

Drd. Ing. Teodor Florin

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**Tema: „Conducerea optimală a sistemelor de fabricație
reconfigurabile”**

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing. Epureanu Alexandru

- Galați martie 2016 -

Capitolul 1

Stadiul actual al cercetărilor privitoare la sistemele de fabricație reconfigurabile

Este cunoscut faptul că performanța unui sistem de fabricație este sensibilă la schimbările bruște ale cererii, în ceea ce privește produsul, tipul sau cantitatea de produse comandate.

Globalizarea a creat un nou peisaj pentru industrie, unul de concurență acerbă, cu ferestre scurte de oportunitate pe piață și schimbări frecvente în cererea de produse.

Acest nou peisaj reprezintă atât o amenințare cât și o oportunitate. Pentru a profita de oportunitate, industria trebuie să posede sisteme de fabricație care pot fabrica o gamă largă de produse în cadrul unei familii de produse. Aceste sisteme de fabricație trebuie să îndeplinească cerințele din țări și culturi mult diferite, nu doar dintr-o piață regională, și trebuie să fie cuplate cu capacitățile tehnice care permit schimbare rapidă a gamei de produse și a cantităților de produse (care ar putea varia în mod dramatic, chiar și în cursul unei perioade scurte de timp).

Sistemul de fabricație reconfigurabil (Reconfigurable Manufacturing System - RMS) are aceste capacități, el fiind proiectat de la bun început pentru o schimbare rapidă a structurii, adică a componentelor sale hardware și software, în scopul de a-și adapta rapid capacitatea de producție și funcționalitatea, ca răspuns la schimbările rapide de pe piață.

Sistemul de fabricație reconfigurabil ideal prezintă șase caracteristici de bază: *modularitate, integrabilitate, flexibilitate personalizată, scalabilitate, convertibilitate și diagnosticabilitate*.

Un RMS real va avea unele dintre aceste caracteristici, deși nu neapărat toate. Când sistemul posedă mai multe dintre aceste caracteristici, crește viteza de reacție la evenimente neprevăzute, cum ar fi schimbări bruște în cererea de pe piață sau avarii neașteptate.

RMS facilitează o lansare de producție rapidă de noi produse, și permite ajustarea cantităților de producție, care ar putea varia în mod neașteptat. Sistemul reconfigurabil ideal oferă exact atâta funcționalitate și capacitate de producție cât este necesară, exact atunci când este nevoie.

Modularitatea

Este reprezentată de compartimentarea funcțiilor de producție și a cerințelor din unitățile operaționale ce pot fi manipulate între sistemele de producție alternative, pentru a se atinge regimul optim și pentru a se potrivi unui anumit set de nevoi.

Integrabilitatea

Este capacitatea de a integra rapid și precis module, cu ajutorul unui set de interfețe mecanice, informaționale și de control.

Flexibilitatea personalizată

Sistemul flexibil poate fi conceput în jurul unei anumite familii de produse, prin aceasta obținându-se flexibilitatea personalizată, spre deosebire de flexibilitatea generală a sistemelor flexibile de fabricație (FMS), la care proiectarea se face în jurul unei clase de procese. Această caracteristică distinge RMS de sistemele flexibile de fabricație și permite o reducere a costurilor de investiții. Frecvent, flexibilitatea personalizată pentru o familie de produse se obține prin utilizarea mai multor scule pe aceeași mașină, crescând astfel productivitatea, la un cost redus.

Scalabilitatea

Este capacitatea de a schimba cu ușurință capacitatea de producție prin rearanjarea unui sistem de fabricație existent și/sau modificarea capacității de producție a mașinilor-unelte reconfigurabile.

Convertibilitatea

Reprezintă capacitatea de a adapta ușor funcționalitatea componentelor hard ori soft ale sistemului, la noile cerințe de producție.

Diagnozabilitatea

Este abilitatea de a monitoriza în mod automat starea curentă a unui sistem, pentru detectarea și diagnosticarea cauzelor principale ce conduc la apariția defectelor, fie ale produsului, fie ale sistemului, și, pe cale de consecință, pentru identificarea corecțiilor operaționale necesare.

Diagnozabilitatea prezintă două aspecte: detectarea erorii mașinii-unelte și detectarea rebuturilor. Al doilea aspect este critic în RMS.

Generația următoare de sisteme de producție va trebui să includă o mai mare flexibilitate și inteligență, evoluând astfel spre sistemele de fabricație reconfigurabile.

În special, conceptul de "inteligență" devine mai relevant, din cauza necesității de a menține operațiunile efective și eficiente de producție cu un timp de fabricație minim în condiții de incertitudine a pieței.

Studiile au arătat că dezvoltarea și punerea în aplicare a NGM necesită intensificarea cercetării în domeniile:

1. Paradigme de fabricație

Este necesară explorarea temelor legate de firme de producție eficiente la nivel mondial. Subiectele includ: noi modele de producție; întreprindere extinsă; întreprindere virtuală; sisteme de fabricație holonice; și fabrici fractale.

2. Metodologii (cele mai bune practici de fabricație)

Găsirea unor noi modele și metodologii pentru a sprijini punerea în aplicare a celor mai bune practici din industrie necesare pentru a fi dezvoltate, cum ar fi: inginerie concurentă, întreprinderi de integrare a ingineriei și a managementului lanțului de aprovizionare.

3. Proiectarea, planificarea și execuția sistemelor de fabricație

Trebuie să fie explorate noi modele, algoritmi și tehnici de modelare pentru proiectare eficientă, planificare, implementare și executare de noi mașini și sisteme de fabricație. Procesele de fabricație și mașinile noi trebuie să fie dezvoltate ca răspuns la necesitatea de a prelucra materiale și produse din generația următoare.

4. Sisteme de informare bazate pe Web.

Proiectarea și dezvoltarea de noi sisteme de informare pentru a sprijini dezvoltarea integrată a lanțului de produse și de aprovizionare în cadrul unei abordări pe ciclul de viață, folosind tehnologii specifice internetului. Subiectele specifice includ groupware / flux de lucru / pe calculator de lucru de cooperare, sisteme de inginerie bazate pe cunoaștere, simulare și modelare instrumente.

Sistemele de fabricație reconfigurabile și inteligente sunt o soluție pentru aceste cerințe ale pieței, ele abordând **teme** precum proiectarea și integrarea mașinilor reconfigurabile și inteligente:

1. Concepte de mașini de fabricație: proiectarea, fabricarea și integrarea de mașini reconfigurabile și inteligente, inclusiv realizarea de mașini prototip. Subiecte includ proiectarea mecanică, fabricație mecanică și electronică, sisteme de programare, controlere în arhitectură deschisă, materiale și scule inteligente.

2. Teorii și metodologii: aplicarea ingineriei concurente și ingineriei bazate pe ciclul de viață, teorii, metodologii și instrumente pentru dezvoltarea următoarei generații de mașini.

3. Sprijinirea tehnologiei: proiectarea și dezvoltarea sistemelor informatice bazate pe internet pentru dezvoltare integrată mașină și pentru a sprijini colaborarea între proiectanții și inginerii de fabricație. Subiectele includ CAX groupware / flux de lucru / sprijinit de calculator de lucru, sisteme de inginerie bazate pe cunoaștere, simulare și modelare, și un mediu de dezvoltare integrat de produse.

Capitolul 2

Domeniul tezei, provocări și direcții de cercetare. Scop, idei cheie, obiective și rezultate

Domeniul tezei

Nucleul industriei prelucrătoare este **sistemul de fabricație**, întrucât acolo se regăsește cea mai mare parte din capitalul investit (în multe cazuri circa 80%), dar și cea mai mare parte din bugetul unei afaceri derulată în această industrie.

- **Domeniul tezei** este **ingineria și managementul sistemelor de fabricație** și este motivat de poziția importantă a acestora în economia industriei prelucrătoare.
- **Aria de cercetare** este limitată la acea **clasă** de sisteme de fabricație, la care distinctive sunt următoarele particularități:

a) **Funcționează în companii MTO**

Caracteristica definitorie a companiilor MTO este aceea că fabricația oricărui produs începe numai după ce a fost ferm comandat de către client.

b) **Au drept atribut important adaptabilitatea**

Această particularitate este esențială atunci când principalul element de competitivitate al companiei unde funcționează sistemul este responsivitatea, manifestată prin capacitatea de a accepta comenzi de produse foarte variate, într-un număr mic de bucăți sau unicat, fără a impune clientului alte restricții, decât cele obiective, date de natura proceselor de fabricație. Sistemele de fabricație ale acestor companii trebuie să aibă capacitatea de a se adapta cât mai rapid la schimbarea produsului fabricat.

c) **Fabrică produsul prin asamblarea unor componente**

În ceea ce privește componentele, acestea sunt obținute, fie prin fabricare, fie prin cumpărare din piață, fie chiar prin furnizarea lor de însuși clientul care a comandat produsul.

Această clasă include sistemele de fabricație *universale, flexibile* și cele *reconfigurabile*.

- **Obiectul** cercetării este **sistemul de fabricație reconfigurabil**.
- **Subiectul** cercetării este **controlul și managementul** sistemului de fabricație reconfigurabil.
- **Ținta** cercetării este **creșterea performanței economice** a sistemelor de fabricație reconfigurabile, **aflate deja în exploatare**.

Provocări

Sinteza stadiului actual al cercetarilor, prezentat în Cap.1, pune în evidență următoarele provocări:

- **Piața cere produse și servicii din ce în ce mai variate și mai personalizate.**

Cerința este formulată nu numai în cazul produselor unicat sau fabricate în serii mici, ci și în cazul produselor de larg consum, care se fabrică în serii mari. În această privință a fost adoptată, pe scară din ce în ce mai largă, o nouă paradigmă, și anume „mass customization”, care provoacă o schimbare profundă a modului în care trebuie concepute, atât companiile, cât și sistemele de fabricație pe care acestea le folosesc. Efectul concret al acestei schimbări de paradigmă este acela că scade ponderea companiilor „make-to-stock” (MTS), care folosesc sisteme de fabricație dedicate și oferă produse universale, puțin diversificate, și crește ponderea companiilor „make-to-order” (MTO), care folosesc sisteme de fabricație, fie universale, fie flexibile, fie reconfigurabile, și oferă produse personalizate, foarte diversificate.

- **Companiile MTO solicită sisteme de fabricație reconfigurabile cât mai**

performante, pe care le preferă în fața celor flexibile sau universale.

Această solicitare este generată de faptul că sistemele de fabricație flexibile sau universale includ un număr mare de componente, multe dintre acestea fiind foarte rar utilizate. Ca urmare, capitalul investit în achiziția acestora nu participă decât în foarte mică măsură la fabricația produsului, și de aceea, în realitate, este un capital „stagnant”, adică un capital exclus din circuitul economic. În contrast cu aceste sisteme de fabricație, cele reconfigurabile sunt alcătuite dintr-un număr mic, de module universale, cu care este posibilă configurarea unui număr mare de sisteme de fabricație, foarte variate. Numărul de module care, la un moment dat, stau nefolosite este foarte redus, ceea ce înseamnă diminuarea drastică a capitalului „stagnant”.

Direcții de cercetare

În decizia de a accepta provocările identificate mai sus, elementul hotărâtor a fost faptul că, prin ***îmbunătățirea conducerii*** sistemelor de fabricație reconfigurabile, pot fi influențate hotărâtor atributele definitorii ale acestora (și anume modularitatea, integrabilitatea, flexibilitatea personalizată, scalabilitatea, convertibilitatea și diagnozabilitatea), adică elementele care generează un plus de ***performanță economică*** și, de aici, atractivitatea lor în companiile MTO.

De aceea, cercetările derulate în cadrul tezei au fost orientate în două direcții, și anume:

- Controlul sistemelor de fabricație reconfigurabile,
- Managementul companiilor MTO.

Scop

Pentru a răspunde la provocările din domeniu, teza își propune ***îmbunătățirea conceptuală a controlului sistemelor de fabricație reconfigurabile***, aflate în dotarea companiilor ce lucrează pe baza de comenzi, numite generic companii MTO (make-to-order).

Aceasta îmbunătățire trebuie să producă următoarele rezultate:

- a) *diminuarea capitalului „stagnant”*, prin aceea că modulele ce compun sistemele de fabricație reconfigurabile ajung să fie într-un număr cât mai mic (ceea ce înseamnă să fie cât mai universale);
- b) *creșterea complianței cu cerințele pieței*, ca urmare a faptului că, la cerințele clienților, compania oferă răspunsuri mai rapide, mai exacte și mai atractive;
- c) *reducerea costurilor*, ca urmare a creșterii coeficientului de utilizare în timp a echipamentelor tehnologice și a diminuării cheltuielilor generate de variația extrem de frecvență, atât a cerințelor clienților, cât și a stării în care se află sistemul de fabricație în momentul în care apare fiecare dintre aceste cerințe;
- d) *accelerarea circuitului economic*, ca urmare a scurtării termenelor de livrare;
- e) *creșterea profitului*, ca urmare a utilizării faptului că asset-urile de care dispune compania sunt mai complet utilizate.

Idei cheie

Abordarea subiectului cercetării are la bază următorul set de idei cheie:

1. Ramificarea traseelor tehnologice

Capabilitatea sistemelor de fabricație reconfigurabile de a-și schimba rapid structura și funcționalitatea oferă bune premize pentru a modifica modul în care este abordată problema proiectării tehnologiilor de fabricație, inducând o nouă paradigmă, și anume „procese tehnologice reconfigurabile”.

Ideea bazică a acestei paradigme este aceea că, în orice moment al procesului tehnologic,

dupa ce semifabricatului i s-a aplicat oricare dintre operațiile tehnologice de prelucrare, acesta ar trebui considerat ca fiind un nou semifabricat, pentru care există mai multe trasee tehnologice ce duc la transformarea lui în piesă finită.

Pe scurt, traseele tehnologice încetează a fi „liniare” și devin „arborescente”.

Aplicarea acestei idei ar putea să ducă la o mai bună compliantă între traseul tehnologic, efectiv urmat de semifabricat, și disponibilitatea momentană a stațiilor de lucru ce formează sistemul de fabricație.

2. Reelaborarea programelor

În prezent, conducerea activității de fabricație se bazează pe elaborarea și apoi parcurgerea diferitelor tipuri de programe, cum ar fi de exemplu programul piesă – în cazul funcționării mașinilor-unelte, sau programul de fabricație – în cazul dispecerizării operațiilor tehnologice.

În elaborarea acestor programe, se pleacă de la starea inițială a sistemului, modelul ce descrie funcționarea sistemului și rezultatul la care trebuie să ducă îndeplinirea programului.

Curent, conducerea sistemului constă în aplicarea unor acțiuni corective, care să combată abaterile de la programul anterior elaborat (abateri care apar în mod inerent, din cauza perturbațiilor la care sistemul este supus).

Această idee cheie constă în a înlocui acțiunea corectivă de combatere a abaterii de la program provocată de perturbația sistemului și urmărirea în continuare a programului inițial, cu **acțiunea de reelaborare a programului**, în noile condiții create de perturbarea sistemului.

Asta înseamnă că programarea devine, ea însăși, o acțiune corectivă, iar programele încetează a fi „perene” și devin „efemere”. Aplicarea acestei idei ar putea să ducă la o mai bună compliantă între comanda dată sistemului și starea lui la momentul comenzii.

3. Extinderea controlului.

În prezent, controlul se realizează doar la nivel bazic, adică la nivelul procesului fizic de transformare a materialului în produs finit, și constă în optimizarea parametrilor ce descriu acest proces (de exemplu parametrii regimului de așchiere la procesele de strunjire, rectificare etc.).

El se implementează doar prin programarea mașinilor-unelte și se concretizează prin programul piesă.

Extinderea controlului înseamnă că acesta să cuprindă și celelalte nivele, și anume, nivelul organizatoric, nivelul comercial și nivelul financiar. Ținta extinderii este multiplicarea *efectului* controlului.

4. Integrarea controlului.

Se referă la integrarea controlului cu managementul, rezultând un sistem de conducere unitar. În acest fel, deciziile de control se împletesc armonios cu cele de management, apărând un efect sinergic important.

În plus, atât instrumentarul folosit pentru elaborarea deciziilor, cât și criteriile pe baza cărora se iau deciziile, indiferent dacă sunt de control ori de management, ar putea fi aceleași.

Ținta integrării este accentuarea *flexibilității* controlului.

5. Rafinarea controlului.

În cazul sistemelor de fabricație reconfigurabile, atributele cele mai importante ale controlului par a fi optimalitatea, adaptabilitatea și predictibilitatea.

Rafinarea se referă la accentuarea acestor atribute, astfel că mai multe componente ale sistemelor de fabricație reconfigurabile să fie supuse controlului (prin **adaptabilitate**), fiecare aspect supus controlului să fie folosit la maximum (prin **optimalitate**), iar corecția să fie mai timpurie (prin **predictibilitate**). Ținta rafinării este creșterea *eficienței* controlului.

Obiective

Obiectivul general al tezei este dezvoltarea, la nivel conceptual, a unei noi metodologii de control al sistemelor de fabricație reconfigurabile.

Potrivit acestei noi metodologii, controlul trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

- a) Spațiul supus controlului trebuie să-l includă:
 - fizica funcționării sistemelor,
 - organizarea fluxurilor tehnologice,
 - managementul relațiilor comerciale.

Asta înseamnă că, potrivit metodologiei, controlul se extinde de la cotațiile de preț solicitate de clienți și negocierea comenzilor, la planificarea, dispecerizarea și executarea operațiilor tehnologice, până la livrarea produsului.

- b) Atributele pe care controlul trebuie să le aibă sunt:
 - *optimabilitatea*, în sensul că acțiunea corectivă aplicată la un moment dat trebuie să aducă punctul în care sistemul de fabricație funcționează, cât mai aproape de punctul optim de funcționare al acestuia;
 - *integrabilitatea*, ceea ce înseamnă că, atât părțile tehnice, cât și cele administrative ale sistemului de fabricație sunt, deopotrivă, considerate componente ale sistemului și sunt supuse, în egală măsură, acțiunii corective;
 - *predictibilitatea*, însemnând că acțiunile corective se iau, nu pe baza situației în care se află sistemul de fabricație la momentul corecției, ci pe baza estimării situației în care s-ar putea afla în perioada imediat următoare.

Obiectivele specifice ale tezei sunt următoarele:

- a) **Elaborarea unei noi metode de control**, care, pentru a avea atributele enumerate mai sus și a acoperi dimensiunile evidențiate mai sus, va fi fundamentată pe o altă paradigmă decât cea actuală, și anume integrarea controlului cu managementul. Potrivit acestei noi paradigme, atât comenzile de control, cât și deciziile manageriale se iau pe baza aceluiasi algoritm și folosind același instrumentar. În cadrul tezei, doar două componente ale acestui instrumentar sunt supuse cercetării. Conceperea lor reprezintă celelalte două obiective specifice ale tezei.
- b) **Conceperea unui nou instrument de procesare a informației**, care să ofere susținerea computerizată activității de stabilire a acțiunii corective, indiferent dacă este vorba de comandă fizică ori decizie managerială. Potrivit metodologiei, acest instrument trebuie să fie de tip DSS (decision support system) și să asigure estimarea rapidă a unui număr mare de variante posibile ale acțiunii corective, pentru a selecta una, considerată ca fiind optimă.
- c) **Conceperea unei noi clase de modele**, care să modeleze mai eficient sistemele de fabricație. Potrivit ideilor cheie enumerate mai sus, atât structura sistemului de fabricație, cât și traseul tehnologic de fabricare a unei componente a produsului comandat de client, sunt reconfigurabile. Ca urmare, atât modelul sistemului de fabricație, cât și aplicația pe care acest model o rulează, se schimbă rapid și foarte des. Deși aproape unanim recomandată, modelarea folosind actualele tipuri de rețele Petri nu este potrivită pentru sistemele de fabricație reconfigurabile (mai cu seamă dacă se implementează ideile cheie de mai sus), întrucât la control consumă inacceptabil de mult timp, și, prin aceasta, este compromisă eficiența acestuia. De aceea, o nouă categorie de rețele Petri, și anume rețelele Petri 3D, va fi concepută în această teză, și se va constitui într-o clasă nouă de modele.

Rezultate așteptate

Având în vedere obiectul, subiectul, ținta cercetării, precum și modul de abordare, rezultatele obținute vor avea următoarele particularități:

- Întrucât obiectivele tezei se referă la elemente științifice complet noi, abordarea va fi

conceptuală.

- Cercetarea va fi derulată până la nivelul de „proof-of-concept demonstrator”, iar finalul acțiunilor de cercetare va fi demonstrarea viabilității conceptelor și, mult mai puțin, evaluarea potențialului sau a performanței.
- Metoda de control dezvoltată în cadrul tezei va fi descrisă conceptual, prin prezentarea algoritmului.
- Un studiu de caz, construit cu date numerice artificiale, va fi folosit pentru implementarea experimentală a metodei.
- Instrumentul tip DSS va fi prezentat conceptual și va fi validat experimental, prin realizarea și testarea unui demonstrator.
- Clasa de rețele Petri 3D va fi descrisă conceptual, după care va fi testată experimental, în cadrul studiului de caz.

Capitolul 3

Conceperea unei metode de control optimal, integrat și preventiv a sistemelor de fabricație reconfigurabile

În prezent, problemele de acceptare a comenzilor, de planificare și programare a procesului de producție, și de control al mașinii sunt rezolvate separat. În acest capitol, ne propunem o metodă de control integrat pentru toate cele trei aspecte, în care rata specifică a profitului este utilizată drept criteriu de decizie.

3.1 Premize

Conceperea acestei noi metode de control pleacă de la următoarele premize:

- ✓ Controlul fabricației trebuie să se bazeze pe o abordare integrată a:
 - celor două etape ale procesului de producție, și anume acceptarea comenzii și executarea comenzii;
 - tuturor operațiunilor care ar trebui să fie executate într-o anumită perioadă de timp, fie ele de tip administrativ, comercial, sau de fabricație;
 - tuturor resurselor sistemului de fabricație, chiar și cele care constau în prelucrarea materialelor sau a informațiilor.
- ✓ Compromisul dintre cost și timp ar trebui să fie obținut prin utilizarea ratei specifice a profitului drept criteriu de evaluare în toate acțiunile ce presupun luarea deciziilor. În acest fel, în loc de mai multe criterii specifice, este utilizat un criteriu unic, sintetic și general.
- ✓ Procesele de fabricare a produsului trebuie identificate, folosind modele simple și efemere, în loc de modele generale și perene. Pe de altă parte, toate datele corespunzătoare operațiunilor executate în trecut de stațiile de lucru ale sistemelor de fabricație, ar trebui să fie înregistrate într-o bază de date. Folosind această bază de date, procesele de fabricare a produsului sunt identificate online, iar modelele obținute sunt aplicate pentru evaluarea curentă a operației tehnologice.
- ✓ Toate variabilele care descriu procesul și produsul ar trebui să fie considerate ca fiind discrete, astfel încât modelarea, planificarea, programarea, și controlul acțiunilor să poată fi reduse la rezolvarea unei probleme de optimizare combinatorică. Precizia necesară se va obține prin stabilirea adecvată a pasului de discretizare.

3.2 Sistemul de fabricație

În scopul de a pune în aplicare ideea de abordare integrată, sistemul de fabricație este definit aici ca suma tuturor resurselor care au fost achiziționate pentru a îndeplini o anumită clasă de comenzi primite de la clienți.

Celula de bază a unui sistem de fabricație este **resursa**. O resursă poate executa fie operații de fabricație (de prelucrare, asamblare, etc), fie operații administrative (cum ar fi de monitorizare, planificare ori programare), fie operații comerciale (de aprovizionare, de exemplu). Când este pusă să funcționeze, resursa va fi considerată „stație de lucru”. Această denumire va fi utilizată indiferent dacă, în cursul executării operației, se prelucrează materiale sau se procesează informații.

În prezent, stațiile de lucru ale sistemului de producție sunt utilizate pentru a efectua acele operațiuni, care compun comenzi generate de locurile de muncă fie ele de fabricație, comerciale sau administrative.

3.3 Algoritmul metodei

Algoritmul metodei, poate fi prezentat într-o succesiune de opt etape (fig.1):

I. Defalcarea anchetei curente

În această primă etapă, fiecare solicitare de ofertă este considerată ca o potențială comandă, chiar dacă o decizie cu privire la acceptarea ei nu a fost luată încă.

Pentru a lua o astfel de decizie, această comandă potențială este procesată pentru a permite de a genera fluxuri tehnologice diferite. Prelucrarea constă în identificarea tuturor alternativelor privind descompunerea comenzii în locuri de muncă și operații tehnologice. Fiecare operație tehnologică este definită astfel încât să poată fi realizată prin utilizarea uneia dintre resursele sistemului de fabricație. Definiția include resursa care va fi utilizată și starea produsului înainte și după executarea operației tehnologice. Rezultatul este diagrama de rețea de comandă, asociată cu definițiile tuturor operațiilor tehnologice.

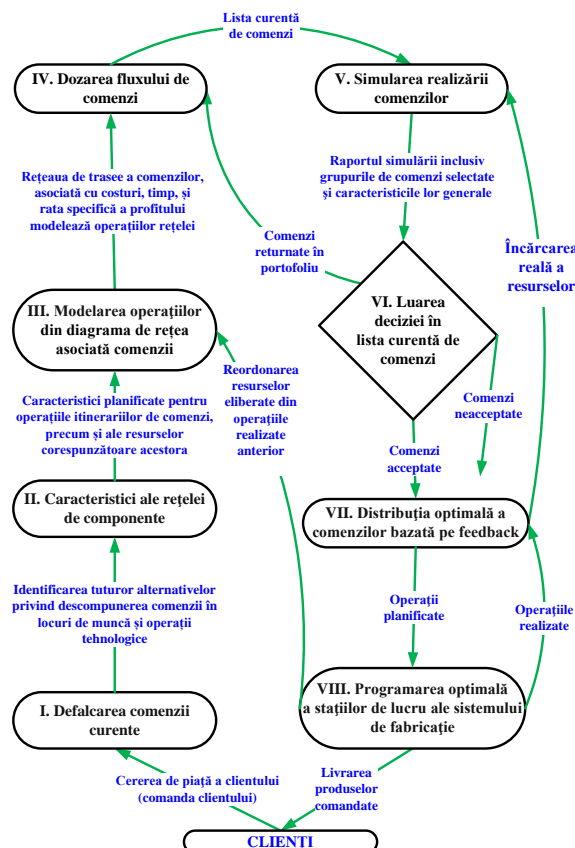


Figura 1 – Etapele algoritmului metodei

II. Stabilirea caracteristicilor operațiilor tehnologice din diagrama de rețea asociată comenzii

Pentru fiecare resursă a sistemului de fabricație, a fost stabilit a priori și definitiv un set de caracteristici. Aceste caracteristici reprezintă potențiale variabile de intrare ale modelului, care descrie fiecare operație tehnologică pe care o astfel de resursă o va efectua. În timpul acestei etape, pentru fiecare operație care apare în rutele diagramei de rețea a comenzii curente, sunt stabilite valorile setului corespunzător de caracteristici, pe baza definiției operației tehnologice.

III. Modelarea operațiilor din diagrama de rețea asociată comenzii

Această etapă constă în modelarea operațiilor din diagrama de rețea asociată comenzii, prin utilizarea unei tehnici corespunzătoare (cum ar fi, de exemplu, modelare neuronală, modelare cu rețele Petri etc). Pentru fiecare resursă a sistemului de fabricație, una dintre aceste tehnici de modelare va fi selectată a priori și definitiv. Fiecare operație este modelată folosind tehnica anterioară selectată pentru resursă.

Ca și variabile de ieșire din model sunt considerate costul, timpul, rata specifică a profitului și produsul (același pentru toate operațiile), în timp ce variabilele de intrare sunt selectate din setul de caracteristici ale resursei, în scopul de a obține cel mai bun model pentru operația tehnologică.

În plus, un set de date dedicat resurselor care conține experiența anterioară a resursei este actualizat permanent prin înregistrarea datelor reale rezultate după finalizarea operației curente.

În funcție de tehnica de modelare, unele informații sunt extrase din acest set de date. În cele din urmă, rețeaua de rute (fluxul tehnologic) asociată cu costul, timpul, rata specifică a profitului și tehnicile de modelare a produsului pentru toate operațiile tehnologice sunt obținute și plasate într-un portofoliu (salvate într-o zonă dedicată a bazei de date asociate sistemului de fabricație).

IV. Dozarea fluxului de comenzi

Pentru procesarea concurentă a comenzilor, cele existente în portofoliu (lista de comenzi) sunt grupate periodic, în acest fel formând actualul lot de comenzi. Numai anchetele aflate în portofoliu sunt luate în considerare pentru dozare. Ele sunt fie nou-veniți sau repatriate. Regula de dozare poate fi: ancheta curentă va fi pusă prima peste N_e anchete, în timp ce altele sunt amânate, sau toate anchetele găsite în portofoliu. Dimensiunea perioadei de dozare este stabilită în funcție de fluxul de comenzi și de data scadenței acestora. În funcție de politica companiei, dozarea poate avea loc fie la anumite date sau la intervale regulate.

V. Simularea realizării comenzilor

Lista curentă a comenzilor este analizată în scopul de a împărți comenzile în trei grupe: acceptată, respinsă, și returnată la portofoliu.

În acest scop, pentru fiecare comandă, rata specifică a profitului este evaluată.

În primul rând prin utilizarea modelelor operațiilor realizate la etapa III. Comenzile aparținând actualei liste sunt în continuare clasificate în funcție de valorile ratei specifice a profitului.

Apoi, unul sau mai multe grupuri de comenzi sunt pregătite. Un astfel de grup conține acele comenzi care ar putea fi acceptate; comenzile care nu sunt incluse în grup vor fi fie respinse sau returnate în portofoliu. Algoritmul de grupare a comenzilor conține două acțiuni generice, și anume alcătuirea grupului și evaluarea performanțelor. Pentru a face un grup, succesiv, în ordinea valorii în scădere a ratei specifice a profitului, este simulată acceptarea fiecărei comenzi, prin luarea în considerare a volumului de muncă a resurselor disponibile și data scadenței pentru fiecare comandă.

Criteriul de performanță este **rata specifică a profitului**, evaluată la nivelul întregului sistem de fabricație și pentru întreaga perioadă curentă. Restricțiile sunt comenzile scadente.

Grupurile de comenzi pregătite (de exemplu, conținutul și performanțele acestora) sunt în cele din urmă transmise managementului, pentru a lua o decizie la pasul următor.

VI. Luarea deciziei asupra listei curente de comenzi

Două alternative au fost evidențiate ca urmare a etapei anterioare. Potrivit primei alternative, comenzile 3 și 5 sunt acceptate, în timp ce comenzile 2 și 4 sunt respinse. În conformitate cu cea de a doua alternativă, comanda 3 este acceptată, comenzile 2 și 4 sunt respinse, în timp ce comanda 5 se întoarce în portofoliu (pentru a fi inclusă în următorul lot de comenzi).

Prima alternativă a fost adoptată din cauza, printre altele, a ratei specifice a profitului mai mari, evaluată la nivelul întregului sistem de fabricație și pentru întreaga perioadă curentă.

VII. Dispecerizarea optimă în vederea îndeplinirii comenzilor

Portofoliul de comenzi constă deci, ca urmare a etapei anterioare, în comenzile 1, 2, 3 și 5.

În cazul în care, la un moment dat, apare o abatere de la această diagramă în timpul procesului de producție efectiv (**precum în cazul sistemelor de fabricație reconfigurabile**), atunci o nouă schemă de planificare este elaborată. Punctul de pornire este starea la momentul dat în timp ce tehnica de programare este aceeași ca și la simulare.

În acest fel, dispecerizarea optimă este implementată pe bază de programare reactivă, incluzând determinarea acestor valori ale parametrilor de tăiere care, ținând cont de prețul produsului, conduc la o valoare maximă pentru rata specifică a profitului.

3.4 Resursele necesare pentru implementarea metodei

3.4.1 Un nou sistem de fundamentare a deciziilor

Este necesar un nou sistem de fundamentare a deciziilor, bazat pe un DSS conceput astfel încât în arhitectura acestuia să fie implementată metoda.

Recentele evoluții ale tehnologiilor informației au creat oportunități pentru dezvoltarea unor noi și eficiente mijloace de analiză, unul dintre cele mai importante obiective ale unei firme fiind astăzi reprezentat de modul în care stăpânește, stochează, prelucrează și oferă datele.

Folosirea sistemelor de suport al deciziilor (DSS) ajută managerii să se descurce în situațiile în care sistemul de fabricație se reconfigurează ca răspuns la modificarea condițiilor de lucru, dar problema principală a proiectării unui DSS relevant rămâne modul de operare cu constrângerile (în cazul nostru, comenzile deja acceptate pentru fabricație în RMS).

(1) Baza de date

Baza de date aleasă pentru stocarea și gestionarea datelor DSS-ului este MySQL, una dintre cele mai simple și cunoscute, bază de date ce și-a dovedit în timp stabilitatea și fiabilitatea.

Tabelele bazei de date **rmsdb** vor fi prezentate odată cu prezentarea modelului RPD3D atât ca și denumire cât și ca modalitate de lucru cu datele stocate în acele tabele.

(2) Dispecerul

Misiunea primordială a DSS este aceea de a structura și trata datele pentru factorii de decizie, datele fiind furnizate la momentul și în formatul potrivit.

Elementul principal al arhitecturii DSS este dispecerul care în abordarea noastră este un sistem informatic expert, denumit **S.O.D.R.M.S.** (Sistem to Optimal Driving for RMS), cu arhitectură de portal web, implementat în limbajul Java cu elemente de grafică Java3D, destinat managerilor ce trebuie să evalueze comenzile primite în termeni de performanță și să controleze întregul proces de producție, de la cererea clientului până la livrarea produselor.

(3) Rețeaua de interfețe identificabile de suport al deciziei – DSP-uri.

Beneficiile DSP-urilor. Tablourile de bord digitale permit managerilor monitorizarea contribuției diferitelor departamente din cadrul organizației lor. Pentru a evalua exact cât de bine o organizație este performantă în general, tablourile de bord digitale permit capturarea și raportarea unor date specifice din fiecare departament în cadrul organizației, oferind astfel un "instantaneu" al performanței.

Alte avantaje:

- ❖ Prezentarea vizuală a măsurilor de performanță
- ❖ Abilitatea de a identifica și corecta tendințele negative
- ❖ Măsurarea eficienței / ineficienței
- ❖ Posibilitatea de a genera rapoarte detaliate cu noile tendințe
- ❖ Abilitatea de a lua decizii mai informate pe baza datelor colectate și coroborate
- ❖ Alinierea strategiilor și obiectivelor organizaționale
- ❖ Economie de timp, comparativ cu rularea mai multor rapoarte
- ❖ Obținerea instantanee a vizibilității tuturor sistemelor
- ❖ Identificarea rapidă a datelor aberante și corelarea lor cu cele existente.

Beneficiarii DSP-urilor sunt:

- tehnologul sau clientul (introduce datele comenzii, produsele aferente comenzii și OT-urile lor cu dependențele de rigoare și restricțiile de lucru ale RES asociate (CAR1,2,3 și VAL1,2,3 etc);
- managerul (creează atelierul de producție și îl modifică la acceptarea fiecărei noi comenzi, simulează producția fiecărui produs și evaluează performanțele RMS, acceptă, amână sau respinge comenzile primite, poate reconfigura după voie RMS-ul atât prin acceptarea de noi comenzi (pe lângă cele existente) dar și prin introducerea sau scoaterea din RMS a unor resuse, astfel încât performanța sistemului să fie maximă.

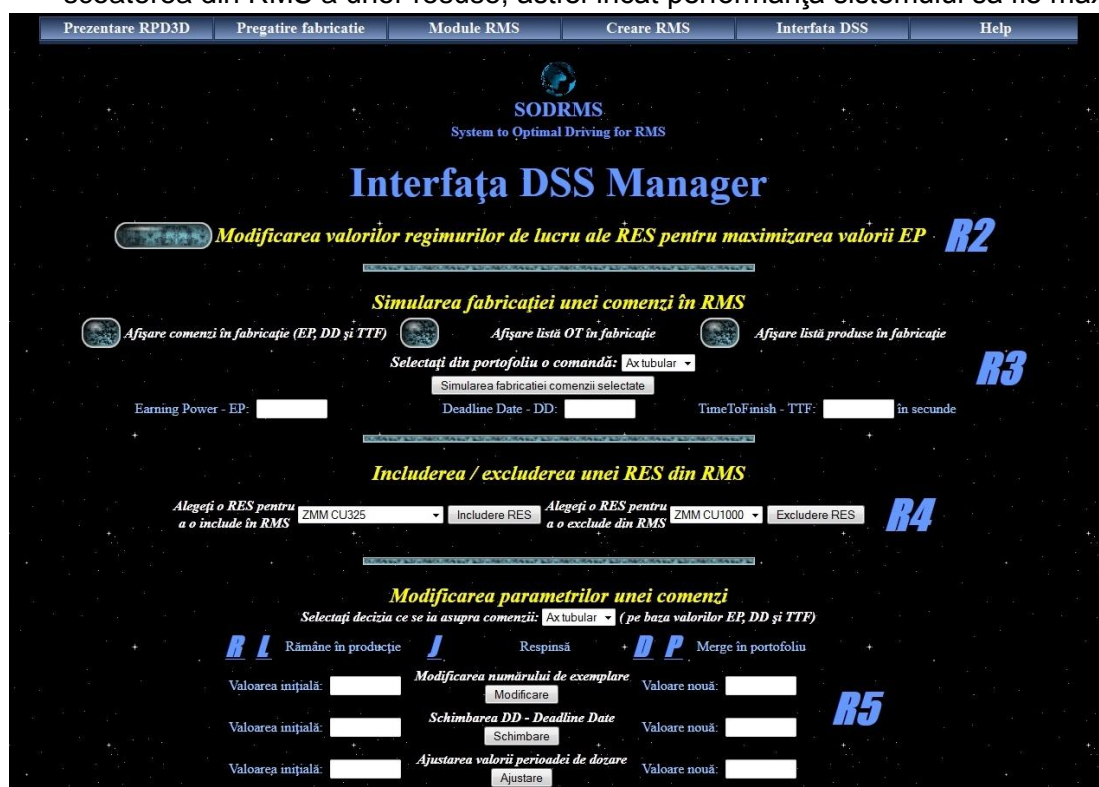


Figura 2 - Interfața disponibilă managerului DSS pentru analiza și comanda RMS-ului

Astfel interfața managerului DSS (fig.2) este un tablou digital al fabricației, și în același timp și instrumentul prin intermediul căruia managerul poate stăpâni RMS-ul.

3.4.2 O nouă tehnică de modelare a RMS

Este necesar un nou tip de rețele Petri, care să permită modelarea adaptivă a funcționării RMS, întrucât, din cauza reconfigurării sistemului de fabricație, dar și a traseelor tehnologice, adaptabilitatea modelului este critică.

Necesitatea apariției unor noi sisteme de fabricație a apărut ca un feedback la globalizarea economiei, ce generează cereri complexe pentru producători (o mare diversitate de produse, care să îndeplinească condiții de calitate deosebite și preț scăzut).

Conceptul de Sistem de Fabricație Reconfigurabil presupune inclusiv capacitatea schimbării structurii fizice a sistemului de fabricație (repoziționarea resurselor, modificarea funcționalității acestora etc) pentru a prelucra noi piese ale aceleiași familii de piese sau familii noi.

Conceptul de sistem de fabricație reconfigurabil (RMS), cât și resursele din componența acestuia (Mașini de Fabricație Reconfigurabile – RMT, sisteme de transport piese și semifabricate, roboți industriali, sisteme de stocare etc) au fost propuse în 1999 la Centrul de Cercetări pentru Sisteme de Fabricație Reconfigurabile (ERC/RMS) de la Universitatea din Michigan de către Prof.dr.Yoram Koren cunoscut în lumea științifică drept “părintele RMS”.

El a definit RMS-ul ca și un sistem modern de fabricație, ce are exact resursele de producție necesare, exact în momentul în care acestea sunt necesare.

Asta înseamnă că sistemul de fabricație se adaptează, în timp real, la cerințele punctuale de fabricație, prin procese de reconfigurare ce pot fi grupate în câteva clase, astfel:

R0 – Configurarea inițială a ansamblului elementelor RMS (alcătuirea listei de resurse disponibile și alegerea celor ce vor fi incluse în RMS pe baza unei sincronizări ale caracteristicilor tehnice ale resursei și ale operației tehnologice ce trebuie executată);

R1 – Modificarea regimului de lucru al resurselor în procesul de fabricație pentru maximizarea valorilor EP;

R2 – Modificarea valorii perioadei de dozare astfel încât valoarea acesteia să fie optimă față de caracteristicile comenzilor existente la un moment dat, comenzile fiind analizate în vederea intrării sau ieșirii din producție doar în punctele de dozaj;

R3 – Reconfigurarea RMS în vederea asigurării stabilității (calcularea capacității pozițiilor variabile din rețeaua Petri asociată RMS astfel încât această rețea Petri să fie viabilă, stabilă și fără blocaje);

R4 – Reconfigurarea RMS în urma simulării fabricației prin modificarea stărilor unor resurse (fie o resursă devine disponibilă la un anumit moment, fie devine indisponibilă ca urmare a defectării sau a necesității folosirii ei într-un alt RMS)

R5 – Reconfigurarea RMS în conformitate cu schimbarea specificațiilor de producție (modificarea nr. de exemplare fabricate dintr-un anumit produs, introducerea sau scoaterea din fabricație a unui produs etc)

Scopul RMS este deci realizarea unor comenzi de fabricație a unui ansamblu sau unei familii de piese, într-un anumit număr de exemplare în condițiile menținerii unei configurații optime a resurselor aflate la dispoziție funcție de criteriul ales (timp minim de producție, productivitate maximă, EP-Earning Power), în condiții de stabilitate a sistemului.

Reconfigurabilitatea RMS-ului trebuie să se bazeze pe factori economici care să ofere asigurarea că beneficiile obținute depășesc costurile reconfigurării și pierderile de producție aferente acestei operații.

Presupunem că această condiție este îndeplinită în toate cazurile și presupunem că **durata reconfigurării este cât mai mică** (de exemplu timpul pentru R3 și R5 nu trebuie să depășească timpul necesar fabricării unui exemplar dintr-un produs).

Deasemenea, **reconfigurabilitatea trebuie să fie atomică** – se realizează o singură operație de reconfigurare după care se reevaluează starea RMS-ului.

Condiții preliminare pentru RMS-urile analizate în prezenta lucrare:

1. nu se iau în calcul prețurile, stocurile etc;
2. presupunem că mașinile-unelte, roboții industriali, depozitele intermediare de piese și scule etc denumite în continuare generic resurse - RES nu sunt reconfigurabile (au funcții precise) ci doar ansamblul lor (RMS-ul) este reconfigurabil;
3. presupunem că nu toate RES sunt disponibile în momentul inițierii unei noi comenzi, pentru a forma atelierul de fabricație, o parte dintre ele urmând a deveni disponibile sau indisponibile ulterior (se simulează astfel participarea acelor RES indisponibile la fabricația altor produse sau defectarea altor RES).
4. presupunem că RES funcționează autonom, fiecare fiind capabilă să-și diagnosticheze erorile și să știe cum să înlăture efectele acestora (gestionarea erorilor), în caz contrar RES intră în starea D (Damaged) și așteaptă să fie reparată.
5. spunem că o RES este disponibilă pentru a fi implicată în fabricația unui produs dacă ea rămâne în starea R (Ready) mai mult timp decât este necesar pentru ca ea să poată fi integrată în RMS ($t_{impR} > TTI$)
6. presupunem că rețeaua Petri ce modelează funcționarea unei RES arată la fel indiferent de dimensiuni, timpi conducători sau materialele implicate, ceea ce conduce la o standardizare a acestor rețele, ele putând fi predefinite și modularizate.

Modelarea unui RMS s-ar fi putut realiza și cu ajutorul tipurilor de rețele Petri deja existente, dar complexitatea și dinamica noului sistem de fabricație, date în principal de caracteristica de reconfigurabilitate, a impus căutarea unei reprezentări mai compacte, cu mai multe variabile, care să modeleze cu cât mai mare acuratețe nu doar funcționarea normală a sistemului de fabricație dar care să poată surprinde și modela și procesele de reconfigurare.

Astfel, s-a impus crearea unei noi clase de rețele Petri, denumită RPD3D (Rețele Petri Dezvoltate tridimensionale), denumirea arătând atât descendența (noua clasă derivând din rețelele Petri dezvoltate, create în anul 2000 de către Prof. Dr. Ing. Vasile Marinescu în cadrul lucrării sale de doctorat) [1], dar și cea mai importantă dintre noile caracteristici definitorii (transformarea modelului dintr-unul 2D într-unul 3D).

Ideea a fost de a introduce în modelul clasic al unei rețele Petri a treia dimensiune pentru a putea suprapune mai multe nivele (layere) formate din rețele Petri în 2D sau 3D ce interacționează între ele (primind sau dând comenzi de activare sau dezactivare a diferitelor module ce simulează împreună funcționarea unui RMS).

Dacă pentru a fabrica multe produse este suficient să dispunem de un atelier cu câteva mașini-unelte, roboți industriali, depozite intermediare de piese și scule etc care să realizeze câteva operații tehnologice, atunci se poate modulariza întregul proces prin asocierea unor RPD3D generice fiecărei resurse și fiecărei operații tehnologice, acestea diferind doar prin parametrii de lucru și prin status.

Aceste RPD3D generice pot fi predefinite, sunt editabile și sunt salvate sub formă de module, valorile parametrilor de lucru ce individualizează produsele, respectiv procesul tehnologic de fabricație al acestora, fiind salvate în baza de date.

Modelând fabricația unui produs extrem de simplu (5-6 operații tehnologice pe 2-3 mașini-unelte deservite de un robot industrial și dotate cu depozite de semifabricate și piese finite, plus interconținări și subrețele de corectare a erorilor) cu o rețea Petri clasică vom obține un model ce va conține câteva zeci de poziții și tranziții și sute de legături între aceste elemente, model ce va avea o dezvoltare predominantă pe verticală, raportul dintre cele două dimensiuni putând lua valori de $6 \div 20$, rețeaua obținută fiind greu de observat în ansamblu.

Pentru fabricația unui produs mai complex (câteva zeci de operații tehnologice, zeci de mașini-unelte, roboți industriali, elemente ale sistemului de transport și stocare, câțiva membri ai familiei de produse, tot ansamblul putându-se reconfigura în zeci de alte sisteme de fabricație) vom obține o rețea Petri clasică formată din mii de elemente legate prin zeci de mii de legături.

O astfel de rețea reprezentată în formatul clasic ar fi aproape imposibil de reprezentat și vizualizat, dar adăugând o a treia dimensiune rețelei Petri putem obține o reprezentare compactă, chiar frumoasă, care să rezolve inclusiv problema urmării dificile a unei legături de tip feedback (reinițializare) dintre una din ultimile tranziții cu una dintre primele poziții, tip de legătură des folosită.

Capitolul 4

Dezvoltarea suportului logistic al metodei prin conceperea unei noi clase de rețele Petri – rețele Petri dezvoltate tridimensionale.

4.1 Prezentarea modelului Rețele Petri dezvoltate tridimensionale (RPD3D)

Ca orice rețea Petri, RPD3D este formată din două tipuri principale de elemente: **poziții** (reprezentate prin sfere) și **tranziții** (reprezentate prin paralelpede), legate între ele prin segmente orientate de pondere (grosime) diferită.

Ca și în cazul RP-D, o poziție poate modela operații (de prelucrare, transport, manipulare, asamblare etc.), resurse fixe (centre de prelucrare, AGV-uri, roboți), resurse variabile (palete, piese, buffere) sau condiții diverse impuse desfășurării operațiilor.

O operație tehnologică poate fi divizată în diferite suboperații, iar poziția ce modelează operația respectivă poate fi înlocuită de o subrețea. Un jeton în poziția operației implică faptul că operația din poziție este executată. În acest model, pozițiile operațiilor sunt denumite **O-poziții** (Onnn, unde nnn reprezintă un număr de 9 caractere).

Ca și în cazul RP-D, unul sau mai multe jetoane într-o poziție resursă semnifică faptul că resursa corespunzătoare este disponibilă, numărul jetoanelor indicând cantitatea. Resursele pot fi divizate în două clase, resursele al căror număr este fixat în planificarea proiectării, cum ar fi roboții, mașinile și transportoarele (pozițiile corespunzătoare acestui tip de resursă sunt denumite **R-poziții** Rnnn, unde nnn reprezintă un număr de 9 caractere), și resursele variabile (palete, piese sau sarcini pentru a fi prelucrate) cu rol în partajarea resurselor (acestea sunt denumite **V-poziții** - Vnnn, unde nnn reprezintă un număr de 9 caractere). Marcajul resurselor variabile trebuie determinat astfel încât sistemul să nu poată deveni nici blocat și nici să funcționeze în gol (subcapacitare).

În noul model se mențin și pozițiile intermediare, denumite **I-poziții** (Innn, unde nnn reprezintă un număr de 9 caractere) ce pot modela operații ce implică un număr variabil de resurse, cum ar fi operațiile de stocare în buffere sau depozite, ori pentru a ușura menținerea unor proprietăți de comportament a modelelor sistemelor de prelucrare.

Sistemul de fabricație reconfigurabil poate fi privit ca un sistem bazat pe o arhitectură pe nivele ierarhice:

- **Nivelul 0** – este nivelul de comandă extern al aplicației (comenzile manuale date de operator prin intermediul DSP-urilor de către factorii de decizie din cadrul dispeceratului DSS, comenzile automate date de proceduri automate etc. Ex: Comanda de trecere a unei resurse (RES) dintr-o stare în alta.
- **Nivelul 1** - este nivelul de comandă intern al aplicației (în regim automat, selectează comenzile ce trebuie date pentru a fi operaționalizată una dintre comenzile manuale date de nivelul 0).

- **Nivelul 2** – este nivelul modulelor RPD3D ce modelează resursele (mașini-unelte, sisteme de stocare piese și scule – buffere, depozite, magazine, sisteme de transport al acestora – AGV-uri, benzi transportoare, sisteme de manipulare și poziționare, roboți.
- **Nivelele 3 ÷ nnn** – sunt nivelele modulelor RPD3D ce modelează operațiile tehnologice aferente produselor PRD1 ÷ PRDnnn.

Astfel, pentru a se da posibilitatea ordonanțării activităților subsistemelor, din modelarea RP-D, se mențin și pozițiile care modelează informația de control necesară ordonanțării, denumite **C-poziii**. De obicei se introduce o poziție de control la intrarea primei tranziții a subsistemului pentru comanda începerii activității acestuia și contorizarea numărului de cicluri comandate și o poziție de control la ieșirea tranziției de sfârșit al ultimei operații pentru a controla și contoriza ciclurile de activități ale subsistemului corespunzătoare fiecărui tip de piesă prelucrată în sistem.

Au fost de asemenea menținute din modelul RP-D și tranzițiile ce reprezintă începutul sau sfârșitul unei operații - **O-tranziții** (TOnnn, unde nnn reprezintă un număr de 8 caractere) iar tranzițiile ce declanșează subrețelele pentru tratarea erorilor se numesc **E-tranziții** (TEnnn, unde nnn reprezintă un număr de 8 caractere).

Ca element de noutate, **colorile folosite pentru reprezentarea pozițiilor și tranzițiilor au fost diferențiate pentru facilitarea vizualizării în spațiul 3D** și înțelegerii funcționării RPD3D: poziții operaționale – roșu (O), poziții resurse fixe - verde (R), poziții resurse variabile - albastru (V), poziții intermediare - alb (I), poziții de control - galben (C), tranziții operaționale - albastru (TO), tranziții de control (intrare/ieșire din subrețele) - galben (TC).

Fiecare poziție a RPD3D poate conține una sau mai multe mărci (sau jetoane). Reprezentarea acestora în RP clasice era realizată prin puncte care erau adăugate sau îndepărtate din cercul ce simboliza poziția, dar în condițiile trecerii la o reprezentare tridimensională, marcarea pozițiilor a trebuit adaptată și s-a optat pentru o reprezentare numerică plasată pe exteriorul sferei ce simbolizează poziția.

Reprezentarea grafică a elementelor de tip poziție este o sferă (cu diametrul 0,5 – 1 – 2 sau 3 unități), iar cea a elementelor de tip tranziție este un paralelipiped cu dimensiunile: 3 unități lungime și 0,5 x 0,5 unități secțiunea, colorate conform convenției de mai sus.

Pozițiile și tranzițiile au câteva metadate afișate grafic, celelalte fiind stocate și vehiculate doar prin intermediul bazei de date MySQL aferentă RMS. Pentru poziții sunt afișate descrierea (dreapta-sus), denumirea (dreapta), marcaj (mijloc sferă) și timpul de execuție (dreapta-jos) iar pentru tranziții denumirea (dreapta) și descrierea (mijloc).

Desenarea în 3D se face pe un fundal negru pentru ca elementele rețelei și legăturile să fie mai bine puse în evidență.

Diversificarea caracteristicilor elementelor RPD3D (poziții, tranziții, legături etc), este o altă îmbunătățire adusă RP-D de către varianta tridimensională RPD3D.

RPD3D beneficiază de avantajele stocării și prelucrării datelor elementelor sale într-o bază de date MySQL, putându-se astfel stoca și prelucra în mod facil rețelele cu sute de mii sau milioane de elemente ce au la rândul lor zeci de caracteristici.

Tabela POZ – stochează datele elementelor de tip poziții dintr-un modul RPD3D, modul ce poate fi asociat unei resurse a atelierului de producție sau unei operații tehnologice dintr-un flux tehnologic de fabricație a unui produs.

Tabela TRZ – stochează datele elementelor de tip tranziții dintr-un modul RPD3D, modul ce poate fi asociat unei resurse a atelierului de producție sau unei operații tehnologice dintr-un flux tehnologic de fabricație a unui produs.

Comparativ cu modelul RP-D din care derivă, entitatea tranziție nu mai conține informația legată de pozițiile de intrare/ieșire (care erau limitate la 5/5), aceasta fiind transferată asupra entității legătură (arc) denumită în continuare **LEG**.

Legăturile dintre elemente (arce) sunt orientate (au sens) și sunt purtătoare de informație legată de procesul de reconfigurare a sistemului de fabricație.

Tabela LEG – stochează datele elementelor de tip legături dintr-un modul RPD3D, modul ce poate fi asociat unei resurse a atelierului de producție sau unei operații tehnologice dintr-un flux tehnologic de fabricație a unui produs.

În mod suplimentar, în modelul RPD3D, pentru a realiza în mod facil legăturile dintre diferitele module ale RMS, plasate pe același nivel sau pe nivele diferite, s-a adoptat un al treilea tip de element, denumit **conector** (fig.12), reprezentat printr-un cub cu latura egală cu raza sferei ce reprezintă o poziție (culoarea fiind roșie dacă valoarea este „OFF” sau verde dacă valoarea este „ON”), conectorii fiind dispuși pe o sferă care circumscrie RPD3D în formă compactă (obținută după operația de compactare).

Conectorii de bază, în număr de 6, sunt plasați în punctele în care axele de coordonate intersectează sfera ce cuprinde RPD3D compactă și sunt denumiți M1 (y+), M2 (x+), M3 (z+), M4 (x-), M5 (z-), M6 (y-). Dacă acești 6 conectori nu sunt suficienți pentru legăturile modulului, atunci se mai pot crea încă 12 conectori secundari, situați între cei 6 de bază, denumiți M12, M13, M14, M15, M23, M25, M26, M34, M36, M45, M46, M56.

În exteriorul modulului, cei șase conectori sunt legați prin arce de pondere 1 sau 2 de alți conectori, iar în interiorul modulului, ei sunt legați prin arce de pondere 3 de poziții de control cărora le transmit diferitele comenzi date de pe nivelele ierarhice superioare (Ex: începerea sau sfârșitul unei OT, transferarea numărului de piese finite realizat, schimbarea stării unei RES).

Conectorii nu influențează modul de funcționare sau analiza RPD3D căreia îi sunt asociați ci au doar rolul de a transmite înspre și dinspre aceasta către nivelele superioare ale RMS comenzile ce vor rezulta din procesul de reconfigurare sau din funcționarea RMS-ului.

Tabela CON – stochează datele elementelor de tip conectori dintr-un modul RPD3D, modul ce poate fi asociat unei resurse a atelierului de producție sau unei operații tehnologice dintr-un flux tehnologic de fabricație a unui produs.

Deasemenea, ca element de noutate în modelul RPD3D, s-a introdus **caracteristica de scală** (reprezentarea aceluiasi tip de element la 0,5 din mărimea normală sau 2x sau 3x).

O reprezentare mai mare a unui element RPD3D sugerează o importanță mai mare dată acelui element (roboți, alte resurse importante).

Astfel:

- Pozițiile ce modelează resurse (fixe sau variabile) vor fi reprezentate la scala 2x sau 3x.
- pozițiile și tranzițiile operaționale (cele în care se prelucrează, assemblează etc) vor fi reprezentate la scară normală;
- pozițiile de control, cele intermediare și tranzițiile de control la scala de 0,5x.

Comenzi ce vin spre modul (intrări): M1 activează C1, M2 activează C2, M3 activează C3, M4 activează C4, M5 activează C5

Comenzi ce vin dinspre modul (ieșiri): M6 este activat de C6

Tot ca element de noutate se va putea folosi funcția de zoom pe nivele - numărul de obiecte afișate în pagină (vizibile) va fi funcție de nivelul de zoom ales (într-un mod asemănător vizualizării corpurilor cerești funcție de magnitudine în programele de tip planetariu virtual).

Acest zoom pe nivele folosește **caracteristica de vizibilitate** a elementelor componente a unei RPD3D, trecerea de la un nivel de zoom la altul conducând la activarea sau dezactivarea vizibilității unor elemente.

4.2 Analiza stărilor resurselor RMS

În timpul funcționării unui RMS, o resursă poate fi într-una din următoarele 6 stări (fig.3): Ready (R) – pregătită de lucru, Work (W) – în lucru, Damaged (D) - defectă, Pause (P) – în pauză,

Error correction (E) – în corectarea erorilor sau IntoRMS – integrabilă în RMS (I) – resursa este Ready dar necesită un timp pentru a fi introdusă în RMS.

Trecerea dintr-o stare în alta a resurselor poate fi automată (P to W, W to R, E to I, E to W) sau poate fi condiționată de starea unuia dintre cele șase marcaje (ON – marcajul este activ și permite astfel schimbarea stării, OFF - marcajul este inactiv și blochează schimbarea stării (fig.13).

1. Dă comanda de integrare în RMS și după trecerea timpului TTI (TimeToIntegrate), resursa este integrată în RMS trecând în starea R.

2. Se dă comanda de trecere din R în I și după TTE (TimeToExclude) RES este exclusă.

3. Se dă comanda de lucru a RES, trecere instant (timp 0) din R în W.

4. Se dă comanda de trecere a RES pe pauză (timp 0) ca urmare de exemplu a supraîncălzirii sculei, prea mult fum sau șpan în zona de lucru, așteptarea eliberării unei alte resurse sau terminarea unei alte OT.

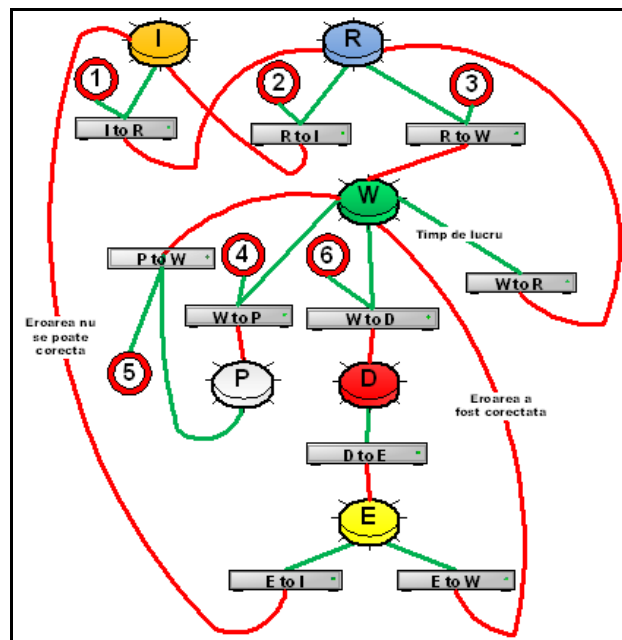


Figura 3 - Stările posibile ale resurselor RMS

5. Se dă comanda de reluare a lucrului.

6. Se dă comanda de simulare a defectării RES (timp 0), RES începând automat un proces de autodiagnosticare în urma căruia se identifică eroarea. După identificarea erorii, automat (timp 0), RES trece în starea E și începe operația de corectare a erorii (defecțiunii). Tot automat (timp 0) RES trece în starea R dacă defecțiunea a fost remediată sau în starea I (după timpul TTE) dacă nu a fost remediată.

4.3 Metodologia de proiectare a modelului aferent RMS

Metodologia de modelare este foarte importantă în aplicațiile de modelare cu rețele Petri în cadrul sistemelor de fabricație.

Specificația pentru un sistem de prelucrare poate fi considerată ca un set de resurse, de operații, și respectivele lor relații/legături de precedență și paralelism.

Următoarea metodă folosește această specificație pentru a crea un model cu rețea Petri dezvoltate tridimensionale al sistemului de fabricație reconfigurabil (RMS).

Pașii necesari sunt:

1. Identificarea activităților și resurselor necesare prelucrării unui produs.
2. Ordonarea activităților după legăturile de precedență și paralelism, descrise în planurile de proces tehnologic.

3. Pentru fiecare activitate în ordine:

- se creează și se etichetează o poziție pentru reprezentarea stărilor acelei activități;
- se adaugă o tranziție care modelează începutul activității(lor) cu arc(e) de ieșire către poziția(ile) activităților;
- se adaugă o tranziție care modelează sfârșitul activității(lor) cu arc(e) de intrare dinspre poziția(ile) activităților.

În general, tranziția de oprire pentru o activitate va fi aceeași cu cea pentru începerea activității următoare.

Când rețeaua este executată, un jeton din poziția care modelează activitatea va indica faptul că activitatea este în curs de desfășurare. Multiple jetoane vor indica multitudinea de activități în desfășurare, de exemplu, într-o poziție buffer, două jetoane ar putea reprezenta două piese stocate în același timp.

Execuția tranziției de start reprezintă începerea activității sau a procesului, iar execuția tranziției finale reprezintă încheierea activității curente și poate de asemenea reprezenta demararea activității următoare.

Pentru fiecare activitate, în ordine, se creează și denumește o poziție corespunzătoare fiecărei resurse ce trebuie să fie disponibilă pentru lansarea activității, dacă o astfel de poziție nu a fost deja creată. Conectează toate pozițiile ce modelează condițiile de disponibilitate partajate cu arce astfel încât fiecare să intre în tranziția de start a activității respective. Se creează arce de ieșire pentru conectarea tranzițiilor de oprire/stop urmărind activitatea oricăror poziții de resurse reprezentând resurse ce vor deveni disponibile după finalizarea activității.

4. Se specifică marcarea inițială pentru sistem.

Identificarea activităților și resurselor necesare prelucrării unui produs începe prin definirea comenzii de prelucrare a unui produs pe RMS.

Comanda de prelucrare vine din exteriorul sistemului a cărui funcționare o simulăm și ea conține specificațiile de producție inițiale (date inițiale pentru RMS):

Evident că datele comenzii se stochează și prelucrează în aceeași bază de date MySQL ce deservește întregul sistem de fabricație reconfigurabil.

Tabela CMD – stochează datele comenzilor de prelucrare.

Pasul următor al metodologiei presupune verificarea existenței în baza de date a produsului sau familiei de produse cerut(e): dacă produsul/produsele există deja în baza MySQL, datele aferente acestora vor fi încărcate din fișierele de date asociate, stocate în „SODRMS\web\data\produse”.

Ex: dacă produsul este „Flanșă fixare cu reglaj vertical” datele lui sunt stocate într-un fișier SQL denumit „Flansa_fixare_cu_reglaj_vertical”.

Datele din fișierul SQL selectat sunt încărcate apoi în tabelele OT (operații tehnologice), PRD (produse), CMD (comenzi).

În caz contrar datele despre produs trebuie introduse în baza de date în tabelele OT, PRD, apoi pentru fiecare produs în parte se introduc numărul de OT și dependența dintre ele.

Pentru fiecare OT se introduc date despre RES ce poate realiza OT respectivă, timpul de execuție (în secunde), OT de care depinde (dacă realizarea ei depinde de realizarea prealabilă a altei OT) și principalele trei caracteristici ale OT.

Datele vor fi salvate ulterior introducerii într-un fișier SQL denumit asemeni produsului în folderul „SODRMS\web\data\produse”.

O a treia etapă a metodologiei de proiectare presupune crearea sau încărcarea modulelor RPD3D ce modelează funcționarea fiecărei resurse (prin resursă a RMS se înțelege o

componentă a RMS ce are rol în fabricarea produsului – mașină-unealtă, robot, buffer, depozit de piese sau scule, AGV etc) sau operație tehnologică (OT) în parte.

Deoarece fiecărei RES sau OT îi corespunde o anumită RPD3D, modulele ce conțin aceste rețele pot fi create și stocate în baza de date din timp, astfel încât, practic aceste module să fie predefinite, editarea putându-se realiza doar pentru particularizări ale unor parametri.

După editare, RPD3D din cadrul unui modul al RMS este supus unui **algoritm de compactare**, ce are rolul de a trece RPD3D de la o reprezentare bidimensională cu dezvoltare predominantă pe verticală, într-o structură tridimensională circumscrisă unei sfere de diametru cât mai mic, deoarece forma geometrică cea mai compactă (volum versus dimensiuni) este sfera.

Această operație de compactizare este realizată prin deplasarea elementelor RPD3D una față de alta până când distanțele dintre oricare elemente sunt mai mici decât dublul diametrului unei poziții, elementele din extreme fiind aduse în față (z+) sau duse în spate (z-).

4.4 Algoritm de compactare al modulelor RPD3D

Compactarea este alcătuită din 2 operații distincte: **roluirea rețelei după axa Oz** și apoi **rularea unui algoritm de confinare** (micșorarea lungimii legăturilor dintre elemente).

Roluirea are ca scop micșorarea lungimii rețelei, înșiruirea de poziții operaționale (z=0) să se transforme dintr-o coloană într-un cilindru cu raza egală cu ¼ din lungimea coloanei. Această transformare se realizează prin notarea sferturilor de coloană cu A, B, C, D începând de la Oy+ spre Oy- și apoi deplasarea sferturilor B și C spre Oz+ iar a sferturilor A și D spre Oz- (fig. 4 și 5).

Astfel, legăturile de tip feedback sau reinițializare pot fi aduse la același ordin de mărime cu celelalte. În mijlocul cilindrului creat de mișcarea pozițiilor operaționale va fi poziționată resursa cea mai importantă (ce cele mai multe legături), de regulă o poziție sau mai multe de tip R (resurse fixe - roboți, AGV-uri etc).

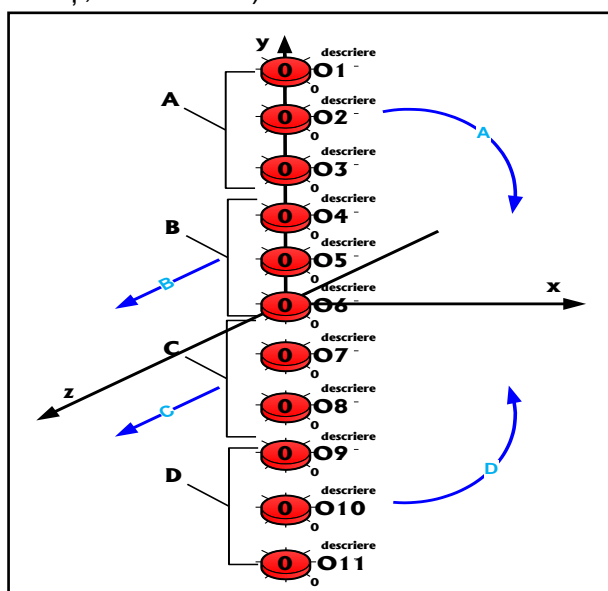


Figura 4 - Reprezentarea inițială a RPD3D

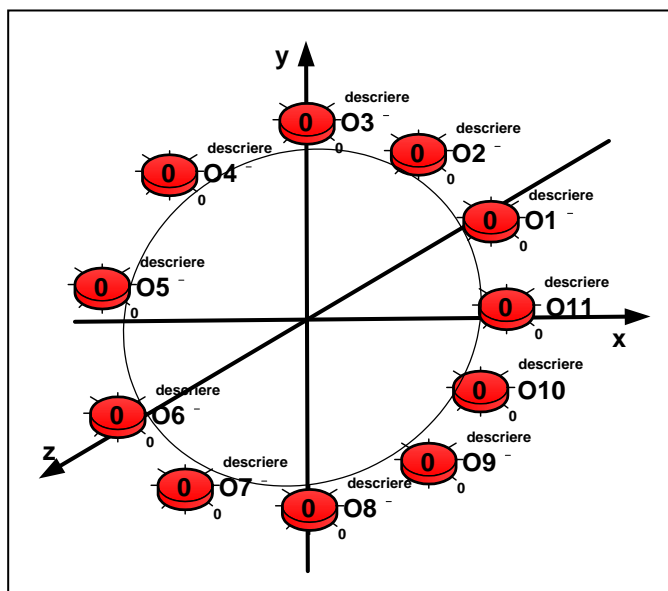


Figura 5 - Reprezentarea compactă a RPD3D

Toate celelalte poziții și toate tranzițiile se mută inițial în centrul cilindrului virtual creat pe pozițiile operaționale.

Ulterior se rulează **algoritm de confinare** care va duce tranzițiile între pozițiile operaționale iar pozițiile de tip V (resurse variabile) și cele de tip C (operații de control) vor ajunge a fi amplasate pe exteriorul cilindrului.

- Se calculează lungimile legăturilor și se face suma lor;

- Se face diferența dintre cea mai lungă și cea mai scurtă legătură și se împarte această diferență la un factor de animație $Fa=10$ (sau 100) obținându-se incrementul cu care se vor deplasa elementele;
- Se iau pe rând toate legăturile, se fixează elementul de început (poziția operațională) și se deplasează elementul de sfârșit pe axa corespunzătoare celei mai mari diferențe de coordonate cu un increment.
- Se continuă până când distanța dintre elementele RPD3D devine $= 4f$, în acest caz legătura respectivă fiind sărită la următorul set de deplasări.
- Se continuă până când toate legăturile $= 4.0$ sau până când suma legăturilor începe să crească.

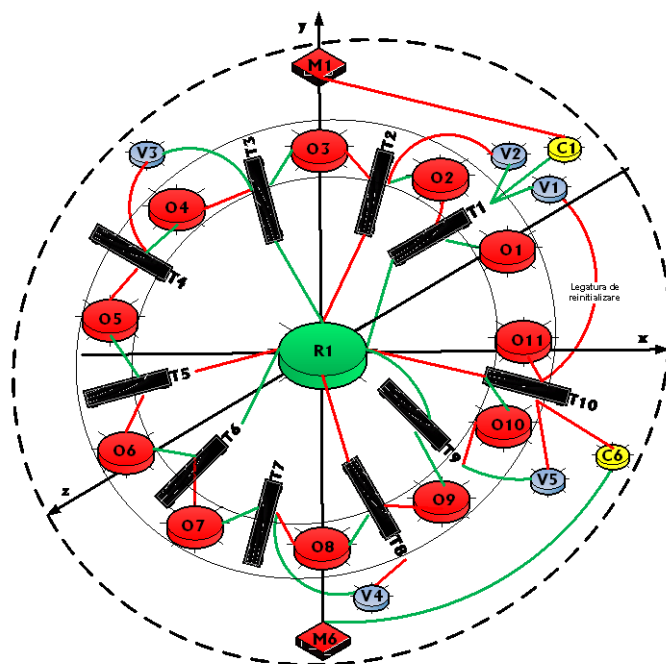
După ce rețeaua este compactă, aceasta se încadrează într-o sferă (se măsoară dimensiunile maxime ale rețelei, se alege cea mai mare dintre ele $+ 3.0$, se desenează marcajele $M1 \div M6$ pe sferă și se leagă de pozițiile de control corespunzătoare).

Datele rețelei RPD3D vor fi salvate într-o bază de date de tip MySQL atât în forma clasică (pentru editare facilă) dar și în forma compactă.

Compactarea unei rețele de tipul OT1SP1 ce modelează o operație tehnologică simplă cu o singură sculă conduce la obținerea rețelei RPD3D din figura 6, rețea relativ simplă deoarece nu are secvențele specifice unei rețele ce modulează o resursă (stările $D + E$ și $P + I$).

Diferența între reprezentările 3D a rețelelor ce reprezintă o operație tehnologică cu o singură sculă (OT1SP1) și cele ale rețelelor aferente unor resurse de tipul MU (mașină-unealtă), depozite de semifabricate, scule sau piese finite, roboți industriali sau AGV-uri etc constă în apariția a încă doi cilindri virtuali pentru secvențele aferente stărilor $D + E$ și $P + I$ ale resursei, dispuși în stânga, respectiv dreapta cilindrului principal aferent stărilor R și W a resursei.

După rularea **algoritmului de confinare** tranzițiile vor ajunge între pozițiile operaționale iar pozițiile de tip V (resurse variabile) și cele de tip C (operații de control) vor fi amplasate pe exteriorul cilindrului (fig.6).



După rularea **algoritmului de confinare** tranzițiile vor ajunge între pozițiile operaționale iar pozițiile de tip V (resurse variabile) și cele de tip C (operații de control) vor fi amplasate pe exteriorul cilindrului. Această amplasare este necesară pentru a putea realiza legături de pondere 3 între pozițiile de tip C și conectorii $M1$ și $M6$ ai rețelei RPD3D considerate și astfel pentru a controla pornirea sau oprirea activităților simulate de către rețea.

Figura 6 - Reprezentarea compactă a unei rețele de tipul OT1SP1

În cazul pozițiilor de tip V această amplasare este necesară pentru a putea realiza legături de pondere 3 între ele și conectorii M2+M5 ai rețelei RPD3D considerate, acești conectori realizând legături de pondere 1 cu conectorii M1 (resursa în starea Work) și M6 (resursa în starea Ready) ai resursei considerate în vederea simulării disponibilității resursei.

Forma compactată a modulelor RPD3D este utilă în momentul asamblării resurselor din atelierul de producție pentru a construi RMS-ul, fiecărei resurse corespunzându-i câte un modul.

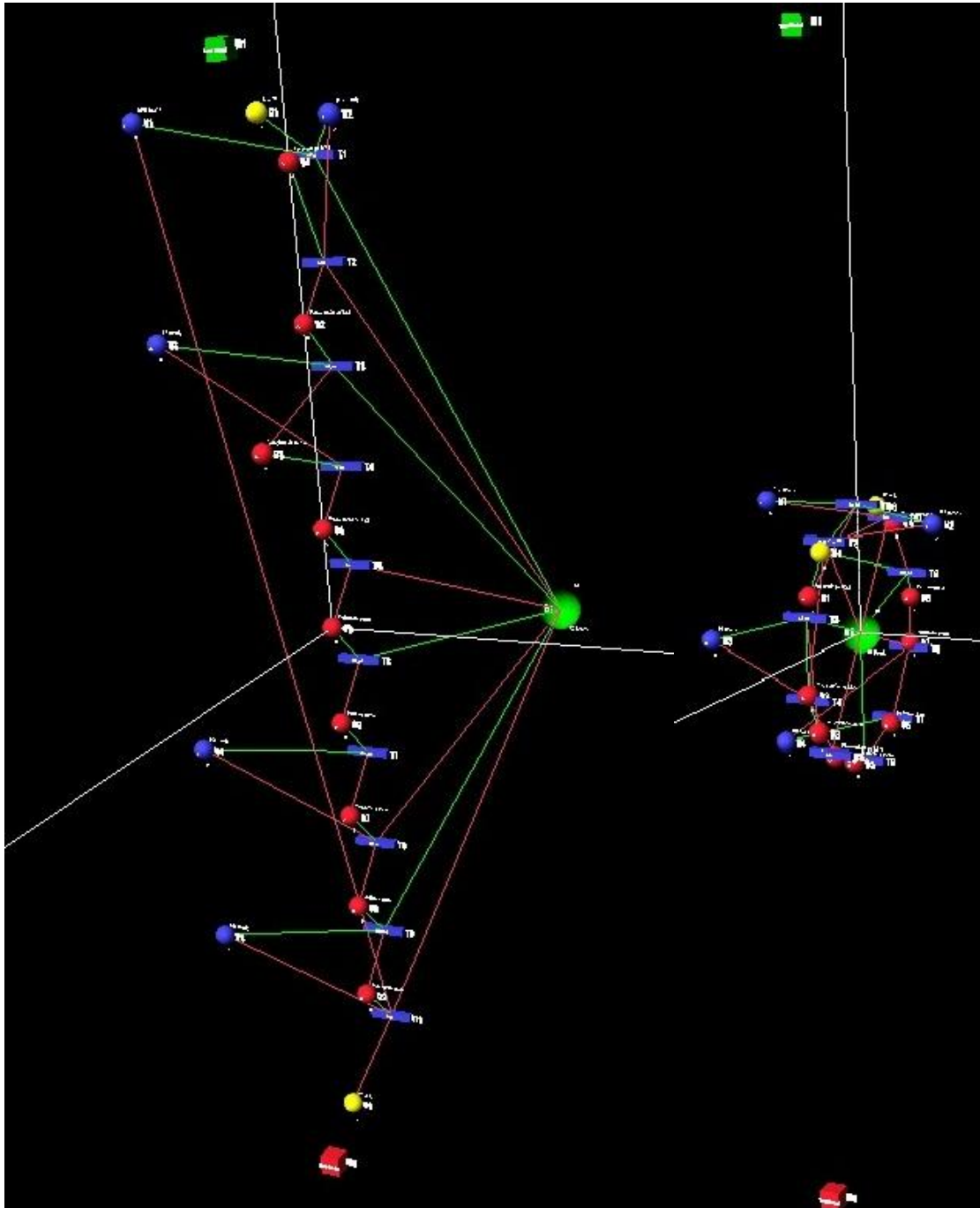


Figura 7 – Reprezentarea unei rețele RPD3D în formă editabilă și după compactare

Se poate observa din fig.7 diferența de spațiu ocupată de cele două variante de reprezentare: editabilă și compactă.

Ambele variante sunt păstrate în baza de date, cea editabilă fiind folosită pentru modificările ulterioare ale rețelei iar cea compactă fiind folosită pentru construirea atelierelor virtuale necesare simulării fabricației pentru diversele produse comandate sistemului de fabricație reconfigurabil.

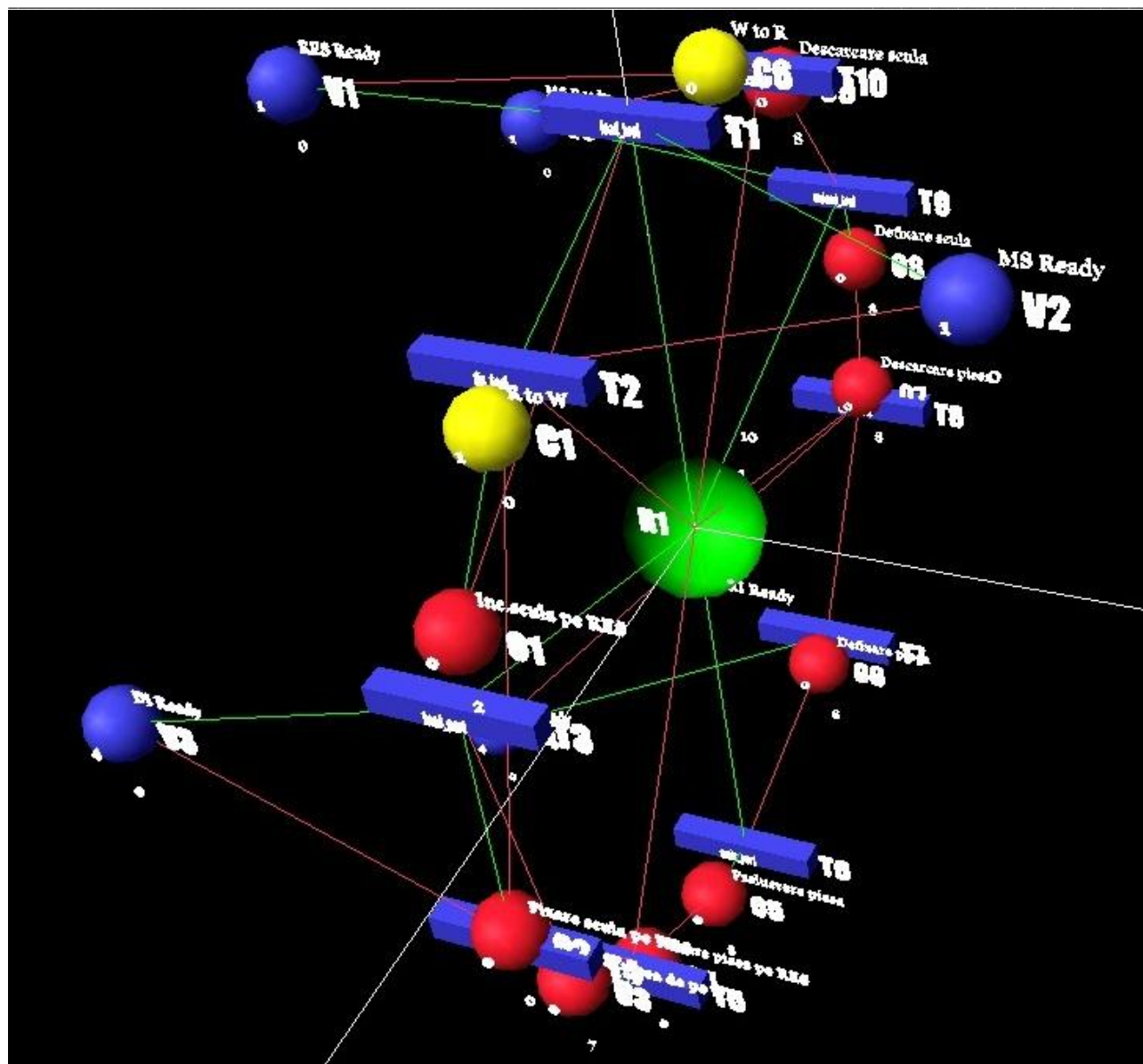


Figura 8 – Reprezentarea unei rețele RPD3D în formă compactă

Se poate observa în fig.8 că în varianta compactă de reprezentare a RPD3D resursa fixă cu cele mai multe conexiuni din rețea (sfera verde), probabil un robot industrial în acest caz, ajunge în centrul rețelei, la distanță egală de pozițiile operaționale (pozițiile reprezentate prin sferele roșii) pe care trebuie să le deservească.

În acest mod de reprezentare, în momentele în care vor interveni reconfigurări de diverse tipuri ale RMS, efectele acestor reconfigurări vor fi mult mai vizibile și mai ușor de urmărit în contextul unor sisteme mari (RMS cu multe operații tehnologice, multe resurse și/sau multe produse ce sunt fabricate simultan).

Tabelele MODULE și MOD_023 – stochează datele elementelor dintr-un modul RPD3D, în formă clasică respectiv compactă.

4.5 Resursele RMS

După crearea modulelor RPD3D, urmează crearea atelierului inițial pe baza resurselor disponibile.

Tabela RES – una din cele mai mari tabele ale bazei de date MySQL, stochează datele aferente diferitelor resurse (mașini-unelte, roboți, buffere, depozite de piese sau scule, AGV-uri etc) din care se va asambla atelierul virtual care trebuie să fabrice produsul / produsele comandate.

Inițial, se introduc în tabela RES, toate resursele, chiar dacă la momentul introducerii în tabelă ele nu sunt disponibile, apoi se selectează cele disponibile (care au starea R) și în funcție de operația tehnologică ce trebuie executată și a corespondenței dintre câmpurile CAR1,2,3 ale resursei și ale operației tehnologice se alcătuiește atelierul inițial.

O resursă mai specială, ce necesită o tabelă separată în baza de date, datorită unor informații mai complexe ce trebuie stocate în baza de date, este **vehiculul ghidat autonom (AGV - autonomous guided vehicle)** – tabelă ce conține datele aferente unui sistem de transport paletizat bazat pe vehicule autogovernate, ce au un anumit traseu, bazat pe stații (locuri cu coordonate clar precizate unde vehiculele se opresc și transferă conținutul paletelor spre resursele aflate la acele coordonate).

Stațiile sunt denumite în așa fel încât să individualizeze locul de oprire (Baza, stația 1, Robot 1, Mașina2). De asemenea, în tabela AGV sunt precizate ID-urile resurselor deservite și timpul de staționare în fiecare stație.

De regulă, AGV-urile circulă pe trasee prestabilite dar, în cazul RMS, care presupune o multitudine de modificări ale structurii și a amplasării resurselor, probabil că cea mai bună variantă este cea de deplasare a AGV-ului pe drumul cel mai scurt către următoarea stație, cu evitarea obstacolelor întâlnite în cale.

Tabela OT (operații tehnologice) – stochează datele aferente diferitelor operații tehnologice prin care trebuie să se fabrice produsul / produsele comandate.

Rezultatele sincronizării automate sunt depuse în tabela OT_RES a bazei de date.

Pe baza datelor din tabelele RES, OT și OT_RES și a necesităților de conectare dintre module, se realizează **atelierul de producție** (se introduc doar resursele disponibile la momentul respectiv) și se face analiza posibilităților de fabricare a produselor (s-ar putea ca pentru o anumită operație tehnologică să nu existe nici o resursă disponibilă la momentul realizării acelei operații tehnologice și atunci comanda intră în starea P „Pauză” – fiind reîntoarsă în portofoliul de comenzi și amânată eventual până la disponibilizarea unei resurse capabile să execute acea operație tehnologică sau respinsă).

După analizarea operațiilor tehnologice și a dependențelor acestora, se creează **fluxurile tehnologice (FT)**.

Crearea fluxurilor se realizează în mod automat, prin combinarea diferitelor variante de așezare a mașinilor-unelte, a elementelor sistemului de transport a pieselor și sculelor, a elementelor sistemului de stocare a pieselor și sculelor, a roboților industriali etc, rezultând un număr mare de FT posibile.

Dacă fluxurile tehnologice nu îndeplinesc restricția de timp impusă de comandă atunci:

- în ordinea descrescătoare a timpilor de execuție a OT se vor căuta alte resurse care să execute OT-urile mai repede;
- se va încerca, acolo unde este posibil, eliminarea depozitelor intermediare de piese (necesită recalcularea capacităților pozițiilor de tip V și R);
- se va încerca modificarea sistemului de transport piese și scule în sensul scăderii TTE_FT.

Dacă aceste ajustări sunt suficiente, se assemblează un RMS-ul (fig. 9) corespunzător din RPD3D asociate fiecărei RES sau OT implicate în FT și apoi se calculează capacitățile pozițiilor de tip V și R astfel încât RPD3D asociată RMS să fie stabilă.

Cu această RPD3D se începe simularea fabricației, pe parcursul acesteia RMS-ul putându-se reconfigura datorită modificării stării unor RES sau prin modificarea parametrilor inițiali ai comenzii de fabricație.

În cazul extrem în care toate aceste ajustări nu sunt suficiente, este afișat cel mai bun timp de producție și este întrebat utilizatorul dacă acceptă acest timp ca dată de intrare (comanda este în starea L) sau comanda este pusă pe starea P și transferată către portofoliul de comenzi în așteptarea disponibilizării unei RES mai performante care să micșoreze TTE_FT sau comanda este respinsă (comanda este în starea J).

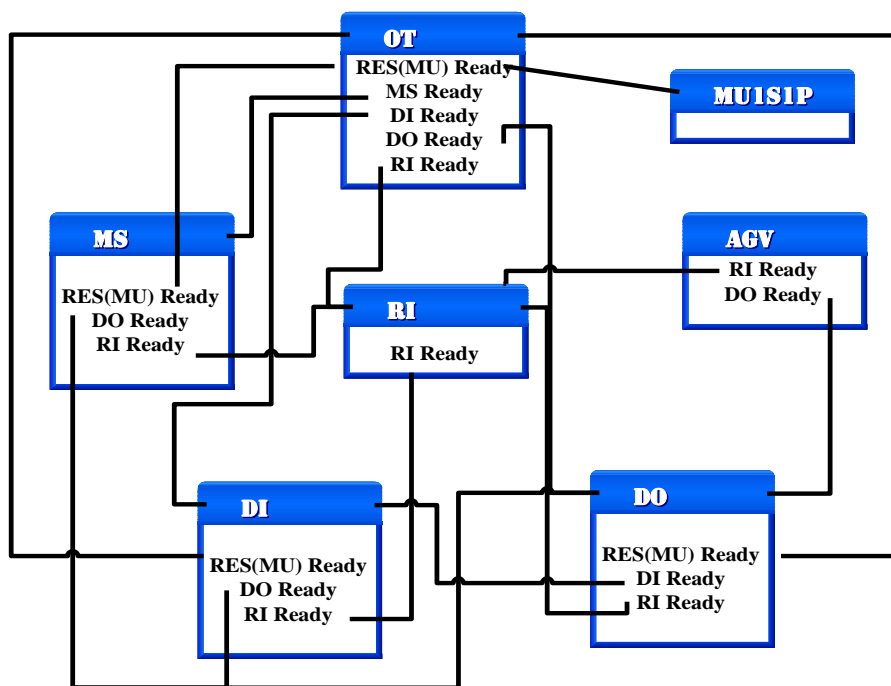


Figura 9 - Crearea RMS – interdependențele dintre resursele participante

4.6 RMS-ul și reconfigurabilitatea lui

Modalități de maximizare a parametrilor calculați anterior

Scop RMS: Realizarea unei comenzi de fabricație a unui ansamblu sau unei familii de piese, într-un anumit număr de exemplare în condițiile menținerii unei configurații optime a resurselor aflate la dispoziție în funcție de criteriul ales (timp minim de producție, adică productivitate maximă), în condiții de stabilitate a sistemului.

RMS-ul este un sistem de fabricație reconfigurabil, a cărui calitate de reconfigurabilitate trebuie să se bazeze pe factori economici care să ofere asigurarea că beneficiile obținute depășesc costurile reconfigurării și pierderile de producție pe durata acestei operații.

Presupunem că această condiție este îndeplinită în toate cazurile și presupunem că **durata reconfigurării este cât mai mică** (timpul pentru R3 și R5 nu trebuie să depășească timpul necesar fabricării unui exemplar din produs).

Deasemenea, **reconfigurabilitatea trebuie să fie atomică** – se realizează o singură modificare importantă după care se reevaluează starea RMS-ului.

Condiții preliminare: presupunem că RES nu sunt reconfigurabile (au funcții precise) ci doar ansamblul lor (RMS-ul);

- presupunem că nu toate RES sunt disponibile, în momentul inițierii comenzii, pentru a forma atelierul de producție, o parte dintre ele urmând a deveni disponibile ulterior.

- presupunem că RES funcționează autonom, fiecare fiind capabilă să-și diagnosticheze erorile și să știe cum să înlăture efectele acestora (gestionarea erorilor), în caz contrar RES intră în starea D (Damaged) și așteaptă să fie reparată.
- spunem că o RES este disponibilă dacă ea rămâne în starea R (Ready) mai mult timp decât este necesar pentru ca ea să poată fi integrată în RMS ($t_{impR} > TTI$);
- presupunem că RPD3D ce modelează funcționarea unei OT arată la fel indiferent de dimensiuni, timpi conducători sau materialele implicate, ceea ce conduce la o standardizare a acestor rețele, ele putând fi predefinite și încărcate în funcție de OT.

Tipuri de reconfigurare:

R0 – Configurarea inițială a ansamblului elementelor RMS (alcătuirea listei de resurse disponibile și alegerea celor ce vor fi incluse în RMS pe baza unei sincronizări ale caracteristicilor tehnice ale resursei și ale operației tehnologice ce trebuie executată);

R1 – Modificarea regimului de lucru al RES în procesul de fabricație pentru maximizarea valorilor EP;

R2 – Modificarea valorii perioadei de dozare astfel încât valoarea acesteia să fie optimă față de caracteristicile comenzilor existente la un moment dat, comenzile fiind analizate în vederea intrării sau ieșirii din producție doar în punctele de dozaj;

R3 – Reconfigurarea RMS în vederea asigurării stabilității (calcularea capacității pozițiilor variabile din RPD3D asociată RMS astfel încât această rețea Petri să fie viabilă, stabilă și fără blocaje);

R4 – Reconfigurarea RMS în urma simulării fabricației prin modificarea stărilor unor RES (fie o RES devine disponibilă la un anumit moment, fie devine indisponibilă ca urmare a defectării sau a necesității folosirii ei într-un alt RMS)

R5 – Reconfigurarea RMS în conformitate cu schimbarea specificațiilor de producție (modificarea nr. de exemplare fabricate dintr-un anumit produs, introducerea sau scoaterea din fabricație a unui produs etc)

Dacă despre reconfigurările de tip **R0**, **R1**, **R2** sau **R3** s-a discutat în paginile anterioare, au rămas de aprofundat reconfigurările de tip **R4** și **R5** care sunt și cele mai importante în procesul de adaptare a sistemului la modificarea condițiilor de lucru și a structurii proprii de fabricație.

Principii de reconfigurare R4 a RMS (Reconfigurarea RMS în urma modificării stărilor unor RES)

În timpul fabricației reale sunt posibile modificări ale stărilor unor resurse fie prin defectarea fie prin indisponibilitatea folosirii acelei resurse.

Sistemul trebuie să încerce să mențină producția la parametri cât mai apropiați de cei de dinaintea modificării stării resursei prin reconfigurarea structurii sale.

În cazul simulării fabricației, comenzile de trecere a resurselor de la o stare la alta vor fi date în cadrul programului printr-un click pe resursa respectivă, care va duce la apariția unei ferestre cu câteva butoane (doar stările posibile), iar după alegerea noii stări, reprezentarea grafică a resursei își va schimba culoarea.

Stări posibile pentru resurse (6) : R – Ready (bleu), W – Work (verde), D – Damaged (roșu), P – Pause (albă), E – Error corection (galben), I – IntoRMS (Integrabilă în RMS) (portocaliu);

Acțiuni posibile pentru resurse (10) : I to R, R to I, R to W, W to R, W to P, P to W, W to D, D to E, E to I, E to W;

Principii de reconfigurare R5 a RMS (Reconfigurarea RMS în urma modificării parametrilor inițiali ai comenzii)

Se va realiza practic din DSP-ul managerului RMS prin apelarea (în timpul fabricației) unui link (meniu, buton etc) care va afișa o mică fereastră cu parametrii curenți ai simulării fabricației și comenzile curente și cele noi din care managerul RMS va alege noile specificații de producție și noile comenzi acceptate.

1. TTF (TotalTime to Finish)

A) **modificarea valorii în minus** va provoca o reconfigurare ce va genera un RMS mai rapid (producerea mai rapidă a pieselor)

- se pot introduce în RMS unele RES libere care să mărească capacitatea de producție
- se pot scurta liniile tehnologice prin scurtcircuitarea depozitelor de piese intermediare (RI poate duce piesa direct de pe o mașină pe alta)
- folosirea de AGV-uri rapide în loc de sisteme de transport mai lente de tip conveyer
- înlocuirea unor RES lente cu altele mai rapide (în măsura în care acestea sunt disponibile)

Dacă reconfigurarea nu este posibilă, se poate afișa un mesaj de avertizare de tipul: „Reconfigurare R5 imposibilă” cu două variante de continuare:

- 1 – simularea fabricația continuă cu parametrii anteriori,
- 2 – simularea fabricației se oprește (CMD în starea F).

B) **modificarea valorii în plus** va provoca o reconfigurare ce va genera un RMS mai lent.

- se pot scoate din RMS unele RES care să micșoreze capacitatea de producție
- se pot introduce timpi de așteptare a pieselor în zone non-productive (RI, depozite)
- folosirea de sisteme de transport mai lente de tip conveyer în locul AGV-urilor
- înlocuirea unor RES rapide cu altele mai lente (în măsura în care acestea sunt disponibile)

NR_EX (Numărul total de exemplare din respectivul produs): aici metodele sunt aceleași ca la TTF dar în sens invers.

În cadrul capitolului s-a definit suportul logistic al metodei de conducere optimă prin conceperea unei noi clase de rețele Petri – rețele Petri dezvoltate tridimensionale, s-a realizat analiza stărilor resurselor sistemului de fabricație reconfigurabil și cum pot fi acestea folosite în procesul de reconfigurare, s-a definit o metodologie de proiectare a modelului aferent RMS.

S-au prezentat modulele RPD3D, algoritmul de compactare a acestora și modalitățile de salvare a datelor, precum și resursele sistemului de fabricație.

S-a simulat apoi realizarea produselor aferente comenzilor noi simultan cu cele existente și s-au calculat parametri necesari estimării performanței sistemului de fabricație

Practic din DSP-ul managerului RMS prin apelarea (în timpul fabricației) unui link (meniu, buton etc) s-a deschis o fereastră cu parametrii curenți ai simulării fabricației și comenzile curente și cele noi din care managerul RMS a putut alege noi specificații de producție și noi comenzi acceptate.

În final, s-a discutat despre reconfigurabilitatea RMS-ului și despre modalitățile de maximizare a parametrilor calculați anterior.

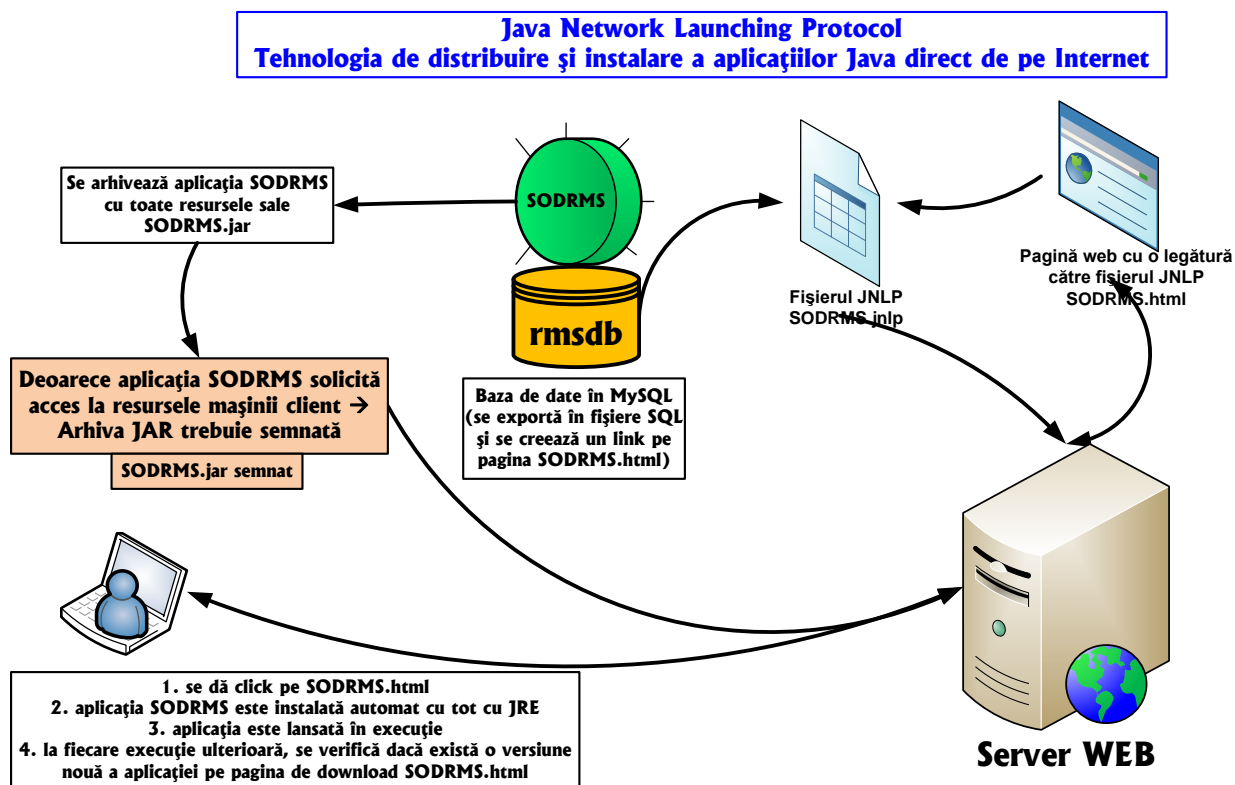


Figura 11 – Modalități de distribuire a S.O.D.R.M.S. prin Internet

Pentru a putea accesa baza de date **rmsdb** și pentru a controla funcționarea sistemului de fabricație reconfigurabil prin intermediul S.O.D.R.M.S., managerul trebuie să se conecteze de la stația sa de lucru la rețeaua Internet, de unde va accesa applet-urile Java și paginile **html** sau **JSP (Java Server Pages)** componente ale portalului S.O.D.R.M.S.

Dacă paginile se încarcă nativ în browsere, applet-urile trebuie să se descarce pe stația de lucru a managerului și să fie rulate de acolo ținând cont de restricțiile impuse applet-urilor la semnarea acestora.

Java Web Start este un framework dezvoltat de Sun Microsystems (acum Oracle) ce permite utilizatorilor să lucreze cu aplicații pentru Java direct peste Internet folosind un browser.

Java Network Launching Protocol (JNLP) este un protocol definit de o schemă XML, unde este specificat modul în care sunt lansate aplicațiile Java Web Start.

Protocolul JNLP (fig.11) constă într-un set de reguli ce definesc exact cum este implementat mecanismul de lansare a aplicațiilor. Fișierele JNLP includ informații precum locația fișierului JAR și numele clasei principale ale aplicației, peste parametrii definiți în aplicație.

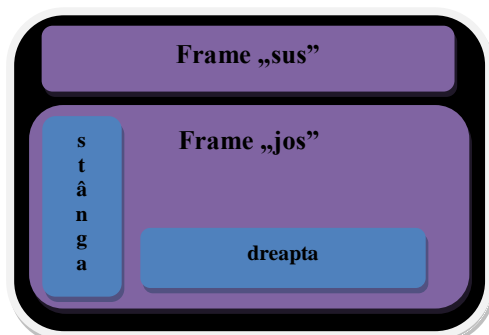
Un browser configurat corect pasează fișierele JNLP către Java Runtime Environment (JRE) care downloadează aplicația de pe Internet pe stația de lucru a utilizatorului și o execută.

JNLP lucrează similar cu modul în care lucrează HTTP/HTML pe web.

După ce utilizatorul dă click pe linkul web, browserul trimite adresa URL către serverul web, care trimite înapoi fișierul JNLP (în locul fișierului HTML) către aplicație.

5.2 Modul de lucru cu S.O.D.R.M.S.

S.O.D.R.M.S. este construit folosind tehnica frame-urilor din HTML 5.0 și respectând regula de aur a webdesignului: „portalul web trebuie proiectat astfel încât utilizatorul să poată accesa orice pagină / resursă a portalului din maximum trei click-uri de mouse”.



Astfel, a fost definit frame-ul „sus” ce conține șase linkuri către tot atâtea secțiuni, selectarea unui asemenea link conducând la afișarea datelor aferente secțiunii respective în frame-ul denumit „jos”.

La rândul său, frame-ul „jos”, este împărțit pe verticală în alte două frame-uri: respectiv „stângă” (ce conține linkuri către paginile secțiunii) și „dreapta” (ce conține paginile propriu-zise ale secțiunii, fie ele html sau jsp).

Prima secțiune: Prezentare RPD3D

Aici sunt prezentate obiectivele tezei de doctorat, ideea RPD3D, prezentarea modulelor RPD3D, tabelele bazei de date MySQL, modul de lucru și elementele de noutate S.O.D.R.M.S.

Secțiunea doi: Prezentare fabricație

Aici se găsesc paginile JSP – machetele de introducere a datelor aferente comenzilor.

Lansarea unei comenzi în RMS înseamnă adăugarea ei în lista curentă de comenzi, numită „Portofoliu” (alături de alte comenzi încărcate pe același RMS), simularea fabricației produsului comandat într-un anumit număr de exemplare sau într-un anumit timp alături de comenzile aflate în execuție pe RMS, calcularea ratei specifice a profitului și, pe baza acestor date, aprobarea realizării unor comenzi, menținerea altora în portofoliu (amânarea comenzii) sau respingerea altora.

În cazul în care simularea unei comenzi ajunge la sfârșit, se poate calcula productivitatea și eventualele măsuri de reconfigurare ale RMS pentru a se obține productivitatea cerută (unde este posibil acest lucru).

În cazul în care simularea unei comenzi se blochează ori productivitatea cerută nu poate fi atinsă indiferent cum se reconfigurează RMS-ul, atunci comanda nu este acceptată.

De asemenea, trebuie precizat că în timpul reconfigurărilor RMS-ului comenzile curente sunt puse pe pauză și apoi rezumate.

Pentru lansarea unei comenzi trebuie urmărite câteva etape:

1. Introducerea comenzii în baza de date (numărul de exemplare și timpul de fabricație maxim acceptat pentru producerea acestora) – machetele prezentate în fig.37÷39.
2. Crearea listei de resurse inițiale și evidențierea celor disponibile pentru a fi folosite din primul moment – macheta prezentată în fig.40.
3. Crearea listei de operații tehnologice – macheta prezentată în fig.41.
4. Crearea listei de fluxuri tehnologice (înșiruire de operații tehnologice dependente sau independente de cele anterioare).
5. Asocierea operației tehnologice cu resursele disponibile.
6. Crearea sau încărcarea și editarea modulelor RPD3D aferente operațiilor tehnologice și resurselor implicate în realizarea comenzii.
7. Reconfigurarea RMS-ului pentru maximum de productivitate versus resurse alocate.
8. Arhivarea datelor din tabelele BD ce conțin informații valoroase legate de fabricația unei comenzi în vederea unei relansări mai facile a ei.

Secțiunea cinci: Interfața DSS

Cu ajutorul acestei interfețe, managerul DSS-ului ce conduce sistemul de fabricație reconfigurabil, poate vedea rezultatele simulării fabricației diverselor produse putând astfel să decidă care dintre comenzi să le accepte și să le dea în lucru, care dintre comenzi să le trimită înapoi în portofoliul de comenzi în așteptarea unui moment mai favorabil din punct de vedere economic sau care dintre comenzi să le respingă fie pentru că rezultate simulării nu sunt cele mai bune fie pentru că onorarea acelor comenzi în momentul respectiv nu poate fi realizată cu resursele existente în atelier sau pur și simplu nu sunt viabile din punct de vedere economic.

De asemenea, tot cu ajutorul interfeței DSS managerul ce conduce sistemul de fabricație reconfigurabil, poate reconfigura sistemul de fabricație oricând se modifică disponibilitatea unei resurse a fi inclusă sau exclusă din RMS, sau atunci când dorește modificarea parametrilor unei comenzi (o productivitate mai mare, deadline redus etc).

Secțiunea șase: Rezultate

În această ultimă secțiune a S.O.D.R.M.S sunt grupate paginile web ce afișează date diverse, rezultate din simulările sau alegerile managerului DSS, date ce întregesc capacitatea de analiză a simulărilor proceselor de fabricație și anume:

- Matricea de incidență a rețelei Petri a unui modul, a unei comenzi sau a întregului sistem de fabricație reconfigurabil;
- Graful marcajelor accesibile rezultat în urma simulării fabricației unei comenzi;
- Arborele și graful de acoperire (are ca noduri marcajele, ca arce tranzițiile, iar ca lungime a arcelor timpii de execuție);
- Frecvențele de declanșare a diverselor tranziții (evaluarea performanțelor RMS);
- Vitezele de funcționare proprii și maximele a rețelei Petri;
- Graful procesual și cel de ordonanțare;

S.O.D.R.M.S are o arhitectură de portal web, fiind implementată în limbajul Java iar paginile web sunt fie fișiere html fie fișiere de tip JSP – Java Server Pages, cele de tip JSP conținând atât cod de tip html cât și cod de tip java (pentru a putea accesa datele din baza de date MySQL și pentru a rula diferiți algoritmi).

Grafica a fost realizată cu interfața tridimensională Java3D.

În cadrul tezei s-au creat condițiile dezvoltării ulterioare a unui instrument de modelare, simulare a funcționării și control al sistemelor de fabricație reconfigurabile pus la dispoziția studenților și cadrelor didactice din cadrul departamentului de Ingineria Fabricației a Facultății de Inginerie a Universității „Dunărea de Jos” din Galați, instrument ce va putea fi perfecționat de generațiile ulterioare de studenți și absolvenți și va contribui la crearea de specialiști în domeniul Ingineriei Industriale.

Era necesar un nou sistem de asistare a deciziilor, bazat pe un DSS conceput astfel încât în arhitectura acestuia să fie implementată metoda, misiunea primordială a DSS-ului fiind aceea de a structura și trata datele pentru factorii de decizie, datele fiind furnizate la momentul și în formatul potrivit.

Elementul principal al arhitecturii noului DSS este dispecerul care în abordarea noastră este un sistem informatic expert, denumit **S.O.D.R.M.S.** (Sistem to Optimal Driving for RMS), cu arhitectură de portal web, implementat în limbajul Java cu elemente de grafică Java3D, destinat managerilor ce trebuie să evalueze comenzile primite în termeni de performanță și să controleze întregul proces de producție, de la cererea clientului până la livrarea produselor.

Capitolul 6

Studiu de caz privitor la aplicarea metodei propuse de control optimal, integrat și preventiv al sistemelor de fabricație reconfigurabile

În cadrul acestui capitol va fi prezentat modul de alcătuire al Atelierului Virtual din cadrul RMS asociat unor comenzi de fabricație cu cerințe bine precizate (DD - DeadDate, TTF – TimeToFinish, EP – Earning Power), transpunerea atelierului și comenzilor într-o rețea Petri bazată pe noul model tridimensional RPD3D, simularea fabricației unor produse în cadrul Atelierului Virtual, alegerea unei comenzi optime dintre mai multe posibile (pe baza valorii EP a comenzilor) și modul în care se reconfigurează sistemul de fabricație ca răspuns la modificarea condițiilor de lucru (modificarea stărilor RES, modificarea parametrilor comenzilor aflate în lucru, reconfigurarea RMS în vederea asigurării stabilității sau modificarea valorii perioadei de dozare).

De asemenea, este bine de reamintit faptul că sistemele de fabricație reconfigurabile pentru care realizăm analiza conducerii optimale aparțin unor companii de producție de tip make-to-order (MTO), iar analiza se face în funcție de evaluarea unui indicator denumit **rata specifică a profitului „earning power” – EP**.

Aceste companii, ce folosesc sistemul make-to-order (MTO), pornesc procesul de fabricație abia după ce conținutul comenzilor a fost cunoscut și acceptat și au un răspuns mai bun la nevoile clienților, deoarece ele pot livra produse mult mai variate și mai personalizate clienților, și asta în condițiile în care costul formării atelierului de producție este mai mic.

Pentru a putea calcula valoarea lui EP trebuie cunoscute costurile de producție, timpii de producție, resursele implicate și costurile lor de operare precum și valoarea produselor fabricate.

Rata specifică a profitului se poate defini la nivelul fiecărei operații tehnologice, la nivelul fiecărui produs fabricat, la nivelul fiecărei comenzi și desigur la nivelul sistemului de fabricație, valoarea EP_{RMS} fiind de fapt cea mai importantă în analiza conducerii optimale a RMS.

În cadrul prezentului capitol vom calcula care va fi valoarea EP_{RMS} în cazul în care se va accepta o anumită comandă sau o combinație de comenzi, și cum se va reconfigura RMS-ul astfel încât EP_{RMS} să fie maximă pentru un anumit sistem de fabricație.

6.1. Prezentarea comenzilor de lucru

Pentru testarea modalităților de optimizare a fabricației unui RMS folosind noul model bazat pe rețele Petri dezvoltate tridimensionale (RPD3D), vom considera un număr de 4 comenzi de fabricare a 4 produse diferite, comenzi ce vor apare în sistem la diverse momente de timp, simultan sau separat, scopul sistemului de suport al deciziilor aferent sistemului informatic expert, denumit **S.O.D.R.M.S.** (Sistem to optimal driving for RMS), cu arhitectură de portal web, implementat în limbajul Java cu elemente de grafică Java3D, fiind evaluarea comenzilor primite în termeni de performanță și controlul întregul proces de producție, de la cererea clientului până la livrarea produselor finale.

Comanda CMD1 – Ax tubular

Prima comandă – denumită CMD1 – Ax tubular, trebuie realizată până la data de **30 Septembrie 2015 22:57:12 GMT** (DeadDate – DD - în format TimeStamp = **1443643032**), este

formată dintr-un singur produs – PRD1 (fig.13) din care trebuie fabricate un număr de 10000 de exemplare, norma de timp aferentă unei unități de produs fiind de 6380 de secunde.

Se poate observa de asemenea că valoarea câmpului EP (Earning Power) este inițial zero, urmând ca ulterior, prin simulare și calcul, să se determine valoarea corectă ce va fi suprascrisă în baza de date.

O **amprentă de timp** (TimeStamp) este o secvență de caractere sau informații codificate care identifică momentul când a avut loc un anumit eveniment, oferind de obicei data și ora din zi, uneori cu o precizie de o fracțiune de secundă. Termenul provine de la ștampilele din cauciuc utilizate în birouri pentru a nota data curentă, și, uneori timpul, cu cerneală pe documentele de hârtie, pentru a înregistra momentul primirii documentului.

În baza de date, folosim aceste amprente de timp pentru a nota momentul producerii oricărui eveniment, orice înregistrare sau ștergere a datelor în/din baza de date.

Aceste date sunt, de obicei, prezentate într-un format consistent pentru a permite compararea ușoară a două înregistrări diferite și urmărirea progreselor realizate în timp sau calculul ușor al diferențelor de timp dintre 2 evenimente diferite; practica înregistrării timestamp într-un mod consecvent de-a lungul cu datele efective este numit timestamping.

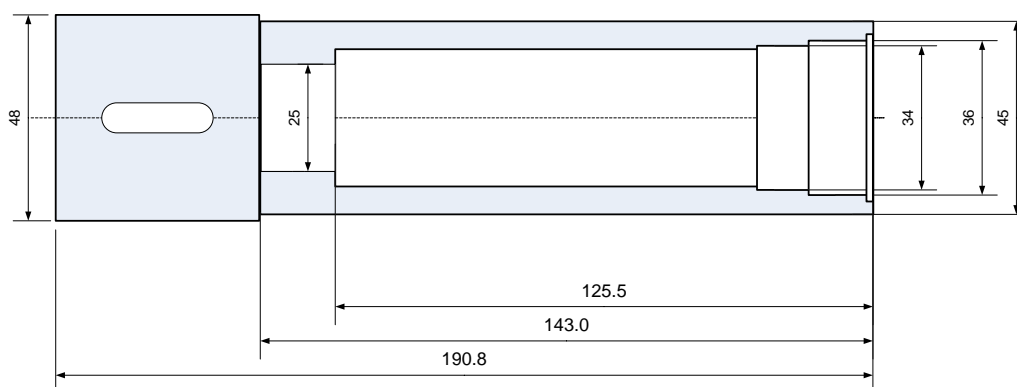


Figura 13 – Ax tubular – PRD1

Fluxurile Tehnologice aferente comenzii CMD1

FT2 (1 288 2 36 3 390 4 377 5 414 17 256 18 36) --- TTF: 1797 secunde
FT4 (1 288 2 36 3 390 6 778 7 840 17 256 18 36) --- TTF: 2624 secunde
FT6 (1 288 2 36 3 390 8 335 9 365 17 256 18 36) --- TTF: 1706 secunde
FT8 (1 288 2 36 3 390 8 371 14 374 15 390 16 372 17 256 18 36) --- TTF: 2513 secunde
FT11 (1 288 2 36 3 390 10 371 11 332 13 362 14 372 1 390 17 256 18 36) --- TTF: 2833 secunde

În tabela OT sunt 18 operații tehnologice organizate pe 7 nivele. Conform timpilor asociați operațiilor tehnologice și a ordonanțării lor rezultă mai multe fluxuri tehnologice ce pot fi parcurse în paralel în maximum **2833** de secunde timpul total necesar fabricării unui produs (cu trecerea semifabricatului prin toate operațiile tehnologice) fiind de **6380** de secunde.

Comanda CMD2 – Flanșă cu rol de susținere a unui arbore

A doua comandă – denumită CMD2, trebuie realizată până la data de **20 Noiembrie 2015, 6:44:14 PM GMT** (DeadDate – DD - în format TimeStamp = **1447989854**), este formată dintr-un singur produs – PRD2 (fig.14) din care trebuie fabricate un număr de 6000 de exemplare, norma de timp aferentă unei unități de produs fiind de **7741** de secunde.

Ca și la CMD1 valoarea câmpului EP (Earning Power) este inițial zero.

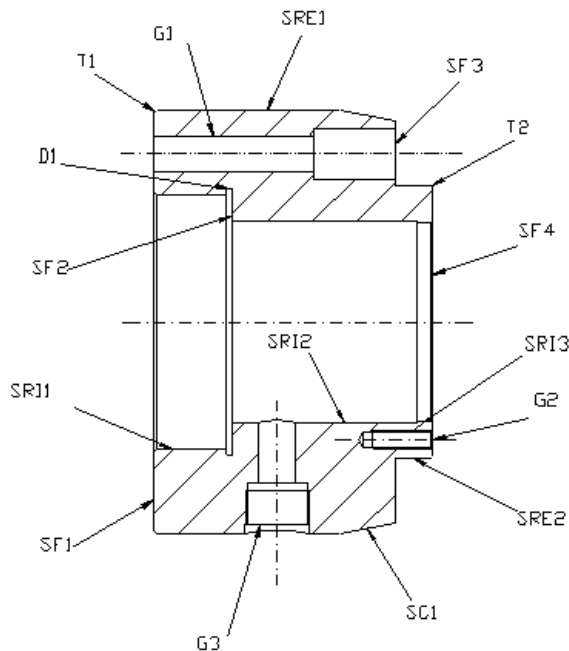


Figura 14 – Flanșă cu rol de susținere arbore – PRD2

Fluxurile Tehnologice aferente comenzii CMD2

FT2 (19 390 20 300,8 22 302,5 24 338,4 30 189 33 330 34 456 38 456) --- TTF: 2763 secunde
 FT6 (19 390 20 300,8 22 302,5 25 174 29 203 32 1008 35 456) --- TTF: 2834 secunde
 FT9 (19 390 21 578,4 23 325,2 26 170,4 28 175 31 1372 36 270 37 96) --- TTF: 3377 secunde
 FT11 (19 390 21 578,4 23 325,2 27 150 28 175 31 1372 36 270 37 96) --- TTF: 3357 secunde

În tabela OT sunt 20 operații tehnologice organizate pe 7 nivele în adâncime.

Conform timpilor asociați operațiilor tehnologice și a ordonanțării lor rezultă mai multe fluxuri tehnologice ce pot fi parcurse în paralel în maximum **3377** de secunde, timpul total necesar fabricării unui produs (cu trecerea semifabricatului prin toate operațiile tehnologice) fiind de **7741** de secunde.

Comanda CMD3 – Flanșă FL1

A treia comandă – denumită CMD3 - conduce la fabricarea unei flanșe (fig.15), și trebuie realizată până la data de **3 Octombrie 2015, 11:57:36 AM GMT** (DeadDate – DD - în format TimeStamp = **1443862656**), este formată dintr-un singur produs – PRD3 din care trebuie fabricate un număr de 5500 de exemplare, norma de timp aferentă unei unități de produs fiind de **647** de secunde. Ca și la CMD1 valoarea câmpului EP (Earning Power) este inițial zero.

Fluxurile Tehnologice aferente comenzii CMD3

FT1 (39 0 40 7,8 43 7,8 45 0 46 33 48 0 49 48 50 94,8 51 43,2 53 0) --- TTF: 235 secunde
 FT2 (39 0 40 7,8 43 7,8 45 0 47 10,8 48 0 49 48 50 94,8 51 43,2 53 0) --- TTF: 212,2 secunde
 FT3 (39 0 40 7,8 43 7,8 45 0 47 10,8 48 0 52 330 53 0) --- TTF: 356,4 secunde
 FT4 (39 0 41 42 42 26,4 44 3 45 0 46 33 48 0 49 48 50 94,8 51 43,2 53 0) --- TTF: 290,4 secunde
 FT5 (39 0 41 42 42 26,4 44 3 45 0 46 33 48 0 52 330 53 0) --- TTF: 434,4 secunde
 FT6 (39 0 41 42 42 26,4 44 3 45 0 47 10,8 48 0 52 330 53 0) --- TTF: 412 secunde

În tabela OT sunt 15 operații tehnologice organizate pe 8 nivele în adâncime.

Conform timpilor asociați operațiilor tehnologice și a ordonanțării lor rezultă mai multe fluxuri tehnologice ce pot fi parcurse în paralel în maximum **435** de secunde, timpul total necesar fabricării unui produs (cu trecerea semifabricatului prin toate operațiile tehnologice) fiind de **647** de secunde.

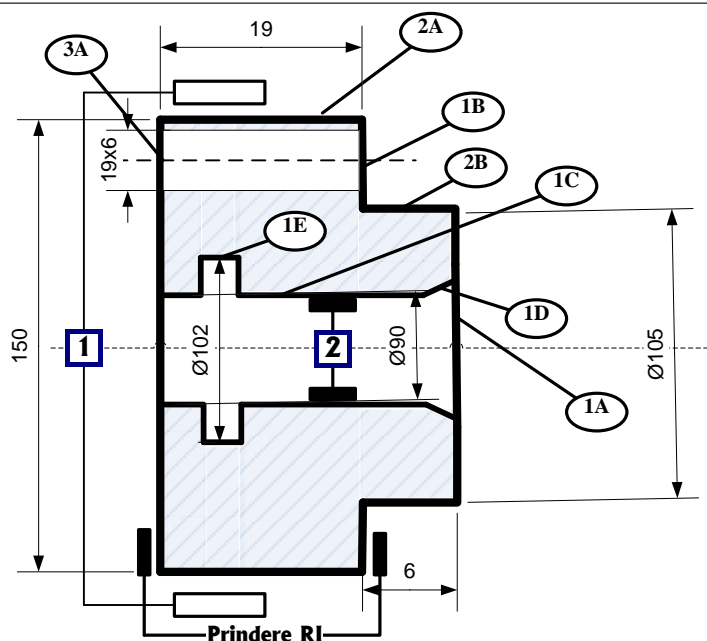


Figura 15 – Flanșă FL1 – PRD3

Comanda CMD4 – Flanșă FL2

A patra comandă – denumită CMD4 – conduce, ca și comanda precedentă, la fabricarea unei flanșe (fig.16) și trebuie realizată până la data de **15 Octombrie 2015, 2:00:56 AM GMT** (DeadDate – DD - în format TimeStamp = **1444863656**), este formată dintr-un singur produs – PRD4 din care trebuie fabricate un număr de 8500 de exemplare, norma de timp aferentă unei unități de produs fiind de **656** de secunde. Ca și la CMD1 valoarea câmpului EP (Earning Power) este zero.

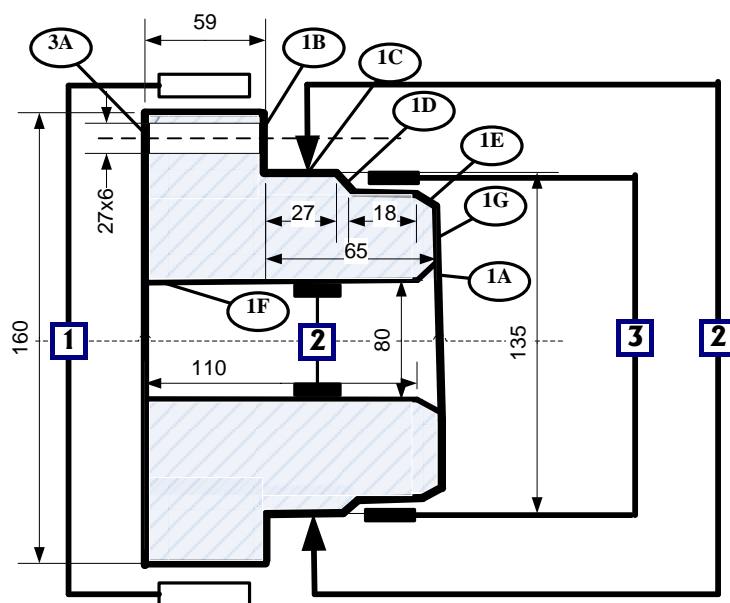


Figura 16 – Flanșă FL2 – PRD4

Fluxurile Tehnologice aferente comenzii CMD4

FT1 (54 0 55 16,8 56 75 57 23,4 61 7,8 62 0 63 33,6 65 0 66 48 67 94,8 68 43,2 69 43,2 70 43,2 71 0) --- TTF: 429 sec
 FT2 (54 0 55 16,8 56 75 57 23,4 61 7,8 62 0 64 110,4 65 0 66 48 67 94,8 68 43,2 69 43,2 70 43,2 71 0) --- TTF: 463 sec
 FT4 (54 0 58 21 59 56,4 60 46,2 62 0 63 33,6 65 0 66 48 67 94,8 68 43,2 69 43,2 70 43,2 71 0) --- TTF: 386 sec
 FT4 (54 0 58 21 59 56,4 60 46,2 62 0 64 110,4 65 0 66 48 67 94,8 68 43,2 69 43,2 70 43,2 71 0) --- TTF: 506 sec

În tabela OT sunt **18** operații tehnologice organizate pe **5** nivele în adâncime.

Conform timpilor asociați operațiilor tehnologice și a ordonanțării lor rezultă mai multe fluxuri tehnologice ce pot fi parcurse în paralel în maximum **506** de secunde, timpul total necesar fabricării unui produs (cu trecerea semifabricatului prin toate operațiile tehnologice) fiind de **656** de secunde.

6.2 Prezentarea resurselor RMS

6.2.1 Caracteristici principale ale resurselor disponibile pentru formarea Atelierului Virtual

Resursele RMS sunt toate acele echipamente, utilaje, mașini-unelte cu rol în realizarea practică a operațiilor tehnologice din cadrul produselor și comenzilor.

Trebuie precizat de la început că nu toate resursele sunt cuprinse în alcătuirea Atelierului Virtual (AT) ci doar cele aflate în starea „R”-Ready. Resursele care nu sunt cuprinse în AT au starea I (Integrabilă în RMS) și nu participă la realizarea comenzii sau comenzilor curente.

Dacă se dorește adăugarea unei resurse cu starea „I” la AT, ea trebuie trecută explicit în starea „R” (prin apăsarea unui buton din interfața managerului DSS ce face parte din software-ul creat pentru modelarea cu rețele Petri tridimensionale RPD3D), și, după trecerea unui timp denumit TTI (TimeToIntegrate) – timp necesar resursei pentru a deveni parte din sistemul de fabricație (punere în funcțiune, calibrare, testare etc), ea va deveni parte a AT-ului (fig.17).

Caracteristicile marcate cu bold vor fi introduse în baza de date și vor fi folosite pentru realizarea sincronizării dintre RES și OT (automată, semiautomată și manuală).

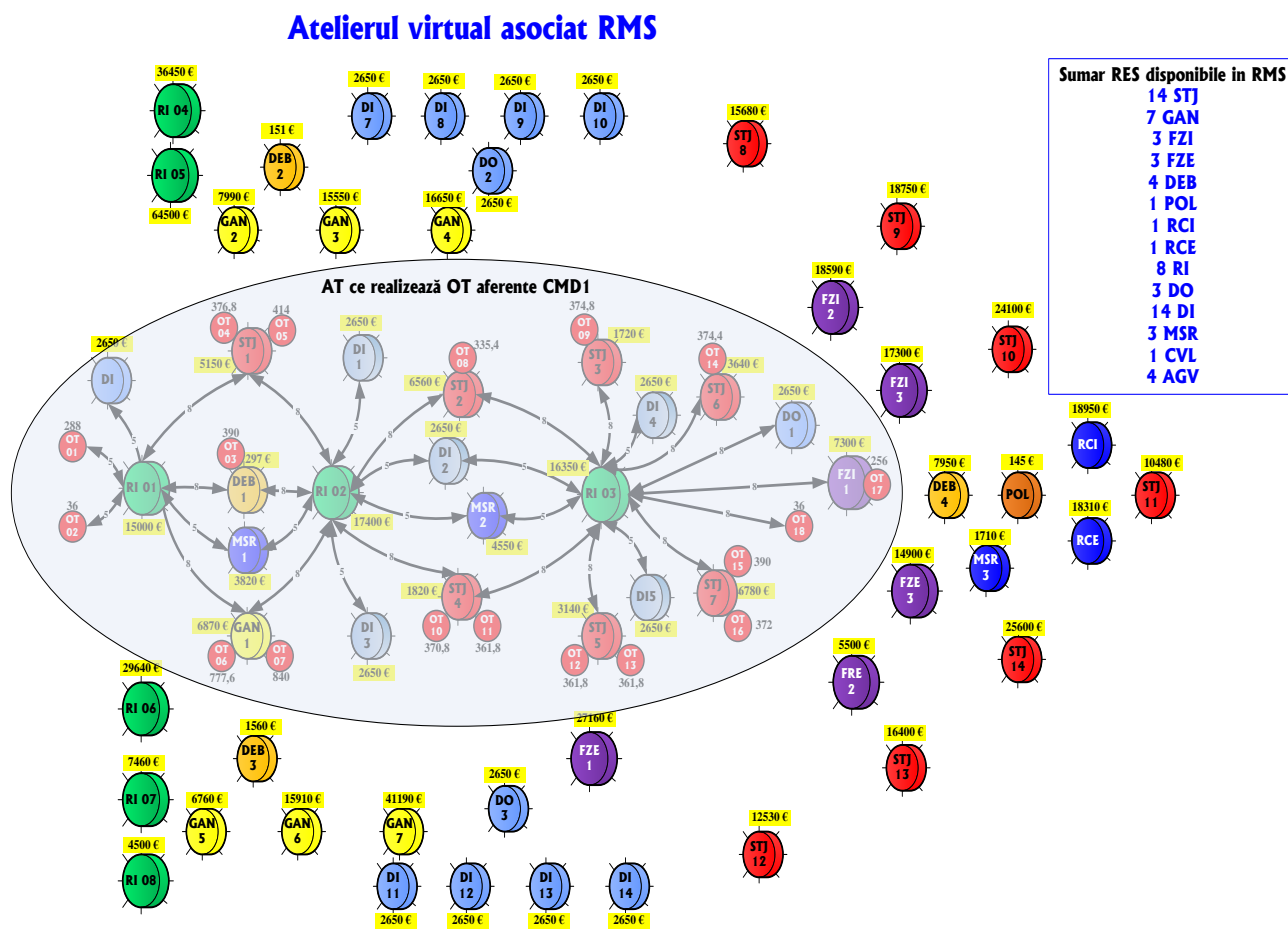


Figura 17 – Formarea atelierului virtual aferent CMD1 din resursele disponibile în RMS

6.3. Atelierul Virtual asociat comenzii CMD1

6.3.1 Reguli de asamblare a Atelierului Virtual

Dacă timpii de prelucrare a operațiilor tehnologice asociate unei comenzi sunt de 30-50 mai mari decât timpii de manipulare, încărcare / descărcare și fixare / defixare a sculelor și semifabricatelor, atunci se poate folosi o singură resursă de tip Robot Industrial (RI) pentru deplasarea pieselor de pe un post de lucru pe altul din cadrul a două nivele diferite.

Astfel, dacă operațiile tehnologice sunt grupate pe „nr. niv” nivele, înlăturând nivelele terminale, se poate formula prima regulă de asamblare a Atelierului Virtual (AT) și anume:

Numărul de RI este $= \text{mod}((\text{nr.niv}-1)/2)$

Astfel, particularizând pentru comanda CMD1, numărul de RI $= \text{mod}((7-1)/2) = 3$

Între operațiile tehnologice de pe același nivel este bine să fie amplasate depozite intermediare pentru a asigura staționarea semifabricatelor între fluxurile care au timpi de realizare diferiți, în timp ce între operațiile tehnologice ce sunt consecutive și depind una de alta nu este nevoie de Depozite intermediare (Di).

Numărul Di este egal cu numărul FT.

Astfel, particularizând pentru comanda CMD1, numărul de Di = 5

În ceea ce privește alimentarea cu scule, se poate monta o Magazie de Scule Rotativă (MSR) între 2 roboți industriali sau între un robot și un AGV, astfel particularizând numărul de depozite de scule, acesta va fi de 2.

Legăturile dintre modulele din cadrul atelierului se realizează prin arce de pondere = 2 și se stabilesc în următoarele situații:

- între module ce modelează o resursă de tip mașină-unealtă și un modul ce modelează o operație tehnologică (sau între 2 operații tehnologice);
- modulele RPD3D ce modelează resurse sau operații tehnologice, se vor lega între ele, automat, prin așa-numitele „disponibilități”: RES Ready, MS Ready, DEP Ready, RI Ready etc;
- între module ce modelează operații tehnologice diferite dar dependente una de cealaltă;

Legăturile dintre module în atelierele ce modelează comenzi diferite se realizează prin arce de pondere = 1 și se stabilesc între modulele aferente resurselor comune celor 2 comenzi și restul modulelor.

Dat fiind că tabela AT se populează automat cu date din tabela MODULE și Mod_xxx, legăturile de pondere = 1 și 2 vor fi adăugate la sfârșitul tabelii AT prin programul Populare_AT.JSP folosind datele din tabela OT, câmpul OT_DEPEND, și datele din tabela MODULE, câmpul IT_OT, stabilind astfel care modul aferent cărei operații tehnologice se leagă de alt modul aferent unei operații tehnologice independente de cea anterioară dar aflată în aceleași flux tehnologic cu cea anterioară.

6.3.2 Calcularea fluxurilor tehnologice (FT)

Primul caz analizat este ca fiecare operație tehnologică să aibă asociată o resursă diferită.

Astfel, cel mai simplu flux tehnologic – FT0 - este compus din resursele asociate operațiilor tehnologice așezate în linie.

În continuare se citește conținutul tabelii OT, se calculează și se afișează următorul text:

„Conform timpilor asociați OT și a ordonanțării lor rezultă FT0 ce poate fi parcurs în "TTF" de secunde", unde TTF (TimeTo Finish) este obținut prin însumarea simplă a timpilor asociați OT.

O altă modalitate de aranjare a resurselor este cea în paralel (în conformitate cu dependențele dintre OT – date în fișa tehnologică ce însoțește comanda produsului), generându-se astfel mai multe fluxuri tehnologice.

Algoritmul de creare a acestor fluxuri tehnologice este următorul:

„Nivelul 1 - se parsează tabela OT și se află câte OT sunt legate de OT1, acestea fiind memorate în vectorul niv1;

Nivelul 2-infinit – se deschide un ciclu infinit după numărul nivelului și apoi doar pentru OT-urile care au avut niv_anterior diferit de zero se va parsa din nou tabela OT și se vor scoate în vectorul niv_nivel_curent OT-urile de care sunt acestea sunt legate, iar în vectorul fii_nivel_curent vor fi trecuți numărul de fii ai fiecărei OT, prin fii înțelegând OT-urile care, pentru a se putea realiza, depind de realizarea anterioară a unei alte OT.

leșirea din ciclul infinit după numărul nivelului se realizează atunci când nu mai există OT-uri noi de prelucrat. La sfârșit se calculează timpii pentru fiecare flux tehnologic, TTF maxim și TTF total (timpul corespunzător fluxului FT0), și se afișează aceste date calculate în formatul:

" În tabela OT sunt 'xxxx' operații tehnologice organizate pe 'nnnnn' nivele în adâncime.

"Conform timpilor asociați OT și a ordonanțării lor rezultă mai multe FT ce pot fi parcurse în paralel în maximum 'TTF maxim' de secunde, timpul total necesar fabricării unui produs (cu trecerea semifabricatului prin toate OT) fiind de 'TTF total' de secunde".

6.3.3 Gruparea operațiilor tehnologice pe resurse disponibile

Crearea atelierului presupune mai întâi determinarea dependențelor dintre operațiile tehnologice.

Pasul 1: se caută resurse de tip mașină-unealtă pentru OT1.

Pasul 2: se caută resurse pentru operațiile tehnologice ce sunt direct dependente de realizarea OT1. Independența operațiilor presupune alegerea câte unei resurse pentru fiecare operație tehnologică în parte și montarea acestora în paralel, dar presupunem că nu avem disponibile decât câteva strunguri normale și doar o singură mașină de găurit verticală. Vom pune strungurile pe un nivel iar mașina de găurit pe nivelul următor.

Pasul 3: Resursele pentru operațiile tehnologice extrem de specializate se găsesc greu sau se refuză comanda.

Pasul 4: După cum sunt așezate resursele de tip mașină-unealtă, se așează și resursele de tip depozit (DEP). În cazul în care resursele de prelucrare de pe un nivel sunt independente între ele atunci între nivelurile succesive ale RMS se caută să se asigure depozite intermediare cu o capacitate calculată în funcție de timpii de producție ai resurselor implicate, iar în cazul în care resursele de prelucrare de pe un nivel sunt dependente de cele anterioare atunci nu mai este nevoie de depozite intermediare între nivelurile succesive ale RMS.

Pasul 5: Pe baza datelor din baza de date, respectiv tabelele RES și OT, se realizează atelierul de producție (se introduc doar resursele disponibile la momentul respectiv) și se face o analiză a posibilităților de fabricare a produselor (s-ar putea ca pentru o anumită operație tehnologică să nu existe nici o resursă disponibilă la momentul când ar trebui realizată și atunci comanda să intre în starea P – Pauză).

După analizarea operațiilor tehnologice și a dependențelor acestora, se creează fluxurile tehnologice FT.

Pentru fiecare flux se calculează TTE_FT și se elimină fluxul pentru care $TTE_FT > TTF$ (dată de intrare obținută din tabela CMD).

Dacă se elimină toate fluxurile atunci:

- în ordinea descrescătoare a timpilor de execuție a operațiilor tehnologice se vor căuta alte resurse care să execute acele operații tehnologice mai repede;

- se va încerca eliminarea depozitelor intermediare de piese (necesită recalcularea capacităților pozițiilor de tip V și R);

- se va încerca modificarea sistemului de transport piese și scule în sensul scăderii TTE_FT.

În cazul extrem în care toate aceste ajustări nu sunt suficiente, este afișat cel mai bun timp de producție și întrebat managerul sistemului de asistare a deciziilor – DSS - dacă acceptă acest timp ca dată de intrare (comanda este deja în starea L - Lansată) sau comanda este pusă pe starea

P (în așteptarea disponibilizării unei resurse mai performante care să micșoreze TTE_FT) sau comanda este respinsă (starea J - Respinsă).

Altfel, se alege fluxul cu cel mai mic TTE_FT, se assemblează RMS-ul corespunzător din RPD3D asociate fiecărei resurse sau operațiilor tehnologice implicate în flux și apoi se calculează capacitățile pozițiilor de tip V și R astfel încât RPD3D asociată RMS să fie stabilă.

Pasul 6: Pe baza configurației atelierului se adaugă magazii de scule rotative (MSR) ce pot fi alimentate de către AGV-uri și deservite de roboți.

Astfel, dacă resursele sunt în linie, se poate folosi un o magazie de scule generală, poziționată la mijlocul liniei, sculele fiind duse/aduse de la resurse de către AGV-uri, cu stații lângă resurse sau lângă roboți.

Dacă resursele sunt aranjate pe ramuri paralele, atunci trebuie folosită câte o magazie pentru fiecare ramură, piesele fiind duse/aduse de roboți direct de pe magazie, sau tot cu ajutorul AGV-urilor dacă ramurile sunt mai lungi de 3-4 resurse.

Pasul 7: Ultimile elemente ale sistemului de fabricație reconfigurabil ce sunt adăugate în atelier sunt roboții. Tipul acestora, dimensiunile și modul lor de lucru pot fi alese astfel încât să se poate realiza deplasarea pieselor între elementele RMS-ului.

Pe măsură ce elementele componente ale atelierului sunt adăugate, în mod automat sunt inserate datele aferente acestora în tabela AT din tabela MOD unde sunt salvate rețelele RPD3D ale modulelor respective.

Cu această rețea Petri de tip RPD3D se începe simularea fabricației, pe parcursul acesteia RMS-ul putându-se reconfigura datorită modificării stării unor resurse.

6.3.4 Desen atelier virtual cu resursele și operațiile tehnologice asociate comenzii CMD1

Ținând cont de considerațiile enunțate în subcapitolul anterior (6.3.3), și de datele aferente primei comenzi (CMD1), respectiv de lista operațiilor tehnologice și interdependențele dintre acestea, s-a putut realiza sincronizarea OT-RES, rezultând atelierul virtual AT1 prezentat în fig.18.

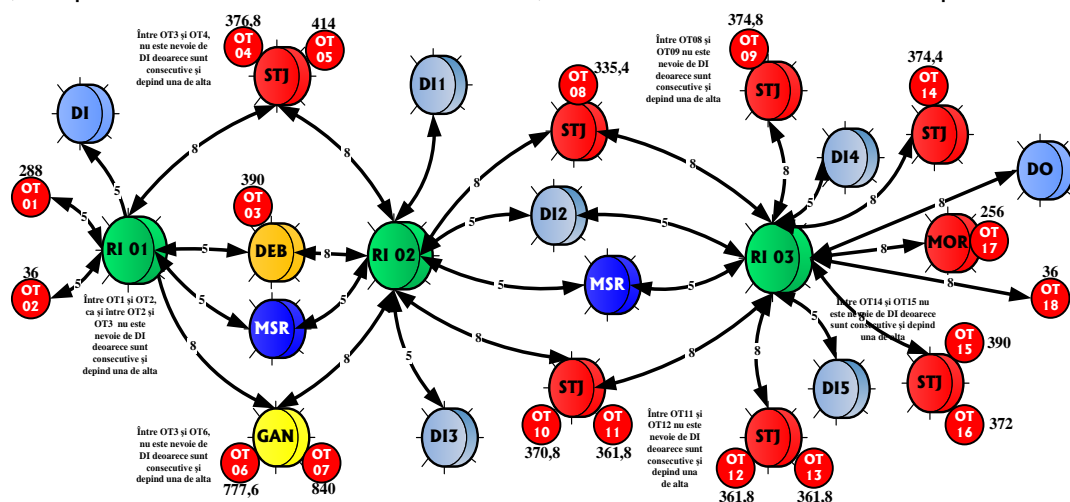


Figura 18 - Asocierea dintre OT aferente comenzii CMD1 și RES realizată după dependențele dintre OT și sincronizarea OT-RES bazată pe valorile celor trei caracteristici principale

6.3.5 Asocierea coordonatelor 3D pentru fiecare dintre elementele atelierului creat pentru CMD1

Ținând cont de atelierul virtual AT1 prezentat în figura 18 și dimensiunile medii ale unui modul RPD3D de 200x200x200 px (pixeli), s-a putut realiza asocierea de coordonate 3D pentru fiecare dintre elementele atelierului. Pentru a simula funcționarea acestui atelier, în locul fiecărui element va fi desenată RPD3D echivalentă, coordonatele elementului reprezentând coordonatele

centrului fiecărei rețele Petri 3D. Se vor separa apoi din aceste rețele Petri pozițiile și tranzițiile, ale căror coordonate globale vor fi date de suma dintre coordonata centrului rețelei și coordonatele poziției respectiv tranziției din acea rețea, rezultând AT din figura 19.

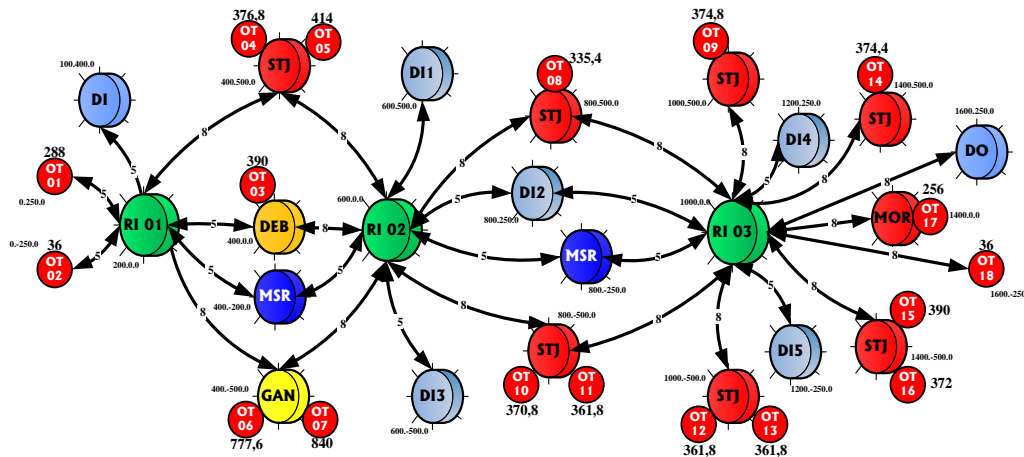


Figura 19 - Asocierea de coordonate 3D pentru fiecare dintre elementele AT creat pentru CMD1

6.4 Transpunerea atelierului și comenzilor într-o rețea Petri bazată pe RPD3D

Modalitatea de populare automată a tabelii AT cu datele din tabela MODULE și MOD_xxx

Legăturile dintre modulele din cadrul atelierului se realizează prin arce de pondere = 2 și se stabilesc în următoarele situații:

- între module ce modelează o RES de tip MU și un modul ce modelează o OT (sau 2);
- modulele RPD3D ce modelează RES sau OT-uri, se vor lega între ele, automat, prin așa-numitele „disponibilități”: RES Ready, MS Ready, DEP Ready, RI Ready etc (fig.20);
- între module ce modelează OT-uri diferite dar dependente una de cealaltă;

Legăturile dintre module între AT-uri ce modelează comenzi diferite se realizează prin arce de pondere = 1 și se stabilesc între modulele aferente resurselor comune și restul modulelor.

Dat fiind că tabela AT se populează automat cu date din tabela MODULE și Mod_xxx, legăturile de pondere = 1 și 2 vor fi adăugate la sfârșitul tabelii AT prin programul Populare_AT.JSP folosind datele din tabela OT, câmpul OT_DEPEND, și datele din tabela MODULE, câmpul IT_OT, stabilind astfel care modul aferent cărei OT se leagă de alt modul aferent unei OT independente de cea anterioară dar aflată în aceleași FT cu cea anterioară.

Modalitatea de populare automată a tabelii AT cu datele din tabela MODULE și MOD_xxx este realizată astfel:

1. confirmare conectare la MySQL;
2. se citește tabela MODULE și se afișează conținutul;
3. se citesc pe rând tabelele MOD_XXX și se afișează conținutul;
4. scrierea datelor extrase din tabela MODULE și tabelele MOD_xxx în tabela AT;
5. aflarea ultimului ID din tabela AT;
6. scrierea datelor extrase din tabela MODULE și tabelele MOD_xxx în tabela AT;

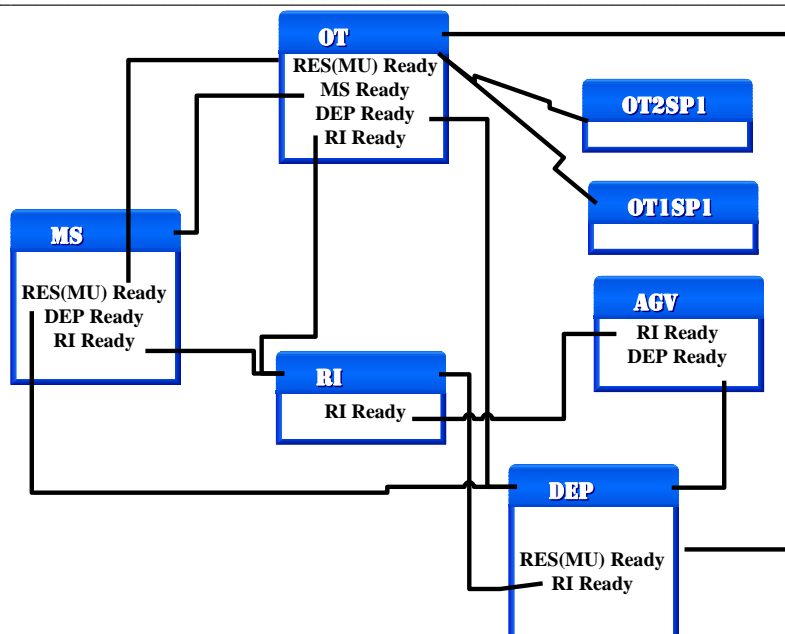


Figura 20 - Modalitatea de legare automată, prin așa-numitele „disponibilități” (RES Ready, MS Ready, DEP Ready, RI Ready), a modulelor RPD3D aferente unei comenzi dată RMS-ului

6.5 Simularea fabricației unor produse în cadrul Atelierului Virtual

Algoritm de simulare a fabricației unei comenzi (R3)

În primul rând, toate modulele sunt construite din elemente denumite identic (POZ, TRZ, LEG, CON) și plasate la coordonate identice.

Pentru a le putea diferenția și a putea lucra cu ele, în tabela AT precum și în programul de simulare denumirea lor va fi urmată de numărul modului (Ex: V1 din modulul Mod_023 va fi transformată în V1_023, T22 din modulul Mod_004 va deveni T22_004 etc), iar la coordonatele elementului vor fi adăugate cele ale modului (Ex: Coord. elementului I6 din modulul Mod_045 – coord. centru modul (400,-500,0) se vor transforma din (-70,-60,-10) în (330,-560,-10)).

Algoritm de simulare a fabricației:

Faza 1

1. Se începe simularea fabricației cu comanda CMD1, deoarece este prima comandă cu starea „R” - Ready sau „N” - New.
2. Modulele aferente CMD1 (operații tehnologice și resurse) sunt parsate iar datele din ele încărcate în tabela AT – se realizează prin programul [populare_at.jsp](#). Desemenea, este foarte important ca **marcajul POZ C1 să fie egal cu numărul exemplarelor comandate (ce poate fi obținut din tab. PRD)**.
3. Se stabilește o primă valoare pentru perioada de dozare timpul necesar fabricării unui exemplar din produsul creat de CMD1.
4. Sincronizarea stării conectorilor M1-M6 aferenți modulelor cu valorile pozițiilor de tip C (dacă conectorul este în starea ON atunci marcajul poziției este 1, altfel este 0).
5. Se afișează M0 (vectorul marcaj inițial al tuturor pozițiilor) și se inserează M0 în tabela MRJ.

Faza 2

1. Se deschide un ciclu FOR infinit după timp;
2. Se iau pe rând toate tranzițiile, se află ce legături de intrare au, se verifică dacă toate aceste intrări de tip POZ au marcajul diferit de zero și se decide astfel dacă tranzițiile sunt accesibile sau nu;

3. Se calculează maximul sumei timpilor de execuție ai pozițiilor de intrare.
4. Dintre tranziții se execută, **în fiecare modul**, una singură, în conformitate cu regulile:
Reg 1: dacă există, **în fiecare modul**, o singură TRZ accesibilă – aceea se execută;
Reg.2: dacă există, **în fiecare modul**, mai multe TRZ accesibile – se execută cea cu timpul de execuție cel mai mic sau prima dintre ele în cazul în care timpii de execuție sunt egali;
Dacă T1_001 și T1_057 sunt accesibile simultan, ele se vor executa în același timp.
Reg.3: dacă NU există, **în toate modulele**, nici o TRZ accesibilă – atunci simularea comenzii CMD1 se termină cu mesajul: „Simulare blocată, nu mai sunt TRZ accesibile”, comanda CMD1 trece în tabela POR (portofoliul de comenzi) cu starea P – Pause sau J - respinsă.
Se verifică dacă mai sunt comenzi cu starea „R”, se încarcă prima dintre ele în tabela AT, tabelă purjată de date în prealabil (ca și OT-RES), noua perioadă de dozare fiind egală cu timpul necesar fabricării a 100 de exemplare din produsul aferent noii comenzi.

Faza 3

1. Pentru tranziția care se execută, se iau pozițiile de intrare și li se incrementează marcajul cu o unitate, iar la pozițiile de ieșire li se decrementează marcajul cu o unitate.
2. Se recitește marcajul tuturor pozițiilor și se afișează noul marcaj.

Faza 4

1. Se parsează „trz_acc” – vectorul tuturor tranzițiilor accesibile și se adună la TTE (TimeToExecute) timpul corespunzător poziției „trz_exec” și se inserează noul marcaj în tabela MRJ.

Faza 5

1. Se compară timpul trecut din ciclul infint cu valoarea perioadei de dozare:
Dacă NU – se execută în continuare tranziția accesibilă (Faza 2);
Dacă DA – se verifică dacă mai există comenzi în POR cu starea „R” sau „N” - New:
Dacă NU – simularea comenzii CMD1 continuă;
Dacă DA – se verifică dacă comanda nouă găsește toate modulele RPD3D necesare:
Dacă DA – atunci comenzile pot merge în paralel și se pot compara valorile EP, DD și TTF și decide care dintre comenzi este mai profitabilă fiind astfel păstrată în execuție.
Dacă NU – atunci probabil că o parte dintre resurse vor fi comune și astfel simularea comenzii noi va afecta simularea celei vechi, modificându-i parametrii EP, DD și TTF.
După trecerea unei perioade de dozare = timpul de fabricație a 100 de produse din cele 2 comenzi, se vor compara EP, DD și TTF și se va alege una din două sau una dintre ele (probabil comanda cu valorile cele mai mici), iar apoi i se vor aplica reconfigurări de tipul R4 și R5 în vederea creșterii valorii parametrilor.

6.6 Alegerea comenzii optime pe baza valorii EP_{sistem} calculat pentru fiecare atelier virtual

Pentru calcularea valorilor EP_{sistem} vor trebui calculate mai întâi câteva date necesare:

1. Salariul mediu pe economie în 2015 este de 2415 RON, numărul de ore lucrate pe lună de 160, deci pe ora lucrată salariații au fost plătiți, în medie, cu 15,09375 RON, iar pentru fiecare minut lucrat aceiași salariați au primit, în medie, 0,2516 RON.
2. Salariile calculate mai sus vor trebui să fie ponderate cu valoarea regiei atelierului, regie ce poate varia între 200 % pentru operații tehnologice simple din punct de vedere al manoperei și 400 % pentru cele complicate.
3. În ceea ce privește costul produselor, ele vor fi egale cu suma costurilor operațiilor tehnologice (timpul de lucru x salariul mediu pe economie) moderate cu un adaos între 10-20 %;
4. Pentru calculul EP_{sistem} va fi folosită relația următoare:

$$EP_{\text{sistem}} = (\text{prețul operațiilor efectuate [€]} - \text{costurile operațiilor efectuate [€]}) / A_{\text{sistem}} \times \text{tperiod} \quad [€ \times \text{min}],$$

unde A_{sistem} este assetul întregului sistem, iar tperiod este perioada de folosire a acestui asset.

Asocierea dintre resursele și operațiile tehnologice aferente comenzii CMD1 și calcularea $EP_{\text{sistem}1}$

Vom începe calculele cu comanda CMD1 – 10000 bucăți PRD1 în 6380 sec./produs.

Cost total produs PRD1 => **90,3139 RON**, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda costul celor 10000 bucăți = 903139 RON = 200697,5 €

Produsele de tip PRD1 se pot valorifica cu un preț = costul total * adaos de 10 %, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda prețul celor 10000 bucăți = 1083766,8 RON = 220767,25 €

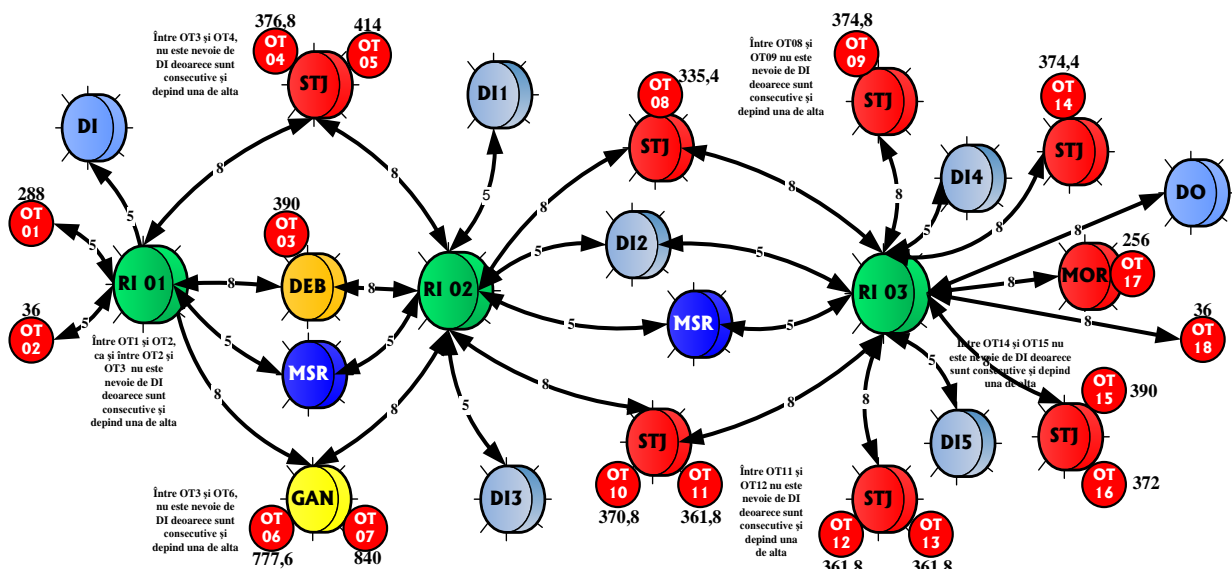


Figura 21 - Atelier virtual cu resursele și operațiile tehnologice asociate comenzii CMD1

Resursele care nu sunt cuprinse în alcătuirea Atelierului Virtual (fig.21) au starea I (Integrabilă în RMS) și nu participă la realizarea comenzii CMD1 și deci nici nu influențează valoarea lui $EP_{\text{sistem}1}$. OT1 și OT2 nu au asociată nici o resursă;

În total, resursele (asset-urile) vor participa la calculul EP_{sistem} cu valoarea de **745311,4 [€ x min]** / unitate de produs, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda de 10000 de unități de produs $EP_{\text{sistem}1} = 20069,8 \text{ €} / (745311,4 \times 10000) = 2.69 \text{ e-6}$

Assetul mediu folosit în realizarea comenzii CMD1 a fost de **7011 €**.

$EP_{\text{sistem}1} = 0,0000269$ – înseamnă că Atelierul Virtual asamblat pentru a realiza comanda CMD1 a permis obținerea unui profit de **0,0269 €** la fiecare € investit în fiecare minut de lucru al AT timp de **738,2 zile (2,02 ani)**

Asocierea dintre resursele și operațiile tehnologice aferente comenzii CMD2 și calcularea $EP_{\text{sistem}2}$

Comanda CMD2 presupune fabricarea a 6000 bucăți din PRD2 în 7741 sec./produs.

Cost total produs PRD2 => **106,6759 RON** ceea ce înseamnă că pentru toată comanda CMD2 costul celor 6000 bucăți de produs = **640055,4 RON = 142234,5 €**

Produsele de tip PRD2 se pot valorifica cu un preț = costul total * adaos de 10 %, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda prețul celor 6000 bucăți = **704061 RON = 156458 €**

Resursele care nu sunt cuprinse în alcătuirea Atelierului Virtual (fig.22) au starea I (Integrabilă în RMS) și nu participă la realizarea comenzii CMD2 și deci nici nu influențează valoarea lui $EP_{\text{sistem}2}$.

În total, resursele (asset-urile) vor participa la calculul $EP_{\text{sistem}2}$ cu valoarea de **2039947** [€ x min] / unitate de produs, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda de 6000 de unități de produs $EP_{\text{sistem}2} = 14223,45 / (2039947 * 6000) = 1,162e-6$

Assetul mediu folosit în realizarea comenzii CMD2 a fost de 15478 €.

$EP_{\text{sistem}2} = 0,000001162$ – înseamnă că **Atelierul Virtual asamblat pentru a realiza comanda CMD2 a permis obținerea unui profit de 0,01162 € la fiecare € investit în fiecare minut de lucru al AT timp de 537,6 zile (1,47 ani)**

Ca variantă pentru calcularea valorii lui $EP_{\text{sistem}2}$, pentru compararea rezultatelor obținute cu $EP_{\text{sistem}1}$, se vor folosi la fabricarea comenzii CMD2, pe cât posibil, aceleași resurse ca în cazul comenzii CMD1:

În total, resursele (asset-urile) vor participa la calculul $EP_{\text{sistem}2}$ cu valoarea de **1886596** [€ x min] / unitate de produs, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda de 6000 de unități de produs $EP_{\text{sistem}2} = 14223,45 / (1886596 * 6000) = 1,256 e-6$.

Assetul mediu folosit în realizarea comenzii CMD2 a fost de 12375,2 € (în scădere cu 20,05 % față de varianta în care se folosesc resursele mai scumpe).

$EP_{\text{sistem}2} = 0,000001256$ – (în creștere cu 7,48 % față de varianta în care se folosesc resursele mai scumpe).

Asocierea dintre resursele și operațiile tehnologice aferente comenzii CMD3 și calcularea $EP_{\text{sistem}3}$

Comanda CMD3 presupune fabricarea a 5500 bucăți din PRD3 în 647 sec./produs.

Cost total produs PRD3 => 8,567 RON, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda CMD3 costul celor 5500 bucăți de produs = **47118,5 RON = 10470,8 €**

Produsele de tip PRD3 se pot valorifica cu un preț = costul total * adaos de 10 %, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda prețul celor 5500 bucăți = **51830 RON = 11517,88 €**

În total, resursele (asset-urile) vor participa la calculul $EP_{\text{sistem}3}$ cu valoarea de **186857** [€ x min] / unitate de produs, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda de 5500 de unități de produs $EP_{\text{sistem}3} = 1047,08 / (186857 * 5500) = 1,0188e-6$

Assetul mediu folosit în realizarea comenzii CMD3 a fost de 5729,5 €.

$EP_{\text{sistem}3} = 0,00000102$ – înseamnă că **Atelierul Virtual (fig.23) asamblat pentru a realiza comanda CMD3 a permis obținerea unui profit de 0,0102 € la fiecare € investit în fiecare minut de lucru al AT timp de 41,2 zile (0,11 ani).**

Asocierea dintre resursele și operațiile tehnologice aferente comenzii CMD4 și calcularea $EP_{\text{sistem}4}$

Comanda CMD4 presupune fabricarea a 8500 bucăți din PRD7 în 656 sec./produs.

Cost total produs PRD4 => 8,9445 RON, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda CMD4 costul celor 8500 bucăți de produs = **76028,25 RON = 16895,2 €.**

Produsele de tip PRD4 se pot valorifica cu un preț = costul total * adaos de 10 %, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda prețul celor 8500 bucăți = **83631 RON = 18584,7 €**

În total, resursele (asset-urile) vor participa la calculul $EP_{\text{sistem}4}$ cu valoarea de 124957 [€ x min] / unitate de produs, ceea ce înseamnă că pentru toată comanda de 8500 de unități de produs $EP_{\text{sistem}4} = 1689,52 / (124957 * 8500) = 1,591e-6$

Assetul mediu folosit în realizarea comenzii CMD4 a fost de 6013 €.

$EP_{\text{sistem}4} = 0,000001591$ – înseamnă că Atelierul Virtual (fig.24) asamblat pentru a realiza comanda CMD4 a permis obținerea unui profit de 0,01591 € la fiecare € investit în fiecare minut de lucru al AT timp de 64,54 zile (0,1768 ani).

6.7 Efectele includerii / excluderii unei resurse din RMS (R4)

RMS-ul este un sistem de fabricație a cărui calitate de reconfigurabilitate trebuie să se bazeze pe factori economici care să ofere asigurarea că beneficiile obținute depășesc costurile reconfigurării și pierderile de producție pe durata acestei operații.

Presupunem că această condiție este îndeplinită în toate cazurile și presupunem că **durata reconfigurării este cât mai mică** (timpul pentru R3 și R5 nu trebuie să depășească timpul necesar fabricării unui exemplar din produs).

Deasemenea, **reconfigurabilitatea trebuie să fie atomică** – se realizează o singură modificare după care se reevaluează starea RMS-ului.

Ce alte presupuneri (condiții preliminare) se mai pot face vizavi de RMS:

- ✓ presupunem că resursele nu sunt reconfigurabile (au funcții precise) ci doar ansamblul lor (RMS-ul);
- ✓ presupunem că nu toate resursele sunt disponibile, în momentul inițierii comenzii, pentru a forma atelierul de producție, o parte dintre ele urmând a deveni disponibile ulterior.
- ✓ presupunem că resursele funcționează autonom, fiecare fiind capabilă să-și diagnosticheze erorile și să știe cum să înlăture efectele acestora (gestionarea erorilor), în caz contrar resursa intră în starea D (Damaged) și așteaptă să fie reparată.
- ✓ spunem că o resursă este disponibilă pentru a fi implicată în fabricația unui produs dacă ea rămâne în starea R (Ready) mai mult timp decât este necesar pentru ca ea să poată fi integrată în RMS ($timpR > TTI$)
- ✓ presupunem că RPD3D ce modelează funcționarea unei operații tehnologice arată la fel indiferent de dimensiuni, timpi conducători sau materialele implicate, ceea ce conduce la o standardizare a acestor rețele, ele putând fi predefinite și încărcate în funcție de operația tehnologică.

Tipuri de reconfigurare a RMS:

1. Reconfigurare periodică: în punctele de dozare, prin introducerea sau eliminarea unor comenzi.

2. Reconfigurare accidentală: introducerea sau eliminarea unor resurse din sistemul de fabricație și modificarea perioadei de dozare.

Analizând stările posibile ale resurselor am descoperit 6 asemenea stări (fig.25): R – Ready, W – Work, D – Damaged, P – Paused, E – Error corection și I – IntoRMS (Integrabilă în RMS), 10 acțiuni posibile: I to R, R to I, R to W, W to R, W to P, P to W, W to D, D to E, E to I, E to W. Pentru o claritate mai mare în reprezentarea acestor stări li s-au alocat culori diferite: Ready – Bleu, Work – Verde, Damaged – Roșu, Paused – Albă, Error corection – Galben și IntoRMS – Portocaliu.

Resursa începe automat un proces de autodiagnosticare în urma căruia se identifică eroarea. După identificarea erorii, automat (timp 0), RES trece în starea E și este începută operația de corectare a erorii (defecțiunii). Tot automat (timp 0) resursa trece în starea R dacă defecțiunea a fost remediată sau în starea I (după timpul TTE) dacă nu a fost remediată.

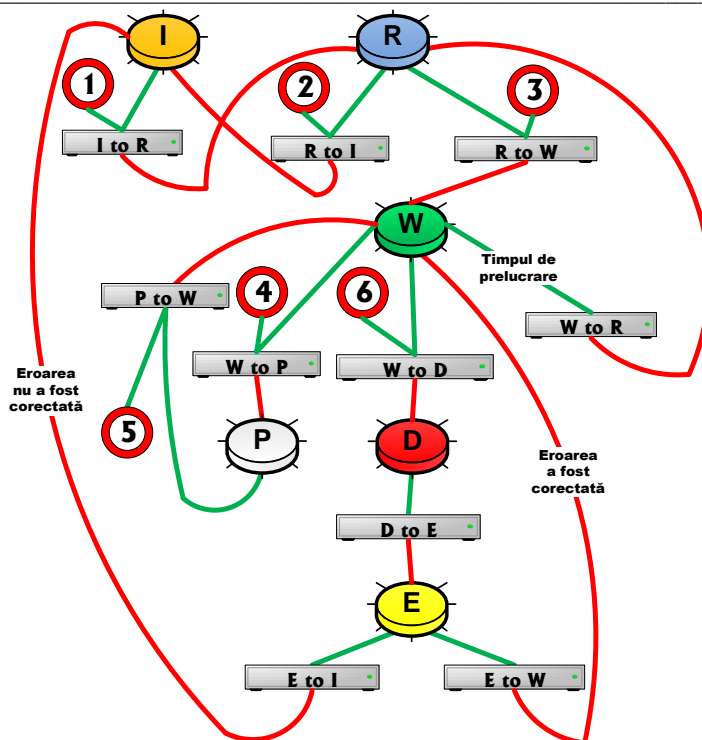


Figura 25 – reprezentare stări RES

6.8 Modificarea perioadei de dozare (R5)

Datele sunt transferate între programul de producție, programele de simulare a fabricației, portofoliu și interfața operatorului cu RMS-ul (interfața DSS) exclusiv prin intermediul bazei de date MySQL, ele fiind înscrise, citite, șterse sau actualizate de către programe tip *.JSP

Algoritm pentru testarea valorii optime a perioada de dozare:

P01. Se verifică tabela CMD pentru a se vedea câte comenzi sunt, ce cerințe aferente acestora există (deadline-uri, nr. de exemplare etc).

P02. Se stabilește perioada de dozare (perioada de timp după care se recitește conținutul portofoliului de comenzi) astfel încât să fie compatibilă ca și ordin de mărime cu durata unei zile.

P03. Se începe producția cu comanda sau comenzile pentru care OT-urile sunt acoperite cu resurse, celelalte comenzi fiind introduse în portofoliul de comenzi, și se crează atelierul din resursele disponibile în acel moment.

P04. În timpul primei perioade de dozare, se trece CMD1 în starea „L”, iar CMD2 se trece în starea „D” - se amână executarea ei, CMD2 ajungând în portofoliul de comenzi.

P05. În a doua perioadă de analiză, CMD1 rămâne în starea „L”, CMD2 se întoarce, în starea „D”, spre analiză dinspre portofoliu, iar CMD3 „N” apare ca și comandă nouă.

Comenzile din portofoliu sunt aduse periodic (după trecerea perioadei de dozare) în RMS, este simulată fabricația lor și în funcție de disponibilitatea resurselor necesare sunt trecute în starea „D” și retrimise în portofoliu sau sunt trecute în starea „J” și sunt respinse, iar în funcție de valoarea EP-ului maxim după simulare pot fi trecute în starea „D” și retrimise în portofoliu sau sunt trecute în starea „L” și sunt acceptate.

P06. Când comanda este terminată (sunt produse toate exemplarele comandate și se atinge DD-ul comenzii) ea trece în starea „F”, rămânând în baza de date a RMS pentru a putea fi reluată, la un alt moment de timp, într-un timp mult mai scurt. Comenzile trecute în starea „J” nu sunt memorate de baza de date, ele fiind respinse de sistem.

P07. Când toate comenzile sunt în starea „F”, RMS-ul se oprește, așteptând alte comenzi.

Scopul acestui capitol este de a prezenta o nouă tehnică de modelare a funcționării sistemelor de fabricație reconfigurabile, noul model fiind denumit RPD3D – rețele Petri dezvoltate tridimensionale.

Cu ajutorul acestui model am putut evalua un set de patru comenzi date sistemului de fabricație din punct de vedere al profitabilității acceptării în fabricație a unei comenzi sau a altelei precum și în scopul conducerii optimale a sistemului la nivel operațional.

Indicele prin intermediul căruia s-a realizat evaluarea comenzilor este rata specifică a profitului – EP, indice ce poate fi calculat la nivelul unei operații tehnologice, la nivelul unui produs dintr-o comandă, la nivelul unei comenzi sau la nivelul întregului atelier virtual.

Cu alte cuvinte, simularea fabricației celor patru comenzi oferă seturi de date, pe baza cărora managerul DSS are posibilitatea de a alege o comandă sau alta, în funcție de cerințele pieței.

Simularea fabricației celor patru comenzi s-a realizat în condiții comparabile, oferind posibilitatea folosirii, pe cât posibil, a aceluiași resurse, datele rezultate fiind grupate în tabelul următor:

Comandă	Profit [€]	Valoare atelier [€]	TTF [zile]	Unități produse [buc]	Valoare asset mediu [€]	EP _{sistem} [€ _{profit} / € _{investit} * min]
CMD1	20069,8	196308	738,2	10000	7011	2,69 e-6
CMD2	14223,5	383631	537,6	6000	12375,2	1,256 e-6
CMD3	1047,1	114590	41,2	5500	5729,5	1,0188 e-6
CMD4	1689,5	138299	64,5	8500	6013	1,591 e-6

Așa cum se poate observa din tabel, prima comandă este în mod clar cea mai avantajoasă din punct de vedere al profitabilității fabricației și este cea care ar trebui aleasă pentru producție dintre toate cele patru comenzi.

Tot în scopul de a oferi seturi de date pe baza cărora managerul DSS să aleagă o comandă sau alta, am simulat situația în care prima comandă este acceptată și este în lucru și se acceptă și a doua comandă la fabricație, în paralel cu prima comandă.

Evident că s-au folosit pentru realizarea celei de-a doua comenzi resursele nefolosite de prima comandă (resurse mai scumpe și mai rar folosite) și rezultatul a fost că valoarea EP_{sistem2} a scăzut cu 7,48 % .

Comandă	Profit [€]	Valoare atelier [€]	TTF [zile]	Unități produse [buc]	Valoare asset mediu [€]	EP _{sistem} [€ _{profit} / € _{investit} * min]
CMD2 singură	14223,5	383631	537,6	6000	12375,2	1,256 e-6
CMD2 + CMD1	14223,5	479821	537,6	6000	15478	1,162 e-6

Concluzia simulării este că este mai rentabil ca a doua comandă să fie realizată singură și nu în același timp cu prima comandă.

Capitolul 7

Concluzii generale și contribuții originale

7.1 Concluzii generale

În finalul prezentei teze de doctorat se pot evidenția următoarele concluzii generale:

- 1) Metoda de conducere a sistemelor de fabricație reconfigurabile, dezvoltată în cadrul tezei, poate asigura optimizarea modului în care se derulează întregul proces industrial din companiile tip MTO, începând cu acceptarea/negocierea comenzilor, continuând cu ordonanțarea și dispecerizarea lor, și finalizând cu reconfigurarea și programarea stațiilor.

- 2) La nivel conceptual, principalele atribute ale metodei sunt următoarele:
 - Conducerea este optimală, întrucât orice soluție este rezultatul unei optimizări combinatorice, constând în identificarea, evaluarea soluțiilor tehnic posibile.
 - Conducerea este integrată, întrucât cuprinde atât lista operațiilor tehnologice și parametrii proceselor de prelucrare, cât și selecția comenzilor primite și reconfigurarea sistemului de fabricație.
 - Conducerea este preventivă, întrucât deciziile de ajustare a sistemului de fabricație se iau în urma estimării modului în care procesul de fabricație se va desfășura în viitorul apropiat.
- 3) Pentru a putea aplica această metodă de conducere optimală, integrată și preventivă este necesară implementarea noii tehnici de modelare a sistemelor cu evenimente discrete, propusă în această teză. Aceasta se bazează pe un nou model de rețele Petri, denumit RPD3D – rețele Petri dezvoltate tridimensionale, model ce se compliază bine pe funcționarea sistemelor de fabricație reconfigurabile.
- 4) Aplicarea practică a metodei presupune colectarea, gestionarea și procesarea unui număr mare de date, informații și cunoștințe. Ca urmare, implementarea în mediul industrial este posibilă doar folosind un sistem informatic computerizat. Acesta ar putea fi de tip DSS și ar trebui să încorporeze, atât algoritmul metodei, cât și tehnica de modelare cu RPD3D.
- 5) În cadrul tezei s-au creat condițiile dezvoltării ulterioare a unui instrument de modelare, simulare a funcționării și control al sistemelor de fabricație reconfigurabile pus la dispoziția studenților și cadrelor didactice din cadrul departamentului de Ingineria Fabricației a Facultății de Inginerie a Universității „Dunărea de Jos” din Galați, instrument ce va putea fi perfecționat de generațiile ulterioare de studenți și absolvenți și va contribui la crearea de specialiști în domeniul Ingineriei Industriale.
- 6) În cadrul tezei a fost construit un „proof-of-concept” demonstrator al sistemului informatic computerizat și, cu acesta, a fost realizat un studiu de caz. Astfel, metoda propusă a fost experimentată, ocazie cu care au fost identificate trei puncte critice, și anume: dificultatea colectării informațiilor inițiale, complexitatea descrierii și formalizării situațiilor de fapt, precum și nevoia existenței unei dezvoltate rețele de comunicații și a unei baze de date performante.
- 7) Aceste puncte critice pot fi eliminate doar prin schimbarea de paradigmă tehnică și de cultură organizațională. Noua paradigmă tehnică ar trebui să fie reconfigurabilitatea, atât a sistemelor de fabricație, cât și a proceselor tehnologice, așa cum este ea descrisă în Cap. 2, iar noua cultură organizațională ar trebui să includă modelarea cu RPD3D a sistemului de fabricație și asistarea cu DSS a deciziilor în toate cele 8 etape ale procesului de fabricație, așa cum au fost ele prezentate în fig. 2 din Cap. 3.
- 8) În prezent, metoda propusă poate fi implementată practic doar la sistemele de fabricație mai simple, care realizează produse simple, aplicând tehnologii bine cunoscute și stabile în timp. Dar, chiar și la acest scăzut nivel de implementare, efectele economice se dovedesc a fi semnificative (prin simulări s-a constatat, de exemplu, creșterea cu 7,5% a ratei profitului EP).

7.2 Contribuții originale

În cadrul tezei de doctorat, autorul a adus următoarele contribuții personale:

- ❶ Trecerea de la spațiul 2D la cel 3D pentru rețelele Petri, pentru o mai bună vizualizare și manipularea rețelelor, precum și o mai bună modelare a procesului de reconfigurare;
- ❷ Diferențierea vizuală a tipurilor elementelor rețelei Petri prin colorarea lor diferită (cele operaționale rămân roșii ca în modelul de bază pentru continuitate);
- ❸ Posibilitatea de a realiza, în mediul 3D, a unui zoom pe nivele (afișarea în spațiul de lucru a unui număr variabil de elemente ale rețelei, cu atât mai multe cu cât zoom-ul este mai mare),

pentru o vizualizare mai clară în cazul rețelelor ce pot ajunge la mii, zeci de mii, de elemente, funcția zoom_niv putând fi activată / dezactivată prin modificarea valorii variabilei zoom_niv din tabela OPT;

④ Posibilitatea afișării rețelei Petri într-o formă compactă, prin rularea algoritmului de compactare, o rețea complexă cu mii de elemente fiind confinată într-o sferă mărginită de elementele de conectare la alte rețele (conectorii M1 ÷ M6);

⑤ Stocarea datelor rețelei RPD3D ce modelează un RMS (date despre elementele sale, despre legăturile dintre elemente, date despre comenzile date RMS-ului – cu produsele și operațiile tehnologice aferente, date despre resursele RMS-ului – echipamentele ce concurează la fabricarea produselor comandate, date legate de evoluția în timp a RMS-ului – simularea fabricației acestuia) se realizează cu ajutorul unei baze de date MySQL;

⑥ Transferul datelor de mai sus precum și a programelor de lucru aferente sistemului informatic expert, denumit **S.O.D.R.M.S.** (Sistem to Optimal Driving for RMS), cu arhitectură de portal web, implementat în limbajul Java cu elemente de grafică Java3D, destinat managerilor ce trebuie să evalueze comenzile primite în termeni de performanță și să controleze întregul proces de producție, de la cererea clientului până la livrarea produselor, se realizează de asemenea prin intermediul aceleiași baze de date MySQL (scrierea datelor în bază, citirea lor, actualizarea, salvarea și restaurarea datelor);

⑦ RPD3D asociată unui RMS este modulară, modulele fiind predefinite și sunt stocate în baza de date în formă compactă (inserabilă în RPD3D a RMS) sau în formă editabilă (tot 3D dar înainte de rularea algoritmului de compactare). Modulele reprezintă atât resursele RMS (mașini-unelte, sisteme de transport a semifabricatelor, pieselor finite și a sculelor, roboți industriali, sisteme de stocare a semifabricatelor, pieselor finite și a sculelor, AGV-uri etc) cât și operațiile tehnologice necesare pentru fabricația produselor comandate;

⑧ În mediul de lucru 3D, crearea și editarea modulelor RPD3D se realizează foarte simplu, folosind mouse-ul și mișcările asociate lui (click, drag, move, rotate, pressed, released);

⑨ Datele aferente fiecărei comenzi (produs) pot fi salvate din baza de date într-un fișier de tip SQL și reîncărcate în baza de date atunci se dorește reluarea simulării fabricației acelei comenzi;

⑩ Diversificarea caracteristicilor aferente elementelor constitutive ale RPD3D:

- Introducerea scalei pentru poziții (POZ) și tranziții (TRZ) – o mărime mai mare a elementului sugerând o importanță mai mare a aceluși element în cadrul rețelei Petri (POZ de tip V ce modelează disponibilitatea unui robot – RI Ready – au scala 2X, iar POZ de tip I ce modelează stări intermediare ale sistemului au scala 0,5X);
- Introducerea caracteristicii de vizibilitate a elementelor constitutive ale RPD3D (1-On, 0-OFF) – folosită pentru funcția de zoom pe nivele;
- Desenarea legăturilor dintre elementele rețelei în funcție de valoarea atributului pondere – atribut necesar la reconfigurarea rețelei (ponderea 3 fiind alocată legăturilor dintre elementele RPD3D ce construiesc un modul, ponderea 2 legăturilor dintre modulele situate pe același nivel ierarhic iar ponderea 1 legăturilor dintre modulele situate pe nivele ierarhice diferite) – cu cât ponderea este mai mare, cu atât legătura respectivă se desface mai greu.
- Introducerea atributului TimeToBuild (TTB) - durata de materializare sau de desfacere a legăturii în procesul de reconfigurare – direct proporțională cu ponderea legăturii. Legăturile dintre pozițiile operaționale și tranziții au timpii cei mai mari – 7÷9 sec, legăturile dintre pozițiile de tip R și tranziții au timpii medii – 4÷6 sec iar legăturile dintre poziții de tip V sau C sau I și tranziții au timpii cei mai mici – 1÷3 secunde.
- Introducerea atributului TimeToFinish (TTF) – cuprins în tabela PRD a bazei de date, valoarea lui dă timpul de fabricație, în secunde, al unui exemplar din produsul respectiv;
- Introducerea atributului TimeToExclude (TTE - timpul de excludere al RES din RMS)

- Introducerea atributului TimeToIntegrate (TTE - timpul de includere al RES în RMS);
- Introducerea atributului TimeStamp (în fiecare tabelă a bazei de date) pentru a marca momentul creării elementului respectiv. Valoarea este folosită la reconfigurare, comparându-se timpul curent cu TSTP pentru a afla cât de vechi este acel element.

În tabela OPT se poate seta variabila TSTP_mode astfel încât la reconfigurarea RMS-ului să se elimine din sistem elementul / modulul cel mai vechi / nou.

❶❶ Crearea algoritmului de compactare, util pentru vizualizarea compactă a unor rețele RPD3D de mari dimensiuni, și pentru oferirea unor perspective inedite asupra rețelei Petri.

❶❷ Crearea unui mediu 3D de creare și editare a modulelor predefinite, folosind Java3D, o bază de date de tip MySQL și platforma de dezvoltare de software NetBeans 8 (scrisă tot în Java).

❶❸ Crearea unui DSS pentru managerul RMS, a unei interfețe cu sistemul de fabricație prin intermediul căreia managerul poate reconfigura sistemul, poate simula fabricația oricărui produs și alege ce comandă dorește să se realizeze;

❶❹ Introducerea *calculului ratei specifice a profitului (EP) pentru diversele comenzi* ca și indicator de performanță al procesului de fabricație (pe lângă DD – scadența comenzii și TTF – timpul total de fabricație al comenzii);

Pe parcursul elaborării tezei de doctorat și a studiului în domeniu, rezultatele cercetărilor și modelărilor au fost valorificate prin:

- **Publicarea de articole în reviste de specialitate și în volumele unor manifestări științifice din țară și din străinătate:**

❶ „Algorithm for compacting a three dimensional Petri Network that simulates the reconfigurable manufacturing system operation”, Teodor Florin, Vasile Marinescu și Alexandru Epureanu, publicat în Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Tomul LIX (LXIII), Fasc.4, 2013, secția Construcții de Mașini, pg. 31-38 [124] [125] [126];

- **Comunicarea de lucrări științifice în cadrul unor conferințe internaționale:**

❶ ICMS 2013 – 7th International Conference on Manufacturing Systems, secțiunea „Mașini-Unelte și sisteme avansate de fabricație”, 24-25 octombrie 2013, Iași, organizat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Facultatea de Construcții de Mașini și Management Industrial, Departamentul de Mașini-Unelte și Scule.

Teza „Conducerea optimală a sistemelor de fabricație reconfigurabile” pune la dispoziția studenților și cadrelor didactice din cadrul departamentului de Ingineria Fabricației a Facultății de Inginerie a Universității „Dunărea de Jos” din Galați, un instrument de modelare, simulare a funcționării și control al sistemelor de fabricație reconfigurabile, instrument ce va putea fi perfecționat de generațiile ulterioare de studenți și absolvenți și va contribui la crearea de specialiști în domeniul Ingineriei Industriale.

Cuprins

Cap. 1 - Stadiul actual al cercetărilor privitoare la sistemele de fabricație reconfigurabile...	3
Cap. 2 - Domeniul tezei, provocări și direcții de cercetare. Scop, idei cheie, obiective și rezultate	5
Cap. 3 - Conceperea unei metode de control optimal, integrat și preventiv a sistemelor de fabricație reconfigurabile	9
3.1 Premize	9
3.2 Sistemul de fabricație	10
3.3 Algoritmul metodei	10
3.4 Resursele necesare pentru implementarea metodei	12
3.4.1 Un nou sistem de fundamentare a deciziilor	12
3.4.2 O nouă tehnică de modelare a RMS	14
Cap. 4 - Dezvoltarea suportului logistic al metodei prin conceperea unei noi clase de rețele Petri – rețele Petri dezvoltate tridimensionale	16
4.1 Prezentarea modelului Rețele Petri dezvoltate tridimensionale (RPD3D)	16
4.2 Analiza stărilor resurselor RMS	18
4.3 Metodologia de proiectare a modelului aferent RMS	19
4.4 Algoritmul de compactare al modulelor RPD3D	21
4.5 Resursele RMS	24
4.6 RMS-ul și reconfigurabilitatea lui. Modalități de maximizare a parametrilor calculați anterior	26
Cap. 5 - Conceperea suportului informatic al implementării metodei – sistem de asistare a deciziilor	29
5.1 Prezentarea platformei de dezvoltare NetBeans IDE	29
5.2 Modul de lucru cu S.O.D.R.M.S.	31
Cap. 6 - Studiu de caz privitor la aplicarea metodei propuse de control optimal, integrat și preventiv al sistemelor de fabricație reconfigurabile	34
6.1. Prezentarea comenzilor de lucru	34
6.2 Prezentarea resurselor RMS	38
6.2.1 Caracteristici principale ale resurselor disponibile pentru formarea Atelierului Virtual	38
6.3. Atelierul Virtual asociat comenzii CMD1	39
6.3.1 Reguli de asamblare a Atelierului Virtual	39
6.3.2 Calcularea fluxurilor tehnologice (FT)	39
6.3.3 Gruparea operațiilor tehnologice pe resurse disponibile	40
6.3.4 Desen atelier virtual cu resursele și operațiile tehnologice asociate comenzii CMD1	41
6.4 Transpunerea atelierului și comenzilor într-o rețea Petri bazată pe RPD3D	42
6.5 Simularea fabricației unor produse în cadrul Atelierului Virtual	43
6.6 Alegerea comenzii optime pe baza valorii EP_{sistem} calculat pentru fiecare atelier virtual ..	44
6.7 Efectele includerii / excluderii unei resurse din RMS (R4)	47
6.8 Modificarea perioadei de dozare (R5)	48
Cap. 7 - Concluzii generale și contribuții originale	49
7.1 Concluzii generale	49
7.2 Contribuții originale	50
Cuprins	53
Bibliografie	54

Bibliografie

1. Koren Y. and Kota, S.: Reconfigurable Machine Tool. US patent # 5,943,750; issue date: 8/31/1999.
2. [Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems](#)
3. Koren, Y. and Ulsoy, G.: Reconfigurable Manufacturing System Having a Method for Changing its Production Capacity. US patent # 6,349,237; issue date: 2/19/2002.
4. Landers, R., Min, B.K., and Koren, Y.: Reconfigurable Machine Tools. CIRP Annals, Vol. 49, No. 1, pp. 269-274, July 2001.
5. Mehrabi, M. Ulsoy, G. and Koren Y.: Reconfigurable Manufacturing Systems: Key to Future Manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 11, No. 4, pp. 403-419, August 2000.
6. Bi ZM, Lang SYT, Shen W, Wang L (2008) Reconfigurable manufacturing systems: the state of the art. Int J Prod Res 46 (4):967–992.
7. Lee GH (1997) Reconfigurability consideration: design of components and manufacturing systems. Int J Adv Manuf Technol 13 (5):376–386.
8. Mehrabi MG, Ulsoy AG, Koren Y (2000) Reconfigurable manufacturing systems and their enabling technologies. Int J Manuf Technol Manag 1(1):113–130.
9. Lian FL, Moyne J, Tilbury D (2000) Implementation of networked machine tools in reconfigurable manufacturing systems. Japan-USA Symposium on Flexible Automation, Ann Arbor.
10. Zaho X, Wang J, Luo Z (2000) A stochastic model of a reconfigurable manufacturing system Part1: A framework. Int J Prod Res 38(10):2273–2285.
11. Zaho X, Wang J, Luo Z (2000) A stochastic model of a reconfigurable manufacturing system Part2: Optimal configuration. Int J Prod Res 38(12):2829–2842.
12. Bruccoleri M, Michele A, Giovanni P (2003) Distributed intelligent control of exceptions in reconfigurable manufacturing system. Int J Prod Res 41(7):1393–1412.
13. Abdi MR, Labib AW (2003) A design strategy for reconfigurable manufacturing system using AHP: a case study. Int J Prod Res 41 (10):2273–2299.
14. Jacob B, Dragan D, Patrick S, Katz R (2005) Integration of reconfigurable inspection with stream of variations methodology. Int J Mach Tools Manuf 45:407–419.
15. Anthony IA, Zhang DZ (2006) Dynamic reconfiguration and simulation of manufacturing systems using agents. J Manuf Technol Manag 17(4):435–447
16. Bruccoleri M, Pasekb ZJ, Koren Y (2006) Operation management in reconfigurable manufacturing systems: reconfiguration for error handling. Int J Prod Econ 100:87–100.
17. Xing B, Eganza J, Bright G, Potgieter J (2006) Reconfigurable manufacturing system for Agile Manufacturing, information control problems in manufacturing. Elsevier Science, New York, pp 487–492.
18. Wiendahl HP, EIMaraghy HA, Nyhuis P, Zäh MF, Wiendahl HH, Duffie N, Brieke M (2007) Changeable manufacturing—classification, design and operation. CIRPAnnManuf Technol 56(2):783–809.
19. Chandra C, Grabis J (2009) Reconfigurable manufacturing systems: meeting the challenges of a dynamic business paradigm. Int J Manuf Technol Manag 17(1/2):1–4.
20. Fong BNH, Sturges RH (2009) A control design strategy of a reconfigurable manufacturing system. Int J Manuf Technol Manag 17(1/2):68–81.
21. A. Molina & C. A. Rodriguez (2005), Editorial: “Next generation Manufacturing (NGM)”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 18:7, 523-524, DOI: 10.1080/09511920500069630.
22. Marinescu V, 2000, Research on the Flexible Management of Metalworking Processes Cold, PhD Thesis, „Dunărea de Jos” University of Galați.
23. Epureanu A., Marin F.B., Marinescu V., Banu M., Constantin I., 2008, Reconfigurable Machine Tool Programming – A new Approach, WSEAS, Transactions on Systems and Control, 3, 5, 463-472.
24. Brezovan M., 1998, A Formal Definition of Hierarchical High Level Petri Nets, Proc. of the International Symposium on Systems Theory, Robotics, Computers and Process Informatics, Craiova, 2121-2219.