.1)$$

unde $T_d(j)$ este timpul disponibil al mașinii “ j ” pe an; s este numărul de schimburi în care mașina funcționează ($s=2, 3$); $k(j)$ este un coeficient pierderi de capacitate productivă a mașinii care ține cont de fiabilitatea și de servirea acesteia, se acceptă $k(j)=0,85$; $T_n(j)$ este timpul necesar execuției producției de $n(i)$ piese de tipul “ i ” pe an; $t_b(i,j)$ este timpul de bază al operației de prelucrare a tipului de piesă i la mașina j pentru toate cele “ n ” tipuri de piese de prelucrat în sistem.

Valoarea coeficientului de utilizare al mașinii j este un indicator important de decizie a introducerii tipului de mașină j și de determinare a numărului de mașini de același tip în sistem, în tabelul 4.2.1. se prezintă deciziile ce se pot lua pentru diferite valori ale $c_{util}(j)$.

Pentru coeficienți de utilizare mai mari de 200%, decizia de introducere a 3, 4.. mașini de lucru se ia într-un mod asemănător cu cel prezentat în tabelul 4.2.1.

Tabelul 4.2.1. Decizii luate pentru diferite valori ale coeficientului de utilizare al mașinii

$c_{util}(j) < 50\%$	$50\% < c_{util}(j) < 100\%$	$100\% < c_{util}(j) < 150\%$	$150\% < c_{util}(j) < 200\%$
Se elimină tipul de mașină j din sistem sau se completează fabricația cu tipuri de piese care se prelucrează la mașina j până la un coeficient de utilizare de $\sim 100\%$	Se introduce o mașină de tipul j în sistem	Se introduce o mașină de tipul j în sistem Pentru numărul de piese care depășesc coeficientul de utilizare de 100% , ele se subcontractează și se prelucrează în afara sistemului	Se introduc două mașini de același tip j în sistem și se completează fabricația cu tipuri de piese care se prelucrează la mașina j până la un coeficient de utilizare de $\sim 200\%$

Determinarea numărului total de mașini de lucru din SFF este foarte importantă, prin acesta se decide complexitatea și costul sistemului (valoarea investiției) pentru că prețul total al mașinilor de lucru reprezintă peste 60% din costul sistemului. În paragraful 2.8.1. s-a afirmat că valoarea investiției este determinată de costul fabricației automate în sistem față de fabricația neautomatizată și, pentru această ipoteză, se propune un model de decizie prin programare matematică care să decidă numărul de mașini de lucru din sistem și implicit valoarea investiției SFF.

Modelul de decizie a numărului total de mașini de lucru în funcție de valoarea investiției este:

Indicii utilizați sunt:

i pentru tipurile de piese de prelucrat în sistem, $i=1 \div n$, n tipuri de piese de prelucrat;

j pentru tipurile de mașini de lucru din structura subsistemului de prelucrare, $j=1 \div n_m$, n_m este numărul de tipuri de mașini care realizează prelucrarea celor n tipuri de piese.

Variabilele de decizie sunt:

N_j numărul de mașini de lucru de tipul j în sistem;

$n(i)$ numărul de piese de tipul i de prelucrat în sistem într-un an;

Parametrii caracteristici ai modelului sunt:

INV valoarea maximă admisă a costului sistemului;

$e(i)$ costul producției unei piese pentru fabricația neautomatizată a piesei de tipul i;

$v(i)$ este costul de producție al unei piese pentru fabricația în SFF a piesei de tipul i;

$n_{tot}(i)$ numărul de piese de tipul i de realizat într-un an;

$c(j)$ costul unei mașini de lucru automate din sistem;

$t_b(i,j)$ este timpul de bază al operației de prelucrare a tipului de piesă i la mașina j , dacă $t_b(i,j)=0$ înseamnă că piesa de tip i nu se prelucurează la mașina j ;

$T_d(j)$ este timpul disponibil al mașinii de tip j într-un an (calculat cu $s=3$ din relația 4.2.1)

Funcția obiectiv constă în maximizarea economiilor rezultate în urma fabricației în SFF față de fabricația clasică (neautomatizată) pentru o perioadă de timp prestabilită (într-un an):

$$\text{Max}(\sum[e(i) \cdot n_{\text{tot}}(i)] - \sum[v(i) \cdot n(i)]), \text{ pentru } i=1 \div n; \quad (4.2.2)$$

unde $(\sum[e(i) \cdot n_{\text{tot}}(i)])$ este costul fabricației în sistem neautomatizat, iar $\sum[v(i) \cdot n(i)]$ este costul celor $n(i)$ piese de tipul i care se vor prelucra în sistem.

Constrângerile impuse variației variabilelor de decizie rezultă din relațiile:

- de verificare a capacității productive a tuturor mașinilor de lucru din sistem:

$$0,5 < [t_b(i,j) \cdot n(i)] / [N(j) \cdot T_d(j)] < 1 \text{ pentru fiecare } j \text{ și } i=1 \div n;$$

$$n(i) \leq n_{\text{tot}}(i) \text{ pentru fiecare } i, n(i) \text{ întreg și } n(i) \geq 0; N(j) \text{ întreg, } N(j) \geq 0$$

- de verificare a nedepășirii valorii maxime a investiției:

$$(\sum N(j) \cdot c(j)) / 0,6 < INV, \text{ pentru } j=1 \div n_m.$$

4.2.4. Structura subsistemului de manipulare

4.2.4.1. Stabilirea structurii subsistemului de manipulare propriu-zisă

Echipamentele care îndeplinesc funcția de manipulare propriu-zisă realizează servirea mașinilor de lucru. Se identifică două modalități de servire a mașinilor de lucru:

- manipularea individuală a pieselor la mașină;
- manipularea împreună cu paleta de transfer și de lucru a pieselor la mașină.

Mașinile de tip: strung, mașină de rectificat rotund și mașină de prelucrat prin electroeroziune sunt în mod obligatoriu servite de către un manipulator sau robot. Centrele de prelucrare sunt servite în general de dispozitive transpaletă, iar piesele sunt instalate pe palete de transfer și de lucru.

Pe o paletă de transfer și de lucru se instalează o piesă sau mai multe piese de același sau de tipuri diferite prin intermediul dispozitivelor de fixare modulare. În tabelul 4.2.2. se prezintă caracteristicile familiilor de piese de prelucrat, mașinile de lucru și echipamentele de manipulare care servesc aceste mașini.

Tabelul 4.2.2 Adecvarea echipamentelor de manipulare pentru servirea mașinilor de lucru

Caracteristicile familiilor de piese de prelucrat la mașinile de lucru	Tipurile de mașini de lucru	Echipamentele de manipulare adecvate servirii mașinilor de lucru	Observații
Piese prismatice, prelucrarea suprafețelor plane la piese cu suprafețe de revoluție de dimensiuni și greutateți foarte mari	Centre de prelucrare	Dispozitive transpaletă	Palete de transfer și de lucru de greutateți >100 kg, Forma, dimensiunile paletei identice cu forma și dimensiunile mesei mașinii
Piese cu suprafețe de revoluție de dimensiuni și greutateți foarte mari	Strunguri carusel		Palete de transfer și de lucru circulare
Piese prismatice de dimensiuni medii și mici	Mașini de frezat, mașini de găurit, mașini de prelucrat prin electroeroziune, mașini de rectificat plan	Robot de manipulare sau manipulator	Dispozitiv de prehensiune dublu sau robot cu dispozitive de prehensiune schimbabile
Piese cu suprafețe de revoluție de dimensiuni medii și mici	Strunguri normale, mașini de frezat, mașini de rectificat rotund	Robot de manipulare sau manipulator	

Clasificarea pieselor în funcție de dimensiuni și greutateți în valori foarte mari, mari, medii și mici corespunde cu împărțirea obiectelor de lucru prezentată în paragraful 4.1.5, astfel: greutateți >100kg, dimensiuni >500mm (foarte mari), greutateți ∈ (50kg, 100kg) și dimensiuni >500mm (mari), greutateți ∈ (10kg, 50kg) și dimensiuni ∈ (250mm, 500mm) (medii), greutateți <10 kg și dimensiuni <250mm (mici).

Robotul de manipulare poate să fie instalat: pe batiul mașinii, pe sol, pe o axă de translație, pe căruciorul unei construcții portale sau pe un robocar. În tabelul 4.2.3. se prezintă adecvarea instalării robotului de manipulare la caracteristicile operațiilor de manipulare.

Caracteristica servirii (singulare sau poliservire) se referă la numărul de mașini de lucru (una sau mai mult de una) la care echipamentul de manipulare poate aduce/evacua obiectul de lucru.

În această etapă, stabilirea componenței stațiilor de lucru se realizează în funcție de modalitățile de servire singulară sau poliservire a echipamentelor de manipulare.

Tabelul 4.2.3. Adecvarea instalării robotului de manipulare

Instalarea robotului	Caracteristici ale operației de manipulare	Observații
Pe batiul mașinii	Familii de piese mici Robot de greutate proprie mică (<100kg) Spațiul de lucru necesar al robotului mic Precizia de prelucrare a pieselor grosolană sau medie	Servire singulară a mașinii
Pe sol	Familii de piese mici și medii Spațiul de lucru necesar al robotului mare, corespunzător gabariturii mașinilor	Poliservire a 2, 3 mașini de lucru
Pe axă de translație	Spațiul de lucru al robotului este insuficient	
În construcție portală cu o axă sau două axe de translație	Familii de piese medii și mari Spațiul de lucru necesar al robotului foarte mare Accesul la dispozitivul de lucru al mașinilor pe verticală	Poliservire a mai mult de 3 mașini de lucru
Pe robocar	Familii de piese mici și medii Spațiul de lucru necesar al robotului foarte mare	

Mașina de lucru care este servită de către dispozitivul transpaletă (servire singulară) formează împreună cu dispozitivul de depozitare locală (posturile de așteptare) o stație de lucru de prelucrare.

Mașina de lucru, robotul de manipulare cu servire singulară și echipamentul de depozitare locală sunt amplasate în spațiul sistemului într-o stație de lucru.

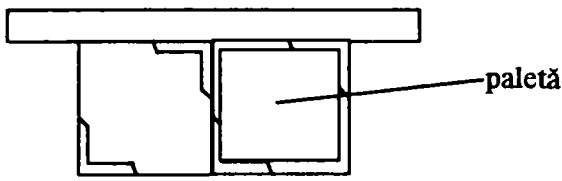
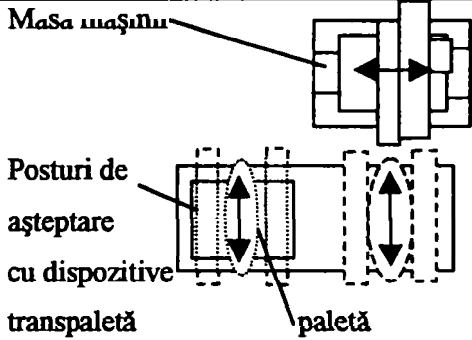
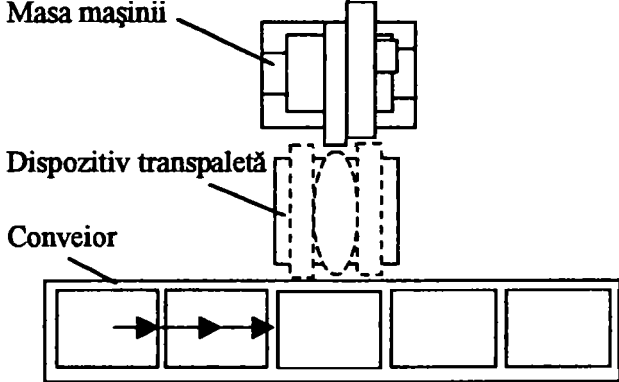
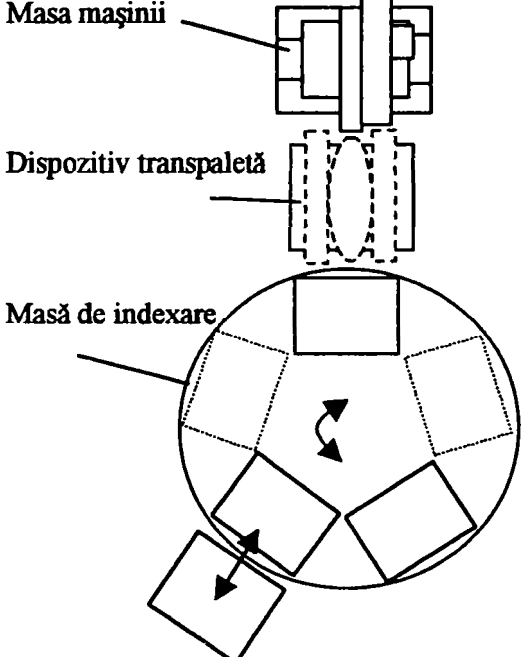
Componența unei stații de lucru în cazul poliservirii unui echipament de manipulare depinde de mașinile de lucru care pot fi servite de către acea componentă, în conformitate cu recomandările cuprinse în tabelul 4.2.3. În această etapă sunt incluse în aceeași stație de lucru toate mașinile care pot fi servite de către același tip de robot. Această decizie este verificată și eventual amendată, în celelalte etape ale sintezei ale planului de amplasament și ale ciclogramei de funcționare.

Posturile de așteptare sunt dispozitive de depozitare locală a două sau mai multe obiecte de lucru.

Paleta de depozitare este o altă variantă de depozitare locală a unui număr mai mare de două piese. Adecvarea construcției posturilor de așteptare în funcție de sarcina de fabricație este prezentată în tabelul 4.2.4.

Capacitatea de depozitare locală a obiectelor de lucru crește cu scăderea timpului de deplasare al dispozitivelor de transfer între stațiile de lucru și a timpului de bază al prelucrării pieselor.

Tabelul 4.2.4. Adecvarea posturilor de așteptare

Tip de post de așteptare	Caracteristici ale sarcinii de fabricație	Caracteristici ale dispozitivului de transfer lung	Construcția tipului de post de așteptare
Două locașuri staționare	Obiecte de lucru mici, manipularea se realizează de către robot	Timp de deplasare între stațiile de lucru mici	 <p>paletă</p>
	Obiecte de lucru mari, manipularea se realizează cu dispozitive transpaletă montate în fiecare locaș		 <p>Masa mașinii</p> <p>Posturi de așteptare cu dispozitive transpaletă</p> <p>paletă</p>
Conveior cu mișcare intermitentă	Obiecte de lucru medii și mici manipulate de dispozitive transpaletă sau roboți	Timp de deplasare între stațiile de lucru mari	 <p>Masa mașinii</p> <p>Dispozitiv transpaletă</p> <p>Conveior</p>
Masă de indexare cu 3, 4, 6, 8 locașuri	Obiecte de lucru medii		 <p>Masa mașinii</p> <p>Dispozitiv transpaletă</p> <p>Masă de indexare</p>

4.2.4.2. Stabilirea structurii subsistemului de depozitare

Tipurile de echipamente care îndeplinesc funcția de depozitare sunt foarte variate, alegerea uneia dintre variante este determinată de volumul total al obiectelor de lucru de depozitat. Volumul total de depozitare depinde de numărul necesar de piese pentru a asigura sistemului o autonomie de cel puțin 8 ore (480 min) și de gabaritul obiectelor de lucru. SFF care are în arhitectura sa o stație de depozitare de capacitate constantă corespunde modelului “în rețea închisă” prezentat în paragraful 2.6.2.

Calculul numărului necesar de piese de depozitat se poate realiza în două variante:

1. de asigurare a maximizării capacității productive a mașinilor care execută prima operație de prelucrare a tuturor tipurilor de piese din sistem, prin utilizarea relației:

$$n_d = \sum_{z=1}^{n_z} \left(\frac{480}{\sum_{i=1}^n t_b(i, z)} n_b(z) \right) \quad (4.2.3)$$

unde n_z este numărul de mașini de lucru din sistem care execută prima operație de prelucrare la cele n tipuri de piese care sunt prelucrate în sistem, $t_b(i, z)$ este timpul de bază al operației de prelucrare a tipului de piesă “ i ” la mașina “ z ”, $n_b(z)$ numărul de tipuri de piese care au prima operație de prelucrare la mașina “ z ”;

2. de realizare a volumului predictibil al fabricației și de asigurare a maximizării capacității productive a mașinilor care execută prima operație de prelucrare a tuturor tipurilor de piese din sistem, prin utilizarea relației:

$$n_d = \sum_{z=1}^{n_z} \left(\frac{480}{\sum_{i=1}^n k_u(i) t_b(i, z)} \sum_{b=1}^{n_b(z)} k_b(z) \right) \quad (4.2.4)$$

unde $k_u(i) = n(i)/n_{\min}$ este raportul dintre numărul de piese de prelucrat în sistem de tipul “ i ” și numărul minim de piese de produs al volumului predictibil al fabricației, iar $k_b(z) = n_b(z)/n_{\min}$ este același raport calculat pentru numărul de piese de realizat în sistem ale căror primă operație de prelucrare se execută la mașina “ z ”. Se precizează că valorile concrete ale numărului de piese de tipul i din volumul predictibil al fabricației pentru o perioadă de timp determinată trebuie să fie de același ordin de mărime. De asemenea, numărul de tipuri de

piese de realizat în sistem poate fi mai mic de 10 pentru că, după aplicarea tehnologiei de grup prin "tip de piesă" se înțelege piesa reprezentativă (ideală) a familiei sau grupului.

Se propune o exemplificare a utilizării relațiilor (4.2.3) și (4.2.4) pentru o prelucrare a 3 tipuri de piese la 3 tipuri de mașini. Datele inițiale necesare sunt prezentate în tabelul 4.2.5.

Tabelul 4.2.5. Datele inițiale necesare calculului numărului de piese din depozit

Mașini de lucru	Tipuri de piese	Timpul de bază $t_b(i,j)$ [min]		
		P ₁	P ₂	P ₃
M ₁		30	60	0
M ₂		0	90	60
M ₃		60	0	90
Volumul predictibil al fabricației $n(i)$ [buc/an] și ordinea de execuție a operațiilor la mașini		10000 M ₁ , M ₃	5000 M ₁ , M ₂	10000 M ₂ , M ₃

În prima variantă de determinare a numărului de piese din depozit (relația 4.2.3): $n_z=2$ (M₁ și M₂), $t_b(1,1)=30$, $t_b(2,1)=60$, $t_b(3,1)=0$, $t_b(1,2)=0$, $t_b(2,2)=90$, $t_b(3,2)=60$, $n_b(1)=2$, $n_b(2)=1$.

Relația generală 4.2.3., cu datele numerice din exemplu, va fi:

$$n_d^1 = \frac{480}{30 + 60} \cdot 2 + \frac{480}{60 + 90} \cdot 1 \quad (4.2.3')$$

$n_d^1=13,86 \approx 14$ bucăți din care 5 piese de tipul 1; 5 de tipul 2 și 4 de tipul 3.

În cea de a doua variantă, valorile lui n_z , $t_b(i,j)$ rămân aceleași, iar $k_u(1)=10000/5000=2$, $n_{\min}=5000$, $k_u(2)=5000/5000=1$; $k_u(3)=10000/5000=2$; $k_1(1)+k_2(1)=2+1$; $k_1(2)=2$.

Relația 4.2.4. va deveni cu datele numerice (4.2.4.') astfel:

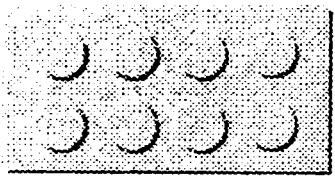
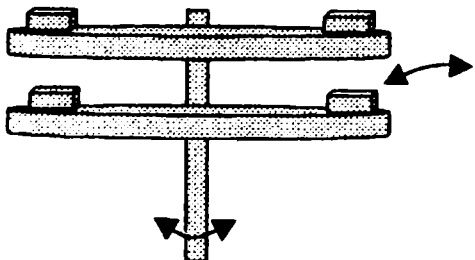
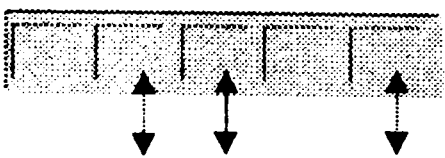
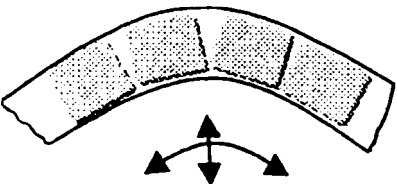
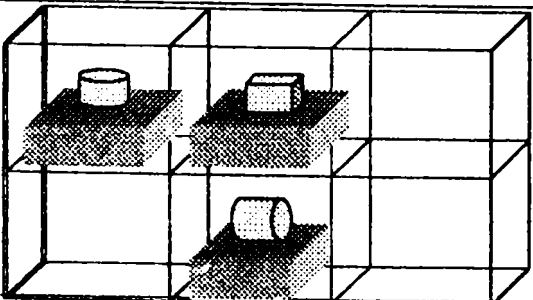
$$n_d^2 = \frac{480}{2 \cdot 30 + 1 \cdot 60} \cdot 3 + \frac{480}{2 \cdot 60 + 1 \cdot 90} \cdot 2 \quad (4.2.4')$$

$n_d^2=16,57 \approx 17$ bucăți repartizate astfel: 8 piese de tipul 1; 4 bucăți de tipul 2 și 5 piese de tipul 3.

Din rezultatele calculului în cele două variante se poate observa că numărul de piese de tipul 1 și 2 păstrează proporția rezultată din volumul predictibil al fabricației ($n(1)/n(2)$), iar numărul total de piese din depozit în prima variantă este mai mic decât în a doua variantă (cu 17%) din cauză că în 480 de minute ale schimbului mașina M₁ poate prelucra: $2(480/(60+30)) \approx 11$ piese (de tipul 1 și 2 în număr egal) sau $3(480/(30+30+60))=12$ piese (câte două de tipul 1 și una de tipul 2). Pentru mașina M₂ se urmărește, în varianta a doua, asigurarea numărului de piese de tipul 3 în număr mai mare din același motiv al obținerii unor ieșiri de valori determinate ale numărului de piese din sistem.

Dispozitivele depozitelor centrale ale SFF pot asigura fie situarea ordonată sau nu a pieselor (în acumuloare, buncăre vibratoare sau containere), fie situarea paletelor pe care sunt instalate piesele (în locașuri). Criteriile de alegere a tipului de depozit în funcție de caracteristicile sarcinii de fabricație sunt prezentate în tabelul 4.2.6.

Tabelul 4.2.6. Tipurile de depozite centrale și criteriile de alegere a tipului de depozit adecvat

Tipul de depozit	Schema depozitului	Criterii de alegere a tipului de depozit
Dispozitive: acumulator, buncăr, container etc.		Forma simetrică a pieselor care permite ordonarea după 1 sau 2 axe. Piese mici de același tip sau foarte asemănătoare. Soluție mai rar utilizată la SFF pentru prelucrări prin așchiere/eroziune.
Paleta de depozitare		Depozitarea unui tip sau tipuri foarte asemănătoare de piese Forma suprafețelor exterioare permite ordonarea pieselor după două axe. Accesul la piese se realizează de sus cu robot montat pe sol sau suspendat.
Carusel		Depozitarea pieselor pe palete de dimensiuni mici. Numărul de locașuri de situare și dimensiunea acestora este limitată de creșterea accentuată a diametrului depozitului. Posibilități de economie de spațiu prin depozitare pe 2, 3, 4 etaje. Se utilizează un robot montat pe sol.
Depozit liniar staționar de palete		Palete de dimensiuni mari Se utilizează dispozitiv transpaletă montat pe echipamentele de transfer lung. Amplasarea mașinilor se realizează după o dreaptă paralelă cu depozitul. Dimensiuni ale depozitului compatibile cu suma lungimilor maxime ale mașinilor.
Depozit circular staționar de palete		Palete de dimensiuni medii dispuse circular Robotul de manipulare a paletelor are o axă de bază de pivotare.
Rafturi de depozitare pe mai multe etaje		Număr mare de palete de dimensiuni mici și medii Se utilizează un robot "translator" (DAH Direct Acces Handler) pentru manipularea paletelor sau un dispozitiv transpaletă montat pe echipamentele de transfer lung

Un studiu realizat pentru depozitul carusel, care are drept scop determinarea relației (4.2.5) între raza depozitului (R), dimensiunea paletelor pătrate (d_{pal}) și numărul de paletă de depozitat (n_{pal}) evidențiază o creștere proporțională a razei cu numărul de paletă din carusel. Mărimile din relația 4.2.5. corespund schemei de calcul din figura 4.2.5a. In figura 4.2.5b este prezentat graficul variației razei depozitului (R) cu numărul de paletă de depozitat pentru diferite valori ale d_{pal} .

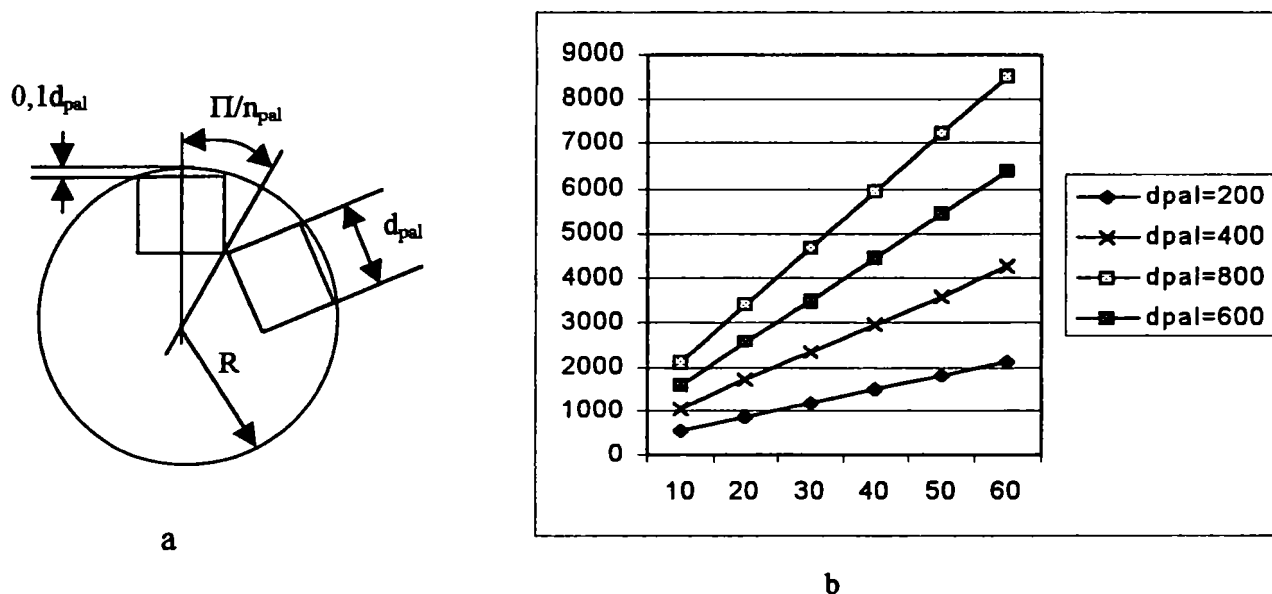


Figura 4.2.5a. Schema de calcul a relației (4.2.5), 4.2.5b. graficul variației lui R [mm] în raport cu n_{pal} [buc] pentru diferite valori ale lui d_{pal} [mm]

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\Pi}{n_{pal}}\right) = \frac{\frac{d_{pal}}{2}}{(R - 1,1 \cdot d_{pal})} \quad (4.2.5)$$

Din calculul pantelor graficelor de variație a lui R în funcție de n_{pal} pentru valorile dimensiunilor paletelor d_{pal} rezultă aceeași valoare $k=0,16$ ($k = \frac{R_2 - R_1}{\Delta n \cdot d_{pal1}}$, unde R_1 și R_2 sunt razele depozitelor

calculate pentru valorile $d_{pal1}=200\text{mm}$, $n_{pal1}=10$ și respectiv d_{pal2} , n_{pal2} , $\Delta n=n_{pal2}-10$).

Această observație permite determinarea unei relații de determinare a razei caruselului pentru orice valori ale lui d_{pal} și n_{pal} , astfel:

$$R_{d_{pal}} = R_{200} + k \cdot \Delta n \cdot 200 \quad (4.2.6)$$

unde R_{200} este raza caruselului calculată din formula (4.2.5) pentru valorile lui $d_{pal}=200\text{mm}$ și $n_{pal}=10$ [buc], $\Delta n=n_{pal}-10$, $k=0,16$.

Stațiile de depozitare centrale pot să aibă în structură un echipament propriu de manipulare sau manipularea să se realizeze de către dispozitivele stației de transfer lung.

4.2.4.3. Stabilirea structurii subsistemului de transfer lung

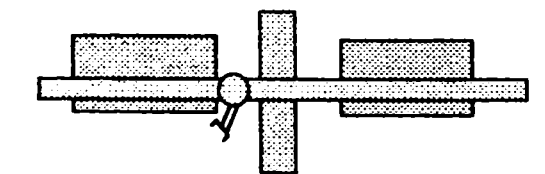
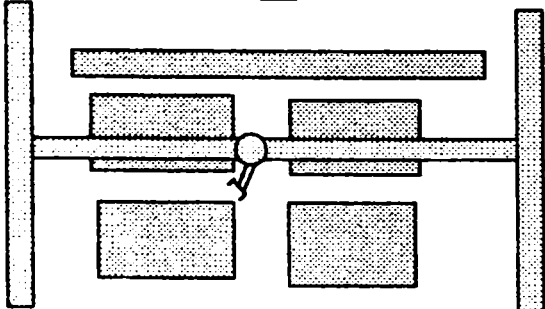
Echipamentele cu funcții de transfer între stațiile de lucru se pot împărți, în funcție de înălțimea la care se realizează deplasarea pieselor (cu sau fără modificarea situației acestora) în:

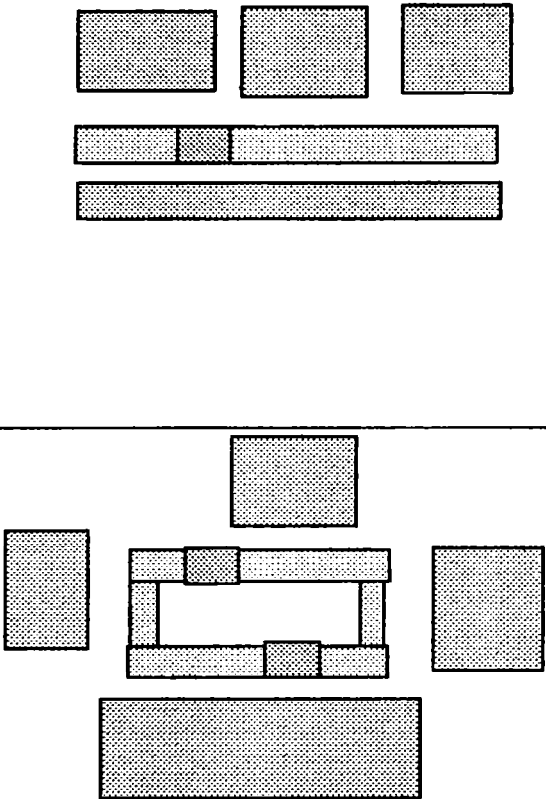
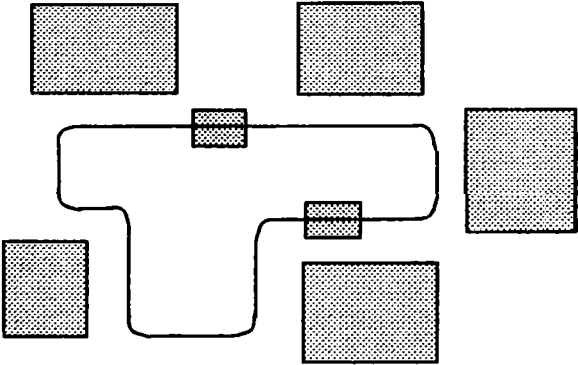
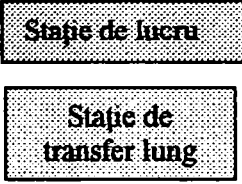
- componente ale SFF care se deplasează deasupra mașinilor de lucru: roboți suspendați pe construcții portale sau robocare suspendate;
- subansamble ale echipamentelor de transfer care se deplasează la nivelul dispozitivelor de lucru ale mașinilor: diferite tipuri de conveyoare cu role acționate, cu lanț, cu curea;
- componente ale stației de transfer care se deplasează pe sol: diferite tipuri de vehicule autonome: cărucioare pe roți, pe șine, robocare, roboți cu o axă de translație lungă montată pe sol.

Stația de transfer lung realizează integrarea prin flux material a stațiilor de lucru și determină amplasarea acestora în planul sistemului.

În tabelul 4.2.7. se prezintă schematic amplasarea stațiilor de lucru în funcție de variantele de echipamente de transfer și recomandările privind alegerea componentei adecvate sarcinilor de fabricație ale sistemului.

Tabelul 4.2.7. Influența tipului de echipament de transfer lung asupra amplasării stațiilor de lucru și criteriile alegere a tipului de echipament

Tipul de echipament de transfer	Amplasarea stațiilor de lucru în funcție de echipamentul de transfer lung	Criteriile de alegere a tipului de echipament de transfer
Roboți suspendați cu sistem portal simplu		Accesul la stațiile de lucru se realizează pe verticală, de sus Piese de dimensiuni și greutate mari În cazul sistemului de suspendare al robotului prevăzut cu o axă de translație numărul stațiilor este de maximum 3
Roboți suspendați cu portal dublu Robocare suspendate		Construcția sistemului de suspendare al robotului cu două axe de translație permite transferul la mai mult de 3 stații

Tipul de echipament de transfer	Amplasarea stațiilor de lucru în funcție de echipamentul de transfer lung	Criteriile de alegere a tipului de echipament de transfer
<p>Conveior cu role, cu lanț, cu curea</p> <p>Liniar</p> <p>Circular</p>	 <p>The diagram illustrates two types of conveyor systems. The top part shows a linear conveyor with three rectangular workstations placed above it. Below this, a circular conveyor is depicted as a rectangular loop with several workstations positioned around its perimeter.</p>	<p>Paletele sau piesele sunt de dimensiuni mici sau medii</p> <p>Se utilizează cărucioare cu dispozitive transpaletă (conveior liniar) sau roboți de manipulare (conveior circular)</p> <p>Viteză mare de deplasare a căruciorului</p> <p>Dacă se utilizează mai multe cărucioare, deplasarea lor este într-un sens cu revenire în partea inferioară a conveiorului</p> <p>Stații de lucru de dimensiuni mici pentru conveiorul circular</p> <p>Deplasare într-un singur sens al cărucioarelor</p>
<p>Cărucioare pe roți, pe șine</p> <p>Robocare</p>	 <p>The diagram shows a robotic trolley system consisting of a track with a central loop and several branches. Small rectangular workstations are placed at various points along the track.</p>	<p>Nu se impun restricții amplasării stațiilor de lucru</p> <p>Numărul stațiilor de lucru este mare</p> <p>Sarcina utilă a cărucioarelor pe șină sau robocarelor este mare și foarte mare</p> <p>Se utilizează un număr mare de cărucioare sau robocare</p> <p>Este necesar un echipament de ghidare, conducere, indexare față de stație încorporat</p>
	 <p>Stație de lucru</p> <p>Stație de transfer lung</p>	

4.2.5. Alegerea variantei optime de structură a SFF

În paragrafele 4.2.3 și 4.2.4 s-au prezentat principalele posibilități de rezolvare tehnică a operațiilor de prelucrare și manipulare precum și recomandările de utilizare a variantelor de echipament în funcție de caracteristicile lor și ale sarcinii de fabricație a sistemului.

Variantele de structură a SFF rezultă din variantele de structură ale subsistemului de manipulare, din cauză că pentru structura subsistemului de prelucrare (număr și tipuri de mașini) s-a propus o metodă de optimizare care nu admite variante. În paragrafele 4.2.4 de prezentare a echipamentelor posibile pentru o anumită funcție de manipulare, criteriile de alegere a tipurilor de componente, ca de exemplu sarcina de fabricație a sistemului, au fost caracterizate prin atribute aparținând elementelor mulțimilor vagi (paletele de dimensiuni medii, greutatea mari ale obiectelor de lucru etc.). Neexistând o delimitare clară, numerică, a utilizării unui echipament într-un anumit domeniu, se propune ca metodă de alegere a variantei optime de structură a SFF metoda de decizie multicriterială [Căl'88] (bazată pe teoria mulțimilor vagi).

Se elaborează mai multe variante de structură a SFF (notate V_1, V_2, \dots, V_s) și se definesc mai multe criterii de apreciere, de evaluare (notate cu C_1, C_2, \dots, C_e) a acestor variante. De exemplu, criteriile de evaluare ale variantelor de SFF pot fi: costul sistemului, numărul total al gradelor de mobilitate necesare, spațiul de lucru necesar, posibilitățile și costuri de extindere, de dezvoltare a sistemului. Aceste criterii de evaluare pot fi ponderate în funcție de importanța acordată de proiectanții de sistem și de beneficiari, prin acordarea de valori unor coeficienți de ponderare (notați cu P_1, P_2, \dots, P_e).

Se stabilesc în continuare valorile concrete ale funcției de apartenență μ_{ij} (care exprimă gradul de apartenență al criteriului de apreciere la o variantă de sistem) în intervalul de valori (0,1). De exemplu, variantele au un cost al sistemului care nu poate fi apreciat în această fază a sintezei decât prin atributele lingvistice comparative "foarte mare", "mare", "mediu", "mic" și "foarte mic". Acestor aprecieri le corespund valori numerice $\in (0,1)$ ale funcției de apartenență pentru varianta "i" și criteriul "j".

Cu valorile concrete ale funcțiilor de apartenență, se obține matricea de evaluare:

$$\begin{bmatrix} & C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_e \\ V_1 & \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} & \dots & \mu_{1e} \\ V_2 & \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} & \dots & \mu_{2e} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_s & \mu_{s1} & \mu_{s2} & \mu_{s3} & \dots & \mu_{se} \end{bmatrix} \quad (4.2.7)$$

În cazul în care se utilizează coeficienți de ponderare, valorile funcțiilor de apartenență vor fi: μ_{ij}/P_j , unde $P_j=1, 2, 3, \dots$ unde $P_j=1$ este criteriul de evaluare cel mai important, iar importanța scade cu creșterea lui P_j .

Alegerea unei variante optime de structură se realizează pe baza deciziei: “variante de structură V_{opt} care are cea mai mare valoare dintre valorile minime ale funcțiilor de apartenență ale tuturor criteriilor și variantelor. Alegerea variantei optime se poate exprima matematic prin:

$$V_{opt} = \max_{i=1}^s (\min_{j=1}^e (\mu_{ij})) \quad (4.2.8)$$

4.2.6. Program de stabilire a structurii unui SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune

Programul “SELECTAR” este a fost conceput astfel încât să scutească utilizatorul de calcule iterative simple ale numărului de mașini din sistem sau a numărului de piese necesare în depozit. Pe de altă parte, din cauză că stabilirea structurii SFF este un proces în care se apelează la procese de selecție a echipamentelor care nu pot fi cuantificate matematic și sunt specifice gândirii umane, programul oferă recomandări cu privire la alegerea unei variante de componentă, dar utilizatorul are posibilitatea de a valida recomandarea, a opta singur sau a reveni asupra alegerii echipamentului.

Datele pe care le introduce utilizatorul sunt:

- operațiile tehnologice de prelucrare a fiecărei familii (grupe) de piese obținute prin tehnologia de grup;
- numărul de familii (grupe) de piese ale căror reprezentante sunt piesele caracteristice: “n”;
- timpul de bază al operațiilor tehnologice ale fiecărei piese caracteristice la tipurile de mașini $t_b(i,j)$ [min] $i=1-n, j=1-n_{mas}$;
- numărul de piese caracteristice de realizat într-un an (suma numărului de piese de realizat a fiecărui tip de piesă al familiei) $n(i)$ [buc/an];
- greutatea pieselor caracteristice $gr(i)$ [kg];

În timpul rulării programului, se afișează:

- tipurile de mașini de lucru capabile să realizeze operațiile de prelucrare introduse de către utilizator;
- valorile coeficienților de utilizare a fiecărui tip de mașină;
- numărul recomandat de mașini în cadrul sistemului n_m ;
- recomandările cu privire la servirea mașinilor și se admit modificări ale acestora în cazul poliservirii;
- numărul de piese necesare în depozitul central;
- dimensiunea paletelor de transfer sau de transfer și de lucru;

- se recomandă adoptarea unor soluții pentru funcțiile de manipulare, depozitare, transfer lung și se oferă posibilitatea utilizatorului de a opta pentru o variantă de echipament din lista de posibilități tehnice afișată pe ecran (figura 4.2.6).

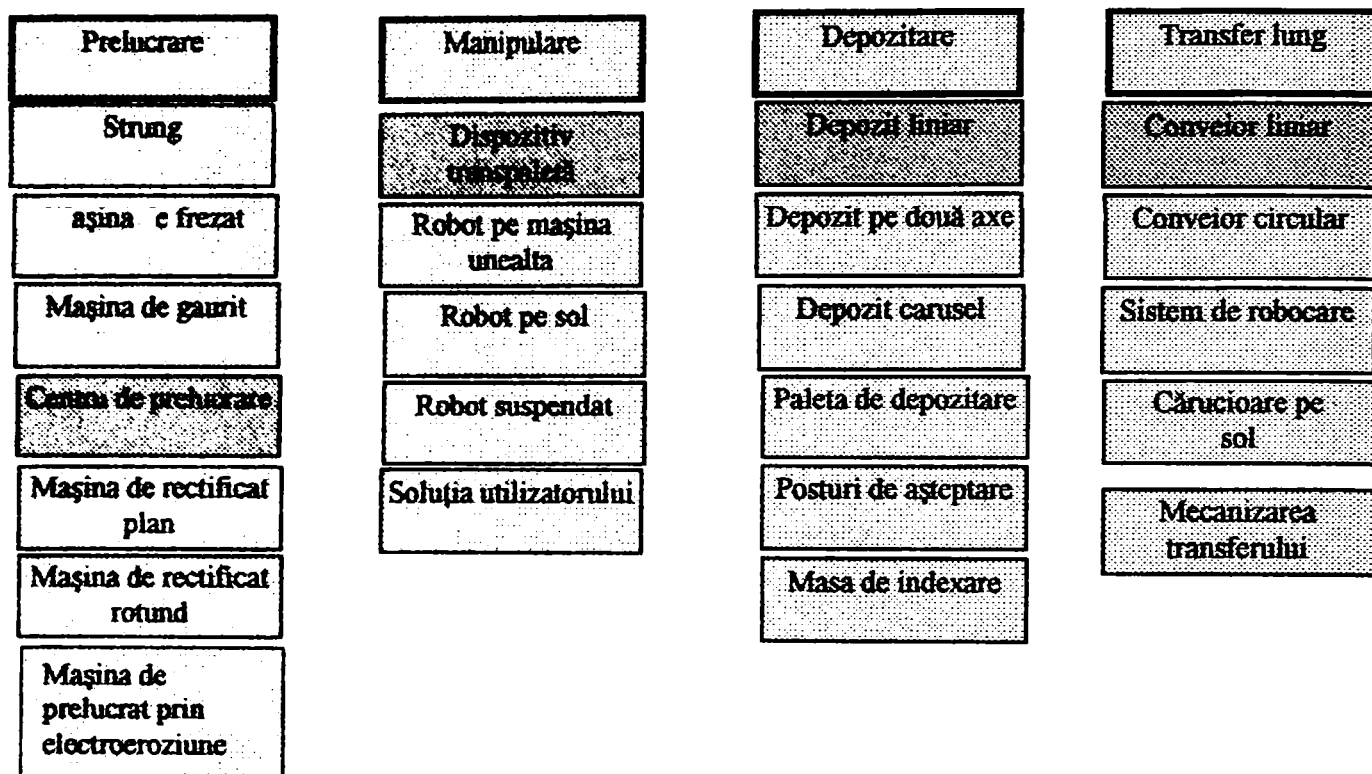


Figura 4.2.6. Ecranul principal al programului SELECTAR

4.3. Contribuții la optimizarea planului de amplasament (“layout”) al SFF

4.3.1. Considerații generale privind planul de amplasament (“layout”)

Sinteza planului de amplasament al unui SFF este o etapă importantă a procesului de sinteză a SFF prin care se determină pozițiile relative reciproce ale tuturor subsistemelor componente și ale întregului sistem față de spațiul de instalare al acestuia.

Datele de intrare necesare realizării planului de amplasament sunt:

- informații privind itinerarul tehnologic al pieselor de prelucrat în SFF;
- cote de gabarit și cote de instalare ale echipamentelor;
- informații privind spațiile de lucru și direcțiile de acces la echipamente;
- date referitoare la spațiul de instalare (stâlpi de susținere, conducte de alimentare cu aer sub presiune, uși sau spații de acces pentru operatorul uman).

Itinerarul tehnologic al pieselor în cadrul sistemului indică ordinea operațiilor de prelucrare și mașina de lucru la care se execută operația.

Se disting două cazuri posibile de definire a itinerarului tehnologic în SFF:

a) Cazul itinerarului unic în care există o relație univocă între operația tehnologică și mașina de lucru, traseele pieselor în sistem (trajectoriile parcurse de punctele caracteristice ale obiectelor de lucru) sunt unice. În acest caz mașinile de lucru se amplasează în ordinea dată de succesiunea operațiilor aferente itinerariilor tehnologice ale majorității pieselor.

b) Cazul itinerarelor posibile, stabilite dinamic în cursul funcționării SFF, dacă flexibilitatea de utilizare a mașinilor de lucru permite ca o operație tehnologică să poată fi realizată pe mai multe mașini de lucru, traseele pieselor în sistem se modifică dinamic pe parcursul funcționării sistemului, decizia de transfer și încărcare al piesei la una dintre mașinile de lucru adecvate operației tehnologice luându-se în funcție de starea momentană de ocupare a acestora. În acest caz amplasarea echipamentelor nu depinde de itinerarul tehnologic al pieselor.

În urma sintezei structurale a SFF și a alegerii componentelor sistemului din oferta firmelor în domeniu, se cunosc toate informațiile dimensionale și de funcționare ale echipamentelor ce se vor achiziționa. Există situații în care trebuie elaborate teme de proiectare pentru anumite echipamente către firmele producătoare, componentele urmând să fie realizate după necesități. De exemplu, se pot comanda tipuri și dimensiuni de conveioare, depozite, palete de transfer și de lucru.

Informațiile importante rezultate în urma realizării sintezei planului de amplasament sunt:

- definirea spațiului necesar întregului sistem;
- definirea cotelor de legătură dintre echipamente și a lor față de spațiul (hala) de instalare (a situații relative și absolute a acestora);
- stabilirea temei de proiect pentru componentele ce se execută în funcție de necesități;
- definirea direcțiilor de acces la sistem a operatorului uman pentru întreținere, programare, încărcare/descărcare obiecte de lucru.

S-au stabilit următoarele reguli cu caracter general pentru sinteza planului de amplasament al SFF [Kov'94]:

I) dispunerea în spațiu a subsistemelor între care există relații de transfer de obiecte de lucru se va face astfel încât să se poată realiza transferul de material de la un echipament la altul;

II) amplasarea componentelor SFF se va face astfel încât să se evite coliziuni în timpul funcționării între acestea, respectiv între acestea și obiectele de lucru (piese, scule, dispozitive etc.) manipulate în cadrul sistemului;

III) subsistemele componente ale SFF se vor situa în spațiu astfel încât lungimile traiectoriilor parcurse de punctele caracteristice ale obiectelor în sistem să fie minime;

IV) amplasarea echipamentelor se va face astfel încât lungimile conductelor și conductorilor pentru alimentare cu energie și a conductorilor purtători de informație racordate la diferite componente ale sistemului să fie minime;

V) se vor lua măsuri de evitare a influențelor reciproce defavorabile ale subsistemelor fie prin amplasarea lor corespunzătoare, fie prin mijloace specifice;

VI) planul de amplasament se va realiza astfel încât să se respecte normele în vigoare cu privire la zonele de acces ale operatorilor umani.

Se observă că primele trei reguli se referă la relații geometrice reciproce între echipamente care pot constitui funcții obiectiv (regula III) sau constrângeri (regula I și II) în procesul de optimizare, celelalte trei reguli referindu-se la măsuri obligatorii ce afectează relația întregului sistem cu mediul.

În cadrul procesului general de sinteză a SFF, informațiile rezultate din sinteza ciclogramei de funcționare și datele provenind din planul de amplasament se influențează și se determină reciproc. Modificări majore aduse ciclogramei de funcționare pot conduce la necesitatea reluării sintezei planului de amplasament și invers. Cele două etape ale procesului de sinteză se desfășoară iterativ până la obținerea unei ciclograme optime de funcționare și a unui plan optim de amplasament.

Optimizarea planului de amplasament este la rândul ei un proces iterativ și presupune minimizarea volumului ocupat de sistem în condițiile unei funcționări corespunzătoare a tuturor echipamentelor și a sistemului în ansamblu.

Din cauza diversității echipamentelor și a structurilor de SFF este necesară dezvoltarea unei metodologii unitare de optimizare a planului de amplasament.

4.3.2. Contribuții la definirea spațiilor de lucru și de coliziune ale elementelor componente ale SFF

S-a aratat în 4.3.1. că primele trei reguli ale sintezei planului de amplasament al SFF sunt legate de situările și de mișcările componentelor sistemului și ale obiectelor de lucru. Pentru aplicarea regulilor

amintite se necesită definirea riguroasă a noțiunilor de “punct caracteristic”, “spațiul de lucru” și “spațiu de coliziune”.

Se înțelege prin “punct caracteristic” un punct aparținând unui obiect (element al unui echipament, obiect de lucru, sculă, dispozitiv etc.) care servește la definirea poziției în spațiu la un moment dat a obiectului respectiv. În cazul în care situarea obiectului se definește cu ajutorul unui sistem de referință atașat lui, punctul caracteristic este originea sistemului de referință.

În literatura de specialitate, spațiul de lucru este definit în legătură cu un anumit echipament. În cele ce urmează, un asemenea spațiu de lucru se va denumi “spațiul de lucru al echipamentului”. În acest context, se definește spațiul de lucru al unui robot mulțimea pozițiilor care pot fi ocupate de un punct caracteristic atașat unui element al robotului. În mod obișnuit, acest punct se alege la punctul de intersecție a axelor mecanismului de orientare (“wrist-point”); mai rar punctul caracteristic se consideră poziționat pe bacul unui deget al dispozitivului de prehensiune (“finger-point”, în cazul roboților de manipulare) sau pe scula manipulată de robot (“tool-point”, în cazul roboților de prelucrare).

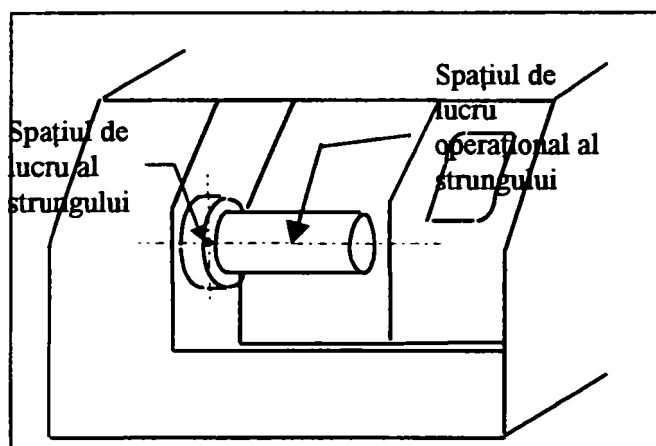


Figura 4.3.1. Spațiul de lucru al strungului

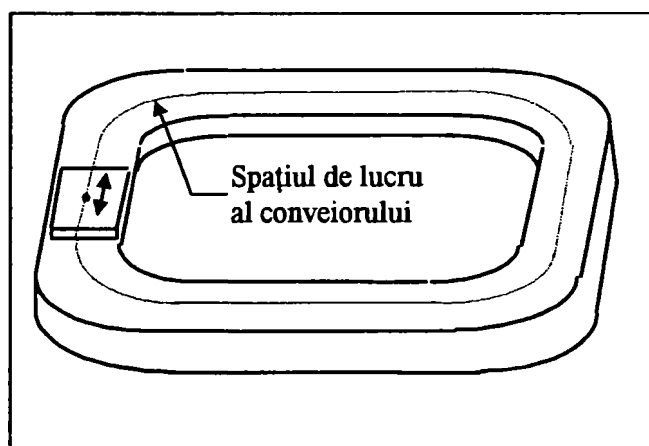


Figura 4.3.2. Spațiul de lucru al conveiorului circular

Se propune definirea prin similitudine a spațiului de lucru al echipamentului și pentru alte componente ale SFF. Astfel, spațiul de lucru al echipamentului “strung” este mulțimea pozițiilor posibile ale unui punct caracteristic poziționat pe arborele principal sau pe masa mașinii. Acest spațiu de lucru se reduce la un punct situat pe axa arborelui principal în cazul în care strungul este specializat pentru prelucrarea unei singure tipo-dimensiuni a obiectului de lucru (figura 4.3.1). Spațiul de lucru al unui conveior este traiectoria descrisă de un punct caracteristic legat organului

activ care realizează deplasarea obiectului transferat de către conveior (figura 4.3.2). În moduri similare se pot defini și spațiile de lucru ale altor echipamente ale SFF.

Se definește spațiul de lucru operațional aferent unui anumit echipament component al SFF cu mulțimea pozițiilor posibile ale punctelor caracteristice ale unui anumit obiect manipulat sau prelucrat în cadrul sistemului.

Se definește spațiul de lucru operațional în condițiile fabricației flexibile aferent unui anumit echipament component al SFF mulțimea pozițiilor posibile ale punctelor caracteristice ale tuturor obiectelor manipulate sau prelucrate în cadrul sistemului, funcționând în condițiile flexibilității.

Spațiul de lucru operațional, respectiv operațional în condițiile fabricației flexibile al unui echipament depinde de spațiul de lucru al echipamentului în cauză, forma și dimensiunile obiectelor manipulate/prelucrate, construcția și dimensiunile dispozitivului de prehensiune/de lucru, modul în care au fost definite punctele caracteristice ale acestora.

Pentru exemplificare, se consideră un obiect de lucru cilindric Ob_i manipulat de un robot. În figura 4.3.3, poziția punctului caracteristic al obiectului P_i se definește în raport cu punctul caracteristic atașat robotului P_w ("wrist-point") prin intermediul vectorului ${}^w\overline{r}_{P_i}$, depinzând de pozițiile relative ale cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului de orientare, de construcția și dimensiunile dispozitivului de prehensiune, de forma și dimensiunile obiectului și poziția "pe obiect" a punctului caracteristic al obiectului.

Spațiul de lucru al echipamentului (robotului) se descrie prin relația:

$$\overline{r}_{P_w} = \overline{r}_{P_w} (q_1, q_2, q_3) \quad (4.3.1)$$

unde q_1, q_2, q_3 sunt parametrii poziționali relativi ai elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie. Spațiul de lucru al robotului este un volum determinat de mulțimea de puncte ale căror vector de poziție este \overline{r}_{P_w} (relația 4.3.1), în care parametrii poziționali relativi variază între limitele admise de cursele elementelor cuplelor cinematice conducătoare, adică $q_1 \in [q_{1min}, q_{1max}]$, $q_2 \in [q_{2min}, q_{2max}]$, $q_3 \in [q_{3min}, q_{3max}]$.

Similar, spațiul de lucru operațional al robotului cu $M=6$ manipulând obiectul Ob_i se definește prin relația:

$$\overline{r}_{P_i} = \overline{r}_{P_w} (q_1, q_2, q_3) + {}^w\overline{r}_{P_i} (q_4, q_5, q_6) \quad (4.3.2)$$

unde q_4, q_5, q_6 sunt parametrii poziționali relativi ai elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului de orientare; toți cei 6 parametrii poziționali relativi ai elementelor cuplelor cinematice

conducătoare ale dispozitivului de ghidare variază în limitele admise de cursele acestor elemente ($q_4 \in [q_{4\min}, q_{4\max}]$, $q_5 \in [q_{5\min}, q_{5\max}]$, $q_6 \in [q_{6\min}, q_{6\max}]$).

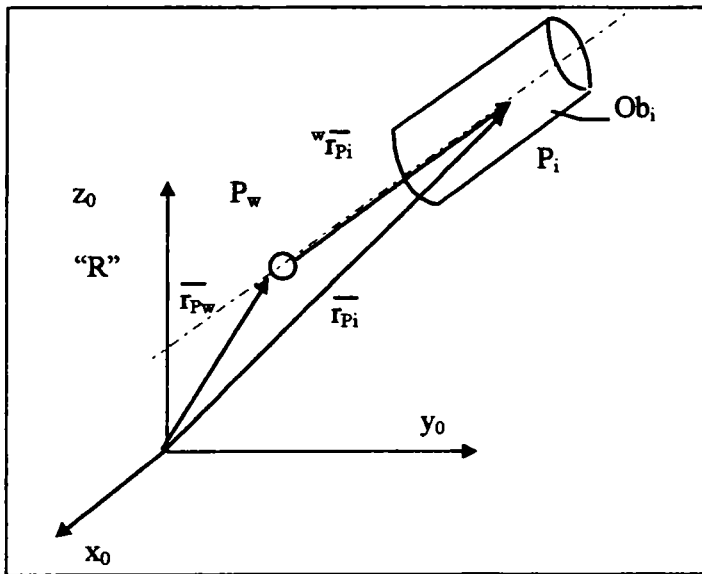


Figura 4.3.3 Relația dintre punctul caracteristic atașat robotului P_w și atașat obiectului de lucru P_i

În cazul în care, în condițiile fabricației flexibile, robotul manipulează n obiecte, relația (4.3.2) definește spațiul de lucru operațional al robotului în condițiile fabricației flexibile; în relația (4.3.2) $1 \leq i \leq n$, $\overline{r_{P_i}}$ și ${}^w\overline{r_{P_i}}$ fiind vectorii de poziție ai punctului caracteristic al obiectului în raport cu sistemul de referință

legat de elementul fix al robotului, respectiv în raport cu punctul P_w .

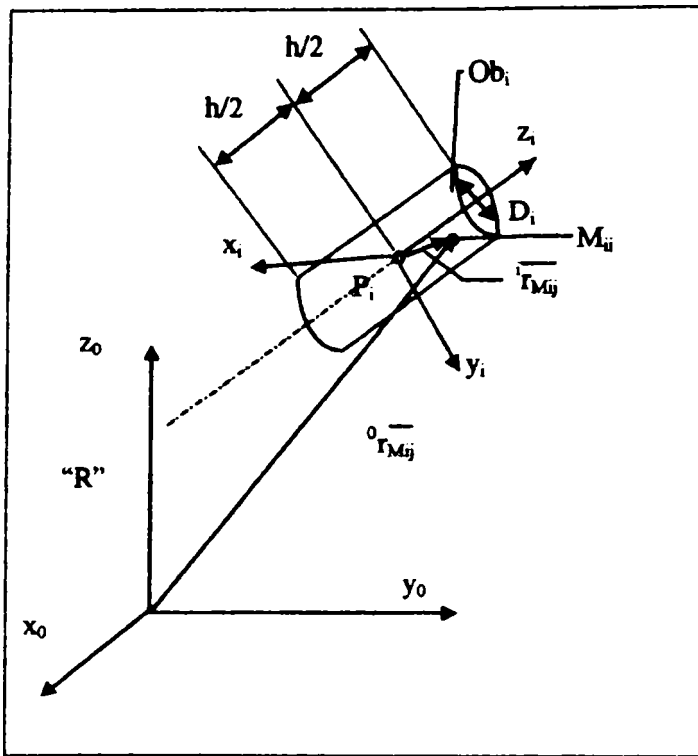
Spațiul de coliziune al unui obiect este mulțimea pozițiilor punctelor materiale care alcătuiesc obiectul.

Spațiul de coliziune al unui echipament este totalitatea spațiilor de coliziune ale obiectelor făcând parte din echipamentul în cauză și a spațiilor de coliziune ale obiectelor manipulate sau prelucrate de echipamentul respectiv în decursul unui ciclu de funcționare.

Spațiul de coliziune poate fi **static**, când obiectele cărora le aparțin punctele materiale sunt fixe în raport cu sistemul de referință al incintei în care sunt instalate echipamentele și **dinamic**, dacă aceste obiecte sunt în mișcare. Spațiul de coliziune dinamic este constituit din totalitatea pozițiilor ocupate în decursul unui ciclu de funcționare de punctele materiale aparținând obiectelor ce fac parte din echipament, respectiv sunt manipulate sau prelucrate de acestea.

Spațiul de coliziune operațional instantaneu al unui echipament este mulțimea pozițiilor la un moment dat ale punctelor materiale aparținând obiectelor din componența echipamentului, respectiv care sunt manipulate sau prelucrate de echipamentul în cauză.

Spațiul de coliziune operațional instantaneu al unui echipament în condițiile fabricației flexibile este mulțimea spațiilor de coliziune instantanee la momentul considerat, aferente prelucrării respectiv manipulării tuturor obiectelor de lucru ale echipamentului în cauză în cadrul sistemului în condițiile



f exhibit_ții.

Figura 4.3.4. Spațiul de coliziune al obiectului Ob_i

Se consideră obiectul cilindric Ob_i din figura 4.3.4. Punctul caracteristic P_i al obiectului Ob_i s-a ales pe axa cilindrului, la jumătatea înălțimii acestuia. Sistemul de referință atașat obiectului este P_i x_i y_i z_i, cu originea în P_i și axa P_i z_i în coincidență cu axa cilindrului. Spațiul de coliziune al obiectului Ob_i în raport cu sistemul de referință atașat obiectului este descris de vectorul de poziție al unui punct material M_ij aparținând

conform ecuației 4.3.3.

$${}^i \underline{r}_{M_{ij}} = [x_{ij} \ y_{ij} \ z_{ij} \ 1]^T \quad (4.3.3)$$

unde $x_{ij} \in [-D_i/2, D_i/2]$; $y_{ij} \in [-D_i/2, D_i/2]$; $z_{ij} \in [-h/2, h/2]$

Spațiul de coliziune al obiectului Ob_i în raport cu sistemul de referință al incintei în care se găsește obiectul este descris de vectorul ${}^0 \underline{r}_{M_{ij}}$ conform relației 4.3.4.

$${}^0 \underline{r}_{M_{ij}} = {}^0 \underline{T}_i \ {}^i \underline{r}_{M_{ij}} \quad (4.3.4)$$

unde ${}^0 \underline{T}_i$ este matricea de trecere de la sistemul de referință P_i x_i y_i z_i la sistemul de referință O x_0 y_0 z_0.

În cazul în care ${}^0 \underline{T}_i = \text{const.}$ (4.3.5)

spațiul de coliziune este static.

Dacă ${}^0 \underline{T}_i = {}^0 \underline{T}_i(t)$, unde s-a notat cu t timpul curent, t_c însemnând timpul de realizare a ciclului,

$$t \in [0, t_c] \quad (4.3.6)$$

relația (4.3.4) definește spațiul de coliziune dinamic al obiectului în decursul ciclului de funcționare.

Fie $t = \theta$ (4.3.6')

și ${}^0 \underline{T}_i = {}^0 \underline{T}_i(\theta)$ (4.3.7)

În acest caz relația 4.3.4 definește spațiul de lucru instantaneu corespunzător momentului θ de timp.

Spațiile de lucru și de coliziune sunt delimitate de frontiere. Se înțelege prin frontiera unui spațiu mulțimea (pozițiilor) punctelor care pe cel puțin un sens al unei direcții care trece prin punct să nu se învecineze cu un alt punct aparținând spațiului considerat.

Spațiul de lucru poate fi un punct, o curbă, o suprafață sau un volum. Frontiera spațiului de lucru este un punct, o curbă sau o suprafață, o entitate geometrică cu un număr de dimensiuni mai mic cu o unitate decât numărul de dimensiuni al spațiului de lucru.

Spațiul de coliziune este un volum, frontierele lui sunt suprafețe. Frontiera spațiului de lucru operațional al strungului din figura 4.3.1 este chiar poziția unică a punctului caracteristic al obiectului prelucrat. Frontierele spațiului de lucru operațional al conveiorului din figura 4.3.2. sunt punctele extreme ale curbei-traietorie descrisă de punctul caracteristic al obiectului transferat. Frontierele spațiului de lucru al echipamentului (robotului) conform figurii 4.3.3. sunt definite prin relațiile:

$$\begin{aligned}
 \overline{\Gamma_{Pw}} &= \overline{\Gamma_{Pw}}(q_{1max}, q_2, q_3) \\
 \overline{\Gamma_{Pw}} &= \overline{\Gamma_{Pw}}(q_{1min}, q_2, q_3) \\
 \overline{\Gamma_{Pw}} &= \overline{\Gamma_{Pw}}(q_1, q_{2max}, q_3) \\
 \overline{\Gamma_{Pw}} &= \overline{\Gamma_{Pw}}(q_1, q_{2min}, q_3) \\
 \overline{\Gamma_{Pw}} &= \overline{\Gamma_{Pw}}(q_1, q_2, q_{3max}) \\
 \overline{\Gamma_{Pw}} &= \overline{\Gamma_{Pw}}(q_1, q_2, q_{3min})
 \end{aligned}
 \tag{4.3.8}$$

În modelul dezvoltat pentru optimizarea planului de amplasament este nevoie să se utilizeze și frontiera echidistantă a spațiului de lucru sau a spațiului de coliziune. Se definește frontiera echidistantă a unui spațiu ca fiind o suprafață ale cărei puncte se află la o distanță constantă de punctele de pe frontiera spațiului respectiv măsurată pe direcțiile normalelor pe suprafața frontierei respective în punctele considerate. Se va utiliza frontiera echidistantă în interiorul spațiului de lucru și frontiera echidistantă în exteriorul spațiului de coliziune static la o distanță egală cu gabaritul maxim (de exemplu, notat cu δ) al obiectelor de lucru prelucrate în SFF.

Se acceptă denumirea de gabarit maxim al obiectelor de lucru ca fiind lungimea maximă a vectorului $\overline{r_{Mij}} = (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ (figura 4.3.4) unde M_{ij} sunt puncte aflate pe frontiera spațiului de coliziune al obiectelor de lucru din spectrul de piese fabricate în SFF.

Pentru execuția operațiilor de prelucrare se identifică puncte de precizie la mașinile de lucru care sunt pozițiile punctelor caracteristice ale obiectelor de lucru situate și fixate în dispozitivele de lucru ale mașinilor. Punctele de precizie ale sistemului de manipulare sunt pozițiile punctelor caracteristice ale obiectelor de lucru la începutul și la sfârșitul unei secvențe a operației de manipulare. Punctul de precizie al unui echipament aparține spațiului de lucru operațional al echipamentului în care obiectul

de lucru se află în repaus la începutul și la sfârșitul unei secvențe de manipulare sau al operației de prelucrare.

Situarea obiectului de lucru în pozițiile aferente ale acestor puncte este determinată de construcția, dimensiunile și situarea relativă a echipamentelor de manipulare. De exemplu, puncte de precizie sunt pozițiile start-țintă ale robotului sau puncte corespunzătoare pozițiilor de preluare/predare ale obiectului pe conveior.

Între aceste puncte de precizie, obiectele de lucru sunt transferate astfel încât punctele lor caracteristice se mișcă pe traiectorii determinate de construcția echipamentului de manipulare, dimensiunile acestuia, dimensiunile obiectelor de lucru și obstacolele (alte echipamente) aflate în spațiul necesar transferului de material.

De exemplu, la strung, spațiul de lucru operațional pentru o singură tip-dimensiune a obiectului de lucru se identifică cu punctul de precizie al acestuia (în figura 4.3.1). Pentru conveiorul liniar, (figura 4.3.5) punctele de precizie sunt puncte ale spațiului operațional (dreaptă) al acestuia în pozițiile în care se realizează transferul obiectului de lucru de pe conveior la postul de așteptare. Punctul de precizie al postului de așteptare este chiar spațiul de lucru operațional al acestui dispozitiv și corespunde cu punctul caracteristic al obiectului de lucru situat pe acesta.

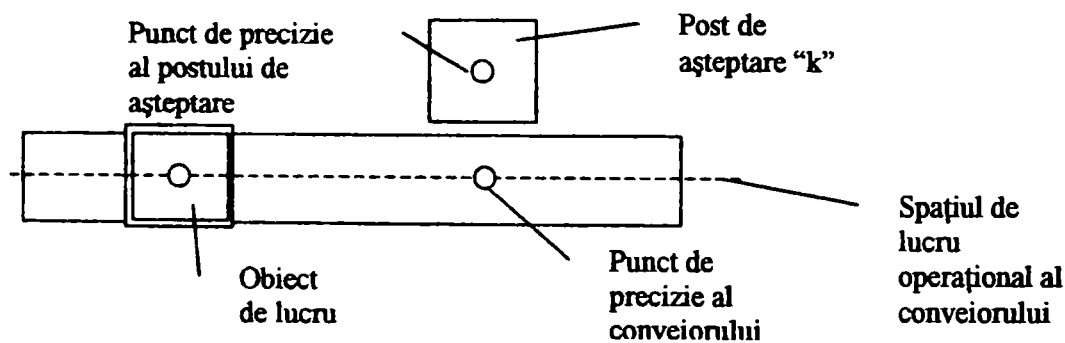


Figura 4.3.5. Puncte de precizie ale conveiorului liniar și ale postului de așteptare

Traectoria punctului caracteristic al obiectului de lucru în cadrul sistemului va fi suma curbelor oarecare care au ca poziții de început și sfârșit punctele de precizie ale echipamentelor între care se realizează transferul de material.

4.3.3. Relații matematice de determinare a elementelor geometrice necesare modelării planului de amplasament al SFF

4.3.3.1. Relații matematice pentru determinarea frontierelor spațiilor de lucru

Așa cum s-a precizat în paragraful anterior, spațiile de lucru sunt mărginite de frontiere, care, din punct de vedere geometric, pot fi: puncte, linii sau suprafețe.

Determinarea expresiilor matematice de definire a acestor entități geometrice se realizează în raport cu un sistem de referință atașat echipamentului respectiv (figura 4.3.6).

Ecuțiile vectoriale ale frontierelor spațiilor de lucru sunt:

- pentru o curbă în spațiu: $\bar{r} = \bar{r}(u)$, unde \bar{r} este vectorul de poziție al unui punct curent al curbei și $r(u)$ este o funcție vectorială de argument scalar u ;
- pentru o suprafață: $\bar{r} = \bar{r}(u, v)$, unde \bar{r} este vectorul de poziție al unui punct curent al suprafeței și $r(u, v)$ este funcția vectorială de argumente scalare u și v .

Fie un punct M frontiera spațiului de lucru a unei componente oarecare a SFF și \bar{r}_M vectorul de poziție al acestui punct în raport cu sistemul de referință $Oxyz$.

$$\bar{r}_M = x_M \bar{i} + y_M \bar{j} + z_M \bar{k} \quad (4.3.9)$$

unde x_M, y_M, z_M sunt coordonatele cunoscute ale punctului M în raport cu sistemul de referință atașat echipamentului.

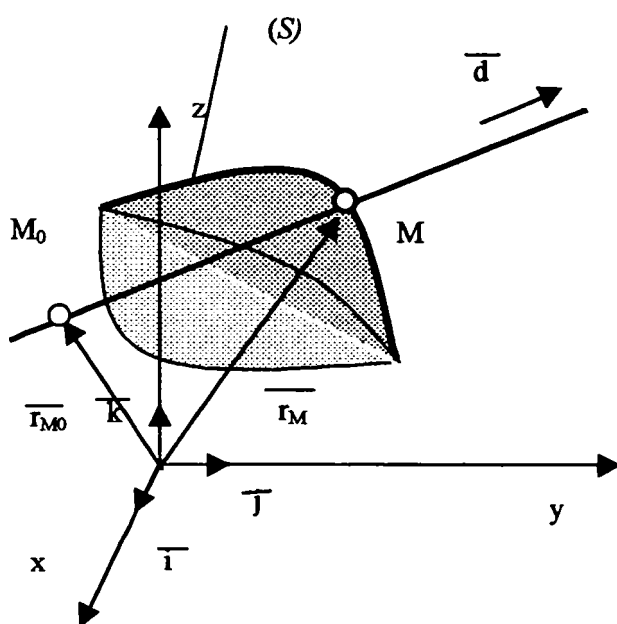


Fig. 4.3.6. Frontierele spațiilor de lucru sunt drepte sau suprafețe

Dacă frontiera spațiului de lucru este o dreaptă care trece prin $M_0 (x_0, y_0, z_0)$ și are direcția vectorului \bar{d} , vectorul \bar{r}_M al unui punct curent al liniei este exprimat prin relația matricială:

$$\bar{r}_M = [x_0 + \lambda d_x; y_0 + \lambda d_y; z_0 + \lambda d_z; 1]^T \quad (4.3.10)$$

unde $\lambda \in [0, \lambda_{\max}]$ este parametrul u din ecuația vectorială a unei curbe în spațiu, iar $\bar{d} (d_x, d_y, d_z)$ este vectorul director al dreptei.

Dacă frontiera spațiului de lucru este o suprafață (S), vectorul de poziție al punctului curent M pe suprafață este:

$$\underline{r}_M = [x(u, v); y(u, v); z(u, v); 1]^T \quad (4.3.11)$$

unde u, v sunt parametri reali și x, y, z, sunt proiecțiile vectorului de poziție al punctului curent M pe axele sistemului de referință.

Relațiile matematice de determinare a frontierelor spațiilor de lucru ale unui robot rezultă din relația (4.3.1) a spațiului de lucru al acestuia, astfel:

$$\underline{r}_M = [x(q_{1\max/\min}, q_2, q_3); y(q_{1\max/\min}, q_2, q_3); z(q_{1\max/\min}, q_2, q_3); 1]^T \quad (4.3.12)$$

$$\underline{r}_M = [x(q_1, q_{2\max/\min}, q_3); y(q_1, q_{2\max/\min}, q_3); z(q_1, q_{2\max/\min}, q_3); 1]^T \quad (4.3.12')$$

$$\underline{r}_M = [x(q_1, q_2, q_{3\max/\min}); y(q_1, q_2, q_{3\max/\min}); z(q_1, q_2, q_{3\max/\min}); 1]^T \quad (4.3.12'')$$

În relația (4.3.12), vectorul de poziție al punctului curent M pe o porțiune de frontieră a spațiului de lucru se determină pentru toate valorile parametrilor poziționali relativi q_2 și q_3 din domeniul determinat de cursele elementelor cuplelor cinematice conducătoare 2 și 3 și $q_1 = q_{1\min}$. O altă porțiune de frontieră a spațiului de lucru se determină pentru valoarea lui $q_1 = q_{1\max}$. Similar, se calculează vectorii de poziție ai unui punct curent pe încă 4 porțiuni de frontieră a spațiului de lucru pentru valorile maxime și minime ale parametrilor poziționali relativi q_2 (relația 4.3.12') și q_3 (relația 4.3.12'').

Fie o frontieră a spațiului de lucru, planul care trece printr-un punct M_0 și este paralel cu planul determinat de axele O_1y_1 și O_1z_1 ale sistemului de referință $O_1x_1y_1z_1$ cu versorii axelor \bar{i}_1 , \bar{j}_1 și \bar{k}_1 (figura 4.3.7). Ecuația vectorială a unui plan (P) care trece printr-un punct M_0 de coordonate față de sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$ (${}^1x_0, {}^1y_0, {}^1z_0$) și are ca vectori directori $d_y(0, \lambda_y, 0)$ și $d_x(0, 0, \lambda_x)$ este:

$$\overline{M_0M}(d_y \times d_x) = 0 \quad (4.3.13)$$

iar ecuația generală a planului paralel cu axele O_1y_1 și O_1z_1 este:

$$(x - {}^1x_0)\lambda_y\lambda_x = 0 \quad (4.3.13')$$

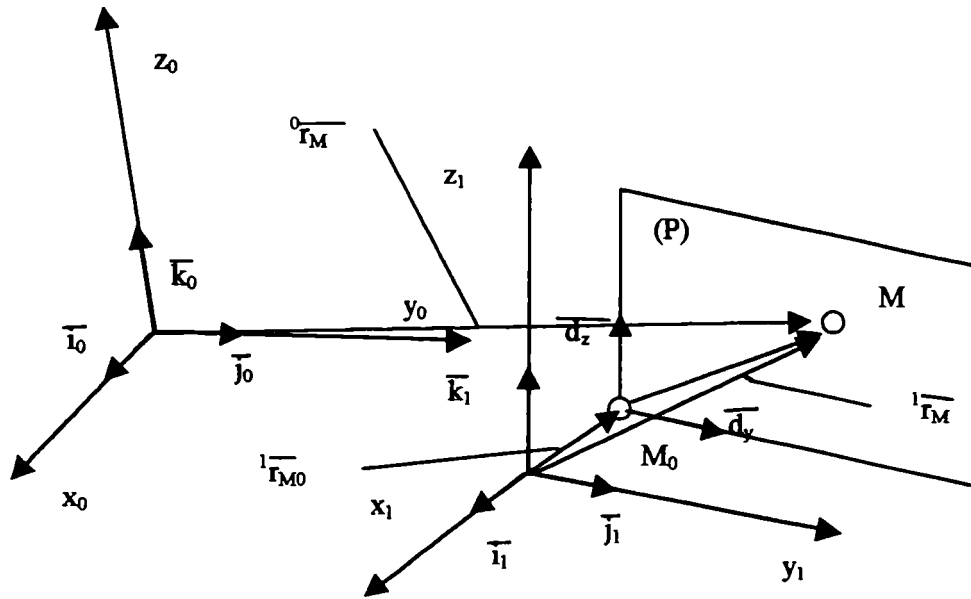


Figura 4.3.7. Frontiera spațiului coliziune/de lucru este un plan

Vectorul de poziție al punctului curent \$M\$ al planului \$(P)\$ față de sistemul de referință \$O_1x_1y_1z_1\$ este:

$$\bar{r}_M = \bar{r}_{M0} + \lambda_y \bar{j}_1 + \lambda_z \bar{k}_1 \tag{4.3.14}$$

unde \$u=\lambda_y\$ și \$v=\lambda_z\$ parametrii din ecuația vectorială a suprafeței.

Dacă se exprimă vectorul de poziție al punctului curent \$M\$ al planului \$(P)\$ față de un alt sistem de referință \$O_0x_0y_0z_0\$, acesta devine:

$$\underline{r}_M = {}^0T_1 \underline{r}_M \tag{4.3.14'}$$

unde \${}^0T_1\$ este matricea de trecere de la sistemul de referință \$O_1x_1y_1z_1\$ la sistemul \$O_0x_0y_0z_0\$.

Dacă frontiera spațiului de lucru este o **suprafață cilindrică** (figura 4.3.8), vectorul de poziție al punctului curent al suprafeței este:

$$\underline{r}_M = [R \cos \varphi; R \sin \varphi; h]^T \tag{4.3.15}$$

unde \$u=\varphi\$, \$v=h\$ sunt parametrii, \$R\$ este raza cilindrului.

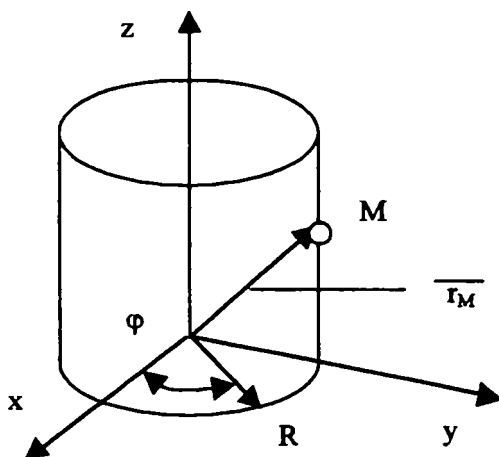


Figura 4.3.8. Frontiera spațiului de lucru/coliziune este cilindrică

Fie **robotul cu coordonate cilindrice** din figura 4.3.9a, la care mecanismul generator de traiectorie este format din cuplele cinematice conducătoare RTT și parametrii poziționali relativi sunt \$q_1=\theta_1\$, \$q_2=d_2\$, \$q_3=d_3\$. In figura 4.3.9b se prezintă schița porțiunilor de frontieră ale

spațiului de lucru corespunzătoare unui robot în coordonate cilindrice. Vectorii de poziție ai punctului curent pe porțiunile de frontieră ale spațiului de lucru sunt:

- pentru porțiunea (1):

$$\underline{r}_M = [d_{3\max} \cos(\theta_1); d_{3\max} \sin(\theta_1); d_2]^T \quad (4.3.16)$$

- pentru porțiunea (2):

$$\underline{r}_M = [d_{3\min} \cos(\theta_1); d_{3\min} \sin(\theta_1); d_2]^T \quad (4.3.16')$$

- pentru porțiunea (3):

$$\underline{r}_M = [d_3 \cos(\theta_1); d_3 \sin(\theta_1); d_{2\max}]^T \quad (4.3.16'')$$

- pentru porțiunea (4):

$$\underline{r}_M = [d_3 \cos(\theta_1); d_3 \sin(\theta_1); d_{2\min}]^T \quad (4.3.16''')$$

- pentru porțiunea (5):

$$\underline{r}_M = [d_3 \cos(\theta_{1\max}); d_3 \sin(\theta_{1\max}); d_2]^T \quad (4.3.16^{IV})$$

- pentru porțiunea (6):

$$\underline{r}_M = [d_3 \cos(\theta_{1\min}); d_3 \sin(\theta_{1\min}); d_2]^T \quad (4.3.16^V)$$

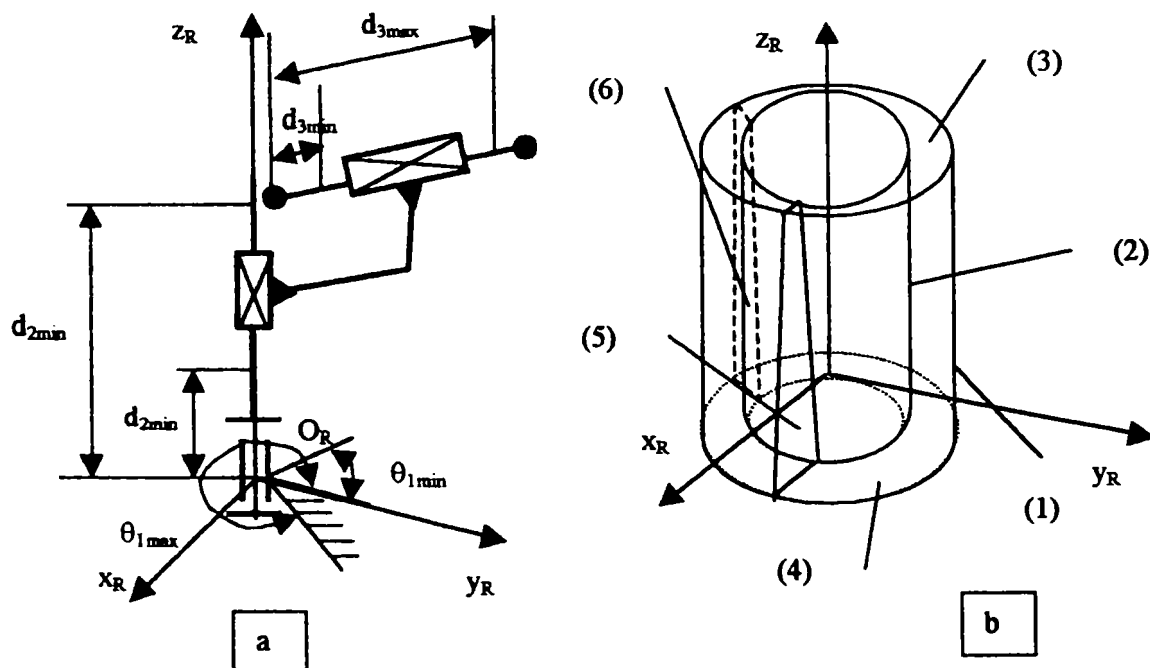


Figura 4.3.9.a Schema cinematică a mecanismului generator de traiectorie a unui robot în coordonate cilindrice, 4.3.9.b schița porțiunilor de frontieră ale spațiului de lucru a robotului în coordonate cilindrice

4.3.3.2. Relații geometrice între spațiile de lucru aparținând unor echipamente diferite

Fie două echipamente (1) și (2), la care se cunosc frontierele spațiilor de lucru descrise prin metoda prezentată în paragraful anterior în raport cu același sistem de referință.

Ecuțiile vectoriale ale suprafețelor de frontieră a spațiilor de lucru sunt $\bar{r}_1 = \bar{r}_1(u_1, v_1)$, pentru echipamentul (1) și $\bar{r}_2 = \bar{r}_2(u_2, v_2)$ pentru cel de-al doilea.

Pentru **intersecția spațiilor de lucru** și implicit a frontierelor acestora, se determină mulțimea punctelor curente aparținând atât frontierei echipamentului (1) cât și frontierei echipamentului (2), adică se caută soluțiile ecuației vectoriale:

$$\bar{r}_1(u_1, v_1) = \bar{r}_2(u_2, v_2) \quad (4.3.17)$$

Ecuției vectoriale (4.3.17) îi corespund 3 ecuații scalare (corespunzătoare proiecțiilor pe cele 3 axe ale sistemului de referință) cu 4 necunoscute (u_1, v_1, u_2, v_2).

Dacă nu se găsesc soluții ecuației (4.3.17), cele două suprafețe de frontieră nu se intersectează. Prin rezolvarea sistemului de 3 ecuații, se obțin soluțiile:

$$u_1 = u_1(v_2) \quad (4.3.18)$$

$$u_2 = u_2(v_2)$$

$$v_1 = v_1(v_2)$$

în care v_2 este parametru. Proiecțiile vectorilor de poziție ai punctelor curente M, comune celor două frontiere, pe axele sistemului de referință se exprimă în funcție de parametru v_2 , astfel:

$$x_M = x(v_2); \quad y_M = y(v_2); \quad z_M = z(v_2) \quad (4.3.19)$$

Soluțiile din relațiile (4.3.19) reprezintă coordonatele punctelor curente M aparținând curbei de intersecție a celor două frontiere.

Tangența spațiilor de lucru se realizează dacă există un plan tangent comun a două porțiuni de frontieră aparținând celor două echipamente.

Ecuția vectorială a unui plan tangent în punctul curent al suprafeței $\bar{r} = \bar{r}(u, v)$ este:

$$(\bar{R} - \bar{r})(\bar{r}_u \times \bar{r}_v) = 0 \quad (4.3.20)$$

unde \bar{R} este vectorul de poziție al unui punct curent al planului tangent la suprafață, \bar{r} este vectorul de poziție al punctului curent al suprafeței în care se determină planul tangent, iar $\bar{r}_u = \frac{\partial \bar{r}}{\partial u}$

$\bar{r}_v = \frac{\partial \bar{r}}{\partial v}$ sunt vectorii tangenți în punctul curent la suprafață.

Relației (4.3.20) îi corespunde ecuația (4.3.21), dacă suprafața este dată prin ecuațiile parametrice $x=x(u,v)$; $y=y(u,v)$; $z=z(u,v)$:

$$\begin{bmatrix} X-x & Y-y & Z-z \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{bmatrix} = 0 \quad (4.3.21)$$

în care (x,y,z) sunt coordonatele punctului curent al suprafeței în care se determină planul tangent, (X, Y, Z) sunt coordonatele punctelor aparținând planului tangent, $x_u = \frac{\partial(x(u,v))}{\partial u}$,

$x_v = \frac{\partial(x(u,v))}{\partial v}$ sunt derivatele parțiale ale funcției $x=x(u,v)$ în raport cu parametrii scalari u , respectiv v , similar se definesc y_u, y_v, z_u, z_v . Relația scalară (4.3.21) este echivalentă cu relația:

$$F(u,v)=0 \quad (4.3.21')$$

Punctul de tangență comun a două suprafețe se determină prin rezolvarea sistemului de ecuații vectoriale (4.3.22) sau scalare (4.3.23).

$$\begin{aligned} \bar{r}_1(u_1, v_1) &= \bar{r}_2(u_2, v_2) \\ (\bar{R} - \bar{r}_1)(\bar{r}_{u_1} \times \bar{r}_{v_1}) &= (\bar{R} - \bar{r}_2)(\bar{r}_{u_2} \times \bar{r}_{v_2}) \end{aligned} \quad (4.3.22)$$

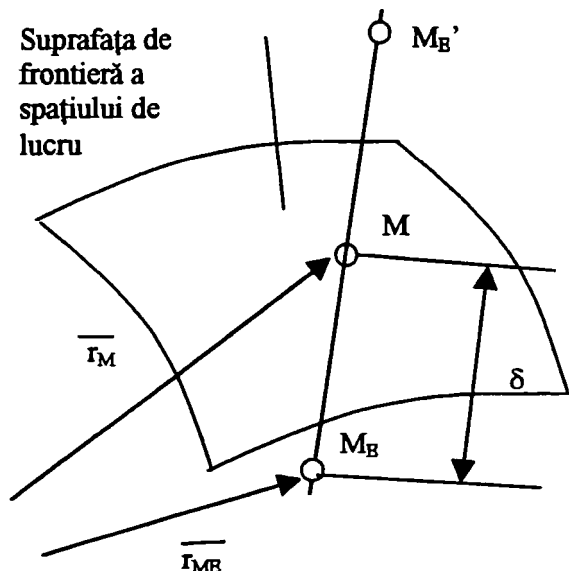
$$\begin{aligned} x_1(u_1, v_1) &= x_2(u_2, v_2) \\ y_1(u_1, v_1) &= y_2(u_2, v_2) \\ z_1(u_1, v_1) &= z_2(u_2, v_2) \\ F_1(u_1, v_1) &= F_2(u_2, v_2) \end{aligned} \quad (4.3.23)$$

Cele 4 ecuații scalare ale sistemului (4.3.23) permit găsirea soluțiilor celor 4 necunoscute u_1, u_2, v_1, v_2 și, în consecință coordonatele punctului de tangență a suprafețelor de frontieră a spațiilor de lucru a echipamentelor 1 și 2. Dacă sistemul (4.3.23) nu are soluții, cele două suprafețe nu sunt în tangență.

Suprafața echidistantă a frontierei spațiului de lucru, în conformitate cu definiția din paragraful 4.3.2 și figura 4.3.10, se determină cu relațiile (4.3.24), în care M este un punct curent al suprafeței de frontieră de coordonate (x_M, y_M, z_M) în raport cu sistemul de referință atașat echipamentului, M_E (x_{ME}, y_{ME}, z_{ME}) este punctui curent al suprafeței echidistante, care se află în interiorul frontierei

spațiului de lucru, pe normala la această suprafață, la distanța δ (gabaritul maxim al obiectelor de lucru) de punctul M.

$$x_{M_E} = x_M - \delta \frac{\begin{bmatrix} y_u & z_u \\ y_v & z_v \end{bmatrix}}{|\overline{r_u} \times \overline{r_v}|} \quad y_{M_E} = y_M - \delta \frac{-\begin{bmatrix} x_u & z_u \\ x_v & z_v \end{bmatrix}}{|\overline{r_u} \times \overline{r_v}|} \quad z_{M_E} = z_M - \delta \frac{\begin{bmatrix} x_u & y_u \\ x_v & y_v \end{bmatrix}}{|\overline{r_u} \times \overline{r_v}|} \quad (4.3.24)$$



unde $|\overline{r_u} \times \overline{r_v}|$ este modulul vectorului normal la suprafața de frontieră a spațiului de lucru în punctul curent M.

Figura 4.3.10. Determinarea suprafeței echidistante a frontierei spațiului de lucru

Dacă este necesar să se determine suprafața echidistantă a frontierei spațiului în

exteriorul suprafeței, punctul curent al suprafeței echidistante în acest caz va fi M_E' .

Ecuția suprafeței echidistante, exprimată prin vectorii de poziție ai punctelor curente M_E sau M_E' , este:

$$\underline{r_{M_E}} = \left[x(u, v) \pm \delta \frac{\begin{bmatrix} y_u & z_u \\ y_v & z_v \end{bmatrix}}{|\overline{r_u} \times \overline{r_v}|}; y(u, v) \pm \delta \frac{-\begin{bmatrix} x_u & z_u \\ x_v & z_v \end{bmatrix}}{|\overline{r_u} \times \overline{r_v}|}; z(u, v) \pm \delta \frac{\begin{bmatrix} x_u & y_u \\ x_v & y_v \end{bmatrix}}{|\overline{r_u} \times \overline{r_v}|} \right]^T \quad (4.3.25)$$

unde semnul + se utilizează pentru frontiera echidistantă măsurată în exteriorul suprafeței (formată din puncte curente M_E') și semnul - se utilizează pentru frontiera echidistantă măsurată pe normală în interiorul suprafeței (puncte M_E).

4.3.3.3. Relații matematice pentru determinarea frontierelor spațiilor de coliziune

În paragraful 4.3.2 s-au definit mai multe categorii de spații de coliziune ale unui echipament: spațiul de coliziune static, dinamic și instantaneu.

Spațiul de coliziune static al unui echipament este compus din mulțimea de spații de coliziune statice ale tuturor subansamblelor care compun utilajul respectiv aflate în stare de nefuncționare

(repaus). In funcție de relațiile spațiale dintre reperele componente ale echipamentului respectiv, se pot determina porțiuni de suprafețe care delimitează spațiile de coliziune în discuție.

In raport cu un sistem de referință atașat echipamentului, porțiunile de frontieră ale spațiilor de coliziune statice ale utilajului se pot defini prin ecuațiile vectoriale ale porțiunilor de suprafețe "i", astfel:

$$\overline{r_{st_i}} = [x_i(u_i, v_i); y_i(u_i, v_i); z_i(u_i, v_i); 1]^T \quad (4.3.26)$$

Spațiile de coliziune statice ale două echipamente (1) și (2) se **intersectează** dacă ecuația (4.3.27) are soluții. Dacă nu există soluții ale ecuației vectoriale, cele două spații de coliziune statice nu se intersectează.

$$\overline{r_{1st_i}}(u_{1i}, v_{1i}) = \overline{r_{2st_j}}(u_{2j}, v_{2j}) \quad (4.3.27)$$

unde suprafețele de frontieră ale spațiilor de coliziune statice ale echipamentelor (1) și (2) sunt definite pentru porțiunile "i" și respectiv "j" de suprafețe ale utilajelor în discuție.

Porțiuni de frontieră ale spațiilor de coliziune statice ale celor două echipamente sunt **tangente** dacă se verifică relația (4.3.28):

$$(\overline{R} - \overline{r_{1st_i}})(\overline{r_{1st_{u1}}} \times \overline{r_{1st_{v1}}}) = (\overline{R} - \overline{r_{2st_j}})(\overline{r_{2st_{u2}}} \times \overline{r_{2st_{v2}}}) \quad (4.3.28)$$

$$\text{unde } \overline{r_{1st_{u1}}} = \frac{\partial \overline{r_{1st_i}}}{\partial u_{1i}}; \overline{r_{1st_{v1}}} = \frac{\partial \overline{r_{1st_i}}}{\partial v_{1i}}; \overline{r_{2st_{u2}}} = \frac{\partial \overline{r_{2st_j}}}{\partial u_{2j}}; \overline{r_{2st_{v2}}} = \frac{\partial \overline{r_{2st_j}}}{\partial v_{2j}}.$$

Vectorul de poziție al punctului de tangență se calculează prin rezolvarea sistemului (4.3.29):

$$\begin{aligned} \overline{r_{1st_i}}(u_{1i}, v_{1i}) &= \overline{r_{2st_j}}(u_{2j}, v_{2j}) \\ (\overline{R} - \overline{r_{1st_i}})(\overline{r_{1st_{u1}}} \times \overline{r_{1st_{v1}}}) &= (\overline{R} - \overline{r_{2st_j}})(\overline{r_{2st_{u2}}} \times \overline{r_{2st_{v2}}}) \end{aligned} \quad (4.3.29)$$

Spațiile de coliziune dinamice ale unui echipament sunt înfășurătoarea spațiilor de coliziune statice ale acelor repere aparținând utilajului sau ale obiectelor de lucru, care în cursul funcționării acestuia își modifică situarea în raport cu sistemul de referință atașat echipamentului și cu timpul.

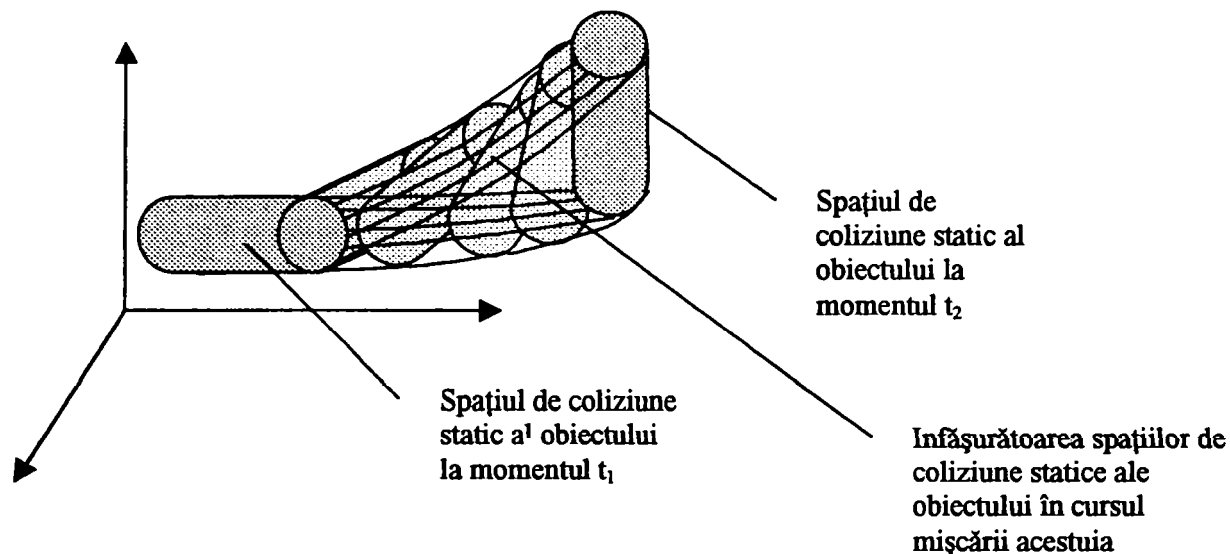


Figura 4.3.11. Determinarea spațiului de coliziune dinamic al unui obiect

Modificarea situației spațiilor de coliziune statice în raport cu timpul se realizează după o lege cunoscută.

În figura 4.3.11 se prezintă o schiță explicativă a principiului de determinare a spațiilor de coliziune dinamice din spațiile de coliziune statice ale obiectelor în mișcare, între două momente t_1 și t_2 de timp discrete.

Considerațiile referitoare la spațiile de coliziune dinamice sunt valabile și pentru suprafețele de frontieră ale acestor spații. Ecuația vectorială de definire a unei porțiuni a frontierei spațiului de coliziune dinamic este:

$$\underline{r}_{d_i} = {}^d T_{st} \underline{r}_{st_i} \quad (4.3.30)$$

unde ${}^d T_{st} = {}^d T_{st}(t)$ este matricea de trecere de la sistemul de referință atașat obiectului în situația sa inițială (în repaus) la sistemul de referință mobil atașat obiectului în mișcare relativă și \underline{r}_{st_i} este vectorul de poziție al unui punct curent aparținând al suprafeței de frontieră a obiectului.

Suprafețele de frontieră ale spațiului de coliziune dinamic sunt, în consecință, suprafețe definite prin relația:

$$\underline{r} = [x(u, v, t); y(u, v, t); z(u, v, t)]^T \quad (4.3.31)$$

Infășurătoarea familiei de suprafețe de frontieră a spațiului de coliziune dinamic

$\underline{\Phi} = [x(u, v); y(u, v); z(u, v)]^T$ se obține prin eliminarea parametrului t din sistemul de relații (4.3.32):

$$\underline{r} = [x(u, v, t); y(u, v, t); z(u, v, t)]^T$$

$$\underline{r}_t = \left[\frac{\partial x(u, v, t)}{\partial t}; \frac{\partial y(u, v)}{\partial t}; \frac{\partial z(u, v)}{\partial t} \right]^T \quad (4.3.32)$$

Spațiul de coliziune instantaneu al unui echipament este spațiul de coliziune dinamic determinat pentru o anumită valoare a timpului t . Dându-se valori diferite parametrului t , spațiul de coliziune dinamic se transformă într-unul static prin "înghețarea" mișcării la momentul de timp considerat. Frontierele spațiului de coliziune instantaneu sunt suprafețele definite de relația (4.3.31), în care $t=\theta$.

4.3.3.4. Relații geometrice între frontierele spațiilor de lucru/de coliziune definite în raport cu sisteme de referință diferite

Fie frontiera unui spațiu de lucru/de coliziune (Fr) definită față de sistemului de referință (2) $O_2x_2y_2z_2$. Pentru definirea frontierei (Fr) față de un alt sistem de referință (1) $O_1x_1y_1z_1$ trebuie cunoscută situarea sistemului (2) față de (1). Matricea de trecere a sistemului de referință (2) față de (1) pentru schimbarea axelor de coordonate (în conformitate cu notațiile din figura 4.3.12) este:

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} \cos(x_1, x_2) & \cos(x_1, y_2) & \cos(x_1, z_2) & x_{O_2} \\ \cos(y_1, x_2) & \cos(y_1, y_2) & \cos(y_1, z_2) & y_{O_2} \\ \cos(z_1, x_2) & \cos(z_1, y_2) & \cos(z_1, z_2) & z_{O_2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.33)$$

Între cosinuzii unghiurilor din matricea (4.3.33) mai există 6 relații rezultate din condiția de ortogonalitate a axelor sistemelor de referință, cunoscute în literatură (de exemplu [Sav'97,p16-17], de unde se deduce că din cele 12 elemente ale matricii doar 6 sunt independente (x_{O_2} , y_{O_2} , z_{O_2} , $\cos(x_1, x_2)$, $\cos(y_1, y_2)$, $\cos(z_1, z_2)$).

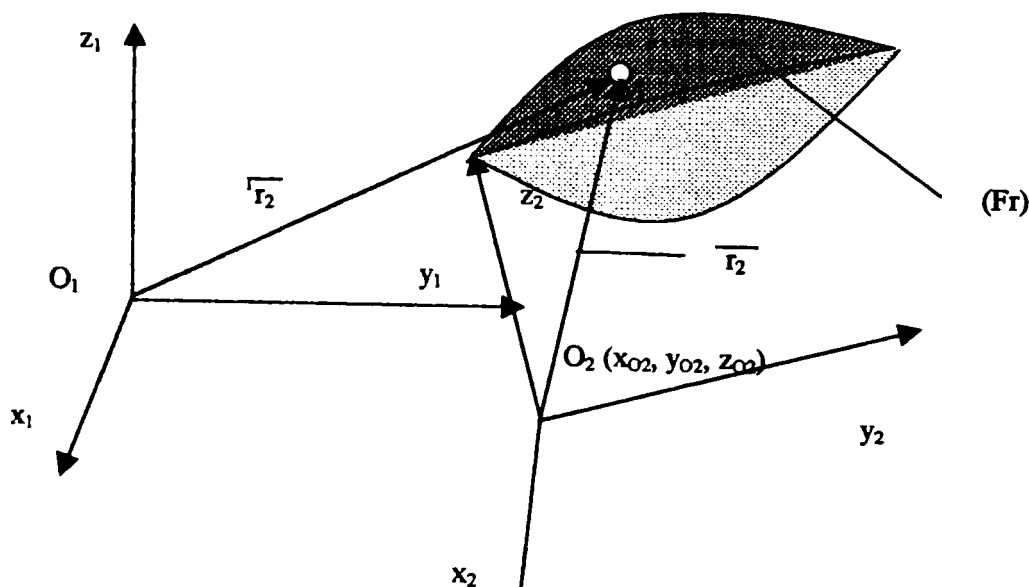


Figura 4.3.12. Schimbarea sistemului de referință față de care se definește frontiera spațiului de lucru/de coliziune

Vectorul de poziție al punctului M în raport cu sistemul de referință (1) se calculează cu relația:

$$\begin{bmatrix} {}^1x_2 \\ {}^1y_2 \\ {}^1z_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_1, x_2) & \cos(x_1, y_2) & \cos(x_1, z_2) & x_{O_2} \\ \cos(y_1, x_2) & \cos(y_1, y_2) & \cos(y_1, z_2) & y_{O_2} \\ \cos(z_1, x_2) & \cos(z_1, y_2) & \cos(z_1, z_2) & z_{O_2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} x_2(u_2, v_2) \\ y_2(u_2, v_2) \\ z(u_2, v_2) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.34)$$

$$\text{ceea ce este echivalent cu relația vectorială } \underline{{}^1r_2} = \underline{{}^1T_2} \bullet \underline{r_2} \quad (4.3.34')$$

Intersecția a două frontiere a spațiilor de lucru/de coliziune (figura 4.3.13), fiecare definite față de câte un sistem de referință se determină similar cu considerațiile teoretice prezentate în paragraful 4.3.3.2, relația 4.3.17-4.3.19, în care, relația 4.3.17 devine:

$$\underline{r_1}(u_1, v_1) = \underline{{}^1T_2} \bullet \underline{r_2}(u_2, v_2) \quad (4.3.35)$$

Tangența a două suprafețe de frontieră a spațiilor de lucru/de coliziune (figura 4.3.14) fiecare definite în raport cu sisteme de referință diferite se determină similar cu considerațiile de mai sus. Relațiile de calcul ale coordonatelor punctului de tangență a celor două frontiere sunt ecuațiile vectoriale:

$$\begin{aligned} \underline{r_1}(u_1, v_1) &= \underline{{}^1T_2} \bullet \underline{r_2}(u_2, v_2) \\ (\underline{R} - \underline{r_1}) \bullet (\underline{r_{u_1}} \times \underline{r_{v_1}}) &= \underline{{}^1T_2} (\underline{R} - \underline{r_2}) \bullet (\underline{r_{u_2}} \times \underline{r_{v_2}}) \end{aligned} \quad (4.3.36)$$

unde vectorul $\underline{r_2}$ este exprimat în raport cu sistemul de referință notat cu (2), vectorul de poziție al unui punct curent pe planul tangent al suprafeței de frontieră a spațiului (Fr_2) este în raport cu sistemul (1) prin transformare de coordonate.

Punctul de tangență al celor două suprafețe de frontieră, definit în raport cu sistemul de referință (1), este soluția sistemului de ecuații (4.3.36).

Sistemul de ecuații matriciale (4.3.36) este echivalent cu 6 ecuații scalare din care se pot determina necunoscutele u_1, u_2, v_1, v_2 și două din cele 6 elemente independente ale matricii de trecere $\underline{{}^1T_2}$.

4.3.3.5. Determinarea lungimii segmentului de dreaptă delimitat de poziția “start” S și poziția “țintă” T

Se consideră două puncte de precizie ale echipamentelor notate cu (1) și (2) în figura 4.3.15. Intre cele două echipamente trebuie să se realizeze un transfer de material astfel încât punctul caracteristic al obiectului de lucru transferat să se deplaseze din poziția de “start” S a echipamentului (1) în cea de “țintă” T a utilajului (2). Determinarea lungimii segmentului S-T se

realizează luându-se în considerare situațiile relative ale celor două componente, exprimate prin situațiile relative ale sistemelor de referință atașate acestora.

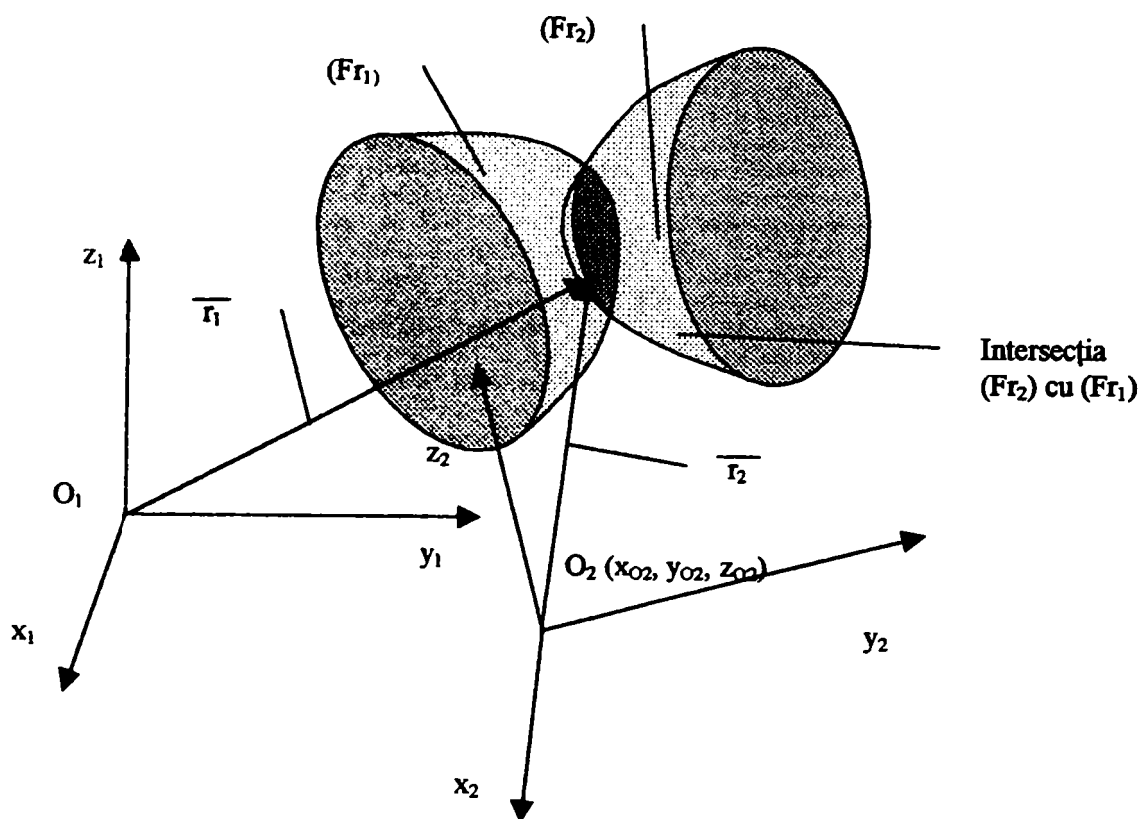


Figura 4.3.13. Intersecția a două frontiere definite în raport cu sisteme de referință diferite

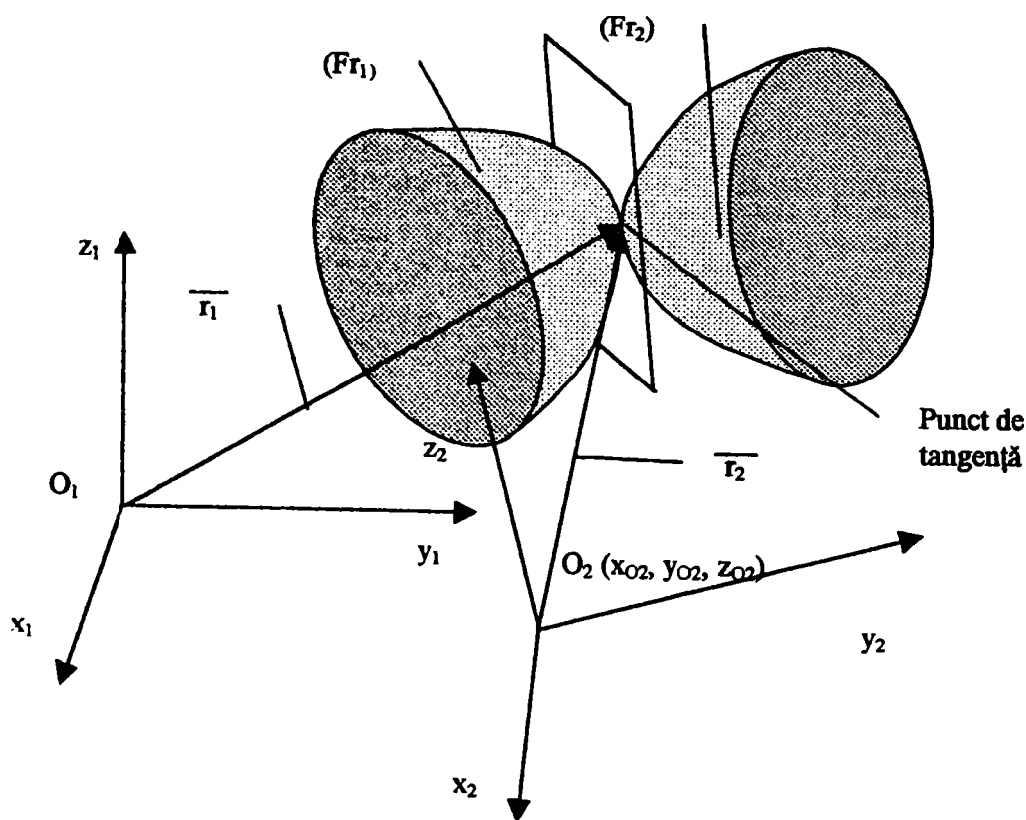


Figura 4.3.14. Tangența a două frontiere definite în raport cu sisteme de referință diferite

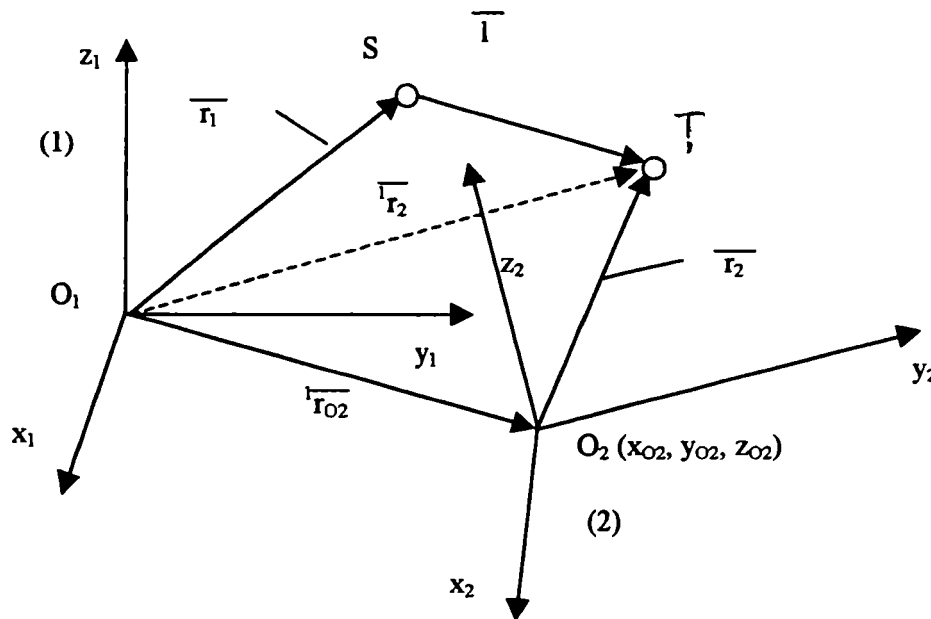


Figura 4.3.15. Situațiile relative ale două echipamente între care există relații de transfer material
 Lungimea segmentului \overline{ST} (modulul vectorului l exprimat în raport cu sistemul de referință a echipamentului (1)) se calculează din relația:

$$|l| = \left| {}^1\overline{r_{O_2}} + \overline{r_2} - \overline{r_1} \right| = \left| {}^1\overline{r_2} - \overline{r_1} \right| \tag{4.3.37}$$

unde ${}^1\overline{r_2} = {}^1T_2\overline{r_2}$ este vectorul de poziție al punctului de precizie T față de sistemul de referință a componentei (1).

4.3.4. Modelul optimizării sintezei planului de amplasament al SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune

Optimizarea amplasării relative a două echipamente notate cu (1) și (2) între care trebuie să existe relații de flux material în cursul funcționării întregului SFF, se bazează pe cunoașterea caracteristicilor dimensionale și funcționale ale celor două componente. În raport cu sistemele de referință atașate echipamentelor $O_1x_1y_1z_1$ și $O_2x_2y_2z_2$ (figura 4.3.16) se pot cunoaște spațiile de lucru ale acestor echipamente.

Fie (Fr_1) și (Fr_2) suprafețele de frontieră sau de porțiuni de frontieră ale acestor spații. Pentru echipamentul (2) se determină frontiera echidistantă în interiorul spațiului de lucru la distanța egală cu gabaritul maxim al obiectelor de lucru (δ) și notată cu (Fr_{2E}) . Intre cele două suprafețe de frontieră a componentelor (Fr_1) și (Fr_{2E}) trebuie să existe o relație de tangență.

Fie punctul de tangență W comun al celor două suprafețe de frontieră. Valorile date ale coordonatelor punctului W verifică sistemul de ecuații (4.3.36), adică:

$$\begin{aligned} \underline{r}_{1W}(u_1, v_1) &= {}^1T_2 \cdot \underline{r}_{2W}(u_2, v_2) \\ (\underline{R} - \underline{r}_{1W}) \cdot (\underline{r}_{u_1} \times \underline{r}_{v_1}) &= {}^1T_2 (\underline{R} - \underline{r}_{2W}) \cdot (\underline{r}_{u_2} \times \underline{r}_{v_2}) \end{aligned} \quad (4.3.38)$$

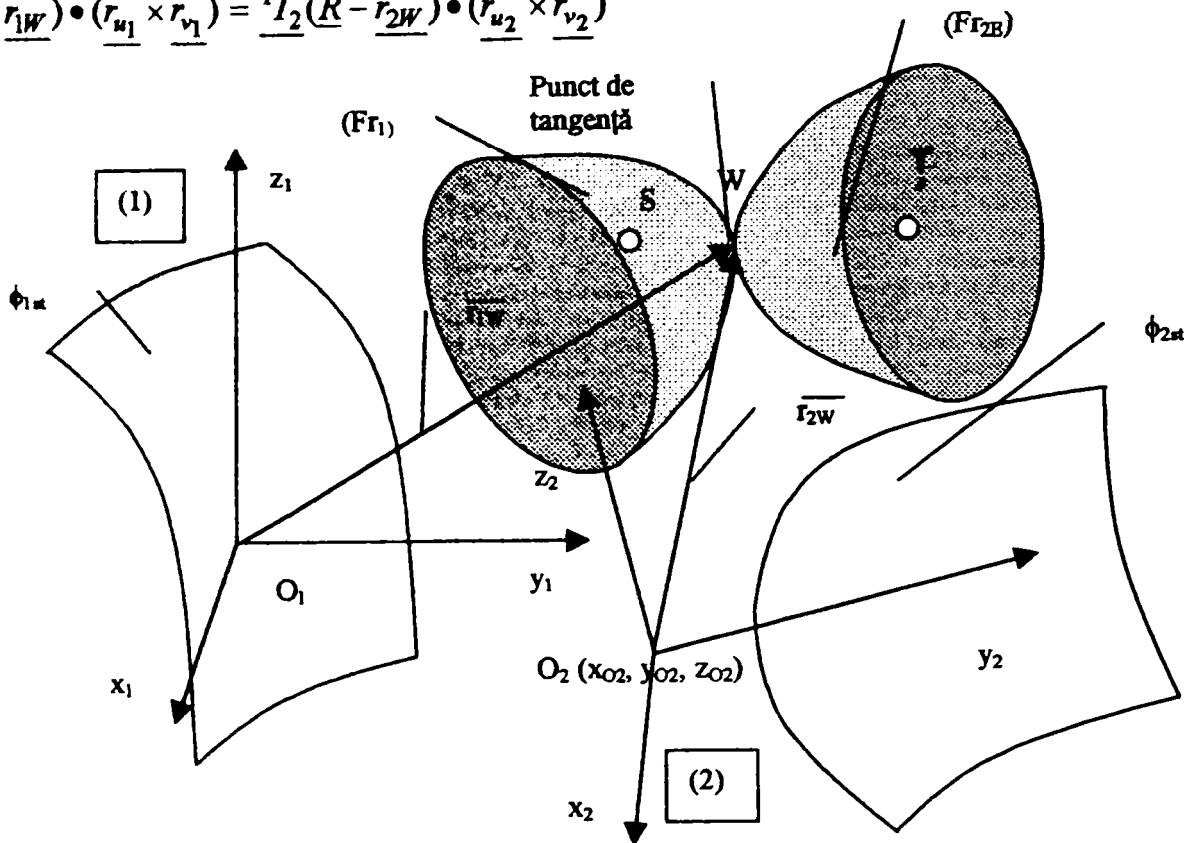


Figura 4.3.16. Determinarea amplasării relative a două echipamente prin tangența dintre frontiera spațiului de lucru a echipamentului (1) și frontiera echidistantă în interiorul spațiului de lucru a echipamentului (2)

Din sistemul de ecuații (4.3.38) se poate deduce matricea de situare relativă 1T_2 astfel:

$$\underline{{}^1T_2} = \underline{r}_{1W} \cdot \underline{r}_{2W}^{-1}$$

$$\underline{{}^1T_2} = (\underline{R} - \underline{r}_{1W})(\underline{r}_{u_1} \times \underline{r}_{v_1})(\underline{R} - \underline{r}_{2W})^{-1}(\underline{r}_{u_2} \times \underline{r}_{v_2})^{-1} \quad (4.3.39)$$

ceea ce este echivalent cu un sistem format de 6 ecuații scalare care permit calcularea celor 6 parametri independenți ai matricii de situare relativă ($x_{O2}, y_{O2}, z_{O2}, \cos(x_1, x_2), \cos(y_1, y_2), \cos(z_1, z_2)$).

Pentru acest punct de tangență ales W se calculează lungimea segmentului \overline{ST} dintre punctele de precizie ale celor două echipamente cu relația (4.3.37). Pentru alte puncte de tangență ale celor două suprafețe lungimea segmentului \overline{ST} se modifică corespunzător. În concluzie:

$$|\overline{ST}| = f(\overline{r}_{1W}, \overline{r}_{2W}) \quad (4.3.40)$$

Se va alege acea situatie relativă optimă a celor două echipamente pentru care lungimea segmentului $\overline{ST} (|l|)$ este minimă și pentru care se cunoaște matricea de situatie relativă 2T_1 (din relațiile 4.3.39).

Cu situarea relativă optimă a celor două echipamente trebuie să se verifice și condiția de neintersecție a spațiilor de coliziune instantanee a celor două componente în cursul transferului de material de la (1) la (2).

Pentru îndeplinirea acestei condiții se vor determina spațiile de coliziune statice și frontierele acestor spații, notate cu ϕ_{1st} și ϕ_{2st} , suprafețe definite în raport cu sistemele de referință $O_1x_1y_1z_1$ și $O_2x_2y_2z_2$.

Vectorii de poziție ai punctelor curente pe frontierele spațiilor de coliziune statice ale celor două echipamente sunt:

$$\overline{r_{1st}} = \overline{r_{1st}}(u_1, v_1) \quad \overline{r_{2st}} = \overline{r_{2st}}(u_2, v_2) \quad (4.3.41)$$

în care vectorii de poziție sunt exprimați în raport cu sistemele de referință atașate echipamentelor respective.

Prin transformare de coordonate, se exprimă situarea relativă a componentei 2 față de sistemul de referință (1) astfel:

$$\underline{{}^1r_{2st}} = ({}^1T_2)_{opt} \underline{r_{2st}} \quad (4.3.42)$$

Cunoscându-se funcționarea echipamentului 2 și mișcările subansamblelor mobile ale acestuia în cursul manipulării obiectului de lucru, se poate exprima frontiera spațiului de coliziune dinamic al echipamentului (2) în raport cu sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$:

$$\underline{{}^1r_{2d}} = ({}^1T_2)_{opt} \underline{{}^d T_{2st}} r_{2st} \quad (4.3.43)$$

în care $\underline{{}^d T_{2st}} = \underline{{}^d T_{2st}}(t)$ este legea de modificare a situației relative a frontierei spațiului de coliziune static ϕ_{2st} .

Verificarea neintersecției spațiilor de coliziune static al echipamentului (1) cu spațiul de coliziune dinamic al echipamentului (2) se realizează prin rezolvarea sistemului de ecuații matriciale (4.3.43') pentru momentul de timp $t=t_1$. Cea de-a doua ecuație exprimă frontiera spațiului de coliziune instantaneu pentru t_1 în raport cu sistemul de referință atașat echipamentului (1).

$$\underline{r_{1st}} = \underline{r_{1st}}(u_1, v_1)$$

$$\underline{{}^1r_{2d}} = \underline{{}^1r_{2d}}(u_2, v_2, t_1) \quad (4.3.43')$$

În urma rezolvării sistemului de ecuații matriciale se poate concluziona:

- dacă există soluții ale sistemului (4.3.43'), spațiile de coliziune în discuție se intersectează, ceea ce necesită modificarea situației relative a echipamentului (2) față de (1), deci a matricii $\underline{{}^1T_2}$;
- dacă nu există soluții ale sistemului (4.3.43'), spațiile de coliziune nu se intersectează, ceea ce validează corectitudinea situației relative optime a echipamentului (2) față de (1).

Dacă există subansamble mobile ale echipamentului (1) procesul de verificare se reia într-un mod similar cu cel prezentat mai sus, dar sistemul (4.3.43') devine:

$$\underline{{}^1r_{2st}} = (\underline{{}^1T_2})_{opt} \underline{r_{2st}}$$

$$\underline{r_{1d}} = \underline{{}^d T_{1st}} \underline{r_{1st}} \quad (4.3.43'')$$

unde $\underline{{}^d T_{1st}} = \underline{{}^d T_{1st}}(t)$ este legea de modificare a situației frontierei de coliziune statice a componentei (1).

4.3.5. Optimizarea planului de amplasament al stației de frezare a sistemului CIM Eshed-Robotec

Se prezintă în continuare un exemplu de aplicare concretă a modelului de optimizare a sintezei planului de amplasament pentru stația de frezare a sistemului CIM Eshed-Robotec prezentat în paragraful 2.7.1.

Situarea relativă actuală a echipamentelor stației de frezare este prezentată în figura 4.3.17.

În componența stației de frezare se identifică următoarele echipamente ale căror situație relativă trebuie optimizată:

- mașina de frezat EMCO F1-CNC, la care se atașează sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$ (figura 4.3.18a);
- robotul de manipulare ER V+ cu sistemul de referință atașat bazei $O_2x_2y_2z_2$ (figura 4.3.18b) și sistemul $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$ atașat axei de translație suplimentară a robotului;
- conveiorul pe care sunt montate posturile de așteptare și este poziționată stația de oprire a cărucioarelor cu sistemul de referință $O_3x_3y_3z_3$ (figura 4.3.18c).

Frontierele spațiilor de lucru ale echipamentelor mașina de frezat, robot și conveior sunt prezentate în figura 4.3.18 a, b și respectiv c.

Frontierele spațiului de lucru a mașinii de frezat, exprimate în raport cu sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$ sunt punctele A, B, C, D reprezentate în figura 4.3.18a:

$$\vec{r}_{A1}=[600, 300, 1000]; \vec{r}_{B1}=[600, 600, 1000]; \vec{r}_{C1}=[400, 600, 1000]; \vec{r}_{D1}=[400, 300, 1000] \quad (4.3.44)$$

unde valorile sunt exprimate în mm.

Frontiera spațiului de lucru a conveiorului este o dreaptă, al cărei ecuație vectorială în raport cu sistemul de referință $O_3x_3y_3z_3$ este:

$$\vec{r}_3=[\lambda_x, 0, 0] \quad (4.3.45)$$

unde λ_x este parametrul dreptei care trece prin originea sistemului de referință și are aceeași direcție cu axa O_3x_3 .

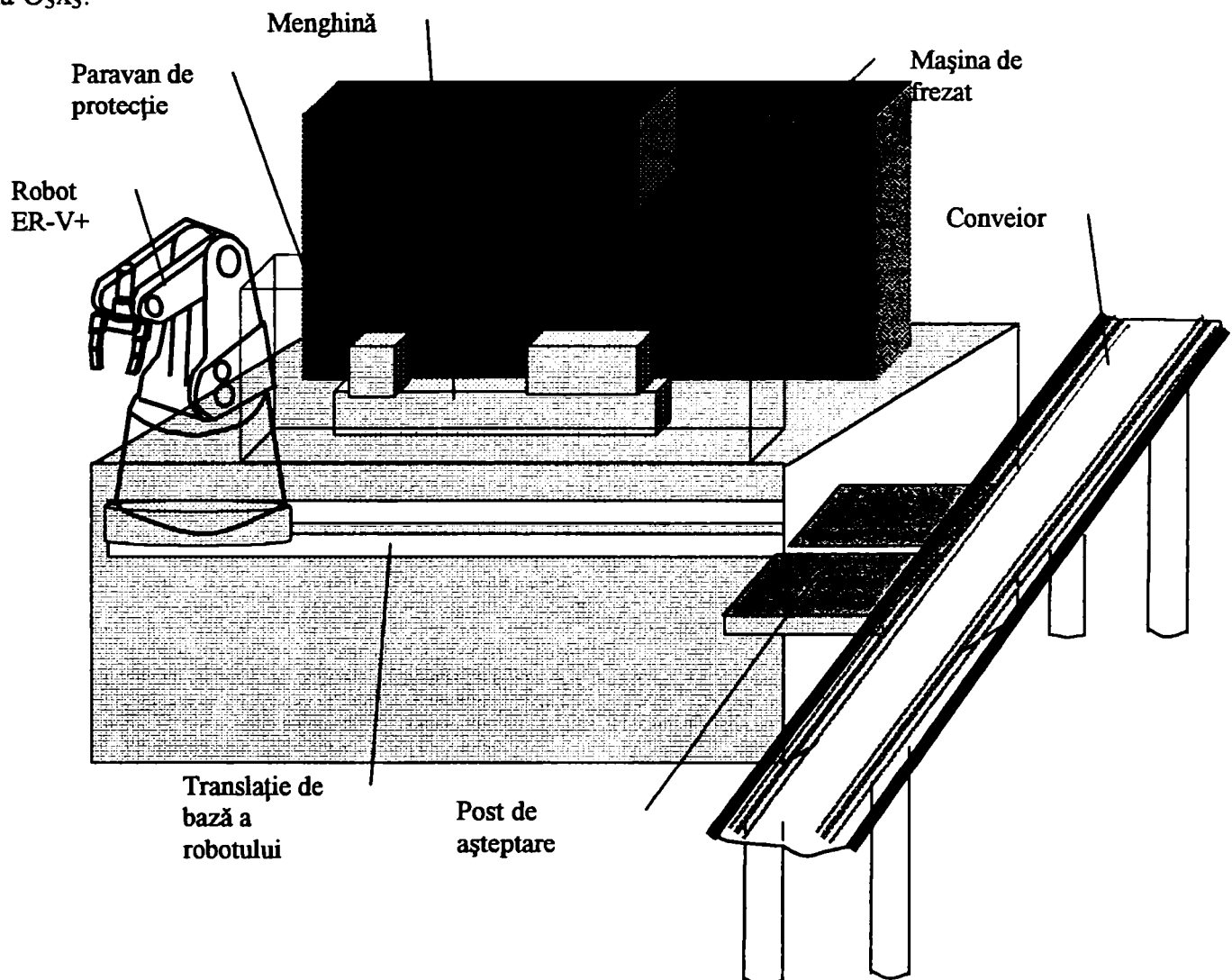


Figura 4.3.17. Amplasamentul actual al stației de frezare a sistemului CIM Eshed-Robotec

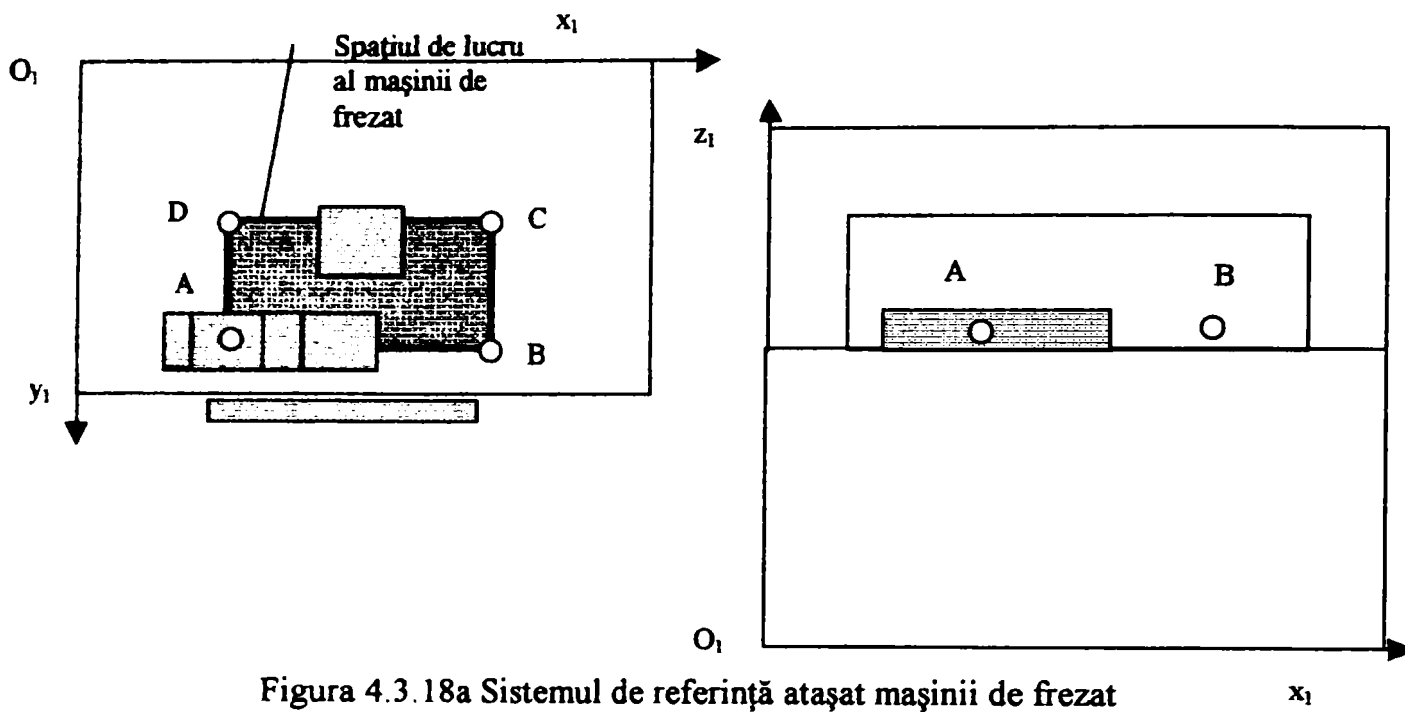


Figura 4.3.18a Sistemul de referință atașat mașinii de frezat

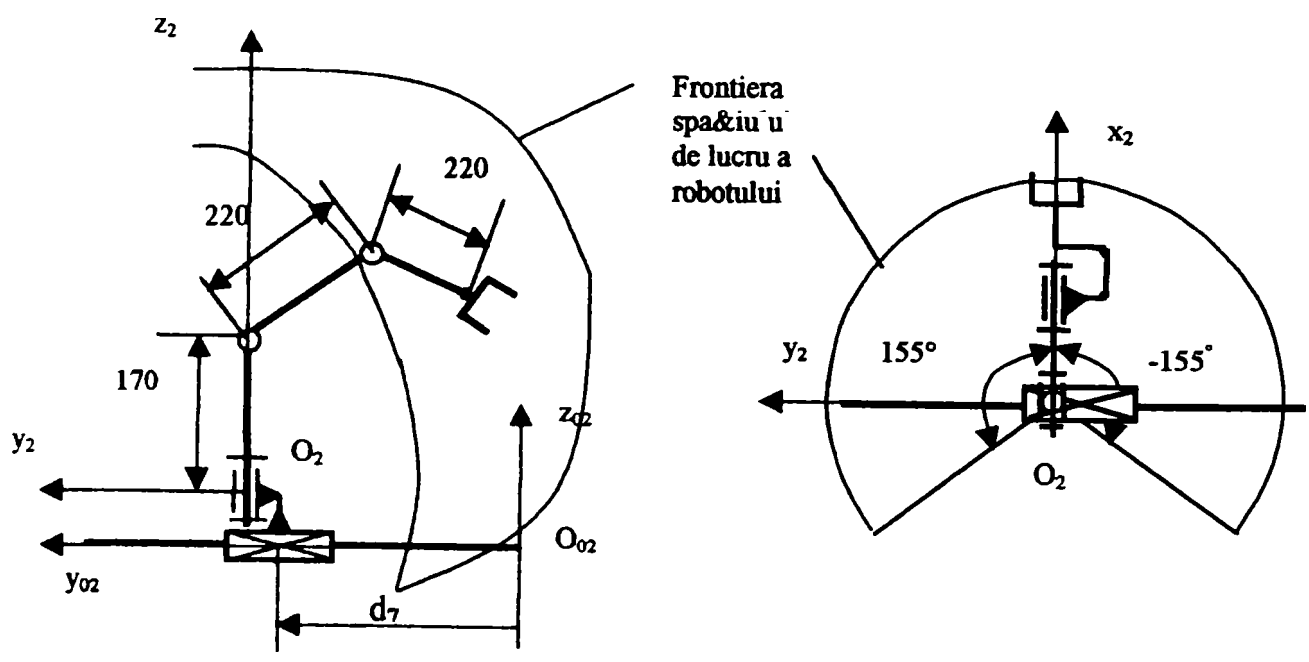


Figura 4.3.18b. Sistemul de referință atașat robotului ERV+

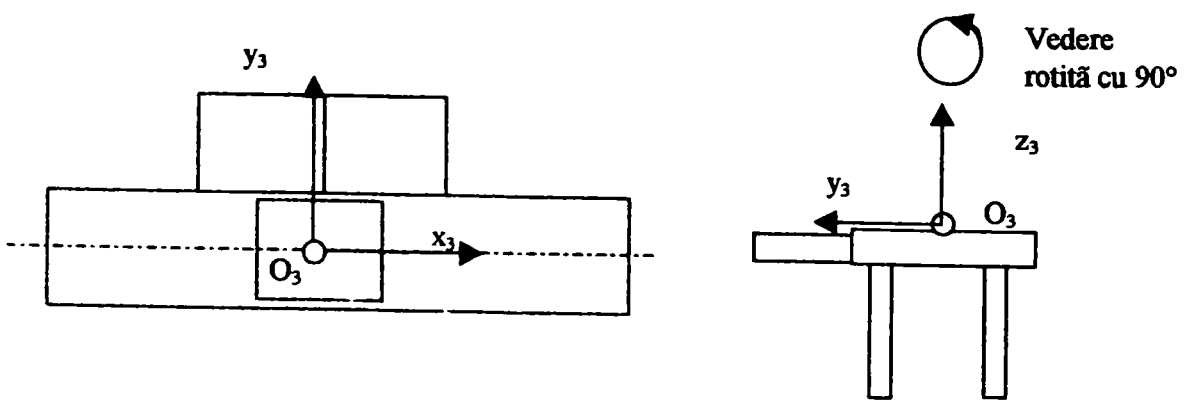


Figura 4.3.18c. Sistemul de referință atașat conveiorului

Ecuțiile frontierelor spațiului de lucru al robotului ER-V+, definite pe porțiuni, în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului (2) (figura 4.3.18b), sunt:

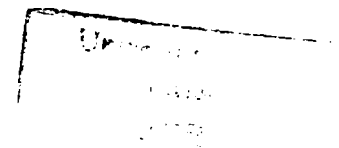
$$\begin{aligned}
 \overline{r_2^{(1)}} &= \begin{bmatrix} \cos(155^\circ)(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) \\ \sin(155^\circ)(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) \\ 220 \sin(\theta_2 + \theta_3) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \\
 \overline{r_2^{(2)}} &= \begin{bmatrix} (\cos(-155^\circ))(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) \\ (\sin(-155^\circ))(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) \\ 220 \sin(\theta_2 + \theta_3) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \quad \overline{r_2^{(3)}} = \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(\theta_3) + 220) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(\theta_3) + 220) \\ 220(\sin \theta_3) + 170 \end{bmatrix} \\
 \overline{r_2^{(4)}} &= \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_3) + 220 \cos(130^\circ)) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_3) + 220 \cos(130^\circ)) \\ 220 \sin(130^\circ + \theta_3) + 220 \sin(130^\circ) + 170 \end{bmatrix} \\
 \overline{r_2^{(5)}} &= \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) \\ 220 \sin(\theta_2 + 130^\circ) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \\
 \overline{r_2^{(6)}} &= \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(-130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(-130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) \\ 220 \sin(\theta_2 - 130^\circ) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \tag{4.3.46}
 \end{aligned}$$

unde $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ sunt parametrii poziționali relativi ai elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie al robotului și domeniul de variație maxim/minim al acestora este: $\theta_1 \in [-155^\circ, 155^\circ]$; $\theta_2 \in [0, 130^\circ]$; $\theta_3 \in [-130^\circ, 130^\circ]$.

Robotul ERV+ este montat pe un cărucior, care se deplasează o axă de translație lungă montată pe batiul mașinii de frezat și care constituie cea de-a 7-a cuplă cinematică (3 cuple cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie, 2 cuple cinematice conducătoare ale mecanismului de orientare, 1 axă comandată a dispozitivului de prehensiune a robotului și o cuplă cinematică a axei suplimentare de translație lungă).

Matricea de trecere a de la sistemul de referință atașat robotul (2) la sistemul atașat axei de translație lungă (02) este:

$$\overline{{}^{02}T_2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_7 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4.3.47}$$



unde d_7 este parametrul pozițional relativ de translație a elementelor celei de-a 7-a cuplă cinematice conducătoare a robotului.

Ecuțiile frontierelor pe porțiuni ale spațiului de lucru al robotului în raport cu sistemul de referință atașat axei de translație sunt:

$$\begin{aligned} \overline{r_{02}^{(1)}} &= \begin{bmatrix} \cos(155^\circ)(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) \\ \sin(155^\circ)(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) + d_7 \\ 220 \sin(\theta_2 + \theta_3) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \\ \overline{r_{02}^{(2)}} &= \begin{bmatrix} (\cos(-155^\circ))(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) \\ (\sin(-155^\circ))(220 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 220 \cos \theta_2) + d_7 \\ 220 \sin(\theta_2 + \theta_3) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \\ \overline{r_{02}^{(3)}} &= \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(\theta_3) + 220) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(\theta_3) + 220) + d_7 \\ 220(\sin \theta_3) + 170 \end{bmatrix} \\ \overline{r_{02}^{(4)}} &= \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_3) + 220 \cos(130^\circ)) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_3) + 220 \cos(130^\circ)) + d_7 \\ 220 \sin(130^\circ + \theta_3) + 220 \sin(130^\circ) + 170 \end{bmatrix} \\ \overline{r_{02}^{(5)}} &= \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) + d_7 \\ 220 \sin(\theta_2 + 130^\circ) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \\ \overline{r_{02}^{(6)}} &= \begin{bmatrix} (\cos \theta_1)(220 \cos(-130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) \\ (\sin \theta_1)(220 \cos(-130^\circ + \theta_2) + 220 \cos \theta_2) + d_7 \\ 220 \sin(\theta_2 - 130^\circ) + 220 \sin \theta_2 + 170 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.3.48)$$

În figura 4.3.19 se prezintă dimensiunile de gabarit (în mm) ale obiectelor de lucru manipulate și prelucrate în cadrul stației de frezare și sistemul de referință atașat acestora (4).

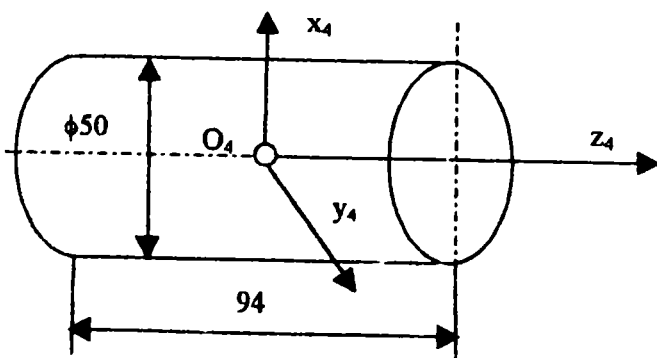


Figura 4.3.19. Sistemul de referință atașat obiectului de lucru

Dimensiunea de gabarit δ va fi: 54mm.

Pentru calculul frontierei echidistante a spațiului de lucru al robotului pe porțiuni (relația 4.3.25) este necesar să se calculeze modulul vectorului normal pe suprafață adică:

$$|\bar{r}_u \times \bar{r}_v| = \sqrt{\left(\frac{D(y,z)}{D(u,v)}\right)^2 + \left(\frac{D(z,x)}{D(u,v)}\right)^2 + \left(\frac{D(x,y)}{D(u,v)}\right)^2} \quad (4.3.49)$$

unde

$$\frac{D(y,z)}{D(u,v)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u} \\ \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{vmatrix}, \frac{D(z,x)}{D(u,v)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial z}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial u} \\ \frac{\partial z}{\partial v} & \frac{\partial x}{\partial v} \end{vmatrix}, \frac{D(x,y)}{D(u,v)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} \\ \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} \end{vmatrix} \quad \text{și}$$

$$\bar{r} = x(u,v)\bar{i} + y(u,v)\bar{j} + z(u,v)\bar{k}$$

In urma calculelor, se obțin expresiile ecuațiilor frontierelor echidistante ale spațiului de lucru al robotului, astfel:

$$\underline{r}_{ME}^{(1,2)} = \begin{bmatrix} 220 \cos(155^\circ)(\cos(\theta_2 + \theta_3) + \cos \theta_2) \mp \delta \sin(155^\circ) \\ \mp 220 \sin(155^\circ)(\cos(\theta_2 + \theta_3) + \cos \theta_2) + d_7 + \delta \cos(155^\circ) \\ 220(\sin(\theta_2 + \theta_3) + \sin \theta_2) + 170 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.50)$$

unde semnul + corespunde frontierei echidistante a porțiunii (1) a spațiului de lucru al robotului în raport cu sistemul de referință atașat axei de translație $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$, iar semnul – porțiunii (2) a aceleiași frontiere.

$$\underline{r}_{ME}^{(3,4)} = \begin{bmatrix} 220 \cos \theta_1 (\cos(a + \theta_3) + \cos a) - \delta \cos \theta_1 \cos(a + \theta_3) \\ 220 \sin \theta_1 (\cos(a + \theta_3) + \cos a) + d_7 - \delta \sin \theta_1 \cos(a + \theta_3) \\ 220(\sin(a + \theta_3) + \sin a) + 170 - \delta \sin(a + \theta_3) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.51)$$

unde, dacă $a=0$, relația (4.3.51) corespunde frontierei echidistante a spațiului de lucru al robotului pentru porțiunea notată cu (3), iar dacă $a=130^\circ$, (4.3.51) corespunde porțiunii (4) a aceleiași frontiere.

$$\underline{r}_{ME}^{(5,6)} = \begin{bmatrix} (\cos(\theta_2 \mp 130^\circ) + \cos \theta_2) \left(220 \cos \theta_1 - \frac{\delta \cos \theta_1}{2} \right) \\ (\cos(\theta_2 \mp 130^\circ) + \cos \theta_2) \left(220 \sin \theta_1 - \frac{\delta \sin \theta_1}{2} \right) + d_7 \\ (\sin(\theta_2 \mp 130^\circ) + \sin \theta_2) \left(220 - \frac{\delta}{2} \right) + 170 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.52)$$

unde semnul + corespunde porțiunii de frontieră echidistante notate cu (5), respectiv semnul – porțiunii (6).

Pentru optimizarea situației relative mașină de frezat-robot se propune o situație relativă a sistemelor de referință atașate celor două echipamente ca în figura 4.3.20.

Matricea de trecere de la sistemul de referință $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$ la sistemul de referință atașat mașinii de frezat $O_1x_1y_1z_1$ este în acest caz:

$${}^1T_{02} = \begin{bmatrix} \cos(180^\circ) & \cos(270^\circ) & \cos(90^\circ) & x_{O_{02}} \\ \cos(90^\circ) & \cos(180^\circ) & \cos(90^\circ) & y_{O_{02}} \\ \cos(90^\circ) & \cos(90^\circ) & \cos(0^\circ) & z_{O_{02}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & x_{O_{02}} \\ 0 & -1 & 0 & y_{O_{02}} \\ 0 & 0 & 1 & z_{O_{02}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.53)$$

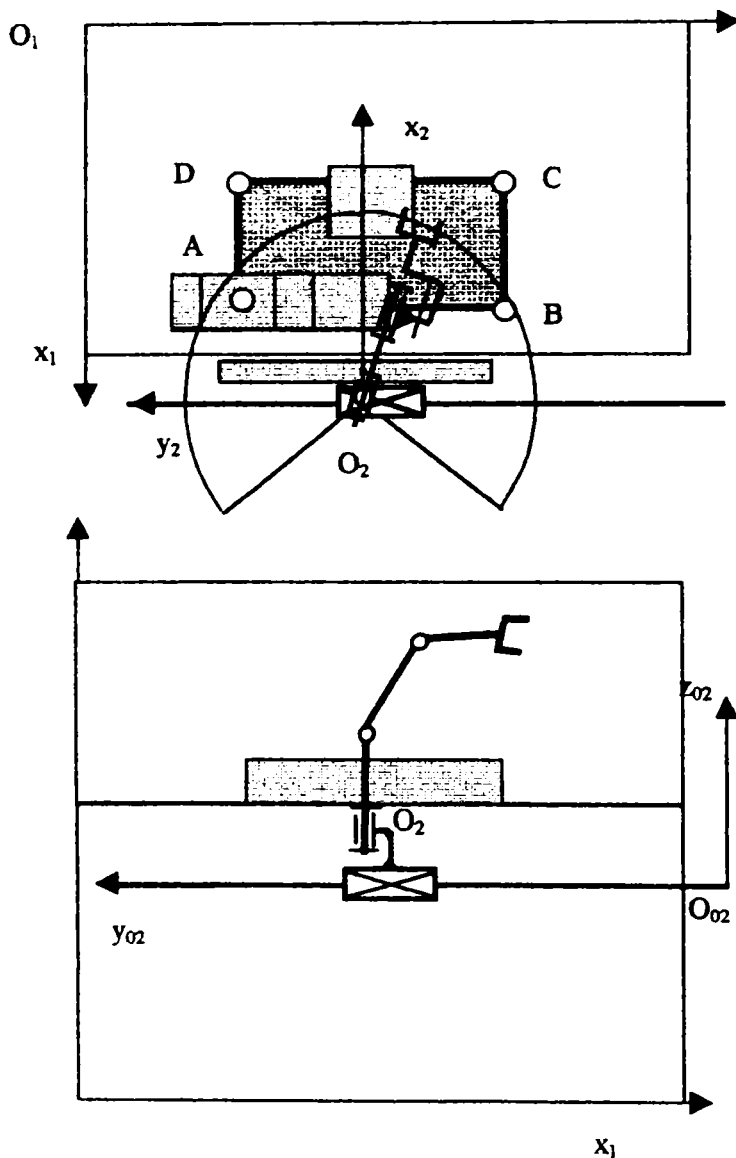


Figura 4.3.20. Situația relativă a robotului față de mașina de frezat

Vectorul de poziție al unui punct curent pe frontiera spațiului de lucru al mașinii de frezat (dreapta AB) în raport cu sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$ este:

$${}^1r_1 = [600; \lambda_y; 1000; 1]^T \quad (4.3.54)$$

Vectorul de poziție al unui punct curent de pe porțiunea de frontieră echidistantă (3) a spațiului de lucru al robotului în raport cu sistemul de referință $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$ este (4.3.51) în care $a=0$, iar în raport cu sistemul de referință atașat mașinii de frezat este:

$$\underline{{}^1r_{2E}^{(3)}} = \underline{{}^1T_2} \underline{{}^2r_{2E}^{(3)}} = \begin{bmatrix} x_{O_{02}} - 220 \cos \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) + \delta \cos \theta_1 \cos \theta_3 \\ y_{O_{02}} - 220 \sin \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) - d_7 + \delta \sin \theta_1 \cos \theta_3 \\ z_{O_{02}} + 220 \sin \theta_3 + 170 - \delta \sin \theta_3 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.55)$$

Din egalitatea relațiilor (4.3.54) și (4.3.55) rezultă un sistem de 3 ecuații:

$$\left. \begin{cases} x_{O_{02}} = 600 + 220 \cos \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_1 \cos \theta_3 \\ y_{O_{02}} = \lambda_y + 220 \sin \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) + d_7 - \delta \sin \theta_1 \cos \theta_3 \\ z_{O_{02}} = 1000 - 220 \sin \theta_3 - 170 + \delta \sin \theta_3 \end{cases} \right\} \quad (4.3.56)$$

unde $x_{O_{02}}$, $y_{O_{02}}$, $z_{O_{02}}$ sunt coordonatele originii sistemului de referință atașat axei de translație a robotului față de sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$, parametrul $\lambda_y \in [300, 600]$.

Pentru determinarea planului tangent la porțiunea (3) de frontieră echidistantă a spațiului de lucru al robotului în raport cu sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$, se va utiliza relația (4.3.55) care exprimă vectorul de poziție al punctului curent pe această suprafață față de sistemul de referință notat cu 1. Astfel, relația generică (4.3.21) devine în acest caz:

$$\begin{bmatrix} X - x & Y - y & Z - z \\ 220 \sin \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \sin \theta_1 \cos \theta_3 & -220 \cos \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) + \delta \cos \theta_1 \cos \theta_3 & 0 \\ \cos \theta_1 \sin \theta_3 (220 - \delta) & \sin \theta_1 \sin \theta_3 (220 - \delta) & \cos \theta_3 (220 - \delta) \end{bmatrix} = 0 \quad (4.3.57)$$

Ecuația planului tangent la porțiunea de frontieră echidistantă (3) a spațiului de lucru al robotului, dedusă din (4.3.57), este:

$$\begin{aligned} (220 - \delta)[(X - x)A + (Y - y)B + (Z - z)C] &= 0, \text{ unde} \\ A &= -220 \cos \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) + \delta \cos \theta_1 \cos^2 \theta_3 \\ B &= -220 \sin \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) + \delta \sin \theta_1 \cos^2 \theta_3 \\ C &= \sin \theta_3 [220(\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_3] \end{aligned} \quad (4.3.58)$$

Ecuația planului tangent la frontiera spațiului de lucru al mașinii de frezat (planul care conține dreapta AB și este paralel cu $O_2y_1z_1$) este:

$$x - 600 = 0 \quad (4.3.59)$$

Cele două plane tangente din ecuațiile (4.3.58) și (4.3.59) trebuie să se confunde în punctul de tangență (care se propune să fie punctul B de coordonate (600, 600, 1000)), ceea ce este echivalent cu proporționalitatea coeficienților ecuațiilor celor două plane, astfel:

$$A = k$$

$$B = 0$$

$$C = 0$$

$$-600A - 600B - 1000C = -600k$$

(4.3.60)

unde k este coeficientul de proporționalitate.

Relațiile (4.3.60) sunt echivalente cu:

$$\left\{ \begin{array}{l} -220\cos\theta_1 \cos\theta_3 (\cos\theta_3 + 1) + \delta \cos\theta_1 \cos^2 \theta_3 = k \\ -220\sin \theta_1 \cos\theta_3 (\cos\theta_3 + 1) + \delta \sin \theta_1 \cos^2 \theta_3 = 0 \\ \sin \theta_3 [220(\cos\theta_3 + 1) - \delta \cos\theta_3] = 0 \\ -220\cos\theta_1 \cos\theta_3 (\cos\theta_3 + 1) + \delta \cos\theta_1 \cos^2 \theta_3 - 220\sin \theta_1 \cos\theta_3 (\cos\theta_3 + 1) + \delta \sin \theta_1 \cos^2 \theta_3 + \\ + \frac{5}{3} [\sin \theta_3 [220(\cos\theta_3 + 1) - \delta \cos\theta_3]] = k \end{array} \right.$$

(4.3.61).

Sistemul de 7 ecuații format cu relațiile (4.3.56) și (4.3.61) are ca necunoscute x_{O02} , y_{O02} , z_{O02} , θ_1 , θ_3 , k , d_7 și s-au introdus ca parametrii: $\delta=54$, $\lambda_y=600$.

Rezolvarea acestui sistem de ecuații trigonometrice oferă soluțiile:

θ_1	θ_3	k	x_{O02}	y_{O02}	z_{O02}	d_7
0°	0°	-386	986 mm	1000 mm	830 mm	400 mm

Pentru optimizarea situației relative robot-conveior, se propune o situație relativă a sistemelor de referință atașate acestor echipamente ca în figura 4.3.21.

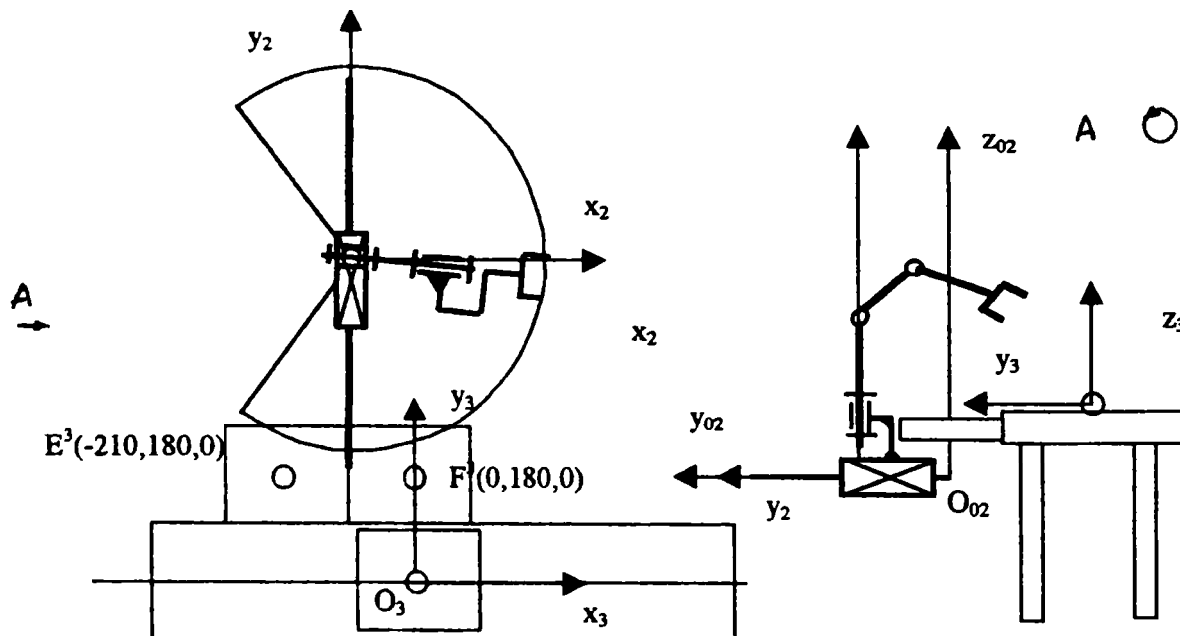


Figura 4.3.21. Situația relativă a robotului față de conveior

Matricea de trecere de la sistemul de referință $O_3x_3y_3z_3$ la sistemul de referință atașat axei de translație a robotului este în acest caz:

$$\underline{{}^{02}T_3} = \begin{bmatrix} \cos(0^\circ) & \cos(90^\circ) & \cos(90^\circ) & x_{O_3} \\ \cos(270^\circ) & \cos(0^\circ) & \cos(90^\circ) & y_{O_3} \\ \cos(90^\circ) & \cos(90^\circ) & \cos(0^\circ) & z_{O_3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_{O_3} \\ 0 & 1 & 0 & y_{O_3} \\ 0 & 0 & 1 & z_{O_3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.62)$$

Vectorul de poziție al unui punct curent pe porțiunea (3) de frontieră echidistantă a spațiului de lucru a robotului în raport cu sistemul de referință $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$ este exprimat în relația (4.3.51).

Vectorul de poziție al unui punct curent pe frontiera spațiului de lucru al conveiorului în raport cu sistemul de referință $O_3x_3y_3z_3$ este ${}^3I_3 = [\lambda_x; 0; 0; 1]^T$, iar în raport cu sistemul de referință $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$ este:

$$\underline{{}^{02}r_3} = \underline{{}^{02}T_3} {}^3r_3 = \begin{bmatrix} x_{O_3} + \lambda_x \\ y_{O_3} \\ z_{O_3} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.63)$$

Din egalitatea vectorilor de poziție a punctelor curente pe cele două suprafețe de frontieră, egalitatea relațiilor (4.3.51) și (4.3.63) rezultă un sistem de 3 ecuații:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{O_3} = -\lambda_x + 220 \cos \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_1 \cos \theta_3 \\ y_{O_3} = 220 \sin \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) + d_7 - \delta \sin \theta_1 \cos \theta_3 \\ z_{O_3} = 220 \sin \theta_3 - 170 - \delta \sin \theta_3 \end{array} \right. \quad (4.3.64)$$

unde x_{O_3} , y_{O_3} , z_{O_3} sunt coordonatele originii sistemului de referință atașat conveiorului în raport cu sistemul de referință $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$, parametrul $\lambda_x \in (-500, 500)$.

Ecuatia planului tangent la porțiunea de frontieră (3) echidistantă a spațiului de lucru al robotului în raport cu sistemul de referință atașat axei de translație a robotului se deduce din:

$$\left[\begin{array}{ccc} X - x & Y - y & Z - z \\ -220 \sin \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) + \delta \sin \theta_1 \cos \theta_3 & 220 \cos \theta_1 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_1 \cos \theta_3 & 0 \\ -\cos \theta_1 \sin \theta_3 (220 - \delta) & -\sin \theta_1 \sin \theta_3 (220 - \delta) & \cos \theta_3 (220 - \delta) \end{array} \right] = 0$$

(4.3.65) și este:

$$(220 - \delta)[(X - x)A' + (Y - y)B' + (Z - z)C'] = 0, \text{ unde}$$

$$A' = 220 \cos \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_1 \cos^2 \theta_3 \quad (4.3.66)$$

$$B' = 220 \sin \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \sin \theta_1 \cos^2 \theta_3$$

$$C' = \sin \theta_3 [220(\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_3]$$

Ecuția planului tangent la frontiera spațiului de lucru al conveiorului în raport cu sistemul de referință $O_{02}x_{02}y_{02}z_{02}$ este:

$$y + y_{03} = 0 \quad (4.3.67)$$

Se propune ca punctul de tangență a celor două suprafețe de frontieră, a robotului și respectiv a conveiorului, să fie punctul de coordonate $(200, -440 + \delta, 170)$ în raport cu sistemul de referință atașat axei de translație.

Relațiile de proporționalitate a coeficienților ecuațiilor celor două plane tangente la suprafețele de frontieră sunt:

$$A' = 0$$

$$B' = k'$$

$$C' = 0$$

$$-200A' + (440 - \delta)B' - 170C' = y_{03}k'$$

$$(4.3.68)$$

ceea ce este echivalent cu:

$$220 \cos \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_1 \cos^2 \theta_3 = 0$$

$$220 \sin \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \sin \theta_1 \cos^2 \theta_3 = k'$$

$$\sin \theta_3 [220(\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_3] = 0$$

$$-200(220 \cos \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_1 \cos^2 \theta_3) + (440 - \delta)$$

$$(220 \sin \theta_1 \cos \theta_3 (\cos \theta_3 + 1) - \delta \sin \theta_1 \cos^2 \theta_3) - 170(\sin \theta_3 [220(\cos \theta_3 + 1) - \delta \cos \theta_3]) = (y_{03})k'$$

$$(4.3.69)$$

Sistemul de 7 ecuații format cu relațiile (4.3.64) și (4.3.69) are ca necunoscute x_{03} , y_{03} , z_{03} , θ_1 , θ_3 , k' , d_7 și ca parametri $\delta=54$, $\lambda_x=200$.

Acest sistem de ecuații are soluțiile:

θ_1	θ_3	k	x_{03}	y_{03}	z_{03}	d_7
-90°	0°	-386	200 mm	-386 mm	50 mm	0 mm

Matricea de trecere de la sistemul de referință $O_3x_3y_3z_3$ atașat conveiorului la sistemul de referință atașat mașinii de frezat $O_1x_1y_1z_1$ este:

$${}^1T_3 = {}^1T_{O_2} {}^{O_2}T_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 986 \\ 0 & -1 & 0 & 1000 \\ 0 & 0 & 1 & 830 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 200 \\ 0 & 1 & 0 & -386 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 786 \\ 0 & -1 & 0 & 1386 \\ 0 & 0 & 1 & 830 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.70)$$

Coordonatele originii sistemului de referință atașat conveiorului O_3 față de sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$ sunt (786, 1386, 880). Situația relativă a robotului și conveiorului în raport cu sistemul de referință atașat mașinii de frezat este reprezentat în figura 4.3.22a (vedere de sus) și b (vedere din față).

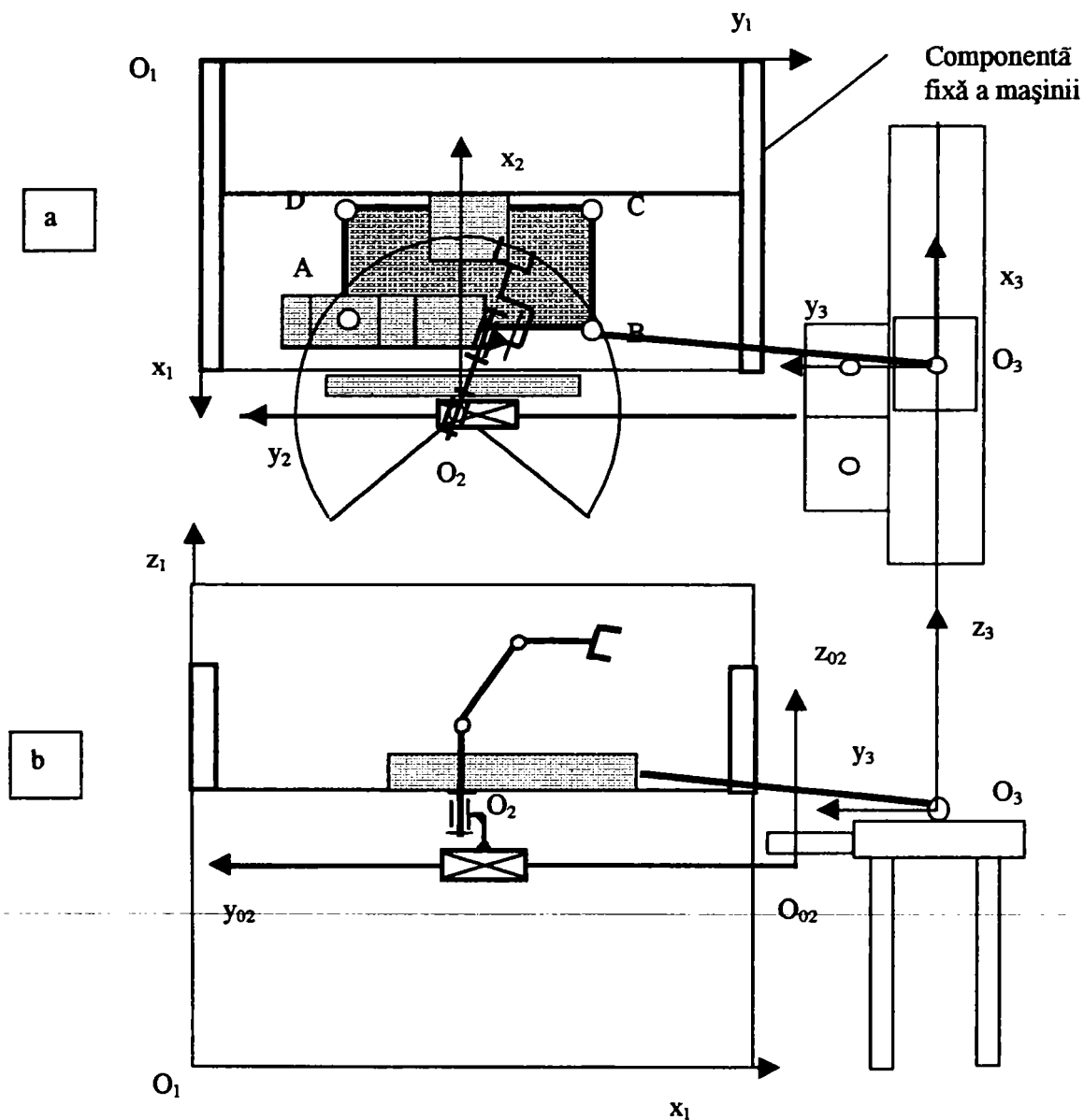


Figura 4.3.22. Situația relativă a robotului și conveiorului față de mașina de frezat a-vedere de sus, b- vedere din față

Situarea relativă (din figura 4.3.22) a componentelor permite accesul la mașina de frezat a operatorilor umani (în cazul de față al studenților), ceea ce a constituit criteriul decisiv de alegere a acestei variante.

Se alege punctul “start” S punctul O_3 (786, 1386, 880) și “țintă” T punctul B (600,600,1000). Lungimea traiectoriei punctului caracteristic atașat obiectului de lucru din poziția S în poziția T este:

$$|{}^1l| = |ST| = |{}^1r_S - {}^1r_T| = \sqrt{(x_S - x_T)^2 + (y_S - y_T)^2 + (z_S - z_T)^2} = 837,48mm \quad (4.3.71)$$

Dacă s-ar fi ales ca “țintă” punctul A (600,300,1000), $|ST| = 1108,07$ mm, ceea ce constituie o lungire a traiectoriei punctului caracteristic al obiectului de lucru cu 270,5mm față de varianta $T \equiv B$.

Se observă că prin parcurgerea traiectoriei \overline{ST} de către punctul caracteristic al obiectului de lucru, spațiul de coliziune instantaneu al robotului, pentru mai multe momente, se intersectează cu spațiul de coliziune static al mașinii de frezat.

Fie spațiul de coliziune static al obiectului de lucru care a fost prezentat în figura 4.3.19 și spațiul de coliziune al degetelor dispozitivului de prehensiune al robotului, format din mai multe porțiuni, așa cum este schițat în figura 4.4.23.

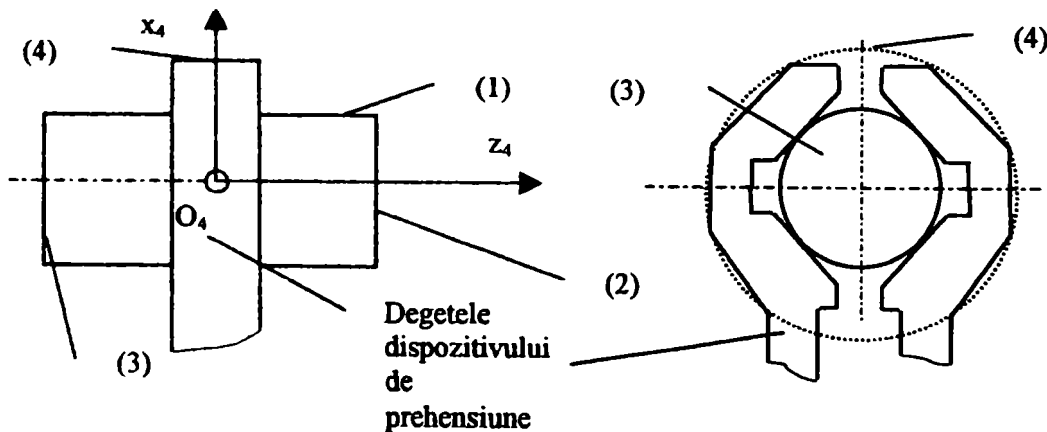


Figura 4.3.23. Spațiile de coliziune statice ale obiectului de lucru și ale degetelor dispozitivului de prehensiune ale robotului

Pentru porțiunile (1), (2), (3) (4), frontierele spațiilor de coliziune statice sunt:

$$\begin{aligned} {}^4r^{(1)} &= [25\cos\varphi; 25\sin\varphi; h_1; 1] \\ {}^4r^{(2)} &= [\rho\cos\varphi; \rho\sin\varphi; +47; 1]; \quad {}^4r^{(3)} = [\rho\cos\varphi; \rho\sin\varphi; -47; 1]; \quad {}^4r^{(4)} = [35\cos\varphi; 35\sin\varphi; h_2; 1] \end{aligned} \quad (4.3.72)$$

unde $\rho \in [0, 25]$, $\varphi \in [0, 2\pi)$ și $h_1 \in [-47, 47]$, $h_2 \in [-10, 10]$, dacă suprafața exterioară a degetelor dispozitivului de prehensiune se aproximează cu o suprafață cilindrică de rază 35 mm.

Se propune ca traiectoria \overline{ST} să fie descompusă în 4 segmente de traiectorie ST_1 , T_1T_2 , T_2T_3 , T_3T , așa cum este prezentat în figura 4.3.24, pentru a se evita intersecția dintre spațiul de coliziune dinamic al robotului și al obiectului de lucru manipulat și spațiul de coliziune static al mașinii de frezat.

În (4.3.43) s-a prezentat relația generică de determinare a frontierei spațiului de coliziune dinamic, care în raport cu sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$, devine:

$$\underline{{}^1r^{(1,2,3,4)}_{4d}} = (\underline{{}^1T_{02} \quad {}^{02}T_4})_{opt} \underline{{}^d T_{4st}} \underline{{}^4r^{(1,2,3,4)}} \quad (4.3.73)$$

unde ${}^{02}T_4$ este matricea de trecere de la sistemul de referință atașat obiectului de lucru din dispozitivul de prehensiune al robotului la sistemul de referință atașat axei de translație a robotului și $\underline{{}^d T_{4st}}$ este matricea de trecere de la sistemul de referință "static" la cel în mișcare relativă (dinamic).

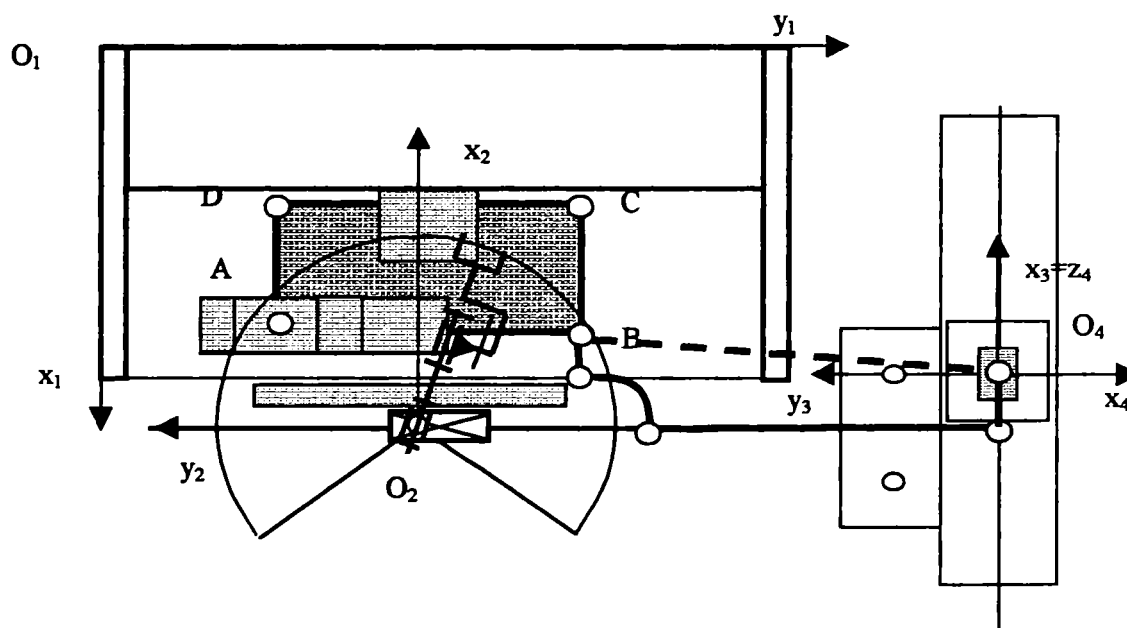


Figura 4.3.24. Posibilă traiectorie a punctului caracteristic al obiectului de lucru pentru evitarea intersecției spațiilor de coliziune instantanee

Matricea de trecere de la sistemul de referință atașat obiectului în situația sa inițială la sistemul de referință atașat obiectului în mișcare relativă $\underline{{}^d T_{4st}}$ este în caz general:

$$\underline{{}^d T_{4st}} = \begin{bmatrix} n_x(t) & o_x(t) & a_x(t) & x_{O_4}(t) \\ n_y(t) & o_y(t) & a_y(t) & y_{O_4}(t) \\ n_z(t) & o_z(t) & a_z(t) & z_{O_4}(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.74)$$

unde $n_x(t)$, $n_y(t)$, ... $a_x(t)$, $a_y(t)$, $a_z(t)$ sunt elementele submatricii de orientare a obiectului manipulat în raport cu sistemul de referință considerat fix $O_1x_1y_1z_1$ și $x_{O4}(t)$, $y_{O4}(t)$, $z_{O4}(t)$ sunt coordonatele originii sistemului de referință atașat obiectului de lucru; aceste elemente ale matricii sunt funcții de timp, pentru că în cursul manipulării, se modifică permanent situarea obiectului în raport cu sistemul de referință considerat fix.

Dacă se consideră că în cursul manipulării obiectului de lucru nu se modifică orientarea obiectului ci numai poziționarea acestuia, relația (4.3.74), pentru segmentele de traiectorie precizate mai sus, devine (cu notațiile din figura 4.3.25):

- pentru segmentul de traiectorie $S\bar{T}_1$:

$$\frac{dT_{st}}{dt} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -v_z t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.75)$$

- pentru segmentul de traiectorie $\bar{T}_1\bar{T}_2$:

$$\frac{dT_{st}}{dt} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -v_x t \\ 0 & 1 & 0 & -v_y t \\ 0 & 0 & 1 & -s_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.75')$$

- pentru segmentul $\bar{T}_2\bar{T}_3$:

$$\frac{dT_{st}}{dt} = \begin{bmatrix} \cos \omega_y t & 0 & \sin \omega_y t & -s_x - r(1 - \cos \omega_y t) \\ 0 & 1 & 0 & -s_y \\ -\sin \omega_y t & 0 & \cos \omega_y t & -s_z + r \sin \omega_y t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.75'')$$

- pentru segmentul $\bar{T}_3\bar{T}$:

$$\frac{dT_{st}}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -s_x - r \\ 0 & 1 & 0 & -s_y \\ -1 & 0 & 0 & -s_z + v_z t + r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.75''')$$

unde v_x , v_z , v_y , ω_y sunt vitezele generalizate de deplasare ale punctului caracteristic atașat obiectului de lucru în raport cu sistemul de referință $O_4x_4y_4z_4$, s_x , s_y , s_z , s'_z sunt cursele pe axele corespunzătoare astfel încât $-s_x - r = 1386 - 600$; $-s_y = 950 - 1200$; $-s_z + s'_z + r = 786 - 600$ [mm],

$0 < \omega t < \Pi/2$. Explicațiile detaliate cu privire la deplasările obiectului de lucru din situația inițială în cea finală sunt prezentate în figura 4.3.25.

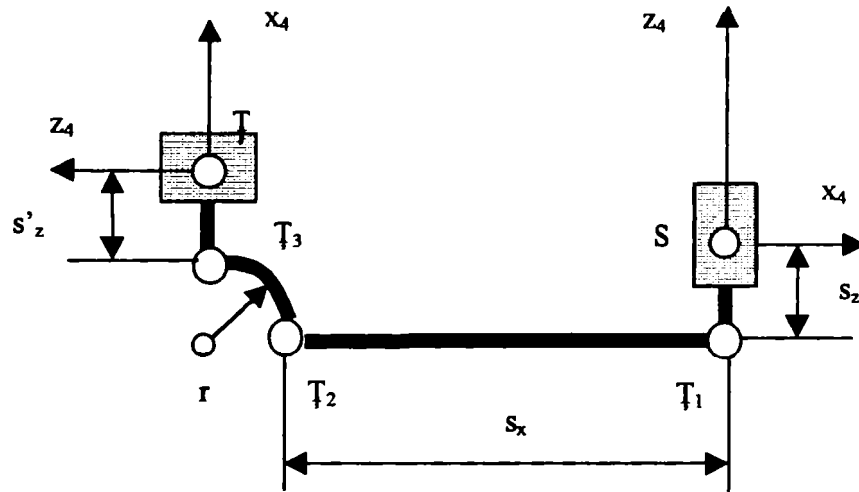


Figura 4.3.25. Detalierea posibilei traiectorii a punctului caracteristic al obiectului de lucru pentru

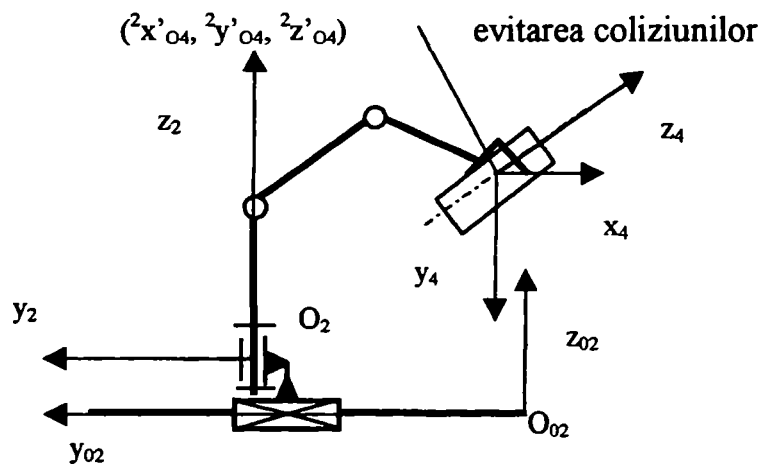


Figura 4.3.26. Situația relativă particulară a sistemului de referință atașat axei de translație a robotului față de sistemul de referință atașat obiectului de lucru

Matricea de trecere de la sistemul de referință $O_4x_4y_4z_4$ la sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$ este:

$$\begin{aligned}
 {}^1T_4 &= {}^1T_{O2} {}^{O2}T_2 {}^2T_4 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 986 \\ 0 & -1 & 0 & 1000 \\ 0 & 0 & 1 & 830 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_7 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{ox} & o_{ox} & a_{ox} & x'_{O_4} \\ n_{oy} & o_{oy} & a_{oy} & y'_{O_4} \\ n_{oz} & o_{oz} & a_{oz} & z_{O_4} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} -n_{ox} & -o_{ox} & -a_{ox} & -x'_{O_4} + 986 \\ -n_{oy} & -o_{oy} & -a_{oy} & -y'_{O_4} + 1000 - d_7 \\ n_{oz} & o_{oz} & a_{oz} & z'_{O_4} + 830 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.76)
 \end{aligned}$$

unde $n_{ox}, n_{oy}, \dots, a_{ox}, a_{oy}, a_{oz}$ sunt elementele submatricii de orientare a obiectului de lucru în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului, $x'_{O_4}, y'_{O_4}, z'_{O_4}$ sunt coordonatele originii sistemului de referință atașat obiectului de lucru în raport cu același sistem de referință $O_2x_2y_2z_2$. Pentru poziția particulară a obiectului de lucru (și sistemului de referință) prezentată în figura 4.3.26, matricea de trecere 1T_4 este:

$${}^1T_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -x'_{O_4} + 986 \\ 1 & 0 & 0 & -y'_{O_4} + 1000 - d_7 \\ 0 & 1 & 0 & z'_{O_4} + 830 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3.76')$$

Vectorul de poziție al unui punct curent al porțiunii (1) a frontierei spațiului de coliziune dinamic al obiectului de lucru și al degetelor dispozitivului de prehensiune, în raport cu sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$, pentru cele 4 segmente de traiectorie și pentru poziția particulară a obiectului de lucru, este:

pentru segmentul de traiectorie ST_1 :

$$\begin{aligned} \underline{{}^1r^{(1)}_{4d}} &= ({}^1T_4) {}^d T_{st} {}^4r^{(1)} = \begin{bmatrix} -h_1 - x'_{O_4} + 986 + v_z t \\ 25 \cos \varphi - y'_{O_4} + 1000 - d_7 \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 \\ 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} -h_1 - x'_{O_4} + 986 \\ 25 \cos \varphi - y'_{O_4} + 1000 - d_7 \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 \\ 1 \end{bmatrix}_{t=0} = \begin{bmatrix} -h_1 - x'_{O_4} + 986 + s_z \\ 25 \cos \varphi - y'_{O_4} + 1000 - d_7 \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 \\ 1 \end{bmatrix}_{t=t_1} \end{aligned} \quad (4.3.77)$$

pentru segmentul de traiectorie T_1T_2 :

$$\begin{aligned} \underline{{}^1r^{(1)}_{4d}} &= \begin{bmatrix} -h_1 - x'_{O_4} + 986 + s_z \\ 25 \cos \varphi - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - v_x t \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 - v_y t \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_1 - x'_{O_4} + 986 + s_z \\ 25 \cos \varphi - y'_{O_4} + 1000 - d_7 \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 \\ 1 \end{bmatrix}_{t=0} \\ &= \begin{bmatrix} -h_1 - x'_{O_4} + 986 + s_z \\ 25 \cos \varphi - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - s_x \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 - s_y \\ 1 \end{bmatrix}_{t=t_2} \end{aligned} \quad (4.3.77')$$

pentru segmentul de traiectorie T_2T_3 :

$$\begin{aligned}
 \underline{{}^1r}_{4d}^{(1)} &= \begin{bmatrix} 25 \sin \omega_y t \cos \varphi - h_1 \cos \omega_y t - x'_{O_4} + 986 + s_z - r \sin \omega_y t \\ 25 \cos \varphi \cos \omega_y t + h_1 \sin \omega_y t - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - s_x - r(1 - \cos \omega_y t) \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 - s_y \\ 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} -h_1 - x'_{O_4} + 986 + s_z \\ 25 \cos \varphi - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - s_x \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 - s_y \\ 1 \end{bmatrix}_{t=0} = \begin{bmatrix} 25 \cos \varphi - x'_{O_4} + 986 + s_z - r \\ h_1 - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - s_x - r \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 - s_y \\ 1 \end{bmatrix}_{t=t_3} \quad (4.3.77'')
 \end{aligned}$$

pentru segmentul de traiectorie $\mathbb{T}_3\mathbb{T}$:

$$\begin{aligned}
 \underline{{}^1r}_{4d}^{(1)} &= \begin{bmatrix} 25 \cos \varphi + s_z - v_z t - r - x'_{O_4} + 986 \\ h_1 - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - s_x - r \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 + s_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 \cos \varphi + s_z - r - x'_{O_4} + 986 \\ h_1 - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - s_x - r \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 - s_y \\ 1 \end{bmatrix}_{t=0} \\
 &= \begin{bmatrix} 25 \cos \varphi + s_z - s'_z - r - x'_{O_4} + 986 \\ h_1 - y'_{O_4} + 1000 - d_7 - s_x - r \\ 25 \sin \varphi + z'_{O_4} + 830 - s_y \\ 1 \end{bmatrix}_{t=t_4} \quad (4.3.77''')
 \end{aligned}$$

Se propun următoarele coordonate ale pozițiilor punctelor $S, \mathbb{T}_1, \mathbb{T}_2, \mathbb{T}_3, \mathbb{T}$ în raport cu sistemul de referință $O_1x_1y_1z_1$ pentru care nu se realizează intersecția spațiilor de coliziune dinamice ale robotului și obiectului de lucru manipulat și spațiile de coliziune statice ale conveiorului și mașinii de frezat:

$S=(786, 1386, 950)$; $\mathbb{T}_1=(986, 1386, 950)$; $\mathbb{T}_2=(986, 700, 1200)$, $\mathbb{T}_3=(886, 600, 1200)$, $\mathbb{T}=(600, 600, 1200)$.

Vectorii de poziție ai punctului caracteristic atașat obiectului de lucru deduși din expresiile vectorilor de poziție ai porțiunii (1) a frontierei spațiului de coliziune dinamic al obiectului de lucru pe traiectorie sunt:

Pentru segmentul de traiectorie $S\mathbb{T}_1$:

$$\underline{{}^1r}_S = \underline{{}^1r}_{4d}^{(1)}_{pentru t=0} = [-200 + 986 \quad -(-386) + 1000 \quad 120 + 830 \quad 1]^T$$

unde $x'_{O_4}=200$, $d_7=0$, $y_{O_4}=-386$, $z_{O_4}=120$.

$$\underline{{}^1r}_{\mathbb{T}_1} = \underline{{}^1r}_{4d}^{(1)}_{pentru t=t_1} = [-200 + 986 + 200 \quad -(-386) + 1000 \quad 120 + 830 \quad 1]^T$$

unde $s_z=200$ mm.

Pentru segmentul de traiectorie T_1T_2 :

$$\underline{{}^1r_{T_1}} = \frac{{}^1r^{(1)}}{4d_{pentru t=0}} = \begin{bmatrix} -200 + 986 + 200 & -(-386) + 1000 & 120 + 830 & 1 \end{bmatrix}^T$$

$$\underline{{}^1r_{T_2}} = \frac{{}^1r^{(1)}}{4d_{pentru t=2}} = \begin{bmatrix} -200 + 986 + 200 & 386 + 1000 - 186 - 500 & 120 + 830 - (-250) & 1 \end{bmatrix}^T$$

unde $s_x=186$, $d_7= 500$, $s_y=-250$ mm.

Pentru segmentul de traiectorie T_2T_3 :

$$\underline{{}^1r_{T_2}} = \frac{{}^1r^{(1)}}{4d_{pentru t=0}} = \begin{bmatrix} -200 + 986 + 200 & -386 + 1000 - 186 - 500 & 250 + 120 + 830 & 1 \end{bmatrix}^T$$

$$\underline{{}^1r_{T_3}} = \frac{{}^1r^{(1)}}{4d_{pentru t=3}} = \begin{bmatrix} 200 - 100 - 200 + 986 \\ -186 - 100 + 386 + 1000 - 500 \\ 250 + 120 + 830 \\ 1 \end{bmatrix}^T$$

unde $r=100$ mm.

Pentru segmentul de traiectorie T_3T :

$$\underline{{}^1r_{T_3}} = \frac{{}^1r^{(1)}}{4d_{pentru t=0}} = \begin{bmatrix} 200 - 100 - 200 + 986 \\ -186 - 100 + 386 + 1000 - 500 \\ 250 + 120 + 830 \\ 1 \end{bmatrix}^T$$

$$\underline{{}^1r_{T_3}} = \frac{{}^1r^{(1)}}{4d_{pentru t=4}} = \begin{bmatrix} -200 - 286 - 100 + 200 + 986 \\ -186 - 100 + 386 + 1000 - 500 \\ 250 + 120 + 830 \\ 1 \end{bmatrix}^T \text{ unde } s'_z=286\text{mm.}$$

Se verifică faptul că vectorii de poziție corespunzători originii sistemului de referință $O_4x_4y_4z_4$ (deduși din expresiile lui $\underline{{}^1r_{S, T_1, T_2, T_3, T}}$) sunt identici cu vectorii de poziție ai punctelor S, T_1, T_2, T_3, T pentru care s-au impus valori parametrilor de deplasare relativă: $s_x, s_y, s_z, s'_z, \omega_y, r$.

In concluzie, optimizarea planului de amplasament al unui SFF se realizează în următoarele etape:

- se determină situarea relativă a componentelor de manipulare față de mașinile de lucru și echipamentele pe care le servește din condițiile prezentate mai sus (situarea relativă a robotului față de mașina de frezat și a robotului față de conveior);

- se determină situarea relativă a tuturor componentelor care formează o stație de lucru pentru care lungimile traiectoriilor punctului caracteristic atașat obiectului de lucru sunt minime;
- se determină spațiile de coliziune dinamice ale componentelor în mișcare în cursul funcționării acestora;
- se verifică neintersecția spațiilor de coliziune instantanee cu spațiile de coliziune statice ale echipamentelor stațiilor de lucru.

In figura 4.3.27 se prezintă schema logică a procesului de optimizare a planului de amplasament al SFF.

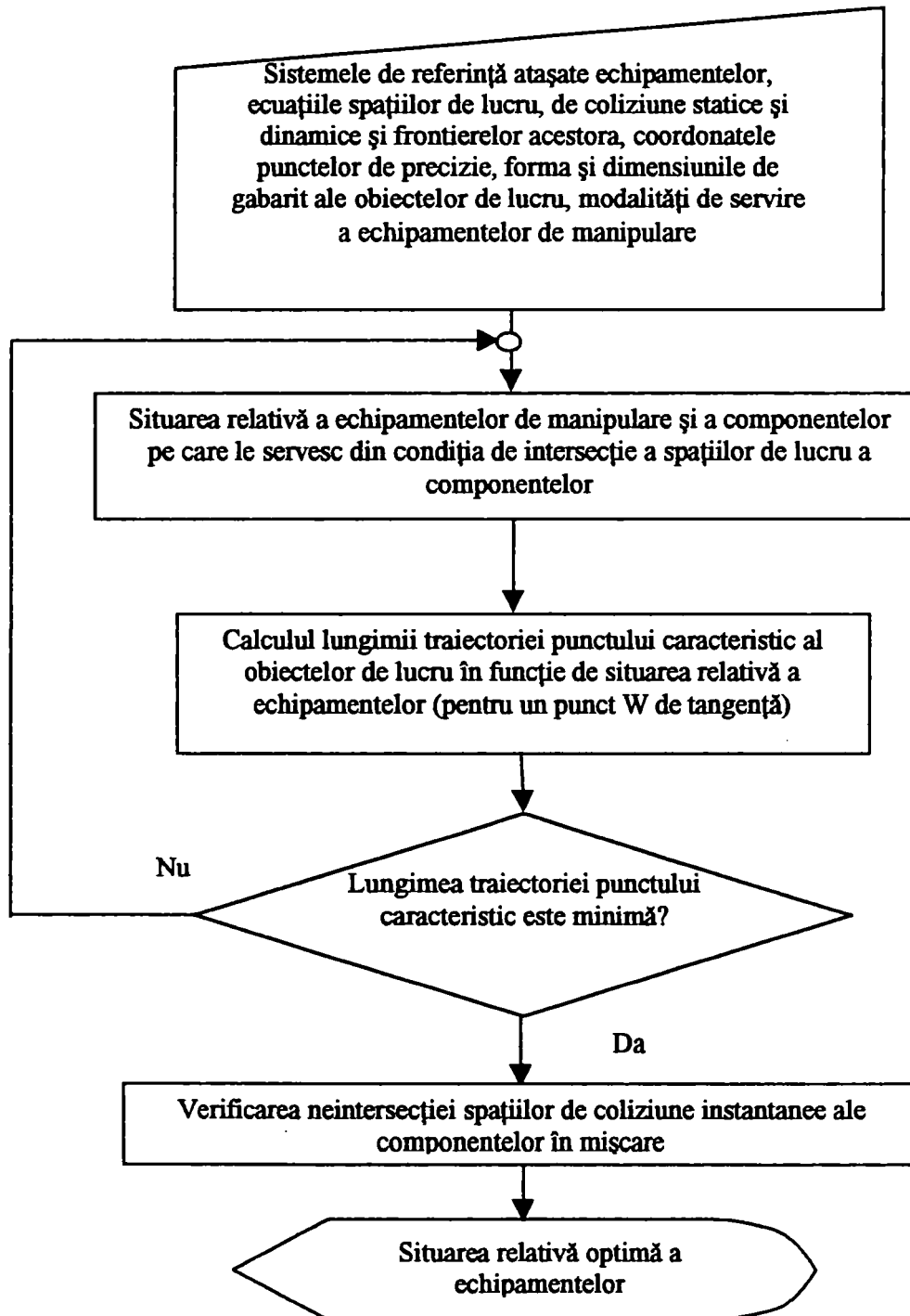


Figura 4.3.27. Ordinograma optimizării “layout”-ului SFF

4.4. Contribuții la sinteza optimală a ciclogramei de funcționare a SFF

4.4.1. Definiția ciclogramei și scopul sintezei acesteia

Un sistem de fabricație flexibilă este un sistem capabil să execute în mod automat un spectru discret de sarcini de fabricație. Pentru realizarea acestor sarcini, componentele sistemului desfășoară operații de prelucrare și manipulare într-o succesiune determinată de programul de comandă al SFF.

Operația de prelucrare, [Kov'94, pag.3] executată la o stație sau un post de lucru, este activitatea în cursul căreia se modifică una sau mai multe dintre caracteristicile de: formă, dimensiuni, stare de agregare, constituență, proprietăți fizice și chimice, aspect al suprafețelor obiectului de lucru.

O operație de manipulare efectuată de un echipament este activitatea sau suma activităților pe care le execută acesta, potrivit funcției sale din sistem, pentru a realiza la un moment dat modificarea comandată a situației obiectului de lucru.

Activitatea unui echipament de prelucrare constă în acțiunea nemijlocită a sculelor asupra piesei în scopul schimbării controlate a caracteristicilor acesteia. Cuplul activ sculă-piesă este acționat de fluxul de energie și comandat de fluxul de informații care intră la echipamentul de prelucrare.

Se definește activitatea unui echipament de manipulare ca fiind totalitatea acțiunilor controlate de schimbare a stării de mișcare și de modificare în timp a situației subansamblelor acestuia, care determină la rândul lor îndeplinirea condițiilor pentru pornirea activității unei/unor alte componente ale sistemului.

Componenta luată în considerare în sinteza ciclogramei de funcționare a unui sistem este subsistemul format din echipamente, echipamentul sau subansamblul unui echipament care desfășoară activități comandate la momente determinate de timp.

Mișcările care se execută în cadrul activităților depind de construcția și programarea echipamentelor respective.

Se definește starea unei componente a sistemului starea de funcționare/nefuncționare a subansamblelor acesteia. Starea componentelor se exprimă matematic printr-o variabilă binară (1, 0) sau prin valoarea unei variabile care semnifică atributul dobândit temporar de către componentă, ca urmare a desfășurării unor activități în sistem. De exemplu, valoarea variabilei de stare a unui locaș de depozit poate semnifica: locaș gol, locaș cu semifabricat, locaș cu piesă prelucrată.

Activitățile echipamentelor sunt comandate de către sistemul de comandă al SFF, în timpul desfășurării fabricației, în funcție de starea momentană a tuturor componentelor sistemului.

Ciclograma de funcționare a SFF este reprezentarea grafică, unidimensională, în raport cu timpul, a succesiunii și desfășurării activităților fiecărei componente a SFF. Ciclograma de funcționare a SFF este constituită dintr-un ansamblu de atâtea grafice, câte componente sunt luate în considerare. În figura 4.4.1 este prezentată o porțiune dintr-un exemplu de ciclogramă de funcționare.

Elementele importante ale graficelor sunt de natură temporală (momentul începerii activității unei componente, durata și momentul terminării activității) și de natură logică:

- terminarea unei activități “i” a unei componente face posibilă derularea unei/unor alte activități “p, m...” a altei/altor componente
- o activitate “i+1” nu poate începe dacă nu s-au terminat una sau mai multe “p, m...” activități care o preced din punct de vedere logic.

Interblocările sunt instrucțiuni (de forma dacă...atunci...altfel...) introduse în programul de comandă, care condiționează derularea unei anumite activități a componentei pe baza unor semnale provenind de la senzori, valorilor unor variabile de stare sau comenzilor de la subsistemul de comandă ierarhic superior.

Dacă se analizează funcționarea unui SFF și desfășurarea temporală a activităților componentelor acestuia, se constată fenomenul de succesiune, simultaneitate și concurență a desfășurării activităților echipamentelor.

Două componente pot executa, în anumite conditii, două activități diferite și simultane prin suprapunerea parțială sau totală a duratei de desfășurare în timp a acestora. Succesiunea activităților componentelor în sistem este determinată de interblocări și de programul de comandă al sistemului. Activitățile a două componente ale sistemului se pot încheia în același moment sau la momente foarte apropiate de timp (sunt concurente) și ambele determină îndeplinirea condițiilor de începere a două activități diferite pentru aceeași componentă. Protocoalele de funcționare ale sistemului, implementate sub formă de reguli, în programele sistemului de comandă al SFF, vor indica, după procesul de luare a deciziilor, care dintre cele două activități are prioritate și se va desfășura mai întâi.

Numărul de componente din reprezentarea grafică a ciclogramei de funcționare a sistemului depinde de rangul subsistemelor analizate (pentru S^R , S^{R-1} ...). Când reprezentarea ciclogramei cuprinde subsisteme de rang S^{R-2} , numărul de elemente ale graficului depinde de numărul de componente din sistem ale căror activități determină logic pornirea activităților altor componente.

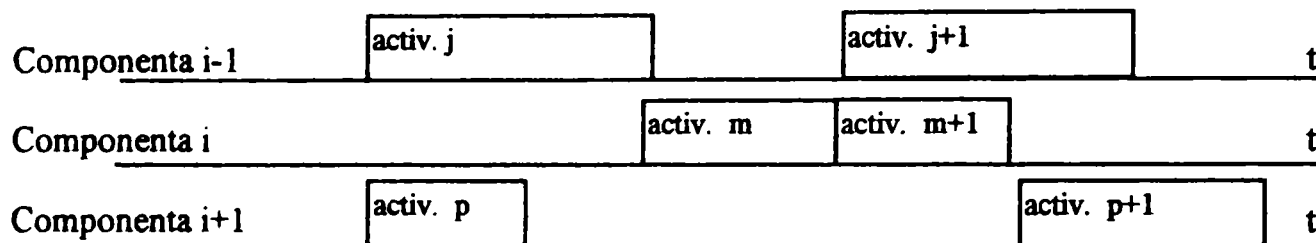


Figura 4.4.1. Exemplu de ciclogramă de funcționare

De exemplu, operația de aducere a unui semifabricat la strung de către un robot este condiționată de deschiderea paravanului de protecție (oblon) al mașinii. De aceea, mișcarea brațului robotului spre spațiul de lucru al strungului va fi împărțită în două activități: mișcarea până într-o poziție situată în exteriorul strungului și mișcarea în interiorul spațiului mașinii. În reprezentarea ciclogramei se va introduce componenta “paravan”, cu toate că la analiza subsistemelor de rang S^{R-2} , paravanul aparține subsistemului “mașina de lucru”.

Gradul de detaliere al ciclogramei de funcționare trebuie limitat superior în funcție de modelul sistemului acceptat de utilizator, pentru a se crea un instrument eficient.

Sinteza ciclogramei de funcționare urmărește:

- determinări de valori temporale (ciclurile de funcționare ale componentelor, timpul petrecut de piesă în sistem);
- determinări de valori de eficiență economică a sistemului (coeficienți de utilizare ai masinilor, inventarul curent al sistemului, capacitatea productivă a sistemului);
- decizii în legătură cu sinteza de detaliu a subsistemelor (stabilirea capacității optime de transfer/manipulare a subsistemului de manipulare, identificarea subsistemelor de strangulare a fluxului material);
- sinteza interblocărilor din cadrul sistemului de fabricație.

Etapele de sinteză a structurii sistemului, ciclogramei de funcționare și a planului de amplasament sunt iterative și se condiționează reciproc.

Prin sinteza structurii SFF se stabilește numărul de mașini servite de către același echipament de manipulare, validarea deciziei de poliservire se realizează în etapa de sinteză a ciclogramei. Lungimile traseelor punctului caracteristic al obiectului de lucru în cadrul sistemului, stabilite în planul de

amplasament, determină mărimea timpului de desfășurare al activităților de manipulare și în acest mod influențează direct alcătuirea ciclogramei de funcționare.

Finalitatea acestui proces este determinată de optimizarea funcționării sistemului în condițiile stabilite de utilizator.

4.4.2. Obiectivele optimizării sintezei ciclogramei de funcționare a SFF

Obiectivul final și cel mai important al optimizării sintezei unui SFF este maximizarea capacității productive a subsistemului de prelucrare.

Cerința dedusă din acest obiectiv este ca la sfârșitul operației de prelucrare a unei piese pe fiecare mașină de lucru din sistem să se poată realiza în timp minim posibil operația de evacuare a piesei prelucrate și de aducere a unui nou semifabricat.

Condițiile de îndeplinire a acestei cerințe pentru sfârșitul fiecărei operații de prelucrare din sistem sunt:

- I. existența unui post de așteptare liber pentru situarea piesei prelucrate și evacuate de la mașină;
- II. existența unui post de așteptare ocupat cu un semifabricat pentru aducerea obiectului de lucru la mașină;
- III. disponibilizarea echipamentului destinat operațiilor de aducere/evacuare (la momentul terminării operației de prelucrare să nu fie ocupat cu alte operații de manipulare);
- IV. minimizarea timpului de realizare a manipulării obiectelor de lucru între posturile de așteptare și mașină.

Condițiile I și II impun **existența a cel puțin două posturi de așteptare** la fiecare mașina de lucru din sistem, condiția este îndeplinită în cadrul sintezei structurale a sistemului. De asemenea, din condiția II se deduce necesitatea ca activitățile subsistemelor cu funcții de transfer lung și scurt pentru aducerea unui nou semifabricat la postul de așteptare să se **suprapună în timp** cu operația de prelucrare a piesei pe mașina de lucru.

Din enunțul condiției III, se deduce că activitatea de servire a masinilor are prioritate față de alte activități desfășurate de către același echipament de manipulare.

Tabelul 4.4.1 Tipuri de echipamente și activități de manipulare a obiectului de lucru

Cazuri de servire a mașinilor	Echipamentul de manipulare	Activitatea	Disponibilitatea echipamentului pentru servirea mașinilor
Servire singulară a mașinilor	Dispozitiv de livrare sau de evacuare	i	Permanentă
	Dispozitiv transpaletă	i	Permanentă
	Robot de manipulare	i	Permanentă
		i+ii (+vi)	Pe bază de priorități ale activităților (figura 4.4.2)
Poliservire a mașinilor	Robot de manipulare	iii	Protocol de funcționare
		iii+iv	Pe bază de priorități ale activităților și protocol de funcționare
Poliservire a posturilor de așteptare	Cărucior de transfer	iv+v	Protocol de funcționare (figura 4.4.3)
	Sistem de robocare	iv+v	Protocol de funcționare (figura 4.4.4)
Servire a depozitului	Robot de manipulare	v(+vi)	Pe bază de priorități ale activităților

Activitățile desfășurate de către un echipament de manipulare în cadrul SFF pot fi:

- i) servirea unei singure mașini de lucru (aducerea și evacuarea piesei);
- ii) servirea posturilor de așteptare de la o singură mașină;
- iii) servirea succesivă a mai multor mașini de lucru;
- iv) servirea posturilor de așteptare de la mai multe mașini;
- v) manipularea pieselor din/în depozit;
- vi) alte activități de manipulare: schimbarea automată a sculelor sau a dispozitivului de prehensiune.

În tabelul 4.4.1 se prezintă principalele tipuri de echipamente de manipulare și activitățile pe care le desfășoară în cadrul sistemului.

Din tabelul 4.4.1. se observă ca în majoritatea cazurilor (mai ales la poliservire) disponibilitatea echipamentului de a evacua și a aduce obiecte de lucru la mașină depinde de protocolul de funcționare introdus prin programele de comandă ale echipamentelor.

Protocolul de funcționare este un ansamblu de reguli introduse în programele sistemului de comandă al echipamentului sau al SFF pe baza cărora se decide și se comandă succesiunea activităților. Din literatura de specialitate se cunosc protocoalele de funcționare PVPS (Primul Venit, Primul Servit, FIFO), PVUS (Primul Venit, Ultimul Servit, FILO), “drumul cel mai scurt” [Opr’98, p.123], pe bază de priorități ale piesei etc.

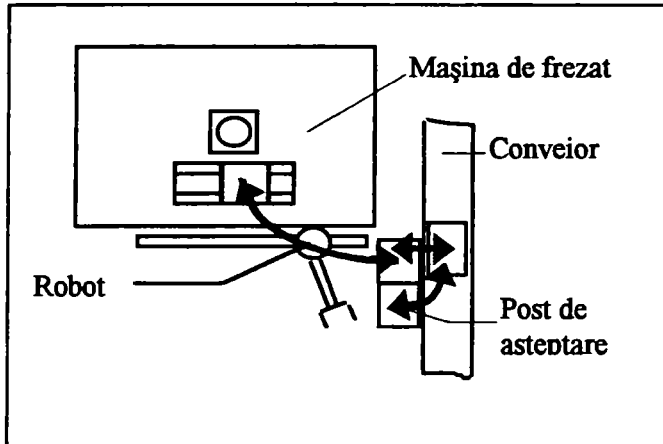


Figura 4.4.2. Servire singulară cu un robot cu activități partajate între mașina și conveior

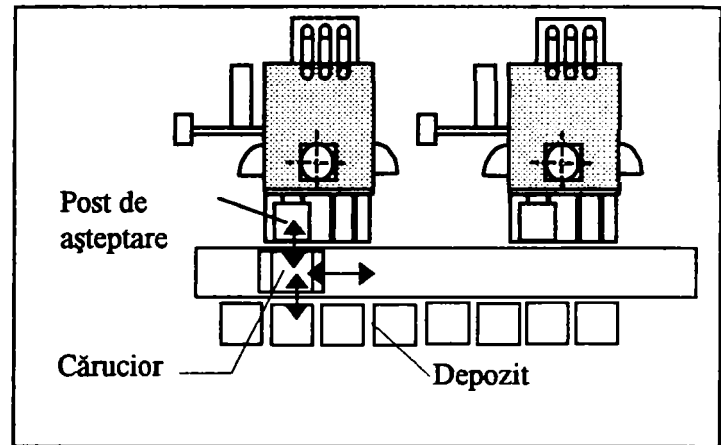


Figura 4.4.3. Poliservire cu un cărucior a posturilor de așteptare

Din condițiile enunțate mai sus, în concluzie, se evidențiază următoarele obiective ale optimizării sintezei ciclogramei de funcționare:

- A) minimizarea timpilor de desfășurare a unor activități ale componentelor;
- B) optimizarea corelării funcționării componentelor subsistemului de manipulare cu subsistemul de prelucrare, prin:
 - B1) maximizarea simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare;
 - B2) stabilirea succesiunii de desfășurare a activităților pe baza unui protocol de funcționare optim.

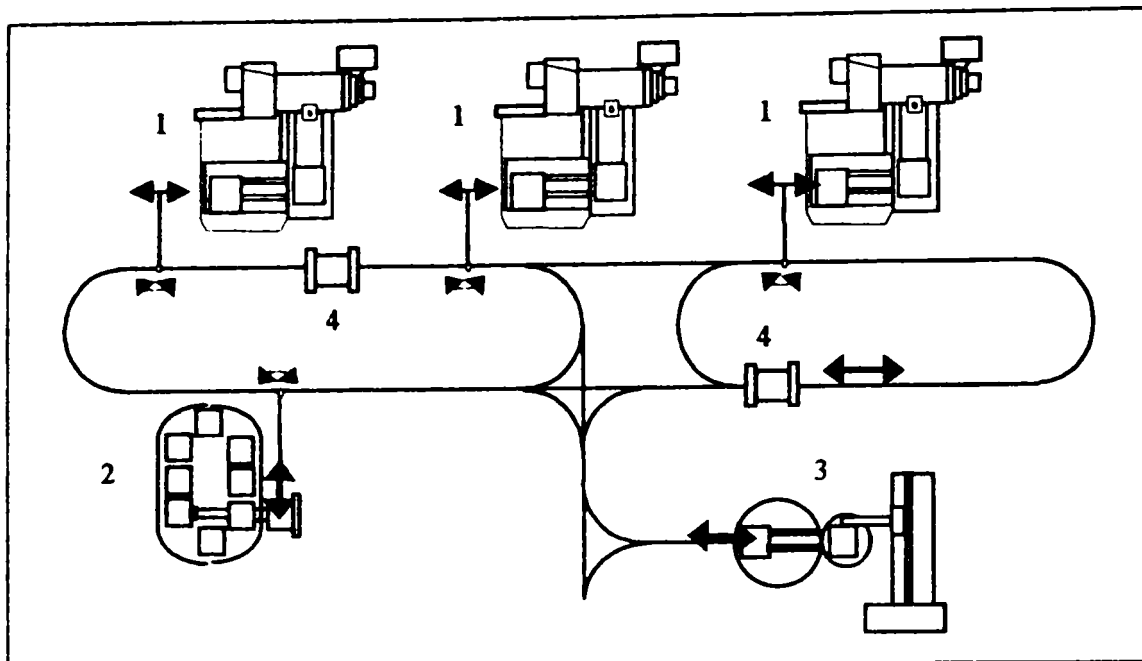


Figura 4.4.4.
Poliservire a
mașinilor de lucru
de către un sistem
de robocare
[Bie'93, p.183],
unde cu 1 s-a notat
centru de prelu-
crare Mi'acron T-

30 CNC; 2 este depozit de palete; 3 este mașina de măsurat în coordonate; 4 este robocar

4.4.3. Optimizarea manipulării de către robotul industrial a obiectului de lucru între o situație inițială și finală a acestuia

4.4.3.1. Introducere

Activitățile robotului industrial de manipulare în cadrul unui SFF se împart în trei categorii:

- transferul unui obiect de lucru solidarizat cu efectorul final (dispozitiv de prehensiune) dintr-o situație inițială în alta finală;
- deplasarea dispozitivului de prehensiune fără obiectul de lucru de la o situație inițială la una finală;
- staționarea, dispozitivul de prehensiune aflându-se într-o anumită situație.

Manipularea obiectelor de lucru necesită comanda robotului după programe punct-cu-punct sincron (PTP). Specific acestor programe este faptul că se prescrie doar poziția inițială (de "start") și poziția finală ("țintă") ale punctului caracteristic al mecanismului generator de traiectorie al robotului, primul aferent situației inițiale, cel de-al doilea situației finale a obiectului de lucru, respectiv dispozitivului de prehensiune. Programul PTP impune doar ca momentele de începere, respectiv de încheiere a mișcărilor relative ale tuturor cuplurilor cinematice conducătoare (ale axelor) mecanismului generator de traiectorie să coincidă. Acest lucru înseamnă că traiectoria punctului caracteristic între poziția "start" și "țintă" poate fi oarecare (evident, evitându-se cele care ar conduce la coliziuni).

În cadrul SFF, robotul manipulează diferite obiecte de lucru, ceea ce înseamnă că punctul caracteristic la care se referă discuția se schimbă în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului, în funcție de obiectul manipulat. Pentru a elimina acest dezavantaj, în continuare se va lua în considerare punctul caracteristic atașat robotului și anume cel definit în literatura de specialitate ca și “wrist point” – punctul de concurență a axelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului de orientare.

Nefiind impusă nici o corelație între mișcările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare între pozițiile “start” și “țintă” ale punctului caracteristic (P_s și P_t), legile acestor mișcări se aleg în condiții dinamice, ele fiind impuse de motoarele de acționare incluse în dispozitivele de conducere ale fiecărei axe. De regulă, natura legilor de mișcare este impusă de condițiile dinamice ale funcționării robotului.

În continuare, se vor lua în considerare legile de mișcare cu “profil de viteză trapezoidal” (“cu palier de viteză”) și cu “profil de viteză parabolic”.

Se considera q_j parametrul pozițional generalizat al cuplei cinematice conducătoare j al mecanismului generator de traiectorie, dacă acesta are gradul de mobilitate $M=3$, $j \in 1 \div 3$. Parametrul q_j este o mărime unghiulară pentru cupla cinematică conducătoare de rotație și o mărime liniară pentru cupla cinematică conducătoare de translație. Legea de mișcare cu profil de viteză trapezoidal (figura 4.4.5) are următoarele expresii:

- pe porțiunea de accelerare (între $t=0$ și $t=kt_{st}$)

$$q_a = \frac{1}{2} \frac{q_{st} t^2}{k(1-k)t_{st}^2}$$

$$\dot{q}_a = \frac{q_{st} t}{k(1-k)t_{st}^2}$$

$$\ddot{q}_a = \frac{q_{st}}{k(1-k)t_{st}^2} \quad (4.4.1a)$$

- pe porțiunea de mișcare cu viteză constantă (“palierul de viteză” între $t=kt_{st}$ și $t=(1-k)t_{st}$)

$$q_p = \frac{q_{st}}{(1-k)} \left[\frac{t}{t_{st}} - \frac{k}{2} \right]$$

$$\dot{q}_p = \frac{q_{st}}{(1-k)t_{st}}$$

$$q_p = 0$$

- pe porțiunea de decelerare (între $(1-k)t_{st}$ și t_{st})

$$q_d = \frac{q_{st}}{k(1-k)} \left[-\frac{t^2}{2t_{st}^2} + \frac{t}{t_{st}} + \frac{2k - 2k^2 - 1}{2} \right]$$

$$\dot{q}_d = \frac{q_{st}}{k(1-k)} \left[-\frac{t}{t_{st}^2} + \frac{1}{t_{st}} \right]$$

$$q_d = -\frac{q_{st}}{k(1-k)t_{st}^2} \quad (4.4.1.c)$$

unde indicele "s" corespunde poziției de "start", indicele "t" poziției de "țintă" a punctului caracteristic, k este "coeficientul de accelerare", iar $q_{st} = q_t - q_s$, $t_{st} = t_t - t_s$.

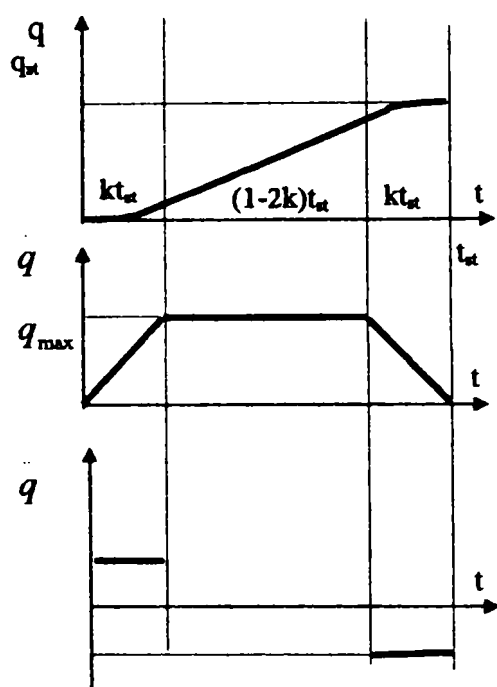


Figura 4.4.5. Legile de mișcare pentru profil de viteză trapezoidal

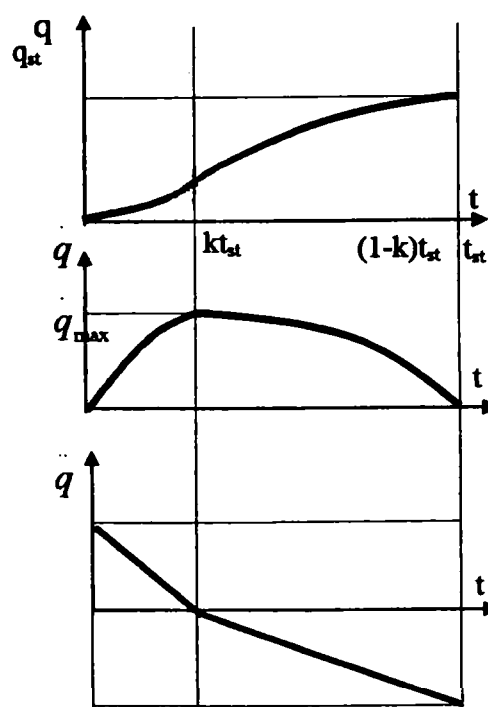


Figura 4.4.6. Legile de mișcare pentru profil de viteză parabolic

Constructorii de roboți prescriu viteza generalizată maximă pentru fiecare axă q_{max} . În consecință, timpul de deplasare de la P_s la P_t se poate exprima conform (4.4.1b):

$$t_{st} = \frac{q_{st}}{(1-k)q_{max}} \quad (4.4.2)$$

Legea de mișcare cu profil de viteză parabolic (figura 4.4.6) are următoarele expresii:

- pe porțiunea de accelerare (între $t=0$ și $t=kt_{st}$)

$$\ddot{q}_a = \frac{3q_{st}}{t_{st}^3 k^2} [-t + kt_{st}]$$

$$\dot{q}_a = \frac{3q_{st}}{t_{st}^3 k^2} \left[-\frac{t^2}{2} + kt_{st}t \right]$$

$$q_a = \frac{3q_{st}}{t_{st}^3 k^2} \left[-\frac{t^3}{6} + kt_{st} \frac{t^2}{2} \right] \quad (4.4.3.a)$$

- pe porțiunea de decelerare (între $t=kt_{st}$ și $t=t_{st}$)

$$\ddot{q}_d = \frac{3q_{st}}{t_{st}^3 (k-1)^2} [kt_{st} - t]$$

$$\dot{q}_d = \frac{3q_{st}}{t_{st}^3 (k-1)^2} \left[kt_{st}t - \frac{t^2}{2} + \frac{t_{st}^2(1-2k)}{2} \right]$$

$$q_d = \frac{3q_{st}}{t_{st}^3 (k-1)^2} \left[kt_{st} \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{6} + \frac{t_{st}^2(1-2k)}{2} t + \frac{t_{st}^3}{6} k(2k-1) \right] \quad (4.4.3.b)$$

Timpul de efectuare a mișcării în funcție de viteza maximă indicată de către constructorii de roboți este:

$$t = \frac{3q_{st}}{2q_{max}} \quad (4.4.4.)$$

Se propun următoarele criterii de optimizare a manipulării obiectului de lucru/deplasarea dispozitivului de prehensiune:

- minimizarea timpului de trecere din situarea inițială în situarea finală;
- reducerea amplitudinilor “mișcărilor parazite” ale punctului caracteristic între poziția “start și “țintă”;
- s-au denumit “mișcărilor parazite” ale punctului caracteristic acele mișcări care “scot” punctul caracteristic de pe dreapta care unește pozițiile “start” și “țintă”;
- limitarea intensității forței masice rezultante care acționează asupra obiectului manipulat sau a dispozitivului de prehensiune în timpul deplasării acestuia de la poziția “start” la cea de “țintă”.

4.4.3.2. Minimizarea timpului de trecere din situarea inițială în situarea finală a obiectului de lucru/dispozitivului de prehensiune

Se cunosc pozițiile “start” $P_s (x_s, y_s, z_s)$ și “țintă” $P_t (x_t, y_t, z_t)$ ale punctului caracteristic (figura 4.4.7).

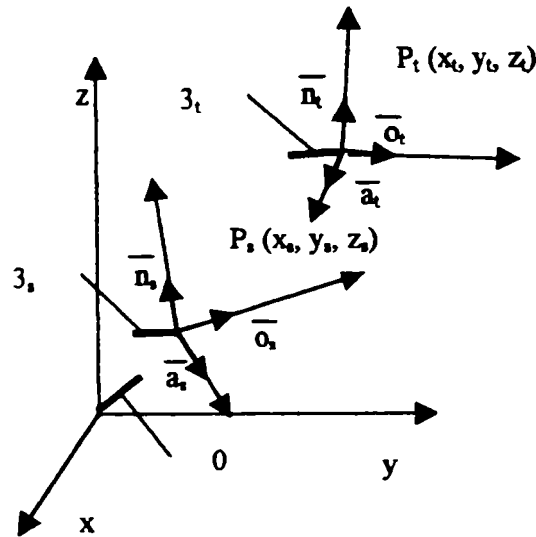


Figura 4.4.7. Pozițiile “start” și “țintă” ale punctului caracteristic, ale elementului 3 al mecanismului generator de traiectorie și ale sistemului de referință atașat acestuia

Matricile de situare ale sistemului de referință atașat elementului 3 al mecanismului generator de traiectorie a robotului în momentele de “start” și “țintă” au expresiile:

$${}^0M_s = \begin{bmatrix} n_{sx} & o_{sx} & a_{sx} & x_s \\ n_{sy} & o_{sy} & a_{sy} & y_s \\ n_{sz} & o_{sz} & a_{sz} & z_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{R}_s & \underline{P}_s \\ \underline{0} & \underline{1} \end{bmatrix}$$

$${}^0M_t = \begin{bmatrix} n_{tx} & o_{tx} & a_{tx} & x_t \\ n_{ty} & o_{ty} & a_{ty} & y_t \\ n_{tz} & o_{tz} & a_{tz} & z_t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{R}_t & \underline{P}_t \\ \underline{0} & \underline{1} \end{bmatrix} \quad (4.4.5)$$

În relația (4.4.5): $\underline{P}_s = [x_s, y_s, z_s, 1]^T$ și $\underline{P}_t = [x_t, y_t, z_t, 1]^T$ (4.4.6)

sunt expresiile matriciale ale vectorilor de poziție ale punctelor P_s și P_t .

Matricile de trecere de la sistemul de referință atașat elementului 3 la sistemul de referință atașat elementului 0, ambele ale mecanismului generator de traiectorie al robotului, în pozițiile “start” și “țintă” au expresiile:

$${}^0T_{3s} = \begin{bmatrix} f_{11s}(q_{sj}) & f_{12s}(q_{sj}) & f_{13s}(q_{sj}) & f_{14s}(q_{sj}) \\ f_{21s}(q_{sj}) & f_{22s}(q_{sj}) & f_{23s}(q_{sj}) & f_{24s}(q_{sj}) \\ f_{31s}(q_{sj}) & f_{32s}(q_{sj}) & f_{33s}(q_{sj}) & f_{34s}(q_{sj}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^0T_{3t} = \begin{bmatrix} R_s(q_{sj}) & T_s(q_{sj}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0T_{3t} = \begin{bmatrix} f_{11t}(q_{tj}) & f_{12t}(q_{tj}) & f_{13t}(q_{tj}) & f_{14t}(q_{tj}) \\ f_{21t}(q_{tj}) & f_{22t}(q_{tj}) & f_{23t}(q_{tj}) & f_{24t}(q_{tj}) \\ f_{31t}(q_{tj}) & f_{32t}(q_{tj}) & f_{33t}(q_{tj}) & f_{34t}(q_{tj}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^0T_{3t} = \begin{bmatrix} R_t(q_{tj}) & T_t(q_{tj}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$j=1, 2, 3 \quad (4.4.7)$$

Egalând matricile \underline{M} și \underline{T} , se obține:

$$\begin{aligned} {}^0M_s &= {}^0T_{3s} \\ {}^0M_t &= {}^0T_{3t} \end{aligned} \quad (4.4.8)$$

$$\begin{aligned} \text{deci} \quad \underline{P}_s &= \underline{T}_s(q_{sj}) \\ \underline{P}_t &= \underline{T}_t(q_{tj}), j=1,2,3 \end{aligned} \quad (4.4.9)$$

sau

$$\begin{aligned} x_s &= f_{14s}(q_{sj}) & x_t &= f_{14t}(q_{tj}) \\ y_s &= f_{24s}(q_{sj}) & y_t &= f_{24t}(q_{tj}) \\ z_s &= f_{34s}(q_{sj}) & z_t &= f_{34t}(q_{tj}) \end{aligned} \quad (4.4.10)$$

Sistemul (4.4.10) permite analiza directă a pozițiilor punctelor P_s și P_t , cunoscând parametrii poziționali relativi q_{sj} și q_{tj} . Explicitând în sistemul (4.4.10) expresiile parametrilor poziționali relativi q_{sj} și q_{tj} în funcție de coordonatele punctelor P_s și P_t , se obține sistemul (4.4.11):

$$\begin{aligned} q_{sj} &= \Phi_s(x_s, y_s, z_s) \\ q_{tj} &= \Phi_t(x_t, y_t, z_t), j=1,2,3 \end{aligned} \quad (4.4.11)$$

care permite analiza pozițională inversă a mecanismului generator de traiectorie pentru momentele de “start” și “țintă”.

Cursele deplasărilor generalizate relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie vor fi:

$$\begin{aligned} q_{st1} &= q_{t1} - q_{s1} \\ q_{st2} &= q_{t2} - q_{s2} \\ q_{st3} &= q_{t3} - q_{s3} \end{aligned} \quad (4.4.12)$$

Minimizarea timpului necesar de manipulare de către robot a obiectului de lucru se realizează diferit pentru cele două tipuri prezentate de legi de mișcare ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie al robotului.

Pentru legea de mișcare cu “profil de viteză trapezoidal”, valoarea minimă teoretică a timpului de deplasare a punctului caracteristic între punctele P_s și P_t pentru cele 3 cuple cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie este:

$$\tau_{\min j} = \frac{q_{stj}}{q_{j\max}} \quad (4.4.13)$$

unde q_{stj} sunt cursele deplasărilor generalizate relative ale axelor comandate $j=1, 2, 3$ calculate cu relațiile (4.4.11 și 4.4.12), iar $q_{j\max}$ sunt vitezele maxime generalizate ale deplasărilor elementelor celor 3 cuple cinematice conducătoare ale robotului.

Dintre cele 3 valori ale lui $\tau_{\min j}$ se alege valoarea maximă și se notează cu:

$$\lim_{\inf} = \text{maximum}\{\tau_{\min 1}, \tau_{\min 2}, \tau_{\min 3}\} \quad (4.4.14)$$

adică \lim_{\inf} va fi valoarea maximă a timpilor minimi teoretici de deplasare a celor 3 axe și va constitui limita inferioară a intervalului de valori din care se va alege valoarea timpului optim de deplasare.

Limita superioară \lim_{\sup} a intervalului de valori pentru alegerea timpului minim de deplasare a elementelor cuplelor cinematice conducătoare se va calcula cu formula (4.4.2), astfel:

$$\lim_{\sup} = \frac{q_{stp}}{(1 - k_p) q_{p\max}} \quad (4.4.15)$$

unde “p” este cea axă comandată a robotului pentru care $\tau_{\min p} = \text{minimum}\{\tau_{\min 1}, \tau_{\min 2}, \tau_{\min 3}\}$, q_{stp} este cursa deplasării relative a elementului cuplei cinematice conducătoare “p”, coeficientul de accelerare are valoarea maximă admisă $k_p = 0,5$, iar $q_{p\max}$ este viteza maximă generalizată a axei “p”.

Valoarea timpului optim pentru parcurgerea segmentului $\overline{P_s P_t}$ de către robot, deci de mișcare a celor 3 elemente ale cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie, $t_{st \min}$, se va alege conform relației (4.4.16).

$$t_{st \min} \in (\lim_{\inf}, \lim_{\sup}) \quad (4.4.16)$$

unde \lim_{\inf} este valoarea dedusă conform relației (4.4.14), iar \lim_{\sup} este calculată conform ecuației (4.4.15).

Timpul optim de mișcare $t_{st \min}$ este utilizat la calcularea “coeficientului de accelerare” k_j pentru cazul în care conducerea cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie al robotului se realizează după o lege de mișcare “cu profil de viteză trapezoidal” cu relația:

$$k_j = 1 - \frac{q_{stj}}{t_{st \min} \dot{q}_{j \max}} \quad j=1, 2, 3 \quad (4.4.17)$$

În cazul în care legile de mișcare relativă ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare sunt cu “profil de viteză parabolic”, timpii de efectuare a curselor de deplasare generalizată relativă se vor calcula din relația 4.4.4:

$$t_{stj} = \frac{3q_{stj}}{2\dot{q}_{j \max}} \quad j=1, 2, 3 \quad (4.4.18)$$

Valoarea timpului $t_{st \min}$ de efectuare de a mișcării între pozițiile robotului corespunzătoare punctelor P_s și P_t se va alege ca minimum dintre valorile t_{st1} , t_{st2} și t_{st3} .

Dacă se calculează valorile maxime ale accelerației mișcării relative cu “profil de viteză parabolic” (care corespund accelerațiilor de la începutul și sfârșitul mișcării), din relațiile 4.4.3 a și b, se obține

$\ddot{q}_{a \max} = \frac{3q_{st}}{t_{st \min}^2 k}$ pentru porțiunea de accelerare a mișcării și $\ddot{q}_{d \max} = \frac{3q_{st}}{t_{st \min}^2 (k-1)}$ pentru porțiunea de decelerare.

Relația dintre modulele maxime ale accelerațiilor generalizate este:

$$\dot{q}_{a \max} k = \dot{q}_{d \max} (k-1) \quad (4.4.19)$$

Pentru valori ale coeficientului de accelerare $k < 0,5$ se obține relația de inegalitate:

$$\left| \dot{q}_{d \max} \right| < \dot{q}_{a \max} \quad (4.4.20)$$

cea ce constituie un avantaj, mai ales în cazul unei dinamici intense a robotului. La o accelerație generalizată de frânare mai mică decât cea de la pornirea mișcării relative a cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie se diminuează condițiile de apariție a fenomenului de “over-shooting”, adică de depășire prin inerție a poziției robotului corespunzătoare punctului P_t .

4.4.3.3.Reducerea amplitudinilor “mișcărilor parazite” ale punctului caracteristic între poziția “start” și poziția “țintă”

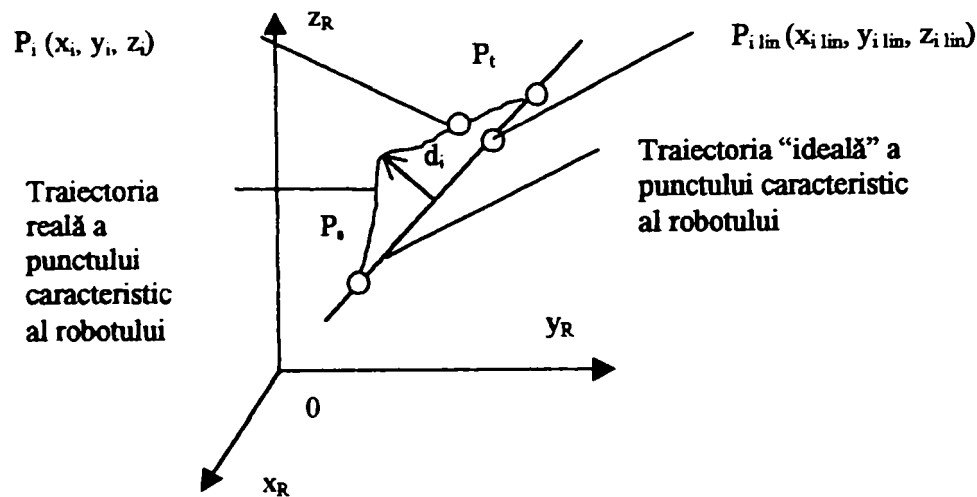


Figura 4.4.8. Traiectoriile “ideale” și reale ale punctului caracteristic al robotului pentru manipulare între punctele P_s și P_t

S-a arătat în paragraful 4.4.3.1 faptul că în cazul programelor PTP, mișcările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare nu sunt corelate și, ca urmare, traiectoria punctului caracteristic diferă de segmentul $\overline{P_sP_t}$. Poziția la un moment dat t_i a punctului caracteristic depinde de legile de mișcare relativă ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare. Distanța d_i instantanee a punctului caracteristic de segmentul $\overline{P_sP_t}$ este o măsură a mișcărilor relative “parazite” ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare, datorate faptului că programul de conducere a lor nu corespunde unui program de traiectorie continuă (CP), care ar conduce punctul caracteristic pe segmentul $\overline{P_sP_t}$.

Diminuarea mișcărilor relative “parazite” se poate obține prin modificarea adecvată a valorilor coeficienților de accelerare k_j într-un proces de optimizare, având drept obiectiv țintă diminuarea distanțelor punctului caracteristic de segmentul $\overline{P_sP_t}$.

Pentru un set de valori k_j ($j=1, 2, 3$) ale coeficienților de accelerare, pentru timpul t_i , cu ajutorul legilor de mișcare de ordinul 0 (ale deplasărilor generalizate) se calculează, folosind relațiile (4.4.1 sau 4.4.3) parametrii de deplasare (q_{ij}) ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie ($j=1, 2, 3$). Timpul t_i se calculează cu relația:

$$t_i = t_{i-1} + (t_{opt}/m) \quad (4.4.21)$$

unde $m > 0$ este numărul de intervale de timpi în care se împarte valoarea optimizată a timpului de mișcare a robotului din situația inițială și cea finală, $i=1 \div m$.

Cu ajutorul acestora, utilizând relațiile sistemului (4.4.10), se calculează coordonatele poziției P_i (x_i , y_i , z_i) a punctului caracteristic la timpul t_i , în raport cu sistemul de referință cu originea în O .

Punctele aparținând traiectoriei “ideale” (segmentul $\overline{P_s P_t}$) se notează cu $P_{i \text{ lin}}$ și coordonatele acestor puncte în raport cu sistemul de referință cu originea în O (x_R , y_R , z_R) se calculează cu relațiile:

$$x_{i \text{ lin}} = x_{(i-1) \text{ lin}} + \frac{x_t - x_s}{m} \quad y_{i \text{ lin}} = y_{(i-1) \text{ lin}} + \frac{y_t - y_s}{m} \quad z_{i \text{ lin}} = z_{(i-1) \text{ lin}} + \frac{z_t - z_s}{m} \quad (4.4.22)$$

Distanța punctului P_i până la segmentul $\overline{P_s P_t}$ (distanța dintre punctele P_i și $P_{i \text{ lin}}$) se calculează astfel:

$$d_i = \sqrt{(x_{i \text{ lin}} - x_i)^2 + (y_{i \text{ lin}} - y_i)^2 + (z_{i \text{ lin}} - z_i)^2} \quad (4.4.23)$$

Pentru minimizarea distanței d_i a punctului curent P_i față de $P_{i \text{ lin}}$ este necesară mai întâi determinarea variației funcție de timp a parametrilor poziționali relativi $q_{ij \text{ lin}}$ ($i=1 \div m$, $j=1, 2, 3$) ai elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie a robotului pentru mișcarea pe traiectoria liniară determinată de segmentul $\overline{P_s P_t}$. În acest scop, relațiile de calcul vor depinde de structura mecanică a robotului, iar problema determinării parametrilor poziționali relativi $q_{ij \text{ lin}}$ este cunoscută în literatură [Kov '94, p73] ca “problema cinematico-pozițională inversă”.

Astfel, se va ajunge la relații de forma (4.4.11) prin care se pot calcula, pentru valori ale coordonatelor pozițiilor punctelor $P_{i \text{ lin}}$ valori corespunzătoare ale lui $q_{ij \text{ lin}}$.

Variația în funcție de timp a acestor parametrii poziționali relativi ai cuplelor cinematice conducătoare pentru deplasări pe traiectorie liniară este prezentată în figura 4.4.9.

Viteza relativă generalizată momentană a elementelor cuplelor cinematice conducătoare se calculează cu formula:

$$\dot{q}_{j \text{ mom}} = \frac{\Delta q_{j \text{ lin}}}{\Delta t} = \frac{q_{(i+1)j \text{ lin}} - q_{ij \text{ lin}}}{t_{i+1} - t_i} \quad j=1, 2, 3; i=0 \div m-1 \quad (4.4.24)$$

Viteza medie relativă generalizată a elementului fiecărei cuple cinematice conducătoare a mecanismului generator de traiectorie este:

$$\dot{q}_{j \text{ medie}} = \frac{\sum_{i=1}^m q_{j \text{ mom}}}{m}, j=1, 2, 3 \quad (4.4.25)$$

unde m este numărul de intervale de împărțire a valorii optimizate a timpului t_{st} .

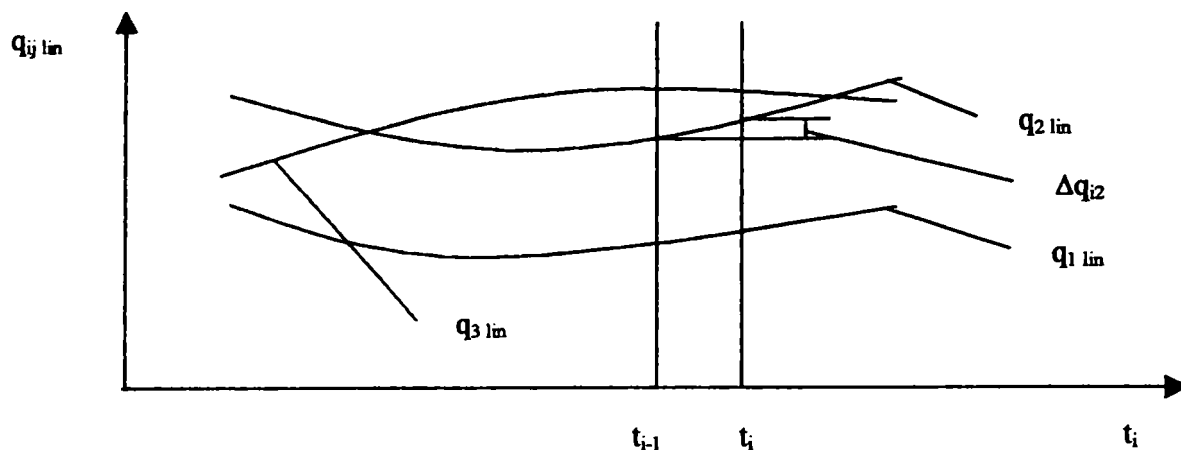


Figura 4.4.9. Variația în funcție de timp a parametrilor poziționali relativi pentru o mișcare liniară din P_s în P_t

Corecția aplicată valorilor coeficienților de accelerare k_j pentru minimizarea amplitudinilor “mișcărilor parazite” ale punctului caracteristic al robotului se obține din calculul pantei relative (notate cu p_{12} și p_{23}) a graficului variației $q_{ij \text{ lin}} = f(t)$, $j=1, 2, 3$, pentru axele comandate 1 și 2, respectiv 2 și 3 ale robotului. Raportul vitezelor medii calculate cu relațiile de forma (4.4.25) sunt valorile pantelor relative p_{12} și p_{23} :

$$p_{12} = \frac{\dot{q}_{1 \text{ medie}}}{\dot{q}_{2 \text{ medie}}} \text{ și } p_{23} = \frac{\dot{q}_{2 \text{ medie}}}{\dot{q}_{3 \text{ medie}}} \quad (4.4.26)$$

Dar viteza medie generalizată a elementelor cuplelor cinematice conducătoare calculată cu legea de mișcare “cu palier de viteză” de ordinul 1 din relațiile (4.4.1 a, b, c) este de forma:

$$q_{j \text{ lege}} = \frac{\sum_{i=1}^m q_{ji}}{m} = a_j q_{jp} = \frac{a_j q_{stj}}{(1 - k_j) t_{st \text{ min}}}, \quad j=1, 2, 3 \quad (4.4.27)$$

unde $a_j = (m - a'_j)/m$ unde a'_j este numărul de intervale de împărțire a timpului t_{st} din porțiunea de accelerare/decelerare a legii de mișcare “cu profil de viteză trapezoidal”. Valoarea lui a'_j crește cu creșterea valorii coeficientului de accelerare k_j și a lui m .

Egalând pantele relative p_{12} și p_{23} cu rapoartele vitezelor relative medii rezultate din legile de mișcare de ordinul 1, se obține:

$$p_{12} = \frac{q_{1lege}}{q_{2lege}} = \frac{a_1 q_{1p}}{a_2 q_{2p}} = \frac{a_1 \frac{q_{st1}}{(1-k_1)t_{stmin}}}{a_2 \frac{q_{st2}}{(1-k_2)t_{stmin}}} = \frac{a_1 q_{st1} (1-k_2)}{a_2 q_{st2} (1-k_1)}$$

$$\text{și similar } p_{23} = \frac{a_2 q_{st2} (1-k_3)}{a_3 q_{st3} (1-k_2)} \quad (4.4.28)$$

Neglijând influența coeficienților a_1 , a_2 și a_3 , raportul coeficienților de accelerare calculat cu ajutorul valorilor pantelor relative p_{12} și p_{23} , este:

$$\frac{k_2}{k_1} = p_{12} \frac{q_{st2}}{q_{st1}} \text{ și } \frac{k_3}{k_2} = p_{23} \frac{q_{st3}}{q_{st2}} \quad (4.4.29)$$

Alegând valoarea lui k_s ca valoare minimă din $\{k_1, k_2, k_3\}$ (calculate cu relațiile (4.4.17) din paragraful 4.4.3.2), unde “s” este cupla cinematică conducătoare pentru care coeficientul de accelerare este cel mai mic, celelalte valori ale coeficienților de accelerare k_j $j=\{1\div 3\}\setminus\{s\}$ se calculează utilizând relațiile (4.4.29).

Cu valorile recalculat ale coeficienților de accelerare k_{jcalc} , utilizând relațiile (4.4.1. a, b, c) se vor determina valorile parametrilor poziționali relativi $q_{ji calc}$ de mișcare a elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie cu corecția aplicată pentru minimizarea “mișcărilor parazite”.

Punctele P_i' sunt corespunzătoare pozițiilor robotului pentru care parametrii poziționali relativi din cuplele cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie sunt $q_{ij calc}$, coordonatele acestor puncte P_i' (x_i' , y_i' , z_i') se calculează cu relațiile de forma (4.4.10), astfel:

$$x_i' = f_{14i}(q_{ij calc}) \quad y_i' = f_{14i}(q_{ij calc}) \quad z_i' = f_{14i}(q_{ij calc}) \quad (4.4.30)$$

Distanța d_i între punctele P_i' de pe traiectoria reală a punctului caracteristic atașat robotului obținută în urma corecției coeficienților k_{jcalc} și puncte pe traiectoria liniară $P_{i lin}$ este:

$$d_i' = \sqrt{(x_{ilin} - x_i')^2 + (y_{ilin} - y_i')^2 + (z_{ilin} - z_i')^2} \quad (4.4.31)$$

4.4.3.4. Limitarea intensității rezultantei forței masice care acționează asupra obiectului de lucru/dispozitiv de prehensiune de timpul deplasării între pozițiile “start” și “țintă”

Micșorarea valorii coeficientului de accelerare, atât în cazul legii de mișcare cu “profil de viteză trapezoidal” cât și în cazul celui cu “profil de viteză parabolic” duce la creșterea intensității accelerației generalizate a mișcării relative a elementelor cuplelor cinematice conducătoare (vezi

paragraful 4.4.3.1) ale mecanismului generator de traiectorie, având ca rezultat creșterea intensității accelerației punctului caracteristic P. Acțiunile de optimizare descrise în paragrafele 4.4.3.2 și 4.4.3.3 au ca restricție nedepășirea de către intensitatea accelerației punctului caracteristic a unei anumite valori limită. În calculele de până acum, s-a luat în considerare punctul caracteristic P al robotului (“wrist point”) diferit de punctul caracteristic al obiectului manipulat/dispozitiv de prehensiune (figura 4.4.10).

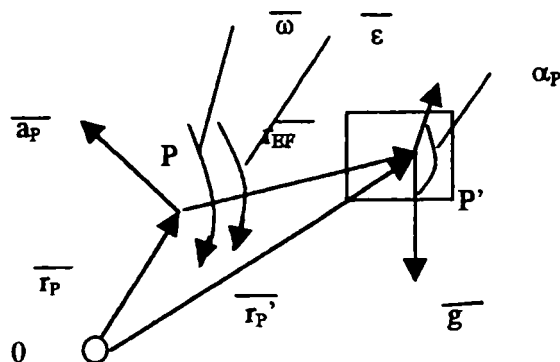


Figura 4.4.10. Punctul caracteristic al robotului P și cel al obiectului manipulat/dispozitiv de prehensiune, P'

Se observă că între vectorii de poziție \bar{r}_P și $\bar{r}_{P'}$ a celor două puncte caracteristice, există relația:

$$\bar{r}_{P'} = \bar{r}_P + \bar{r}_{EF} \quad (4.4.32)$$

unde vectorul de poziție relativă $\bar{r}_{P'}$ depinde de construcția dispozitivului de prehensiune și de dimensiunile obiectului manipulat.

Cunoscând faptul că, obiectul manipulat are o mișcare relativă de rotație în raport cu ultimul element al mecanismului generator de traiectorie, în jurul punctului P, mișcarea datorată însumării relative de rotație ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului de orientare, accelerația $\bar{a}_{P'}$ a punctului P' se poate exprima prin relația (4.4.33):

$$\bar{a}_{P'} = \bar{a}_P + \bar{\epsilon} \times \bar{r}_{EF} \quad (4.4.33)$$

unde $\bar{\epsilon} = \sum \bar{\epsilon}_j$ (j=4,5,6)

este accelerația unghiulară a obiectului/dispozitivului de prehensiune în jurul punctului P, $\bar{\epsilon}_j$ (j=4,5,6) fiind accelerațiile unghiulare ale mișcărilor relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului de orientare.

Cum vectorul \bar{r}_{EF} are de regulă modulul de mărime neglijabilă în raport cu dimensiunile elementelor mecanismului generator de traiectorie, în cele ce urmează, se consideră punctele P și P' suprapuse.

Dacă $P' \approx P$ este centrul de masă al obiectului manipulat/dispozitiv de prehensiune, în timpul manipulării, forța masică rezultantă \bar{R}_i , gravitațională \bar{G}_i și inerțială \bar{F}_i va acționa în acest punct, având intensitatea:

$$\bar{R}_i = \bar{G}_i + \bar{F}_i = (\bar{g} + \bar{a}_p) m \quad (4.4.34)$$

unde m este masa obiectului manipulat/dispozitivului de prehensiune, iar g accelerația gravitațională.

Introducând coeficientul de accelerație:

$$c_a = \frac{|\bar{a}_p|}{|g|} \quad (4.4.35)$$

intensitatea forței masice rezultante se poate exprima prin relația (4.4.36):

$$|\bar{R}_i| = mg \sqrt{(1 + c_a^2 + 2c_a \cos \alpha_p)} \quad (4.4.36)$$

unde α_p este unghiul format de vectorii \bar{a}_p și \bar{g} (fig. 4.4.10).

Se observă faptul că limitarea intensității forței masice rezultante se poate obține limitând coeficientul de accelerație c_a admis.

Accelerația \bar{a}_{Pi} a punctului caracteristic la timpul t_i este:

$$\bar{a}_{Pi} = \dot{\bar{v}}_{Pi} = [\ddot{x}_{Pi} \quad \ddot{y}_{Pi} \quad \ddot{z}_{Pi}]^T \quad (4.4.37)$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_{Pi} \\ \ddot{y}_{Pi} \\ \ddot{z}_{Pi} \end{bmatrix} = \underline{J}_i \begin{bmatrix} \ddot{q}_{i1} \\ \ddot{q}_{i2} \\ \ddot{q}_{i3} \end{bmatrix} + \underline{J}_i \begin{bmatrix} \dot{q}_{i1} \\ \dot{q}_{i2} \\ \dot{q}_{i3} \end{bmatrix} \quad (4.4.38)$$

unde J este matricea iacobiană, \dot{J} derivata matricii iacobiene a mecanismului generator de traiectorie în raport cu timpul, iar \dot{q}_{ij} și \ddot{q}_{ij} ($j=1,2,3$) sunt vitezele respectiv accelerațiile generalizate ale mișcărilor relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie la timpul t_i , determinate conform sistemelor de relații (4.4.1a, b, c) sau (4.4.3 a, b).

Coeficientul de accelerație c_{ai} (la timpul t_i) va avea expresia:

$$c_{ai} = \frac{\sqrt{\dot{x}_{Pi}^2 + \dot{y}_{Pi}^2 + \dot{z}_{Pi}^2}}{|g|} \quad (4.4.39)$$

Pentru coeficienții de accelerare k_j ($j=1,2,3$) aleși conform paragrafelor 4.4.3.2 și 4.4.3.3, se determină variația în timp a coeficientului de accelerație:

$$c_a = c_a(t) \quad (4.4.40)$$

$$\text{In cazul când pentru } 0 < t_i < t_{st}, \quad c_{ai} \leq c_{a \text{ adm}} \quad (4.4.41)$$

unde $c_{a \text{ adm}}$ este valoarea admisibilă a coeficientului de accelerație pentru legile de mișcare relativă a elementelor cuplurilor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie.

Dacă inegalitatea (4.4.41) nu este îndeplinită, se vor mări coeficienții de accelerare k_j ($j=1,2,3$), reluându-se procesul de optimizare descris în paragraful 4.4.3.3.

4.4.3.5. Exemplu de rezolvare a optimizării manipulării de către robot a unui obiect de lucru

Se urmărește optimizarea manipulării unui obiect de lucru de către un robot SCORBOT ERV plus având structura mecanismului generator de traiectorie, RRR.

În figura 4.4.11 se prezintă schema cinematică a mecanismului generator de traiectorie a robotului ER-Vplus și dimensiunile elementelor acestuia.

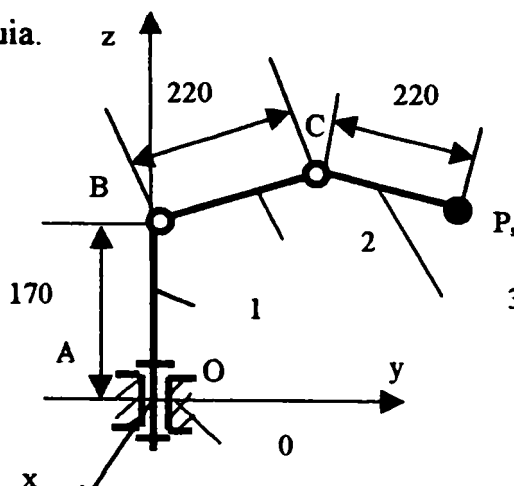


Figura 4.4.11. Mecanismul generator de traiectorie al robotului SCORBOT ER V plus

Robotul urmează să deplaseze punctul său caracteristic ("wrist point") din poziția $P_s(x_s, y_s, z_s)$ în poziția $P_t(x_t, y_t, z_t)$ (figura 4.4.12).

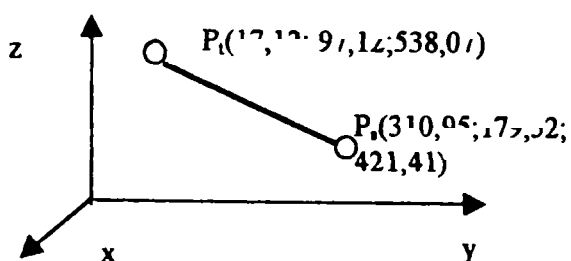


Figura 4.4.12. Pozițiile "start" și "final" ale punctului caracteristic

Programul de comandă a mișcării mecanismului generator de traiectorie este un program PTP sincron. Legile de mișcare relativă a elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie sunt legi cu “profil de viteză trapezoidal”, ecuațiile acestor legi sunt prezentate prin relațiile (4.4.1a, b, c), unde

$$q_j = \theta_j \quad (j=1, 2, 3) \quad (4.4.42)$$

Matricea de trecere de la elementul 3 la elementul 0 ale mecanismului generator de traiectorie din figura 4.4.11 este:

$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 & c_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2) \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 & s_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2) \\ s_{23} & c_{23} & 0 & a_3 s_{23} + a_2 s_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4.43)$$

unde $c_j = \cos \theta_j$, $s_j = \sin \theta_j$, $j=1, 2, 3$, $c_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3)$, $s_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3)$

Ca urmare a sistemului (4.4.10)

$$\begin{aligned} x_s &= c_{1s} c_{2s} c_{3s} a_3 - c_{1s} s_{2s} s_{3s} a_3 + c_{1s} c_{2s} a_2 & x_t &= c_{1t} c_{2t} c_{3t} a_3 - c_{1t} s_{2t} s_{3t} a_3 + c_{1t} c_{2t} a_2 \\ y_s &= s_{1s} c_{2s} c_{3s} a_3 - s_{1s} s_{2s} s_{3s} a_3 + s_{1s} c_{2s} a_2 & y_t &= s_{1t} c_{2t} c_{3t} a_3 - s_{1t} s_{2t} s_{3t} a_3 + s_{1t} c_{2t} a_2 \\ z_s &= s_{2s} c_{3s} a_3 + c_{2s} s_{3s} a_3 + s_{2s} a_2 + d_1 & z_t &= s_{2t} c_{3t} a_3 + c_{2t} s_{3t} a_3 + s_{2t} a_2 + d_1 \end{aligned} \quad (4.4.44)$$

Soluționând sistemele de ecuații trigonometrice (4.4.44), se obțin parametrii poziționali unghiulari relativi ai elementelor cuplelor cinematice conducătoare pentru pozițiile “start” și “țintă”:

$$\begin{aligned} \theta_{1s} &= 30^\circ & \theta_{1t} &= 80^\circ \\ \theta_{2s} &= 30^\circ & \theta_{2t} &= 45^\circ \\ \theta_{3s} &= 10^\circ & \theta_{3t} &= 60^\circ \end{aligned}$$

Cu ajutorul lor se determină cursele unghiulare ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie, conform sistemului (4.4.12):

$$\theta_{stj} = \theta_{jt} - \theta_{js}; \quad \theta_{st1} = 50^\circ; \quad \theta_{st2} = 15^\circ; \quad \theta_{st3} = 50^\circ$$

Vitezele unghiulare maxime ale mișcărilor relative ale elementelor cuplelor cinematice ale mecanismului generator de traiectorie ale robotului SCORBOT Vplus sunt:

$$\dot{\theta}_{1\max} = 35^\circ / s \quad \dot{\theta}_{2\max} = 10^\circ / s \quad \dot{\theta}_{3\max} = 30^\circ / s$$

Valorile minime teoretice ale timpului de deplasare a punctului caracteristic al robotului între pozițiile corespunzătoare punctelor P_s și P_t pentru cele 3 axe ale mecanismului generator de traiectorie (relațiile de forma 4.4.13) sunt:

$$\tau_1 = 1,42s; \quad \tau_2 = 1,5s; \quad \tau_3 = 1,66s.$$

Limita inferioară a intervalului de valori pentru alegerea valorii optimizate a timpului de deplasare t_{st} este $\lim_{inf} = 1,66s$. Valoarea extremă maximă a aceluiași interval este $\lim_{sup} = 2,85s$ pentru cupla cinematică conducătoare "1", calculată cu relația 4.4.15 și $k_1 = 0,5$.

$t_{st \min} \in (1,66; 2,85)$ și se alege $t_{st \min} = 2$ s.

Valorile coeficienților de accelerare k_j ($j=1, 2, 3$), calculate cu relațiile (4.4.17) și valoarea $t_{st \min} = 2$ s sunt: $k_1 = 0,285$; $k_2 = 0,25$; $k_3 = 0,166$. Se calculează în continuare parametrii de rotație relativi ai legilor de mișcare "cu profil de viteză trapezoidal" cu sistemul (4.4.1a, b, c) pentru fiecare element al cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie ale robotului.

În figura 4.4.13 sunt reprezentate graficele acestor legi de mișcare.

Poziția P_i a punctului caracteristic pentru timpul $t_i \in [0, 2]$ ($t_{st \min}$ este divizat în 10 intervale de timp egale) se calculează cu ajutorul sistemului de ecuații (4.4.45).

$$x_i = c_{1i}c_{2i}c_{3i}a_3 - c_{1i}s_{2i}s_{3i}a_3 + c_{1i}c_{2i}a_2 \quad (4.4.45)$$

$$y_i = s_{1i}c_{2i}c_{3i}a_3 - s_{1i}s_{2i}s_{3i}a_3 + s_{1i}c_{2i}a_2$$

$$z_i = s_{2i}c_{3i}a_3 + c_{2i}s_{3i}a_3 + s_{2i}a_2 + d_1$$

unde c_{ji} , s_{ji} ($j=1, 2, 3$) sunt funcții trigonometrice (cos, sin) ale parametrilor Θ_j la timpul t_i , calculați cu relațiile (4.4.1a, b, c).

În tabelul 4.4.2 se prezintă valorile coordonatelor punctelor P_i la timpul t_i .

Tabelul 4.4.2. Coordonatele pozițiilor punctelor P_i în raport cu sistemul de referință cu originea în O

t_i [s]	x_i [mm]	y_i [mm]	z_i [mm]	t_i [s]	x_i [mm]	y_i [mm]	z_i [mm]
0	310,9	179,5	421,4	1,2	96,7	181,9	526,9
0,2	292,1	185,7	436,5	1,4	61,1	159,2	535,7
0,4	249,6	207,9	459,4	1,6	34,7	130,7	539,7
0,6	230,0	200,0	474,8	1,8	21,0	105,8	539,0
0,8	183,2	203,4	496,3	2	17,1	97,1	538,0
1	138,0	197,1	513,7				

În tabelul 4.4.3 se prezintă coordonatele pozițiilor corespunzătoare punctului $P_{i \text{ lin}}$ (calculate cu relațiile 4.4.22) de pe traiectoria liniară descrisă de segmentul de dreaptă din P_s până în P_i în momentele de timp t_i și distanța d_i dintre punctele P_i și $P_{i \text{ lin}}$, calculată cu relația (4.4.23).

Tabelul 4.4.3. Coordonatele carteziene ale pozițiilor punctelor $P_{i \text{ lin}}$

t_i [s]	$x_{i \text{ lin}}$ [mm]	$y_{i \text{ lin}}$ [mm]	$z_{i \text{ lin}}$ [mm]	d_i [mm]
0	310,9	179,5	421,4	0,0
0,2	281,6	171,2	433,0	18,2
0,4	252,2	163,0	444,7	47,3
0,6	222,8	154,8	456,4	49,3
0,8	193,4	146,5	468,0	64,3
1	164	138,3	479,7	72,7
1,2	134,7	130,0	491,4	73,4
1,4	105,3	121,8	503,0	66,4
1,6	75,89	113,6	514,7	51,0
1,8	46,5	105,3	526,4	28,4
2	17,12	97,1	538,0	0,0

Parametrii poziționali relațivi $q_{ij \text{ lin}}$ ($i=0 \div 10$, $j=1, 2, 3$) ai cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie al robotului corespunzător pozițiilor punctelor $P_{i \text{ lin}}$ se calculează din relații de forma (4.4.11) pentru structura dată RRR a robotului. În tabelul 4.4.4 se prezintă acești parametrii poziționali, precum și vitezele momentane (relația 4.4.24) și viteza medie relativă (relația 4.4.25) ale axelor comandate ale robotului.

Valorile pantelor relațive p_{12} și p_{23} rezultate din calculul vitezelor unghiulare medii ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie care determină deplasarea punctului caracteristic atașat robotului pe traiectoria liniară $\overline{P_0 P_1}$ sunt:

$$p_{12} = 3,331318; \quad p_{23} = 0,300306.$$

Valorile recalculate ale coeficienților de accelerare k_j ($j=1, 2$) din relațiile (4.4.29) cu păstrarea valorii lui k_3 , sunt:

$$k_{1 \text{ calc}} = 0,166594; \quad k_{2 \text{ calc}} = 0,166497; \quad k_{3 \text{ calc}} = 0,16667.$$

Tabelul 4.4.4. Parametrii poziționali relativi $q_{ij\text{lin}}$, vitezele momentane și medii ale mișcărilor elementelor axelor comandate ale robotului

t_i	$q_{i1\text{lin}}$	$q_{i2\text{lin}}$	$q_{i3\text{lin}}$	$\Delta q_{i1\text{lin}}/\Delta t$	$\Delta q_{i2\text{lin}}/\Delta t$	$\Delta q_{i3\text{lin}}/\Delta t$
0	30	30	10	6,5	-39,8	115,7
0,2	31	22	33	7,8	-9,4	57,4
0,4	33	20	44	9,5	0,6	39,5
0,6	35	20	52	11,8	7,2	28,3
0,8	37	22	58	14,9	12,3	19,6
1	40	24	62	19,3	16,4	12,0
1,2	44	27	64	25,8	19,6	4,8
1,4	49	31	65	35,4	21,9	-2,0
1,6	56	36	65	49,6	23,1	-9,1
1,8	66	40	63	69,0	22,8	-16,5
2	80	45	59	Viteza medie:25	Viteza medie:7,5	Viteza medie:24,9

Se calculează, cu noile valori ale coeficienților de accelerare $k_{j\text{calc}}$, legile de mișcare “cu palier de viteză” de ordinul 0,1,2 și se obțin valorile parametrilor poziționali relațivi $q_{j\text{calc}}$. Prin rezolvarea “problemei cinematico-poziționale directe” pentru structura mecanismului generator de traiectorie RRR, se obțin coordonatele carteziene ale pozițiilor punctelor P_i' și se recalculează distanța acestora până la dreapta P_3P_1 . Rezultatele sunt înregistrate în tabelul 4.4.5.

În figura 4.4.14 sunt prezentate graficele de variație a distanțelor punctelor P_i și a punctelor P_i' (după corecția aplicată coeficienților de accelerare) față de traiectoria liniară $\overline{P_3P_1}$.

Matricea Jacobiană a mecanismului generator de traiectorie al robotului SCORBOT Vplus are expresia:

$$J_i = \begin{bmatrix} J_{11i} & J_{12i} & J_{13i} \\ J_{21i} & J_{22i} & J_{23i} \\ J_{31i} & J_{32i} & J_{33i} \end{bmatrix} \text{ unde } J_{11i} = \frac{\partial x_i}{\partial \theta_1} = -s_1(a_3c_{23} + a_2c_2)$$

Tabelul 4.4.5. Coordonatele pozițiilor punctelor P_i' și d_i'

t_i	x_i'	y_i'	z_i'	d_i'
0	310,9	179,5	421,4	0,0
0,2	287,2	190,8	438,2	21,0
0,4	263,8	198,8	453,1	38,6
0,6	221,4	206,5	477,0	55,6
0,8	178,8	205,8	497,2	67,6
1	138,0	197,2	513,7	72,7
1,2	100,5	181,3	526,1	70,7
1,4	67,6	159,3	534,5	61,7
1,6	40,5	132,5	538,5	46,6
1,8	22,2	106,5	538,7	27,2
2	17,1	97,1	538,0	0,0

$$J_{12i} = \frac{\partial x_i}{\partial \theta_2} = -c_1 a_3 s_{23} - a_2 s_2 c_1$$

$$J_{13i} = \frac{\partial x_i}{\partial \theta_3} = -c_1 a_3 s_{23}$$

$$J_{21i} = \frac{\partial y_i}{\partial \theta_1} = c_1 (a_3 c_{23} - a_2 c_2)$$

$$J_{22i} = \frac{\partial y_i}{\partial \theta_2} = -s_1 a_3 s_{23} - a_2 s_2 s_1$$

$$J_{23i} = \frac{\partial y_i}{\partial \theta_3} = -s_1 a_3 s_{23}$$

$$J_{31i} = \frac{\partial z_i}{\partial \theta_1} = 0$$

$$J_{32i} = \frac{\partial z_i}{\partial \theta_2} = a_3 c_{23} - a_2 c_2$$

$$J_{33i} = \frac{\partial z_i}{\partial \theta_3} = a_3 c_{23}$$

Derivata în funcție de timp a matricii Jacobiene este:

$$J_i = \begin{bmatrix} J_{11i} & J_{12i} & J_{13i} \\ J_{21i} & J_{22i} & J_{23i} \\ J_{31i} & J_{32i} & J_{33i} \end{bmatrix} \text{ unde } J_{11i} = \frac{\partial J_{11i}}{\partial t} = -\dot{\theta}_1 c_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2)$$

$$J_{12i} = \frac{\partial J_{12i}}{\partial t} = \dot{\theta}_2 (-c_1 a_3 c_{23} - a_2 c_2 c_1) \quad J_{13i} = \frac{\partial J_{13i}}{\partial t} = -\dot{\theta}_3 c_1 a_3 c_{23}$$

$$J_{21i} = \frac{\partial J_{21i}}{\partial t} = \theta_1 s_1 (a_3 s_{23} - a_2 c_2) \quad J_{22i} = \frac{\partial J_{22i}}{\partial t} = \theta_2 (-s_1 a_3 c_{23} - a_2 c_2 s_1)$$

$$J_{23i} = \frac{\partial J_{23i}}{\partial t} = -\theta_3 s_1 a_3 c_{23} \quad J_{31i} = \frac{\partial J_{31i}}{\partial t} = 0$$

$$J_{32i} = \frac{\partial J_{32i}}{\partial t} = -\theta_2 (a_3 s_{23} - a_2 s_2) \quad J_{33i} = \frac{\partial J_{33i}}{\partial t} = -\theta_3 a_3 s_{23}$$

Cu ajutorul sistemului (4.4.38) s-au calculat componentele accelerației punctului P_i :

$$\underline{a_{P_i}} = [\ddot{x}_{P_i} \quad \ddot{y}_{P_i} \quad \ddot{z}_{P_i}]^T \text{ pentru timpii } t_i.$$

Rezultatele calculului sunt prezentate în tabelul 4.4.6.

Tabelul 4.4.6. Proiecțiile vectorului accelerației a punctului P_i pe axele de coordonate cu originea în

O

t_i	\ddot{x}_i [m/s ²]	\ddot{y}_i [m/s ²]	\ddot{z}_i [m/s ²]	c_{ai}
0	-0,7	18,2	24,8	3,14
0.17	-267,3	76,7	-69,0	29,2
0.35	-404,3	126,9	-165,9	46,3
0.53	-331,4	170,3	-184,6	42,3
0.71	-259,4	216,7	-200,1	40,0
0.89	-191,5	264,0	-212,2	39,6
1.07	-130,7	309,0	-220,6	41,0
1.25	-79,6	352,3	-225,3	43,4
1.42	-40,2	389,0	-226,2	46,0
1.60	-13,5	275,6	-132,9	31,2
1.78	-3,69	27,0	2,45	2,79

În tabelul 4.4.6 s-au trecut și valorile pentru diferiți timpi t_i ale coeficientului de accelerație c_a calculat conform (4.4.39).

În figura 4.4.15 s-a prezentat variația cu timpul a coeficientului de accelerație c_{ai} .

S-a admis valoarea maximă a coeficientului de accelerație $c_{amax} = 60$. Se observă că în timpul deplasării punctului caracteristic P din pozițiile “start” în cea “țintă” $c_{ai} < c_{amax}$, ceea ce duce la concluzia că legile de mișcare au fost alese în mod corespunzător.

În concluzie, în cazul manipulării obiectelor de lucru de către robotul care lucrează cu programe “punct cu punct” (PTP), timpul t_{st} a deplasării obiectului de la situația de “start” în cea de “țintă” depinde de vitezele generalizate maxime $q_{j,max}$ ale mișcărilor relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare (prescrise de fabricantul de roboți) și – în cazul folosirii legilor de mișcare cu “profil de viteză trapezoidal”- de coeficienții de accelerație k_j .

Durata t_{st} se poate dimensiona micșorând coeficienții k_j . Se necesită însă verificarea amplitudinilor “mișcărilor parazite” relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare (ideal, aceste amplitudini ar trebui să fie nule) și a faptului că intensitatea accelerației punctului caracteristic în timpul deplasării nu depășește o valoare admisă.

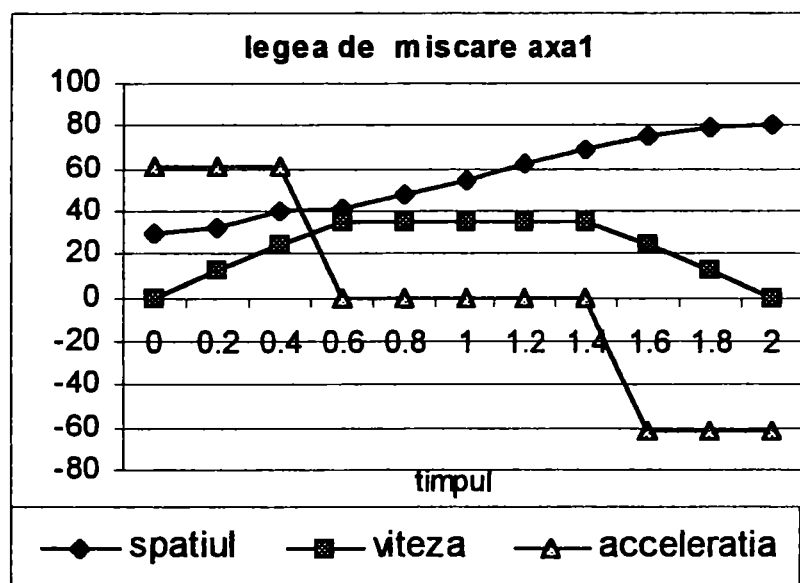


Figura 4.3.13a. Graficul legilor de mișcare ale elementului cuplei cinematice conducătoare 1 a mecanismului generator de traiectorie

4.4.4. Maximizarea simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare

4.4.4.1. Introducere

Activitățile subsistemului de manipulare care determină funcționarea unor subansamble ale componentelor subsistemului de prelucrare **nu pot fi simultane cu operațiile de prelucrare**

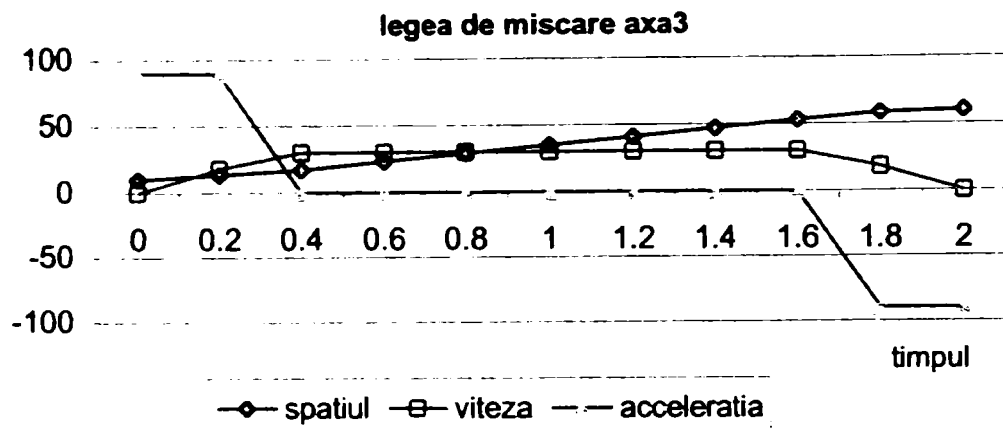
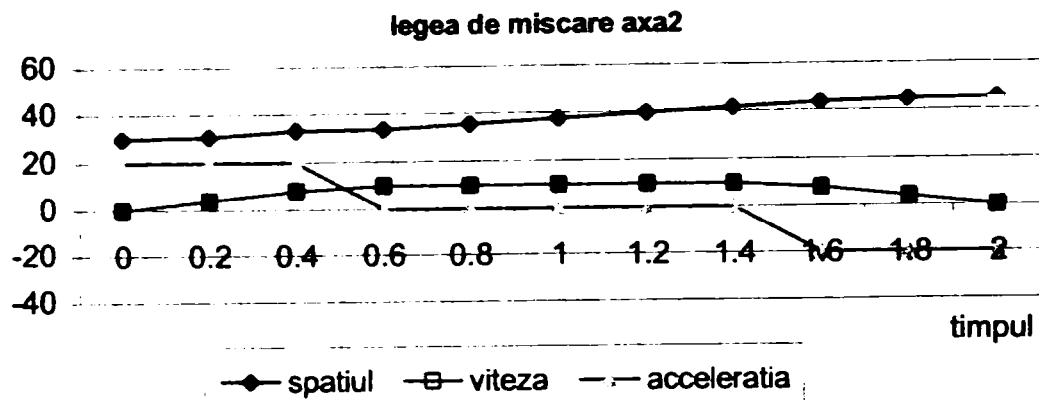


Figura 4.4.13' Graficele legilor de miscare ale elementelor cuplurilor cinematice conducatoare 2 si 3

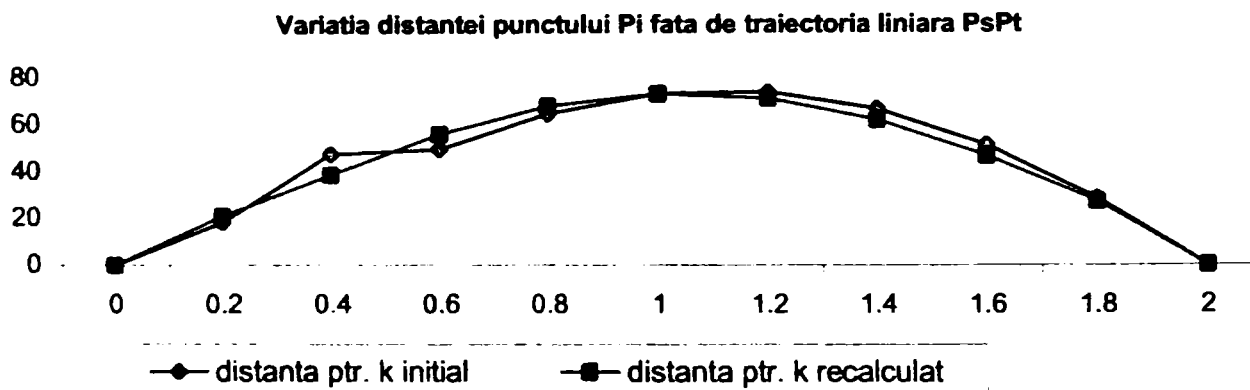


Figura 4.4.14. Graficul variației cu timpul a distanței di

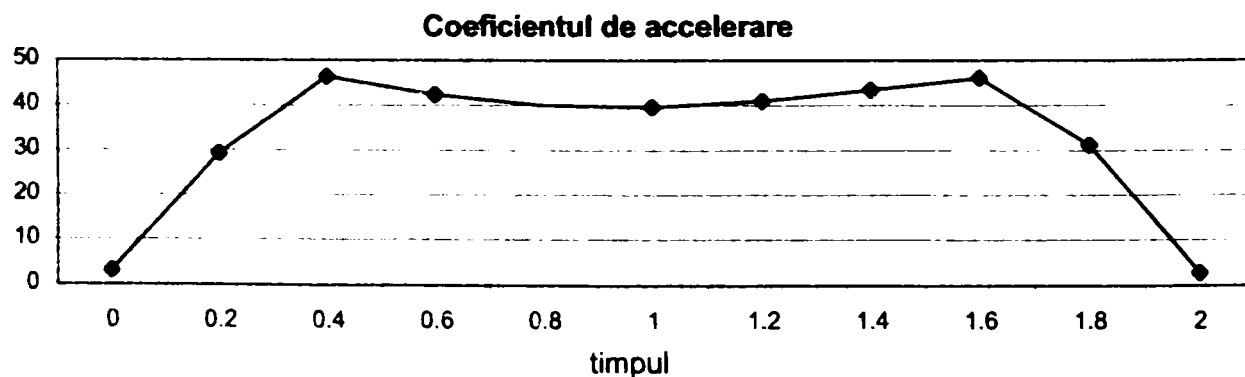


Figura 4.4.15. Graficul variației coeficientului de accelerare

(activități nesimultane ANS), acestea fiind activitățile de evacuare a pieselor prelucrate de la mașina la posturile de așteptare și de aducere a semifabricatelor de la posturile de așteptare la mașină.

Activitățile subsistemului de manipulare care pot fi simultane cu operațiile de prelucrare (activități simultane AS) sunt toate activitățile desfășurate de către componentele subsistemului de manipulare care asigură transferul obiectelor de lucru între posturile de așteptare ale diferitelor mașini și între acestea și depozit, pentru îndeplinirea condiției II enunțate în paragraful 4.4.2.

Componentele subsistemului de manipulare se pot împărți în două categorii din punctul de vedere al posibilităților de desfășurare simultană a activităților acestora cu operațiile de prelucrare:

C1. componente care desfășoară și activități simultane și nesimultane (notate cu CSNS) cu operațiile de prelucrare (de exemplu robotul din figura 4.4.2 este o componenta de categoria CSNS);

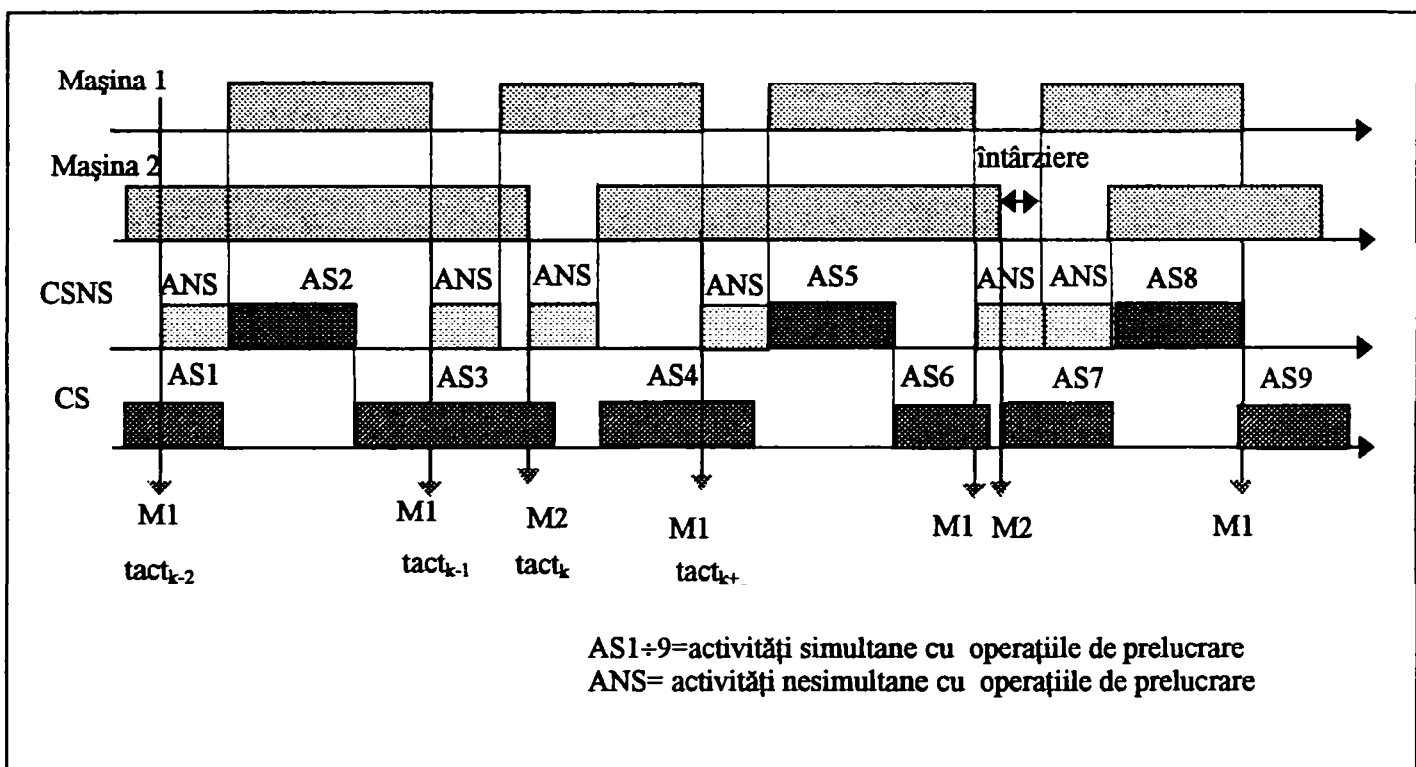


Figura 4.4.16. Exemplet de ciclograma de funcționare a unui SFF cu componente de manipulare care desfășoară activități simultane și nesimultane (CSNS) și componente de manipulare care desfășoară activități simultane (CS) cu operațiile de prelucrare a două mașini de lucru

Ciclograma din figura 4.4.16 corespunde funcționării componentelor din schema de principiu reprezentată în figura 4.4.17. Notățiile utilizate în exemplul de ciclogramă de funcționare (figura 4.4.16) au următoarele semnificații față de cele în planul de amplasament (figura 4.4.17):

CSNS corespunde robotului de manipulare; CS căruciorului de transfer al paletelor pe conveior; ANS sunt activitățile robotului de servire a mașinilor 1 sau 2; AS2 și AS5 sunt activitățile robotului de servire a postului de așteptare de la mașina 1; AS8 este activitatea robotului de servire a postului de așteptare de la mașina 2; AS1, AS4 și AS7 corespund activității de deplasare a căruciorului pe conveior dintr-o poziție anterioară la postul de așteptare de la mașina 1 și respectiv mașina 2; AS3, AS6 și AS9 sunt activitățile de transfer al paletelor pe conveior spre o poziție ulterioară necesară.

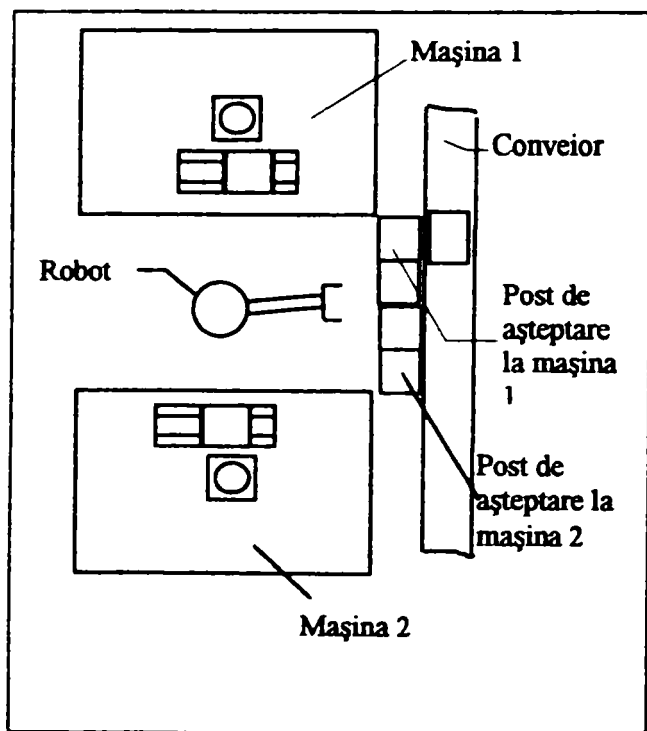


Figura 4.4.17. Schema de principiu a amplasamentului sistemului a cărei ciclogramă este reprezentată în figura 4.4.16

C2. componente care desfășoară numai activități simultane cu operațiile de prelucrare (notate cu CS) sau numai activități nesimultane (notate cu CNS) cu acestea (de exemplu dispozitivele de transfer lung din figurile 4.4.3 și 4.4.4, respectiv dispozitivele transpaletă).

În figura 4.4.18 este prezentată ciclograma de funcționare a sistemului a cărei schemă de amplasament este în figura 4.4.3. Semnificațiile notațiilor din ciclogramă sunt:

CNS înseamnă componentele cu activități nesimultane cu operațiile de prelucrare a celor două mașini de lucru, adică dispozitivele transpaletă montate la fiecare post de așteptare; cu CS s-a notat căruciorul de transfer al paletelor; ANS sunt activitățile de servire ale mașinilor 1 și 2; AS sunt activitățile de preluare a paletelor din postul de așteptare, de deplasare a căruciorului la un locaș al depozitului, de evacuare a paletelor în locaș și de deplasare a căruciorului la postul de așteptare a cărei mașină termină următoarea operație de prelucrare.

Activitatea de servire a mașinilor (ANS) are cea mai mare prioritate de desfășurare față de alte activități, momentul inițierii acestor activități nesimultane ale componentelor subsistemului de manipulare corespunde cu momentul de sfârșit al operațiilor de prelucrare la mașini. Prioritatea cea mai urgentă, în acest caz, înseamnă disponibilizarea echipamentului prin programare pentru activitatea de servire chiar în momentul sfârșitului operației de prelucrare. O posibilă întârziere în cazul poliservirii mașinilor este evidențiată în ciclograma din figura 4.4.18, unde servirea mașinii 2

nu este inițiată la sfârșitul operației de prelucrare a acesteia pentru că echipamentul de manipulare desfășoară în acel moment activitatea de servire a mașinii 1.

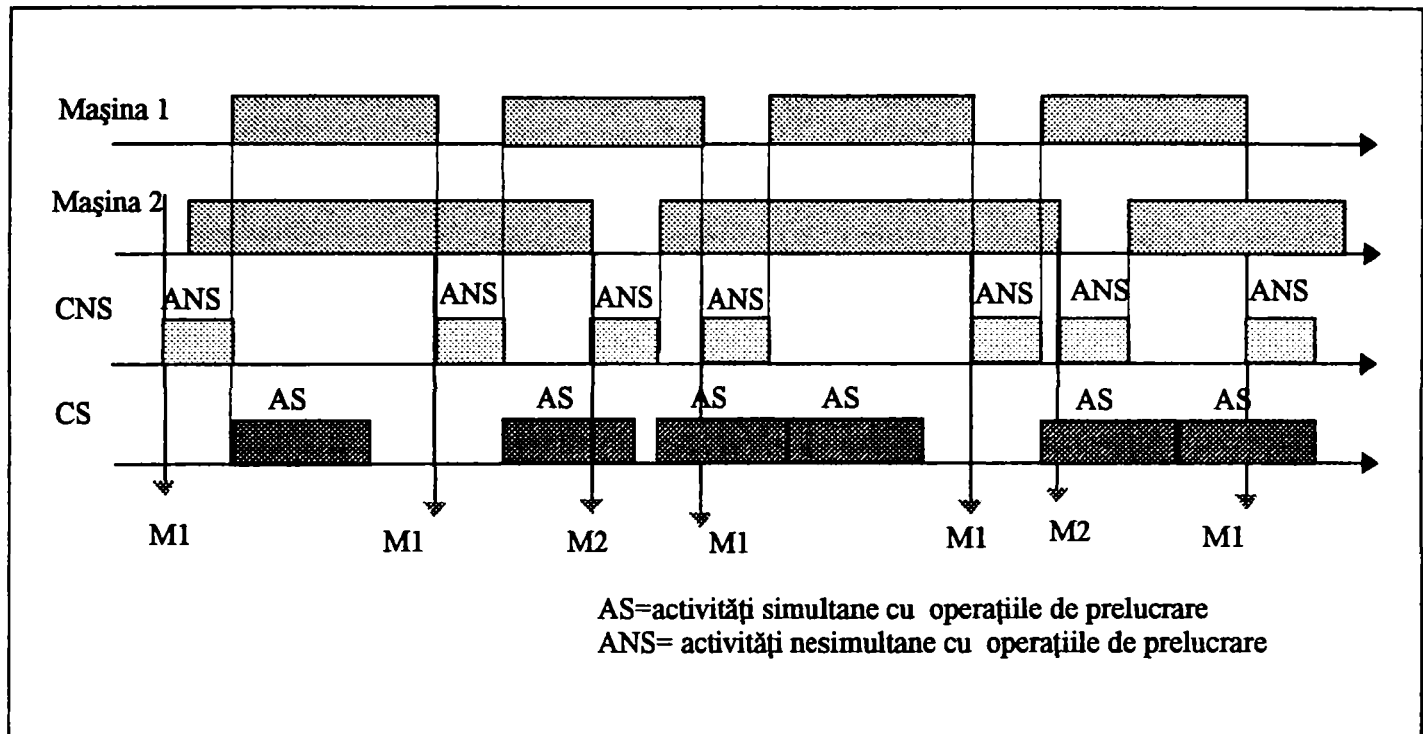


Figura 4.4.18. Exemplu de ciclograma de funcționare a unui SFF cu componente de manipulare care desfășoară numai activități nesimultane (CNS) și componente de manipulare care desfășoară numai activități simultane (CS) cu operațiile de prelucrare a două mașini de lucru

Din figura 4.4.16 se deduce condiția de început a activității simultane (AS_{2,5,8}) efectuate de către componenta (CSNS) partajată între mașini și o altă componentă a subsistemului de manipulare de transfer al piesei prelucrate/semifabricatului între posturile de așteptare și dispozitivul de transfer cu activitate simultană (CS).

Se utilizează notațiile:

$tact_k$ momentul sfârșitului prelucrării unui tip de piesă i la mașina j , acesta fiind al k -lea în ordinea numărării evenimentelor de acest fel de la originea ciclogramei, $m(k)=j$ mașina de lucru care termină operația de prelucrare la momentul k ;

$d_{AS2,5,8}$ durata activității simultane a componentei care este partajată între servirea mașinilor de lucru și o altă componentă de manipulare, AS_{2,5,8} înseamnă evacuarea piesei de la postul de așteptare la dispozitivul de transfer lung și aducerea unui semifabricat de la acesta la postul de așteptare;

d_{ANS} durata activității de servire a mașinilor, ANS înseamnă evacuarea piesei prelucrate de la mașina și aducerea unui semifabricat la mașina;

$d_{AS1,3,4,6,7,9}$ durata activităților componente care desfășoară numai activități simultane cu operațiile de prelucrare, AS1,3,4,6,7,9... înseamnă transferul lung al piesei fie la o altă mașină de lucru, conform itinerarului tehnologic, fie la depozit;

Activitatea AS2,5,8 poate fi inițiată dacă:

$$d_{AS2,5,8} \leq \{tact_{k+1} - tact_k / \text{pentru fiecare } k\} - d_{ANS} \quad (4.4.46)$$

Activitățile notate cu AS1÷3 sau AS4÷6 sau AS7÷9 în figura 4.4.16. și respectiv AS în figura 4.4.18 sunt activități de evacuare a piesei prelucrate din posturile de așteptare de la mașini și de aducere de semifabricate la posturile de așteptare libere. Dacă numărul de posturi de așteptare de la o mașina j este $n_{buf(j)}$ și notăm cu $t_b(i,j)$ durata operației de prelucrare a tipului de piesa "i" din postul de așteptare de la mașina j, activitățile AS1÷3, AS4÷6, AS7÷9,.. trebuie să se desfășoare pe o perioadă de timp de $(n_{buf(j)} \cdot (t_b(i,j) + d_{ANS}))$ de cel mult $(n_{buf(j)} - 1)$ ori și cel puțin o dată.

În continuare se propune o metodă de optimizare a simultaneității activităților subsistemului de manipulare, conținând 4 etape de verificare a posibilităților de suprapunere a activităților componentelor subsistemului de manipulare cu operațiile de prelucrare.

4.4.4.2. Verificarea capacității productive a componentei de manipulare CSNS sau CNS pentru activitățile nesimultane de servire a M_S mașini de lucru

Datele inițiale necesare acestei etape sunt: $tact_k$, toate cele K momente de timp la care M_S mașini de lucru servite de către aceeași componentă termină operațiile de prelucrare, pentru timpul T de realizare a ciclogramei, d_{ANS} durata activităților nesimultane de manipulare a pieselor de la și la mașină.

Se verifică dacă distanța în timp între $tact_k$ și $tact_{k+1}$ este suficientă pentru a permite componentei CSNS sau CNS să servească mașina de lucru care termină operația de prelucrare la momentul k prin parcurgerea următoarelor etape.

- i. Este necesară determinarea încadrării lungimilor segmentelor care reprezintă la scară: $(tact_{k+1} - tact_k)$ și d_{ANS} într-unul din cazurile posibile prezentate mai jos, pentru toate cele K momente de terminare a prelucrării la cele M_S mașini de lucru din SFF (conform figurii 4.4.19).

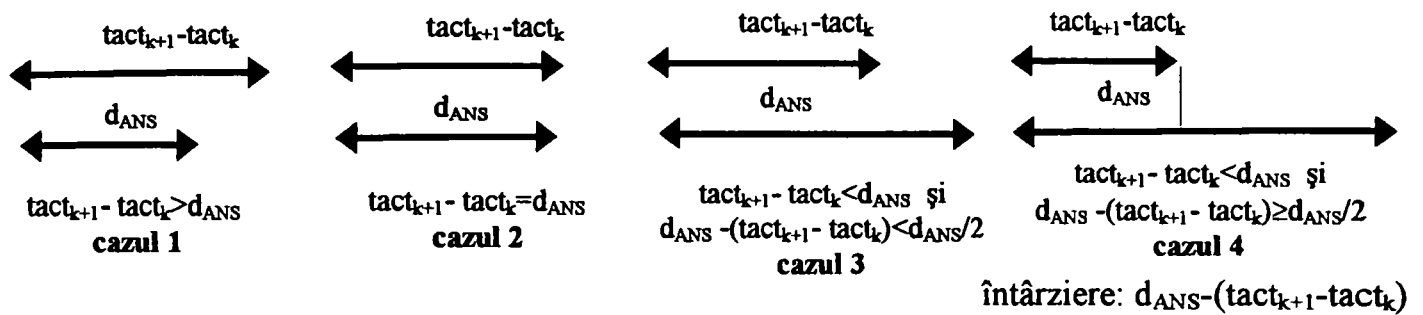


Figura 4.4.19. Cazuri posibile rezultate din relațiile dimensionale dintre $(tact_{k+1} - tact_k)$ și d_{ANS}

Activitatea de servire a mașinii care termină la momentul k , începe imediat ce mașina respectivă a terminat operația de prelucrare (segmentele de dreaptă care reprezintă prin lungimile lor durata activităților sunt aliniate la stânga).

Situațiile prezentate în cazul 1 și 2 nu “întârziesc” începerea activității de servire a mașinii de lucru care termină la momentul $k+1$, dar cazurile 3 și 4 introduc o “întârziere” în inițierea acestei activități. Se consideră că dacă “întârzierea” depășește 50% din d_{ANS} (cazul 4), toate evenimentele ulterioare momentului $tact_{k+1}$ vor fi decalate cu valoarea acestei “întârzieri”.

- ii. Se va contoriza n_{NS} numărul de încadrări ale lungimilor segmentelor în cazurile 3 și 4 pentru toate evenimentele K de sfârșit de prelucrare a M_S mașini de lucru. Se va determina și $tact_K$, ultimul eveniment pentru perioada de timp T în care se face ciclograma, decalat ca urmare a introducerii “întârzierilor” conform cazului 4.
- iii. Dacă $0 \leq n_{NS} < K/2$ și $tact_K < 1,2 \cdot T$, atunci activitatea de servire a M_S mașini cu componenta CSNS sau CNS, se încadrează în limite normale, fără să fie necesar să se aducă modificări structurii subsistemului de manipulare.
- iv. Dacă $n_{NS} \geq K/2$ (mai mult de 50% din activitățile de servire K sunt “întârziate”) sau $tact_K \geq 1,2 \cdot T$ (suma “întârzierilor” corespunzătoare cazului 4 depășește 20% din timpul total T) se va considera că servirea cu componenta de manipulare CSNS sau CNS a M_S mașini de lucru nu este eficientă. Pentru această situație defavorabilă se vor cauta soluții de remediere prin:

- mărirea capacității de manipulare a componentei respective (de exemplu: în cazul robotului, se poate utiliza dispozitiv de prehensiune dublu), reactualizarea valorii $d_{ANS}' < d_{ANS}$ și reluarea calculelor de verificare a capacității productive a componentei de manipulare;

- micșorarea cu 1 a numărului de mașini de lucru servite cu aceeași componenta CSNS sau CNS: $M_S' = M_S - 1$ și reluarea calculelor pentru $K' < K$ evenimente de sfârșit a

operației de prelucrare la M_S mașini. Mașina de lucru exclusă va fi aceea pentru care d_{ANS} are cea mai mare valoare sau are cea mai mică valoare a mediei timpului de bază al operațiilor de prelucrare. Se va modifica structura subsistemului de manipulare pentru a asigura servirea și a celorlalte mașini de lucru eliminate prin procesul de optimizare.

Procesul este iterativ și se repetă până ce se constata că $0 \leq n_{NS} < K/2$ sau $tact_k < 1,2 \cdot T$.

4.4.4.3. Verificarea posibilităților de începere a activităților simultane cu operațiile de prelucrare pentru componenta de manipulare care desfășoară și activități simultane și nesimultane (CSNS) (cazul ciclogramei din figura 4.4.16)

Datele necesare în acest paragraf sunt: $d_{AS2,5,8}$ durata activităților simultane de manipulare a pieselor între posturile de așteptare de la mașini și componenta de transfer lung CS, $n_{buf}(j)$ numărul de posturi de așteptare la mașina j și $t_b(i,j)$ timpul de bază al operației de prelucrare la piesa de tip "i", executate la mașina j .

Se verifică dacă distanța în timp între $tact_k$ și $tact_{k+1}$ este suficientă pentru a permite componentei CSNS să desfășoare activitatea simultană AS2,5,8.

i. Condiția de activare a AS2,5,8 este, pentru toate K momente de terminare a prelucrării la cele M_S mașini de lucru, încadrarea relației dintre lungimile: $(tact_{k+1} - tact_k) - d_{ANS}$ și $d_{AS2,5,8}$ într-unul din cazurile 1 sau 2 prezentate în figura 4.4.20.

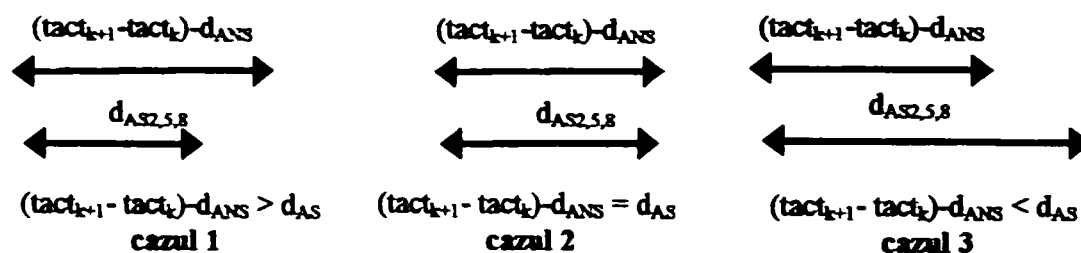


Figura 4.4.20. Cazurile posibile rezultate din relațiile dimensionale ale timpilor $(tact_{k+1} - tact_k) - d_{ANS}$ și $d_{AS2,5,8}$

În situația în care lungimile segmentelor de dreaptă care reprezintă la scară valorile duratelor $(tact_{k+1} - tact_k) - d_{ANS}$ și $d_{AS2,5,8}$ se încadrează în cazul 3, pornirea activității de manipulare a pieselor între posturile de așteptare și dispozitivul de transfer lung (AS2,5,8) nu este recomandată pentru că aceasta ar introduce o "întârziere" a servirii mașinii care termină operația de prelucrare la momentul $k+1$.

- ii. Pentru toate evenimentele K pe perioada de timp T a ciclogramei, se vor contoriza posibilitățile de pornire a activității simultane de tip AS2,5,8 (încadrarea în cazurile 1 și 2), determinându-se n_S .

Activitățile AS2,5,8 realizate de către componenta CSNS au ca scop evacuarea piesei prelucrate din postul de așteptare și aducerea unui semifabricat la postul de așteptare (condiția I și II) la fiecare din cele M_S mașini de lucru servite.

Dacă se consideră cunoscut intervalul de timp în care se desfășoară operațiile de prelucrare la tipul de piesă "i" la mașina j pentru toate piesele din cele $n_{buf(j)}$ posturi de așteptare, activitățile AS2,5,8 trebuie să se desfășoare de cel puțin o dată și cel mult $n_{buf(j)}-1$. Pentru timpul total T al ciclogramei, se poate determina numărul necesar maxim și minim de desfășurări ale activităților simultane AS2,5,8:

$$nec_{Smin} = K - \sum((n_{buf(j)} - 1)) \text{ și } nec_{Smax} = K - M_S, \text{ pentru toți } j \in 1 \div M_S \quad (4.4.47)$$

Pentru $n_{buf(j)}=2, \forall j=1 \div M_S, nec_{Smin} = nec_{Smax} = K - M_S$.

- iii. Dacă se compară valorile $nec_{Smin, max}$ și n_S , pentru toata perioada T de funcționare a SFF, se poate constata că: $n_S > nec_{max}$: posibilitățile componentei de manipulare CSNS sunt mai mari decât valoarea maximă a necesităților de desfășurare a activităților AS2,5,8.

În acest caz se pot suplimenta cu 1 numărul de mașini servite $M_S' = M_S + 1$, după care se reia ciclul de verificare ale etapei ii. Posibilitatea măririi numărului de mașini servite de către componentă trebuie analizată prin prisma intervenției la nivelul structurii sistemului (dacă există o asemenea mașină în sistem) și al planului de amplasament. Din sinteza planului de amplasament se verifică dacă servirea unei mașini suplimentare de către componenta de manipulare este posibilă, adică spațiul de lucru al componentei de manipulare are un volum suficient de mare pentru a face posibilă desfășurarea acestei activități.

Dacă $nec_{Smin} \leq n_S \leq nec_{Smax}$: posibilitățile componentei de manipulare CSNS corespund cerințelor de desfășurare a activităților AS2,5,8.

- iv. Dacă $nec_{Smin} \geq n_S$: posibilitățile componentei de manipulare CSNS de desfășurare a activităților simultane sunt depășite de cerințe, caz în care se pot lua următoarele măsuri:

- se va elimina dintre cele M_S mașini servite pe acea care are valoarea cea mai mică a timpului de bază al operației de prelucrare $t_b(i,j)$ (notată cu M_{min}) și se va relua calculul de

verificare. În situația în care rezultatul eliminării mașinii de lucru (M_{\min}) nu duce la un rezultat favorabil, se va relua calculul de verificare în care s-a eliminat dintre cele M_S mașini servite inițial, mașina care are valoarea cea mai mare a $t_b(i,j)$ (notată cu M_{\max}). Dacă în urma calculului de verificare nu se ajunge la un rezultat favorabil, se vor elimina dintre cele M_S mașini servite de aceeași componentă, și mașina M_{\min} și M_{\max} .

4.4.4.4. Verificarea posibilităților de desfășurare a activităților simultane cu operațiile de prelucrare pentru componenta de manipulare CS care colaborează cu o componentă CSNS (cazul ciclogramei din figura 4.4.16)

Datele inițiale utilizate sunt: $d_{AS1,3}$, $d_{AS4,6}$, $d_{AS7,9}$, durata activităților simultane de manipulare a pieselor între posturile de așteptare de la mașini și componenta de transfer lung CS, n_S numărul de posibilități de pornire a activităților simultane AS2,5,8, $n_{\text{buf}(j)}$ numărul de posturi de așteptare la mașina de lucru j , $m(k)=j$ mașina de lucru j care termină prelucrarea la momentul k , $k=1 \div K$.

Se verifică dacă distanța în timp între t_{act_k} și $t_{act_{k+1}}$ este suficientă pentru a permite componentei CS să desfășoare activitatea simultană AS1 și AS3 sau AS4 și AS6 sau AS7 și AS9 (ciclograma 4.4.16).

Activitățile componentei CS sunt condiționate de posibilitatea de desfășurare a activităților simultane AS2,5,8 ale componentei CSNS. De aceea, activitățile AS1,3 sau 4,6 sau 7,9 se desfășoară dacă și numai dacă este posibilă desfășurarea activității AS2, sau AS5 sau AS8.

- i. Timpul total necesar pentru desfășurarea activităților simultane ale componentei CSNS și CS în timpul total T , este:

$$T_{\text{nec}} = (q \cdot (d_{AS1} + d_{AS2} + d_{AS3}) + w \cdot (d_{AS4} + d_{AS5} + d_{AS6}) + r \cdot (d_{AS7} + d_{AS8} + d_{AS9}) + \dots), \text{ unde } q, w, r, \dots \text{ sunt numărul de posibilități de activare a AS2, AS5, AS8, astfel încât } q + w + r + \dots = n_S. \quad (4.4.48)$$

- ii. Dacă $T_{\text{nec}} \leq t_{act_{k-1}}$, atunci componenta CS are o capacitate productivă corespunzătoare necesităților de transfer ale pieselor între posturile de așteptare de la diferitele mașini și depozit.
- iii. Dacă $T_{\text{nec}} > t_{act_{k-1}}$, atunci componenta CS are o capacitate productivă mai mică decât cea necesară. În acest caz este necesar să se adopte una din soluțiile propuse de creștere a capacității de manipulare a componentei CS:

(a) mărirea capacității de transfer a lui CS prin utilizarea căruciorului cu două locașuri pentru obiectul de lucru (locaș pentru piesa prelucrată, locaș pentru semifabricat); (b) mărirea cu unu a numărului de cărucioare pe conveior sau de robocare; (c) introducerea unei componente de

manipulare suplimentare (de categoria CS) care să facă posibil transferul pieselor în posturile de așteptare fără a aștepta disponibilizarea CSNS (figurile 4.4.21 și 4.4.22).

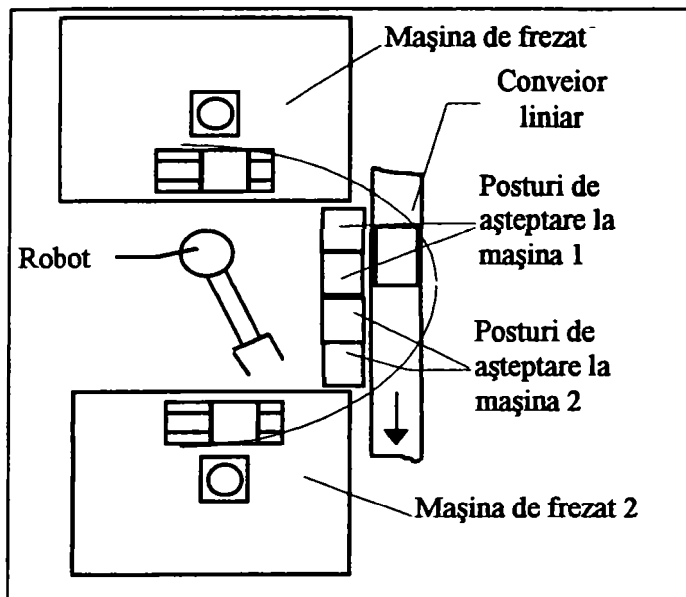


Figura 4.4.21. Situație inițială în care capacitatea de manipulare a robotului și căruciorului este mai mică decât cea necesară

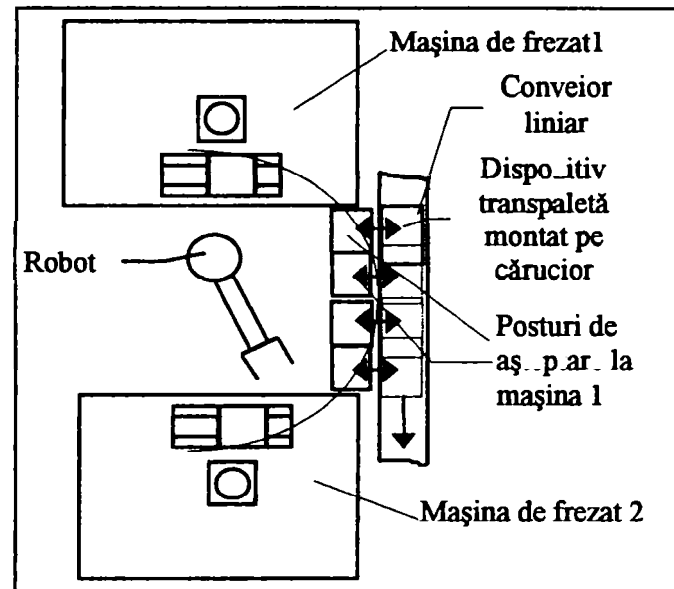


Figura 4.4.22. Soluție posibilă prin introducerea suplimentară a unei componente CS

În figura 4.4.21, se presupune că suma capacităților productive ale componentei CS (cărucior de transfer) și CSNS (robot) pentru activitățile simultane cu operațiile de prelucrare este mai mică decât cea necesară. Soluția din figura 4.4.22 constă în introducerea suplimentară a dispozitivului transpaletă pe căruciorul de transfer lung (CS), care împreună cu conveiorul desfășoară toate activitățile simultane, fără a fi necesară disponibilizarea robotului pentru aceste activități.

S-au notat cu indici diferiți activitățile simultane ale componentelor CS și CSNS în ciclograma din figura 4.4.16. Activitățile AS2,5,8 au durate de timp diferite, funcție de postul de așteptare între care se realizează transferul obiectelor de lucru și poziția de start a componentei CSNS. Activitățile AS1,3,4,6,7,8 sunt de asemenea notate cu indici diferiți pentru că acestea înseamnă transferul obiectelor de lucru între puncte de precizie ale echipamentelor situate în poziții distincte ale SFF.

Dacă adoptat măsura (a) de adecvare a capacității productive, se vor recalcula duratele activităților $d_{AS1,3}$, $d_{AS4,6}$, $d_{AS7,9}$ și se va relua verificarea prin recalcularea timpului necesar cu relația 4.4.48.

În cazul în care se vor utiliza mai multe cărucioare sau robocare (soluția b), calculul de verificare cu formula 4.4.48 introduce prea multe simplificări ale comportamentului dinamic al

componentelor de transfer lung și este necesară utilizarea unui program de simulare a SFF pentru a se valida aceasta decizie.

Solutia (c) propusă conduce la o funcționare a SFF a cărei ciclogramă este reprezentată în figura 4.4.18. În exemplul prezentat în figura 4.4.22 comparativ cu situația din figura 4.4.21, robotul din componenta de categoria CSNS devine un echipament care desfășoară numai activități nesimultane cu operațiile de prelucrare a acelor 2 mașini de frezat, iar dispozitivul transpaletă, introdus suplimentar, împreună cu căruciorul pe conveior este o componentă de manipulare de categoria CS.

Verificarea adecvării capacității productive a acestei componente CS se realizează în paragraful 4.4.4.5.

4.4.4.5. Verificarea posibilităților de desfășurare a activităților simultane cu operațiile de prelucrare pentru componenta de manipulare CS care colaborează cu o componenta CNS

Datele inițiale necesare procesului de verificare sunt: d_{AS} durata activităților simultane de manipulare a pieselor între posturile de așteptare de la mașini la componentele de transfer CS, n_{NS} numărul de posibilități de pornire a activităților nesimultane ANS, $n_{buf}(j)$ numărul de posturi de așteptare la mașina de lucru j , $m(k)=j$, mașina de lucru j care termină prelucrarea la momentul k , pentru $\forall k=1 \div K$.

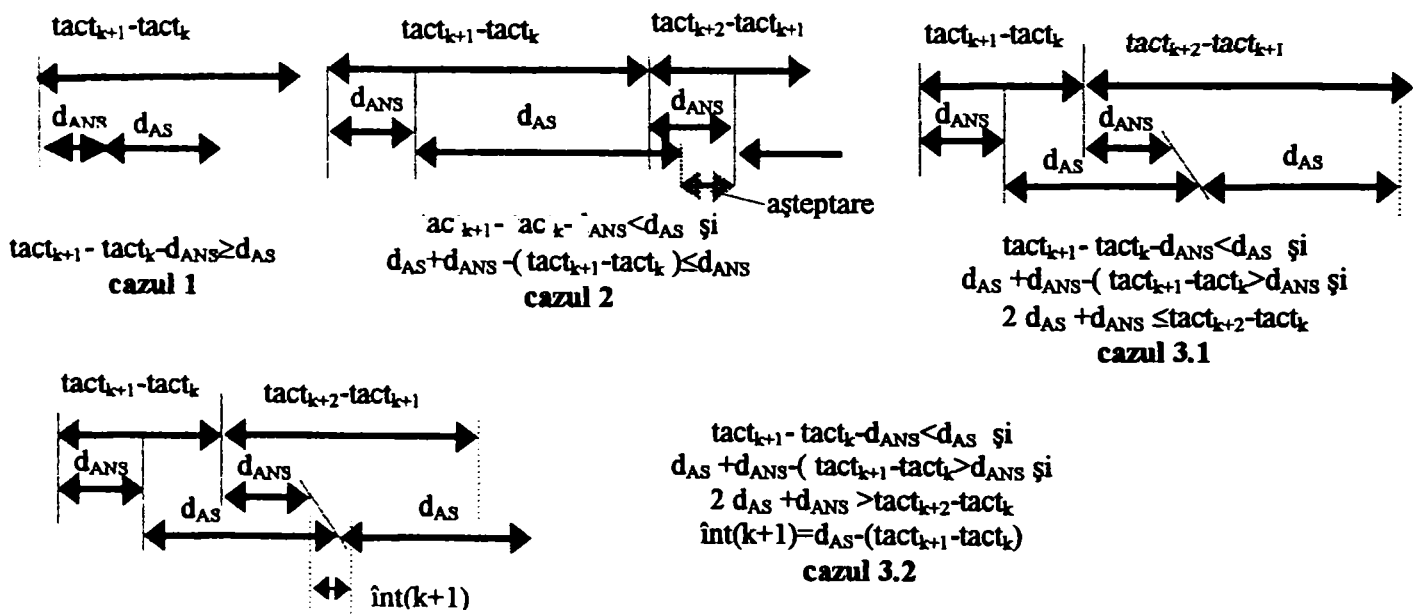


Figura 4.4.23. Cazurile rezultate din analiza comparativă a lungimii segmentelor corespunzătoare duratelor activităților $(tact_{k+1}-tact_k)-d_{ANS}$ și d_{AS} pentru 3 momente succesive $tact_k$ de terminare a prelucrării la mașini

- i. Dacă se analizează (în figura 4.4.24) porțiunea de ciclograma din figura 4.4.18 care reprezintă activitățile simultane ale componentei CS, se constată că lungimile segmentelor de dreaptă corespunzătoare duratelor $(tact_{k+1}-tact_k)-d_{ANS}$ și d_{AS} se pot încadra comparativ în cazurile prezentate în figura 4.4.23.
- ii. Corelarea duratelor activităților simultane cu momentele $tact_{k+1}$ și $tact_k$, așa cum este prezentată în cazul 1 nu introduce întârzieri ale activității de evacuare a pieselor și de alimentare cu semifabricate a posturilor de așteptare ale mașinilor.

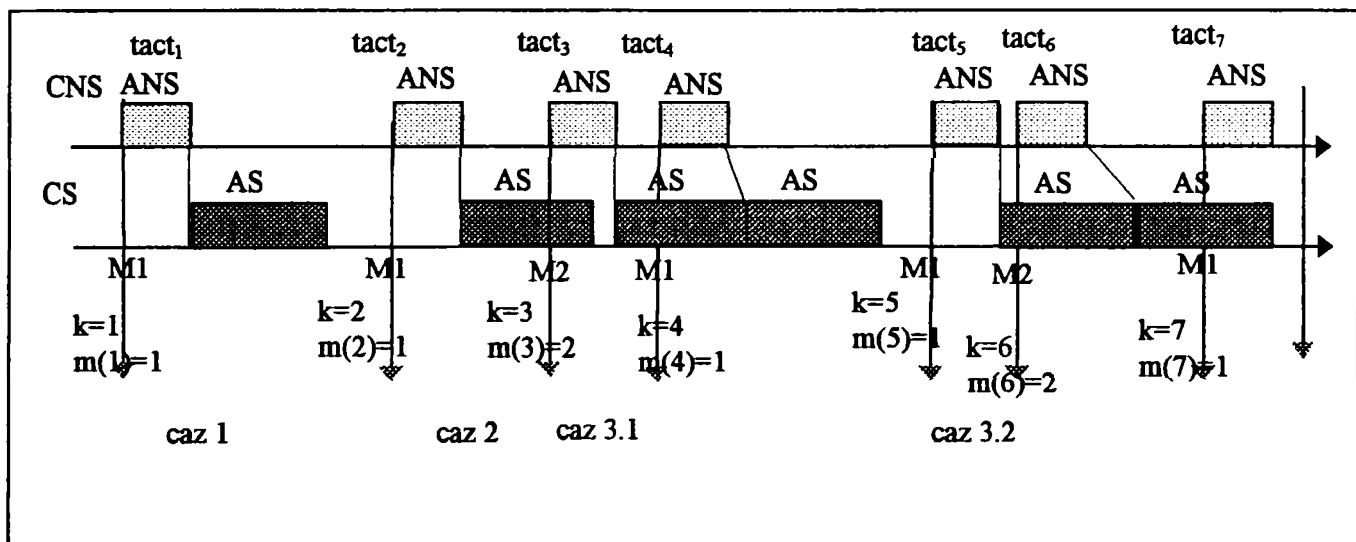


Figura 4.4.24. Analiza comparativă a duratelor activităților simultane AS față de timpii operațiilor de prelucrare și ai activității ANS pentru exemplul de ciclograma prezentat în figura 4.4.18.

Spre deosebire de cazul anterior, situațiile prezentate în cazurile 2 și 3 trebuie analizate detaliat, pentru că este posibil să se introducă întârzieri considerabile în îndeplinirea condițiilor I și II (paragraful 4.4.2) și acestea ar putea să afecteze capacitatea productivă a mașinilor de lucru.

Dacă se constată că $(tact_{k+1}-tact_k)-d_{ANS} < d_{AS}$, atunci evacuarea/alimentarea postului de așteptare la mașina care termină prelucrarea la momentul $k+1$ este întârziată.

Pornirea activităților simultane ale componentei CS este condiționată de încheierea activității nesimultane a componentei CNS, de aceea în cazul (2) în care $d_{ANS}+d_{AS}-(tact_{k+1}-tact_k) < d_{ANS}$, se constata că între activitățile succesive ale echipamentului de transfer lung al pieselor CS va apărea o perioadă de așteptare, a cărei valoare este determinabilă și care este reprezentată în figură. În cazul 3.1 și 3.2 componenta CS are îndeplinită condiția de desfășurare a activității de transfer lung a piesei terminate de către mașină la momentul $tact_{k+1}$, imediat după terminarea activității simultane anterioare.

- iii. Determinarea situațiilor critice de strangulare a fluxului material de către componenta de transfer lung CS se realizează prin compararea valorilor activităților ($tact_{k+1} - tact_k$) - d_{ANS} cu valoarea d_{AS} pentru toate evenimentele K pentru care a fost realizată ciclograma.

În tabelul 4.4.7 se prezintă sintetic relațiile și modalitățile de verificare ale capacității productive a componentei CS pentru toate cazurile rezultate din analiza comparativă a duratelor activităților componentelor.

Se definește “int(k)” valoarea de timp corespunzătoare “întârzierii” pornirii activității simultane AS față de momentul terminării servirii mașinii (ANS) a cărei operație de prelucrare s-a încheiat la momentul k.

În figura 4.4.25 se prezintă analiza corespunzătoare cazului 3.2 prin parcurgerea situațiilor succesive 4, 4.1, 4.2, 4.3, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3., 4.3.3.1....etc din tabelul 4.4.7. Prin lungimea segmentelor de dreaptă s-a reprezentat, la o scară convenabilă, durata activităților sau distanța în timp între evenimentele $tact_{p+1}$ și $tact_p$.

Din tabelul 4.4.7 se poate observa că dacă analiza comparativă a duratelor activităților în momentele k și k+1 identifică încadrarea în cazurile 1 și 3.1, componenta CS își îndeplinește funcția fie în intervalul de timp k și k+1 (cazul 1) fie în perioada de timp dintre evenimentele k și k+2 (cazul 3.1).

Pentru cazul 2, în timpul $(tact_{k+1} - tact_k) + d_{ANS}$ componenta CS îndeplinește transferul obiectelor de lucru rezultat ca urmare a terminării prelucrării la momentul k și activitatea componentei CS în intervalul $(tact_{k+2} - tact_{k+1})$ nu este întârziată.

În cazul în care relațiile de verificare conduc la concluzia de încadrare în cazul 3.2 a valorilor concrete ale activităților pentru evenimentele k și k+2, va fi necesară analiza comparativă a duratelor activităților și pentru momentele k+1 și k+3 (în tabelul 4.4.2 liniile notate cu 4.1÷4.3), în care AS va începe cu o întârziere rezultată din derularea operațiilor de prelucrare și a activităților în perioada de timp $tact_{k+2}$ și $tact_k$. Concluziile acestor verificări se pot încadra în cazul 2, 3.1. sau 3.2.

În situația în care se regăsește și pentru intervalul de timp $tact_{k+3} - tact_{k+1}$ tot cazul 3.2, se va relua procesul iterativ (în tabelul 4.4.7 liniile notate cu 4.3.1÷4.3.3) pentru evenimentele k+2 și k+4.

Tabelul 4.4.7. Verificarea capacității productive a componentei CS prin identificarea cazurilor prezentate în figura 4.4.23.

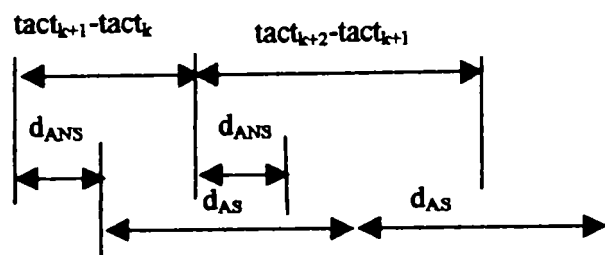
Evenimentele de terminare ale operației de prelucrare analizate		Comparație dintre $tact_{p+1}-tact_p - d_{ANS}$, d_{AS} , d_{ANS}				
		$(tact_{p+1}-tact_p) - d_{ANS} \geq d_{AS}$	$tact_{p+1}-tact_p - d_{ANS} < d_{AS}$			
			$d_{AS} + d_{ANS} + \text{int}(p) - (tact_{p+1}-tact_p) \leq d_{ANS}$	$d_{AS} + d_{ANS} + \text{int}(p) - (tact_{p+1}-tact_p) > d_{ANS}$		
				$2d_{AS} + d_{ANS} + \text{int}(p) \leq tact_{p+2} - tact_p$	$2d_{AS} + d_{ANS} + \text{int}(p) > tact_{p+2} - tact_p$	Observații
1	$p=k$	da	-	-	-	cazul 1
2	$p=k$	-	da	-	-	cazul 2, $\text{int}(p)=0$
3	$p=k$	-	-	da	-	cazul 3.1, $\text{int}(p)=0$
4	$p=k$	-	-	-	da	cazul 3.2, $\text{int}(p)=0$
4.1	$p=k+1$	-	da	-	-	cazul 2 $\text{int}(p)=d_{AS} - (tact_p - tact_{p-1})$
4.2	$p=k+1$	-	-	da	-	cazul 3.1 $\text{int}(p)=d_{AS} - (tact_p - tact_{p-1})$
4.3	$p=k+1$	-	-	-	da	cazul 3.2 $\text{int}(p)=d_{AS} - (tact_p - tact_{p-1})$
4.3.1	$p=k+2$	-	da	-	-	cazul 2 $\text{int}(p)=d_{AS} - (tact_p - tact_{p-1}) + \text{int}(p-1)$ $m(k), m(k+1), m(k+2), m(k+3)$
4.3.2	$p=k+2$	-	-	da	-	cazul 3.1 $\text{int}(p)=d_{AS} - (tact_p - tact_{p-1}) + \text{int}(p-1)$ $m(k), m(k+1), m(k+2), m(k+3)$
4.3.3	$p=k+2$	-	-	-	da	cazul 3.2 $\text{int}(p)=d_{AS} - (tact_p - tact_{p-1}) + \text{int}(p-1)$ $m(k), m(k+1), m(k+2), m(k+3)$
4.3.3.1	$p=k+3$	-	-	-	-	-

Cunoscându-se mașinile de lucru care termină operațiile de prelucrare între momentele $tact_k$ și $tact_{k+3}$, adică $m(k)$, $m(k+1)$, $m(k+2)$ și $m(k+3)$ se vor determina numărul de cazuri $nr(j)$ în care, în acest interval de timp, aceeași mașină termină operația de prelucrare:

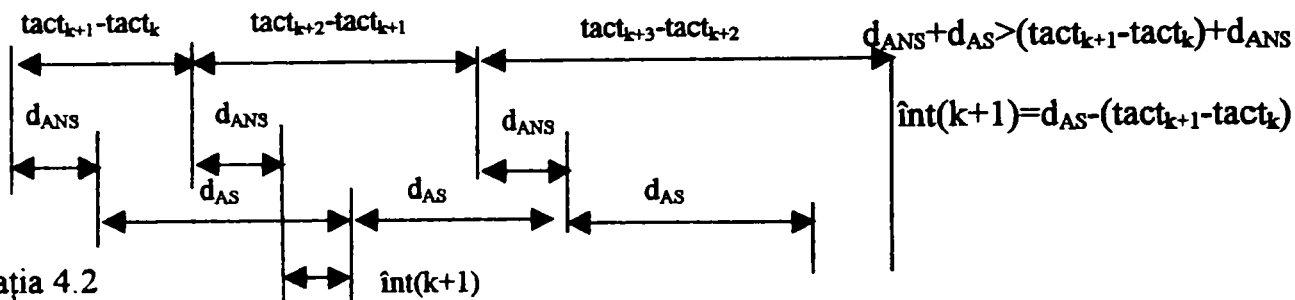
$$nr(j) = nr(j) + 1 / m(k) = j, \forall k, k+1, k+2, k+3, j = 1 \div M_S \tag{4.4.49}$$

Fenomenul de strangulare al fluxului material devine critic, când pentru intervalul de timp $tact_k - tact_{k+4} \exists$ cel puțin o situație pentru care $nr(j) > n_{buf}(j) \forall j = 1 \div M_S$, caz în care procesul iterativ de verificare se oprește.

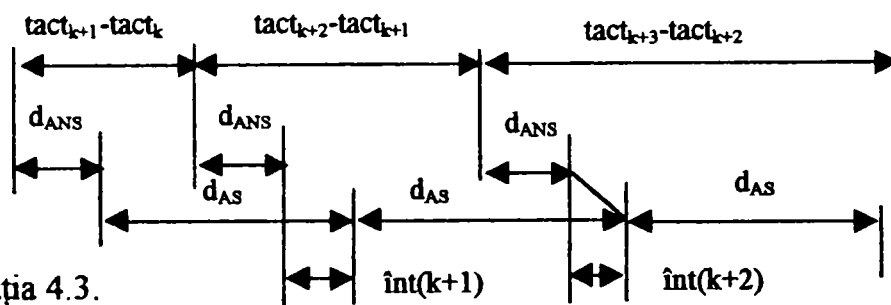
situația 4



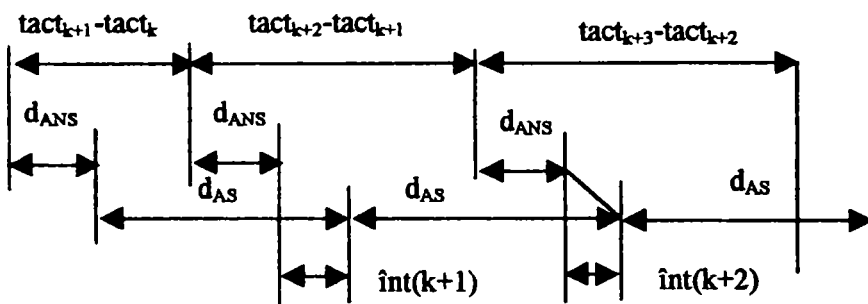
situația 4.1



situația 4.2



situația 4.3.



situația 4.3.1.

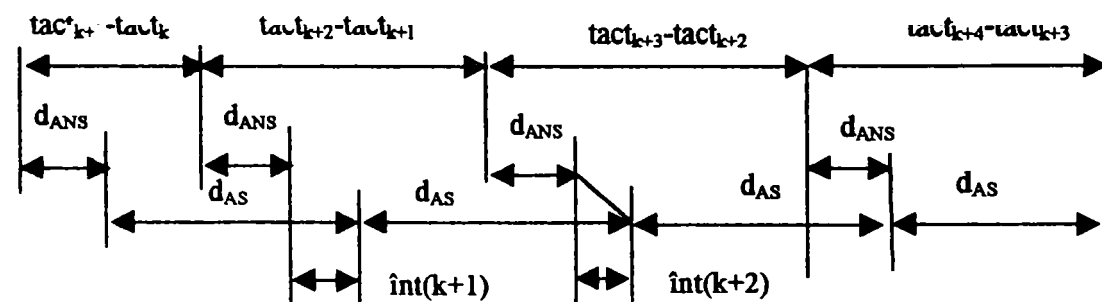


Figura 4.4.25. Corelația lungimilor segmentelor ce reprezintă activitățile ANS și AS în raport cu evenimentele “tact_k”

Dacă pentru intervalul de timp între evenimentele k și $k+4$, nu se identifică nici o situație critică de strangulare a fluxului material din partea componentei CS și în urma calculelor de verificare se identifică din nou cazul 3.2, se va trece din nou la comparații, pentru perioada cuprinsă între $tact_{k+3}$ și $tact_{k+5}$ (în tabelul 4.4.7, liniile 4.3.3.1÷4.3.3.3) și așa mai departe.

În concluzie, dacă în parcurgerea verificărilor pentru toate momentele K , nu s-a ajuns la identificarea unei situații critice, se va considera că componenta CS are o capacitate productivă corespunzătoare necesităților.

Măsurile de înlăturare ale situației critice de strangulare a fluxului de material, indiferent de stadiul procesului iterativ de verificare în care a fost determinată, sunt:

(a) utilizarea de cărucioare/robocare cu două sau mai multe locașuri pentru obiectele de lucru, recalcularea d_{AS} și reluarea procesului de verificare iterativ al etapei de verificare din paragraful 4.4.4.5;

(b) utilizarea unui număr mărit cu unul de cărucioare sau robocare, caz în care se va valida decizia cu un program de modelare/simulare a funcționării SFF.

4.4.4.6. Structura programului de maximizare a simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare

Considerațiile prezentate în conținutul paragrafelor 4.4.4.2÷4.4.4.5 pot constitui baza teoretică a unui program pe calculator. Acesta prezintă o parte de calcul automat de verificare a posibilităților de desfășurare a activităților simultane/nesimultane (AS și ANS) a componentelor de manipulare și o a doua parte (interactivă cu utilizatorul) prin care se alege o variantă de remediere a situațiilor critice identificate și se reface calculul din partea întâi a programului. Ordinograma procesului de maximizare a simultaneității subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare este prezentată în figura 4.4.26.

4.4.5. Stabilirea succesiunii de desfășurare a activităților pe baza unui protocol de funcționare optim

4.4.5.1. Stabilirea succesiunii operațiilor desfășurate de subsistemul de prelucrare

Succesiunea de desfășurare a operațiilor subsistemului de prelucrare cu o structură stabilită în prealabil depinde de:

- natura, mărimea fluxului de material și conținutului informațiilor de intrare în sistem;

- adecvarea mașinilor, dispozitivelor de lucru și sculelor pentru realizarea operațiilor de prelucrare.

Natura și mărimea fluxului de material de intrare în SFF înseamnă tipurile și numărul de obiecte de lucru de același tip, existente în locașurile depozitului/magaziei de scule la începutul funcționării sistemului sau tipul și numărul de semifabricate/scule intrate în sistem la un moment dat.

Cele două modalități de explicitare a fluxului material de intrare corespund celor două posibilități de funcționare a SFF în “rețea închisă” (cazul a) sau în “rețea deschisă” (cazul b).

Cazul (a) corespunde unei organizări pe schimburi a fabricației, legătura prin flux material a SFF cu mediul, în amonte și aval, se face la perioade prestabilite, constante (de exemplu de 8 ore), momente de timp la care depozitul se descarcă și apoi se încarcă cu obiecte de lucru.

Cazul (b) de funcționare al sistemului corespunde unei organizări în flux a fabricației. Cel puțin în amonte SFF, legătura sistemului cu mediul se concretizează prin “sosiri” ale semifabricatelor și “plecări” ale pieselor prelucrate la perioade de timp variabile (determinate sau stohastice).

Numărul de piese din sistem în timpul funcționării acestuia este constant (cazul a) sau variabil (cazul b).

Conținutul fluxului informational intrat în SFF este exprimat prin valori ale variabilelor:

- de identificare a tipurilor “i” de piese prelucrate și ale semifabricatelor corespunzătoare;
- de conținut al locașurilor depozitului și de ordine a introducerii semifabricatelor în fabricație.

În funcție de adecvarea mașinilor, dispozitivelor de lucru și sculelor pentru execuția operațiilor de prelucrare, se identifică două posibilități: (cazul c) unei operații de prelucrare a unui tip “i” de piesă îi corespunde o singură mașină sau (cazul d) unei operații de prelucrare a unui tip “i” de piesă îi corespund două sau mai multe mașini de lucru capabile să o realizeze.

În cazul itinerarului unic (cazul c) al obiectului de lucru în SFF, conținutul fluxului de informații cuprinde și variabilele de identificare ale operațiilor de prelucrare $o(i, h(i))=j$, unde $h(i)$ este numărul de ordine al operației cu $h(i)=1 \div S(i)$, pentru tipul de piesa i, executată la mașina de lucru j, $S(i)$ fiind numărul total de operații de prelucrare al piesei “i” în SFF. Succesiunea operațiilor de prelucrare executate de către fiecare mașină în sistem este determinată și depinde exclusiv de ordinea de intrare a pieselor în SFF, stabilită prin planificarea producției pe termen scurt (ordonanțare).

$i=1 \div n, j=1 \div n_m, t_b(i,j), o(i,h(i))=j, h(i)=1 \div S(i)$
 $d_{ANS}, d_{AS1+P}, n_{baf}(j)$, număr de mașini servite
 de același echipament M_S , funcționarea
 componentelor cu activitate simultană, T

Figura 4.4.26. Ordinograma maximizării simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare

Determinarea momentelor de sfârșit a prelucrărilor pieselor i la toate mașinile $j=1 \div M_S$ pe bază rulării programului "ORDONAN": $tact_k$ pe ru impuls T , $k=1 \div K$, unde K este numărul de evenimente "sfârșit de prelucrare" pentru timpul T , $m(k)=j$

4.4.4.2

Determinarea
 posibilității
 de servirea a
 M_S mașini de
 lucru cu
 aceeași
 componentă
 de
 manipulare
 CSNS sau
 CNS

Decalarea
 evenimentelor
 ulterioare
 momentului
 $k+1$

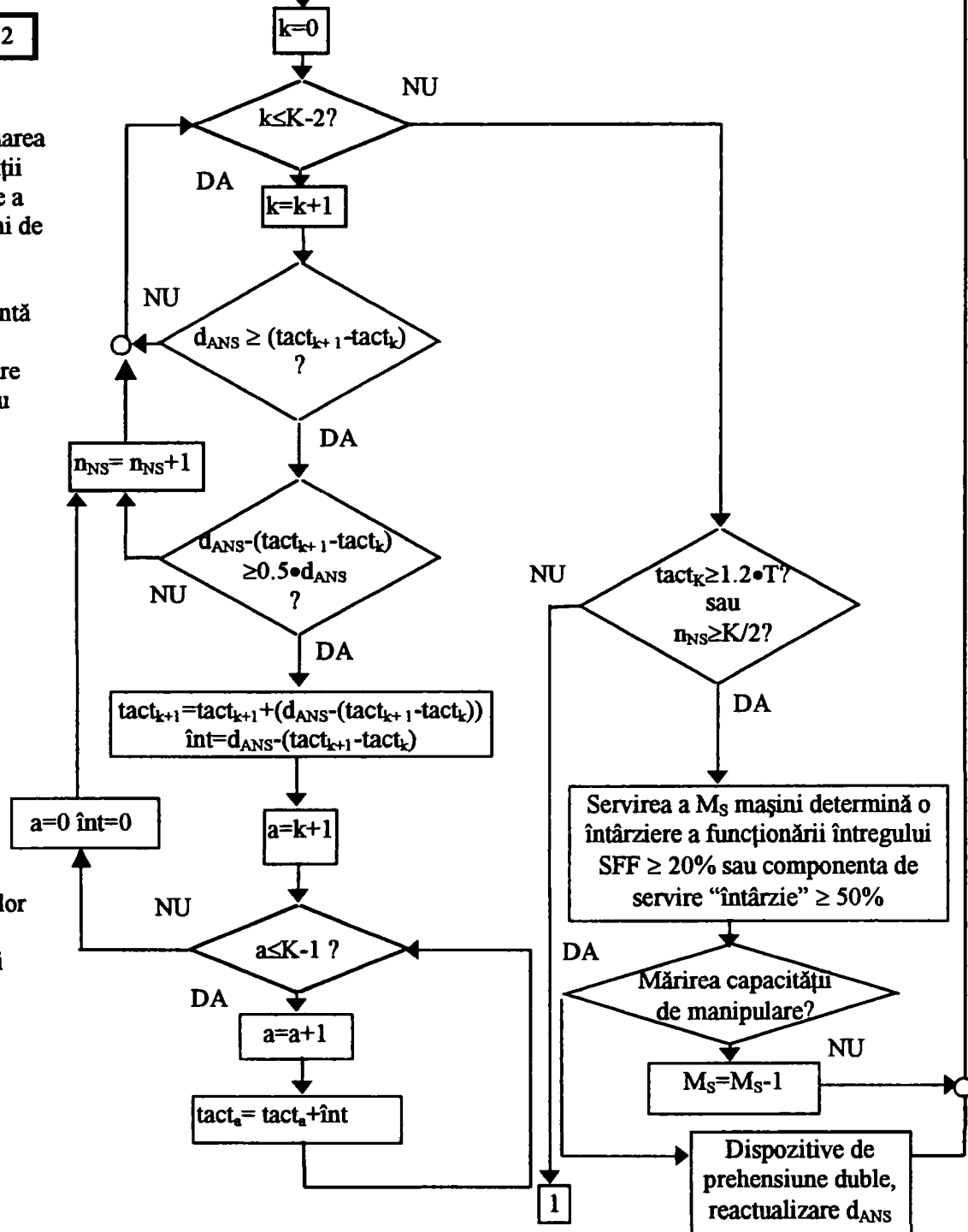
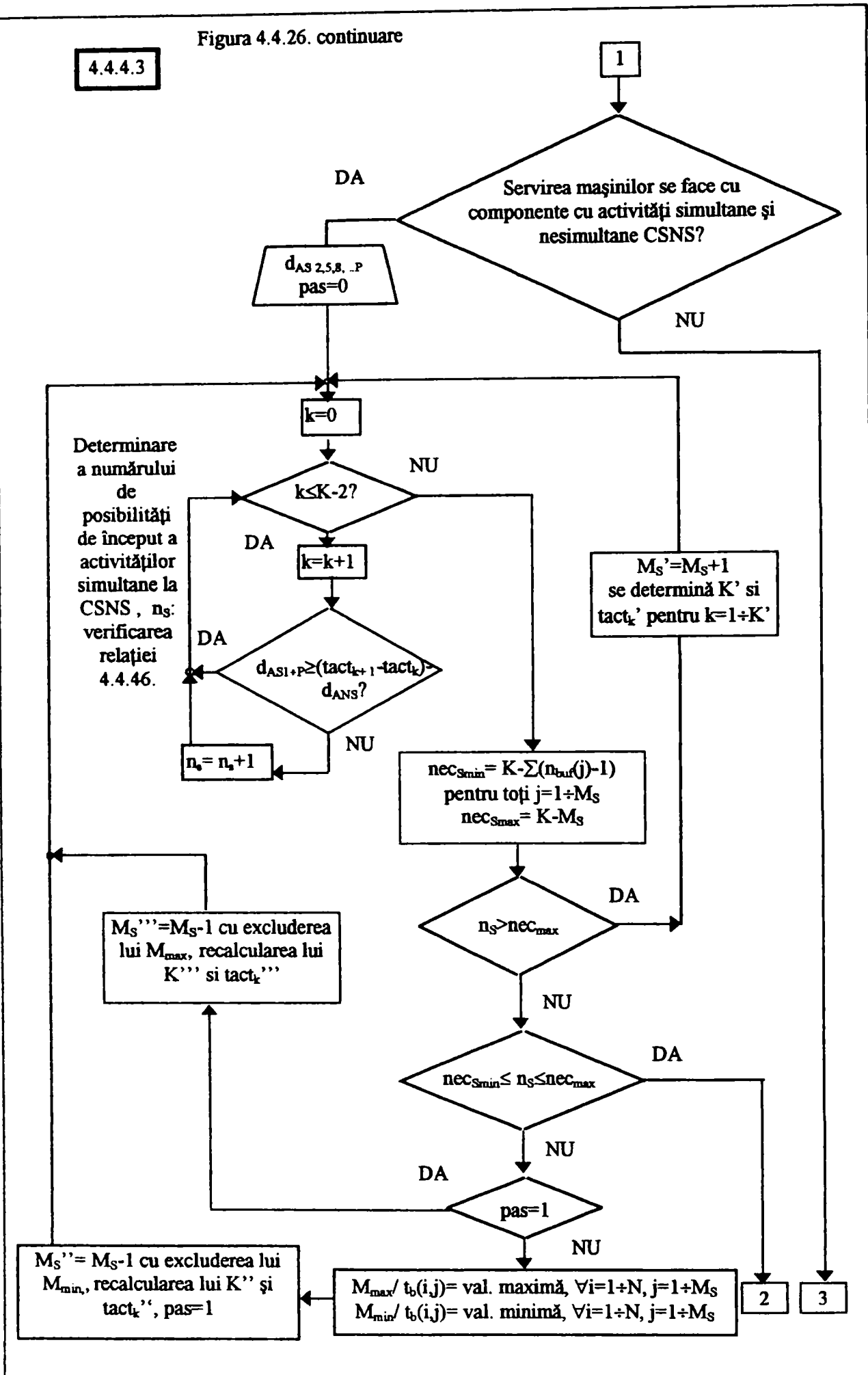


Figura 4.4.26. continuare

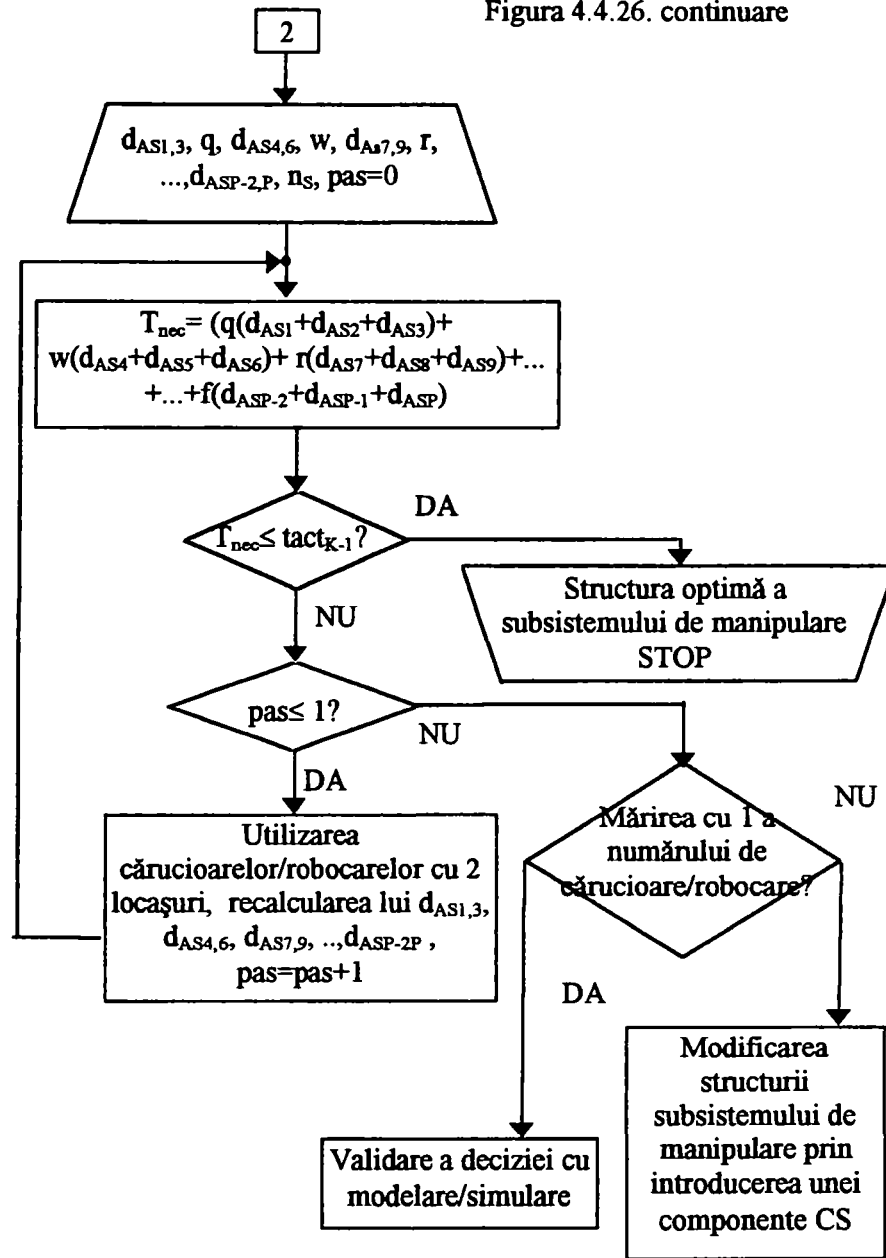
4.4.4.3



4.4.4.4.

Figura 4.4.26. continuare

Verificarea
posibilităților de
desfășurare a
activităților
simultane cu
operațiile de
prelucrare pentru
componenta de
manipulare CS care
colaborează cu o
componentă CSNS



4.4.4.5

Verificarea
posibilităților de
desfășurare a
activităților
simultane cu
operațiile de
prelucrare pentru
-----e-t CS
care colaborează
cu o componentă
CNS

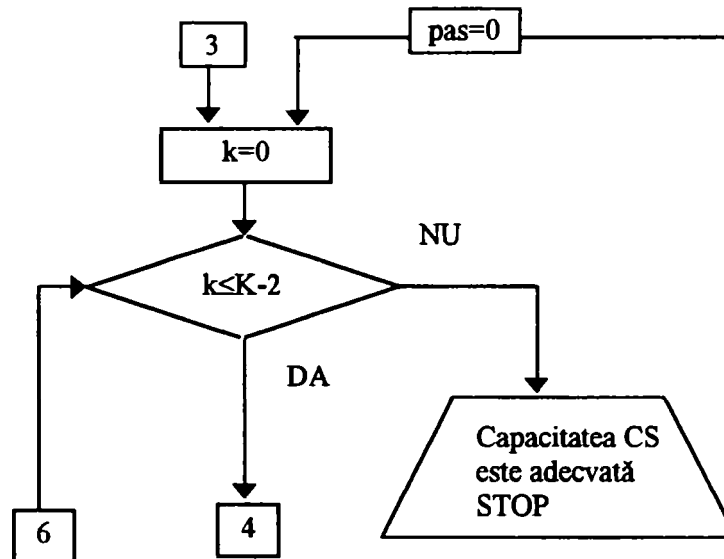
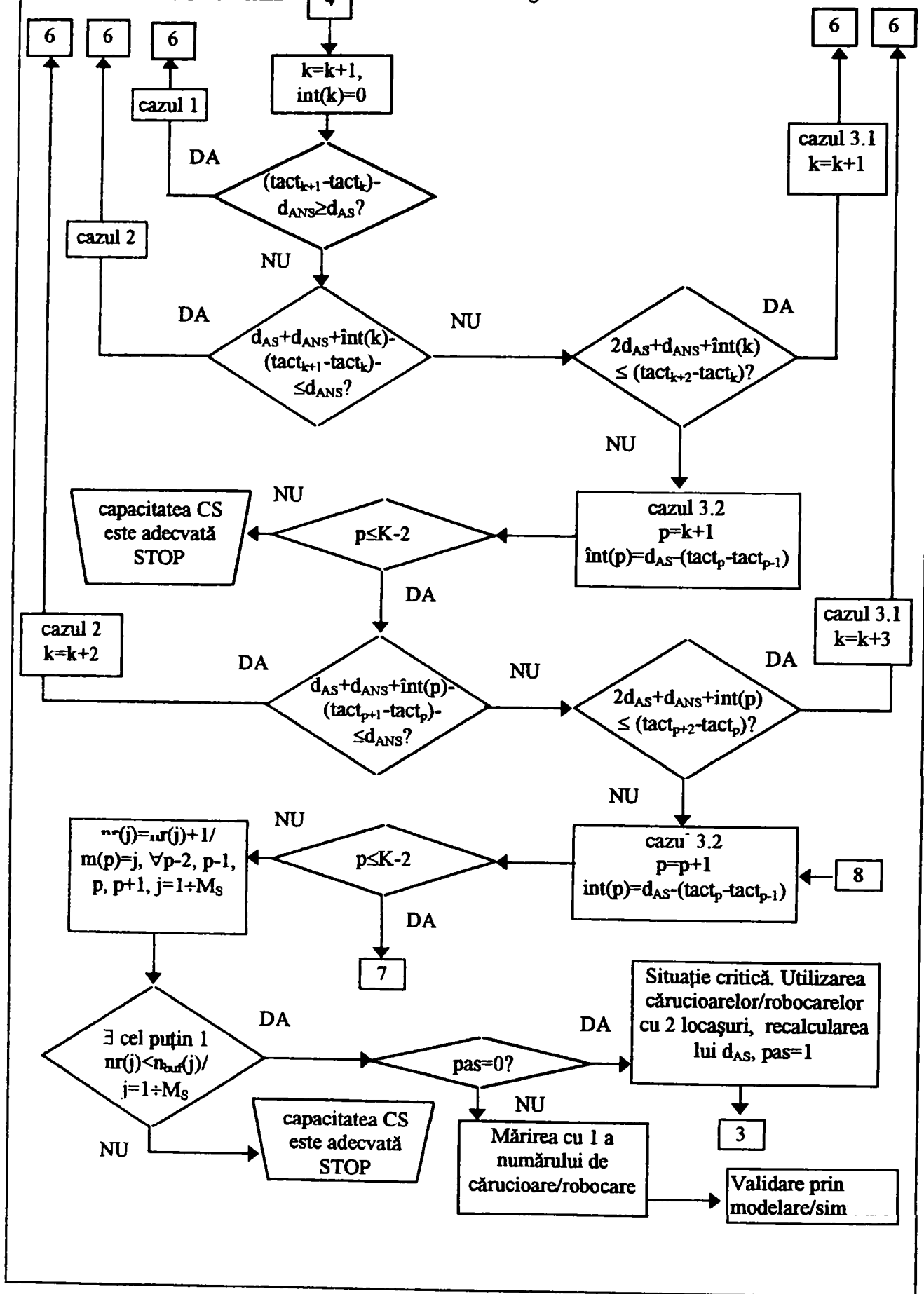
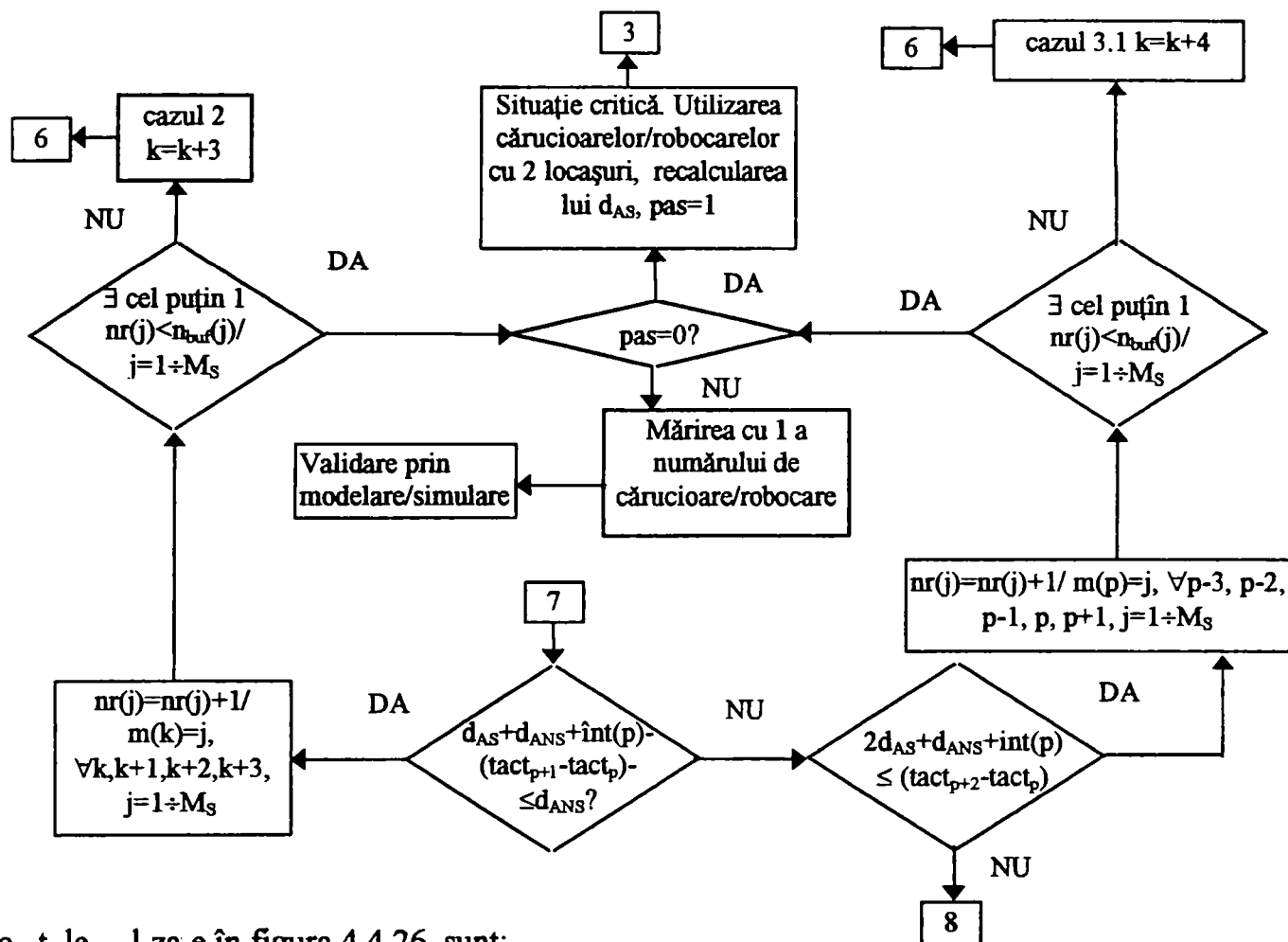


Figura 4.4.26. continuare





Notă: Numărele 1-8 din figură 4.4.26. sunt:

i este indice al tipului de piesă, n este numărul total de tipuri de piese de prelucrat în SFF;

j este indice al tipului de mașină de lucru, n_m numărul total de tipuri de mașini în SFF;

M_s este numărul de mașini servite de către componenta CSNS sau CNS;

t_b(i,j) este timpul de bază pentru prelucrarea piesei i la mașina j, o(i,h(i))=j tipul de mașină care execută a h(i)-a operație de prelucrare a piesei i, S(i) este numărul total de operații de prelucrare a piesei i, n_{buf}(j) este număr de posturi de așteptare la mașina j;

d_{ANS} durata activității nesimultane de servire a mașinii, d_{AS1-P} durata activităților simultane de transfer lung al pieselor (AS) în SFF și de manipulare între posturile de așteptare și componenta CS;

q, w, r, ..., f sunt numărul de posibilități de activare a activităților AS1,3; respectiv AS4,6, respectiv AS7,9, ...ASP-2,P, astfel încât q+w+r+...f=n_s;

P este numărul de activități simultane diferite, T este timpul total pentru care se realizează ciclograma de funcționare;

m(k)=j mașina de lucru care termină operația de prelucrare la momentul k.

Dacă structura subsistemului de prelucrare permite identificarea unor itinerare posibile (cazul d), stabilite dinamic în cursul funcționării SFF, operațiile de prelucrare pot fi executate la mai mult de o mașină de lucru datorită flexibilității de utilizare crescute a echipamentelor de prelucrare. Astfel, unei operații $o(i,h(i))$ îi corespunde o mulțime $\{j_1, j_2, \dots, j_m\}$ de mașini de lucru capabile să execute sarcina respectivă de fabricație pentru că: mașinile de lucru sunt universale și cu comandă numerică, capacitatea magaziei de scule este suficient de mare sau sculele sunt adecvate mai multor sarcini de fabricație. Succesiunea operațiilor de prelucrare executate de către fiecare mașină din SFF nu poate fi determinată apriori și nu depinde exclusiv de ordinea de intrare a pieselor în SFF. Această succesiune se modifică dinamic, în funcție de starea mașinilor, prin cunoașterea valorilor variabilelor de stare a acestora (în curs de servire, de prelucrare, liberă, defectă) și a conținutului posturilor de așteptare în timpul funcționării SFF.

În tabelul 4.4.8 sunt prezentate toate variantele de SFF rezultate în urma identificării cazurilor deduse din analiza fluxului material de intrare și din adecvarea subsistemului de prelucrare pentru execuția operațiilor tehnologice ale pieselor.

Conform notațiilor din tabelul 4.4.8, în variantele de SFF la care se pot identifica itinerare tehnologice unice și se cunoaște ordinea de intrare în fabricație a pieselor și numărul acestora sau viteza medie de sosire a fiecărui tip de piesă, succesiunea operațiilor de prelucrare la fiecare mașină este cunoscută în prealabil. Transferul unei piese în SFF de la o mașină unde a fost executată o operație de prelucrare la o altă mașină pentru operația următoare este biunivoc definit prin relațiile stabilite între: tip de piesă, număr de operație executată, număr de operație de prelucrare următoare și mașina de lucru care o realizează.

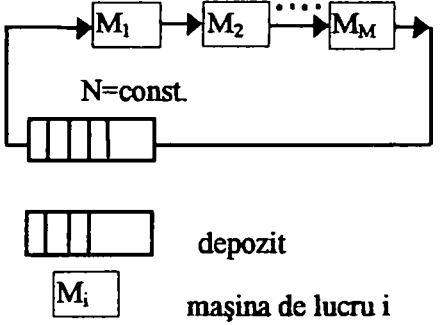
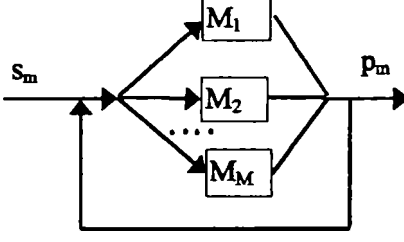
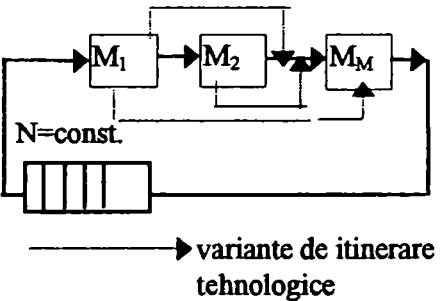
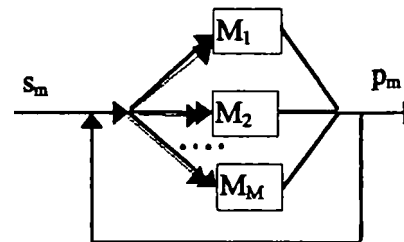
În cazul în care există o mulțime de itinerare posibile ale pieselor în SFF, succesiunea operațiilor de prelucrare la mașinile de lucru se stabilește printr-un proces de decizie care depinde de mai mulți factori. Se utilizează în acest caz un program de simulare care, după rulări succesive în condițiile definirii mai multor variante de protocoale de funcționare, va permite identificarea variantei cu performanțe mai bune de funcționare a SFF (capitolul 5).

4.4.5.2. Optimizarea succesiunii operațiilor de prelucrare funcție de ordinea de intrare a pieselor în sistem

Pentru cazul **itinerarelor tehnologice unice** ale pieselor în cadrul SFF, ordinea de intrare a pieselor în sistem (ordonanțarea) este un factor care influențează parametrii de performanță ai subsistemului de prelucrare. Pentru a demonstra aceasta afirmație, s-a elaborat un program denumit "ORDONAN", care evidențiază succesiunea operațiilor de prelucrare la fiecare mașină de lucru și

valorile parametrilor de performanță ai subsistemului de prelucrare pentru valori diferite ale datelor de intrare tehnologice.

Tabelul 4.4.8. Clasificarea SFF în funcție de succesiunea operațiilor de prelucrare

Fluxul material de intrare în SFF	Itinerare tehnologice ale pieselor	Scheme de principiu ale SFF	Succesiunea de desfășurare a operațiilor de prelucrare
Un număr N de piese la o perioadă de timp T constantă (cazul a)	Itinerare tehnologice unice ale pieselor (cazul c)		Determinată pentru o ordonanță prestabilită
"Sosiri" ale pieselor în momente de timp variabile (cazul b)	cazul c		Determinată pentru viteza medie a sosirilor s_m și ordonanță prestabilită
cazul a	Itinerare tehnologice posibile ale pieselor, determinate în funcție de starea momentană a mașinilor (cazul d)		Determinată cu program de simulare și variante de protocol de funcționare pentru o ordonanță prestabilită
cazul b	cazul d		Determinată dinamic pe baza unor decizii luate de către sistemul de comandă al SFF

Tabelul 4.4.9. Date inițiale de definire a tehnologiei tipurilor de piese din SFF

Tipul de piese i	Timpul de prelucrare a pieselor i la mașinile j $t_b(i,j)$ [unități de timp]			
	1	2	3	4
Mașini j				
M_1	5	4	0	0
M_2	0	7	5	3
M_3	3	0	6	6
Ordinea operațiilor la mașinile de lucru	1, 3	1, 2	2, 3	2, 3

Modelul sistemului care a fost transpus în program se bazează pe ipoteza că timpul de servire al mașinilor de către subsistemul de manipulare este nul sau inclus în timpul de prelucrare al piesei de tip "i" la mașina "j" și transferul lung al pieselor în sistem se realizează instantaneu. Ordinograma programului "ORDONAN" este prezentată în figura 4.4.27.

În tabelul 4.4.9. se prezintă un exemplu de date inițiale ale programului pentru $M=3$ tipuri de mașini de lucru și $n=4$ tipuri de piese.

În figura 4.4.27 s-au utilizat notațiile: n_m numărul de mașini de lucru din sistem; n numărul de tipuri de piese; $t_b(i,j)$ timpul de bază al operației tipului de piesă "i" la mașina j; $o(i,h(i))=j$ mașina de lucru care execută operația $h(j)$ a tipului de piesă "i"; $sf(i)$ este numărul de semifabricate de tipul "i" la începutul rulării programului; $t_c(i,j,k(j))$ este timpul curent a începutului prelucrării tipului de piesă "i" la mașina j, $k(j)$ este numărul curent al piesei prelucrate la mașină; $t_{si}(i,j,k(j))$ $t_{sr}(i,j,k(j))$ este timpul de sfârșit al prelucrării, înainte, respectiv după validarea terminării operației; $piesa(j, ord(j))$ este piesa de tip "i" care se află pe poziția $ord(j)$ în șirul de așteptare de la mașina j; $șirul(j)$ este contorul numărului de piese aflate la mașina j.

Parametrii de performanță ai subsistemului de prelucrare calculați în urma rulării programului "ORDONAN" sunt:

- coeficientul de utilizare al mașinii de lucru: $c_{util j} = t_{efectiv}(j) / T$, pentru $\forall i=1 \div n$, unde T este timpul total pentru care se rulează programul și $t_{efectiv}(j)$ este suma timpilor în care mașina j a prelucrat;
- numărul total de semifabricate intrate în SFF în timpul T , p_{introd} ;
- numărul de piese de tipul "i" prelucrate în SFF în intervalul de timp T , unde $i=1 \div n$, $p_{gata}(i)$.

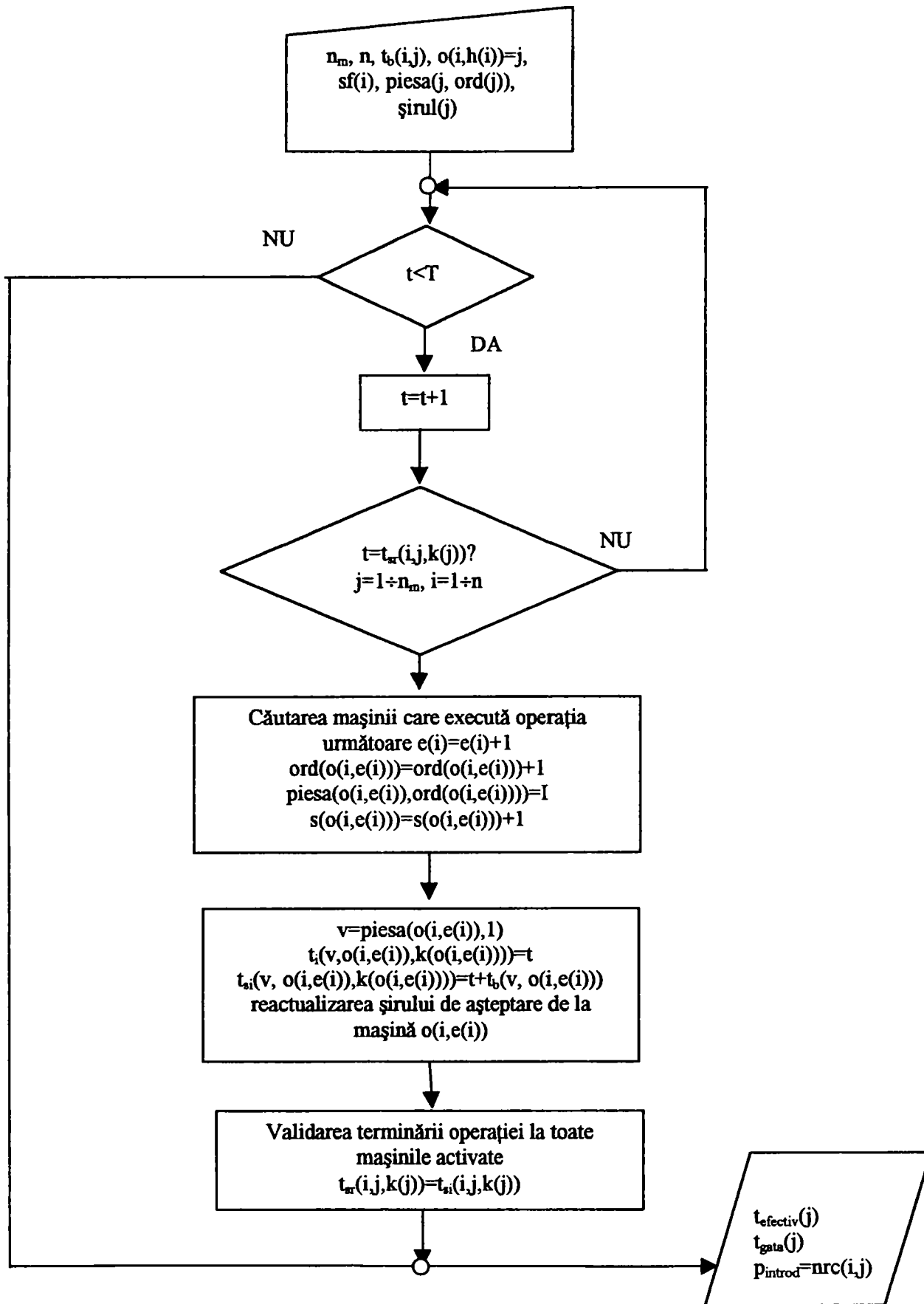
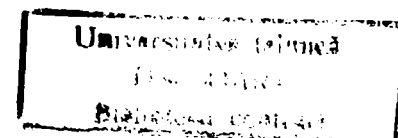


Figura 4.4.27. Ordinograma programului ORDONAN



Programul "ORDONAN" stabilește succesiunea operațiilor de prelucrare a celor M mașini de lucru în 3 variante de definire a numărului de semifabricate de tipul "i", $i=1 \div n$ intrate în sistem:

- i) Numărul de obiecte de lucru aflate în SFF este constant (pentru toată perioada de timp T). Inițial, la $t=0$, se consideră un număr finit de semifabricate care așteaptă să fie prelucrate la mașinile de lucru care execută prima operație de prelucrare a celor n tipuri de piese. În momentul în care o piesă a parcurs întregul său itinerar tehnologic și iese din sistem, un alt semifabricat de același tip este introdus imediat în șirul de așteptare al mașinii de lucru care este adecvată primei sale operații de prelucrare. Se observă că acest mod de introducere al pieselor în sistem corespunde modelului acceptat în literatura de "rețea închisă" (cazul a).
- ii) Alimentarea continuă a mașinii de lucru 1 este o ipoteză de organizare a fluxului de intrare a pieselor în sistem care asigură existența permanentă a cel puțin un semifabricat în șirul de așteptare al mașinii notate cu 1. Se poate considera că acest mod de organizare al fluxului de intrare în sistem este cel corespunzător "rețelei deschise" (cazul b), în ipoteza că viteza "sosirilor" pieselor în sistem este cea optimă, adică i se asigură mașinii 1 o funcționare la capacitatea productivă maximă.
- iii) Prioritatea piesei "p" este o variantă a organizării fluxului material de intrare cu număr de piese constant în sistem, dar piesele de tip p , aflate în așteptare la o mașină sunt prelucrate cu prioritate, chiar dacă nu se află pe primul loc în șirul de așteptare. Este necesar să se studieze o asemenea ipoteză din cauza existenței în practica industrială a comenzilor de prioritate maximă pentru anumite tipuri de piese.

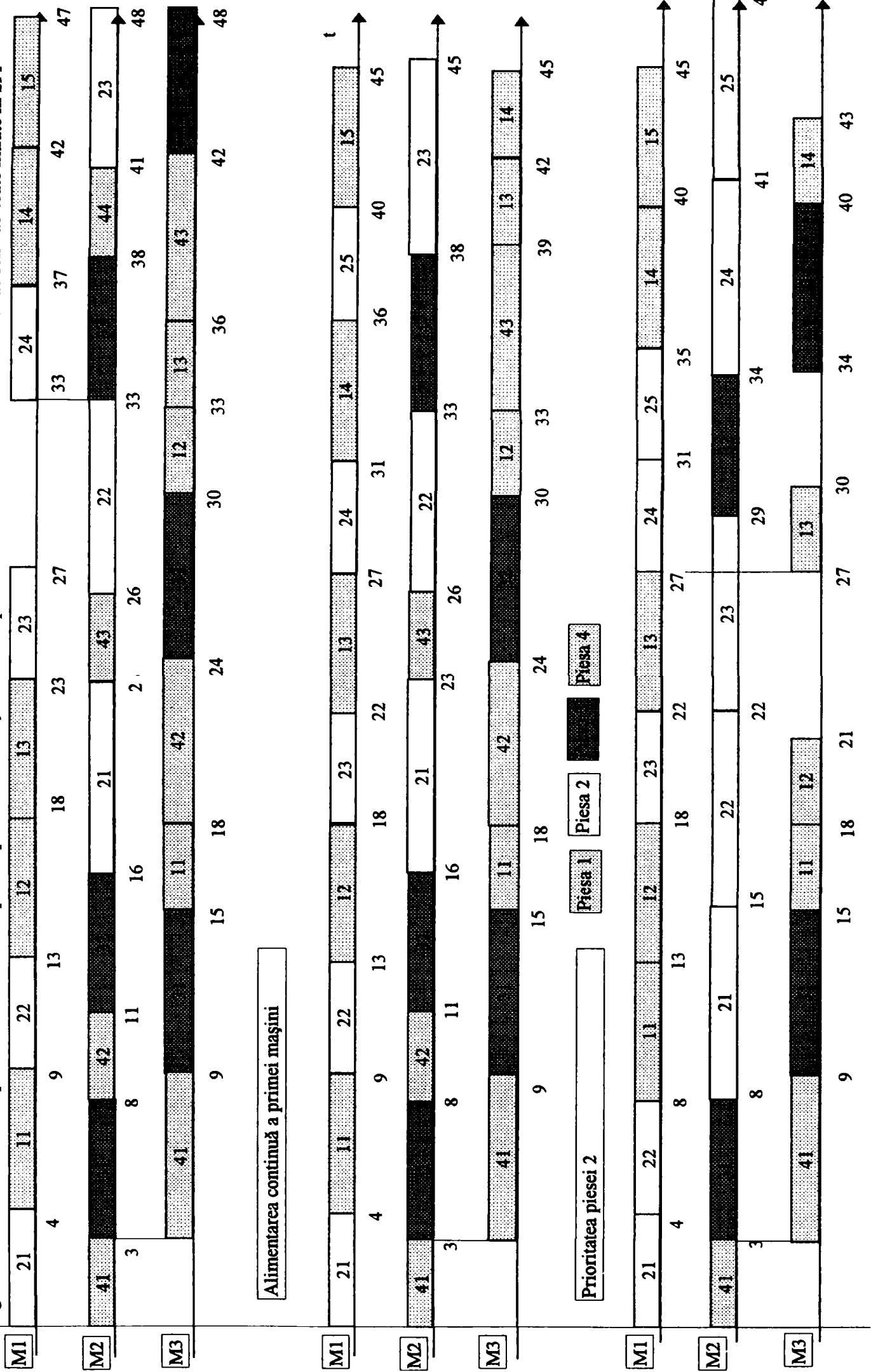
În figura 4.4.28 se prezintă rezultatul grafic al rulării programul "ORDONAN", pentru valorile de intrare date în exemplul din tabelul 4.4.9 și pentru cele 3 ipoteze de constituire ale fluxului material de intrare în sistem. Programul mai are posibilitatea afișării valorilor parametrilor de performanță ai subsistemului de prelucrare.

Ordinea de intrare a pieselor la mașinile de lucru, pentru datele inițiale prezentate în tabelul 4.4.9., poate fi:

Ordinea de intrare a pieselor la mașina care execută prima operație de prelucrare a pieselor	Rezultatele rulării programului în varianta de ordonare
$M_1: p_2, p_1, p_2, p_1, \dots$ $M_2: p_4, p_3, p_4, p_3, \dots$	Sunt prezentate în tabelul 4.4.10 Cazul 1
$M_1: p_1, p_2, p_1, p_2, \dots$ $M_2: p_3, p_4, p_3, p_4, \dots$	Sunt prezentate în tabelul 4.4.11 Cazul 2

Număr de piese constant în sistem: 8 piese

Figura 4.4.28. Succesiunea de prelucrare a celor n=4 tipuri de piese la M=3 mașini de lucru pentru 3 variante de definire a numărului de semifabricate intrate în SFF



Tabelul 4.4.10. Rezultatele programului ORDONAN pentru cazul 1

Variante de stabilire a numărului de piese intrate în SFF	Piese intrate în sistem	Piese ieșite din sistem				Suma coeficienților de utilizare ai mașinilor [%]
		1	2	3	4	
Nr. constant de piese în sistem	16	3	2	3	3	297
Alimentarea continuă a mașinii 1	16	4	3	2	3	293
Prioritatea piesei 2	13	4	4	2	1	264

Din analiza comparativă a valorilor parametrilor de performanță ai subsistemului de prelucrare pentru cele două cazuri de ordonanțare, se poate observa:

- ordinea de intrare din cazul 1 respectă următoarea condiție: dacă $t_b(i_1, k) < t_b(i_2, k)$ atunci piesa de tip i_1 precede i_2 la mașina k , adică, pentru cazul prezentat, dacă $t_b(p_2, 1) < t_b(p_1, 1)$ la mașina M_1 și $t_b(p_4, 2) < t_b(p_3, 2)$ la mașina M_2 , atunci ordinea de intrare a pieselor în sistem este $p_2, p_1, p_2, p_1, \dots$ respectiv $p_4, p_3, p_4, p_3, \dots$

Tabelul 4.4.11. Rezultatele programului ORDONAN pentru cazul 2

Variante de stabilire a numărului de piese intrate în SFF	Piese intrate în sistem	Piese ieșite din sistem				Suma coeficienților de utilizare ai mașinilor [%]
		1	2	3	4	
Nr. constant de piese în sistem	16	3	2	3	2	279
Alimentarea continuă a mașinii 1	16	3	2	3	2	288
Prioritatea piesei 2	13	4	4	2	1	266

- numărul de piese ieșite din sistem, în același interval de timp de funcționare, în cazul 1 de ordonanțare, este cu 1 mai mare pentru varianta (i) respectiv cu 2 pentru varianta (ii) față de cazul 2.

- suma coeficienților de utilizare ai mașinilor are o valoare mai mare în cazul 1 față de cazul 2 de ordonanțare.

O excepție de la această tendință de evoluție a valorilor parametrilor de performanță s-a constatat la varianta priorității piesei 2, varianta (iii), în care ordinea prestabilită de intrare a pieselor în sistem nu mai este respectată.

În concluzie, stabilirea succesiunii de desfășurare a operațiilor de prelucrare la mașinilor de lucru este necesară pentru determinarea mărimilor notate cu $tact_k$, unde $k=1 \div K$ (K este numărul total de evenimente: "terminarea operației de prelucrare pentru un tip de piesă la o mașină" pentru timpul

total T considerat). Aceste valori sunt utilizate la determinarea posibilităților de suprapunere a activităților de manipulare a pieselor cu operațiile de prelucrare în cadrul unui SFF, așa cum a fost prezentată în paragraful 4.4.4.

4.4.5.3. Stabilirea succesiunii de desfășurare a activităților subsistemului de manipulare

Sucesiunea de desfășurare a activităților subsistemului de manipulare este determinată de ordinea de rulare a programelor din sistemul de conducere al SFF.

Acesta ordine de rulare a programelor poate fi:

- prestabilită pe bază de logică a desfășurării activităților;
- condiționată de desfășurarea unei/unor activități de manipulare sau operații de prelucrare anterioare.

Activitățile necesare pentru aducerea unui semifabricat la o mașină de lucru sunt condiționate de existența unui semifabricat în postul de așteptare, de disponibilitatea mașinii și a echipamentului de manipulare adecvat și urmează succesiunea **prestabilită**:

- pentru servirea mașinilor de lucru cu un robot: prehensarea semifabricatului din postul de așteptare, deplasarea brațului robotului până într-o poziție apropiată de mașina, deschiderea paravanului de protecție al mașinii, deschiderea dispozitivului de lucru, deplasarea robotului cu semifabricatul în spațiul mașinii și situarea acestuia în dispozitivul de lucru, fie închiderea dispozitivului de lucru și deschiderea dispozitivului de prehensiune, pentru strung, fie deschiderea dispozitivului de prehensiune și închiderea dispozitivului de lucru pentru mașina de frezat, deplasarea robotului în afara spațiului mașinii, închiderea paravanului de protecție al mașinii.

- pentru servirea mașinilor de lucru cu dispozitiv transpaletă: deschiderea paravanului de protecție al mașinii, deplasarea mesei mașinii în poziția de preluare a paletii, translatarea paletii pe masă, fixarea paletii pe masă, deplasarea mesei cu paleta până în poziția de prelucrare, închiderea paravanului de protecție al mașinii de lucru.

Similar, se poate identifica succesiunea de activități pentru evacuarea pieselor prelucrate de la mașina de lucru.

Sucesiunea **condiționată** de desfășurare a activităților subsistemului de manipulare se poate stabili pe baza:

- instrucțiunilor “dacă.. atunci.. altfel” (if then else)” introduse în programul de comandă al SFF sub forma unor condiții de pornire a unei activități, exprimate prin valorile concrete ale variabilelor din programul de comandă sau a unei/unor condiții (semnale) de interblocare îndeplinite (reflex condiționat);
- procesului de luare a deciziei de către sistemul de comandă al SFF prin protocolul de funcționare implementat în programul acestuia (reflex raționat).

Exemple de succesiuni condiționate de desfășurare a activităților sunt:

- Activitatea de aducere de către dispozitivul de transfer lung a unui nou semifabricat la postul de așteptare al mașinii se face dacă există cel puțin un post de așteptare liber la respectiva mașină, condiție care poate fi verificată prin citirea *valorii variabilei care exprimă conținutul* curent al posturilor.

- Evacuarea unei piese de la mașina de lucru se comandă dacă s-a terminat operația de prelucrare și sistemul de comandă al mașinii *transmite un semnal de interblocare* (poate fi un semnal binar) la sistemul de conducere al dispozitivului care îndeplinește funcția de manipulare.

- Programul care comandă activitatea de situare a unui semifabricat în dispozitivul de lucru al mașinii rulează dacă se *confirmă printr-un semnal de interblocare* din partea echipamentului CNC al mașinii că motorul care acționează dispozitivul de lucru funcționează.

- Dacă două mașini de lucru termină operația de prelucrare în același moment, (concurența activităților) este nevoie *să se ia decizia*, pe bază de reguli de prioritate prestabilite, care dintre mașini va fi prima servită.

Sucesiunea condiționată a activităților subsistemului de manipulare determinată de anumite valori ale variabilelor de stare sau de semnale de interblocare este rezultatul implementării unui protocol de funcționare al SFF de tip PVPS (primul venit, primul servit) pentru că, inițierea activităților de manipulare se face în ordinea în care s-au îndeplinit condițiile. Acest tip de protocol este cel mai des utilizat, iar succesiunea activităților subsistemului de manipulare depinde de durata lor și de timpii operațiilor de prelucrare ($t_b(i,j)$) de la mașinile de lucru.

Pentru studiul posibilităților de optimizare a succesiunii activităților subsistemului de manipulare se propun în continuare spre analiză următoarele cazuri: al poliservirii de către un robot a două mașini (vezi figura 4.4.17) sau al transferului paletelor cu ajutorul unui cărucior pe un conveior între depozit și două mașini de lucru (vezi figura 4.4.3). Ciclograma valabilă pentru cazul servirii cu robot a mașinilor este prezentată în figura 4.4.16, unde CSNS este robotul de manipulare și CS este

căruciorul care se deplasează pe conveior. În cazul transferului lung al paletelor cu un cărucior, ciclograma corespunzătoare a fost prezentată în figura 4.4.18, unde CNS este dispozitivul transpaletă și CS este căruciorul care se deplasează pe conveior. Așa cum se poate observa din ciclograme, activitățile robotului (sau ale căruciorului) de evacuare ale pieselor prelucrate la mașina sunt inițiate în momentul în care s-a constatat că li s-au îndeplinit condițiile de desfășurare, în acest caz s-a terminat prelucrarea la o mașină. Dacă se utilizează un protocol de “**monitorizare a timpului rămas de prelucrare al mașinilor**”, inițierea activității de descărcare a piesei se poate declanșa înainte de momentul apariției evenimentului de terminare a prelucrării la o mașină. Robotul sau căruciorul se vor deplasa din poziția lor curentă într-o poziție din apropierea mașinii care va termina prelucrarea în cel mai scurt timp. În acest mod, o parte din durata activității de evacuare a piesei (declarate nesimultană cu operația de prelucrare în paragraful 4.4.4), se poate suprapune în timp cu durata operației de prelucrare a mașinii de lucru. Ciclogramele modificate, rezultate în urma aplicării principiului “timpului rămas de prelucrare la mașini” sunt prezentate în figura 4.4.29 și 4.4.30.

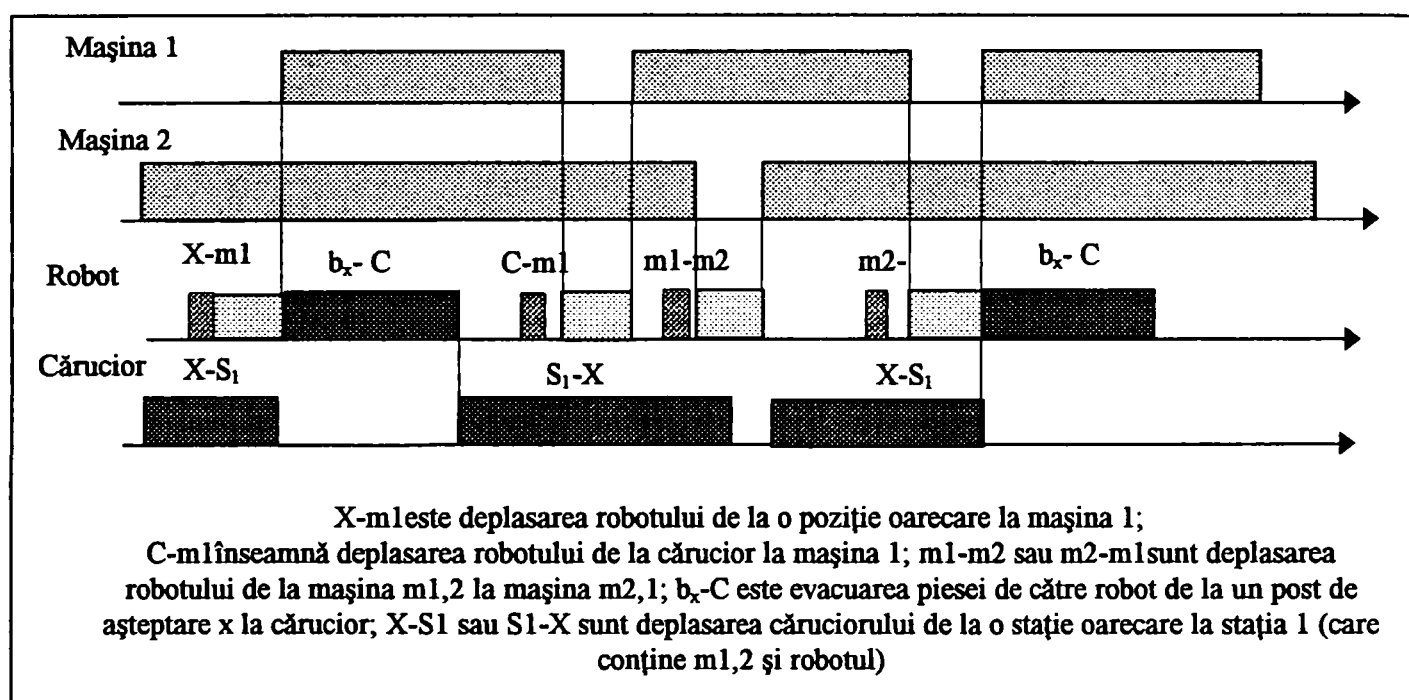


Figura 4.4.29. Porțiuni din ciclograma sistemului prezentat în figura 4.4.17. la care robotul funcționează pe baza protocolului de monitorizare “a timpului rămas de prelucrare al mașinilor”

Activitatea de servire a unei mașini de către robot se poate împărți în: deplasarea la proxima mașină care termină prelucrarea, așteptarea producerii acestui eveniment, evacuarea piesei prelucrate de la mașină și aducerea unui nou semifabricat. Introducerea acestui protocol de funcționare la robot crește coeficientul de utilizare al mașinilor prin scăderea timpului necesar servirii acestora.

Din figura 4.4.30 se poate observa ca activitatea căruciorului se poate încadra în următoarele cazuri posibile:

Deplasarea căruciorului la proxima mașină care termină prelucrarea **este realizabilă** (situațiile 1 și 3 notate în figura 4.4.30);

Deplasarea căruciorului la proxima mașină care termină prelucrarea **nu este necesară**, căruciorul este deja la mașina respectivă, pentru că au apărut două evenimente succesive de terminare a prelucrării la aceeași mașină (situațiile 2 și 5);

Deplasarea căruciorului la proxima mașină care termină prelucrarea **nu este posibilă** pentru că în intervalul de timp când s-ar putea realiza această mișcare, căruciorul evacuează o piesă de la altă mașină (situațiile 4 și 6).

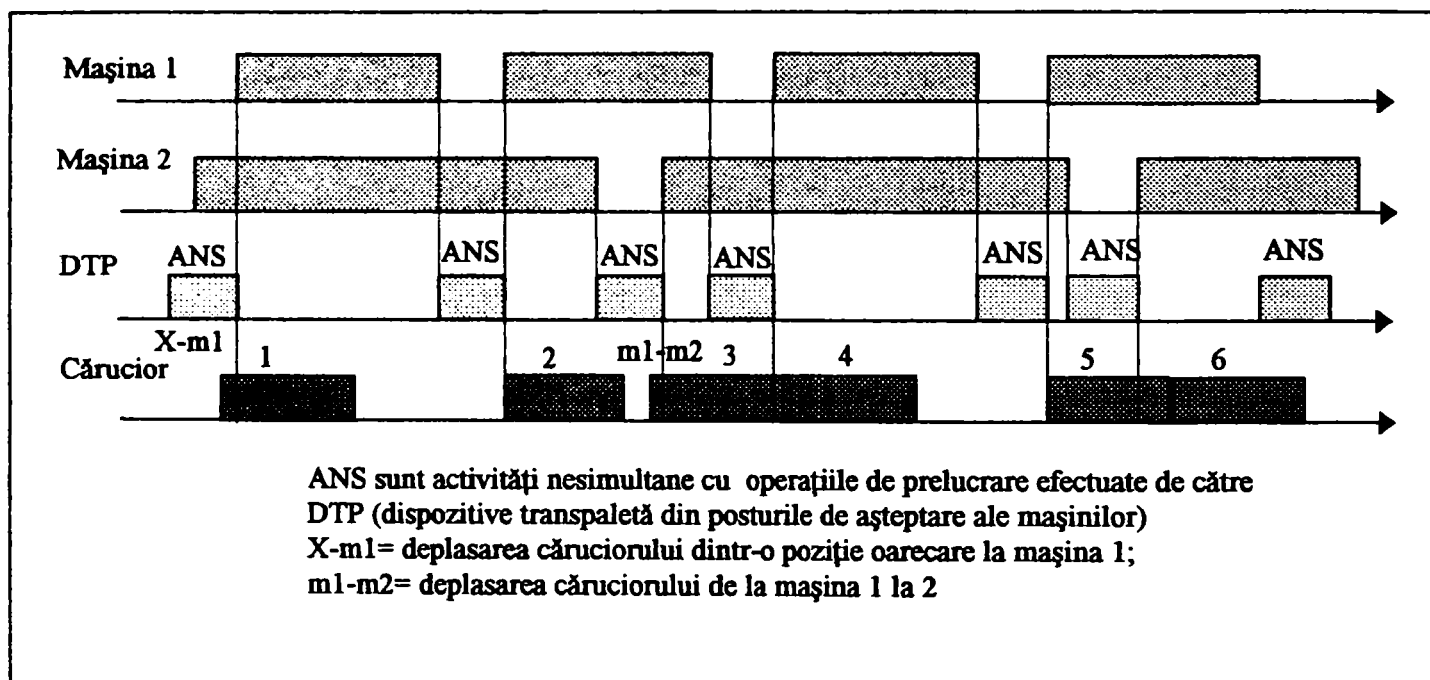


Figura 4.4.30. Porțiuni de ciclogramă a sistemului din figura 4.4.3 modificată pentru funcționarea căruciorului conform protocolului “timpului rămas de prelucrare a mașinilor”

Introducerea acestui protocol în funcționarea căruciorului nu influențează valorile coeficienților de utilizare ai mașinilor cu condiția ca mașinile să aibă întotdeauna la dispoziție cel puțin un semifabricat. Dacă numărul de posturi de așteptare de la mașini și durata activităților de transfer lung ale căruciorului nu asigură condiția enunțată mai sus, protocolul de monitorizare a timpului rămas de prelucrare a mașinilor poate îmbunătăți coeficientul de utilizare a componentelor subsistemului de prelucrare.

La **concurența activităților**, rezultatul procesului de decizie a succesiunii de desfășurare a acestora depinde de protocolul de funcționare implementat sub formă de reguli în sistemul de comandă al

echipamentului. Situațiile cele mai frecvente care necesită luarea unei decizii se întâlnesc la echipamentele cu sarcini de poliservire a mașinilor, când două sau mai multe mașini de lucru termină prelucrarea.

Se propune o ordonare a importanței protocoalelor de functionare după următoarele criterii:

- **de prioritate a piesei**, pentru că realizarea în cel mai scurt timp a unei comenzi urgente de producție este o măsură a seriozității și solidității firmei respective. Costurile crescute de producție în acest caz sunt acoperite de costul crescut al produsului livrat de urgență.

- **de încărcare la capacitatea productivă maximă** a echipamentelor mai scumpe sau mai performante cu prioritate și apoi a tuturor mașinilor de lucru din SFF;

- **de economie de consum energetic** prin minimizarea mișcărilor echipamentului de manipulare.

Astfel, pentru două mașini care termină prelucrarea în același moment de timp (de fapt la un interval foarte scurt de timp), echipamentul de manipulare care primește două comenzi de servire a mașinilor va decide pe baza următoarelor protocoale că:

- piesa care are o prioritate mai mare va fi manipulată mai întâi (priorități ale pieselor);
- mașina mai importantă (cu un cost al investiției mai mare) va fi servită mai întâi (cea mai scumpă mașină);
- mașina care nu are la dispoziție cel puțin un post de așteptare ocupat cu un semifabricat va fi servită mai întâi (asigurarea capacității productive maxime a mașinilor).
- piesa cu timpul de bază al operației următoare cel mai mic va fi manipulată mai întâi (timpul cel mai scurt de prelucrare);
- față de poziția curentă a echipamentului, prima servită va fi mașina cea mai apropiată (drumul cel mai scurt);
- prima comandă primită de servire unei mașini va fi onorată întâi (PVPS).

În figura 4.4.31. este prezentată ordinograma procesului de decizie al priorității activității unei componente de manipulare partajate între două comenzi de servire. Procesul de decizie se oprește atunci când se constată îndeplinirea uneia dintre cele 6 condiții în ordinea enunțată mai sus.

Semnificațiile notațiilor utilizate în figura 4.4.31 sunt următoarele:

i_1, i_2 sunt tipurile de piese care trebuie transferate de către aceeași componentă de manipulare la un moment dat de la mașini diferite, notate în ordinea sosirii comenzilor activităților; j_1, j_2 sunt tipurile de mașini care au comenzi de evacuare a piesei către același echipament în același timp; $o(i_1, h(i_1)+1)=j_3, o(i_2, h(i_2)+1)=j_4$ mașina de lucru care execută operația tehnologică următoare la piesa de tip i_1 , respectiv i_2 ; $prior(i_1), prior(i_2)$ sunt prioritățile de fabricație a tipurilor de piese în SFF; $cost(o(i_1, h(i_1)+1), cost(o(i_2, h(i_2)+1))$ sunt costurile mașinilor pentru operația următoare a tipurilor de piese; $n_{buf}(o(i_1, h(i_1)+1)), n_{buf}(o(i_2, h(i_2)+1))$ sunt numărul de posturi de așteptare ale mașinilor care execută operația următoare; $cont(z_1, o(i_1, h(i_1)+1)), cont(z_2, o(i_2, h(i_2)+1))$ sunt variabilele conținutului posturilor de așteptare ale mașinilor, dacă $cont(z_1, o(i_1, h(i_1)+1))=0$ postul este liber, $cont(z_1, o(i_1, h(i_1)+1))\neq 0$ postul este ocupat; a_1, a_2 sunt variabile ale numărului de posturi de așteptare de la mașinile j_3, j_4 ; “start” este poziția curentă a echipamentului de manipulare partajat; “ținta”= j_1 sau “ținta”= j_2 este poziția necesară a echipamentului la mașina 1 respectiv mașina 2; $d_{AS(start-ținta(1))}, d_{AS(start-ținta(2))}$ este durata activității simultane cu operațiile de prelucrare ale componentei de manipulare pentru deplasarea între punctele start-țintă(1) sau start-țintă(2); $t_b(i_1, o(i_1, h(i_1)+1)), t_b(i_2, o(i_2, h(i_2)+1))$ este timpul de bază al operației următoare la cele două tipuri de piese; “ținta” este poziția pe care echipamentul de manipulare o va atinge în urma procesului de decizie.

În funcționarea unui SFF, cazul concurenței activităților unui echipament de manipulare partajat este destul de rar și el corespunde unor cazuri particulare de flux material de intrare și de structură a sistemului. În capitolul 5 se descrie un model și program de simulare a funcționării unui SFF, în care există posibilitatea de a implementa variante de protocoale de funcționare. În urma unor studii de caz se vor putea trage concluzii asupra oportunității și avantajelor oferite de protocolul complex, descris mai sus, față de protocolul PVPS.

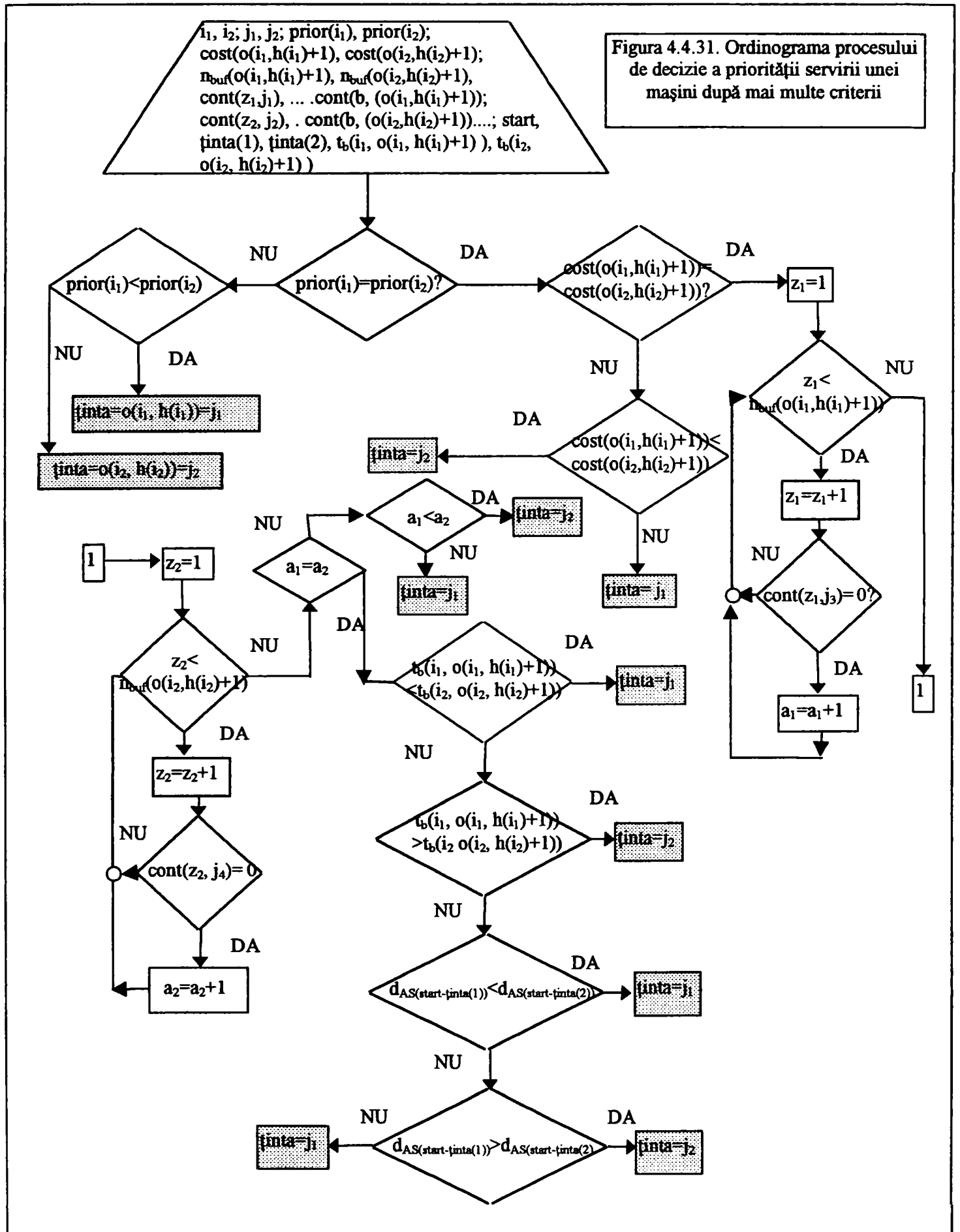
4.4.6. Studii de caz ale unor optimizări de ciclograme de funcționare a SFF

4.4.6.1. Studiu de caz având ca obiectiv maximizarea simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare

În studiul de caz se aplică considerațiile teoretice din paragrafele 4.4.4, iar calculele de verificare se realizează conform ordinogramei prezentate în figura 4.4.26.

Datele necesare aplicării optimizării ciclogramei de funcționare a unui SFF sunt:

- valori ale evoluției în timp a subsistemului de prelucrare: K este numărul de evenimente “terminarea prelucrării la mașina de lucru” în timpul T , $tact_k$ momentele de terminare a prelucrării de către o mașină, mașina de lucru $m(k)=j$ care determină producerea evenimentului $tact_k$;



- valori ale parametrilor care descriu structura subsistemului de manipulare: numărul de mașini servite M_s , de către aceeași componentă de manipulare din n_m mașini de lucru din sistem, numărul $n_{buf}(j)$ de posturi de așteptare ale mașinilor de lucru j , categoria echipamentelor de manipulare pentru servirea mașinilor (CSNS sau CNS);

- valori ale parametrilor care descriu activitățile componentelor subsistemului de manipulare: valorile medii ale timpilor necesari tuturor activităților de manipulare ale componentelor subsistemului de manipulare (se calculează d_{ANS} , d_{AS} , $d_{AS2,5,8}$, $d_{AS1,3,4,\dots}$).

Valorile concrete ale mărimilor $tact_k$ se obțin prin rularea programului "ORDONAN", a cărei structură este descrisă prin ordinograma din figura 4.4.27. Pentru acest studiu de caz s-au utilizat datele tehnologice inițiale prezentate în tabelul 4.4.9. Celelalte valori ale datelor inițiale necesare procesului de optimizare sunt: $T=48$ unități de timp (u.t.); $K=28$; $M_s=3$; $n_m=3$; $n_{buf}(j)=2$, $j=1, 2, 3$ și:

$tact_k$	3	4	8	9	9	11	13	15	16	18	18	23	23	24
$m(k)$	m2	m1	m2	m1	m3	m2	m1	m3	m2	m1	m3	m1	m2	m3

$tact_k$	26	27	30	33	33	36	37	38	41	42	42	47	48	48
$m(k)$	m2	m1	m3	m2	m3	m3	m1	m2	m2	m1	m3	m1	m2	m3

Verificarea posibilităților de desfășurare a activităților de servire (ANS) a mașinilor de lucru de către componente ale subsistemului de manipulare se realizează în ipoteza că durata acestor activități este de:

- $d_{ANS}^{(1)}=0,5$ u.t.
- $d_{ANS}^{(2)}=1$ u.t.
- $d_{ANS}^{(3)}=1,5$ u.t.
- $d_{ANS}^{(4)}=2$ u.t.

Comparația între valorile lui $tact_{k+1}-tact_k$ și d_{ANS} permite identificarea cazurilor în care servirea mașinilor este întârziată (cazul 3 și 4 din figura 4.4.19) și determinarea valorilor lui n_{NS} (numărul de situații în care mașina care termină la momentul $tact_{k+1}$ trebuie să aștepte) și ale întârzierii însumate "înt" corespunzătoare sumei timpilor de așteptare a mașinilor care se încadrează în cazul 4. În tabelul 4.4.12 se prezintă sintetic rezultatul verificărilor pentru cele 4 valori ale duratei activităților nesimultane cu operațiile de prelucrare.

Tabelul 4.4.12. Sinteza rezultatelor de verificare a capacității productive a componentei de manipulare pentru activitățile de servire a mașinilor de lucru

d_{ANS} [u.t.]	n_{NS}	\hat{int}	Observatii
0,5	5	2,5	Capacitate corespunzătoare
1	5	5	Capacitate corespunzătoare
1,5	16	7,5	Capacitate depășită de necesități
2	16	21	Capacitate depășită de necesități

Pentru cazul în care $d_{ANS}^{(3)}=1,5$ u.t. și $d_{ANS}^{(4)}=2$ u.t. $n_{NS}>K/2$ și/sau $\hat{int}>0,2 T$, pentru remedierea situației se propune eliminarea uneia dintre mașinile de lucru servite de către componenta de manipulare.

Dacă se asigură servirea mașinilor de lucru notate cu m_1 și m_2 (s-a eliminat m_3) și se reia calculul, se obține:

- pentru $d_{ANS}^{(3)}=1,5$ u.t.; $n_{NS3}=7$; $\hat{int}3=1,5$ u.t.;
- pentru $d_{ANS}^{(4)}=2$ u.t.; $n_{NS4}=7$; $\hat{int}4=8$ u.t.

Verificarea posibilităților de desfășurare a activităților simultane cu operațiile de prelucrare pentru componenta de manipulare care îndeplinește sarcina de servire a mașinilor și a posturilor de așteptare (CSNS) se realizează prin identificarea cazurilor de încadrare a duratelor activităților ($tact_{k+1}-tact_k$)- d_{ANS} și $d_{AS2,5,8}$. Utilizând datele inițiale: $K=28$; $M_s=3$; $n_m=3$; $n_{buf(j)}=2$, $j=1, 2, 3$; $d_{ANS}^{(1)}=0,5$ u.t.; $d_{ANS}^{(2)}=1$ u.t. și $d_{AS2,5,8}=1$ u.t., se calculează $nec_{Smin}=nec_{Smax}=25$ (relatia 4.4.47) și se determină $n_{S1}=22$; $n_{S2}=13$.

Intre valorile nec_{Smin} și $n_{S1,2}$ există relația: $nec_{Smin}>n_{S1}$ și $nec_{Smin}>n_{S2}$ și din acest motiv se va relua procesul de verificare pentru $M_s=2$ mașini: eliminându-se pe rând M_{max} (mașina 2 sau mașina 3) sau M_{min} (mașina 1). Prin eliminarea mașinii 2 dintre utilajele servite de către componenta CSNS, se obțin valorile: $n_{S1}=15$, $n_{S2}=12$, ceea ce nu convine, pentru că posibilitățile de desfășurare a activităților AS nu se încadrează în intervalul [$nec_{Smin}=16$, $nec_{Smax}=16$].

Prin eliminarea mașinii 1, $nec_{Smin}=nec_{Smax}=17$, iar $n_{S1}=17$ și $n_{S2}=13$.

În concluzie, pentru sistemul cu sarcina de fabricație descrisă prin datele tehnologice din tabelul 4.4.9, o componentă de manipulare de categoria CSNS va putea desfășura activitățile nesimultane (ANS) de servire a celor 3 mașini dacă $d_{ANS} \in (0;1,5]$ și va putea desfășura și activități simultane (AS) cu operațiile de prelucrare de durată $d_{AS}=0,5$ u.t., dacă este necesară numai servirea mașinilor 2 și 3 de către acesta.

Componenta de manipulare de categoria CS care colaborează cu echipamentul CSNS din sistemul descris mai sus desfășoară activități de transfer lung între posturile de așteptare și depozit de durată $d_{AS}=0,5$ u.t. Timpul total necesar pentru activități simultane aducere/evacuare în/din depozit a obiectelor de lucru prelucrate la mașinile 2 și 3 este:

$T_{nec}=8,5$ u.t. ceea ce este mult sub posibilități pentru că $T_{nec} \ll tact_{k-1}$, unde $tact_{k-1}=47$ u.t. În aceste condiții, componenta CS (cărucior, robocar) poate să manipuleze obiecte de lucru între posturile de așteptare și depozit pentru mai mult de cele 2 mașini de lucru din sistem.

În paragraful 4.4.4.5 s-a descris o metodă de verificare a comportamentului în timp a unei componente de manipulare de categoria CS care colaborează cu o componentă CNS. Considerându-se că SFF are 3 centre de prelucrare, cu posturi de așteptare servite de către dispozitive transpaletă (de categoria CNS), se analizează desfășurarea în timp a activităților unui cărucior/robocar care realizează transferul lung al pieselor în sistem.

Datele concrete tehnologice ale sarcinii de fabricație ale unui astfel de sistem sunt aceleași (din tabelul 4.4.9), deci valorile lui $tact_k$ și $m(k)$ nu se modifică. Analiza se face în ipoteza că servirea mașinilor se realizează în timpul $d_{ANS}^{(1)}=0,5$ u.t. sau $d_{ANS}^{(2)}=1$ u.t. și activitatea căruciorului necesită o durată de $d_{AS}=0,5$ u.t. Identificarea cazurilor prezentate în figura 4.4.23 pentru valorile concrete ale parametrilor relevă faptul că transferul lung al pieselor se încadrează în limite normale, nu s-au identificat situații critice (pentru $d_{ANS}^{(1)}$ s-au identificat 22 de încadrări în cazul (1) și 5 în cazul (3.1), iar pentru $d_{ANS}^{(2)}$ 13 pentru cazul (1), 9 în cazul (2) și 5 în (3.1)).

În tabelul 4.4.13 se prezintă verificarea comportamentului unei componente de manipulare CS care colaborează cu o componentă CNS pentru un exemplu de valori aleatoare ale parametrului $tact_k$ și $m(k)$.

Din tabelul 4.4.13. se observă că în intervalul de timp $22 \div 25$ u.t. componenta CS trebuie să realizeze transferul în sistem al pieselor prelucrate de la mașinile 1, 2, 1, 3, 1, 2. Din cauză că mașinile 1 și 2 trebuie să fie alimentate cu semifabricate de 3, respectiv 2 ori în acest interval de timp, rezultă că acestea trebuie să aștepte, pentru că cele 2 posturi de așteptare ale acestora nu asigură un flux material pentru o activitate la capacitatea productivă maximă a mașinilor de lucru. Metoda de optimizare care are ca obiectiv maximizarea simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile de prelucrare realizează o verificare a corelației activităților componentelor în timp mai întâi pentru o structură a subsistemului de manipulare minimală (număr maxim de mașini servite de către un echipament, număr minim de cărucioare/robocare, număr minim de posturi de așteptare la mașini etc.) și, dacă în urma verificărilor, se constată apariția situațiilor

critice sau depășiri ale capacității productive a componentei de manipulare se pot relua iterativ calculele de verificare pentru structuri modificate (îmbunătățite) ale subsistemului de manipulare.

Tabelul 4.4.13. Exemplu de analiză conform considerațiilor teoretice din paragraful 4.4.4.5

m(k)	m2	m1	m3	m1	m2	m1	m2	m1	m3	m2	m1	m3	m1
tact _k	1	3	3	6	8	10	10	13	15	16	16	16	19
tact _{k+1} - tact _k	1	2	0	3	2	2	0	3	2	1	0	0	3
cazuri	1	1	3.1	1	1	1	3.1	1	1	1	3.1	3.1	1

m(k)	m2	m3	m1	m2	m1	m3	m1	m3	m2	m1	m2	m2
tact _k	20	24	25	25	27	30	31	31	33			
tact _{k+1} - tact _k	1	1	0	2	3	1	0	2				
Cazuri (p=k)	1	1	3.1	1	1	3.1	1					
tact _{k+2} - tact _{k+1}	-	-	-	-	-	-	-	-				
Situatie critică												
Cazuri (p=k+1)	-	-	-	-	-	-	-	-				

Modelul SFF pe care se bazează metoda este global și utilizează aproximații în aprecierea duratei activităților de servire a mașinilor sau de transfer lung pentru că nu se face o diferențiere între diferitele puncte de precizie (vezi subcapitolul 4.4.3) ale sistemului între care se realizează manipularea obiectelor de lucru.

4.4.6.2. Implementarea protocolului de funcționare “timpul rămas de prelucrare” în cazul sistemului “CIM-Eshed Robotec”

În figura 4.4.32 se prezintă schema de principiu a stației de frezare și de depozitare automată a sistemului CIM Eshed Robotec. Descrierea completă a sistemului a fost prezentată în capitolul 2, paragraful 2.7.

Protocolul de funcționare al stației de frezare este PVPS, adică robotul partajat între servirea mașinii de frezat și a posturilor de așteptare, va desfășura acea activitate a cărei comandă de pornire a sosit mai întâi.

Semnalele de interblocare care condiționează începerea unei activități a robotului partajat sunt:

- Semnalul de confirmare a terminării prelucrării la mașină (în programul piesă: instrucțiunea M30) ca input la controlerul robotului.
- Semnalul de activare a servirii posturilor de așteptare de către robot este dat de la controlerul central la controlerul de stație prin atribuirea unei valori variabilei de comunicare GCOM[1] prin rețeaua serială RS232, în momentul în care s-a citit codul căruciorului oprit în stație.

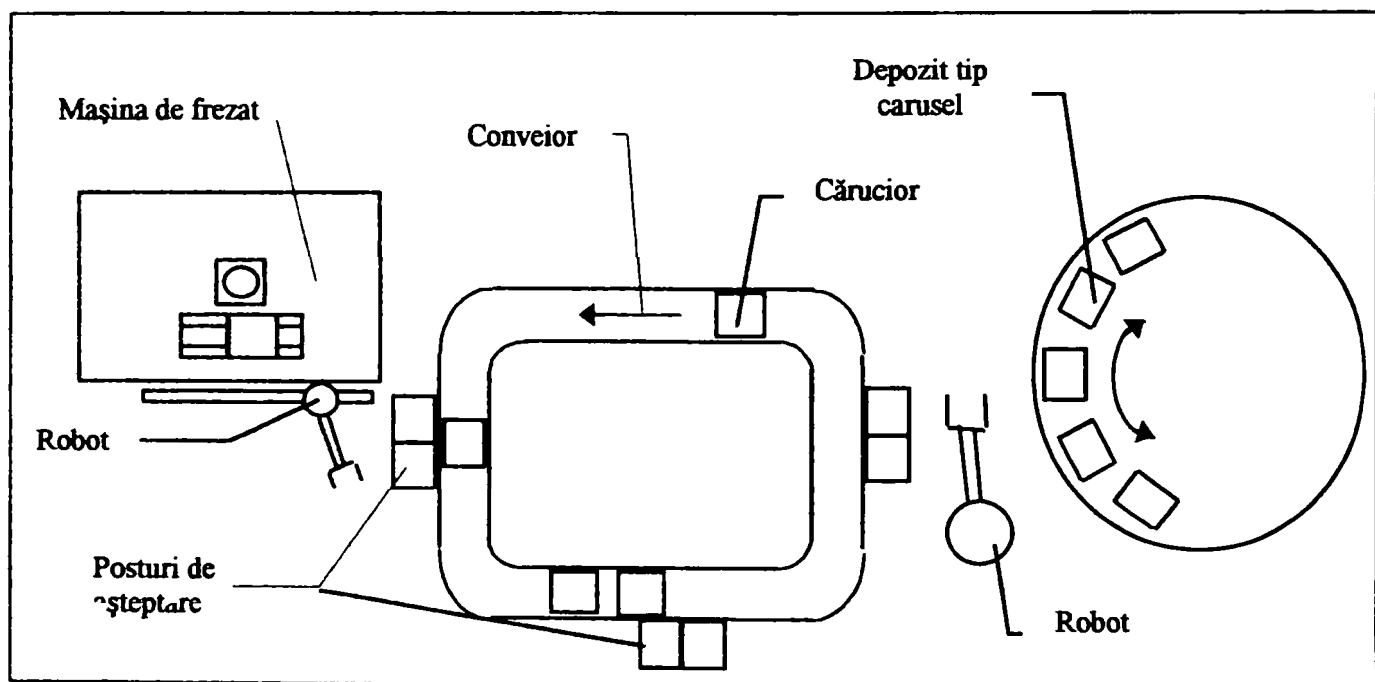


Figura 4.4.32. Schema de principiu a stațiilor de frezare și de depozitare automată a sistemului CIM

Din funcționarea sistemului, s-a observat că robotul, după servirea mașinii, rămâne într-o poziție apropiată de aceasta. Dacă semnalul de terminare a prelucrării este dat înainte de semnalul "cărucior necesar oprit în stație", robotul va evacua piesa prelucrată la postul de așteptare și va aștepta sosirea căruciorului cu următorul semifabricat. Poziția cărucioarelor pe conveior este aleatoare, de aceea momentul sosirii căruciorului necesar în stație nu este predefinit. Dacă semnalul de servire a posturilor de așteptare prin sosirea căruciorului necesar în stație este dat puțin înainte de terminarea prelucrării, robotul va efectua de două ori deplasarea de la mașină la postul de așteptare, o dată pentru aducerea paletii în postul de așteptare și a doua oară pentru evacuarea piesei de la mașină.

Protocolul de monitorizare a “timpului rămas de prelucrare” al mașinii de frezat poate înlătura acest dezavantaj, prin stabilirea succesiunii activităților în următorul mod:

- dacă timpul rămas de prelucrare este mai mic decât durata deplasării pentru o rotație completă a căruciorului pe conveior, robotul va aștepta terminarea operației de prelucrare, va evacua piesa și apoi va prelua paleta de pe cărucior, când acesta va sosi în stație;
- dacă timpul rămas de prelucrare este mai mare decât durata deplasării pentru o rotație completă a căruciorului pe conveior, robotul va prelua paleta de pe cărucior și va reveni lângă mașină pentru evacuarea piesei. În figura 4.4.33 se prezintă ordinograma de rulare a programelor stației de frezare modificate conform protocolului “timpul rămas de prelucrare”.

Notațiile din figura 4.4.33 au următoarele semnificații:

Variabila POST este contorul pentru posturile de așteptare libere; inițial $POST=2$; $POST=POST-1$ la aducere paletă; $POST=POST+1$ la evacuare paletă;

Variabila BFR1 este postul de așteptare curent pentru aducere paletă, inițial $BFR1=2$; schimbarea valorii variabilei postului curent se realizează prin instrucțiunile: $IF\ BFR1=1\ THEN\ SET\ BFR1=2$; $IF\ BFR1=2\ THEN\ SET\ BFR1=1$, BFR2 este variabilă a postului de așteptare pentru evacuare paletă;

Variabila PIESA[M]; M este variabilă de contorizare a pieselor intrate în stația mașinii de frezat, PIESA[M] este numărul de identificare al semifabricatului/piesei prelucrate; dacă $PIESA[M]<10$ atunci e semifabricat; dacă $PIESA[M]>10$ atunci e piesa finită;

$CB[BFR1]$ sau $CB[BFR2]$ este variabila pentru conținutul bufferului; $CB[BFR1]=0$ bufferul gol, $CB[BFR1]=PIESA[M]$; dacă $CB[BFR1]>ID+10$ conține piesa prelucrată, $CB[BFR1]=ID$ conține semifabricat, $CB[BFR1]=100$ buffer rezervat pentru piesa ce se prelucrează la mașină;

MAS este variabila pentru starea mașinii; $MAS=0$ mașina liberă; $MAS=1$ mașina ocupată cu semifabricat, $MAS=2$ mașina ocupată cu piesa finită;

TCAR este timpul necesar unui cărucior să execute o rotație completă pe conveior, TIMP este contorul de timp pentru durata prelucrării piesei la mașina de frezat, TBAZA este timpul necesar prelucrării piesei la mașina de frezat;

BFR este variabila de contorizare a posturilor de așteptare; ROBOT este o variabilă de stare a robotului $ROBOT=1$ înseamnă robot liber, $ROBOT=0$ înseamnă robot ocupat cu execuția unei activități;

GATA[BFR2] este o variabilă pentru a recupera valoarea conținutului postului de așteptare după ce acestuia i s-a atribuit valoarea de 100 (pentru post de așteptare rezervat piesei ce se prelucrează la mașină);

Programele suplimentare (față de programele de utilizator aflate în memoria controlerului de stație) au următoarele funcții:

WPALI este programul de semnalizare la controler că un cărucior cu paletă cu semifabricat s-a oprit în stație;

WPALO este programul de semnalizare la controler că un cărucior liber s-a oprit în stație;

MILL este programul care activează aducerea/evacuarea la/de la mașină de către robot a obiectului de lucru într-o ordine condiționată de valori ale variabilelor de stare; INITI este programul de inițializare a variabilelor globale și de introducere a valorilor constantelor.

Conținutul programelor de utilizator necesare introducerii protocolului “timp rămas de prelucrare” este prezentat în cele ce urmează. Cu italice s-au consemnat programele în limbajul ACL care sunt suplimentare, celelalte sunt programele de utilizator scrise și instalate la stația de frezare a sistemului CIM-Eshed Robotec.

```
      WPALI
LABEL 1
SET TI=TBAZA-TIMP
IF IN[1]=1
ANDIF POST>=1
ANDIF CB[BFR1]=0
ANDIF TI>TCAR
ANDIF ROBOT=1
      GOSUB FROMP
ENDIF
GOTO 1
END
```

```
      FROMP
SET M=M+1
SET POST=POST-1
SET ROBOT=0
SPEEDA 40
MOVE CIMB[9]
MOVE CIM[19]
GOSUB OGRIP
SPEED 5
MOVELD CIM[9]
DELAY 50
GOSUB CGRIP
```

```
SPEEDA 10
MOVELD CIM[19]
GOSUB TOBFR
END
```

```
      TOBFR
SET CB[BFR1]=PIESA[M]
SET B1=BFR1+10
SPEED 40
MOVED CIMB[BFR1]
MOVED CIM[B1]
GOSUB OGRIP
SPEEDA 5
MOVELD CIM[BFR1]
GOSUB CGRIP
SPEEDA 10
MOVELD CIM[B1]
SET ROBOT=1
END
```

```
      FB
SET ROBOT=0
SET A=1
GOSUB ID
SET A=0
```

```

SPEEDA 60
MOVED CIM[150]
SPEEDA 40
SPEEDB 40
MOVE CIM[P2]
MOVED CIMB[BFR1]
GOSUB OGRIP
SPEEDA 10
MOVELD CIM[P1]
GOSUB CGRIP
MOVELD CIM[P2]
SPEEDA 60
MOVED CIM[150]
SET
GATA[BFR1]=CR[BFR1]
SET CB[BFR1]=100
GOSUB TOM1
END

      ID
IF A=1
      SET BFR=BFR1
ENDIF
IF A=2
      SET BFR=BFR2
ENDIF
SET ID=RAW-1
SET ID=ID/10
SET ID=ID+1
SET P1=BFRs20
SET P1=P1+10
SET P1=P1+ID
SET P2=P1+10
END

      TOM1
SET MAS=1
IF ID=1
      SPEEDA 25
      GOSUB OVICE
      MOVED CIM[90]
      MOVED CIMB[90]
      SPEEDA 10
      MOVED CIM[97]
      MOVED CIM[98]
      WAIT IN[15]=0
      MOVED CIM[99]
      MOVED CIM[100]
      GOSUB OGRIP
      SPEEDA 10
      MOVED CIM[95]
      GOSUB CGRIP
      SPEEDA 10
      MOVED CIM[96]
      WAIT IN[14]=0
      MOVED CIM[90]
      WAIT IN[15]=1
ENDIF
SET ROBOT=1
GOSUB WTM1
END

      WTM1
IF TIMP<TBAZA
      GOSUB CONT
ENDIF
IF TIMP=TBAZA
      SET MAS=2
      SET TIMP=0
ENDIF
END

      CONT
TIMP=TIMP+1
DELAY 100
GOSUB WTM1
END

      MILL
LABEL 1
IF CB[BFR1]>0
ANDIF CB[BFR1]<10
ANDIF MAS=0
ANDIF ROBOT=1
      SET BFR=BFR1
      IF BFR1=1
          SET
          BFR1=2
      ENDIF
      IF BFR1=2
          SET
          BFR1=1
      ENDIF
      GOSUB FB
ENDIF
IF MAS=2
ANDIF ROBOT=1
      GOSUB FM1
ENDIF
      GOTO 1
END

      FM1
SET ROBOT=0
SET MAS=0
GOSUB ID
IF ID=1
SPEED 25
MOVED CIM[90]
MOVED CIMB[90]
GOSUB OVICE
DELAY 100
MOVED CIM[97]
MOVED CIM[96]
SPEEDA 5
MOVED CIM[95]
GOSUB OGRIP
MOVELD CIM[100]
GOSUB CGRIP
MOVELD CIM[99]
SPEEDA 10
MOVELD CIM[98]
SPEEDA 15
MOVED CIM[97]
MOVED CIM[90]
ENDIF
GOSUB TOB

      TOB
IF CB[1]=100
      SET BFR2=1
ENDIF
IF CB[2]=100
      SET BFR2=2
ENDIF
SET A=2
GOSUB ID
SET A=0
SPEEDA 60
MOVED CIM[150]
SPEEDA 40
SPEEDB 40
MOVE CIM[P2]
MOVED CIMB[BFR2]
SPEEDA 10
MOVELD CIM[P1]
GOSUB OGRIP
MOVELD CIM[P2]

```

```

SPEEDA 60
MOVED CIM[150]
SET
CB[BFR2]=GATA[BFR2]+
10
SET GATA[BFR2]=0
SET ROBOT=1
END

```

```

        WPALO
LABEL 1
SET TI=TBAZA-TIMP
IF IN[2]=1
ANDIF CB[BFR2]>10
ANDIF ROBOT=1
ANDIF          TBAZA-
TIMP>TCAR
        GOSUB FROMP
ENDIF
GOTO 1
END

```

```

        FROMB
SET ROBOT=0
SET B1=BFR2+10
SPEED 40

```

```

MOVED CIMB[BFR]
MOVED CIM[B1]
GOSUB OGRIP
SPEEDA 5
MOVELD CIM[BFR2]
GOSUB CGRIP
SPEEDA 10
MOVELD CIM[B1]
SET CB[BFR2]=0
SET POST=POST+1
GOSUB TOPLT
END

```

```

        TOPLT
SPEEDA 40
MOVED CIMB[9]
MOVELD CIM[19]
SPEEDA 5
MOVELD CIM[9]
DELAY 50
GOSUB OGRIP
SPEEDA 10
MOVELD CIM[19]
SET ROBOT=1
END

```

INITI

```

SET TBAZA=
SET POST=0
SET M=0
SET RAW=1
SET BFR1=2
SET TCAR=
SET CB[1]=0
SET CB[2]=0
SET GATA[1]=0
SET GATA[2]=0
SET MAS=0
SET TIMP=0
SET PIESA[1]=1
SET PIESA[2]=1
SET PIESA[3]=1

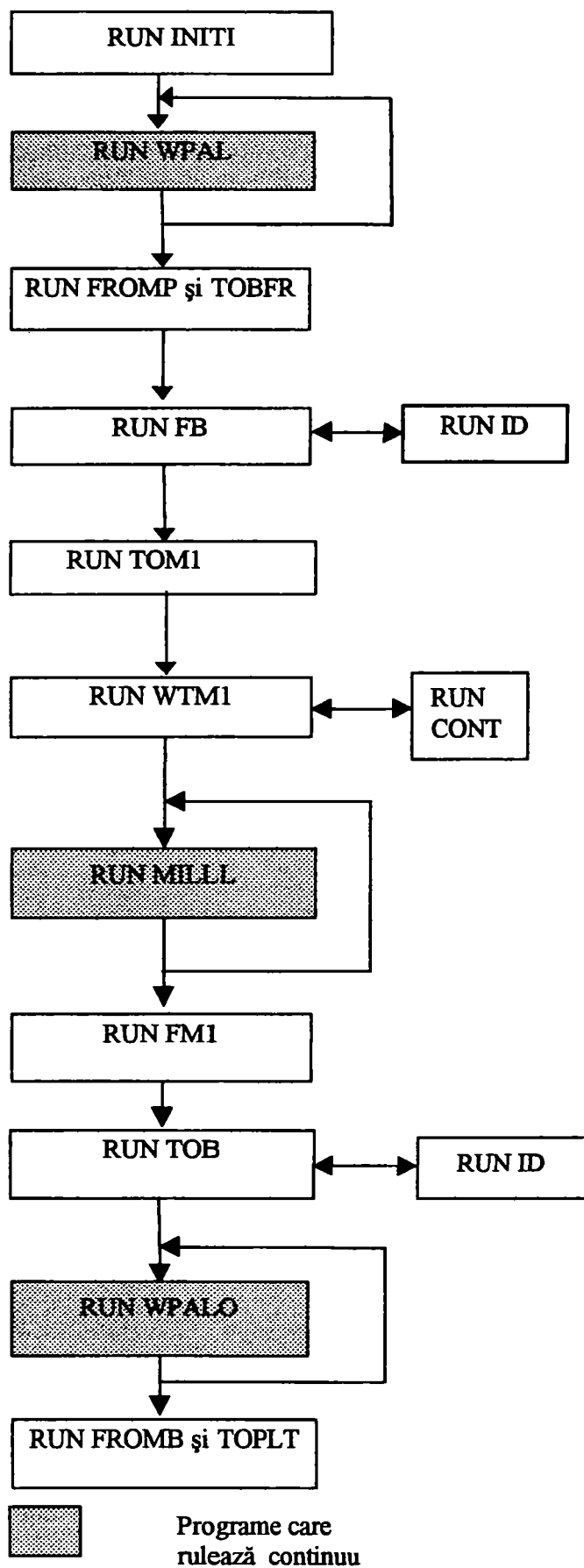
```

4.4.6.3. Concluzii privind optimizarea ciclogramei de funcționare a SFF

Prin utilizarea metodei de maximizare a simultaneității activităților subsistemului de manipulare se verifică posibilitățile de poliservire ale unei componente în cadrul unei stații de lucru și se verifică adecvarea numărului de componente ale stației de transfer lung pentru servirea tuturor stațiilor de lucru.

În cadrul metodei de stabilire a succesiunii activităților din sistem s-au analizat diferite variante de protocoale de funcționare a SFF avându-se ca obiectiv creșterea eficienței economice a funcționării întregului sistem.

Protocolul de “timp rămas de prelucrare” a fost implementat la stația 2 a sistemului CIM-Eshed Robotec. S-au introdus 3 variante de timpi de bază ai pieselor de prelucrat la stația de frezare $t_{b1}=5s$; $t_{b2}=90s$; $t_{b3}=176s$ și s-au analizat fișierele de urmărire (cu extensia trk) a desfășurării fabricației în mod automat. Din analiză a rezultat că dacă timpul de prelucrare al piesei este mic (t_{b1}) introducerea acestui protocol “întârzie” preluarea paletii de pe cărucior cu $4\div 2s$, dar “economisește” 2 deplasări ale robotului pe translația de bază care durează 7s.



La nivelul acestui sistem, introducerea protocolului “timp rămas de prelucrare” nu aduce îmbunătățiri semnificative coeficientului de utilizare al mașinii de frezat sau timpului de execuție al celor 4 piese de prelucrat în sistem. Beneficiile care pot fi aduse sunt economia de energie consumată de motoarele de acționare ale componentei a cărei succesiune de activități este îmbunătățită.

Figura 4.4.33 Ordinea de rulare a programelor la stația de frezare în cazul implementării protocolului “timp rămas de prelucrare”.

5. Contribuții la modelarea SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune și simularea funcționării acestora pe calculator

5.1. Introducere

Modelarea funcționării unui SFF prin luarea în considerare a activităților desfășurate în cadrul sistemului este adecvată oricărei structuri de SFF și oferă utilizatorului posibilitatea de a crea un model detaliat al funcționării acestuia. Utilizarea programului de simulare al acestui tip de modelare are avantajul implementării unui număr mare de variante de protocoale de funcționare ale sistemului, doar prin descrierea adecvată a elementelor modelului, a condițiilor de efectuare a activităților și introducerea corectă a mărimilor de intrare în model.

Celelalte posibilități de modelare, ca de exemplu, modelarea în rețea a șirurilor de așteptare introduce de la început o serie de simplificări (vezi paragraful 2.6): parametrii de intrare care descriu sistemul au valori medii și modelul nu descrie decât aproximativ funcționarea reală a sistemului. De altfel, această metodă de modelare este utilizată cu precădere în etape timpurii ale sintezei SFF și oferă utilizatorului valori aproximative ale parametrilor de performanță a funcționării sistemului. Modelul grafic realizat cu rețele Petri este determinat de structura și protocolul de funcționare al SFF, ceea ce înseamnă necesitatea modificării modelului pentru fiecare variantă concretă de sistem.

Realizarea modelului funcționării unui SFF pe bază de activități are ca scop stabilirea modului de corelare în timp a desfășurării tuturor activităților componentelor sistemului pe baza unor condiții determinate. Rezultatele obținute din simularea modelului sunt valorile parametrilor de evaluare a performanțelor pentru varianta de structură a sistemului, protocolul de funcționare și valorile mărimilor de intrare ale modelului.

Modelul bazat pe activități al SFF este descris de următoarele categorii de elemente:

- 1) Entitățile permanente sunt componentele identificate din structura sistemului modelat care au posibilitatea de a efectua activități sau își schimbă starea la un moment dat în cursul funcționării sistemului.
- 2) Entitățile tranzitorii sau temporale corespund tipurilor de obiecte de lucru care constituie fluxul material din cadrul sistemului real. Denumirea acestor entități face referire la caracterul nepermanent, de scurtă durată al existenței acestora la sistem în comparație cu entitățile permanente.
- 3) Atributele entităților sunt caracteristicile dobândite temporar ale acestora, în momentul pornirii simulării și ca urmare a desfășurării diferitelor activități ale entităților permanente.

4) Variabilele de stare ale entităților constituie exprimarea matematică a atributului entității respective. Anumite valori ale variabilelor de stare ale entității la un moment dat constituie condițiile de pornire ale unei activități ale echipamentului. În urma derulării timpului de simulare cu mărirea corespunzătoare duratei activității, unele variabile de stare își modifică valorile și devin condiții de pornire ale altor activități ale aceleiași/altor componente. Mulțimea variabilelor de stare ale entităților descriu starea sistemului modelat.

5) Activitățile entităților permanente sunt definite în model prin durata acestora și corespund în sistemul real cu activitățile definite în paragraful 4.4.1. În urma desfășurării activităților, entitățile permanente și/sau temporare își modifică atributele.

6) Condițiile de pornire ale activităților entităților permanente sunt propoziții logice care determină succesiunea secvențelor de funcționare ale acestora. Activitățile unei categorii de entități se pot desfășura întotdeauna în aceeași succesiune (entități cu un comportament constant), cealaltă categorie de entități desfășoară activități într-o ordine impusă de starea modelului sistemului (entități cu un comportament variabil). Pentru situațiile în care este necesară luarea unei decizii cu privire la succesiunea de activități ale unei entități este necesar să se analizeze mai multe variante de **protocoale de funcționare**. Alegerea celei mai bune variante din cele analizate se face pe baza comparațiilor dintre valorile parametrilor de performanță globali ai funcționării sistemului, obținute din prelucrarea datelor în urma simulării.

7) Contoarele parametrilor de performanță ai sistemului sunt variabile statistice, care sunt reactualizate la fiecare terminare a activităților pentru a oferi, la sfârșitul simulării, valorile parametrilor de performanță ale entităților din model. Din prelucrarea parametrilor de performanță ale entităților se obțin parametri de performanță globali ai modelului sistemului.

Se propune în continuare analiza entităților permanente care corespund componentelor din toate structurile posibile ale SFF. Pe baza unei clasificări orientate spre funcționarea diferitelor tipuri de echipamente, se modelează în mod unitar toate variantele de echipamente care îndeplinesc aceeași funcție în cadrul sistemului.

5.2. Structura modelului corespunzător sistemului de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune

5.2.1. Modelarea echipamentelor de depozitare centrală din cadrul SFF

5.2.1.1. Entitățile permanente ale modelului echipamentelor de depozitare centrală

Echipamentele de depozitare centrală din cadrul SFF pot avea ca elemente componente:

- structura metalică a depozitului propriu-zis destinat susținerii obiectelor depozitate sau dispozitivele instalației aducătoare/de evacuare cu rol de depozitare;
- dispozitivele de situare a reperelor depozitate;
- robotul de manipulare a pieselor depozitate (DAH =Direct Access Handler).

Structura metalică a depozitului poate să fie fixă în totalitate sau cu un subansamblu mobil.

Situarea pieselor în depozit se poate realiza:

- cu dispozitive de situare a obiectelor de lucru în locașuri;
- fără locașuri de situare.

Echipamentele de depozitare, clasificate în funcție de natura obiectelor de lucru din SFF, pot fi:

- de semifabricate;
- de piese finite;
- de semifabricate și piese finite;
- de scule.

Modelul depozitului propriu-zis are ca parametru caracteristic capacitatea de depozitare sau numărul de locașuri de situare.

5.2.1.2. Entitățile temporale ale modelului echipamentelor de depozitare centrală

Entitățile temporale ale modelului corespund obiectelor de lucru depozitate în sistemul real.

Evoluția apartenenței entităților temporale la modelul depozitului (existența obiectului de lucru în depozit) depinde de factorul timp, după o lege determinată sau aleatoare.

Clasificarea sistemelor funcție de numărul de semifabricate și piese finite existente într-o perioadă constantă de timp în SFF identifică sistemele în “rețea închisă” (număr constant de repere pe perioada unui schimb de producție) și sistemele în “rețea deschisă” (număr variabil de repere pe perioada unui schimb de producție).

Sistemele în “rețea deschisă” necesită modelarea intrării obiectelor de lucru în SFF prin precizarea momentului “sosirii” piesei sau a intervalului de timp “intersosiri” (durata de timp dintre două sosiri succesive ale pieselor în sistem). Valorile momentelor de timp corespunzătoare intrărilor pieselor în sistem pot varia statistic după o distribuție de probabilitate exponențială, normală sau aleatoare.

5.2.1.3. Atributele entităților modelului echipamentelor de depozitare centrală

Entitatea permanentă care modelează depozitul propriu-zis poate avea următoarele atribute (care exprimă conținutul locașurilor depozitului):

- locaș liber;
- locaș cu paletă liberă;
- locaș cu semifabricat;
- locaș cu piesă în curs de prelucrare;
- locaș cu piesă finită.

Pentru conținutul depozitelor fără locașuri de situare a pieselor, la care reperatele sunt prezentate în vrac sau sunt ordonate, modelul acestora admite ca atributul să exprime numărul curent de semifabricate sau de piese finite.

Pentru depozitarea pe un conveior de intrare în sistem, modelul admite atributul de conținut al șirului de așteptare format prin “sosirile” semifabricatelor în SFF.

Dacă depozitul propriu-zis este mobil, atributul corespunzător se modifică funcție de starea lui de mișcare sau de repaus.

Atributul modelului pentru robotul de manipulare (DAH) se referă la starea de funcționare a acestuia: în curs de execuție a unei activități (de evacuare/aducere a unui obiect de lucru din/în depozit) sau liber.

Atributele entităților temporale (obiectele de lucru) exprimă tipul sculei, al paletelor libere sau stadiul de efectuare al operațiilor tehnologice asupra pieselor din cadrul sistemului real, ca de exemplu:

- semifabricat;
- piesă în curs de prelucrare;
- piesă finită în SFF.

5.2.1.4. Variabilele de stare ale entităților modelului echipamentelor de depozitare centrală

În cazul depozitelor cu locașuri de situare bine definite în spațiu (magazin, container sau paletă de depozitare), este necesară o monitorizare permanentă a conținutului acestuia, prin variabile de tip masiv, ca de exemplu: $\text{cont}[d]$, unde $d=1 \div K$, K este capacitatea de înmagazinare a depozitului respectiv și “ d ” variabila de identificare a locașului depozitului.

Modelarea dispozitivelor instalației aducătoare/de evacuare cu rol de depozitare (buncăr vibrator sau acumulator) necesită introducerea unei variabile de contorizare a numărului curent de semifabricate rămase sau de piese introduse (de exemplu, acc1 respectiv acc2).

Modelarea stării de funcționare a robotului sau a părții mobile a depozitului se realizează prin atribuirea de valori 0 sau 1 unei variabile binare.

Modelarea tipului de piesă depozitate se realizează prin atribuirea unui număr "i" pentru semifabricat și "i+h(i)•10" pentru efectuarea celei de-a "h(i)"-a operații tehnologice asupra piesei al cărui semifabricat este notat cu "i". Această modalitate de identificare a entității temporale a sistemului permite atribuirea unor numere discrete pentru $i=1\div 10$ și $h(i)=1\div 10$, ceea ce înseamnă că modelul admite un număr maxim de 9 tipuri de semifabricate, respectiv câte 9 operații de prelucrare pentru fiecare tip de piesă.

5.2.1.5. Activitățile entităților permanente ale modelului echipamentelor de depozitare centrală

Sarcinile ce revin unui depozit central din cadrul SFF sunt: de evacuare a unui semifabricat sau a unei piese în curs de prelucrare și de înmagazinare a unei piese finite sau în curs de prelucrare în sistem.

Dacă depozitul este mobil, activitatea de prezentare a locașului necesar sau a unei piese noi în poziția de preluare/predare poate avea o durată constantă (de exemplu: execuția unei mișcări de indexare) sau variabilă.

Activitatea de manipulare a obiectelor de lucru de către robot se poate împărți în: deplasarea echipamentului de manipulare la locașul necesar și preluarea/predarea obiectului de lucru.

Activitatea de manipulare propriu-zisă este în general de durată constantă, indiferent de tipul piesei manipulate, în timp ce durata timpului de deplasare a robotului sau de mișcare a depozitului mobil pentru aducerea locașului necesar în poziția de preluare/predare se calculează în funcție de poziția momentană ("start") și cea necesară ("țintă").

În figura 5.1. se prezintă un exemplu de determinare a relației de calcul a timpului necesar activității de deplasare a echipamentului de manipulare la locașul necesar al depozitului.

Fie depozitul liniar reprezentat schematic în figura 5.1, cu $K=12$ locașuri pentru obiectele de lucru, echipamentul de manipulare este situat în poziția curentă din figură ("start") și trebuie să se deplaseze într-o poziție nouă ("țintă").

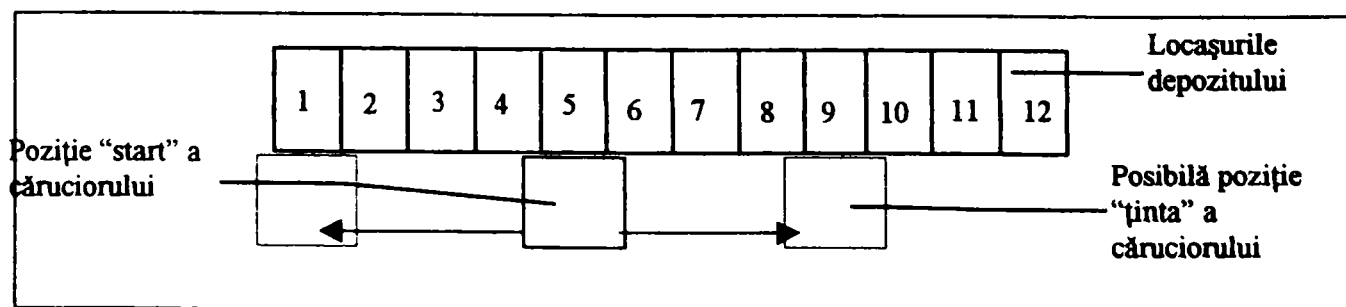


Figura 5.1. Schemă pentru calculul duratei de deplasare a echipamentului de manipulare la diferite locașuri ale depozitului

Se cunoaște timpul de deplasare a echipamentului pe distanța dintre două locașuri succesive (d_{c1}).

Timpul activității de deplasare (start-țintă) este:

$$d_{(start-\text{țintă})} = \text{țintă-start} / d_{c1} \quad (5.1)$$

5.2.1.6. Condițiile de pornire ale activităților entităților permanente din modelul echipamentelor de depozitare centrală

Activitatea de preluare a semifabricatului “i” din depozit se poate realiza dacă:

- $cont[d]=i$, unde $cont[d]$ este variabila conținutului locașului “d” al depozitului și “i” este numărul de identificare al semifabricatului necesar;
- $acc1 \geq 1$, în cazul depozitelor fără locașuri de situare a pieselor;
- variabila de stare a robotului este 0 (liber).

Ca urmare a inițierii acestei activități, entitățile își schimbă atributele, astfel:

- $cont[d]=0$ locașul “d” devine liber;
- $acc1=acc1-1$;
- variabila de stare a robotului este 1 (în activitate) până la expirarea timpului necesar desfășurării acestei activități.

Activitatea de predare a obiectelor de lucru de către echipamentul de manipulare în depozit necesită îndeplinirea următoarelor condiții:

- $cont[d]=0$, adică existența unui locaș liber în depozit;
- $acc2 \leq K-1$, adică nedepășirea capacității de înmagazinare a depozitului;
- variabila de stare a robotului să fie 0 (liber).

În urma desfășurării activității de înmagazinare, variabilele de stare devin: $cont[d]=i+10h(i)$ sau $acc2=acc2+1$.

În cazul depozitului din cadrul SFF cu locașuri de situare a pieselor, tactul de sosire a comenzilor de aducere/evacuare este mai mare decât durata medie de îndeplinire a acestor activități. Din această cauză nu este necesară analiza protocoalelor de funcționare optime pentru îndeplinirea mai multor comenzi simultane, situații care se întâlnesc la depozitele care servesc mai multe secții ale unei societăți comerciale sau sunt depozite de produse finite sau pentru aprovizionare ale unei întreprinderi.

Găsirea locașului “țintă” care conține semifabricatul necesar sau a locașului liber se poate realiza după protocolul “cel mai aproape” locaș față de poziția de “start” a echipamentului de manipulare.

Determinarea “celui mai aproape locaș” de poziția “start” pentru alegerea poziției “țintă” depinde de construcția depozitului și numerotarea locașurilor pentru identificare. Dacă numerotarea locașurilor se face în ordine crescătoare, cea mai mică valoare a modulului diferențelor între numerele de identificare ale locașurilor “posibil țintă”-“start” oferă soluția.

5.2.1.7. Contoarele parametrilor de performanță ai modelului echipamentelor de depozitare centrală

Parametrul care contorizează numărul de porniri ale activităților entităților care modelează componente ale echipamentelor de depozitare centrală este utilizat în calculul coeficientului de utilizare al acestora.

Conținutul depozitului la sfârșitul simulării indică numărul de piese prelucrate de către sistem, acest parametru fiind un indicator global important de evaluare a comportamentului sistemului.

În tabelul 5.1. sunt prezentate sintetic considerațiile cu privire la modelarea echipamentelor de depozitare centrală.

5.2.2. Modelarea dispozitivelor de transfer lung din cadrul SFF

5.2.2.1. Entitățile permanente ale modelului dispozitivelor de transfer lung

Transferul lung al obiectelor de lucru între stațiile (sau mașinile) de lucru se poate realiza prin:

- robot cu translație lungă sau robot simplu-portal;
- robot dublu-portal;
- cărucior pe conveior sau cărucior autonom ghidat pe șine;
- conveior cu dispozitive de situare ale pieselor;
- robocare.

Se definește ca element activ al unui dispozitiv de transfer lung, acel subansamblu al echipamentului care realizează situarea și deplasarea efectivă a pieselor.

Clasificarea entităților de transfer lung funcție de numărul elementelor active și de numărul dispozitivelor (locașurilor) de situare ale pieselor delimitează următoarele cazuri:

- dispozitiv de transfer cu **un element activ având câte un locaș de situare** a obiectului transferat (robotul cu translație lungă sau portal sau dispozitiv de transfer lung format din: cărucior cu deplasare pe conveior, cărucior autonom pe șine, robocar cu un locaș de situare a piesei etc.);

Tabelul 5.1. Elemente ale modelului corespunzător depozitului central

Entitatea	Parametrii caracteristici	Variabila de stare	Atributul	Activitatea entității
Conveior de intrare a semifabricatelor	-capacitatea de depozitare K	conținutul șirului de așteptare pe conveior: $cont[d]=i$, la fiecare sosire a semifabricatului i, $d=d+1$, $cont[d]=i$, $d \leq K$	prima poziție a șirului de așteptare are un semifabricat $cont[1]=i$	după preluarea unui semifabricat, conveiorul execută o mișcare de avans, d_{c1} , se reactualizează șirul de așteptare
Depozit: buncăr sau acumulator, de semifabricate sau piese finite		conținutul curent al depozitului: inițial $acc1=K$, $acc1=acc1-1$ la fiecare evacuare a unui obiect de lucru: $acc2=acc2+1$ la fiecare aducere de piesă finită	- are cel puțin un obiect de lucru: $acc1 > 0$ -are cel puțin un loc de înmagazinare $acc2 \leq K-1$	- preluarea/predarea unui obiect de lucru în/din depozit de durată constantă
Depozit: magazin fix sau magazin mobil	capacitatea de depozitare (număr de locașuri) K	conținutul locașurilor depozitului: $cont[d]=i$, $d=1 \div K$	liber, cu semifabricat, cu piesă prelucrată: $cont[d]=0, i, i+h(i) \cdot 10$	- predarea/preluarea obiectelor se execută de către un echipament de manipulare - aducerea locașului necesar în poziție fixă de durată determinabilă $d_{(start-șintă)} = șintă - start \cdot d_{c1}$

- un element activ cu două locașuri de situare ale obiectului de lucru care este un caz particular al celui menționat mai sus, în care robotul are un dispozitiv de prehensiune dublu sau căruciorul are două locașuri de situare a pieselor;

- mai multe elemente active cu câte un locaș de situare al obiectului pentru transfer, adică în sistem există două sau mai cărucioare sau robocare;

- mai multe elemente active fiecare cu câte două locașuri de situare ale obiectului.

Modelul echipamentelor de transfer lung din SFF are ca parametrii caracteristici numărul de elemente active (roboți, cărucioare sau robocare) notat cu nr_c și numărul de locașuri de situare a pieselor transferate ale caruciorului "z" $l(z)$, unde $z=1 \div nr_c$.

5.2.2.1. Entitățile temporale ale modelului dispozitivelor de transfer lung

Entitățile tranzitorii ale modelului corespund obiectelor de lucru transferate în sistem. Fiecare tip de piesă "i" are un itinerar tehnologic stabilit în prealabil.

Itinerarul pieselor în sistem poate să fie:

- unic, adică la terminarea unei operații de prelucrare a unui tip de piesă sau la intrarea piesei în sistem, există o singură mașină de lucru care poate executa operația tehnologică următoare;
- posibil, ceea ce înseamnă că la terminarea unei operații de prelucrare, există cel puțin două mașini de lucru capabile să realizeze operația de prelucrare următoare.

5.2.2.3. Atributele entităților modelului dispozitivelor de transfer lung

Sunt identificate mai multe categorii de atribute ale entităților în model:

- atribute corespunzătoare stării de mișcare/repaus a elementelor active și de situație curentă ("start") a acestora în sistem;
- atribute privind conținutul locașurilor elementelor active: liber, cu semifabricat sau cu piesă în curs de prelucrare sau finită;
- atribute cu privire la situația viitoare ("țintă") a elementului activ al entității permanente: mașina de lucru care a terminat prelucrarea, mașina de lucru următoare, depozitul pentru aducere de semifabricat sau de evacuare piesă prelucrată.

5.2.2.4. Variabilele de stare ale entităților modelului dispozitivelor de transfer lung

Se propun următoarele valori ale variabilele de stare care corespund atributelor entităților:

- starea elementelor active va fi descrisă de variabila $car(z) = 1$ pentru mișcare și 0 pentru repaus pentru $z = 1 \div nr_c$;
- localizarea curentă și necesară a elementelor active în cadrul sistemului este "start(z)" și respectiv "țintă(z)";
- conținutul locașurilor elementului activ "z" este "contcar(z,s)", unde "z" este indicele elementului activ și "s" este indicele locașului, $z = 1 \div nr_c$ și $s = 1 \div l(z)$, $contcar(z,s) = 0$ pentru locaș liber și $contcar(z,s) = i$ pentru locaș cu piesa de tip "i";
- situația viitoare a elementului activ ("țintă") se determină în funcție de operația tehnologică următoare a piesei de tip "i", adică $op(i, h(i)+1) = j = ținta(z)$, unde $h(i)$ este

numărul curent al operației tehnologice realizate, $h(i)=1+S(i)$, $S(i)$ este numărul de operații tehnologice de executat în cadrul sistemului pentru tipul de piesă al cărui semifabricat este “i”, iar j este mașina la care se va realiza operația $h(i)+1$.

5.2.2.5. Activitățile entităților permanente ale modelului dispozitivelor de transfer lung

Din analiza itinerarului obiectelor de lucru transferate prin intermediul elementelor active în cadrul SFF, se identifică următoarele tipuri de activități:

- Deplasarea intermitentă cu valoarea unui pas a elementului activ și de durată constantă. Acesta este cazul conveioarelor cu dispozitive de situare care transportă obiectele de lucru între două mașini de lucru învecinate în cadrul sistemului (figura 5.2). Dispozitivele au rolul de transfer și de depozitare temporară a pieselor de la o mașină de lucru la alta, situația prezentată se poate asimila cu cel al mai multor posturi de așteptare la cea de-a doua mașină, la care servirea se realizează după un protocol PVPS (primul venit, primul servit).

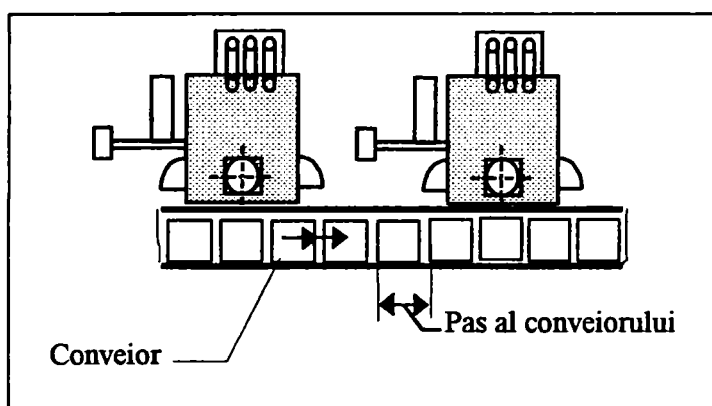


Figura 5.2. Dispozitiv de transfer intermitent între două mașini

- Deplasarea elementelor active între două echipamente ale sistemului, în funcție de itinerarul unic al obiectului de lucru.

Din poziția sa curentă, elementul activ se deplasează la mașina de lucru care a terminat prelucrarea, descarcă obiectul de lucru, se deplasează la mașina de lucru care realizează următoarea prelucrare sau la depozit (dacă nu există posturi de așteptare libere) și încarcă piesa în locul corespunzător. Durata activității de încărcare/descărcare este constantă, timpul necesar de deplasare a elementului activ se determină funcție de pozițiile “start” și “țintă”.

- Alegerea “țintei” de deplasare a elementelor active ale dispozitivului de transfer din mai multe variante posibile, funcție de starea momentană a sistemului și de protocoalele de funcționare. Variantele de “ținte” de deplasare ale elementelor active sunt deduse în mulțimea mașinilor de lucru capabile să execute operația următoare a piesei transferate, în situația în care $op(i, h(i)+1) = j_1, j_2, j_3 \dots$. În literatura de specialitate această selectare a situației viitoare a elementului activ este denumită “rutare” (routing).

Din analiza traiectoriei punctului caracteristic atașat obiectului de lucru transferat, a sensului de deplasare pentru a ajunge la “țintă” și a posibilităților de a cunoaște în orice moment poziția

elementelor active de-a lungul traiectoriei, se identifică următoarele posibilități de mișcare a elementelor active (ale câte unui punct atașat acestora):

- traiectorie în linie dreaptă sau de forma unei curbe plane complexe cu deplasare comandată în ambele sensuri a elementelor active între două puncte diferite ale traseului obiectului de lucru din cadrul dispozitivului de transfer și pozițiile elementelor active cunoscute în orice moment prin sistemul de conducere al dispozitivului;

- traiectorie în linie dreaptă cu deplasare într-un singur sens, de valoare fixă (cu un pas) a elementului activ cu mai multe locașuri și poziția elementului activ determinată de caracteristicile constructive și funcționale ale sistemului de acționare a dispozitivului de transfer (figura 5.2);

- traiectorie circulară cu deplasare într-un singur sens a elementelor active și poziția cunoscută a cărucioarelor numai în stațiile de oprire printr-un sistem de senzori (figura 5.3).

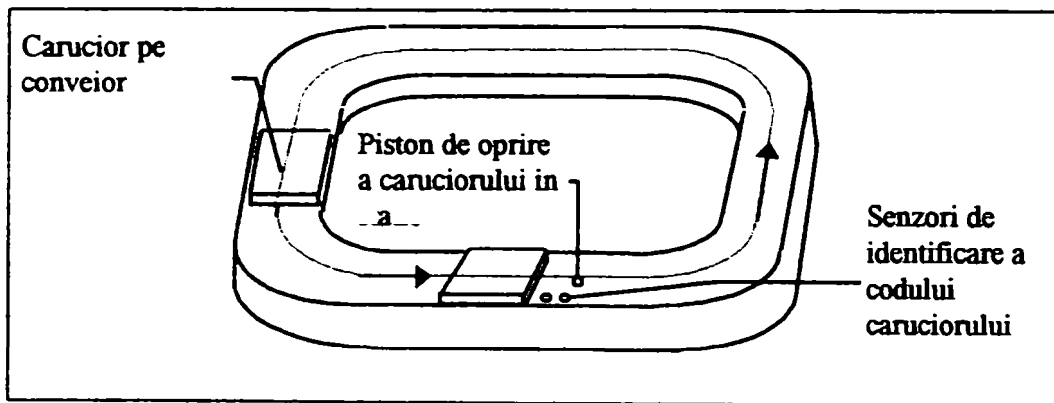


Figura 5.3. Cărucioare cu deplasare într-un singur sens pe conveior, oprirea în stație și identificarea codului căruciorului prin senzori.

În figura 5.3 elementul condus al conveiorului execută o mișcare continuă pe o curbă închisă, iar cărucioarele nu sunt fixate de acesta, ci sunt antrenate în mișcare prin forța gravitațională. Oprirea unui anumit cărucior în stație se realizează prin acționarea unui piston-opritor și, în funcție de necesități, este oprit în stație sau nu. Poziția inițială a cărucioarelor pe conveior este nedeterminată, din acest motiv nu se cunoaște timpul necesar unui anumit cărucior de a ajunge într-o stație.

În modelul corespunzător acestui tip de dispozitiv de transfer se va introduce pentru durata activităților o variabilă cu valori în domeniul $[0, t_{\text{ciclu}}]$, unde t_{ciclu} este timpul necesar unei rotații complete a unui cărucior pe conveior sau se va modela în detaliu mișcarea cărucioarelor pe conveior.

5.2.2.6. Condițiile de pornire ale activităților entităților permanente din modelul dispozitivelor de transfer lung

Condiția de începere a activității de transfer a unui obiect de lucru în cadrul sistemului este:

Tabelul 5.2. Modelarea variantelor de dispozitive de transfer

Entitatea permanentă	Entitatea temporală	Parametrii caracteristici	Variabila de stare	Atributul	Succeslunea activităților elementelor active	Durata activității
un element activ cu câte un locaș pentru situarea pieselor	itinerar unic al piesei	număr de cărucioare $nr_c=1$, număr de locașuri $l(z)=1$ $z=1+nr_c$	- conținutul locașului căruciorului $contcar(z, s)$, unde $z=1+nr_c, s=1+l(z)$ - pînta deplasării căruciorului $pînta(z)=j=op(i,h(i)+1)$	- locașul este liber, are semifabricat, sau piesă finită $0, i, i+10h(i)$	-deplasare la mașina $op(i,h(i))$, evacuare piesă, deplasare la următoarea mașină $op(i,h(i)+1)$, încărcare piesă, deplasare la depozit, încărcare semifabricat, deplasare la mașina $op(i,h(i))$, încărcare semifabricat	- durată deplasării de la poziția "start(z)" la pîntă(z)" este determinabilă, $t=f(start(z), pînta(z))$ -durata determinabilă a încărcării/descărcării obiectului în/din depozit sau mașină $t_{inc}=t_{desc}$
	itinerare posibile ale piesei		$pînta(z)=j_1, j_2, \dots$ se determină pe baza unor reguli stabilite în funcție de starea mașinilor			
mai multe elemente active cu câte un locaș pentru situarea pieselor	itinerar unic/itinerare posibile	număr de cărucioare $nr_c \geq 2$ sau număr de dispozitive de situare, număr de locașuri $l(z)=1$				idem sau durată deplasării de la $start(z)$ - pîntă(z) este variabilă (între o valoare maximă și minimă) pentru că poziția elementelor active nu este fixă la începutul mișcării conveierului (fig 5.3)
unul/mai multe elemente active cu două locașuri de situare a pieselor	itinerar unic/itinerare posibile	număr de cărucioare $nr_c=1, nr_c \geq 2$, număr de locașuri $l(z)=2$			- deplasare la depozit, încărcare semifabricat, deplasare la mașina $op(i,h(i))$, evacuare piesă, încărcare semifabricat, deplasare la următoarea mașină $op(i,h(i)+1)$, încărcare piesă	-durata determinabilă a deplasării și a încărcării/descărcării
> de 2 locașuri de situare a pieselor	itinerar unic al pieselor	$nr_c=1, l(nr_c) > 2$	- conținutul locașului căruciorului $contcar(1, s)$, unde $s=1+l(1)$; pînta deplasării dispozitivului $pînta(z)=j$	- locașul este liber, are semifabricat: $0, i$	deplasare cu un pas $cont(1,s)=cont(1,s+1)$	-durata constantă a deplasării și a încărcării/descărcării

- terminarea operației de prelucrare a unei mașini de lucru sau existența unui post de așteptare liber al mașinii de lucru care execută prima operație de prelucrare a unui tip de piesă din sistem;
- existența unui post de așteptare liber la mașina de lucru care execută operația de prelucrare următoare sau a cel puțin un locaș liber în depozit;
- existența unui element activ liber, $car(z)=0$.

Determinarea variabilei de stare “țintă” în cazul itinerarelor posibile în sistem se realizează funcție de starea entităților (de exemplu: j_1, j_2) ale sistemului (mașini de lucru care pot realiza operația de prelucrare următoare asupra piesei), astfel:

- starea de încărcare a posturilor de așteptare ale entităților j_1, j_2 ;
- entitatea cea mai apropiată de poziția curentă a elementului activ;
- timpul rămas de prelucrare a celor două entități.

5.2.2.7. Contorul parametrului de performanță al modelului dispozitivelor de transfer lung

Valoarea variabilei la sfârșitul simulării, care indică suma timpilor în care un element activ a desfășurat activități, raportată la timpul total de simulare este coeficientul de utilizare al entității respective. Analiza coeficienților de utilizare a elementelor active permite aprecierea oportunității de reducere sau de creștere a numărului de locașuri sau de elemente active ale dispozitivului de transfer din sistemul real. Validarea deciziei de modificare a numărului de elemente active sau de locașuri ale acestora se realizează prin simularea sistemului modificat în concordanță cu aceste concluzii și analiza din nou a valorilor parametrilor de performanță ale modelului.

În tabelul 5.2 sunt prezentate sintetic elementele modelului unitar al echipamentelor de transfer lung.

5.2.2.8. Modelarea dispozitivelor cu funcții de manipulare în cadrul SFF

Dispozitivele instalației aducătoare/de evacuare cu funcții de captare/colectare, ordonare, separare/reunire, control dimensional, numărare/dozare, sortare sunt adecvate din punct de vedere constructiv și dimensional modificării situației aceluiași tip de piesă sau unui domeniu foarte restrâns de tipuri de piese. Asupra obiectelor de lucru aflate în mișcare de cădere gravitațională în cele mai multe cazuri, diferitele elemente ale acestor dispozitive execută mișcări care au ca rezultat îndeplinirea funcțiilor menționate mai sus. Durata acestor activități și prezentarea a câte unui obiect de lucru în poziția și cu orientarea piesei pentru preluare este de ordinul secundelor și poate fi neglijată în contextul simulării operațiilor de prelucrare și manipulare în SFF pentru prelucrări prin

așchiere/eroziune. În modelare se poate utiliza ipoteza în care există întotdeauna un obiect de lucru în poziția de preluare și durata activității corespunzătoare va fi nulă.

Dispozitivele de livrare/evacuare fac parte din categoria echipamentelor de servire a mașinilor de lucru pentru cazul particular al variației restrânse a caracteristicilor tipo-dimensionale ale pieselor.

Dispozitivele de poziționare/fixare/instalare se regăsesc în structura paletelor de transport sau de transport și de lucru.

5.2.3. Modelarea mașinilor de lucru din cadrul SFF

5.2.3.1. Entitățile permanente ale modelului mașinilor de lucru din cadrul SFF

Entitățile permanente din model sunt corespunzătoare mașinilor de lucru din SFF care execută operații de prelucrare, de măsurare/control, de spălare a pieselor etc. Operațiile de prelucrare sunt executate în general de mașini unelte, mașini pentru prelucrări prin electroeroziune, de către roboți de lucru (pentru debavurare, demaslotare, tăiere etc), operațiile de măsurare/control de mașini de măsurat în coordonate sau instalații de control/testare automate.

Parametrul caracteristic al modelului acestor echipamente este numărul de entități n_m și de posturi de așteptare al fiecărei entități $n_{buf}(m)$ unde $m=1 \div n_m$.

5.2.3.1. Entitățile temporale ale modelului mașinilor de lucru

Entitățile tranzitorii ale modelului mașinilor de lucru pot fi:

- piesele de prelucrat la mașina de lucru;
- piesele situate și fixate pe paletele de lucru;
- sculele necesare pentru execuția operațiilor de prelucrare.

O problemă specifică a funcționării mașinilor unelte și a celor pentru prelucrări prin eroziune este asigurarea necesarului de scule/electrozi pentru fiecare fază a operației de prelucrare prin așchiere/electroeroziune.

Fiecare tip de mașina unealtă are o port-sculă sau o magazie de scule de capacitate limitată.

În cazul în care necesarul de scule pentru operațiile de prelucrare executate de către mașina pe o perioadă determinată (săptămână, lună) este mai mic decât capacitatea de înmagazinare a mașinii, problema asigurării necesarului de scule nu se mai pune. La valoarea timpului de bază al operației de prelucrare, determinabil prin metodele cunoscute în literatură, se adaugă cel necesar schimbării sculei din arborele principal al mașinii sau al schimbării poziției port-sculei.

Dacă numărul de scule necesare este mai mare decât cel aflat în magazie la dispoziția mașinii, se pot lua următoarele măsuri:

- planificarea producției pe termen mediu (saptămână, lună) și pe termen scurt (ordonanțarea) se va realiza în așa mod încât să fie necesară reechiparea mașinilor cu scule de cel mult o dată pe schimb;

- se va asigura un sistem automat de schimbare a sculelor din magazii externe mașinilor, aparținând sistemului de fabricație;

- sculele necesare vor fi manipulate în cadrul sistemului de către aceleași echipamente care asigură și manipularea pieselor (pe aceeași paletă se vor situa și semifabricatul și sculele necesare prelucrării acestuia).

În cazul în care în sistem există un sistem automat de schimbare a sculelor extern mașinilor de lucru, modelarea acestuia se realizează în mod asemănător modelării manipulării pieselor în sistem. Trebuie verificată prin simulare corelarea în timp a activităților de asigurare a sculelor cu cea a pieselor, pentru ca la sosirea unui tip de piesă la mașină să existe toate sculele necesare execuției operației de prelucrare, în caz contrar, mașina trebuie să aștepte.

5.2.3.3. Atributele entităților modelului mașinilor de lucru

Entitățile care modelează echipamentele adecvate execuției operațiilor de prelucrare pot avea următoarele atribute: mașina liberă, mașina ocupată cu prelucrarea semifabricatului ("i" sau $i+10h(i)$), mașina a terminat prelucrarea, mașina defectă (-1).

Defectarea mașinilor și implicit analiza prin simulare a comportamentului sistemului în cazul nefuncționării unor entități permanente este o problemă care poate fi modelată prin introducerea unei valori timpului mediu de defectare (TMD) și a timpului mediu de reparare (TDR) pentru fiecare tip de mașină de lucru.

Posturile de așteptare ale mașinii de lucru "m" pot avea următorul conținut: liber, cu semifabricat sau piesă în curs de prelucrare, piesă prelucrată la mașina respectivă și liber, dar rezervat pentru piesa care se prelucrează la mașină.

5.2.3.4. Variabilele de stare ale entităților modelului mașinilor de lucru

Variabila de stare care descrie starea unei mașini de lucru "m" este:

- $mas(m)=0$ pentru mașină în așteptare sau liberă, $mas(m)=1$ pentru mașină cu semifabricat, $mas(m)=2$ pentru mașină care a terminat prelucrarea unui tip de piesă și $mas(m)=-1$ pentru mașină defectă.

Conținutul posturilor de așteptare este modelat prin valoarea atribuită variabilei $cont(b,m)$, unde $b=1 \div n_{buf}(m)$ este indicele postului de așteptare și $m=1 \div n_m$, cu următoarele semnificații:

- $cont(b,m)=0$ post de așteptare liber;
- $cont(b,m)=i$ post de așteptare cu semifabricat;
- $cont(b,m)=i+h(i) \cdot 10$ post de așteptare cu piesă în curs de prelucrare în sistem;
- $cont(b,m)=102$ post de așteptare rezervat pentru piesa în curs de prelucrare la mașina "m".
- $cont(b,m)=i+10 \cdot (h(i)+1)$ unde $op(i,h(i))=m$ adică piesă prelucrată la mașina de lucru m.

5.2.3.5. Activitățile entităților permanente ale modelului mașinilor de lucru

Durata activităților entităților permanente este dependentă de tipul piesei de prelucrat "i" și al operației $op(i,h(i))$ și este egală în model cu valoarea variabilei $t_b(i+10 \cdot h(i),j)$, unde "i" este tipul semifabricatului, "h(i)" este numărul curent al operației de prelucrare executate la mașina de lucru "j". Timpul necesar execuției operației este determinabil prin utilizarea programele de simulare a proceselor aparținând facilităților CAD-CAM, respectiv se poate calcula prin metodele cunoscute în literatură privitoare la evaluarea timpului de bază al operației de prelucrare.

5.2.3.6. Condițiile de pornire a activităților entităților permanente din modelul mașinilor de lucru

Condiția de începere a prelucrării de către mașina de lucru este de terminare a activității de servire a acesteia cu un nou semifabricat, în urma căreia variabila de stare devine $mas(m)=1$.

După expirarea timpului de execuție a operației de prelucrare, $mas(m)=2$ ceea ce înseamnă că poate începe activitatea de evacuare a piesei prelucrate, dacă echipamentul de servire este liber.

5.2.3.3. Contoarele parametrilor de performanță ai modelului mașinilor de lucru

Performanța unei mașini de lucru din cadrul unui sistem poate să fie analizată în raport cu timpul efectiv de prelucrare sau față de timpul necesar prelucrării pieselor și de servire al mașinii respective.

Variabilele de performanță ale entității contorizează timpul în care mașina a realizat operațiile de prelucrare, adică $\sum t_b(i+10h(i),j)$, respectiv suma timpilor în care mașina este în curs de servire. În

cazul în care mașina așteaptă sosirea piesei, contorizarea acestui timp de blocare din cauza disfuncționilor subsistemului de manipulare este un indicator de maximă atenție, care, în anumite cazuri, obligă utilizatorul de a modifica structura sistemului și implicit modelul acestuia. Un alt contor al performanței mașinilor este numărul de piese prelucrate de către o mașină în timpul total de simulare.

În tabelul 5.3 sunt prezentate sintetic considerațiile de mai sus.

Tabelul 5.3. Elementele modelului mașinilor de lucru

Entita- tea	Parametrii caracteristici	Variabila de stare	Atributul	Sucesiunea operațiilor de prelucrare	Activitatea entității
Mașina de lucru	- numărul de mașini din sistem n_m , indicele mașinilor $j=1+n_m$, - numărul de posturi de așteptare de la mașină $n_{buf}(j)$	- starea mașinilor $mas(j)$ - conținutul posturilor de așteptare $cont(b,j)$	- liberă, ocupată cu semifabricat, a terminat prelucrarea, defectă: 0,1,2, -1 - liber, cu semifabricat, rezervat, cu piesă prelucrată la mașină: $0, i+10h(i),$ $i+10(h(i)+1), 102$	tipul operației de prelucrare $op(i, h(i))=j$ depinde de tipul piesei "i" de la mașina	Durata operației de prelucrare timpul de bază $t_b(i+10h(i),j)$

5.2.4. Modelarea echipamentelor de manipulare din cadrul SFF

5.2.4.1. Entitățile permanente ale modelului echipamentelor de manipulare

Modalitățile de servire a mașinilor de lucru clasificate în funcție de obiectul de lucru manipulat, sunt:

- manipularea directă a piesei de către un robot;
- manipularea paletei de lucru pe care este situată și fixată piesa prin intermediul dispozitivului transpaletă.

Clasificarea acestor echipamente din punct de vedere al numărului de mașini de lucru servite identifică următoarele situații:

- servire singulară a mașinilor, în care se încadrează toate variantele constructive ale dispozitivelor transpaletă și roboții care desfășoară doar activități de servire a mașinii de lucru;

- poliservire, caz în care activitatea unui robot este partajată între servirea a două sau mai multe resurse (robot servește mai mult de o mașină de lucru sau robotul servește o mașină și manipulează piesa între posturile de așteptare și dispozitivul de transfer lung).

Dispozitivul transpaletă este prezent în cadrul SFF montat fiind pe cărucioarele dispozitivelor de transfer lung, a robocarelor sau a posturilor de așteptare situate la mașinile de lucru. Robotul de servire singulară este o componentă a modulelor de fabricație flexibilă sau a robocarului cu robot mobil.

Parametrul caracteristic al echipamentelor de manipulare dintr-un SFF este numărul de echipamente notat cu nr_r și numărul de mașini servite de către echipamentul "r": $n_m(r)$ unde $r=1 \div nr_r$.

5.2.4.2. Entitățile temporale ale modelului echipamentelor de manipulare

Entitățile tranzitorii modelează obiectele de lucru, care pot fi: semifabricate individuale, piese în curs de prelucrare, piese finite, palete libere, palete de transport sau palete de lucru cu piese. În cazul obiectelor care sunt situate și fixate pe paletele de lucru, acestea se modelează prin aceeași entitate (piesă și paletă) pe tot parcursul itinerarului în cadrul sistemului. În cazul pieselor care sunt situate pe paletele de transport, acestea se vor modela cu entități diferite, dacă activitățile din cadrul sistemului impun manipularea separată a pieselor și a paletelor.

Există situații în care itinerarul tehnologic al piesei și construcția dispozitivului de situare și fixare de pe paleta de lucru impun modificarea situării piesei pe aceeași paletă sau chiar utilizarea unui alt tip de dispozitiv de situare a piesei pe paletă. Modelarea se va realiza în acest caz prin două entități diferite corespunzătoare celor două situații ale piesei pe paleta de lucru (similar cu introducerea a două tipuri diferite de piese în sistem).

5.2.4.3. Atributele entităților modelului echipamentelor de manipulare

Echipamentele de manipulare prezintă în cursul funcționării automate două stări: în mișcare sau în repaus. Atributul care indică gradul de prelucrare al piesei ($i+10h(i)$) nu se modifică pe parcursul desfășurării activităților de manipulare.

În cazul echipamentelor de poliservire al mașinilor, trebuie introdus un atribut care să exprime localizarea curentă și necesară a acestora în cadrul sistemului.

5.2.4.4. Variabilele de stare ale entităților modelului echipamentelor de manipulare

Variabila de stare a echipamentului de manipulare poate avea valori diferite, funcție de atributul acestuia: liber (0) sau ocupat (1). Variabila care indică localizarea curentă a entității permanente în cadrul sistemului este “start(r)” și cea necesară este “țintă(r)”.

5.2.4.5. Activitățile entităților permanente ale modelului echipamentelor de manipulare

Sucesiunea activităților de servire a unei mașini de lucru a fost stabilită în paragraful 4.4.5, în model se va introduce o singură mărime constantă a duratei timpului total pentru aducerea semifabricatului la mașină și pentru evacuarea piesei prelucrate la postul de așteptare.

Roboții care au funcția de poliservire în cadrul sistemului se modelează într-un mod asemănător, cu deosebire că succesiunea activităților acestuia depinde de protocolul de funcționare utilizat. Durata activității de servire a unei anumite mașini de lucru este diferită, în funcție de amplasamentul acesteia în cadrul sistemului și de lungimea traiectoriei parcurse de punctul caracteristic atașat obiectului de lucru sau atașat robotului fără piesă în dispozitivul său de prehensiune.

5.2.4.6. Condițiile de pornire a activităților entităților permanente din modelul echipamentelor de manipulare

Activitatea de servire a unei mașini de lucru se realizează dacă:

- mașina de lucru a terminat prelucrarea piesei anterioare $mas(m)=2$ sau mașina este liberă $mas(m)=0$;
- echipamentul de manipulare “r” este liber $rob(r)=0$, unde $r=1 \div nr_r$;
- există cel puțin un post de așteptare la mașina de lucru al cărui conținut semnifică rezervarea acestuia pentru piesa a cărei prelucrare s-a încheiat, $cont(b,m)=102$, unde b este indicele posturilor de așteptare ale mașinii “m”;
- dacă există cel puțin un post de așteptare la mașina de lucru “m” cu semifabricat, adică $cont(b,m)=i+h(i) \cdot 10$ și $op(i,h(i))=m$, atunci se realizează și aducerea unui nou semifabricat la mașina de lucru.

Consecința activității de evacuare a piesei prelucrate de la mașina “m” modifică variabila de stare a conținutului postului de așteptare rezervat astfel: $cont(b,m)=i+(h(i)+1) \cdot 10$ unde $op(i,h(i)+1) \neq m$.

În urma activității de aducere a semifabricatului la mașina de lucru, conținutul postului de așteptare devine: $cont(b,m)=102$ și variabila de stare a mașinii de lucru $mas(m)=1$.

5.2.4.7. Contoarele parametrilor de performanță ai modelului echipamentelor de manipulare

Contorul variabilei de performanță al echipamentului de manipulare oferă posibilitatea de a se calcula coeficientul de utilizare al acestuia. In funcție de valoarea acestuia, se poate decide mărirea numărului de mașini servite, dacă acest lucru este posibil în urma analizei sau modificării planului de amplasament al sistemului. In tabelul 5.4 se prezintă sintetic modelul unitar al echipamentelor de servire al mașinilor.

Tabelul 5.4. Elementele modelului echipamentelor de manipulare

Entitățile	Parametrii caracteristici	Variabile de stare	Atributul	Sucesiunea activităților	Activitatea entității
Dispozițiv transpaletă sau robot cu monoservire	- numărul de posturi de așteptare cu dispozitive $d=1÷b(m)$ sau numărul de cărucioare cu dispozitive $d=1÷mrc$; numărul de roboți $r=1÷nr$; -numărul de mașini servite de către un robot $n_m(r)=1$	- starea echipamentelor de manipulare: $st(d)$ sau $st(r)$	- liber, în funcționare cu semifabricat, cu piese, defect: 0, i , $i+10h(i)$, -1	- servirea mașinilor este determinată de terminarea operației de prelucrare a mașinii de lucru	- aducerea semifabricatului la mașina și evacuarea piesei de la mașină este de durată constantă
Robotul cu poliservire a mașinilor	-numărul de roboți $r=1÷nr$; -numărul de mașini servite de către un robot $n_m(r)$	- starea robotului $st(r)$	- localizarea curentă a robotului "start(r)" și necesară "șintă(r)"	- servirea mașinilor este determinată de protocolul de funcționare și starea echipamentelor (timpul rămas de prelucrare sau protocolul complex)	- aducerea semifabricatului la mașina și evacuarea piesei de la mașina sunt determinabile în funcție de "start(r)" și "șintă(r)"

5.3. Protocoalele de funcționare din cadrul modelului SFF

5.3.1. Generalități

Protocoalele de funcționare în cadrul modelului sistemului sunt o serie de condiții suplimentare pe baza cărora se decide comportamentul viitor al unei entități la un anumit moment al simulării. Scopul introducerii protocoalelor de funcționare este creșterea eficienței economice a întregului sistem modelat printr-o corelare mai bună a activităților componentelor SFF. Se pot experimenta prin simulare diverse variante de protocoale, ca de exemplu: PVPS, "prioritatea unei piese/mașini de lucru", "timpul rămas de prelucrare", "cel mai scurt drum" etc.

Entitățile permanente cu comportament variabil pentru care se pot modela diferite protocoale de funcționare sunt:

- depozitele de tip magazin sau conveior de intrare;
- dispozitivele de transfer lung cu mai multe elemente active și mai multe itinerare posibile ale entităților temporare;
- robotul cu poliservire a mașinilor de lucru.

5.3.2. Protocoale de funcționare pentru modelul depozitului central

Protocoalele de funcționare ale echipamentelor de depozitare se referă la ordinea de introducere a tipurilor de piese în sistem.

Planificarea producției pe termen scurt (ordonanțarea) are ca scop stabilirea preliminară a tipurilor și cantităților de piese care vor constitui fluxul material de intrare în SFF pentru un interval de timp de săptămâni sau zile. În literatura de specialitate [Lop '98 p.34-49] este tratată și rezolvată problema optimizării secvențelor de operații la mașinile de lucru prin utilizări de criterii de minimizare, ca de exemplu: cel mai scurt timp de prelucrare ponderat sau cel mai scurt timp de prelucrare rămas. Optimizarea fluxului material de intrare într-un sistem automat se poate realiza **preproces** (înainte de începerea producției la sistem) sau în timpul procesului, **dinamic**.

Optimizarea dinamică a fluxului material de intrare în sistem constă în stabilirea ordinii de intrare a tipurilor de piese în funcție de starea momentană a componentelor sistemului, astfel încât să se asigure o încărcare la capacitatea de producție maximală a mașinilor de lucru. Avantajul unei asemenea ordonanțări constă în reglarea continuă a încărcării mașinilor cu piese și adaptarea continuă a sistemului la modificările mediului acestuia, chiar și în condițiile defectării unora dintre echipamente. Comenzile de intrare a semifabricatelor sunt generate de conținutul posturilor de așteptare ale mașinilor de lucru care execută prima operație de prelucrare în sistem și, în anumite condiții, și de conținutul posturilor de așteptare ale mașinilor care prelucrează următoarele operații tehnologice ale tipurilor de piese.

În condițiile în care sistemul este la începutul fabricației, (posturile de așteptare ale tuturor mașinilor de lucru sunt libere) introducerea pieselor trebuie să se realizeze în conformitate cu criteriile:

- cea mai mare prioritate a tipurilor de piesă: $pr(i)$, $i=1 \div n$;
- dacă nu s-au diferențiat urgențele în prelucrare pe bază de priorități $pr(i)=pr(g)$, $\forall i, g \in [1, n]$, se propune criteriul de “cel mai scurt timp de prelucrare al tipurilor de piese la mașinile de lucru care execută primele operații tehnologice”: $\min\{t_b(i, j) / (i=1 \div n, j=1 \div nr_m, j=op(i, 1))\}$.

În timpul desfășurării producției, în momentul în care cel puțin un post de așteptare al unei mașini de lucru care execută prima operație de prelucrare este eliberat ($\text{cont}(b,j)=0$, $j=\text{op}(i,1)$, $b=1 \div n_{\text{buf}}(j)$, $i=1 \div n$, $j=1 \div n_m$), tipul de piesă introdus în sistem, va fi hotărât pe baza unui algoritm iterativ.

Elementele necesare deciziei sunt:

- mulțimea tipurilor de piese ale căror primă operație de prelucrare se execută la mașina de lucru k $\{p(k)/k=\text{op}(i,1), i=1 \div n\}$;
- costurile de producție ale primelor operații tehnologice efectuate asupra tipurilor de piese din sistem $\{\text{cost}(i,1)/i=1 \div n\}$;
- timpul curent de prelucrare ponderat raportat la volumul producției de realizat sau la cantitatea de piese de același tip aflată în depozit, $t_b(i,\text{op}(i,1))/n(i)$, $i=1 \div n$, $\text{op}(i,1)=j$, $n(i)$ este numărul de piese de tipul "i" de prelucrat la momentul deciziei;
- conținutul curent al posturilor de așteptare al tuturor mașinilor de lucru din sistem, $\text{cont}(b,m)$, $b=1 \div n_{\text{buf}}(m)$, $m=1 \div n_m$.

Algoritmul iterativ are la bază un raționament deductiv diferit pentru cele două cazuri posibile:

- există o singură mașină de lucru "k" care execută prima operație de prelucrare la tipurile de piese și care are un post de așteptare liber la un moment dat, tipul de piesă de introdus în sistem se va alege dintre cele ale căror primă operație se poate realiza la mașina de lucru "k" adică din mulțimea $\{p(k)/k=\text{op}(i,1) \text{ și } \text{cont}(b,k)=0, i=1 \div n, b=1 \div n_{\text{buf}}(k)\}$;
- există două sau mai multe mașini de lucru diferite care sunt în situația particulară menționată mai sus, de exemplu k_1 și k_2 , alegerea tipului de piesă de introdus se va face din cele două mulțimi de tipuri de piese de forma: $\{p(k_1)/k_1=\text{op}(i,1) \text{ și } \text{cont}(b,k_1)=0, i=1 \div n, b=1 \div n_{\text{buf}}(k_1)\}$ și $\{p(k_2)/k_2=\text{op}(i,1) \text{ și } \text{cont}(b,k_2)=0, i=1 \div n, b=1 \div n_{\text{buf}}(k_2)\}$.

Alegerea piesei care va fi introdusă în sistem se realizează prin identificarea mai întâi a mulțimii prioritare de tipuri de piese din două sau mai multe astfel de mulțimi de piese de prelucrat la mașini, dacă este cazul și apoi prin alegerea unui tip de piesă din mulțimea selectată sau mulțimea de piese de forma $p(k)$ a unei singure mașini de lucru.

Alegerea mulțimii de piese a mașinii de lucru care va fi servită cu semifabricat cu prioritate se realizează pe baza criteriului "costului global maximal de producție" al primelor operații tehnologice ale mulțimilor de tipuri de piese $p(k)$, costul global de producție pentru mașina "k" se calculează cu relația:

$$\text{Cost}_{\text{global}}(k) = \sum_{j=1}^{n_k} (\text{cost}(i_j, 1)) \quad (5.2)$$

unde i_1, i_2, \dots, i_{n_k} sunt tipurile de piese ale căror primă operație tehnologică se execută la mașina de lucru k , n_k este numărul de tipuri de piese al mulțimii de forma $p(k)$.

Mașina de lucru prioritară va fi cea corespunzătoare valorii maxime din mulțimea de forma $\{\text{Cost}_{\text{global}}(k)\}$, adică:

$$\text{maximum}\{\text{Cost}_{\text{global}}(1), \text{Cost}_{\text{global}}(2), \dots\} \quad (5.3)$$

Dacă sunt două mașini cu aceeași valoare maximă a costului global de producție al primelor operații tehnologice, se va aplica un alt criteriu de selecție, criteriul “timpului curent de prelucrare ponderat minimal” al mulțimilor de piese de forma $p(k)$. Acest criteriu este operabil și în cazul în care există o singură mașină de lucru cu un post de așteptare liber și la care urmează să se introducă un anumit tip de semifabricat.

Tipul de piesă “ i_s ” care va fi introdus în sistem la un moment dat va fi corespunzător valorii minime a timpului curent ponderat:

$$i_s = \text{minimum}\{t_b(i_1, \text{op}(i_1, 1))/n(i_1), t_b(i_2, \text{op}(i_2, 1))/n(i_2), \dots, t_b(i_p, \text{op}(i_p, 1))/n(i_p)\} \quad (5.4)$$

unde $t_b(i_p, \text{op}(i_p, 1))$ este timpul de bază al primei operații a tipului de piesă i_p la mașina $k_p = \text{op}(i_p, 1)$ și $n(i_p)$ este numărul curent de piese de tipul i_p care a rămas de prelucrat în sistem sau mai există în depozit.

Dacă evenimentul de eliberare a unui post de așteptare la o mașină de lucru “ k ” care execută prima operație de prelucrare la tipurile de piese $p(k)$ apare în același moment cu terminarea prelucrării unui obiect de lucru a cărui destinație următoare din itinerar este acea mașină k , va avea prioritate aducerea acelui obiect de lucru la mașină și nu introducerea unui nou semifabricat în sistem.

Acest fapt este justificat de pericolul intrării în blocaj al sistemului din cauza numărului limitat de posturi de așteptare la mașini (de regulă două posturi de așteptare) și de numărul prea mare de obiecte de lucru care constituie fluxul de material al SFF (în literatură mai este denumit “inventarul curent al sistemului”).

Activitatea de aducere a unui nou semifabricat în sistem este determinată de condițiile precizate mai sus, dar există o situație în care poate apărea o blocare a sistemului, în care toate posturile de așteptare sunt ocupate cu piese în curs de prelucrare, iar componentele subsistemului de manipulare

nu pot să execute nici un transfer lung în cadrul sistemului, decât eventual, să aducă temporar obiectele de lucru într-un locaș liber al depozitului.

Se propune un studiu de caz al diferitelor modalități de stabilire a fluxului material de intrare în sistem prin analiza funcționării unui sistem format din $n_m=3$ mașini de lucru și $n=4$ tipuri de piese, ale căror date de natură tehnologică sunt prezentate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. Datele tehnologice ale pieselor necesare studiului de caz

Tipurile de piese	Timpul de bază $t_b(i,j)$ [u.t.]			Itinerarul tehnologic al tipurilor de piese	Numărul de piese de prelucrat în sistem $n(i)$ [buc]
	Masina m_1	Masina m_2	Masina m_3		
Tipul de piesă 1	3	3	0	m_1, m_2	10
Tipul de piesă 2	0	3	5	m_2, m_3	7
Tipul de piesă 3	2	5	3	m_1, m_2, m_3	5
Tipul de piesă 4	5	0	3	m_3, m_1	4

În figura 5.1. se prezintă o porțiune din ciclograma de funcționare a sistemului de prelucrare, la care, pentru simplificare, s-a considerat că durata activităților subsistemului de manipulare este nulă. S-a prezentat suplimentar starea de încărcare a celor câte două posturi de așteptare de la mașinile de lucru (C_{b1}, C_{b2}, C_{b3}), iar prin săgeți s-a reprezentat simbolic fluxul material în cadrul sistemului. S-a notat cu p_{iq} piesa de tipul de piesă "i" al cărei număr de ordine în cadrul sistemului este "q".

Protocolul de funcționare prezentat în paragraful 4.4.5.2 "numărul de obiecte de lucru aflate în SFF este constant" presupune că la momentul de început al fabricației există câte un semifabricat în fiecare post de așteptare al mașinilor de lucru, iar introducerea tipului "i" de semifabricat în sistem se realizează la terminarea prelucrării unei piese de același tip și ieșirea acesteia din sistem.

Funcționarea sistemului pentru cazul în care introducerea semifabricatelor se realizează după protocolul de monitorizare al conținutului posturilor de așteptare este mai eficientă, decât în cazul utilizării protocolului de "sistem închis" (număr de piese constant în sistem), comparația între rezultatele simulării funcționării SFF pentru cele două variante de protocoale este prezentată în tabelul 5.6.

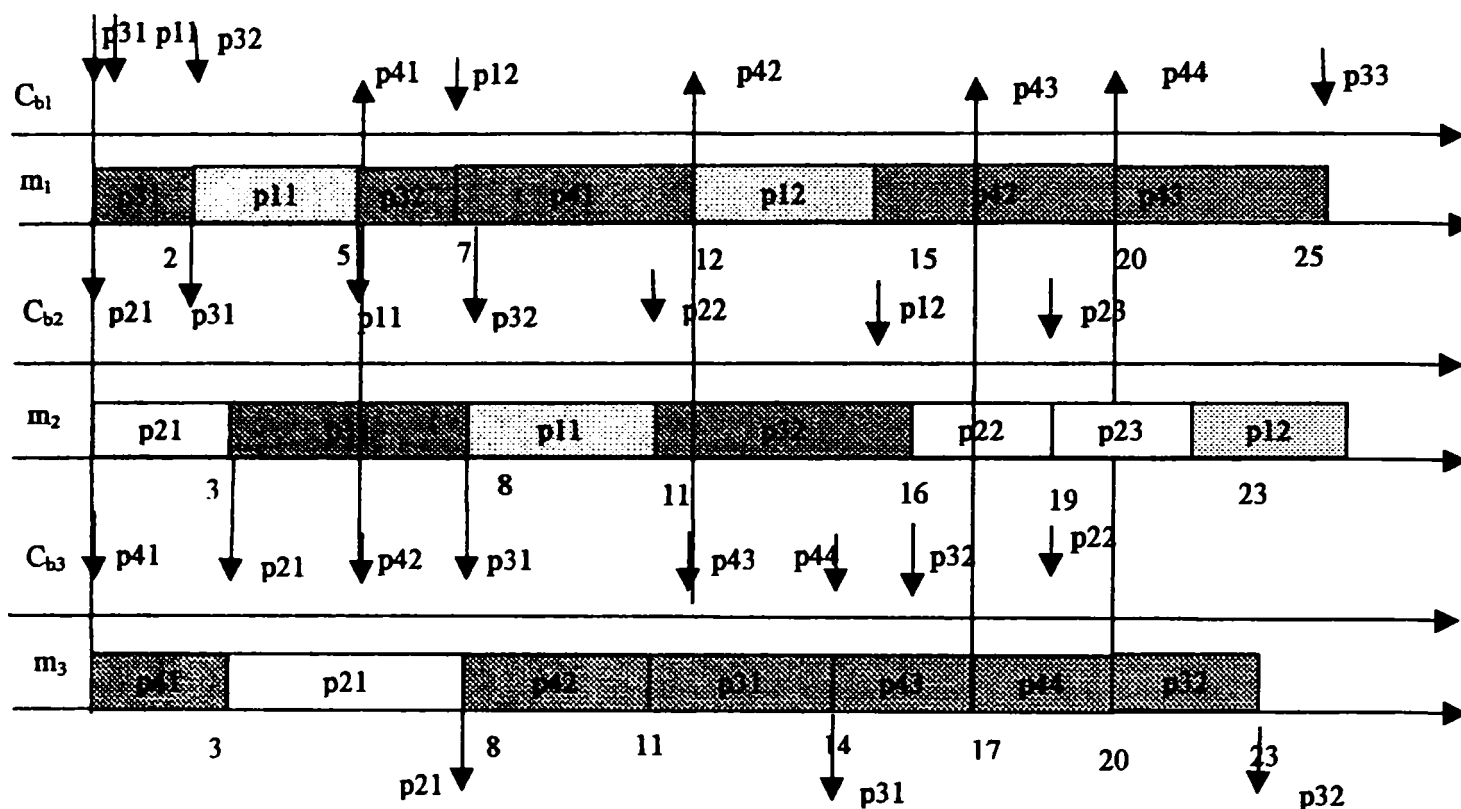


Figura 5.4. Ciclograma de funcționare a sistemului la care introducerea semifabricatelor se realizează după protocolul “monitorizarea conținutului posturilor de așteptare al mașinilor de lucru”

Tabelul 5.6. Rezultatele simulării funcționării sistemului pentru protocolul “sistem închis” și “monitorizarea posturilor de așteptare” pentru datele inițiale prezentate în tabelul 5.5.

Variante de protocoale de funcționare ale SFF	Piese intrate în sistem [buc]	Piese iesite din SFF				Suma coeficienților de utilizare ai mașinilor [%]
		Tipurile de piese [buc]				
		1	2	3	4	
Sistem închis	19	3	4	4	4	281,6
Monitorizarea conținutului posturilor de așteptare	20	6	5	3	4	293,9

În tabelul 5.7 se prezintă datele rezultate în urma simulării funcționării sistemului cu aceleași date inițiale pentru cele două variante de protocoale de introducere a semifabricatelor din studiul de caz prezentat în paragraful 4.4.4.2. tabelul 4.4.9.

Tabelul 5.7. Rezultatele simulării funcționării sistemului pentru protocolul “sistem închis” și “monitorizarea posturilor de așteptare” pentru datele inițiale prezentate în tabelul 4.4.9.

Variante de protocoale de funcționare ale SFF	Piese intrate în sistem [buc]	Piese ieșite din SFF				Suma coeficienților de utilizare ai mașinilor [%]
		Tipurile de piese [buc]				
		1	2	3	4	
Sistem închis	16	3	2	3	3	282
Monitorizarea conținutului posturilor de așteptare	18	4	4	2	2	281,3

Se poate afirma, în concluzie, că protocolul de “monitorizare a conținutului posturilor de așteptare ale mașinilor de lucru” asigură o funcționare mai eficientă a sistemului (în același interval de timp sistemul prelucrează un număr mai mare de piese) în comparație cu protocol “număr constant de piese în sistem” (“sistem închis”).

5.3.3. Protocoale de funcționare pentru modelul dispozitivelor de transfer lung

Sistemele care conțin două sau mai multe elemente active ale dispozitivului de transfer lung al pieselor, cu itinerare unice sau cu mai multe itinerare posibile în cadrul SFF constituie obiectul analizei din acest paragraf.

Introducerea unui protocol de funcționare al dispozitivelor de transfer lung care are ca obiectiv optimizarea comportamentului acestor elemente active nu influențează capacitatea productivă a întregului sistem pentru că activitățile acestor entități permanente se desfășoară de regulă simultan cu activitățile subsistemului de prelucrare. O excepție de la regulă care trebuie evitată este situația în care funcționarea dispozitivului de transfer nu asigură aducerea/evacuarea semifabricatelor/pieselor prelucrate la/de la posturile de așteptare astfel încât mașinile de lucru să nu aștepte.

Din aceste motive, criteriile de optimizare ale funcționării dispozitivului de transfer în SFF se referă la economii de mișcări ale elementelor active și la optimizarea capacității de transfer a elementelor active în cadrul sistemului (prezentată în paragraful 4.4.4.4 și 4.4.4.5).

Condițiile de pornire a activității de servire a posturilor de așteptare de către elementele active ale dispozitivului de transfer sunt:

- piesa prelucrată la mașina de lucru să fie situată în postul de așteptare;
- să existe cel puțin un element activ liber;
- să existe cel puțin un post de așteptare la mașina de lucru care execută operația următoare sau un locaș al depozitului liber.

Activitatea de servire a posturilor de așteptare pentru evacuarea piesei prelucrate de la mașinile de lucru poate începe dacă sunt îndeplinite condițiile de mai sus, dar decizii în legătură cu aceste activități trebuie luate în următoarele cazuri:

- există cel puțin două elemente active care sunt libere (alocare de resurse de servire);
- există un singur element activ și cel puțin două posturi de așteptare la mașini de lucru diferite care conțin simultan piese prelucrate (alocare de localizări “țintă”);
- există mai multe elemente active și mai multe posturi de așteptare care îndeplinesc condițiile de mai sus (alocare de resurse de servire și de localizări “țintă”).

Se notează cu z_1, z_2, \dots, z_w numărul de elemente active libere în cadrul sistemului la un moment dat, cu “țintă(1)”, “țintă(1)”, ..., “țintă(m)” localizarea posturilor de așteptare care conțin piesele prelucrate la mașinile 1, 2, ..., m, variabila “țintă(z_k)”=“țintă(q)” semnifică atribuirea localizării necesare a elementului activ “ z_k ” ales ca sarcină de deplasare la ținta aleasă “q”.

Alocarea de resurse de servire ($w > 1, m = 1$) se poate realiza pe baza protocolului “cel mai scurt drum” în următorul mod:

z_k corespunde valorii minime a mulțimii { (“țintă(m)”-“start(z_1)”), (“țintă(m)”-“start(z_2)”), ..., (“țintă(m)”-“start(z_w)”) } astfel încât “țintă(z_k)”=“țintă(m)”

(5.5)

în care “țintă(m)” și “start(z_i)” ($i=1 \div w$) sunt localizarea necesară a postului de așteptare “m” (cu piesă prelucrată) respectiv localizările curente ale celor w elemente active libere, iar z_k va fi elementul activ ales care va executa servirea postului de așteptare.

Dacă nu se identifică un minim unic al mulțimii din relația (5.5), se va utiliza protocolul PVPS și anume:

$z_k = z_{k1}$ (5.6)

unde z_{k1} corespunde primei resurse de servire pentru care este îndeplinită relația (5.5).

Alocarea de localizări “țintă” pentru elementul activ z_1 ($w=1, m > 1$) al dispozitivului de transfer are criteriul de optimizare “timpul minim curent rămas de prelucrare”, astfel:

$$\text{"\u0162int\u0103(z_1)" = "\u0162int\u0103(q)" \tag{5.7}$$

unde $q = \text{op}(i_a, h(i_a) \bullet 10)$, i_a corespunde valorii minime a elementelor mul\u021bimii

$$\{(t_b(i_1 + (h(i_1) + 1) \bullet 10, j_1) - t_1), (t_b(i_2 + (h(i_2) + 1) \bullet 10, j_2) - t_2), \dots, (t_b(i_m + (h(i_m) + 1) \bullet 10, j_m) - t_m)\}$$

\u00een care $t_b(i_k + (h(i_k) + 1) \bullet 10, j_k)$, ($k = 1 \div m$) este timpul necesar realiz\u0103rii opera\u021biei de prelucrare urm\u0103toare $(h(i_k) + 1) \bullet 10$ a piesei situate i_k la ma\u0219ina j_k , iar t_k este variabila care contorizeaz\u0103 timpul scurs de la \u00eenceperea prelucr\u0103rii la ma\u0219ina $j_k = \text{op}(i_k, (h(i_k) + 1) \bullet 10)$.

Dac\u0103 nu se poate identifica un minim unic \u00een mul\u021bimea din rela\u021bia (5.7), decizia se va lua pe baza protocolului "cel mai scurt drum" \u0219i rela\u021bia (5.5) va deveni:

$$\text{"\u0162int\u0103(z_1)" = "\u0162int\u0103(q)" unde } q \text{ corespunde valorii minime a mul\u021bimii } \{(\text{"\u0162int\u0103(op}(i_1, (h(i_1) + 1) \bullet 10))" - \text{"start}(z_1)"}, (\text{"\u0162int\u0103(op}(i_2, (h(i_2) + 1) \bullet 10))" - \text{"start}(z_1)"}, \dots, (\text{"\u0162int\u0103(op}(i_m, (h(i_m) + 1) \bullet 10))" - \text{"start}(z_1)"}) \tag{5.8}$$

\u00een cazul \u00een care nu se identific\u0103 un minim unic al mul\u021bimii rela\u021biei (5.8), se va accepta protocolul PVPS \u0219i localizarea necesar\u0103 a elementului activ z_1 va fi "\u0162int\u0103(op(i_{k1} , $h(i_{k1})$))", unde $\text{op}(i_{k1}, h(i_{k1}))$ este una dintre ma\u0219inile pentru care este \u00endeplinit\u0103 condi\u021bia (5.8).

Pentru decizia de alocare de resurse de servire \u0219i de localiz\u0103ri \u0162int\u0103, dac\u0103 num\u0103rul de resurse este mai mare sau egal cu num\u0103rul de localiz\u0103ri \u0162int\u0103 ($w \geq m$), se va utiliza protocolul "cel mai scurt drum", conform rela\u021biei (5.5) sau (5.6).

Pentru decizia de alocare de resurse de servire \u0219i de localiz\u0103ri \u0162int\u0103, dac\u0103 num\u0103rul de resurse este mai mic cu num\u0103rul de localiz\u0103ri \u0162int\u0103 ($w < m$), se va utiliza protocolul "timpul minim curent r\u0103mas de prelucrare", conform rela\u021biei (5.7) sau (5.8).

Dup\u0103 preluarea piesei prelucrate la o ma\u0219in\u0103 de lucru, elementul activ al dispozitivului de transfer se deplaseaz\u0103 la ma\u0219ina de lucru care execut\u0103 opera\u021bia urm\u0103toare \u0219i aduce piesa \u00een curs de prelucrare la ma\u0219ina respectiv\u0103 sau la un loca\u0219 liber al depozitului dac\u0103 s-a executat (cea de-a $S(i)$ -a opera\u021bie) opera\u021bia final\u0103 din SFF.

Pentru cazul itinerarelor unice ale tipului de pies\u0103 "i" \u00een cadrul sistemului alegerea localiz\u0103rii "\u0162int\u0103(q)" = "\u0162int\u0103(z_k)" a elementului activ " z_k " este condi\u021bionat\u0103 doar de existen\u021ba a cel pu\u021bin un post de a\u0219teptare liber la ma\u0219ina care execut\u0103 opera\u021bia tehnologic\u0103 urm\u0103toare. Dac\u0103 nu exist\u0103 postul de a\u0219teptare liber, "\u0162int\u0103(z_k)" va fi temporar un loca\u0219 liber al depozitului.

Aceea\u0219i condi\u021bie ini\u021bial\u0103 se p\u0103streaz\u0103 \u0219i \u00een cazul mai multor itinerare posibile ale piesei \u00een sistem.

Dacă există mai multe variante de localizări posibile ale elementului activ z_k , adică mai multe mașini de lucru pot executa operația de prelucrare următoare și acestea au cel puțin un post de așteptare liber, alegerea variabilei “țintă(q)” se realizează după protocolul “timpul minim curent rămas de prelucrare” și relația (5.7) va deveni:

$$\text{“țintă}(z_k)\text{”} = \text{“țintă}(q)\text{”} \quad (5.9)$$

unde $q=j_a$, $j_a \in \{j_1, j_2, \dots, j_f\}$ corespunde valorii minime a elementelor mulțimii

$$\{(t_b(i+(h(i)+1) \bullet 10, j_1) - t_1), (t_b(i+(h(i)+1) \bullet 10, j_2) - t_2), \dots, (t_b(i+(h(i)+1) \bullet 10, j_f) - t_f) \}$$

în care $t_b(i+(h(i)+1) \bullet 10, j_k)$, ($k=1 \div f$) este timpul necesar realizării operației de prelucrare următoare a piesei “i” situate pe elementul activ z_k la una din mașinile de lucru j_k , iar t_k este timpul care contorizează timpul scurs de la începerea prelucrării la mașina $j_k = op(i, (h(i)+1) \bullet 10)$.

5.3.4. Protocoale de funcționare pentru modelul roboților cu poliservire

Problema optimizării funcționării robotului care servește mai multe mașini de lucru și posturi de așteptare de interfață cu dispozitivul de transfer lung, se încadrează în coordonate similare cu alocarea de localizări “țintă” pentru că ($w=1$, $m>1$) o resursă (robotul) poate să fie în situația de a decide ordinea de servire a “clienților” (mașini sau posturi de așteptare).

Procesul de stabilire a ordinii de servire a posibililor “clienți” ai robotului este prezentat în ordinograma din figura 5.5. Se presupune că, la un moment dat, există doi clienți, notați cu k_1 și k_2 , care pot fi două mașini de lucru sau o mașină de lucru și un post de așteptare la care trebuie să se aducă sau să se evacueze un obiect de lucru la elementul activ al dispozitivului de transfer lung.

S-a notat cu $Cost_{global}(k)$ suma costurilor de producție ale operațiilor tehnologice executate la mașina k , cu “țintă(k)-start(r)” lungimea traiectoriei punctului caracteristic al obiectului de lucru manipulat de către robot de la poziția sa curentă la mașina de lucru k , cu $cont(b, k)$ conținutul postului de așteptare “b” al mașinii k , unde $b=1 \div n_{buf}(k)$, $k_2 < k_1$ înseamnă servirea clientului k_2 înaintea lui k_1 .

Protocolul de monitorizare a “timpului curent rămas de prelucrare” a fost prezentat în paragraful 4.4.6.2 pentru cazul servirii unei mașini de frezat și a posturilor de așteptare de la stația 2 a sistemului CIM Eshed-Robotec. Pentru cazul servirii mai multor mașini de lucru de către un robot, beneficiile introducerii protocolului în funcționarea robotului sunt:

- minimizarea mișcărilor robotului;

- suprapunerea în timp a activității de deplasare a robotului la proxima mașină care termină prelucrarea cu operația de prelucrare.

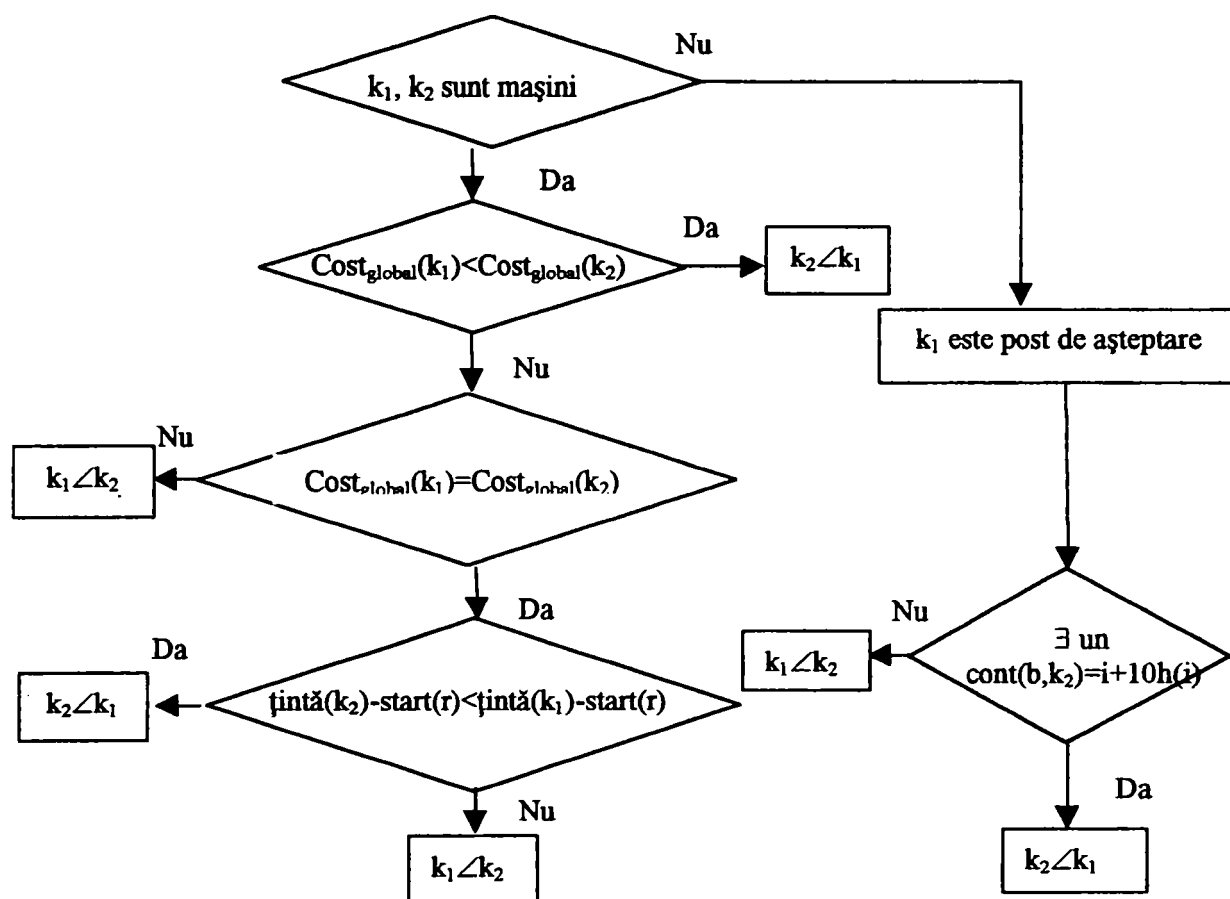


Figura 5.5. Ordinograma procesului de decizie a ordinii de servire a “clienților” robotului de poliservire

5.4. Datele inițiale ale programului de simulare a funcționării SFF

Datele inițiale ale programului de simulare a funcționării SFF sunt informațiile introduse de către utilizator, care definesc modelul sistemului al cărui comportament urmează să fie analizat și structura fluxului material de intrare în sistem, rezultată din planificarea fabricației pe termen scurt.

Modelul sistemului este definit prin intermediul parametrilor și a variabilelor de tip masiv prezentate unitar în paragrafele subcapitolului 5.2. și tabelele 5.1÷5.4 pentru toate variantele de echipamente care pot fi integrate în sistemul real.

Duratele tuturor activităților desfășurate în cadrul sistemului sunt altă categorie de valori ale parametrilor de introdus în program.

Conținutul inițial, înainte de începerea fabricației, a locașurilor depozitului sau stabilirea intervalului “intersosiri” ale pieselor pe conveiorul de intrare sunt **date de definire ale fluxului material** de intrare în sistem.

Valorile **variabilelor de stare** ale entităților permanente ale modelului sistemului și **contoarele parametrilor de performanță** ai modelelor componentelor sistemului trebuie inițializate la pornirea simulării funcționării modelului SFF.

Protocoalele de funcționare analizate mai sus se pot defini în program prin condiții specifice (mai complexe decât cele prezentate în paragrafele 5.2.1.6, 5.2.2.6, 5.2.3.6, 5.2.4.6) de pornire ale activităților. Subprogramele în care sunt introduse aceste condiții sunt apelate doar la cererea utilizatorului care dorește experimentarea modelului sistemului și când, în cursul simulării, sunt situații care necesită luarea unei decizii.

5.5. Structura programului de simulare pe bază de activități a funcționării SFF

Ordinograma programului de simulare este prezentată în figura 5.6. Programul parcurge în mod iterativ condițiile de început și de sfârșit ale tuturor activităților la fiecare valoare a timpului de simulare. Dacă sunt îndeplinite condițiile de început a unor activități, se modifică valorile parametrilor de performanță a componentelor sistemului și se inițializează “ceasul” de contorizare a timpului pentru activitățile respective. Dacă timpul necesar desfășurării unei activități s-a scurs, valorile parametrilor de stare corespunzători se vor modifica în consecință.

5.6. Validarea programului de simulare

Procesul de validare a programului de simulare pentru mai multe variante de modele de SFF are două valențe:

- verificarea corectitudinii de definire a condițiilor de început și sfârșit a activităților prin analiza coerenței și corelării în timp a activităților entităților permanente la fiecare inițializare a activității unei entități permanente și analiza valorilor parametrilor de performanță ai modelului sistemului;
- validarea modelului sistemului prin comparație cu rezultatele funcționării sistemului real (dacă acesta există).

5.7. Analiza valorilor parametrilor de performanță rezultați în urma simulării de sistem

Parametrii de performanță rezultați în urma simulării de sistem sunt:

- locali, specifici fiecărei entități permanente a modelului;
- globali, care se referă la funcționarea sistemului în ansamblu.

Parametrii de performanță locali contorizează timpul total în care entitățile permanente au funcționat și au fost prezentați în paragrafele 5.2.1.7, 5.2.2.7, 5.2.3.7, 5.2.4.7. Dacă se notează generic cu $t_{(%)}$ suma timpilor în care entitatea (%) permanentă a funcționat și cu T timpul total de simulare a modelului, coeficientul de utilizare al entității (%) este:

$$Cutil_{(\%)} = (t_{(\%)}) / T \quad (5.10)$$

Parametrii de performanță globali ai modelului simulat sunt:

- numărul de piese de tipul "i" intrate în prelucrare la mașini în modelul SFF, $p_{intrate}(i)$;
- numărul de piese de tipul "i" ieșite (prelucrate) în modelul sistemului, $p_{ieșite}(i)$;
- suma coeficienților de utilizare ai mașinilor de lucru, $Cutil_{nm}$;
- timpul mediu al "ciclului de viață" al piesei "i" în sistem (diferența medie dintre momentul ieșirii piesei și momentul intrării aceleiași piese în modelul SFF), $tm_{ciclu}(i)$;

În urma simulării cu aceleași valori ale fluxului material de intrare în sistemul modelat, dar cu protocoale diferite de funcționare a entităților permanente, se obțin două sau mai multe mulțimi de valori ai parametrilor de performanță globali. Decizia în legătură cu protocolul de funcționare optim se poate lua dacă se respectă următoarea relație între elementele multimedelor parametrilor de performanță globali:

$$p_{intrate}(i)^1 < p_{intrate}(i)^2; p_{ieșite}(i)^1 < p_{ieșite}(i)^2; Cutil_{nm}^1 < Cutil_{nm}^2; tm_{ciclu}(i)^1 > tm_{ciclu}(i)^2, \forall i=1 \div n \quad (5.11)$$

în care parametrul¹ și parametrul² sunt oricare dintre valorile parametrilor globali de performanță ai modelului simulat cu varianta de protocol de funcționare (1), respectiv (2). În acest caz, protocolul notat cu (2) este considerat optim față de protocolul (1).

Relații de forma (5.11) nu se obțin decât în cazuri particulare, de cele mai multe ori decizia în legătură cu protocolul de funcționare care asigură o eficiență economică mai bună a sistemului nu se poate lua pentru că nu se respectă monotonia șirurilor de numere: parametrul¹ și parametrul² din relația (5.11). Se propune un mod de evaluare a parametrilor de performanță globali ai modelului sistemului prin utilizarea unei relații de transformare a acestor valori în bani, astfel:

$$Perf^{(w)} = \sum_{i=1}^n c_i(i) p_{intrate}(i) + \sum_{i=1}^n c_e(i) p_{ieșite}(i) + \sum_{k=1}^{n_m} c_m(k) Cutil_k + \sum_{i=1}^n \frac{1}{V(i) tm_{ciclu}(i) pr(i)} \quad (5.12)$$

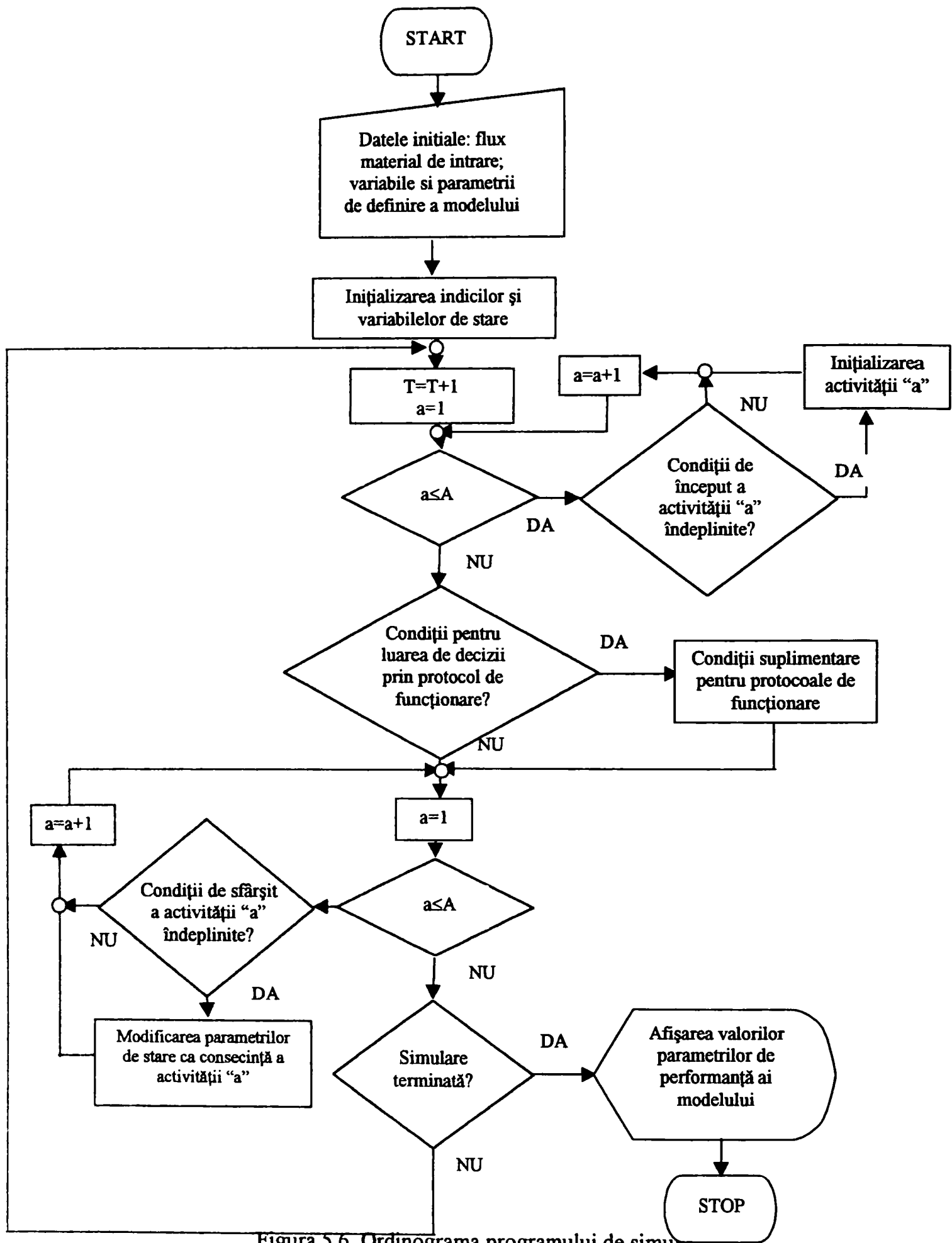


Figura 5.6. Ordinograma programului de simulare

unde $Perf^{(w)}$ este indicatorul global al performanțelor modelului simulat în varianta de protocol (w), $c_i(i)$ este valoarea în bani a piesei de tip "i" la intrarea în sistem, $c_e(i)$ este valoarea în bani la ieșirea din sistem, $c_m(k)$ este valoarea de investiție a mașinii de lucru "k", $V(i)$ este valoarea penalităților în caz de întârziere a livrării comenzii către client la timp, care conține comanda de fabricație a piesei de tip "i", $pr(i)$ este prioritatea tipului de piesă "i" unde $pr(i)=1$ este cea mai urgentă comandă și $pr(i)=10$ este cea mai puțin urgentă comandă de fabricație a piesei de tip "i".

Aceeași relație 5.12. se poate aplica și în cazul în care este necesar să se decidă varianta de structură optimă a sistemului la același set de valori de definire a fluxului material de intrare în modelul sistemului sau, în cazul ordonanțării preproces, a variantei optime de flux de intrare în modelul sistemului.

6. Contribuții la monitorizarea și diagnoza operațională automată

6.1. Introducere

Problema monitorizării operaționale a sistemelor de fabricație flexibilă se pune încă din faza de sinteză de detaliu a sistemelor de fabricație flexibilă. Specialistul casei de sistem trebuie să aibă în vedere modalitățile tehnice de a răspunde la întrebările referitoare la componentele SFF:

Când trebuie să funcționeze componenta/componentele?

Cum se verifică automat starea de funcționare/nefuncționare a acestora?

Funcționarea se încadrează în parametrii normali sau nu?

În tabelul 6.1 se prezintă modalitățile concrete de răspuns la întrebări pentru diverse componente ale unui SFF.

Verificarea corectitudinii funcționării axei comandate a diferitelor echipamente automate este deja o problemă rezolvată prin utilizarea regulatorului de axă prin prelevarea de semnale de la traductorul de poziție (viteză/acelerație).

Dacă semnalele de la traductoare sau senzori sunt false din cauza defectării acestora, întreaga funcționare a sistemului poate fi compromisă. Din acest motiv se propune în lucrare o metodă de verificare a coerenței semnalelor de monitorizare prin comparații logice ale acestora în fiecare secvență de funcționare a sistemului.

Se pornește de la succesiunea activităților din cadrul sistemului pentru îndeplinirea sarcinilor de fabricație, protocolul de funcționare al sistemului fiind optimizat prin metodele de modelare/simulare cunoscute în literatură. În figura 6.1 se prezintă ordinograma de sinteză a sistemului de monitorizare și diagnoză operațională automată.

Tabelul 6.1.Modalități de monitorizare automată a echipamentelor

Componenta	Când trebuie să funcționeze?	Funcționează/nu funcționează?	Funcționează corect?
Robot de manipulare	Comanda dată de instrucțiunea din programul controlerului robotului	Controlul valorii intensității curentului motoarelor de acționare ale robotului	Traductoare de poziție /viteză/acelerație Coerența semnalelor senzorilor de existență ai piesei
Conveior acționat electric	Comanda dată de automatul programabil	Verificarea intensității curentului motorului de acționare	Limitarea intensității curentului de acționare
Dispozitiv transpaletă cu acționare electrică	Comanda dată de automatul programabil/CN	Verificarea intensității curentului motorului de acționare	Coerența semnalelor microlimitatoarelor de capăt de cursă
Axele comandate ale mașinii unelte	Comanda din programul piesă	Verificarea intensității curentului motoarelor de acționare a axelor	Traductor de poziție
Dispozitiv de prehensiune acționat pneumatic	Comanda dată de automatul programabil/controler la servovalve	Verificarea valorii presiunii aerului	Coerența semnalelor senzorilor de existență a piesei

Etapele sintezei sistemului de monitorizare și diagnoză automată sunt:

1. stabilirea listei activități și a succesiunii logice a acestora;
2. determinarea condițiilor concrete ce trebuie îndeplinite pentru pornirea fiecărei activități și a semnalelor transmise pentru raportarea terminării acesteia;
3. stabilirea modului de achiziție a informațiilor pentru monitorizarea succesiunii desfășurării activităților și a echipamentelor aferente;
4. determinarea concretă a listei simptomelor posibile, a modalității de alarmare și a echipamentelor care îndeplinesc această funcție;
5. construcția schemelor logice în cadrul căreia să se identifice univoc corespondența între un simptom și tipurile de defecțiune;
6. stabilirea metodei de diagnoză operațională (“on line” sau “off line”) pentru tipurile de defecțiune mai frecvente pe baza considerentelor de eficiență economică;
7. stabilirea măsurilor de reparații;

8. instalarea sistemului de monitorizare și diagnoză, încercări, testări.

Se consideră ca posibile simptome de defectare ale sistemului absența/incorectitudinea semnalelor de raportare a încheierii activității anterioare și/sau a semnalelor de condiționare a inițierii activității următoare.

În programele de comandă ale sistemului de fabricație flexibilă în mod curent există instrucțiuni de tip: “dacă..atunci..altfel” (IF...THEN...ELSE), numite **interblocări**, care condiționează rularea în continuare a unui program de îndeplinirea unor anumite condiții. O activitate este inițiată numai dacă activitatea anterioară a fost încheiată. Monitorizarea operațională depășește rolul și funcția interblocărilor, prin verificarea condițiilor impuse succesiv atât pentru încheierea unei activități cât și pentru începutul următoarei activități.

6.2. Sinteza sistemului de monitorizare operațională automată a sistemului CIM Eshed

Robotec

6.2.1. Facilități și elemente existente pentru supravegherea funcționării sistemului CIM Eshed

Robotec

Construcția și funcționarea sistemului CIM Eshed Robotec a fost descrisă în capitolul 2 paragraful 2.7 și, în cele ce urmează, se vor prezenta facilitățile oferite utilizatorului acestui sistem de a urmări și verifica buna funcționare a echipamentelor, precum și modalitățile de funcționare secvențială a componentelor sistemului în timpul derulării automate a fabricației. Aceste considerații constituie punctul de pornire în sinteza sistemului de monitorizare automată operațională și apoi în structurarea programului de diagnoză automată operațională pentru acest sistem de fabricație flexibilă.

Testul general cel mai complet al funcționării echipamentelor de conducere ale sistemului se realizează la punerea sub tensiune a controlerelor și calculatoarelor, moment în care sunt rulate în aceste echipamente diferite teste (rezultatul testelor de memorie EPROM și RAM din controler este afișat pe ecranul calculatorului).

Verificarea funcționării axelor comandate ale robotului se realizează la inițializarea acestora, prin rularea programului HOMES la controlerul robotului. Controlerul de stație 3 este de generație mai nouă și afișează pe ecranul calculatorului de stație 3 dacă inițializarea uneia din axele robotului indică o defecțiune. Tot prin rularea programului de inițializare se stabilește și comunicarea între controlerele de stații și cel central prin rețea serială RS232 și canale I/O.

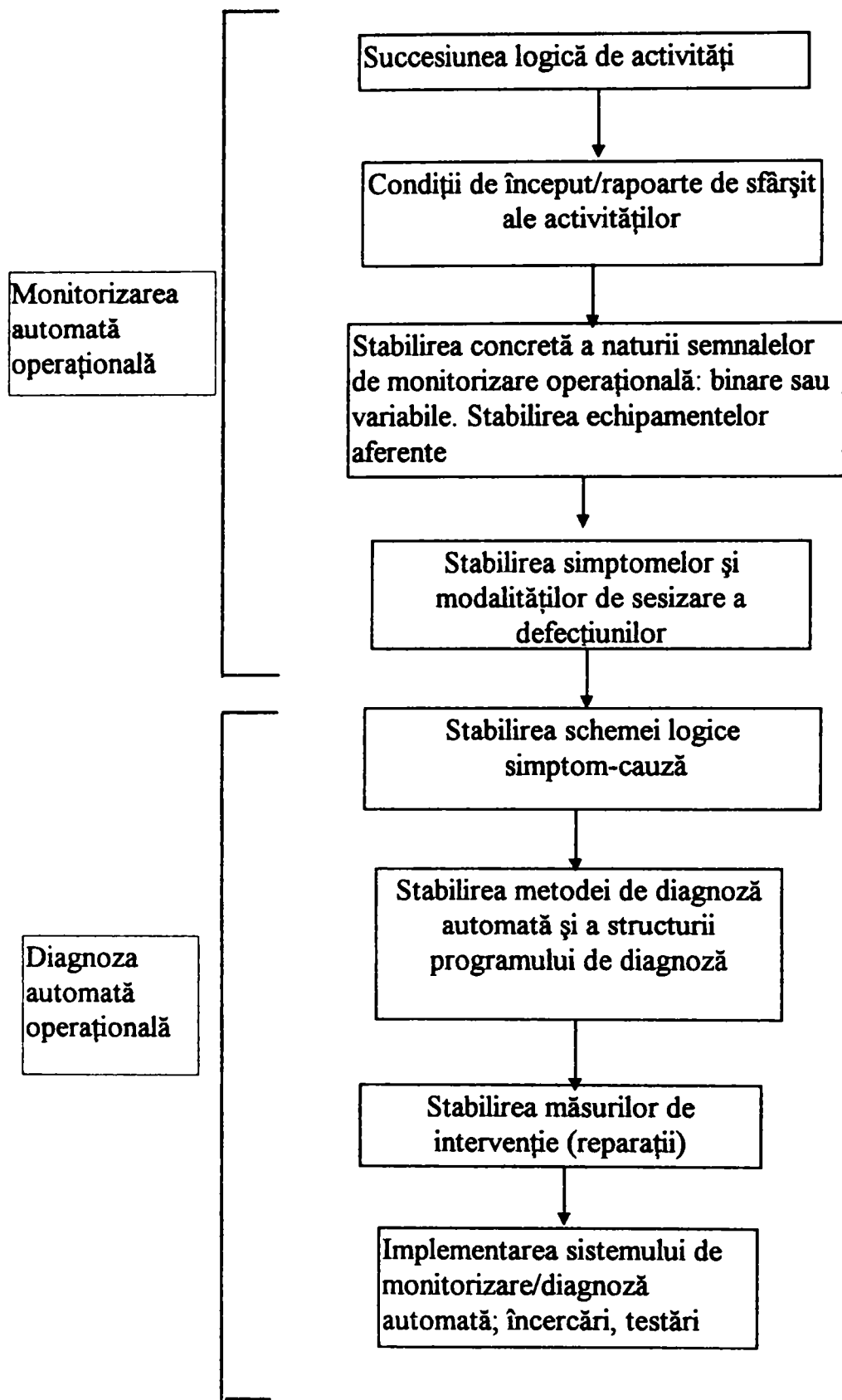


Figura 6.1. Ordinograma sintezei sistemului de monitorizare și diagnoză operațională

Verificarea integrității rețelei de comunicare se face prin rularea programului RSTAT la controlerul central. Mesajele afișate în urma acestei verificări semnaleză o funcționare corectă sau natura defecțiunilor de comunicare ivite: pe canalul I/O sau în rețeaua serială.

La apariția unor coliziuni ale robotului, se întrerupe automat mișcarea și comunicarea dintre controlerul robotului și sistemul de acționare al brațului robotului. Declararea unei coliziuni se face prin verificarea succesivă a creșterii intensității curentului motorului de acționare al fiecărei axe (valoarea unui parametru indică de câte ori se va realiza aceasta verificare, valoarea introdusă inițial este 10). Memoria RAM a controlerului robotului conține valori ale parametrilor de protecție termică a motoarelor cuplelor cinematice conducătoare.

Sistemul de comandă CNC al mașinii testează corectitudinea frazei de program și a valorilor datelor numerice (de exemplu, verifică valoarea vitezei de avans, valoarea razei de curbura în programarea interpolării circulare), afișând mesaje de alarmă corepunzătoare. La încărcarea programului-piesă de la calculatorul de stație 2, comanda numerică a mașinii verifică consistența frazelor de program și existența funcției M30 pentru validarea încărcării complete a programului.

Programul de bază de date din calculatorul central, printr-o interfață cu utilizatorul, permite introducerea datelor necesare definirii elementelor pregătitoare ale fabricației (definiția stațiilor de lucru, a obiectelor de lucru, a proceselor tehnologice, a comenzilor de producție) și oferă posibilitatea utilizatorului de a verifica corectitudinea corelării acestor valori (QUERY din submeniul MRP).

La stația ASRS (stația 1), prin gestionarea corectă în programele robotului a variabilelor ROBOT, PLOCK și LOCK, se stabilește succesiunea logică a activităților robotului în următoarea ordine: aducerea la postul de așteptare a paletei necesare, așteptarea sosirii unui cărucior în stația de oprire, depunerea paletei pe cărucior, continuarea mișcării căruciorului pe conveior, aducerea unei noi palete în postul de așteptare din depozit etc.

Existența unui cărucior într-o stație de oprire se confirmă prin:

- valoarea INPUT-ului [6] egală cu 1 la controlerul de stație, semnal transmis de la automatul programabil al conveiorului, care la rândul său a primit semnalul de la senzorul de existență IN PLACE din stația de oprire a căruciorului;

- valoarea diferită de zero a variabilei PALET corespunzătoare codului căruciorului, aceasta valoare este calculată funcție de semnalele de INPUT [1], [2], [3], [4] la controlerul de stație provenind de la senzorii de identificare din stația de oprire a căruciorului în programul PLTS.

La stația de frezare, se comandă de la controlerul de stație prin OUT[4] egal cu 1 sau 0 deschiderea sau închiderea menghinei. Programul de deschidere mai conține linia de program WAIT IN[14]=1 prin care se confirmă recepționarea comenzii de deschidere a menghinei de către sistemul CNC care comandă acționarea bacului mobil al dispozitivului. Rularea celorlalte programe

este suspendată în absența acestui semnal. Cauza unei astfel de erori poate fi: nealimentarea cu tensiune a sistemului de comandă al mașinii, funcționarea incorectă a canalelor IN/OUT ale CNC-ului sau controlerului de stație.

Mișcarea roboților cu piese în pozițiile corespunzătoare punctelor țintă ale echipamentelor (la menghina mașinii, la paletă etc) se realizează prin comandă MOVED sau MOVELD <poziție învățată>. Aceste comenzi permit verificarea atingerii poziției necesare prin compararea semnalelor traductoarelor de poziție pe fiecare axă a robotului cu valorile învățate ale poziției din memoria controlerului robotului.

Dispozițiile de prehensiune acționate electric au traductoare de poziție prin care se poate cunoaște/comanda distanța de deschidere a bacurilor la prehensarea pieselor. Într-un program adecvat, prin cunoașterea valorii variabilei de sistem ENC[6] care corespunde cu semnalul traductorului de poziție al dispozitivului de prehensiune, se poate face o verificare a existenței piesei în bacuri sau o măsurare a dimensiunilor piesei dintre suprafețele de contact cu bacurile dispozitivului.

La masa de asamblare, sistemul de vedere artificială și programul ROBOTVISION care rulează în controlerul de stație, dacă este corect inițializat și piesele îndeplinesc anumite condiții de a fi recunoscute, (sunt în contrast suficient de puternic față de fundalul imaginii, nu se formează umbre, nu au porțiuni strălucitoare) monitorizează automat corectitudinea realizării operației de asamblare.

6.2.2. Succesiunea activităților, condițiile de început și rapoarte de sfârșit ale acestora pentru desfășurarea fabricației la sistemul CIM Eshed Robotec

În cele ce urmează, se propune completarea facilităților de supraveghere a funcționării sistemului CIM cu programe și senzori suplimentari pentru concepția unui sistem de monitorizare și diagnoză operațională automată a sistemului. Propunerile de integrare a acestui sistem de monitorizare sunt prezentate pentru fiecare din stațiile de lucru ale SFF.

A) Rolul stației ASRS este de a evacua din depozitul carusel palete cu semifabricate și de a le depune pe căruciorul conveiorului sau de a depozita palete cu piese prelucrate într-unul dintre locașurile libere ale depozitului.

Pentru sarcina de a evacua paletele cu semifabricate din depozit, succesiunea de activități este:

1. rotația depozitului de tip carusel pentru a aduce locașul necesar în poziția de preluare/predare;
2. preluarea de către robot a paletii din locașul respectiv;

3. mișcarea axei de rotație a depozitului astfel încât coloana locașurilor [9] să revină în poziția de preluare/predare a robotului;
4. depunerea paletii cu semifabricat în postul de așteptare al stației;
5. evacuarea de către robot a paletii din postul de așteptare pe căruciorul liber de pe conveior;
6. plecarea căruciorului din stație.

Depunerea de palete cu piese prelucrate în depozit se desfășoară în următoarea succesiune de activități:

7. preluarea de către robot a paletii cu piesa prelucrată de pe cărucior;
8. rotirea depozitului de tip carusel pentru a aduce locașul liber în poziția de preluare/predare a robotului;
9. depunerea de către robot a paletii cu piesa prelucrată în locașul depozitului;
10. rotirea axei de rotație a depozitului astfel încât coloana locașurilor [9] să revină în poziția de preluare/predare a robotului.

Activitățile notate cu 3, 4 și 7, 8 se desfășoară simultan, toate celelalte activități se succed în ordinea menționată.

În tabelul 6.2 se prezintă condițiile de pornire și modalitatea de raportare a sfârșitului acestora, unde cu caractere *italice* sunt menționate acele informații care trebuie introduse suplimentar în sistem pentru o monitorizare eficientă a funcționării stației ASRS.

Tabelul 6.2. Activitățile stației ASRS, condițiile de început și raportarea sfârșitului activităților

Activitatea	Condițiile de început ale activității	Raportarea sfârșitului activității
Mișcarea depozitului de tip carusel pentru a aduce locașul necesar în poziția de preluare/predare	Comandă de evacuare a paletii cu semifabricat de la controlerul central printr-o anumită valoare a variabilei GCOM[1] și RAW Conținutul a cel puțin un locaș al depozitului este de valoare SRS[1÷54]=RAW <i>Semnal binar pentru existența unei palete în locașul respectiv al depozitului</i> Robotul este liber	Prin comandă MOVED se verifică corectitudinea poziției țintă a caruselului

Activitatea	Condițiile de început ale activității	Raportarea sfârșitului activității
Preluarea de către robot a paletii din locașul depozitului	Sucesiunea de rulare a programelor de comandă în controlerul robotului	Conținutul locașului devine zero $SRS[1÷54]=0$ <i>Semnal binar pentru locaș liber</i> <i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare existenței paletii în dispozitivul de prehensiune</i>
Rotirea axei de rotație a depozitului astfel încât coloana locașurilor [9] să revină în poziția de preluare/predare	<i>Robotul se află în afara spațiului de lucru și de coliziune al depozitului carusel</i>	Prin comandă MOVED se verifică corectitudinea poziției țintă a caruselului
Depunerea paletii cu semifabricat în postul de așteptare al stației	<i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare existenței paletii în dispozitivul de prehensiune</i> <i>Semnal binar pentru postul de așteptare liber</i> Valoarea variabilei pentru postul de așteptare curent este BFR=1	<i>Semnal binar pentru existența paletii în postul de așteptare</i> <i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dispozitivului de prehensiune deschis</i>
Depunerea de către robot a paletii din postul de așteptare pe căruciorul liber în stația de oprire	Valoarea INPUT[6]=1, adică există un cărucior în stația de oprire Comandă de oprire a căruciorului în stație printr-o anumită valoare a variabilei GCOM[1] de la controlerul central la controlerul de stație <i>Semnal binar pentru existența paletii în postul de așteptare</i>	Robotul este în poziția CIM[19] după depunerea paletii pe cărucior
Plecarea căruciorului din stație	Semnalul OUTPUT[6]=1 transmis la PLC-ul conveiorului	Valoarea INPUT[6]=0 și INPUT[1],[2],[3],[4]=0
Preluarea de către robot a paletii cu piesa prelucrată de pe căruciorul din stația de oprire	Valoarea INPUT[6]=1, adică există un cărucior în stația de oprire Comandă de oprire a căruciorului în stație printr-o anumită valoare a variabilei GCOM[1] de la controlerul central la controlerul de stație	Valoarea INPUT[6]=0 și INPUT[1],[2],[3],[4]=0 <i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare existenței paletii în dispozitivul de prehensiune</i>

Activitatea	Condițiile de început ale activității	Raportarea sfârșitului activității
Rotirea depozitului de tip carusel pentru a aduce locașul liber în poziția de preluare/predare a robotului	Conținutul a cel puțin un locaș al depozitului este de valoare $SRS[1÷54]=0$ <i>Semnal binar pentru confirmarea locașului respectiv liber</i>	Prin comandă MOVED se verifică corectitudinea poziției țintă a caruselului
Depunerea de către robot a paletii cu piesa prelucrată în locașul depozitului	Sucesiunea de rulare a programelor de comandă în controler	<i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dispozitivului de prehensiune deschis</i> <i>Semnal binar pentru existența unei palete în locașul respectiv al depozitului</i>

B) La stația de frezare se execută operațiile de prelucrare conform tehnologiei pieselor introduse în sistem. Sucesiunea de desfășurare a activităților în sistem este:

1. preluarea de către robot a paletii cu semifabricatul necesar de pe căruciorul din stația de oprire;
2. depunerea paletii cu semifabricat în postul de așteptare al stației;
3. preluarea de către robot a semifabricatului de pe paletă;
4. aducerea semifabricatului la mașină;
5. prelucrarea piesei la mașină;
6. evacuarea de către robot a piesei prelucrate de la mașină;
7. depunerea piesei pe paleta din postul de așteptare;
8. depunerea paletii cu piesa prelucrată pe căruciorul liber oprit în stație;
9. plecarea căruciorului din stație.

Activitățile notate cu 1, 2, 3 se pot desfășura simultan cu prelucrarea unei piese la mașina de lucru, cu condiția să existe cel puțin un post de așteptare liber la stație. În tabelul 6.3 se prezintă condițiile de pornire și modalitatea de raportare a activităților stației de frezare.

Tabelul 6.3. Condiții de început și raportarea sfârșitului activității la stația 2

Activitatea	Condiții de început ale activității	Raportarea sfârșitului activității
<p>Preluarea de către robot a paletii cu semifabricat necesar de pe căruciorul oprit în stație</p>	<p>Valoarea INPUT[6]=1, adică există un cărucior în stația de oprire</p> <p>Comandă de oprire a căruciorului în stație printr-o anumită valoare a variabilei GCOM[1] de la controlerul central la controlerul de stație</p> <p>Robot este liber</p> <p>Semnal binar pentru postul curent de așteptare liber</p>	<p>Valoarea INPUT[6]=0 și INPUT[1], [2], [3], [4]=0</p> <p>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare existenței unei paleti în dispozitivul de prehensiune al robotului</p>
<p>Depunerea paletii cu semifabricat în postul de așteptare al stației</p>	<p>Sucesiunea rulării programelor de comandă ale robotului (FROMP și TOBFR)</p> <p>Valoarea variabilei BFR este corespunzătoare postului de așteptare curent</p>	<p>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dispozitivului de prehensiune deschis</p> <p>Semnal binar pentru existența unei paleti în postul de așteptare</p>
<p>Preluarea de către robot a semifabricatului de pe paleta</p>	<p>Semnal binar pentru existența unei paleti în postul de așteptare</p> <p>Mașina de frezat este liberă</p> <p>Robotul este liber</p> <p>Valoarea variabilei BFR este corespunzătoare postului de așteptare curent</p>	<p>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dimensiunii piesei prehendate de către robot</p>
<p>Aducerea semifabricatului la mașina de frezat</p>	<p>Sucesiunea rulării programelor de comandă ale robotului (FB și TOM1)</p> <p>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dimensiunii piesei prehendate de către robot</p>	<p>Semnal de OUTPUT[15]=1 de la controler la mașină pentru rularea programului-piesă la CNC</p> <p>Verificarea existenței instrucțiunii M30 la încărcarea programului-piesă de la calculatorul stației 2 la CNC</p>
<p>Prelucrarea piesei la mașina de frezat</p>	<p>Semnal de OUTPUT[15]=1 de la controler la mașină pentru rularea programului-piesă la CNC</p> <p>Verificarea existenței instrucțiunii M30 la încărcarea programului-piesă de la calculatorul stației 2 la CNC</p>	<p>Semnal de INPUT[15]=1 de la mașină la controler pentru confirmarea terminării prelucrării piesei</p>

Activitatea	Condiții de început ale activității	Raportarea sfârșitului activității
Evacuarea de către robot a piesei prelucrate de la mașina de lucru	Semnal de INPUT[15]=1 de la mașina la controler pentru confirmarea terminării prelucrării piesei Robotul este liber	<i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dimensiunii piesei prehensate de către robot</i> Semnal de INPUT[14]=1 la controler pentru confirmarea deschiderii menghinei de către mașină
Depunerea piesei pe paleta din postul de așteptare	Sucesiunea rulării programelor de comandă ale robotului (FM1 și TOB) <i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dimensiunii piesei prehensate de către robot</i> Valoarea variabilei BFR este corespunzătoare postului de așteptare curent	<i>Valoarea variabilei ENC[6] este corespunzătoare dispozitivului de prehensiune deschis</i>
Depunerea de către robot a paletii cu piesa prelucrată pe căruciorul liber oprit în stație	Valoarea INPUT[6]=1, adică există un cărucior în stația de oprire Comandă de oprire a căruciorului în stație printr-o anumită valoare a variabilei GCOM[1] de la controlerul central la controlerul de stație Robot este liber <i>Semnal binar pentru postul curent de așteptare ocupat</i> Valoarea variabilei BFR a postului de așteptare curent	Robotul este în poziția CIM[19] după depunerea paletii pe cărucior
Plecarea căruciorului din stație	Semnalul OUTPUT[6]=1 transmis la PLC-ul conveiorului	Valoarea INPUT[6]=0 și INPUT[1],[2],[3],[4]=0

C) Sucesiunea activităților stației de asamblare depinde de procesul tehnologic de montaj al ansamblului. Printr-o inițializare a procesului tehnologic, o definire a pieselor pentru stația 3 corespunzătoare și prin modificarea programului TOM1 din controler, robotul de la această stație se poate comporta la fel ca un robot de servire al unei mașini de lucru. Informațiile cuprinse în tabelul

6.3 sunt valabile și pentru această stație de lucru, cu excepția comunicărilor dintre controlerul robotului și echipamentul CNC.

D) Cărucioarele de transfer lung pe conveior au rolul de a transporta palete cu semifabricate sau piese finite la stațiile sistemului conform itinerarelor tehnologice ale pieselor respective.

Un cărucior poate avea două stări: în mișcare pe conveior în porțiunea de conveior cuprinsă între stațiile de lucru sau în repaus într-una din stațiile de oprire ale sistemului. Dacă un cărucior este oprit la o stație, acesta poate să staționeze pe perioada de timp de preluare/predare a paletii dintr-un post de așteptare sau să-și continue mișcarea pe conveior.

Oprirea unui cărucior în stație se face prin comanda de către automatul programabil al conveiorului (PLC) a unor pistoane acționate de către motoare pneumatice. În tabelul 6.4 sunt prezentate condițiile de staționare sau de eliberare ale unui cărucior oprit într-o stație.

Tabelul 6.4. Condiții de început și de raportare a sfârșitului activității căruciorului

Activitatea	Condițiile de început ale activității	Raportarea sfârșitului activității
Oprirea căruciorului care nu este necesar la stație	Semnal binar la PLC de la senzorul de proximitate ARRIVING Valoarea INPUT[6]=1, adică există un cărucior în stația de oprire Comandă de eliberare a căruciorului printr-o valoare a variabilei GCOM1 de la controlerul central la controlerul de stație <i>Corespondența dintre valoarea codului de identificare a căruciorului sosit în stație și ordinea prestabilită de către utilizator a cărucioarelor pe conveior</i>	Valoarea INPUT[6]=0 și INPUT[1],[2],[3],[4]=0
Oprirea căruciorului necesar la stație	Semnal binar la PLC de la senzorul de proximitate ARRIVING Valoarea INPUT[6]=1, adică există un cărucior în stația de oprire Comandă de rulare a programelor de manipulare a paletii TOPLT sau FROMP printr-o valoare a variabilei GCOM1 de la controlerul central la controlerul de stație <i>Corespondența dintre valoarea codului de identificare a căruciorului sosit în stație și ordinea prestabilită de către utilizator a cărucioarelor pe conveior</i>	Valoarea INPUT[6]=0 și INPUT[1],[2],[3],[4]=0

6.2.3. Stabilirea semnalelor de monitorizare operațională și simptomelor defecțiunilor posibile în funcționarea sistemului CIM Eshed Robotec

6.2.3.1. Stabilirea semnalelor de monitorizare operațională. Stabilirea echipamentelor aferente

Monitorizarea automată a funcționării sistemului CIM-ER are ca obiectiv principal urmărirea și verificarea circulației obiectelor de lucru în cadrul sistemului. Punctele de verificare ale fluxului material sunt la intrarea/ieșirea de la stațiile de lucru și la stațiile de oprire ale cărucioarelor pe conveior.

A) În tabelul 6.2 s-au prezentat exhaustiv toate activitățile posibile ale stației 1 (ASRS) și condițiile de pornire și de raportare a sfârșitului activității.

Verificarea corectitudinii derulării activității de extragere a paletei necesare din depozit se realizează:

- la închiderea dispozitivului de prehensiune a robotului în poziția de preluare a paletei din locașul depozitului carusel;
- în poziția în care paleta este situată de către robot în postul de așteptare al stației 1.

Verificarea corectitudinii derulării activității de aducere a paletei necesare în depozit se realizează în poziția în care paleta este situată de către robot în locașul liber al depozitului carusel.

Semnalele de monitorizare operațională în locașul depozitului carusel (la evacuare sau aducere paletă) sunt:

- valoarea variabilei de sistem ENC[6] corespunzătoare existenței paletei între bacurile dispozitivului de prehensiune al robotului;
- valoarea binară corespunzătoare a microîntrerupătorului pentru monitorizarea existenței/inexistenței unei palete în locaș;
- valoarea corespunzătoare a variabilei ENC[7] (valoare a traductorului de poziție a axei 7) pentru verificarea poziției corecte a depozitului carusel;

Semnalele de monitorizare operațională preluate la aducerea unei palete în postul de așteptare sunt:

- valoarea variabilei de sistem ENC[6] corespunzătoare existenței paletei între bacurile dispozitivului de prehensiune a robotului;
- valoarea binară corespunzătoare pentru monitorizarea existenței unei palete în postul de așteptare.

Echipamentele suplimentare de monitorizare automată operațională care trebuie introduse în sistem sunt senzorii de existență din fiecare locaș al depozitului SL[1÷54] și din posturile de așteptare ale stației SPA1 și SPA2.

B) În tabelul 6.3. sunt prezentate activitățile stației 2 la care se propune ca verificarea fluxului material să se realizeze în momentele de:

- depunere a paletii cu semifabricat într-unul din posturile de așteptare ale stației;
- preluare a semifabricatului de pe paletă de către robot;
- situare de către robot a obiectului de lucru în dispozitivul de lucru al mașinii de frezat;
- preluare a piesei prelucrate din menghina mașinii de lucru;
- situare a piesei prelucrate pe paleta din postul de așteptare;
- preluare a paletii din postul de așteptare în vederea evacuării de la stația 2.

Semnalele de monitorizare operațională automată pentru verificarea desfășurării activității de manipulare a paletii la/de la postul de așteptare sunt:

- semnal corespunzător existenței paletii în dispozitivul de prehensiune al robotului;
- semnal corespunzător al senzorului de existență al paletii în postul de așteptare.

La preluarea semifabricatului sau situarea piesei prelucrate pe paletă verificarea coerenței semnalelor de monitorizare se realizează între:

- valoarea corespunzătoare variabilei ENC[6] de existență a piesei între bacurile dispozitivului de prehensiune;
- valorile corespunzătoare poziției robotului de preluare/predare a obiectului de lucru pe paletă;
- valoarea corespunzătoare a senzorului de existență a piesei pe paletă.

La mașina de lucru, verificarea introducerii obiectului de lucru în menghina mașinii se realizează prin coerența valorii variabilei de sistem ENC[6] și a celorlalte variabile provenind de la traductoarele de poziție a celor 5 axe comandate ale robotului, precum și a variabilei de monitorizare a gradului de închidere al dispozitivului de lucru al mașinii.

Echipamentele suplimentare de monitorizare a fluxului material care trebuie instalate la stația 2 sunt senzorii de existență ai paletii în posturile de așteptare SPA3 și SPA4 și senzorii de existență ai piesei pe paletă SP1 și SP2.

C) Problema monitorizării operaționale la stația 3 este existența unui dispozitiv de prehensiune cu acționare pneumatică la care nu se poate controla gradul de închidere al bacurilor dispozitivului de prehensiune al robotului SCORA 14.

Se propune ca verificarea activității de aducere a semifabricatului la dispozitivul de lucru al mașinii (în realitate este dispozitivul mesei XY al stației) să se realizeze prin utilizarea senzorului de vedere artificială existent la stație. Prin utilizarea unui obiect de lucru adecvat, programul ROBOTVISON poate recunoaște existența unui semifabricat în dispozitivul de situare al mesei.

D) Monitorizarea deplasării corecte a cărucioarelor pe conveyer se poate realiza prin verificarea coerenței codului de identificare al căruciorului din stație cu codul căruciorului rezultat dintr-un program adecvat care stabilește ordinea de sosire a cărucioarelor în stațiile de oprire. Prin monitorizarea timpului de deplasare de la plecarea din stație până la sosirea în stația următoare de oprire a cărucioarelor se pot identifica disfuncționalități ale conveyerului.

Programul suplimentar de monitorizare a cărucioarelor pe conveyer trebuie să ruleze în calculatorul central și, prin rețea RS232, să comunice în timp real cu controlerul central al sistemului.

6.2.3.2. Stabilirea simptomelor și a modalităților de sesizare a defecțiunilor

A) În poziția robotului de preluare/predare a paletelor în locașul depozitului stației 1 posibilele defecțiuni sunt sesizate de neconcordanța dintre valoarea variabilei ENC[6] și semnalul senzorului de existență SL[k], unde $k=1\div 54$. Cazurile posibile de neconcordanță sunt prezentate în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5. Cazuri posibile ale simptomelor defecțiunilor depozitului carusel

Valoarea variabilei ENC[6]	Semnalul binar al senzorului de existență în locaș SL[k]	Cazuri posibile ale simptomelor defecțiunilor sau erorilor
Val1 corespunzătoare existenței paletelor în dispozitivul de prehensiune închis	1 corespunzător existenței paletelor în locaș	Corect
Val1 corespunzătoare existenței paletelor în dispozitivul de prehensiune închis	0 corespunzător inexistenței paletelor în locaș	Încorect A1
Val2 corespunzător dispozitivului complet închis	1 corespunzător existenței paletelor în locaș	Încorect A2
Val2 corespunzător dispozitivului complet închis	0 corespunzător inexistenței paletelor în locaș	Încorect A3

In posturile de așteptare ale stației, la aducerea paletii de către robot, cazurile posibile de disfuncționalități ale senzorilor/traductoarelor de monitorizare operațională automată sau defecțiuni de echipament sunt prezentate în tabelul 6.6.

Tabelul 6.6. Cazuri posibile a simptomelor disfuncționalităților apărute la manipularea paletii în postul de așteptare

Valoarea variabilei ENC[6]	Semnalul binar al senzorului de existență în postul de așteptare SPA[1] și SPA[2]	Cazuri posibile ale simptomelor defecțiunilor sau erorilor
Val1 corespunzătoare existenței paletii în dispozitivul de prehensiune închis	1 corespunzător existenței paletii în postul de așteptare	Corect
Val1 corespunzătoare existenței paletii în dispozitivul de prehensiune închis	0 corespunzător inexistenței paletii în postul de așteptare	Încorect A4
Val2 corespunzătoare dispozitivului complet închis	1 corespunzător existenței paletii în postul de așteptare	Încorect A5
Val2 corespunzătoare dispozitivului complet închis	0 corespunzător inexistenței paletii în postul de așteptare	Încorect A6

B) La stația de frezare posibilele simptome ale disfuncționalităților apărute la manipularea paletii în și din postul de așteptare sunt similare cu cele prezentate în tabelul 6.6.

Pentru manipularea piesei în corelație cu paleta situată în postul de așteptare, în tabelul 6.7 sunt prezentate cazurile de alarmare rezultate din analiza semnalelor de la senzorii de prezență piesă din posturile de așteptare SP1 și 2, respectiv valoarea variabilei de sistem ENC[6].

Tabelul 6.7. Simptome posibile la manipularea obiectului de lucru situat pe paletă

Valoarea variabilei ENC[6]	Semnalul binar al senzorului de existență piesă pe paletă SP[1] și SP[2]	Cazuri posibile a simptomelor defecțiunilor sau erorilor
Val3 corespunzătoare existenței piesei în dispozitivul de prehensiune închis	1 corespunzător existenței piesei pe paletă	Corect
Val3 corespunzătoare existenței piesei în dispozitivul de prehensiune închis	0 corespunzător inexistenței piesei pe paletă	Încorect B1
Val4 corespunzătoare dispozitivului complet închis	1 corespunzător existenței piesei pe paletă	Încorect B2
Val4 corespunzătoare dispozitivului complet închis	0 corespunzător inexistenței piesei pe paletă	Încorect B3

La aducerea unui semifabricat la mașina de frezat, verificarea existenței piesei în menghină se realizează prin monitorizarea valorii variabilei care urmărește gradul de închidere al bacului mobil al dispozitivului de lucru. Dacă această valoare corespunde menghinei complet închise, s-a identificat un simptom de defecțiune posibilă B4.

C) Pentru monitorizarea circulației cărucioarelor pe conveior, se vor confrunta semnalele provenind de la senzorul de existență al căruciorului în stația de oprire (IN PLACE) cu variabilele rezultate din citirea codului căruciorului în stație (PALET) și cea din programul care stabilește ordinea de sosire a cărucioarelor (ORDER). Disfuncționalitățile în circulația cărucioarelor pe conveior sunt sesizate de neconcordanța dintre aceste informații și sunt prezentate în tabelul 6.8.

Tabelul 6.8. Simptome posibile la oprirea cărucioarelor în stații

Semnalul senzorului IN PLACE de existență a căruciorului în stație	Valoarea codului căruciorului din stație PALET dedusă din semnalele senzorilor PALET ID	Valoarea codului căruciorului din stație ORDER rezultată din rularea programului de monitorizare a succesiunii prestabilite a cărucioarelor	Cazuri posibile a simptomelor defecțiunilor sau erorilor
1 corespunzător existenței căruciorului în stație	Val 5	Val 6	Val 5=Val 6 Corect
0 corespunzător inexistenței căruciorului în stație	Val 5	Val 6	Val 5=Val 6 Incorect D1
1 corespunzător existenței căruciorului în stație	Val 5	Val 6	Val 5≠Val 6≠0 Incorect D2
0 corespunzător inexistenței căruciorului în stație	Val 5	Val 6	Val 5≠Val 6≠0 Incorect D3
1 corespunzător existenței căruciorului în stație	0	0	Incorect D4
0 corespunzător inexistenței căruciorului în stație	0	0	Corect
1 corespunzător existenței căruciorului în stație	0	Val 6	Incorect D5 Val6≠0
0 corespunzător inexistenței căruciorului în stație	0	Val6	Incorect D6 Val6≠0
1 corespunzător existenței căruciorului în stație	Val 5	0	Incorect D7 Val5≠0
0 corespunzător inexistenței căruciorului în stație	Val 5	0	Incorect D8 Val5≠0

6.3. Sinteza sistemului de diagnoză operațională automată a sistemului CIM Eshed Robotec

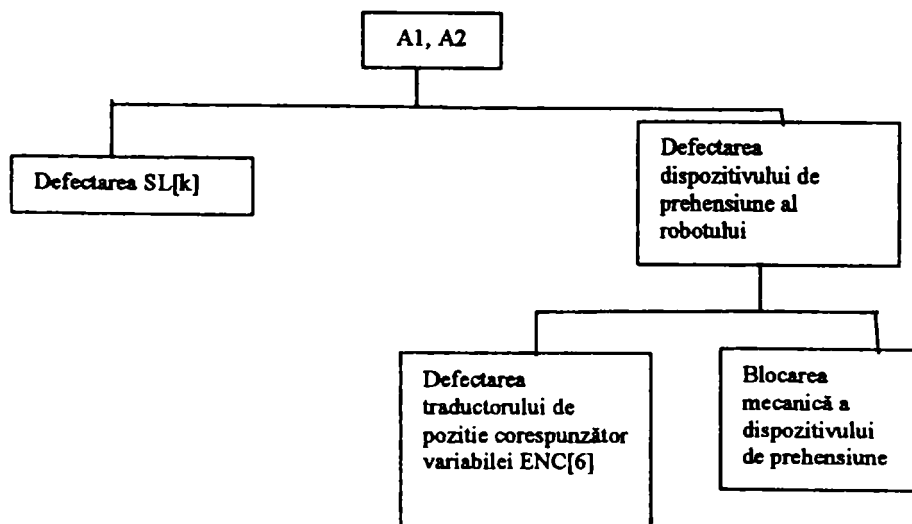
6.3.1. Stabilirea schemei logice simptom-cauză

Pentru stabilirea cauzelor care duc la apariția simptomelor identificate în paragraful 6.2.3.2. se va porni de la următoarele ipoteze:

- nu se vor aduce modificări semnificative sistemului CIM Eshed Robotec inițial;
- informațiile transmise de senzorii binari conectați la controlerele de stație prin rețeaua de comunicare I/O sunt date din proces (nu se transmit: mesaje de stare (mesaje de eroare, informații pentru diagnoză); parametrii (domenii de măsurare, valori limită, regimuri de funcționare); identificatori (tipul senzorului, firma furnizoare, tipul datelor));
- la identificarea unor semnale eronate din partea unui senzor și corecte din partea lui senzor, se presupune că doar cel care transmite semnale eronate s-a defectat;
- se vor utiliza doar posibilitățile oferite de sistem (programe și echipamente) pentru identificarea cauzei unui simptom;
- verificarea coerenței semnalelor de la senzori cu valorile variabilelor de monitorizare se realizează la sfârșitul activităților menționate în paragraful 6.2.3.2.

Procesul de identificare a cauzei unui simptom se reprezintă sub formă de ordinogramă pentru a facilita implementarea programului aferent de identificare a defecțiunilor echipamentelor sau erorilor de funcționare în cadrul programelor existente la subsistemul de comandă al sistemului CIM Eshed Robotec.

a)



b)

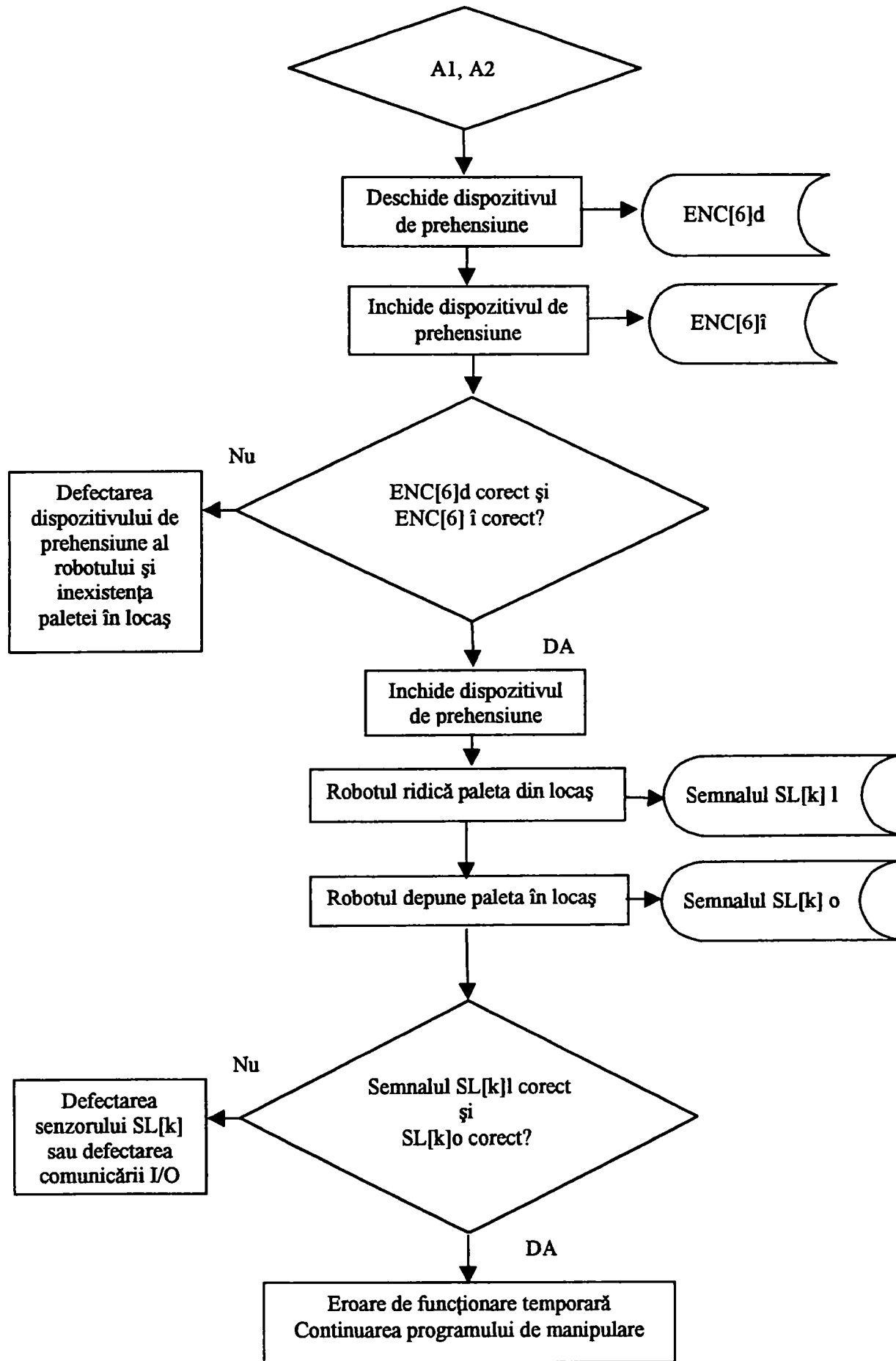


Figura 6.2. Graful analizei erorilor (a) și ordinograma de identificare a cauzelor simptomelor A1 și A2 (b)

Explicațiile la notațiile utilizate în figura 6.2:

ENC[6]d, î sunt valorile variabilei corespunzătoare semnalului traductorului de poziție a axei 6 pentru dispozitivul de prehensiune deschis, respectiv închis;

Semnalul SL[k]l, o sunt semnale provenind de la senzorul de existență a paletii în locaș în cazul când locașul este liber, respectiv ocupat.

A) La stația 1 (ASRS) s-au identificat 6 simptome posibile de semnalizare a neconcordanțelor în monitorizarea automată operațională a manipulării paletii de transfer a piesei (la preluarea/predarea acesteia din/în locașul depozitului și la depunerea ei în postul de așteptare). Prin metoda analizei erorilor [War'94 p.131] se pot identifica, prin analiză inductivă, toate cauzele apariției unei erori. În caz general, dacă o cauză identificată este la rândul ei o eroare, ea poate să fie sursa unor cauze proprii, ș.a.m.d, obținându-se în acest mod o structură arborescentă. În figurile 6.2a, 6.3a, 6.4a, 6.5a sunt prezentate grafurile de analiză a erorilor, iar în figurile 6.2b, 6.3b, 6.4b, 6.5b, ordinogramele de detectare a cauzelor de apariție a simptomelor notate cu A1 și A2, respectiv A3, A4 și A5, A6.

B) La stația 1 (ASRS) s-au identificat 6 simptome posibile de semnalizare a neconcordanțelor în monitorizarea automată operațională a manipulării paletii de transfer a piesei (la preluarea/predarea acesteia din/în locașul depozitului și la depunerea ei în postul de așteptare). Prin metoda analizei erorilor [War'94 p.131] se pot identifica, prin analiză inductivă, toate cauzele apariției unei erori. În caz general, dacă o cauză identificată este la rândul ei o eroare, ea poate să fie sursa unor cauze proprii, ș.a.m.d, obținându-se în acest mod o structură arborescentă. În figurile 6.2a, 6.3a, 6.4a, 6.5a sunt prezentate grafurile de analiză a erorilor, iar în figurile 6.2b, 6.3b, 6.4b, 6.5b, ordinogramele de detectare a cauzelor de apariție a simptomelor notate cu A1 și A2, respectiv A3, A4 și A5, A6.

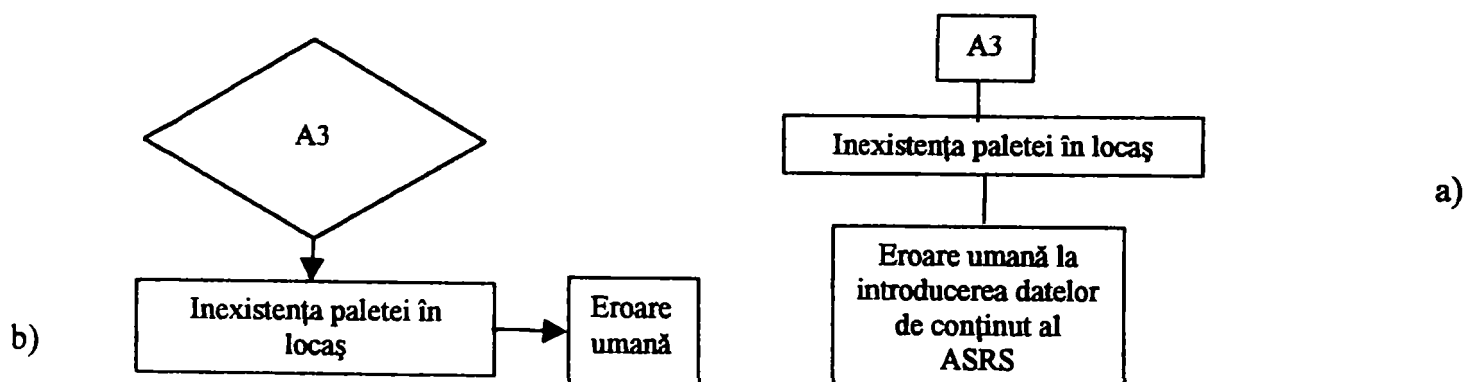
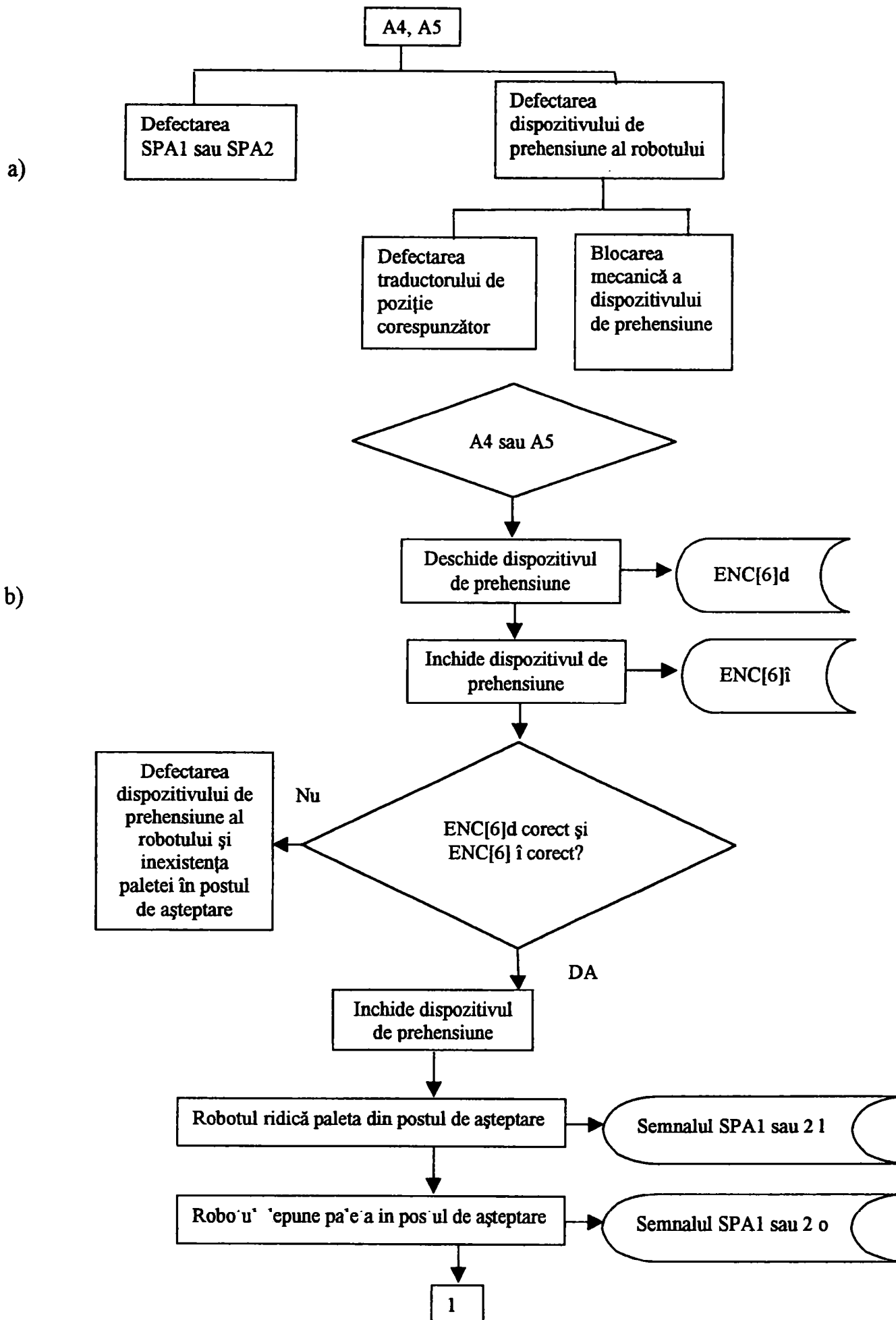
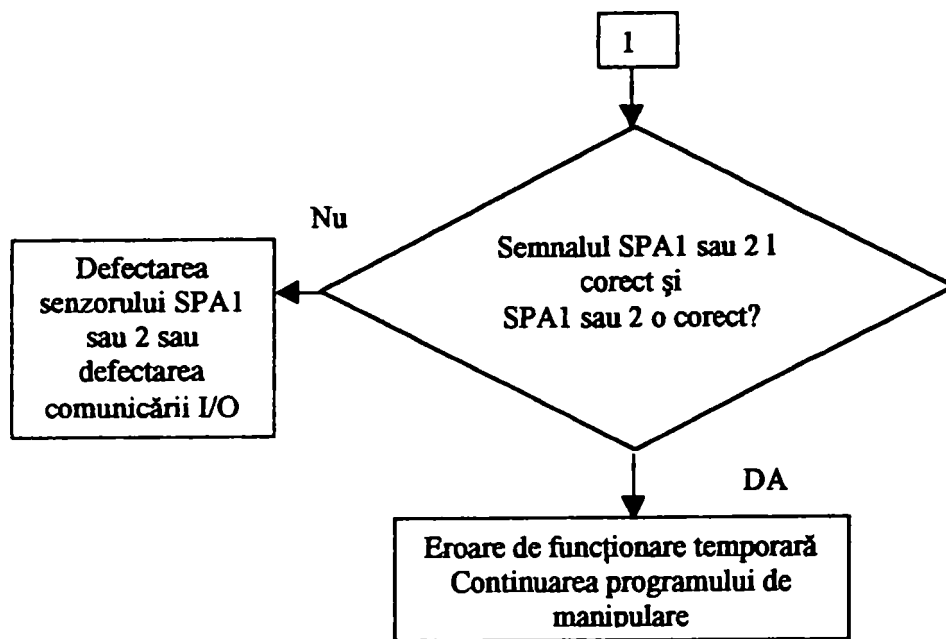


Figura 6.3. Graful analizei erorilor (a) și ordinograma de identificare a cauzelor simptomelor A3 (b)





SPA1, 2, l sau o sunt semnale ale senzorilor de existență a paletelor în postul de așteptare 1 sau 2 corespunzătoare stării: libere (l) sau ocupate (o).

Figura 6.4. Graful analizei erorilor (a) și ordinograma de identificare a cauzelor simptomelor A4 și A5 (b)

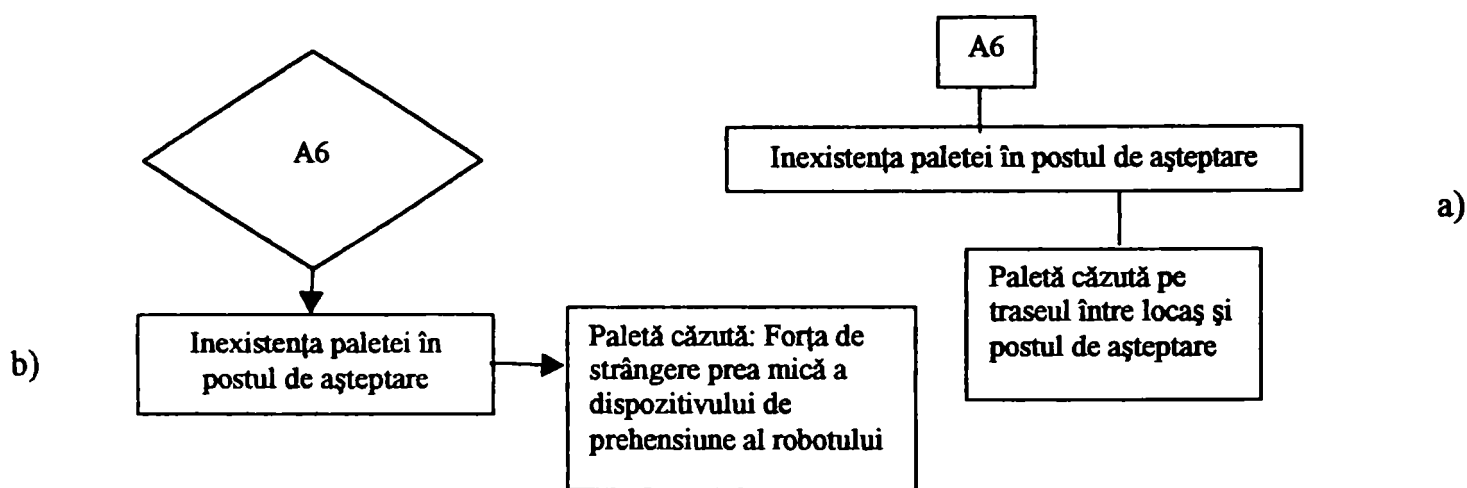


Figura 6.5. Graful analizei erorilor (a) și ordinograma de identificare a cauzelor simptomelor A6 (b)

C) La stația de frezare, determinarea cauzelor simptomelor (B1, B2, B3) apărute la manipularea piesei din/în paleta din postul de așteptare sunt similare cu cele prezentate în figurile 6.4 și 6.5. și notate cu A4, A5, A6, pentru că în ambele cazuri se analizează defecțiuni apărute la manipulări de obiecte de lucru, care pot fi piesă sau paletă.

D) Pentru identificarea cauzelor simptomelor de apariție a defecțiunilor la circulația cărucioarelor pe conveior, se pot identifica următoarele cazuri:

- când semnalele senzorilor de la stația de oprire (IN PLACE și PALET ID) corespund, dar valoarea codului căruciorului obținut prin prelucrarea semnalelor senzorilor nu este egală cu valoarea variabilei ORDER (D2, D6, D7);

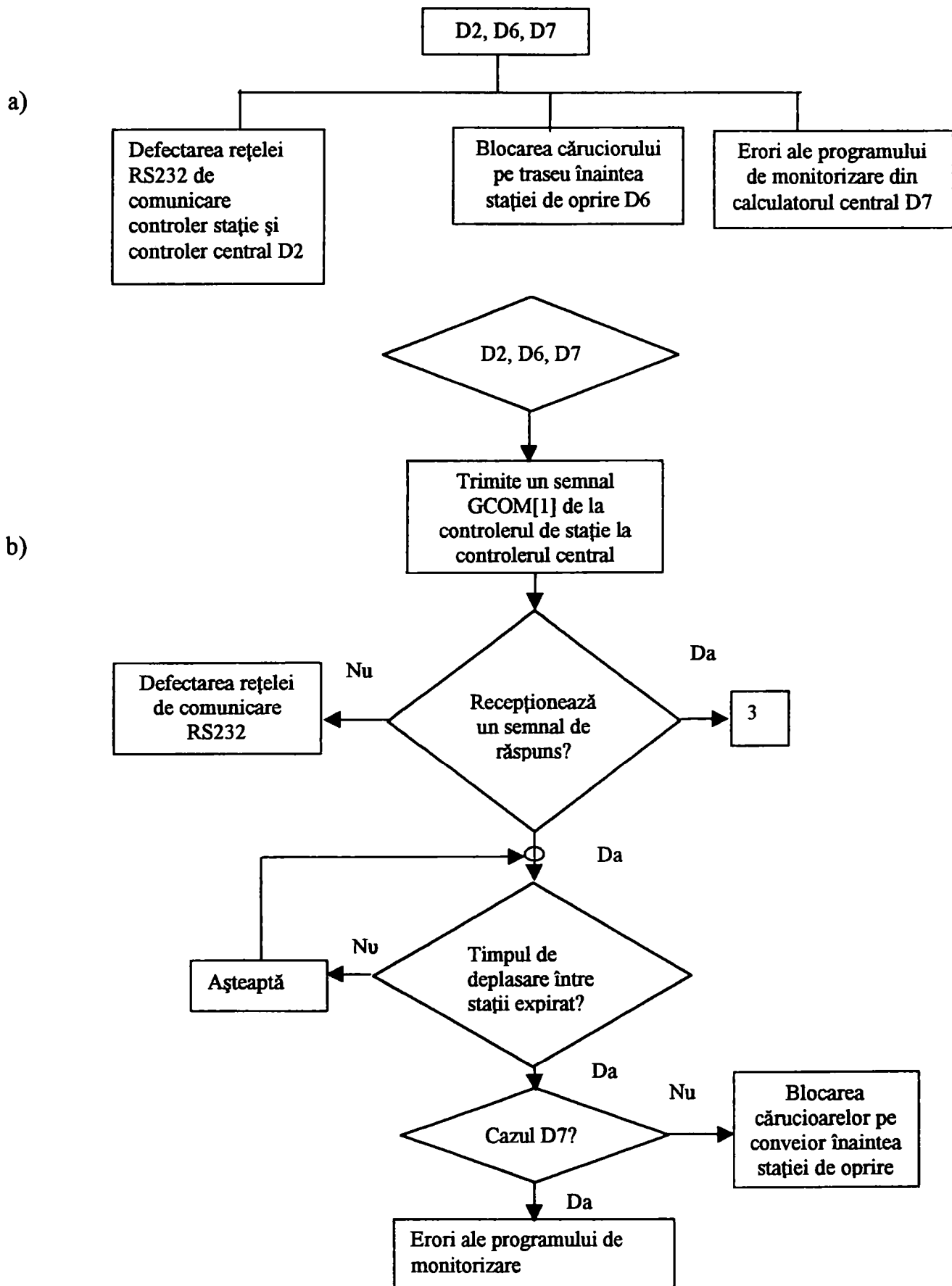
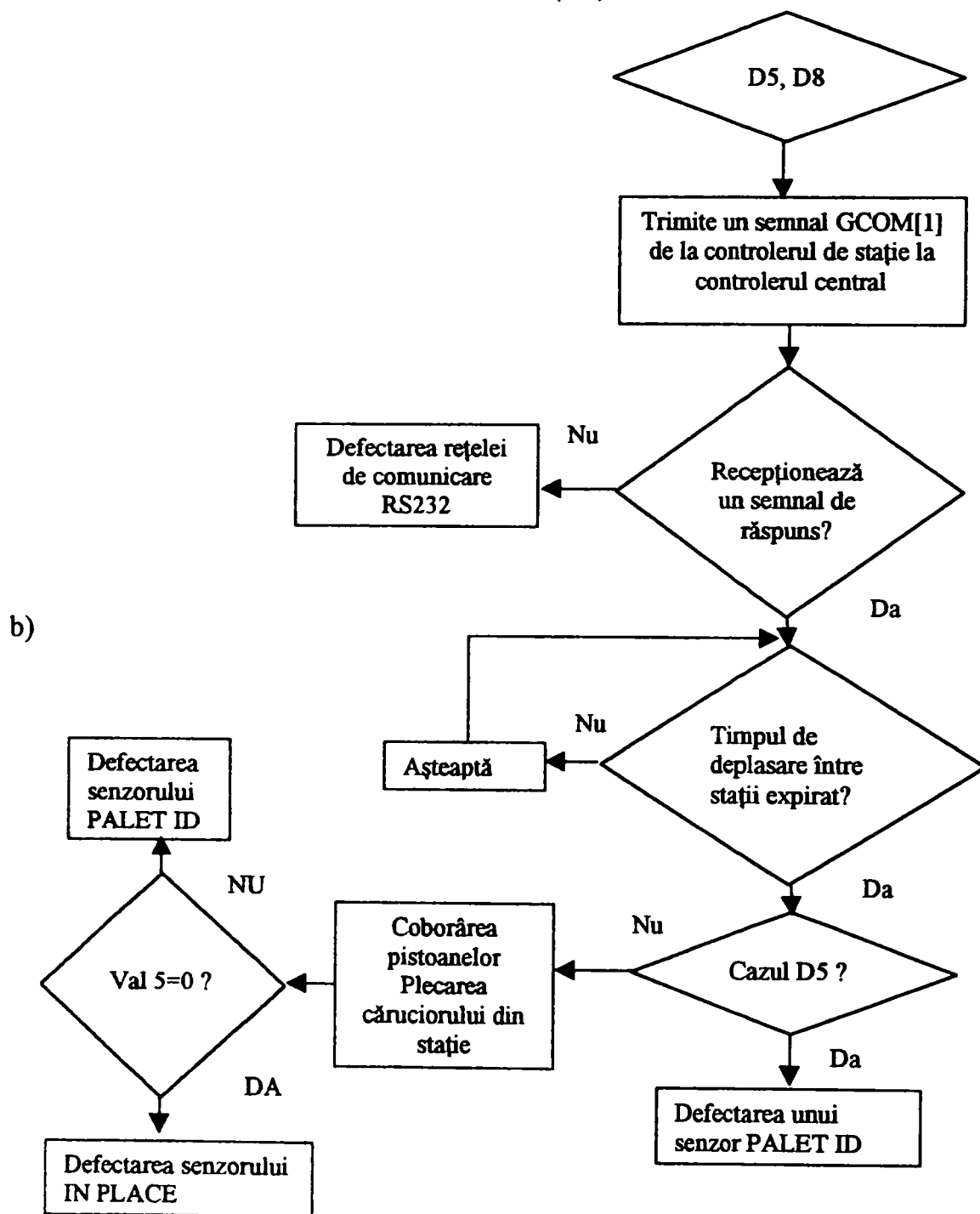


Figura 6.6. Graful analizei erorilor (a) și ordinograma de identificare a cauzelor simptomelor D2, D6, D7 (b)

- când semnalul senzorului IN PLACE corespunde cu valoarea codului ORDER, dar nu corespunde cu valoarea codului PALET (D5, D8);
- când valoarea variabilei PALET este egală cu ORDER, dar nu corespunde semnalului senzorului IN PLACE (D1, D4)
- când valoarea variabilei PALET nu este egală cu ORDER și acestea nu corespund cu semnalul senzorului IN PLACE (D3).



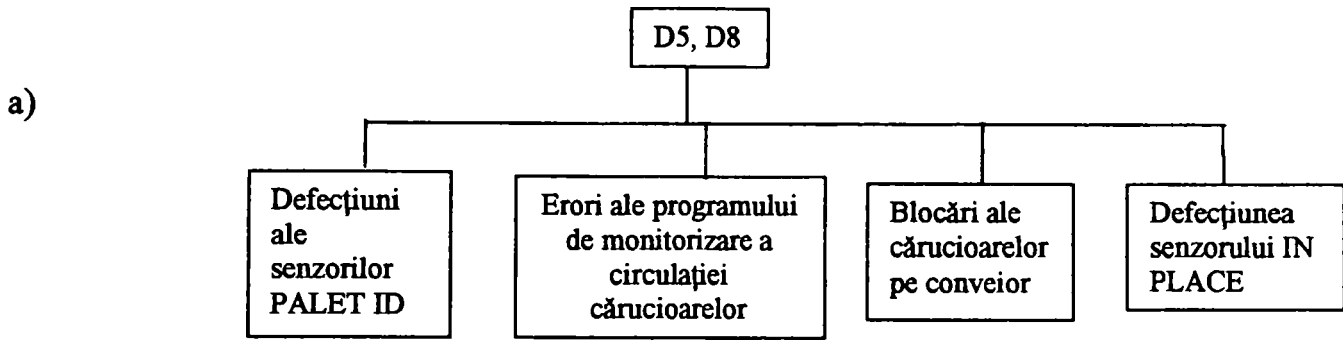


Figura 6.7. Graful analizei erorilor (a) și ordinograma de identificare a cauzelor simptomelor D5 și D8 (b)

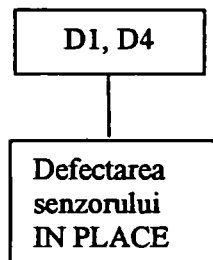


Figura 6.8. Graful analizei erorilor în cazul simptomelor D1 și D4

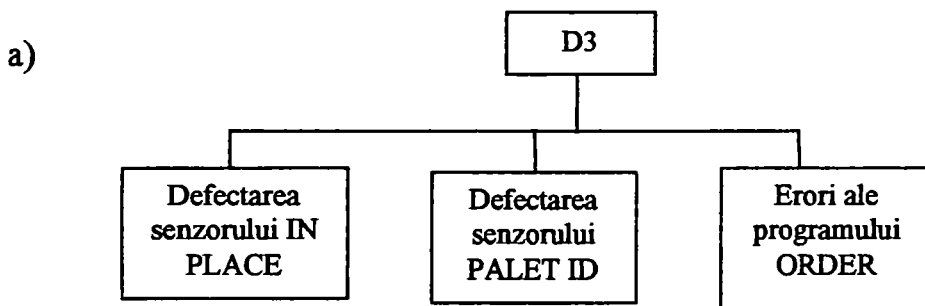


Figura 6.9.a. Graful analizei erorilor (a) în cazul simptomului D3

6.3.2. Exemplu de modificare a programelor de utilizator ale stației ASRS pentru monitorizarea preluării paletei din locașul depozitului

Modificarea programului TTOBF (de preluare a paletei necesare din locașul depozitului) s-a realizat fără verificarea semnalului SL[k] de existență a paletei în locaș, care nu sunt instalați, DPD este variabila corespunzătoare semnalului traductorului de poziție a dispozitivului de prehensiune deschis, iar DPI este variabila de valoare egală cu ENC[6] a dispozitivului de prehensiune închis.

PROGRAM TTOBF

```

.....
IF ENC[6]<-1600
ANDIF ENC[6]>-1800
GOTO 1
ELSE
    
```

b)

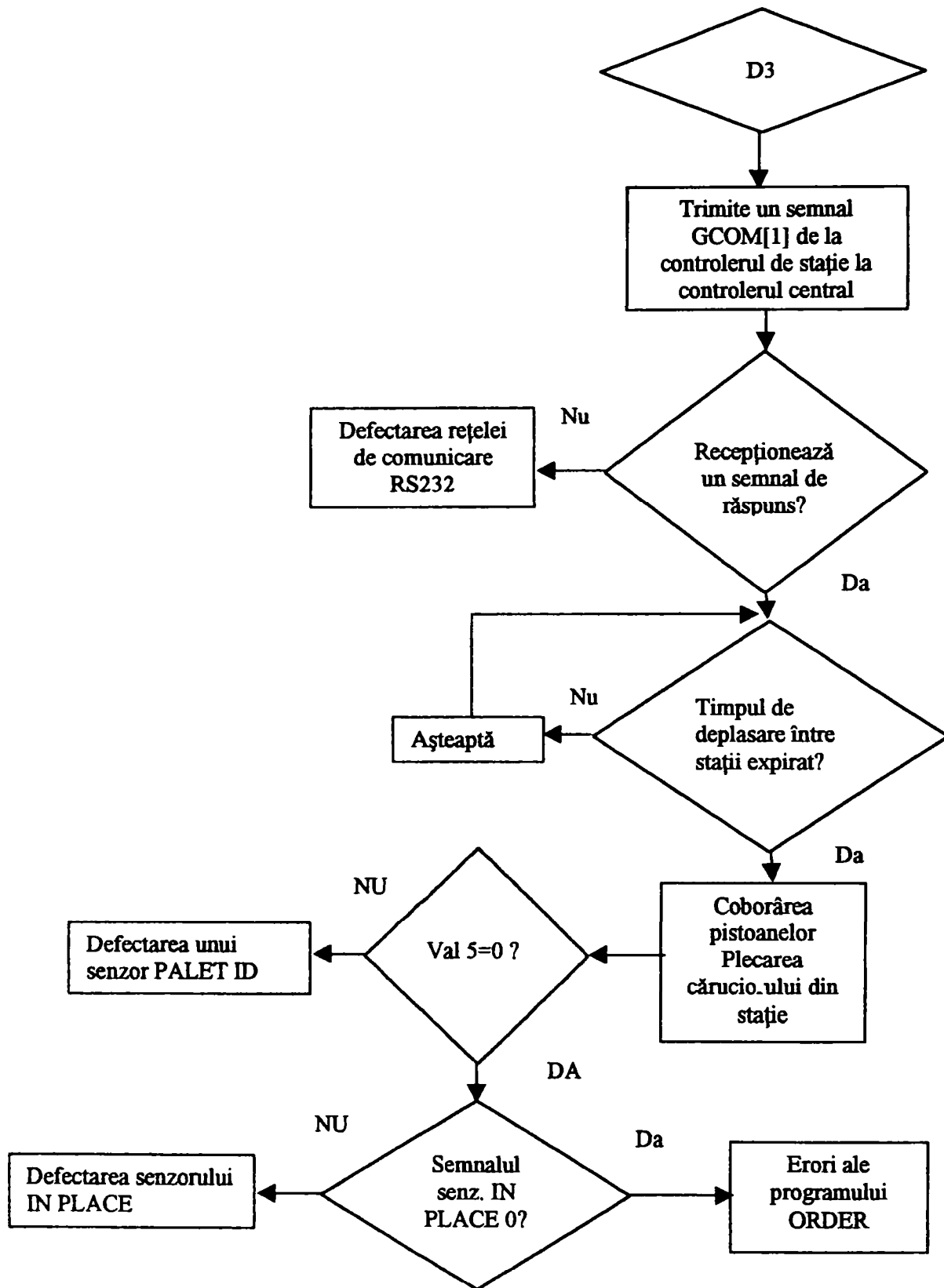


Figura 6.9 b. Ordinograma de identificare a cauzelor simptomelor D3 (b)

```

OPEN
SET DPD=ENC[6]
CLOSE
SET DPI=ENC[6]
  IF DPD<-1800
    AND IF DPI>-1600
      CLOSE
      MOVELD CIM[52]
      GOTO 1
    ELSE
      GOSUB LON
  END IF
ENDIF
LABEL 1
OPEN
... ..

```

Această porțiune de program are structura în conformitate cu ordinograma prezentată în figura 6.2 b. Pentru experimentarea funcționării sistemului de monitorizare operațională automată ar trebui instalați senzorii suplimentari propuși și ar fi necesar să se producă toate disfuncționalitățile menționate în acest capitol.

Din experiența proprie a autoarei de 5 ani de utilizare a sistemul CIM Eshed Robotec în cadrul lucrărilor de laborator cu studenții și de asemenea din schimburi de experiență cu utilizatori de asemenea sisteme din cadrul Universităților Craiova, Târgoviște și București, defecțiunile echipamentelor s-au încadrat în categoria de:

- pierderi de memorie RAM din controlere;
- defectări (arderii) ale motorului de acționare a unei axe comandate a robotului ER VII;
- defectarea unui canal de INPUT[9] la controlerul stației de frezare;
- defectarea cablului de legătură între controlerul de stație și panoul de învățare.

Perioada relativ scurtă, comparativ cu o durată medie între defecțiuni (TMD) a unui sistem de categoria sistemului CIM Eshed Robotec, nu permite încă experimentarea unei palete mai largi de defecțiuni.

7. Principalele contribuții personale și concluzii finale

În elaborarea tezei de doctorat s-au adus următoarele contribuții personale în plan teoretic:

In capitolul 4, subcapitolul 4.1. de analiză a sarcinii de fabricație a unui SFF

- analiza atributelor de flexibilitate a componentelor SFF și sesizarea importanței corelării acestor atribute cu cerințele de flexibilitate impuse de sarcina de fabricație;

- concepția și utilizarea matricii de legătură pentru determinarea atributelor de flexibilitate ale componentelor SFF în funcție de cerințele de flexibilitate ale sarcinii de fabricație;
- realizarea unui model de raționament logic al limitării sarcinii de fabricație din spectrul de piese al temei de proiect prin utilizarea tehnologiei de grup;
- stabilirea unei clasificări ale pieselor care să fie utilizată în aplicarea tehnologiei de grup adecvate sintezei SFF;
- aplicarea unei metode matriciale în probleme ale tehnologiei de grup;
- elaborarea mai multor modele de programare matematică pentru optimizarea dimensională a prisme cu role reglabile și a paletei de transfer.

In subcapitolul 4.2. de sinteză structurală a SFF:

- introducerea noțiunii de stație de lucru pentru definirea unitară a modulului, celulei, liniei, sistemului și atelierului de fabricație flexibilă;
- stabilirea criteriilor decizionale de alegere a echipamentului;
- elaborarea unui model de decizie a numărului total de mașini de lucru în SFF;
- sistematizarea criteriilor de adecvare a componentelor SFF de manipulare, depozitare, transfer lung în vederea alegerii tipului de echipament;
- stabilirea formulelor de calcul a numărului de piese necesare în depozitul SFF;
- analiza corelațiilor între dimensiunile depozitului carusel și dimensiunile și numărul de palete de transfer din acesta;
- elaborarea unui program de stabilire a structurii unui SFF;

In subcapitolul 4.3. de sinteză a planului de amplasament al unui SFF:

- introducerea unor noțiuni teoretice necesare sintezei planului de amplasament;
- elaborarea unui model unitar de optimizare a sintezei planului de amplasament al SFF;
- realizarea unei aplicații a modelului de optimizare;
- stabilirea etapelor de sinteză a planului de amplasament;

In subcapitolul 4.4. de sinteză a ciclogramelor de funcționare:

- clasificarea activităților subsistemului de manipulare în funcție corelarea temporală a desfășurării acestora;
- realizarea minimizării timpului de manipulare de către robot a obiectului de lucru între o situație inițială și finală prin determinarea valorii optime a coeficientului de accelerare;

- reducerea amplitudinilor mișcărilor “parazite” ale punctului caracteristic al obiectului manipulat;
- limitarea intensității rezultantei forței masice care acționează asupra obiectului de lucru;
- clasificarea componentelor de manipulare în funcție de caracterul de simultaneitate a desfășurării activităților acestora cu operația de prelucrare;
- realizarea unui model unitar de verificare a capacității productive a componentei de manipulare în vederea stabilirii numărului de mașini servite în SFF și numărului de elemente active ale dispozitivului de transfer lung;
- realizarea unui program de optimizare a ciclogramei de funcționare;
- realizarea unui program de determinare a parametrilor de performanță a SFF în funcție de ordinea de intrare a pieselor în sistem;
- stabilirea protocoalelor de condiționare a succesiunii activităților subsistemului de manipulare.

In capitolul 5, de modelare a SFF și simulare a funcționării acestora pe calculator:

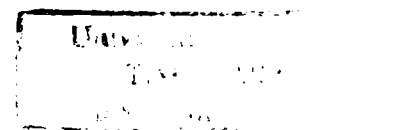
- stabilirea elementelor modelului unitar de simulare a funcționării SFF;
- elaborarea modelor unitare pentru variante de echipamente cu aceleași funcții în SFF;
- realizarea unui model al protocoalelor optime de funcționare pentru depozitul central, dispozitive de transfer lung și roboți cu poliservire;
- stabilirea unui model unitar de evaluare a parametrilor de performanță ai sistemului.

In capitolul 6 de monitorizare și diagnoză operațională automată:

- stabilirea etapelor sintezei sistemului de monitorizare și diagnoză operațională;
- cunoașterea și analiza facilităților de supraveghere a funcționării sistemului CIM-ER;
- sinteza unui sistem de monitorizare și diagnoză operațională automată a sistemului CIM-ER.

In cadrul procesului de elaborare al tezei de doctorat s-au relizat următoarele experimente ale căror concluzii au fost precizate în lucrare:

- experimentarea modelului programării matematice liniare pentru optimizarea dimensională a prisme cu role reglabile și a paletii de transfer;
- aplicarea modelului de optimizare a manipulării de către robot a unui obiect de lucru pentru un studiu de caz concret;



- experimentări ale programului de optimizare a ciclogramei de funcționare;
- experimentări ale programului de determinări a performanțelor sistemului în funcție de ordinea de intrare a pieselor în sistem;
- realizarea unor studii de caz ale optimizării ciclogramelor de funcționare;
- introducerea protocolului “timpul rămas de prelucrare” în programele de utilizator ale stației de frezare a sistemului CIM-ER;
- experimentări ale funcționării sistemului CIM-ER pentru diferite sarcini de fabricație;
- observări ale funcționării sistemului CIM-ER pentru a detecta defecțiuni și erori în funcționare;
- modificări ale programelor de utilizator pentru o monitorizare operațională automată riguroasă a sistemului CIM-ER.

În concluzie, se poate afirma că optimizarea sintezei și funcționării SFF pentru prelucrări prin aşchiere/eroziune este o sumă de probleme punctuale, cu caracter specific, care se rezolvă prin metode diferite și adecvate.

În această lucrare, punctul de greutate al preocupărilor a constituit optimizarea sintezei și funcționării subsistemului de manipulare, pentru că în acest domeniu contribuția creatoare a inginerului de sistem sau a utilizatorului poate aduce îmbunătățiri substanțiale în performanța SFF. Modelele elaborate au un caracter generalizant, din acest motiv, se afirmă că rezolvarea optimizării în cazul sistemelor de prelucrare prin aşchiere/eroziune se poate aplica și în alte domenii ale tehnologiei în totalitate, cum este, de exemplu, injecția maselor plastice, sau parțial, așa cum este asamblare flexibilă automată.

Se reafirmă cu tărie că introducerea automatizării flexibile, pentru producții de serie mică și mijlocie, în industria noastră, este una din șansele de redresare a economiei care nu trebuie irosită.

8. Bibliografie

- [Ach'83] Achimescu, N., Popa, H., Paulescu, G., **Prelucrarea prin eroziune în construcția de mașini**, Editura Facla, 1983
- [Abr'96] Abrudan, I., **Sisteme flexibile de fabricație-concepte de proiectare și management**, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996
- [Ayr'92] Ayres, R.U., Haywood, W., Tchijov, I. **Computer Integrated Manufacturing**, vol.I-IV. Chapman Hall, 1992

- [Bar'88] Bartz, J., ș.a., **Fruediagnose von Schaeden an Maschinen und Maschinenanlage. Moderne Verfahren zur Diagnose und Analyze von Schaeden**, Expert Verlag, 1988
- [Băj'97] Băjenescu, T., **Fiabilitatea, disponibilitatea și mentenanța sistemelor electronice complexe**, Editura de Vest, Timișoara, 1997
- [Ben'91] Benchimol, G., Verlinde, Ch., **Methode d'automatisation industrielle**, Hermes, 1991
- [Bie'94] Biedermann, H., **Beschaffung-Disposition-Organisation**, VDI Verlag, 1994
- [Bie'93] Biekert, R., **CIM technology: Fundamentals and Applications**, The Goodheart-Willcox Company, INC Publishers, Illinois, 1993
- [Bră'96] Brăgaru, A., Picoș, C., Ivan, N., **Optimizarea proceselor și echipamentelor tehnologice**, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996
- [Bre'93] Breitnecker, F., Probst, R. **Simulation in CIM und Robotics**. Internationaler Sommerkurs, Krems 1993
- [Bru'96] Brun-Picard, D., **Architecture decentralisee et integree pour la commande des machines et la pilotage des ateliers**, Module d'enseignement francophone, București, 1996
- [Buz'93] Buzatu, C-tin. s.a. **Sisteme flexibile de prelucrări prin așchiere**, Editura Tehnică, 1993
- [Căl'88] Călin, S., Popescu, T., s.a. **Conducerea adaptivă și flexibilă a proceselor industriale**, Editura Tehnică, București, 1988
- [Car'89] Carrie, A. **Simulation of Manufacturing Systems**. IFS Publishers, Bedford, England, 1989
- [Coj'85] Cojocaru, G., Kovacs, Fr. **Roboții în acțiune. Sisteme flexibile și fabricația de serie**. Editura Facla, Timișoara, 1985
- [Coj'86] Cojocaru, G., Kovacs, Fr. **Roboții în acțiune. Probleme ale sintezei sistemelor de fabricație flexibilă**. Editura Facla, Timișoara, 1986
- [Cha'92] Chandrasekharan, M.P., **An Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacturing**, Journal of Manufacturing Systems, 1992
- [Cug'82] Cugy, A., Meunier, J-F., **Les robots de production et de manutention-stockage**, Hermes Publishing, 1982
- [Dră'94] Drăgulescu, D., Toth-Tașcău, M., Moldovan, F., **Planificarea mișcării roboților industriali**, Editura Helicon, Timișoara, 1994
- [Dre'99] Dreucean, M., F., **Optimizarea fluxului de materiale și informații în sisteme de fabricație flexibilă**, Teză de doctorat, 1999
- [Dwy'91] Dwyer, J, Ioannou, A., **Les reseaux locaux industriels MAP/TOP**, Editure Masson 1991 Paris, Milan, Bonn
- [Edn'91] Edney, B., **Computer Aided Engineering for Mechanical Engineers**, Prentice Hall, International LTD., 1991
- [Eng'82] Engelberger, J.F., **Industrieroboter in der praktischen Anwendung**, Carl Hansen Verlag, 1982
- [Fra'75] Frank, H-E. **Handhabungs-einrichtungen**, Otto Krausskopf-Verlag GmbH, Mainz, 1975
- [Fre'93] Freyermuth Bernd, **Wiessenbasierte Fehlerdiagnose am Beispiel eines Industrieroboter**, VDI Verlag, 1993

- [Gaf'89] Gafițanu M., Cretu S., Drăgan B., **Diagnosticarea vibroacustică a mașinilor și utilajelor**, Editura Tehnică, București, 1989
- [Gra'88] Graham, G., **Automation Encyclopedia**, Society of Manufacturing Engineers, Michigan, 1988
- [Gri'94] Grigorescu, S., **Elaborarea concepției de ansamblu a unui sistem de fabricație flexibilă**, Volumele Celui de-al 10-lea Simpozion Național de Roboți Industriali Timișoara 1994
- [Gri'96] Grigorescu, S., **Modelarea conducerii și funcționării sistemelor de fabricație flexibilă**, Volumele Celui de-al 11-lea Simpozion Național de Roboți Industriali Reșița 1996
- [Gri'97] Grigorescu, S., **Automated Diagnosis of Flexible Manufacturing Systems**, Volumele celui de-al 7-lea Syrom '97 București The Seventh IFToMM International Symposium on Linkages and Computer Design Methods Theory and Practice of Mechanisms
- [Gri'98] Grigorescu, S., Popeanu, R., Creț, C., **Optimizarea proiectării unor dispozitive de situare a pieselor în sistemele de fabricație flexibilă**, Volumele celui de-al XIV Simpozion Național de Robotică, Brașov
- [Gu'89] Gu, P., Maraghy, H. A., **Formation of Manufacturing Cells by Cluster-Seeking Algorithms**, Journal of Mechanical Working Technology, 1989
- [Ham'92] Hammer, H., **Nutzungsgrad flexibler Fertigungssysteme abhaengig vom Bedien- und Servicepersonal**, Werkstatt und Betrieb 125 (1992)
- [Hoc'86] Kochan, A., Cowan, D. **Implementing CIM.**, IFS Ltd, U K, Springer-Verlag, 1986
- [Ion'82] Ionescu, T., **Sisteme și echipamente pentru conducerea proceselor**. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [Joc'90] Jockovic, M., Vukobratovic, M. **An Approach to the Modeling of the Highest Control Level of Flexible Manufacturing Cell**, Robotica (1990) vol.8.
- [Koe'93] Koelzl, J., **CIM-Konzept eines Oesterreichischen Mittelbetriebes.**, Internationaler Sommerkurs, Krems, Austria, 1993
- [Kop'93] Kopacek, P., **Einfuehrung in CIM.**, Internationaler Sommerkurs, Krems, Austria, 1993
- [Kov'82] Kovacs, Fr., Cojocaru, G. **Manipulatoare, roboți și aplicațiile lor industriale**. Editura Facla, Timișoara, 1982
- [Kov'88] Kovacs, Fr., **Unele probleme ale strategiei de implementare a sistemelor de fabricație flexibilă robotizate**. Lucrările celui de-al 8-lea Simpozion Național de Roboți Industriali, Cluj-Napoca, 1988
- [Kov'91] Kovacs, Fr., **Robotica și fabrica viitorului**, Lucrările MERO'91, București, 1991
- [Kov'91p] Kovacs, Fr., **Implementation of FMS in Eastern European Countries**, Proceedings MELCON, Ljubljana, 1991
- [[Kov'92] Kovacs, Fr., Rădulescu, C., **Roboți industriali.**, vol. I și II, Centru de multiplicare al Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1992
- [Kov'92p] Kovacs, Fr., Grigorescu, S., **Fabrica integral computerizată - o abordare sintetică**, Lucrările celui de-al 11-lea Simpozion Național de Roboți Industriali, Timișoara, 1992
- [Kov'93] Kovacs, Fr., **On Synthesis of FMS/FAS**, Proceedings of First Conference in Heavy

- Industry, Krusevac, 1993
- [Kov'94] Kovacs, Fr., Grigorescu, S., Rădulescu, C. **Sisteme de fabricație flexibilă robotizate**, Centrul de multiplicare al Universității Tehnice Timișoara, 1994
- [Kov'94p] Kovacs, Fr., **Tendințe noi în dezvoltarea producției și posibilitățile de aplicare ale acestora în România**, Lucrările celui de-al 12-lea Simpozion Național de Roboți Industriali, Timișoara, 1994
- [Kov'94pp] Kovacs, Fr., **Global Synthesis and Detail Synthesis of FMS/FAS**, Proceedings of Second Anglo-Ungarian Conference on Mechatronics, Budapest, 1994
- [Kov'95] Kovacs, Fr., **On Social Impact of Robotics in Romania**, Proceedings of First International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Automation, Athens, 1995
- [Kov'96] Kovacs, Fr. Grigorescu, S. **Sisteme de fabricație flexibilă robotizate**, Lucrări de laborator, Centrul de multiplicare al Universității "Politehnice" Timișoara, 1996
- [Kov'97] Kovacs, Fr., **"The Robotic Family"**, Lucrările Syrom, București, 1997
- [Kov'98] Kovacs, Fr., **Fabrica virtuală**, Lucrările Simpozionului Național Robotică'98 Brașov, 1998
- [Kov-Gr'99] Kovacs, Fr., Grigorescu, S., **Optimizarea manipulării de către robotul industrial a obiectului de lucru între o situație inițială și finală a acestuia**, revista Robotica și Management, iunie, 1999
- [Kov'99] Kovacs, Fr., Tusz, Fr., Varga, St., **Fabrica viitorului**, Editura Multimedia International, Arad, 1999
- [Kus'86] Kusiak, A. **Artificial Intelligence Implications for CIM**, Springer Verlag, 1986
- [Lop'98] Lopez, P., **Ordonancement**, Les Cahiers des Enseignements Francophones en Timișoara, 1998
- [Lan-Fl'91] Lange, V., **Wissensbasierte Konfigurierung von Fertigungsanlagen mit FLEXPERT**. VDI-Z 133, 1991
- [Lan'91] Lange, V. **Analyse flexibler Fertigungsanlagen fuer rotationssymmetrische Werkstuecke**. Carl Hanser Verlag, Muenchen, 1991
- [Lec'87] Lecocq, P., Guiot, T., **A Knowledge-Based System for on-line Planning and real-time Control of FMS**, The 6-th International Conference on Flexible Manufacturing Systems, Torino, 1987
- [May'75] Maynard, H., B., **Manual de inginerie industrială**, vol. 1-4, Editura Tehnică, 1975
- [MDE'78] **Mic dicționar enciclopedic**, Editura Științifică și Enciclopedică, 1978
- [Mis'89] Miska, F., **CIM-Computer integrierte Fertigung, Konzepte, Planung, Realisierung**, Moderne Industrie Verlag, 1989
- [Mit'62] Mitrofanov, S., P., **Tehnologia de grup în construcția de mașini**, Editura Tehnică, București 1962
- [Moc'96] Mocuța, G., Grigorescu, S., **Optimizarea manipulării obiectului de lucru în sistemele de fabricație flexibilă**, Proceedings of the scientific communications meeting of "Aurel Vlaicu" University Arad 16-17 May 1996
- [Nau'87] Nau, D., S., Chang, T., C., **Hierarchical Representation of Problem-Solving Knowledge in a Frame-Based Process Planning System**, ASME Meeting, California, 1987

- [Nof'92] Nof, S. **Handbook of Industrial Robotics.**, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1992
- [Opr'98] Opruța, D., **CIM, proiectarea, modelarea, simularea sistemelor flexibile de fabricație.** Editura Quo Vadis, Cluj Napoca, 1998
- [Ola'97] Olaru, M.P., **Optimizarea tehnologică la prelucrarea prin eroziune electrică cu electrod masiv,** Teză de doctorat, 1997
- [Pău'98] Păunescu, T., **Celule flexibile de prelucrare-modelare simulare și optimizare,** Editura Universității "Transilvania" din Brașov, 1998
- [Pri'89] Pritschow, G., Spur, G., Weck, M., **Kuenstliche Intelligenz in der Fertigungstechnik,** Carl Hanser Verlag, Muenchen, Wien, 1989
- [Ran'85] Ranky, P., G., Ho, C., Y., **Robot Modelling. Control and Application with Software,** Springer-Verlag, 1985
- [Rop'71] Ropohl, G. **Flexible Fertigungssysteme.**, Krausskopf, Stuttgart, 1971
- [Roș'82] Roșculet, S., s.a. **Proiectarea dispozitivelor.** Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [Rob'95] Robu, N. **Soluții privind modelarea, conducerea și programarea în fabricația integrată prin calculator,** rezumat teză de doctorat, 1995
- [Sav'97] Savii, G., **Grafica 3D pe calculatoare PC,** Presa Universitară Română 1997
- [Sav'98] Savii, G., **Preliminary Computer Aided Design Using Fuzzy Logic,** Buletinul Științific al Universității "Politehnica" Timișoara, 1998
- [Sav-Ba'97] Savii, G., **Bazele proiectării asistate de calculator,** Editura Mirton, 1997
- [Sny'85] Snyder, W., **Industrial Robots. Computer Interfacing and Control,** Prentice-Hall Int., 1985
- [Stă'79] Stănescu, I., Tache, V. **Dispozitive pentru mașini unelte. Proiectare și construcție.** Editura Tehnică, București, 1979
- [Sto-Si'91] Stokic, D., Vukobratovic, M. **Simulation of Robots in Flexible Manufacturing Cells,** Robotics și CIM, vol. 8, 1991
- [Sto'91] Stokic, D., Vukobratovic, M. **Program Package for simulation and development of Flexible Manufacturing Cells,** Robotics și CIM, vol. 8, 1991
- [Spr'78] Sprînceană N., Dobrescu R., Borangiu Th., **Automatizări discrete în industrie,** Editura Tehnică, București, 1978
- [Spu-Fa'94] Spur G., Stoeferle Th., **Fabrikbetrieb,** Carl Hanser Verlag Muenchen Wien, 1994
- [Spu'94] Spur G., Stoeferle Th., **Fügen, Handhaben, Montieren,** Carl Hanser Verlag München Wien, 1994
- [Sur'83] Suri, R., **Robustness of Queuing Network Formulas,** Jurnal of the Association for Computing Machinery, 1983
- [Tav'88] Tavalage, J., **Flexible Manufacturing System in Practice.**, Addison-Wesley Reading, MA, 1988
- [Tet'90] Tetzlaff, U., A., W. **Optimal Design of Flexible Manufacturing Systems,** Physica Verlag, Heidelberg, 1990
- [Ton'90] Tonshoff, H. K. s.a. **Wissenbasierte Planung von flexiblen Fertigungsanlagen,** Carl Hanser Verlag, Muenchen, 1990
- [Ton'92] Tonshoff, H. K. und Lange, V. **Fertigungsanlagen wissensbasiert entwerfen.** Carl

- Hanser Verlag, Muenchen, 1992
- [Var'96] Varga, St., Varga, G., **Flexibilizarea unei mașini automate de sudat țevi**, Lucrările celui de-al 13-lea Simpozion Național de Roboți Industriali, Reșița, 1996
- [Văc'98] Văcărescu, V., Văcărescu, I.N., **Roboți Industriali. Performanțe și testare**, Editura Mirton, Timișoara, 1998
- [Vuk'92] Vukobratovic, M., Stokic, D. **Educational Training Software for Modelling and Synthesis of Controlers for Robotic Manipulators and Robotized Manufacturing Cells**. Robotics and CIM, vol.9 1992
- [War'90] Warnecke, H., J., Schraft, R., D., **Industrieroboter. Handbuch fuer Industrie und Wissenschaft.**, Springer Verlag, 1990
- [War'83] Warnecke, H., J., Schraft, R. **Industrieroboter**, Krausskopf-Verlag, GmbH, Mainz, 1983
- [War'95] Warnecke, H-J., **Der Produktionsbetrieb, Organisation, Produkt, Planung**, vol.3, Springer Verlag, 1995
- [Wek'91] Weck, M. **Simulation in CIM**, Springer-Verlag Verlag TUV Rheinland, 1991
- [Wu'86] Wu, H., L., Venugopal, R., **Design of a Cellular Manufacturing System: A Syntactic Pattern Recognition Approach**, Journal of Manufacturing System, 1986
- [Zei'93] Zeichen, G. **Flexiblen Fertigungssystemen, Prozessleittechnik**, Vorlessungen in Technische Universitaet Wien, 1993
- , **Werkstueckspannsystem H im Einsatz**, prospect al firmei Hirschmann
- , **Decade of Robotics**, IFS Publishers, Bedford, 1983
- , User Manual of CIM System Eshed Robotec
- , **System 3R**, prospect al firmelor Brandfellner and Slupetzky și System 3R AG
- , **Concepția strategică de dezvoltare economică și socială a zonei Timișoara**, colectiv de autori, Editura Brumar, 2000

Universitatea "Politehnica" din Timisoara

**OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE FABRICATIE FLEXIBILA
PENTRU PRELUCRARI PRIN ASCHIERE/EROZIUNE**

Anexele tezei de doctorat

Autor:

ing. Sanda Margareta Grigorescu

Conducător științific

Prof. Dr. ing. Dr. h. c. Francisc V. Kovács

2000

Cuprins

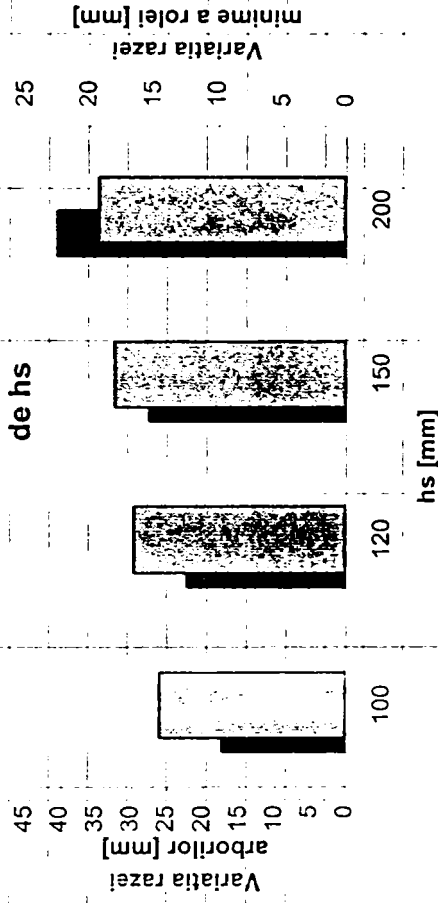
	Pagina
Capitolul 4.1.	
Calcul pentru optimizarea dimensională a prisme cu role reglabile	1
Calcul pentru optimizarea dimensională a paletei de depozitare	7
Capitolul 4.2.	
Listingul programului "Selectar" pentru stabilirea structurii SFF	10
Capitolul 4.4.	
Optimizarea manipulării de către robot a obiectului de lucru între o situație inițială și finală	32
Maximizarea simultaneității activităților subsistemului de manipulare cu operațiile subsistemului de prelucrare	42
Listingul programului "Ordonan"	49

Valorile lui delta R la variatia elementelor constructive ale prisme cu role reglabile

1. Variatia lui hs conform notatiilor din figura 4.1.11 (c-p 4.1, pag.84 din teza)

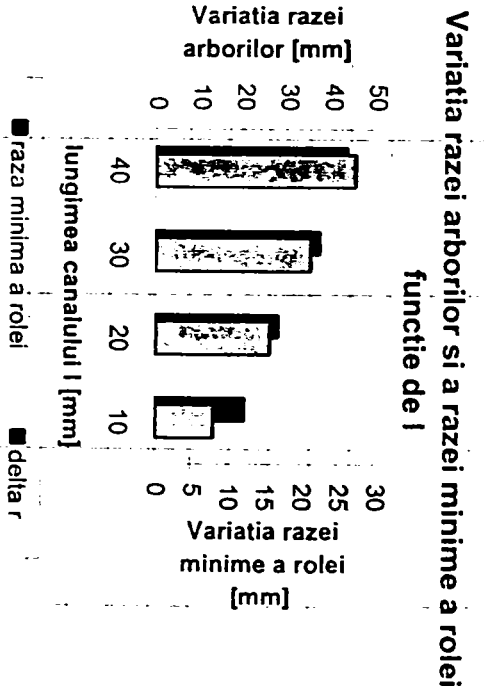
100 a) hs	R max	1585.673 AB	conform notatiilor din figura 4.1.11 (c-p 4.1, pag.84 din teza)
30 h2	R min	1470.674 OB	
20 l2	58.25728	17.51686	romin=raza minima a rolei
25 l	delta r		
1.047198 beta rad	14.54382	16.5126	18.0751
60 beta			19.3048
0.523599 alfa/2	17.51686	22.34081	27.64624
	100	120	150
120 b) hs	R max	92.19544	1704.419 AB
30 h2	R min	75.6828	3175.251 OB
20 l2	delta r	22.34081	romin
25 l			r min a rolei
1.047198 beta rad	16.51265		
60 beta			
150 c) hs	R max	121.6553	1890.577 AB
30 h2	R min	6947.117	OB
20 l2	103.5802	27.64624	romin=raza
25 l	delta r		min a rolei
1.047198 beta rad	18.0751		
60 beta			
200 d) hs	R max	171.1724	578.2585 AB
30 h2	R min	16473.56	OB
20 l2	151.8677	40.58982	romin=raza minima a rolei
25 l	delta r		
1.047198 beta rad	19.30477		
60 beta			

Variatia razei arborilor si a razei minime a rolei functie de hs



■ raza minima a rolei □ delta r

150 a) hs 30 h2 20 I2 40 I	R max 121.6553 R min 94.26641 delta r 27.38884	1133.013 AB 4950.387 OB 43.6591 romin=raza minima a rolei			
1.047198 beta rad 60 beta	R max 121.6553 R min 100.3226 delta r 21.33269	821.4102 AB 6244.04 OB 37.59902 romin=raza minima a rolei			
150 b) hs 30 h2 20 I2 30 I	R max 120.4159 R min 104.6092 delta r 15.80678	21.333 AB 37.599 OB 27.42401 romin=raza minima a rolei	40 30 20	10 I	
1.047198 beta rad 60 beta	R max 120.4159 R min 112.3456 delta r 8.070323	675 AB 9281.347 OB 20.63445 romin=raza minima a rolei			
150 c) hs 30 h2 10 I2 20 I	R max 120.4159 R min 104.6092 delta r 15.80678	21.333 AB 37.599 OB 27.42401 romin=raza minima a rolei	40 30 20	10 I	
1.047198 beta rad 60 beta	R max 120.4159 R min 112.3456 delta r 8.070323	675 AB 9281.347 OB 20.63445 romin=raza minima a rolei			



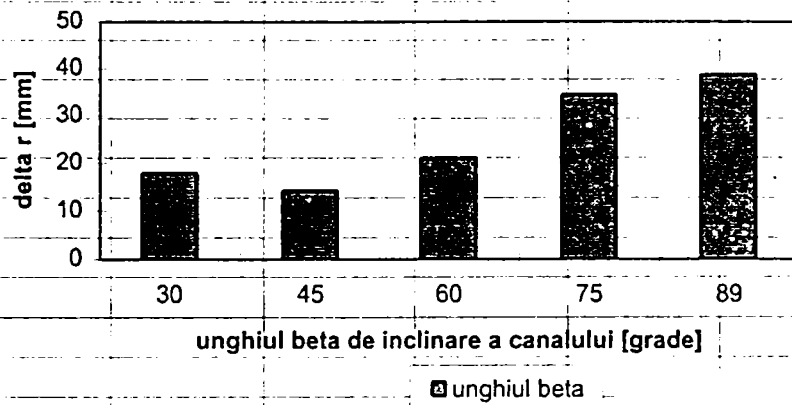
Optimizarea variatiei razei arborilor prin schimbarea unghiului

beta la prisma cu role reglabile

conform notatiilor din figura 4.1.11 (cap 4.1, pag.84 din te

alfa=120	r max				
200 hs	152.9706				
50 h2	r min				
30 l2	134.951				
40 l	delta r				
0.785398 beta rad	18.01958	14.37465	21.03965	34.522	38.76151
	30	45	60	75	89
45 beta					

Variatia razei arborilor functie de unghiul beta



alfa=90	r max
200 hs	152.9706
50 h2	r min
30 l2	134.9509
40 l	delta r
0.7854 beta rad	18.01965
45.00011 beta	

optimizarea lui delta r prin schimbarea lui hs, h2, l2, l, beta

alfa=60	r max
200 hs	152.9706
50 h2	r min
30 l2	131.9309
30 l	delta r
1.0472 beta rad	21.03971
60.00014 beta	

optimizarea lui delta r prin schimbarea lui hs, h2, l2, l, beta

alfa=25	r max
200 hs	152.9706
50 h2	r min
30 l2	118.4485
40 l	delta r
1.308997 beta rad	34.52205
75 beta	

optimizarea lui delta r prin schimbarea lui hs, h2, l2, l, beta

alfa=25	r max
200 hs	152.9706
50 h2	r min
30 l2	114.2091
40 l	delta r
1.553343 beta rad	38.76151
89 beta	

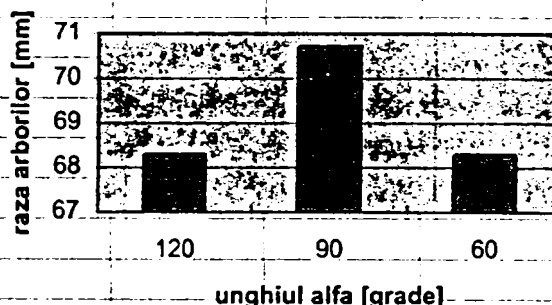
Optimizarea variatiei razei arborilor functie de unghiul alfa si hs-hv la prisma cu bacuri reglabile

200 hs	70.71068		
160 h	R	conform notatiilor din figura 4.1.11 (cap 4.1, pag.84 din teza)	
150 hv			
100 l			
1.57079632 alfa rad	90.00265 alfa grade		
50 g			

Variatia razei arborelui cu unghiul alfa

		120	90	60
200 hs	68.30127	70.71068	68.30127	
160 h	R			
150 hv				
100 l				
2.0943951 alfa rad	120.0035 alfa grade			
50 g				
200 hs	68.30127			
160 h	R			
150 hv				
100 l				

Variatia razei arborilor cu unghiul alfa

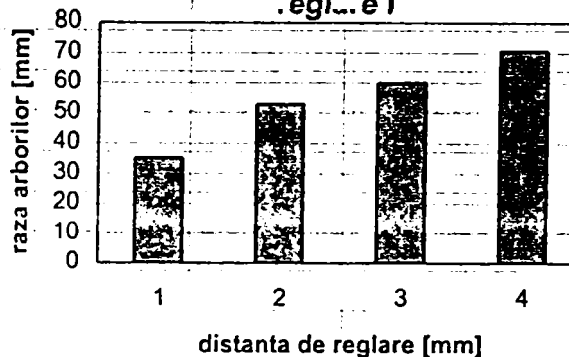


1.04719755 alfa rad	60.00177 alfa grade
50 g	

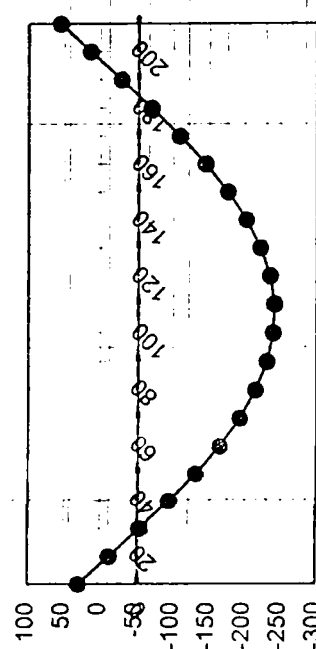
Variatia razei arborelui cu distanta l de reglare pentru unghiul alfa optim 90

		70			
200 hs	60.10408				
160 h	R				
150 hv					
70 l					
1.57079633 alfa rad	90.00265 alfa grade				
50 g					
200 hs	53.03301				
160 h	R				
150 hv					
50 l					
1.57079633 alfa rad	90.00265 alfa grade				
50 g					
		0	50	70	100
200 hs	35.35534	53.03301	60.10408	70.71068	
160 h	R				
150 hv					
0 l					
1.57079633 alfa rad	90.00265				
50 g					

Variatia razei arborilor cu distanta de reglare



Determinarea unghiului beta pentru R1 si R2 dat												
Parametrii caracteristici conform notatiilor din figura 4.1.11 (cap 4.1, pag.84 din teza)												
R2	50	Y	11900	beta	beta gra	sinb	a*sinb	b	cosb	b*cosb	c	
R1	120	-70		0	0	240	0	28.78	1	28.77868	28.77868	
a	28.77868			0.174533	10	240	0.173648	28.78	0.984808	28.34147	-13.33409	-52.58613
c	-52.58613			0.349066	20	240	0.34202	28.78	0.939693	27.04312	-55.04172	-52.58613
hs	150	x	120	0.523599	30	240	0.5	28.78	0.866025	24.92307	-95.07693	-52.58613
h2	30			0.698132	40	240	0.642788	28.78	0.766044	22.04575	-132.2233	-52.58613
l2	14.38934		28799.7934	0.872665	50	240	0.766044	28.78	0.642788	18.49858	-165.3521	-52.58613
	138.5041		-0.206597963	1.047198	60	240	0.866025	28.78	0.5	14.38934	-193.4568	-52.58613
b*cosb-a*sinb	19.03882			1.22173	70	240	0.939693	28.78	0.34202	9.842889	-215.6833	-52.58613
beta	0.040496	var de decizie	2.320222	1.396263	80	240	0.984808	28.78	0.173648	4.997366	-231.3565	-52.58613
sinb	0.040484		1.570796327	1.570796	90	240	1	28.78	6.13E-17	1.76E-15	-240	-52.58613
cosb	0.99918			1.745329	100	240	0.984808	28.78	-0.173648	-4.997366	-241.3512	-52.58613
delta	235.9299		55662.91201	1.919862	110	240	0.939693	28.78	-0.34202	-9.842889	-235.3691	-52.58613
beta1	0.338645		19.40295289	2.094395	120	240	0.866025	28.78	-0.5	-14.38934	-222.2354	-52.58613
beta2	3.04163		174.2725601	2.268928	130	240	0.766044	28.78	-0.642788	-18.49858	-202.3492	-52.58613
c	-52.58613			2.443461	140	240	0.642788	28.78	-0.766044	-22.04575	-176.3148	-52.58613
				2.617994	150	240	0.5	28.78	-0.866025	-24.92307	-144.9231	-52.58613
				2.792527	160	240	0.34202	28.78	-0.939693	-27.04312	-109.128	-52.58613
				2.96706	170	240	0.173648	28.78	-0.984808	-28.34147	-70.01703	-52.58613
				3.141593	180	240	1.45E-15	28.78	-1	-28.77868	-28.77868	-52.58613
				3.316126	190	240	-0.173648	28.78	-0.984808	-28.34147	13.33409	-52.58613
				3.490659	200	240	-0.34202	28.78	-0.939693	-27.04312	55.04172	-52.58613



Modelarea prin programare matematica a dimensiunilor paletii de depozitare									
Parametrii caracteristici			Variabile de decizie			Constrangeri			
conform notatiilor din fig.4.1.12. Pag. 87 din teza									
piesa 1			randuri de gauri pe x n			5	Lungimea	91.18957	
Lung 1	90.5		randuri de gauri pe y m			3	latimea	50.62887	
lat 1	50		unghiul alfa			0.0291	0.785398	1.667281	alfa grade
pasul			20 razele celor patru stifturi r			3.8	r1		
						4.35	r2		
stifturi						5	r3		
raza1	7.5					3.8	r4		
raza2	6.25		Functia obiectiv				x	0.582155	
raza3	5.65		160				y	1.746466	
raza4	5						+r1+r4	58.22887	
raza5	4.35						L+r2+r3	100.5396	
raza6	3.8								
Parametrii caracteristici			Variabile de decizie			Constrangeri			
piesa 2			randuri de gauri pe x n			4	Lungimea	70.41611	
Lung 2	70		randuri de gauri pe y m			3	latimea	51.51572	
lat 2	51.5		unghiul alfa			0.021754	0.785398	1.246396	alfa grade
pasul			20 razele celor patru stifturi r			3.8	r1		
						5.65	r2		
stifturi						4.35	r3		
raza1	7.5					3.8	r4		
raza2	6.25		Functia obiectiv				x	0.435143	
raza3	5.65		140				y	0.870286	
raza4	5						+r1+r4	59.11572	
raza5	4.35						L+r2+r3	80.41611	
raza6	3.8								
Parametrii caracteristici			Variabile de decizie			Constrangeri			
piesa 3			randuri de gauri pe x n			3	Lungimea	51.02402	
Lung 3	50.1		randuri de gauri pe y m			3	latimea	50.23695	
lat 3	50.1		unghiul alfa			0.094819	0.785398	5.432711	alfa grade
pasul			20 razele celor patru stifturi r			3.8	r1		
						6.25	r2		
stifturi						4.35	r3		
raza1	7.5					3.8	r4		
raza2	6.25		Functia obiectiv				x	1.902078	
raza3	5.65		120				y	1.902078	
raza4	5						+r1+r4	57.83695	
raza5	4.35						L+r2+r3	61.62402	
raza6	3.8								
Paleta de depozitare									
Lp	lp	n	pasul		20				
			m						
	250	300	12	15					
nr de piese de tip 1			2	5	10	nr de piese de tip 3	20		
nr de piese de tip 2			3	5	15	4	5		

Modelarea prin programare matematica a dimensiunilor paletii de depozitare									
Parametrii caracteristici			Variabile de decizie			Constrangeri			
conform notatiilor din fig.4.1.12. pag. 87 din teza									
piesa 1			randuri de gauri pe x n			4	Lungimea	91.51466	
Lung 1			90.5 randuri de gauri pe y m			4	latimea	51.60823	
lat 1			50 unghiul alfa			0.434241	0.785398	24.88018 alfa grade	
pasul			23 razele celor patru stifturi r			6.25	r1		
						5.65	r2		
stifturi						5.65	r3		
raza1			7.5			6.25	r4		
raza2			6.25			Functia obiectiv		x	21.33315
raza3			5.65			184		y	21.33315
raza4			5					l+r1+r4	64.10823
raza5			4.35					L+r2+r3	102.8147
raza6			3.8						
Parametrii caracteristici			Variabile de decizie			Constrangeri			
piesa 2			randuri de gauri pe x n			4	Lungimea	70.00003	
Lung 2			70 randuri de gauri pe y m			2	latimea	52.2595	
lat 2			51.5 unghiul alfa			-0.56707	0.785398	-32.4907 alfa grade	
pasul			23 razele celor patru stifturi r			5	r1		
						3.8	r2		
stifturi						3.8	r3		
raza1			7.5			6.25	r4		
raza2			6.25			Functia obiectiv		x	0
raza3			5.65			138		y	-29.29474
raza4			5					l+r1+r4	63.5095
raza5			4.35					L+r2+r3	77.60003
raza6			3.8						
Parametrii caracteristici			Variabile de decizie			Constrangeri			
piesa 3			randuri de gauri pe x n			2	Lungimea	51.22891	
Lung 3			50.1 randuri de gauri pe y m			4	latimea	51.09997	
lat 3			50.1 unghiul alfa			0.737403	0.785398	42.25009 alfa grade	
pasul			23 razele celor patru stifturi r			8.5	r1		
						6.25	r2		
stifturi						7.5	r3		
raza1			7.5			8.5	r4		
raza2			6.25			Functia obiectiv		x	41.78359
raza3			5.65			138		y	0
raza4			5					l+r1+r4	68.09997
raza5			4.35					L+r2+r3	64.97891
raza6			3.8						
raza suplin			8.5						
Paleta de depozitare					pasul				
Lp	lp	n	m		23				
250	300	10	13						
nr de piese de tip 1				2	3	6 nr de piese de tip 3			15
nr de piese de tip 2				2	6	12	5	3	

Modelarea prin programare matematica a dimensiunilor paletei de depozitare						
Parametrii caracteristici		Variabile de decizie		Constrangeri		
conform notatiilor din fig.4.1.12. pag. 87 din teza						
piesa 1		randuri de gauri pe x n		7	Lungimea	90.5
Lung 1	90.5	randuri de gauri pe y m		3	latimea	50
lat 1	50	unghiul alfa		-0.194239	0.785398	-11.12909 alfa grade
pasul		15 razele celor patru stifturi r		4.315135	r1	
				4.815075	r2	
stifturi				4.815075	r3	
raza1	7.5			4.315135	r4	
raza2	6.25	Functia obiectiv			x	-2.950791
raza3	5.65	150			y	-14.75396
raza4	5				l+r1+r4	58.63027
raza5	4.35				L+r2+r3	100.1302
raza6	3.8					
Parametrii caracteristici		Variabile de decizie		Constrangeri		
piesa 2		randuri de gauri pe x n		6	Lungimea	70
Lung 2	70	randuri de gauri pe y m		3	latimea	51.5
lat 2	51.5	unghiul alfa		-0.320899	0.785398	-18.38617 alfa grade
pasul		15 razele celor patru stifturi r		5.064024	r1	
				5.337199	r2	
stifturi				5.337199	r3	
raza1	7.5			5.064024	r4	
raza2	6.25	Functia obiectiv			x	-4.985815
raza3	5.65	135			y	-19.94326
raza4	5				l+r1+r4	61.62805
raza5	4.35				L+r2+r3	80.6744
raza6	3.8					
Parametrii caracteristici		Variabile de decizie		Constrangeri		
piesa 3		randuri de gauri pe x n		6	Lungimea	50.1
Lung 3	50.1	randuri de gauri pe y m		2	latimea	50.1
lat 3	50.1	unghiul alfa		-0.785398	0.785398	-45 alfa grade
pasul		15 razele celor patru stifturi r		6.769805	r1	
				6.769874	r2	
stifturi				6.769736	r3	
raza1	7.5			6.769805	r4	
raza2	6.25	Functia obiectiv			x	0
raza3	5.65	120			y	-60
raza4	5				l+r1+r4	63.63961
raza5	4.35				L+r2+r3	63.63961
raza6	3.8					
Paleta de depozitare		<i>pasul</i>		15		
Lp	lp	n	m			
	250	300	16	20		
nr de piese de tip 1			2	6	12 nr de piese de tip 3	20
nr de piese de tip 2			2	6	12	2 10

Cap. 4.2.
Program "Selector"

```
DIM SHARED AX%, BX%, CX%, DX%, Mouse%, MouseInt%, MouseSeg%
DIM SHARED PozX%, PozY%, klinie, kcol, a, q, soricel, greut(10), gr(100)
DIM SHARED m$(6), ma$(10), ti(100, 10), nrm%, nrms, nrm%(6), tip, n(100), x%
DIM SHARED robo(10), palet(10), rob(10, 4), timp, greu(6), statie, c$, cl$, gab(10)
DIM SHARED nrd, t$, a(100), b(100), c(100), dpal(5), Lung, inal, Rcarousel, et, pald
```

```
DECLARE SUB Apasa (x%, Y%, text$)
DECLARE SUB ArataMouse ()
DECLARE SUB AscundeMouse ()
DECLARE SUB InitEcran ()
DECLARE SUB InitMouse ()
DECLARE SUB mesaj (x%, Y%, text$)
DECLARE SUB PozitieMouse (PozX%, PozY%)
DECLARE SUB CitesteMesaj (PozX%, PozY%)
DECLARE SUB Prelucrare (PozX%, PozY%, m$(), nrm%, nrms, a)
DECLARE SUB Manipulare (a)
DECLARE SUB Transport (a)
DECLARE SUB Depozitare (a)
DECLARE SUB NumarMasini (greut(), ma$(), a)
```

```
SCREEN 9
a = 7
x% = 16
```

```
InitEcran
```

```
'LOCATE 19, 2: PRINT "Daca dispuneti de mouse, apasati tasta m"
'LOCATE 20, 2: INPUT s$
'IF s$ = "m" THEN soricel = 0
'IF s$ <> "m" THEN
```

```
' cheile de tastat pentru rulara programului
```

```
ON KEY(10) GOSUB 10000
```

```
KEY(10) ON
```

```
ON KEY(1) GOSUB 100
```

```
KEY(1) ON
```

```
ON KEY(2) GOSUB 200
```

```
KEY(2) ON
```

```
ON KEY(3) GOSUB 300
```

```
KEY(3) ON
```

```
ON KEY(4) GOSUB 400
```

```
KEY(4) ON
```

```
'END IF
```

```
    'IF soricel = 0 THEN
```

```
        InitMouse
```

```
        CitesteMesaj PozX%, PozY%
```

```
    'END IF
```

```
NumarMasini greut(), ma$(), a
```

```
Manipulare a
```

```
Depozitare a
```

```
Transport a
```

```
'RECAPITULARE STRUCTURA SFF
```

```
    IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
```

```
    PAINT (315, 271.5), a, 9
```

```
GOSUB 1001: PRINT "Numarul de masini in sistem este: "; nrms
```

```
FOR k = 1 TO nrm%
```

```
FOR j = 1 TO 6
```

```
IF m$(j) <> "" THEN GOSUB 1001: PRINT "In sistem sunt "; nrm%(k); m$(j)
```

```
IF m$(1) <> "" AND nrm%(j) > 1 AND j = 1 THEN LOCATE x%, 48: PRINT "uri"
```

```
IF m$(2) <> "" AND nrm%(j) > 1 AND j = 2 THEN LOCATE x%, 47: PRINT "i"
```

```
IF m$(3) <> "" AND nrm%(j) > 1 AND j = 3 THEN LOCATE x%, 47: PRINT "e"
```

```
IF m$(4) <> "" AND nrm%(j) > 1 AND j = 4 THEN LOCATE x%, 47: PRINT "i"
```

```
IF m$(5) <> "" AND nrm%(j) > 1 AND j = 5 THEN LOCATE x%, 47: PRINT "i"
```

```
IF m$(6) <> "" AND nrm%(j) > 1 AND j = 6 THEN LOCATE x%, 47: PRINT "i"
```

```
NEXT j
```

```
NEXT k
```

```
GOSUB 1001: PRINT "Numarul de tipuri de piese de prelucrat in sistem este "; tip
```

```
GOSUB 1001: PRINT "Timpul de prelucrare in sistem si numarul de piese/an "
```

```
FOR j = 1 TO nrms
```

```
FOR i = 1 TO tip
```

```

IF n(i) > 0 THEN GOSUB 1001: PRINT "Piesa de tipul "; i; "la "; ma$(j)
IF n(i) > 0 THEN LOCATE x%, 50: PRINT ti(i, j); "[min]"; n(i); "[buc/an]"
NEXT i
GOSUB 1001: PRINT "Manipulare cu "
IF robo(j) = 1 THEN LOCATE x%, 20: PRINT "robot pe "; ma$(j)
IF robo(j) = 2 THEN LOCATE x%, 20: PRINT "robot pe sol la "; ma$(j)
IF robo(j) = 3 THEN LOCATE x%, 20: PRINT "robot suspendat la "; ma$(j)
IF palet(j) = 1 THEN LOCATE x%, 20: PRINT "palete la "; ma$(j)
NEXT j
GOSUB 1001: PRINT "Solutia de depozitare centrala este "; c$
GOSUB 1001: PRINT "Solutia de depozitare locala este "; cl$
GOSUB 1001: PRINT "Transportul este asigurat de "; t$
GOTO 1003

1001 x% = x% + 1
    IF x% >= 24 THEN
        x% = 16: LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare"
        SLEEP 0: IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
        PAINT (315, 271.5), a, 9
        LOCATE 14, 52: PRINT " "
    END IF
LOCATE x%, 3
RETURN

1003 'OPEN "Structur.dat" FOR APPEND AS #1
'WRITE #1, nrms, nrd, tip, c$, cl$, t$
'WRITE #1, dpal(5), Lung, inal, Rcarousel, et, pald
'FOR j = 1 TO nrms
'WRITE #1, ma$(j), nrm$(j), robo(j), palet(j), gab(j)
'FOR i = 1 TO tip
'WRITE #1, ti(i, j), n(i), gr(i), a(i), b(i)
'NEXT i
'NEXT j
'CLOSE #1

10000 END

100 CALL Prelucrare(PozX%, PozY%, m$( ), nrm%, nrms, a)
RETURN
200 CALL Manipulare(a)
RETURN
300 CALL Transport(a)
RETURN
400 CALL Depozitare(a)
RETURN

SUB Apasa (x%, Y%, text$)
STATIC Temp%

COLOR 6, 1
mesaj x%, Y%, text$
FOR Temp% = 1 TO 2800
NEXT Temp%
COLOR 7, 0
mesaj x%, Y%, text$

END SUB

SUB ArataMouse

DEF SEG = MouseSeg%
AX% = 1
CALL absolute(AX%, BX%, CX%, DX%, MouseInt%)
DEF SEG
SLEEP timp

END SUB

SUB AscundeMouse
IF Mouse% = 0 THEN EXIT SUB
DEF SEG = MouseSeg%
AX% = 2
CALL absolute(AX%, BX%, CX%, DX%, MouseInt%)
DEF SEG

END SUB

```

```

SUB CitesteMesaj (PozX%, PozY%)

IF Mouse% THEN
timp = 3
PozitieMouse PozX%, PozY%

    IF PozY% >= 3 AND PozY% <= 5 THEN
        'selectarea functiilor din sff
        SELECT CASE (PozX%)

            CASE IS < 16
            AscundeMouse
            PAINT (9 * kcol, 1.25 * klinie), 14, 1
            timp = 1: ArataMouse
            Prelucrare PozX%, PozY%, m$,(), nrm%, nrms, a

            CASE 17 TO 32
            AscundeMouse
            PAINT (24 * kcol, 1.25 * klinie), 14, 1
            timp = 1: ArataMouse
            Manipulare a

            CASE 33 TO 47
            AscundeMouse
            PAINT (40 * kcol, 1.25 * klinie), 14, 1
            timp = 1: ArataMouse
            Depozitare a

            CASE 48 TO 62
            AscundeMouse
            PAINT (55 * kcol, 1.25 * klinie), 14, 1
            timp = 1: ArataMouse
            Transport a
            END SELECT

        END IF

    END IF

END SUB

SUB Depozitare (a)
DIM nr(100, 10)
DIM supr(100), suprp(5), nrm(10)

AscundeMouse
PAINT (40 * kcol, 1.25 * klinie), 14, 1
FOR i = 1 TO 6
LINE (33 * kcol, 28 * i + .8 * klinie)-STEP(17 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF

    SELECT CASE (i)
    CASE 1
    c$ = "depozit liniar"
    CASE 2
    c$ = "dep. pe doua axe"
    CASE 3
    c$ = "depozit carusel"
    CASE 4
    c$ = "paleta de depoz."
    CASE 5
    c$ = "2 buffere"
    CASE 6
    c$ = "masa de indexare"

    END SELECT
    LOCATE 2 + 2 * i, 35: PRINT c$
NEXT i
c$ = ""
x% = 16
timp = 1: ArataMouse

IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 301: PRINT "Modalitati de depozitare centralizata si locala a pieselor in sistem "

```

```

'calculul numarului de piese necesare in depozitul central functie de nr de piese necesare/an
FOR i = 1 TO tip
nrt = nrt + n(i)
NEXT i

FOR j = 1 TO nrms
FOR i = 1 TO tip
    IF ti(i, j) = 0 THEN
        nr(i, j) = 0
    ELSE nr(i, j) = (n(i) * 480) / nrt
        nr(i, j) = nr(i, j) / ti(i, j)
    END IF
IF nr(i, j) < nr(i, j - 1) AND nr(i, j) > 0 AND ti(i, j) > 0 AND ti(i, j - 1) > 0 THEN
    nrm(j) = nrm(j) + nr(i, j - 1): GOTO 311
END IF
IF nr(i, j) > nr(i, j - 1) AND nr(i, j) > 0 AND ti(i, j) > 0 AND ti(i, j - 1) > 0 THEN
    nrm(j) = nrm(j) + nr(i, j): GOTO 311
END IF
nrm(j) = nrm(j) + nr(i, j)
311 NEXT i
NEXT j

FOR j = 1 TO nrms
FOR i = 1 TO tip
IF nrm(j) > nrm(j - 1) AND ti(i, j) > 0 AND ti(i, j - 1) > 0 THEN
    nrd = nrd + nrm(j): GOTO 315
END IF
NEXT i
nrd = nrd + nrm(j)
315 NEXT j

IF ((INT(nrd)) + .5) <= nrd THEN nrd = INT(nrd) + 1 ELSE nrd = INT(nrd)
GOSUB 301: PRINT "Numarul mediu de piese in depozit pentru autonomie de 8 ore a"
GOSUB 301: PRINT "sistemului de fabricatie flexibila este": COLOR 4, 7: LOCATE x%, 43: PRINT nrd;
"scatn": COLOR 1, 7

GOTO 302
301 x% = x% + 1
    IF x% >= 24 THEN
        x% = 16: LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare"
        SLEEP 0: IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
        PAINT (315, 271.5), a, 9
        LOCATE 14, 52: PRINT " "
    END IF
LOCATE x%, 3
RETURN

' stabilirea tipului de depozit central al sistemului
302 LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare": SLEEP 0
LOCATE 14, 52: PRINT " "
IF a = 15 THEN a = 7 ELSE a = 15
PAINT (315, 271.5), a, 9
h = 1
LOCATE 16, 5: PRINT "Introduceti dimensiunile maxime ale pieselor caracteristice [mm]"

    SELECT CASE (tip)

        CASE IS <= 6
            e = 1: capat = tip
            GOSUB 312

        CASE 7 TO 12
            capat = 6
            GOSUB 312
            IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
            PAINT (315, 271.5), a, 9
            e = 7: capat = tip
            GOSUB 312

        CASE 13 TO 18
            capat = 6
            GOSUB 312
            e = 7: capat = 12
            IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
            PAINT (315, 271.5), a, 9
            GOSUB 312
            e = 13: capat = tip

```

```

        IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
        PAINT (315, 271.5), a, 9
        GOSUB 312
        END SELECT
GOTO 313

312 FOR c = e TO capat
LOCATE 17, 30: PRINT " tipul de piesa"
LOCATE 17 + h, 3: PRINT "dimensiunile piesei de tipul"; c; "="
LOCATE 17 + h, 35: INPUT a(c)
LOCATE 17 + h, 58: INPUT b(c)
h = h + 1
NEXT c
h = 1
LOCATE 14, 52: PRINT "Corectati? (d/n)"
LOCATE 14, 75: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "d" THEN GOTO 312
LOCATE 14, 52: PRINT "
RETURN

313 FOR i = 1 TO tip
c(i) = ((gr(i) * 1000000) / (7.8 * a(i) * b(i)))
    IF a(i) > b(i) THEN
        supr(i) = a(i)
        IF c(i) > supr(i) THEN supr(i) = supr(i) * c(i)
        IF c(i) < supr(i) AND c(i) < b(i) THEN supr(i) = supr(i) * b(i)
    END IF
    IF a(i) <= b(i) THEN
        supr(i) = b(i)
        IF c(i) > supr(i) THEN supr(i) = supr(i) * c(i)
        IF c(i) < supr(i) AND c(i) < a(i) THEN supr(i) = supr(i) * a(i)
    END IF

NEXT i

'gab(j)=1: masina mica; gab(j)=2: masina mijlocie; gab(j)=3: masina mare

FOR j = 1 TO nrms
FOR i = 1 TO tip
    IF ti(i, j) > 0 THEN
        IF supr(i) <= 250000 AND a(i) <= 500 AND b(i) <= 500 AND c(i) <= 500 THEN
gab(j) = 1
            IF supr(i) > 250000 AND supr(j) < 800000 AND a(i) <= 1000 AND b(i) <= 1000
AND c(i) <= 1000 THEN gab(j) = 2
            IF supr(i) > 800000 THEN gab(j) = 3
        END IF
    END IF
NEXT i
NEXT j

FOR i = 1 TO tip
IF a(i) >= amax THEN
    amax = a(i)
END IF
IF b(i) >= bmax THEN
    bmax = b(i)
END IF
IF c(i) >= cmax THEN
    cmax = c(i)
END IF
NEXT i
'PRINT amax, bmax, cmax
'determinarea marimii paletii de depozitare sau de transport
FOR i = 1 TO nrms
    IF nrms < 4 AND rob(i, 0) = 2 OR rob(i, 0) = 3 THEN
        IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
        PAINT (315, 271.5), a, 9
        GOSUB 310
    END IF
NEXT i
suprp(1) = .2 * .2
dpal(1) = .2
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
LOCATE 16, 3: PRINT "Dimeniunile paletii de transport/de transport si de lucru [mm]"
FOR i = 1 TO tip
FOR j = 1 TO 4

```

```

dpal(j + 1) = .2 * (j + 1)
LOCATE 16 + j, 10: PRINT "dim.pal:"; j
LOCATE 16 + j, 30: PRINT dpal(j) * 1000
suprp(j + 1) = dpal(j + 1) * dpal(j + 1)
  IF suprp(i) * .000001 <= suprp(j + 1) THEN
    IF suprp(i) * .000001 > suprp(j) THEN
      IF dpal(j + 1) > a(i) * .001 AND dpal(j + 1) > b(i) * .001 AND dpal(j + 1) >
c(i) * .001 THEN
        LOCATE 16 + j + 1, 30: COLOR 4, 7: PRINT dpal(j + 1) * 1000: COLOR 1, 7: IF
a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7: COLOR 1, a
        LOCATE 16 + j + 1, 35: PRINT " Se recomanda ptr. piesa ": LOCATE 16 + j + 1,
60 + i: PRINT i
      END IF
    END IF
  IF suprp(i) * .000001 <= suprp(j) AND w <> i THEN
    IF dpal(j) > a(i) * .001 AND dpal(j) > b(i) * .001 AND dpal(j) > c(i) * .001
THEN
      w = i: LOCATE 16 + j, 30: COLOR 4, 7: PRINT dpal(j) * 1000: COLOR 1, 7: IF a
= 7 THEN a = 15 ELSE a = 7: COLOR 1, a
      LOCATE 16 + j, 35: PRINT " Se recomanda ptr. piesa ": LOCATE 16 + j, 60 + i:
PRINT i
    END IF
  END IF
END IF
NEXT j
NEXT i
x% = 20
GOSUB 301: PRINT "Selectati dimensiunea paletii de transport/de transport si de lucru [mm]:"
GOSUB 301: INPUT dpal

'determinarea tipului de depozit si marimea acestuia
IF nrd * dpal <= 12000 AND nrd * dpal > 10000 THEN
  c$ = "depozit liniar": GOSUB 301: PRINT c$; " de lungime "; nrd * dpal * .001; "[m]"
END IF
IF nrd * dpal > 12000 THEN
  c$ = "depozit pe doua axe": GOSUB 301: PRINT c$; " de dimensiunile:"
  Lung = (1 / 2) * nrd * dpal * .001: inal = 2 * (cmax + dpal / 5) * .001
  GOSUB 301: PRINT "Lungimea este de "; Lung; "[m]"; ", inaltimea depozitului este de: "; inal; "[m]"
END IF
IF nrd * dpal <= 10000 AND dpal <= 400 THEN
  c$ = "depozit carusel"
  GOSUB 301: PRINT c$
  Rcarusel = ((dpal / 2) / TAN(2 * 3.1415 / nrd)) + dpal + 10: et = 1
  DO UNTIL Rcarusel <= 4 * dpal
    et = et + 1
    Rcarusel = ((dpal / 2) / TAN(2 * 3.1415 / (nrd / et))) + dpal + 10
  LOOP
  GOSUB 301: PRINT "Raza depozitului pe "; et; "etaj este de"; Rcarusel
  IF et > 1 THEN LOCATE x%, 30: PRINT "e"
END IF

IF c$ <> "" THEN GOTO 320
'stabilirea solutiei de depozitare locale
310 FOR k = 1 TO nrms
  FOR j = 1 TO tip
    pald = pald + suprp(k) * nr(j, k)
  NEXT j
NEXT k
pald = (INT(SQR(pald) * 10)) / 10
c1$ = "paleta de depoz."
c$ = "paleta de depoz."
GOSUB 301: PRINT "Dimensiunea paletii patrate de depozitare este: "; pald * .001; "[m]": GOTO 316

320 FOR j = 1 TO nrms
  FOR i = 1 TO tip
    IF ti(i, j) > tmin THEN
      tmin = ti(i, j)
    END IF
  NEXT i
NEXT j
IF tmin <= 5 THEN
  c1$ = "masa de indexare": GOSUB 301: PRINT "Se recomanda utilizarea unei mese de indexare cu
4,6,8 pozitii"
  ELSE c1$ = "2 buffere": GOSUB 301: PRINT " Se recomanda utilizarea a 2 posturi de asteptare"
  END IF
316 GOSUB 301: PRINT "Acceptati solutiile propuse? (d/n)": GOSUB 301: INPUT rasp$

```

```

IF rasp$ = "d" THEN GOTO 330
IF rasp$ = "n" THEN
  c$ = "": c1$ = ""
  GOSUB 301: PRINT " Selectati solutiile proprii pentru depozitare centrala si locala"
  DO UNTIL c$ <> "" AND c1$ <> ""
  timp = 3: ArataMouse

  IF Mouse% THEN
    PozitieMouse PozX%, PozY%

      IF PozX% > 33 AND PozX% < 51 THEN

        SELECT CASE (PozY%)
        CASE IS <= 7
          c$ = "depozit liniar"
          GOSUB 301: INPUT "Introduceti dimensiunea paletii [mm]"; dpal
          GOSUB 301: PRINT c$; " de lungime "; nrd * dpal * .001; "[m]"
          AscundeMouse
          PAINT (41.5 * kcol, 28 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 8 TO 11
          c$ = "depozit pe doua axe"
          GOSUB 301: PRINT c$
          GOSUB 301: INPUT "Introduceti dimensiunea paletii [mm]"; dpal
          Lung = (2 / 3) * nrd * dpal * .001: inal = nrd * dpal * .001 / 3
          GOSUB 301: PRINT c$
          GOSUB 301: PRINT "Lungimea este de "; Lung; "[m]"; ",inaltimea depozitului
este de: "; inal; "[m]"
          AscundeMouse
          PAINT (41.5 * kcol, 56 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 12 TO 15
          c$ = "depozit carusel"
          GOSUB 301: INPUT "Introduceti dimensiunea paletii [mm]"; dpal
          GOSUB 301: PRINT c$
          Rcarusel = ((dpal / 2) / TAN(2 * 3.1415 / nrd)) + dpal + 10: et = 1
          DO UNTIL Rcarusel <= 4 * dpal
          et = et + 1
          Rcarusel = ((dpal / 2) / TAN(2 * 3.1415 / (nrd / et))) + dpal + 10
          LOOP
          GOSUB 301: PRINT "Raza depozitului pe "; et; "etaj este de"; Rcarusel
          IF et > 1 THEN LOCATE x%, 30: PRINT "e"
          AscundeMouse
          PAINT (41.5 * kcol, 84 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 16 TO 19
          c1$ = "paleta de depoz."
          c$ = "paleta de depoz."
          FOR k = 1 TO nrms
          FOR j = 1 TO tip
            pald = pald + supr(k) * nr(j, k)
          NEXT j
          NEXT k
          pald = (INT(SQR(pald) * 10)) / 10
          GOSUB 301: PRINT "Dimensiunea paletii patrute de depozitare este: "; pald *
.001; "[m]"
          AscundeMouse
          PAINT (41 * kcol, 112 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 20 TO 23
          c1$ = "2 buffere"
          GOSUB 301: PRINT "Masinile unelte au ca depozit local "; c1$
          AscundeMouse
          PAINT (41.5 * kcol, 143 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 24 TO 26
          c1$ = "masa de indexare"
          GOSUB 301: PRINT "Masinile unelte au ca depozit local "; c1$
          AscundeMouse
          PAINT (41.5 * kcol, 171 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse
        END SELECT

```

```

                END IF
LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare"
SLEEP 0
LOCATE 14, 52: PRINT "
END IF
LOOP
END IF

330 AscundeMouse
IF c$ = "depozit liniar" THEN PAINT (41.5 * kcol, 28 + 1.55 * klinie), 14, 1
IF c$ = "depozit pe doua axe" THEN PAINT (41.5 * kcol, 56 + 1.55 * klinie), 14, 1
IF c$ = "depozit carusel" THEN PAINT (41.5 * kcol, 84 + 1.55 * klinie), 14, 1
IF c1$ = "paleta de depoz." THEN PAINT (41 * kcol, 112 + 1.55 * klinie), 14, 1
IF c1$ = "2 buffere" THEN PAINT (41.5 * kcol, 143 + 1.55 * klinie), 14, 1
IF c1$ = "masa de indexare" THEN PAINT (41.5 * kcol, 171 + 1.55 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse

LOCATE 14, 52: PRINT "Continuati? (d/n)"
LOCATE 14, 75: INPUT raspuns$
LOCATE 14, 52: PRINT "
IF raspuns$ = "n" THEN STOP

END SUB
SUB InitEcran
STATIC Temp$, cont%
SCREEN 9
COLOR 4, 15
'sigla
l$ = STRING$(2, 219)
LOCATE 17, 6: PRINT ; l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; "
LOCATE 18, 4: PRINT ; l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; l$; " "; l$; l$; "          ACESTA ESTE UN
PROGRAM"
LOCATE 19, 4: PRINT ; l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; "          DE SIMULARE A
FUNCTIONARII"
LOCATE 20, 6: PRINT ; l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; "          SISTEMELOR DE FABRICATIE"
LOCATE 21, 8: PRINT l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; "          FLEXIBILA"
LOCATE 22, 4: PRINT l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; "
LOCATE 23, 6: PRINT l$; " "; l$; " "; l$; " "; l$; "          Sunteti gata? tastati (d)"
ras$ = INKEY$
LOCATE 23, 70: INPUT ras$

PAINT (310, 150), 15, 1
CLS

GOTO 1002
'afisarea chenarului
Temp$ = STRING$(1, "=")
FOR cont% = 2 TO 79
LOCATE 1, cont%: PRINT Temp$
LOCATE 3, cont%: PRINT Temp$
NEXT cont%

'afisarea barei de sus
Temp$ = STRING$(1, 176)
ss$ = STRING$(1, 201)
LOCATE 1, 1: PRINT ss$
sj$ = STRING$(1, 200)
LOCATE 3, 1: PRINT sj$
ds$ = STRING$(1, 187)
LOCATE 1, 80: PRINT ds$
dj$ = STRING$(1, 188)
LOCATE 3, 80: PRINT dj$
sd$ = STRING$(1, 186)
LOCATE 2, 1: PRINT sd$
LOCATE 2, 80: PRINT sd$
FOR cont% = 2 TO 79
LOCATE 2, cont%
PRINT Temp$
NEXT cont%
'butcanele
1002 COLOR 1, 7
klinie = 300 / 25: kcol = 640 / 80
LINE (2 * kcol, klinie)-STEP(14 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF
LINE (17 * kcol, klinie)-STEP(14 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF
LINE (33 * kcol, klinie)-STEP(14 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF
LINE (48 * kcol, klinie)-STEP(14 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF

```



```

LINE (63 * kcol, klinie)-STEP(14 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF

mesaj 2, 4, "Prelucrare F1": mesaj 2, 19, "Manipulare F2"
mesaj 2, 35, "Depozitare F3": mesaj 2, 50, "Transport F4"
mesaj 2, 66, "Iesire F10"

'cadrantul de mesaje
LINE (5, 200)-STEP(620, 143), 9, B
LINE (2, 197)-STEP(627, 150), 1, B
PAINT (315, 271.5), a, 9
LOCATE 18, 2: PRINT "Selectati functiile sistemului de fabricatie flexibila de la stanga la dreapta"
'LOCATE 21, 2: PRINT "Daca nu aveti mouse, apasati tasta n,"
'LOCATE 22, 2: PRINT "iar apoi cheile corespunzatoare selectiei"

END SUB

SUB InitMouse
DEF SEG = 0
MouseSeg% = PEEK(51 * 4 + 2) + 256 * PEEK(51 * 4 + 3)
MouseInt% = 2 + PEEK(51 * 4) + 256 * PEEK(51 * 4 + 1)

DEF SEG = MouseSeg%
AX% = 0
CALL absolute(AX%, BX%, CX%, DX%, MouseInt%)
IF AX% = 0 THEN
Mouse% = 0
ELSE Mouse% = 1
END IF
AX% = 10: BX% = 0: CX% = &HFF: DX% = &H7C
CALL absolute(AX%, BX%, CX%, DX%, MouseInt%)
AX% = 0: BX% = 0: CX% = 0: DX% = 0
CALL absolute(AX%, BX%, CX%, DX%, MouseInt%)
DEF SEG
IF Mouse% THEN timp = 3: ArataMouse

END SUB

SUB Manipulare (a)
DIM robot(6), paleta(6)
AscundeMouse
PAINT (24 * kcol, 1.25 * klinie), 14, 1
FOR i = 1 TO nrms
FOR k = 1 TO 6
IF m$(k) = ma$(i) THEN
    greu(k) = greut(i)
    'PRINT "greutatea("; k; ")="; greu(k)
    'PRINT greut(i), i
END IF
NEXT k
NEXT i
FOR i = 1 TO 5
LINE (14 * kcol, 28 * i + .8 * klinie)-STEP(18 * kcol, 2 * klinie), 1, BF
    SELECT CASE (i)
    CASE 1
    c$ = "manip. cu palete"
    CASE 2
    c$ = "robot pe MU"
    CASE 3
    c$ = "robot pe sol"
    CASE 4
    c$ = "robot suspendat"
    CASE 5
    c$ = "solutia utilizat."
    END SELECT
    LOCATE 2 + 2 * i, 16: PRINT c$
NEXT i
timp = 1: ArataMouse

IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 15
PAINT (315, 271.5), a, 9

GOSUB 201: PRINT "Modalitatile de manipulare ale pieselor"
LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare"
SLEEP 0
LOCATE 14, 52: PRINT "
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9

```

```

'robot(j)=1: manip. cu robot pe masina j ; robot(j)=2:montare pe sol;
'robot(j)=3:montare suspendata a robotului
'paleta(j)=1: manip. pe palete de transp. si de lucru; paleta(j)=2: paleta de transport

x% = 15
i = 1

203
IF i = 7 THEN GOTO 204
IF m$(i) <> "" AND greu(i) <= 100 THEN
    GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda manipularea pieselor cu robot la "; m$(i): COLOR
1, 7: robot(i) = 1
    IF greu(i) <= 10 THEN
        GOSUB 201: PRINT "Batiul permite montarea robotului pe "; m$(i); "? (d/n)"
        GOSUB 201: INPUT raspuns$
        IF raspuns$ = "d" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda montarea robotului
pe batiul "; m$(i): COLOR 1, 7
            IF i = 1 AND raspuns$ = "d" THEN LOCATE x%, 51: COLOR 4, 7: PRINT "ului":
COLOR 1, 7: GOTO 202
                IF raspuns$ = "n" THEN
                    GOSUB 201: PRINT "Solul permite montarea robotului? (d/n)"
                    GOSUB 201: INPUT raspu$
                    IF raspu$ = "n" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT " Se recomanda
montarea suspendata a robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 3: GOTO 202
                        IF raspu$ = "d" THEN
                            GOSUB 201: PRINT "Este spatiu suficient in jurul "; m$(i); "?
(d/n)"
                                GOSUB 201: INPUT raspun$
                                IF raspun$ = "d" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda
montarea pe sol a robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 2: GOTO 202
                                    IF raspun$ = "n" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda
montarea suspendata a robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 3: GOTO 202
                                        ELSE GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda montarea suspendata a
robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 3: GOTO 202
                                            END IF
                                                END IF
                                                    END IF
                                                        IF greu(i) > 10 AND greu(i) <= 50 THEN
                                                            GOSUB 201: PRINT "Solul permite montarea robotului? (d/n)"
                                                            GOSUB 201: INPUT raspuns$
                                                            IF raspuns$ = "d" THEN
                                                                GOSUB 201: PRINT "Este spatiu suficient in jurul "; m$(i); "? (d/n)"
                                                                GOSUB 201: INPUT raspun$
                                                                IF raspun$ = "d" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda montarea pe
sol a robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 2: GOTO 202
                                                                    IF raspun$ = "n" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda montarea
suspendata a robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 3: GOTO 202
                                                                        END IF
                                                                            IF raspuns$ = "n" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda montarea
suspendata a robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 3: GOTO 202
                                                                                END IF
                                                                                    IF greu(i) > 50 THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda montarea suspendata a
robotului": COLOR 1, 7: robot(i) = 3: GOTO 202
                                                                                        END IF
                                                                                            LOCATE 14, 40: PRINT "Apasati o tasta pentru continuare      "
                                                                                                IF m$(i) <> "" THEN SLEEP 0
                                                                                                    LOCATE 14, 40: PRINT "
                                                                                                        202 i = i + 1
                                                                                                            IF i = 7 THEN GOTO 204
                                                                                                                IF m$(i) <> "" AND i = 3 THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda manipularea pieselor pe
palete de transport si de lucru la ": COLOR 1, 7: GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT m$(i): COLOR 1, 7:
paleta(i) = 1: i = i + 1: GOTO 203
                                                                                                                    IF m$(i) <> "" AND i = 6 THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda manipularea pieselor pe
palete de transport si de lucru la ": COLOR 1, 7: GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT m$(i): COLOR 1, 7:
paleta(i) = 1: i = i + 1: GOTO 203
                                                                                                                        IF greu(i) < 50 AND m$(i) <> "" THEN GOTO 203
                                                                                                                            IF greu(i) > 50 AND m$(i) <> "" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT "Se recomanda
manipularea pieselor pe palete de transport si de lucru la"
                                                                                                                                IF greu(i) > 50 AND m$(i) <> "" THEN GOSUB 201: COLOR 4, 7: PRINT m$(i): paleta(i) =
1: COLOR 1, 7
                                                                                                                                    'aici nu trebuie greu>100?
                                                                                                                                        GOTO 202
                                                                                                                                            204 GOSUB 201: PRINT "Doriti o recapitulare? (d/n)"
                                                                                                                                                GOSUB 201: INPUT raspuns$

```

```

IF raspuns$ = "n" THEN GOTO 207
LOCATE 14, 52: COLOR 4, 7: PRINT "Recapitulare"
COLOR 1, 7
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7: PAINT (315, 271.5), a, 9
FOR i = 1 TO 6
208 IF rass$ = "d" THEN SLEEP 3: PAINT (20 * kcol, 28 * j + 1.8 * klinie), 7, 1
IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 1 AND rass$ = "" THEN GOSUB 201: PRINT "Manipulare cu robot montat pe
"; m$(i); "
IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 2 AND rass$ = "" THEN GOSUB 201: PRINT "Manipulare cu robot montat pe
sol la "; m$(i); "
IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 3 AND rass$ = "" THEN GOSUB 201: PRINT "Manipulare cu robot suspendat
la "; m$(i); "
IF m$(i) <> "" AND paleta(i) <> 0 AND rass$ = "" THEN GOSUB 201: PRINT "Manipulare pe palete de
transport si de lucru la "; m$(i)
IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 1 AND rass$ = "d" THEN LOCATE x%, 3: PRINT "Manipulare cu robot montat
pe "; m$(i); "
IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 2 AND rass$ = "d" THEN LOCATE x%, 3: PRINT "Manipulare cu robot montat
pe sol la "; m$(i); "
IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 3 AND rass$ = "d" THEN LOCATE x%, 3: PRINT "Manipulare cu robot
suspendat la "; m$(i); "
IF m$(i) <> "" AND paleta(i) <> 0 AND rass$ = "d" THEN LOCATE x%, 3: PRINT "Manipulare pe palete de
transport si de lucru la "; m$(i)
IF m$(i) <> "" THEN LOCATE 14, 52: PRINT "Doriti o alta solutie? (d/n) "
IF m$(i) <> "" THEN LOCATE 14, 75: INPUT rass$
IF rass$ = "d" THEN GOSUB 207
IF rass$ = "d" THEN GOTO 208
rass$ = ""
NEXT i
GOTO 210

```

```

207 timp = 3: ArataMouse
IF Mouse% THEN
PozitieMouse PozX%, PozY%

```

```

IF PozX% > 17 AND PozX% < 34 THEN
SELECT CASE (PozY%)
CASE IS < 8
AscundeMouse
PAINT (20 * kcol, 28 + 1.8 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
paleta(i) = 1: robot(i) = 0: n = n + 1
j = 1

```

```

CASE 8 TO 11
AscundeMouse
PAINT (20 * kcol, 56 + 1.8 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
paleta(i) = 0: robot(i) = 1: p = p + 1
j = 2

```

```

CASE 11 TO 15
AscundeMouse
PAINT (20 * kcol, 84 + 1.8 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
paleta(i) = 0: robot(i) = 2
j = 3

```

```

CASE 15 TO 18
AscundeMouse
PAINT (20 * kcol, 112 + 1.8 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
paleta(i) = 0: robot(i) = 3
j = 4

```

```

CASE 18 TO 21
AscundeMouse
PAINT (20 * kcol, 140 + 1.8 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
LOCATE x% + 1, 3: PRINT "Nu exista aceasta solutie in variantele de program de

```

simulare!"

```

LOCATE x% + 2, 3: PRINT "Va trebui rescris programul!"
x% = x% + 2: alarma = 1
j = 5: BEEP
END SELECT
END IF

```

```

END IF
RETURN

```

```

IF i = 7 THEN GOTO 212
201 x% = x% + 1
    IF x% >= 24 THEN
        x% = 16: LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare"
        SLEEP 0: LOCATE 14, 52: PRINT " "
        IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
        PAINT (315, 271.5), a, 9
    END IF
LOCATE x%, 3
RETURN

212 f = 1
FOR s = 1 TO 6
IF m$(s) <> "" THEN GOSUB 213: f = f + 1
NEXT s
GOTO 290

213 IF nrm%(f) = 1 THEN GOTO 214
FOR z = 1 TO nrm%(f)
x = x + 1
IF robot(s) = 1 AND m$(s) <> "" THEN robo(x) = 1
IF robot(s) = 2 AND m$(s) <> "" THEN robo(x) = 2
IF robot(s) = 3 AND m$(s) <> "" THEN robo(x) = 3
IF paleta(s) = 1 AND m$(s) <> "" THEN palet(x) = 1
PRINT s, m$(s)
PRINT palet(x), robo(x), x, ma$(x)
NEXT z
291 RETURN

GOTO 290
214 x = x + 1
IF robo(s) = 1 AND m$(s) <> "" THEN robo(x) = 1
IF robo(s) = 2 AND m$(s) <> "" THEN robo(x) = 2
IF robo(s) = 3 AND m$(s) <> "" THEN robo(x) = 3
IF paleta(s) = 1 AND m$(s) <> "" THEN palet(x) = 1
IF s < 6 THEN GOTO 291

290 AscundeMouse
FOR i = 1 TO nrms
IF palet(i) = 1 THEN PAINT (20 * kcol, 28 + 1.8 * klinie), 14, 1
IF robo(i) = 1 THEN PAINT (20 * kcol, 56 + 1.8 * klinie), 14, 1
IF robo(i) = 2 THEN PAINT (20 * kcol, 84 + 1.8 * klinie), 14, 1
IF robo(i) = 3 THEN PAINT (20 * kcol, 115 + 1.8 * klinie), 14, 1
IF alarma = 1 THEN PAINT (20 * kcol, 143 + 1.8 * klinie), 4, 1
NEXT i
timp = 1: ArataMouse

ro = 1
FOR i = 1 TO nrms
'rob(1,1),rob(2,1),rob(3,1) robot 1 care serveste masinile 1,2,3
'ro=numarul de roboti care servesc masinile
IF robo(i) = 2 THEN poli = poli + 1: IF poli = 3 OR poli = 6 OR poli = 9 THEN ro = ro + 1: rob(i,
ro) = 2
IF robo(i) = 3 THEN polis = polis + 1: IF polis = 3 OR polis = 6 OR polis = 9 THEN rob = rob + 1:
rob(i, rob) = 3
IF palet(i) = 1 THEN statie = statie + 1
IF robo(i) = 1 THEN statie = statie + 1
NEXT i
IF statie >= 1 AND poli >= 1 OR polis >= 1 THEN statie = statie + 1
IF poli > 0 THEN GOSUB 201: PRINT "Poliservire a "; poli; " masini cu robot pe sol"
IF polis > 0 THEN GOSUB 201: PRINT "Poliservire a "; polis; "masini cu robot suspendat"
IF statie > 0 THEN GOSUB 201: PRINT "Sistemul de transport are "; statie; "statii de oprire"
IF statie = 1 THEN LOCATE x%, 37: PRINT "e"
IF poli > 0 OR polis > 0 THEN GOSUB 201: PRINT "Acceptati solutia de poliservire? (d/n)"
IF poli > 0 OR polis > 0 THEN GOSUB 201: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "n" THEN
    FOR i = 1 TO 6
        IF m$(i) <> "" AND robo(i) = 2 THEN
            GOSUB 201: PRINT "Manipulare cu "; ro; "robot montat pe sol la"; poli;
m$(i)
            IF ro > 1 THEN LOCATE x%, 25: PRINT "i": LOCATE x%, 33: PRINT "i"
            GOSUB 201: PRINT "Manipulare cu "; ro; "robot montat pe sol la "; poli;
m$(i)
            LOCATE x%, 16: COLOR 4, a: INPUT ro: LOCATE x%, 43: INPUT poli
            IF ro > 1 THEN COLOR 1, a: LOCATE x%, 25: PRINT "i": LOCATE x%, 33: PRINT
"i"

```

```

                END IF
                IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 3 THEN GOSUB 201: PRINT "Manipulare cu robot suspendat
la "; m$(i); " "
                IF m$(i) <> "" AND robot(i) = 1 THEN GOSUB 201: PRINT "Manipulare cu robot montat pe
"; m$(i); " "
                IF m$(i) <> "" AND paleta(i) = 1 THEN GOSUB 201: PRINT "Manipulare pe palete de
transport si de lucru la "; m$(i)
                NEXT i
            END IF

            IF a = 15 THEN a = 7
            COLOR 1, a
            LOCATE 14, 52: PRINT "Continuati? (d/n) "
            LOCATE 14, 75: INPUT raspuns$
            LOCATE 14, 20: PRINT " "
            IF raspuns$ = "n" THEN STOP
            END SUB

            SUB mesaj (x%, Y%, text$)
            IF Mouse% THEN AscundeMouse
            LOCATE x%, Y%
            PRINT text$
            IF Mouse% THEN timp = 1: ArataMouse
            END SUB

            SUB NumarMasini (greut(), ma$(), a)

            DIM w(10), r(20), t(100, 10), Tdisp(6, 3), tmax(100)
            DIM cutil(10, 3), tnec(100), k(10), nmax(100), mas$(10)

            5 LOCATE 16, 3: INPUT "Introduceti numarul de tipuri de piese caracteristice"; tip
            IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
            PAINT (315, 271.5), a, 9

            IF nrm% > 6 THEN LOCATE 16, 2: PRINT " Numarul de tipuri de masini este mai mare decat 6"
            IF tip > 18 THEN LOCATE 17, 2: PRINT "Numarul de tipuri de piese este mai mare decat 18"
            IF nrm% > 6 THEN LOCATE 19, 10: PRINT "EROARE": Prelucrare PozX%, PozY%, m$(), nrm%, nrms, a
            IF tip > 18 THEN LOCATE 18, 10: PRINT "EROARE": SLEEP 3: GOTO 5

            LOCATE 16, 5: PRINT " Introducerea timpului de baza [min]"
                SELECT CASE (nrm%)

                    CASE IS >= tip
                        capat = nrm%: cap = tip
                        textul$ = "tipul de masina"
                        tex$ = "tipul de piesa"
                        i = d: j = c
                        IF tip > 3 THEN cap = 3
                    CASE IS < tip
                        capat = tip: cap = nrm%
                        textul$ = "tipul de piesa"
                        tex$ = "tipul de masina"
                        i = c: j = d
                        IF tip > 6 THEN capat = 6
                        IF nrm% > 3 THEN cap = 3
                END SELECT
            e = 1: f = 1: b = 1: h = 1
            GOSUB 8

            IF nrm% >= tip AND nrm% > 3 THEN

                SELECT CASE (tip)
                    CASE IS <= 3
                        GOTO 9

                    CASE 4 TO 6
                        f = 4: cap = tip
                        IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
                        PAINT (315, 271.5), a, 9
                        GOSUB 8
                END SELECT
            END IF

            IF nrm% < tip AND nrm% <= 3 AND tip > 6 THEN

                SELECT CASE (tip)
                    CASE IS <= 12
                        e = 7: capat = tip

```

```

IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
CASE 12 TO 18
e = 7: capat = 12
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
e = 13: capat = tip
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
END SELECT
END IF
IF nrm% < tip AND nrm% > 3 THEN
SELECT CASE (tip)
CASE IS <= 6
f = 4: cap = nrm%
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8

CASE 7 TO 12
f = 4: cap = nrm%
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
f = 1: cap = 3: e = 7: capat = tip
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
f = 4: cap = nrm%
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
CASE 13 TO 19
f = 4: cap = nrm%
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
f = 1: cap = 3: e = 7: capat = 12
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
f = 4: cap = nrm%
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
f = 1: cap = 3: e = 13: capat = tip
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8
f = 4: cap = nrm%
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
GOSUB 8

END SELECT
END IF
GOTO 9

8 GOSUB 120
FOR c = e TO capat
FOR d = f TO cap
IF nrm% >= tip THEN i = d: j = c
IF nrm% < tip THEN i = c: j = d
IF textul$ = "tipul de masina" THEN LOCATE 17 + h, 2: PRINT mas$(j)
IF textul$ <> "tipul de masina" THEN LOCATE 17 + h, 3: PRINT textul$: c
IF tex$ = "tipul de masina" THEN LOCATE 17, b * 18: PRINT mas$(j)
IF tex$ <> "tipul de masina" THEN LOCATE 17, b * 20: PRINT tex$: d
LOCATE (17 + h), (b * 20): PRINT "t("; i; ", "; j; ")="
LOCATE (17 + h), (11 + b * 20): INPUT t(i, j)
b = b + 1
NEXT d
h = h + 1
b = 1
NEXT c

```

```

LOCATE 14, 52: PRINT "Corectati? (d/n)"
LOCATE 14, 75: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "d" THEN b = 1: h = 1: GOTO 8
LOCATE 14, 52: PRINT "          "
b = 1: h = 1
RETURN

120
l = 1
FOR k = 1 TO 6
IF m$(k) <> "" THEN mas$(l) = m$(k): l = l + 1
NEXT k
RETURN
9 FOR i = 1 TO tip
FOR j = 1 TO nrm%
IF t(i, j) / 60 > tmax(i) THEN tmax(i) = t(i, j) / 60
NEXT j
NEXT i
e = 1: h = 1: i = 1: j = 1
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
LOCATE 16, 5: PRINT "Introduceti numarul de piese de prelucrat in sistem pe an [buc]"
LOCATE 17, 2: PRINT "si greutatea lor [kg]"
    SELECT CASE (tip)
    CASE IS <= 6
    capat = tip
    GOSUB 12

    CASE 7 TO 12
    capat = 6
    GOSUB 12
    IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9
    e = 7: capat = tip
    GOSUB 12

    CASE 13 TO 18
    capat = 6
    GOSUB 12
    e = 7: capat = 12
    IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9
    GOSUB 12
    e = 13: capat = tip
    IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9
    GOSUB 12
    END SELECT
GOTO 13

12 FOR c = e TO capat
LOCATE 17, 30: PRINT " tipul de piesa"
LOCATE 17, 50: PRINT "greutatea piesei"
nmax(c) = INT((50000) / (nrm% * tmax(c) * tip) * 10) / 10
LOCATE 17 + h, 30: PRINT "<"; nmax(c)
LOCATE 17 + h, 3: PRINT "numar de piese de tipul"; c; "="
SLEEP 0
LOCATE 17 + h, 30: PRINT "          "
LOCATE 17 + h, 30: INPUT n(c)
LOCATE 17 + h, 55: INPUT gr(c)
h = h + 1
NEXT c
h = 1
LOCATE 14, 20: PRINT "Corectati? (d/n)"
LOCATE 14, 60: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "d" THEN GOTO 12
RETURN

13 FOR j = 1 TO nrm%
FOR i = 1 TO tip
tnec(j) = tnec(j) + n(i) * t(i, j)
NEXT i
NEXT j

    IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9

```

```

LOCATE 16, 10: PRINT "Toate masinile unelte sunt vechi? (d/n)"
LOCATE 16, 60: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "d" THEN k = .65 ELSE GOTO 4
IF k = .65 THEN GOTO 14
4 LOCATE 16, 10: PRINT "Toate masinile unelte sunt noi? (d/n)"
LOCATE 16, 60: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "d" THEN GOTO 7 ELSE GOTO 15
7 k = .8
GOTO 14

15 IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9
FOR j = 1 TO nrm%
LOCATE 16 + j, 20: PRINT mas$(j); " este nou/noua? (d/n)"
LOCATE 16 + j, 70: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "d" THEN k(j) = .8 ELSE k(j) = .65
NEXT j

14 IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9
LOCATE 16, 20: PRINT " Coeficientul de utilizare al masinilor [%]"
LOCATE 17, 3: PRINT "Nr. de schimb./zi"

FOR z = 2 TO 3
FOR j = 1 TO nrm%
IF k <> 0 THEN Tdisp(j, z) = 365 * z * 8 * 60 * k
IF k = 0 THEN Tdisp(j, z) = 365 * z * 8 * 60 * k(j)
cutil(j, z) = INT(((tnec(j) / Tdisp(j, z)) * 100) * 100) / 100
LOCATE 18 + j, 3: PRINT mas$(j)
LOCATE 17, (5 + z * 20): PRINT z
LOCATE (18 + j), (20 * z): PRINT cutil(j, z)
IF cutil(j, z) < 95 AND cutil(j, z) > 50 THEN COLOR 4, 15 + a: LOCATE (18 + j), (20 * z): PRINT
cutil(j, z)
COLOR 1, a
NEXT j
NEXT z

FOR j = 1 TO nrm%
IF cutil(j, 3) > 100 THEN nrm%(j) = INT(cutil(j, 3) / 100) + 1: o = o + 1
IF cutil(j, 3) < 100 THEN nrm%(j) = 1
NEXT j

IF o > 1 THEN LOCATE 14, 20: PRINT "Continuati? (d/n)"
IF o > 1 THEN LOCATE 14, 60: INPUT raspuns$
IF o > 1 THEN IF raspuns$ = "n" THEN GOTO 101
IF o < 1 THEN GOTO 101

FOR z = 1 TO nrm%
IF nrm%(z) = 1 THEN GOTO 50 ELSE GOTO 51
50 IF nrm%(nrm%) = 1 THEN GOTO 101
NEXT z

51 IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9

LOCATE 16, 20: PRINT " Coeficientul de utilizare al masinilor [%]"
LOCATE 17, 3: PRINT "Nr. de schimb./zi"
LOCATE 17, 35: PRINT "3"

FOR j = 1 TO nrm%
IF cutil(j, 3) <= 90 THEN GOTO 80
cutil(j, 3) = (INT(((tnec(j) / Tdisp(j, 3)) * 100) * 100) / 100) / nrm%(j)
LOCATE 18 + j, 3: PRINT nrm%(j); mas$(j)
LOCATE (18 + j), 30: PRINT cutil(j, 3)
IF cutil(j, 3) < 95 AND cutil(j, 3) > 80 THEN COLOR 4, 15 + a: LOCATE 18 + j, 30: PRINT cutil(j, 3)
COLOR 1, a
20 NEXT j

'atribuirea de valori la timpul de baza si denumire a masinilor
'pentru mai multe masini de acelasi tip
101 x = 1
FOR j = 1 TO nrm%
131 IF nrm%(j) = 1 THEN GOTO 107
FOR z = 1 TO nrm%(j)
FOR i = 1 TO tip
ti(i, x) = t(i, j)
'PRINT "ti("; i; x; ")="; ti(i, x)

```



```

NEXT i
x = x + 1
contor = contor + 1
ma$(contor) = mas$(j)
'PRINT "masina", contor; ma$(contor)
NEXT z
NEXT j

GOTO 132
107 FOR i = 1 TO tip
ti(i, j) = t(i, j)
'PRINT "ti("; i; j; ")="; ti(i, j)
NEXT i
contor = contor + 1
ma$(contor) = mas$(j)
'PRINT "masina", contor; ma$(contor)
j = j + 1: x = x + 1
IF j <= nrm% THEN GOTO 131
132

REM nrm%(j)=numarul de masini de tipul j
FOR j = 1 TO nrm%
nrms = nrms + nrm%(j)
NEXT j

' determinarea greutatii maxime la fiecare tip de masina
FOR j = 1 TO nrms
FOR i = 1 TO tip
IF ti(i, j) > 0 THEN
IF greut(j) < gr(i) THEN
greut(j) = gr(i)
END IF
ELSE
i: greut(j) = 0 THEN greut(j) = 0
END IF
'PRINT "gr("; i; ")="; gr(i), "greut("; j; ")="; greut(j)
NEXT i
NEXT j

LOCATE 14, 20: PRINT "Continuati? (d/n)"
LOCATE 14, 60: INPUT raspuns$
LOCATE 14, 20: PRINT "
IF INKEY$ = "n" THEN STOP

'recapitulare
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
COLOR 4, 7

FOR j = 1 TO nrm%
FOR k = 1 TO 6
IF m$(k) = mas$(j) THEN LOCATE 15 + k, 3: PRINT "Numarul de masini in sistem este de "; nrm%(j);
m$(k)

IF m$(1) = mas$(j) AND nrm%(j) > 1 THEN LOCATE 16, 48: PRINT "uri"
IF m$(2) = mas$(j) AND nrm%(j) > 1 THEN LOCATE 17, 47: PRINT "i"
IF m$(3) = mas$(j) AND nrm%(j) > 1 THEN LOCATE 18, 47: PRINT "e"
IF m$(4) = mas$(j) AND nrm%(j) > 1 THEN LOCATE 19, 47: PRINT "i"
IF m$(5) = mas$(j) AND nrm%(j) > 1 THEN LOCATE 20, 47: PRINT "i"
IF m$(6) = mas$(j) AND nrm%(j) > 1 THEN LOCATE 21, 47: PRINT "i"

NEXT k
NEXT j

COLOR 1, 7
LOCATE 14, 20: PRINT "Continuati? (d/n)"
LOCATE 14, 60: INPUT raspuns$
LOCATE 14, 20: PRINT "
IF raspuns$ = "n" THEN STOP

END SUB

SUB PozitieMouse (PozX%, PozY%)
DEF PROC Mouse

```

```

AX% = 5: BX% = 0
CALL absolute(AX%, BX%, CN%, DX%, MouseInt%)
IF BX% > 0 THEN
PozX% = CX% \ 8 + 1
PozY% = DX% \ 8 + 1
ELSE
PozX% = 0: PozY% = 0
END IF
END SUB

SUB Prelucrare (PozX%, PozY%, m$( ), nrm%, nrms, a)
DIM o$(5), cuv$(5), cuvan$(5)

6 AscundeMouse
FOR i = 1 TO 5
LINE (kcol, 28 * i + klinie)-STEP(12 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF

    SELECT CASE (i)
    CASE 1
o$(i) = "trunjire": cuv$(i) = "S": cuvan$(1) = "Strunjire"
    CASE 2
o$(i) = "rezare": cuv$(i) = "F": cuvan$(2) = "Frezare"
    CASE 3
o$(i) = "aurire": cuv$(i) = "G": cuvan$(3) = "Gaurire"
    CASE 4
o$(i) = "lezare": cuv$(i) = "A": cuvan$(4) = "Alezare"
    CASE 5
o$(i) = "ectificare": cuv$(i) = "R": cuvan$(5) = "Rectificare"
    END SELECT
    LOCATE 2 + 2 * i, 3: COLOR 4, 1: PRINT cuv$(i)
    LOCATE 2 + 2 * i, 4: COLOR 1, 7: PRINT o$(i)
NEXT i

IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
LOCATE 17, 3: PRINT " Selectati operatiile tehnologice ale pieselor "
LOCATE 18, 2: PRINT " Apasati tastele corespunzatoare operatiei "
103 IF soricel = 1 THEN GOSUB 111: INPUT cuv$(i)
IF q = 0 THEN LOCATE 14, 20: PRINT "Continuati? (d/n)"
IF q = 0 THEN LOCATE 14, 60: INPUT raspuns$
IF q = 0 THEN LOCATE 14, 20: PRINT "
IF q = 0 AND raspuns$ = "n" THEN GOTO 6
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
2 IF soricel = 0 THEN
timp = 3
ArataMouse

    IF Mouse% THEN
PozitieMouse PozX%, PozY%
    IF PozX% > 4 AND PozX% < 15 THEN
q = 1: i = 1

    SELECT CASE (PozY%)

    CASE IS < 8
i = 1
    IF m$(i) <> "" THEN GOTO 1
    LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
    AscundeMouse
    PAINT (7 * kcol, 28 + 1.75 * klinie), 14, 1: m$(i) = "strung": nrm% = nrm% + 1
    timp = 1: ArataMouse
    GOSUB 111: PRINT "Ati selectat "; m$(i)

    CASE 9 TO 11
i = 2
    IF m$(i) <> "" THEN GOTO 1
    LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
    AscundeMouse
    PAINT (7 * kcol, 56 + 1.75 * klinie), 14, 1: m$(i) = "masina de frezat": nrm% = nrm%
+ 1

    timp = 1: ArataMouse
    GOSUB 111: PRINT "Ati selectat "; m$(i)

    CASE 12 TO 15

```

```

i = 3
IF crt > 0 THEN GOTO 1
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
AscundeMouse
PAINT (7 * kcol, 84 + 1.75 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
crt = crt + 1
IF m$(2) = "masina de frezat" THEN GOSUB 111: PRINT "Operatia de gaurire se poate
realiza pe "; m$(2); "? (d/n)"
raspuns$ = INKEY$
IF m$(2) = "masina de frezat" THEN LOCATE x%, 67: INPUT raspuns$
IF m$(2) = "masina de frezat" AND raspuns$ = "d" THEN a = -a: GOSUB 111: PRINT "Ati
selectat "; m$(2): GOTO 1
IF m$(2) = "masina de frezat" AND raspuns$ = "n" THEN a = -a: GOSUB 111: PRINT
"Este necesar un centru de prelucrare? (d/n)"
IF m$(2) = "" THEN a = -a: GOSUB 111: PRINT "Este necesar un centru de prelucrare?
(d/n)"
rasp$ = INKEY$
LOCATE x%, 55: INPUT rasp$
IF rasp$ = "d" THEN m$(i) = "centru de prel.": a = -a: GOSUB 111: PRINT "Ati
selectat "; m$(i)
IF rasp$ = "d" AND m$(i) <> "" AND m$(2) = "" THEN nrm% = nrm% + 1
IF rasp$ = "d" AND m$(i) <> "" AND m$(2) <> "" THEN m$(2) = ""
IF rasp$ = "n" THEN m$(i + 1) = "masina de gaurit": nrm% = nrm% + 1: a = -a: GOSUB
111: PRINT "Ati selectat "; m$(i + 1)

CASE 16 TO 17
i = 4
IF crt > 1 THEN GOTO 1
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
AscundeMouse
PAINT (7 * kcol, 112 + 1.75 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
IF m$(1) = "" AND m$(3) = "" AND m$(2) = "" THEN : m$(1) = "masina de gaurit": nrm%
= nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Alezarea se realizeaza pe "; m$(1)
IF m$(1) <> "" THEN GOSUB 111: PRINT "Alezarea se realizeaza pe "; m$(1)
IF m$(2) <> "" AND m$(1) = "" AND m$(3) = "" THEN GOSUB 111: PRINT " Alezarea se
poate realiza pe "; m$(2); "??"
IF m$(2) <> "" AND m$(1) = "" AND m$(3) = "" THEN raspu$ = INKEY$: GOSUB 111: INPUT
"tasta da (d) sau nu (n)"; raspu$
IF raspu$ = "d" THEN GOSUB 111: PRINT "Ati selectat "; m$(2)
IF raspu$ = "n" AND m$(1) = "" THEN m$(1) = "masina de gaurit": nrm% = nrm% + 1:
GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(1)
IF raspu$ = "n" AND m$(1) <> "" THEN GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(1)
IF m$(3) <> "" THEN GOSUB 111: PRINT " Alezarea se realizeaza pe "; m$(3)

CASE 18 TO 21
i = 5
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
AscundeMouse
PAINT (7 * kcol, 140 + 1.75 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
IF m$(1) <> "" AND m$(i) = "" THEN
GOSUB 111: PRINT "Selectati rectificare rotunda? (d/n)"
GOSUB 111: INPUT rasp$
IF rasp$ = "d" THEN m$(i) = "masina rectific. rotund": nrm% = nrm% + 1: r = 1:
GOSUB 111: PRINT "Ati selectat "; m$(i)
END IF
IF m$(i + 1) = "" AND r = 0 AND m$(2) <> "" THEN m$(i + 1) = "masina rectific. plan":
nrm% = nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i + 1)
IF m$(i + 1) = "" AND r = 0 AND m$(3) <> "" THEN m$(i + 1) = "masina rectific. plan":
nrm% = nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i + 1)
IF m$(i + 1) = "" AND r = 0 AND m$(4) <> "" THEN m$(i + 1) = "masina rectific. plan":
nrm% = nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i + 1)
r = 0
AscundeMouse
PAINT (7 * kcol, 140 + 1.75 * klinie), 14, 1
timp = 1: ArataMouse
1
END SELECT
END IF
END IF
END IF
IF soricel = 1 THEN GOTO 104
GOSUB 111: PRINT "Ati selectat toate operatiile tehnologice ale pieselor? (d/n)"

```

```

LOCATE x%, 65: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "n" THEN GOTO 2
crt = 0
IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
PAINT (315, 271.5), a, 9
IF soricel = 0 THEN GOTO 105

104 q = 1: a = -a
SELECT CASE (cuv$(i))

CASE "S"
i = 1
IF m$(i) <> "" THEN GOTO 102
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
PAINT (7 * kcol, 28 + 1.75 * klinie), 14, 1: m$(i) = "strung": nrm% = nrm% + 1
GOSUB 111: PRINT "Ati selectat "; m$(i)

CASE "F"
i = 2
IF m$(i) <> "" THEN GOTO 102
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
PAINT (7 * kcol, 56 + 1.75 * klinie), 14, 1: m$(i) = "masina de frezat": nrm% = nrm%
+ 1
GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i)

CASE "G"
i = 3
IF crt <> 0 THEN GOTO 102
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
PAINT (7 * kcol, 84 + 1.75 * klinie), 14, 1
crt = crt + 1
IF m$(2) = "masina de frezat" THEN GOSUB 111: PRINT "Operatia de gaurire se poate
realiza pe "; m$(2); "?"
raspuns$ = INKEY$
IF m$(2) = "masina de frezat" THEN GOSUB 111: INPUT "tasta da (d) sau nu (n) ";
raspuns$
IF m$(2) = "masina de frezat" AND raspuns$ = "d" THEN a = -a: GOSUB 111: PRINT "Ati
selectat "; m$(2): GOTO 1
IF m$(2) = "masina de frezat" AND raspuns$ = "n" THEN a = -a: GOSUB 111: PRINT
"Este necesar un centru de prelucrare? "
IF m$(2) = "" THEN a = -a: GOSUB 111: PRINT "Este necesar un centru de prelucrare?"
rasp$ = INKEY$
GOSUB 111: INPUT "tasta da (d) sau nu (n) "; rasp$
IF rasp$ = "d" THEN m$(i) = "centru de prel.": a = -a: GOSUB 111: PRINT "Ati
selectat "; m$(i)
IF rasp$ = "d" AND m$(i) <> "" AND m$(2) = "" THEN nrm% = nrm% + 1
IF rasp$ = "d" AND m$(i) <> "" AND m$(2) <> "" THEN m$(2) = ""
IF rasp$ = "n" THEN m$(i + 1) = "masina de gaurit": nrm% = nrm% + 1: a = -a: GOSUB
111: PRINT "Ati selectat "; m$(i + 1)

CASE "A"
i = 4
IF crt > 1 THEN GOTO 102
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
PAINT (7 * kcol, 112 + 1.75 * klinie), 14, 1
IF m$(i) = "" AND m$(3) = "" AND m$(2) = "" THEN : m$(i) = "masina de gaurit": nrm%
= nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Alezarea se realizeza pe "; m$(i)
IF m$(i) <> "" THEN GOSUB 111: PRINT "Alezarea se realizeaza pe "; mg$
IF m$(2) <> "" AND m$(i) = "" AND m$(3) = "" THEN GOSUB 111: PRINT " Alezarea se
poate realiza pe "; m$(2); "?"
IF m$(2) <> "" AND m$(i) = "" AND m$(3) = "" THEN raspu$ = INKEY$: GOSUB 111: INPUT
"tasta da (d) sau nu (n)"; raspu$
IF raspu$ = "d" THEN GOSUB 111: PRINT "Ati selectat "; m$(2)
IF raspu$ = "n" AND m$(i) = "" THEN m$(i) = "masina de gaurit": nrm% = nrm% + 1:
GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i)
IF raspu$ = "n" AND m$(i) <> "" THEN GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i)
IF m$(3) <> "" THEN GOSUB 111: PRINT " Alezarea se realizeaza pe "; m$(3)

CASE "R"
i = 5
LOCATE 2 + 2 * i, 3: PRINT cuv$(i)
PAINT (7 * kcol, 140 + 1.75 * klinie), 14, 1
IF m$(1) <> "" AND m$(i) = "" THEN
GOSUB 111: PRINT "Selectati rectificare rotunda? (d/n)"
GOSUB 111: INPUT rasp$
IF rasp$ = "d" THEN m$(i) = "masina rectific. rotund": nrm% = nrm% + 1: r = 1:
GOSUB 111: PRINT "Ati selectat "; m$(i)

```

```

        END IF
        IF m$(i + 1) = "" AND r = 0 AND m$(2) <> "" THEN m$(i + 1) = "masina rectific. plan":
nrm% = nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i + 1)
        IF m$(i + 1) = "" AND r = 0 AND m$(3) <> "" THEN m$(i + 1) = "masina rectific. plan":
nrm% = nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i + 1)
        IF m$(i + 1) = "" AND r = 0 AND mg$ <> "" THEN m$(i + 1) = "masina rectific. plan":
nrm% = nrm% + 1: GOSUB 111: PRINT " Ati selectat "; m$(i + 1)
        r = 0
102      END SELECT
        GOSUB 111: PRINT "Ati selectat toate operatiile tehnologice ale pieselor? (d/n)"
        LOCATE x%, 60: INPUT raspuns$
        IF raspuns$ = "n" THEN GOTO 103
        crt = 0

105 LOCATE 17, 2: PRINT " Ati selectat masinile: "; m$(1); ", "; m$(2); ", "; m$(4)
LOCATE 19, 3: PRINT m$(3)
LOCATE 20, 3: PRINT m$(5); ", "; m$(6); ""
LOCATE 22, 2: PRINT " Numarul de tipuri de masini unelte in SFF este ", nrm%
LOCATE 14, 52: PRINT "Continuati? (d/n)"
LOCATE 14, 75: INPUT raspuns$
LOCATE 14, 52: PRINT "
IF raspuns$ = "n" THEN GOTO 6

GOTO 190
111 x% = x% + 1
    IF x% >= 24 THEN
        x% = 16: LOCATE 14, 35: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare"
        SLEEP 0: IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
        PAINT (315, 271.5), a, 9
        LOCATE 14, 35: PRINT "
    END IF
LOCATE x%, 3
RETURN

190 END SUB

SUB Transport (a)

AscundeMouse
PAINT (55 * kcol, 1.25 * klinie), 14, 1

FOR i = 1 TO 4
LINE (51 * kcol, 28 * i + .8 * klinie)-STEP(19 * kcol, 1.5 * klinie), 1, BF

    SELECT CASE (i)
    CASE 1
    t$ = "conv. liniar"
    CASE 2
    t$ = "conv. circular"
    CASE 3
    t$ = "sistem de robocare"
    CASE 4
    t$ = "sistem mecanizat"

    END SELECT
    LOCATE 2 + 2 * i, 53: PRINT t$

NEXT i
timp = 1: ArataMouse

GOSUB 401: PRINT "Modalitati de transport a pieselor de la o masina la alta"

IF c1$ = "paleta de depoz." THEN GOSUB 401: PRINT "Se recomanda un sistem de transport mecanizat":
t$ = "sistem mecanizat": GOTO 411

IF nrms > 4 THEN t$ = "sistem de robocare": GOSUB 401: PRINT "Se recomanda un "; t$

IF c$ = "depozit liniar" AND nrms <= 4 THEN
    FOR j = 1 TO nrms
    IF gab(j) = 2 THEN
        t$ = "conv. liniar"
    ELSE GOTO 410
    END IF
    NEXT j
END IF

IF t$ = "conv.liniar" THEN GOSUB 401: PRINT "Se recomanda utilizarea unui conveyer liniar"
IF c$ <> "depozit liniar" AND nrms <= 4 THEN

```

```

FOR j = 1 TO nrms
  IF gab(j) = 1 THEN
    t$ = "conv. circular"
  ELSE GOTO 410
  END IF
NEXT j
END IF
IF t$ = "conv. circular" THEN GOSUB 401: PRINT "Se recomanda conveior circular"
411
GOSUB 401: PRINT "Acceptati solutia propusa? (d/n)": LOCATE x%, 40: INPUT raspuns$
IF raspuns$ = "d" THEN GOTO 402

410 SLEEP 0: GOSUB 401: PRINT "Selectati solutia pentru sistemul de transport"

t$ = ""
timp = 3: ArataMouse
  IF Mouse% THEN
    PozitieMouse PozX%, PozY%

      IF PozX% > 52 AND PozX% < 69 THEN

        SELECT CASE (PozY%)
        CASE IS < 8
          t$ = "conv. liniar"
          AscundeMouse
          PAINT (60.5 * kcol, 28 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 9 TO 11
          t$ = "conv. circular"
          AscundeMouse
          PAINT (60.5 * kcol, 56 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 12 TO 14
          t$ = "sistem de robocare"
          AscundeMouse
          PAINT (60.5 * kcol, 84 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        CASE 15 TO 18
          t$ = "sistem mecanizat"
          AscundeMouse
          PAINT (60.5 * kcol, 112 + 1.55 * klinie), 14, 1
          timp = 1: ArataMouse

        END SELECT
      END IF
    END IF

  END IF

GOTO 402
401 x% = x% + 1
  IF x% >= 24 THEN
    x% = 16: LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare"
    SLEEP 0: IF a = 7 THEN a = 15 ELSE a = 7
    PAINT (315, 271.5), a, 9
    LOCATE 14, 52: PRINT " "
  END IF
LOCATE x%, 3
RETURN

402 IF t$ = "conv. liniar" THEN PAINT (60.5 * kcol, 28 + 1.9 * klinie), 14, 1
IF t$ = "conv. circular" THEN PAINT (60.5 * kcol, 56 + 1.9 * klinie), 14, 1
IF t$ = "sistem de robocare" THEN PAINT (60.5 * kcol, 84 + 1.9 * klinie), 14, 1
IF t$ = "sistem mecanizat" THEN PAINT (60.5 * kcol, 112 + 1.9 * klinie), 14, 1

GOSUB 401: COLOR 4, 7: PRINT " GATA SELECTAREA STRUCTURII SISTEMULUI FLEXIBIL!"
COLOR 1, 7: LOCATE 14, 52: PRINT "Apasa o tasta pt. continuare": SLEEP 0

END SUB

```

Cap 4.4

Optimizarea miscarii start-tinta a robotului

tetas1	30 Psx	310.95 k1	0.285714
tetas2	30 Psy	179.52 k2	0.25
tetas3	10 Psz	421.41 k3	0.166667
tetat1	80 Ptx	17.12	
tetat2	45 Pty	97.12	
tetat3	60 Ptz	538.07	
tetast1	50 omega max 1	35	
tetast2	15 omega max 2	10	
tetast3	50 omega max 3	30	

tmin	tmin1	tmin2
1	1.428571	1.667
2	1.5	1
3	1.666667	

se alege tmin din (tmin1,tmin2) 2

Legea de miscare pentru axa 1

t	k1	tst	tetast1	s	v	a	s	v	a	s	v	a	s	v	a	tacc	tconst	s	v	a
0	0.286		2	50	0	0	61.25	-10	35	0	-72.5	122.5	-61.25	0	0	0.3333	1.4286	30	0	0
0.2	0.286		2	50	2.45	12.25	61.25	-3	35	0	-49.2	110.25	-61.25	0	0	0.388889	1.4286	32.45	12.25	0
0.4	0.286		2	50	9.8	24.5	61.25	4	35	0	-28.4	98	-61.25	0	0	0.3175	1.4286	39.8	24.5	0
0.6	0.286		2	50	22.05	36.75	61.25	11	35	0	-10	85.75	-61.25	0	0	0.2857	1.4286	41	35	0
0.8	0.286		2	50	39.2	49	61.25	18	35	0	5.9	73.5	-61.25	0	0	0.4	1.4286	48	35	0
1	0.286		2	50	61.25	61.25	61.25	25	35	0	19.38	61.25	-61.25	0	0	0.333333	1.4286	55	35	0
1.2	0.286		2	50	88.2	73.5	61.25	32	35	0	30.4	49	-61.25	0	0		1.4286	62	35	0
1.4	0.286		2	50	120.1	85.75	61.25	39	35	0	38.98	36.75	-61.25	0	0		1.4286	69	35	0
1.6	0.286		2	50	156.8	98	61.25	46	35	0	45.1	24.5	-61.25	0	0		1.4286	75.1	24.5	-61.25
1.8	0.286		2	50	198.5	110.25	61.25	53	35	0	48.78	12.25	-61.25	0	0		1.4286	78.775	12.25	-61.25
2	0.286		2	50	245	122.5	61.25	60	35	0	50	0	-61.25	0	0		1.4286	80	0	-61.25

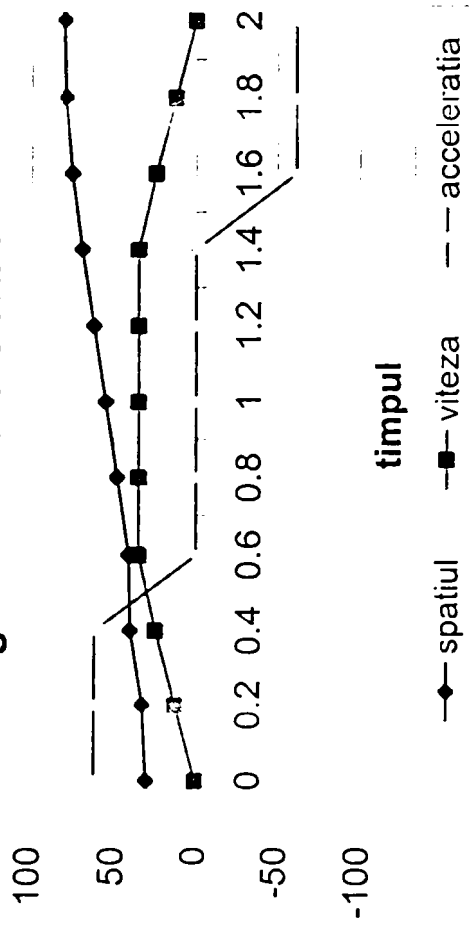
Legea de miscare pentru axa 2

t	K2	tst	tetast2	s	v	a	s	v	a	s	v	a	tacc	tconst	s	v	a	
0	0.25		2	15	0	0	20	-2.5	10	0	-25	40	-20	0.5	1.5	30	0	20
0.2	0.25		2	15	0.8	4	20	-0.5	10	0	-17.4	36	-20	0.5	1.5	30.8	4	20
0.4	0.25		2	15	3.2	8	20	1.5	10	0	-10.6	32	-20	0.5	1.5	33.2	8	20
0.6	0.25		2	15	7.2	12	20	3.5	10	0	-4.6	28	-20	0.5	1.5	33.5	10	0
0.8	0.25		2	15	12.8	16	20	5.5	10	0	0.6	24	-20	0.5	1.5	35.5	10	0
1	0.25		2	15	20	20	20	7.5	10	0	5	20	-20	0.5	1.5	37.5	10	0
1.2	0.25		2	15	28.8	24	20	9.5	10	0	8.6	16	-20	0.5	1.5	39.5	10	0
1.4	0.25		2	15	39.2	28	20	11.5	10	0	11.4	12	-20	0.5	1.5	41.5	10	0
1.6	0.25		2	15	51.2	32	20	13.5	10	0	13.4	8	-20	0.5	1.5	43.4	8	-20
1.8	0.25		2	15	64.8	36	20	15.5	10	0	14.6	4	-20	0.5	1.5	44.6	4	-20
2	0.25		2	15	80	40	20	17.5	10	0	15	0	-20	0.5	1.5	45	0	-20

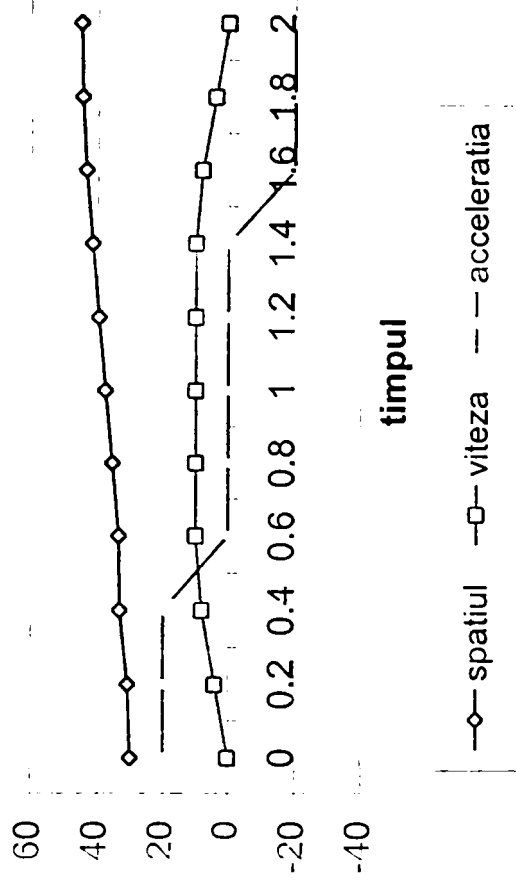
Legea de miscare pentru axa 3

t	K3	tst	tetast3	s	v	a	s	v	a	s	v	a	tacc	tconst	s	v	a	
0	0.167		2	50	0	0	90	-5	30	0	-130	180	-90	0.3333	1.6667	10	0	90
0.2	0.167		2	50	3.6	18	90	1	30	0	-95.8	162	-90	0.3333	1.6667	13.6	18	90
0.4	0.167		2	50	14.4	36	90	7	30	0	-65.2	144	-90	0.3333	1.6667	17	30	0
0.6	0.167		2	50	32.4	54	90	13	30	0	-38.2	126	-90	0.3333	1.6667	23	30	0
0.8	0.167		2	50	57.6	72	90	19	30	0	-14.8	108	-90	0.3333	1.6667	29	30	0
1	0.167		2	50	90	90	90	25	30	0	5	90	-90	0.3333	1.6667	35	30	0
1.2	0.167		2	50	129.6	108	90	31	30	0	21.2	72	-90	0.3333	1.6667	41	30	0
1.4	0.167		2	50	176.4	126	90	37	30	0	33.8	54	-90	0.3333	1.6667	47	30	0
1.6	0.167		2	50	230.4	144	90	43	30	0	42.8	36	-90	0.3333	1.6667	53	30	0
1.8	0.167		2	50	291.6	162	90	49	30	0	48.2	18	-90	0.3333	1.6667	58.2	18	-90
2	0.167		2	50	360	180	90	55	30	0	50	0	-90	0.3333	1.6667	60	0	-90

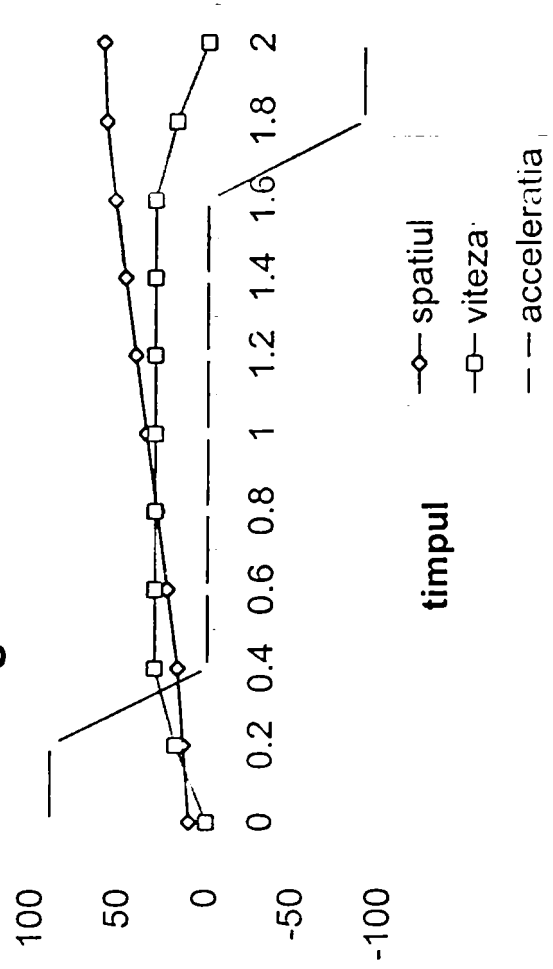
legea de miscare axa1



legea de miscare axa2



legea de miscare axa3



Determinarea matricii de trecere 0-3

teta1	teta2	teta3	teta2+3	cos(teta1)	cos(teta2)	cos(teta3)	sin(teta1)	sin(teta2)	sin(teta3)	cos(teta2+3)	sin(teta2+3)	a2	a3	d1	Pxi	Pyi	Pzi	
30	30	10	40	0.866025	0.866025	0.984808	0.5	0.5	0.5	0.17365	0.766044	0.642788	220	220	170	310.9511	179.5277	421.4133
32.45	30.8	13.6	44.4	0.84386	0.85896	0.971961	0.536563	0.512043	0.23514	0.714473	0.699663	220	220	170	292.1065	185.7342	436.5754	
39.8	33.2	17	50.2	0.768284	0.836764	0.956305	0.64011	0.547563	0.29237	0.64011	0.768284	220	220	170	249.6248	207.9795	459.4863	
41	33.5	23	56.5	0.75471	0.833886	0.920505	0.656059	0.551937	0.39073	0.551937	0.833886	220	220	170	230.0966	200.0199	474.881	
48	35.5	29	64.5	0.669131	0.814116	0.87462	0.743145	0.580703	0.48481	0.430511	0.902585	220	220	170	183.2199	203.4863	496.3234	
55	37.5	35	72.5	0.573576	0.793353	0.819152	0.819152	0.608761	0.57358	0.300706	0.953717	220	220	170	138.0558	197.1642	513.7452	
62	39.5	41	80.5	0.469472	0.771625	0.75471	0.882948	0.636078	0.65606	0.165048	0.986286	220	220	170	96.74301	181.9471	526.92	
69	41.5	47	88.5	0.358368	0.748956	0.681998	0.93358	0.66262	0.73135	0.026177	0.999657	220	220	170	61.1122	159.2027	535.701	
75.1	43.4	53	96.4	0.257133	0.726575	0.601815	0.966376	0.687088	0.79864	-0.111469	0.993768	220	220	170	34.79605	130.7732	539.7882	
78.78	44.6	58.2	102.8	0.194662	0.712026	0.526956	0.98087	0.702153	0.84989	-0.221548	0.975149	220	220	170	21.00505	105.8409	539.0065	
80	45	60	105	0.173648	0.707107	0.5	0.984808	0.707107	0.86603	-0.258819	0.965926	220	220	170	17.12576	97.12499	538.0672	

Calculul teta1,2,3, pentru puncte pe PspT

Pixlin	Piylin	Pizlin	teta1	alfa	beta	gama	r	teta2	teta3	tetai	tetai3
311	179.52	421.41	0.523582	359.0506	251.41	436.646	438.3199	0.523448	0.17	30	30
281.6	171.28	433.076	0.546507	329.5707	263.076	404.15	421.694	0.384196	0.58	31	22
252.2	163.04	444.742	0.573919	300.2979	274.742	376.504	407.0159	0.35132	0.78	33	20
222.8	154.8	456.408	0.607221	271.2993	286.403	353.711	394.5033	0.353714	0.92	35	20
193.4	146.56	468.074	0.648435	242.6734	298.074	335.769	384.3676	0.379173	1.02	37	22
164	138.32	479.74	0.700553	214.5691	309.74	322.679	376.8007	0.422353	1.09	40	24
134.7	130.08	491.406	0.76813	187.2217	321.406	314.44	371.9594	0.479784	1.13	44	27
105.3	121.84	503.072	0.858234	161.0172	333.072	311.053	369.9507	0.548449	1.14	49	31
75.89	113.6	514.738	0.981864	136.615	344.738	312.518	370.8206	0.625116	1.14	56	36
46.5	105.36	526.404	1.15514	115.1662	356.404	318.834	374.5492	0.705816	1.1	66	40
17.12	97.12	538.07	1.396312	98.61739	368.07	330.002	381.0524	0.785421	1.05	80	45

Recalcularea legilor de miscare pentru k1,2,3 optimizat

tetas1 30 Psx 311 k1 0.166594
 tetas2 30 Psy 179.5 k2 0.166497
 tetas3 10 Psz 421.4 k3 0.166667

tetat1 80 Ptx 17.12
 tetat2 45 Pty 97.12
 tetat3 60 Ptz 538.1

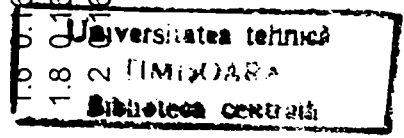
tetas1 50 omegaε 35
 tetas2 15 omegaε 10
 tetas3 50 omegaε 30

tmin tmin1 tmin2
 1 1.429 1.666667 2.857143
 2 1.5 1
 3 1.667

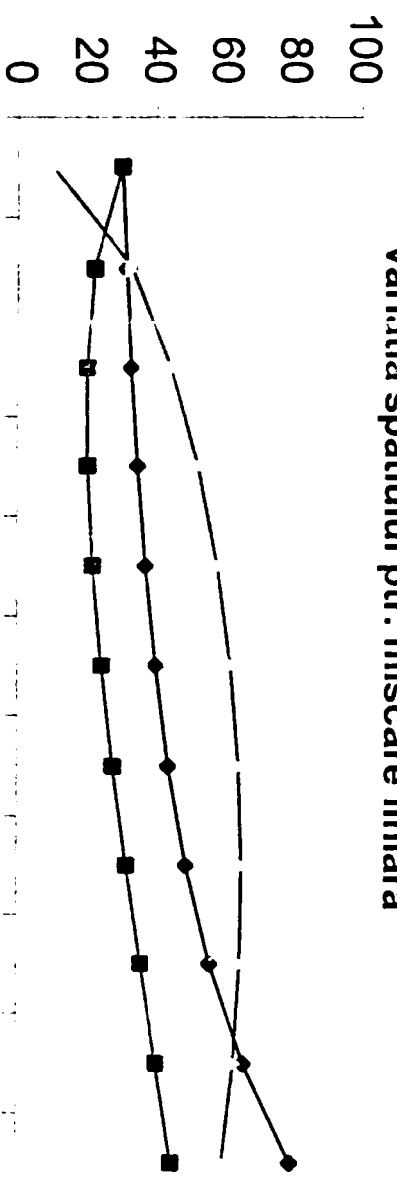
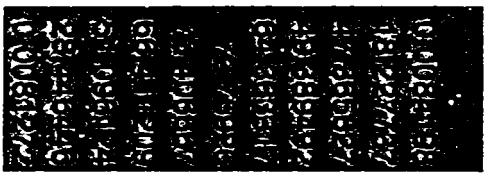
se alege tmin din (tmin1 2

Legea de miscare pentru axa 1

t	k1	tst	tetat1 s	v	a	s	v	a	tacc	tcon:	s	v	a	v	a
0	0.167	2	50	0	0	90.0312	-4.997402	29.9974	-90	0.3	1.7	30	180.0624	0	90.0312
0.2	0.167	2	50	3.601248	18.00624	90.0312	1.002079	29.9974	-90	0.3	1.7	33.60125	162.0562	18.00624	90.0312
0.4	0.167	2	50	14.40499	36.01248	90.0312	7.001559	29.9974	-90	0.3	1.7	37.00156	144.0499	29.9974	0
0.6	0.167	2	50	32.41123	54.01872	90.0312	13.00104	29.9974	-90	0.3	1.7	43.00104	126.0437	29.9974	0
0.8	0.167	2	50	57.61997	72.02496	90.0312	19.00052	29.9974	-90	0.3	1.7	49.00052	108.0374	29.9974	0
1	0.167	2	50	90.0312	90.0312	90.0312	25	29.9974	-90	0.3	1.7	55	90.0312	29.9974	0
1.2	0.167	2	50	129.6449	108.0374	90.0312	30.99948	29.9974	-90	0.3	1.7	60.99948	72.02496	29.9974	0
1.4	0.167	2	50	176.4611	126.0437	90.0312	36.99896	29.9974	-90	0.3	1.7	66.99896	54.01872	29.9974	0
1.6	0.167	2	50	230.4799	144.0499	90.0312	42.99844	29.9974	-90	0.3	1.7	72.99844	36.01248	29.9974	0
1.8	0.167	2	50	291.7011	162.0562	90.0312	48.99792	29.9974	-90	0.3	1.7	78.19938	18.00624	18.00624	-90.0312
2	0.167	2	50	360.1248	180.0624	90.0312	54.9974	29.9974	-90	0.3	1.7	80	0	0	-90.0312



distanța fata de linia dreapta PsPt



media abaterilor

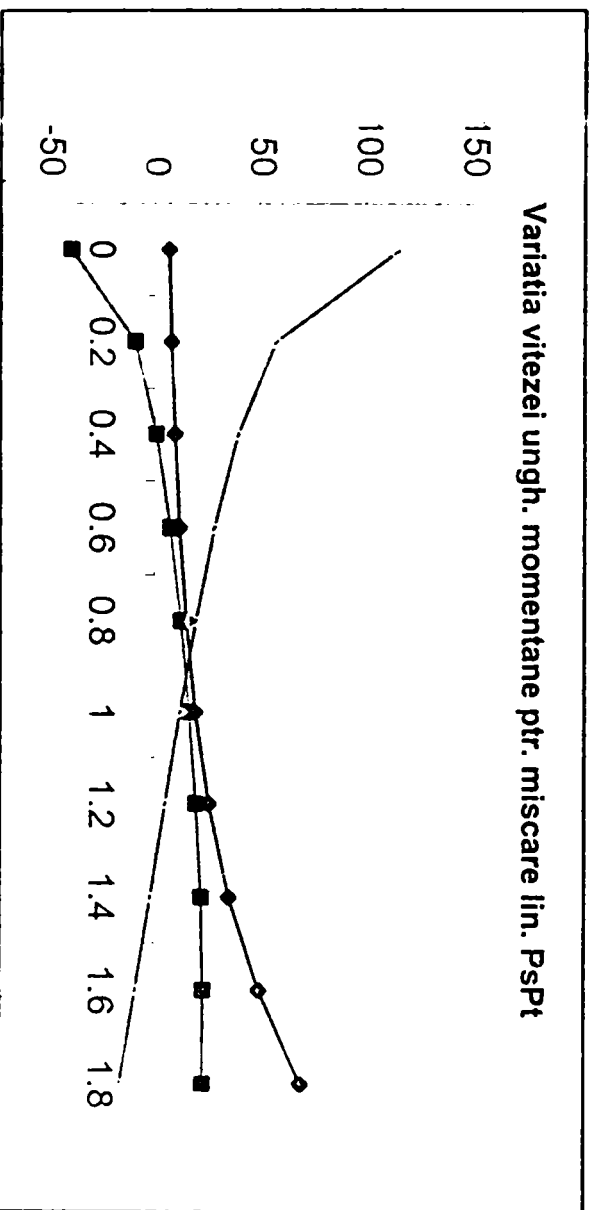
47.148243

Determinarea vitezei unghiulare pentru miscare liniara pe PsPt

timpul viteza ungh t viteza ungh viteza ungh delta t

0			
0.2	6.567703801	-39.89277	115.76763
0.4	7.852958606	-9.418305	57.407847
0.6	9.540233485	0.6856591	39.593299
0.8	11.80679011	7.2934947	28.391562
1	14.93093627	12.370132	19.644441
1.2	19.35917679	16.452949	12.001217
1.4	25.81302911	19.671107	4.8639099
1.6	35.417345	21.963293	-2.098553
1.8	49.6400016	23.118934	-9.134461
2	69.09065826	22.805039	-16.52634
	viteza m1	viteza m2	viteza m3
	25.0018833	7.5049536	24.991055

Variatia vitezei ungh. momentane ptr. miscare lin. PsPt



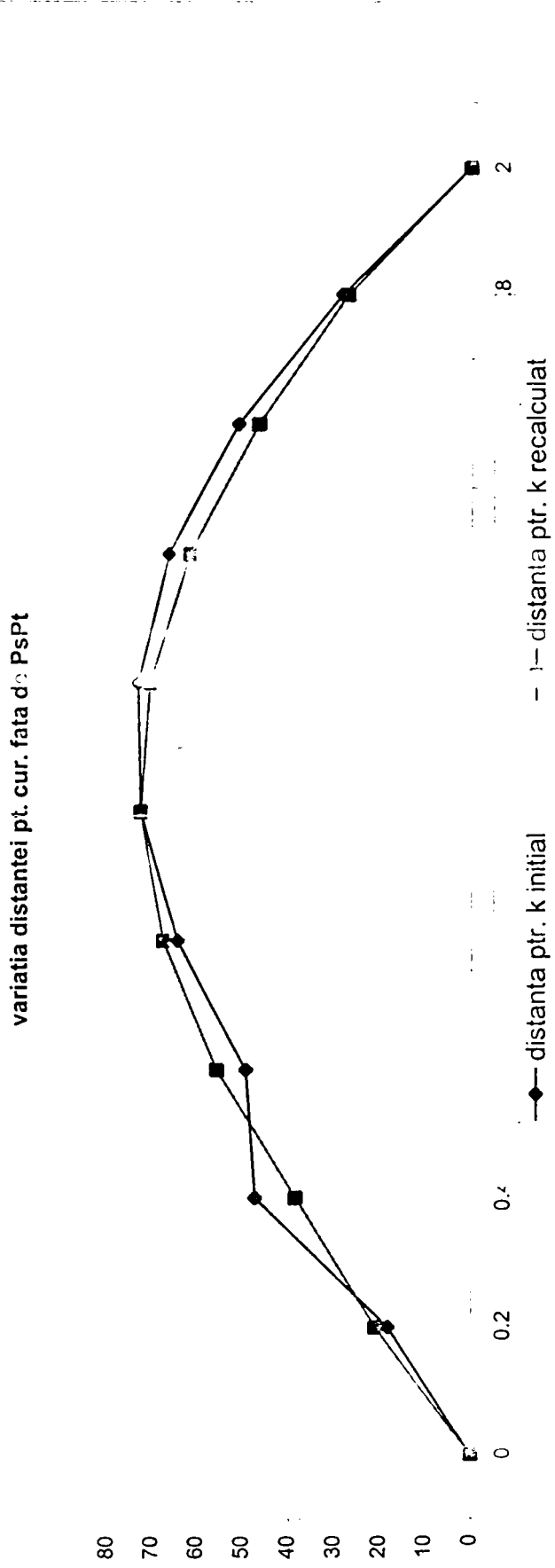
p1=vm2/vm1, panta relat. 3.331384122

p2=vm2/vm4, panta rel 0.3003056

k1reacalc 0.166594
k2reacalc 0.166497
k3reacalc 0.166667 Page 37

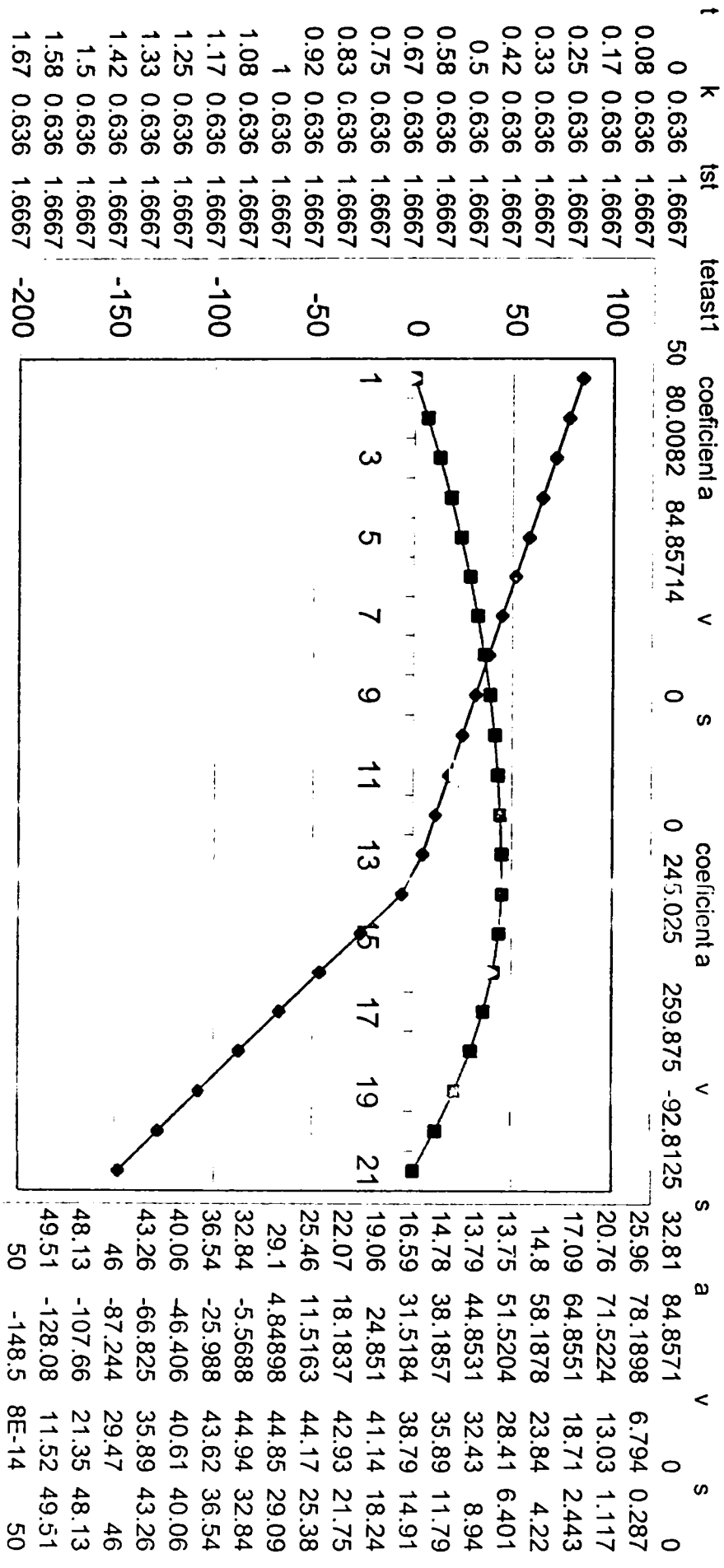
Pxi	Pyi	Pzi	distanța față de linia dreaptă PsPt
310.9511	179.5		421.4132741 0.0084198
287.2239	190.8		438.2691059 21.01349
263.8673	198.8		453.2017871 38.605521
221.4072	206.5		477.0059122 55.644571
178.889	205.8		497.2789705 67.619959
138.0558	197.2		513.7452435 72.75926
100.5098	181.3		526.1972299 70.722869
67.63171	159.3		534.4993888 61.718457
40.51233	132.5		538.5905539 46.661937
22.25222	106.5		538.7409308 27.232735
17.12576	97.12		538.0671736 0.0081272

media abaterilor pentru k recalculat 46.199535 corectarea relativa
 media abaterilor pentru k initial tmin 47.148243 0.0201218



tst tacc
 1.67 1.061
 0.98
 0.833

legea de miscare cu profil de viteza parabolica
 legea de miscare pentru axa 1

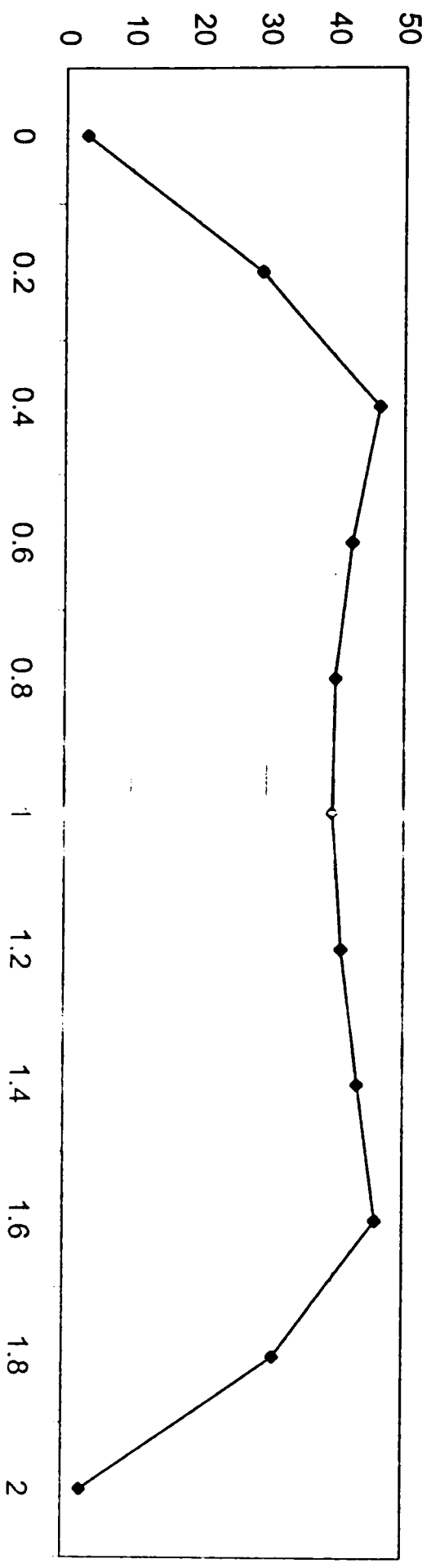


Matricile Jacobiene

tetai1	tetai2	tetai3	cos teta1	cos teta2	cos teta3	sin teta1	sin teta2	sin teta3	cos teta23	sin teta23	a2	a3	d1	omega	omega3	
30	30	10	0.86603	0.86603	0.984808	0.5	0.5	0.17365	0.766044	0.64279	220	220	170	35	10	30
33.6	31.08	13.6	0.83291	0.85644	0.971961	0.5534	0.516248	0.23514	0.711034	0.70316	220	220	170	35	10	30
37	32.1	17	0.79862	0.84711	0.956305	0.6018	0.531415	0.29237	0.654726	0.75587	220	220	170	35	10	30
43	33.9	23	0.73134	0.83001	0.920505	0.682	0.557756	0.39073	0.546091	0.83773	220	220	170	35	10	30
49	35.7	29	0.65605	0.81208	0.87462	0.7547	0.583546	0.48481	0.427352	0.90409	220	220	170	35	10	30
55	37.5	35	0.57358	0.79335	0.819152	0.8192	0.608761	0.57358	0.300706	0.95372	220	220	170	35	10	30
61	39.3	41	0.48482	0.77384	0.75471	0.8746	0.633376	0.65606	0.168496	0.9857	220	220	170	35	10	30
67	41.1	47	0.39075	0.75357	0.681998	0.9205	0.657366	0.73135	0.033168	0.99945	220	220	170	35	10	30
73	42.9	53	0.2924	0.73256	0.601815	0.9563	0.680707	0.79864	-0.102773	0.9947	220	220	170	35	10	30
78.2	44.46	58.2	0.20451	0.71374	0.526956	0.9789	0.700406	0.84989	-0.219158	0.97569	220	220	170	35	10	30
80	45	60	0.17365	0.70711	0.5	0.9848	0.707107	0.86603	-0.258819	0.96593	220	220	170	35	10	30

J11	J12	J13	J21	J22	J23	J31	J32	J33	j'11	j'12	j'13	j'21	j'22	j'23	j'31	j'32	j'33
180	-218	-122.5	310.951	-125.71	-70.70664	0	359.0554	168.53	-10883.29	-3109.51	-4379	5808.93	-1795	-2528	0	-1482	4242.398
191	-223	-128.8	287.224	-148.46	-85.60951	0	344.8442	156.428	-10052.84	-2872.24	-3909	6645.84	-1908	-2597	0	-1653	4640.839
199	-226	-132.8	263.867	-170.44	-100.0798	0	330.4044	144.04	-9235.354	-2638.67	-3451	7428.43	-1988	-2601	0	-1812	4988.716
206	-225	-134.8	221.407	-209.38	-125.6945	0	302.7412	120.14	-7749.251	-2214.07	-2636	8758.07	-2065	-2458	0	-2087	-5528.99
206	-215	-130.5	178.889	-247	-150.112	0	272.675	94.0175	-6261.116	-1788.89	-1850	9973.17	-2058	-2129	0	-2350	-5966.963
197	-197	-120.3	138.056	-281.58	-171.8726	0	240.693	66.1553	-4831.954	-1380.56	-1138	11019.6	-1972	-1626	0	-2601	-6294.532
181	-173	-105.1	100.51	-311.54	-189.6643	0	207.3148	37.069	-3517.845	-1005.1	-539	11849.7	-1813	-973	0	-2837	-6505.636
159	-142	-85.92	67.6317	-335.52	-202.3981	0	173.0827	7.29695	-2367.11	-676.317	-85.5	12425.1	-1593	-202	0	-3055	-6596.369
132	-108	-63.99	40.5123	-352.48	-209.2713	0	138.5521	-22.61	-1417.932	-405.123	198.3	12718.7	-1325	648.7	0	-3255	-6565.052
107	-75.4	-43.9	22.2522	-360.95	-210.1151	0	108.8092	-48.215	-778.8276	-222.522	295.8	12733.7	-1065	1416	0	-3411	-6439.551
97.1	-63.9	-36.9	17.1258	-362.48	-209.2753	0	98.6233	-56.94	-599.4015	-171.258	296.6	12686.6	-971.2	1682	0	-3461	-6375.11

telap1	telap2	telap3	telapp1	telapp2	telapp3	acclx	accly	acclz	cai
0	0	0	90.0312	27.022	90	-742.49	18234.85	24870.1	3.144518
18	5.404	18	90.0312	27.022	90	-267346	76748.31	-69072	29.21426
30	8.998	30	0	0	0	-404309	126921.1	-169969	46.39198
30	8.998	30	0	0	0	-331457	170397.4	-181646	42.39801
30	8.998	30	0	0	0	-259426	216790.8	-200158	40.05007
30	8.998	30	0	0	0	-191519	264045.9	-217241	39.66983
30	8.998	30	0	0	0	-130745	309966.6	-220695	41.01353
30	8.998	30	0	0	0	-79659	352340.2	-229382	43.40237
30	8.998	30	0	0	0	-40230	389064.2	-229237	46.06059
18	5.404	18	-90.0312	-27.022	-90	-13502	275676.2	-132945	31.22897
0	0	0	-90.0312	-27.022	-90	-3696.1	27087.73	2459.62	2.798079
media									36.53722



Cap 4.4

Optimizarea ciclogramei		Paragraful 4.4.4.2				Comparatii ale duratelor tact(k+1)-tactk si dANS		int1 este intarzierea pentru cazul 4 si dANS1		Elimin. m3				
nm=	3 K=	28	dANS2 dANS3 dANS4		int1	int2	int3	int4	nNS3	nNS4	tactk k =			
m(k) tact k	tact(k+1)-tactk	dANS1	dANS2	dANS3	dANS4	casuri 2 nNS2	casuri 1 nNS1	casuri 4 nNS4	casuri 1 nNS3	casuri 4 nNS4	int4	tactk k =		
m2	3	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	3		
m1	4	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	4		
m2	8	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	8		
m1	9	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	9		
m3	9	0.5	1	1.5	2	4	1	4	1	4	1	9		
m2	11	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	11		
m1	13	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	13		
m3	15	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	15		
m2	16	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	16		
m1	18	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	18		
m3	18	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	18		
m1	23	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	23		
m2	23	0.5	1	1.5	2	4	1	4	1	4	1	23		
m3	24	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	24		
m2	26	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	26		
m1	27	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	27		
m3	30	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	30		
m2	33	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	33		
m3	33	0.5	1	1.5	2	4	1	4	1	4	1	33		
m3	36	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	36		
m1	37	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	37		
m2	38	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	38		
m2	41	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	41		
m1	42	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	42		
m3	42	0.5	1	1.5	2	4	1	4	1	4	1	42		
m1	47	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	47		
m2	48	0.5	1	1.5	2	2	0	2	0	2	0	48		
m3	48	0.5	1	1.5	2	4	1	4	1	4	1	48		
concluzii bine		AN1	AN2	AN3	AN4	nNS1	int1=	nNS2	int2=	nNS3	int3	nNS4	int4	K =
		bine	bine	atentie	atentie	4	5	5	5	16	7.5	16	21	20

Eliminarea lui m3										
m(k)	tack	tack(k+1)-tack	dANS3	dANS4	cazuri 3	nNs3	int3	cazuri 4	nNs4	int4
m2	3	3	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	4	1	1.5	2	3	1	0	4	1	1
m2	8	4	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	9	1	1.5	2	3	1	0	4	1	1
m2	11	2	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	13	2	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m2	16	3	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	18	2	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	23	5	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m2	23	0	1.5	2	4	1	1.5	4	1	2
m2	26	3	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	27	1	1.5	2	3	1	0	4	1	1
m2	33	6	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	37	4	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m2	38	1	1.5	2	3	1	0	4	1	1
m2	41	3	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m1	42	1	1.5	2	3	1	0	4	1	1
m1	47	5	1.5	2	2	0	0	2	0	0
m2	48	1	1.5	2	3	1	0	4	1	1
			AN3	AN4	nNs3	int3	nNs4	int4		
			concluzii	bine	bine					

Cap 4.4

nm=		Optimizarea ciclogramei		Paragraful 4.4.4.3		dif1=		Eliminarea m2		Eliminarea m1		necSmin							
m(k) k	tact k	dANS1	dANS2	dif1	dif2	dAS	casuri 1	casuri 2	nS1	nS2	tact k	tact k	nbu(1)	nbu(2)	nbu(3)	2	2	2	
		28				1													
m2	0	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	1	1	0	0	3	1	nbu(3)		2	25	
m1	1	4	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	4	0	nbu(2)			2	25	
m2	2	8	0.5	1	3.5	3	0.5	2	2	1	1	0	8	nbu(1)					
m1	3	9	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	9	0	Mmax					
m3	4	9	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0	9	0	Mmin					
m2	5	11	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	1	1	0	11	1 Ms		2			
m1	6	13	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	1	1	13	0						
m3	7	15	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	1	1	15	1						
m2	16	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	0	15						
m1	18	2	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	1	1	18	0						
m3	18	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0	18	0						
m1	23	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	1	1	23	1						
m2	23	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0	0	0						
m3	24	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	24	1						
m2	26	2	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	1	1	0	24						
m1	27	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	27	0						
m3	30	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1	30	1						
m2	33	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1	0	30						
m3	33	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0	33	1						
m3	36	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1	36	1						
m1	37	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	37	1						
m2	38	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	0	37						
m2	41	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1	0	38	1					
m1	42	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	42	1						
m3	42	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0	42	1						
m1	47	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	1	1	47	1						
m2	48	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0	0	48	1					
m3	48	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0	48	1						

dif1 este (tact(k+1)-tactk)-dANS1

22 13 nS1 nS2 K= 18 K=

19 concluzii

atentie

atentie

ANS1 ANS2

Eliminarea lui m2	tackk	tack(k+1)-tackk	dANS1	dANS2	diff1	diff2	dAS	cazuri 1	cazuri 2	ns1	ns2	necSmin	necSmax
m1	4	4	0.5	1	3.5	3	0.5	2	2	1	1	16	16
m1	9	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	1	1		
m3	9	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0		
m1	13	4	0.5	1	3.5	3	0.5	2	2	1	1		
m3	15	2	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	1	1		
m1	18	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1		
m3	18	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0		
m1	23	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	1	1		
m3	24	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0		
m1	27	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1		
m3	30	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1		
m3	33	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1		
m3	36	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1		
m1	37	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0		
m1	42	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	1	1		
m3	42	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	0	0		
m1	47	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	1	1		
m3	48	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	3	1	0		
										15	12		
										ns1	ns2		
										concluzii			
										ANS1	ANS2		
										atentie	atentie		

Cap 4.4

Eliminarea lui m1		tact k	tact(k+1)-tactk	dANS1	dANS2	dif1	dif2	dAS	cazuri 1	cazuri 2	nS1	nS2	necSmin	necSmax
m2	3	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	1	1	1	17	17
m2	8	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	1	1	1		
m3	9	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	2	3	1	0		
m2	11	2	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	2	1	1		
m3	15	4	0.5	1	3.5	3	0.5	2	2	1	1	1		
m2	16	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	2	3	1	0		
m3	18	2	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	2	1	1		
m2	23	5	0.5	1	4.5	4	0.5	2	2	2	1	1		
m3	24	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	2	3	1	0		
m2	26	2	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	2	1	1		
m3	30	4	0.5	1	3.5	3	0.5	2	2	2	1	1		
m2	33	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	2	1	1		
m3	33	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	3	0	0		
m3	36	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	2	1	1		
m2	38	2	0.5	1	1.5	1	0.5	2	2	2	1	1		
m2	41	3	0.5	1	2.5	2	0.5	2	2	2	1	1		
m3	42	1	0.5	1	0.5	0	0.5	2	2	3	1	0		
m2	48	6	0.5	1	5.5	5	0.5	2	2	2	1	1	ANS1	ANS2
m3	48	0	0.5	1	-0.5	-1	0.5	3	3	3	0	0	concluzii bine	atentie
												17	13	
												nS1	nS2	

Optimizarea ciclogramei			Paragraful 4.4.4.5				
nm=	3	K=	28				
m(k)	tact k	tact(k+1)-tactk	dANS1	dANS2	dAS	cazuri 1	cazuri 2
m2	3	3	0.5	1	0.5	1	1
m1	4	1	0.5	1	0.5	1	2
m2	8	4	0.5	1	0.5	1	1
m1	9	1	0.5	1	0.5	1	2
m3	9	0	0.5	1	0.5	3.1	3.1
m2	11	2	0.5	1	0.5	1	1
m1	13	2	0.5	1	0.5	1	1
m3	15	2	0.5	1	0.5	1	1
m2	16	1	0.5	1	0.5	1	2
m1	18	2	0.5	1	0.5	1	1
m3	18	0	0.5	1	0.5	3.1	3.1
m1	23	5	0.5	1	0.5	1	1
m2	23	0	0.5	1	0.5	3.1	3.1
m3	24	1	0.5	1	0.5	1	2
m2	26	2	0.5	1	0.5	1	1
m1	27	1	0.5	1	0.5	1	2
m3	30	3	0.5	1	0.5	1	1
m2	33	3	0.5	1	0.5	1	1
m3	33	0	0.5	1	0.5	3.1	3.1
m3	36	3	0.5	1	0.5	1	1
m1	37	1	0.5	1	0.5	1	2
m2	38	1	0.5	1	0.5	1	2
m2	41	3	0.5	1	0.5	1	1
m1	42	1	0.5	1	0.5	1	2
m3	42	0	0.5	1	0.5	3.1	3.1
m1	47	5	0.5	1	0.5	1	1
m2	48	1	0.5	1	0.5	1	2
m3	48	0	0.5	1	0.5	3.2	3.2
nu exista situatii critice							

alt exemplu cu date	m(k)	nr.c	tack	dANS=		L5-dANS1	0.5	2*dAS+dANS	1.5	2*dAS+dANS	tact(k+1)-tactk	t(k+2)-tk	cazuri	m(k)	tact(k+2)-tact(k+1)	t(k+3)-t(k+1)	cazuri	m(k)
				tact(k+1)-tactk	tact(k+2)-tact(k+1)													
	m2	1	1	1	0.5	1.5	2	1	2	1	0	3.1	0	3	3.1			
aleatoare	m1	2	3	2	1.5	1.5	3	1	3	1	3	5	3.1	2	4	1	5	1
ale lui tactk	m3	3	3	0	-0.5	1.5	3	4	4	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	m1	4	6	3	2.5	1.5	2	2	2	1	0	2	1	0	3	3.1		
	m2	5	8	2	1.5	1.5	2	2	3	1	3	3	1	3	5	1		
	m1	6	10	2	1.5	1.5	2	2	5	3.1	2	5	3.1	2	3	1		
	m2	7	10	0	-0.5	1.5	3	3	3	1	1	3	1	1	1	1		
	m1	8	13	3	2.5	1.5	2	1	1	1	0	0	3.2	0	0	3.2		
	m3	9	15	2	1.5	1.5	1	0	1	1	0	0	3.1	0	3	1		
	m2	10	16	1	0.5	1.5	0	3	3	1	3	4	3.1	1	2	2		
	m1	10	16	0	-0.5	1.5	0	2	2	1	0	3	3.1	3	4	1		
	m3	11	16	0	-0.5	1.5	3	3	3	1	2	3	1	1	1	3		
	m1	12	19	3	2.5	1.5	1	2	2	1	0	2	1	2	2	2		
	m2	13	20	1	0.5	1.5	2	2	2	1	0	2	1	0	0	0	3.2	
k	m1	14	22	2	1.5	1.5	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	3.2	
k+1	m2	15	22	0	-0.5	1.5	0	0	0	3.2	0	0	3.2	0	0	1	3.2	m2!
k+2	m1	16	23	0	-0.5	1.5	0	1	1	3.2	1	1	3.2	1	1	1	1	1
k+3	m3	17	23	0	-0.5	1.5	0	1	1	3.2	0	1	3.2	0	0	1	3.2	m3
k+4	m1	18	24	1	0.5	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
k+5	m2	19	24	0	-0.5	1.5	1	1	1	3.2	0	1	3.2	0	0	2	3.1	m2!
	m3	20	25	1	0.5	1.5	1	2	2	1	2	2	1	2	2	5	1	5
	m1	21	25	0	-0.5	1.5	5	3.1	5	3.1	3	5	3.1	3	3	4	4	4
	m3	22	27	2	1.5	1.5	4	4	4	1	1	4	1	1	1	1	1	1
	m2	23	30	3	2.5	1.5	1	1	1	1	0	1	1	0	0	2	3.1	2
	m1	24	31	1	0.5	1.5	2	2	2	1	2	2	1	2	2	3	1	1
	m2	25	31	0	-0.5	1.5	3	3.1	3	3.1	1	3	3.1	1	1	1	1	1
	m2	26	33	2	1.5	1.5	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	3.2	0
	m3	27	34	1	0.5	1.5	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	3.2	0

situatie critica!

situatie critica m2!

```

SCREEN 9
CLS
CLEAR
'M=numar de masini; N=numar de tipuri de piese
' de schimbat t(i,j), o(i, numar de operatii), sf(i)
N = 4: M = 3
'i=contor pentru tipul de piese; j=contor pentru masini
'timpii de baza
DIM t(10, M), ti(10, M, 100), tsi(10, M, 100), tsr(10, M, 100)
DIM s(M), k(M), sf(10), piesa(M, 50), ocup(M), e(10)
DIM o(10, 50), tm(M), cul(10), ord(M), tefectiv1(M), tefectiv2(M), tefectiv3(M)
DIM nrc(10, M), pgatal(10), pgata2(10), pgata3(10), cutil1(M), cutil2(M), cutil3(M)

'nrc(i,50)=contorul pentru intregul sistem al pieselor de tip i
LOCATE 20, 1: PRINT "Doresti datele intr-un fisier?  D/N"
INPUT datele$

t1c = 23
t(1, 1) = 5: t(1, 2) = 0: t(1, 3) = 3
t(2, 1) = 4: t(2, 2) = 7: t(2, 3) = 0: 't(2, 4) = 2
t(3, 1) = 0: t(3, 2) = 5: t(3, 3) = 6
t(4, 1) = 0: t(4, 2) = 3: t(4, 3) = 6
't(5, 1) = 2: t(5, 2) = 1
'operatiile la masina
'o(i,e(i))=operatiile la masini in ordine
o(1, 1) = 1: o(1, 2) = 3: 'o(1, 3) = 4:
sf(1) = 2: sf(2) = 2
o(2, 1) = 1: o(2, 2) = 2: 'o(2, 3) = 2: 'o(2, 4) = 1
o(3, 1) = 2: o(3, 2) = 3: sf(3) = 2
o(4, 1) = 2: o(4, 2) = 3: sf(4) = 2
'o(5, 1) = 1: o(5, 2) = 2: sf(5) = 2

't=gradientul timpului
'k(j)=numarul de ordine al piesei prelucrate
'ti(i,j,k(j))=timpul de inceput al prelucrarii; tsi(i,j,k(j))=timpul de sfarsit ideal
'tsr(i,j,k(j))=timpul de sfarsit real al prelucrarii

'Initializarea sistemului

FOR g = 1 TO N
e(g) = 1
NEXT g

'continutul sirului  !!!ASTA TREBUIE INTRODUS!!!
'piesa(j,ord(j))=piesa a ord din sir la masina j
sirul(1) = 3: sirul(2) = 3
'sirul(4) = 1: ' sirul(3) = 1

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF j = o(i, 1) THEN
    s(j) = sirul(j)
END IF
NEXT i
NEXT j
pie(1, 1) = 1: pie(1, 2) = 2: pie(1, 3) = 1: pie(1, 4) = 2: 'pie(1, 5) = 5
pie(2, 1) = 3: pie(2, 2) = 4: pie(2, 3) = 3: pie(2, 4) = 4
'pie(4, 1) = 2:
'pie(3, 1) = 5

FOR a = 1 TO M
FOR j = 1 TO s(a)
    IF s(a) <> 0 THEN
        piesa(a, j) = pie(a, j)
    END IF
NEXT j
NEXT a

'numarul de piese constant in sistem
FOR o = 1 TO M
IF s(o) <> 0 THEN stotal = stotal + (s(o) + 1)
NEXT o

FOR h = 1 TO M

```



```

FOR g = 1 TO N
IF pie(h, 2) = g THEN nrcur(g, o(g, 1)) = 1
NEXT g
NEXT h

FOR g = 1 TO N
IF nrcur(g, o(g, 1)) = 1 THEN nrc(g, o(g, 1)) = 1
NEXT g

FOR i = 1 TO N
IF nrc(i, o(i, 1)) = 1 THEN
    k(o(i, 1)) = 1
    tsi(i, o(i, 1), k(o(i, 1))) = t(i, o(i, 1))
    tsr(i, o(i, 1), k(o(i, 1))) = t(i, o(i, 1))
    ord(o(i, 1)) = 1: ocup(o(i, 1)) = 1
END IF
NEXT i

ord(1) = s(1): ord(2) = s(2)

'inceputul pe x a liniilor, pe y a liniilor
a = 15
B = 50
kcol = 650 / 78
kc = 650 / 80
klin = 350 / 25

LINE (0, 10)-STEP(650, 130), 7, BF
FOR z = 1 TO M
LINE (a, (110 / M) * z + 10)-STEP(620, 0), 0, B
NEXT z
FOR q = 0 TO tlc - 1
LINE (a + (q * 650 / 24), 10)-STEP(0, 115), 0, B
IF q <= 9 THEN
LOCATE (130 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q
END IF
IF q > 9 THEN
LOCATE (130 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q
END IF
NEXT q
LOCATE 130 / klin + 1, 2: PRINT "t"

scris = 8 / M
COLOR 15
FOR z = 1 TO M
LOCATE (z * (8 / M)), 1: PRINT "M"; z
NEXT z
LOCATE 1, 1: PRINT "Numar de piese constant in sistem:"; stotal; "piese"
kx = 650 / 24

cul(1) = 14: cul(2) = 13
cul(3) = 5: cul(4) = 6
cul(5) = 8

LINE (0, 180)-STEP(650, 130), 7, BF
FOR z = 1 TO M
LINE (a, (110 / M) * z + 180)-STEP(620, 0), 0, B
NEXT z
FOR q = 1 TO tlc - 1
LINE (a + (q * 650 / 24), 180)-STEP(0, 130), 0, B
IF q <= 9 THEN
LOCATE (295 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q + 22
END IF
IF q > 9 THEN
LOCATE (295 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q + 22
END IF
NEXT q
LOCATE 295 / klin + 1, 2: PRINT "t"
COLOR 15
FOR z = 1 TO M
LOCATE (z * (8 / M)) + 12, 1: PRINT "M"; z
NEXT z

COLOR 14
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF o(i, 1) = j AND nrc(i, j) > 0 THEN

```

```

LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j),
cul(i), BF
LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j), 3, B
LOCATE scriș * j, ((tsi(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 2)) * kx + a) / kc): PRINT nrc(i, j)
tm(j) = tsr(i, j, k(j))
END IF
NEXT i
NEXT j
COLOR 15

```

```

FOR i = 1 TO N
LINE (50 + (kx + 45) * i, 168) - STEP(10, 10), cul(i), BF
LINE (50 + (kx + 45) * i, 168) - STEP(10, 10), 3, B
LOCATE 12, 7 + 9 * i: PRINT i
NEXT i
LOCATE 12, 1: PRINT "culoarea piesei"

```

```

IF datele$ = "n" THEN GOTO 13
f = 1
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
B$ = CHR$(65 + f)
IF t(i, j) <> 0 THEN
OPEN B$ FOR APPEND AS #1
WRITE #1, "Numar constant de piese in sistem", stotal
CLOSE
END IF
f = f + 1
NEXT i
NEXT j

f = 1
FOR j = 1 TO M
FOR q = 1 TO N
IF tsr(q, j, k(j)) <> 0 THEN w = q
NEXT q
FOR q = 1 TO N
B$ = CHR$(65 + f)
IF t(q, j) <> 0 THEN
OPEN B$ FOR APPEND AS #1
IF w = q THEN
WRITE #1, ti(q, j, k(j)), 0
WRITE #1, ti(q, j, k(j)), 1
WRITE #1, tsr(q, j, k(j)), 1
WRITE #1, tsr(q, j, k(j)), 0
END IF
IF w <> q THEN
WRITE #1, ti(w, j, k(j)), 0
WRITE #1, ti(w, j, k(j)), 0
WRITE #1, tsr(w, j, k(j)), 0
WRITE #1, tsr(w, j, k(j)), 0
END IF
CLOSE
END IF
f = f + 1
NEXT q
w = 0
NEXT j
f = 0

```

```

13 'contorizarea timpului
IF t = 44 THEN GOTO 30
t = t + 1
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF t = tsr(i, j, k(j)) THEN
ocup(j) = 0
GOTO 10
END IF
NEXT i
NEXT j
IF t < 2 * tlc - 1 THEN GOTO 13

```

```

10 'strategii de ordonantare
'masina urmatoare

```

```

GOSUB 12
ord(o(i, e(i))) = ord(o(i, e(i))) + 1
piesa(o(i, e(i)), ord(o(i, e(i)))) = i
s(o(i, e(i))) = s(o(i, e(i))) + 1
  IF t >= tm(o(i, e(i))) AND piesa(o(i, e(i)), 1) > 0 AND ocup(o(i, e(i))) = 0 THEN
    v = piesa(o(i, e(i)), 1): ocup(o(i, e(i))) = 1
    ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) = t:
    tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) = t + t(v, o(i, e(i)))
  IF t <= 22 THEN
    IF t(v, o(i, e(i))) > 1 AND tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) > 23 THEN
      LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
      ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), cul(v), BF
      LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
      ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), 3, B
    END IF
    LINE (ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 10) - (tsi(v, o(i,
    e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i))), cul(v), BF
    LINE (ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 10) - (tsi(v, o(i,
    e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i))), 3, B
  END IF
  IF t > 22 AND t <= 44 THEN
    LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
    ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), cul(v), BF
    LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
    ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), 3, B
  END IF
  tm(o(i, e(i))) = tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i))))
  s(o(i, e(i))) = s(o(i, e(i))) - 1: ord(o(i, e(i))) = ord(o(i, e(i))) - 1
  IF s(o(i, e(i))) = 0 THEN piesa(o(i, e(i)), 1) = 0
  IF s(o(i, e(i))) >= 1 THEN
    FOR y = 1 TO s(o(i, e(i)))
      piesa(o(i, e(i)), y) = piesa(o(i, e(i)), y + 1)
      piesa(o(i, e(i)), y + 1) = 0
    NEXT y
  END IF
  END IF
'operatia urmatoare
  IF piesa(j, 1) > 0 AND ocup(j) = 0 THEN
    i = piesa(j, 1)
    ti(i, j, k(j)) = t: ocup(j) = 1
    tsi(i, j, k(j)) = t + t(i, j):
  IF t <= 22 THEN
    IF t(i, j) > 1 AND tsi(i, j, k(j)) > 23 THEN
      LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
      (110 / M) * j + 180), cul(i), BF
      LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
      (110 / M) * j + 180), 3, B
    END IF
    LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
    j), cul(i), BF
    LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
    j), 3, B
  END IF
  IF t > 22 AND t <= 44 THEN
    LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
    (110 / M) * j + 180), cul(i), BF
    LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
    (110 / M) * j + 180), 3, B
  END IF
  tm(j) = tsi(i, j, k(j))
  s(j) = s(j) - 1: ord(j) = ord(j) - 1
  IF s(j) = 0 THEN piesa(j, 1) = 0
  IF s(j) >= 1 THEN
    FOR y = 1 TO s(j)
      piesa(j, y) = piesa(j, y + 1)
      piesa(j, y + 1) = 0
    NEXT y
  END IF
  END IF
'cautarea unei alte masini care termina in acelasi timp cu anterioara

FOR j = j + 1 TO M
FOR i = 1 TO N
  IF t = tsr(i, j, k(j)) THEN
    ocup(j) = 0
    GOTO 10

```

```

        END IF
NEXT i
NEXT j

'validarea terminarii operatiei la toate masinile activate
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF t = ti(i, j, k(j)) THEN
    k(j) = k(j) + 1
    tsr(i, j, k(j)) = tsi(i, j, k(j) - 1)
    nrc(i, j) = nrc(i, j) + 1
    COLOR 14
        IF t <= 22 THEN
            IF t(i, j) > 1 AND (((tsr(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc)
< 77 THEN
                LOCATE scris * j, (((tsr(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc):
PRINT nrc(i, j)
                    END IF
                    IF t(i, j) = 1 THEN
                        LOCATE (scris * j), (((tsr(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 120)) * kx) /
kc): PRINT nrc(i, j)
                            END IF
                            END IF
                            IF t >= 22 AND t <= 44 THEN
                                IF t(i, j) > 1 AND (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 10)) * kx)
/ kc) < 77 THEN
                                    LOCATE scris * j + 12, (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 10)) *
kx) / kc): PRINT nrc(i, j)
                                        END IF
                                        IF t(i, j) = 1 AND (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 120)) *
kx) / kc) < 77 THEN
                                            LOCATE (scris * j) + 12, (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) /
120)) * kx) / kc): PRINT nrc(i, j)
                                                END IF
                                                END IF
                                                END IF
                                                COLOR 15
                                                IF datele$ = "n" THEN GOTO 15
                                                FOR q = 1 TO N
                                                    f = N * (j - 1) + q
                                                    B$ = CHR$(65 + f)
                                                    OPEN B$ FOR APPEND AS #1
                                                    IF q = i THEN
                                                        WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
                                                        WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 1
                                                        WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 1
                                                        WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
                                                    END IF
                                                    IF q <> i THEN
                                                        WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
                                                        WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
                                                        WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
                                                        WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
                                                    END IF
                                                    CLOSE
                                                    f = f + 1
                                                    NEXT q
                                                    f = 0
15 END IF

NEXT i
NEXT j
GOTO 13

12 FOR w = 1 TO sf(i)
IF o(i, w) = j THEN e(i) = w: e(i) = e(i) + 1
IF o(i, w) = j AND w = sf(i) THEN e(i) = 1
NEXT w
RETURN

30 FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
tefectiv1(j) = tefectiv1(j) + nrc(i, j) * t(i, j)
NEXT i
NEXT j
FOR j = 1 TO M
cutili(j) = tefectiv1(j) / (t + i)
NEXT j

```

```

FOR i = 1 TO N
pgatal(i) = nrc(i, o(i, sf(i)))
NEXT i

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF o(i, 1) = j THEN
pintrod1 = pintrod1 + nrc(i, j)
END IF
NEXT i
NEXT j

LOCATE 23, 2: PRINT "Alte strategii de ordonantare Apasa o tasta"
SLEEP 0
'alta strategie

LINE (0, 10)-STEP(650, 130), 7, BF
FOR z = 1 TO M
LINE (a, (110 / M) * z + 10)-STEP(620, 0), 0, B
NEXT z
FOR q = 0 TO tlc - 1
LINE (a + (q * 650 / 24), 10)-STEP(0, 115), 0, B
IF q <= 9 THEN
LOCATE (130 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q
END IF
IF q > 9 THEN
LOCATE (130 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q
END IF
NEXT q
LOCATE 130 / klin + 1, 2: PRINT "t"

scris = 8 / M
COLOR 15
FOR z = 1 TO M
LOCATE (z * (8 / M)), 1: PRINT "M"; z
NEXT z

LINE (0, 180)-STEP(650, 130), 7, BF
FOR z = 1 TO M
LINE (a, (110 / M) * z + 180)-STEP(620, 0), 0, B
NEXT z
FOR q = 0 TO tlc - 1
LINE (a + (q * 650 / 24), 180)-STEP(0, 130), 0, B
IF q <= 9 THEN
LOCATE (295 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q + 22
END IF
IF q > 9 THEN
LOCATE (295 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q + 22
END IF
NEXT q
LOCATE 295 / klin + 1, 2: PRINT "t"
COLOR 15

FOR z = 1 TO M
LOCATE (z * (8 / M)) + 12, 1: PRINT "M"; z
NEXT z
LOCATE 1, 1: PRINT "Asigura alimentarea continua a primei masini"
kx = 650 / 24
i = 1: t = 0: tm(1) = 0: v = 0

'Initializarea sistemului
FOR g = 1 TO M
e(g) = 1
NEXT g

FOR x = 1 TO N
FOR y = 1 TO M
FOR z = 0 TO 50
tsr(x, y, z) = 0: tsi(x, y, z) = 0
tt(x, y, z) = 0
NEXT z
NEXT y
NEXT x

FOR y = 1 TO M
FOR i = 1 TO N

```

```

ocup(y) = 0: nrc(i, y) = 0: s(y) = 0
NEXT i
NEXT y

FOR r = 1 TO M
k(r) = 0: ord(r) = 0: tm(r) = 0
NEXT r

FOR u = 1 TO M
FOR q = 1 TO 5
piesa(u, q) = 0
NEXT q
NEXT u

'continutul sirului !!!ASTA TREBUIE INTRODUS!!!
'piesa(j,ord(j))=piesa a ord din sir la masina j
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF j = o(i, 1) THEN
    s(j) = sirul(j)
END IF
NEXT i
NEXT j

FOR f = 1 TO M
FOR j = 1 TO s(f)
    IF s(f) <> 0 THEN
        piesa(f, j) = pie(f, j)
    END IF
NEXT j
NEXT f

FOR g = 1 TO N
IF nrcur(g, o(g, 1)) = 1 THEN nrc(g, o(g, 1)) = 1
NEXT g

FOR i = 1 TO N
IF nrc(i, o(i, 1)) = 1 THEN
    k(o(i, 1)) = 1
    tsi(i, o(i, 1), k(o(i, 1))) = t(i, o(i, 1))
    tsr(i, o(i, 1), k(o(i, 1))) = t(i, o(i, 1))
    ord(o(i, 1)) = 1: ocup(o(i, 1)) = 1
END IF
NEXT i
ord(1) = s(1): ord(2) = s(2)
h = 0: piesaa = 0
COLOR 14

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF o(i, 1) = j AND nrc(i, j) > 0 THEN
LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j),
cul(i), BF
LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j), 3, B
LOCATE scris * j, (tsi(i, j, k(j)) - t(i, j) / 10) * kx / kc: PRINT nrc(i, j)
tm(j) = tsr(i, j, k(j))
END IF
NEXT i
NEXT j
COLOR 15

f = 1
    'FOR j = 1 TO M
    'FOR i = 1 TO N
    'B$ = CHR$(65 + f)
    'OPEN B$ FOR APPEND AS #1
    ' #1, "Asigura alimentarea continua a primei masini"
    'CLOSE
    'f = f + 1
    'NEXT i
    'NEXT j

    'f = 1
    'FOR j = 1 TO M
    'FOR q = 1 TO N
    'IF tsr(q, j, k(j)) <> 0 THEN w = q
    'NEXT q

```

```

'FOR q = 1 TO N
'B$ = CHR$(65 + f)
'OPEN B$ FOR APPEND AS #1
'IF w = q THEN
'WRITE #1, ti(q, j, k(j)), 0
'WRITE #1, ti(q, j, k(j)), 1
'WRITE #1, tsr(q, j, k(j)), 1
'WRITE #1, tsr(q, j, k(j)), 0
'END IF
'IF w <> q THEN
'WRITE #1, ti(w, j, k(j)), 0
'WRITE #1, ti(w, j, k(j)), 0
'WRITE #1, tsr(w, j, k(j)), 0
'WRITE #1, tsr(w, j, k(j)), 0
'END IF
'CLOSE
'f = f + 1
'NEXT q
'w = 0
'NEXT j
f = 0 cll E

```

'contorizarea tip ului

```

23 IF t = 44 THEN GOTO 50
exclus = 0
t = t + 1
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF t = tsr(i, j, k(j)) THEN
ocu (j) = 0
GOTO 20
END IF
NEXT i
NEXT j
IF t < 2 * tlc - 1 THEN GOTO 23

```

20 'strategii de ordonantare

'pasina urpatoare

GOSUB 22

ord(o(i, e(i))) = ord(o(i, e(i))) + 1

iesa(o(i, e(i)), ord(o(i, e(i)))) = i

s(o(i, e(i))) = s(o(i, e(i))) + 1

IF t >= tp(o(i, e(i))) AND iesa(o(i, e(i)), 1) > 0 AND ocu (o(i, e(i))) = 0 THEN

v = iesa(o(i, e(i)), 1)

ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) = t

tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) = t + o(v, ord(o(i, e(i))))

IF t <= 22 THEN

IF t(v, o(i, e(i))) > 1 AND tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) > 23 THEN

LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -

((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), cul(v), BF

LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -

((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), 3, B

END IF

LINE (ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 10) - (tsi(v, o(i,

e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i))), cul(v), BF

LINE (ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 10) - (tsi(v, o(i,

e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i))), 3, B

END IF

IF t > 22 AND t <= 44 THEN

LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -

((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), cul(v), BF

LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -

((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), 3, B

END IF

tp(o(i, e(i))) = tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i))))

s(o(i, e(i))) = s(o(i, e(i))) - 1: ord(o(i, e(i))) = ord(o(i, e(i))) - 1

ocu (o(i, e(i))) = 1

IF s(o(i, e(i))) = 0 THEN iesa(o(i, e(i)), 1) = 0

IF s(o(i, e(i))) >= 1 THEN

FOR y = 1 TO s(o(i, e(i)))

iesa(o(i, e(i)), y) = iesa(o(i, e(i)), y + 1)

iesa(o(i, e(i)), y + 1) = 0

NEXT y

END IF

COLOR 15

END IF

```

'operatia urmatoare
  IF piesa(j, 1) > 0 AND j > 1 AND ocup(j) = 0 THEN
    i = piesa(j, 1)
    ti(i, j, k(j)) = t
    tsi(i, j, k(j)) = t + t(i, j):
  IF t <= 22 THEN
  IF t(i, j) > 1 AND tsi(i, j, k(j)) > 23 THEN
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(i), BF
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
  END IF
  LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10)-(tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), cul(i), BF
  LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10)-(tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), 3, B
  END IF
  IF t > 22 AND t <= 44 THEN
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(i), BF
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
  END IF
  ocup(j) = 1
  tm(j) = tsi(i, j, k(j))
  s(j) = s(j) - 1: ord(j) = ord(j) - 1
  IF s(j) = 0 THEN piesa(j, 1) = 0
  IF s(j) >= 1 THEN
  FOR y = 1 TO s(j)
  piesa(j, y) = piesa(j, y + 1)
  piesa(j, y + 1) = 0
  NEXT y
  END IF
  END IF

  IF piesa(1, 1) > 0 AND j = 1 AND ocup(1) = 0 THEN
    i = piesa(1, 1): exclus = 1: ocup(1) = 1
    ti(i, j, k(j)) = t
    tsi(i, j, k(j)) = t + t(i, j):
  IF t <= 22 THEN
  IF t(i, j) > 1 AND tsi(i, j, k(j)) > 23 THEN
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(i), BF
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
  END IF
  LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10)-(tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), cul(i), BF
  LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10)-(tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), 3, B
  END IF
  IF t > 22 AND t <= 44 THEN
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(i), BF
  LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
  END IF
  tm(j) = tsi(i, j, k(j)): piesaa = i
  s(j) = s(j) - 1: ord(j) = ord(j) - 1
  IF s(j) = 0 THEN piesa(j, 1) = 0
  IF s(j) >= 1 THEN
  FOR y = 1 TO s(j)
  piesa(j, y) = piesa(j, y + 1)
  piesa(j, y + 1) = 0
  NEXT y
  END IF
  END IF

  IF piesa(1, 1) = 0 AND j = 1 AND exclus = 0 AND ocup(1) = 0 THEN
    FOR d = 1 TO N
      IF o(d, 1) = j AND d <> piesaa THEN
        h = d: GOTO 5
      END IF
    NEXT d
    IF h = 0 THEN h = piesaa
5 s(j) = s(j) + 1: ord(j) = ord(j) + 1: ocup(1) = 1

```



```

        IF s(j) = 1 THEN piesa(j, 1) = h
        ti(h, j, k(j)) = t
        tsi(h, j, k(j)) = t + t(h, j):
    IF t <= 22 THEN
    IF t(h, j) > 1 AND tsi(h, j, k(j)) > 23 THEN
        LINE ((ti(h, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(h, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(h), BF
        LINE ((ti(h, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(h, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
    END IF
        LINE (ti(h, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(h, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), cul(h), BF
        LINE (ti(h, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(h, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), 3, B
    END IF
    IF t > 22 AND t <= 44 THEN
        LINE ((ti(h, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(h, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(h), BF
        LINE ((ti(h, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(h, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
    END IF
    tm(j) = tsi(h, j, k(j)) * c100E
    s(j) = s(j) - 1: od(j) = od(j) - 1
    IF s(j) = 0 THEN piesa(j, 1) = 0
    piesaa = h: h = 0
    exclus = 0
    END IF

```

'cautadea unei alte masini cade tedmina in acelasi timp cu antedioada

```

FOR j = j + 1 TO M
FOR i = 1 TO N
    IF t = tsd(i, j, k(j)) THEN
        ocup(j) = 0
        GOSUB 20
    END IF
NEXT i
NEXT j

```

' vali adea tedminadii opedatiei la toate masinile activate

```

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
    IF t = ti(i, j, k(j)) THEN
        k(j) = k(j) + 1
        tsd(i, j, k(j)) = tsi(i, j, k(j) - 1)
        ndc(i, j) = ndc(i, j) + 1
        COLOR 14
        IF t <= 22 THEN
            IF t(i, j) > 1 AND (((tsd(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc) > 76 THEN
                LOCATE scdis * j, (((tsd(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc): PRINT ndc(i, j)
            END IF
            IF t(i, j) = 1 THEN
                LOCATE (scdis * j), (((tsd(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 120)) * kx) / kc): PRINT ndc(i, j)
            END IF
        END IF
        IF t >= 22 AND t <= 44 THEN
            IF t(i, j) > 1 AND (((tsd(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc < 76 THEN
                LOCATE scdis * j + 12, (((tsd(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 10)) * kx) / (kc)): PRINT
ndc(i, j)
            END IF
            IF t(i, j) = 1 AND (((tsd(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 120)) * kx) / kc < 76 THEN
                LOCATE (scdis * j) + 12, (((tsd(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 120)) * kx) / (kc)): PRINT
ndc(i, j)
            END IF
        END IF
    END IF
NEXT i
NEXT j

'FOR q = 1 TO N
'f = N * (j - 1) + q
'ES = CHR$(65 + f)
'OPEN ES$ FOR APPEND AS #1
'IF q = i THEN
'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 1
'WRITE #1, tsd(i, j, k(j)), 1
'WRITE #1, tsd(i, j, k(j)), 0
'END IF

```

```

        'IF q <> i THEN
        'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
        'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
        'WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
        'WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
        'END IF
        'CLOSE
        'f = f + 1
        'NEXT q
        'f = 0

        COLOR 15
        END IF
NEXT i
NEXT j

GOTO 23
22 FOR w = 1 TO sf(i)
IF o(i, w) = j THEN e(i) = w: e(i) = e(i) + 1
IF o(i, w) = j AND w = sf(i) THEN e(i) = 1
NEXT w
RETURN

50 FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
tefectiv2(j) = tefectiv2(j) + nrc(i, j) * t(i, j)
NEXT i
NEXT j

FOR j = 1 TO M
cutil2(j) = tefectiv2(j) / (t + 1)
NEXT j

FOR i = 1 TO N
ppata2(i) = nrc(i, o(i, sf(i)))
NEXT i

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF o(i, 1) = j THEN
pintrod2 = pintrod2 + nrc(i, j)
END IF
NEXT i
NEXT j

LOCATE 23, 2: PRINT "Alte strategii de ordonantare Apasa o tasta"
SLEEP 0

'strategie de ordonantare cu prioritati
LOCATE 1, 1: PRINT "
LINE (0, 10)-STEP(650, 130), 7, BF
FOR z = 1 TO M
LINE (a, (110 / M) * z + 10)-STEP(620, 0), 0, B
NEXT z
FOR q = 0 TO tlc - 1
LINE (a + (q * 650 / 24), 10)-STEP(0, 115), 0, B
IF q <= 9 THEN
LOCATE (130 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q
END IF
IF q > 9 THEN
LOCATE (130 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q
END IF
NEXT q
LOCATE 130 / klin + 1, 2: PRINT "t"

serie = 8 / M
COLOR 15
FOR z = 1 TO M
LOCATE (z * (8 / M)), 1: PRINT "M"; z
NEXT z

LINE (0, 180)-STEP(650, 130), 7, BF
FOR z = 1 TO M
LINE (a, (110 / M) * z + 180)-STEP(620, 0), 0, B
NEXT z

```

```

FOR q = 0 TO tlc - 1
LINE (a + (q * 650 / 24), 180)-STEP(0, 130), 0, B
IF q <= 9 THEN
LOCATE (295 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: COLOR 15: PRINT q + 22
END IF
IF q > 9 THEN
LOCATE (295 / klin) + 1, (a + (q * 650 / tlc)) / kcol + 1: PRINT q + 22
END IF
NEXT q
LOCATE 295 / klin + 1, 2: PRINT "t"

FOR z = 1 TO M
LOCATE (z * 8 / M) + 12, 1: PRINT "M"; z
NEXT z

'prioritatea piesei cu cat este mai mica cu atat este mai urgenta

p = 2
LOCATE 1, 1: PRINT "Prioritatea piesei "; p; " "
kx = 650 / 24
i = 1: t = 0: v = 0

'Initializarea sistemului

FOR g = 1 TO M
e(g) = 1
NEXT g

FOR x = 1 TO N
FOR y = 1 TO M
FOR z = 0 TO 50
tsr(x, y, z) = 0: tsi(x, y, z) = 0
ti(x, y, z) = 0: s(y) = 0
nrc(x, y) = 0: ocup(y) = 0
NEXT z
NEXT y
NEXT x

FOR u = 1 TO M
FOR q = 1 TO 5
piesa(u, q) = 0
NEXT q
NEXT u

'continutul sirului !!!ASTA TREBUIE INTRODUS!!!
'piesa(j,ord(j))=piesa a ord din sir la masina j
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF j = o(i, 1) THEN
s(j) = sirul(j)
END IF
NEXT i
NEXT j

FOR f = 1 TO M
FOR j = 1 TO s(f)
IF s(f) <> 0 THEN
piesa(f, j) = pie(f, j)
END IF
NEXT j
NEXT f

FOR r = 1 TO M
k(r) = 0: ord(r) = 0: tm(r) = 0
NEXT r

FOR g = 1 TO N
IF nrcur(g, o(g, 1)) = 1 THEN nrc(g, o(g, 1)) = 1
NEXT g

FOR i = 1 TO N
IF nrc(i, o(i, 1)) = 1 THEN
k(o(i, 1)) = 1
tsi(i, o(i, 1), k(o(i, 1))) = t(i, o(i, 1))
tsr(i, o(i, 1), k(o(i, 1))) = t(i, o(i, 1))
ord(o(i, 1)) = 1: ocup(o(i, 1)) = 1
END IF

```

```

NEXT i

ord(1) = s(1): ord(2) = s(2)
h = 0
COLOR 14

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF o(i, 1) = j AND nrc(i, j) > 0 THEN
LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j),
cul(i), BF
LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j), 3, B
LOCATE scris * j, (tsi(i, j, k(j)) - t(i, j) / 10) * kx / kc: PRINT nrc(i, j)
tm(j) = tsr(i, j, k(j))
END IF
NEXT i
NEXT j

f = 1
'FOR j = 1 TO M
'FOR i = 1 TO N
'B$ = CHR$(65 + f)
'OPEN B$ FOR APPEND AS #1
'WRITE #1, "Asigura prioritatea piesei", p
'CLOSE
'f = f + 1
'NEXT i
'NEXT j

'f = 1
'FOR j = 1 TO M
'FOR q = 1 TO N
'IF tsr(q, j, k(j)) <> 0 THEN w = q
'NEXT q
'FOR q = 1 TO N
'B$ = CHR$(65 + f)
'OPEN B$ FOR APPEND AS #1
'IF w = q THEN
'WRITE #1, ti(q, j, k(j)), 0
'WRITE #1, ti(q, j, k(j)), 1
'WRITE #1, tsr(q, j, k(j)), 1
'WRITE #1, tsr(q, j, k(j)), 0
'END IF
'IF w <> q THEN
'WRITE #1, ti(w, j, k(j)), 0
'WRITE #1, ti(w, j, k(j)), 0
'WRITE #1, tsr(w, j, k(j)), 0
'WRITE #1, tsr(w, j, k(j)), 0
'END IF
'CLOSE
'f = f + 1
'NEXT q
'w = 0
'NEXT j

f = 0

COLOR 15

'contorizarea timpului
53 IF t = 44 THEN GOTO 60
exclus = 0
t = t + 1
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF t = tsr(i, j, k(j)) THEN
ocup(j) = 0
GOTO 55
END IF
NEXT i
NEXT j
IF t < 2 * tlc - 1 THEN GOTO 53

55 'strategii de ordonantare
GOSUB 52
ord(o(i, e(i))) = ord(o(i, e(i))) + 1
piesa(o(i, e(i)), ord(o(i, e(i)))) = i

```

```

s(o(i, e(i))) = s(o(i, e(i))) + 1
  IF t >= tm(o(i, e(i))) AND piesa(o(i, e(i)), 1) > 0 AND ocup(o(i, e(i))) = 0 THEN
    FOR z = 1 TO ord(o(i, e(i)))
      IF piesa(o(i, e(i)), z) = p AND unic = 0 THEN
        prior = z: unic = 1
        ppr(o(i, e(i)), 1) = piesa(o(i, e(i)), z)
        piesa(o(i, e(i)), prior) = piesa(o(i, e(i)), 1)
        piesa(o(i, e(i)), 1) = ppr(o(i, e(i)), 1)
      END IF
    NEXT z
    v = piesa(o(i, e(i)), 1): unic = 0: prior = 0
    ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) = t: ocup(o(i, e(i))) = 1
    tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) = t + t(v, o(i, e(i))):
    IF t <= 22 THEN
      IF t(v, o(i, e(i))) > 1 AND tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) > 23 THEN
        LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
          ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), cul(v), BF
        LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
          ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), 3, B
        END IF
        LINE (ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 10) - (tsi(v, o(i,
          e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i))), cul(v), BF
        LINE (ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 10) - (tsi(v, o(i,
          e(i)), k(o(i, e(i)))) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i))), 3, B
        END IF
      IF t > 22 AND t <= 44 THEN
        LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
          ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), cul(v), BF
        LINE ((ti(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 170) -
          ((tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i)))) - 22) * kx + a, (110 / M) * o(i, e(i)) + 180), 3, B
        END IF
        tm(o(i, e(i))) = tsi(v, o(i, e(i)), k(o(i, e(i))))
        s(o(i, e(i))) = s(o(i, e(i))) - 1: ord(o(i, e(i))) = ord(o(i, e(i))) - 1
        IF s(o(i, e(i))) = 0 THEN piesa(o(i, e(i)), 1) = 0
        IF s(o(i, e(i))) >= 1 THEN
          FOR y = 1 TO s(o(i, e(i)))
            piesa(o(i, e(i)), y) = piesa(o(i, e(i)), y + 1)
            piesa(o(i, e(i)), y + 1) = 0
          NEXT y
        END IF
      END IF

```

'operatia urmatoare

```

  IF piesa(j, 1) > 0 AND j > 1 AND ocup(j) = 0 THEN
    FOR z = 1 TO ord(j)
      IF piesa(j, z) = p AND unic = 0 THEN
        prior = z: unic = 1
        ppr(j, 1) = piesa(j, z)
        piesa(j, prior) = piesa(j, 1)
        piesa(j, 1) = ppr(j, 1)
      END IF
    NEXT z
    i = piesa(j, 1): unic = 0: prior = 0
    ti(i, j, k(j)) = t: ocup(j) = 1
    tsi(i, j, k(j)) = t + t(i, j):
    IF t <= 22 THEN
      IF t(i, j) > 1 AND tsi(i, j, k(j)) > 23 THEN
        LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
          (110 / M) * j + 180), cul(i), BF
        LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
          (110 / M) * j + 180), 3, B
        END IF
        LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
          j), cul(i), BF
        LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10) - (tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
          j), 3, B
        END IF
      IF t > 22 AND t <= 44 THEN
        LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
          (110 / M) * j + 180), cul(i), BF
        LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170) - ((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
          (110 / M) * j + 180), 3, B
        END IF
        tm(j) = tsi(i, j, k(j))
        s(j) = s(j) - 1: ord(j) = ord(j) - 1
        IF s(j) = 0 THEN piesa(j, 1) = 0
        IF s(j) >= 1 THEN

```

```

FOR y = 1 TO s(j)
piesa(j, y) = piesa(j, y + 1)
piesa(j, y + 1) = 0
NEXT y
END IF
END IF

IF piesa(1, 1) > 0 AND j = 1 AND ocup(1) = 0 THEN
FOR z = 1 TO ord(j)
IF piesa(j, z) = p AND unic = 0 THEN
prior = z: unic = 1
ppr(j, 1) = piesa(j, z)
piesa(j, prior) = piesa(j, 1)
piesa(j, 1) = ppr(j, 1)
END IF
NEXT z
unic = 0: prior = 0
i = piesa(j, 1): exclus = 1: ocup(1) = 1
ti(i, j, k(j)) = t
tsi(i, j, k(j)) = t + t(i, j):
IF t <= 22 THEN
IF t(i, j) > 1 AND tsi(i, j, k(j)) > 23 THEN
LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(i), BF
LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
END IF
LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10)-(tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), cul(i), BF
LINE (ti(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) * j + 10)-(tsi(i, j, k(j)) * kx + a, (110 / M) *
j), 3, B
END IF
IF t > 22 AND t <= 44 THEN
LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), cul(i), BF
LINE ((ti(i, j, k(j)) - 22) * kx + a, (110 / M) * j + 170)-((tsi(i, j, k(j)) - 22) * kx + a,
(110 / M) * j + 180), 3, B
END IF
tm(j) = tsi(i, j, k(j)): piesaa = i
s(j) = s(j) - 1: ord(j) = ord(j) - 1
IF s(j) = 0 THEN piesa(j, 1) = 0
IF s(j) >= 1 THEN
FOR y = 1 TO s(j)
piesa(j, y) = piesa(j, y + 1)
piesa(j, y + 1) = 0
NEXT y
END IF
END IF

```

'cautarea unei alte masini care termina in acelasi timp cu anterioara

```

FOR j = j + 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF t = tsr(i, j, k(j)) THEN
ocup(j) = 0
GOSUB 55
END IF
NEXT i
NEXT j

```

'validarea terminarii operatiei la toate masinile activate

```

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF t = ti(i, j, k(j)) THEN
k(j) = k(j) + 1
tsr(i, j, k(j)) = tsi(i, j, k(j) - 1)
nrc(i, j) = nrc(i, j) + 1
COLOR 14
IF t <= 22 THEN
IF t(i, j) > 1 AND (((tsr(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc) < 77 THEN
LOCATE scris * j, (((tsr(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc): PRINT nrc(i, j)
END IF
IF t(i, j) = 1 THEN
LOCATE (scris * j), (((tsr(i, j, k(j)) - (t(i, j) / 120)) * kx) / kc): PRINT nrc(i, j)
END IF
END IF
IF t >= 22 AND t <= 44 THEN

```

```

        IF t(i, j) > 1 AND (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 10)) * kx) / kc) < 77 THEN
        LOCATE scris * j + 12, (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 10)) * kx) / (kc)): PRINT
nrc(i, j)
        END IF
        IF t(i, j) = 1 AND (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 120)) * kx) / kc) < 77 THEN
        LOCATE (scris * j) + 12, (((tsr(i, j, k(j)) - 22) - (t(i, j) / 120)) * kx) / (kc)): PRINT
nrc(i, j)
        END IF
        END IF
        COLOR 15

        'FOR q = 1 TO N
        'f = N * (j - 1) + q
        'B$ = CHR$(65 + f)
        'OPEN B$ FOR APPEND AS #1
        'IF q = i THEN
        'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
        'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 1
        'WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 1
        'WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
        'END IF
        'IF q <> i THEN
        'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
        'WRITE #1, ti(i, j, k(j) - 1), 0
        'WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
        'WRITE #1, tsr(i, j, k(j)), 0
        'END IF
        'CLOSE
        'f = f + 1
        'NEXT q
        'f = 0

        END IF
NEXT i
NEXT j

GOTO 53

52 FOR w = 1 TO sf(i)
IF o(i, w) = j THEN e(i) = w: e(i) = e(i) + 1
IF o(i, w) = j AND w = sf(i) THEN e(i) = 1
NEXT w
RETURN

60 FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
tefectiv3(j) = tefectiv3(j) + nrc(i, j) * t(i, j)
NEXT i
NEXT j

FOR j = 1 TO M
cutil3(j) = tefectiv3(j) / (t + 1)
NEXT j

FOR i = 1 TO N
pgata3(i) = nrc(i, o(i, sf(i)))
NEXT i

FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
IF o(i, 1) = j THEN
pintrod3 = pintrod3 + nrc(i, j)
END IF
NEXT i
NEXT j

SLEEP 0
CLS
LOCATE 1, 2: PRINT "Ccoeficientii de utilizare ai masinilor in variante"
LOCATE 3, 11: PRINT "var1"
LOCATE 3, 26: PRINT "var2"
LOCATE 3, 41: PRINT "var3"

FOR w = 1 TO M
LOCATE 3 + w, 5: PRINT "mas"; w
LOCATE 3 + w, 11: PRINT (INT(cutil1(w) * 100)); "%"
LOCATE 3 + w, 26: PRINT (INT(cutil2(w) * 100)); "%"

```

```

LOCATE 3 + w, 41: PRINT (INT(cutil3(w) * 100)); "%"
NEXT w
FOR w = 1 TO M
tot1 = tot1 + cutil1(w)
tot2 = tot2 + cutil2(w)
tot3 = tot3 + cutil3(w)
NEXT w

LOCATE 9, 50: PRINT "Suma coeficientilor"
LOCATE 10, 50: PRINT "de utilizare ai masinilor "
FOR o = 1 TO 3
LOCATE 11 + o, 46: PRINT "var"; o
NEXT o
LOCATE 12, 55: PRINT INT(tot1 * 100); "%"
LOCATE 13, 55: PRINT INT(tot2 * 100); "%"
LOCATE 14, 55: PRINT INT(tot3 * 100); "%"
LOCATE 9, 2: PRINT "Piesele prelucrate in variante"
FOR o = 1 TO 3
LOCATE 12 + (o - 1), 9: PRINT "var"; o
NEXT o
FOR r = 1 TO N
LOCATE 11, 10 + 5 * r: PRINT "P"; r
LOCATE 12, 10 + 5 * r: PRINT pgata1(r)
LOCATE 13, 10 + 5 * r: PRINT pgata2(r)
LOCATE 14, 10 + 5 * r: PRINT pgata3(r)
NEXT r

LOCATE 16, 2: PRINT "Suma pieselor introduse in sistem"
FOR o = 1 TO 3
LOCATE 17 + o, 5: PRINT "var"; o
NEXT o
LOCATE 18, 12: PRINT pintrod1
LOCATE 19, 12: PRINT pintrod2
LOCATE 20, 12: PRINT pintrod3

END
OPEN "c:\doc\cat" FOR APPEND AS #1
WRITE #1, "Numar de masini", M, "numar de tipuri de piese", N
FOR j = 1 TO M
FOR i = 1 TO N
WRITE #1, "Timpul de prelucrare a piesei", i, "la masina", j, "este", t(i, j)
NEXT i
NEXT j
FOR i = 1 TO N
FOR w = 1 TO sf(i)
WRITE #1, "Operatia de prelucrare", w, "a piesei", i, "la masina", o(i, w)
NEXT w
NEXT i
CLOSE #1

END

```