

# SECTIUNEA 1

## RAPORTUL STIINTIFIC SI TEHNIC (RST)

**FAZA DE EXECUTIE –ANUALA 2007**

**CU TITLUL: Metode de simulare, modelare si productie virtuala bazata pe tehnologia informatiei si comunicarii dedicate noii generatii de sisteme de prelucrare reconfigurabile**

- RST – raport stiintific si tehnic in extenso\*
- PVAI – proces verbal de avizare interna

\* pentru modulul 3 se va utiliza modelul din Anexa 1

\*\*forma si continutul se stabilesc de catre conducatorul proiectului, tinand seama de cele continute in PVAI

# Raportul stiintific si tehnic etapa III - 2007

## 1. Indicatorii sintetici de activitate

### Anexa 3 - RST

(conform cu planul de realizare propus). Se completeaza Anexa 3 in conformitate cu specificul proiectului si a fazei de executie realizate;

#### Indicatori de realizare a fazei (conform specificului fiecarui program/proiect)

Denumirea indicatorilor	Numar	
	Planificat	Realizat
• organizatii si respectiv numar de personal de cercetare implicate in proiect	<b>5</b>	<b>5 organizatii</b>
○ tipuri de organizatii; INCD,U.P., SC, Univ.	<b>4 Univ +1 INCD</b>	<b>4 Univ.+ 1 INCD</b>
○ nr. cercetatori/ proiect/ module	<b>49/proiect</b>	<b>49/proiect</b>
• sisteme, structuri, procese, metode, mecanisme implementate/ aplicate (pe categorii)	2	12
○ produse/ tehnologii/ servicii noi realizate	2	12
○ produse/ tehnologii/ servicii modernizate	-	-
○ produse/ tehnologii/ servicii noi realizate in cadrul programului, aliniate la standardele internationale	-	-
• produse/ tehnologii/ servicii certificate	-	-
• agenti economici angrenati in parteneriate	-	3
• platforme tehnologice integrate dezvoltate la nivelul programului	-	-
• valoarea dotarilor noi pe program	43.926,80	<b>48.882,48</b>
• brevete de inventie propuse/ acceptate	-	9/0
• articole/ carti publicate	5/1	42/1
○ <i>Carti tehnice</i>	1	1
○ <i>Cataloage</i>	-	-
○ <i>Dicționare</i>	-	-
○ <i>Pliante</i>	-	-
○ <i>Postere</i>	-	-
○ <i>Standard European</i>	-	-
○ <i>Standard Internațional</i>	-	1
○ <i>Standard național</i>	-	-
○ <i>Documentații</i>	1	<b>1</b>
○ <i>Studii</i>	-	-
- <i>Studii de piața</i>	-	-
- <i>Studii de fezabilitate</i>	-	-
○ <i>Caiet de sarcini</i>	-	-
○ <i>Concepte științifice</i>	2	4
○ <i>Metode tehnice</i>	3	5
○ <i>Ghiduri</i>	-	-

○ Proceduri	-	-
○ Manual de utilizare	1	1
○ Rapoarte de verificare/testare	-	-
○ Proiecte/ Desene de execuție modele, instalație pilot , prototip	1	3
○ Planuri de afaceri	-	-
• comunicari stiintifice	5	14
• organisme ale infrastructurii de evaluare a conformitatii dezvoltate in cadrul programului:	-	-
○ laboratoare de incercari	-	-
○ laboratoare de etalonare	-	-
○ organisme de certificare	-	-
• organisme de evaluare a conformitatii care isi desfasoara activitatea in domeniile reglementate prin directivele Uniunii Europene, din care:	-	-
○ produse industriale care intra sub incidenta marcajului CE;	-	-
○ produse agro- alimentare.	-	-
○ nr. de specialisti formati/instruiti pentru evaluarea conformitatii;	-	-
• programe postdoctorale create la nivel national	-	2
• cercetatori romani avand titlul de doctori in stiinte obtinut in strainatate sau stagii postdoctorale efectuate in strainatate reveniti in tara si angajati in unitati de cercetare	-	-
• specialisti formati/ instruiti im managementul si administratia cercetarii	-	16
• manifestari stiintifice sau promotionale cu participare internationala reprezentative;	2	2
• vizite de lucru si stagii de lunga durata ale unor personalitati stiintifice din strainatate;	-	-
• propuneri de proiecte transmise la programe internationale;	-	6
• propuneri de proiecte internationale aprobate;	-	-
• platforme tehnologice integrate in platforme tehnologice europene.	-	-
• parteneriate nou create	1	2
• Software	5	12
• Baze de date	-	1
• Pagini web	-	-
• Consultanta, Asistenta tehnica	1	4
• Cursuri de pregatire organizate	1	1
Constructii institutionale si formare continua:	2	3
• linii de invatamant	-	-
• programe de masterat	1	1
• formare continua	1	1
• Pregatire post doctorala	-	1
• Pregatire manageriala	-	-
• Formarea de personal specializat	-	-

**2. Raportul stiintific si tehnic****in extenso****- Cuprins -**

1. Obiectivul general .....	5
2. Obiectivele specifice .....	6
3. Activitati desfasurate.....	6
4. Rezumat .....	6
5. Descriere stiintifica si tehnica .....	9
5.1.Dezvoltarea unei tehnici bazate pe ICT pentru conducerea adaptiv/inteligenta a sistemelor de fabricatie reconfigurabile .....	9
5.1.1 Premisele stiintifice si tehnice.....	9
5.1.2 Activitati operationale desfasurate .....	10
5.1.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.....	10
5.1.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse .....	11
5.1.5 Concluzii.....	18
5.2. Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de retele Petri .....	19
5.2.1 Premisele stiintifice si tehnice.....	19
5.2.2 Activitati operationale desfasurate .....	33
5.2.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.....	34
5.2.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse .....	140
5.2.5 Concluzii.....	142
5.3. Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto.....	143
5.3.1 Premisele stiintifice si tehnice.....	143
5.3.2 Activitati operationale desfasurate .....	144
5.3.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.....	145
5.3.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse .....	154
5.3.5 Concluzii.....	157
5.4. Sinteza unor noi tehnici de modelare a cinematicii sistemelor de profilare a sculelor generatoare.....	158
5.4.1 Premisele stiintifice si tehnice.....	158
5.4.2 Activitati operationale desfasurate .....	158
5.4.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.....	158
5.4.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse .....	165
5.4.5 Concluzii.....	168
5.5. Realizarea unui demonstrativ de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil.....	170
5.5.1 Premise.....	170
5.5.2 Activitati operationale desfasurate .....	171
5.5.3 Sistemul reconfigurabil de fabricatie.....	171
5.5.4 Programul piesa .....	202
5.5.5 Restrictii .....	202
5.5.6 Optimizare.....	203
5.5.7 Exemple .....	205
6. Concluzii generale.....	208
7. Bibliografie.....	209

7. Anexe – Lista rezultatelor obținute în urma acțiunilor desfășurate în proiect ..... 212
- A. Cercetari stiintifice intreprinse
  - B. Citari ale lucrarilor elaborate in cadrul proiectului
  - C. Distinctii ale lucrarilor elaborate in cadrul proiectului
  - D. Elaborare monografii
  - E. Inventii realizate in cadrul proiectului
  - F. Propuneri standarde internationale
  - G. Manifestari stiintifice
  - H. Editare publicatii
  - I. Programe postdoctorale nou create
  - J. Teze de doctorat
  - K. Realizare prototipuri
  - L. Proiecte transmise la programe internationale
  - M. Parteneriate internationale nou create
  - N. Produse software
  - O. Produse Web
  - P. Programe noi de formare continua
  - Q. Programe si cursuri universitare noi
  - R. Organizare cursuri pregatire
  - S. Consultanta si asistenta tehnica
  - T. Tehnologii noi realizate si implementate in industrie
  - U. Efecte multiplicatoare

## **1. Obiectivul general**

Proiectul a avut ca obiectiv general conceperea unei noi generatii de sisteme tehnologice reconfigurabile care sa reprezinte un prim pas in directia noilor orientari conceptuale si se bazeaza pe urmatoarele idei cheie:

- Arhitectura hardware a sistemelor tehnologice reconfigurabile se bazeaza pe cuplarea intr-o constructie unitara a unui numar de module, adecvat selectate astfel incat, respectiva constructie sa permita executarea operatiei de prelucrare necesara. Caracteristicile acestor module sunt: i) universalitatea, adica capacitatea modulului de a avea roluri functionale multiple, principalul criteriu de selectie fiind de natura cinematica (tipul miscarii, de rotatie sau de translatie, pe care modulul o poate asigura) ii) convertibilitatea, concretizata in capacitatea modulului de a-si schimba rolul functional care il are in sistem. iii) integrabilitatea, adica posibilitatea pe care o are modulul, de a se conecta convenabil cu celelalte module ale sistemului iv) scalabilitatea, data de capacitatea sistemului de a prelucra simultan mai multe suprafete ale piesei (sau mai multe piese), prin adaugarea de module suplimentare, aducand productivitatea la nivelul impus de termenul de livrare a comenzii; v) diagnozabilitatea, adica posibilitatea fiecarui modul de a-si monitoriza functionarea si de sesiza eventualele defectiuni aparute (open arhitecturi).
- Arhitectura software, spre deosebire de cea hardware trebuie sa aiba o structura unitara care sa sustina intreaga cazuistica aparuta ca urmare a reconfigurarii hard a sistemului tehnologic. Pe baza abordarii unitare a problemelor de generare a suprafetelor si de conducere a procesului de aschiere, se poate dezvolta un sistem software care sa fie incorporat in orice sistem tehnologic reconfigurabil si sa se evite necesitatea de a asocia reconfigurarea hardware cu actiuni de reconfigurare software.
- Monitorizarea trebuie sa se bazeze pe senzori incorporati in modulele sistemului si sa fie extinsa la nivelul tuturor componentelor acestuia: masina, scula, dispozitiv, piesa. Reteaua de comunicatii dintre senzori, unitatile de comanda, si sistemul de actionare trebuie sa se bazeze pe un sistem unitar de protocoale de comunicatie standard. In acest fel, monitorizarea completa ia locul supravegherii permanente specifice sistemelor tehnologice actuale. In plus, controlul calitatii produsului (de exemplu precizia dimensionala a acestuia) trebuie sa fie integrat in controlul sistemului tehnologic reconfigurabil.
- Programarea sistemului tehnologic reconfigurabil trebuie sa reprezinta un input informational care sa contina parametrii produsului (inclusiv deviatii tolerate a acestor parametri), si nu parametrii de functionare ai mecanismelor masinii.
- Conducerea sistemului tehnologic trebuie sa integreze aspectele tehnice cu cele economice si comerciale si, sa permita prin functionarea virtuala a sistemului tehnologic prognozarea functionarii reale ale acestuia, in scopul conducerii preventive si optimale a procesului de prelucrare. Modelele matematice care descriu functionarea sistemului trebuie sa fie obtinute prin identificarea online a acestuia, atat sub aspect tehnic cat si economic. In acest fel, cunostintele specifice, extrase si aplicate rapid iau locul cunostintelor generale, particularizate greoi iar, conducerea devine adaptiva.

## **2. Obiectivele specifice**

1. Dezvoltarea unei tehnici bazate pe ICT pentru conducerea adaptiv/inteligenta a sistemelor de fabricatie reconfigurabile.
2. Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de retele Petri.
3. Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto.
4. Sinteza unor noi tehnici de modelare a cinematicii sistemelor de profilare a sculelor generatoare.
5. Realizarea unui demonstrativ de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil.

## **3. Activitatile desfasurate**

- 1.4.-Verificarea experimentală a tehnicilor bazate pe ICT dezvoltate în cadrul proiectului
- 2.2. Extinderea modelelor Retelelor Petri la programarea controlerelor logice cu GRAFCET
- 2.3. Optimizarea ordonantării activităților unui sistem tehnologic reconfigurabil folosind SINCONPETRI
- 2.4. Folosirea serverelor de aplicații OLE (Object Linked Enable) Microsoft și a OPC (Object Factory Server) Schneider pentru implementarea interfețelor Human-Machine și a legăturii cu PLC.
- 3.2. Dezvoltarea unei scheme de reconfigurabilitate bazată pe cunoștințe
- 3.3. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilității
- 3.4. Simularea numerică a deformării unor caroserii cu pini reconfigurabili
- 4.3. Modelarea suprafețelor generabile prin procedee neconvenționale reconfigurabile
- 5.1. Algoritm de funcționare virtuală a unui sistem de fabricație reconfigurabil pentru caroserii auto
- 5.2. Realizarea/experimentarea unui demonstrativ pentru funcționarea virtuală a unui sistem de fabricație reconfigurabil

## **4. Rezumat**

Proiectul a avut drept scop elaborarea unor metode de simulare, modelare și producție virtuală, bazate pe tehnologia informației și comunicării, și dedicate unei noi generații de sisteme de prelucrare reconfigurabile, care să ofere o soluție la această provocare. Noua generație de sisteme tehnologice, concepută în cadrul proiectului, are următoarele caracteristici definitorii:

- a) sunt reconfigurabile, cu arhitectură hardware deschisă, realizate din module universale, mecatronice, cu sisteme încorporate de control in-situ;
- b) au autoprogramare numerică in-cycle,
- c) sunt cu calitatea și economicitatea controlate on-machine.
- d) sunt cu conducere adaptivă, optimă, predictivă, on-line.

*Motivații:*

Modulele fiind *universale*, biblioteca de module pe care întreprinderea o are trebuie să conțină un număr mic de module; ca urmare numărul modulelor neutilizate la un moment dat este *restrans*, tinzând spre zero (chiar în condițiile unei producții de serie mică și foarte diversificată, așa cum este cazul actualmente pe piață); ca efect, *capitalul stagnant*, atât de mare în prezent, se diminuează spre zero, iar *durata de recuperare* a investiției se reduce la 4-5 ani, în loc de 15..20 de ani cât este în prezent.

Conducerea acestor sisteme tehnologice reconfigurabile are caracter *adaptiv*, în sensul că, prin reidentificare periodică online, modelul de conducere urmărește evoluția în timp și spațiu a comportării sistemului; pe de altă parte, conducerea are caracter *predictiv* întrucât *corectia precede apariția erorii*.

Pe de altă parte, la această nouă generație de sisteme tehnologice, potrivit proiectului, evoluția în timp și spațiu, atât a comportării sistemului, cât și a caracteristicilor mecanice ori dimensionale ale semifabricatului, este surprinsă prin construcția unor modele *simple, localizate în spațiu, efemere, construite cu date recente*, în loc de modele *complexe, generale, perene, construite din date istorice*, folosind actualele facilități oferite de ICT (senzori wireless și supplyless, sisteme încorporate, tehnici data-mining, etc).

În dezvoltarea acestei noi generații de sisteme tehnologice, echipa proiectului a plecat de la observația că, după reconfigurare, un sistem de fabricație reconfigurabil *este practic un sistem nou*, foarte puțin cunoscut, ce trebuie condus pentru fabricarea unui obiect, care este, de asemenea, *foarte puțin cunoscut*. Întrucât, nici sistemul și nici obiectul nu sunt suficient cunoscute, este necesară dezvoltarea unor tehnici de *identificare on-line* a sistemului și procesului de prelucrare (indiferent deconstrucția sistemului sau natura fizică a procesului: aschiere, deformare plastică, injecția maselor plastice, electroeroziune, presarea pulberilor etc.), finalizată cu obținerea unui model, care să reprezinte o descriere *la momentul curent* a interacțiunii dintre cele două elemente. *Modelul* astfel obținut este folosit pentru *simularea* funcționării ansamblului, *prelucrarea virtuală* a produsului și elaborarea setului de comenzi preventive, necesare pentru *compensarea deviațiilor* de orice fel, constatate în cursul prelucrării virtuale.

În cadrul proiectului a fost dezvoltată o tehnică bazată pe ICT pentru conducerea adaptiv-inteligentă a sistemelor de fabricație reconfigurabile. Această tehnică presupune implementarea unui algoritm de identificare on-line a sistemului, pe baza unui model parametric, simularea conducerii sistemului și formularea corecțiilor necesare pentru compensarea deviațiilor, iar în final, elaborarea comenzilor necesare pentru prevenirea deviațiilor rezultate din simulare. Tehnica a fost verificată experimental pe loturi de piese de probă, dar și piese industriale, iar performanța realizată a corespuns anticipărilor, și anume reducerea de cinci ori a deviațiilor remanente.

La nivelul întregului sistem de fabricație a fost dezvoltată o tehnică de conducere bazată pe o nouă clasă de rețele Petri. A fost dezvoltată o metodologie de proiectare a modelelor de conducere up-down și down-up. Au fost folosite serverele de aplicații OLE- Microsoft și OPC-Schneider pentru implementarea interfetelor om-mașină și a legăturii cu PLC.

Tehnica de conducere adaptiv/inteligentă a fost extinsă de la procesele de prelucrare prin aschiere la cele de prelucrare prin deformare plastică, caz în care s-a dezvoltat o tehnică predictivă bazată pe element finit pentru controlul formei matritelor cu pini reconfigurabili. În acest sens a fost dezvoltată o schemă de reconfigurabilitate bazată pe cunoștințe prin aplicarea procedurilor din domeniul "rough set theory". Simularile numerice ale deformării tablelor în cursul ambutisării cu matrite având timpi reconfigurabili au confirmat posibilitatea implementării tehnice predictive dezvoltate în proiect.



In scopul generalizarii tehnicii de conducere bazata pe ICT ce a fost dezvoltata in cadrul proiectului, au fost imaginate tehnici noi de modelare a cinematicii sistemelor de profilare a sculelor generatoare. Pe baza teoriei generale a infasurarii suprafetelor au fost dezvoltate metode pentru modelarea infasurarii suprafetelor, aplicabile pe masini care genereaza vartejuri ordonate de suprafete. Aceste abordari au fost validate in cazurile procedeeelor neconventionale reconfigurabile (electroeroziune) si in cazul procedeeelor de danturare. Pentru confirmarea rezultatelor obtinute in cadrul proiectului a fost realizat un demonstrativ de functionare virtuala a sistemelor de fabricatie reconfigurabile. Demonstrativul a fost dezvoltat pe doua nivele: nivelul sistemului de fabricatie si nivelul sistemelor tehnologice care il compun.

In urma activitatilor desfasurate in cadrul proiectului au fost publicate 94 de lucrari stiintifice, 60 dintre acestea in publicatii indexate ISI/BDI, iar doua au obtinut distinctii. In cursul anilor 2006 si 2007 au aparut 17 citari ale acestor lucrari, din care 14 in publicatii indexate ISI. Au fost realizate 14 inventii, 13 fiind inregistrate la OSIM in perioada proiectului, iar una urmand a fi inregistrata. O parte dintre rezultatele obtinute au fost implementate industrial la trei intreprinderi si se afla in curs de implementare la altele doua. Rezultatele obtinute in urma activitatilor din proiect includ de asemenea monografiile, parteneriate nou create, programe postdoctorale si programe universitare noi.

## **5. Descriere științifică și tehnică**

### **5.1. Dezvoltarea unei tehnici bazate pe ICT pentru conducerea adaptiv/inteligentă a sistemelor de fabricație reconfigurabile**

#### **5.1.1 Premise științifice și tehnice**

Procesele de maine se vor desfășura din ce în ce mai mult în rețele complexe, care adesea operează peste granițele companiilor și în spațiu internațional. Fabricarea bazată pe cunoaștere implică nu numai utilizarea cunoașterii pentru optimizarea proceselor și a resurselor de producție specifice, ci și integrarea acestei cunoașteri și a transferului ei prin intermediul platformelor de cunoaștere și a rețelelor competente spre alte domenii unde poate constitui un avantaj.

Tinta cercetărilor actuale este dezvoltarea unor sisteme de fabricație care să aibă capacitatea de a-și modifica sub-sistemul de conducere, în acord cu modificările ce apar în ceea ce privesc proprietățile tehnologice ale materialului prelucrat, proprietățile mecanice ale materialelor sculelor/elementelor active folosite, precum și succesul pe piața al produsului obținut în urma prelucrării.

Industria manufacturieră utilizează pentru fabricația în serie a produselor sale un portofoliu de sisteme de fabricație dedicate și flexibile. Liniile de fabricație dedicate (DML) sunt bazate pe automatizarea fixă necostisitoare. Fiecare linie dedicată este proiectată să producă o singură componentă cu o productivitate ridicată și cost relativ scăzut. Dar, în condițiile introducerii cu frecvență ridicată a produselor noi și a marii fluctuații a cererii de produse, pot apărea situații în care liniile de fabricație nu operează la întreaga lor capacitate. În aceste cazuri capitalul existent în atelier și o mare parte a investițiilor de capital sunt irosite.

Sistemele de fabricație flexibile (FMS) constau în mașini de uz general scumpe, cu comandă numerică (CNC) și pot realiza o mare varietate de produse, variabile ca volum de fabricație. De vreme ce aplicațiile specifice nu sunt cunoscute producătorilor de mașini, FMS sunt realizate cu toate posibilitățile funcționale. Acest lucru creează o irosire a capitalului.

Pentru a diminua risipirea de capital s-a dezvoltat o nouă categorie de sisteme de manufacturare numite „reconfigurable manufacturing systems” (RMS) la care, atât mașinile unelte cât și sistemul de manufacturare în ansamblu au următorul set de caracteristici de bază: modularitate, convertibilitate, integrabilitate, scalabilitate, diagnosticabilitate și personalizare.

Ideile pe care se bazează această nouă tehnică sunt următoarele:

- mai întâi (RMT)-urile ce intră în componența RMS-ului trebuie să aibă o structură modulară, iar modulele să aibă un nivel înalt de integrabilitate, astfel încât, folosind o bibliotecă cu un număr mic de module, să se poată obține rapid oricare dintre RMT-urile componente (convertibilitate). Altfel spus, cu aceleași module disponibile să se poată obține o gamă largă de RMT-uri, iar la fiecare RMT să se poată asigura productivitatea necesară (scalabilitate). În acest fel se reduce capitalul irosit.

- în al doilea rând, sistemul de programare, monitorizare și control al RMT-ului trebuie să fie modular și să aibă arhitectură deschisă, astfel încât să i se poată reconfigura ușor structura, adăugând sau scoțând module după necesități (modularitate).

- în cel de al treilea rând, pentru ca RMS-ul să poată oferi capacitățile de mai sus, este necesar ca domeniul de utilizare al acestuia să fie restrâns la o anumită familie de piese (customization).

- în cele din urmă sistemul de control trebuie să aibă capacitatea de a detecta sursele de abateri care afectează calitatea produsului și de a reduce efectul acestora (diagnosticabilitate).

Tehnica dezvoltată în cadrul proiectului presupune elaborarea unei metode de identificare dimensională a RMT-ului în scopul de a asigura diagnozabilitatea acestuia. Astfel, mai întâi, din module diferite a fost obținută o mașină unealtă care asigură funcționabilitatea necesară într-o anumită stație de lucru a RMS-ului. Apoi, pentru a obține diagnozabilitate, se montează senzorii cu care se va monitoriza funcționarea mașinii-unelte, precum și echipamentele cu care vor fi evaluate abaterile dimensionale ale produsului. Semnalele senzorilor și abaterile dimensionale ale produsului vor fi înregistrate, iar prin procesarea acestor date RMT-ul va fi identificat.

### 5.1.2 Activități operaționale desfășurate

Pentru dezvoltarea tehnicii bazată pe ICT de conducere adaptiv/inteligentă a sistemelor de fabricație reconfigurabile, a fost desfășurată următoarea activitate operațională:

*1.4-Verificarea experimentală a tehnicilor bazate pe ICT dezvoltate în cadrul proiectului.*

### 5.1.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.

În dezvoltarea acestei noi generații de sisteme tehnologice, echipa proiectului a plecat de la observația că, după reconfigurare, un sistem de fabricație reconfigurabil *este practic un sistem nou*, foarte puțin cunoscut, ce trebuie condus pentru fabricarea unui obiect, care este, de asemenea, *foarte puțin cunoscut*. Întrucât, nici sistemul și nici obiectul nu sunt suficient cunoscute, este necesară dezvoltarea unor tehnici de *identificare on-line* a sistemului și procesului de prelucrare (indiferent de deconstrucția sistemului sau natura fizică a procesului: aschiere, deformare plastică, injecția maselor plastice, electroeroziune, presarea pulberilor etc.), finalizată cu obținerea unui model, care să reprezinte o descriere *la momentul curent* a interacțiunii dintre cele două elemente. Modelul astfel obținut este folosit pentru *simularea* funcționării ansamblului, *prelucrarea virtuală* a produsului și elaborarea setului de comenzi preventive, necesare pentru *compensarea deviațiilor* de orice fel, constatate în cursul prelucrării virtuale.

Pentru prezentarea la nivel conceptual a ideii de mai sus, să considerăm prelucrarea unui lot de piese, cu sisteme tehnologice de această nouă generație. În prima fază, folosind modulele universale de care întreprinderea dispune, sistemul tehnologic este reconfigurat, astfel încât să aibă caracteristici adecvate procesului de prelucrare ce urmează să se desfășure. Este prima formă de adaptare la piață a sistemului tehnologic – arhitectură hardware deschisă.

Apoi are loc prelucrarea *de proba*, incompletă, a primului exemplar din lot (care reprezintă prima experiență în algoritmul de identificare online). Urmează prima identificare on-line a sistemului tehnologic, la care se vor folosi rezultatele obținute din monitorizarea prelucrării de proba a primului exemplar, precum și cunoștințele acumulate în baza de cunoștințe a sistemului tehnologic. Modelul astfel obținut se va folosi pentru a *prelucra virtual* exemplarul următor și, funcție de rezultatul obținut, se vor aplica, *preventiv*, corecțiile necesare pentru compensarea deviațiilor. După fiecare exemplar prelucrat, rezultatele acumulate în baza de date sunt folosite pentru re-identificarea sistemului, simularea exemplarului următor, prelucrarea virtuală a acestuia, prognoza deviațiilor care este de așteptat să apară și elaborarea comenzii necesare în vederea prelucrării reale, *fără deviații*, a respectivului exemplar.

Ideile conceptuale, pe care s-a bazat dezvoltarea acestei noi generații de sisteme tehnologice, au fost concretizate în cazul sistemelor tehnologice de *așchiere* și de *ambutisare*, a căror funcționare este controlată sub aspectul *calității* produsului și a *economicității* procesului.

Pentru exemplificare, mai jos se prezinta concretizarea conceptului in cazul *conducerii dimensionale* a sistemelor tehnologice de *aschiere*, programate *numeric* și controlate sub aspectul calității produsului. Sa consideram cazul in care suprafata programata este cea tinta. Ca urmare a erorilor de sistem si de proces, suprafata reala difera de cea programata, rezultand o eroare efectiva de prelucrare. Daca insa in locul suprafetei tinta, se programeaza o suprafata ce reprezinta *imaginea in oglinda a suprafetei reale*, atunci este de asteptat ca diferentele dintre suprafata reala si cea tinta sa se anuleze. Pentru aceasta este inasa necesara prelucrarea virtuala a exemplarului urmator, in vederea *prognozei* deviatiiilor dimensionale care este de asteptat sa apara. Trebuie observat faptul că, *eroarea reziduala nu depinde, nici de erorile de sistem si nici de intensitatea procesului, ci doar de precizia cu care au fost prognozate deviatiiile corespunzatoare exemplarului urmator.*

Pentru derularea acestor actiuni este necesara utilizarea unui sistem senzorial adecvat si a tehnicilor de inteligenta artificiala (in principal retele neuronale, algoritmi genetici, baze de date si baze de cunostinte), care sa fie implementate in conexiune cu noua configuratie hardware a sistemului reconfigurat.

In cadrul proiectului au fost testate tehnicile de modelare, identificare, simulare si productie virtuala dezvoltate. In ceea ce priveste abaterea dimensionala, rezultatele experimentale au fost spectaculoase. Aceasta a scazut de 5 pana la de 110 ori in raport cu prelucrarea conventionala, asa cum arata rezultatele obtinute prin experimentari in conditii de laborator sau industriale.

#### 5.1.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse

##### A. Cercetari stiintifice intreprinse

1. Cuzmin C., Frumusanu G., Marin F.B., Paunoiu V., Cuzmin G., Epureanu A., *Adaptive Dimensional Control System for Reconfigurable Machine-Tools.*, Vol. 1, Universitatea Tehnică a Moldovei, ISBN 978-9975-45-035-1, TCMR International Conference, Chisinau, 2007.

##### **Abstract:**

The paper is presenting a method for online identification of the dimensional dynamics to be used for dimensional control of reconfigurable machining systems. The dimensional control is a key action in order to achieve quality desired for finite product. As diminishing deviation is accompanied with high costs: deviation compensation seem to be a better control of the process.

2. Cuzmin C., Teodor V., Oancea N., Marinescu V., Epureanu A., *Dimensional dynamics identification of reconfigurable machine tools.* Proceedings of WSEAS European Computing Conference, Athens, GREECE, September 25-27, 2007, (indexata ISI).

##### **Abstract:**

The paper presents a new method for online identification of the dimensional dynamics to be used for the dimensional control of reconfigurable machining systems. The dimensional control is designed as adaptive and predictive.

The dimensional control of the reconfigurable machining system is a key action in order to achieve the quality desired for the finite product. As a diminishing deviation presents the disadvantage that reducing deviations are accompanied by high costs, the deviation compensation implies a better control of the process.

The deviation compensation emerged during the working process requires knowledge of a model which describes the dimensional dynamics of the machine tool, which is the relation between the

dimensional changing of the processed part and the parameters of the process. On the other hand the behavior of the machining system evolution changes significantly in time even during the processing of a small number of parts processed. This is the reason that dimensional dynamics must reveal the changing in time of the relation between dimensional variation of the parts and the process parameters.

**Keywords:** reconfigurable machine tools, online identification, dimensional dynamics, dimensional control.

3. Frumusanu G., Epureanu A. – *Approach of Cutting Processes Chaotic Character by Using Cutting Force Poincare Map* - Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Tomul LIII (LVII), 2007, în curs de publicare.

**Abstract:**

The potential chaotic character of cutting processes was already confirmed by calculated values of Lyapunov exponent in the case of time series including cutting force values during manufacturing by turning. To consolidate this assumption, other instruments offered by Chaos Theory are available; among them, Poinace map is a significant one. In this paper are presented Poincare map type diagrams, drawn based on time series including cutting force values during manufacturing by turning, by using a dedicated soft; a comparison between them and chaotic phenomena phase portraits existing in dedicated literature is also made.

**Keywords:** cutting force, Poincare map, time series, cutting process.

4. Constantin I., Marinescu V., Epureanu A., Cuzmin C., Marin F. B., *A modular manufacturing control system*, TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 301-306.

**Abstract:**

This paper proposes a modular manufacturing system structure. The key. concept is to modularize the machines. the auxiliary equipment and finally the plant. In architecture, each module had a set of configuration parameters used by the main module of each sub-structure. The multi processor structure allows the production facility to adapt itself to the production task.

5. **Frumusanu G., Epureanu A. – *Modelling of Cutting Process Chaotic Character.*** - TCMR International Conference, Chisinau, 2007, p.342-345.

**Abstract:**

“Chaos Theory” application when analyzing and identifying cutting manufacturing processes could bring new and very interesting elements, with direct application in conceiving manufacturing systems with high performances. To reach this goal, first of all evaluation of a certain process chaotic character must become possible (and easy) to be done. This paper intends to suggest a method, by using a special dedicated soft and files including cutting force values (measured during a cutting test), as time series, to evaluate chaotic or non-chaotic character of analyzed process. Concrete samples are also included.

6. **Frumusanu G. – *Algorithm and Program to Find Largest Lyapunov Exponent in One-Dimensional Time Series Case.*** - TCMR International Conference, Chisinau, 2007, p.338-341.

**Abstract:**

During the last years, many researchers tried to apply “Chaos Theory” to explain phenomena from various domains, starting from medicine and weather prediction and going up to manufacturing by metal cutting. The main sign that characterizes the chaotic character of a certain process is “the largest Lyapunov exponent”. To calculate it, more methods were already suggested, but this paper covers a less tackled field – time series case. Examples of application are presented and results quality is analyzed by comparing them to accepted reference cases.

**Keywords:** reconfigurable machine tools, open-architecture, interpreter, condition instructions set

7. Frumusanu G., *The Influence of Reconstruction Delay and Embedding Dimension Values onto Time Series Lyapunov Exponents Calculation* - Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Tomul LIII (LVII), 2007, în curs de publicare.

**Abstract:**

During the last years, many researchers tried to apply “Chaos Theory” to explain phenomena from various domains, including manufacturing by metal cutting. The main sign that characterizes the chaotic character of a certain process is “the largest Lyapunov exponent”. To calculate it, more methods were already suggested, but there are differences between results. By using an original dedicated soft, this paper tries to find the influence of specific parameters with effect onto time series Lyapunov exponents calculation (reconstruction delay, embedding dimension, etc) in the final results.

**Keywords:** largest Lyapunov exponent, time series, reconstruction delay, embedding dimension.

8. Epureanu A., *Reconfigurable manufacturing systems – the next generation* În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566,p.5 (indexata **BDI**).
9. Lixandru I., Epureanu A., Frumusanu G., Craciun M.V., *Coherence of RMS thermo-mechanical fields*. În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p.23 (indexata **BDI**).

**Abstract:**

Deviation compensation for the axis controlled of a machine tool is based on the error diagram as a result of measurement.. Due to machine thermo-mecanical field, error diagram is modified accordingly, which is diminishing compensation performance. In this paper it is described a new update periodic tehniqe of the error diagram using spline functions and by identification of the law for the evolution as a result of themo-mecanical field continuous variation. This law is based on coherent themo-mecanical evolution in time as well as the evolution coherent of spline model parameteres. The main advantage of this tehniqe is that when monitoring a reduced number of points for the themo-mecanical field, it is possible to update with high precision error diagram.

10. Alamano A.M., Hauk N., Epureanu A., *Adaptive-optimal control of reconfigurable machine tool*. În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p.35 (indexata **BDI**).

11. Frumusanu G., Epureanu A., *Chaotic dynamics of cutting processes applied to RMS control*. În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p.53 (indexata **BDI**).

**Abstract:**

There are already known and enounced into dedicated literature the limits of classic theory concerning cutting processes stability. Starting from this aspect and also from the need of designing an intelligent system to control cutting stability, to enable full use of RMS technological system productivity resources, this paper is a first step to a new approach of cutting process dynamics, seen as chaotic phenomenon. By using Chaos Theory tools (Lyapunov exponent calculation, Poincare maps), a specific parameter, characterizing cutting process (the cutting force), variation is analyzed, in order to reveal a chaotic model of this process. Such a model will allow a better understanding of phenomena connected to cutting processes (in)stability, same time with imagining a simple and efficient tool to control the stability of cutting processes developed on RMS.

12. Stoian C., Frumusanu G., *RMS design principle*. În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN 1221-4566, p.71 (indexata **BDI**).

**Abstract:**

The reconfigurable machine system is a mixture of dedicated manufacturing system high performance and flexible manufacturing system convertibility. RMS provide the feature of manufacturing a large variety and small production volumes with high economic efficiency. Reconfigurable manufacturing system allows fast changes of structure, in order to an fast adapt to production required, of both software and hardware components. The aim of this paper, is to state and describe the principles of reconfigurable manufacturing system design.

13. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian CUZMIN, *The monitoring of a lathe using an artificial neural network - 5<sup>th</sup> part*, (recordings spectral analysis, use of ANN on monitoring of the tool wear), SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May

**Abstract:**

The study of machine-tool dynamic is realized here as “monitoring”, meaning checking and improving the functioning of the machine. The state of processing is followed by certain sensors whose signs are processed inside the computer and then it takes the decision of monitoring, meaning the identification of a class from the set of classes (process conditions). In this part of the paper there are presented recordings spectral analysis and use of ANN on monitoring of the tool wear.

**Keywords:** monitoring, lathe, spectral analysis, ANN.

14. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian Cuzmin, *The monitoring of a lathe using an artificial network – 6<sup>th</sup> part* (statistics, monitoring, fuzzy C-means metodos), SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May.

**Abstract:**

The study of machine-tool dynamic is realized here as “monitoring”, meaning checking and improving the functioning of the machine. The state of processing is followed by certain sensors

whose signs are processed inside the computer and then it takes the decision of monitoring, meaning the identification of a class from the set of classes (process conditions). In this part of the paper there are presented statistics, monitoring and fuzzy c-means method.

**Keywords:** monitoring, lathe, ANN.

15. BALAN, C. George; EPUREANU, Alexandru; POPA, Rustem & CONSTANTIN, Ionut, *CHATTER DETECTION USING THE MAIN CUTTING FORCE*, trimisa la The 18th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Creativity, Responsibility and Ethics of Engineers", Croatia, 24-27th October 2007, (indexata ISI).

**Abstract:**

(Li, 1997) uses the coherence function between two crossed accelerations to identify chatter in turning. In a frame of an experiment we registered the accelerations of the cutter-holder, for different cutting wear classes (c1 ÷ c6), where c6 means "Chatter". 12 monitoring indices were calculated, among which:  $X_5 \rightarrow F_z$  variation range;  $X_6 \rightarrow$  number of intersections of oscillogram  $F_z$  with its average value. The histograms of the column matrices corresponding to the monitoring indices  $X_5$  and  $X_6$ , shown for each class, underline the accurate use of these indices values for chatter detection. The coherence function between the accelerations in the directions Y and Z was calculated. The class recordings c6 falls (with an exception) under the criterion from (Li,1997), but it can be seen that 75 % from the c2 class recordings takes maximum value of the coherence function equal to or greater than 0.91. The first 6 monitoring indices were calculated for these recordings. According to a new criterion (which operate with the monitoring indices  $X_5$  and  $X_6$ ), these recordings are **not** within the class c6, but class c2. As a conclusion, we believe that the new criterion is much more efficient than those at (Li, 1997).

**Keywords:** turning, chatter detection, coherence function.

16. Vacarus V., Gheorghies C., Dima Mircea, *Diagnosis of the structural changes intro superficial layer during high speed machining*, DIPRE Bucuresti 2007.
17. Epureanu A., Teodor V., Oancea N., Banu M., Marinescu V., *Method for On-Line Identification of Reconfigurable Machine-Tool Geometry Based on a Topological Neural Approach*, Journal of Manufacturing Science and Engineering (trimisa spre publicare) (indexata ISI).
18. Teodor V., Epureanu A., Cuzmin C., *Method for Identification of Geometric Feature Family Based on Genetic Algorithm and Neural Approach* Proceedeings of WSEAS EUROPEAN COMPUTING CONFERENCE, Athens, Greece, September 25-27, 2007 (indexata ISI).
19. Epureanu, Al., Teodor, V., Dima, M., Oancea, N., *A Reconfigured Rack-Tool for Generation of Gears*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare (indexata ISI).
20. Cuzmin, C., Cuzmin, G., Epureanu, Al., *Internal Gear Cutting Generation with Toroidal Hob*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare (indexata ISI).
21. Cucu, M., Oancea, N., Teodor, V., *Metoda tangentelor – profilarea sculei-cremalieră pentru profiluri circulare*, Tehnologii Moderne Calitate Restructurare 2007, Universitatea Tehnică a Moldovei, vol. 2, Chişinău, pag. 86-89, ISBN 978-975-45-034-8, ISBN 978-9975-45-035-2, 2007.



**Abstract:**

“Tangents Method”, as algorithm used to profile a rack-type tool, to generate by wrapping elementary profiles (in the presented case – a circular profile) it is proved to be, as results, comparable to the theorems and methods already accepted. Numerical examples are exposed, realized when generating a circular profile, associated to a circular centroid by  $R_{rp}$  radius, obtained by using the new algorithm and also by using algorithms specific to “Willis Method” and “Plain Generating Trajectories Method”.

22. Breaz, R., Bologa, O., Racz, G., *Improving CNC Machine Tools Accuracy Using Modeling and Computer Simulation Techniques*, The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.
34. Racz, G., Bologa, O., Breaz, R.E., *Design and Optimization of the Press Structure*, The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.

**D. Brevetarea rezultatelor stiintifice**

Rezultatele obtinute in cadrul proiectului au fost protejate prin inregistrarea la nivel national (O.S.I.M.). Au fost elaborate 14 inventii (13 fiind inregistrate, unul aflandu-se in curs de inregistrare)

1. Cuzmin C., Epureanu A, Banu M., Teodor V., Marinescu V., Marin F. B., *Metoda si echipament de conducere dimensionala bazata pe monitorizarea campului termo-mecanic* - Dosar Nr. A 00255/12.04.2007.

**Rezumat:**

Inventia se refera la o metoda si echipamentul corespunzator destinate conducerii dimensionale a unui sistem tehnologic de prelucrare mecanica, pe baza monitorizarii campului termo-mecanic in timpul procesului de prelucrare. Modificarile campului termo-mecanic in timpul prelucrării sunt corelate cu erorile de prelucrare apărute în lungul traiectoriei sculei. Această corelație este identificată pe baza datelor obținute din monitorizarea sistemului tehnologic în cursul prelucrării pieselor anterioare. Modelul obținut este folosit pentru prognoza erorii la piesa curentă. Eroarea prognozată este compensată folosind sistemul de conducere numerică. În acest fel eroarea de prelucrare depinde doar de precizia cu care s-a realizat prognoza.

Inventia se aplica la prelucrarea mecanica a unui lot de piese prin aschiere pe sisteme de prelucrare cu comanda numerică.

2. Epureanu A., Marinescu V., Ghita E., Oancea N., Teodor V., Banu M., *Robot reconfigurabil de masurare* - Dosar Nr. A 00627/06.09.2007

**Rezumat:**

Prezenta inventie se refera la o noua constructie de robot destinat masurarii dimensiunilor obiectelor.

Se cunosc masinile de masurat in coordonate, fixe sau portabile, care presupun explorarea succesiva a suprafetei de masurat, folosind un palpator cu cap sferic, si calculul, pe baza rezultatelor obtinute prin explorare, a deviatiiilor de forma, dimensiune si pozitie relativa ale suprafetei. Atat masinile fixe cat si cele portabile sunt compuse dintr-un numar fix de elemente,

cuplate prin intermediul unor elemente de conectare, care se pot roti sau transla unul fata de altul. In fiecare element de conectare exista un traductor, care masoara distanta sau unghiul dintre cele doua elemente conectate. La unul dintre capete se afla palpatorul, care exploreaza suprafata de masurat, iar celalalt capat este fixat pe acelasi suport ca si obiectul. Numarul de elemente de cuplare trebuie sa fie destul de mare, pentru ca palpatorul sa poata explora suprafetele de interes, ale acelui obiect aflat in campul de lucru al masinii care are cea mai complicata forma si cea mai mare dimensiune.

Prin intermediul calibrării – proces care se desfasoara separat fata de procesul de masurare si care consta in explorarea unor obiecte de referinta – se estimeaza parametrii modelului matematic al masinii de masurat. Acest model permite calculul coordonatelor centrului sferic al palpatorului, functie de valorile distantelor si unghirilor masurate de traductoare.

Pentru masurarea unei suprafete, operatorul trebuie mai intai sa stabileasca numarul de puncte care vor fi explorate pe respectiva suprafata si sa introduca in sistem, in mod explicit si independent, urmatoarele informatii: tipul suprafetei de masurat, (de exemplu cilindrica, plana, conica, etc.), caracterul acesteia (interioara sau exterioara) si caracteristicile geometrice ale palpatorului. Apoi, trebuie sa exploreze suprafata dupa un algoritm impus ( de exemplu, in cazul unei suprafete cilindrice, primele trei puncte trebuie sa se afle pe un arc de cerc de cel putin 120 de grade, iar urmatoarele 3 puncte trebuie sa se afle pe un alt arc de cerc deasemenea de 120 de grade). Dupa ce operatorul a explorat numarul de puncte stabilit, trebuie sa dea comanda de evaluare a caracteristicilor geometrice ale suprafetei explorate ( de exemplu diametrul suprafetei cilindrice sau deviatia acestuia in raport cu valoarea nominala).

Actualele constructii de masini portabile de masurat au urmatoarele dezavantaje:

- in majoritatea cazurilor de masurare, numarul de elemente ce compun structura respectivei masini de masurat este mult mai mare decat minimul necesar; in consecinta, eroarea de masurare este mai mare iar utilizarea de catre operator al masinii este mai dificila;

- calibrarea este sofisticata, imprecisa si cere mult timp;

- eroare de masurare este de aproximativ de 10 ori mai mare decat eroarea de repetabilitate, ceea ce inseamna ca nu se utilizeaza in intregime performantele de precizie ale traductoarelor din elementele de cuplare;

- pentru a pune in practica procedura de masurare a unei dimensiuni, operatorul trebuie sa intreprenda un numar mare de actiuni care face ca procesul de masurare sa fie complicat si sa necesite mult timp.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia este realizarea unui robot de masurare, care, fiind mai bine adecvat formei si dimensiunilor obiectului de masurat. sa asigure un proces de masurare mai precis si cu mai putin efort din partea operatorului.

Prezenta inventie elimina dezavantajele de mai sus prin aceea ca:

- a) pentru a corela configuratia robotului de masurare, cu forma si dimensiunile obiectului masurat, acesta are o structura variabila, care se obtine prin cuplarea dupa necesitati a mai multor elemente, astfel incat sa se obtina un sistem articulata, avand doua sau mai multe extremitati, in fiecare articulatie aflandu-se un traductor, care masoara unghiul de rotatie al respectivei articulatii, si la fiecare extremitate aflandu-se un element adecvat, pentru a asigura contactul cu obiectul sau cu suportul acestuia;

- b) in timpul explorarii suprafetei de masurat, se recunosc automat elementele geometrice masurate, care pot fi de tip punct, linie dreapta, cerc, plan, sfera, cilindru, con, se determina automat caracterul acestora, de suprafata interioara sau exterioara, compensandu-se automat raza palpatorului folosit pentru explorarea suprafetei;

- c) pentru a reduce erorile de masurare, procesul de calibrare al robotului este integrat cu procesul de masurare, ceea ce permite ca, periodic, in cursul masurarii unei anumite suprafete a piesei, sa se obtina, la comanda operatorului, atat modelul matematic al suprafetei explorate, cat si o forma actualizata a modelului matematic al robotului, forma care sa tina cont de evolutiile aparute in ceea ce priveste valorile parametrilor modelului matematic al robotului.

3. Cuzmin C., Epureanu A., Oancea N., Marinescu V., Banu M., **Strung universal reconfigurabil** - Dosar Nr. A 00577/13.08.2007

#### **Rezumat:**

Invenția se referă la construcția și cinematica unu nou tip de strung universal reconfigurabil ce rezolvă problemele legate de strunjirea atât a suprafețelor profilate longitudinal, cât și a suprafețelor profilate transversal. În plus, strungul propus este capabil să realizeze detalonarea unor freze-melc profilate longitudinal (de exemplu detalonarea unei freze-melc globoidale).

Strungul universal reconfigurabil are un grad ridicat de universalitate, care permite ca, folosind o unică mașină, să poată fi prelucrate toate tipurile de suprafețe cilindrice, conice sau elicoidale.

La prelucrarea suprafețelor profilate longitudinal, inclusiv arbori în trepte, sania portcuțit poate orienta scula în raport cu suprafața prelucrată astfel încât valorile funcționale ale unghiurilor  $\kappa$  și  $\kappa_1$  să poată fi controlate după necesitate (de exemplu să fie menținute constante).

La prelucrarea suprafețelor prelucrate transversal, sania portcuțit orientează scula în raport cu suprafața prelucrată, astfel încât valorile funcționale ale unghiurilor  $\alpha$  și  $\gamma$  să poată fi controlate după necesitate.

La prelucrarea suprafețelor de așezare ale sculelor detalonate, cele patru mișcări oferite de modulele care compun strungul pot fi corelate folosind un interpolator reconfigurabil, astfel încât să se controleze direcția de detalonare (axial, radial, altă direcție), legea de detalonare (arhimedică, logaritmică, altă lege), profilul suprafeței pe care este dispusă elicea dinților sculei (de exemplu circular pentru o freză melc globoidală), profilul transversal al dinților sculei (de exemplu profilul evolventic al unei freze-melc globoidale), precum și înclinația canalelor dinților sculei (eventual forma elicoidală a acestora).

Din cauză că poziția sculei în raport cu normala la profilul piesei în punctul curent poate fi menținută mereu aceeași, punctul generator al profilului nu se schimbă în timpul generării și de aceea nu se impune ca, la reascuțirea cuțitului, profilul muchiei tăietoare al sculei să nu se modifice, evitându-se astfel apariția unor erori de generare cauzate de imperfecțiunea profilului rezultat după reascuțire.

### **C. Realizare de produse software**

1. Produs software **CONTINTEL** destinat conducerii adaptiv inteligente a sistemelor reconfigurabile de prelucrare

#### **5.1.5 Concluzii**

În urma activității desfășurate pentru atingerea obiectivului specific 1-dezvoltarea unei tehnici de conducere adaptiv/inteligentă a sistemelor de fabricație reconfigurabile s-au obținut rezultatele de mai sus care conduc la următoarele concluzii:

- conducerea adaptivă poate fi realizată prin inserarea în ciclul de lucru al mașinii a fazei de măsurare, și a algoritmului de identificare online dezvoltat în cadrul proiectului.
- performanța obținută în cadrul testelor experimentale, se concretizează în reducerea de cel puțin 5 ori a componentei constante a erorii;
- conducerea inteligentă poate fi obținută prin simularea virtuală retroactivă în scopul optimizării modelului ca format sau natură
- rezultatele obținute au fost bine evaluate și acceptate de către comunitatea științifică
- tehnicile dezvoltate în cadrul proiectului s-au confirmat în aplicații industriale

## 5.2 Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de rețele Petri

### 5.2.1 Premisele științifice și tehnice

#### Comportarea logică a sistemelor reconfigurabile de prelucrare privite ca sisteme cu evenimente discrete (SED)

Din punct de vedere logic, comportarea unui sistem reconfigurabil (SRF) de prelucrare este identică cu a sistemelor cu evenimente discrete (SED) care este descrisă de *secvențele de evenimente discrete* sau *urmele* pe care acesta le generează.

Fie  $A = \{a_1, a_2, \dots\}$ , setul de evenimente discrete (alfabet) și fie  $A^X$  setul *secvențelor finite* de evenimente din  $A$ , inclusiv urma vidă  $\langle \rangle$ . Referitor la o urmă din  $A^X$  se impun două precizări:

a) A spune că  $s = a_1 a_2 a_3 \dots$  este o *urmă* înseamnă că evenimentul  $a_i$  precede  $a_{i+1}$ , deci urma descrie *comportarea logică* a SED și nu comportarea sa în timp real.

b) Din punctul de vedere al modelelor sistemelor cu evenimente discrete (MED), un eveniment  $a_j$  într-o urmă este *atomic*, în sensul că într-un *sistem real* un eveniment poate fi implementat printr-o *secvență de atomi*, alegerea optimă a acesteia fiind o problemă de analiză/proiectare a SED.

Comportarea logică a SED este deci descrisă de limbajul  $L \subset A^X$  ( $A^X$  - dicționar) care constă din setul tuturor urmelor pe care SED le poate genera ( $A^X$  este setul tuturor urmelor posibile).

Cercetări recente au arătat că formalismele MED logice (netemporale) sunt particularizări ale unor clase mai largi de *MED algebrice*: procesele finite recursive (FRP) - cazul determinist -, respectiv procesele marcate (MP) - extinderea și la cazul nedeterminist prin conceptul de "execuții ascunse" ale unor evenimente.

*Un MED logic (netemporal) este o descriere matematică finită a limbajului L (set infinit).* Dacă un formalism MED logic poate fi privit ca o *algebră* adică un set de modele împreună cu un set finit de operatori peste aceste modele, atunci comparația între diferite formalisme MED logice (netemporale) și evaluarea posibilităților de utilizare practică a acestor formalisme se poate face după următoarele criterii:

- i) puterea de descriere;
- ii) posibilitatea de implementare;
- iii) evaluarea performanțelor;
- iv) impactul formalismului cu aplicații reale.

i) *Puterea de descriere* a unui formalism MED logic are ca subcriterii *complexitatea limbajului și complexitatea algebrică*. Complexitatea limbajului este derivată din teoria limbajelor formale. Ideea de bază este următoarea: Fie un formalism MED, de exemplu un automat de stări finite. Fiecare ASF (automat cu stări finite) generează un set de urme  $L \subset A^X$ . Putem considera  $L$  ca un limbaj peste mulțimea evenimentelor  $A$  și mulțimea tuturor ASF generează un set de limbaje peste  $A$ . Mulțimea tuturor rețelelor Petri (RP) generează un alt set de limbaje peste  $A$ . Se poate arăta că setul limbajelor generate de ASF este *un subset strict propriu* al setului de limbaje generate de RP, astfel încât putem spune că formalismul MED cu RP are o complexitate de limbaj mai mare decât formalismul MED cu ASF. Mai general, se poate spune că ASF este un caz particular de RP.

*Complexitatea limbajului* introduce o ordine perfectă în clasa formalismelor MED logice, în sensul că un MED cu o mai mare complexitate de limbaj are o mai mare putere de descriere. Totuși, un formalism cu o putere de descriere mai mică, fiind virtual mai restrictiv, poate fi mai util în practică. Există un algoritm finit care să răspundă la întrebarea "Când sunt două ASF echivalente, adică în ce condiții generează ele același limbaj (set de urme) ?"; nu există însă un

algoritm finit care să decidă când sunt echivalente comportările a două RP arbitrare. În consecință, deși o mai mare complexitate de limbaj implică o mai mare putere de descriere, va fi mai greu de analizat comportarea SED descris de formalismul MED respectiv.

*Complexitatea algebrică* (sau structura algebrică) este un criteriu derivat din teoria sistemelor. Fiecare formalism MED este o structură algebrică în sensul menționat, adică o familie de modele și un set de operatori care permit combinarea modelelor și formarea altora noi. Un formalism MED este cu atât mai util, cu cât setul de operatori reflectă mai adecvat modul în care subsistemele reale se combină și se interconectează în aplicația studiată.

*Observație:* Complexitatea limbajului și complexitatea algebrică sunt proprietăți intrinseci ale unui formalism MED. Posibilitatea de implementare și respectiv evaluarea performanțelor sunt calități care se referă la relația formalism MED  $\leftrightarrow$  lumea reală.

ii) *Implementarea* unui formalism MED este un criteriu care evaluează în ce mod formalismul respectiv ajută la implementarea unor controlere reale pentru sistemul real. Trebuie ținut cont de faptul că MED sunt abstractizări ale sistemelor reale, astfel încât corespondența între controlul MED și controlul SED real este indirectă. La o extremă, un formalism MED trebuie să furnizeze un ghid pentru sinteza controlerului real. La cealaltă extremă (efort maximal de concepție a implementării), trebuie elaborată o procedură de traducere sau compilare automată a modelului controlerului în dispozitivul real (controler, calculator, sistem multiprocesor) de conducere a SED.

iii) *Evaluarea performanțelor* are două dimensiuni:

iiia) *Corectitudinea logică* se referă la proprietățile dorite ale *urmelor* generate de SED. Pentru a impune corectitudinea logică unui formalism MED trebuie parcurse două etape. Mai întâi, proprietățile logice dorite ale urmelor sistemului trebuie "traduse" în proprietăți ale urmelor modelului. După efectuarea translației, devin necesare metode efective algoritmice, analitice sau de simulare, pentru a verifica dacă urmele generate de MED posedă proprietățile dorite.

iiib) *Cerințele de timp real* se referă la proprietățile dorite ale răspunsului în timp real al sistemului. Pentru a reflecta aceste cerințe într-un formalism MED, este necesar să se "încorporeze" MED într-un mediu de timp real. Trebuie subliniat în acest context că încercările de a dezvolta formalisme MED cu dimensiunea de timp real nu au fost încununuate de succes. Absența acestei dimensiuni continuă să limiteze aplicabilitatea formalismelor MED.

Analiza unui model are ca obiective principale verificarea unor proprietăți generale ale modelelor din categoria respectivă, precum și verificarea unor proprietăți specifice modelului analizat, confirmarea existenței proprietăților menționate atestând că structura modelului adoptat este corectă, iar infirmarea existenței anumitor proprietăți indicând prezenta unor erori de modelare. În cazul modelelor prin rețelele Petri considerate în cele ce urmează, principalele proprietăți verificate prin analiză sunt: viabilitatea, reversibilitatea, mărginirea.

Pornind de la modelul stabilit, simularea structurii și funcționării acestuia pe un calculator permite obținerea tuturor situațiilor (stărilor) posibile ale modelului și deci asigură implicit verificarea existenței proprietăților stabilite în etapa de analiză. Faptul că aceste proprietăți nu sunt confirmate indică prezența uneia sau mai multor erori fie în alcătuirea modelului, fie în determinarea proprietăților acestuia. Ca urmare, numai prin simulare, rezultă o validare definitivă a obținerii caracteristicilor de funcționare stabilite prin proiectarea SRF și a subsistemelor

Simularea se realizează de regulă prin programe specializate, care descriu modelul adoptat și apoi analizează toate evoluțiile posibile dintr-o stare inițială indicată prin marcajul inițial al modelului.

Metodele de proiectare pentru controlerile secvențiale pentru comanda sistemelor reconfigurabile joacă un rol foarte important în automatizarea industrială avansată. Complexitatea crescândă și necesitățile variate ale sistemelor moderne de fabricație au provocat metodele de proiectare tradiționale cum ar fi utilizarea *diagramelor logice ladder* (engl.: **LLD** –

**Ladder Logic Diagrams**) pentru controllerele logice programabile. Metodologiile bazate pe rezultatele cercetării în știința informaticii au cunoscut recent un interes deosebit din partea cercetătorilor academici și a inginerilor, în domeniul proiectării software-ului de control cu proprietățile de flexibilitate, reconfigurabilitate, adaptabilitate și de mentenanță. În mod particular, rețelele Petri (RP) se comportă ca un instrument foarte important pentru producerea unei soluții integrate pentru modelarea, analiza, simularea și controlul sistemelor automatizate industriale. Acest capitol identifică avantajele utilizării rețelelor Petri fata de LLD în cazul proiectării controllerelor secvențiale, pentru a răspunde cererilor variabile ale controlului. Comparația este făcută pentru un sistem practic după introducerea „rețelelor Petri dezvoltate” pentru controlul evenimentelor discrete din sistemele reconfigurabile de fabricație. Rezultatele raportate în această lucrare vor ajuta la:

- (a) – stabilirea tehnicilor bazate pe rețele Petri, pentru controlul cu evenimente discrete al sistemelor reconfigurabile de fabricație, și
- (b) – la convingerea efectivă atât a liberilor profesioniști cât și a cercetătorilor din industrie că este rentabil și oportun să considere și să promoveze aplicațiile rețelelor Petri în cadrul problemelelor particulare de control.

Un sistem de fabricație reconfigurabil este compus din mai multe unități concurente cum ar fi mașini, roboți, vehicule ghidate automat, controllere logice programabile și calculatoare, care funcționează asincron pentru a îndeplini cererile de schimbare dinamice ale pieței. Metodele de dezvoltare a software-ului integrat sunt importante datorită capacității de monitorizare a modelării, analizei, controlului și simulării unor astfel de sisteme.

Funcțiile tipice ale software-ului de control sunt de a discretiza operațiile, de a monitoriza funcționarea sistemului, și de a determina în timp real stările diferitelor elemente într-un sistem de fabricație discret. Tradițional, diagramele logice ladder (LLD) sunt utilizate pentru a captura secvența operațiilor executate de software-ul de control al sistemului. Ele specifică procedurile I/O ale *Controllerului Logic Programabil - CLP* (eng.: PLC – Programmable Logic Controller) care conduce și îmbunătățește operațiile repetitive ale sistemului. Aceste diagrame devin atât de complexe încât localizarea cauzei, atunci când apare o problemă, devine extrem de dificilă. În plus, utilizarea acestora este limitată la controlul sistemului, fiind imposibile analizarea și evaluarea caracteristicilor calitative și de performanță. De asemenea, acestea necesită deseori modificări importante în momentul modificărilor specificațiilor.

În acest caz, cercetătorii sunt în mod continuu preocupați în dezvoltarea instrumentelor integrate care să elimine limitările LLD. Aceste instrumente sunt proiectate nu numai pentru control dar și pentru analiza, evaluarea și simularea sistemului. Rețelele Petri, origine din domeniul informaticii, sunt astfel de instrumente în mod evident datorită numeroaselor aplicații în sistemele de fabricație. Realizând potențialul RP în domeniul controlului, în Franța, GRAFCET – un instrument de reprezentare de tip RP, este propus ca standard specific al controlului secvențial. Versiunile standard internaționale sunt numite *diagrame funcționale secvențiale*. Hitachi, a dezvoltat un produs comercial bazat pe o RP mărită care interacționează cu sistemul fizic pentru control.

### **Folosirea serverelor de aplicații OLE (Object Linked Enable) Microsoft și a OPC**

Dezvoltarea interfețelor om mașina (HMI – Human Machine Interface) necesită o atenție sporită a proiectanților deoarece influențează în mod hotărâtor flexibilitatea proceselor tehnologice. Soluțiile tehnologice moderne necesită folosirea echipamentelor de comandă numerică pentru a asigura controlul instalațiilor și mașinilor de lucru. Termenul Human Machine Interface a fost introdus de Consiliul consultativ pentru telefonie și telegrafie internațională în [2.1] pentru a înlocui vechea denumire Man Machine Communication. Înlocuirea cuvântului

Communication, cu cuvântul Interface a mutat accentul de pe partea de comunicație pe partea de interfață cu dispozitivele de control. Interfețele om-mașină cunoscute sub denumirea de HMI (Human Machine Interface) sunt elementele prin care utilizatorii mașinii interacționează cu mașina. Percepția utilizatorului despre sistemul de comandă este influențată în cea mai mare parte de modalitatea în care acesta relaționează cu interfața om mașină.

Elementul cheie în dezvoltarea interfețelor om-mașină este capacitatea de utilizare facilă - usabilitatea. Potrivit [2.2] usabilitatea este caracterizată de trei componente:

- Efectivitatea – reprezintă capacitatea interfeței de a răspunde necesității operatorilor și a pune la dispoziția acestora toate funcțiile mașinii,
- Eficiența – reprezintă caracteristica interfeței de a permite operatorilor utilizarea funcțiilor mașinii cu un minim de efort. Eficiența influențează în mod hotărâtor productivitatea mașinii.
- Satisfacția – folosirea interfeței trebuie să producă satisfacția operatorilor și să reducă stresul cauzat de locul de muncă.

Măsurarea acestor componente nu se poate realiza în mod direct. Efectivitatea, eficiența și satisfacția depind în mare parte și de utilizatorul mașinii.

Dezvoltarea interfețelor om-mașină trebuie centrată pe utilizator încă din faza de proiectare. Această etapă presupune adunarea de informații referitoare la necesitățile operatorilor, necesitățile impuse de procesul tehnologic și relațiile dintre aceste elemente. Pe parcursul dezvoltării interfeței om mașinii, usabilitatea acesteia trebuie evaluată de operatori având în vedere refacerea HMI pentru a corespunde mai bine cerințelor utilizatorilor. În dezvoltarea interfețelor om mașină, operatorul poate avea un rol activ particularizând aspectul elementelor prin care se realizează comanda și a modului în care informațiile sunt prezentate.

Având în vedere faptul că tendințele pieței se diversifică și se modifică în mod rapid, fabricanții de mașini unelte trebuie să poată interveni asupra mașinilor, atât la nivel funcțional cât și la nivelul sistemului de comandă, prin schimbarea unor elemente cu altele mai moderne, astfel încât mașina să corespundă cerințelor impuse de piață. Fabricanții sunt nevoiți să adopte soluții cât mai actuale, atât pentru tipul și structura sistemului de control al mașinii, cât și pentru interfețele de comandă a mașinii.

Pentru mașinile unelte interfețele om mașină se folosesc mai multe tipuri de soluții descrise în paragrafele următoare.

- Interfețe cu elemente discrete de semnalizare și control

În mod obișnuit interfețele discrete se află în legătură directă cu intrările și ieșirile echipamentului de control sau se pretează pentru echipamente de control implementate în logică cablată. Pentru a transmite ordine mașinii operatorul va acționa asupra unor elemente discrete cum ar fi butoane de comandă, selectoare, manipuloare sisteme de oprire de urgență cu acționare cu fir etc. Supravegherea funcționării mașinii este semnalizată folosind lămpi de semnalizare, balize luminoase, sirene. Pentru elementele discrete de control și semnalizare, standardul IEC60204-1 [2.3] descrie codul culorilor folosite: roșu - situații periculoase care necesită acțiune imediată atât din partea operatorului cât și a mașinii; galben – avertizare a unei situații anormale care poate determina o situație periculoasă, alb – situație neutră. În general interfețele cu elemente discrete se folosesc mai rar pentru comanda mașinilor unelte și sunt folosite în general pentru mașini simple convenționale. Aceste elemente electromecanice sunt folosite și pentru mașinile complexe, însă în special pentru gestionarea funcțiilor legate de securitatea mașinii, controlul manual, pornirea și oprirea mașinii, semnalizarea funcționării unor subansamble importante, a unor avarii deosebite.

- Interfețe implementate cu terminale operator dedicate

Terminalele operator sunt folosite în special pentru implementarea funcțiilor de interfață om-mașină pentru instalații mai complexe controlate cu dispozitive de control cum ar fi CLP-uri sau CNC-uri. De obicei terminalele operator sunt conectate la dispozitive folosind o legătură serială asincronă folosind protocoale de comunicație dezvoltate de producătorul echipamentului.

Există o varietate deosebită în ceea ce privește interfețele operator furnizate de aceste terminale: există terminale cu afișaj numeric, alfanumeric și terminale grafice. Pe lângă partea de afișaj există o parte de introducere date ce poate cuprinde taste, butoane, ecrane touch screen.

Analizând documentațiile tehnice [2.4, 2.5, 2.6, 2.7] ale unor producători de renume în domeniul terminalelor cu operatorul am stabilit că din punct de vedere al posibilităților de modificare a interfeței, terminale operator pot fi:

- neprogramabile- interfața cu operatorul este dezvoltată de producătorul terminalului, funcțiile și modalitatea de interacțiune cu operatorul neputând fi modificate. Acest caz este frecvent întâlnit pentru interfețele mașinilor dotate cu CNC. Având în vedere faptul că CNC-urile sunt destinate controlului unei anumite game de mașini, interfața cu operatorul nu poate fi particularizată pentru o mașină anume. Schimbarea tipului de CNC utilizat implică și schimbarea terminalului cu operatorul deoarece comunicația CNC-terminal se realizează folosind protocoale de comunicație specifice fiecărui producător. Avantajul utilizării unor astfel de echipamente este legat de rapiditatea cu care mașina unealtă poate fi pusă în funcțiune.

- programabile – interfața cu operatorul poate fi dezvoltată de producătorul mașinii folosind un pachet software de dezvoltare dedicat terminalului. Realizarea programelor HMI pentru terminale dedicate se realizează în mod facil și nu implică cunoștințe deosebite în domeniul dezvoltării software însă funcțiile disponibile sunt limitate ca număr și ca posibilități de configurare. Programarea terminalului este de tip grafic și se rezumă la crearea unor ecrane predefinite în care se oferă posibilitate controlului și monitorizării mașinii. Comunicația dintre terminal și echipamentul de control se realizează folosind un set de protocoale de comunicație puse la dispoziție de producătorul terminalului. Aceste protocoale pot fi folosite pentru controlul mai multor dispozitive inclusiv pentru cele produse de alți producători, însă numărul protocoalelor este limitat de acordurile bilaterale dintre producătorii de echipamente. Înlocuirea dispozitivelor de control poate implica și înlocuirea terminalului și implicit dezvoltarea unui nou program HMI dacă producătorul terminalului nu oferă posibilitatea utilizării protocolului de comunicație folosit de dispozitivul de control.

- Interfețe ce rulează pe terminale industriale compatibile PC

Aceste terminale oferă posibilitatea utilizării unui număr ridicat de rețele de comunicație și protocoale. Structura hardware pentru aceste terminale este modulară existând posibilitatea de adăugare a unor carduri de comunicație, pentru a putea conecta terminalul la diferite rețele de comunicații. Soluțiile referitoare la programarea acestor terminale se poate realiza folosind:

- pachete software dedicate. Posibilitățile de particularizare sunt limitate, însă programele HMI se pot elabora rapid. Unele pachete software pot accepta utilizarea unor rețele de comunicație care să nu aparțină producătorului terminalului. Tipul rețelelor la care se poate conecta terminalul este totuși limitat de acordurile bilaterale dintre producători.

- pachete software SCADA- SCADA este acronimul pentru „Supervisory Control And Data Acquisition”. Potrivit [2.8] apariția sistemelor reconfigurabile a fost precedată de dezvoltarea fără precedent a programelor SCADA și a sistemelor de comandă bazate pe terminale compatibile PC. Pachetele SCADA sunt destinate în special dezvoltării sistemelor de supervizare și control cu un număr mare de intrări – ieșiri pentru care este crucială prezentarea în timp real a stării sistemului și înregistrarea tuturor parametrilor atașați sistemului. Pachetele software SCADA sunt în special folosite pentru aplicații cum ar fi monitorizarea distribuție electrice, transporturi feroviare, stații de transport de petrol sau gaze. Dezvoltarea HMI pentru mașini unelte se poate realiza totuși folosind pachete SCADA care pot prezenta datele de la CNC-uri sau PLC-uri operatorului. Funcțiile oferite de pachetele software SCADA sunt limitate, în mare parte ecranele de supervizare și control se creează folosind programarea grafică. Pentru o mai mare flexibilitate pachetele SCADA permit utilizarea mediului VBA care permite manipularea în mod programatic obiectelor atașate interfeței, precum și utilizarea unor obiecte de tip ActiveX. Unele pachete SCADA permit folosirea unor scripturi în locul mediului VBA. Comunicația cu dispozitivele se poate realiza folosind drivere furnizate de producătorul



echipamentului, însă tendința actuală constă în a permite pachetelor SCADA să se conecteze la servere OPC de tip DATA SERVER. Dezvoltarea interfețelor HMI folosind pachete SCADA se realizează facil, schimbarea echipamentului de control nu implică automat modificarea programului HMI, însă datorită limitărilor impuse de utilizarea VBA sau a scripturilor specifice anumite aplicații necesită un efort deosebit. În faza de documentare am analizat mai multe pachete SCADA [2.9, 2.10, 2.11] produse de corporații cu tradiția în domeniu. În lucrarea [2.12] se prezintă o vedere de ansamblu a sistemelor SCADA și a particularităților legate de securitatea sistemelor SCADA cu transmisie a datelor pe internet.

- Folosirea unor medii de dezvoltare integrate cum ar fi Visual Basic, Visual C++, Delphi cu care se pot elimina neajunsurile pachetelor SCADA. Limbajele și mediile de programare moderne oferă facilități deosebite în ceea ce privește dezvoltarea GUI (graphical user interface). În ceea ce privește comunicația cu dispozitive cum ar fi CLP (controlere logice programabile) sau CNC (computer numerical control) utilizarea limbajelor amintite nu oferă facilități deosebite. Pentru realizarea transferului de date între dispozitive și calculatorul pe care rulează interfața om mașina există următoarele soluții:

- folosirea unui driverelor pentru dispozitive. Modalitatea de interacțiune cu aceste drivere diferă de la producător la producător, utilizarea unei interfețe deja dezvoltate pentru un alt echipament necesită modificarea substanțială a programului HMI în partea de proceduri de comunicați deoarece modalitatea de interacțiune cu dispozitivele diferă de la un driver la altul.

- folosirea serverelor OPC (OLE for process control) „standardizează” modalitatea de interacțiune dintre dispozitive și programe de control și supervizare care rulează pe sisteme Windows. Folosirea serverelor de date OPC este o soluție care permite dezvoltarea aplicațiilor HMI independent de tipul de dispozitiv folosit deoarece modalitatea de accesare a elementelor OPC (servere, grupuri sau articole) este aceeași indiferent de protocolul de comunicație sau de rețeaua folosită

### **Tehnologiile COM și DCOM**

Specificațiile OPC se bazează pe specificațiile COM/DCOM dezvoltate de Microsoft [2.13]. COM este acronimul pentru ”COMPONENT OBJECT MODEL” Specificațiile COM descriu modalitatea de dezvoltare a obiectelor fără a specifica limbajul în care acestea vor fi implementate și modul intern de implementare. COM precizează doar modalitatea prin care obiectele permit interacțiunea cu alte aplicații. În lucrarea [2.14] se prezintă modalitățile prin care pot fi accesate obiectele COM și modalitățile de folosire a DCOM. Un obiect care este conform specificațiilor COM poate comunica cu alte aplicații prin intermediul interfețelor sale. Fiecare componentă este identificată printr-un număr denumit Class ID's. Acești identificatori sunt identificatori globali unici – GUIDs (Globally Unique Identifier). Similar interfețele obiectelor sunt identificate tot prin identificatori globali denumiți IID.

Mecanismul de accesare a interfețelor se bazează pe faptul că fiecare obiect trebuie să implementeze cel puțin o interfață denumită IUnknown interfață care este furnizată la cererea obiectului. Interfața IUnknown permite folosirea a trei metode:

- AddRef și Release – implementează un contor de referințe și gestionează durata de viață a obiectelor

- QueryInterface- care permite interogarea obiectului pentru stabilirea faptului că suportă o anumită interfață situație în care furnizează un pointer către acea interfață.

Utilizând pointeri la interfețe se poate utiliza obiectul COM la nivel RunTime fără a cunoaște detalii despre implementarea internă a obiectului. Termenul „client” se referă la un program care folosește un set de obiecte care corespund COM. Titulatura de „server” se referă la furnizorul setului de obiecte COM. Serverul este așadar suportul pentru obiectele care vor fi folosite de aplicația client. Clientul folosește obiectele serverului prin intermediul interfețelor acestor obiecte.

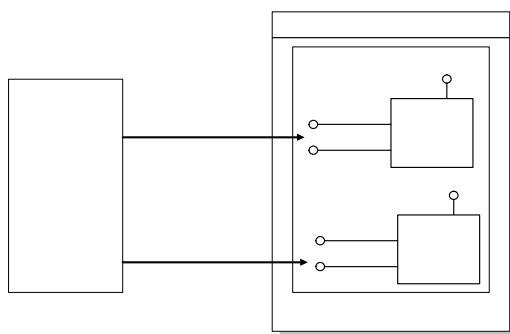


Figura 2.1. Arhitectura client-server

DCOM este o extensie a specificațiilor COM care permite accesarea obiectelor de pe computere diferite folosind LAN, WAN sau chiar internetul. COM descrie modalitatea în care clienții și componentele interacționează la nivel local. Atunci când aplicația client și componenta software se află pe computere diferite DCOM înlocuiește legătura locală interproces cu o legătură în rețea. Folosirea DCOM nu necesită modificarea codului sursă al aplicației, ci doar reconfigurarea modului în care se realizează conectarea la componentă. DCOM gestionează modalitatea de verificare a activității clientului printr-un mecanism de tip ping iar în cazul în care unul din clienții componente nu mai transmite mesajul periodic, componenta decrementează numărul de referințe. Când numărul de referințe este 0 componenta se poate elibera.

Folosirea DCOM se remarcă prin faptul că asigură independența locațiilor la care rulează aplicațiile server și aplicațiile client și permite ca dezvoltarea acestor aplicații să nu depindă de un anumit mediu de programare.

### Servere de date OPC

Dezvoltarea fără precedent a industriei dispozitivelor de control și comandă a condus la apariția unei varietăți deosebite în ceea ce privește numărul de producători, a tipului de dispozitive și a aplicațiilor în care conexiunea facilă la dispozitive reprezintă un deziderat.

Înainte de apariția OPC, dezvoltarea unui pachet software presupunea dezvoltarea unui driver pentru fiecare dispozitiv, conectivitatea la rețelele de comunicație era limitată. Această abordare era neeconomică atât pentru producători cât și pentru utilizatorii dispozitivelor. În figura 2 se prezintă o situație în care pentru două aplicații utilizează driverele A, B, C duplicat. Pentru dezvoltarea driverelor și integrarea acestor drivere în aplicații client volumul de muncă și timp era considerabil situație descrisă în [2.14]. Numărul în creștere de rețele și protocoale de comunicație a determinat nevoia de a standardiza modalitatea în care se realizează conexiunea cu dispozitivele.

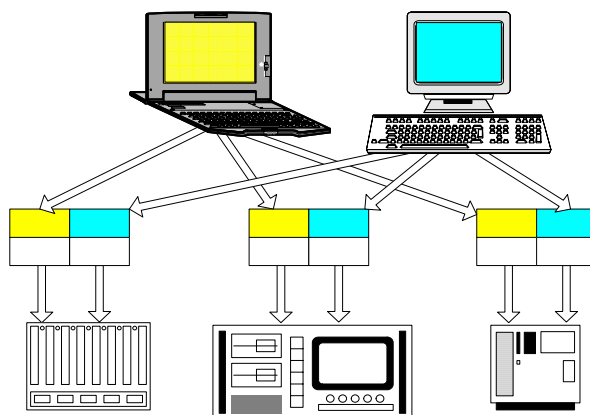


Figura 2.2. Utilizarea în duplicat a driverelor înainte de apariția OPC

Nevoia dezvoltării unui set de standarde a fost sesizată încă de la lansarea sistemului de operare Windows 3.0 în 1990. Windows 3.0 permitea rularea mai multor aplicații simultan și furniza o modalitate de schimb de date între aplicații denumită DDE [0](Dynamic Data

Exchange). DDE a avut serie de limitări în sensul că nu suporta transmiterea de date în rețele de comunicație, nu era foarte stabil și permitea transmiterea simultană a mai multor date.

Lansarea în 1992 a OLE2.0 (Object Linking and Embedding) a determinat limitarea folosirii DDE. Folosirea tehnologiei OLE în industrie a fost cercetată de un grup de cercetători de la Microsoft denumit WinSEN (Windows in Science, Engineering and Manufacturing). O primă propunere de standardizare a interfețelor utilizate pentru transferul de date cu dispozitivele a fost transmisă în 1995 de compania USDATA. Deși simpliste aceste specificații conțineau toate conceptele cheie ale OPC. Odată cu lansarea OLE2.0 producătorii de echipamente au dezvoltat obiecte ActiveX care au înlocuit aplicațiile bazate pe mecanismul DDE. În lucrarea [2.17] se face o analiză a celor două tipuri de implementări: servere DDE sau obiecte Active X. Autorii au stabilit faptul că deși mecanismul DDE este mai rapid pentru aplicații care nu necesită volume mari de date, acesta nu este potrivit pentru aplicații complexe.

Datorită progresului relativ redus în dezvoltarea setului de standarde un nou grup mult mai restrâns s-a creat cu sarcina de a dezvolta standardele într-un timp cât mai redus. Grupul s-a numit inițial OPC TASK FORCE și era compusă din membrii a cinci companii care dezvoltau software SCADA. Prima schiță a specificațiilor OPC Data Acces a fost prezentată la sfârșitul anului 1995. În anul 1996 se lansează varianta „release” [2.18] OPC DA v1.0. O vedere de ansamblu asupra funcționalității serverelor OPC este prezentată în [2.19]. După lansarea primelor specificații Microsoft decide ca specificațiile OPC să fie gestionate de o fundație non-profit independentă OPC Foundation. La sfârșitul anului 1996 apar primele produse comerciale de tip server de date OPC. În anul 1998 au apărut specificațiile OPC 2.0 [2.20], specificații care au fost modificate foarte puțin până în anul 2003 când au fost lansate specificațiile OPC 3.0 [2.21].

Apariția specificațiilor OPC a condus la dezvoltarea severelor OPC de către aproape toți producătorii de echipamente de comandă. Apariția serverelor OPC de date a permis aplicațiilor să acceseze mai multe servere de date în același timp fără a mai exista nevoia de dezvoltare a driverelor de fiecare aplicație în parte. Aplicațiile de tip client OPC se pot conecta simultan la mai multe servere OPC. Serverele OPC permit utilizarea mai multor seturi de drivere astfel încât este posibilă conectarea simultană la mai multe rețele de comunicație și implicit la un număr semnificativ de dispozitive.

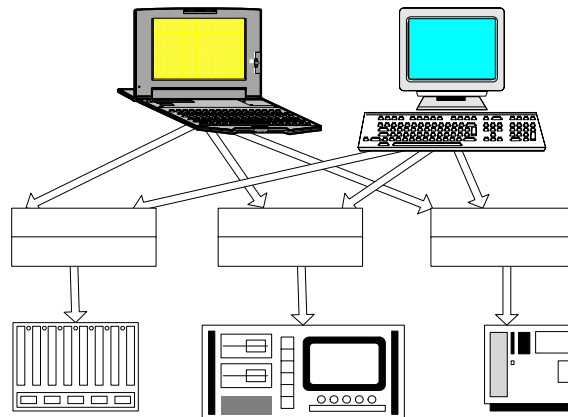


Figura 2.3 Folosirea serverelor OPC a determinat simplificarea dezvoltării aplicațiilor de monitorizare și control

Specificațiile OPC definesc un set de două tipuri de interfețe:

- OPC custom- furnizează acces la date folosind limbaje de programare cum ar fi Visual C++. Folosind acest tip de interfețe se pot accesa în mod direct interfețele expuse de obiectele OPC.
- OPC automation- furnizează acces la date prin intermediul limbajelor de programare pentru care folosirea interfeței custom ar fi dificilă cum ar fi Visual Basic, Delphi, Microsoft Excel, Microsoft Word etc.

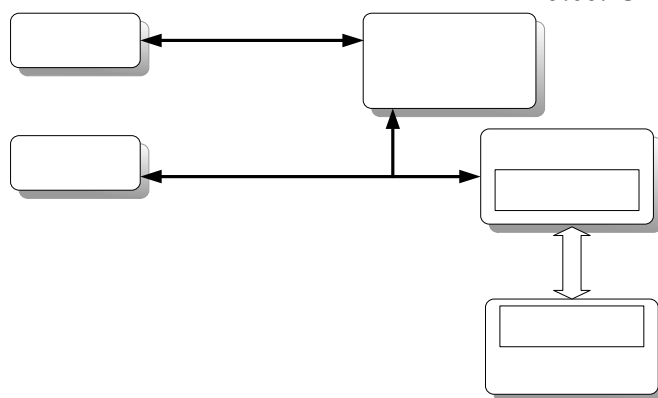


Figura 2.4 Accesarea datelor folosind serverelor OPC

Folosirea interfeței OPC automation simplifică modalitatea de acces la datele serverului OPC însă reduce performanțele sistemului client-server datorită intermedierei realizată de componenta de adaptare. Folosirea interfeței OPC Custom necesită cunoștințe de programare mai solide, însă este în directă legătură cu interfețele obiectelor COM înglobate în servere. Cele două interfețe prezintă funcții similare, însă interfața Automation permite accesul la o structură ierarhizată de obiecte. În cele ce urmează vom prezenta interfața Custom.

Indiferent de tipul interfeței prin care se realizează accesul la servere, la nivel înalt un server OPC este văzut ca o colecție de obiecte:

- un obiect server,
- un set de obiecte de tip grup OPC,
- elementul de bază articolul OPC.

Articolele OPC reprezintă conexiuni la datele din dispozitivele de comandă și control. Un articol OPC poate fi reprezentat de o variabilă sau de o constantă din memoria unui CLP sau CNC. Valoarea asociată unui articol OPC este furnizată prin intermediul unei variabile de tip VARIANT. Se pot utiliza tipurile ce pot fi înglobate în variabilele de tip VARIANT și anume: VT\_I2, VT\_I4, VT\_R4, VT\_R8, VT\_CY, VT\_DATE, VT\_BSTR, VT\_BOOL iar pentru vectori unidimensionali se poate utiliza tipul VT\_ARRAY. O altă caracteristică importantă a unui articol se referă la calitatea articolului. Un articol poate avea trei stări principale: bună, nesigură, rea. Altă caracteristică este legată de timpul de achiziție al articolului.

Definirea articolelor se realizează folosind structura OPCITEMDEF definită în standard. Clientul precizează identitatea datelor asociate articolului folosind membrul ItemID. Opțional clientul furnizează o cale de acces la articol folosind membrul structurii AccessPass. Folosind AccessPass clientul poate indica protocolul de comunicație și tipul de rețea prin care se realizează accesul la articol.

Articolele OPC sunt organizate de către aplicația client în grupuri de articole. Articolele OPC sunt accesate prin intermediul obiectului grup în care sunt conținute. Articolele OPC pot fi active sau inactive. Valoarea atașată articolelor active este actualizată periodic de către server. Rata de actualizare se poate preciza pentru un grup de articole. Grupurile de articole sunt în legătură cu un obiect server.

### 3.1 Obiectul server OPC

În primă instanță aplicația client se conectează la obiectul OPC server cu care comunică prin intermediul interfețelor sale. Pentru crearea obiectului server aplicația client trebuie să precizeze identificatorul clasei obiectului server (CLSID) și numele computerului pe care rulează serverul OPC. Identificatorul clasei se obține folosind utilizând un șir de caractere numit ProgID.

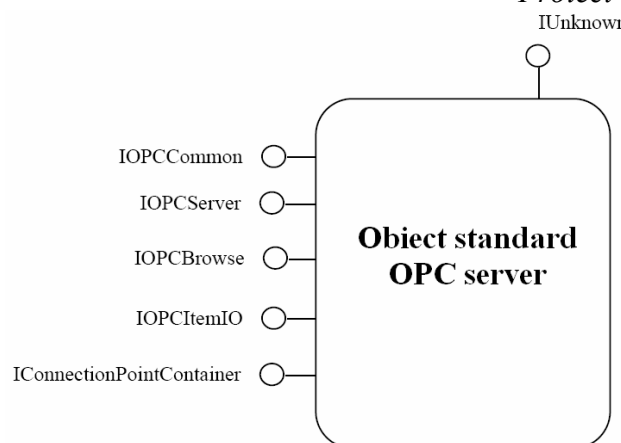


Figura 2.5 Obiect OPC server conform specificațiilor OPCDA 3.0

Interfețele obiectului server sunt:

- IUnknown**- interfață standard care permite interogarea celorlalte interfețe.
- IOPCCommon**- interfață prin care clientul precizează setările locale ale sistemului. Afectează modalitatea în care sunt transmise șirurile de caractere. Setările afectează doar clientul curent. Funcțiile accesibile sunt: SetLocaleID, GetLocaleID, QueryAvailableLocaleIDs , GetErrorString, SetClientName
- IOPCServer** - interfața principală a unui obiect OPC server. Funcțiile interfeței sunt:
  - AddGroup**- permite adăugarea unui grup de articole identificat printr-un nume unic. Identificarea grupului se va realiza folosind un set de identificatori denumiți „HANDLE”. Fiecare grup este identificat prin doi identificatori: unul din ei este furnizat de client și de obicei un index sau un pointer către un obiect definit de utilizator în care sunt stocate informațiile despre grup; celălalt este un identificator din partea serverului care este unic. Identificatorul clientului nu trebuie să fie unic. Clientul solicită o valoare pentru rata de transfer, iar serverul va returna într-un parametru rata de transfer ce poate fi utilizată. Serverul va returna un pointer la o interfață solicitată de client (de obicei IUnknown). Grupul creat va fi păstrat de server chiar dacă se eliberează toate interfețele sale până se apelează funcția RemoveGroup.
  - RemoveGroup**- realizează ștergerea grupului. Dacă mai există interfețe grupul nu va fi șters, dar nici nu mai poate fi folosit.
  - GetErrorString**- funcția are aceeași utilizare ca și funcția cu același nume ce aparține interfeței IOPCCommon și este folosită pentru a furniza un șir de caractere care descrie o eroare specificată printr-un cuvânt de eroare,
  - GetGroupByName**- furnizează o interfață atașată unui obiect grup solicitată de client pe baza numelui grupului.
  - GetStatus**- furnizează informații despre starea serverului OPC. Se pot determina folosind structura OPCSERVERSTATUS informații despre data la care a pornit serverul, timpul și data sistemului pe care rulează serverul, data și ora ultimei actualizări, numărul de grupuri, informații despre furnizorul serverului OPC și despre versiunea serverului.
  - CreateGroupEnumerator**- funcția poate fi folosită pentru enumerarea grupurilor conectate la server.
- IOPCBrowse**- interfața prin care se poate adresa serverului. Structura de adrese atașate serverului este de gen arborescent. Structura ierarhică a serverului poate fi asemănătoare cu structura arborescentă a unui sistem de fișiere. Serverele pot informa clientul despre toate rețelele la care se poate conecta, despre toate dispozitivele dintr-o rețea și despre toate elementele în care se stochează date. Funcțiile interfeței sunt:
  - Browse**- permite accesul la structura arborescentă a adreselor serverului
  - GetProperties**-furnizează informații despre un nod din structura arborescentă a adreselor serverului OPC. Se pot obține informații despre tipul de date atașat nodului, ID-ul articolului OPC- dacă nodul poate fi utilizat ca articol, un text prin care se descrie nodul și valoarea articolului.

•**IOPCItemIO**- interfață descrisă în specificațiile 3.0. Poate fi folosită pentru a accesa articole OPC fără a crea grupuri. Performanțele folosirii acestei metode de a accesa date sunt mai scăzute față de situația în care articolele sunt organizate în grupuri. Funcțiile accesibile sunt:

-**Read**- folosită pentru a citi un set de articole. Funcția de citire se realizează sincron adică în cadrul programului aplicației client nu se va trece la execuția unei noi instrucțiuni până nu se realizează citirea datelor solicitate sau când funcția returnează un cod de eroare.

-**WriteVQT**- realizează scrierea unui set de articole OPC pe baza ITEMID. Funcția de scriere se realizează sincron

•**IConnectionPointContainer**- interfață standard pentru implementarea mecanismului de notificare a clientului de către server. Mecanismul de notificare este definit în specificațiile COM, se bazează implementarea de către de către client a unui obiect denumit „sink”. Pentru obiectul server, clientul trebuie să implementeze un obiect care să suporte interfață standard IUnknown și o interfață IOPCShutdown prin intermediul căreia ca fi informat despre faptul că serverul a primit o cerere de închidere. Clientul determină o interfață IConnectionPoint folosind interfața IConnectionPointContainer, mai precis funcția FindConnectionPoint. Clientul transmite serverului un pointer la obiectul „sink”. Interfața IConnectionPointContainer permite accesarea funcțiilor:

-**FindConnectionPoint** – furnizează un pointer la o interfață IConnectionPoint

-**EnumConnectionPoint** – furnizează o modalitate prin care se pot enumera interfețele IConnectionPoint suportate de server.

### Obiectul grup OPC

Un server OPC trebuie să furnizeze pe lângă obiectul server, acces la obiecte grup. Obiectele grup pot fi create folosind funcția AddGrup ce poate fi accesată prin intermediul interfeței IOPCServer a obiectului OPC server. Fiecare grup este creat de către client care trebuie să furnizeze un nume unic ce nu poate fi schimbat. Grupurile gestionează un set de articole OPC. Atât grupurile cât și articolele prezintă o proprietate prin care pot fi activate sau dezactivate. Articolele active ce aparțin grupurilor active sunt monitorizate de către server care menține o zonă cache pentru ca operațiile de citire și scriere să se realizeze în mod facil. De asemenea pentru grupurile active, serverul va trimite notificări clienților folosind un mecanism bazat pe interfața standard IConnectionPointContainer prin intermediul căreia clientul va furniza serverului un pointer la o interfață IOPCDataCallback care prezintă funcții OnDataChange, OnReadComplete, OnWriteComplete, OnCancelComplete. Funcțiile sunt accesate de server care astfel notifică clientul.

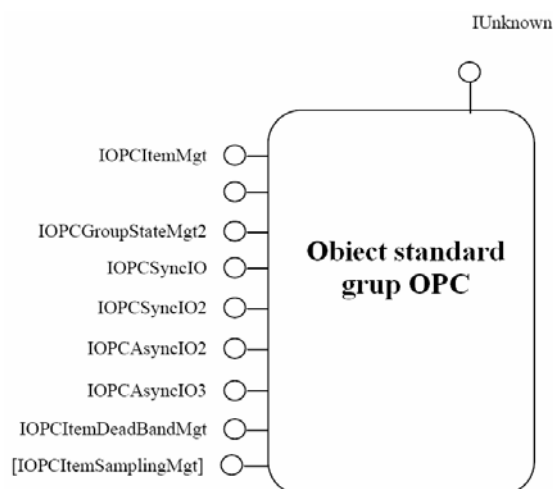


Figura 2.6. Obiectul grup OPC

Interfețele unui obiect grup OPC precizate de specificațiile OPC Data Acces 3.0 sunt:

•**IUnknown**- interfață standard care permite interogarea celorlalte interfețe.

•**IOPCItemMgt**- interfață prin care aplicația client poate gestiona articolele OPC ale unui grup. Interfața permite adăugare și eliminarea de articole, precum și modificarea comportamentului articolelor unui grup. Funcțiile accesibile sunt:

-**AddItems**- permite adăugarea unei liste de articole la grup. Unul din parametrii de intrare este un pointer la un vector de elemente de tip structură OPCITEMDEF. Prin intermediul acestui elementelor acestui vector clientul precizează pentru fiecare articol: identitatea articolului și calea de acces către articol se specifică prin intermediul unor șiruri de caractere a căror componentă este specifică fiecărui server; starea de activitate, identificatorul articolului de tip OPCHANDLE, un element denumit Blop, prin care serverul poate identifica și în sesiuni următoare articolul și în final o variabilă prin care se solicită tipul de date ce va fi returnat pentru articol.

-**ValidateItems**- funcție cu ajutorul căreia aplicația client poate determina care din articolele din vectorul de elemente de tip OPCITEMDEF furnizat ca parametru sunt valide.

-**SetActiveState** – setează starea de activitate a unor articole care aparțin grupului. Articolele pentru care se dorește modificarea stării de activitate sunt precizate de aplicația client printr-un vector de identificatori de tip OPCHANDLE furnizați de server pentru articole la adăugarea la grup.

-**SetClientHandle**- funcția permite schimbarea identificatorului client pentru un set de articole specificate printr-un vector de identificatori furnizați de server.

-**SetDataType**- Modifică tipul de date solicitate de către aplicația client pentru un set de articole.

-**CreateEnumerator**-furnizează o interfață IEnumOPCItemAttributes cu ajutorul căreia aplicația client poate itera articolele grupului.

•**IOPCGrupStateMgt**- interfață prin intermediul căreia clienții pot modifica starea întregului grup. Funcțiile interfeței sunt:

-**GetState**- furnizează informații despre starea de activitate a grupului, numele grupului, rata de actualizare a articolelor, identificatorul client și cel furnizat de server.

-**SetState**- este folosită pentru a seta valoarea unor parametri referitori la grup: rata de actualizare a grupului, starea de activitate, un factor de corecție de timp pentru grup (în situația în care există o diferență de fus orar între locația în care rulează serverul și locația unde se află dispozitivele din care se accesează datele), valoarea minimă cu care trebuie să se modifice un articol pentru ca clientul să fie notificat cu ajutorul funcției onDataChange (DeadBand), precum și identificatorul client al grupului.

-**SetName**- folosit pentru schimbare numelui grupului

-**CloneGroup**- folosită pentru a crea un grup „clonă” care să conțină toate elementele grupului inițial. Orice acțiune realizată asupra grupului „clonă” nu afectează grupul inițial

•**IOPCSyncIO**- interfață prin intermediul căreia se pot realiza operații de citire sau scriere sincronă de date. Operațiile de citire sau scriere sincronă determină ca în aplicația client să nu se realizeze trecerea la o altă instrucțiune până când operațiile nu s-au finalizat. Cele două funcții ale interfețelor sunt:

-**Read**- realizează citirea valorii, calității și momentul achiziționării valorii pentru un set de articole precizat prin intermediul unui vector de identificatori furnizați de server OPCHANDLE. Clientul poate solicita sursa din care se va realiza citirea variabilei: din memoria CACHE a serverului sau direct din dispozitiv.

-**Write**- realizează scrierea valorilor unui set de articole ce aparțin grupului. Scrierea se realizează în dispozitiv, iar revenirea din funcție nu se va realiza decât după ce serverul a verificat faptul că dispozitivul a acceptat sau nu modificarea valorilor. Având în vedere faptul că operația de scriere poate dura un timp relativ ridicat, acest lucru poate determina blocajul temporar al aplicației client. Datorită acestui lucru pentru scrierea valorilor articolelor OPC se folosesc de obicei funcțiile de scriere asincronă.

•**IOPCSyncIO2**- interfața a fost creată pentru a adăuga o serie de funcții la cele existente la nivelul interfeței IOPCSyncIO. Interfața este derivată din IOPCSyncIO și de aceea moștenește funcțiile acesteia și în plus expune următoarele funcții:

**-ReadMaxAge-** funcția este similară funcției Read a interfeței IOPCSyncIO cu deosebirea că aplicația client nu va preciza sursa din care se va face citirea (din cache sau din dispozitiv) ci doar „vechimea” maximă pentru fiecare articol în milisecunde. Pentru fiecare articol care valoarea nu a mai fost actualizată în intervalul de timp precizat citirea se va face din dispozitiv, pentru celelalte elemente din zona cache.

**-WriteVQT-** funcția este folosită pentru a scrie valori, indicatori de calitate și de timp.

**•IOPCAsyncIO2-** interfață prin intermediul căreia se pot realiza operații de scriere și citire asincronă. Operațiile solicitate vor fi depozitate de către server într-o listă de operații. Funcțiile apelate de client vor returna imediat un rezultat, fără a executa operațiile solicitate, astfel încât aplicația client să nu sufere blocaje. Aplicația client este informată despre finalizarea operației solicitate prin intermediul interfeței IOPCDataCallback. Pentru fiecare operație, clientul transmite în cadrul funcției apelate un identificator al tranzacției (TransactionID) prin care clientul va identifica operația atunci când este notificat de către server. Funcțiile interfeței sunt:

**-Read-** funcție de citire asincronă a unui set de articole OPC. După ce operația de citire este finalizată, clientul este informat prin intermediul funcției OnReadComplete implementată de client.

**-Write-** funcție de scriere asincronă. Clientul primește o notificare privind finalizarea operației prin intermediul funcției OnWriteComplete.

**-Refresh2** -funcție prin care se poate actualiza valoarea tuturor articolele active. Clientul poate preciza sursa din care serverul actualizează datele. Datele pot fi actualizate din memoria cache a serverului sau prin citire din dispozitiv. Clientul va primi notificarea finalizării operației prin intermediul funcției OnDataChange a interfeței IOPCDataChange. Aplicația client poate diferenția situațiile în care funcția OnDataChange este apelată datorită modificării valorilor, de situația în care apelarea funcției este datorată apelării funcției Refresh2, prin intermediul valorii unui identificator TransactionID.

**-Cancel2-** prin intermediul acestei funcții clientul poate determina anularea tuturor tranzacțiilor asincrone. Clientul este notificat despre faptul că anularea s-a realizat cu succes, prin intermediul funcției funcției OnCancelComplete.

**-SetEnable-** funcția activează sau dezactivează transmiterea de către server a notificărilor cu privire la modificarea valorilor articolelor active ale grupul prin intermediul funcției OnDataChange. Inițial notificările sunt activate implicit.

**-GetEnable-** funcția precizează dacă mecanismul de notificare prin intermediul funcției OnDataChange este activat.

**•IOPCAsyncIO3-** interfața este o extensie a interfeței IOPCAsyncIO2 din care este derivată și de aceea moștenește toate metodele acestei interfeței. Metodele accesibile sunt:

**-ReadMaxAge-** similară cu funcția cu același nume a interfeței IOPCSyncIO2. Singura diferență constă în faptul că citirea se realizează asincron. După ce operația de citire s-a realizat clientul este notificat prin intermediul funcției OnReadComplete.

**-WriteVQT-** metodă sincronă cu aceeași funcționalitate ca și funcția omonimă a interfeței IOPCSyncIO2. Scrierea se realizează asincron, clientul fiind notificat prin intermediul funcției OnWriteComplete.

**-RefreshMaxAge-** funcția permite actualizarea valorilor articolelor active a grupului. Sursa din care vor fi transmise datele depinde de vechimea maximă solicitată de aplicația client prin intermediul unui parametru al funcției. Pentru articolele OPC care au fost actualizate în memoria cache în urmă cu o perioadă de timp mai mică decât „vechimea” maximă, sursa din care vor fi transferate valorile, va fi memoria cache, pentru cele cu vechime mai mare se va realiza citirea din dispozitiv. Clientul va fi notificat prin intermediul funcției OnDataChange.

**•IOPCItemDeadbandMgt-** interfața cu ajutorul căreia pot gestiona valorile „PercentDeadband” pentru un set de articole OPC active, suprascrisându-se astfel valoarea globală definită pentru întregul grup. Metodele acestei interfețe sunt:

**-SetItemDeadband-** setează parametrii „PercentDeadband” pentru set de articole OPC.



- GetItemDefinition**- furnizează o listă cu parametrii „PercentDeadband” pentru o listă de articole OPC.
- ClearItemDeadband**- realizează ștergerea valorilor „PercentDeadband” pentru un set de articole pentru care se va reveni la setarea parametrului caracteristic grupului OPC.
- IOPCItemSamplingMgt**- interfață opțională prin intermediul căreia clientul poate preciza rata cu care un set de articole sunt obținute din dispozitivele de control, fără a influența în schimb rata de actualizare a notificărilor pe care le primește clientul prin intermediul funcției OnDataChange. Metodele interfeței sunt:
  - SetItemSamplingRate**- setează rata de actualizare pentru un set de articole OPC.
  - GetItemSamplingRate**- furnizează rata de actualizare pentru un set de articole OPC.
  - ClearItemSamplingRate**- resetează rata de actualizare pentru un set de articole OPC la valoarea definită pentru grupul OPC.
  - SetItemBufferEnable**- specifică dacă serverul va utiliza un buffer pentru stocarea unor stării unor articole pentru care rata de actualizare este mai mică decât rata de actualizare a grupului. În cazul în care pentru un articol este activată memorarea stării sale buffer, clientul poate primi în cadrul aceleași notificări OnDataChange, pentru un singur articol, un set de înregistrări referitoare la același articol pentru care însă diferă valoare, calitatea, sau timpul de achiziție.
  - GetItemBufferEnable**- funcție cu ajutorul căreia clientul poate determina care articole din setul furnizat ca parametru al funcției, au activat bufferul de date.
- IConnectionPointContainer**- interfață standard pentru implementarea mecanismului de notificare a clientului de către server. Clientul trebuie să implementeze un obiect care să suporte interfață standard IUnknown și o interfață IOPCDataCallback prin intermediul căreia ca fi informat despre finalizarea unei operații asincrone sau despre modificarea stării unor articole active ale grupului. Interfața standard permite accesarea metodelor:
  - FindConnectionPoint** – furnizează un pointer la o interfață IConnectionPoint
  - EnumConnectionPoint** – furnizează o modalitate prin care se pot enumera interfețele IConnectionPoint suportate de server.
- IEnumOPCItemAttributes**- permite aplicației client să itereze articolele grupului din care fac parte. Funcțiile interfeței sunt:
  - Next**- determină atributele pentru următoarele articole ale grupului.
  - Skip**- determină trecerea peste un număr de articol.
  - Reset**- determină trecerea la primul articol din grup.
  - Clone**- creează o copie a interfeței IEnumOPCItemAttributes care inițial se va afla în aceeași stare ca și interfața inițială.

### Interfețe implementate de client

- IOPCDataCallback** - permite aplicației client să primească notificări pentru finalizarea operațiilor asincrone și pentru detectarea modificării valorii unor articole active ale grupului. Pentru a primi notificări referitoare la grupurile OPC, aplicația client trebuie să creeze un obiect care să suporte atât interfața standard IUnknown și o interfață IOPCDataCallback. Clientul va obține o interfață de tip IConnectionPoint, folosind funcția FindConnectionPoint a interfeței IConnectionPointContainer. Folosind metoda Advise a interfeței IConnectionPoint clientul transmite un pointer la interfața IUnknown. Interfața este utilizată de server care apelează metoda QueryInterface, solicitând un pointer la interfața IOPCDataCallback. Interfața implementată de client trebuie să prezinte următoarele funcții:
  - OnDataChange**- metodă prin care clientul primește notificări prin care se specifică faptul că un set de articole active și-au modificat valoarea sau se transmite starea articolelor active ca urmare a apelării funcției Refresh a interfeței IOPCAsyncIO2.
  - OnReadComplete**- metodă prin care clientul poate primi notificări referitoare la finalizarea operației de citire asincronă.
  - OnWriteComplete**- metodă prin care clientul poate primi notificări referitoare la finalizarea operației de scriere asincronă.

**-OnCancelComplete-** metodă prin care clientul poate primi notificări prin care este informat despre finalizarea funcției Cancel a interfeței IOPCAsyncIO2 .

• **IOPCShutdown** - permite aplicației client să primească notificări referitoare la faptul că serverul solicită clientului deconectarea. Metoda interfeței este:

**-ShutdownRequest-** prin această metodă clientul este informat și despre cauza deconectării prin intermediul unui șir de caractere.

### **5.2.2 Activitati operationale desfasurate**

2.2. Extinderea modelelor Retelelor Petri la programarea controlerelor logice cu GRAFCET

2.3. Optimizarea ordonantarii activitatilor unui sistem tehnologic reconfigurabil folosind SINCONPETRI

2.4. Folosirea serverelor de aplicatii OLE (Object Linked Enable) Microsoft si a OPC (Object Factory Server) Schneider pentru implementarea interfetelor Human-Machine si a legaturii cu PLC.

### 5.2.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.

#### Extinderea modelelor cu Rețele Petri la programarea controlerelor logice

Metodologiile bazate pe rezultatele cercetării în știința informaticii au cunoscut recent un interes deosebit din partea cercetătorilor academici și a inginerilor, în domeniul proiectării software-ului de control cu proprietățile de flexibilitate, reconfigurabilitate, adaptabilitate și de mentenanță. În mod particular, rețelele Petri (RP) se comportă ca un instrument foarte important pentru producerea unei soluții integrate pentru modelarea, analiza, simularea și controlul sistemelor automatizate industriale.

Diferite scheme de implementare au fost propuse pentru aplicarea RP în controlul secvențial așa cum este arătat în tabelul 2.1.

TABELUL 2.1 DIFERITE METODE DE CONTROL SECVENȚIAL BAZAT PE REȚELE PETRI	
Schema de implementare a controlerului cu rețele Petri	Cerințe hardware
	Asamblor Intel 8085
	PLC bazat pe microprocesor ZILOG 80A
	Microcalculator pe 16 biți
	VAX 11/780 și IBM-PC/XT
<p>Notă: Detaliile de implementare nu sunt date</p>	IBM-PC/XT
	IBM-PC/XT
	8086 CPU și DSP (TMS32020)
	IBM-PC/AT

Totuși, nici unul din studiile anterioare nu a comparat în detaliu diagramele logice Ladder și rețelele Petri pentru proiectarea controllerelelor secvențiale. Boucher și alții au folosit LLD și RP pentru controlul unui sistem de fabricație și au raportat reprezentarea grafică prin RP realizând un controller mai maleabil decât cel cu LLD. Totuși, ei nu au cuantificat oficial comparația dintre RP și LLD în proiectarea controllerelelor secvențiale. Controllerele secvențiale din această lucrare reprezintă o grupă de controllere cu evenimente discrete fără alternativă în executarea operațiilor/activităților. Compararea detaliată a LLD și a RP este foarte importantă

pentru realizarea avantajelor și dezavantajelor acestora și, în mod particular, pentru stabilirea rețelei Petri ca o tehnică de proiectare sigură pentru controlul secvențial efectiv al sistemelor industriale automatizate. Câteva dintre problemele asociate pentru compararea RP și LLD sunt:

- (1) mai puțin în cazul unui LLD, există numeroase grupe de rețele Petri cu scheme de implementare variate pentru controlul discret după cum este prezentat în tabelul 2.1, și
- (2) identificarea criteriului cu referire la tipul de comparație ce ar trebui executată.

Obiectivele din această lucrare sunt:

1. Identificarea criteriului de comparație dintre LLD și RP pentru proiectarea controlului secvențial,
2. Introducerea *RPDTR* - rețelelor Petri dezvoltate în timp-real (engl.: **RTDPN – Real-Time Petri Nets**), asemănătoare rețelelor Petri standard, ca instrument integrat pentru dezvoltarea controllerelor cu evenimente discrete, și
3. Compararea LLD cu RTPN în proiectarea controllerelor secvențiale care să răspundă schimbărilor specifice.

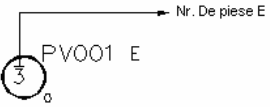
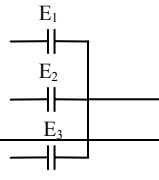
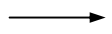
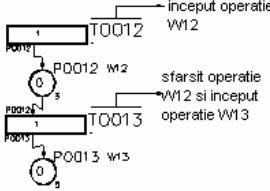
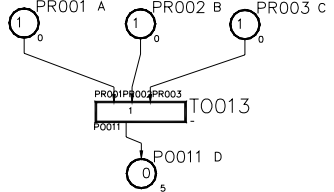
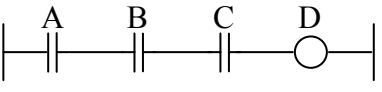
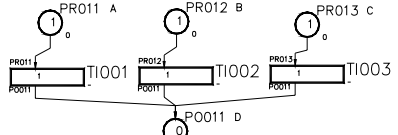
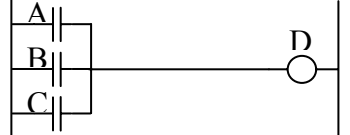
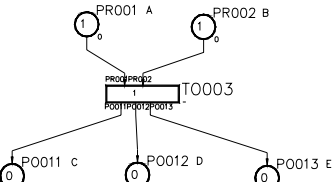
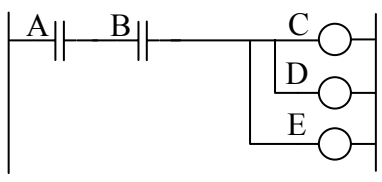
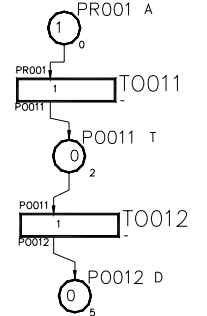
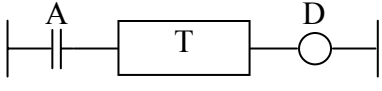
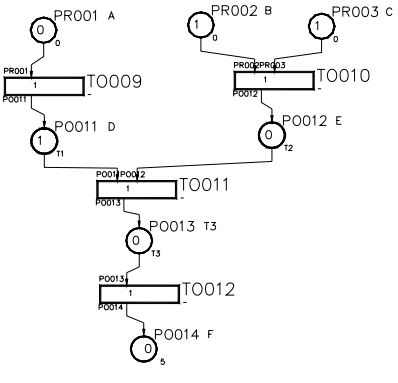
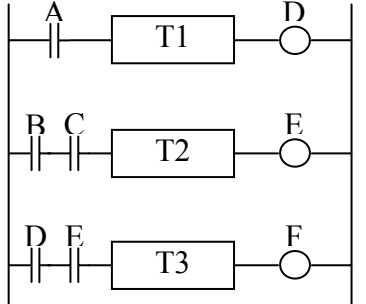
### Proiectarea controlului logic prin LLD și RP și criteriile acestora de comparație

Aplicarea LLD pentru controlul secvențial este bine cunoscută deoarece acestea sunt folosite în multe domenii ale industriei. Pentru folosirea RP la controlul secvențial în timp real, temporizarea și informațiile senzoriale de intrare/ieșire trebuie integrate în cadrul rețelelor, ce vor fi discutate în cele ce urmează. Blocurile logice și celelalte blocuri de construcție de bază folosite în controlul secvențial sunt modelate prin rețele Petri și LLD după cum este prezentat în tabelul 2.2.

În tabel, primele patru linii arată elementele de bază ale rețelei Petri, pentru a modela condițiile, stările, activitățile, resursele, fluxul de materiale și informații. De notat că LLD nu are o reprezentare explicită corespunzătoare. Funcțiile logice ȘI, SAU pot fi ușor modelate atât prin rețele Petri cât și prin LLD cu același grad de complexitate. Alte concepte importante, cum ar fi concurența, temporizarea și sincronizarea sunt domenii ilustrate în tabelul 2.2.

Doi factori importanți pentru compararea RP și LLD pentru controlul cu evenimente discrete sunt: *complexitatea proiectării și timpul de răspuns*, ca în cele ce urmează.

TABELUL 2.2		
REPREZENTAREA CONTROLULUI LOGIC PRIN REȚELE PETRI ȘI DIAGrame LOGICE LADDER		
Construcții logice	Rețele Petri	Diagrame logice Ladder
Operații, procese		
Resurse (masini unelte, roboti)		

<p>Resurse variabile (piese, date , materiale)</p>		
<p>Transfer de materiale si date</p>		<p>-</p>
<p>Începerea si finalizarea unei operatii</p>		<p>-</p>
<p>SI logic  <i>Daca A=1 si B=1 si C=1 atunci D=1</i></p>		
<p>SAU logic  <i>Daca A=1 sau B=1 sau C=1 atunci D=1</i></p>		
<p>Concurenta  <i>Daca A=1 si B=1 atunci C=1 si D=1 si E=1</i></p>		
<p>Intarziere  <i>Daca A=1 atunci temporizare "T unitati de timp" D=1</i></p>		
<p>Sincronizare  <i>Daca A=1 atunci temporizare "T1 unitati de timp"; D=1 Daca B=1 și C=1 atunci temporizare "T2 unitati de timp"; E=1 Dacă D=1 și E=1 atunci temporizare "T2 unitati de timp"; F=1</i></p>		

## A. Complexitatea Proiectării

Complexitatea proiectării este definită ca și complexitatea asociată în proiectarea controlului logic pentru o specificație dată. Din moment ce aceasta este influențată de mai mulți factori, cum ar fi: experiența proiectanților, dimensiunea programului de control și numărul pașilor dinamici necesari pentru codificarea sau modificarea programului de control, este foarte greu de cuantificat formal. Totuși, aceasta poate fi caracterizată de doi factori: *complexitate grafică* și *adaptabilitatea la schimbarea specificațiilor*.

**Complexitatea grafică** : Este determinată în special de numărul nodurilor și conexiunilor pentru un proiect logic de control grafic dat. Complexitatea grafică influențează înțelegerea controlului logic pentru persoanele care nu au cunoștințe despre rețele Petri sau LLD. Din acest moment complexitatea grafică devine un factor important la proiectarea logicii în stadiile inițiale și depanarea subsecvențială a erorilor în timpul implementării. Complexitatea grafică în termenii mărimii rețelei este o problemă majoră în sistemele de fabricație fiind raportat faptul că unei reprezentări grafice simple a unui control logic îi corespunde cea mai simplă cale de parcurs pentru controller. Complexitatea grafică poate de asemenea influența timpul de răspuns după cum se va descrie ulterior. De exemplu, în cazul LLD, timpul de răspuns depinde de mărimea LLD. În acest caz, un LLD scurt are ca rezultat un controller rapid.

**Adaptabilitatea la Schimbarea Specificațiilor** : acest factor este din ce în ce mai important în contextul dezvoltării fabricației flexibile în cadrul căreia secvența de control are nevoie să fie modificată des pentru a răspunde cererilor de schimbare dinamică ale pieței. Software-ul de controlul poate fi ușor adaptabil schimbărilor din specificații pentru a îmbunătăți productivitatea software și, în același timp pentru a reduce la minim timpul de dezvoltare. Despre un proiect se spune că este mai adaptabil dacă el necesită mai puține modificări comparativ cu un alt proiect, pentru a răspunde unei schimbări de specificație.

## B. Timpul de Răspuns

Timpul de răspuns (engl.: **response time**) este denumit ca *timp de scanare* în literatura LLD (engl.: **scan time**) și ca *timp de execuție* în domeniul rețelelor Petri (engl.: **execution time**). Importanța acestuia în controlul sistemelor în timp real este clară din moment ce decide cât de repede răspunde sistemul de control unui eveniment în cadrul sistemului/procesului aflat sub control.

Factorul important care influențează complexitatea grafică și adaptabilitatea este dimensiunea fizică a modelului, comparativ cu timpul de răspuns care este influențat nu numai de dimensiunea fizică dar și de metoda de implementare. Metodele de implementare stabilesc dispozitivele hardware și software-ul folosit la controlul sistemului folosind fie rețea Petri fie LLD. Complexitatea grafică și adaptabilitatea nu pot fi cuantificate, dar timpul de răspuns poate fi măsurat cu acuratețe având ca rezultat proiectări și implementări logice. Totuși, din moment ce există mai multe căi de implementare a RP prezentate în tabelul 2.1 și, a LLD, ambele în termeni hardware și software, este foarte dificil să se facă o comparație corectă a LLD și RP doar pe baza criteriului timpului de răspuns. Motivele discutate mai jos vor determina găsirea măsurilor comune care să structureze ideile asupra complexității grafice, adaptabilității și timpului de răspuns. Una din aceste măsuri este numărul nodurilor și a conexiunilor folosite în modelul de control logic. Pentru rețelele Petri nodurile sunt reprezentate prin locații și tranziții, iar conexiunile prin arce; în timp ce în cadrul LLD, nodurile sunt reprezentate prin *switchuri* (*întrerupătoare*) normal deschise/închise, *timere* (*dispozitive de temporizare*), *countere* (*numărătoare*), *relee* (engl.: **relays**) și *butoane* (engl.: **push buttons**), iar conexiunile sunt contacte. Dacă în proiectare sunt folosite mai multe noduri și conexiuni, acest lucru devine mai complex din punct de vedere grafic și de aceea poate necesita mai mult timp de răspuns. Într-o manieră similară, un control logic, este mai adaptabil, în comparație cu un alt control logic, dacă

necesită mai puține schimbări ale numărului de noduri și conexiunilor în vederea adaptării la orice nouă schimbare de specificație. În acest caz, studiul folosește numărul nodurilor și a conexiunilor din LLD și RP ca unitate de măsură pentru a compara complexitatea proiectării și timpul de răspuns ale acestora. Pentru conveniență, nodurile și conexiunile sunt numite elemente de bază. Sunt necesare și alte studii pentru a realiza alte măsurători comune.

### Rețele Petri dezvoltate în timp-real

Rețelele Petri au fost dezvoltate și implementate într-o varietate de moduri pentru a se putea realiza controlul în timp real, prezentat în tabelul 2.1. Bazată pe cercetările din literatura rețelelor Petri de control, această lucrare propune o clasă de rețele Petri numită *Rețele Petri în Timp-Real – RPDTR* pentru proiectarea controllerelor secvențiale. De asemenea, se demonstrează o procedură simplă și directă de implementare a lor prezentată în referința. Chiar dacă RPDTR și clasele anterioare de rețele Petri pentru control au principii similare, câteva diferențe ale acestora sunt prezentate mai jos:

1. Studiile de până acum folosesc o varietate de locații pentru a modela timerele și countererele modelului. Aceasta poate face modelul greu de înțeles. În RPTR nu sunt introduse noi poziții sau tranziții pentru modelarea lor. Timerele sunt modelate prin alocarea atributelor către tranziții și counterere locațiile cu marcaje inițiale și ponderi pe arcurile sigure.
2. În lucrările de până acum resetarea timerelor și a counterelor, și oprirea de avarie nu sunt modelate explicit. Mai mult, se folosesc des funcțiile adiționale pentru modelarea și implementarea acestor timere și counterere. Folosind RPDTR, toate acestea pot fi modelate clar. Resetarea automată a timerelor și a counterelor este de asemenea inclusă în execuția RPDTR.
3. RPDTR modelează sistemul mai realist prin aplicarea naturală a lămpilor limită, a butoanelor start și stop ca poziții și poate fi ușor extins la procedurile de manevrare modelate separat prin folosirea conceptelor rețelelor Petri amplificate temporal.
4. RPDTR poate fi implementat printr-o schemă simplă de implementare. De exemplu, RPDTR elimină utilizarea limbajelor descriptive pentru rețelele Petri de nivel înalt, din moment ce modelul RPDTR poate fi folosit direct pentru control cu ajutorul unui *marcaj activ* (engl.: **token player**). Prin adoptarea acestei scheme de implementare, se evită traducerea modelului RP într-un limbaj descriptiv pentru rețele Petri de nivel superior. Implementarea actuală a marcajului activ în RPTR este transparentă utilizatorilor și, în acest caz singura lor sarcină în controlul unui sistem este simplificată și constă în modelarea controllerului logic.

Rețeaua Petri în Timp-Real poate fi obținută prin asocierea temporizării, informației senzoriale I/O la rețeaua Petri netemporizată, fiind definită după cum urmează:

O RPTR este formată dintr-un cuplet de opt termeni și este definită ca:

$RPTR = (P, T, I, O, m, D, X, Y)$  unde:

1.  $P$  este un set finit de locații;
2.  $T$  este un set finit de tranziții cu  $P \cup T \neq \emptyset$  și  $P \cap T = \emptyset$ ;
4.  $I : P \times T \rightarrow N$ , este o funcție de intrare care definește setul arcelor direcționate la  $P$  către  $T$  unde  $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ ;
5.  $O : P \times T \rightarrow N$ , este o funcție de ieșire care definește un set de arce direcționate de la  $T$  către  $P$ ;
6.  $m : P \rightarrow N$  este un marcaj a cărui componentă  $i$  reprezintă numărul marcajelor din locația  $i$ . Un marcaj inițial este notat cu  $m_0$ .
7.  $D : T \rightarrow R^+$ , este o *funcție de temporizare a execuției* (engl.: **firing time function**), unde  $R^+$  este mulțimea numerelor reale nenegative.

8.  $X : P \rightarrow \{-, 0, 1, 2, \dots, K\}$  și  $X(p_i) \neq X(p_j)$ ,  $i \neq j$ , este o funcție a semnalului de intrare, unde  $K$  este numărul maxim al canalelor de semnal de intrare, și „-” este atributul fictiv care indică neatribuirea canalului pentru o anumite locație.
9.  $Z : T \rightarrow L$ , este o funcție a semnalului de ieșire ouput, unde  $L$  este un set de numere întregi.

Într-o RPTR primii cinci termeni reprezintă rețeaua Petri netemporizată iar ultimii trei termeni sunt extensiile adăugate și explicate mai jos:

1. Vectorul temporizare ( $D$ ) asociază temporizările cu tranzițiile care modelează activitățile în sistem.
2. Vectorul semnalelor de intrare ( $X$ ), citește starea semnalelor de intrare, din interfața digitală de intrare. ( $X$ ) asociază atribute fiecărei locații.  $X_i = X(p_i)$  este un atribut asociat poziției  $p_i$  și reprezintă numărul canalului de intrare asociat cu  $P_i$ . De exemplu, dacă  $P_i$  modelează o *limitator* (engl.: **limit switch**), RPTR citește starea acelui întrerupător de pe interfața digitală de intrare prin numărul canalului reprezentat de  $X_i$ . Marcajul inițial,  $m_o(p_i)$  este considerat ca fiind primul atribut al lui  $p_i$ , iar  $X_i$  ca fiind al doilea. Conținutul oricărui canal de intrare  $X_i$  poate fi 0, sau 1; și
3. Vectorul semnalelor de ieșire ( $Y$ ) este destinat trimiterii de semnale de ieșire prin intermediul interfeței digitale de ieșire.  $Y$  asociază atribute fiecărei tranziții.  $Y_i = Y(t_i)$  este atributul asociat tranziției  $t_i$  care reprezintă numărul ce urmează a fi trimis interfeței digitale de ieșire. De exemplu:  $t_i$  poate modela activitatea: “*trimite semnal pentru a acționa solenoidul A*”, sau “*execută o procedură pentru a controla robotul*”. Fiecare solenoid este activat prin scrierea unui număr specific spre interfața digitală de ieșire. În timpul execuției programului, când o tranziție este executată, RPTR scrie numărul zecimal corespunzător canalului de ieșire către interfața digitală de ieșire. Conținutul oricărui canal de ieșire poate fi 0, sau 1. Folosirea acestui vector este detaliată mai târziu în exemplul de sistem.

Există două evenimente necesare executării unei tranziții: *start\_execuție* și *finalizează\_execuție* (engl.: **start\_firing**, **end\_firing**). Între aceste două evenimente execuția propriu zisă se găsește într-un stadiu evolutiv. Transferul marcajelor din locația(ile) de intrare ale tranziției respective are loc la este determinată de evenimentul *start\_execuție*.

În timp ce execuția tranziției se află în derulare, timpul rămas până la finalizarea execuției, denumit *timp de execuție restant* (engl.: **remaining firing time**), descrește de la durata execuției la zero, moment în care procesul de execuție se încheie. Regulile de execuție ale RPTR includ reguli de admisibilitate și de execuție:

1. O tranziție  $t \in T$  este admisibilă dacă  $\forall p \in P$  și  $I(p, t) \neq 0$ ,  $m(p) \geq I(p, t)$  și  $X(p)$  are valoarea 1.
2. Dacă  $t$  este admisibilă în marcarea  $m$ , execuția acesteia are ca rezultat o nouă marcarea  $m'$  respectând următoarea regulă:

$$M'(p) = m(p) + O(p, t) - I(p, t), \forall p \in P.$$

Procedura de proiectare pentru realizarea unui controller bazat pe RPTR este prezentată în figura 2.7 și este rezumată în următorii cinci pași:

1. Modelarea secvenței de control folosind RP pentru obținerea modelului RP al controllerului secvențial.
2. Alocarea canalelor de intrare către intrările sistemului, cum ar fi: switchuri de limitare, senzori, etc., pentru formarea Vectorul semnalelor de intrare
3. Alocarea canalelor de ieșire către ieșirile din sistem, cum ar fi: solenoide, comutatoare, etc. De asemenea, identificarea informațiilor de



- temporizare corespunzătoare activităților, pentru obținerea Vectorul semnalelor de ieșire
4. Folosind Vectorul semnalelor de intrare, se alocă numărul unui canal de intrare pentru fiecare locație din controllerul RP. Starea inițială a sistemului decide marcarea inițială a RPTR. În modelul RP anumite locații nu reprezintă intrările sistemului deoarece acestea sunt stări intermediare ale sistemului sau locații logice pentru modelarea counterelor din secvențele respective. Ca urmare, aceste locații, reprezentate prin “-”, nu necesită alocarea nici unui canal.
  5. Folosind Vectorul semnalelor de ieșire și acțiunea(ile) ce sunt modelate prin tranziții, se alocă un număr pentru fiecare tranziție din controllerul RP. Operațiile și temporizările date în secvența pentru control, decid funcția de temporizare a execuției RPTR. În modelul RP anumite tranziții reprezintă acțiuni concurente. În acest caz trebuie procedat cu atenție în cazul alocării de numere pentru astfel de tranziții.

Urmând procedura anterioară, pentru o secvență dată, se poate realiza un controller bazat pe RPTR. Există câteva modalități de utilizare a rețelelor Petri pentru a realiza controlul secvențial. Una dintre acestea este bazată pe „evoluția marcajului” (engl.: “**token game**”) prezentată în referințele, iar alta convertește rețeaua ori într-un Controller Logic Programabil, ori direct în cod de control. Prima situație este prezentată după cum se vede în figura 2.8, iar explicațiile vor fi date în cele ce urmează. Un controller bazat pe RPTR poate fi încorporat într-un computer și executat de acesta. În timp ce se lansează execuția unui RPTR și permițându-i-se să continue, sistemul controlat începe de asemenea să lanseze și să continue executarea de operații corespunzătoare secvenței modelate prin RPTR. Există interfețe digitale I/O care se comportă similar unei conexiuni directe între RPTR și sistemul controlat. Mai multe detalii ale implementării software pentru cazul controllerelor bazate pe RPTR se găsesc în referința

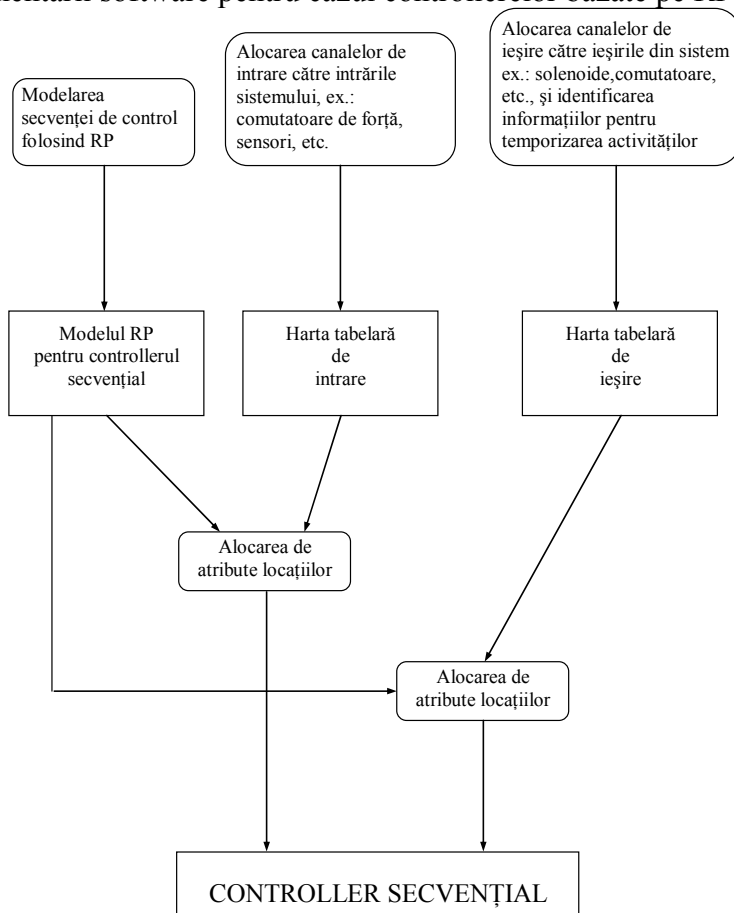


Figura 2.7 Procedura de proiectare a unui controller cu evenimente discrete bazat pe rețele Petri în timp-real

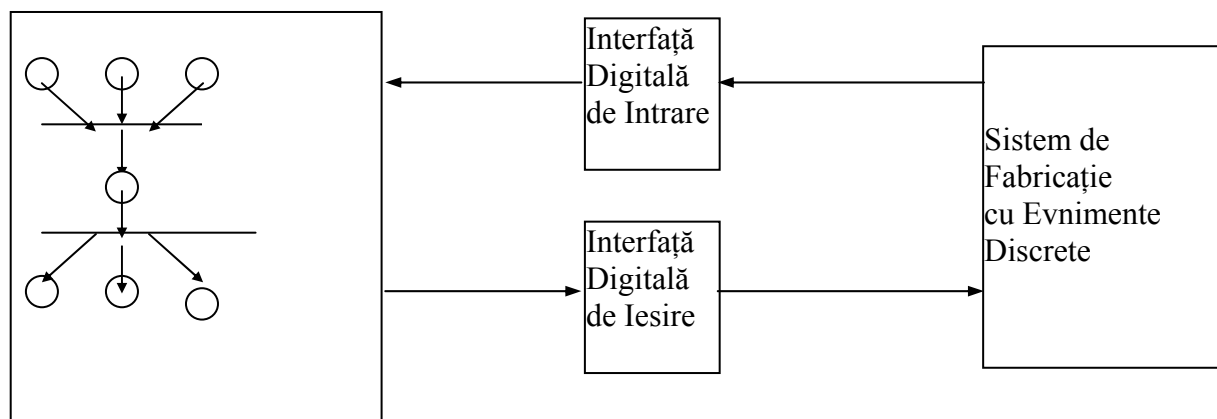


Figura 2.8 Controlul unui sistem folosind un controller RTDPR

RPTR și LLD nu diferă prea mult atunci când secvența de control este relativ simplă. De fapt, modelul RPDTR poate apărea mai complex la prima vedere decât LLD.

Totuși, când această secvență este modificată pentru a rezulta una complexă, RPTR este mult mai ușor de modificat și întreținut decât LLD. Ușurința în modificare și întreținere duc la multiple avantaje, cum ar fi îmbunătățirea lizibilității, a gradului de înțelegere și a securității în funcționare după cum se poate concluziona din referința.

În LLD, nodurile apar de mai multe ori ceea ce poate duce la dificultate în înțelegerea logicii și a cauzei erorilor în dezvoltarea logicii. LLD are nevoie de mai multe elemente de bază pentru modelarea timerelor și a counterelor comparativ cu RPTR. În plus față de aceste observații, se vor puncta următoarele concluzii, ce au fost experimentate în timpul proiectării și implementării controllerelor secvențiale folosind LLD și RPDTR:

1. Folosind RPDTR, controlul logic poate fi analizat calitativ pentru verificarea proprietăților de genul: absența interblocărilor și prezența reinițializării în sistem. Folosirea analizei calitative a LLD nu este posibilă până când acesta nu este simulat sau implementat.
2. În timpul implementării anumitor secvențe de control se observă că depanarea controlului logic cu LLD este dificilă în comparație cu RPDTR. Aceasta se datorează faptului că RPDTR ajută la urmărirea dinamică a sistemului cu ajutorul stărilor locațiilor și ale tranzițiilor.
3. Folosind RPDTR, starea inițială a sistemului poate fi reprezentată direct prin marcajul inițial.

Dezvoltarea programelor de control flexibile, reutilizabile și upgradabile este importantă pentru implementarea sistemelor automatizate industriale avansate.

Metodele tradiționale, de folosire a diagramelor logice ladder (LLD) pentru proiectarea controllerelor secvențiale, au fost depășite de necesitățile în flexibilitate și rapiditate a sistemelor de fabricație. Pe de altă parte, rețelele Petri (RP) sunt instrumente de siguranță care necesită a fi implementate în controlul sistemelor de fabricație discrete.

Această lucrare identifică complexitatea proiectării și a timpului de răspuns ca fiind criterii de comparație între LLD și rețele Petri. Complexitatea proiectării este definită și caracterizată de doi factori, numiți complexitate grafică și adaptabilitate la schimbarea specificațiilor în control.

O clasă de rețele Petri numită Rețea Petri Dezvoltată (RPD) care se aseamănă rețelelor Petri standard, este introdusă pentru a proiecta controllerele secvențiale. Prin proiectarea și implementarea controlului unui sistem industrial reconfigurabil, în cazul schimbării cererilor de

control, LLD și RPD sunt comparate în termenii unei măsuri comune, numită, numărul elementelor de bază care semnifică atât complexitatea proiectului cât și timpul de răspuns. Semnificația prezentei lucrării este de a ajuta industria să recunoască evidențierea RPD ca tehnologie de siguranță și să încurajeze crearea de cât mai multe aplicații. Procedura pentru controlul unui sistem folosind RPD este simplă, directă și poate fi aplicată la controlul oricărui sistem cu evenimente discrete care posedă interfețe digitale de intrare/ieșire și un calculator. Modelul RPDTR poate fi extins prin adăugarea mai multor atribute locațiilor și tranzițiilor, în scopul controlului sistemelor de fabricație ierarhice complexe care folosesc protocoale de comunicare avansate și mai multe calculatoare pentru control.

### Trecerea de la rețele Petri la Grafcet

Rețelele Petri interpretate, sigure, viabile și fără conflicte efective sunt numite *conforme* și coincid cu o clasă de de diagrame Grafcet frecvent utilizate în practică. Termenul *Grafcet* provine din inițialele GRAF de Comandă Etape - Tranziții – (Grphe de Commande Etape – Transition (fr.)).

Grafcet este un model folosit foarte mult pentru sistemele discrete logice, a fost standardizat internațional și a devenit unul din instrumentele de bază pentru programarea automatelor programabile logice. Trecerea de la o rețea Petri conformă la Grafcet se face imediat, după cum se vede în *fig. 2.9* deosebirile constând numai în formalismul grafic.

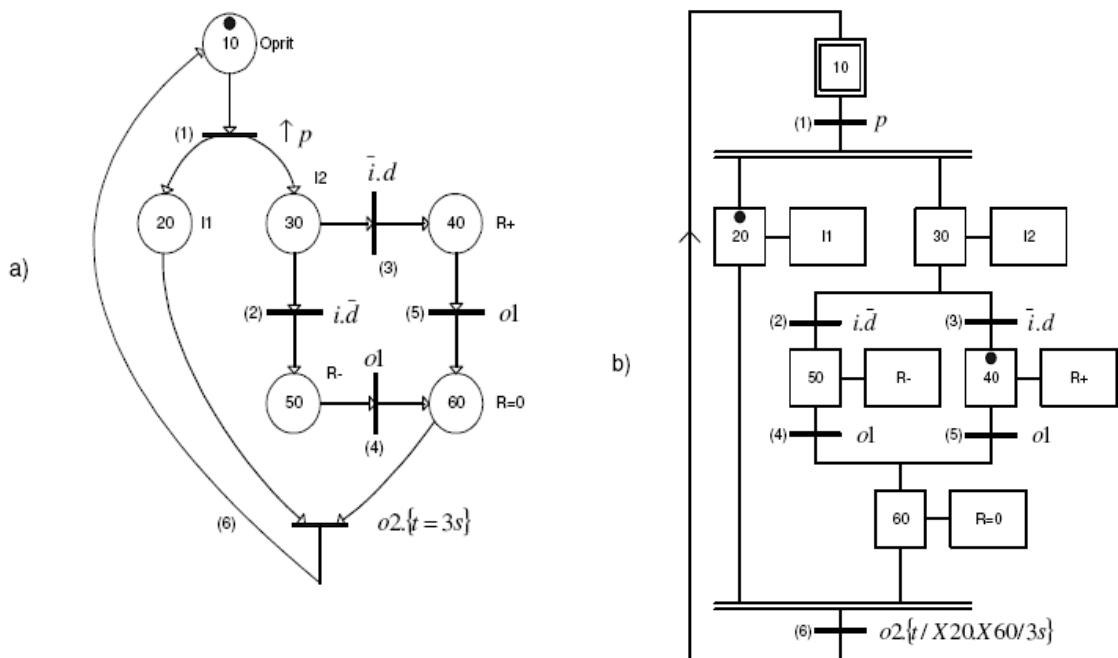


Fig 2.9 Modelul unui sistem discret logic, et a) b).

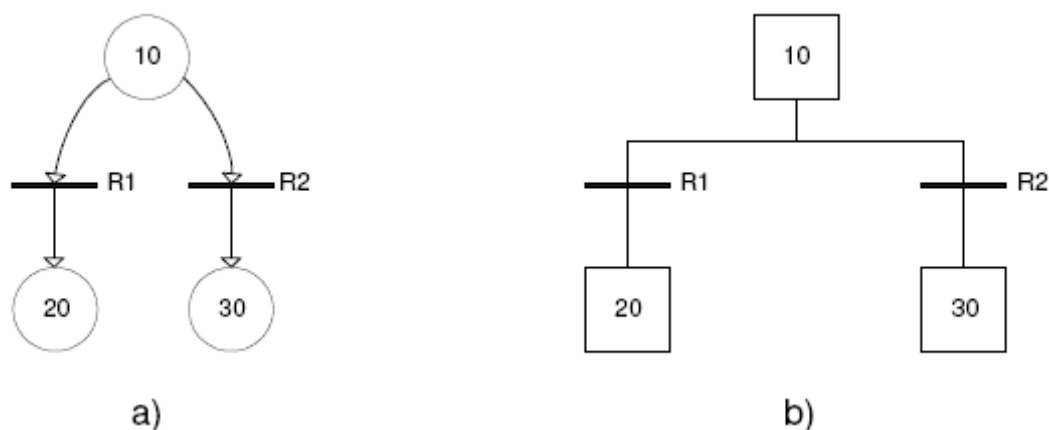


Fig. 2.10 Structură tip alegere la rețeaua Petri a) și Grafcet b).

Exemplul din Fig. 2.9 se referă la modelul unui sistem discret logic format din două instalații I1, I2 și un robinet R. La acționarea butonului de pornire  $p$  ambele instalații pornesc simultan în paralel. După aceasta se închide sau se deschide, mai mult sau mai puțin, cu ajutorul unui servomotor reversibil, robinetul R. Pentru aceasta se acționează butonul de închidere  $i$  sau butonul de deschidere  $d$ . Oprirea închiderii sau deschiderii robinetului se face cu butonul  $o1$ . Oprirea tuturor instalațiilor se face cu butonul  $o2$  și sistemul ajunge în starea inițială modelată de poziția 10 la rețeaua Petri sau etapa 10 la Grafcet. Se observă că pozițiile sunt reprezentate prin cercuri iar etapele Grafcet prin pătrate.

Tranziția (1) realizează o distribuție ȘI iar tranziția (6) realizează o joncțiune ȘI. Din etapa 30 urmează o distribuție SAU iar etapa 60 realizează o joncțiune SAU. Se observă în Fig. 2.10 modul diferit în care rețeaua Petri și diagrama Grafcet prezintă distribuțiile și joncțiunile tip ȘI și SAU.

Tranzițiile (2) și (3) sunt în conflict structural pentru rețeaua Petri. Conflictul nu este însă efectiv deoarece s-a realizat o interblocare între acționarea butoanelor  $i$  și  $d$ . Noțiunea de conflict structural și efectiv nu există la Grafcet. Dacă n-ar fi existat interblocarea, etapele 40 și 50 ar fi putut fi activate simultan.

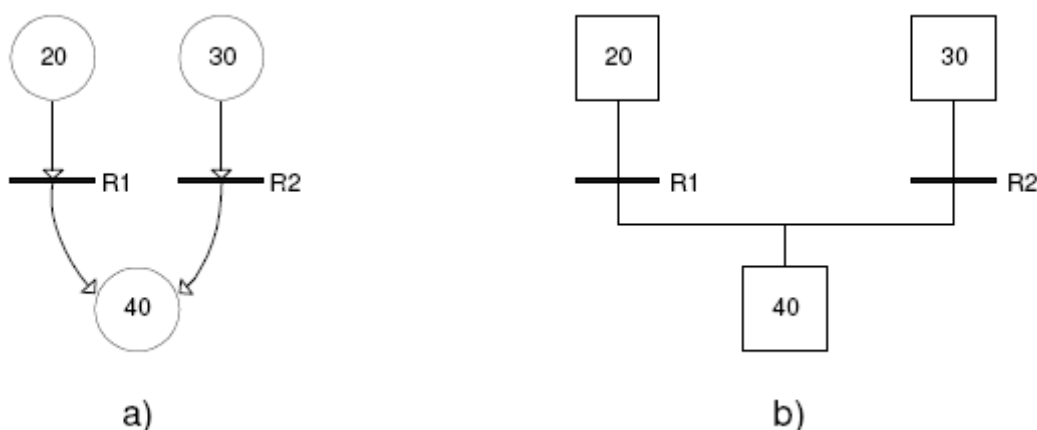


Fig. 2.11 Structură tip convergență la rețeaua Petri a) și Grafcet b).

Etapa din Grafcet corespunde poziției (locației) din rețeaua Petri și modelează o situație în care comportamentul sistemului modelat, sau numai a unei părți ale sale, rămâne neschimbat în raport cu intrările și ieșirile sale.

Etapa inițială, activă la momentul de timp inițial, este specificată la Grafcet printr-un pătrat dublu. Pentru diagrama Grafcet din Fig. 2.9 b) etapa inițială are numărul 10 iar etapele active la momentul de timp curent sunt specificate prin plasarea unei mărci în pătratele corespunzătoare cu numărul 20 și 40.

Aceasta înseamnă că diagrama Grafcet din figură prezintă situația sistemului discret logic în care funcționează instalațiile I1, I2 și robinetul R se deschide. La rețeaua Petri nu se specifică starea inițială iar pentru cazul din Fig.2.9. a) sistemul modelat se găsește în starea de la momentul de timp curent specificată prin plasarea unei mărci în poziția corespunzătoare cu numărul 10.

Acțiunile care interpretează etapele diagramei Grafcet sunt trecute în dreptunghiuri atașate de acestea. Pentru etapele inițiale se consideră că acțiunile implicite sunt cele care opresc toate echipamentele și se specifică, dacă este cazul, numai acțiunile diferite de acestea.

Fiecărei etape  $i$  se asociază o variabilă de stare logică notată  $X_i$ , în care  $i$  este numărul etapei. Această variabilă ia valoarea logică 1 dacă etapa este activă sau 0 dacă etapa este inactivă.

Tranzițiile și evenimentele care le interpretează sunt reprezentate la fel în cazul rețelei Petri și a diagramei Grafcet. Denumirea tranzițiilor este formată de un număr plasat între paranteze rotunde. De exemplu, tranziția (5) este interpretată de evenimentul  $o1$ , o variabilă logică care ia valoarea logică 1 (adevărat) dacă se acționează butonul de oprire cu numărul 1. La Grafcet tranzițiile sunt formate din linii *orizontale* îngroșate, pe când rețelele Petri reprezintă tranzițiile prin dreptunghiuri înnegrite care pot fi situate oricum.

Arcele orientate sunt formate la Grafcet numai din *linii drepte și verticale* cu sensul de sus în jos. Din aceasta cauză săgețile nu mai sunt prezente. Excepție fac doar arcele orientate de întoarcere la starea inițială.

La rețeaua Petri, arcele orientate pot avea orice formă, pot fi orientate oricum și sensul este indicat prin săgeți.

### Interpretarea tranzițiilor

La Grafcet fiecărei tranziții îi este asociată o receptivitate  $R_i$ , în care  $i$  este numărul tranziției. Receptivitatea este o funcție logică de evenimente, stări ale etapelor și temporizări.

Evenimentele sunt, ca și la rețeaua Petri, variabile logice atașate semnalelor de intrare.

În Fig. 2.12 se observă că pentru un semnal logic  $s(t)$  de intrare se pot defini variabilele logice tip nivel  $E$  și tip impuls  $\_E$ ,  $\_E$  care apar pe frontul crescător, respectiv descrescător al semnalului  $E$ .

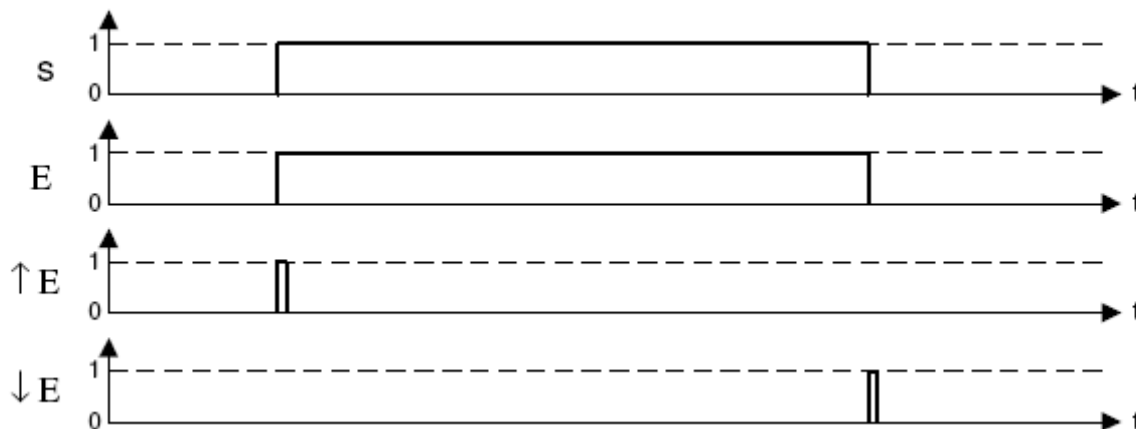


Fig. 2.12 Semnalul logic  $s$  de intrare în sistem și evenimentele tip nivel  $E$  și tip impuls  $\_E$ ,  $\_E$  atașate.

Variabilele de stare logică atașate fiecărei etape sunt notate cu  $X_i$ , în care  $i$  este numărul etapei. Aceste variabile ia valoarea logică 1 atâta timp cât etapa este activă.

Variabilele de temporizare se definesc față de momentul în care o etapă devine activă.

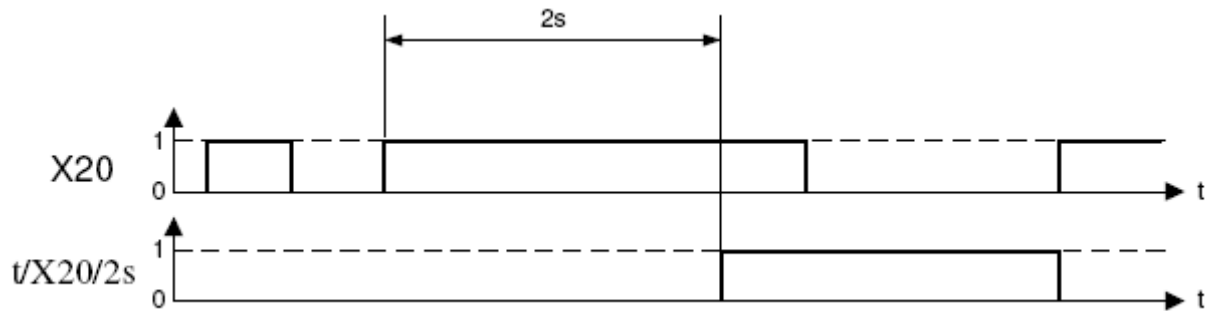


Fig. 2.13 Variabila  $t/X20/2s$  de temporizare față de activarea etapei 20

În fig. 2.13 se prezintă variabila de temporizare  $t/X20/2s$  care are valoarea logică 1 după o întârziere de 2 secunde de la activarea etapei cu numărul 20. Se observă că temporizarea apare numai dacă etapa este activă mai mult de 2 secunde. În momentul în care etapa se reactivează temporizarea revine la valoarea logică 0.

### Interpretarea etapelor.

Fiecărei etape  $i$  se poate atașa o variabilă logică funcție de starea etapei la care este atașată, de semnale de intrare și de o temporizare. De exemplu

$$A20 = X20.a.t / X20 / 5s$$

De exemplu, acțiunea  $A20$  atașată etapei  $X20$  și definită de relația de mai sus apare, adică ia valoarea logică 1 dacă etapa cu numărul 20 este activă, adică  $X20=1$ , semnalul de intrare  $a=1$  și temporizarea  $t/X20/5s$  a fost realizată.

La rețelele Petri generale tranzițiile consumă un număr resurse (mărci) din pozițiile precedente și produc un alt număr de mărci în pozițiile posterioare. Deci ele au consistență și apar ca niște dreptunghiuri.

Pentru rețelele Petri sigure, cu maximum o marcă în fiecare poziție, folosite la modelarea sistemelor discrete logice, se adoptă, în general, o reprezentare apropiată de cea folosită de Grafcet: dreptunghiuri înnegrite subțiri.

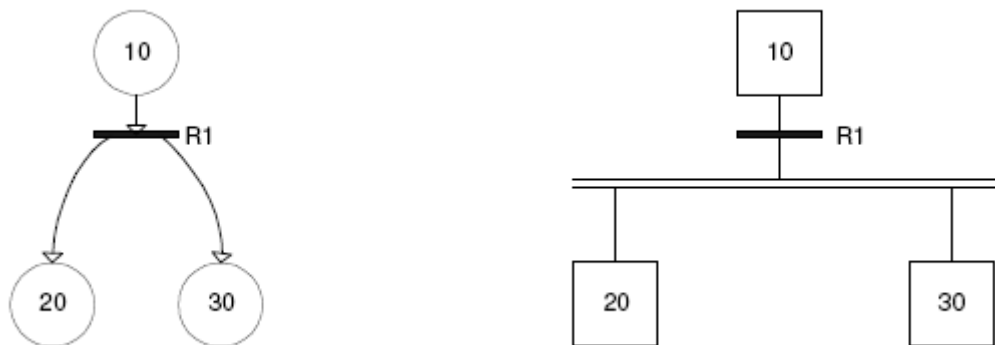


Fig. 2.14 Structură tip paralelism la rețeaua Petri a) și Grafcet b).

### Reguli de evoluție în Grafcet.

- Regula 1. Condiții inițiale. La momentul inițial numai etapele inițiale sunt active.
- Regula 2. Condiții de validare. Pentru ca o tranziție să fie validată este necesar ca toate etapele precedente să fie active.
- Regula 3. Condiții de declanșare. O tranziție este declanșată dacă este validată și receptivitatea care o interpretează a apărut. Pentru a declanșa o tranziție trebuie, obligatoriu în această ordine, ca etapele precedente să fie dezactivate iar etapele posterioare să fie activate.

- Regula 4. Declanșării simultane. Toate tranzițiile declanșabile la un moment dat sunt declanșate simultan.
- Regula 5. Conflictul de activare. Dacă o etapă trebuie simultan activată și dezactivată de declanșările simultane ale unei tranziții precedente și ale unei tranziții posterioare, atunci ea rămâne activă.

### Structuri folosite la modelarea cu Grafcet a sistemelor discrete logice.

Structurile tip folosite în Grafcet sunt aceleași ca la rețeaua Petri: secvența, saltul, repetarea, alegerea, convergența, paralelismul și sincronizarea, dar reprezentarea grafică este diferită.

O problemă apare la structura tip alegere. La rețeaua Petri această structură realizează o alegere tip SAU EXCLUSIV iar la Grafcet realizează o alegere tip SAU.

Deosebirea apare atunci când evenimentele R1 și R2 apar simultan. La Grafcet, dacă etapa 10 este activă, se declanșează tranzițiile pe care aceste evenimente le interpretează și etapele 20 și 30 devin active simultan, în *paralel*. Rețeaua Petri nu permite aceasta, ca o alegere să se transforme într-un paralelism. Diferența apare din modul diferit de definire a mărcii.

La rețeaua Petri marca este o resursă și este indivizibilă. Nu se poate deplasa în același timp din poziția 10 în 20 și 30. Din cauza aceasta apare conflictul efectiv, care trebuie rezolvat.

Dacă nu este rezolvat sistemul discret logic modelat de rețeaua Petri se va comporta nedeterminist, la apariția simultană a evenimentelor R1 și R2 se va activa etapa 20 sau (exclusiv) etapa 30 în funcție de factori care nu sunt cunoscuți.

La Grafcet marca este un indicator, semnalizator al stării de activitate sau inactivitate a etapei. Deoarece mai multe etape pot fi active simultan și marca se poate deplasa simultan din etapa 10 în etapele 20 și 30.

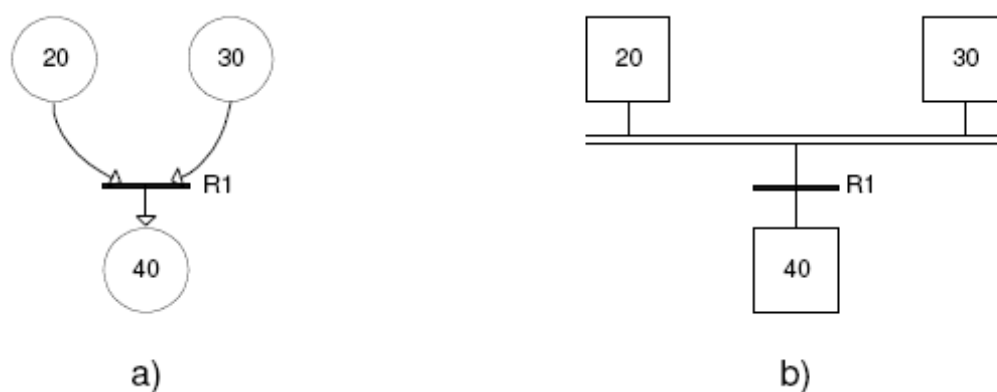


Fig. 2.15 Structura tip sincronizare la rețeaua Petri a) și Grafcet b).

### Compararea diagramelor Grafcet cu rețelele Petri.

**Avantajele diagramelor Grafcet față de rețelele Petri** sunt următoarele:

Diagramele Grafcet permit interpretarea tranzițiilor și în funcție de unele evenimente interne (endogene) cum ar fi, de exemplu, apariția stării *active* sau *inactive* a pozițiilor. Drept urmare desenul, care are o reprezentare grafică standardizată internațional, este mult mai simplu și mai inteligibil.

Existența macro-etapelor în grafcet conduce de asemenea la o simplificare substanțială a caietelor de sarcini și programelor pentru automatele programabile logice.

Diagramele Grafcet permit declanșarea simultană a tranzițiilor fără să existe noțiunea de conflict. Aceasta ușurează întocmirea și folosirea caietelor de sarcini de către nespecialiști. O poziție activată și dezactivată simultan rămâne în Grafcet activă. În felul acesta se evită ignorarea acțiunilor corespunzătoare poziției și modificarea algoritmului care a stat la baza întocmirii grafcetului. Ca un preț pentru facilitățile oferite, Grafcet nu posedă un model matematic atât de elaborat ca rețeaua Petri.

**Dezavantajele diagramelor Grafcet față de rețelele Petri** sunt următoarele:

Diagramele Grafcet permit și paralelismul prin interpretarea tranzițiilor situate într-o structură tip alegere. În aceste situații pot apare frecvent greșeli la ieșirea din paralelism. La modelarea sistemelor discrete logice cu ajutorul Grafcet pot apare erori la reactivarea etapelor. La modelul rețea Petri aceste erori sunt repede evidențiate.

Structura modelului Grafcet fără interpretare oferă puține informații și nu permite verificările care se pot face pe un model rețea Petri.

În concluzie se poate aprecia că pentru elaborarea caietelor de sarcini sau programarea automatelor programabile logice Grafcet este preferabil. Pentru analiza, sinteza și validarea modelului este mai bună rețeaua Petri.

La prima vedere ar părea avantajoasă elaborarea caietului de sarcini sub forma de Grafcet și apoi să se treacă la rețeaua Petri pentru analiză, validare și sinteza. Din păcate trecerea Grafcet – rețea Petri și invers nu se poate efectua direct decât în cazul modelelor mai simple de tip rețea Petri interpretată, sigură, viabilă și fără conflicte structurale.

În acest caz se renunță însă la toate facilitățile pe care le oferă Grafcet.

De fapt alegerea ar trebui să se facă în funcție de complexitatea sistemului modelat. Pentru sisteme relativ simple nu are importanță modelul folosit. La modelarea sistemelor complexe Grafcet este bun drept caiet de sarcini, dar pentru analiza, sinteza și validarea modelului este prudent să se folosească rețeaua Petri. În felul acesta greșeli greu detectabile pot fi evitate.

## **OPTIMIZAREA ORDONANTARII ACTIVITATILOR**

### ***APLICAȚII DE ANALIZĂ, SIMULARE ȘI SINTEZĂ A CONTROLERELOR PENTRU CONDUCEREA SISTEMELOR DE PRELUCRARE RECONFIGURABILE***

#### **Metodologia sintezei controlerelor folosind modelarea cu rețele Petri dezvoltate**

Pentru sistemele liniare, continue sau sincron discrete, există metodologii pentru modelarea și proiectarea controlului sistemului, care aplicate corect, oferă proprietăți performante sistemului. Pentru sistemele dinamice cu evenimente discrete, care descriu procesele tehnologice nu există metodologii de proiectare efectivă pentru implementarea aplicațiilor în timp real. *Rețelele Petri dezvoltate* (RP-D) stau la baza acestei metodologii.

Acest tip de rețele dă posibilitatea de validare, simulare printr-un program software și instrumente de analiză performante, astfel încât modelele cu ajutorul cărora se implementează controlerile logice pentru conducerea proceselor tehnologice au proprietăți de comportament corespunzătoare.

În general, probleme apar când complexitatea sistemelor în timp real conduce la rețele Petri mari, care au multe poziții și tranziții. Folosind metode invariante în literatura se arată că pentru o celulă reconfigurabilă al cărei model are 92 poziții, 59 tranziții, și 174 arcuri, matricea de incidență are 58 linii și 42 coloane. Pentru obținerea invarianților de tipp este nevoie de 40 de ecuații, iar pentru obținerea invarianților de tip t, 61 de ecuații. Se poate observa cât de complexă este problema de analiza a viabilității și mărginirii pe baza acestei metode. Pentru acest sistem nu a fost folosită nici o metodă de rafinare ceea ce a determinat explodarea problemei de stare. O eroare de concepere poate conduce la un model de rețea greșită ale cărui proprietăți nu pot fi verificate. Este foarte dificil de a găsi o astfel de eroare, iar după găsirea erorii, modificarea structurii și reanalizarea modelului poate necesita un volum de muncă foarte mare.

Au fost dezvoltate rețele Petri de nivel înalt cum ar fi rețelele Petri colorate sau rețele Petri extinse, pentru rezolvarea problemelor de complexitate grafică. Oricum, acestea folosesc în analiză metodele și instrumentele software care sunt valabile și pentru rețele Petri obișnuite. Perfecționarea mașinilor-unelte cu comandă numerică și a centrelor de prelucrare a dat posibilitatea dezvoltării tehnologiilor reconfigurabile de prelucrare. Pentru implementarea controlerelor acestor tehnologii reconfigurabile de prelucrare este necesar un model al cărui



evoluție să se adapteze optim în funcție de posibilitățile de evoluție a acestor tehnologii reconfigurabile.

Toate modelele dezvoltate până acum impun condiții ce dau o evoluție fixă a procesului tehnologic. Toate acestea au dus la necesitatea dezvoltării rețelelor Petri pentru sinteza controlerelor sistemelor de prelucrare reconfigurabile, prezentată în această lucrare.

Conceperea modelului ce stă la baza implementării controlerului este divizată în doua mari etape:

a. într-o manieră *top-down*, conceperea începe cu descrierea unui model rețea Petri de referință și apoi, utilizarea rafinării în trepte a pozițiilor și/sau tranzițiilor pentru a include mai multe detalii, până când nivelul dorit este atins;

b. resursele sunt adăugate rețelei într-un mod *bottom-up*.

Dacă este necesar, (a) și (b) pot fi utilizate alternativ. Astfel, complexitatea problemelor amintite poate fi ameliorată. Astfel, o problemă generală pentru modelarea unui sistem de prelucrare reconfigurabil, folosind o *rețea Petri dezvoltată* (RP-D) poate fi descrisă succint prin:

-analiza caracteristicilor sistemului de fabricație,

-modelarea sistemului ca rețea Petri,

-marcare inițială astfel încât rețeaua să fie mărginită, viabilă și reversibilă.

### Celulă reconfigurabila cu o stație de transfer și două centre de prelucrare

(excludere mutuală paralelă)

Se consideră o stație de transfer ilustrată în fig. 2.16. aceasta constă într-un AGV (vehicul ghidat automat), ce transferă două tipuri de piese (PC01 și PC02) produse de două centre de prelucrare. AGV-ul transferă la depozitul de ieșire o piesă de la centru 1 sau centru 2. Din moment ce începe transferul nu mai poate fi întrerupt. Imediat ce un transfer este terminat, și o altă piesă este disponibilă pentru a fi transportată, AGV-ul începe acțiunea de transport.

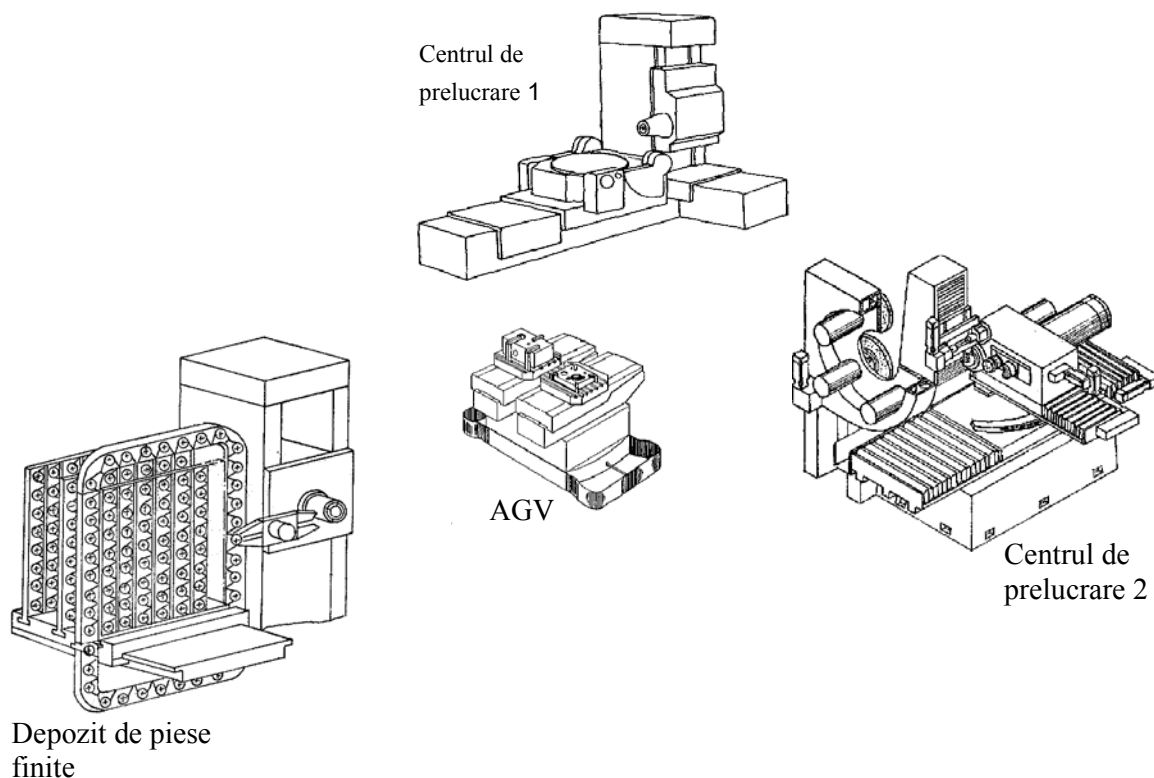


Fig. 2.16. Celulă reconfigurabila cu o stație de transfer și două centre de prelucrare

**Observație:** pozițiile de tipul “PCxx” sunt luate în considerare doar la simularea cu timp, pentru funcțiile de intrare, de ieșire, de incidență, generarea grafului de acoperire, analiza excluderii mutuale ele nu sunt luate în considerare.

Marcarea inițială a rețelei Petri este:

$$m_0 = \{1,1,0,0,1\}^T$$

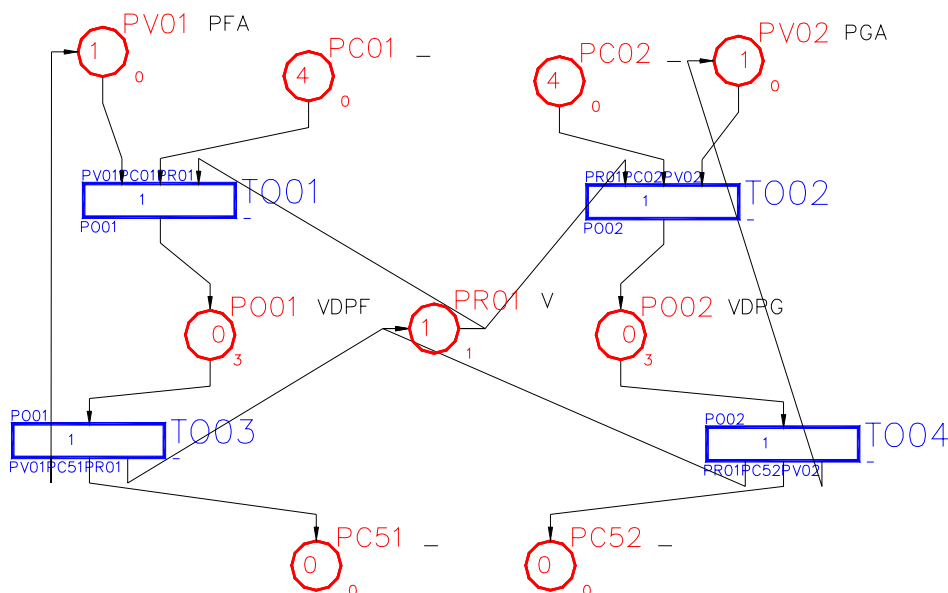


Fig. 2.17 Modelul de rețea Petri pentru celula reconfigurabilă cu stație de transfer

Pentru această rețea Petri,  $P = \{p_{v01}, p_{v02}, p_{r01}, p_{o01}, p_{o02}\}$ ,  $T = \{t_{o01}, t_{o02}, t_{o03}, t_{o04}\}$  funcția de intrare, de ieșire, și cea de incidență fiind:

**Funcția de intrare a RP:**

	TO01	TO02	TO03	TO04
PO01	0	0	1	0
PO02	0	0	0	1
PR01	1	1	0	0
PV01	1	0	0	0
PV02	0	1	0	0
PC01	1	0	0	0
PC02	0	1	0	0
PC51	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0

Din grafurile de acoperire (fig.2.18), și raportul aferent acestuia, deducem următoarele observații pentru rețeaua Petri studiată:

- o este viabilă (nu avem blocaje la nici un marcaj);
- o este mărginită (implică absența posibilității de supraîncărcării);
- o este reinițializabilă (sistemul poate fi inițializat, obținându-se marcajul inițial, din orice stare posibilă).

**Funcția de ieșire a RP**

	TO01	TO02	TO03	TO04
PO01	1	0	0	0
PO02	0	1	0	0
PR01	0	0	1	1
PV01	0	0	1	0
PV02	0	0	0	1
PC01	0	0	0	0
PC02	0	0	0	0
PC51	0	0	1	0
PC52	0	0	0	1

**1.1.1 Funcția de incidență a RP**

	TO01	TO02	TO03	TO04
PO01	1	0	-1	0
PO02	0	1	0	-1
PR01	-1	-1	1	1
PV01	-1	0	1	0
PV02	0	-1	0	1
PC01	-1	0	0	0
PC02	0	-1	0	0
PC51	0	0	1	0
PC52	0	0	0	1

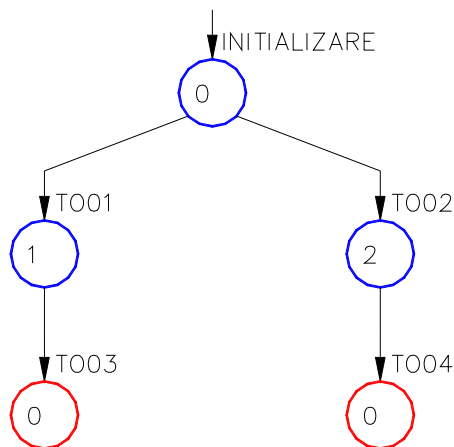


Fig. 2.18 Graful de acoperire pentru rețeaua Petri din fig. 2.17

Asociat grafului de acoperire din fig. 2.18 avem un raport în care sunt prezentate mai amănunțit anumite elemente ale grafului de acoperire, astfel semnificația coloanelor este următoarea:

- MD conține identificatorul marcajului;
- MARCAJ DESTINAȚIE conține marcarea rețelei;
- TRANZIȚII ACCESIBILE conține tranzițiile accesibile la marcajul respectiv;
- DRUM conține identificatorul tranziției executate pentru a se ajunge în acest marcaj;
- MP conține identificatorul marcajului de pornire.

Raport: Graf de acoperire

MD	MARCAJ DESTINAȚIE					TRANZIȚII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PR01	PV01	PV02			
0	0	0	1	1	1	'TO01' 'TO02'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	1	'TO03'	'TO01'	0
2	0	1	0	1	0	'TO04'	'TO02'	0
0	0	0	1	1	1	'nil'	'TO03'	1
0	0	0	1	1	1	'nil'	'TO04'	2

La simularea în timp automată a rețelei Petri din fig. 2.17 este generat un raport ale cărui coloane au aceeași semnificație cu cele din graful de acoperire, în plus apar următoarele două coloane:

- TRANZIȚII EXECUTATE conține tranzițiile executate pentru a se ajunge în marcajul respectiv;
- TIMP este timpul care a trecut pentru a se ajunge în acest marcaj din marcajul anterior.

Raport: Simulare automata cu timp

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE	TRANZITII EXECUTATE	MP	TIMP
	PO01	PO02	PR01	PV01	PV02	PC01	PC02	PC51	PC52					
0	0	0	1	1	1	1	2	0	0	'TO01' 'TO02'	'nil'	'nil'	0	
1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	'TO03'	'TO01'	0	1	
2	0	0	1	1	1	0	2	1	0	'TO02'	'TO03'	1	3	
3	0	1	0	1	0	0	1	1	0	'TO04'	'TO02'	2	1	
4	0	0	1	1	1	0	1	1	1	'TO02'	'TO04'	3	3	
5	0	1	0	1	0	0	0	1	1	'TO04'	'TO02'	4	1	
6	0	0	1	1	1	0	0	1	2	'nil'	'TO04'	5	3	

Timp total de execuție: 12

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC51

[1]: 4

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC52

[1]: 8, [2]: 12

**Celulă reconfigurabilă cu două centre de prelucrare, un  
robot de manipulare și un buffer  
(excludere mutuală serială)**

Se consideră sistemul de prelucrare din fig. 2.19, acesta constă din două mașini de prelucrare M1 și M2, un robot partajat, R, pentru operația de descărcare a centrelor de prelucrare, și un buffer, B, pentru stocarea pieselor intermediare.

Planul proceselor de prelucrare pentru fiecare piesă este următorul: piesa trebuie prelucrată de M1, și apoi de M2. Fiecare piesă introdusă în sistem este în mod automat fixată pe o paletă și încărcată în mașină. După prelucrare, robotul descarcă piesa intermediară de pe M1 în buffer-ul B. La mașina M2 piesele intermediare sunt încărcate automat pe aceasta și apoi sunt prelucrate. Când M2 încheie prelucrarea piesei, robotul R descarcă produsul final la centrul de fixare/defixare a pieselor de/pe pe palete.

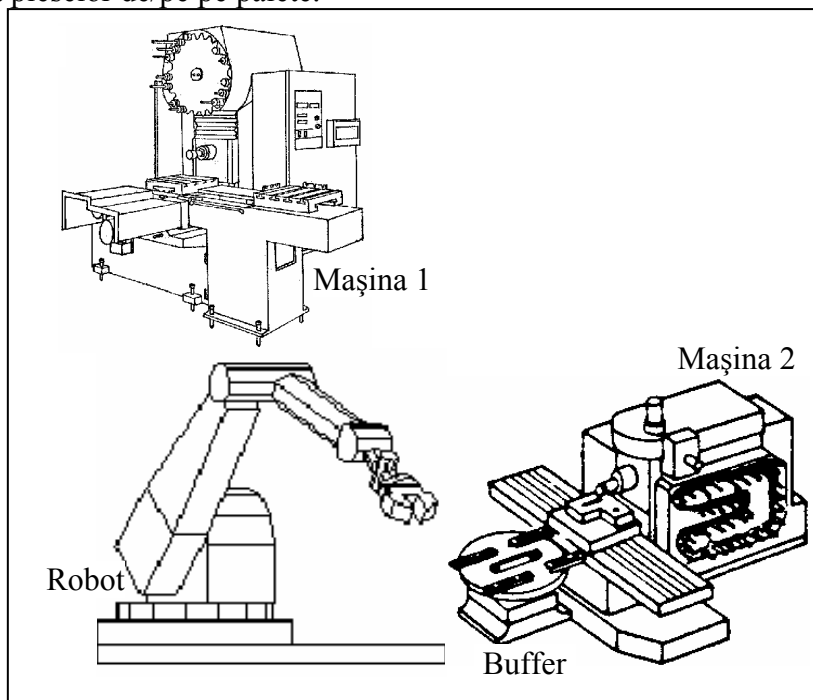


Fig. 2.19 Celulă reconfigurabilă cu două centre de prelucrare, un robot de manipulare și un buffer

Funcția de intrare a RP:

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06
PO01	0	1	0	0	0	0
PO02	0	0	1	0	0	0
PO04	0	0	0	0	1	0
PO05	0	0	0	0	0	1
PR01	1	0	0	0	0	0
PR02	0	0	0	1	0	0
PR03	0	1	0	0	1	0
PR04	0	0	1	0	0	0
PV01	1	0	0	0	0	0
PI01	0	0	0	1	0	0
PC01	1	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	0

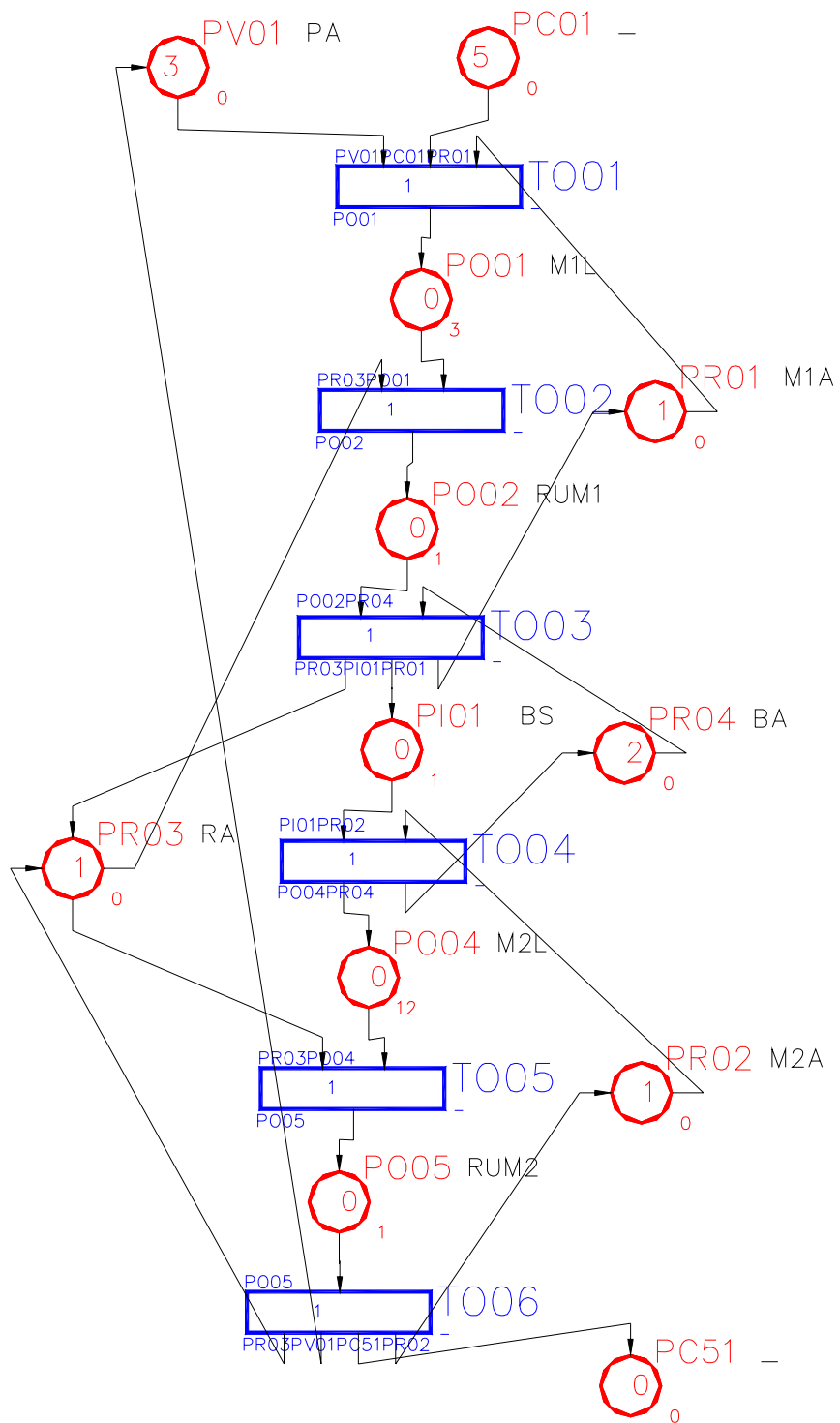


Fig. 2.20 Modelul de rețea Petri pentru aplicație

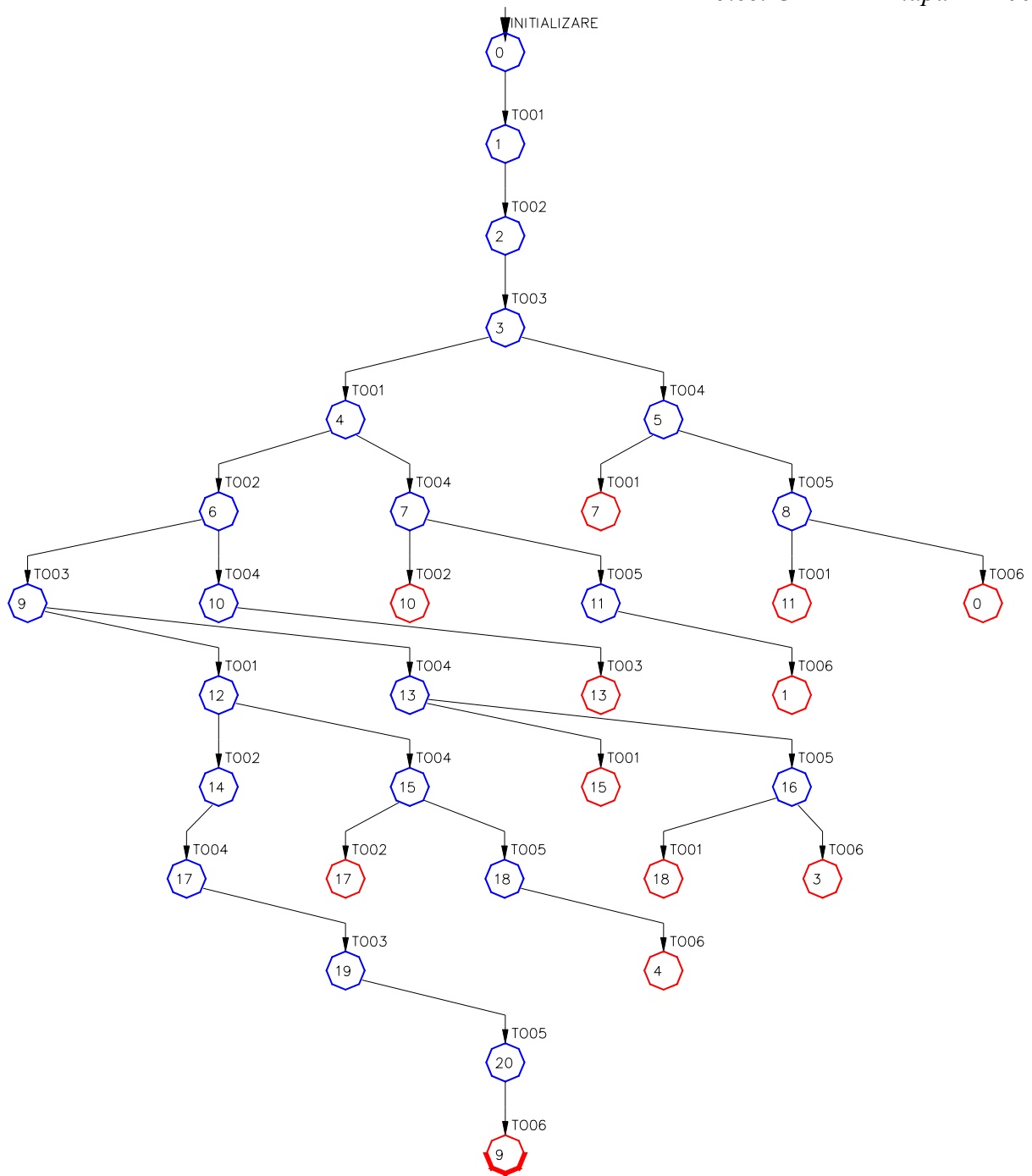


Fig. 2.21 Graful de acoperire pentru RP din fig. 2.20

Din graful de acoperire (Fig. 2.21), și raportul aferent acestuia, deducem următoarele observații pentru rețeaua Petri studiată:

- o este viabilă (nu avem blocaje la nici un marcaj);
- o este mărginită (implică absența posibilității de supraîncărcării);
- o este reinițializabilă (sistemul poate fi inițializat, obținându-se marcajul inițial, din orice stare posibilă).



## Funcția de ieșire a RP:

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06
PO01	1	0	0	0	0	0
PO02	0	1	0	0	0	0
PO04	0	0	0	1	0	0
PO05	0	0	0	0	1	0
PR01	0	0	1	0	0	0
PR02	0	0	0	0	0	1
PR03	0	0	1	0	0	1
PR04	0	0	0	1	0	0
PV01	0	0	0	0	0	1
PI01	0	0	1	0	0	0
PC01	0	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	1

## Funcția de incidență a RP:

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06
PO01	1	-1	0	0	0	0
PO02	0	1	-1	0	0	0
PO04	0	0	0	1	-1	0
PO05	0	0	0	0	1	-1
PR01	-1	0	1	0	0	0
PR02	0	0	0	-1	0	1
PR03	0	-1	1	0	-1	1
PR04	0	0	-1	1	0	0
PV01	-1	0	0	0	0	1
PI01	0	0	1	-1	0	0
PC01	-1	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	1

Vom prezenta în continuare o situație de blocaj pentru RP din fig. 2.20, pentru aceasta vom modifica marcajul poziției PV01 din 3 în 4. Se va obține graful de acoperire din fig. 2.22. Din analiza acestuia și a raportului aferent se observa clar blocajul la marcajul 22.

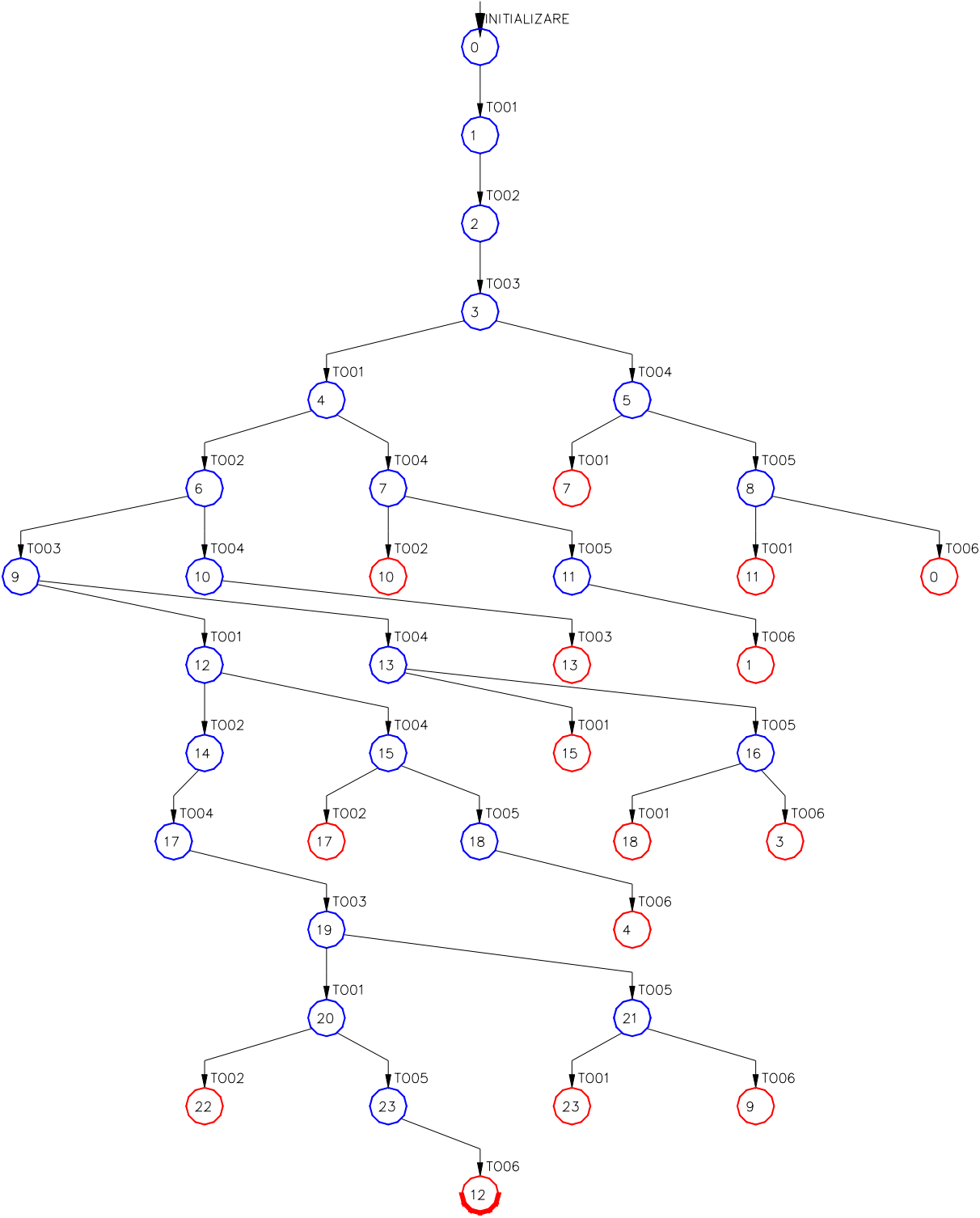


Fig. 2.22 Graful de acoperire cu blocaj



Raport: Graf de acoperire din Fig. 2.21

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01			
0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	'TO01'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	'TO02'	'TO01'	0
2	0	1	0	0	0	0	1	0	2	2	'TO03'	'TO02'	1
3	0	0	1	0	0	1	1	1	1	2	'TO01' 'TO04'	'TO03'	2
4	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	'TO02' 'TO04'	'TO01'	3
5	0	0	0	1	0	1	0	1	2	2	'TO01' 'TO05'	'TO04'	3
6	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	'TO04'	'TO02'	4
7	1	0	0	1	0	0	0	1	2	1	'TO02' 'TO05'	'TO04'	4
7	1	0	0	1	0	0	0	1	2	1	'nil'	'TO01'	5
8	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	'TO01' 'TO06'	'TO05'	5
9	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	'TO03'	'TO04'	6
9	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	'nil'	'TO02'	7
10	1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	'TO06'	'TO05'	7
10	1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	'nil'	'TO01'	8

Raport: Graf de acoperire din Fig. 2.21

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01			
0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	'nil'	'TO06'	8
11	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'TO01' 'TO05'	'TO03'	9
1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	'nil'	'TO06'	10
12	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	'TO02' 'TO05'	'TO01'	11
13	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	'TO01' 'TO06'	'TO05'	11
14	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	'nil'	'TO02'	12
15	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	'TO06'	'TO05'	12
15	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	'nil'	'TO01'	13
3	0	0	1	0	0	1	1	1	1	2	'nil'	'TO06'	13
4	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO06'	15

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.22

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO04	PO05	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PI01			
0	0	0	0	0	1	1	1	2	4	0	'TO01'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	0	1	1	2	3	0	'TO02'	'TO01'	0
2	0	1	0	0	0	1	0	2	3	0	'TO03'	'TO02'	1
3	0	0	0	0	1	1	1	1	3	1	'TO01' 'TO04'	'TO03'	2
4	1	0	0	0	0	1	1	1	2	1	'TO02' 'TO04'	'TO01'	3
5	0	0	1	0	1	0	1	2	3	0	'TO01' 'TO05'	'TO04'	3
6	0	1	0	0	0	1	0	1	2	1	'TO03' 'TO04'	'TO02'	4
7	1	0	1	0	0	0	1	2	2	0	'TO02' 'TO05'	'TO04'	4
7	1	0	1	0	0	0	1	2	2	0	'nil'	'TO01'	5
8	0	0	0	1	1	0	0	2	3	0	'TO01' 'TO06'	'TO05'	5
9	0	0	0	0	1	1	1	0	2	2	'TO01' 'TO04'	'TO03'	6
10	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	'TO03'	'TO04'	6
10	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	'nil'	'TO02'	7
11	1	0	0	1	0	0	0	2	2	0	'TO06'	'TO05'	7

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.22

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO04	PO05	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PI01			
11	1	0	0	1	0	0	0	2	2	0	'nil'	'TO01'	8
0	0	0	0	0	1	1	1	2	4	0	'nil'	'TO06'	8
12	1	0	0	0	0	1	1	0	1	2	'TO02' 'TO04'	'TO01'	9
13	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	'TO01' 'TO05'	'TO04'	9
13	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	'nil'	'TO03'	10
1	1	0	0	0	0	1	1	2	3	0	'nil'	'TO06'	11
14	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2	'TO04'	'TO02'	12
15	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	'TO02' 'TO05'	'TO04'	12
15	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO01'	13
16	0	0	0	1	1	0	0	1	2	1	'TO01' 'TO06'	'TO05'	13
17	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	'TO03'	'TO04'	14
17	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	'nil'	'TO02'	15
18	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	'TO06'	'TO05'	15
18	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	'nil'	'TO01'	16

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.22

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO04	PO05	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PI01			
3	0	0	0	0	1	1	1	1	3	1	'nil'	'TO06'	16
19	0	0	1	0	1	0	1	0	1	2	'TO01' 'TO05'	'TO03'	17
4	1	0	0	0	0	1	1	1	2	1	'nil'	'TO06'	18
20	1	0	1	0	0	0	1	0	0	2	'TO02' 'TO05'	'TO01'	19
21	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2	'TO01' 'TO06'	'TO05'	19
22	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	'nil'	'TO02'	20
23	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	'TO06'	'TO05'	20
23	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	'nil'	'TO01'	21
9	0	0	0	0	1	1	1	0	2	2	'nil'	'TO06'	21
12	1	0	0	0	0	1	1	0	1	2	'nil'	'TO06'	23



Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.20

MD	MARCAJ DESTINATIE												TRANZITII ACCESIBILE	TRANZITII EXECUTATE	MP	TIMP
	PO01	PO02	PO04	PO05	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PI01	PC01	PC51				
0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	0	5	0	'TO01'	'nil'	'nil'	0
1	1	0	0	0	0	1	1	2	2	0	4	0	'TO02'	'TO01'	0	0
2	0	1	0	0	0	1	0	2	2	0	4	0	'TO03'	'TO02'	1	3
3	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	4	0	'TO01' 'TO04'	'TO03'	2	1
4	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	3	0	'TO02' 'TO04'	'TO01'	3	0
5	1	0	1	0	0	0	1	2	1	0	3	0	'TO02' 'TO05'	'TO04'	4	1
6	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	3	0	'TO03'	'TO02'	5	2
7	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	3	0	'TO01' 'TO05'	'TO03'	6	1
8	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	2	0	'TO02' 'TO05'	'TO01'	7	0
9	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	'TO03'	'TO02'	8	3
10	0	0	1	0	1	0	1	0	0	2	2	0	'TO05'	'TO03'	9	1
11	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	'TO06'	'TO05'	10	5
12	0	0	0	0	1	1	1	0	1	2	2	1	'TO01' 'TO04'	'TO06'	11	1
13	1	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	1	'TO02' 'TO04'	'TO01'	12	0
14	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	'TO02' 'TO05'	'TO04'	13	1
15	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	'TO03'	'TO02'	14	2

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.20

MD	MARCAJ DESTINATIE												TRANZITII ACCESIBILE	TRANZITII EXECUTATE	MP	TIMP
	PO01	PO02	PO04	PO05	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PI01	PC01	PC51				
16	0	0	1	0	1	0	1	0	0	2	1	1	'TO05'	'TO03'	15	1
17	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	1	'TO06'	'TO05'	16	9
18	0	0	0	0	1	1	1	0	1	2	1	2	'TO01' 'TO04'	'TO06'	17	1
19	1	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	2	'TO02' 'TO04'	'TO01'	18	0
20	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	2	'TO02' 'TO05'	'TO04'	19	1
21	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	2	'TO03'	'TO02'	20	2
22	0	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	2	'TO05'	'TO03'	21	1
23	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	2	'TO06'	'TO05'	22	9
24	0	0	0	0	1	1	1	0	1	2	0	3	'TO04'	'TO06'	23	1
25	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	3	'TO05'	'TO04'	24	1
26	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	3	'TO06'	'TO05'	25	12
27	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	4	'TO04'	'TO06'	26	1
28	0	0	1	0	1	0	1	2	2	0	0	4	'TO05'	'TO04'	27	1
29	0	0	0	1	1	0	0	2	2	0	0	4	'TO06'	'TO05'	28	12
30	0	0	0	0	1	1	1	2	3	0	0	5	'nil'	'TO06'	29	1

Timp total de execuție: 74

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC51  
 [1]: 18, [2]: 32, [3]: 46, [4]: 60, [5]: 74

**Celulă reconfigurabilă cu două centre de prelucrare și doi roboți**

(exemplu de soluționare a blocajelor)

Se consideră un sistem de prelucrare de tipul doi roboți de manipulare:  $R_1$  și  $R_2$  și două centre de prelucrare:  $CP_1$  și  $CP_2$ . Specificația funcționării sistemului este următoarea:

1. Când oricare din  $CP_1$  și  $CP_2$  este gata să execute sarcina de prelucrare, aceasta solicită robotului din dreapta și îl ocupă dacă este disponibil.
2. După ce centrul de prelucrare achiziționează robotul din dreapta, solicită robotul din stânga și îl ocupă dacă este disponibil.
3. Când centrul de prelucrare demarează procesul de prelucrare, nu poate fi întrerupt decât la finalizarea acestuia.
4. Când  $CP_1$  ( $CP_2$ ) termină, eliberează ambii roboți.

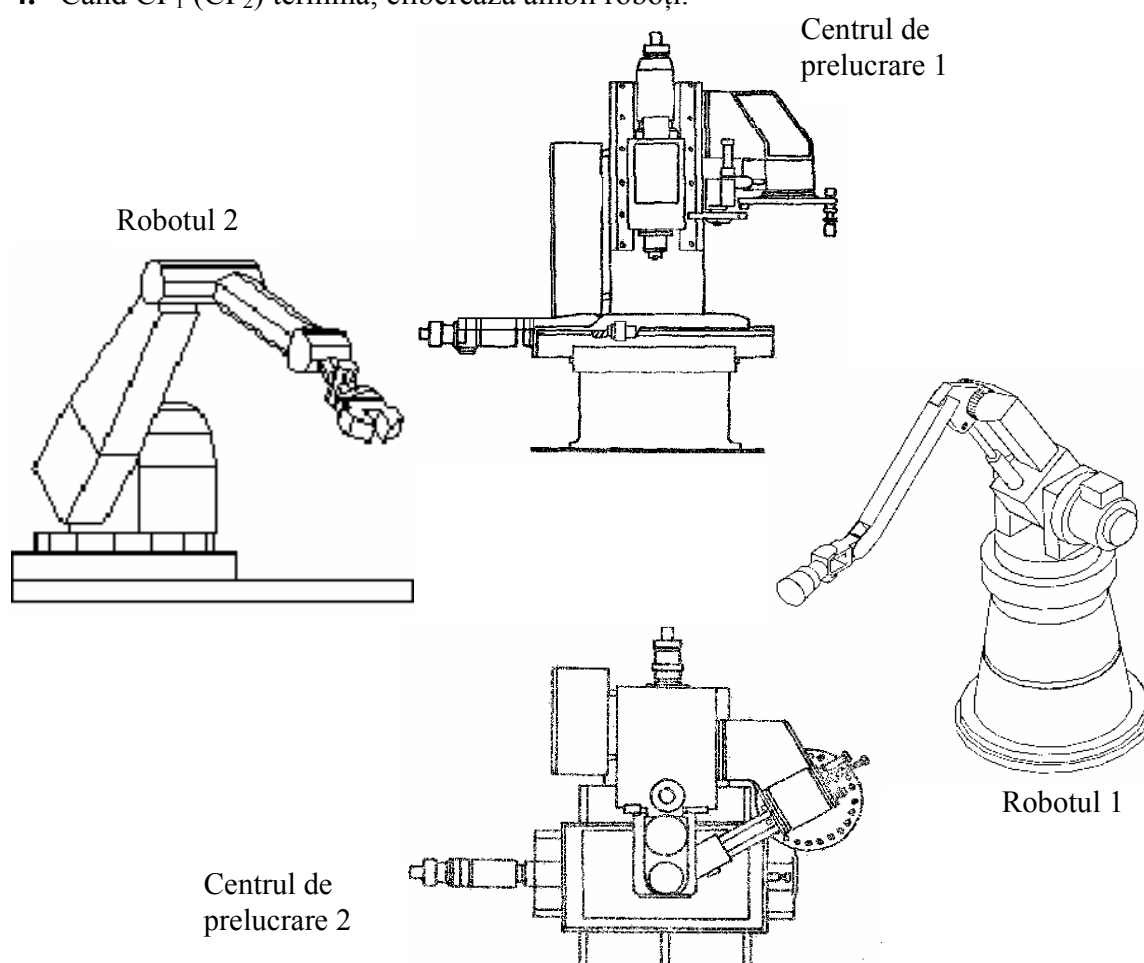


Fig. 2.23 Celulă reconfigurabilă cu două centre de prelucrare și doi roboți

Modelul de rețea Petri pentru acest sistem este prezentat în fig. 2.24. Cele două structuri de excludere mutuală paralelă ale rețelei din fig. 2.24 sunt:  $(p_{R03}, \{(t_{001}, t_{004}), (t_{006}, t_{008})\})$  și  $(p_{R04}, \{(t_{002}, t_{004}), (t_{005}, t_{008})\})$ . Fiecare va forma a 2-EMP fără altă structură din rețea. Totuși, nici una din ele nu este o 2-EMP deoarece nici nu satisface condiția 4 din definiția excluderii mutuale. Marcajul este de forma:

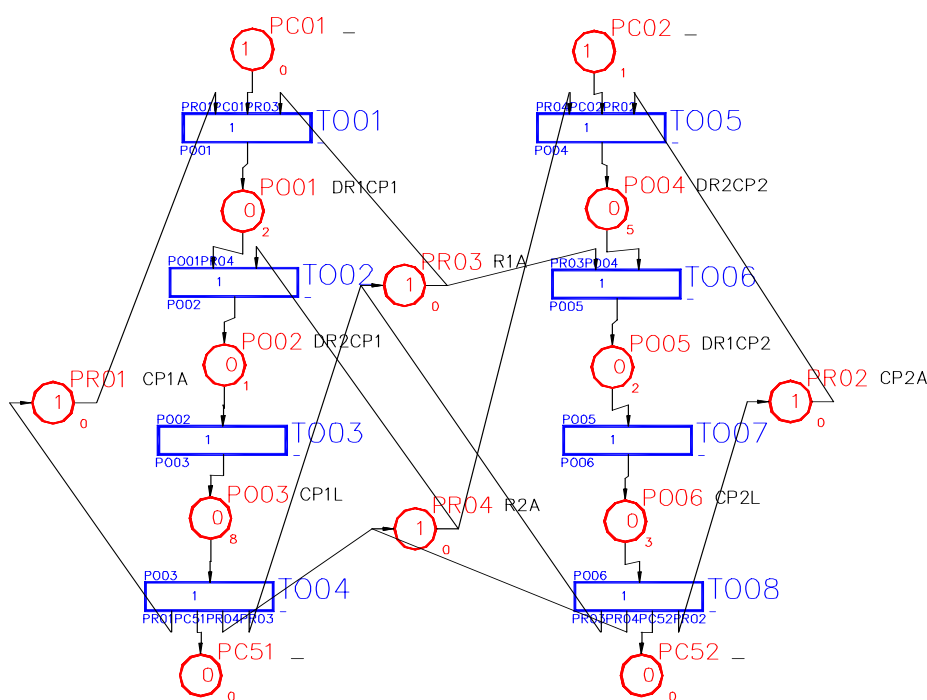


Fig. 2.24 Retea Petri pentru celula analizata

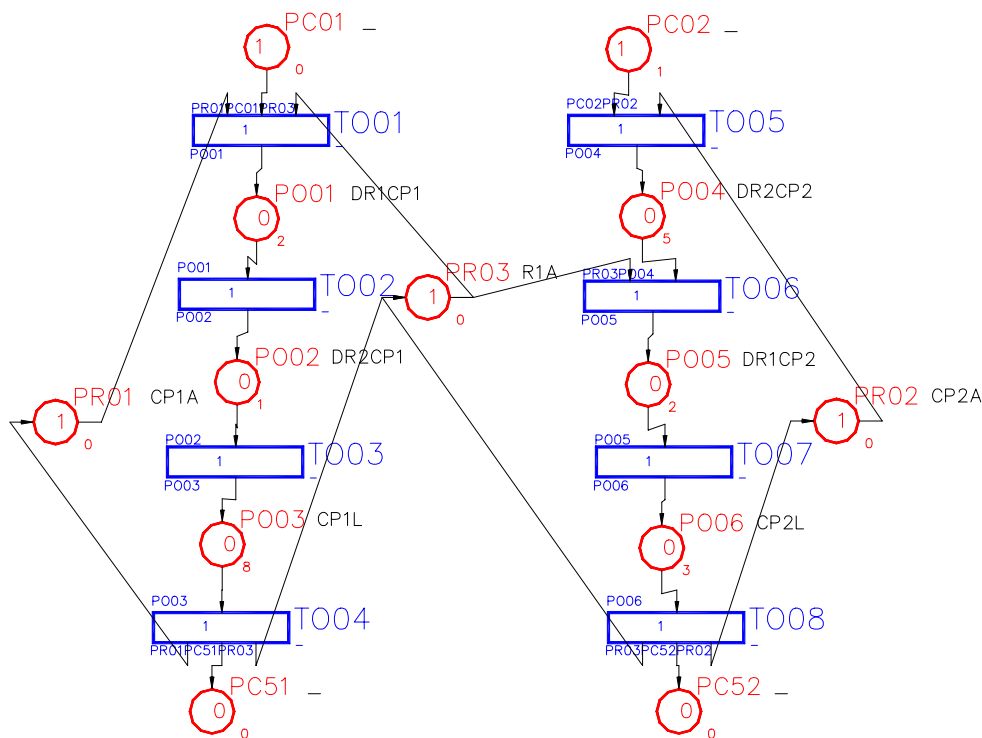


Fig. 2.25

$$m = m_{P001} m_{P002} m_{P003} m_{P004} m_{P005} m_{P006} m_{PR01} m_{PR02} m_{PR03} m_{PR04}$$

Marcarea inițială este arătată în raportul aferent grafului de acoperire din fig. 2.28. Sistemul este interblocat; nici un proces nu poate demara când marcajul 4 este atins după execuția lui to01 și to05 sau to05 și to01 din marcarea inițială. Metoda de proiectare propusă sugerează faptul că trebuie să se considere resursele partajate una câte una.

Astfel figura 2.18 este obținută după ce se introduce resursa reprezentată de robotul R1, excluderea (pR03, {(to01, to04), (to06, to08)}) este ușor de verificat a fi o 2-EMP.

Cum s-a menționat anterior, excluderea (pR04, {(to02, to04), (to05, to08)}) când este adăugată conform specificației de funcționare a sistemului, nu este o 2-EMP. Trebuie ca specificația sistemului să fie corectă pentru proiectarea unui sistem fără interblocare. Dacă modificăm specificația astfel: centrul de prelucrare 1 solicită ambii roboți în același timp cu alte cuvinte, deplasarea robotului R1 va începe numai dacă și robotul R2 este disponibil. Astfel se obține rețeaua prezentată în figura 2.26 după ce și excluderea (pR04, {(to01, to04), (to05, to08)}) este introdusă.

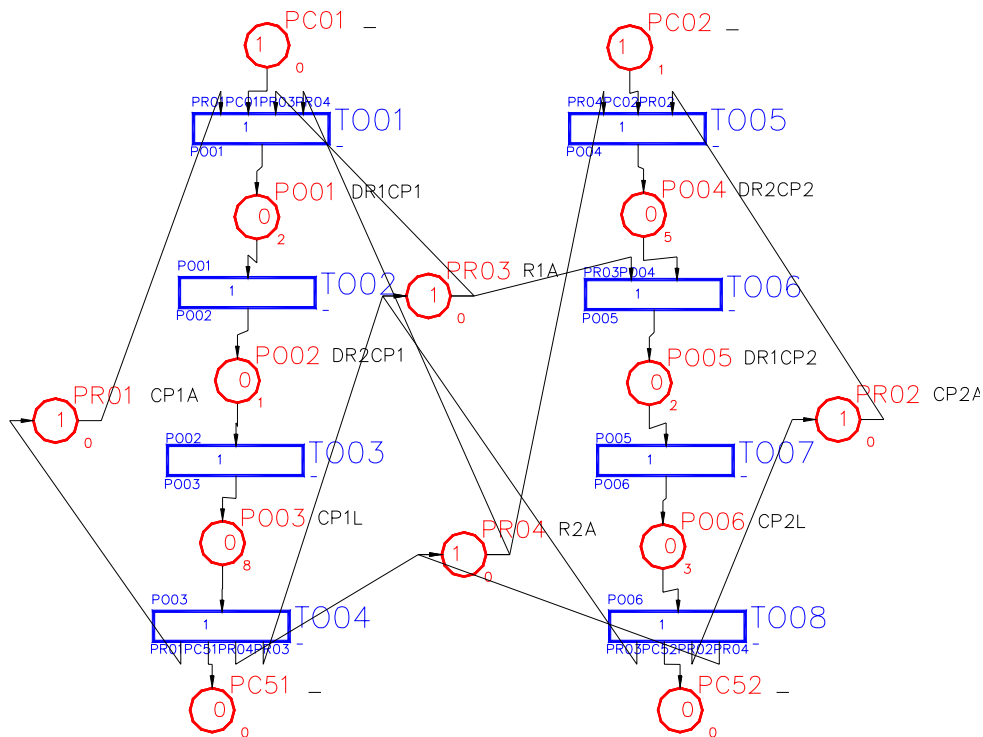


Fig. 2.26

Adăugarea succesivă a resurselor partajate în procesul de proiectare a modelului asigură rețelelor Petri intermediare siguranța contra interblocărilor.

Două posibile strategii decurg din acestea: prima metodă este de a adăuga ultima resursă partajată pentru a forma o excludere mutuală paralelă astfel încât sistemul să fie modificat fără a avea nici o interblocare. Aceasta implică faptul că specificația sistemului trebuie să fie schimbată așa cum s-a făcut în exemplul de mai sus.

A doua metodă este să construim modelul de rețea în mod “corect” deși excluderile mutuale paralele anterioare ar putea fi degradate în excluderi mutuale non-paralele. În acest caz alte metode de evitare a interblocării trebuie folosite pentru prevenirea acestor interblocări înglobate. Astfel, cu ajutorul pozițiilor de control pC01, pC02, pC51 și pC52 se pot ordona activitățile celulelor de prelucrare CP1 și CP2 la nivelul unui controler ierarhic superior. Un exemplu simplu de secvență de control a acestui controler este prezentat în figura 2.20. Secvența de control cuprinde pozițiile pC01, pC02, pC51, pC52, tI01, tI02 și poartă denumirea de secvență de sincronizare alternantă.

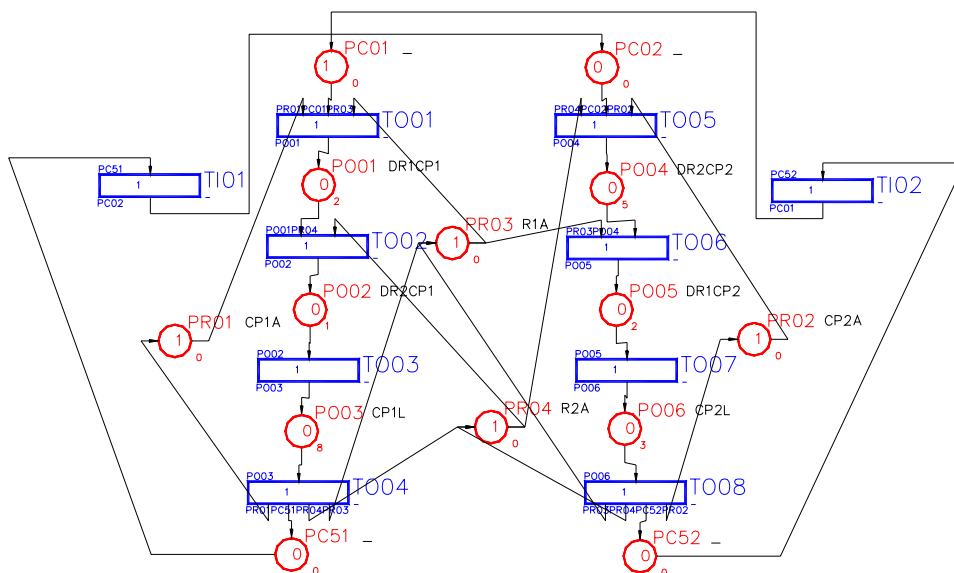


Fig. 2.27

În continuare va fi studiată evoluția modelului de rețea Petri 2-EMP din fig. 2.24, pentru acesta graful de acoperire este prezentat în fig. 2.28

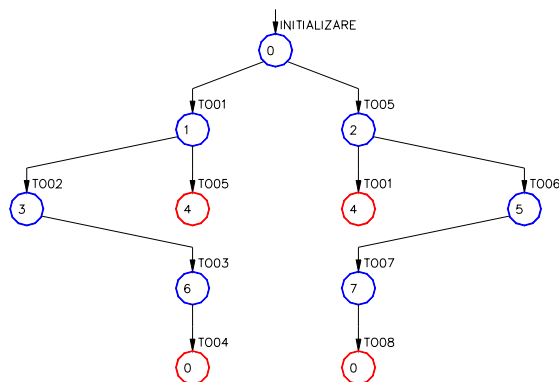


Fig. 2.28

Funcția de intrare a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO08
PO01	0	1	0	0	0	0	0	0
PO02	0	0	1	0	0	0	0	0
PO03	0	0	0	1	0	0	0	0
PO04	0	0	0	0	0	1	0	0
PO05	0	0	0	0	0	0	1	0
PO06	0	0	0	0	0	0	0	1
PR01	1	0	0	0	0	0	0	0
PR02	0	0	0	0	1	0	0	0
PR03	1	0	0	0	0	1	0	0
PR04	0	1	0	0	1	0	0	0
PC01	1	0	0	0	0	0	0	0
PC02	0	0	0	0	1	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	0

Funcția de ieșire a RP

TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO08
------	------	------	------	------	------	------	------

PO01	1	0	0	0	0	0	0	0
PO02	0	1	0	0	0	0	0	0
PO03	0	0	1	0	0	0	0	0
PO04	0	0	0	0	1	0	0	0
PO05	0	0	0	0	0	1	0	0
PO06	0	0	0	0	0	0	1	0
PR01	0	0	0	1	0	0	0	0
PR02	0	0	0	0	0	0	0	1
PR03	0	0	0	1	0	0	0	1
PR04	0	0	0	1	0	0	0	1
PC01	0	0	0	0	0	0	0	0
PC02	0	0	0	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	1	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	1

Funcția de incidență a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO08
PO01	1	-1	0	0	0	0	0	0
PO02	0	1	-1	0	0	0	0	0
PO03	0	0	1	-1	0	0	0	0
PO04	0	0	0	0	1	-1	0	0
PO05	0	0	0	0	0	1	-1	0
PO06	0	0	0	0	0	0	1	-1
PR01	-1	0	0	1	0	0	0	0
PR02	0	0	0	0	-1	0	0	1
PR03	-1	0	0	1	0	-1	0	1
PR04	0	-1	0	1	-1	0	0	1
PC01	-1	0	0	0	0	0	0	0
PC02	0	0	0	0	-1	0	0	0
PC51	0	0	0	1	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	1

Din graficul de acoperire (fig. 2.28), și raportul aferent acestuia, se poate observa clar blocajul de la marcajul 4, deci rețeaua nu este viabilă

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.28

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP	
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PR01	PR02	PR03	PR04				
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'TO01' 'TO05'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	'TO02' 'TO05'	'TO01'	0
2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	'TO01' 'TO06'	'TO05'	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	'TO03'	'TO02'	1
4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	'nil'	'TO05'	1
4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	'nil'	'TO01'	2
5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	'TO07'	'TO06'	2
6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	'TO04'	'TO03'	3
7	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	'TO08'	'TO07'	5
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO04'	6
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO08'	7



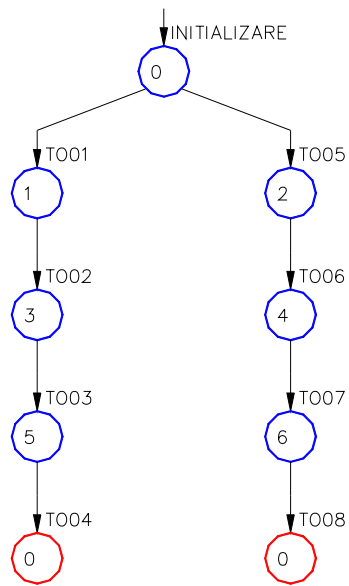


Fig. 2.29 Graf de acoperire pentru RP din fig. 2.26

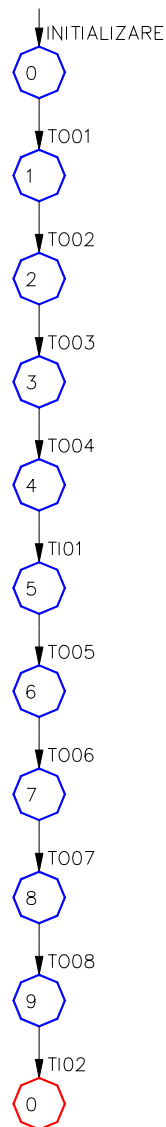


Fig. 2.30 Graf de acoperire pentru RP din fig. 2.27

Din grafurile de acoperire (fig. 2.29 și 2.30), și rapoartele aferente acestuia, deducem următoarele observații pentru cele două rețele Petri studiate:

- o sunt viabile (nu avem blocaje la nici un marcaj);
- o sunt mărginite (implică absența posibilității de supraîncărcării);
- o sunt reinițializabile (sistemul poate fi inițializat, obținându-se marcajul inițial, din orice stare posibilă).

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.29

MD	MARCAJ DESTINATIE										TRANZITII ACCESIBILE		DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PR01	PR02	PR03	PR04				
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'TO01' 'TO05'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	'TO02'	'TO01'	0
2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	'TO06'	'TO05'	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	'TO03'	'TO02'	1
4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	'TO07'	'TO06'	2
5	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	'TO04'	'TO03'	3
6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	'TO08'	'TO07'	4
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO04'	5
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO08'	6

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.30

MD	MARCAJ DESTINATIE														TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PR01	PR02	PR03	PR04	PC01	PC02	PC51	PC52			
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	'TO01'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	'TO02'	'TO01'	0
2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	'TO03'	'TO02'	1
3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	'TO04'	'TO03'	2
4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	'TI01'	'TO04'	3
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	'TO05'	'TI01'	4
6	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	'TO06'	'TO05'	5
7	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	'TO07'	'TO06'	6
8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	'TO08'	'TO07'	7
9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	'TI02'	'TO08'	8
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	'nil'	'TI02'	9

Din analiza rapoartelor simulării automate în timp pentru rețelele Petri din fig. 2.26 și 2.27 se observă evoluția identică a acestora.

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.26

MD	MARCAJ DESTINATIE														TRANZITII ACCESIBILE		TRANZITII EXECUTATE	MP	TIMP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PR01	PR02	PR03	PR04	PC01	PC02	PC51	PC52					
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	'TO01'	'TO05'	'nil'	'nil'	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	'TO02'		'TO01'	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	'TO03'		'TO02'	1	2
3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	'TO04'		'TO03'	2	1
4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	'TO05'		'TO04'	3	8
5	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	'TO06'		'TO05'	4	0
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	'TO07'		'TO06'	5	5
7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	'TO08'		'TO07'	6	2
8	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'nil'		'TO08'	7	3

Timp total de executie: 21

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC51  
 [1]: 11  
 Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC52  
 [1]: 21

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.27

MD	MARCAJ DESTINATIE														TRANZITII ACCESIBILE	TRANZITII EXECUTATE	MP	TIMP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PR01	PR02	PR03	PR04	PC01	PC02	PC51	PC52				
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	'TO01'	'nil'	'nil'	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	'TO02'	'TO01'	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	'TO03'	'TO02'	1	2
3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	'TO04'	'TO03'	2	1
4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	'TI01'	'TO04'	3	8
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	'TO05'	'TI01'	4	0
6	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	'TO06'	'TO05'	5	0
7	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	'TO07'	'TO06'	6	5
8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	'TO08'	'TO07'	7	2
9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	'TI02'	'TO08'	8	3
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	'nil'	'TI02'	9	0

Timp total de executie: 21

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC51

[1]: 11

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC52

[1]: 21



### Celulă reconfigurabilă cu trei centre de prelucrare, un robot și depozite de piese de intrare și ieșire

Sistemul de prelucrare (fig. 2.31) este compus din trei centre de prelucrare, CP1, CP2, CP3, un robot R, un depozit de semifabricate dotat cu dispozitiv de paletare (DS<sub>f</sub>DP) și un depozit de produse finite dotat cu dispozitiv de depaletare (DP<sub>f</sub>DD).

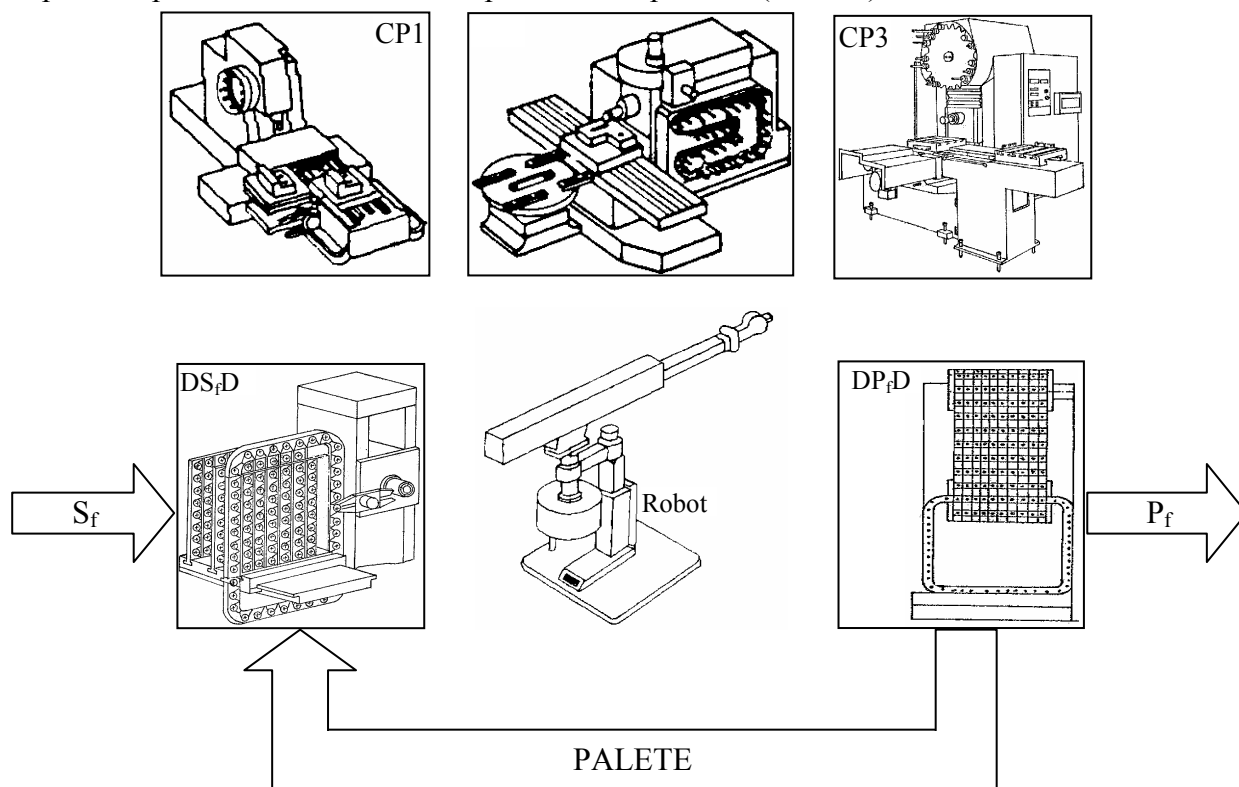


Fig. 2.31

Este necesară prelucrarea pieselor întâi de către CP1, apoi prelucrate de către CP2, și în final prelucrate de către CP3 pentru a se genera produsul finit. Centrele de prelucrare CP1 și CP3 pot fiecare să prelucreze numai câte o piesă. CP2 poate prelucra două piese simultan. Robotul, partajat de către CP1 și CP2, este folosit pentru încărcarea, prelucrarea și descărcarea pieselor pe/de pe aceste centre de prelucrare.

Funcționarea se poate împărți în patru pași cărora li se alocă câte o poziție.

**Pasul 1 (poziția  $p_{v01}$ )** - Semifabricatele ( $S_f$ ) sunt paletate de către dispozitivul de paletare din cadrul depozitului de semifabricate fiind astfel disponibile pentru a începe prelucrarea pe CP<sub>1</sub>;

**Pasul 2 (poziția  $p_{o01}$ )** - Robotul încarcă un semifabricat paletat de la DS<sub>f</sub>DP la CP<sub>1</sub>, CP<sub>1</sub> prelucrează și apoi robotul transportă semifabricatul paletat de la CP<sub>1</sub> la CP<sub>2</sub>;

**Pasul 3 (poziția  $p_{o02}$ )** - CP<sub>2</sub> prelucrează semifabricatele; un semifabricat este disponibil pentru CP<sub>3</sub>;

**Pasul 4 (poziția  $p_{o03}$ )** - Robotul transportă semifabricatele prelucrate de CP<sub>2</sub> de pe acesta pe CP<sub>3</sub>, CP<sub>3</sub> prelucrează, apoi robotul transportă produsele finite la DP<sub>f</sub>DD.

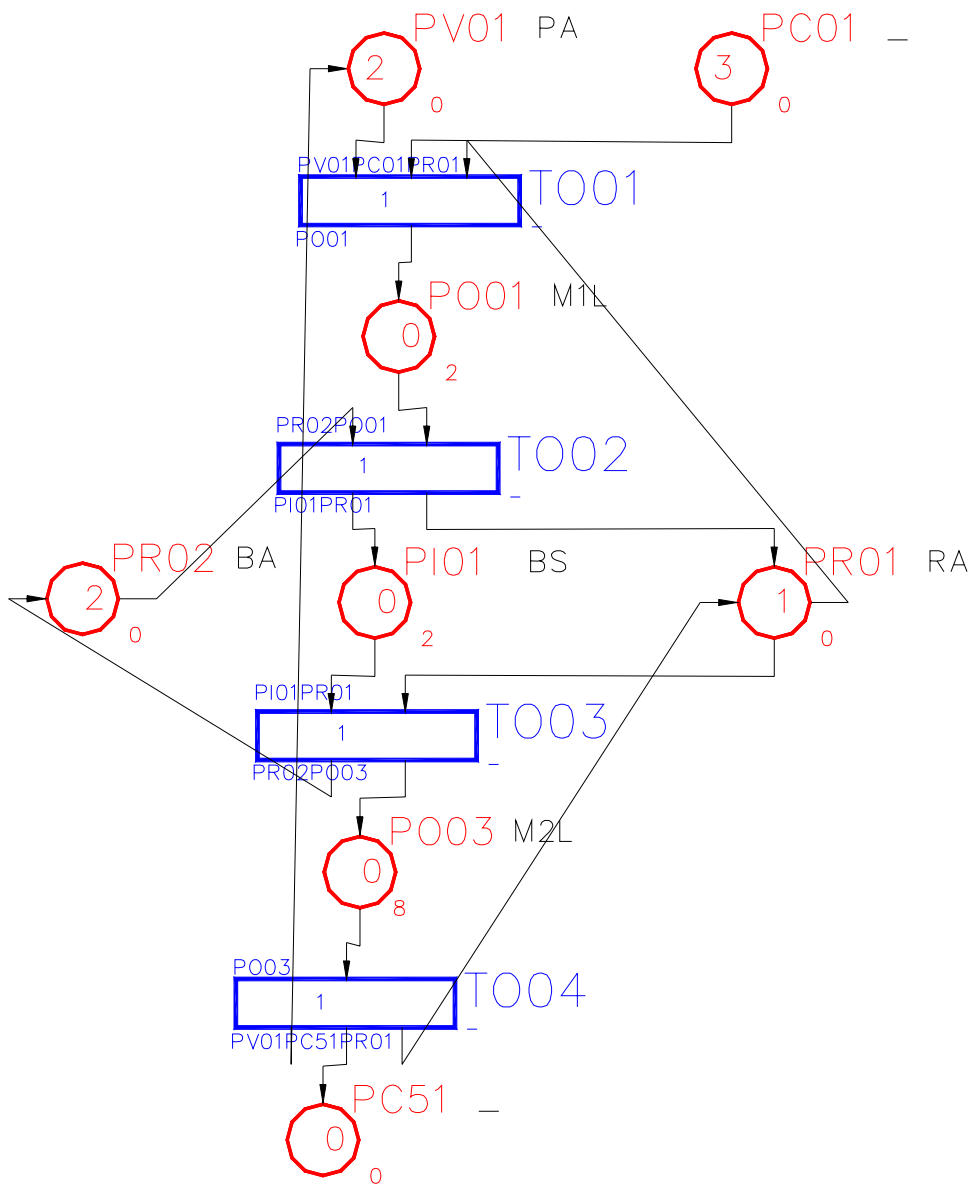


Fig. 2.32 Exemplul de excludere mutuală secvențială

Funcția de intare a RP

	T001	T002	T003	T004
PO01	0	1	0	0
PO03	0	0	0	1
PR01	1	0	1	0
PR02	0	1	0	0
PV01	1	0	0	0
PI01	0	0	1	0
PC01	1	0	0	0
PC51	0	0	0	0



Funcția de ieșire a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04
PO01	1	0	0	0
PO03	0	0	1	0
PR01	0	1	0	1
PR02	0	0	1	0
PV01	0	0	0	1
PI01	0	1	0	0
PC01	0	0	0	0
PC51	0	0	0	1

Funcția de incidență a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04
PO01	1	-1	0	0
PO03	0	0	1	-1
PR01	-1	1	-1	1
PR02	0	-1	1	0
PV01	-1	0	0	1
PI01	0	1	-1	0
PC01	-1	0	0	0
PC51	0	0	0	1

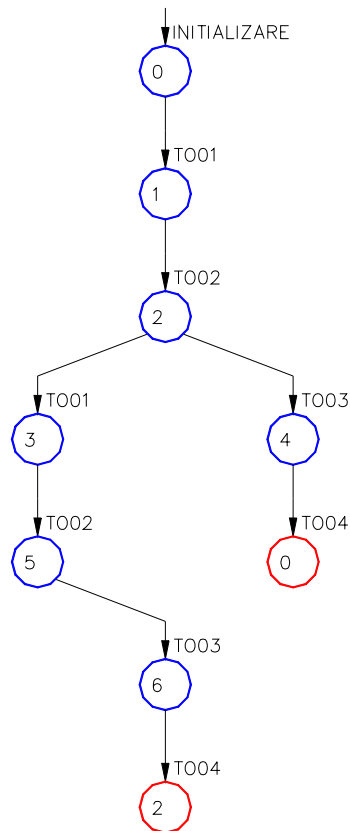


Fig. 2.33 Graful de acoperire fără blocaj pentru RP din fig. 2.32

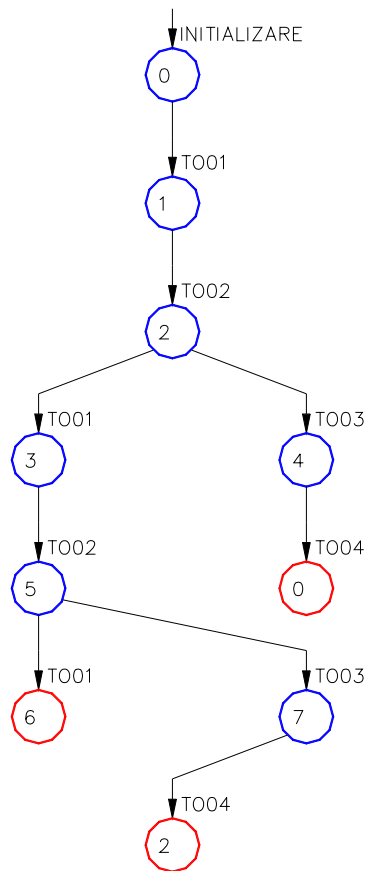


Fig. 2.34 Graful de acoperire cu blocaj pentru RP din fig. 2.32

Pentru rețeaua Petri din fig. 2.32 vom prezenta evoluția în două situații:

- marcajul poziției PV01 va fi 2, din graful de acoperire (fig. 2.33) și raportul aferent acestuia deducem că rețeaua este viabilă, mărginită și inițializabilă;
- marcajul poziției PV01 va fi 3, din graful de acoperire (fig. 2.34) și raportul aferent acestuia se observă blocajul de la marcajul 6 (centrul de prelucrare modelat de poziția PO01 lucrează, deasemenea centrul prelucrare modelat de poziția PO02 prelucrează ambele piese rezultând astfel blocajul) deducem că rețeaua nu este viabilă.

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.33 (fără blocaj)

MD	MARCAJ DESTINATIE						TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO03	PR01	PR02	PV01	PI01			
0	0	0	1	2	2	0	'TO01'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	2	1	0	'TO02'	'TO01'	0
2	0	0	1	1	1	1	'TO01' 'TO03'	'TO02'	1
3	1	0	0	1	0	1	'TO02'	'TO01'	2
4	0	1	0	2	1	0	'TO04'	'TO03'	2
5	0	0	1	0	0	2	'TO03'	'TO02'	3
0	0	0	1	2	2	0	'nil'	'TO04'	4
6	0	1	0	1	0	1	'TO04'	'TO03'	5
2	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO04'	6

Raport: Graf de acoperire fig. 2.34 (cu blocaj)

MD	MARCAJ DESTINATIE						TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO03	PR01	PR02	PV01	PI01			
0	0	0	1	2	3	0	'TO01'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	2	2	0	'TO02'	'TO01'	0
2	0	0	1	1	2	1	'TO01' 'TO03'	'TO02'	1
3	1	0	0	1	1	1	'TO02'	'TO01'	2
4	0	1	0	2	2	0	'TO04'	'TO03'	2
5	0	0	1	0	1	2	'TO01' 'TO03'	'TO02'	3
0	0	0	1	2	3	0	'nil'	'TO04'	4
6	1	0	0	0	0	2	'nil'	'TO01'	5
7	0	1	0	1	1	1	'TO04'	'TO03'	5
2	0	0	1	1	2	1	'nil'	'TO04'	7

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.32 (situatia fără blocaj)

MD	MARCAJ DESTINATIE								TRANZITII ACCESIBILE	TRANZITII EXECUTATE	MP	TIMP
	PO01	PO03	PR01	PR02	PV01	PI01	PC01	PC51				
0	0	0	1	2	2	0	3	0	'TO01'	'nil'	'nil'	0
1	1	0	0	2	1	0	2	0	'TO02'	'TO01'	0	0
2	0	0	1	1	1	1	2	0	'TO01' 'TO03'	'TO02'	1	2
3	1	0	0	1	0	1	1	0	'TO02'	'TO01'	2	0
4	0	0	1	0	0	2	1	0	'TO03'	'TO02'	3	2
5	0	1	0	1	0	1	1	0	'TO04'	'TO03'	4	0
6	0	0	1	1	1	1	1	1	'TO01' 'TO03'	'TO04'	5	8
7	1	0	0	1	0	1	0	1	'TO02'	'TO01'	6	0
8	0	0	1	0	0	2	0	1	'TO03'	'TO02'	7	2
9	0	1	0	1	0	1	0	1	'TO04'	'TO03'	8	0
10	0	0	1	1	1	1	0	2	'TO03'	'TO04'	9	8
11	0	1	0	2	1	0	0	2	'TO04'	'TO03'	10	2
12	0	0	1	2	2	0	0	3	'nil'	'TO04'	11	8

Timp total de executie: 32

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC51  
 [1]: 12, [2]: 22, [3]: 3



**Celulă reconfigurabilă de tip OPEN - SHOP**

Se consideră un sistemul de prelucrare compus din trei centre de prelucrare, șapte depozite de semifabricate dotate cu dispozitive de paletare pentru fiecare tip de piesă și șapte depozite de produse finite dotate cu dispozitive de deapalare. Fiecare centru de prelucrare este dotat cu un manipulator ce efectuează încărcarea de la depozitul de semifabricate și descărcarea la depozitul de piese finite.

Funcția de intrare a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO11	TO12	TO13	TO14	TO15	TO16	TO17
PO01	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PO02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PO03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PO04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PO05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PO06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PO07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
PR01	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
PV01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV02	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV03	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV04	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV05	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PV07	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PC01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC02	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC03	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC04	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC05	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PC07	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Funcția de ieșire a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO11	TO12	TO13	TO14	TO15	TO16	TO17
PO01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO02	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO03	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO04	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO05	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PO07	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PR01	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
PV01	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PV02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PV03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PV04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PV05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PV06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PV07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
PC01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PC53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PC54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PC55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PC56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PC57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Funcția de incidență a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO11	TO12	TO13	TO14	TO15	TO16	TO17
PO01	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
PO02	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
PO03	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
PO04	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
PO05	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
PO06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0
PO07	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1
PR01	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
PV01	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PV02	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PV03	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PV04	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PV05	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PV06	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0
PV07	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1
PC01	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC02	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC03	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC04	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC05	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC06	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
PC07	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PC53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PC54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PC55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PC56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PC57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



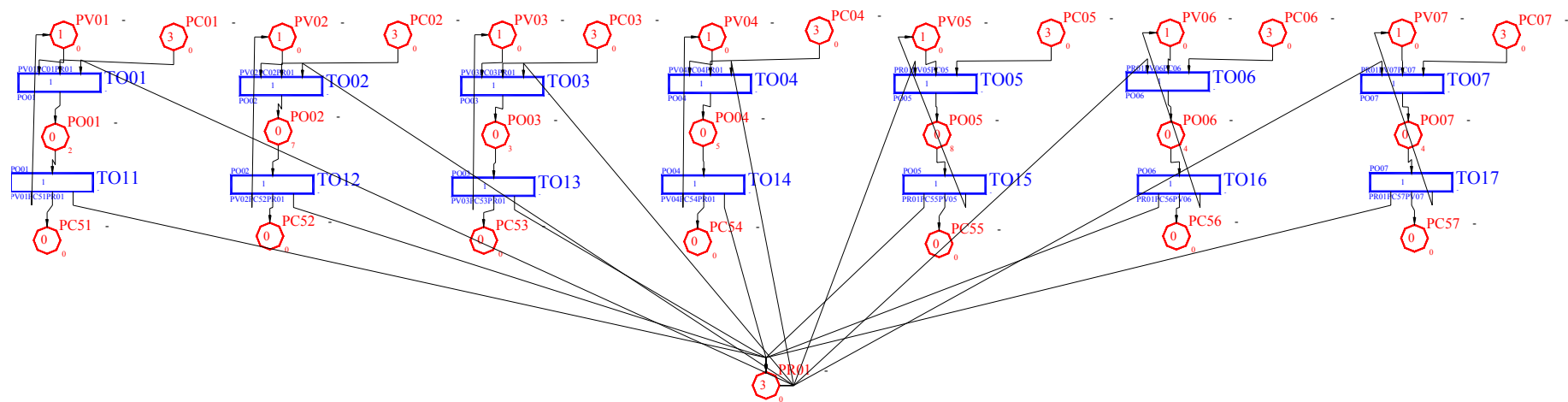


Fig. 2.35 Modelul cu rețea Petri pentru celula reconfigurabilă de tip OPEN - SHOP

Raport: Graf de acoperire

[pagina 1/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																TRANZITII ACCESIBILE							DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'			
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'nil'	'nil'	
1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO01'	0	
2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO02'	0	
3	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO13'	'TO03'	0	
4	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO14'	'TO04'	0	
5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO06'	'TO07'	'TO15'	'TO05'	0	
6	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	1	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO07'	'TO16'	'TO06'	0	
7	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO17'	'TO07'	0	
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO12'	'TO02'	1	
9	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	'TO02'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO13'	'TO03'	1	
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	'TO02'	'TO03'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO14'	'TO04'	1	
11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO15'	'TO05'	1	
12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO07'	'TO11'	'TO16'	'TO06'	1	
13	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO11'	'TO17'	'TO07'	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'nil'							'TO11'	1	
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	'nil'							'TO01'	2	
14	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	'TO01'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO13'	'TO03'	2	
15	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'TO01'	'TO03'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO14'	'TO04'	2	
16	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO15'	'TO05'	2	
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO07'	'TO12'	'TO16'	'TO06'	2	
18	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO12'	'TO17'	'TO07'	2	
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'nil'							'TO12'	2	
9	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	'nil'							'TO01'	3	
14	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	'nil'							'TO02'	3	
19	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	'TO01'	'TO02'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO13'	'TO14'	'TO04'	3	
20	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO06'	'TO07'	'TO13'	'TO15'	'TO05'	3	
21	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO05'	'TO07'	'TO13'	'TO16'	'TO06'	3	
22	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO13'	'TO17'	'TO07'	3	

Raport: Graf de acoperire

[pagina 2/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO13'	3
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO01'	4
15	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO02'	4
19	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	'nil'	'TO03'	4
23	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'TO01' 'TO02' 'TO03' 'TO06' 'TO07' 'TO14' 'TO15'	'TO05'	4
24	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	'TO01' 'TO02' 'TO03' 'TO05' 'TO07' 'TO14' 'TO16'	'TO06'	4
25	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	'TO01' 'TO02' 'TO03' 'TO05' 'TO06' 'TO14' 'TO17'	'TO07'	4
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO14'	4
11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO01'	5
16	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO02'	5
20	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	'nil'	'TO03'	5
23	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'nil'	'TO04'	5
26	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	'TO01' 'TO02' 'TO03' 'TO04' 'TO07' 'TO15' 'TO16'	'TO06'	5
27	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	'TO01' 'TO02' 'TO03' 'TO04' 'TO06' 'TO15' 'TO17'	'TO07'	5
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO15'	5
12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO01'	6
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO02'	6
21	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	'nil'	'TO03'	6
24	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	'nil'	'TO04'	6
26	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	'nil'	'TO05'	6
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	'TO01' 'TO02' 'TO03' 'TO04' 'TO05' 'TO16' 'TO17'	'TO07'	6
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO16'	6
13	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO01'	7
18	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO02'	7
22	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	'nil'	'TO03'	7
25	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	'nil'	'TO04'	7
27	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	'nil'	'TO05'	7
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	'nil'	'TO06'	7

Raport: Graf de acoperire

[pagina 3/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO17'	7
29	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'TO11' 'TO12' 'TO13'	'TO03'	8
30	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	'TO11' 'TO12' 'TO14'	'TO04'	8
31	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	'TO11' 'TO12' 'TO15'	'TO05'	8
32	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	'TO11' 'TO12' 'TO16'	'TO06'	8
33	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	'TO11' 'TO12' 'TO17'	'TO07'	8
2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO11'	8
1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO12'	8
29	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO02'	9
34	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	'TO11' 'TO13' 'TO14'	'TO04'	9
35	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	'TO11' 'TO13' 'TO15'	'TO05'	9
36	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	'TO11' 'TO13' 'TO16'	'TO06'	9
37	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	'TO11' 'TO13' 'TO17'	'TO07'	9
3	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO11'	9
1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO13'	9
30	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO02'	10
34	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	'nil'	'TO03'	10
38	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	'TO11' 'TO14' 'TO15'	'TO05'	10
39	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	'TO11' 'TO14' 'TO16'	'TO06'	10
40	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	'TO11' 'TO14' 'TO17'	'TO07'	10
4	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO11'	10
1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO14'	10
31	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO02'	11
35	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	'nil'	'TO03'	11
38	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	'nil'	'TO04'	11
41	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	'TO11' 'TO15' 'TO16'	'TO06'	11
42	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	'TO11' 'TO15' 'TO17'	'TO07'	11
5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO11'	11
1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO15'	11

Raport: Graf de acoperire

[pagina 4/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
32	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO02'	12
36	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	'nil'	'TO03'	12
39	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	'nil'	'TO04'	12
41	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	'nil'	'TO05'	12
43	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	'TO11' 'TO16' 'TO17'	'TO07'	12
6	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO11'	12
1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO16'	12
33	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO02'	13
37	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	'nil'	'TO03'	13
40	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	'nil'	'TO04'	13
42	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	'nil'	'TO05'	13
43	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	'nil'	'TO06'	13
7	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO11'	13
1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO17'	13
29	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO01'	14
44	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	'TO12' 'TO13' 'TO14'	'TO04'	14
45	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	'TO12' 'TO13' 'TO15'	'TO05'	14
46	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	'TO12' 'TO13' 'TO16'	'TO06'	14
47	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	'TO12' 'TO13' 'TO17'	'TO07'	14
3	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO12'	14
2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO13'	14
30	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO01'	15
44	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	'nil'	'TO03'	15
48	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	'TO12' 'TO14' 'TO15'	'TO05'	15
49	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	'TO12' 'TO14' 'TO16'	'TO06'	15
50	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	'TO12' 'TO14' 'TO17'	'TO07'	15
4	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO12'	15
2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO14'	15
31	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO01'	16

## Raport: Graf de acoperire

[pagina 5/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
45	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	'nil'	'TO03'	16
48	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	'nil'	'TO04'	16
51	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	'TO12' 'TO15' 'TO16'	'TO06'	16
52	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	'TO12' 'TO15' 'TO17'	'TO07'	16
5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO12'	16
2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO15'	16
32	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO01'	17
46	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	'nil'	'TO03'	17
49	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	'nil'	'TO04'	17
51	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	'nil'	'TO05'	17
53	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	'TO12' 'TO16' 'TO17'	'TO07'	17
6	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO12'	17
2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO16'	17
33	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO01'	18
47	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	'nil'	'TO03'	18
50	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	'nil'	'TO04'	18
52	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	'nil'	'TO05'	18
53	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	'nil'	'TO06'	18
7	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO12'	18
2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO17'	18
34	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	'nil'	'TO01'	19
44	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	'nil'	'TO02'	19
54	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	'TO13' 'TO14' 'TO15'	'TO05'	19
55	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	'TO13' 'TO14' 'TO16'	'TO06'	19
56	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	'TO13' 'TO14' 'TO17'	'TO07'	19
4	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO13'	19
3	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO14'	19
35	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	'nil'	'TO01'	20

## Raport: Graf de acoperire

[pagina 6/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
45	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	'nil'	'TO02'	20
54	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	'nil'	'TO04'	20
57	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	'TO13' 'TO15' 'TO16'	'TO06'	20
58	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	'TO13' 'TO15' 'TO17'	'TO07'	20
5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO13'	20
3	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO15'	20
36	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	'nil'	'TO01'	21
46	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	'nil'	'TO02'	21
55	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	'nil'	'TO04'	21
57	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	'nil'	'TO05'	21
59	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	'TO13' 'TO16' 'TO17'	'TO07'	21
6	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO13'	21
3	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO16'	21
37	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	'nil'	'TO01'	22
47	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	'nil'	'TO02'	22
56	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	'nil'	'TO04'	22
58	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	'nil'	'TO05'	22
59	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	'nil'	'TO06'	22
7	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO13'	22
3	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO17'	22
38	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	'nil'	'TO01'	23
48	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	'nil'	'TO02'	23
54	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	'nil'	'TO03'	23
60	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	'TO14' 'TO15' 'TO16'	'TO06'	23
61	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	'TO14' 'TO15' 'TO17'	'TO07'	23
5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO14'	23
4	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO15'	23
39	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	'nil'	'TO01'	24

## Raport: Graf de acoperire

[pagina 7/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
49	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	'nil'	'TO02'	24
55	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	'nil'	'TO03'	24
60	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	'nil'	'TO05'	24
62	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	'TO14' 'TO16' 'TO17'	'TO07'	24
6	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO14'	24
4	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO16'	24
40	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	'nil'	'TO01'	25
50	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	'nil'	'TO02'	25
56	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	'nil'	'TO03'	25
61	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	'nil'	'TO05'	25
62	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	'nil'	'TO06'	25
7	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO14'	25
4	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO17'	25
41	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	'nil'	'TO01'	26
51	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	'nil'	'TO02'	26
57	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	'nil'	'TO03'	26
60	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	'nil'	'TO04'	26
63	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	'TO15' 'TO16' 'TO17'	'TO07'	26
6	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO15'	26
5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO16'	26
42	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	'nil'	'TO01'	27
52	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	'nil'	'TO02'	27
58	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	'nil'	'TO03'	27
61	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	'nil'	'TO04'	27
63	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	'nil'	'TO06'	27
7	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO15'	27
5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO17'	27
43	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	'nil'	'TO01'	28



## Raport: Graf de acoperire

[pagina 8/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
53	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	'nil'	'TO02'	28
59	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	'nil'	'TO03'	28
62	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	'nil'	'TO04'	28
63	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	'nil'	'TO05'	28
7	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO16'	28
6	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO17'	28
14	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO11'	29
9	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO12'	29
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO13'	29
15	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO11'	30
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO12'	30
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO14'	30
16	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO11'	31
11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO12'	31
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO15'	31
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO11'	32
12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO12'	32
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO16'	32
18	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO11'	33
13	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO12'	33
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	'nil'	'TO17'	33
19	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	'nil'	'TO11'	34
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO13'	34
9	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO14'	34
20	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	'nil'	'TO11'	35
11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO13'	35
9	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO15'	35
21	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	'nil'	'TO11'	36

Raport: Graf de acoperire

[pagina 9/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO13'	36
9	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO16'	36
22	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	'nil'	'TO11'	37
13	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO13'	37
9	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	'nil'	'TO17'	37
23	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'nil'	'TO11'	38
11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO14'	38
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO15'	38
24	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	'nil'	'TO11'	39
12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO14'	39
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO16'	39
25	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	'nil'	'TO11'	40
13	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO14'	40
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	'nil'	'TO17'	40
26	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	'nil'	'TO11'	41
12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO15'	41
11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO16'	41
27	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	'nil'	'TO11'	42
13	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO15'	42
11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO17'	42
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	'nil'	'TO11'	43
13	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO16'	43
12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO17'	43
19	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	'nil'	'TO12'	44
15	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO13'	44
14	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO14'	44
20	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	'nil'	'TO12'	45
16	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO13'	45

Raport: Graf de acoperire

[pagina 10/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
14	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO15'	45
21	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	'nil'	'TO12'	46
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO13'	46
14	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO16'	46
22	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	'nil'	'TO12'	47
18	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO13'	47
14	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	'nil'	'TO17'	47
23	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'nil'	'TO12'	48
16	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO14'	48
15	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO15'	48
24	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	'nil'	'TO12'	49
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO14'	49
15	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO16'	49
25	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	'nil'	'TO12'	50
18	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO14'	50
15	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	'nil'	'TO17'	50
26	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	'nil'	'TO12'	51
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO15'	51
16	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO16'	51
27	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	'nil'	'TO12'	52
18	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO15'	52
16	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO17'	52
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	'nil'	'TO12'	53
18	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO16'	53
17	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	'nil'	'TO17'	53
23	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'nil'	'TO13'	54
20	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	'nil'	'TO14'	54
19	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	'nil'	'TO15'	54

Raport: Graf de acoperire

[pagina 11/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE															TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07			
24	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	'nil'	'T013'	55
21	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	'nil'	'T014'	55
19	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	'nil'	'T016'	55
25	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	'nil'	'T013'	56
22	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	'nil'	'T014'	56
19	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	'nil'	'T017'	56
26	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	'nil'	'T013'	57
21	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	'nil'	'T015'	57
20	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	'nil'	'T016'	57
27	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	'nil'	'T013'	58
22	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	'nil'	'T015'	58
20	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	'nil'	'T017'	58
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	'nil'	'T013'	59
22	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	'nil'	'T016'	59
21	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	'nil'	'T017'	59
26	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	'nil'	'T014'	60
24	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	'nil'	'T015'	60
23	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'nil'	'T016'	60
27	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	'nil'	'T014'	61
25	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	'nil'	'T015'	61
23	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	'nil'	'T017'	61
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	'nil'	'T014'	62
25	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	'nil'	'T016'	62
24	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	'nil'	'T017'	62
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	'nil'	'T015'	63
27	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	'nil'	'T016'	63
26	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	'nil'	'T017'	63

Raport: Simulare automata cu timp

MD	MARCAJ DESTINATIE																											TRANZITII ACCESIBILE							MP	TIMP										
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PR01	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07	PC01	PC02	PC03	PC04	PC05	PC06	PC07	PC51	PC52	PC53	PC54	PC55	PC56	PC57	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'			'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO12'	'TO13'	'TO14'	'TO15'	'TO16'	'TO17'	
0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO12'	'TO13'	'TO14'	'TO15'	'TO16'	'TO17'	'nil'	'nil'	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	'TO11'	'TO12'	'TO13'								'TO01'	'TO02'	'TO03'			0	0		
2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	1	0	0	0	0	0	'TO01'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO13'	'TO11'							'TO01'		1	2	
3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	1	0	0	0	0	0	'TO11'	'TO12'	'TO13'								'TO01'						2	0	
4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	1	0	1	0	0	0	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO11'	'TO12'	'TO13'							'TO03'		3	1	
5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	3	3	3	3	1	0	1	0	0	0	'TO11'	'TO12'	'TO13'								'TO03'						4	0	
6	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	2	1	3	3	3	3	2	0	1	0	0	0	'TO01'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO13'	'TO11'							'TO01'		5	1	
7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	2	1	3	3	3	2	0	1	0	0	0	'TO11'	'TO12'	'TO13'								'TO01'						6	0	
8	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	0	2	1	3	3	3	3	0	2	0	0	0	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'		'TO11'	'TO13'							7	2		
9	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	2	0	2	3	3	3	0	2	0	0	0	'TO12'	'TO13'	'TO14'								'TO03'	'TO04'					8	0	
10	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	2	0	2	3	3	3	1	2	0	0	0	'TO02'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO13'	'TO14'	'TO12'								'TO02'		9	1	
11	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	2	3	3	3	1	2	0	0	0	'TO12'	'TO13'	'TO14'								'TO02'						10	0	
12	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	2	3	3	3	1	3	0	0	0	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO14'								'TO13'					11	2
13	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	2	2	3	3	1	3	0	0	0	'TO12'	'TO14'	'TO15'								'TO05'						12	0	
14	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	2	2	3	3	1	3	1	0	0	'TO04'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO15'								'TO14'					13	2
15	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	2	3	3	1	3	1	0	0	'TO12'	'TO14'	'TO15'								'TO04'						14	0	
16	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	2	3	3	2	3	1	0	0	'TO02'	'TO06'	'TO07'	'TO14'	'TO15'							'TO12'					15	3	
17	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	2	3	3	2	3	1	0	0	'TO12'	'TO14'	'TO15'								'TO02'						16	0	
18	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	2	3	3	2	3	2	0	0	'TO04'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO15'							'TO14'						17	2
19	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	2	3	3	2	3	2	0	0	0	'TO12'	'TO14'	'TO15'								'TO04'						18	0	
20	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	2	3	3	3	2	3	2	1	0	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO12'	'TO14'							'TO15'						19	1
21	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	3	3	3	2	3	2	1	0	'TO12'	'TO14'	'TO15'								'TO05'						20	0	
22	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	3	3	3	3	3	1	0	0	'TO06'	'TO07'	'TO15'								'TO12'	'TO14'					21	4	
23	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	3	3	1	0	0	'TO15'	'TO16'	'TO17'								'TO06'	'TO07'					22	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	2	3	3	3	2	1	1	'TO05'	'TO06'	'TO07'								'TO15'	'TO16'	'TO17'				23	4	
25	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	3	3	2	1	1	'TO15'	'TO16'	'TO17'								'TO05'	'TO06'	'TO07'				24	0	
26	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	3	3	3	3	2	2	2	'TO06'	'TO07'	'TO15'								'TO16'	'TO17'					25	4	
27	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	2	2	2	'TO15'	'TO16'	'TO17'								'TO06'	'TO07'					26	0		
28	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	'nil'										'TO15'	'TO16'	'TO17'					27	4

Timp total de executie: 33

- Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC51  
[1]: 2, [2]: 4, [3]: 6
- Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC52  
[1]: 7, [2]: 14, [3]: 21
- Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC53  
[1]: 3, [2]: 6, [3]: 9
- Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC54  
[1]: 11, [2]: 16, [3]: 21
- Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC55  
[1]: 17, [2]: 25, [3]: 33
- Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC56  
[1]: 25, [2]: 29, [3]: 33
- Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC57  
[1]: 25, [2]: 29, [3]: 33

## Celulă reconfigurabilă de tip JOB - SHOP

Se consideră un sistem de prelucrare format din: patru centre de prelucrare ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ), trei depozite de semifabricate dotate cu dispozitiv de paletare ( $P_1, P_2, P_3$ ), patru roboți ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ) partajați operației de încărcare/descărcare a centrelor de prelucrare corespunzătoare ( $R_1$  pentru  $M_1, R_2$  pentru  $M_2$ , etc.), în final produsele rezultate în urma procesului de prelucrare sunt stocate într-un depozit de produse finite dotat cu dispozitiv de depaletare.

Specificația funcționării sistemului este următoarea:

1. Prelucrarea pieselor de tipul  $P_1$  se face pe toate cele patru centre de prelucrare în ordinea:  $M_1, M_2, M_3, M_4$ .
2. Prelucrarea pieselor de tipul  $P_2$  se face doar pe trei centre de prelucrare în ordinea:  $M_1, M_4, M_3$ .
3. Prelucrarea pieselor de tipul  $P_3$  se face doar pe trei centre de prelucrare în ordinea:  $M_1, M_2, M_4$ .

În continuare vom analiza modelul RP pentru aplicația expusă mai sus în două cazuri: când se urmărește determinarea capacității procesuale minime a RP (fig. 2.37), respectiv capacitatea procesuală maximă a RP (fig. 2.38).

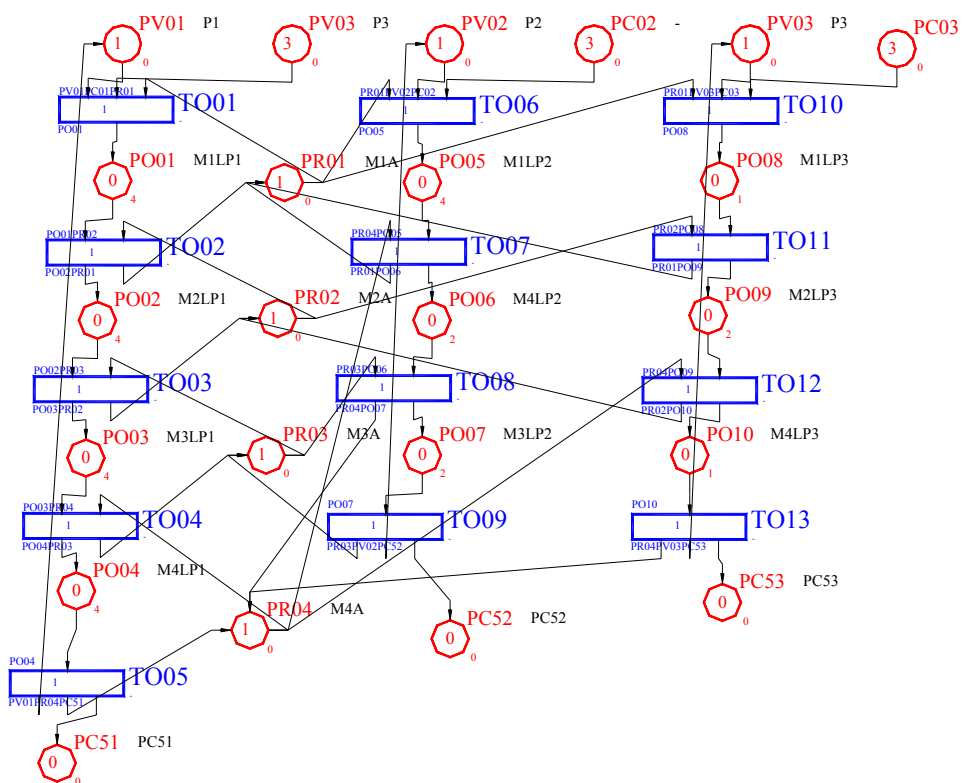


Fig. 2.37

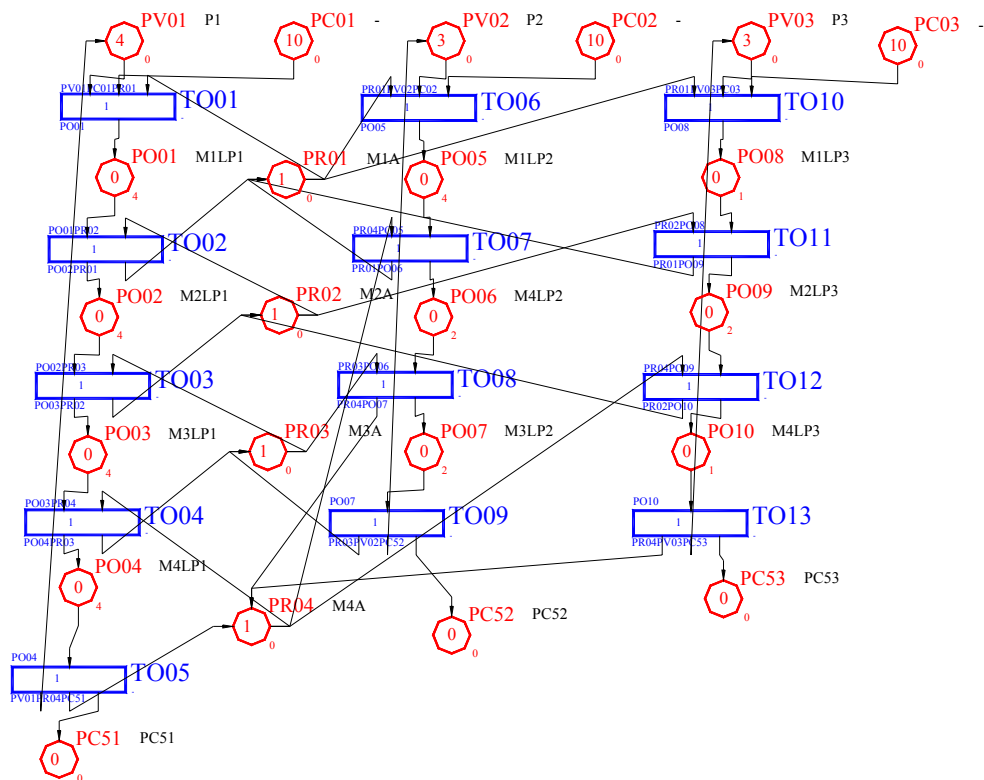


Fig. 2.38

Funcția de intrare a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO08	TO09	TO10	TO11	TO12	TO13
PO01	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO02	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO03	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO04	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PO05	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PO06	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PO07	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PO08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PO09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PO10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
PR01	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
PR02	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PR03	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PR04	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
PV01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV02	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PV03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PC02	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PC03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PC51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Funcția de ieșire a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO08	TO09	TO10	TO11	TO12	TO13
PO01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO02	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO03	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO04	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO05	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Proiect CEEEX 22-Etapa III-2007

PO06	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PO07	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PO08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
PO09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PO10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PR01	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
PR02	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PR03	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PR04	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
PV01	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PV02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PV03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
PV03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
PC02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC51	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PC53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Funcția de intrare a RP

	TO01	TO02	TO03	TO04	TO05	TO06	TO07	TO08	TO09	TO10	TO11	TO12	TO13
PO01	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO02	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO03	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO04	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
PO05	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
PO06	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
PO07	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
PO08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
PO09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
PO10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
PR01	-1	1	0	0	0	-1	1	0	0	-1	1	0	0
PR02	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
PR03	0	0	-1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
PR04	0	0	0	-1	1	0	-1	1	0	0	0	-1	1
PV01	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PV02	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0
PV03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1
PV03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1
PC02	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
PC03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
PC51	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PC52	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PC53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



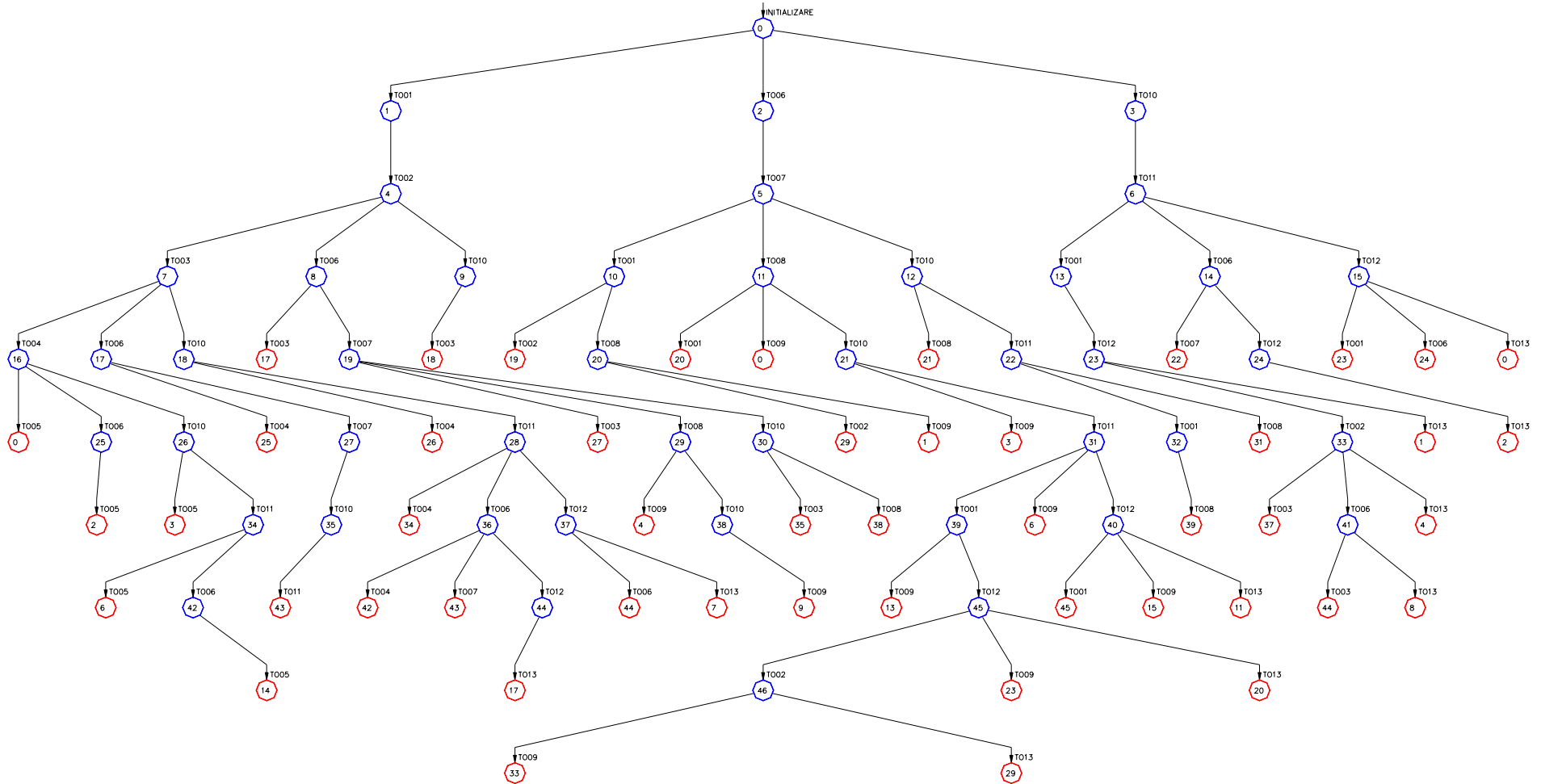


Fig. 2.39 Graf de acoperire pentru RP din fig. 2.37

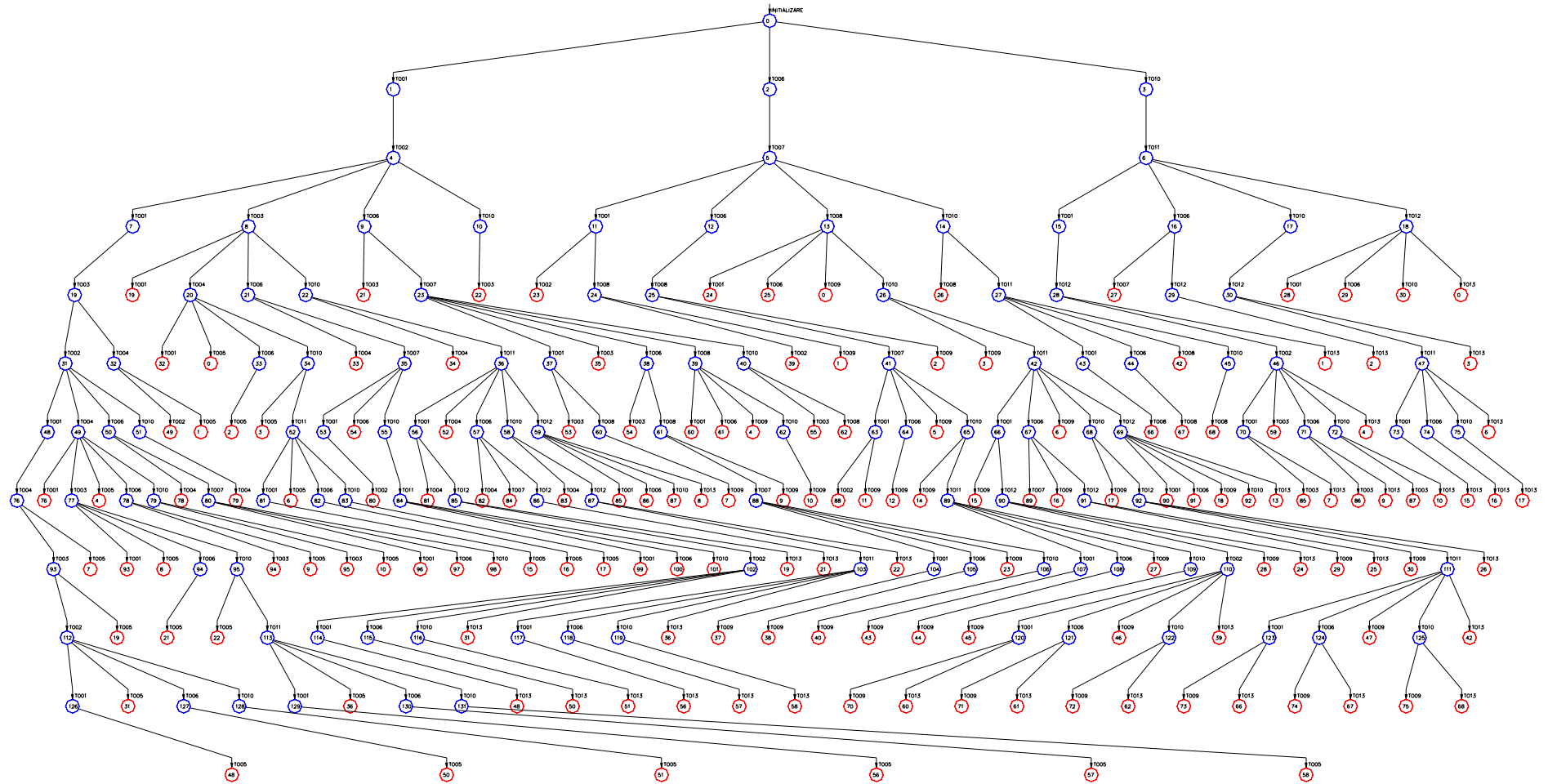


Fig. 2.40 Graf de acoperire pentru RP din fig. 2.38

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.39

[pagina 1/5]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE			DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	'TO01'	'TO06'	'TO10'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	'TO02'			'TO01'	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	'TO07'			'TO06'	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	'TO11'			'TO10'	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	'TO03'	'TO06'	'TO10'	'TO02'	1
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	'TO01'	'TO08'	'TO10'	'TO07'	2
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	'TO01'	'TO06'	'TO12'	'TO11'	3
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	'TO04'	'TO06'	'TO10'	'TO03'	4
8	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	'TO03'	'TO07'		'TO06'	4
9	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	'TO03'			'TO10'	4
10	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	'TO02'	'TO08'		'TO01'	5
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	'TO01'	'TO09'	'TO10'	'TO08'	5
12	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	'TO08'	'TO11'		'TO10'	5
13	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	'TO12'			'TO01'	6
14	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	'TO07'	'TO12'		'TO06'	6
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	'TO01'	'TO06'	'TO13'	'TO12'	6
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	'TO05'	'TO06'	'TO10'	'TO04'	7
17	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	'TO04'	'TO07'		'TO06'	7
18	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	'TO04'	'TO11'		'TO10'	7
17	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	'nil'			'TO03'	8
19	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	'TO03'	'TO08'	'TO10'	'TO07'	8
18	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	'nil'			'TO03'	9
19	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	'nil'			'TO02'	10

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.39

[pagina 2/5]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
20	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	'TO02' 'TO09'	'TO08'	10
20	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	'nil'	'TO01'	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO09'	11
21	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	'TO09' 'TO11'	'TO10'	11
21	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	'nil'	'TO08'	12
22	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	'TO01' 'TO08'	'TO11'	12
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	'TO02' 'TO13'	'TO12'	13
22	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	'nil'	'TO07'	14
24	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	'TO13'	'TO12'	14
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	'nil'	'TO01'	15
24	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	'nil'	'TO06'	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO13'	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'TO05'	16
25	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	'TO05'	'TO06'	16
26	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	'TO05' 'TO11'	'TO10'	16
25	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	'nil'	'TO04'	17
27	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	'TO10'	'TO07'	17
26	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	'nil'	'TO04'	18
28	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	'TO04' 'TO06' 'TO12'	'TO11'	18
27	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	'nil'	'TO03'	19
29	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	'TO09' 'TO10'	'TO08'	19
30	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	'TO03' 'TO08'	'TO10'	19

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.39

[pagina 3/5]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
29	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	'nil'	'TO02'	20
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO09'	20
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO09'	21
31	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	'TO01' 'TO09' 'TO12'	'TO11'	21
32	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	'TO08'	'TO01'	22
31	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	'nil'	'TO08'	22
33	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	'TO03' 'TO06' 'TO13'	'TO02'	23
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	'nil'	'TO13'	23
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO13'	24
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	'nil'	'TO05'	25
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	'nil'	'TO05'	26
34	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	'TO05' 'TO06'	'TO11'	26
35	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	'TO11'	'TO10'	27
34	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	'nil'	'TO04'	28
36	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	'TO04' 'TO07' 'TO12'	'TO06'	28
37	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	'TO06' 'TO13'	'TO12'	28
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO09'	29
38	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	'TO09'	'TO10'	29
35	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	'nil'	'TO03'	30
38	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	'nil'	'TO08'	30
39	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	'TO09' 'TO12'	'TO01'	31
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO09'	31

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.39

[pagina 4/5]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
40	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	'TO01' 'TO09' 'TO13'	'TO12'	31
39	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	'nil'	'TO08'	32
37	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	'nil'	'TO03'	33
41	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	'TO03' 'TO13'	'TO06'	33
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	'nil'	'TO13'	33
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	'nil'	'TO05'	34
42	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	'TO05'	'TO06'	34
43	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	'nil'	'TO11'	35
42	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	'nil'	'TO04'	36
43	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	'nil'	'TO07'	36
44	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	'TO13'	'TO12'	36
44	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	'nil'	'TO06'	37
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	'nil'	'TO13'	37
9	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	'nil'	'TO09'	38
13	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	'nil'	'TO09'	39
45	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	'TO02' 'TO09' 'TO13'	'TO12'	39
45	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	'nil'	'TO01'	40
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	'nil'	'TO09'	40
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	'nil'	'TO13'	40
44	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	'nil'	'TO03'	41
8	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	'nil'	'TO13'	41

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.39

[pagina 5/5]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
14	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	'nil'	'TO05'	42
17	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	'nil'	'TO13'	44
46	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	'TO09' 'TO13'	'TO02'	45
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	'nil'	'TO09'	45
20	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	'nil'	'TO13'	45
33	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	'nil'	'TO09'	46
29	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	'nil'	'TO13'	46

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 1/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3	3	'TO01' 'TO06' 'TO10'	'nil'	'nil'
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	3	'TO02'	'TO01'	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	2	3	'TO07'	'TO06'	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	4	3	2	'TO11'	'TO10'	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3	3	'TO01' 'TO03' 'TO06' 'TO10'	'TO02'	1
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4	2	3	'TO01' 'TO06' 'TO08' 'TO10'	'TO07'	2
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	2	'TO01' 'TO06' 'TO10' 'TO12'	'TO11'	3
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	'TO03'	'TO01'	4
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3	3	3	'TO01' 'TO04' 'TO06' 'TO10'	'TO03'	4
9	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	3	'TO03' 'TO07'	'TO06'	4
10	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	3	2	'TO03'	'TO10'	4
11	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	3	'TO02' 'TO08'	'TO01'	5
12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	4	1	3	'TO08'	'TO06'	5
13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	4	2	3	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10'	'TO08'	5
14	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	4	2	2	'TO08' 'TO11'	'TO10'	5
15	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	3	2	'TO12'	'TO01'	6
16	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	4	2	2	'TO07' 'TO12'	'TO06'	6
17	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	1	'TO12'	'TO10'	6
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	3	2	'TO01' 'TO06' 'TO10' 'TO13'	'TO12'	6
19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	3	'TO02' 'TO04'	'TO03'	7
19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	3	'nil'	'TO01'	8
20	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3	3	3	'TO01' 'TO05' 'TO06' 'TO10'	'TO04'	8
21	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	'TO04' 'TO07'	'TO06'	8
22	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3	3	2	'TO04' 'TO11'	'TO10'	8
21	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	'nil'	'TO03'	9
23	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3	2	3	'TO01' 'TO03' 'TO06' 'TO08' 'TO10'	'TO07'	9
22	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3	3	2	'nil'	'TO03'	10



Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 2/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																		TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP		
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03						
23	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3	2	3	'nil'	'TO02'	11			
24	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	'TO02'	'TO09'	'TO08'	11		
25	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	3	'TO07'	'TO09'	'TO08'	12		
24	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	'nil'		'TO01'	13		
25	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	3	'nil'		'TO06'	13		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3	3	'nil'		'TO09'	13		
26	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	4	2	2	'TO09'	'TO11'	'TO10'	13		
26	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	4	2	2	'nil'		'TO08'	14		
27	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	4	2	2	'TO01'	'TO06'	'TO08'	'TO10'	'TO11'	14
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3	3	2	'TO02'	'TO13'	'TO12'	15		
27	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	4	2	2	'nil'		'TO07'	16		
29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	4	2	2	'TO13'		'TO12'	16		
30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4	3	1	'TO11'	'TO13'	'TO12'	17		
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3	3	2	'nil'		'TO01'	18		
29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	4	2	2	'nil'		'TO06'	18		
30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4	3	1	'nil'		'TO10'	18		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3	3	'nil'		'TO13'	18		
31	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	3	3	'TO01'	'TO04'	'TO06'	'TO10'	'TO02'	19
32	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	3	3	'TO02'	'TO05'	'TO04'	19		
32	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	3	3	'nil'		'TO01'	20		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3	3	'nil'		'TO05'	20		
33	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	3	'TO05'		'TO06'	20		
34	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	3	3	2	'TO05'	'TO11'	'TO10'	20		
33	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	3	'nil'		'TO04'	21		
35	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3	2	3	'TO01'	'TO06'	'TO10'	'TO07'	21	
34	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	3	3	2	'nil'		'TO04'	22		

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 3/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
36	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	3	3	2	'TO01' 'TO04' 'TO06' 'TO10' 'TO12'	'TO11'	22
37	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	3	'TO03' 'TO08'	'TO01'	23
35	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3	2	3	'nil'	'TO03'	23
38	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	3	'TO03' 'TO08'	'TO06'	23
39	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	2	3	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10'	'TO08'	23
40	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	3	2	2	'TO03' 'TO08'	'TO10'	23
39	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	2	3	'nil'	'TO02'	24
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	3	'nil'	'TO09'	24
41	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	4	1	3	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10'	'TO07'	25
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	2	3	'nil'	'TO09'	25
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	4	3	2	'nil'	'TO09'	26
42	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4	2	2	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10' 'TO12'	'TO11'	26
43	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	3	2	2	'TO08'	'TO01'	27
44	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	4	1	2	'TO08'	'TO06'	27
42	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4	2	2	'nil'	'TO08'	27
45	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	4	2	1	'TO08'	'TO10'	27
46	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3	3	2	'TO01' 'TO03' 'TO06' 'TO10' 'TO13'	'TO02'	28
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	3	'nil'	'TO13'	28
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	2	3	'nil'	'TO13'	29
47	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	3	1	'TO01' 'TO06' 'TO10' 'TO13'	'TO11'	30
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	4	3	2	'nil'	'TO13'	30
48	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	'TO04'	'TO01'	31
49	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	3	3	'TO01' 'TO03' 'TO05' 'TO06' 'TO10'	'TO04'	31
50	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	'TO04' 'TO07'	'TO06'	31
51	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	3	2	'TO04'	'TO10'	31
49	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	3	3	'nil'	'TO02'	32

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 4/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP			
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03						
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	3	'nil'	'TO05'	32			
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	2	3	'nil'	'TO05'	33			
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	4	3	2	'nil'	'TO05'	34			
52	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3	3	2	'TO01'	'TO05'	'TO06'	'TO10'	'TO11'	34
53	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	3	'TO02'	'TO01'			35	
54	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	3	'nil'	'TO06'			35	
55	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3	2	2	'TO11'	'TO10'			35	
56	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	3	2	'TO04'	'TO12'	'TO01'		36	
52	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3	3	2	'nil'	'TO04'			36	
57	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	2	'TO04'	'TO07'	'TO12'	'TO06'	36	
58	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3	3	1	'TO04'	'TO12'	'TO10'		36	
59	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3	3	2	'TO01'	'TO06'	'TO10'	'TO13'	'TO12'	36
53	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	3	'nil'	'TO03'			37	
60	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	'TO09'	'TO08'			37	
54	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	3	'nil'	'TO03'			38	
61	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	1	3	'TO07'	'TO09'	'TO08'		38	
60	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	'nil'	'TO01'			39	
61	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	1	3	'nil'	'TO06'			39	
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3	3	'nil'	'TO09'			39	
62	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	3	2	2	'TO09'	'TO10'			39	
55	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3	2	2	'nil'	'TO03'			40	
62	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	3	2	2	'nil'	'TO08'			40	
63	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3	1	3	'TO02'	'TO09'	'TO01'		41	
64	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	4	0	3	'TO09'	'TO06'			41	
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4	2	3	'nil'	'TO09'			41	
65	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	1	2	'TO09'	'TO11'	'TO10'		41	
66	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3	2	2	'TO09'	'TO12'	'TO01'		42	

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 5/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP	
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03				
67	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	4	1	2	'TO07' 'TO09' 'TO12'	'TO06'	42	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	2	'nil'	'TO09'	42
68	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4	2	1	'TO09' 'TO12'	'TO10'	42	
69	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	4	2	2	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10' 'TO13'	'TO12'	42	
66	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3	2	2	'nil'	'TO08'	43	
67	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	4	1	2	'nil'	'TO08'	44	
68	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4	2	1	'nil'	'TO08'	45	
70	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	3	2	'TO03' 'TO13'	'TO01'	46	
59	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3	3	2	'nil'	'TO03'	46	
71	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	2	2	'TO03' 'TO13'	'TO06'	46	
72	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	3	3	1	'TO03' 'TO13'	'TO10'	46	
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3	3	'nil'	'TO13'	46	
73	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3	3	1	'TO13'	'TO01'	47	
74	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	4	2	1	'TO13'	'TO06'	47	
75	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	4	3	0	'TO13'	'TO10'	47	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	2	'nil'	'TO13'	47	
76	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	3	'TO03' 'TO05'	'TO04'	48	
76	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	3	'nil'	'TO01'	49	
77	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	3	3	'TO01' 'TO05' 'TO06' 'TO10'	'TO03'	49	
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3	3	'nil'	'TO05'	49	
78	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	3	'TO03' 'TO05'	'TO06'	49	
79	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	3	2	'TO03' 'TO05'	'TO10'	49	
78	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	3	'nil'	'TO04'	50	
80	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	3	'TO01' 'TO06' 'TO10'	'TO07'	50	
79	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	3	2	'nil'	'TO04'	51	

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 6/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
81	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	3	2	'TO05'	'TO01'	52
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	2	'nil'	'TO05'	52
82	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3	2	2	'TO05'	'TO06'	52
83	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3	3	1	'TO05'	'TO10'	52
80	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	3	'nil'	'TO02'	53
84	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	3	2	2	'TO01' 'TO06' 'TO10'	'TO11'	55
81	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	3	2	'nil'	'TO04'	56
85	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	3	2	'TO02' 'TO13'	'TO12'	56
82	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3	2	2	'nil'	'TO04'	57
84	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	3	2	2	'nil'	'TO07'	57
86	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	2	2	'TO13'	'TO12'	57
83	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3	3	1	'nil'	'TO04'	58
87	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	3	3	1	'TO11' 'TO13'	'TO12'	58
85	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	3	2	'nil'	'TO01'	59
86	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	2	2	'nil'	'TO06'	59
87	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	3	3	1	'nil'	'TO10'	59
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3	3	3	'nil'	'TO13'	59
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	'nil'	'TO09'	60
88	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	1	3	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10'	'TO07'	61
9	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	3	'nil'	'TO09'	61
10	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	3	2	'nil'	'TO09'	62
88	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	1	3	'nil'	'TO02'	63
11	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	3	'nil'	'TO09'	63
12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	4	1	3	'nil'	'TO09'	64
14	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	4	2	2	'nil'	'TO09'	65

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 7/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
89	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	4	1	2	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10'	'TO11'	65
15	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	3	2	'nil'	'TO09'	66
90	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3	2	2	'TO02' 'TO09' 'TO13'	'TO12'	66
89	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	4	1	2	'nil'	'TO07'	67
16	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	4	2	2	'nil'	'TO09'	67
91	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	4	1	2	'TO09' 'TO13'	'TO12'	67
17	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	1	'nil'	'TO09'	68
92	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	4	2	1	'TO09' 'TO11' 'TO13'	'TO12'	68
90	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3	2	2	'nil'	'TO01'	69
91	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	4	1	2	'nil'	'TO06'	69
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	3	2	'nil'	'TO09'	69
92	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	4	2	1	'nil'	'TO10'	69
13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	4	2	3	'nil'	'TO13'	69
85	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	3	2	'nil'	'TO03'	70
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	'nil'	'TO13'	70
86	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	2	2	'nil'	'TO03'	71
9	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	3	'nil'	'TO13'	71
87	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	3	3	1	'nil'	'TO03'	72
10	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	3	2	'nil'	'TO13'	72
15	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	3	2	'nil'	'TO13'	73
16	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	4	2	2	'nil'	'TO13'	74
17	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	1	'nil'	'TO13'	75
93	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	3	'TO02' 'TO05'	'TO03'	76
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	'nil'	'TO05'	76
93	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	3	'nil'	'TO01'	77
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3	3	3	'nil'	'TO05'	77

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 8/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
94	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	3	'TO05'	'TO06'	77
95	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	3	2	'TO05' 'TO11'	'TO10'	77
94	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	3	'nil'	'TO03'	78
9	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	3	'nil'	'TO05'	78
95	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	3	2	'nil'	'TO03'	79
10	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	3	2	'nil'	'TO05'	79
96	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	'nil'	'TO01'	80
97	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	'nil'	'TO06'	80
98	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	'nil'	'TO10'	80
15	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	3	2	'nil'	'TO05'	81
16	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	4	2	2	'nil'	'TO05'	82
17	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	1	'nil'	'TO05'	83
99	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	2	'nil'	'TO01'	84
100	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	2	'nil'	'TO06'	84
101	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	3	2	1	'nil'	'TO10'	84
102	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	3	2	'TO01' 'TO06' 'TO10' 'TO13'	'TO02'	85
19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	3	'nil'	'TO13'	85
21	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	'nil'	'TO13'	86
103	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	3	3	1	'TO01' 'TO06' 'TO10' 'TO13'	'TO11'	87
22	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3	3	2	'nil'	'TO13'	87
104	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	'TO09'	'TO01'	88
105	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	'TO09'	'TO06'	88
23	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3	2	3	'nil'	'TO09'	88
106	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	2	'TO09'	'TO10'	88
107	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3	1	2	'TO09'	'TO01'	89
108	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	4	0	2	'TO09'	'TO06'	89

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 9/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03			
27	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	4	2	2	'nil'	'TO09'	89
109	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	1	1	'TO09'	'TO10'	89
110	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	3	2	2	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10' 'TO13'	'TO02'	90
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3	3	2	'nil'	'TO09'	90
24	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	'nil'	'TO13'	90
29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	4	2	2	'nil'	'TO09'	91
25	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	3	'nil'	'TO13'	91
30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4	3	1	'nil'	'TO09'	92
111	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	4	2	1	'TO01' 'TO06' 'TO09' 'TO10' 'TO13'	'TO11'	92
26	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	4	2	2	'nil'	'TO13'	92
112	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3	3	'TO01' 'TO05' 'TO06' 'TO10'	'TO02'	93
19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	3	'nil'	'TO05'	93
21	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	'nil'	'TO05'	94
22	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3	3	2	'nil'	'TO05'	95
113	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	3	2	'TO01' 'TO05' 'TO06' 'TO10'	'TO11'	95
114	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	'TO13'	'TO01'	102
115	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2	2	'TO13'	'TO06'	102
116	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	3	1	'TO13'	'TO10'	102
31	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	3	3	'nil'	'TO13'	102
117	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	3	1	'TO13'	'TO01'	103
118	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	2	1	'TO13'	'TO06'	103
119	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	3	0	'TO13'	'TO10'	103
36	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	3	3	2	'nil'	'TO13'	103
37	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	3	'nil'	'TO09'	104
38	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	3	'nil'	'TO09'	105
40	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	3	2	2	'nil'	'TO09'	106



Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 10/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																	TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP	
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03				
43	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	3	2	2	'nil'	'TO09'	107	
44	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	4	1	2	'nil'	'TO09'	108	
45	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	4	2	1	'nil'	'TO09'	109	
120	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	2	2	'TO09'	'TO13'	'TO01'	110
121	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	1	2	'TO09'	'TO13'	'TO06'	110
46	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3	3	2	'nil'	'TO09'	110	
122	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3	2	1	'TO09'	'TO13'	'TO10'	110
39	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	2	3	'nil'	'TO13'	110	
123	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	3	2	1	'TO09'	'TO13'	'TO01'	111
124	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	4	1	1	'TO09'	'TO13'	'TO06'	111
47	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	3	1	'nil'	'TO09'	111	
125	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4	2	0	'TO09'	'TO13'	'TO10'	111
42	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4	2	2	'nil'	'TO13'	111	
126	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	'TO05'	'TO01'	112	
31	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	3	3	'nil'	'TO05'	112	
127	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	'TO05'	'TO06'	112	
128	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	2	'TO05'	'TO10'	112	
129	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3	2	'TO05'	'TO01'	113	
36	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	3	3	2	'nil'	'TO05'	113	
130	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	2	'TO05'	'TO06'	113	
131	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	3	1	'TO05'	'TO10'	113	
48	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	'nil'	'TO13'	114	
50	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	'nil'	'TO13'	115	
51	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	3	2	'nil'	'TO13'	116	
56	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	3	2	'nil'	'TO13'	117	

Raport: Graf de acoperire din fig. 2.40

[pagina 11/11]

MD	MARCAJ DESTINATIE																TRANZITII ACCESIBILE	DRUM	MP	
	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02				PV03
57	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	2	'nil'	'TO13'	118
58	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3	3	1	'nil'	'TO13'	119
70	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	3	2	'nil'	'TO09'	120
60	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	'nil'	'TO13'	120
71	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	2	2	'nil'	'TO09'	121
61	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	3	1	3	'nil'	'TO13'	121	
72	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	3	3	1	'nil'	'TO09'	122
62	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3	2	2	'nil'	'TO13'	122	
73	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3	3	1	'nil'	'TO09'	123
66	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3	2	2	'nil'	'TO13'	123
74	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	4	2	1	'nil'	'TO09'	124
67	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	4	1	2	'nil'	'TO13'	124
75	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	4	3	0	'nil'	'TO09'	125
68	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4	2	1	'nil'	'TO13'	125
48	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	'nil'	'TO05'	126
50	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	'nil'	'TO05'	127
51	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	3	2	'nil'	'TO05'	128
56	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	3	2	'nil'	'TO05'	129
57	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	2	'nil'	'TO05'	130
58	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3	3	1	'nil'	'TO05'	131

Din analiza grafurilor de acoperire din fig. 2.39 și 2.40, precum și a rapoartelor asociate acestora se observă neviabilitatea rețelelor Petri din fig. 2.37 și 2.38.

Pentru a elimina acest neajuns se inserează după fiecare centru de prelucrare câte un buffer (modelate prin poziții de tip "PI") pentru stocarea pieselor prelucrate de acestea, noile modele de rețele Petri, viabile, sunt prezentate în fig. 2.41 (capacitatea procesuală minimă) și 2.42 (capacitatea procesuală maximă).

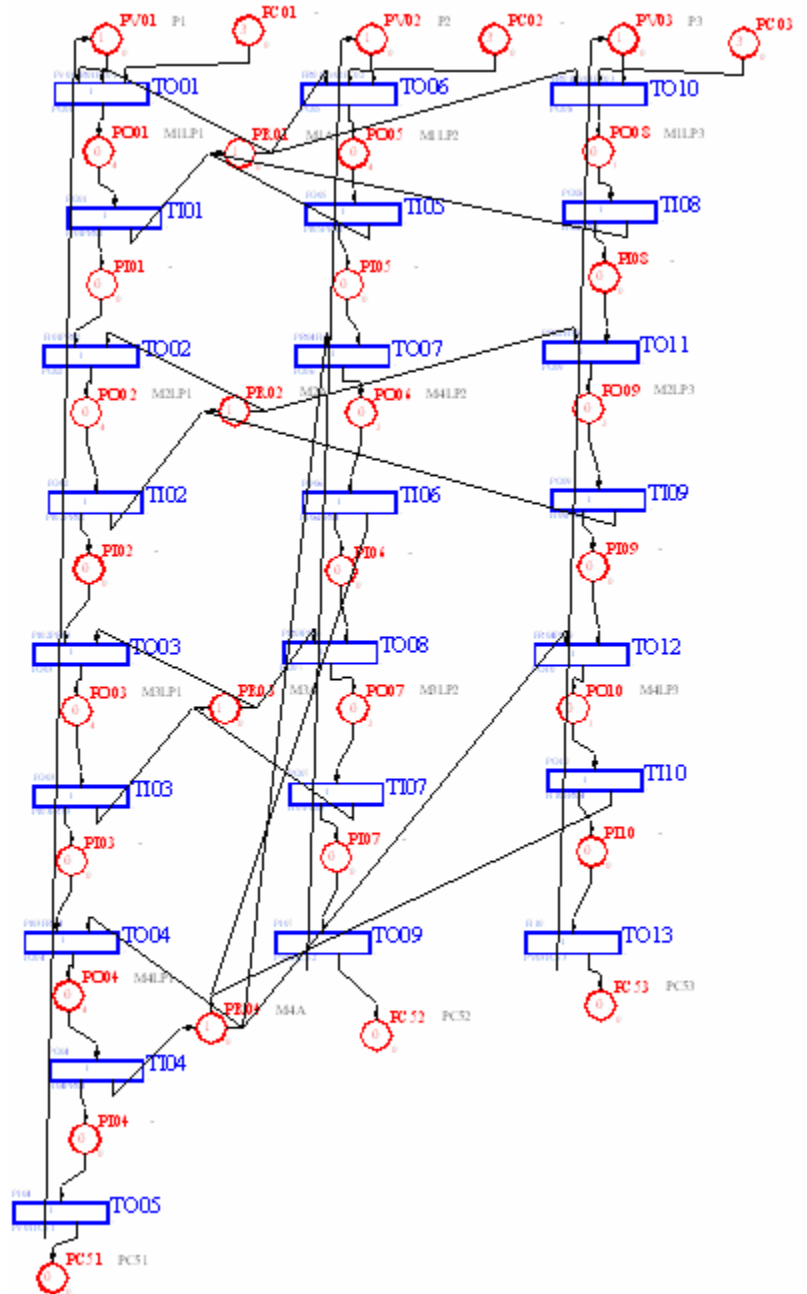


Fig. 2.41

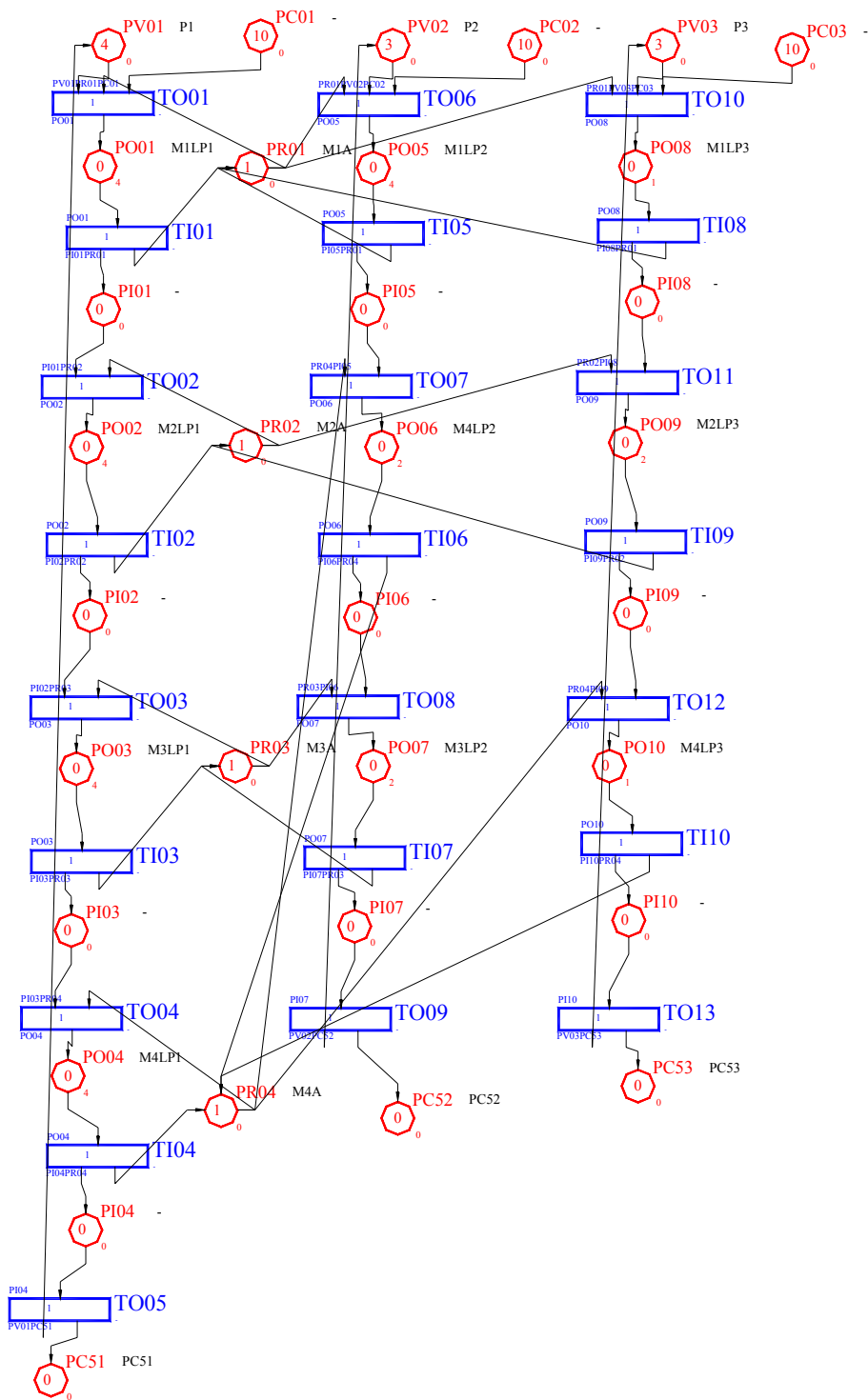


Fig. 2.42

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.41 [pagina

1/2]

=====		MARCAJ DESTINATIE																									
=====		MD										TRANZITII ACESIBILE					TRANZITII EXECUTATE					MP					
TIMP		PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03	PI01								
		PI02	PI03	PI04	PI05	PI06	PI07	PI08	PI09	PI10	PC01	PC02	PC03	PC51	PC52	PC53											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	'TO01'	'TO06'	'TO10'	'nil'	'nil'	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	'TI01'					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0						
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	0	0	1	1	1	1	0	1	'TO02'	'TO06'	'TO10'	'TI01'		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	'TI02'	'TI05'				
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	0	1	1	1	1	0	0	'TO03'	'TO07'	'TO10'	'TI02'	'TI05'	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	'TI03'	'TI06'	'TI08'	'TO03'	'TO07'	'TO10'
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	1	1	0	0	0	0	'TO11'	'TI03'	'TI06'	'TI08'		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	'TI03'	'TI06'	'TI09'	'TO11'		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	'TI03'	'TI09'		'TI06'		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	1	1	0	1	0	0	'TO12'	'TI03'		'TI09'		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	1	1	1	0	0	0	'TI03'	'TI10'		'TO12'		
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	1	1	1	1	0	0	'TO04'	'TO08'	'TO13'	'TI03'	'TI10'	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	1	1	0	0	0	0	'TO10'	'TI04'	'TI07'	'TO04'	'TO08'	'TO13'
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	'TI04'	'TI07'	'TI08'	'TO10'		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	'TO11'	'TI04'	'TI07'	'TI08'		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	'TI04'	'TI07'	'TI09'	'TO11'		





Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.41 [pagina

2/2]

		MARCAJ DESTINATIE																																			
		MD																TRANZITII ACCESIBILE								TRANZITII EXECUTATE								MP			
TIMP		PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03	PI01	PI02	PI03	PI04	PI05	PI06	PI07	PI08	PI09	PI10	PC01	PC02	PC03	PC51	PC52	PC53			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	3	3	'TI04'	'TO04'	50
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	2	3	3	'TO05'	'TI04'	51	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	'nil'	'TO05'	52		

Timp total de executie: 50

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC51

[1]: 16, [2]: 34, [3]: 50

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC52

[1]: 14, [2]: 22, [3]: 32

Timpii de finalizare pt. piesele de tip: PC53

[1]: 12, [2]: 17, [3]: 30

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.42 [pagina 1/3]

		MARCAJ DESTINATIE																																												
		MD																TRANZITII ACCESIBILE								TRANZITII EXECUTATE								MP												
TIMP		PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03	PI01	PI02	PI03	PI04	PI05	PI06	PI07	PI08	PI09	PI10	PC01	PC02	PC03	PC51	PC52	PC53												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	'nil'	'nil'	0							
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	'TI01'	'TO01'	0						
0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	'TO01'	'TO02'	'TO06'	'TO10'	'TI01'	0			
0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	'TI01'	'TI02'	'TO01'	'TO02'	0			
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO06'	'TO10'	'TI01'	'TI02'	0	
0	5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	'TI01'	'TI02'	'TI03'	'TO01'	'TO02'	'TO03'	0		
0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO06'	'TO10'	'TI01'	'TI02'	'TI03'	0
0	7	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	'TI01'	'TI02'	'TI03'	'TI04'	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	0	



8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	3	3	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	6	10	10	0	0	0	0	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO10'		'TI01'	'TI02'	'TI03'	'TI04'	
7	4																						
9	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	6	9	10	1	0	0	'TI02'	'TI03'	'TI04'	'TI05'				'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	
'TO06'	8	0																					
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	6	9	10	1	0	0	'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO10'		'TI02'	'TI03'	'TI04'	'TI05'
9	4																						
11	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	3	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	5	9	10	2	0	0	'TI01'	'TI03'	'TI04'					'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	
10	0																						
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	5	9	10	2	0	0	'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO10'		'TI01'	'TI03'	'TI04'	'TI05'
11	4																						
13	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	4	9	10	3	0	0	'TI01'	'TI02'	'TI04'					'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO05'	
12	0																						
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3	1	1	0	1	1
0	0	0	0	0	0	4	9	10	3	0	0	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO10'		'TI01'	'TI02'	'TI04'	'TI05'
13	4																						
15	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3	9	10	4	0	0	'TI01'	'TI02'	'TI03'	'TI06'				'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO05'	
'TO07'	14	0																					
16	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	3	9	10	4	0	0	'TI01'	'TI02'	'TI03'					'TI06'				
15	2																						
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	3	9	10	4	0	0	'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO06'	'TO08'	'TO10'		'TI01'	'TI02'	'TI03'	'TI05'
16	2																						
18	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	2	9	10	4	0	0	'TI01'	'TI02'	'TI03'	'TI04'				'TO01'	'TO02'	'TO03'	'TO04'	
17	0																						
19	0	0	0	0	0	2	9	10	4	0	0	'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO08'	'TO10'		'TI01'	'TI02'	'TI03'	'TI04'
18	4																						
20	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	2	8	10	5	0	0	'TI02'	'TI03'	'TI04'	'TI05'				'TO02'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	
'TO06'	19	0																					
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	3	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	2	8	10	5	0	0	'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO08'	'TO10'	'TI02'	'TI03'	'TI04'	'TI05'
20	4																						
22	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	8	10	6	0	0	'TI01'	'TI03'	'TI04'					'TO01'	'TO03'	'TO04'	'TO05'	
21	0																						
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	3	1	0	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	8	10	6	0	0	'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO08'	'TO10'	'TI01'	'TI03'	'TI04'	'TI05'
22	4																						
24	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	8	10	7	0	0	'TI01'	'TI02'	'TI04'	'TI07'				'TO01'	'TO02'	'TO04'	'TO05'	
'TO08'	23	0																					
25	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	3	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	8	10	7	0	0	'TO09'	'TI01'	'TI02'	'TI04'				'TI07'				
24	2																						
26	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	8	10	7	1	0	'TI01'	'TI02'	'TI04'					'TO09'				
25	0																						
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3	1	1	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	8	10	7	1	0	'TO02'	'TO03'	'TO05'	'TO06'	'TO07'	'TO10'		'TI01'	'TI02'	'TI04'	'TI05'	
26	2																						
28	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	7	10	8	1	0	'TI02'	'TI03'	'TI05'	'TI06'				'TO02'	'TO03'	'TO05'	'TO06'	
'TO07'	27	0																					

29	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	3	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	7	10	8	1	0	'TI02'	'TI03'	'TI05'									'TI06'					
28	2																										
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	3	0	1	1	0	1	1	0	1
1	0	0	0	0	0	7	10	8	1	0	'TO03'	'TO04'	'TO06'	'TO07'	'TO08'	'TO10'						'TI02'	'TI03'	'TI05'			
29	2																										
31	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	6	10	8	1	0	'TI03'	'TI04'	'TI05'									'TO03'	'TO04'	'TO06'			
30	0																										
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	3	0	0	0	1	1	1	2	2	2
1	0	0	0	0	0	6	10	8	1	0	'TO04'	'TO05'	'TO07'	'TO08'	'TO10'							'TI03'	'TI04'	'TI05'			
31	4																										
33	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2
0	0	0	0	0	0	6	9	9	1	0	'TI04'	'TI07'	'TI08'									'TO04'	'TO05'	'TO08'	'TO10'		
32	0																										
34	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2
0	0	1	0	0	0	6	9	9	1	0	'TO10'	'TO11'	'TI04'	'TI07'								'TI08'					
33	1																										
35	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2
0	0	0	0	0	0	6	8	9	1	0	'TI04'	'TI07'	'TI08'	'TI09'								'TO10'	'TO11'				
34	0																										
36	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2
0	1	1	0	0	0	6	8	9	1	0	'TO09'	'TO10'	'TI04'	'TI09'								'TI07'	'TI08'				
35	1																										
37	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
0	0	1	0	0	0	6	7	9	2	0	'TI04'	'TI08'	'TI09'								'TO09'	'TO10'					
36	0																										
38	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
0	0	2	1	0	0	6	7	9	2	0	'TO06'	'TO11'	'TI04'									'TI08'	'TI09'				
37	1																										
39	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
0	0	1	1	0	0	5	7	9	2	0	'TI04'	'TI05'	'TI09'									'TO06'	'TO11'				
38	0																										

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.42 [pagina 2/3]

=====																																							
=====																																							
MARCAJ DESTINATIE																																							
MD																																							
TRANZITII ACCESIBILE													TRANZITII EXECUTATE																										
MP	TIMP	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO09	PO10	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03	PI01	PI02	PI03	PI04	PI05	PI06	PI07	PI08	PI09	PI10	PC01	PC02	PC03	PC51	PC52	PC53					
40	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	1	1	0	0	5	7	9	2	0	'TO05'	'TO07'	'TO12'	'TI05'	'TI09'							'TI04'																	
39	1																																						
41	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
0	0	1	1	0	0	5	7	10	2	0	'TI05'	'TI06'	'TI09'									'TO05'	'TO07'																
40	0																																						
42	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
0	0	1	2	0	0	5	7	10	2	0	'TO11'	'TI05'	'TI06'									'TI09'																	
41	1																																						
43	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
0	0	0	2	0	0	5	7	10	2	0	'TI05'	'TI06'	'TI09'									'TO11'																	
42	0																																						
44	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
1	0	0	2	0	0	5	7	10	2	0	'TO07'	'TO08'	'TO12'	'TI05'	'TI09'							'TI06'																	
43	1																																						

45	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2	0	0	5	7	10	2	0	'TI05'	'TI06'	'TI07'	'TI09'			'TO07'	'TO08'				
44	0																					
46	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	3	0	0	5	7	10	2	0	'TI06'	'TI07'					'TI05'	'TI09'				
45	1																					
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	3	0	0	5	7	10	2	0	'TO07'	'TO08'	'TO09'	'TO12'			'TI06'	'TI07'				
46	1																					
48	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	3	0	0	5	7	10	3	0	'TO06'	'TI06'	'TI07'				'TO07'	'TO08'	'TO09'			
47	0																					
49	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	3	0	0	4	7	10	3	0	'TI05'	'TI06'	'TI07'				'TO06'					
48	0																					
50	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	3	0	0	4	7	10	3	0	'TO08'	'TO09'	'TO12'	'TI05'			'TI06'	'TI07'				
49	2																					
51	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2	0	0	4	7	10	4	0	'TI05'	'TI07'	'TI10'				'TO08'	'TO09'	'TO12'			
50	0																					
52	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2	1	0	4	7	10	4	0	'TO12'	'TO13'	'TI05'	'TI07'			'TI10'					
51	1																					
53	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	4	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	4	7	10	4	1	'TI05'	'TI07'	'TI10'				'TO12'	'TO13'				
52	0																					
54	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	1	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0	4	7	10	4	1	'TO06'	'TO07'	'TO09'	'TO10'	'TO12'	'TO13'		'TI05'	'TI07'	'TI10'		
53	1																					
55	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	4	1	2	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	3	7	10	5	2	'TI05'	'TI06'					'TO06'	'TO07'	'TO09'	'TO13'		
54	0																					
56	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	2	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	3	7	10	5	2	'TO08'	'TO12'	'TI05'				'TI06'					
55	2																					
57	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	4	1	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	7	10	5	2	'TI05'	'TI07'	'TI10'					'TO08'	'TO12'				
56	0																					
58	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	3	7	10	5	2	'TO13'	'TI05'	'TI07'				'TI10'					
57	1																					
59	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	7	10	5	3	'TI05'	'TI07'						'TO13'					
58	0																					
60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	1	3	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	3	7	10	5	3	'TO06'	'TO07'	'TO09'	'TO10'			'TI05'	'TI07'				
59	1																					
61	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	4	1	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2	7	10	6	3	'TI05'	'TI06'						'TO06'	'TO07'	'TO09'			
60	0																					
62	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	3	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	2	7	10	6	3	'TO08'	'TI05'						'TI06'					
61	2																					
63	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2	7	10	6	3	'TI05'	'TI07'						'TO08'					
62	0																					
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	1	3	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	2	7	10	6	3	'TO06'	'TO07'	'TO09'	'TO10'			'TI05'	'TI07'				
63	2																					
65	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	4	1	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	7	10	7	3	'TI05'	'TI06'						'TO06'	'TO07'	'TO09'			
64	0																					

66	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	3	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	7	10	7	3		'TO08'	'TI05'						'TI06'			
65	2																					
67	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	4	1	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	7	10	7	3		'TI05'	'TI07'						'TO08'			
66	0																					
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	3	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	1	7	10	7	3		'TO06'	'TO07'	'TO09'	'TO10'				'TI05'	'TI07'		
67	2																					
69	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4	1	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	7	10	8	3		'TI05'	'TI06'						'TO06'	'TO07'	'TO09'	
68	0																					
70	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	3	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	7	10	8	3		'TO08'	'TI05'						'TI06'			
69	2																					
71	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	1	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	7	10	8	3		'TI05'	'TI07'						'TO08'			
70	0																					
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	1	3	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	7	10	8	3		'TO07'	'TO09'	'TO10'					'TI05'	'TI07'		
71	2																					
73	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	4	2	2	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	6	10	9	3		'TI06'	'TI08'						'TO07'	'TO09'	'TO10'	
72	0																					
74	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4	2	2	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	6	10	9	3		'TO10'	'TO11'	'TI06'					'TI08'			
73	1																					
75	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	4	2	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	5	10	9	3		'TI06'	'TI08'	'TI09'					'TO10'	'TO11'		
74	0																					
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	2	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	5	10	9	3		'TO08'	'TO10'	'TI09'					'TI06'	'TI08'		
75	1																					
77	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4	2	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	4	10	9	3		'TI07'	'TI08'	'TI09'					'TO08'	'TO10'		
76	0																					
78	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	4	2	0	0	0	0	0
0	0	2	1	0	0	0	4	10	9	3		'TO11'	'TO12'	'TI07'					'TI08'	'TI09'		
77	1																					
79	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	4	10	9	3		'TI07'	'TI09'	'TI10'					'TO11'	'TO12'		
78	0																					
80	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	2	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	4	10	9	3		'TO09'	'TO13'	'TI09'					'TI07'	'TI10'		
79	1																					
81	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	4	10	10	4		'TO10'	'TI09'						'TO09'	'TO13'		
80	0																					
82	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	3	10	10	4		'TI08'	'TI09'						'TO10'			
81	0																					
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3	0	0	0	0	0
0	0	2	1	0	0	0	3	10	10	4		'TO11'	'TO12'						'TI08'	'TI09'		
82	1																					
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	3	10	10	4		'TI09'	'TI10'						'TO11'	'TO12'		
83	0																					
85	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	3	10	10	4		'TO13'	'TI09'						'TI10'			
84	1																					

86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0															
																						3	10	10	5	'TO10'	'TI09'																	
85	0																																											
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						2	10	10	5	'TI08'	'TI09'																	
86	0																																											
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						2	10	10	5	'TO11'	'TO12'																	
87	1																																											
89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						2	10	10	5	'TI09'	'TI10'																	
88	0																																											
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						2	10	10	5	'TO13'	'TI09'																	
89	1																																											
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						2	10	10	6	'TO10'	'TI09'																	
90	0																																											
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						1	10	10	6	'TI08'	'TI09'																	
91	0																																											
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						1	10	10	6	'TO11'	'TO12'																	
92	1																																											
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						1	10	10	6	'TI09'	'TI10'																	
93	0																																											

Raport: Simulare automata cu timp pentru RP din fig. 2.42 [pagina 3/3]

MARCAJ DESTINATIE																																															
MD																												TRANZITII ACCESIBILE			TRANZITII EXECUTATE																
MP	TIMP	P001	P002	P003	P004	P005	P006	P007	P008	P009	P010	PR01	PR02	PR03	PR04	PV01	PV02	PV03	PI01	PI02	PI03	PI04	PI05																								
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						6	'TO13'	'TI09'																							
94	1																																														
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						7	'TO10'	'TI09'																							
95	0																																														
97	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
																						7	'TI08'	'TI09'																							
96	0																																														
98	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
																						7	'TO11'	'TO12'																							
97	1																																														
99	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
																						7	'TI09'	'TI10'																							
98	0																																														
100	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
																						7	'TO13'	'TI09'																							
99	1																																														
101	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
																						8	'TI09'																								
100	0																																														
102	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
																						8	'TO11'	'TO12'																							
101	1																																														



## Folosirea serverelor de aplicatii OLE (Object Linked Enable) Microsoft si a OPC (Object Factory Server) Schneider pentru implementarea interfetelor Human-Machine si a legaturii cu PLC.

Ideea principală propusă este aceea de a dezvolta o modalitate de realizare a interfetelor om-mașină reconfigurabile pentru mașini unelte bazată pe modalitatea de transfer a datelor dintre dispozitivele de control folosind tehnologia bazată pe arhitectura client server OPC. Dezvoltarea unei interfețe pentru o mașină presupune programarea următoarelor funcțiilor:

- verificarea programului piesă și transmiterea sa către dispozitivul de control al mașinii;
- interacțiunea cu operatorul și expunerea către acesta a tuturor funcțiilor mașinii,
- funcții de autodiagnostic pentru mașina comandată;
- gestionarea corecțiilor de sculă.

Sistemul de control realizat în cadrul acestui proiect este un sistem multi-procesor, modular. Fiecare din modulele utilizate poate fi configurat, folosind programe de configurare, astfel încât funcționarea modulului să fie adaptată aplicație. Mașina controlată cu acest sistem este un strung frontal cu două axe de deplasare, un arbore principal și un set de elemente auxiliare: turelă port-sculă cu patru posturi, sistem de răcire-ungere și un sistem de ungere a ghidajelor.

Sistemul de control este alcătuit din următoarele elemente:

- Panou operator de tip PC industrial care implementează funcția HMI, funcția de interpretare a programului de comandă numerică, funcția de diagnostic a mașinii și funcția de gestionare a corecțiilor de sculă
- Controler logic programabil modular a cărui modul de bază realizează următoarele funcții: controlul mașinii în diverse moduri de lucru, secvențierea operațiilor de control, interpolarea axelor de lucru. Modulele controlerului. Module suplimentare sunt folosite pentru:
  - Comunicație,
  - Gestionare IO digitale,
  - Controlul arborelui principal și a axelor de lucru.

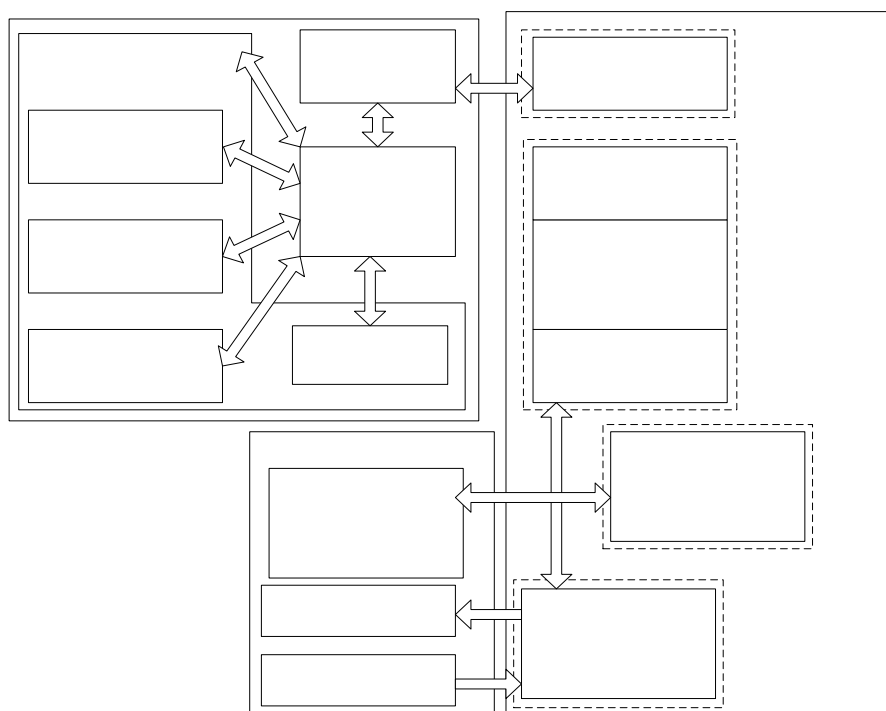


Figura 2.43. Arhitectura sistemului de control

Comunicația dintre panoul operator și structura CLP se realizează folosind o magistrală de comunicație care este accesată de un server OPC prin intermediul unui driver de comunicație. Structura software a aplicației nu este modificată prin modificarea tipului de rețelei de comunicație.

### ***Interpretorul reconfigurabil***

Interpretorul dezvoltat în cadrul proiectului este folosit a transmite programul piesă introdus de utilizator către controlerul CLP. Programarea mașinii unelte se realizează folosind limbajul de programare CNC ISO, însă interpretorul poate fi adaptat și pentru utilizarea unor alte limbaje care pot fi definite de utilizator.

Pentru reconfigurarea mașinii sunt necesare operații de configurare a elemente hardware, pentru a gestiona elementele cinematice. Aceste operații de configurare intervin și asupra interpretorului mașinii care acționează ca o interfață între utilizator și mașină. La nivelul interpretorului, funcțiile pe care utilizatorul le poate programa sunt în corelație cu structura mașinii. Fiecare configurație a unei mașinii reconfigurabile prezintă caracteristici diferite cum ar fi limitele de mișcare ale axelor de lucru, limitele maxime ale avansului pentru axe, etc. La nivelul unei anumite configurații hardware, pot exista funcții care nu sunt disponibile.

Programarea ISO a mașinilor unelte se bazează pe folosirea unor familii de funcții. Marea majoritate a funcțiilor pregătitoare și auxiliare sunt funcții modale. Programarea unei funcții dintr-o familie determină anularea funcțiilor active din aceeași familie. În plus există o serie de alte condiții privind compatibilitatea funcțiilor, condiții care depind printre altele și de configurația mașinii.

Definim interpretor reconfigurabil al unei mașini unelte, o componentă software folosită pentru a „decodifica” programul piesă și pentru a transmite ordinele impuse de program către dispozitivele ce controlează mașina, componentă care are posibilitatea de a fi configurată, astfel încât să se poată defini un limbaj al mașinii care să fie în corelație cu structura hardware a sistemului.

În concepția noastră operația de reconfigurare a unei mașini constă în următoarele etape:

- Reconfigurarea structurii cinematice,
- Reconfigurarea controlerelor mașinii,
- Programarea sau reconfigurarea controlerelor mașinii,
- Configurarea interpretorului reconfigurabil sau reprogramarea interpretorului.

Folosirea unui interpretor reconfigurabil elimină nevoia de reprogramare a interpretorului, operație care poate dura un interval de timp destul de ridicat. Adaptarea interpretorului la noua structura a unei mașini, în cazul unui interpretor reconfigurabil este o operație care poate dura câteva ore, pe când reprogramarea interpretorului poate dura mai multe săptămâni.

Abordarea clasică în ceea ce privește construcția unui interpretor constă din următoarele etape:

- Analiza programului din punct de vedere lexical, operație care constă în eliminarea caracterelor inutile, în identificarea elementelor fundamentale ale programului și înscrierea acestora într-o structură tabelară,
- Analiza sintactică a programului este operația care vizează identificarea în programul piesă a construcțiilor sintactice de bază, interpretarea conținutului acestor construcții prin generarea unei structuri arborescente de memorare.
- Analiza semantică constă în interpretarea construcțiilor sintactice pentru a genera un format compatibil cu mașina în cazul unui interpretor pentru CNC-uri.

Pe parcursul tuturor acestor etape se realizează o verificare referitoare la corectitudinea programului, în care se depistează mai multe tipuri de erori.

Un program piesă este alcătuit dintr-un set de instrucțiuni alcătuite din blocuri și cuvinte care trebuie să se supună unor reguli în ceea ce privește componența acestora.

Analiza lexicală, permite determinarea elementelor fundamentale de program, a funcțiilor programului.



Analiza sintactică se referă la identificarea unor structuri caracterizate de un set de condiții. Astfel, în ceea ce privește programarea CNC cu funcții G, există mai multe tipuri de funcții și cuvinte cheie:

- familii de funcții modale, care nu trebuie programate în aceeași frază și care rămân active pe parcursul programului până la programarea unei funcții din aceeași familie;
- funcții nemodale, active doar în fraza în care sunt programate;
- funcții care impun un set obligatoriu sau opțional de parametri;
- funcții care nu pot fi programate decât într-o anumită stare a programului piesă;
- funcții referitoare la axele de lucru, care impun interpolări;
- funcții auxiliare

Analiza semantică presupune identificarea contextului în care sunt scrise funcțiile CNC și transmiterea informațiilor referitoare la fiecare frază către controlerul mașinii. Transmiterea presupune folosirea unei rețele de comunicație, cunoașterea unui anumit protocol de comunicație și a locației de memorie în care trebuie realizată scrierea pentru fiecare funcție.

În ceea ce privește transmiterea informațiilor de la interpretor la CLP, s-a folosit un server OPC produs de Schneider electric, server denumit OPC factory server. Serverul poate fi accesat local sau prin rețea folosind tehnologia DCOM. Accesarea prin rețea permite utilizarea de la distanță a mașinii implementând astfel un sistem DNC.

În faza deconfigurare sau reconfigurare se definesc funcțiile disponibile și elementele de identificare a articolului OPC corespunzător fiecărei funcții. Aceste articole vor fi inactive, adică interpretorul nu va primi notificări privind modificarea valorilor articolelor. Pentru fiecare funcție, în faza de configurare a mașinii se vor defini prin intermediul unor șiruri de caractere valorile corespunzătoare pentru ITEM\_ID și pentru AccessPath. Valoarea corespunzătoare șirurilor de caractere este dependentă de tipul de server, de tipul de echipament, de tipul rețelei de comunicație, de aplicația ce controlează mașina. În situația în care, în urma reconfigurării mașinii, unul din elementele amintite se modifică, reconfigurarea interpretorului implică modificarea valorii celor două variabile. Pentru fiecare funcție articolul OPC asociat poate reprezenta date de tipuri diferite. De exemplu, pentru funcțiile pregătitoare G sau pentru funcțiile auxiliare M, variabila din dispozitiv asociată articolului este de tip boolean, specificând existența în cadrul frazei curente existența sau inexistența funcției. Pentru funcțiile legate de axe, cum ar fi funcțiile X și Z variabilele asociate pot fi de tip real sau întreg pe 32 de biți.

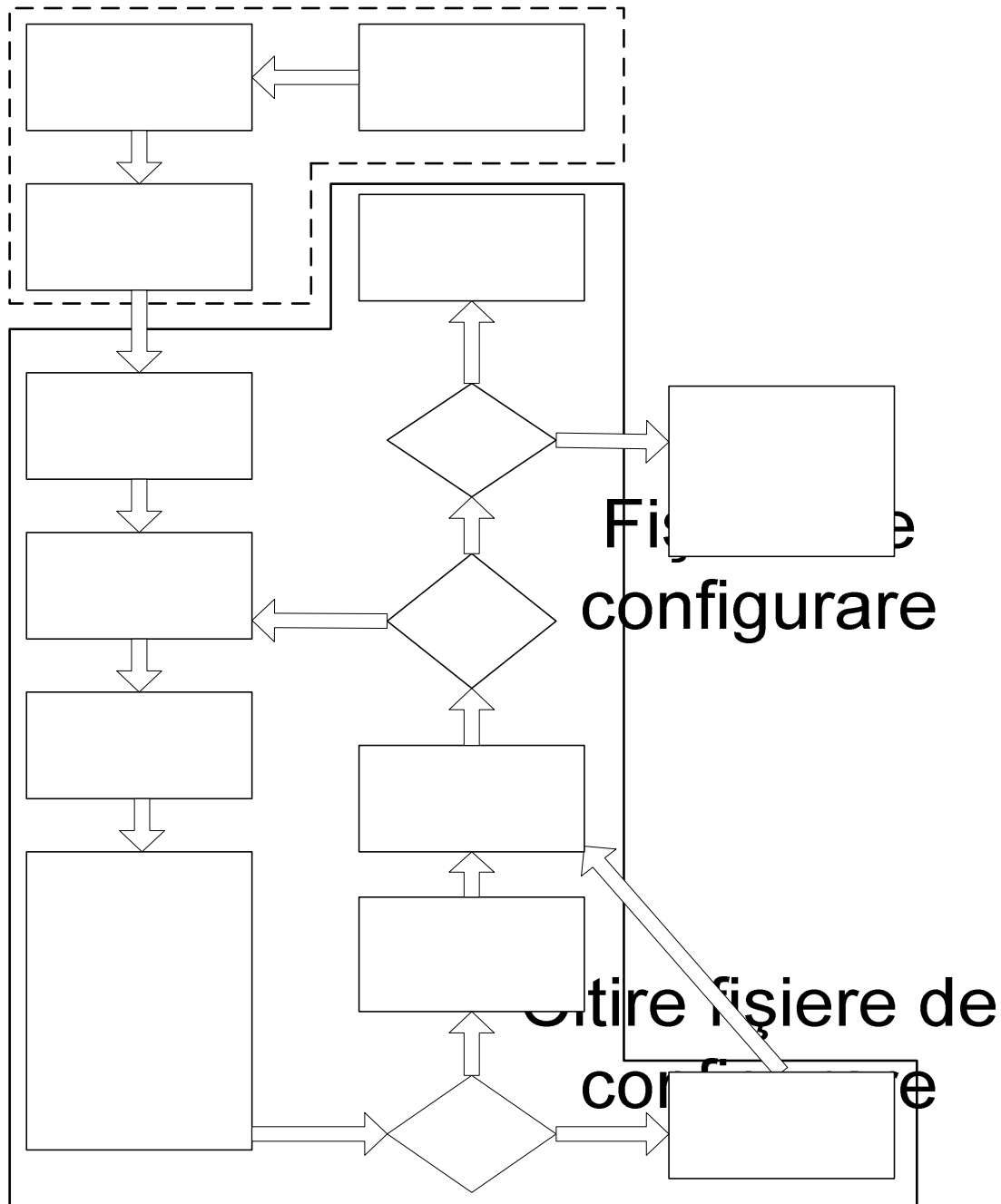


Figura 2.44 Arhitectura interpretorului reconfigurabil

În faza de exploatare, interpretorul citește dintr-un fișier un set de elemente de definiție a fiecărei funcții CNC, prin care se definesc elementele de identificare a articolelor, tipul de variabile folosite. Se actualizează funcțiile implicit active și apoi se balează programul linie cu linie, verificându-se corectitudinea programului piesă. Se verifică o serie de condiții legate de gramatica programului piesă și de capacitatea mașini de a efectua programul. Dacă fraza curentă este corectă, interpretorul va scrie valorile pe care trebuie să le transmită controlerului mașinii, într-un fișier temporar. Dacă fraza nu este corectă, interpretorul va scrie într-un fișier codul de eroare asociat și un identificator al frazei, în care a apărut eroarea. Dacă în program a apărut cel puțin o eroare, etapa de înregistrare a valorilor articolelor OPC nu se va mai realiza. După baleajul întregului program, dacă programul este corect se va trece la transmiterea secvențială a programului folosind fișierul generat în faza de verificare a corectitudinii programului. Dacă programul piesă nu este corect operatorul va fi avertizat despre erorile de programare, specificându-se frazele și funcțiile necorespunzătoare.

Secvențierea operației de transmitere a datelor este realizată de dispozitivul de control care va solicita interfeței transmiterea datelor folosind o variabilă care va fi incrementată pentru a specifica interpretorului faptul că este necesară transmiterea unei noi fraze. Modificarea valorii variabilei este detectată de interpretor folosind funcția OnDataChange a interfeței IOPCDataCallback implementată de client. Dispozitivul de control al mașinii va stoca datele referitoare la fraze, într-o zonă de memorie de tip buffer, pentru a permite funcționarea continuă a CNC-ului, fără a determina apariția unor pauze de prelucrare datorate intervalului de timp necesar transmiterii frazelor, interval dependent de tipul de comunicație dintre calculatorul industrial și dispozitivul de control al mașinii

### **Implementarea interfeței om-mașină**

Pe lângă interpretor, pentru a comanda mașina este necesară implementarea unei interfețe om-mașină care să permită operatorului controlul mașinii în modul de lucru manual, determinarea pozițiilor axelor și a celorlalte elemente ale mașinii, impunerea vitezei de avans pentru regimul manual, impunerea turației arborelui principal, determinarea schimbării suportului de lucru de la nivelul turelei și efectuarea altor operații conexe.

Interfața om mașină cuprinde și interfața interpretorului, un modul de autodiagnostic, permite operatorului introducerea corecțiilor de sculă și configurarea unor parametri ai mașinii.

În principiu interfața este alcătuită dintr-un set elemente grafice standard cum ar fi:

- Butoane de control - de mai multe tipuri cum ar fi: butoane radio, butoane simple, butoane gen check box
- Câmpuri de editare și afișare,
- Liste de valori,
- Elemente de tip glisor

Aceste elemente pot fi create folosind editorul de ferestre de dialog sau pot fi create dinamic la încărcarea unei anumite ferestre. Din punctul de vedere al utilizării, elementele grafice prezentate pot fi împărțite în două categorii:

- Elemente de prescriere și comandă,
- Elementele de afișare și monitorizare.

Elementele de prescriere și comandă sunt folosite pentru a transmite ordine dispozitivelor de control. Aceste ordine sunt transmise, de obicei prin scrierea unor locații de memorie bine determinate. Informația transmisă dispozitivelor de control poate fi de mai multe tipuri: se poate scrie o variabilă de tip boolean, un set de variabile de tip boolean, o variabilă de tip întreg sau de tip real. De obicei transmiterea ordinelor se realizează la apariția unor evenimente declanșate de operatorul mașinii cum ar fi apăsarea unei taste, acționarea unui buton software, finalizarea introducerii unei valori într-un câmp de editare. Modalitatea în care sunt transmise datele depinde de tipul de comunicație dintre calculatorul industrial și dispozitivul de control. Folosirea serverelor OPC standardizează modalitatea de transmitere a informațiilor prin utilizarea funcțiilor de scriere sincronă sau asincronă. La apariția unui anumit eveniment se poate realiza o operație de scriere a unui articol sau a unui set de articole OPC. Schimbarea tipului de dispozitiv de control implică doar modificarea definiției articolelor OPC și a elementelor de identificare a serverului OPC.

Elementele de afișare și monitorizare sunt folosite pentru a prezenta operatorului starea mașinii, operație care presupune transmiterea unor informații de la dispozitivele de control către interfața cu operatorul. Interfața cu operatorul trebuie să monitorizeze valoarea unui set de valori pentru unele variabile ale dispozitivelor de control. Aceste variabile pot fi de diferite tipuri, interfața le poate prezenta ca atare sau le poate prezenta după realizarea unor operații. De exemplu, funcția de autodiagnostic este implementată de cele mai multe ori prin monitorizarea unei variabile sau a unui set de variabile pentru care se definește o corespondență între anumite valori denumite coduri de eroare și șiruri de caractere prin care se specifică defecțiunea apărută. De asemenea pentru evenimentele externe dispozitivului de control, sesizate prin senzori, adică evenimente detectate prin intrările dispozitivului de control se poate indica utilizatorului valorile necorespunzătoare ale intrărilor, valori

prin care s-a determinat funcționarea incorectă a mașinii. Ca și pentru elementele de prescriere și comandă, operația de transmitere a informațiilor depinde de tipul de comunicație dintre dispozitivul de control și calculatorul industrial. Utilizarea serverelor OPC permite utilizarea mecanismului de notificare bazat pe interfețele IOPCDataCallback implementate de programul de interfață. Programul de interfață organizează variabilele a căror valori trebuie monitorizate în grupuri OPC. Pentru aceste variabile se definește o rată de actualizare și o valoare minimă a variației valorilor articolelor OPC pentru care serverul va transmite notificări aplicației de interfață om-mașină. Notificările primite de client pot fi transmise către una din ferestrele interfeței de la nivelul căreia se va modifica starea unor elemente de afișare și monitorizare în funcție de variabila pentru care valoarea a fost modificată.

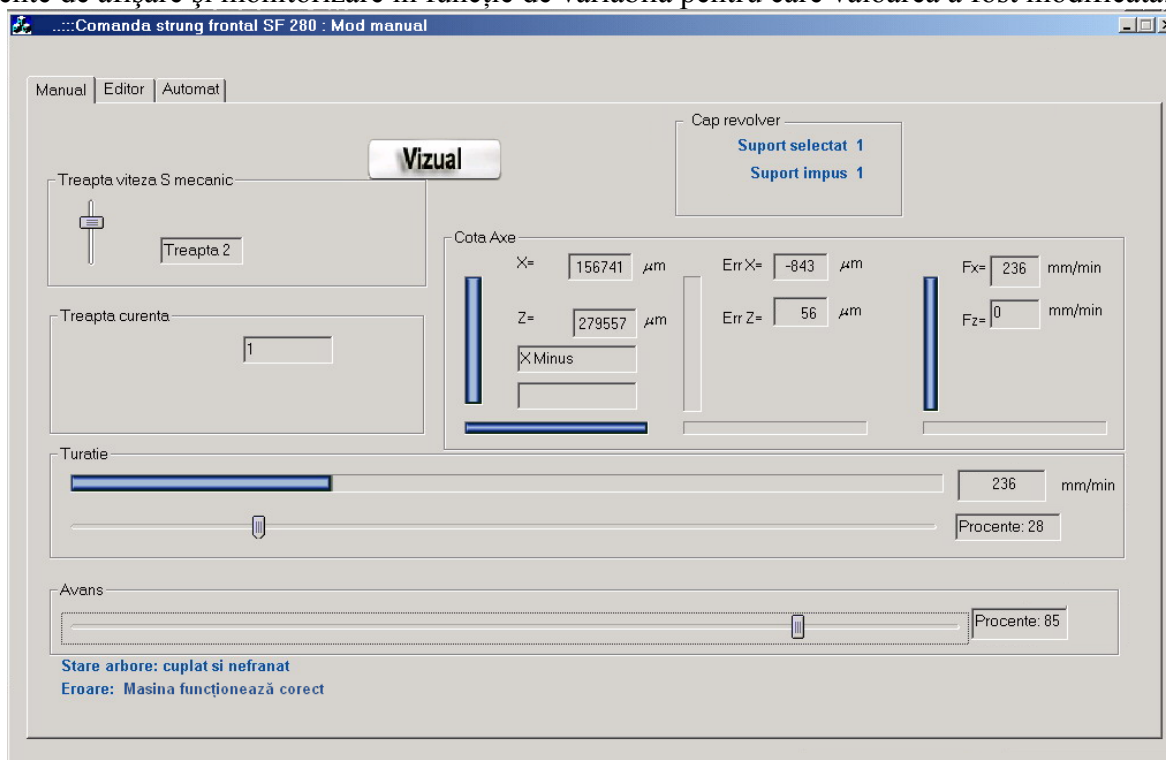


Figura 2.45. Exemplu de ecran de monitorizare al mașinii în modul de lucru manual

Pentru sistemul de comandă al strungului modernizat s-au implementat ecrane de monitorizare, corespunzătoare modurilor de lucru ale mașinii. Pentru toate modurile de lucru interfața om mașină implementează un sistem de autodiagnostic prin care se afișează un set de mesaje de eroare pentru a descrie funcționarea defectuoasă a mașinii.

În modul de lucru manual se afișează informații referitoare la poziția axelor de lucru, la poziția impusă capului revolver, la treapta de viteză selectată pentru arborele principal atât prin intermediul unei cutii cu roți cuplabile electric, cât și prin intermediul unei cutii de viteze cu baladoare acționate manual.

În modul de lucru automat sunt monitorizate informațiile legate de starea axelor de lucru, de vitezele de avans impuse, de turația arborelui principal, de starea funcțiilor tehnologice active și legate de funcția de autodiagnostic.

În cele două ecrane de monitorizare a stării mașinii există un set de elemente comune cum ar fi informațiile legate de starea axelor, informații legate de funcția de autodiagnostic. Pentru aceste elemente comune celor două regimuri ale mașinii s-a creat un grup ce este activat în cele două ferestre. Pentru elementele care nu sunt comune s-au implementat grupuri diferite care sunt activate la activarea ferestrelor respective.

#### 5.2.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse

##### Lucrari stiintifice

1. Epureanu A., Marin F.B., Banu M., Maier C., Marinescu V., *Manufacturing embedded control systems – a new approach*. În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p.29 (indexata **BDI**).
2. Breaz, R., Bologa, O., Racz, G., *Improving CNC Machine Tools Accuracy Using Modeling and Computer Simulation Techniques*, The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.
3. Racz, G., Bologa, O., Breaz, R.E., *Design and Optimization of the Press Structure*, The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.

##### Inventii

1. Marin F.B., Epureanu A., Marinescu V., Banu M., Maier C., Oancea N., *Hard disk destinat sistemelor incorporate de conducere a masinilor unelte reconfigurabile* – Dosar Nr. A 00626/6.09.2007.

##### Rezumat:

Prezenta inventie se refera la o noua arhitectura si un nou procedeu de tratare a erorilor de citire a hard-diskurilor destinate sistemelor incorporate de conducere a masinilor unelte, care sa fie mai bine adaptate conditiilor din mediul industrial specific in care acestea functioneaza.

Sistemele incorporate folosite pentru conducerea masinilor unelte includ componente ale calculatorului, care sunt supuse unui regim de lucru foarte greu. Datorita faptului ca hard-diskul este un dispozitiv alcatuit din componente mecanice foarte sensibile, prezenta vibratiilor si a variatiilor de temperatura duce la defectarea frecventa a acestuia. Exista diferite solutii cu privire la folosirea calculatoarelor in mediul industrial, cum ar fi folosirea de bariere de vibratii, amortizoare de soc, etc.

Se aplica de asemenea ideea de a indeparta pe cat posibil sistemul de procesare, implicit hard-diskul fata de sursele de vibratii si de caldura. In momentul actual, cand se aplica metode adaptive online, vedere artificiala, etc., apare necesitatea ca sistemul informatic sa proceseze foarte rapid informatia iar calculatorul industrial sa fie parte din sistemul incorporat de conducere, deci distanta fizica sa fie cat mai mica cu putinta.

Defectiunile ce pot sa apara din cauza vibratiilor, cum ar fi defectarea hard-diskului si a sistemului informatic, duc la stoparea si intarzierea productiei, dar, mai grav, la pierderea de date.

Mediul magnetic al unui hard-disk include o zonă de informații servo ( servo area), o zonă de date, reprezentată în mod obligatoriu de mai multe sectoare, care se află pe prima pistă, și zone de micro servo, informație care se află între două sectoare succesive, asa cum se arata in figura 1.

Zonele de micro servo servesc la identificarea sectorului care se acceseaza pentru a utiliza datele pe care acesta le contine, si memoreaza varii coduri de paritate pentru a determina integritatea datelor acestuia. La comanda de citire a unui sector, softul intern al hard-diskului trimite comanda de pozitionare pe sectorul comandat. Aceasta duce la deplasarea capului de citire intr-o pozitie aproximativa, intrucat actuatorul nu are rezolutia atat de mare pentru pozitionarea exacta, si apoi la cautarea in vecinatate a acelei piste unde se afla sectorul cautat. In cazul in care apar erori de identificare a sectoarelor, actuatorul hard-diskului nu mai poate accesa un sector sau chiar toata suprafata magnetica a discului, datorita faptului ca nu se poate pozitiona exact pentru a citi piste de

servo, desi datele inmagazinate in acestea nu sunt corupte. Erorile de citire a pistei servo (care este formata la randul ei din sectoare, identificate de zone de micro-servo) si a sectoarelor sunt cauzate de imposibilitatea identificarii sectoarelor prin citirea zonelor de micro servo.

In prezent, arhitectura hard-diskurilor presupune ca bratul actuatorului sa aiba o pozitie de calibrare, indepartata fata de pozitiile de citire, ce corespunde cu cea de parcare. In scopul citirii unei piste, din aceasta pozitie bratul se poate roti intr-o pozitie aproximativa si poate citi intr-un singur sens sectoarele hard-diskului. Din cauza faptului ca pozitia de citire nu este exacta, dupa pozitionare, are loc un proces de cautare a pistei ce trebuie citita. Ratarea citirii, provocata de coruperea informatiei de micro servo, se trateaza prin reluarea acestui algoritm, incepand cu aducerea bratului in pozitia de calibrare.

Este posibil ca, dupa mai multe tentative de citire, acesta sa poata identifica corect pista cautata, dar sistemele de operare moderne, ca urmare a fluxului mare de cereri catre hard-disk, se blocheaza, datorita intarzierii mari. De exemplu, daca apar mai multe sectoare care au intarzieri de ordinul a 700 ms si hard-diskul reuseste sa citeasca pe acestea, atunci, datorita intarzierii totale care ajunge la nivelul de zeci de secunde, sistemul de operare se blocheaza. Un alt scenariu il reprezinta secventa de identificare a hard-diskului la pornirea sistemului. BIOS-ul chestioneaza hard-diskul cu privire la informatiile care il descriu, iar acesta, neputand identifica pista 0 sau reusind acest lucru cu intarzieri semnificative, nu poate fi identificat de catre BIOS. Rezulta de aici incapacitatea de accesare a datelor stocate pe acesta.

Din aceste motive, actualmente apar urmatoarele situatii posibile

- 1) la coruperea primei piste de servo toata informatia de pe hard-disk este inaccesibila;
- 2) datele stocate, dupa o zona formata din sectoare ce nu pot fi accesate, devin inaccesibile, pentru ca softul intern al hard-diskului intra intr-o bucla de calibrare (constand in aceea ca actuatorul se pozitioneaza la unghiul maxim dupa care revine, masurand cu ajutorul senzorului inductiv pozitia, si cautand apoi sectorul) si, consumand timp considerabil pentru parcurgerea acesteia, face ca sistemul de operare sa se blocheze;

Sistemele actuale de pozitionare a actuatorului hard-diskului, in functie de informatia de servo, prezinta dezavantajul ca eficienta de tratare a rateurilor este scazuta.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia este eficientizarea actiunii de accesare a sectoarelor, in cazul in care exista coruperea zonelor de microservo, prin intermediul unei noi arhitecturi a hard-diskului si a unui nou procedeu de tratarea rateurilor de citire.

Arhitectura hard-diskului si procedeul de tratare a rateurilor de citire, potrivit inventiei, determina cresterea eficientei de tratare a rateurilor de citire cauzate de coruperea zonelor de micro-servo, prin aceea ca, bratul actuatorului are doua limitatoare mecanice de calibrare, ambelor corespunzand cu precizie pozitiei de citire a pistei servo (pista 0), si capul de citire de pe brat poate citi in ambele sensuri (crescator sau descrescator) sectoarele de pe suprafata platanului, fara schimbarea sensului de rotatie a acestuia, iar procedeul de tratare a unui rateu de citire consta in recalibrarea bratului actuatorului folosind celalalt limitator de calibrare si citirea in celalalt sens a platanului.

## **Produse software**

### **Produs software SinCONPETRI**

#### **Sistem software reconfigurabil pentru comanda unui strung .**

Sistemul software cuprinde un modul de interfata om masina care implementeaza un interpretor reconfigurabil si un modul pentru comanda elementelor operative ale strungului realizat cu un controler logic programabil. Controlerul logic programabil gestioneaza elementele axelor de lucru, elementele arborelui principal si elementele auxiliare ale strungului in concordanta cu ordinele impuse de operator prin intermediul interperetorului sau a interfetei de comanda.

### **Sistem software pentru comanda unei masini de prelucrare liniara**

Sistemul comanda al masinilor cu prelucrare liniara a fost implementat in cazul unei masini de gaurit si frezat in coordonate. A fost implementat un sistem de actionare a axelor de lucru avand ca element central un variator de viteza pentru comanda motorului ce actioneaza cutia de avansuri. Sistemul de actionare este controlat folosind o structura CLP modulara controlata de un terminal industrial

### **Sistem software de comanda a liniilor de prelucrare prin stantare**

Sistemul de comanda pentru masinile de prelucrare prin stantare a fost implementat pentru mai multe masini folosite in domeniul constructiilor metalice. Prin reconfigurarea parametrilor sistemului software acesta a putut fi folosit pentru comanda unor masini de generatii diferite. Sistemul cuprinde un modul pentru corectia erorilor de pozitionare in cazul axelor de lungime mare.

### **Sistem software de comanda a liniilor de prelucrare prin gaurire**

Sistemul software este destinat liniilor de prelucrare prin gaurire a profilelor utilizate in constructiile metalice. Sistemul realizeaza comanda unei linii dotata cu mai multe unitati de burchiere. Sistemul permite controlul liniei, configurarea parametrilor specifici masinii si monitorizarea functionarii acesteia.

### **Sistem de monitorizare si comanda pentru instalatii de zincare termica in vederea eficientizarii consumurilor energetice**

Sistemul permite monitorizarea functionarii unei instalatii de zincare termica cu ajutorul unui software client OPC. Avand in vedere faptul ca instalatia functioneaza fara intrerupere pe durata a mai multor ani, comanda acesteia este redundanta, in sensul ca monitorizarea si controlul instalatiei pot fi realizate simultan atat de la un calculator cat si de la nivelul unui terminal specializat. Pentru actionarea elementelor de executie este se folosesc doua controlere logice programabile, care comunica atat cu terminalul cat si cu calculatorul. Sistemul de control permite programarea instalatiei in sensul limitarii puterii maxime disipate in cadrul unor intervale orare de varf.

## **5.2.5 Concluzii**

1. Conceperea unui nou tip de rețele Petri, numit în lucrare *rețele Petri dezvoltate* ce dă posibilitatea implementării controlerelor de conducere reconfigurabilă a sistemelor de prelucrare.
2. Conceperea unei metodologii pentru sinteza controlerelor implementate pe baza modelelor cu *rețele Petri dezvoltate*.
3. Sinteza controlerelor implementate pe baza *rețelelor Petri dezvoltate* ce au posibilitatea redresării erorilor.
4. S-a analizat oportunitatea implementarii interfetelor om-masina utilizand medii de programare integrate cum ar fi Visual C++ si utilizarea serverelor OPC implementarea transferului de date in cadrul sistemelor reconfigurabile.
5. S-a propus un nou concept acela de interpretor CNC reconfigurabil si s-a realizat o implementare a unui sistem de comanda numerica avand ca element central un server OPC.

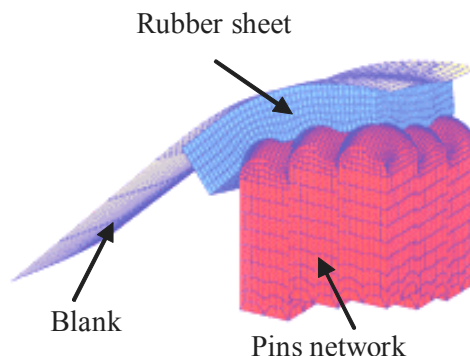
### 5.3. Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto

#### 5.3.1 Premisele stiintifice si tehnice

Productia inovativa reprezinta o noua orientare a structurii unei intreprinderi, de la una rigida, bazata pe reguli, la una bazata pe cunostinte si capital de idei, ceea ce va determina o miscare de la o economie a cantitatii spre una a calitatii, de la o economie bazata pe consum si risipa la o economie sustinuta.

Proiectarea si controlul procesului de ambutisare au generat eforturi de cercetare considerabile datorita multitudinii factorilor care intervin in proces si a complexitatii relatiilor dintre acestia. Proiectul propune o noua conceptie asupra procesului de ambutisare complexa utilizand elemente de reconfigurabilitate, control adaptiv, proiectare virtuala, simulare numerica, extragere de cunostinte.

Deformarea cu matrite reconfigurabile este o tehnologie flexibila de fabricare prin care se poate realiza o mare varietate de piese din tabla, in mare parte destinate industriei automobilelor si aeronautice. Caracterul particular al acestei deformari este dat de constructia discreta a suprafetei active a elementelor de lucru, care este compusa dintr-un numar de pini pozitionati pe verticala, conform geometriei piesei de fabricat.



Aparuta relativ recent, tehnologia ofera astazi un important domeniu de studiu ca si numeroase aplicatii industriale. Pe plan mondial se remarca o serie de cercetari care au permis utilizarea industriala a tehnologiei. Astfel, Walczyk și Hardt [3.1, 3.2, 3.5] au pus la punct o serie de matrite pentru deformarea cu pini. Pini pot fi pozitionati fie la intervale unii de alti fie pot fi pozitionati unul langa altul. Pentru realizarea unei suprafete, reglarea lor pe inaltime se face prin comanda numerica. Papazian [3.3, 3.4] a dezvoltat un sistem pentru deformarea pe poanson. Sistemul consta dintr-o singura matrita cu pini si o placa flexibila din cauciuc care este plasata intre matrita cu pini si semifabricat. Reglarea matritei se face de asemenea folosind comanda numerica. Metoda este aplicata in industria aeronautica. Cercetatori chinezi, Cai, Chen si Li [3.7-3.12] s-au ocupat de aspectele teoretice ale procesului, respectiv de simularea numerica prin proiectarea unui soft dedicat, reconfigurarea geometriei matritelor tinand cont de revenirea elastica a materialului ca urmare a deformarii, rolul si influenta retinerii materialului in timpul procesului de deformare cu pini. Acestia au pus la punct doua noi metode de deformare cu pini si anume deformarea regiune cu regiune a pieselor de dimensiuni mari si deformarea cu pozitionarea secventiala a pinilor in timpul procesului de presare. O idee care a fost formulata de Cai [3.13] si mai apoi de Boers [3.14] este aceea a gasirii unui pas optim de deformare tinand cont de solicitarea materialului in timpul procesului de deformare. In



Romania, colectivul din catedra de TCM a Universitatii Dunarea de Jos din Galati, Paunoiu [3.15-3.21], a inceput cercetarile legate de acest procedeu din anul 2004. Colectivul a realizat simularea numerica a procesului, compensarea revenirii elastice si proiectarea unui echipament actionat mecanic pentru aceasta tehnologie.

### 5.3.2 Activitati operationale desfasurate

Pentru proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea rereconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto, au fost desfasurate urmatoarele activitati operationale:

#### 3.2. Dezvoltarea unei scheme de reconfigurabilitate bazata pe cunostinte

Tematicile promitatoare pentru utilizarea modelarii, simularii tehnologiilor in vederea construirii sistemelor reconfigurabile includ: retele neuronale pentru optimizarea variantelor de reconfigurare si metode de inteligenta artificiala pentru luarea deciziilor (sisteme expert bazate pe cunoastere).

Productia inovativa reprezinta o noua orientare a structurii unei intreprinderi, de la una rigida, bazata pe reguli, la una bazata pe cunostinte si capital de idei, ceea ce va determina o miscare de la o economie a cantitatii spre una a calitatii, de la o economie bazata pe consum si risipa la o economie sustinuta.

#### 3.3. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilitatii

Există o serie de parametrii care definesc procesul de deformare pe matrițe cu pini reconfigurabili. Acestea pot fi clasificați în parametrii de intrare și parametrii de ieșire. În această etapă au fost definiți parametrii de intrare legați de echipamentul de deformare, respectiv de matrița cu pini reconfigurabili. Pe această bază a fost proiectat și realizat un echipament de deformare cu pini reconfigurabili.

Conceptual au fost proiectate două matrițe pentru deformarea cu pini reconfigurabili, care constituie obiectul a două brevete de invenție.

#### 3.4. Simularea numerica a deformarii unor caroserii cu pini reconfigurabili

Activitatea a urmărit două aspecte:

- realizarea unui model virtual al procesului de deformare cu pini, utilizând mediul de proiectare SOLID EDGE. Modelul a presupus obținerea tridimensională a echipamentului tehnologic și realizarea unei animații pentru reglarea pinilor conform unei geometrii stabilite urmata de simularea procesului de presare pentru verificarea geometriei proiectate.

- simularea numerică în element finit a procesului de deformare cu pini pentru obținerea datelor necesare aprecierii calitative a tehnologiei de deformare cu pini.

### 5.3.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.

#### A Dezvoltarea unei scheme de reconfigurabilitate bazată pe cunoștințe

Creșterea explozivă a tipurilor de informații și a numărului acestora din ultimii ani, stocate pe un anumit suport, a făcut ca prelucrarea lor și obținerea unor rezultate utile și eficiente să fie un proces foarte anevoios din punct de vedere practic.

De aceea a apărut necesitatea de a crea un instrument automat care să transforme (printr-o procesare corespunzătoare) diversele date conținute în baze de date de dimensiuni mari, în informații și cunoștințe utile atât într-un proces de observare, cât și într-unul de luare de decizii.

În sprijinul acestei nevoi a apărut conceptul de data mining.

*Definiție:* Data mining reprezintă un proces de extragere de informații implicite, viabile și care să prezinte interes, din seturi mari de date.

*Pregătirea datelor* pentru a le fi aplicate instrumentele din *data mining* consta în:

a) *Preprocesare* – eliminarea datelor care nu sunt necesare,

– verificarea consistenței (unităților de măsură),

– detectarea datelor eronate și eliminarea lor,

– eliminarea valorilor extreme (*outliers*);

b) *Integrarea datelor* – combinarea unor variabile;

c) *Transformarea variabilelor*

– prin standardizare,

– prin trecere la scala logaritmică;

d) *Separarea bazei de date în trei categorii de date:*

1) Categoria pentru antrenament,

2) Categoria pentru validare,

3) Categoria pentru testare.

e) *Folosirea statisticilor* descriptive clasice simple: media, mediana, amplitudinea, abaterea standard, cuartilele;

f) *Folosirea diagramelor* simple: histograme ale frecvențelor, *box plot*-uri, diagrame cu bare, diagrame radiale (rozeta).

În operațiile de data mining, construcția bazei de date prezintă o importanță foarte mare privind precizia modelului relational obținut. În cazul de față, baza de date se realizează în urma simulării numerice cu elemente finite a ambutisării unor piese cu matrițe reconfigurabile cu pini. Simularea procesului de deformare plastică a tablei s-a efectuat pentru 4 scheme distincte, cu corespondență în variantele posibile de realizare tehnologică:

a) deformare între două plăci, cu pini poziționați față în față;

b) deformare între două plăci, cu pini poziționați decalat;

c) deformare între două plăci, cu suprafețele materializate complet de pini;

d) deformare între două plăci, cu ansamblul matriță-poanson continuu.

Din analiza simularilor numerice realizate în cadrul obiectivului 3.1. al acestui proiect, se consideră, într-o primă aproximare, ca parametrii ce trebuie să fie stocați în baza de date de exploatat pentru extragerea de cunoștințe, sunt:

- **parametrii – cauza:**

- schema de lucru considerată (a-d);

- forța maximă de deformare;

- parametrii punctului de observare (nod al rețelei de discretizare):

- coordonatele x, y, z înainte de deformare

- coordonatele x, y, z după deformare

- valorile componentelor  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  ale tensorului tensiunilor, inainte de revenirea elastica
- valoarea tensiunii echivalente Von Mises inainte de revenirea elastica
- **parametrii – efect:**
  - parametrii punctului de observare (nod al rețelei de discretizare):
    - coordonatele x, y, z dupa revenirea elastica
    - subtierea materialului dupa deformare
    - valorile componentelor  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  ale tensorului tensiunilor, dupa revenirea elastica
    - valoarea tensiunii echivalente Von Mises dupa revenirea elastica

Coordonatele z ale punctelor de observare pe piesa inainte si dupa revenirea elastica si extrase din rezultatele simularilor numerice se raporteaza la un sistem de coordonate a carui origine este diferita e centrul de curbura a piesei. Pentru a efectua calculele geometrice necesare deciziei – punctul de pe piesa ambutisata, dupa revenirea elastica, se afla sau nu in campul de toleranta admis sau nu – se vor parcurge urmatoarele etape:

- colectarea valorilor parametrilor de mai sus corespunzatori nodurilor rețelei de discretizare, cu citire din 3 in 3 noduri;
  - calculul constantei  $z_{const}$  necesara recalcularii coordonatelor  $z_i$  ale nodurilor fata de centrul de curbura a piesei, dupa revenirea elastica;
  - calculul unghiului la centru  $\alpha_i$  corespunzator nodului i – punct de observare/masurare;
  - calculul unghiurilor la centru,  $\alpha_{i-}$  si  $\alpha_{i+}$ , corespunzatoare pozitiiilor minim/maxim a campului de toleranta admis;
  - calculul coordonatelor  $z_{i-}$  si  $z_{i+}$  intre care trebuie sa se situeze cordonata  $z_i$  pentru a respecta campul de toleranta impus;
  - completarea coloanei “**decizie**” in baza de date in functie de pozitia coordonatei  $z_i$  dupa revenirea elastica, fata de campul de toleranta, adica fata de intervalul  $[z_{i-}, z_{i+}]$ .
- Colectarea valorilor parametrilor-cauza si a parametrilor-efect

In urma simularii numerice a celor patru scheme de lucru (pini fata in fata, pini decalati, suprafata materializata complet de pini, ansamblul matriță-poanson continue) s-a realizat colectarea valorilor parametrilor-cauza si ale parametrilor-efect cu citire din 3 in 3 noduri pentru ca baza de date sa nu fie deosebit de voluminoasa. Au rezultat bazele de date : *CapPini.xls*, *DecalatPini.xls*, *ContinuPini.xls* si *Continu.xls*. Prin colectarea valorilor acelorasi parametri dupa revenirea elastica s-au generat bazele de date: *SpringCapPini.xls*, *SpringDecalatPini.xls*, *SpringContinuPini.xls* si *SpringContinu.xls*. Bazele de date de mai sus sunt prezentate in anexa acestui raport.

- Calculul constantei  $z_{const}$

Constanta  $z_{const}$  reprezinta cota z a centrului de curbura a piesei fata de originea sistemului de coordonate considerat in simularea numerica. Aceasta valoare se calculeaza considerand cota z a unui nod aflat pe conturul piesei la sfarsitul deformarii – punctul  $B_1$  din figura 1 - respectiv 41,420158, si lungimea segmentului  $O_1B_2$  calculat pentru acelasi nod, astfel:

$$z_{const} = O_1B_2 + 41.420158$$

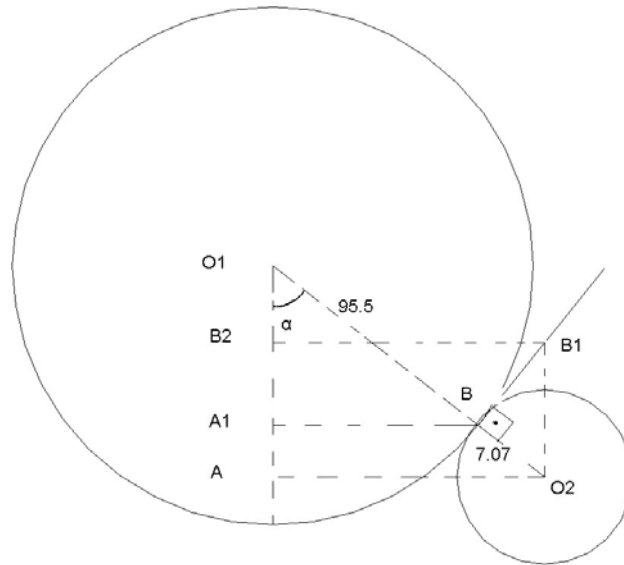


Figura 1

$$\square O_1AO_2 \square \square O_1A_1B \Rightarrow \frac{95.5 + 7.07}{95.5} = \frac{60}{A_1B}$$

$$A_1B = \frac{95.5 \cdot 60}{95.5 + 7.07} = 55.864287$$

$$\square O_1AO_2 : O_1A = \sqrt{102.57^2 - 60^2} = 83.19$$

$$\left. \begin{array}{l} \square O_2BB_1 : O_2B_1 = \frac{O_2B}{\cos \alpha} \\ \sin \alpha = \frac{60}{102.57} \Rightarrow \alpha = 35.8 \end{array} \right\} \Rightarrow O_2B_1 = \frac{7.07}{\cos 35.8} = 8.71695$$

$$O_1B_2 = O_1A - O_2B_1 = 83.19 - 8.71695 = 74.47305$$

$$\text{constanta } (z) = 74.47305 + 41.420158 = 115.893208$$

$$\boxed{z_{\text{const}} = 115,893208 \text{ mm}}$$

- Recalcularea coordonatelor  $z_i$

Vom folosi valoarea constantei obtinuta la etapa anterioara pentru a recalcula coordonata  $z_i$  a fiecarui nod  $i$  considerat, in raport cu centrul de curbura a piesei, astfel:

$$z_i = z_{\text{const}} - z_{i_{\text{sim}}}$$

- Calculul unghiurilor la centru  $\alpha_{i-}$  si  $\alpha_{i+}$

Pentru un nod  $i$  in care se colecteaza valorile parametrilor-cauza si ale parametrilor-efect avem situatia prezentata in figura 2, astfel incat:

$$\cos \alpha_i = \frac{z_i}{95.5}$$

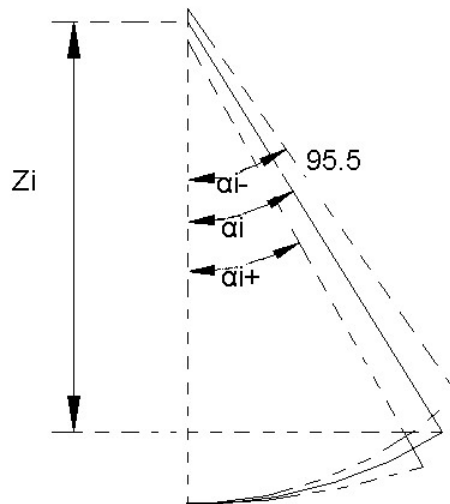


Figura 2

Conform STAS 11111 toleranta admisibila la raza de curbura R95 a piesei este  $\pm 1$ .

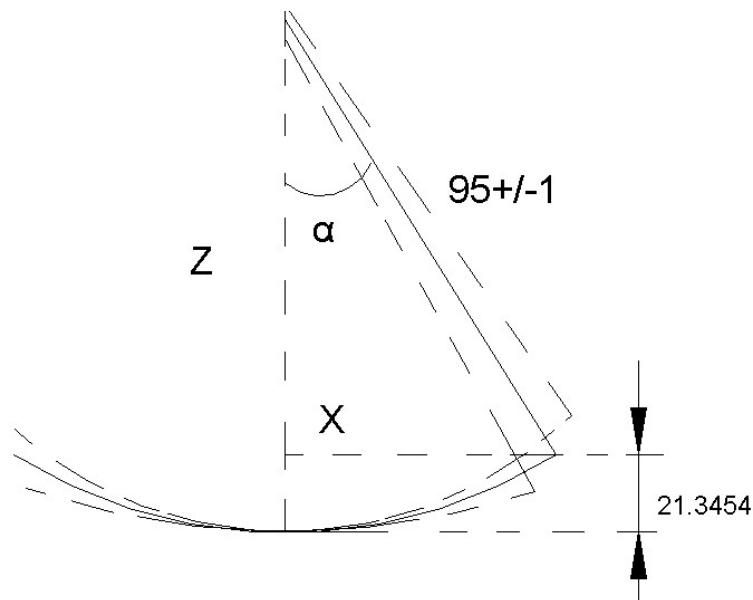


Figura 3

$$\begin{aligned} 360 & \dots\dots\dots 2\pi \cdot 95 \\ \alpha & \dots\dots\dots L \\ L_{prest} & = \frac{2\pi \cdot 95 \cdot \alpha}{360} = 64.94mm \end{aligned}$$

Lungimea piesei (figura 3) fiind aceeași în cazul dat și în cazurile extreme  $R_+ = 96,5$  mm și  $R_- = 94,5$  mm, pentru la fiecare nod  $i$  considerat, rezulta:

$$L_i = \frac{2\pi\alpha_i}{360} \cdot 95.5 = const \quad \text{și} \quad const = \frac{\pi\alpha_i \cdot 95.5}{180} = \frac{\pi\alpha_{i_+} \cdot 96.5}{180} = \frac{\pi\alpha_{i_-} \cdot 94.5}{180}$$

Din relațiile de mai sus rezulta relațiile de calcul a unghiurilor la centru corespunzătoare aceluiași punct (aceeași lungime a deformatiei) aflat pe raza minimă, respectiv pe raza maximă conform toleranței admisibile.

$$R_+ = 96.5 \Rightarrow \alpha_{i_+} = \frac{95.5}{96.5} \cdot \alpha_i \Rightarrow z_{i_+} = 96.5 \cdot \cos \alpha_{i_+}$$

$$R_- = 94.5 \Rightarrow \alpha_{i_-} = \frac{95.5}{94.5} \cdot \alpha_i \Rightarrow z_{i_-} = 94.5 \cdot \cos \alpha_{i_-}$$

- Calculul coordonatelor  $z_{i_-}$  și  $z_{i_+}$

Folosind relațiile obținute la etapele anterioare pentru calculul unghiurilor la varf minim/maxim și înlocuind în ultimele două, rezulta:

$$z_{i_-} = 94.5 \cdot \cos \left( \frac{95.5}{94.5} \cdot \arccos \frac{(\text{constanta}(z) - z_{i_{sim}})}{95.5} \right)$$

$$z_{i_+} = 96.5 \cdot \cos \left( \frac{95.5}{96.5} \cdot \arccos \frac{(\text{constanta}(z) - z_{i_{sim}})}{95.5} \right)$$

- Luarea deciziei

Pentru completarea coloanei “*decizie*” în bazele de date obținute comparăm fiecare valoare  $z_i$ , obținută după revenirea elastică în simularea numerică și recalculată la una din etapele anterioare, cu valorile minim/maxim  $z_{i_-}$  și  $z_{i_+}$ .

$$\text{Dacă } (z_{i_{sim}}) \in [z_{i_+}, z_{i_-}] \Rightarrow \text{atunci decizia are valoarea 0.}$$

În caz contrar decizia are valoarea 1.

## **B. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilității**

Deformarea cu matrice reconfigurabile poate fi caracterizată de următorii parametri de intrare principali:

- *forma, numărul și modul de aranjare a pinilor în rețea* (figura 3.38).

Forma pinilor poate fi hexagonală, pătrată, triunghiulară sau circulară (figura 3.38).

Cum se dorește ca suprafața de contact dintre pini să fie maximă, rezultă că este de preferat o aranjare a pinilor de tip triunghiular, pătrat sau hexagonal. Rețeaua rotundă, deși este cel mai ușor de realizat din punct de vedere practic, nu asigură decât un contact liniar între pini, cu efect negativ asupra realizării unei forțe de strângere corespunzătoare. Din rațiuni tehnologice, în practică, cea mai utilizată este rețeaua pătrată.

Capetele active ale pinilor sunt semisferice, cu un diametru egal cu diagonala secțiunii transversale prin pin, având dimensiunile cuprinse între 25 și 28 mm.

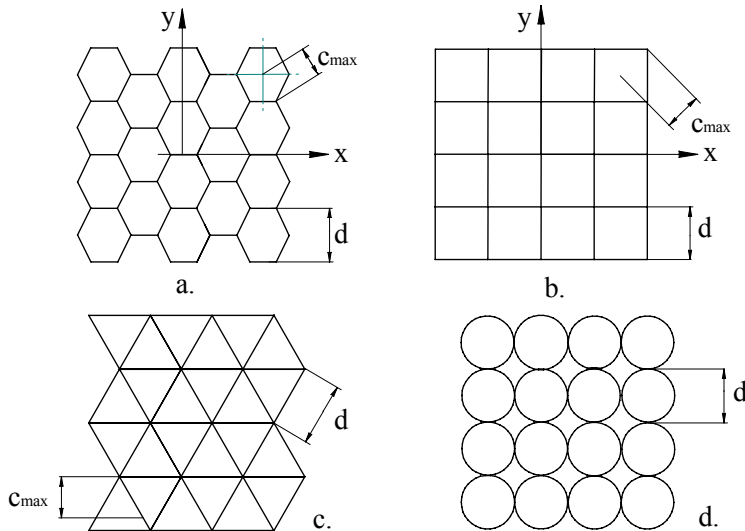


Fig. 3.38. Tipuri de rețele de pini: a. rețea hexagonală; b. rețea pătrată; c. rețea triunghiulară; d. rețea circulară

Corpul pinilor poate fi solid sau poate fi de formă tubulară.

Numărul pinilor este determinat de dimensiunile piesei care urmează a se deforma și de diametrul lor. De exemplu pentru o matrită cu dimensiunile de  $1,2 \times 1,8$  m sunt necesari între 2700 (29 mm diametru de pin) și 3500 pini (25 mm diametru de pin). Cu cât diametrul lor este mai mic, evident că numărul necesar de pini va fi mai mare cu efect benefic asupra calității suprafeței tablei deformate, care va fi mai bună.

- poziția pe înălțime a pinilor în rețea, determină punctul de contact al pinilor cu suprafața tablei. Determinarea înălțimii pinilor de deformare  $z_{ij}$ , din punctele  $M_{ij}(x_i, y_j)$  ale ochiurilor rețelei de distribuție a pinilor (figura 3.39), indiferent de soluția constructivă aleasă pentru partea de contact a pinilor cu tabla, se face pe baza unor modele matematice și a unor programe de calcul [Gav 2].

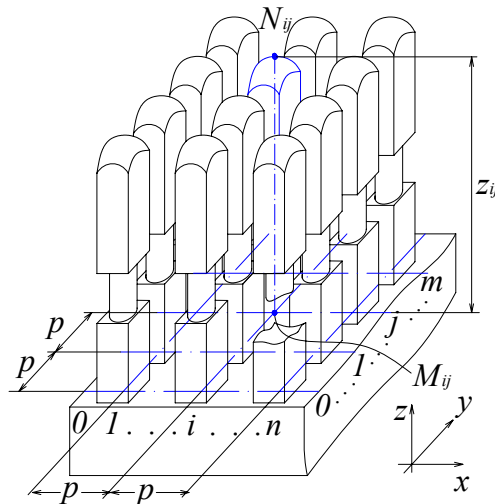


Fig. 3.39. Schema de distribuție a pinilor în rețea

- materialul. Dintre caracteristicile de material, grosimea este cel mai influent parametru asupra procesului de deformare. O grosime mică de material duce la apariția fenomenului de imprimare a capului pinilor pe suprafața tablei cu efect negativ asupra calității piesei. La grosimi mai

mari acest efect se diminuează, dar rămâne prezent. Ca urmare, în vederea obținerii unei forme corecte a tablei și a reducerii abaterilor de formă care rezultă în urma deformării, este necesar să se introducă între suprafețele active, a poansonului și a matriței și suprafața tablei, o membrană (interpolator) de cauciuc (figura 3.41). Grosimea acestui interpolator și modulul lui de compresiune au rol important în reducerea undulațiilor materialului dintre pini.

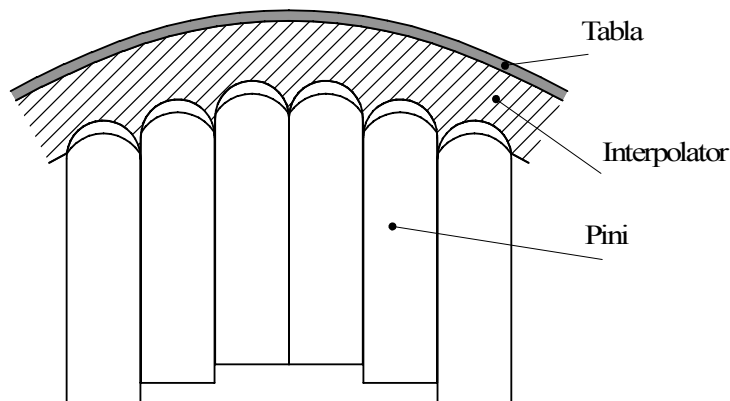


Fig. 3.41. Schema deformării cu pini folosind o membrană de cauciuc

- *forța de strângere*. Fiecare pin se sprijină de pini vecini, astfel încât sarcinile rezultate din presare vor fi transferate casetei de prindere, pini neavând nevoie de rigidizări suplimentare.

Se pot utiliza două metode de strângere a pinilor: cu fixare pe o direcție, cu fixare pe două direcții (figura 3.42).

În cazul general, forța minimă necesară prinderii pinilor, la fixarea pe o direcție, este dată de relația:

$$N = n \cdot \frac{F_a}{2 \cdot \mu_{static}} \quad (3.11)$$

unde:  $F_a$  este forța de deformare verticală;  $n$  – numărul de pini;  $\mu_{static}$  – coeficientul de frecare dintre pini.

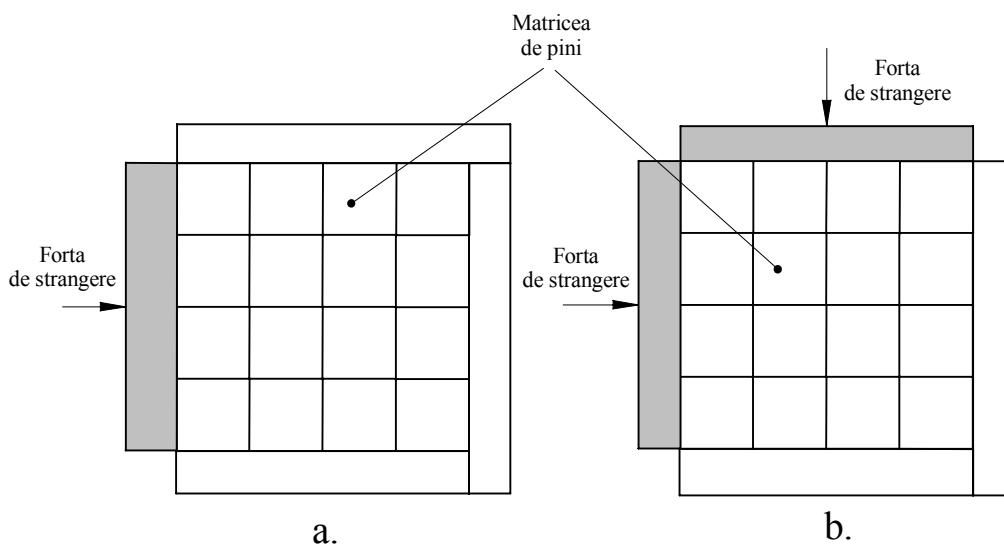


Fig. 3.42. Modalități de fixare a pinilor: a. fixare pe o direcție; b. fixare pe două direcții



Plecând de la datele prezentate mai sus, identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilității s-a realizat atât pe cale numerică cât și experimentală. De fapt, încercările experimentale au avut ca suport rezultatele simulărilor numerice.

Din multitudinea de parametri tehnologici pentru identificare s-au avut în vedere ca date de intrare:

- dispunerea pinilor în rețea;
- numărul acestora.

La identificarea numerică parametri de ieșire urmăriți au fost:

- variația grosimii;
- mărimea revenirii elastice;
- starea de tensiuni și deformații.

La identificarea experimentală se va considera doar variația revenirii elastice. Cercetările experimentale sunt în curs de desfășurare și vor face obiectul unor publicații viitoare.

Pentru identificarea experimentală a fost proiectat și realizat un echipament prezentat în figura 3.43.

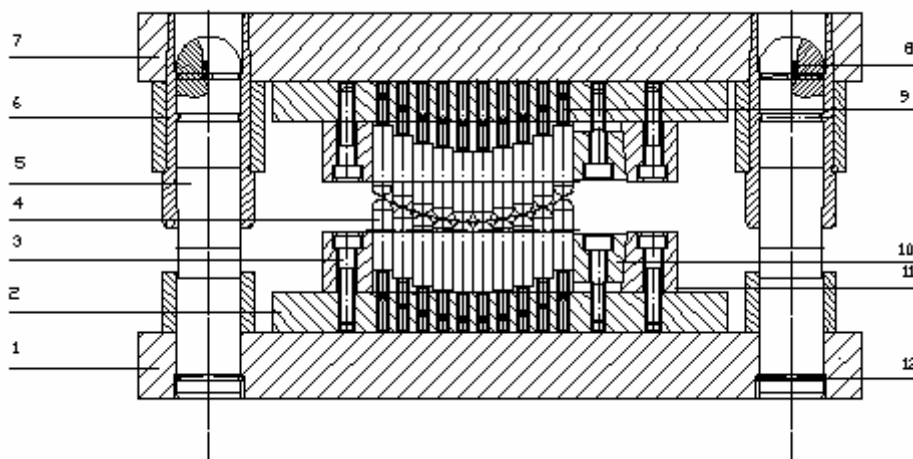


Fig. 3.43. Desen de ansamblu și matrița reconfigurabilă cu pini.

În figură este prezentată o matriță reconfigurabilă în poziție de lucru secționată. Pe placa de bază 1 este fixată placa de reglare 2. Pe placa de reglare 2 sunt fixate pana de strângere 10 și rigla de strângere 11 cu ajutorul șuruburilor 3 (M10x40). La desfăcerea acestor șuruburi pana de strângere, care are un plan înclinat, se deplasează permițând reglarea înălțimii pinilor de fasonare 4 (10x10) cu ajutorul tijelor filetate de reglare 9. Fiecare pin este deplasat de câte o tijă. Pe placa superioară 7 este

fixat ansamblu superior al matriței. Placa superioară culisează pe coloanele de ghidare 5 cu ajutorul bușelor de ghidare 6 care formează un ajustaj cu joc cu coloanele. Inelul de fixare 12 și dopul de pâslă 8 sunt elemente componente ale colanei de ghidare.

### C. Simularea numerică a deformării unor caroserii cu pini reconfigurabili

Activitatea urmărește două aspecte:

- simularea virtuală a procesului de deformare cu pini
- simularea numerică a procesului de deformare cu pini

#### ○ Simularea virtuală a procesului de deformare cu pini

S-a realizat un model virtual al procesului de deformare cu pini, utilizând mediul de proiectare SOLID EDGE. Modelul presupune obținerea tridimensională a echipamentului tehnologic și realizarea unei animații pentru reglarea pinilor conform unei geometrii stabilite urmata de simularea procesului de presare pentru verificarea geometriei proiectate.

În figura 3.44 se prezintă echipamentul proiectat în mediul de programare SOLID EDGE.

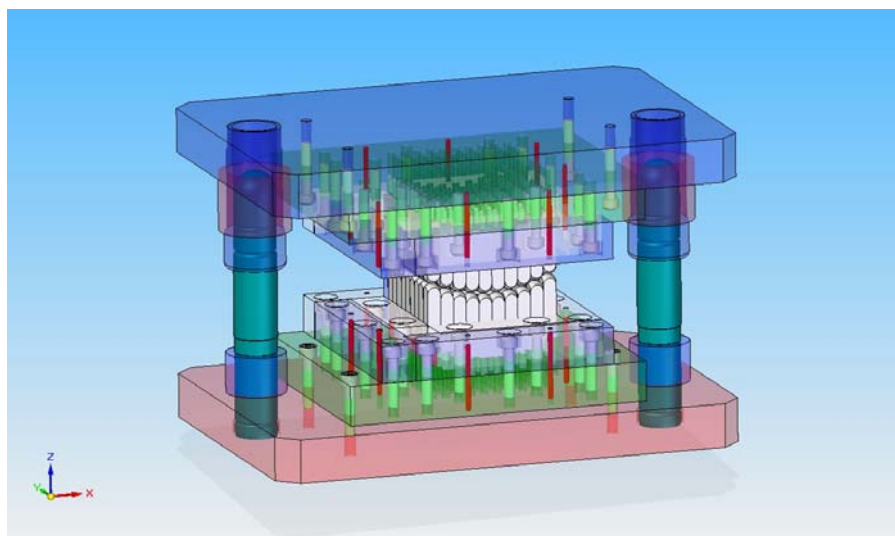


Fig. 3.44. Modelul 3D al matriței reconfigurabile cu pini.

#### ○ Simularea numerică a procesului de deformare cu pini

Simularea numerică s-a realizat pentru o piesă cu simplă curbură, având o rază interioară de 95 mm și o lățime de 120 mm. Semifabricatul necesar realizării acestei piese are dimensiunile 130 x 130 mm. Materialul piesei este o tablă din oțel cu rezistență medie având o grosime de 1 mm. Legea de comportare a materialului este de forma:

$$\sigma = K \varepsilon^n \quad (1)$$

Valorile caracteristice ale materialului sunt: exponentul de ecruisare  $n = 0,22$ ; coeficientul de material  $K = 648$  MPa. Valorile coeficientului de anizotropie  $R$  sunt următoarele:  $R_{00} = 1,87$ ;  $R_{45} = 1,27$ ;  $R_{90} = 2,17$ .

Simularea numerică a fost realizată în condițiile a patru scheme de lucru pentru a avea posibilitatea unei analize comparative a rezultatelor.

- a) deformare între două plăci, cu pini poziționați față în față;
- b) deformare între două plăci, cu pini poziționați decalat;

- c) deformare între două plăci, cu suprafețele materializate complet de pini;  
 d) deformare între două plăci, cu ansamblul matriță-poanson continuu.  
 Cele patru scheme de lucru sunt prezentate în figura de mai jos.

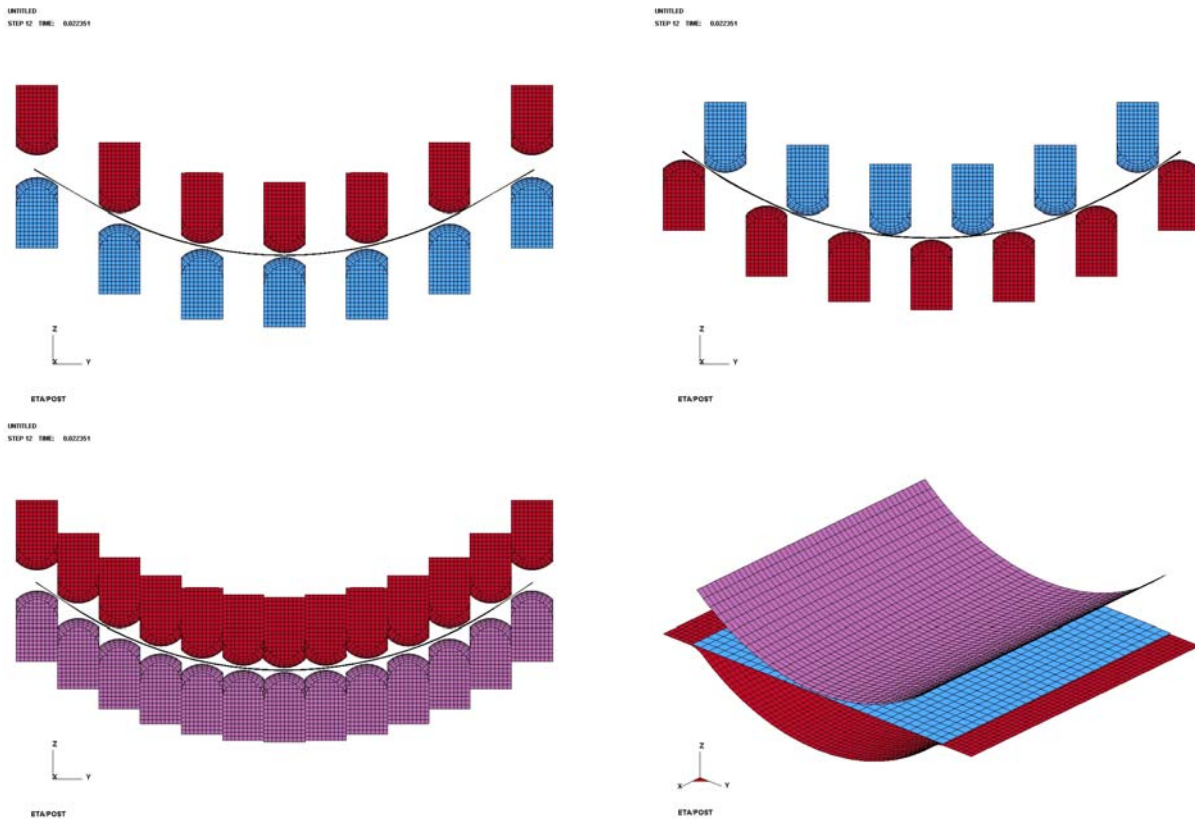


Fig. 3.44 Scheme de lucru în simularea numerică

Rezultatele simulărilor numerice au fost utilizate în capitolul 3.2 ca și în proiectarea matriței de deformare cu pini.

### 5.3.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse

#### Lucrari stiintifice

1. Maier C., Kosmalski N., Banu M., Epureanu A., Paunoiu V., **Design of the virtual model of re-drawing process.** În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN 1221-4566, p.11 (indexata **BDI**).

#### Abstract:

This paper deals with the develop the finite element modelization of the re-drawing process in order to create his virtual model. The finite element is a method that permits to reduce the time and the cost in the designing. Then in a second time a good finite element model permit to avoid or complement laboratory characterization of material for re drawing. methodology for developing a laboratory inverse re-drawing device. The drawing process is performed in two phases: a direct drawing of a

circular blank followed by a second reverse re-drawing phase on the same device.

A work is also done on the finite element model for the single deep drawing. This single deep drawing is used to validate the parameters of the numerical model. The main goal of this simulation is to define geometrical parameters of the process, in order to design a reverse re-drawing machine, and have the possibility in the future to compare experimental results and finite element results. The second goal is the estimation of the blank reaction (ability to support the process), and eliminate as well the defects obtained during the simulation.

**Key words:** finite element simulations, inverse re-drawing, strain path.

2. Maier C., Tabacaru V., Banu M., Bouvier S., Marinescu V., ***Designing of a modular set of inverse re-drawing dies aided by FEM simulation*** În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p.17 (indexata **BDI**).

**Abstract:**

This paper deals with the methodology for developing a laboratory inverse re-drawing device. The drawing process is performed in two phases: a direct drawing of a circular blank followed by a second reverse re-drawing phase on the same device.

Finite element simulations are carried out in order to i).define geometrical characteristics of the modular re-drawing device and to ii). estimate the punch force evolution for different dimensions of punch, die and blankholder and for a large class of materials. Based on such FEM simulations, springs for the developed reverse deep drawing device are dimensioned. The use of springs gives the possibility to deform the material with an imposed blank-holder force. Finally, a draw of the designed modular device is presented considering all the results of the finite element simulation.

**Key words:** finite element simulations, inverse re-drawing, strain path, modular device.

3. M. Banu, A. Epureanu, O. Naidim, ***A new algorithm for springback prediction of the automotive body cars using artificial intelligence methods.*** În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p.41 (indexata **BDI**).
4. Banu M., Florescu M., Epureanu A., Marinescu V., ***An econometric model of the body cars manufacturing.*** În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p.47 (indexata **BDI**).
5. Paunoiu V, Maier C., Epureanu A., Banu M., ***Virtual compensation of springback in sheet metal deformation with multipoint reconfigurable die.*** În: **Reconfigurable Manufacturing Systems**-Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, p. 37, 2007, ISSN 1221-4566, p.59 (indexata **BDI**).

**Abstract:**

Forming with multipoint reconfigurable dies is a flexible manufacturing stamping technology which it uses discrete punches to materialize a continuous 3-D surface for these active elements. In the paper is presented an algorithm for springback compensation in deformation with multipoint reconfigurable

die and the results of the virtual compensation of this phenomenon using the finite element method, as the central part of the proposed algorithm.

6. Maier C., Banu M., Paunoiu V., Epureanu A., ***Sheet metal forming analysis with multipoint reconfigurable die using data mining technique.*** În: **Reconfigurable Manufacturing Systems-** Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN 1221-4566, p.65 (indexata **BDI**).
7. Gavrus, M. Banu, E. Ragneau, C. Maier, V. Marinescu, ***Identification of Material Parameters for Deep-Drawing Process Using An Inverse Analysis of the Erichsen Test,*** Conferinta Internationala SIA2007, 24-25 octombrie 2007, Caen, Franta, (indexata **ISI**).
8. Ciocan Ovidiu, ***Echipament Tehnologic Destinat Prelucrării prin Deformare Plastică Superficială a Suprafețelor Cilindrice Exterioare,*** Lucrările T.M.C.R., Editura Tehnică a Moldovei, Chișinău, 2007, pag. 271- 275, ISBN 978-9975-45-035-5 (vol. 1).
9. Păunoiu Viorel, Spiridonescu Cornelia, Nicoară Dumitru, Epureanu Alexandru, ***Researches regarding the deep drawing with combined restraint,*** TMCR, Chisinău, 2007, pag. 279-284, ISBN 978-9975-45-035-5.
10. Paunoiu V., Nicoara D., Epureanu A., Maier C., Banu M., ***Flexible stamping technology based on multipoint reconfigurable die,*** ICMS 2007, Buletinul Institutului Politehnic din Iași 2007.
11. Oleksik, V., Bologa, O., Racz, G., Deac, C, ***Roughnes Control of Parts Obtained through Incremental Sheet Forming,*** The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.

## Inventii

**1. Metoda de ambutisare si masina reconfigurabila de ambutisat - Dosar Nr. A 00576/13.08.2007.**

Prezenta invenție se referă la o metodă de ambutisare și la o mașină reconfigurabilă de ambutisat a semifabricatelor sub formă de table subțiri, pentru realizarea unor piese spațiale, de configurație complexă, de tipul celor destinate caroseriilor auto.

Mașina conform invenției se caracterizează prin aceea că are o placă de reținere elastică și un circuit hidraulic care asigură o presiune suficient de mare pentru a crea o stare de tensiuni și deformații favorabilă în zona de contact dintre elementele active și semifabricat, forma suprafețelor active generate de elementele active de ambutisare poate fi modificată on-line în funcție de mărimea tensiunilor și deformațiilor din material până la obținerea formei finale a piesei ambutisate. Poansonul și placă de ambutisare, formează un subansamblu de construcție specială, reconfigurabil. Mașina este constituită din două subansamble, superior mobil și inferior fix. Cele două subansamble se ghidază prin intermediul unor coloane de ghidare. Subansamblul superior este acționat de un număr de cilindri hidraulici. Subansamblul inferior se sprijină pe o placă de bază. Cele două subansamble sunt identice din punct de vedere constructiv. Subansamblul superior materializează poansonul de ambutisare iar cel inferior placă de ambutisare. Pe cele două subansamble sunt montate două plăci de reținere elastice, prevăzute cu garnituri de etanșare. Asupra acestora se aplică forțe variabile cu ajutorul unor cilindri hidraulici de reținere. În interiorul plăcilor de reținere sunt poziționate

elementele active discrete cu cap sferic, sub forma unor cilindrii acționați hidraulic, care materializează suprafața activă de lucru și care se pot deplasa axial controlat. Elementele active sunt montate pe câte o placă de fixare. Placa de fixare, corpul, rețeaua de elemente active și cilindrii hidraulici de reținere, placa de reținere și semifabricatul formează o incintă în care este introdus agentul hidraulic sub presiune. Reconfigurarea plăciilor active compuse din elementele active discrete constă în efectuarea unei deplasări axiale controlate, cu o mărime bine determinată, a fiecăruia în parte și conservarea poziției obținute în urma acestei deplasări. Pentru aceasta se folosește câte un circuit hidraulic pentru fiecare element activ, atât deplasarea cât și presiunea fiind comandate numeric.

2. Paunoiu V., Epureanu A., Maier C., Ciocan O., Banu M., Marinescu V., ***Procedeu și echipament pentru controlul dimensional adaptiv al procesului de ambutisare cu matrite reconfigurabile*** – (in curs de brevetare)

### 5.3.5 Concluzii

1. S-a realizat o amplă cercetare bibliografică care a stat la baza stabilirii direcțiilor de cercetare în cadrul acestui contract;
2. S-au dezvoltat algoritmi pentru determinarea geometriei matriței de deformare cu pini și pentru stabilirea modului de compensare a revenirii elastice;
3. S-au efectuat o serie de simulări numerice care au stat la baza analizei procesului, la proiectarea matriței de deformare cu pini și la realizarea unei baze de cunoștințe;
4. S-a proiectat și realizat o matriță experimentală cu pini;
5. Folosind mediul de programare SOLID EDGE s-a realizat prototipul virtual al matriței și simularea procesului;
6. Pe baza experienței acumulate de colectiv s-au propus două brevete de invenții.

## 5.4. Sinteza unor noi tehnici de modelare a cinematicii sistemelor de profilare a sculelor generatoare

### 5.4.1 Premisele științifice și tehnice

Problematica ce face subiectul acestui obiectiv al proiectului se referă la aspecte legate de profilarea sculelor cu generatoare complexă, lucrând prin înfășurare, atât în cazul procedeelelor convenționale de așchiere, cât și în cadrul unor procese de prelucrare neconvenționale, pentru profilarea corectivă din punct de vedere geometric a acestora, precum și pentru reconfigurarea constructivă a sculelor în vederea îmbunătățirii performanțelor acestora din punct de vedere al consumului energetic.

Generarea suprafețelor prin înfășurare conduce la precizie de prelucrare ridicată și, de asemenea, la o productivitate, astăzi, acceptabilă, în condițiile existenței tehnologiei de concepere și execuție a unor scule de mare complexitate.

Profilarea sculelor pentru generarea vârtejurilor ordonate de suprafețe (în esență piese cu „dantură”) se face apelând la teoremele fundamentale ale înfășurării suprafețelor, aplicate în condițiile în care suprafețele se consideră nedeformabile, generarea prin înfășurare fiind o metodă cu un caracter deosebit de general [4.1], [4.2], [4.3], [4.4].

Analiza atentă a cunoștințelor domeniului relevă mai multe metode pentru abordarea problematicii înfășurării:

- Teoremele Gohman, ca metodă universală prin domeniul de aplicabilitate, dar cu probleme legate de manipularea unor sisteme analitice complexe;
- Metoda „distanței minime” ca metodă care permite și abordarea profilurilor cunoscute în formă discretă;
- Metoda „familiei de cercuri de substituire” care are avantajul unei exprimări grafice intuitive;
- „Metoda tangentelor” ca metodă analitică, aplicabilă în problemele profilurilor plane.

Problematica înfășurării suprafețelor este, în esență, o problemă tridimensională [4.5], [4.6], [4.7], [4.8], [4.9], [4.10], rezolvabilă și în unele cazuri particulare ca o problemă plană [4.11], [4.12].

Sinteza unei tehnici de tratare a suprafețelor în înfășurare ca o **problemă plană** constituie un obiectiv care să conducă la simplificarea substanțială a problematicii profilării sculelor generatoare, în condițiile reducerii efortului de calcul. Fundamentarea unei astfel de tehnici, în forma unei noi metode denumită „metoda traiectoriilor plane de generare” și a aplicațiilor acesteia în scopul generării unor noi tipuri de suprafețe (suprafețe cu evoluție continuă), precum și ca premisă a unei modalități de modelare a schemelor de așchiere la danturare, în scopul reconfigurării pe baze energetice a sculelor de danturat, constituie obiectul acestui capitol —OBIECTIVUL 4.

### 5.4.2 Activități operaționale desfășurate

In aceasta etapa a fost desfășurată activitatea 4.3 - *Modelarea suprafețelor generabile prin procedee neconvenționale reconfigurabile*

### 5.4.3 Ideile cheie considerate. Modul de abordare.

**A. Sinteza unei noi metode pentru modelarea înfășurării suprafețelor, aplicabilă pe mașini-unelte care generează vârtejuri ordonate de suprafețe**

Elaborarea unei noi metode — Metoda traiectoriilor plane de generare — aplicabilă generării prin înfășurare a suprafețelor

### Fundamentarea metodei

S-a enunțat teorema:

Înfășurătoarea unui profil asociat unei centroide aparținând unui cuplu de centroide în rulare este înfășurătoarea familiei de traiectorii descrise de punctele acesteia în spațiul asociat centroidei în rulare.

În acest fel, ecuațiile familiei de profiluri pot fi interpretate ca fiind traiectoriile punctelor aparținând profilului  $\Sigma$ , generate în mișcarea relativă a celor două centroide, vezi fig. 4.1.

Familia de traiectorii:

$$(\Sigma)_\varphi \begin{cases} \xi = \xi(u, \varphi_1); \\ \eta = \eta(u, \varphi_1). \end{cases} \quad (4.1)$$

permite determinarea înfășurătoarei, dacă ecuațiilor (4.1) li se asociază condiția:

$$\frac{\xi'_u}{\xi'_{\varphi_1}} = \frac{\eta'_u}{\eta'_{\varphi_1}}. \quad (4.2)$$

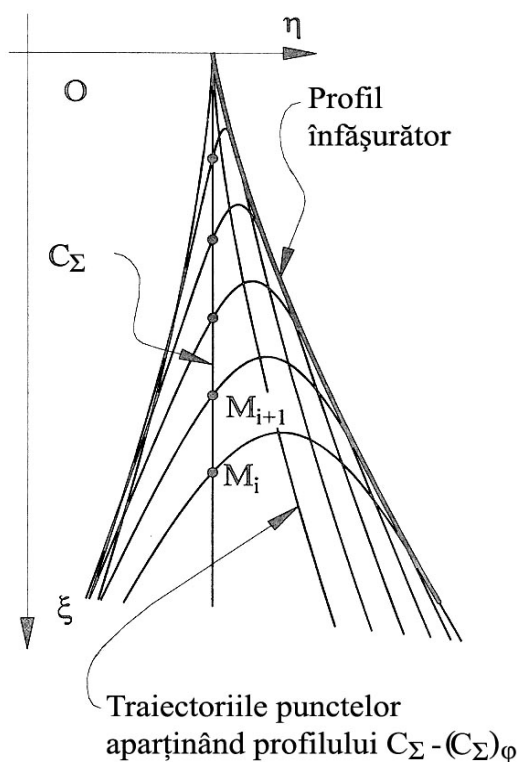


Fig. 4.1. Familia traiectoriilor punctelor aparținând profilului  $\Sigma$

Astfel, se elaborează o metodică ce permite determinarea familiilor de curbe de tipul  $(C_\Sigma)_\varphi$ , reprezentând traiectorii ale punctelor de pe profilurile semifabricatelor sau poziții succesive ale unei curbe plane aparținând semifabricatelor, în mișcarea relativă față de sculă.

În mod similar, problema spațială a suprafețelor în înfășurare - problema de speța a II-a, (generarea vârtejurilor de suprafețe cu scula-melc) va primi o soluție în baza aceluiași principiu al înfășurătoarei unei familii de curbe plane.

Urmare a noii tehnici de modelare a înfășurării suprafețelor inițiată în cadrul proiectului s-au realizat dezvoltări pentru algoritmi de modelare a suprafețelor în înfășurare specifice mașinilor de danturat cu scule de tip roată.



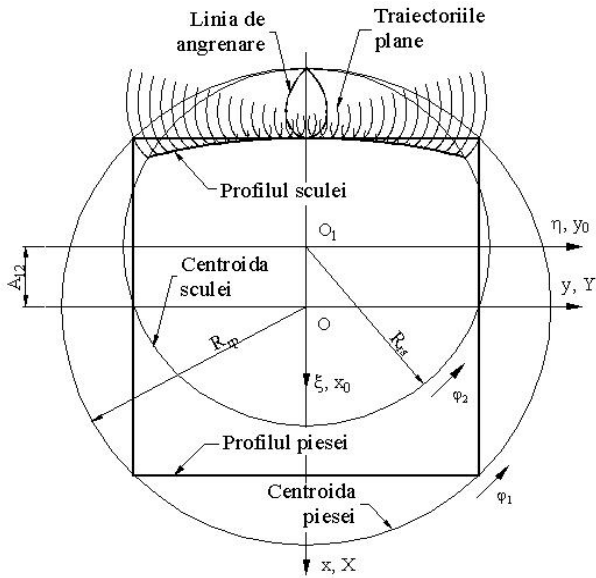


Fig. 4.2. Cuțit-roată pentru prelucrarea unei bucușe cu alezaj pătrat

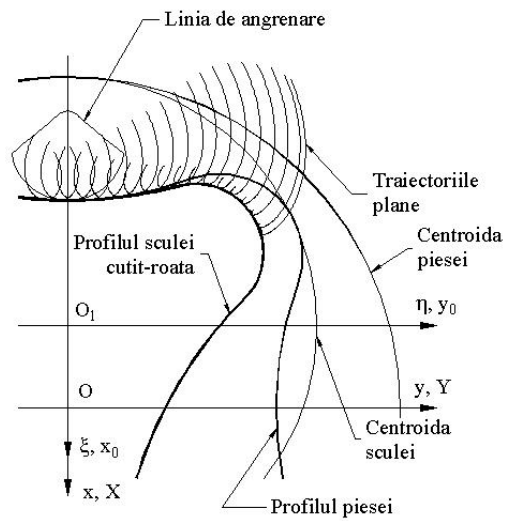


Fig. 4.3 Linia de angrenare și traectoriile plane

Noua tehnică de modelare a înfășurării suprafețelor a fost dezvoltată, în mod specific, și pentru generarea prin înfășurare a suprafețelor elicoidale cilindrice și de pas constant cu scule mărginite de suprafețe periferice primare de revoluție, scula disc și scula cilindro-frontală.

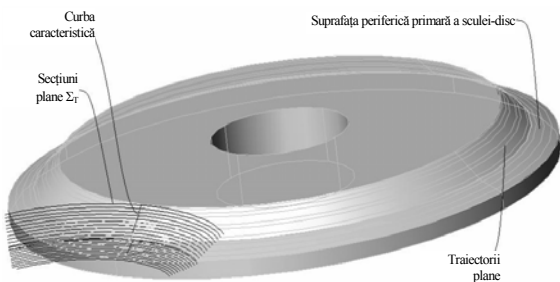


Fig. 4.4. Scula-disc pentru prelucrarea suprafeței elicoidale compusă

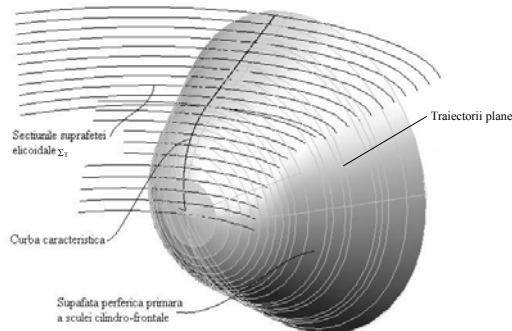


Fig. 4.4 Scula cilindro-frontală pentru prelucrarea suprafeței elicoidale compozite

Modelarea erorilor geometrice de generare a suprafețelor constituie altă dezvoltare a algoritmicii propuse.

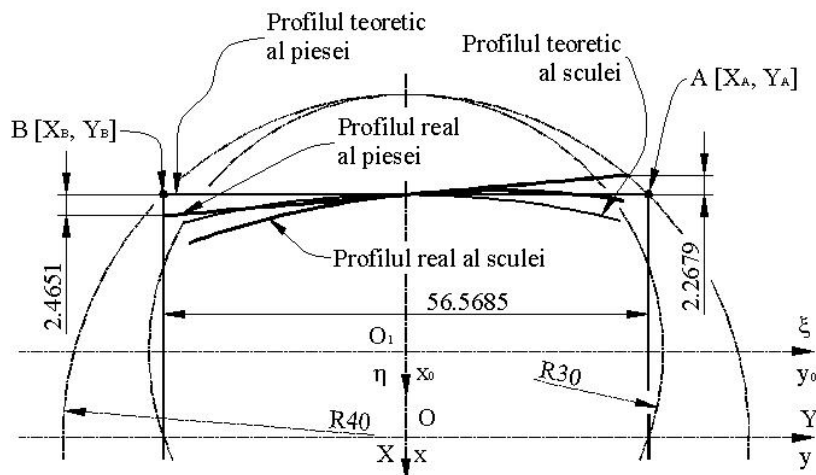


Fig. 4.6. Profilul real și teoretic al cuțitului-roată

Metodica, așa cum a fost elaborată în cadrul obiectivului, acoperă totalitatea problemelor legate de generarea suprafețelor și modelarea proceselor de profilare corectivă.

### B. Metodă și procedeu de generarea a unor noi suprafețe cu evoluție continuă

Suprafețele cu evoluție continuă (suprafețe poliforme), de principiu sunt generabile prin mai multe procedee, pe mașini-unelte specializate sau cu echipamente dedicate.

Prin dezvoltarea unor aplicații ale metodei pentru modelarea înfășurării suprafețelor, din cadrul prezentului proiect, s-au putut modela, și ulterior, realiza fizic, pe baza unui echipament ce reconfigurează o mașină de rectificat rotund, o serie de suprafețe cu evoluție continuă, figura 4.7.

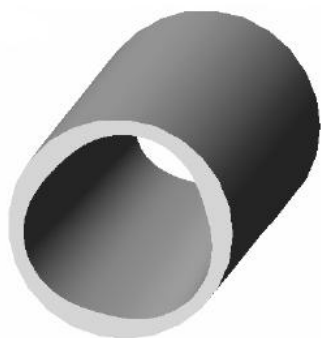


Fig. 4.7. Alezaj poliform

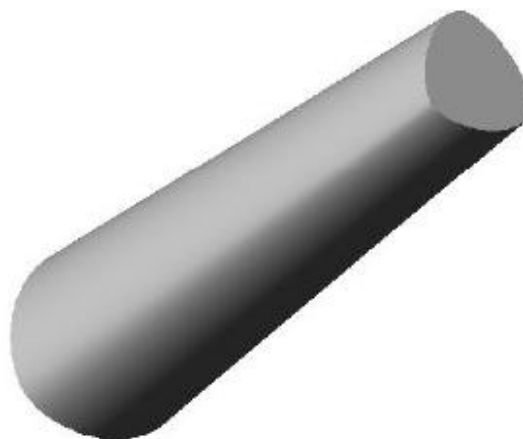


Fig. 4.8. Arbore poliform

S-au modelat principal erorile de generare, pentru ajustaje bazate pe acest tip de suprafețe.

S-au propus soluții constructive brevetabile, pentru reconfigurarea mașinii de rectificat rotund.

### C. Metode de generare a suprafețelor prin procedee neconvenționale pe sisteme de prelucrare reconfigurabile

În cazul generării cinematice a suprafețelor pe sisteme de prelucrare computerizate reconfigurabile o mare influență asupra formei și dimensiunilor suprafețelor generate o au următoarele fenomene fizice:

- procesul de erodare a materialului electrodului real;
- variația dimensiunii, în timpul procesului, a interstițiului lateral.

Aceste două fenomene determină legi specifice de variație în timp a formei și dimensiunii suprafeței generatoare a electrodului real. Parametrii efectivi ai suprafeței generatoare a electrodului real sunt determinați de legile de variație în timp a uzurii electrodului în funcție de mărimea parametrilor tehnologici de lucru, specifici regimurilor de prelucrare electroerozive.

În cadrul obiectivului se exemplifică o metodă de modelare a suprafețelor, utilizând tehnica prelucrării cu electrozi masivi succesivi, în baza unui algoritm cu etape succesive de generare.

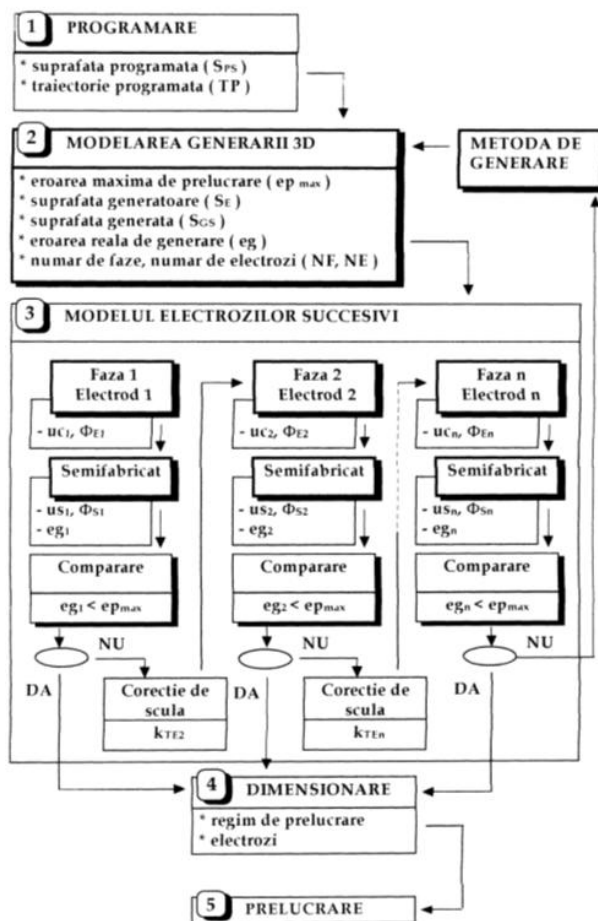


Fig.4. 9. Etapele algoritmului de modelare

Succesul obținut de carburile metalice este datorat naturii compoziției lor, care le asigură proprietăți mecanice de excepție, fapt care a condus la utilizarea lor pe scară largă la fabricarea sculelor pentru prelucrarea oțelului, lemnului și pietrei. Lucrarea prezintă o analiză calitativă a prelucrabilității carburilor metalice prin eroziune electrică cu electrod filiform.

Prin teste tehnologice s-a analizat influența tehnicilor de generare a suprafețelor asupra a două caracteristici tehnologice importante: viteza de eroziune și rugozitatea suprafețelor prelucrate.

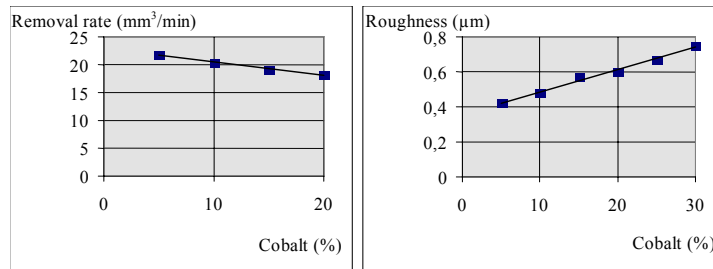


Fig. 4.10. Viteza de eroziune și rugozitatea suprafețelor

De asemenea s-a realizat o analiza structurala amănunțită a stratului superficial influențat termic și s-au determinat corelații între compoziția chimică a carburilor metalice studiate și structura și grosimea stratului superficial.

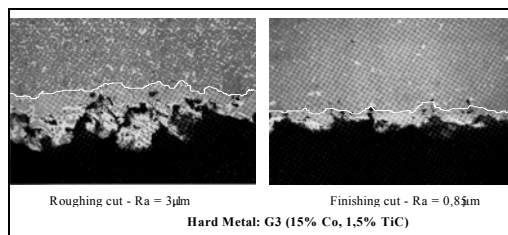


Fig. 4.11. Straturi superficiale

### Studiu experimental:

Valentin Tăbăcaru, Alexandru Epureanu, Mihaela Banu, *Influența metodelor de generare a suprafețelor prin eroziune electrică asupra erorilor de prelucrare.*

Rezumat: Experimentele tehnologice au avut ca obiectiv studiul influenței metodelor de generare a suprafețelor asupra preciziei de prelucrare erozivă. Au fost analizate metode numerice de modelare a generării suprafețelor cu electrod masiv, respectiv cu electrod disc.

În cazul fiecărei metode s-a determinat experimental aportul parametrilor tehnologici și a celor de generare asupra erorii totale de proces. Rezultatele studiului experimental au fost sintetizate numeric și au avut la bază un algoritm de modelare conceput pentru acest studiu.

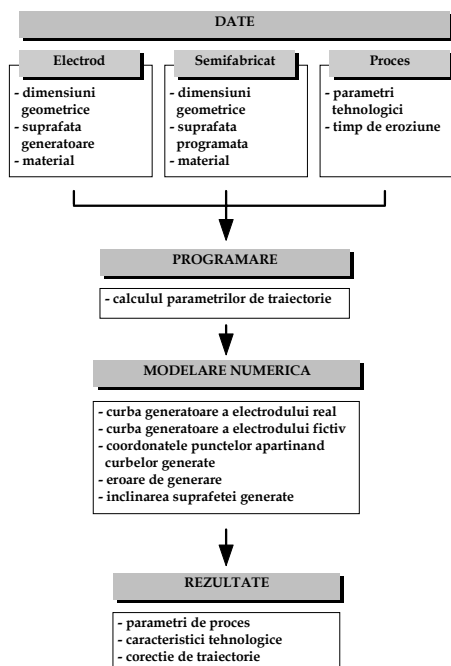


Fig. 4.12. Algoritm

De asemenea, studiul erorilor de generare s-a realizat pentru generare fără corecție de traiectorie, respectiv, cu corecția cinematică a traiectoriei de generare.

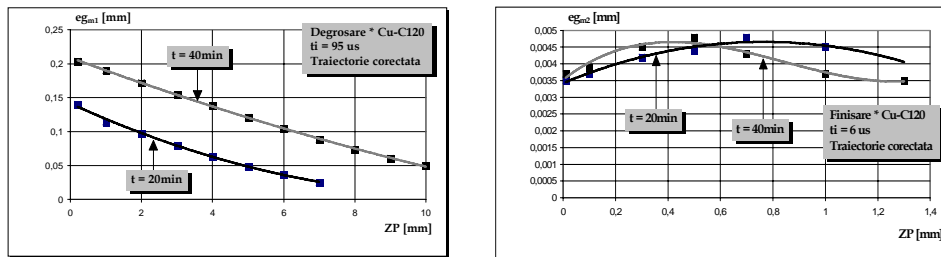


Fig. 4.13. Curbe experimentale pentru erorile de generare

#### D. Metodă de generare corectivă a vârtejurilor ordonate de suprafețe

Reconfigurarea sculelor pentru danturare pe mașini cu lanțuri cinematice de rulare, scule utilizate la generarea vârtejurilor ordonate de suprafețe, s-a realizat prin algoritmi specifici, în mediul AutoCad, în baza cărora se propune forme reconfigurabile ale sculelor de danturare, în scopul reducerii mărimii forței principale de așchiere.

Se acceptă, a modelarea proceselor de generare, dependența, presupusă proporțională, între mărimea ariei așchii detașate de tăișurile sculelor așchietoare și mărimea forței principale de așchiere. În baza acestei supoziții, au fost realizate modelări ale schemelor de așchiere pentru procesele de generare în care sculele și vârtejurile de suprafețe generate sunt asociate unor cupluri de centroide în rulare. Modelele și algoritmică prezentate pot constitui căi de reconfigurare constructivă a sculelor (scula-cremalieră) în scopul îmbunătățirii pe criterii energetice a proceselor de danturare.

S-a imaginat, în baza modelării numerice, o nouă formă constructivă a sculei cremalieră.

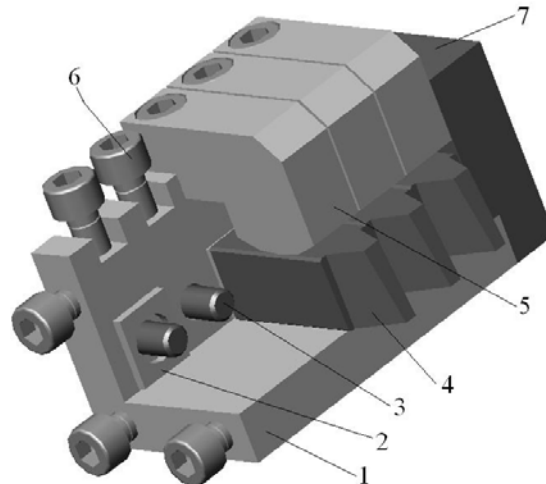


Fig. 4.14. Sculă cremalieră reconfigurabilă (1 – corp; 2- distantier; 3- știft de centrare, 4- dinte amovibil; 5- bridă; 6- șurub, 7-capac lateral)

Sculele cu construcție reconfigurabilă permit o modificare a schemei de așchiere în sensul diminuării mărimii ariei așchii odată detașate în planul de generare.

Legenda

Scula reconfigurabila Inaltime dinte=2.25 2 1.75 1.45 1.15 0.8 0.4 m  
 Scula standard Inaltime dinte=2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 m

A - aria aşchii detaşate [mm x mm] - Scara Y 10 : 1

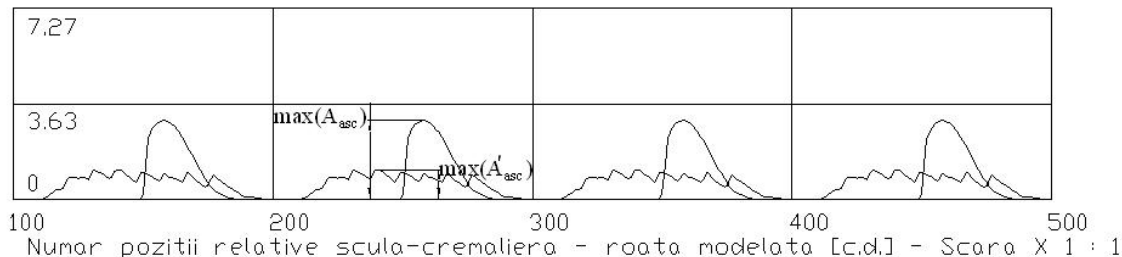


Fig. 4.15. Legea de variație a mărimii ariei aşchii modelate în funcție de numărul de poziții relative a sculei-cremalieră — roată modelată (dantură exterioară; numărul de dinți ai sculei,  $z_s = 7$ ; numărul de dinți ai piesei,  $z_p = 40$ ; modulul,  $m=4$ ; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

Modelarea procesului de generare evidențiază reducerea substanțială a mărimii ariei aşchii detaşate la generarea cu scule convenționale ( $A_{asc}$ ) față de cazul generării cu scula reconfigurată ( $A'_{asc}$ ).

#### 5.4.4 Actiunile stiintifice si alte actiuni intreprinse

##### A.Cercetari stiintifice intreprinse:

1. Epureanu, Al., Teodor, V., Dima, M., Oancea, N., **A Reconfigured Rack-Tool for Generation of Gears**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare (indexata ISI).
2. Cuzmin, C., Cuzmin, G., Epureanu, Al., **Internal Gear Cutting Generation with Toroidal Hob**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare (indexata ISI).

##### Brevetarea rezultatelor stiintifice:

1. Cuzmin C., Epureanu A., Cuzmin G., Banu M., Marinescu V., Oancea N., **Freza-melc modul toroidala pentru prelucrarea danturilor cilindrice interioare si exterioare cu dinti drepti si inclinati** - Dosar Nr. A 00254/12.04.2007

##### Rezumat:

Invenția se referă la problema identificării geometriei procesului de generare a roților cilindrice cu profil evolventă, dințate interior sau exterior, cu dinți drepti sau înclinați cu diferite mărimi ale deplasării de profil. Rezultatul identificării este un model cinematic al procesului de generare prin frezare cu freza-melc și o construcție de freză-melc toroidală care, împreună cu o mașină de frezat danturi cilindrice prin rulare, permite materializarea modelului cinematic. Construcția frezei melc satisface dezideratul de a fi convertibilă și deci utilizabilă în cazul unor mașini unelte reconfigurabile.

Freza-melc modul toroidală pentru prelucrarea danturilor cilindrice interioare și exterioare este formată dintr-un corp pe care dinții sunt dispuși pe o elice toroidală cu pas unghiular constant și a cărei directoare este un arc de cerc, în planul de degajare profilul dinților este evolventă și este generat

prin rulare cu o cremalieră generatoare, unghiul de așezare principal se obține prin detalonare radială în raport cu centrul directoarei care este în arc de cerc, unghiul de așezare lateral în lungul dintelui se obține prin variația grosimii dintelui datorită modificării continue a mărimii deplasării de profil în procesul de detalonare.

Este cunoscută freza-melc la care profilul unui dinte central copiază profilul golului dintelui roții cilindrice dințate interior, ceilalți dinți au o formă aproximativă și au rol de degroșare. Mai este cunoscută freza-melc pentru danturat roți cilindrice dințate interior la care profilul evolventă al dinților este pe fața elicoidală de degajare și care este normală pe elicea de dispunere a dinților.

Dezavantajele acestor freze-melc cunoscute constau în aceea că:

- prelucrează prin copiere numai dantura pentru care a fost proiectată;
- generarea greoaie a profilului evolventă al dinților frezei-melc pe suprafața de degajare elicoidală;
- precizie redusă a profilului generat.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în construcția unei freze-melc care să genereze prin rulare roți cilindrice dințate interior sau exterior cu profil evolventă, având număr diferit de dinți, diferite mărimi ale deplasării de profil, cu dinți dreți sau înclinați.

Freza-melc toroidală înlătură dezavantajele de mai sus, prin aceea că dinții cu profilul evolventă sunt dispuși pe o elice toroidală a cărei directoare într-un plan înclinat în raport cu axa frezei-melc este arcul cercului de divizare al unei roți generatoare imaginare, profilul evolventă al dinților este în planul directoarei, unghiul de așezare lateral în lungul dintelui se obține prin variația grosimii dintelui în lungul său, datorită variației continue a mărimii deplasării de profil și rezultă în procesul de generare cu profilul cremalierii generatoare.

2. Epureanu A., Dima M., Teodor V., Eugen G., Oancea N., **Dispozitiv pentru realizarea arborilor poliformi cu aplicatie la masinile reconfigurabile** - Dosar Nr. A 00575/13.08.2007

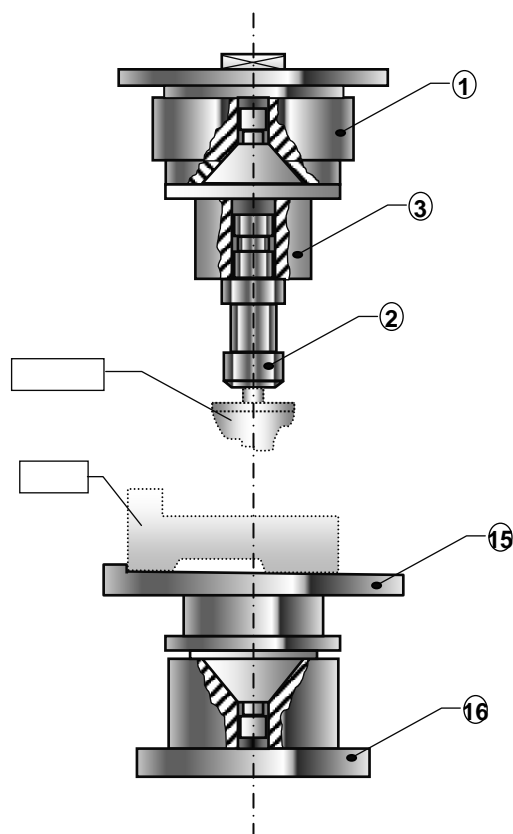
3. Tabacaru V., Banu M., Marinescu V., Maier C. - **Sistem modular de dispozitivare EDM** - Dosar Nr. A 00253/12.04.2007.

### Rezumat:

Invenția se referă la un sistem modular de dispozitivare a electrozilor și pieselor pe mașinile universale de prelucrare prin eroziune electrică EDM.

Sistemul de dispozitivare, conform invenției, este format dintr-un dispozitiv port-electrod și un dispozitiv port-piesă. Dispozitivul port-electrod este conceput în sistem modular dintr-un modul de bază (1), care se fixează pe capul de lucru al mașinii, module port-electrod (2), utilizate pentru centrarea-fixarea electrozilor de dimensiuni mici cu formă geometrică simplă, și module port-electrod (3), utilizate pentru centrarea-fixarea electrozilor de dimensiuni medii cu formă geometrică complexă.

Dispozitivul port-piesă este conceput în sistem modular dintr-un modul de bază (16), care se fixează pe masa de lucru a mașinii și paleta port-piesă (15), utilizată pentru centrarea-fixarea pieselor metalice de dimensiuni medii.



**Realizarea de produse software:**

1. Program INFA.LSP – soft destinat profilării sculelor reconfigurabile care generează prin aşchiere;

A fost elaborat programul de calcul INFA (ÎNFĂŞurătoare a traiectoriilor plane) destinat profilării asistate de calculator a sculelor aşchietoare.

Programul cuprinde două părţi distincte, prima fiind destinată profilării sculelor ce prelucrează prin rulare (scula-cremalieră, cuţit-roată şi cuţit rotativ), iar cea de a doua profilării sculelor pentru generarea suprafeţelor elicoidale (scula cilindro-frontală, scula-disc şi scula cilindrică). Fiecare dintre aceste părţi are un meniu propriu care se inserează în meniul de bază al programului AutoCAD şi care permite lansarea diferitelor comenzi necesare rulării programului.

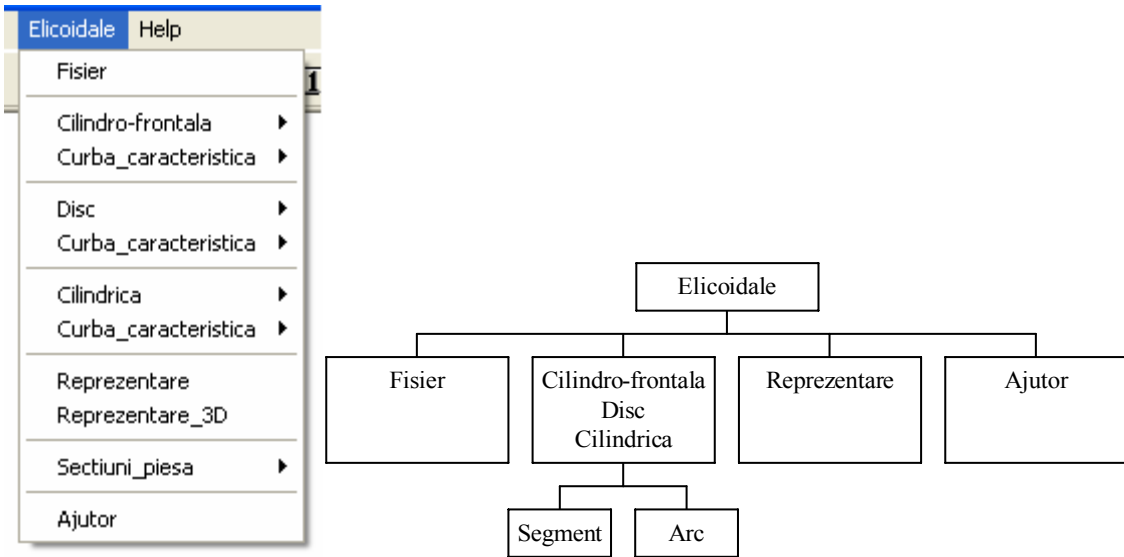


Figura 4.16

2. Program PSGR.HTML – soft destinat analizei sculelor tip cremalieră, cuţit-roată şi cuţit rotativ.

Prima pagină HTML propune utilizatorului alegerea cu ajutorul butonului stânga al mouse-ului a modului de realizare a prelucrării, respectiv dacă va fi vorba de o prelucrare cu o sculă-cremalieră, cu un cuţit-roată sau cu un cuţit rotativ, vezi figura 4.17.

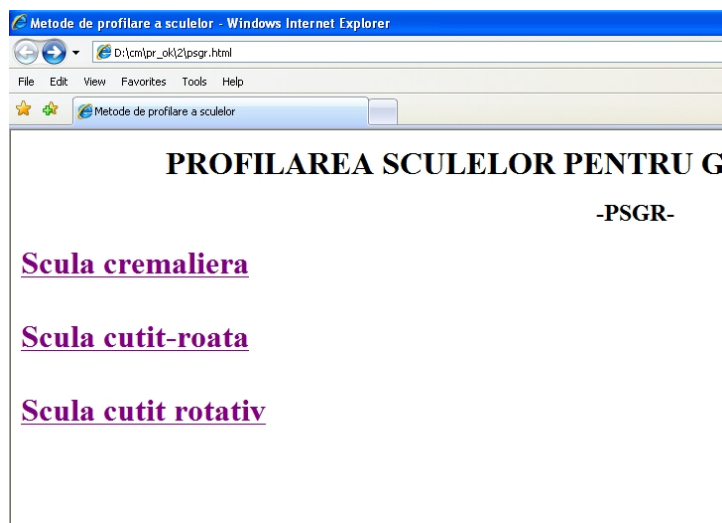


Figura 4.17



3. SOL\_PL.PAS - Produs soft dedicat modelării unor suprafețe cu evoluție continuă generabile cu un solid plan
4. SOL\_CIL.PAS - Produs soft dedicat modelării unor suprafețe cu evoluție continuă generabile cu un solid cilindric

#### Efecte multiplicatoare:

1. Căpățînă, N., Mihăluță, M., Teodor, V., *Module Worm Cutter with Active Surfaces Generated by Continuous Sharpening*, Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, 2007, în curs de publicare;

#### Abstract:

First circles arc relieved tools, showed in the technical specialized literature, starting with 1953, was the worm cutter with detachable rack-gear and the profiled side mill. At these tools, the machining of curve surface with optimized back angle is made by a continuous grinding on universal sharpening machines, on grinding machines or on profile grinding machines. In order to allow this, the detachable teeth or rack gear are rotated with the crossing back angle, getting a position appropriate for sharpening. After sharpening, by rotating and fixing the teeth in working position, the cutting angles needed are obtained.

Another solution is the sharpening and re-sharpening of rack-gear by mounting these in “false bodies” (special devices). After the back faces are grinding, the detachable rack gear or teeth are mounted in the worm cutter body, resulting the needed back angle.

The module worm cutter constructive variants with individually teeth, mounted in conical bore, allow the shifted teeth position regarding the conventional position from the standard worm cutter, assuring better cutting conditions and teething precision. The improvement of this worm cutter allows the continuous teeth grinding, assuring the machining precision for teathed wheel, in condition of keeping the advantages obtained by teeth displacement. The teeth back surface generation is made directly on the tool body by helical continuous sharpening.

#### 5.4.5 Concluzii

1. S-a realizat sinteza unei noi metode pentru studiul suprafețelor reciproc înfășurătoare (metoda traiectoriilor plane de generare), care permite abordarea proceselor de înfășurare plană precum și a proceselor de înfășurare spațială, dovedindu-se astfel universalitatea metodei.
2. S-a realizat o metodologie generală pentru modelarea schemelor de așchiere la generarea cu scule ce lucrează prin înfășurare prin metoda rulării. Metodologia permite stabilirea legității de variație a mărimii ariei așchiilor detașate de dinții sculelor care generează prin înfășurare, prin metoda rulării.
3. În baza metodei de modelare a schemei de așchiere, s-a conceput o nouă sculă cremalieră, cu comportare îmbunătățită în așchiere —scula-cremalieră cu geometrie reconfigurabilă.
4. Experimental s-a analizat influența tehnicilor de generare a suprafețelor asupra a doua caracteristici tehnologice importante: viteza de eroziune și rugozitatea suprafețelor prelucrate la procedeele de prelucrare electroerozive determinându-se corelații între compoziția chimică a materialelor pieselor generate și structura și grosimea stratului superficial al acestora.
5. S-a elaborat un produs soft în baza metodei traiectoriilor plane de generare pentru profilarea sculelor de tip cremalieră generând prin înfășurare precum și pentru profilarea sculelor mărginite de suprafețe de evoluție, generatoare a suprafețelor elicoidale cilindrice și de pas constant.

6. S-a elaborat un produs soft pentru alegerea metodei de profilare a sculelor în vederea profilării corective a sculelor pentru procedeele de danturare cu scule de tip cremalieră.
7. S-a elaborat un produs soft pentru determinarea schemei de aşchiere la generarea cu scula cremalieră reconfigurabilă a danturilor evolventice cilindrice exterioare.

## 5.5 Realizarea unui demonstrativ de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil

### 5.5.1 Premize

Proiectul a avut ca obiectiv general conceperea unei noi generatii de sisteme tehnologice reconfigurabile, care sa reprezinte un prim pas in directia noilor orientari conceptuale si se bazeaza pe urmatoarele idei cheie:

- Arhitectura hardware a sistemelor tehnologice reconfigurabile se bazeaza pe cuplarea intr-o constructie unitara a unui numar de module, adecvat selectate, astfel incat respectiva constructie sa permita executarea operatiei de prelucrare necesara. Caracteristicile acestor module sunt: *i)* universalitatea, *ii)* convertibilitatea, *iii)* integrabilitatea, *iv)* scalabilitatea, *v)* diagnozabilitatea.
- Arhitectura software, spre deosebire de cea hardware, trebuie sa aiba o structura unitara, care sa sustina intreaga cazuistica aparuta ca urmare a reconfigurarii hard a sistemului tehnologic.
- Monitorizarea trebuie sa se bazeze pe senzori incorporati in modulele sistemului si sa fie extinsa la nivelul tuturor componentelor acestuia: masina, scula, dispozitiv, piesa.
- Programarea sistemului tehnologic reconfigurabil trebuie sa reprezinta un input informational care sa contina parametrii produsului (inclusiv deviatiile tolerate ale acestor parametri), si nu parametrii de functionare ai mecanismelor masinii.
- Conducerea sistemului tehnologic trebuie sa integreze aspectele tehnice cu cele economice si comerciale, si sa permita, prin functionarea virtuala a sistemului tehnologic, prognozarea functionarii reale a acestuia, in scopul conducerii preventive si optimale a procesului de prelucrare.

Scopul demonstrativului de functionare virtuala este de a reproduce virtual un sistem reconfigurabil real si de a demonstra valabilitatea algoritmilor pentru rezolvarea aspectelor cheie ce stau la baza arhitecturii sistemului de comanda a masinilor tehnologice reconfigurabile, conceputi in cadrul proiectului.

Aceste aspecte cheie sunt:

- i) programul piesa da informatii cu privire la cerintele care trebuie sa le respecte produsul, si nu la succesiunea de configuratii cinematice ale masinii prin care trebuie sa treaca pentru a derula operatia curenta;*
- ii) restrictiile specifice* (de exemplu cele impuse de rezistenta muchiei taietoare, de stabilitatea procesului, de rezistenta sistemului in ansamblu, de rugozitatea suprafetei rezultate) se implementeaza online, in scopul de a utiliza in intregime capabilitatile sistemului;
- iii) programarea este una optima* in sensul ca, in functie de profilul real, si nu nominal al suprafetei initiale, de profilul real al sculei, masurat, si nu nominal al acesteia, se determina traiectoria programata a sculei si valorilor parametrilor procesului; in plus optimizarea se face online, de-a lungul traiectoriei discretizate a sculei.

### 5.5.2 Activitati operationale desfasurate

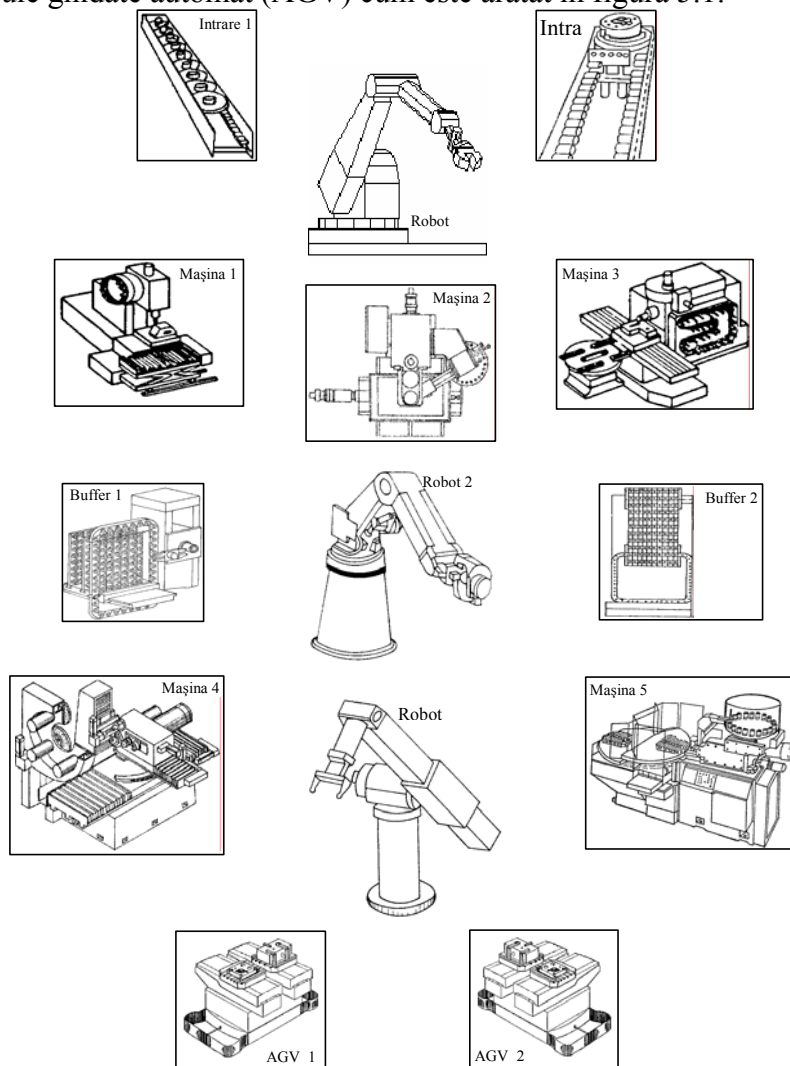
Pentru realizarea unui demonstrativ de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil au fost desfasurate urmatoarele activitati operationale:

5.1. Algoritm de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil pentru caroserii auto.

5.2. Realizarea/experimentarea unui demonstrativ pentru functionarea virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil.

### 5.5.3. Sistemul reconfigurabil de fabricatie

Pentru exemplificarea metodologiei de proiectare a controlerelor, prezentată, cu ajutorul sistemului software SimConPetri, se alege un sistem de fabricație reconfigurabil format din următoarele componente principale : două intrări, două ieșiri, cinci mașini-unelte, două buffere, trei roboți și două vehicule ghidate automat (AGV) cum este arătat în figura 5.1.



**Figura 5.1** Structura organizatorică a SRP

### Structura organizatorică și specificația funcționării

**Intrări :** Sistemul este alimentat cu două tipuri de semifabricate P1 și P2 de la alte unități funcționale ale SFF. Fiecare semifabricat este fixat pe o paletă.

**Ieșiri :** Sunt două ieșiri pentru piesele finite, procesul de evacuare fiind executat cu ajutorul AGV.

**Mașinile:** Fiecare din semifabricatele P1 și P2 au posibilitatea de a fi prelucrate în primul proces pe fiecare din mașinile M1, M2, M3.

**Roboții:**

Robotul 1 încarcă mașinile M1, M2, M3 de la intrările semifabricatelor paletate P1 și P2.

Robotul R2 descarcă mașinile M1, M2, M3 transferând piesele prelucrate intermediar pe unul din bufferele B1 și B2. Robotul R2 încarcă piesele depozitate în bufferele B1, B2 pe una din mașinile M4, M5.

Robotul R3 descarcă mașinile M4 și M5 și transferă piesele pe unul din AGV-urile de la ieșire.

**Bufferele 1 și 2** sunt zone tampon pentru mașinile M4 și M5.

**Sistemul AGV** este format din două AGV-uri pentru transportul pieselor finite la ieșire, depaletizarea pieselor și recircularea paletelor goale la intrare.

Se admite că unitățile funcționale din amonte sunt surse nelimitate de semifabricate. Odată ce mașinile, roboții sau AGV-urile încep să execute orice operație, ele nu pot fi întrerupte până când operația nu este terminată.

### **Proiectarea rețelei Petri de prim-nivel**

Respectând metodologia de sinteză a controlerelor, procesul tehnologic de prelucrare a pieselor P1 și P2 poate fi modelat la acest nivel de o secvență tehnologică serială (BTS). Astfel, rezultă RP din figura 5.2.

Pozițiile operaționale sunt: PO01 – RIM1/M2/M3 ce modelează deplasarea pieselor P1, P2 de la intrări la mașinile M1, M2 sau M3; PO02 – M1L/M2L/M3L modelează procesul de prelucrare al primelor trei mașini; PO03 – R2UM1/M2/M3 modelează descărcarea primelor trei mașini de către R2; PO04 – B1S/B2S modelează operația de stocare în buffere; PO05 – R2DB1/B2M4/M5 modelează încărcarea mașinilor 4 și 5 de la bufferele corespunzătoare; PO06 modelează operația de prelucrare pe mașinile 4 sau 5; PO07 – R3UM4/M5 modelează descărcarea mașinilor M4, M5 de către robotul R3; PO08 – V1D/V2D modelează activitatea AGV-urilor.

Modelul este completat cu poziția de resursă variabilă PV01- P1A/P2A ce modelează accesibilitatea pieselor P1 și P2 și cu pozițiile de control PC01 ce modelează numărul de piese comandate, PC51 numărul de piese prelucrate de sistem.

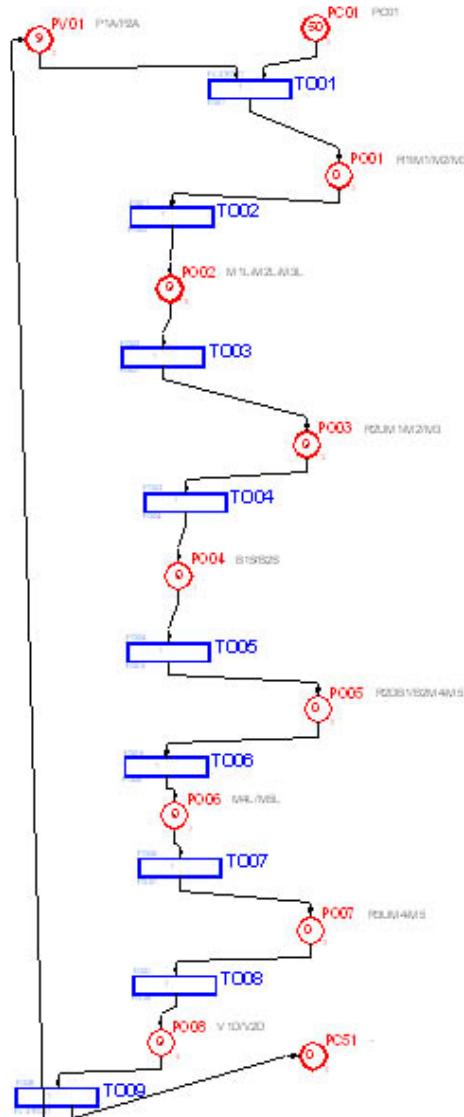
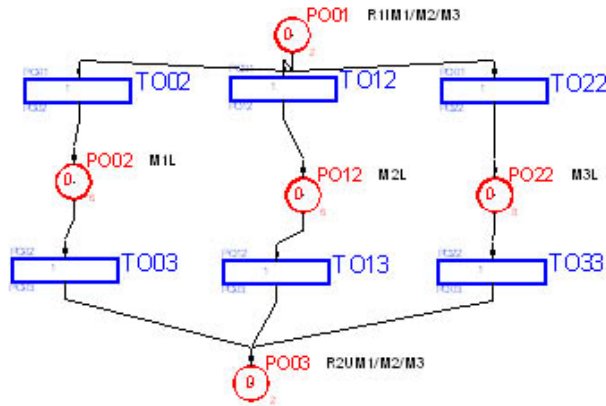


Figura 5.2 Model RP de prim nivel

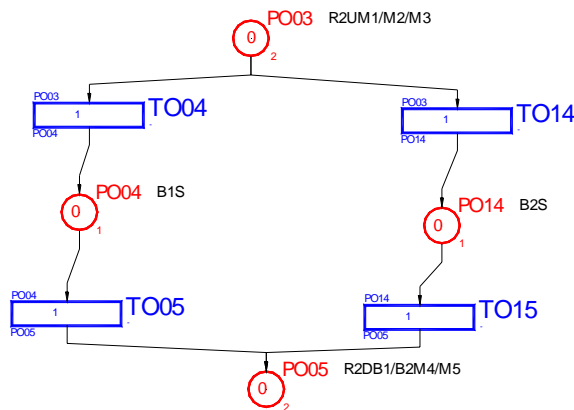
### Etapa de rafinare

Vom rafina poziția operațională PO02 cu o secvență tehnologică la alegere BPA reprezentată în figura 5.3.



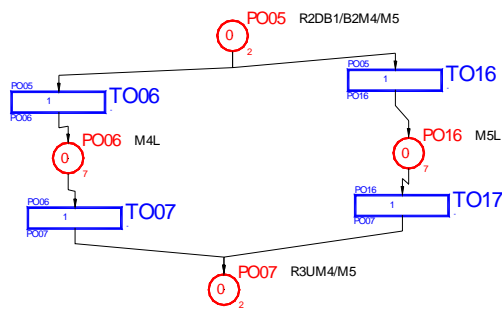
**Figura 5.3** Rafinarea poziției primei operații

A doua poziție rafinată va fi cea corespunzătoare bufferelor, rezultând tot un bloc BPA, reprezentat în figura 5.4.



**Figura 5.4** Rafinarea pozițiilor de stocare în buffere

A treia rafinare se face asupra poziției ce modelează al doilea set de operații ce se prelucrează pe mașinile M4 sau M5. Rezultă un bloc BPA ca în figura 5.5.



**Figura 5.5** Rafinarea operațiilor de prelucrare pe M4 sau M5

În urma rafinării rezultă modelul RP din figura 5.6.

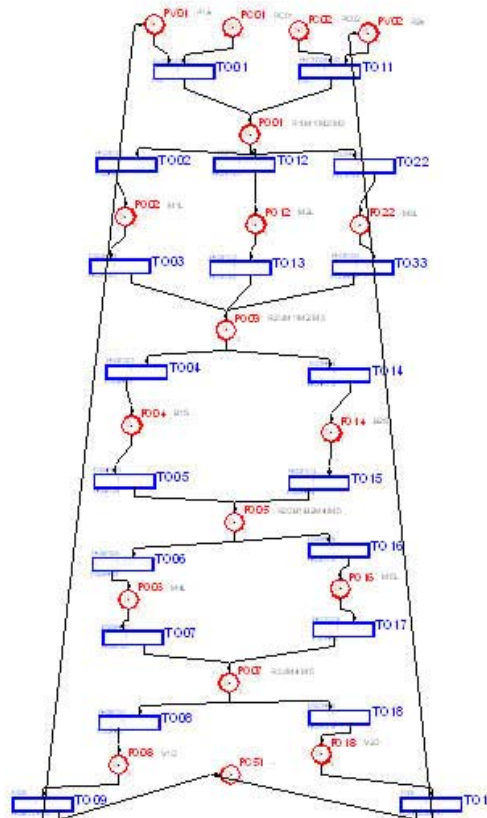
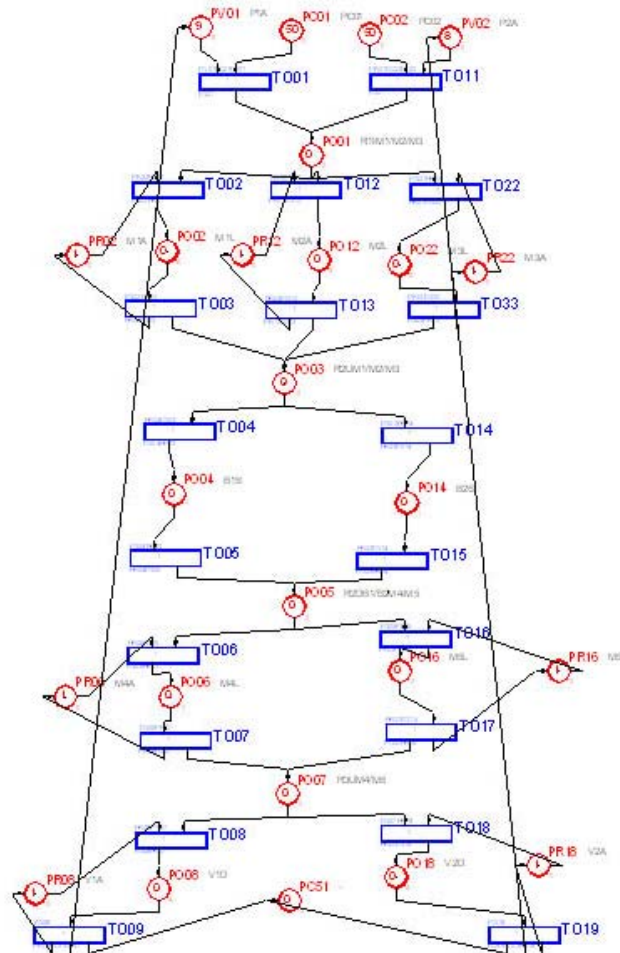


Figura 5.6. Modelul rezultat în urma rafinării

### Inserarea pozițiilor de resurse nepartajate

Corespunzător mașinilor de prelucrare se introduc pozițiile de accesibilitate a acestora PR02 - M1A, PR12 - M2A, PR22 - M3A, PR06 - M4A, PR16 - M5A, iar corespunzător vehiculelor ghidate automat, PR08 - V1A, PR18 - V2A. În urma inserării rezultă modelul din figura 5.7.





**Figura 5.7** Model rezultat după adăugarea pozițiilor de disponibilitate a resurselor nepartajate

Prin adăugarea pozițiilor de disponibilitate a bufferelor rezultă modelul din figura 5.8.

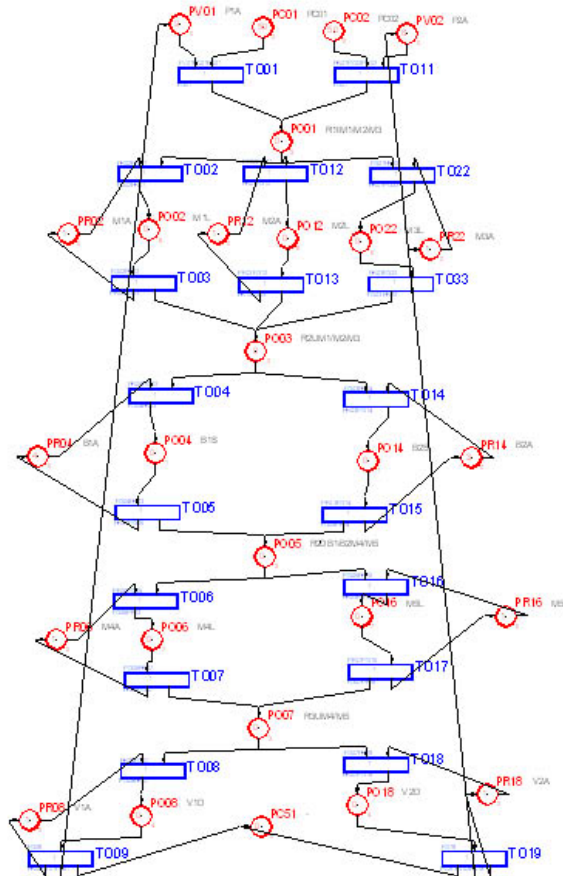
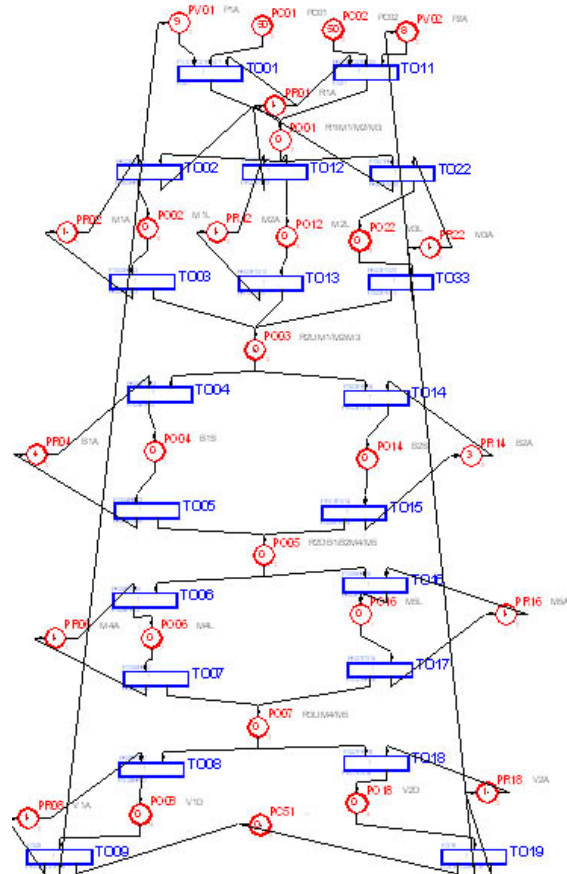


Figura 5.8. Model cu poziții de disponibilitate a bufferelor

### Adăugarea resurselor partajate paralele

Robotul R1 este partajat de către procesele de alimentare a mașinilor-unelte M1, M2, M3 de la intrările 1 și 2. Această partajare corespunde unei excluderi mutuale paralele reconfigurabile (EMPF). Prin introducerea acestei resurse partajate, rezultă modelul din figura 5.9.



**Figura 5.9** Model cu luarea în considerare a robotului R1

A doua resursă partajată paralel este robotul R3 ce formează cu activitățile de descărcare a mașinilor M4 și M5 o excludere mutuală de ordinul 2 (2-EMP). După introducerea acestei resurse se obține modelul din figura 5.10.

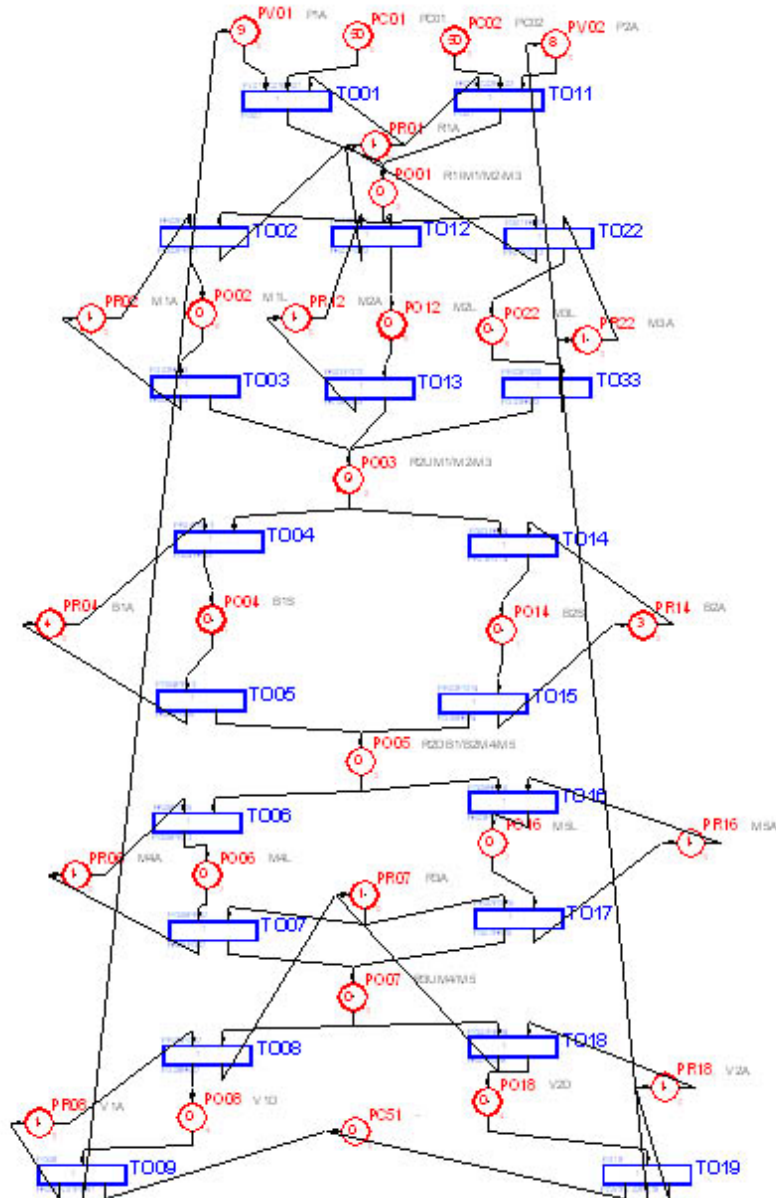


Figura 5.10 Model cu EMPF și EMP

### Adăugarea resurselor partajate secvențial

Robotul R2 are sarcină atât de a descărca M1 sau M2 sau M3 în bufferele B1 sau B2, cât și de a încărca mașinile M4 și M5 din bufferele corespunzătoare. Această activitate complexă este modelată cu ajutorul unei excluderi mutuale secvențiale reconfigurabile EMSF. După introducerea acestei resurse rezultă modelul final al sistemului de prelucrare reconfigurabilă prezentat în figura 5.11.

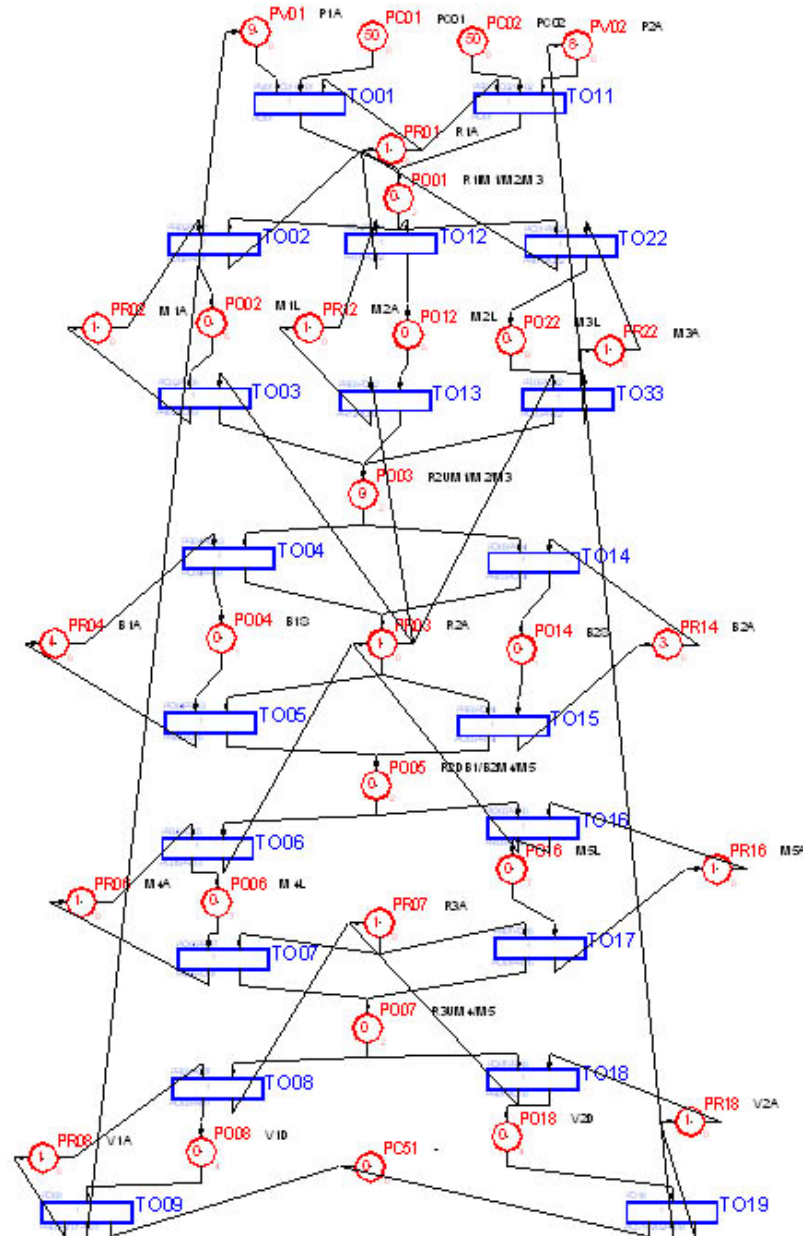


Figura 5.11 Modelul final al SRP

Marcajul pozițiilor operaționale PO01, PO02, PO12, PO22, PO03, PO04, PO14, PO06, PO16, PO07, PO08, PO18 este egal cu zero.

Marcajul pozițiilor de disponibilitate a resurselor fixe PR02, PR02, PR12, PR22, PR03, , PR06, PR16, PR07, PR08, PR18 este egal cu unu.

Marcajul pozițiilor de accesibilitate a bufferelor este pentru bufferul 1 egal cu patru, iar pentru bufferul 2 egal cu trei.

Calculând capacitatea procesuală și parametri  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ , a fost determinat marcajul pozițiilor de disponibilitate a resurselor variabile, în urma căruia a rezultat că numărul paletelor corespunzătoare piesei ,1 care poate exista în procesul de prelucrare în sistem la un anumit moment de timp, este egal cu nouă, iar corespunzător pentru piesa P2, egal cu opt.

Considerăm că avem comandate pentru a fi prelucrate în sistem 50 de bucăți din fiecare tip de piesă (marcajul pozițiilor PC01 și PC02 este egal cu 50).

Timpii maximi admiși pentru operațiile din sistem sunt  $\tau_{\max}(\text{PO01}) = 2$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO02}) = 6$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO12}) = 6$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO22}) = 8$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO03}) = 2$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO04}) = 1$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO14}) = 1$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO05}) = 2$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO06}) = 7$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO16}) = 7$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO07}) = 2$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO08}) = 4$ ,  $\tau_{\max}(\text{PO18}) = 4$ .

Având în vedere că tranzițiile reprezintă începutul sau sfârșitul operațiilor adiacente, toate au eroarea de referință egală cu unu.

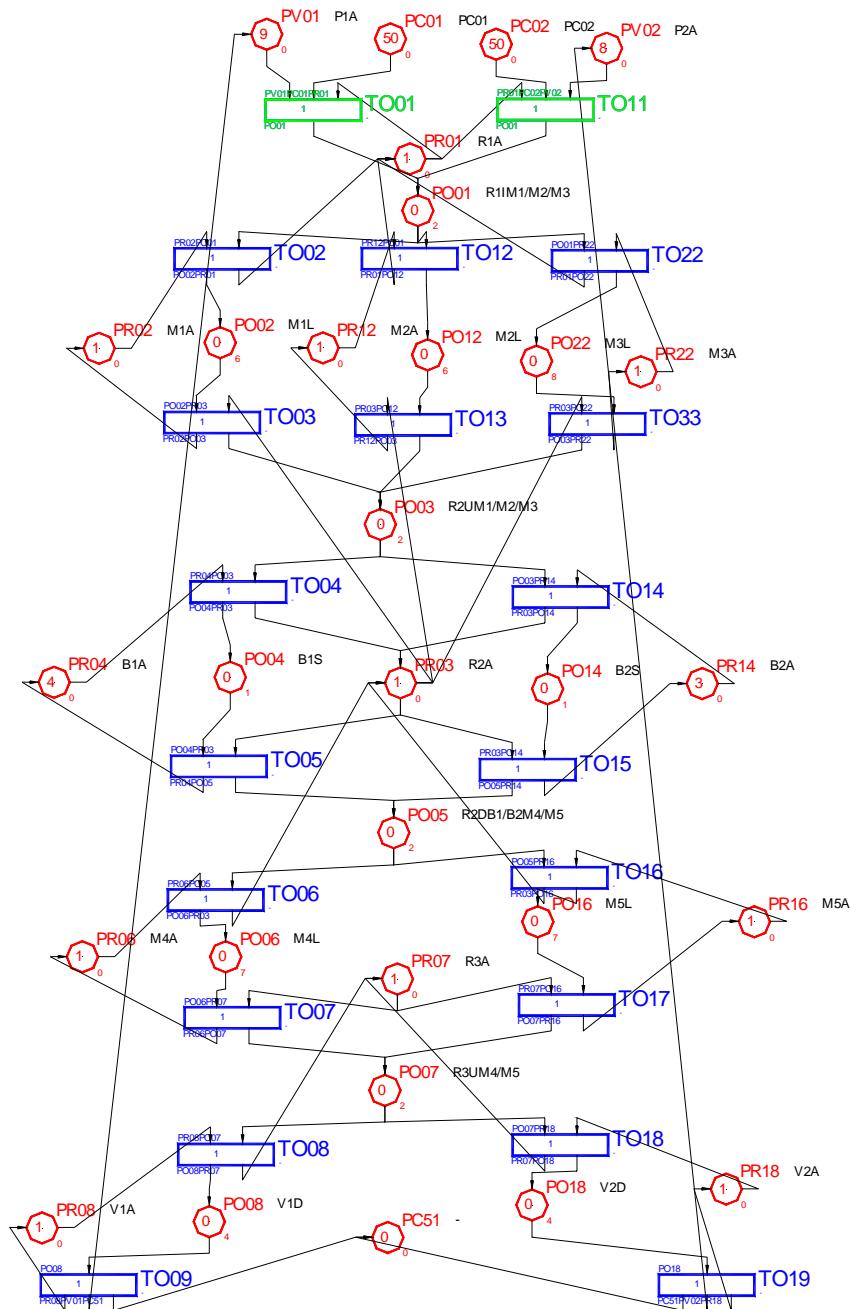
### 1.1.2 Simularea funcționării controlerului

Simularea se poate face:

- *pas cu pas* activând manual, cu ajutorul mous-ului, una din tranzițiile accesibile;
- *automat temporizat*, în care evoluția sistemului este dată de declanșările tranzițiilor ce respectă condiția să aibă marcajul pozițiilor de intrare mai mare decât unu și funcția de timp corespunzătoare acestor poziții să fi contorizat timpul maxim admisibil impus prin proiectare;
- *în timp real* - declanșarea tranzițiilor se face dacă:
  - marcajul pozițiilor de intrare este mai mare decât unu
  - valoarea contorizată de către funcția de timp pentru toate aceste pozițiile de intrare este mai mică decât  $\tau_{\max}$  corespunzător (contorizarea este întreruptă de către sistemele ierarhice inferioare- semnale simulate cu ajutorul mous-ului)
  - eroarea de referință să fie egală cu valoarea funcției de informare a erorii corespunzătoare pozițiilor de intrare.
- *în timp real optimizat* - declanșările tranzițiilor se fac atunci când sunt îndeplinite toate condițiile punctului anterior și se primește confirmare de la subrutina de optimizare; subrutina de optimizare este lansată după executarea fiecărei tranziții, determinând evoluția optimă a sistemului.

Vom expune în continuare evoluția funcționării sistemului optimizată, dar simulată în regim pas cu pas pentru a fi prezentată sub formă de document.

În figura 5.12 este arătat momentul inițial al declanșării simulării.



**Figura 5.12.** Momentul inițial al simulării

După cum se vede, sunt accesibile tranzițiile TO01 și TO11 datorită faptului că sunt îndeplinite condițiile de disponibilitate ale semifabricatelor P1, P2 și robotului R1 . După executarea tranziției TO01 avem situația prezentată în figura 5.13. Executarea tranziției TO01 determină preluarea unui semifabricat P1, paletat, de la intrare și deci micșorarea marcajului poziției PV01 de la nouă la opt.

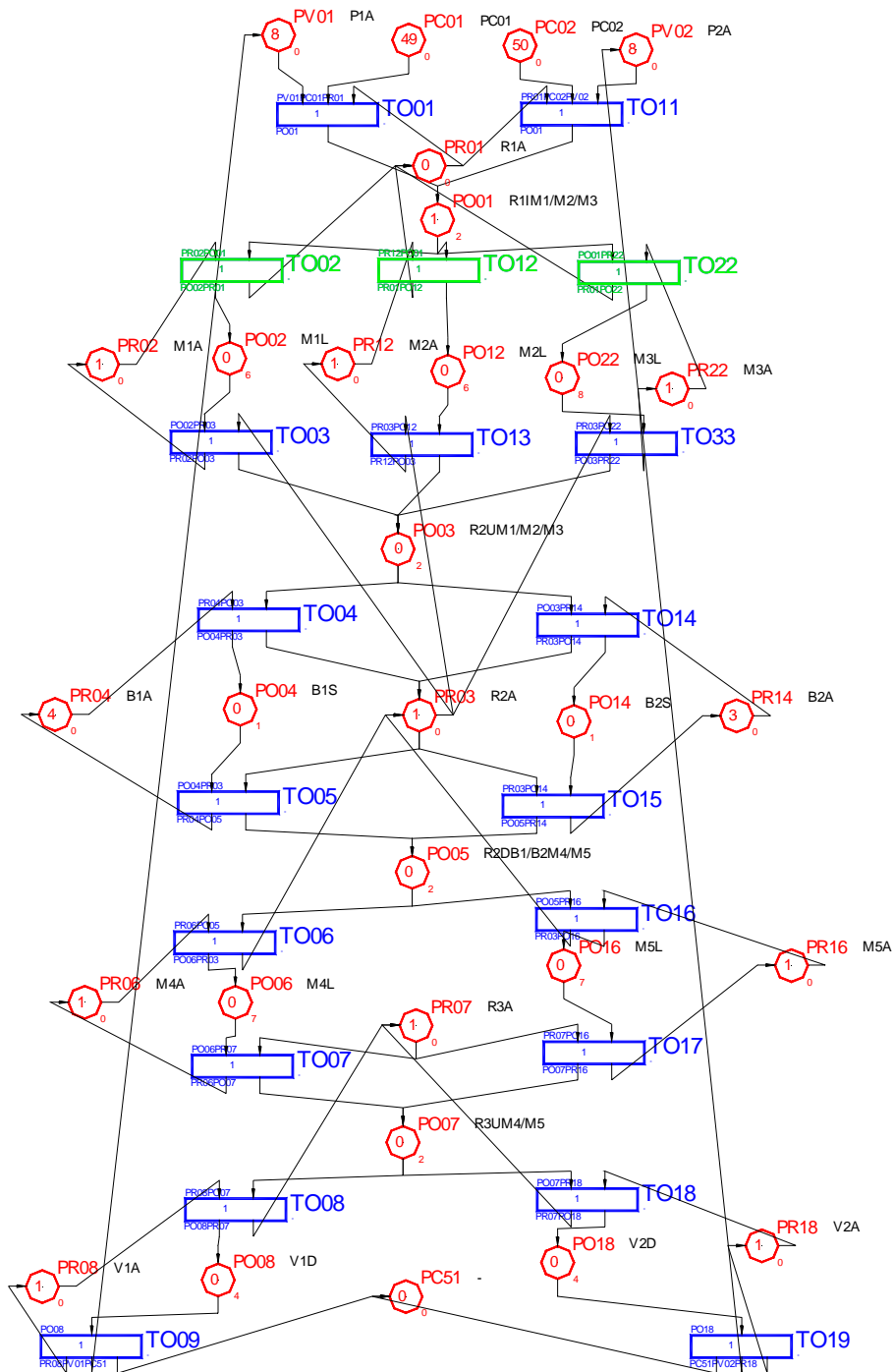


Figura 5.13

În această figură se observă că tranzițiile TO02, TO12, TO22, tranziții ce modelează începutul operațiilor de prelucrare pe mașinile M1, M2, M3 respectiv, sunt accesibile. Deci semifabricatul P1 poate fi distribuit oricărei din mașini pentru a fi prelucrat. Executând TO02 începe prelucrarea pe mașina M1. Această situație este arătată în figura 5.14.



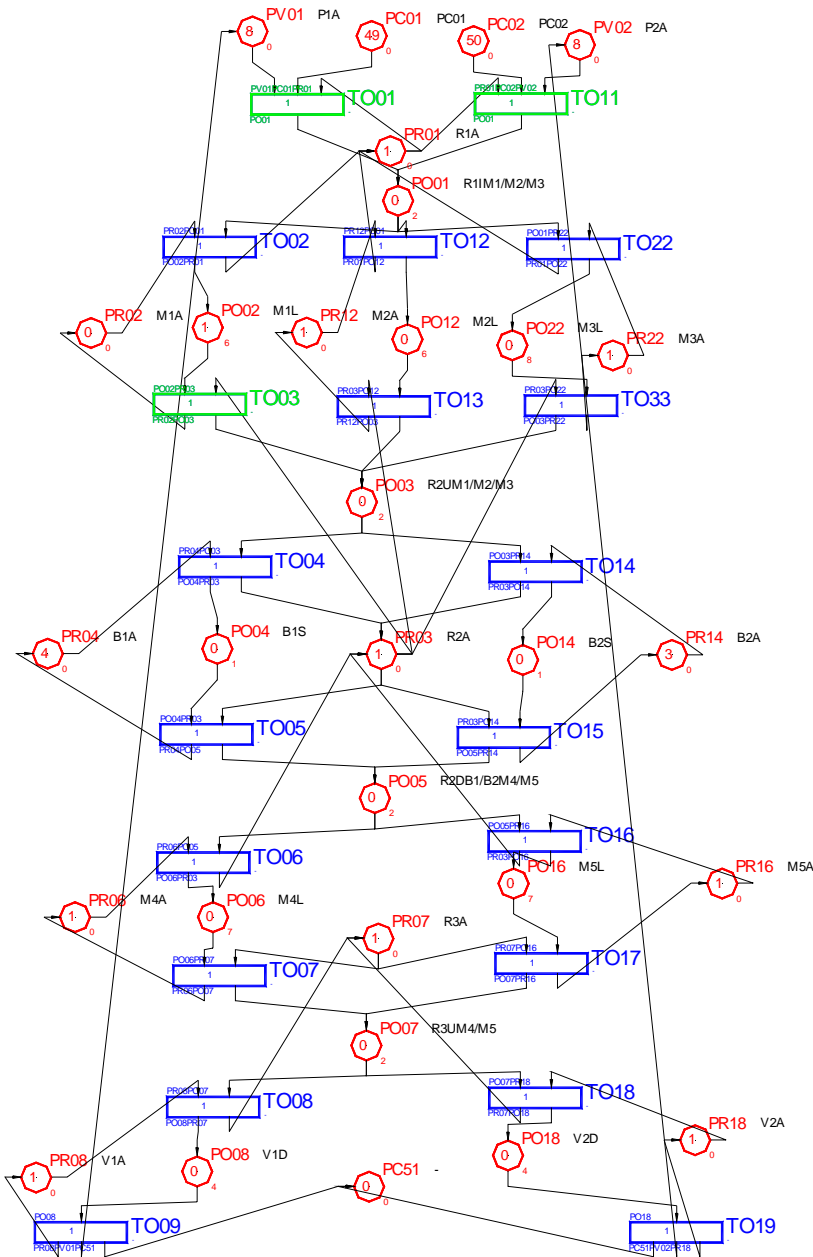


Figura 5.14

După începerea operației robotul R1 este eliberat, fiind astfel posibilă alimentarea cu un nou semifabricat P1 sau P2. Executând încă odată tranziția TO01 se preia de la intrare un semifabricat P1 (marcajul poziției PV01 scade cu o unitate), situație reprezentată în figura 5.15.

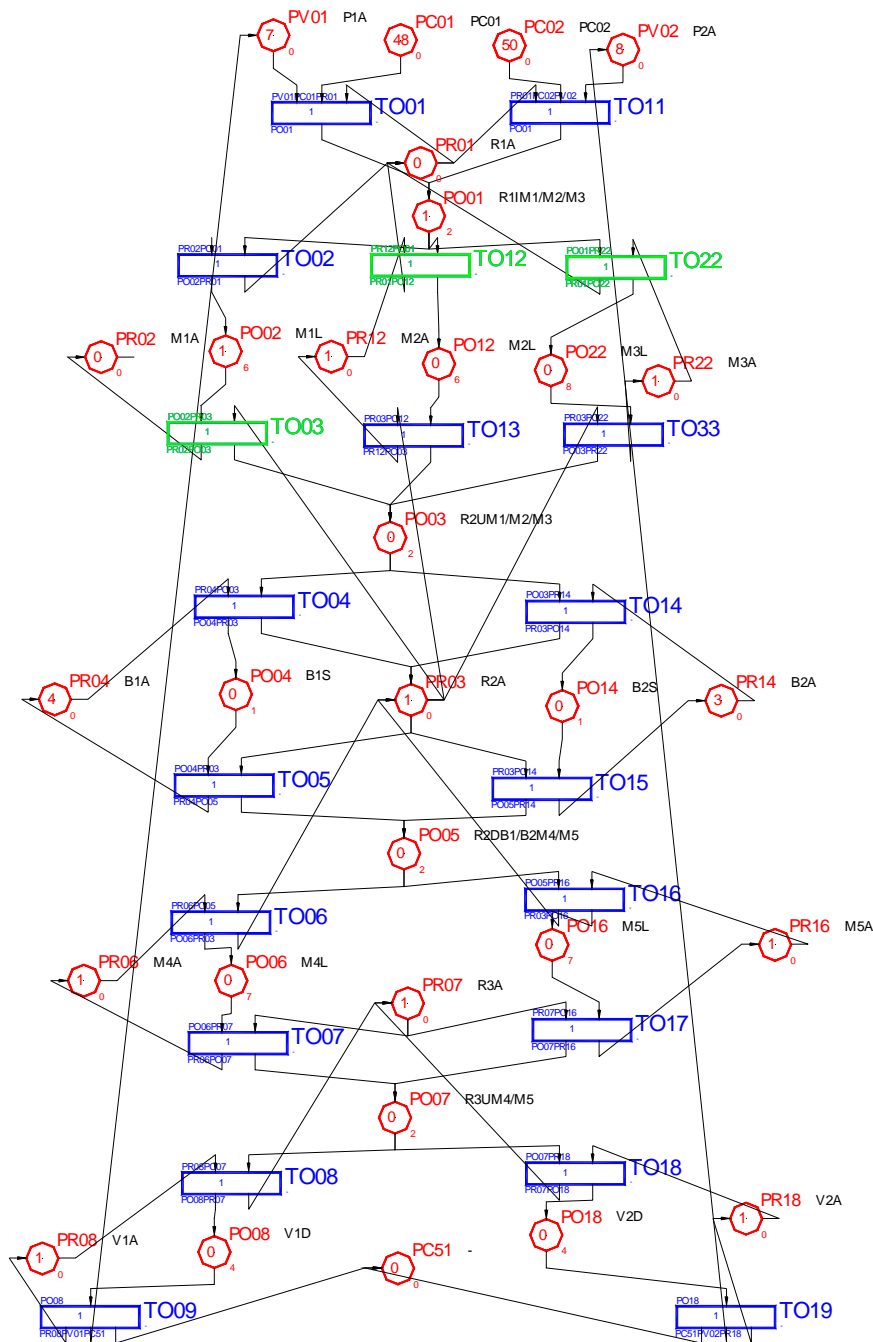


Figura 5.15

Semifabricatul P1 poate fi distribuit de această dată numai mașinilor M2 sau M3 (mașina 1 fiind ocupată cu prelucrarea primei piese), situație modelată de accesibilitatea tranzițiilor TO12, TO22. Executând tranziția TO12, mașina 2 începe prelucrarea celui de al doilea semifabricat P1, situație prezentată în figura 5.16.

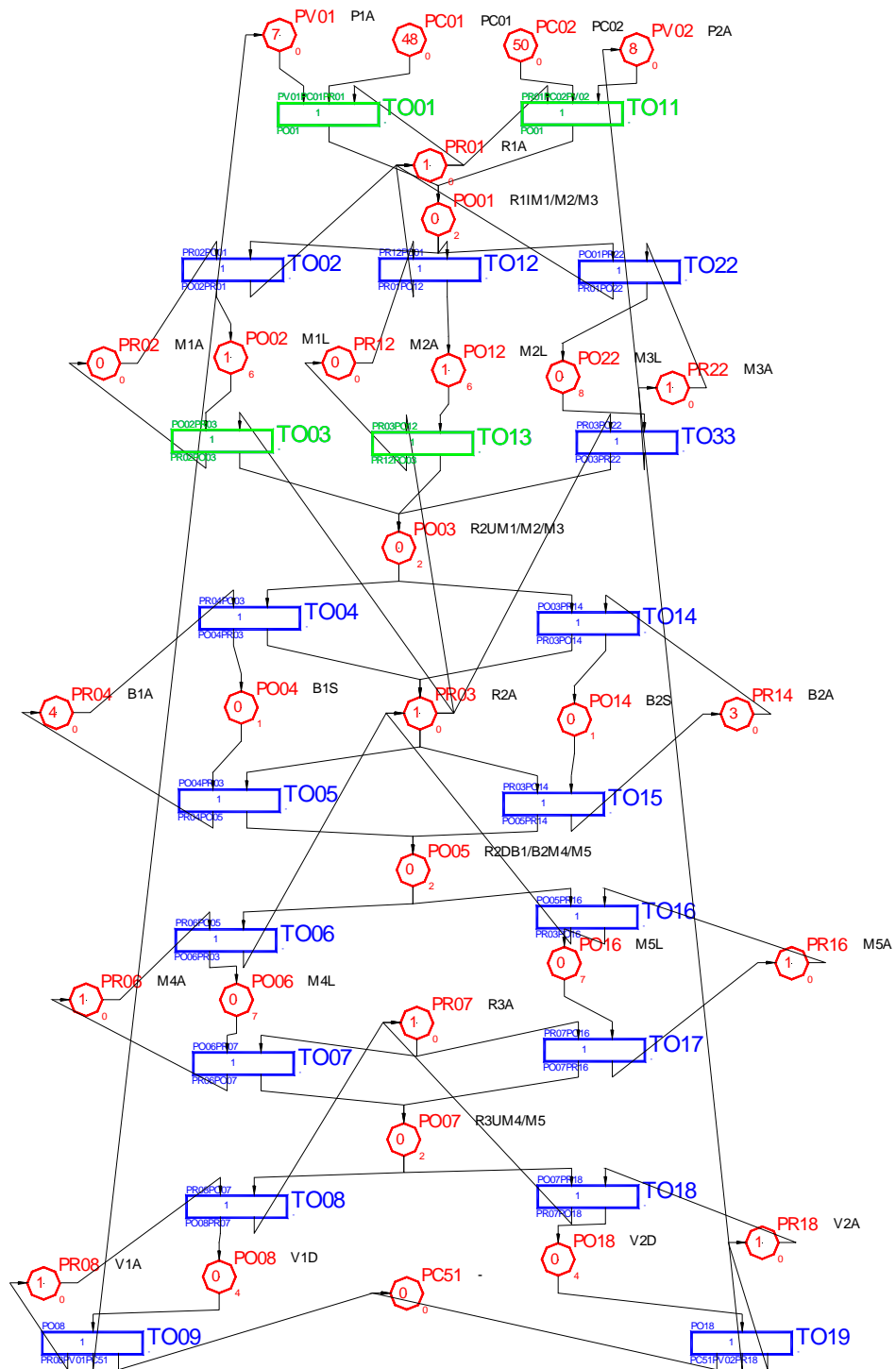


Figura 5.16

După începerea prelucrării de către mașina 2, robotul R1 este eliberat, având posibilitatea alimentării cu încă un semifabricat de la intrare (tranzițiile TO01 și TO11 accesibile). Executând TO11, adică introducând în prelucrare un semifabricat P2, rezultă situația prezentată în figura 5.17.

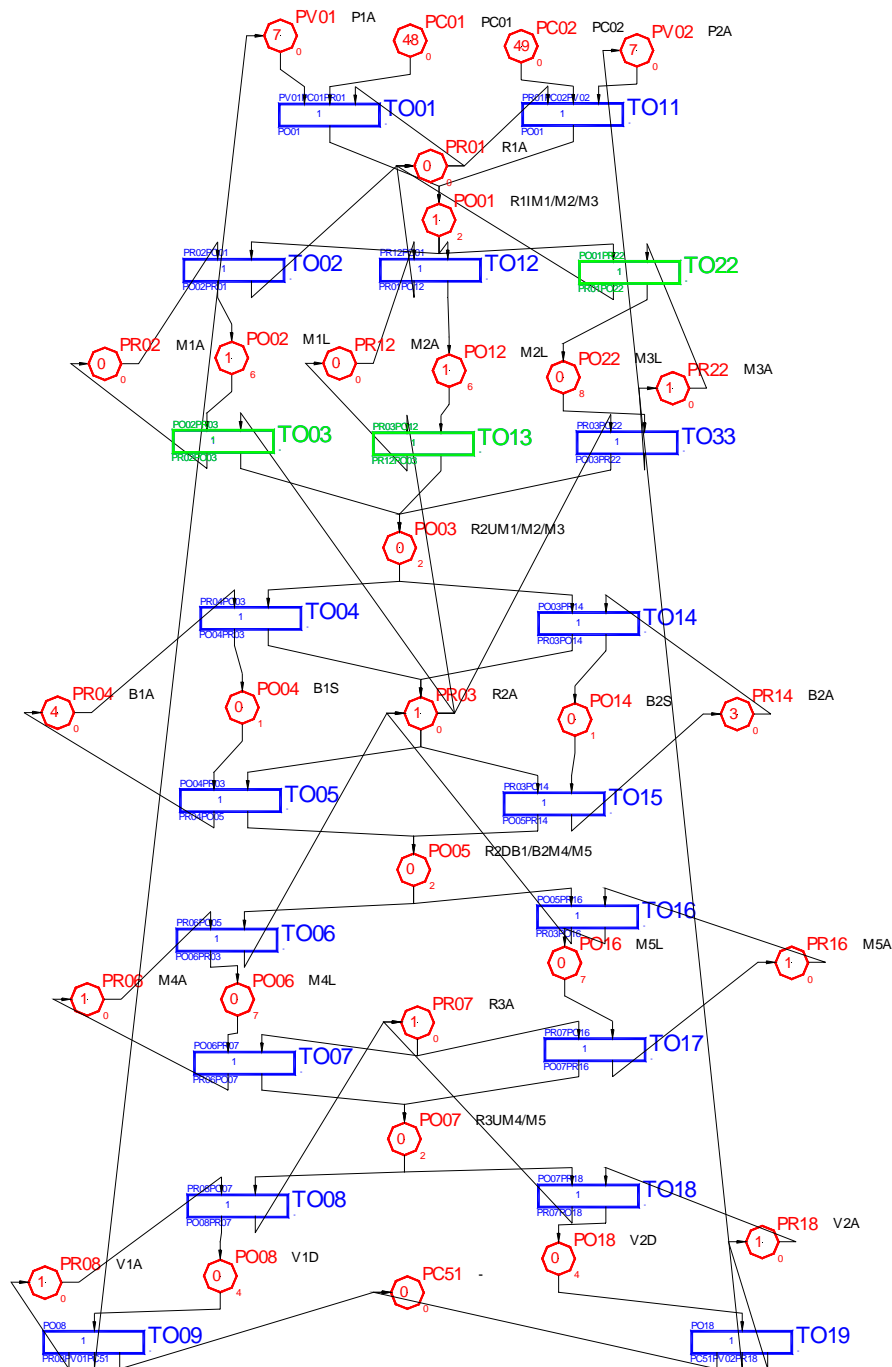


Figura 5.17

De data aceasta este accesibilă numai tranziția TO22 cu semnificația că numai mașina 3 este disponibilă pentru a începe o operație de prelucrare. Executând această tranziție, rezultă reprezentarea din figura 5.18.

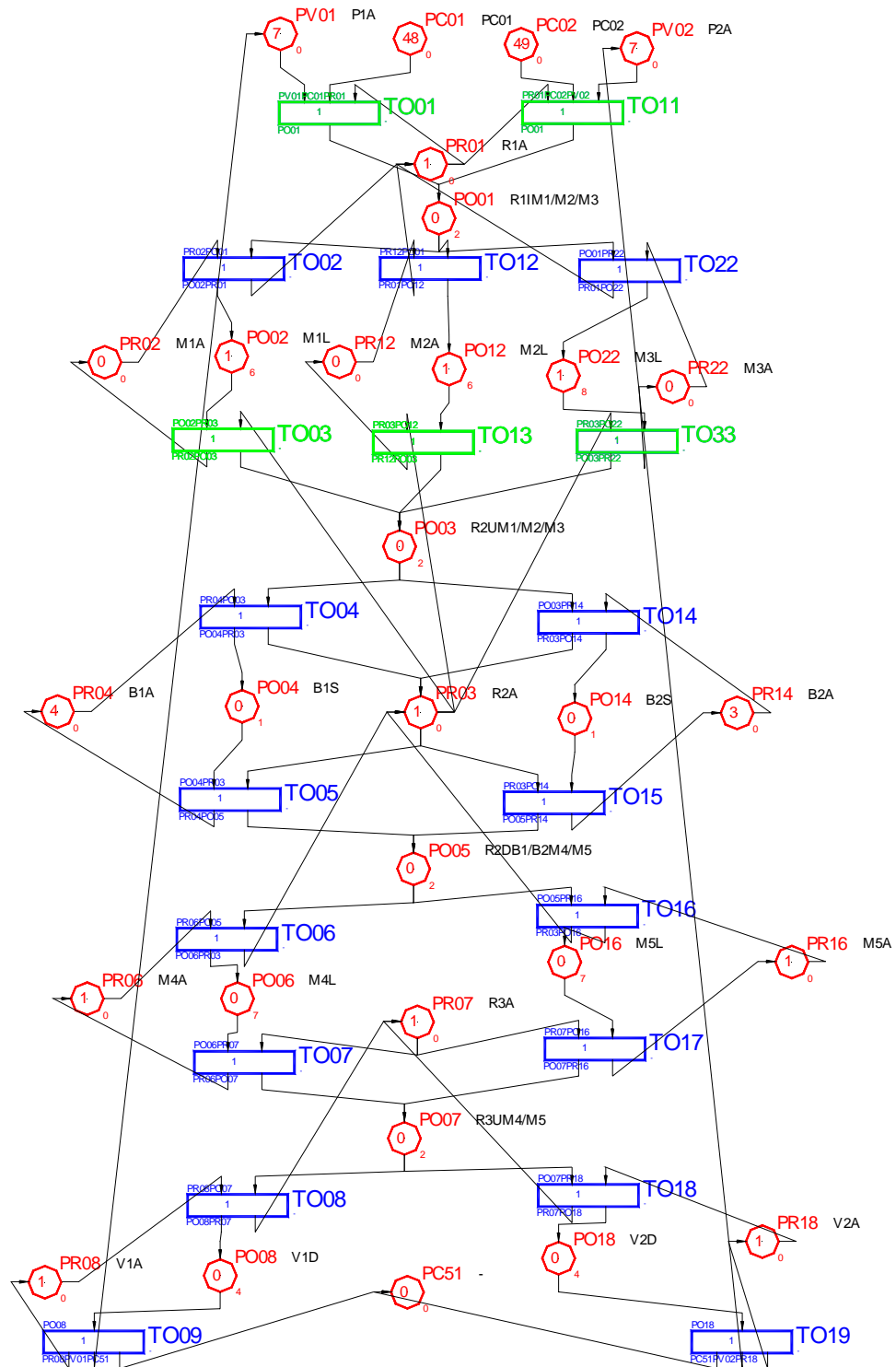


Figura 5.18

În acest moment, primele trei mașini prelucrează câte o piesă. Robotul R1 fiind disponibil alimentează cu un nou semifabricat P1/P2, eveniment modelat prin executarea tranziției TO01 sau TO11. După executarea tranziției TO11 (alimentarea cu un semifabricat P2) avem situația din figura 5.19.

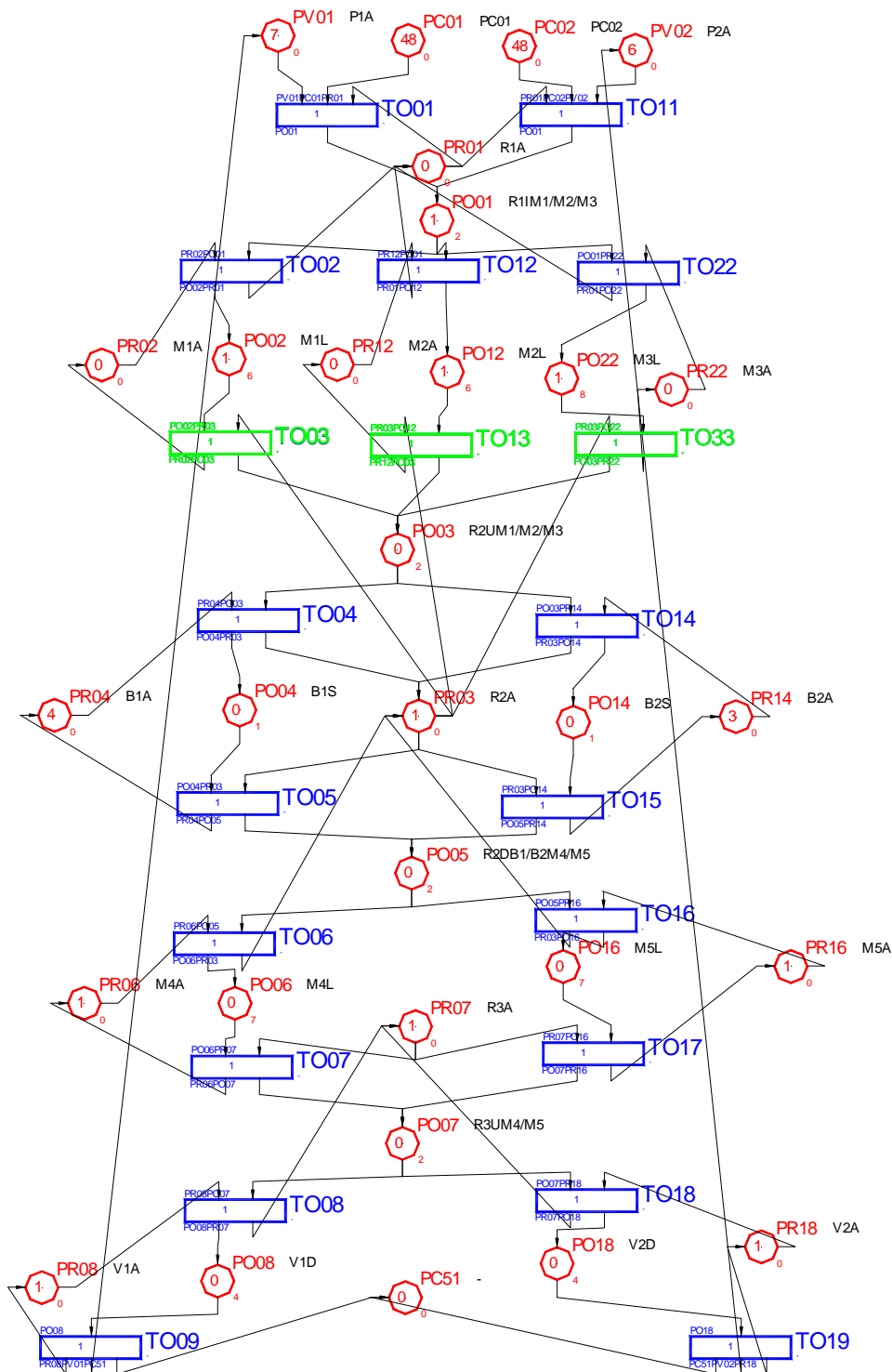


Figura 5.19

Prima mașină care termină de prelucrat este mașina 1, ceea ce dă posibilitatea executării tranziției TO03 și astfel începerea transferului de către robotul R2 a piesei prelucrate pe această mașină, la bufferul B1 sau B2. Executarea tranziției TO03 determină situația din figura 5.20.

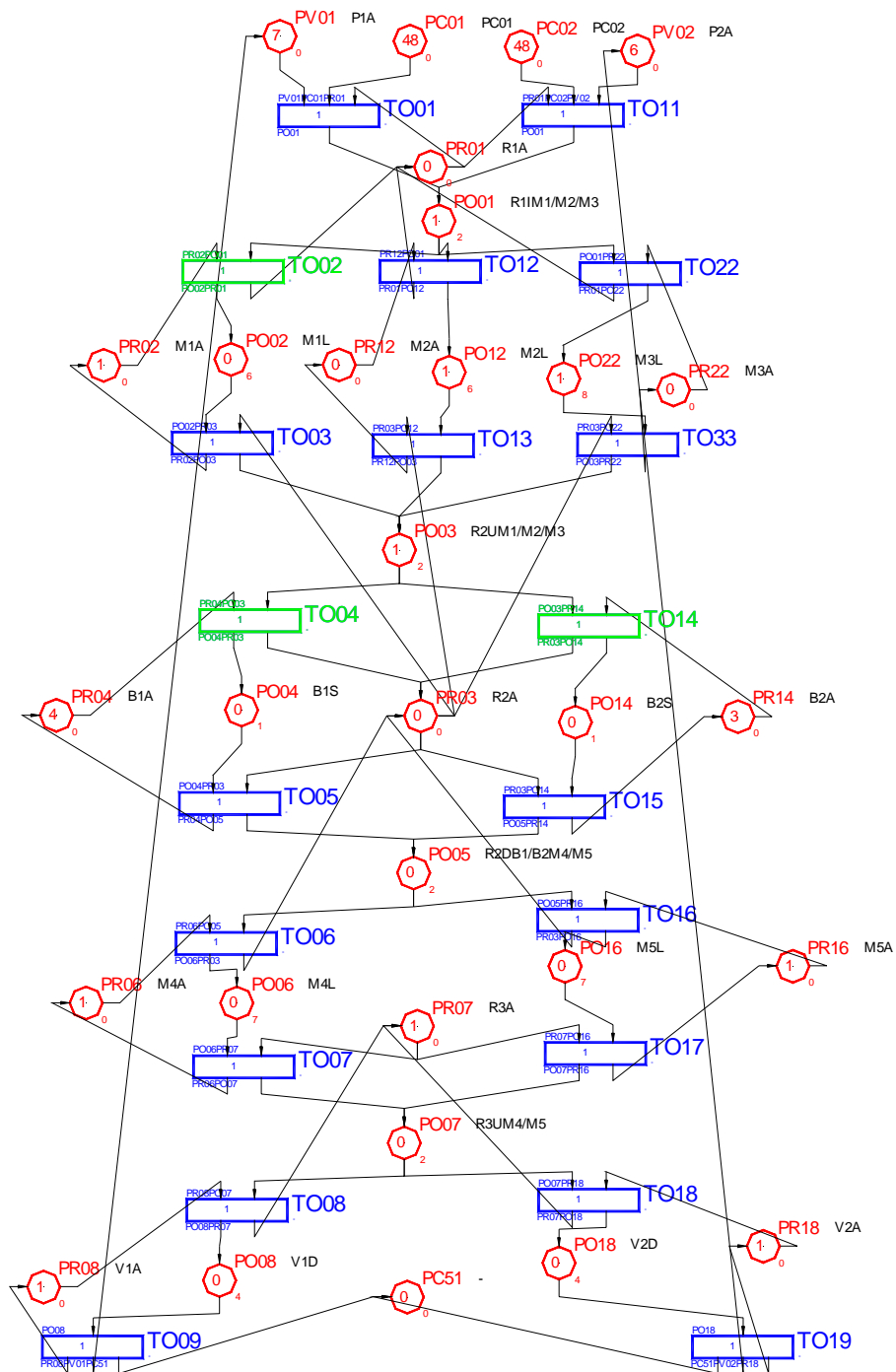


Figura 5.20

Imediat după eliberarea de piesa prelucrată, Mașina 1 are posibilitatea începerii prelucrării unui nou semifabricat - TO02 este accesibilă. După executarea acestei tranziții sistemul este în starea prezentată în figura 5.21.

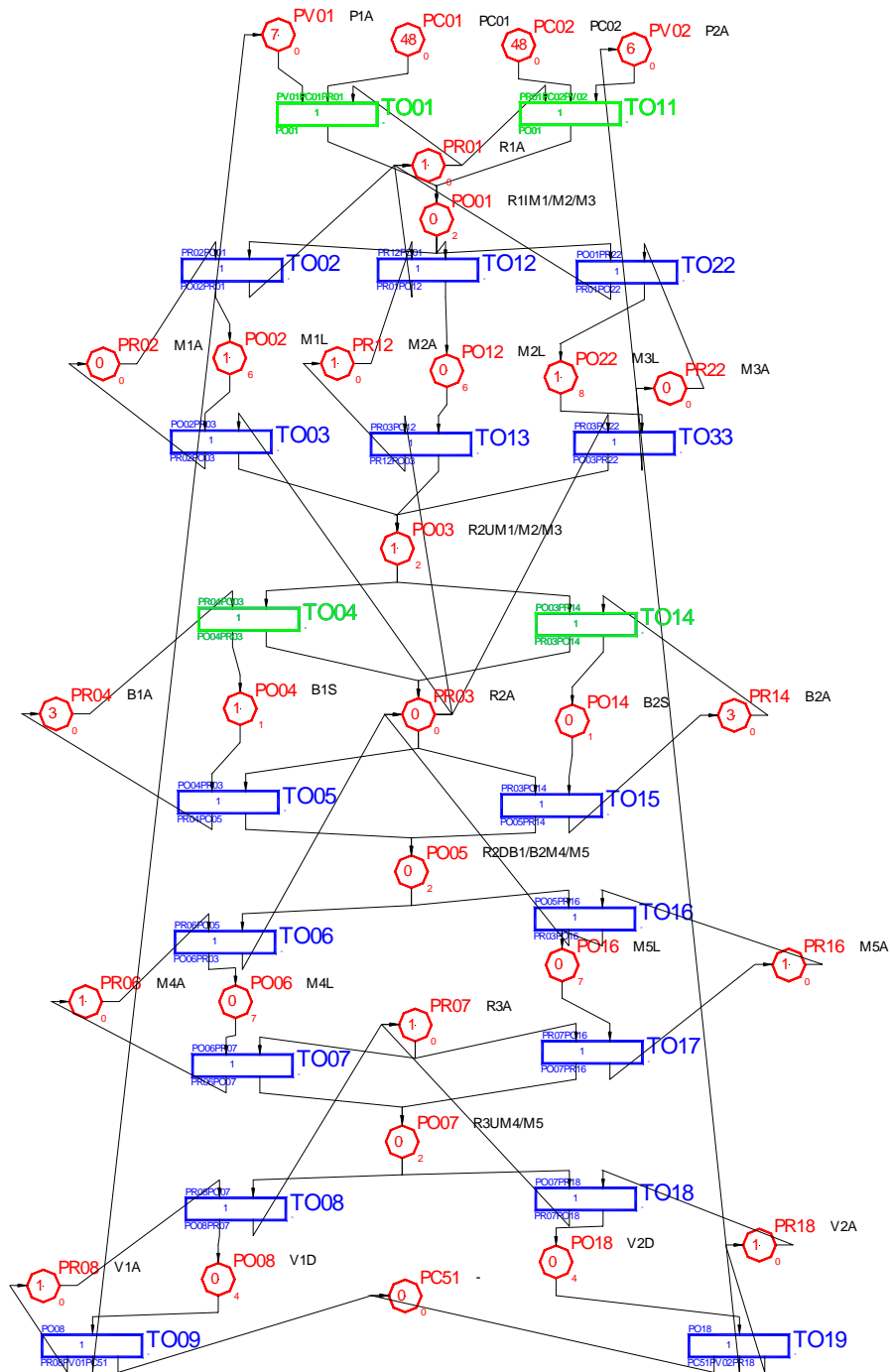


Figura 5.21

În această stare, toate mașinile M1, M2, M3 prelucrează, robotul R1 are posibilitatea de a alimenta cu încă o piesă, robotul R2 are posibilitatea de a distribui la bufferul B1 sau B2, piesa prelucrată pe mașina 1. Executând tranziția TO04, bufferul B1 stochează această piesă, situație ilustrată în figura 5.22.



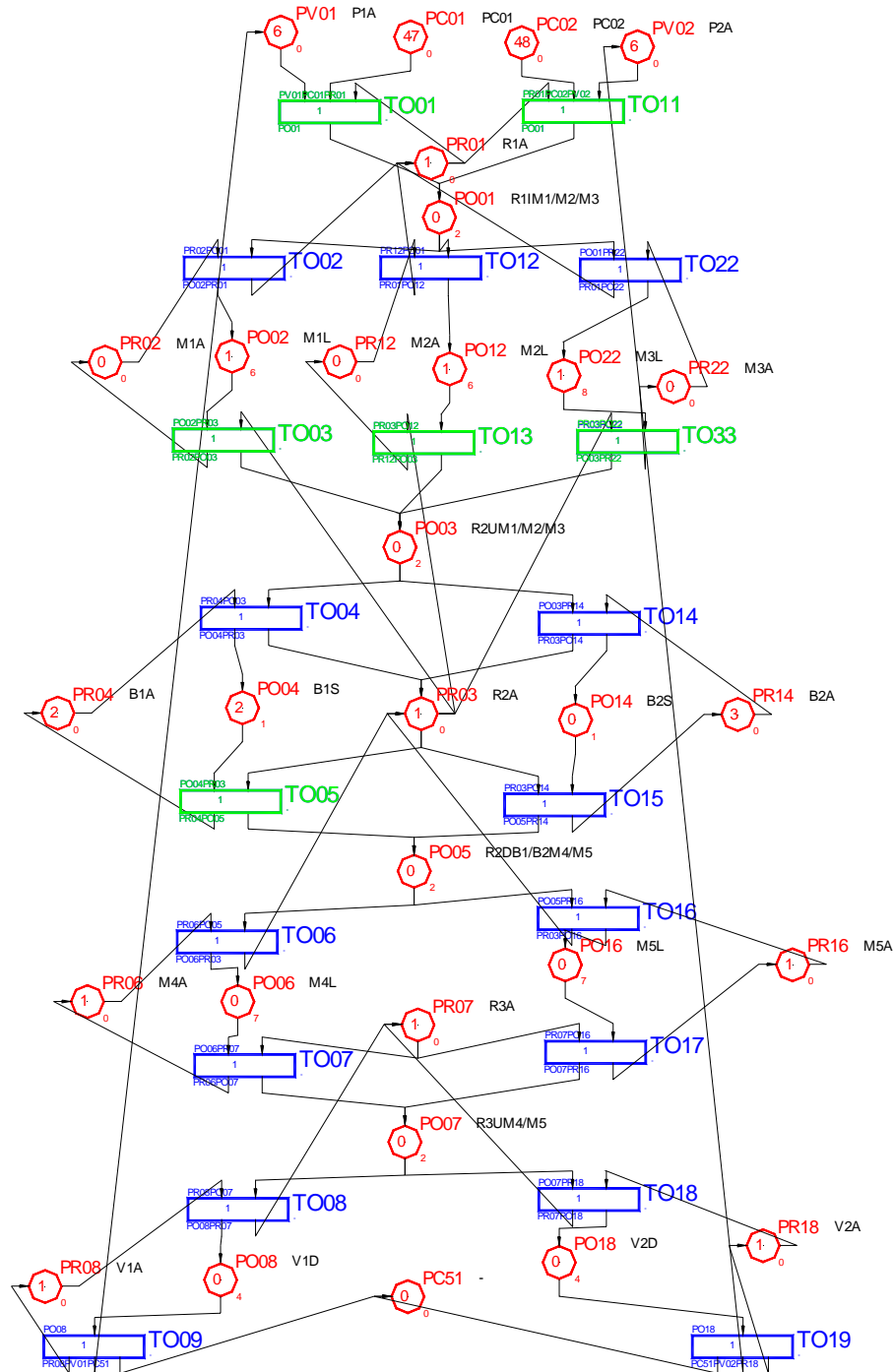


Figura 5.22

În acest moment, se eliberează robotul R2 dând posibilitatea descărcării mașinii M2 care a terminat de prelucrat piesa. Secvențele operațiilor de descărcare și de alimentare cu încă o piesă de la intrare de către robotul R1 sunt similare cu cele prezentate mai sus. În figura 5.23 este arătată starea în care M1, M2, M3, M4 prelucrează, în bufferul B1 mai există o piesă, iar robotul R1 are posibilitatea alimentării cu încă o piesă.

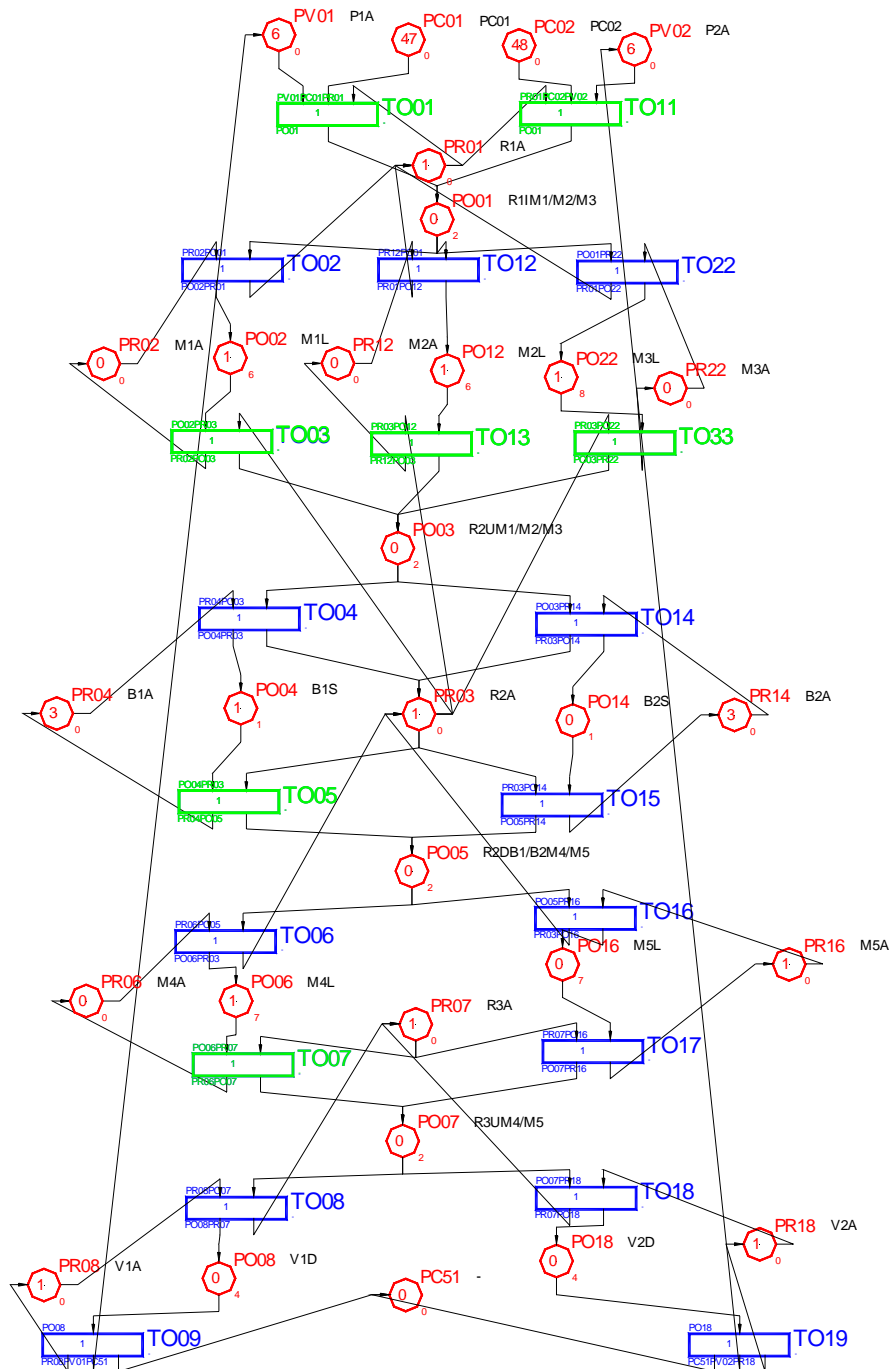


Figura 5.23

După executarea tranziției TO05, robotul R2 începe alimentarea mașinii M5 cu piesa din bufferul B1, dându-se posibilitatea începerii prelucrării de către această mașină (TO16 este accesibilă în figura 5.24)

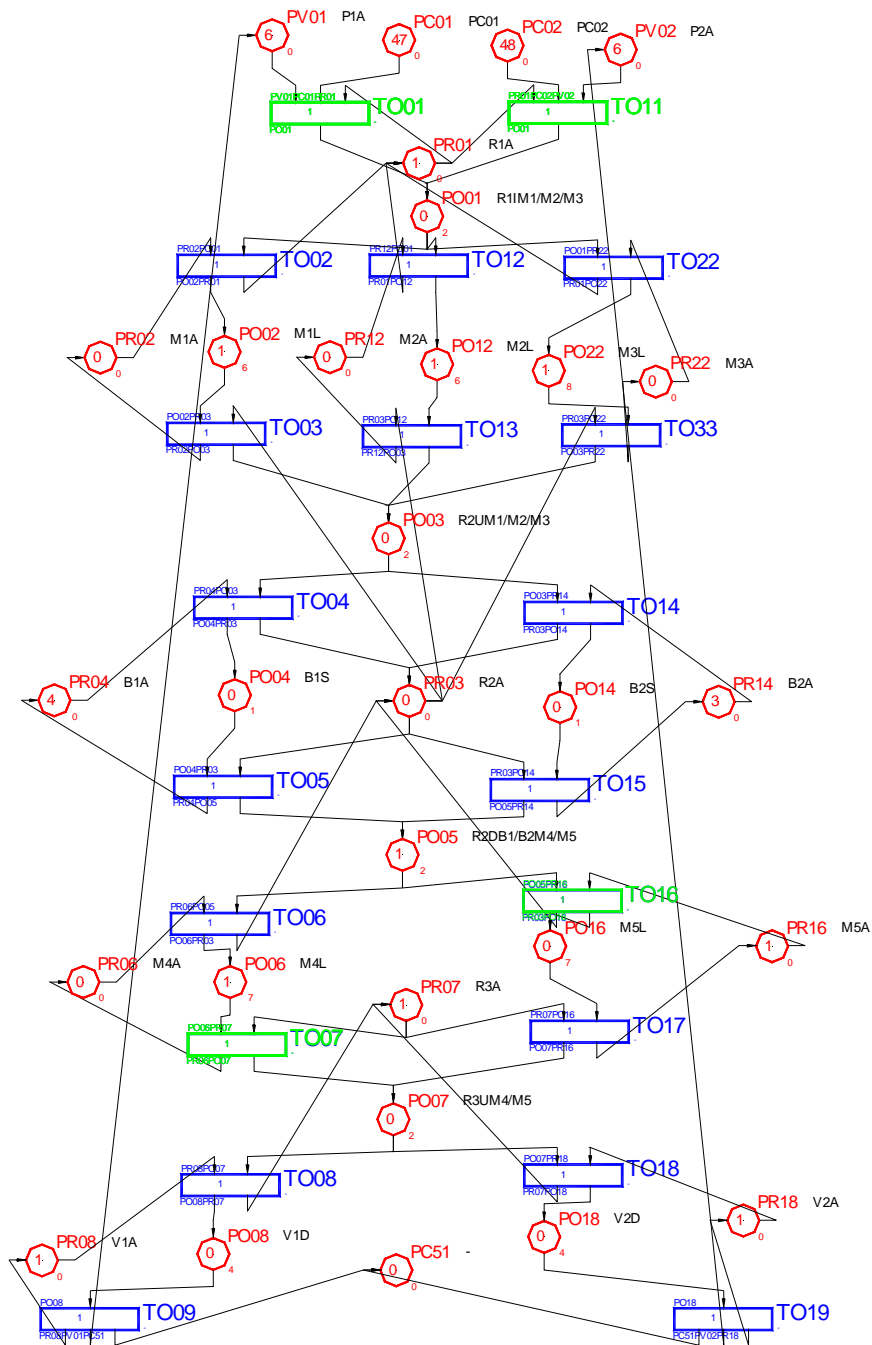


Figura 5.24

După executarea tranziției TO16, avem situația în care toate mașinile prelucrează în același timp, după cum se observă în figura 5.25.

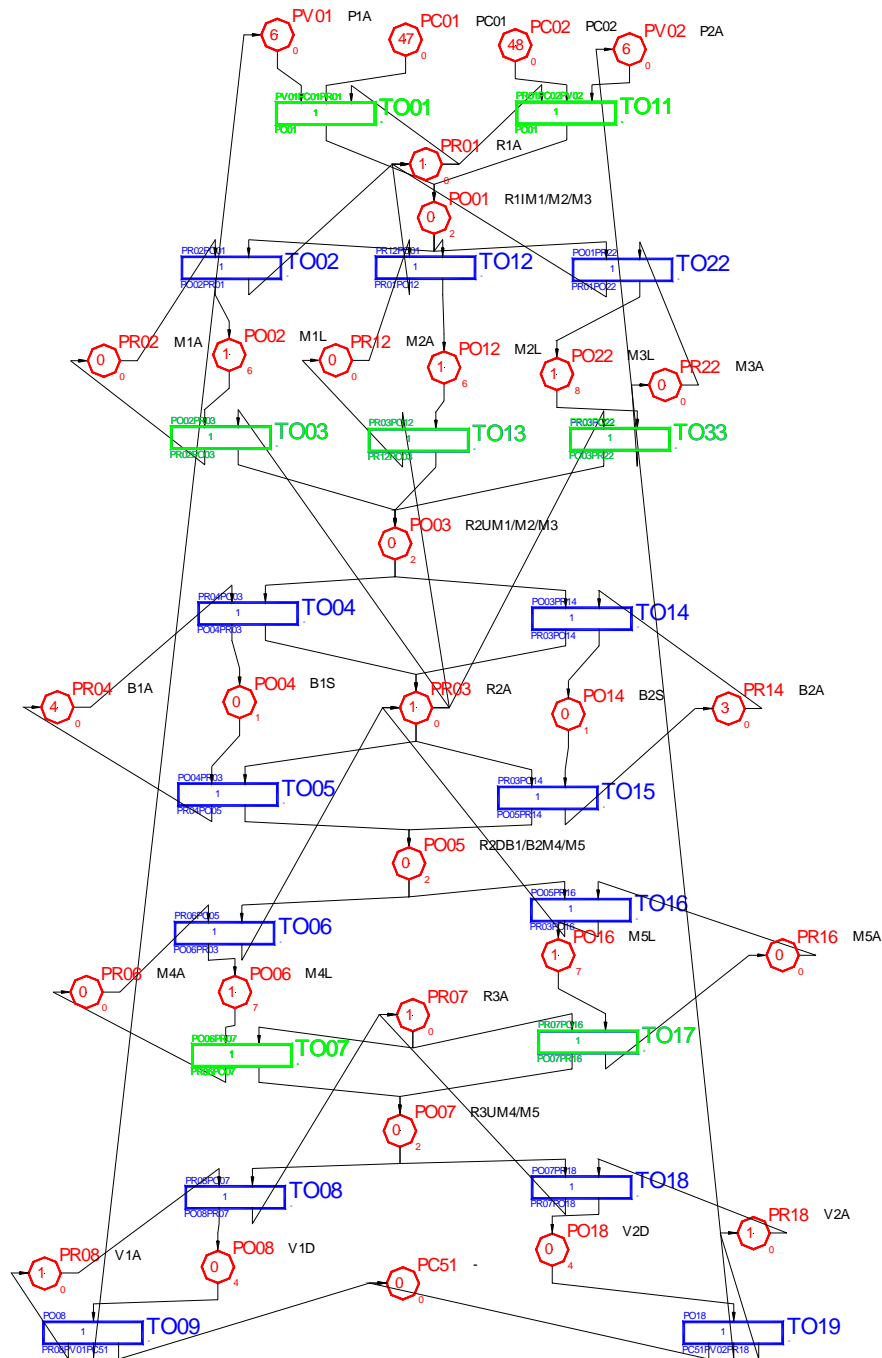


Figura 5.25

Simularea se poate continua până la prelucrarea celor 50 de piese de fiecare tip.

În figura 5.26 este prezentat modelul de rețea Petri studiat la care s-a modificat marcarea inițială, precum și timpii aferenți centrelor de prelucrare. Vom studia evoluția în timp a acestui model.

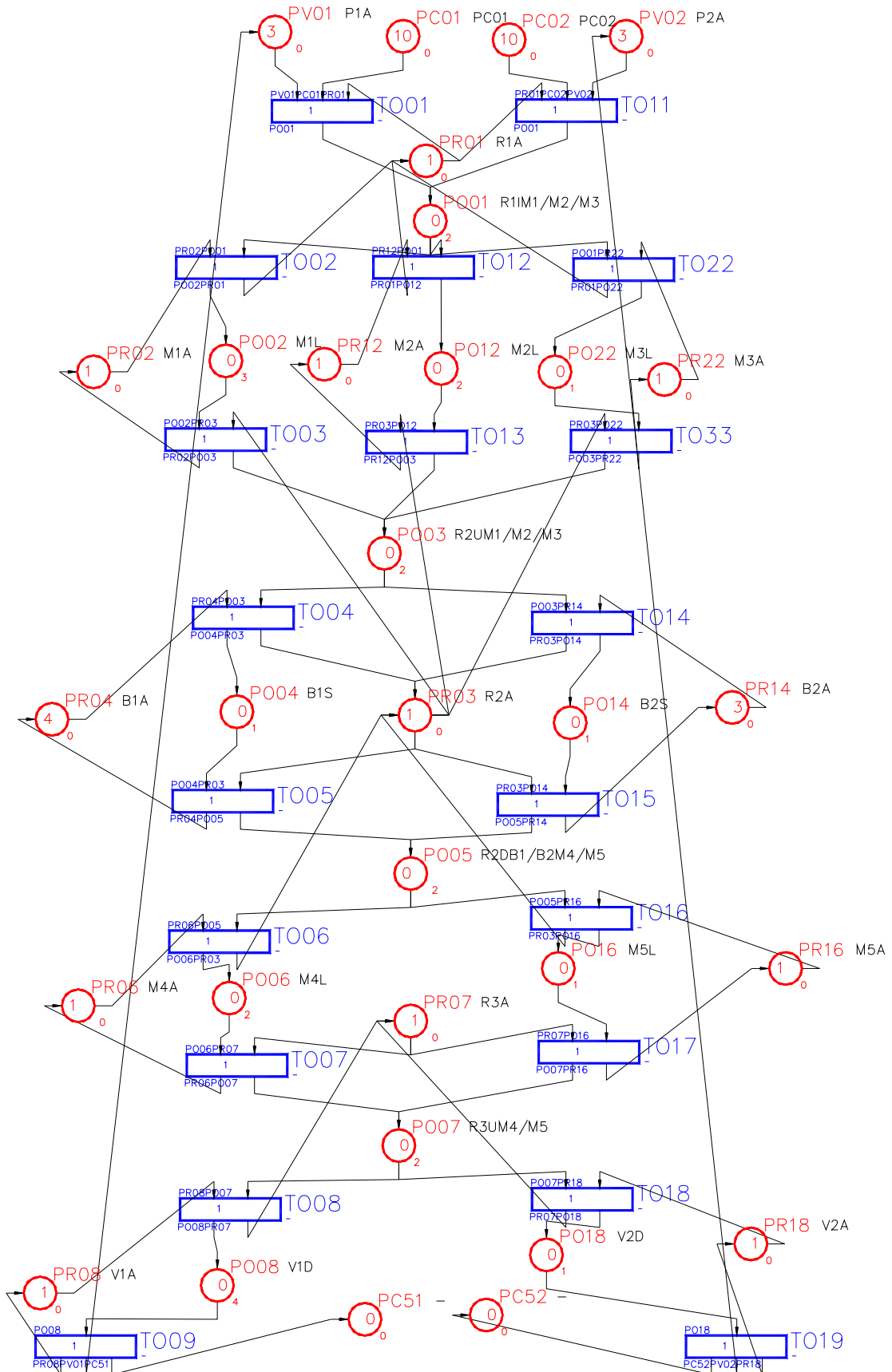


Figura 5.26

Raport: Simulare automata cu timp

MARCAJ DESTINATIE																							
TRANZITII ACCESIBILE																							
TRANZITII EXECUTATE																							
MP																							
TIMP																							
MD	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO12	PO14	PO16	PO18	PO22	PRO1	PRO2	PRO3	PRO4	PRO6	PRO7	PRO8	PR12	PR14	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	1	1	1	3
1	1	1	3	3	10	10	0	0	'TO01'	'TO11'						'nil'		'nil'		0			
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	1	1	1	1	1	3
1	1	1	2	3	9	10	0	0	'TO02'	'TO12'	'TO22'					'TO01'			0	0			
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4	1	1	1	1	1	3
1	1	1	2	3	9	10	0	0	'TO01'	'TO03'	'TO11'					'TO02'			1	2			
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	1	1	1	1	1	3
1	1	1	1	3	8	10	0	0	'TO03'	'TO12'	'TO22'					'TO01'			2	0			
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	4	1	1	1	0	0	3
1	1	1	1	3	8	10	0	0	'TO01'	'TO05'	'TO11'	'TO13'				'TO12'			3	2			
5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	4	1	1	1	0	0	3
1	1	1	0	3	7	10	0	0	'TO03'	'TO13'	'TO22'					'TO01'			4	0			
6	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4	1	1	1	0	3
1	1	1	0	3	7	10	0	0	'TO02'	'TO04'	'TO14'	'TO22'				'TO03'			5	1			
7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	1	1	1	0	3
1	1	1	0	3	7	10	0	0	'TO04'	'TO11'	'TO14'					'TO02'			6	1			
8	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1	1	0	3
1	1	1	0	2	7	9	0	0	'TO04'	'TO14'	'TO22'					'TO11'			7	0			
9	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3	1	1	1	0	0	3
1	1	1	0	2	7	9	0	0	'TO03'	'TO05'	'TO13'	'TO22'				'TO04'			8	1			
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	3
1	1	1	0	2	7	9	0	0	'TO04'	'TO12'	'TO14'	'TO22'				'TO13'			9	0			
11	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	3	1	1	1	0	3
1	1	1	0	2	7	9	0	0	'TO04'	'TO11'	'TO14'					'TO12'			10	1			
12	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	0	3
1	1	1	0	1	7	8	0	0	'TO04'	'TO14'	'TO22'					'TO11'			11	0			
13	1	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	0	3
1	1	1	0	1	7	8	0	0	'TO03'	'TO05'	'TO13'	'TO22'				'TO04'			12	1			
14	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	0	3
1	1	1	0	1	7	8	0	0	'TO06'	'TO16'	'TO22'					'TO05'			13	0			
15	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	3	1	1	1	0	3
1	1	0	0	1	7	8	0	0	'TO06'	'TO11'	'TO16'					'TO22'			14	1			
16	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3	1	1	1	0	3
1	1	0	0	0	7	7	0	0	'TO06'	'TO16'						'TO11'			15	0			
17	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	0	1	1	0	3
1	1	0	0	0	7	7	0	0	'TO03'	'TO05'	'TO07'	'TO13'	'TO33'			'TO06'			16	1			
18	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	3	0	1	1	0	3
1	1	0	0	0	7	7	0	0	'TO02'	'TO04'	'TO07'	'TO14'				'TO03'			17	0			
19	0	1	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	2	1	0	1	0	3
1	1	0	0	7	7	0	0	0	'TO03'	'TO05'	'TO08'	'TO13'	'TO18'	'TO33'		'TO02'	'TO04'	'TO07'	18	2			
20	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	3	1	0	1	0	3
1	1	0	0	0	7	7	0	0	'TO06'	'TO08'	'TO16'	'TO18'				'TO05'			19	0			
21	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	3	0	1	0	0	3
1	1	0	0	0	7	7	0	0	'TO03'	'TO05'	'TO07'	'TO09'	'TO13'	'TO33'		'TO06'	'TO08'		20	2			
22	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	0	1	0	0	3
1	1	0	0	0	7	7	0	0	'TO04'	'TO07'	'TO09'	'TO14'				'TO13'			21	0			
23	0	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	3
1	1	0	0	7	7	0	0	0	'TO03'	'TO05'	'TO09'	'TO18'	'TO33'			'TO04'	'TO07'		22	2			
24	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2	1	0	0	0	3
1	1	0	0	0	7	7	0	0	'TO04'	'TO09'	'TO14'	'TO18'				'TO03'			23	0			
25	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
1	0	0	0	7	7	1	0	0	'TO01'	'TO05'	'TO19'	'TO33'				'TO04'	'TO09'	'TO18'	24	2			
26	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	2	1	1	1	1	3
1	0	0	0	6	7	1	0	0	'TO02'	'TO06'	'TO12'	'TO16'	'TO19'			'TO01'	'TO05'		25	0			

27	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	1	1	1	1	3
'T002' 'T006' 'T012' 'T016'   'T019'   26   1   1   1   3																								
28	1	1	0	0	1	6	7	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	0	1	1	1	3
'T003' 'T005' 'T007' 'T011' 'T033'   'T002' 'T006'   27   1   1   1   3																								
29	1	1	1	0	0	6	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3
'T004' 'T007' 'T012' 'T014' 'T022'   'T011' 'T033'   28   0   1   1   1   3																								
30	1	1	1	0	0	6	6	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	3
'T003' 'T005' 'T008' 'T013' 'T018'   'T004' 'T007' 'T012'   29   2   0   1   0   3																								
31	1	1	1	0	0	6	6	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	3
'T006' 'T008' 'T016' 'T018'   'T005'   30   0   1   0   3																								
32	1	1	0	0	0	6	6	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	2	0	1	0	3
'T003' 'T005' 'T007' 'T009' 'T013'   'T006' 'T008'   31   2   0   1   0   3																								
33	1	1	0	0	0	6	6	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	2	0	1	0	0	3
'T004' 'T007' 'T009' 'T014'   'T003'   32   0   1   0   0   3																								
34	1	1	0	0	0	6	6	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	3
'T005' 'T009' 'T013' 'T018'   'T004' 'T007'   33   2   0   0   0   3																								
35	1	1	0	0	0	6	6	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	2	1	0	0	0	3
'T006' 'T009' 'T016' 'T018'   'T005'   34   0   0   0   3																								
36	1	0	0	0	0	6	6	2	1	0	1	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0	3
'T001' 'T005' 'T007' 'T013' 'T019'   'T006' 'T009' 'T018'   35   2   1   1   0   3																								
37	1	0	1	0	0	5	6	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	1	1	1	3
'T002' 'T004' 'T007' 'T012' 'T014' 'T019' 'T022'   'T001' 'T013'   36   0   1   1   1   3																								
38	1	1	0	0	1	5	6	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	1	3	
'T002' 'T004' 'T007' 'T012' 'T014' 'T022'   'T019'   37   1   1   1   1   3																								
39	1	1	1	0	0	5	6	2	2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	3	
'T003' 'T005' 'T008' 'T011' 'T018'   'T002' 'T004' 'T007'   38   1   0   1   1   3																								
40	1	1	1	0	0	5	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	3	
'T006' 'T008' 'T012' 'T016' 'T018' 'T022'   'T005' 'T011'   39   0   1   1   3																								
41	1	1	0	0	0	5	5	2	2	0	1	0	0	0	1	0	1	0	2	0	1	0	0	3
'T003' 'T005' 'T007' 'T009' 'T013'   'T006' 'T008' 'T012'   40   2   1   0   0   3																								
42	1	1	0	0	0	5	5	2	2	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	0	3	
'T004' 'T007' 'T009' 'T014'   'T003'   41   1   0   0   3																								
43	1	1	0	0	0	5	5	2	2	0	1	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	3	
'T004' 'T009' 'T014' 'T018'   'T007'   42   1   0   0   3																								
44	1	1	0	0	0	5	5	2	2	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	3	
'T005' 'T009' 'T013' 'T018'   'T004'   43   1   1   1   3																								
45	1	1	1	0	0	5	5	2	2	0	1	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	3	
'T006' 'T009' 'T016' 'T018'   'T005'   44   0   0   0   3																								
46	1	0	1	1	0	5	5	3	2	0	1	0	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	3	
'T001' 'T006' 'T016' 'T019'   'T009' 'T018'   45   1   1   1   3																								
47	1	0	1	0	0	4	5	3	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	2	1	1	1	3	
'T002' 'T006' 'T016' 'T019' 'T022'   'T001'   46   0   1   1   3																								
48	1	1	1	0	0	4	5	3	3	0	1	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	0	3	
'T002' 'T005' 'T007' 'T013' 'T022'   'T006' 'T019'   47   1   1   0   3																								
49	1	1	0	0	1	4	5	3	3	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	1	3	
'T002' 'T004' 'T007' 'T012' 'T014' 'T022'   'T013'   48   0   1   1   3																								
50	1	1	0	0	1	4	5	3	3	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1	1	3	
'T004' 'T007' 'T011' 'T014'   'T002'   49   1   1   1   3																								
51	1	1	1	1	0	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
'T004' 'T007' 'T012' 'T014' 'T022'   'T011'   50   0   1   1   3																								
52	1	1	1	0	0	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	3	
'T003' 'T005' 'T008' 'T012' 'T018' 'T022'   'T004' 'T007'   51   1   1   1   3																								
53	1	1	1	0	0	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	3	
'T006' 'T008' 'T012' 'T016' 'T018' 'T022'   'T005'   52   0   1   1   3																								
54	1	1	1	0	0	4	4	3	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	3
'T006' 'T008' 'T016' 'T018'   'T012'   53   1   0   1   3																								
55	1	1	1	0	0	4	4	3	3	0	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	1	0	0	3
'T003' 'T005' 'T007' 'T009' 'T013'   'T006' 'T008'   54   1   1   0   3																								
56	1	1	1	0	0	4	4	3	3	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	0	3	
'T004' 'T007' 'T009' 'T014'   'T003'   55   1   1   0   3																								

Raport: Simulare automata cu timp

MARCAJ DESTINATIE																																
MD	TRANZITII ACCESIBILE																TRANZITII EXECUTATE			MP	TIMP											
PR16	PR18	PR22	PV01	PV02	PC01	PC02	PC51	PC52	PO01	PO02	PO03	PO04	PO05	PO06	PO07	PO08	PO12	PO14	PO16	PO18	PO22	PR01	PR02	PR03	PR04	PR06	PR07	PR08	PR12	PR14		
57	0	0	0	1	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	3	
58	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	3	
59	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	3	
60	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	1	1	0	3	
61	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	3		
62	1	1	0	0	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	0	3	
63	1	1	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	1	3	
64	0	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
65	1	1	1	0	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
66	1	1	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	3	
67	1	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	3	
68	0	1	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	3	
69	0	1	0	0	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	3	
70	0	0	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	0	3
71	0	0	0	1	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3
72	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	3
73	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3
74	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	3
75	1	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	3
76	1	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	0	3
77	1	0	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
78	0	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
79	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
80	1	1	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	3	
81	1	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	3	
82	0	1	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	3



83	0	1	0	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	1	0	0	3
1	1	1	0	0	2	2	5	5	'TO03'	'TO05'	'TO07'	'TO09'	'TO13'		'TO06'	'TO08'		82	1			
84	0	0	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	0	3	
1	1	1	0	0	2	2	5	5	'TO04'	'TO07'	'TO09'	'TO14'		'TO03'			83	1				
85	0	0	1	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	3	
1	1	1	0	0	2	2	5	5	'TO04'	'TO09'	'TO14'	'TO18'		'TO07'			84	1				
86	0	0	0	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	3	
1	1	1	0	0	2	2	5	5	'TO05'	'TO09'	'TO13'	'TO18'		'TO04'			85	1				
87	0	0	0	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	3	
1	1	1	0	0	2	2	5	5	'TO06'	'TO09'	'TO16'	'TO18'		'TO05'			86	0				
88	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	3	
1	0	1	1	0	2	2	6	5	'TO01'	'TO06'	'TO16'	'TO19'		'TO09'	'TO18'		87	1				
89	1	1	0	0	2	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	1	1	0	3	
1	0	1	0	0	1	2	6	5	'TO02'	'TO05'	'TO16'	'TO19'	'TO22'		'TO01'		88	0				
90	1	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	3	
1	1	1	0	0	1	1	2	6	'TO02'	'TO05'	'TO07'	'TO13'	'TO22'		'TO06'	'TO19'	89	1				
91	1	1	0	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	1	3	
1	1	1	0	1	1	2	6	6	'TO02'	'TO04'	'TO07'	'TO12'	'TO14'	'TO22'	'TO13'		90	0				
92	0	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1	3	
1	1	1	0	1	1	2	6	6	'TO04'	'TO07'	'TO11'	'TO14'		'TO02'			91	1				
93	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO04'	'TO07'	'TO12'	'TO14'	'TO22'		'TO11'		92	0				
94	1	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO03'	'TO05'	'TO08'	'TO12'	'TO18'	'TO22'	'TO04'	'TO07'	93	1				
95	1	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO06'	'TO08'	'TO12'	'TO16'	'TO18'	'TO22'	'TO05'		94	0				
96	0	1	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	1	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO06'	'TO08'	'TO16'	'TO18'		'TO12'			95	1				
97	0	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	1	0	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO03'	'TO05'	'TO07'	'TO09'	'TO13'		'TO06'	'TO08'	96	1				
98	0	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO04'	'TO07'	'TO09'	'TO14'		'TO03'			97	1				
99	0	0	1	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO04'	'TO09'	'TO14'	'TO18'		'TO07'			98	1				
100	0	0	0	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO05'	'TO09'	'TO13'	'TO18'		'TO04'			99	1				
101	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	3	
1	1	1	0	0	1	1	6	6	'TO06'	'TO09'	'TO16'	'TO18'		'TO05'			100	0				
102	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	3	
1	0	1	1	0	1	1	7	6	'TO01'	'TO05'	'TO16'	'TO19'		'TO09'	'TO18'		101	1				
103	1	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	2	1	1	1	3	
1	0	1	0	0	0	1	7	6	'TO02'	'TO06'	'TO16'	'TO19'	'TO22'		'TO01'		102	0				
104	1	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	3	
1	1	1	0	1	0	1	7	7	'TO02'	'TO05'	'TO07'	'TO13'	'TO22'		'TO06'	'TO19'	103	1				
105	1	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	1	3	
1	1	1	0	1	0	1	7	7	'TO02'	'TO04'	'TO07'	'TO12'	'TO14'	'TO22'	'TO13'		104	0				
106	0	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1	3	
1	1	1	0	1	0	1	7	7	'TO04'	'TO07'	'TO11'	'TO14'		'TO02'			105	1				
107	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	3	
1	1	1	0	0	0	1	7	7	'TO04'	'TO07'	'TO12'	'TO14'	'TO22'		'TO11'		106	0				
108	1	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	3	
1	1	1	0	0	0	0	7	7	'TO03'	'TO05'	'TO08'	'TO12'	'TO18'	'TO22'	'TO04'	'TO07'	107	1				
109	1	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	3	
1	1	1	0	0	0	1	7	7	'TO06'	'TO08'	'TO12'	'TO16'	'TO18'	'TO22'	'TO05'		108	0				
110	0	1	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	1	3	
1	1	1	0	0	0	1	7	7	'TO06'	'TO08'	'TO16'	'TO18'		'TO12'			109	1				
111	0	1	0	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	1	0	3	
1	1	1	0	0	0	1	7	7	'TO03'	'TO05'	'TO07'	'TO09'	'TO13'		'TO06'	'TO08'	110	1				
112	0	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	3	
1	1	1	0	0	0	1	7	7	'TO04'	'TO07'	'TO09'	'TO14'		'TO03'			111	1				

Raport: Simulare automata cu timp

MARCAJ DESTINATIE																							
MD										TRANZITII ACCESIBILE				TRANZITII EXECUTATE			MP	TIMP					
PR16	PR18	PR22	PV01	PV02	PC01	PC02	PC51	PC52		PO12	PO14	PO16	PO18	PO22	PR01	PR02	PR03	PR04	PR06	PR07	PR08	PR12	PR14
113	0	0	1	2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	3
1	1	1	0	0	0	0	7	7	'TO04'	'TO09'	'TO14'	'TO18'					'TO07'			112	1		
114	0	0	0	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	3
1	1	1	0	0	0	0	7	7	'TO05'	'TO09'	'TO13'	'TO18'					'TO04'			113	0	1	
115	0	0	0	2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	3
1	1	1	0	0	0	0	7	7	'TO06'	'TO09'	'TO16'	'TO18'					'TO05'			114	0		
116	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	0	3
1	0	1	1	0	0	0	8	7	'TO06'	'TO16'	'TO19'						'TO09'	'TO18'		115	1		
117	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1	0	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO05'	'TO07'	'TO13'						'TO06'	'TO19'		116	1		
118	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	1	1	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO04'	'TO09'	'TO14'						'TO13'			117	0		
119	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO05'	'TO08'	'TO18'						'TO04'	'TO07'		118	2		
120	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	1	1	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO06'	'TO08'	'TO16'	'TO18'					'TO05'			119	0		
121	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	0	1	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO05'	'TO07'	'TO09'						'TO06'	'TO08'		120	2		
122	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	0	1	0	1	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO07'	'TO09'	'TO16'						'TO05'			121	1		
123	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	3	1	0	0	1	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO06'	'TO09'	'TO16'	'TO18'					'TO07'			122	1		
124	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	0	1	3
1	1	1	1	1	0	0	8	8	'TO05'	'TO09'	'TO18'						'TO06'			123	1		
125	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	4	0	1	1	1	3
1	0	1	2	1	0	0	9	8	'TO07'	'TO16'	'TO19'						'TO05'	'TO09'	'TO18'	124	1		
126	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4	0	1	1	1	3
1	1	1	1	2	2	0	9	9	'TO07'	'TO16'							'TO19'			125	1		
127	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	4	1	0	1	1	3
0	1	1	2	2	0	0	9	9	'TO08'	'TO18'							'TO07'	'TO16'		126	1		
128	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	4	1	1	0	1	3
0	1	1	2	2	0	0	9	9	'TO09'	'TO17'							'TO08'			127	2		
129	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	0	0	1	3
1	1	1	2	2	0	0	9	9	'TO09'	'TO18'							'TO17'			128	1		
130	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	4	1	1	0	1	3
1	0	1	2	2	0	0	9	9	'TO09'	'TO19'							'TO18'			129	2		
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	1	1	1	3
1	1	1	3	3	0	0	10	10	'nil'								'TO09'	'TO19'		130	1		

Timp total de executie: 99

Timpul de finalizare pt. piesele de tip: PC51

[1]: 19, [2]: 29, [3]: 37, [4]: 46, [5]: 55, [6]: 64, [7]: 73, [8]: 82, [9]: 91, [10]: 99

Timpul de finalizare pt. piesele de tip: PC52

[1]: 20, [2]: 30, [3]: 38, [4]: 47, [5]: 56, [6]: 65, [7]: 74, [8]: 83, [9]: 92, [10]: 99

Din acest raport reiese timpul total de executie, momentul de timp la care este generată o piesă, precum și timpul necesar trecerii dintr-un marcaj în altul (coloana TIMP din raport).

#### 5.5.4. Programul piesa

În cazul sistemului clasic de control a mașinilor tehnologice, prin programul piesa (elaborat în limbajul ISO G-code), se stabilește șirul acțiunilor elementare pe care mașina unealta trebuie să le întreprindă, pentru a realiza ciclul de prelucrare a unui exemplar și, pentru fiecare acțiune, se stabilesc valorile marimilor de stare, astfel încât să fie satisfăcute exigențele tehnice ale produsului rezultat, cum ar fi de exemplu rugozitatea sau precizia. Programul piesa este citit și executat în funcție de instrucțiunile de către sistemul CNC al mașinii.

Sistemele CAM (Computer Aided Manufacturing) procesează modelul CAD al piesei și elaborează programul piesa scris în codul ISO G, care se referă strict la geometria traiectoriei ce trebuie parcursă de scula, în timp ce parametrii regimului de lucru și alte informații trebuie introduse de utilizator. Programul piesa este apoi citit de un interpretor, care preia informațiile conținute în una dintre frazele de comandă, le procesează folosind interpolatoare adecvate și elaborează traiectoria variabilelor de comandă, corespunzătoare respectivei fraze de comandă. În continuare, se comandă motoarelor de acționare parcurgerea punct cu punct a acestei traiectorii.

Spre deosebire de sistemele CAM actuale, în noua abordare propusă, conținutul informațional al programului piesa constă în definirea unor sarcini și nu în succesiunea acțiunilor ce trebuie parcurse pentru obținerea unor caracteristici și oferă la ieșire traiectoria variabilelor de stare, care conține toate informațiile, inclusiv parametrii regimului de lucru, necesare executării întregii operații de prelucrare.

În plus, spre deosebire de sistemele CAM actuale, unde pe parcursul executării unei fraze de comandă, parametrii regimului de lucru rămân constanți, sistemul de conducere al noii generații de mașini reconfigurabile asigură modificarea în mod continuu a valorilor variabilelor de comandă în funcție de evoluția comportării sistemului de manufacturare și de modul real în care se desfășoară procesul de prelucrare.

#### 5.5.5 Restricții

În scopul de a utiliza în întregime capacitățile sistemului, în orice moment al procesului de prelucrare, comenzile pe care sistemul de conducere le dă sunt elaborate în concordanță cu nivelul *momentan* al restricțiilor.

Ca urmare, baza de date a sistemului de comandă conține mai multe seturi de informații cu privire la sculele disponibile, cum ar fi: profilul sculei la un moment dat și forța admisibilă ( $F_{adm}$ ), dar și lățimea admisibilă a aschiei ( $L_{adm}$ ), aria admisibilă a secțiunii aschiei ( $A_{adm}$ ) și grosimea admisibilă a aschiei ( $a_{adm}$ ), pentru diferite materiale. Aceste informații din baza de date a mașinii, împreună cu informațiile care definesc datele de intrare, anterior menționate, servesc la procesarea informației în cadrul *etapei de programare*, realizată virtual, înainte de începerea procesului.

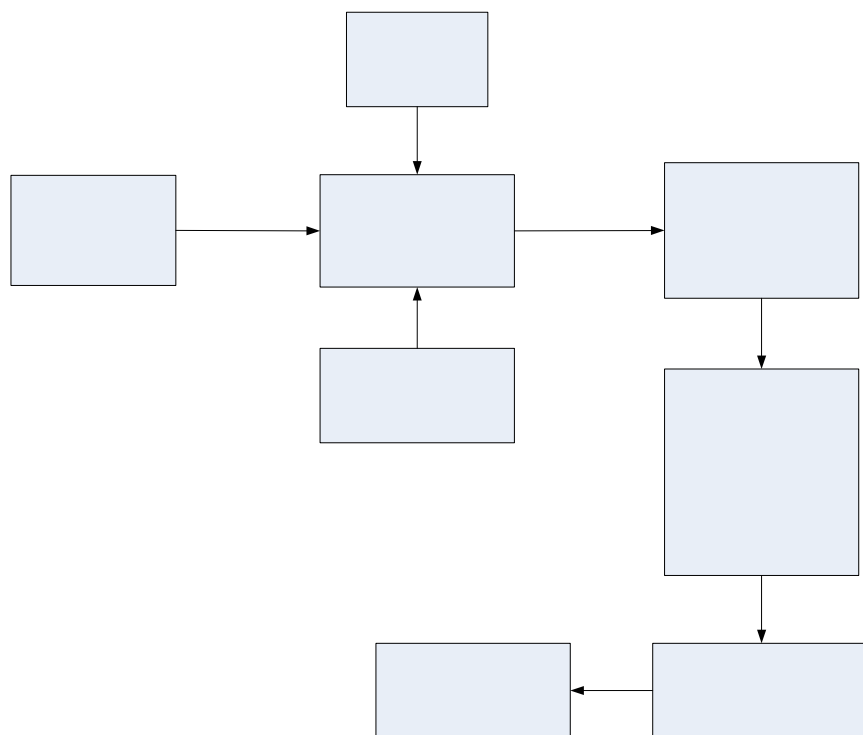


Figura 5.27. Schema demonstrativului de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil

Asa cum se arata in figura 5.27, arhitectura de conducere a masinii tehnologice reconfigurabile presupune o biblioteca de module, in care sunt stocate toate informatiile cu privire la modulele care se pot utiliza, o biblioteca cu sculele disponibile, care stocheaza informatii cu privire la scule. Circuitul informatiei incepe cu introducerea modelului CAD pentru descrierea semifabricatului initial si a produsului final corespunzator operatiei. Aceste informatii, impreuna cu cele existente in biblioteca de scule si de module, permit modulului de informatii a demonstrativului virtual procesarea lor pentru derularea etapei de programare automata optimizata. Programarea automata presupune simularea virtuala a procesului pentru fiecare scula cu determinarea optimului local in fiecare punct al traiectoriei respectivei scule. Apoi se evalueaza comparativ sculele pentru care derularea procesului este posibila (nu apar coliziuni), pentru determinarea sculei care produce optimul global. Rezulta astfel un program virtual, reprezentat de succesiunea pozitiilor sculei de-a lungul profilului final, cu o anumita scula selectata.

In ceea ce priveste testarea coliziunilor, aceasta se realizeaza automat in etapa de simulare virtuala, luand in considerare faptul ca se cunoaste configuratia geometrica a strungului, cea a sculelor si a semifabricatului.

### 5.5.6 Optimizare

Asa cum se arata in figura 5.28, care corespunde demonstrativului pentru procesul de aschiere, ideea cheie a algoritmului de optimizare virtuala consta in aceea de a minimiza costurile, dar in acelasi timp sa se satisfaca exigentele specifice produsului finit. Pe langa gradele de libertate corespunzatoare axelor Z si X, s-a considerat, potrivit inventiei Strung universal reconfigurabil, realizata in cadrul proiectului, ca scula are un grad de libertate suplimentar reprezentat de rotirea a acesteia in jurul axei Y a modulului port-scula.

Minimizarea costurilor se reduce la a realiza profilul final cu un numar minim de rotatii ale piesei, de unde rezulta, in plus, un consum minim energie si de scula. Aceasta inseamna detasarea unei aschii cu suprafata maxima, in conditiile respectarii conditiilor impuse produsului finit.

Etapa de programare optimizata debuteaza cu introducerea ca date de intrare a coordonatelor punctelor aflate pe suprafata nominala, a abaterilor superioara si inferioara corespunzatoare, a rugozitatii suprafetei finale, a coordonatelor punctelor pe profilul suprafetei initiale, a coordonatelor punctelor de pe profilul sculei, a valorilor limita admisibile  $F_{adm}$ ,  $A_{adm}$ ,  $a_{adm}$ ,  $L_{adm}$ , si a caracteristicii de material  $C_{mat}$ .

Coordonatele punctelor de pe profilul suprafetei nominale sunt obtinute in urma procesarii modelului CAD, reprezentat de fisiere desen generate de pachetul AutoCAD, fiind destul de multe pentru a putea fi suficient de bine descris profilul. Fiecaruia dintre aceste puncte  $i$  se ataseaza urmatoarele informatii: abaterea superioara, abaterea inferioara, rugozitate si respectiv coordonatele  $X$ ,  $Z$ , calculate prin insumarea valorilor nominale cu media abaterilor superioara si inferioara corespunzatoare punctului. Similar, se introduc datele care descriu suprafata initiala, reprezentate de coordonatele punctelor profilului acesteia. Coordonatele punctele ce descriu profilul suprafetei finale sunt date in sistemul de referinta solidar cu piesa.

In baza de date a masinii sunt stocate coordonatele punctelor ce descriu profilul sculei in raport cu sistemul de referinta solidar cu aceasta, urmand ca in etapa de optimizare sa se faca conversia la sistemul de referinta al piesei.

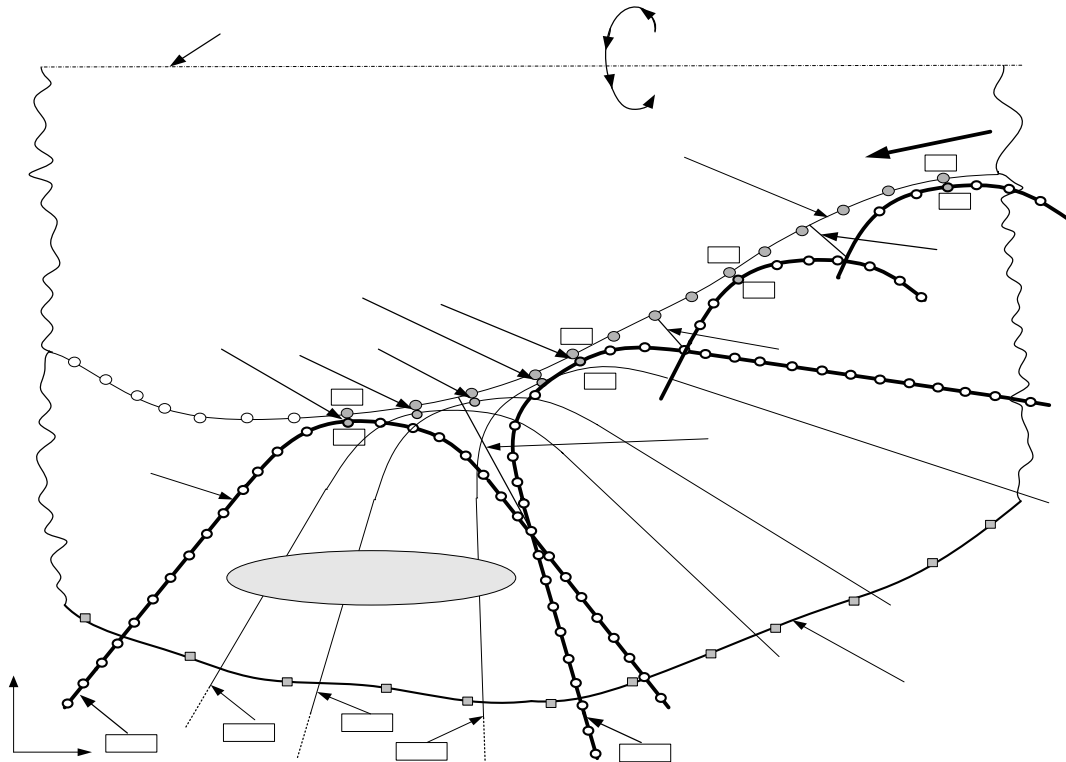


Figura 5.28 Schema algoritmului de optimizare locala

In figura 5.29 se arata schema unei secvente de generare a suprafetei finale, folosind algoritmul de optimizare al sistemului de prelucrare virtual. De exemplu, sa presupunem ca ne aflam in punctul de pe profilul suprafetei finale  $i=21$  si pozitia sculei este corespunzatoare punctului  $j=16$  de pe profilul acesteia, tangent la profilul suprafetei finale. In continuare, ne propunem, sa gasim urmatorul punct de pe profilul suprafetei finale, generat de un punct de pe profilul sculei, dupa ce piesa a executat o rotatie completa. Pentru aceasta se trece la pozitia  $i=22$  si se testeaza succesiv punctele de pe profilul sculei, retinandu-se acele puncte care verifica restrictiile si impunerile. Cautarea se opreste in momentul in care se gaseste un punct de pe profilul suprafetei finale, pentru care toate punctele de pe profilul sculei, tangent la acesta, nu respecta conditiile, asa cum se observa in figura 3. Punctele  $i=25$  si  $j=15$  reprezinta combinatia pentru care aria aschiei ( $A_{25/15}$ ) este maxima

in cazul setului de puncte testat. Se considera ca noul  $i$ , adica,  $i=25$  este noul punct curent si se continua algoritmul de cautare a urmatorului punct de atins.

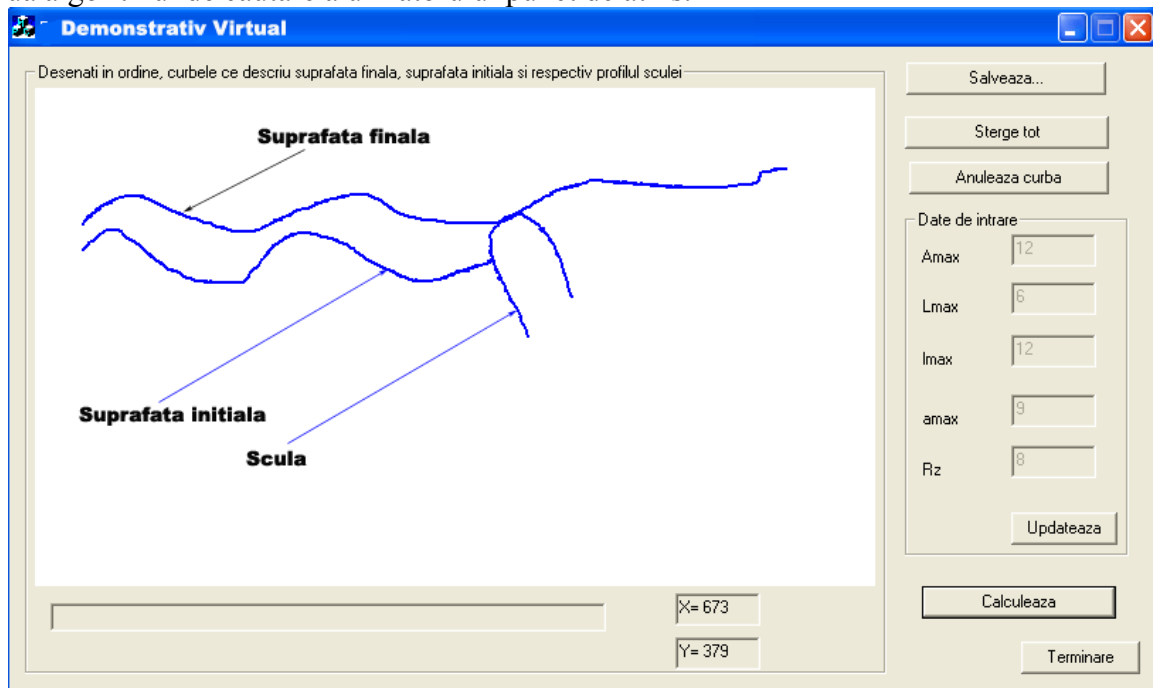


Figura 5.29. Fereastra programului pentru optimizarea locala.

Asa cum se arata in figura 5.29, demonstrativul realizat permite derularea virtuala a algoritmului pentru o singura scula in plan. In partea dreapta a ferestrei programului se introduc inainte de rulare cerintele impuse pentru suprafata finala. Dupa apasarea butonului "Updateaza" aceste valori sunt retinute. In continuare se deseneaza folosind mouse-ul profilul suprafetei initiale, a celei finale si profilul sculei. Pentru lansarea demonstrativului se apasa butonul "Calculeaza" care declanseaza derularea animatiei corespunzatoare etapei de optimizare. Profilul sculei se deplaseaza de-a lungul profilului suprafetei finale astfel incat sa fie satisfacute restrictiile impuse si sa rezulte un proces de prelucrare optim, conform algoritmului.

### 5.5.7 Exemple

Mai jos se prezinta doua exemple, unul privind procesul de strunjire si altul procesul de frezare.

In primul exemplu, figura 5.30, arhitectura hard a sistemului se compune din 1 – papusa fixa; 2- universal; 4- scula; 5- portscula; 6- sanie longitudinala; 7,8- masa rotativa pe care este fixata portcutitul si 9- sanie transversala si serveste pentru prelucrarea unor suprafete cilindrice profilate. O alta structurare hardware, folosind aceleasi elemente, este prezentata in figura 5.31, si este destinata prelucrarii unor suprafete profilate transversal.

In cel de-al doilea exemplu (figura 5.32), se demonstreaza prin functionare virtuala modul in care poate fi realizata o masina de frezat dantura interioara, folosind freze-melc cu profil evolventic, obtinute la randul lor cu masina a carei structura este prezentata in figurile 5.30 si 5.31.

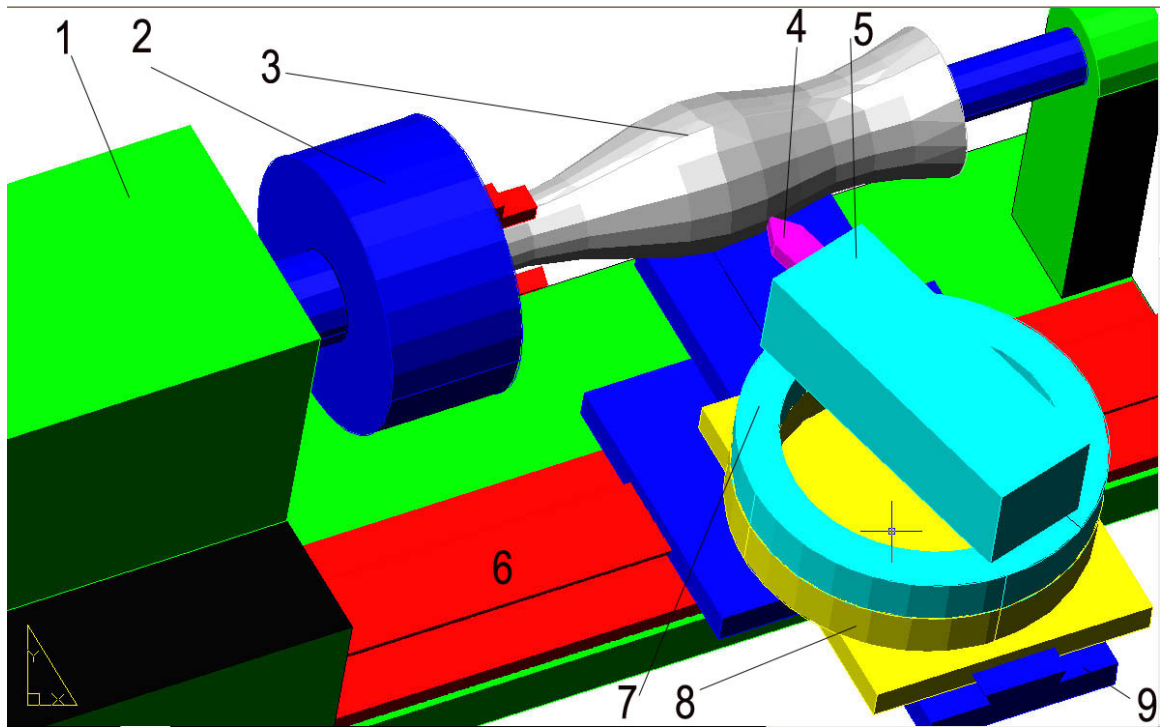


Figura 5.30 Prelucrarea suprafetelor profilate longitudinal

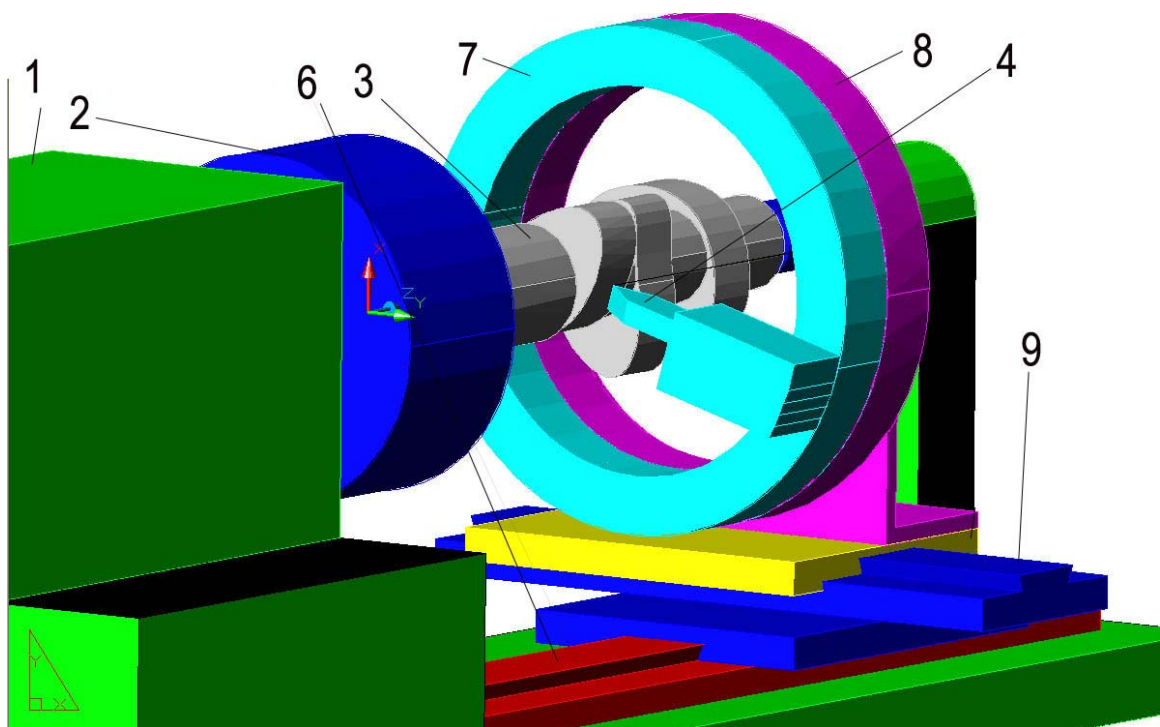


Figura 5.31 Prelucrarea suprafetelor profilate transversal

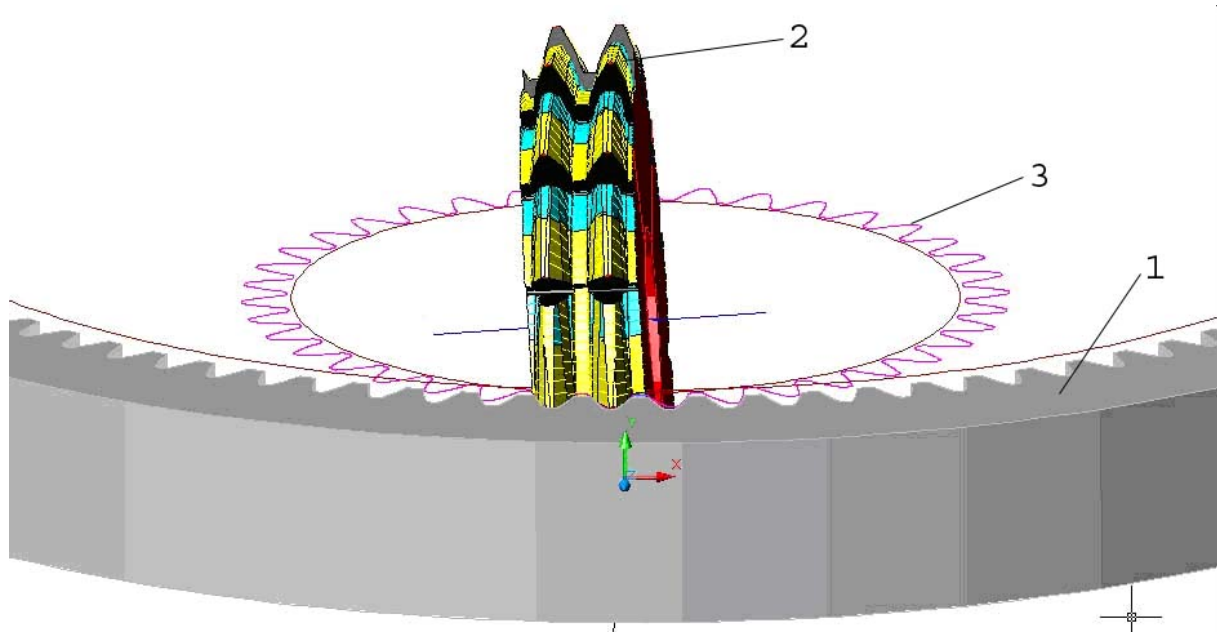


Figura 5.32 Prelucrarea danturilor interioare evolventice



## **Cap. 6. Concluzii generale**

Pe baza activitatii desfasurata in cadrul proiectului, a rezultatelor btinute si a modului in care aceste rezultate au fost percepute si evaluate de comunitatea stiintifica si industriala pana in prezent, se pot desprinde urmatoarele concluzii:

1. Pentru reducerea timpului de reconfigurare, arhitectura software trebuie sa fie deschisa, dar cu structura completa, pentru ca sa acopere o intreaga clasa de procese de prelucrare. Ca urmare, la procesele de aschiere, respectiv de deformare plastica, pentru care conceptul de sistem tehnologic reconfigurabil a fost concretizat in cadrul proiectului, sunt necesare produse software diferite.

2. Controlul adaptiv-optimal, bazat pe reidentificare on-line si procesare virtuala, dezvoltat in cadrul proiectului, poate fi aplicat preventiv, astfel incat deviatiile generate de campul termomecanic al sistemului tehnologic sa fie compensate. Reducerea de peste cinci ori a erorii dimensionale, obtinuta in cadrul probelor experimentale, arata ca nivelul de performanta poate fi deosebit de ridicat.

3. Conceptul dezvoltat in cadrul proiectului s-a dovedit a fi aplicabil la toate cele trei nivele ale abordarii: sistem de fabricatie, sistem tehnologic, achipament tehnologic. Cele 9 inventii rezultate in urma activitatii din proiect exemplifica aplicabilitatea conceptului la toate aceste nivele.

4. Raspunsul industriei este incurajator si se concretizeaza in aceea ca trei intreprinderi industriale au investit sume semnificative pentru implementarea rezultatului proiectului. Dupa zece luni de la implementare, analiza arata ca rezultatele obtinute sunt bune si ca exista motive pentru extinderea implementarii.

5. Comunitatea stiintifica a validat rezultatele proiectului prin aceea ca au fost publicate 42 de lucrari, 22 dintre aceste in publicatii indexate ISI/BDI.

6. Proiectul a avut un impact major in ceea ce priveste activitatea stiintifica a Centrului de Cercetare pentru Inginerie Tehnologica in Constructia de Masini de la Universitatea "Dunarea de Jos" din Galati, concretizat in inceputul dezvoltarii unei scoli stiintifice de sisteme tehnologice reconfigurabile.

## Bibliografie

- [1.1] Choudhury S. K., V. K. Jain, S. Rama Krishna, *On-Line Monitoring of Tool Wear and Control of Dimensional Inaccuracy*, In: Turning, Journal of Manufacturing Science and Engineering, February 2001, Volume 123, Issue 1, pp. 10-12
- [1.2] Dong, C., Zhang, C., Wang, B., Zhang, G., *Prediction and Compensation of Dynamic Errors for Coordinate Measuring Machines*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, August 2002, Volume 124, Issue 3, pp. 509-514.
- [1.3] Hong Yang, Jun Ni, *Dynamic Modeling for Machine Tool Thermal Error Compensation*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, May 2003, Volume 125, Issue 2, pp. 245-254
- [1.4] Kim, S., Landers, R.G., Ulsoy, A., *Robust Machining Force Control With Process Compensation*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, August 2003, Volume 125, Issue 3, pp. 423-430.
- [1.5] Lian, R.J., Lin, B.F., Huang, J.H., *A grey prediction fuzzy controller for constant cutting force in turning*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 45, Issue 9, July 2005, pp. 1047-1056.
- [1.6] Mehrabi M.G., A.G. Ulsoy, Y. Koren, and P. Heytler, *Trends and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 13, No.2, April 2002, pp 135-146.
- [1.7] Steven Y. Liang, Rogelio L. Hecker, Robert G. Landers, *Machining Process Monitoring and Control: The State-of-the-Art*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, May 2004, Volume 126, Issue 2, pp. 297-310
- [1.8] Tseng, P.C., Ho, J.L., *A Study of High-Precision CNC Lathe Thermal Errors and Compensation*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer London, June 2002, Volume 19, Number 11, pp. 850 – 858.
- [2.1] CCITT. Draft Recommendations Z.35x and Appendices to draft Recommendations, 1992. (COM X-R12-E.)
- [2.2] Monique A Kardos- *Human Machine Interface and Usability Issues: Exploring a Preliminary Mission Management System Evaluation Methodology* DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory Commonwealth of Australia 2001
- [2.3] \*\*\* International Standard IEC 60204-1 Safety of machinery –Electrical equipment of machines, 2005
- [2.4] Mitsubishi Electric-Operation manual GOT-f900, GOT A900
- [2.5] NUM AG – *NUM 1020/1040/1060 Operator catalog*, 2002
- [2.6] Schneider Electric- *Magelis XBTL-1000 Technical documentation*, 2003
- [2.7] NUM AG – *32-Bit MMITOOL Human/Machine Interface Customization Tool*, 2002
- [2.8] M. G. Mehra B I, A . G . Ulsoy, Y. Koren Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing
- [2.9] Siemens AG – *WinCC V 6.0. Information system*, 2003
- [2.10] Schneider Electric - *Vijeo Look SCADA software for small and medium-sized supervision applications, 2004*
- [2.11] Schneider Electric – *Monitor Pro 7, Technical documentation*, 2006
- [2.12] National Communications System USA - *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems*, 2004
- [2.13] Microsoft Corporation: *Component Object Model Specification. Microsoft Corporation, 0.9 edn (1995)*
- [2.14] Kraig Brockschmidt *Inside OLE 2nd Edition*, Microsoft Press, 1995
- [2.15] Eric J. Byres, Tan-Trung Nguyen – *Using OPC to Integrate Control Systems From Competing Vendors, 2000 CPPA Technical Session*

- [2.16] Microsoft Corp– *Dynamic Data Exchange*, MSDN Library Visual Studio 6.0 1998
- [2.17] *André Quintã, José Santos, Carlos Cardeira Performance Assessment of DDE Versus ActiveX In Manufacturing Environments Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia 2005*
- [2.18] OPC Task Force , “*OLE for Process Control Data Access Standard*”, version 1.0, 1997
- [2.19] OPC Foundation, *OLE for Process Control: Overview*, OPC Foundation, Oct. 1998
- [2.20] OPC Foundation – *Data Access Custom Interface Standard –version 2.0 . 1998*
- [2.21] OPC Foundation – *Data Access Custom Interface Standard –version 3.0 . 2003*
- [3.1] Walczyk, D.F. and Hardt, D.E., A Comparison of Rapid Fabrication Methods for Sheet Metal Forming Dies,”ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1999, 121(1), 214-224.
- [3.2] Walczyk, D.F. and Hardt, D.E., Design and Analysis of Reconfigurable Discrete Dies for Sheet Metal Forming, Journal of Manufacturing Systems, 1998, 17(6), 436-454.
- [3.3] Nardiello, J., Christ, R., and Papazian, J.M., Block Set Form Die Assembly, USA Patent 6,053,026, April 2000.
- [3.4] Papazian, J.M., Anagnostou, E.L., Christ, R.J., Hoitsma, D., Orivile P, Schwarz, R.C., Spitzer, K., and Barkley, C., Tooling for Rapid Sheet metal parts production, 6th Joint FAA/DoD/NASA conference on Aging Aircraft, September 2002
- [3.5] Walczyk, D.F. and Longtin, R.S., Fixturing of compliant parts using a matrix of reconfigurable parts,”ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2000, 122(4), 766-772.
- [3.6] Kelkar, A., Koc, B., and Nagi, R., Rapidly Re-configurable Mold Manufacturing, 2003 ASME Design and Manufacturing Conference, Chicago, Illinois, September 2 - 6, 2003
- [3.7] Cai, Z.Y., Li, M.Z, Optimum path forming technique for sheet metal and its realization in multi-point forming. J. Mater. Process. Technol. 110 (2001), pag. 136–141
- [3.8] Mingzhe, L., Yuhong, L., Multi-point forming: a flexible manufacturing method for a 3D surface sheet. J. Mater. Process. Technol. 87 (1999), pag. 277–280
- [3.9] Cai, Z.Y., Li , M.Z., Multi-point forming of three-dimensional sheet metal and the control of the forming process. Int. J. Pressure Vessels Piping 79 4 (2002), pag. 289–296
- [3.10] Cai, Z.Y., Li, M.Z., Yan, Q.G., Flexible forming for sheet metal. Journal of Applied Science 20 (2002) 202–206 (in Chinese).
- [3.11] Chen, J.J., Li, M.-Z., Multi-point section forming technology, J. Harbin Instit. Technol. 32 (2000) (4), pag. 65–71.
- [3.12] Zhongyi, C., Mingzhe, L., Zhaohua, F., Theory and method of optimum path forming for sheet metal. Chin. J. Aeronautics 14 2 (2001), pp. 118–122
- [3.13] Cai, Z., Li, M., Optimum path forming technique for sheet metal and its realization in multi-point forming, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 110, pag 136-141, 2001.
- [3.14] Boers, S.H.A., Schreurs, P.J.G., Geers, M.G.D., Path-Dependent Plasticity and 3D Discrete Forming, VIII International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS VIII, CIMNE, Barcelona, 2005
- [3.15] Paunoiu, V., Nicoara, D., Design an experimental reconfigurable die for sheet metal forming, Analele Universității Dunărea de Jos din Galați, fasc. V, 2006, pag. 81-85, ISSN 1221-4566
- [3.16] Păunoiu, V., Epureanu, A., Nicoară, D., Ciocan, O. - A review of the sheet metal forming methods using reconfigurable dies, Analele Universității Dunărea de Jos din Galați, Fascicole 5, Tehnologii in Constructia de Mașini, ISSN 1221-4566, 2006, pag. 45-50
- [3.17] Păunoiu, V., Nicoara, D., Banu, M., Maier, C., Ciocan, O., Epureanu, A. - Design an experimental reconfigurable die for sheet metal forming, Analele Universității Dunărea de Jos din Galați, Fascicole 5, Tehnologii in Constructia de Mașini, ISSN 1221-4566, 2006, pag. 60-65,
- [3.18] Paunoiu, V., Oancea, N., Nicoara, D., Simulation of Plate’s Deformation Using Discrete Surfaces, Materials Processing and Design: Simulation and Application, NUMIFORM, 2004, OHIO State University, American Institute of Physics 0-7354-0188-8, pag. 1007-1010

- [3.19] Paunoiu, V., Nicoară, D., Tehnologii de presare la rece a tablelor, Editura Cartea Universitară, București, 2004, ISBN 973-7956-02-8, 320 pag
- [3.20] Gavan, E., Paunoiu, V., Dimache, A., Comparative Study for Single-Curved Plates Forming with Continuous and Reconfigurable Die-Punch Assembly, *Analele Universității Dunărea de Jos din Galați*, fasc. V, 2004, pag. 81-85, ISSN 1221-4566
- [3.21] Gavan, E., Paunoiu, V., Dimache, A., Cylindrical Thick Plate Forming with Reconfigurable Die-Punch Tool, *TMCR*, Chișinău, 20035, pag. 400-404, ISBN 9975-9975-3-2
- [3.22] Belytschko, T., Liu, W.K., Moran, B., *Finite Elements for Nonlinear Continua and Structures*, Wiley, New York (1996).
- [3.23] Karafillis, A.P., Boyce, M.C., Tooling and binder design for sheet metal forming processes compensation springback error, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 36 (1996), pag. 503–526
- [4.1] Adams, G.P., Beard, J.E, *Comparison of Helical and Skewed Axis Rotor Pumps*. În: *Mech. Mach. Theory*, vol. 32, no. 6, 1997, pag. 729-742.
- [4.2] Adams, G.P., Soedel, W., *Computation of Compression Loads in Twin Screw Compressors*. În: *Transactions of the A.S.M.E.*, vol. 117, 1995, pag. 512-519.
- [4.3] Borzan, M., *Contribuții privind influența sculei de ordinul II asupra preciziei de prelucrare a pieselor cu profil riglat*. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 1996.
- [4.4] Gohman, H.I., *Teoria začeplenia, obobsčenaia i razvitia putem analiza*. 1876, Odessa, Rusia.
- [4.5] Ishibashi, A., Yoshino, H., *Design and Manufacture of Gear Cutting Tools and Gears with an Arbitrary Profile*, În: *JSME International Journal*, vol. 30, 1987, pag. 1159-1166.
- [4.6] Joppolo, C.M., *I compressorii recenti sviluppi tecnologici ed applicativi*. În: *Macchine frigorifere per la climatizzazione*, Padova, n.7 – 1997, pag. 2-15.
- [4.7] Litvin, F. L., Feng, P. H., *Computerized Design and Generation of Cycloidal Gearings*. În: *Mech. Machining Theory*, vol. 31, No. 7, 1996, pag. 891-911.
- [4.8] Litvin, F. L., Fuentes, A., Demengo, A., Vecchiato, D., Fan, Q., *New Developments in the Design and Generation of Gear Drives*. În: *Journal of Mechanical Engineering, Proc. Instn. Mech. Engrs.*, vol. 215, Part C, 2001, pag. 747-757.
- [4.9] Litvin, F. L., Fuentes, A., Gonzales-Perez, I., Carvenali, L., Kawasaki, K., Handschuh, R. F., *Modified Involute Helical Gears: Computerized Design, Simulation of Meshing and Stress Analysis*. [www.elsevier.com/locate/cma](http://www.elsevier.com/locate/cma)
- [4.10] Litvin, F. L., Kuan, C., J. Kieffer, R. Bossler and R.F. Handshuh, *Straddle Design of Spiral Bevel and Hypoid Pinions and Gears*. În: *ASME J. Mechanical Design*, 113(4), pag. 422-426, 1991.
- [4.11] Sharif, K. J., Kong, S., Evans, H. P., Snidle, R. W., *Contact and Elastohydrodynamic Analysis of Worm Gears. Part 1 : Theoretical Formulation*. În: *Journal of Mechanical Engineering, Proc. Instn. Mech. Engrs.*, Vol. 215, Part. C, 2001, pag. 817-830.
- [4.12] ANTONIADIS & cop. Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools in Gear Hobbing, *Journal of manufacturing Science and engineering* vol 124 NOV 2002 pag. 784-791
- [4.13] Manjunathalah, Jairam & comp., A New Model and Analysis of Orthogonal Machining with an Edge- Radiused Tool , Dep. of Mech. Eng and Applied Mechanics, University of Michigan ,Trans. ASME , vol 122, Aug. 2000 pag 384-390
- [4.14] Slatineanu , L. Contributii la studiul prelucrabilitatii prin aschiere a unor oteluri romanesti , teza de doctorat IP IASI, 1980
- [4.15] Stetiu, M., Lazarescu , I.D., Oprean, C., Stetiu, G., *Teoria si practica sculelor aschietoare*, vol 3, Ed. Univ. din Sibiu ISBN 973-95604-3-1
- [4.16] Georgescu, V. s.a Le chargement de tranchantes de pointe des dents de la fraise helicoidale, In *Buletinul Universitatii din Galati Fascicola 5 din 1981* pag 29

**Anexe – Lista rezultatelor obtinute ca urmare a activitatilor din proiect**

**A. Cercetari stiintifice intreprinse**

1. Cuzmin C., Frumusanu G., Marin F.B., Paunoiu V., Cuzmin G., Epureanu A., *Adaptive Dimensional Control System for Reconfigurable Machine-Tools.*, Vol. 1, Universitatea Tehnică a Moldovei, ISBN 978-9975-45-035-1, TCMR International Conference, Chisinau, 2007.
2. Cuzmin C., Teodor V., Oancea N., Marinescu V., Epureanu A., *Dimensional dynamics identification of reconfigurable machine tools.* Proceedings of WSEAS European Computing Conference, Athens, GREECE, September 25-27, 2007, (indexata ISI).
3. Frumusanu G., Epureanu A. – *Approach of Cutting Processes Chaotic Character by Using Cutting Force Poincare Map* - Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Tomul LIII (LVII), 2007, în curs de publicare.
4. Constantin I., Marinescu V., Epureanu A., Cuzmin C., Marin F. B., *A modular manufacturing control system*, TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 301-306.
5. Frumusanu G., Epureanu A. – *Modelling of Cutting Process Chaotic Character.* - TCMR International Conference, Chisinau, 2007, p.342-345.
6. Frumusanu G. – *Algorithm and Program to Find Largest Lyapunov Exponent in One-Dimensional Time Series Case.* - TCMR International Conference, Chisinau, 2007, p.338-341.
7. Marin F. B., Constantin I. C., Marinescu V., Cuzmin C., Epureanu A., *Development of reconfigurable software module for CNC machine tools*, TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 265-269.
8. Frumusanu G., *The Influence of Reconstruction Delay and Embedding Dimension Values onto Time Series Lyapunov Exponents Calculation* - Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Tomul LIII (LVII), 2007, în curs de publicare.
9. Constantin I., Marinescu V., Paunoiu V., Marin F.B., *Corecția erorilor de poziționare pentru axele lungi ale mașinilor unelte cu angrenaj*, TCMR International Conference, Chisinau, 2007, pag. 420-424, ISBN 978-9975-45-035.
10. Maier C., Tabacaru V., Banu M., Bouvier S., Marinescu V., *Designing of a modular set of inverse re-drawing dies aided by FEM simulation.* În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata BDI).
11. Epureanu A., *Reconfigurable manufacturing systems – the next generation,* În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata BDI).

12. Lixandru I., Epureanu A., Frumusanu G., Craciun M.V., ***Coherence of RMS thermo-mechanical fields***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
13. Epureanu A., Marin F.B., Oancea N., Marinescu V., ***Programming of reconfigurable machining systems – a new approach***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
14. Alamano A.M., Hauk N., Epureanu A., ***Adaptive-optimal control of reconfigurable machine tool***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
15. M. Banu, A. Epureanu, O. Naidim, ***A new algorithm for springback prediction of the automotive body cars using artificial intelligence methods***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
16. Banu M., Florescu M., Epureanu A., Marinescu V., ***An econometric model of the body cars manufacturing***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
17. Frumusanu G., Epureanu A., ***Chaotic dynamics of cutting processes applied to RMS Control***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
18. Paunoiu V, Maier C., Epureanu A., Banu M., ***Virtual compensation of springback in sheet metal deformation with multipoint reconfigurable die*** În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
19. Maier C., Banu M., Paunoiu V., Epureanu A., ***Sheet metal forming analysis with multipoint reconfigurable die using data mining technique***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
20. Stoian C., Frumusanu G., ***RMS design principle***, În: **Reconfigurable Manufacturing Systems** - Thematic Serie of the Annals of „Dunarea de Jos” University, Vol.1, Editor: Alexandru Epureanu. Fasc. V., anul XXV(XXX) 2007, ISSN-1221-4566, (indexata **BDI**).
21. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian CUZMIN, ***The monitoring of a lathe using an artificial neural network - 5<sup>th</sup> part***, (recordings spectral analysis, use of ANN on monitoring of the tool wear), SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May

22. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian Cuzmin, ***The monitoring of a lathe using an artificial network – 6<sup>th</sup> part*** (statistics, monitoring, fuzzy C-means methos), SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May.
23. BALAN, C. George; EPUREANU, Alexandru; POPA, Rustem & CONSTANTIN, Ionut, ***CHATTER DETECTION USING THE MAIN CUTTING FORCE***, trimisa la The 18th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Creativity, Responsibility and Ethics of Engineers", Croatia, 24-27th October 2007, (indexata ISI).
24. Gavrus, M. Banu, E. Ragneau, C. Maier, V. Marinescu, ***Identification of Material Parameters for Deep-Drawing Process Using An Inverse Analysis of the Erichsen Test***, Conferinta Internationala SIA2007, 24-25 octombrie 2007, Caen, Franta, (indexata ISI).
25. Ciocan Ovidiu, ***Echipament Tehnologic Destinat Prelucrării prin Deformare Plastică Superficială a Suprafețelor Cilindrice Exterioare***, Lucrările T.M.C.R., Editura Tehnică a Moldovei, Chișinău, 2007, pag. 271- 275, ISBN 978-9975-45-035-5 (vol. 1).
26. Păunoiu Viorel, Spiridonescu Cornelia, Nicoară Dumitru, Epureanu Alexandru, ***Researches regarding the deep drawing with combined restraint***, TMCR, Chisinau, 2007, pag. 279-284, ISBN 978-9975-45-035-5.
27. Vacarus V., Gheorghies C., Dima Mircea, ***Diagnosis of the structural changes intro superficial layer during high speed machining*** , DIPRE Bucuresti 2007.
28. Epureanu A. ,Teodor V., Oancea N., Banu M., Marinescu V., ***Method for On-Line Identification of Reconfigurable Machine-Tool Geometry Based on a Topological Neural Approach***, Journal of Manufacturing Science and Engineering(trimisa spre publicare) (indexata ISI).
29. Teodor V., Epureanu A., Cuzmin C., ***Method for Identification of Geometric Feature Family Based on Genetic Algorithm and Neural Approach*** Proceeings of WSEAS EUROPEAN COMPUTING CONFERENCE, Athens, Greece, September 25-27, 2007 (indexata ISI).
30. Paunoiu V., Nicoara D., Epureanu A., Maier C., Banu M., ***Flexible stamping technology based on multipoint reconfigurable die***, ICMS 2007, Buletinul Institutului Politehnic din Iași 2007.
31. Epureanu, Al., Teodor, V., Dima, M., Oancea, N., ***A Reconfigured Rack-Tool for Generation of Gears***, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare (indexata ISI).
32. Cuzmin, C., Cuzmin, G., Epureanu, Al., ***Internal Gear Cutting Generation with Toroidal Hob***, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare (indexata ISI).
33. Valentin Tăbăcaru, Mihaela Banu, Salima Bouvier, ***Machinability analysis by Wire Cut Electroerosion of special hard metals***, Revista de Tehnologii Neconventionale, Nr. 2, Editura PRIM, Iași, 2007, pag. 113-120, ISSN 1454-3087 (indexata BDI).

34. Cucu, M., Teodor, V., Oancea, N., **Software for Worm Cutter Profiling**, Proceedings of “The 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Manufacturing Technologies-ICAMT 2007, AGIR Publishing House, ISSN 1843-3162, pag. 325-328, București, 2007.
35. Oancea, N., Cucu, M., Teodor, V., **Tangents Method for Graphical Representation of a Rotary Cutter Profile**, Proceedings of “The 2<sup>nd</sup> International Conference on Engineering Graphics and Design- ICEGED, 2007, “Dunarea de Jos” University, Galați 2007, Cermi, Iași, pag. 321-324, ISBN 978-973-667-252-1, (indexata **BDI**).
36. Dima, M., Oancea, N., **Model for the Graphical Determination of the Roughness**, Proceedings of “The 2<sup>nd</sup> International Conference on Engineering Graphics and Design-ICEGED, 2007, “Dunarea de Jos” University, Galati, Cermi, Iași, pag. 253-254, ISBN 978-973-667-252-1, (indexata **BDI**).
37. Dima, M., **Modele pentru ameliorarea procesului de danturare**, Tehnologii Moderne Calitate Restructurare 2007, Universitatea Tehnică a Moldovei, vol. 2, Chișinău, pag. 98-101, ISBN 978-975-45-034-8, ISBN 978-9975-45-035-2, 2007.
38. Cucu, M., Oancea, N., Teodor, V., **Metoda tangentelor – profilarea sculei-cremalieră pentru profiluri circulare**, Tehnologii Moderne Calitate Restructurare 2007, Universitatea Tehnică a Moldovei, vol. 2, Chișinău, pag. 86-89, ISBN 978-975-45-034-8, ISBN 978-9975-45-035-2, 2007.
39. Breaz, R., Bologa, O., Racz, G., **Improving CNC Machine Tools Accuracy Using Modeling and Computer Simulation Techniques**, The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.
40. Racz, G., Bologa, O., Breaz, R.E., **Design and Optimization of the Press Structure**, The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.
41. Oleksik, V., Bologa, O., Racz, G., Deac, C., **Roughnes Control of Parts Obtained through Incremental Sheet Forming**, The 4<sup>th</sup> IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, Sibiu, ROMANIA, September 27- 30, 2007, ISBN 978-973-739-481-1.
42. Paunoiu, V., Maier, C., Epureanu, A., Banu, M. - **Virtual compensation of springback in sheet metal deformation with multipoint reconfigurable die**, Analele Universității Dunărea de Jos din Galați, Fascicule 5, Tehnologii in Constructia de Mașini, ISSN 1221-4566, 2007, (indexata **BDI**).

#### D. Elaborare monografii

1. Epureanu A., Marinescu V., Oancea N., Banu M., Teodor V., Cuzmin C., Marin F.B., Constantin I., **Reconfigurable machining systems control**, Denbridge Press publishing house, SUA,(210 pagini), 2007, in curs de publicare.



## E. Inventii realizate in cadrul proiectului

Rezultatele obtinute in cadrul proiectului au fost protejate prin inregistrarea la nivel national (O.S.I.M.). Au fost elaborate **9** inventii (8 fiind inregistrate, una aflandu-se in curs de inregistrare)

1. Cuzmin C., Epureanu A., Banu M., Teodor V., Marinescu V., Marin F. B., *Metoda si echipament de conducere dimensionala bazata pe monitorizarea campului termomecanic* - Dosar Nr. A 00255/12.04.2007.
2. Epureanu A., Marinescu V., Ghita E., Oancea N., Teodor V., Banu M., *Robot reconfigurabil de masurare* - Dosar Nr. A 00627/06.09.2007
3. Cuzmin C., Epureanu A., Cuzmin G., Banu M., Marinescu V., Oancea N., *Freza-melc modul toroidala pentru prelucrarea danturilor cilindrice interioare si exterioare cu dinti drepti si inclinati* - Dosar Nr. A 00254/12.04.2007
4. Cuzmin C., Epureanu A., Oancea N., Marinescu V., Banu M., *Strung universal reconfigurabil* - Dosar Nr. A 00577/13.08.2007
5. Epureanu A., Dima M., Teodor V., Eugen G., Oancea N., *Dispozitiv pentru realizarea arborilor poliformi cu aplicatie la masinile reconfigurable* - Dosar Nr. A 00575/13.08.2007
6. Marin F.B., Epureanu A., Marinescu V., Banu M., Maier C., Oancea N., *Hard disk destinat sistemelor incorporate de conducere a masinilor unelte reconfigurable* – Dosar Nr. A 00626/6.09.2007.
7. Tabacaru V., Banu M., Marinescu V., Maier C. - *Sistem modular de dispozitivare EDM* - Dosar Nr. A 00253/12.04.2007.
8. Paunoiu V., Epureanu A., Maier C., Ciocan O., Banu M., Marinescu V., *Metoda de ambutisare si masina reconfigurabila de ambutisat* - Dosar Nr. A 00576/13.08.2007.
9. *Procedeu si echipament pentru controlul dimensional adaptiv al procesului de ambutisare cu matrite reconfigurable – (in curs de brevetare)*

## F. Propuneri standarde internationale

1. Proposal for update - **International Standard ISO/FDIS 1101/2000**-Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical Tolerancing – Tolerances of Form Orientation, Location and Runout.

## G. Manifestari stiintifice

1. Simpozion international "*New trends in intelligent manufacturing systems*" cu participarea prof. Mourad CHERIF si mcf. Yves Roussigne, LPMTM - Universite Paris13, Franta, 15-20 aprilie 2007.

2. Seminar roman-francez international " *O noua generatie de sisteme reconfigurabile pentru prelucrari mecanice* " cu participarea prof.dr.ing. Adinel GAVRUS - Insa de Rennes, Franta, 9-13 iulie 2007.

## H. Editare publicatii

1. **RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEMS**, Thematic Serie, Vol. 1, The Annals of Dunarea de Jos University, Fascicula V, Anul XXX (XXV), 2007, ISSN 1221-4566, (indexata **BDI**).

## I. Programe post-doctorale

1. Echipamente tehnologice reconfigurabile pentru deformarea plastica a tablelor

## J. Teze de doctorat

1. Marin Florin Bogdan, *Modelarea holonica a cinematicii sistemelor de prelucrare reconfigurabile*, Teza de doctorat, in curs de derulare
2. Valeriu Petrus, *Cercetari privind conducerea dimensionala a sistemelor tehnologice reconfigurabile*, Teza de doctorat, in curs de finalizare.
3. Ionut Constantin, *Sistem adaptiv de conducere dimensionala cu aplicatii la masinile unelte reconfigurabile*, Teza de doctorat, in curs de derulare.
4. Simona Luca, *Modelarea dinamicii haotice a procesului de aschiere cu aplicatii in controlul stabilitatii masinilor unelte reconfigurabile*, Teza de doctorat, in curs de derulare.
5. Viorel Vacarus, *Sisteme reconfigurabile de prelucrare cu viteze foarte mari, Teza de doctorat*, in curs de derulare.
6. Berbinchi Silviu, *Contributii la modelarea 3D a erorilor de generare a suprafetelor*, Teza de doctorat, in curs de derulare.
7. Horia Silvica, *Cercetari privind imbunatatirea performantelor sculelor aschietoare utilizata la prelucrarea pieselor din industria siderurgica*, Teza de doctorat, in curs de derulare.

## K. Realizare prototipuri

1. Sistem de conducere dimensionala adaptiva a masinilor unelte reconfigurabile. Aplicatie pentru cazul unui strung frontal.
2. Sistem de conducere dimensionala predictiva a masinilor unelte reconfigurabile. Aplicatie pentru cazul unei masini de frezat.

## L. Proiecte transmise la programe internationale

1. Proiectul european REHOLM, call identifier:FP7-NMP-2007-SMALL-1, intitulat ***Development of robotic-smart machines for batch industrial production in open-ended and rapid changing real-market environments, with application in design of the next generation of machining systems***, Proposal No: CP-FP 213288-1, elaborat de Universitatea “Dunarea de Jos” Galati.
2. Proiectul european ARCM, call identifier FP7-NMP-2007-LARGE-1 intitulat ***Advanced research concerning the characteristics of composite materials whith metallic matrix***, Nr. FP7-212552-1, elaborat de Universitatea Tehnica “Gh. Asachi” Iasi.
3. Proiectul european INTELIDEF, call identifier:FP7-NMP-2007-SMALL-1, intitulat ***Developing a new generation of metal forming systems characterized by intelligent control based on the online capturing of knowledge and its use in decision-making***, Proposal No: CP-FP 214578-1, elaborat de Universitatea “Dunarea de Jos” Galati si Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu.
4. Proiectul european ICFDSPP, call identifier: FP7-ERC-2007-StG, intitulat: ***Identification of chaotic and fractal dynamics of severe plastic deformation process aiming bulk materials nanostructuring***, Proposal No: 204078-1, elaborat de Gabriel Frumusanu, Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati.
5. Proiectul european NANOMET, call identifier:FP7-ERC-2007-StG , , intitulat: ***Multiscale Modelling of the Deformation Mechanisms in Metal Forming***, Proposal No: 208365-1, elaborat de Mihaela Banu, Universitatea “Dunarea de Jos” Galati.
6. Proiectul european RECREMSOIL, call identifier: FP7-NMP-2007-LARGE-1, intitulat ***Combined technologies for recovery and remediation of polluted environment***, Proposal No: FP7-212568, elaborat de Universitatea din Bacau, Centrul de cercetare IMT si Universitatea din Dunquerque - Franta.

#### **M. Parteneriate internationale nou create**

1. Acord de parteneriat stabilit intre RIKEN Research Institute Tokio, Japonia, reprezentat de Dr. Akitake Makinouchi, Program Director, VCAD System Research Program, si Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati, reprezentata de Prof. Dr. Ing. Nicoale Oancea, Directorul Centrului de Cercetari IT-CM, la data de 24 Mai 2007. Corespunzator acordului de parteneriat prima actiune va consta in desfasurarea unui doctorat in cotutela condus de Prof. Dr. Ing. Alexandru Epureanu si Prof.Dr. Akitake Makinouchi, doctorand cu frecventa Susac C. Florin, tema “Modelarea si conducerea sistemelor de turnare reconfigurabile”, perioada de doctorat 2007-2010.
2. Acord de parteneriat stabilit intre LMPTM, Paris reprezentata de «..... , si Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati, reprezentata de Prof. Dr. Ing.Epureanu Alexandru, coordonator stiintific la Centrul de Cercetari IT-CM. Corespunzator acordului de parteneriat prima actiune va consta in desfasurarea unui doctorat in cotutela condus de Prof. Dr. Ing. Alexandru Epureanu si .....i, doctorand cu frecventa Tofan V.Alice-Nicoleta, tema “Sisteme reconfigurabile de micromanufacturare prin deformare plastica”, perioada de doctorat 2007-2010.

## N. Produse software

1. Produs software **CONTINTEL** destinat conducerii adaptiv inteligente a sistemelor reconfigurabile de prelucrare
2. Produs software SinCONPETRI
3. Software-uri in house pentru generarea cinematicii diferitelor procese de prelucrare
4. Sistem software reconfigurabil pentru comanda unui strung
5. Sistem software pentru comanda unei masini de prelucrare liniara
6. Sistem software de comanda a liniilor de prelucrare prin stantare
7. Sistem software de comanda a liniilor de prelucrare prin gaurire
8. Sistem de monitorizare si comanda pentru instalatii de zincare termica in vederea eficientizarii consumurilor energetice
9. Program INFA.LSP – soft destinat profilării sculelor reconfigurabile care generează prin aşchiere;
10. Program PSGR.HTML – soft destinat analizei sculelor tip cremalieră, cuţit roată şi cuţit rotativ.
11. SOL\_PL.PAS - Produs soft dedicat modelării unor suprafeţe cu evoluţie continuă generabile cu un solid plan
12. SOL\_CIL.PAS - Produs soft dedicat modelării unor suprafeţe cu evoluţie continuă generabile cu un solid cilindric

## O. Produse web

1. Demonstrativ-film cu ambutisarea folosind matrite reconfigurabile

## P. Programe noi de formare continua

1. Curs postuniversitar de perfectionare intitulat “**Sisteme de prelucrare reconfigurabile-concepte de proiectare**”, Centrul de Formare Continua si Transfer Tehnologic (CFCTT) al Universitatii “Dunarea de Jos” din Galati.

Numarul total de ore: 56.

Structura cursului

Modulul 1: Sisteme tehnologice reconfigurabile

Modulul 2: Conceperea arhitecturii hardware si software a sistemelor reconfigurabile de fabricatie

Modulul 3: Conducerea sistemelor tehnologice reconfigurabile

2. Curs postuniversitar de perfectionare intitulat “**Tehnici de programare (OLE) a interfetelor de conducere a masinilor de prelucrare**”, Centrul de Formare Continua si Transfer Tehnologic (CFCTT) al Universitatii “Dunarea de Jos” din Galati.

Numarul total de ore: 56.

## Q. Programe si cursuri noi de nivel universitar sau postuniversitar

1. Masterat francofon, in domeniul sistemelor eficiente de prelucrare a materialelor cu specializarea **Inginierie tehnologice asistate par ordinateur**, 1.5 ani, in colaborare cu Universitatea Paris 13.
2. Curs universitar, **Sisteme flexibile de fabricatie**, anul III, Roboti Industriali.
3. Curs universitar, **Modelarea sistemelor mecatronice**, anul III, Mecatronica.
4. Curs universitar, **Managementul proiectelor**, anul IV, Mecatronica.

## S. Consultanta si asistenta tehnica

1. Consultanta si asistenta tehnica la intreprinderile S.C. CELPI S.A. Bucuresti, S.C. Electromontaj Bucuresti, S.C. Edil Mecanica S.A., Filipestii de Padure, World Machinery Works S.A. Bacau.

## T. Produse / tehnologii noi implementate

1. **Tehnologie bazata pe ICT de conducere dimensionala**, implementata la masinile FICEP-20.36-NT, FICEP-16.34-NT, FICEP-803-PN, VERNET-PG-116 S de la S.C. CELPI S.A. Bucuresti.
2. **Tehnologie de conducere dimensionala adaptiva**, implementata la masinile FICEP-14.15 DCA (2 buc.), FICEP LPA 15, la S.C. EDIL-MECANICA S.A. de la Filipestii de Padure.
3. **Tehnologie de conducere dimensionala predictiva**, in curs de implementare, la masinile FICEP 14.15 DCA (2 buc.), FICEP 20.36 NT, VERNET-PG-137 S de la Electromontaj Bucuresti.
4. **Sistem de comanda numerica reconfigurabil**
  - modul de interfata om-masina reconfigurabil;
  - server OPC pentru gestionarea resurselor informatice ale sistemului de comanda numerica reconfigurabil;
  - bloc reconfigurabil de control al masinilor unelte reconfigurabile (PLC, module I/O analogice, numerice si de control al axelor).

## U. Efecte multiplicatoare

1. Epureanu A. Maier C., Vacarus V. , Gheorghies C, **Researches concerning residual stresses in the superficial layer of the high-speed machined surfaces**, "3<sup>rd</sup> National Conference on Applied Physics", iunie 2007.
2. Stoian C., **Maşini-unelte automate** - Editura Cartea Universitară, Bucureşti, 195 pag., 2007.
3. Stoian C., Musat S., Frumusanu G., **Systems with Vibrating Hopper to Do Machine-Tools Automatic Feeding**. - TCMR International Conference, Chisinau, 2007, p.
4. Ghita Eugen, **Teoria angrenarii suprafetelor poliexcentrice cilindrice exterioare**, TCMR Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 118-122.
5. Ghita Eugen, **Frezarea suprafetelor poliexcentrice exterioare pe masini de danturat**, TCMR Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 122-126.
6. Ghita Eugen, **Analiza procesului de frezare a suprafetelor poliexcentrice**, TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 126-139.
7. Căpăţină, N., Mihăluţă, M., Teodor, V., **Module Worm Cutter with Active Surfaces Generated by Continuous Sharpening**, Analele Universităţii „Dunărea de Jos” din Galaţi, Fasc. V, 2007, în curs de publicare;