



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI

OIPOSDRU



UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" GALAȚI

FACULTATEA DE AUTOMATICĂ, CALCULATOARE,
INGINERIE ELECTRICĂ ȘI ELECTRONICĂ



TEZĂ DE DOCTORAT Rezumat

CONTRIBUȚII LA CONDUCEREA INTELIGENTĂ A ROBOȚILOR MOBILI UTILIZAȚI ÎN LINIILE FLEXIBILE DE FABRICAȚIE

Conducator de doctorat:

Prof. dr. ing. Adrian FILIPESCU

Doctorand:

Ing. Adrian RADASCHIN

GALAȚI
2012



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI
OIPOSDRU



Investește în oameni !

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Axa prioritară 1 ”Educație și formare profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”

Domeniul major de intervenție 1.5 ”Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”

Titlul proiectului: Eficientizarea activității studenților din cadrul ciclului de studii doctorale - EFICIENT

Numărul de identificare al contractului: POSDRU/88/1.5/S/61445

TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

CONTRIBUȚII LA CONDUCEREA INTELIGENTĂ A ROBOȚILOR MOBILI UTILIZAȚI ÎN LINIILE FLEXIBILE DE FABRICAȚIE

Domeniul: *Ingineria Sistemelor*

Doctorand: Ing. Adrian RADASCHIN

Componența Comisiei de doctorat:

PREȘEDINTE: Conf.dr.ing. Emilia PECHEANU
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: Prof.dr.ing. Adrian FILIPESCU
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

REFERENT OFICIAL: Conf.dr.ing. Alina VODĂ
University JOSEPH FOURIER Grenoble 1/CNRS, Grenoble
Image Parole Signal Automatique (GIPSA-lab), Franța

REFERENT OFICIAL: Conf.dr.ing. Eugenia MINCĂ
Universitatea “Valahia” din Târgoviște

REFERENT OFICIAL: Prof.dr.ing. Viorel MÎNZU
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Cuprins

Capitolul 1. Introducere	5
1.1 Formularea problemei	5
1.2 Scopul și obiectivele cercetării.....	6
1.3 Structura și conținutul tezei.....	8
Capitolul 2. Stadiul actual privind analiza proceselor de fabricație din cadrul sistemelor flexibile de fabricație deservite de roboți	10
2.1 Introducere	10
2.2 Procese flexibile de fabricației	10
2.1.1 Procesul de asamblare	11
2.1.2 Procesul de dezasamblare.....	11
2.3 Concluzii	12
Capitolul 3. Contribuții privind analiza liniilor flexibile de fabricație deservite de roboți	13
3.1 Introducere	14
3.2 Structura unui SFF	15
3.3 Funcțiile sistemelor flexibile de fabricație	15
3.4 Conducerea sistemelor flexibile de fabricație	16
3.6 Optimizarea sistemelor flexibile de fabricație.....	17
3.7 Sistemul flexibil de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann.....	17
3.8 Sistemul de prelucrare FESTO MPS-200	19
3.9 Platforma mobilă Pioneer P3-DX	20
3.10 Concluzii	21
Capitolul 4. Contribuții privind analiza și modelarea proceselor de fabricație pe liniile flexibile deservite de roboți mobili.....	23
4.1 Introducere	24
4.2 Ipoteze de analiză și modelare a liniei flexibile HERA & Horstmann	24
4.3 Planificarea taskurilor aferente procesului de dezasamblare deservit de robot mobil echipat cu manipulator	25
4.4 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare pe linia flexibilă deservită de robot mobil echipat cu manipulator utilizând RP netemporizate în abordare SED.....	27
4.5 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare pe linia flexibilă deservită de robot mobil echipat cu manipulator cu ajutorul RP temporizate în abordare SED	32

4.6 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare pe linia flexibilă deservită de robot mobil echipat cu manipulator cu ajutorul RPH sincronizate.....	34
4.6.1 Modelul generalizat al RPHS	34
4.7 Ipoteze de analiză și modelare a liniei flexibile FESTO MPS-200.....	37
4.8 Planificarea taskurilor aferente procesului de prelucrare a liniei flexibile FESTO MPS-200	38
4.9 Modelarea liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS-200 cu ajutorul RP netemporizate în abordare SED.....	38
4.10 Modelarea liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS -200 cu ajutorul RP temporizate în abordare SED	38
4.10 Concluzii	40
Capitolul 5. Contribuții privind simularea procesului de asamblare/dezasamblare deservit de un robot mobil echipat cu manipulator	42
5.1 Simularea procesului de asamblare/dezasamblare a unui produs deservit de un RM cu manipulator.....	43
5.2 Simularea structurii generalizate a modelului RPH sincronizate	45
5.3 Modelul cinematic al platformei mobile	46
5.4 Conducerea Sliding Mode a platformei mobile	46
5.5 Simularea conducerii în Sliding Mode.....	46
5.5.1 Simularea conducerii platformei mobile în cadrul deservirii liniei flexibile	47
HERA & Horstmann	47
5.5.2 Simularea conducerii platformei mobile în cadrul deservirii liniei flexibile	47
FESTO MPS-200	47
5.6 Concluzii	48
Capitolul 6. Contribuții privind conducerea în timp real.....	50
6.1 Implementarea conducerii în timp real.....	50
6.2 Prezentarea aplicației în mediul de programare grafică LabVIEW	51
6.3 Conducerea în timp real a procesului de dezasamblare completă.....	51
6.4 Concluzii	52
Capitolul 7. Concluzii.....	54
7.1 Sumarul contribuțiilor originale din cadrul tezei	56
7.2 Direcții de cercetare viitoare	58
Bibliografie Selectivă.....	59

Capitolul 1

Introducere

-
- 1.1 Formularea problemei*
 - 1.2 Scopul și obiectivele cercetării*
 - 1.3 Structura și conținutul tezei*
-

Dezvoltarea *sistemelor flexibile de fabricație* (SFF) și introducerea structurilor robotice reprezintă noi direcții de cercetare și de creștere a performanțelor liniilor de producție, astfel beneficiile introduse au efecte importante asupra tuturor sistemelor de fabricație.

Principalele activități care pot fi întreprinse de roboți utilizați în cadrul sistemelor flexibile de fabricație sunt legate de transportul și manipularea obiectelor (componente sau subansamble) sau și uneori, de realizarea unor diverse procese (asamblare, dezasamblare, prelucrare, transport etc.).

1.1 Formularea problemei

În cadrul sistemelor flexibile de fabricație reală dintr-o întreprindere produsul final rezultat în urma procesului de asamblare este supus unui test de calitate, fie la terminarea completă a asamblării, fie pe parcursul acesteia. În cazul anumitor produse sau ale componentelor ce intră în componența acestora apar anumite defecte de fabricație (defecte de asamblare sau prelucrare), urmând ca acest produs să nu fie validat la trecerea prin testul de calitate, astfel produsul final se consideră a fi un rebut. În acest caz, este declanșată operația de dezasamblare, astfel produsul va fi trimis înapoi pe linia de fabricație fie pe cea care s-a

efectuat asamblarea fie pe o altă linie de dezasamblare, fiind supus unor operații de dezasamblare parțială sau totală pentru recuperarea părților componente sau subansamblelor. Având în vedere că locațiile unde se fac dezasamblări pot fi diferite de locațiile unde se stochează componentele, atât cele defecte cât și cele bune, se pot utiliza *roboți mobili* (RM) echipati cu manipolatoare care preiau părțile componente ale produselor declarate rebut din punctele unde se face dezasamblarea și le transportă la magaziile de stocare aferente componentelor.

În scopul de a optimiza execuția acestor operații de asamblare/dezasamblare, multe studii actuale din domeniu conduc spre utilizarea structurilor robotice. Utilitatea acestora duce la creșterea flexibilității SFF, a fiabilității sistemului automatizat cât și la eliminarea nesiguranței și a erorilor specifice factorului uman, ceea ce va permite un control eficient a SFF și implicit va permite trecerea la conducerea în timp real a producției.

În aceste condiții, soluționarea principalelor probleme legate de operațiile de asamblare/dezasamblare ținând cont de tendința de dezvoltare rapidă a sistemelor flexibile de fabricație o reprezintă introducerea robotului, structură capabilă să efectueze atât sarcini de transport cât și operații de manipulare atât în cadrul procesului de asamblare cât și dezasamblare sau prelucrare.

Un exemplu de soluție tratată în această cercetare îl reprezintă robotul mobil Pioneer P3-DX echipat cu un manipulator robotic Pioneer 5-DOF care deservește o linie flexibilă de asamblare și dezasamblare (parțială) HERA & Horstmann și o linie flexibilă de prelucrare FESTO MPS-200. Obiectivele robotului fiind de a deservi liniile flexibile de fabricație în cadrul procesului de dezasamblare și prelucrare. În cadrul procesului de dezasamblare, linia flexibilă HERA & Horstmann deservită de robotul mobil Pioneer P3-DX echipat cu manipulator robotic Pioneer 5-DOF devine complet reversibilă.

1.2 Scopul și obiectivele cercetării

Tratarea sistemelor flexibile de fabricație deservite de roboți într-o concepție pe cât posibil unitară, în cadrul operațiilor de asamblare, dezasamblare și prelucrare, urmărind atât aspecte de modelare și de conducere necesare în aplicațiile practice industriale a constituit scopul principal al acestei cercetări. Ca urmare a creșterii complexității proceselor de asamblare/dezasamblare și a sporirii cerințelor privitoare la performanțele acestor procese a căpătat o importanță deosebită nevoia de optimizare a liniilor flexibile de asamblare astfel încât să permită și operații de dezasamblare ale componentelor.

În această lucrare unul dintre obiective propune optimizarea unui sistem mecatronic didactic format din o linie flexibilă de asamblare care permite și o dezasamblare parțială a

componentelor. Linia flexibilă va fi deservită de un RM echipat cu manipulator. Scopul optimizării este de a face linia flexibilă de asamblare complet reversibilă, adică să permită dezasamblarea completă a unui produs. În final sistemul mecatronic va funcționa complet automatizat fără intervenția operatorului uman. Asamblarea va fi un proces periodic iar dezasamblarea va fi un proces accidental care se declanșază atunci când produsul final nu este validat la testul de calitate.

Un alt obiectiv îl reprezintă elaborarea modelelor corespunzătoare proceselor de asamblare și dezasamblare a componentelor pe linia mecatronică. Deoarece linia flexibilă de fabricație este un sistem didactic dedicat efectuării asamblării, propunem ca efectuarea dezasamblării să se realizeze în cazul detectării unei piese rebut, prin deservirea/asistarea operațiilor elementare de dezasamblare de către un RM echipat cu manipulator.

Pentru elaborarea acestor modele se vor utiliza ca instrument de modelare *rețelele Petri* (RP) cunoscute în literatură de specialitate ca fiind instrumentul specific modelării *sistemelor cu evenimente discrete* (SED). Deoarece ne propunem ulterior implementarea conducerii în timp real a liniei, aceste modele vor trebuie să fie coerente cu evoluția procesului real de asamblare sau dezasamblare. Din acest motiv se vor utiliza diferite tipologii de RP dedicate modelării duratelor operațiilor de asamblare și dezasamblare precum și a deplasării robotului în diferite puncte ale liniei flexibile de fabricație în scopul preluării/transportării și depozitării componentelor dezasamblate în magazii.

Pentru linia flexibilă de asamblare și dezasamblare se vor elabora modele cu RP care vor descrie stările și tranzițiile asociate procesului de asamblare, dezasamblare și ale robotului mobil echipat cu manipulator care va transporta piesele dezasamblate la magazinele de depozitare. Se va implementa un sistem de conducere în timp real a liniei flexibile reversibile sub platforma LabVIEW.

Din obiectivele generale ale cercerării prezentate rezultă următoarele obiective specifice:

- analiza, modelarea și simularea procesului de asamblare din cadrul SFF;
- analiza, modelarea, simularea și optimizarea procesului de dezasamblare din cadrul SFF, utilizând roboți mobili echipați cu manipulator;
- analiza și modelarea procesului de prelucrare din cadrul SFF;
- elaborarea, dezvoltarea, implementarea și testarea procesului de dezasamblare completă a SFF;
- optimizarea unei linii flexibile de fabricație în cadrul procesului de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator care să permită și o dezasamblare totală a unui produs;

- implementarea unui program de conducere în timp real a procesului de asamblare/dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator în mediul LabVIEW;

1.3 Structura și conținutul tezei

Raportul este împărțit în 7 capitole după cum urmează:

În **Capitolul 1** sunt prezentate aspecte generale legate de formularea problemei în cadrul acestei cercetări. În cea de-a doua parte sunt prezentate scopul și obiectivele raportului de cercetare științifică, pornindu-se de la ideea utilizării liniilor flexibile de fabricație deservite de roboți mobili echipați cu manipulator necesari operației de dezasamblare pentru a putea face sistemul mecatronic HERA & Horstmann complet reversibil.

În **Capitolul 2** sunt prezentate cele mai cunoscute și utilizate sisteme flexibile de fabricație. Sunt descrise și analizate procesele flexibile din cadrul sistemelor flexibile de fabricație.

În **Capitolul 3** se prezintă o analiză dintre sistemele flexibile de fabricație și locul unde se pot aduce contribuții. Se prezintă aspecte privind integrarea roboților mobili în sisteme flexibile de fabricație. Se evidențiază faptul că dintre cele mai multe operații posibile a fi executate de roboți mobili echipați cu manipulator, în mediile industriale echipate cu linii flexibile de fabricație, sunt cele de transport și manipulare, urmărindu-se ca în ultima parte a acestui capitol ideea de reversibilitate din cadrul liniilor flexibile de fabricație prin integrarea roboților mobili, încheindu-se cu prezentarea sistemului mecatronic didactic HERA & Horstmann, a robotului Pioneer P3-DX echipat cu manipulator Pioneer 5-DOF și a sistemului de prelucrare FESTO MPS-200.

În **Capitolul 4** se prezintă contribuțiile privind analiza și modelarea dinamicii liniei flexibile didactice HERA & Horstmann cu rețele Petri netemporizate a procesului de asamblare și dezasamblare parțială, dezasamblare parțială deservită de un robot mobil echipat cu manipulator, a procesului de asamblare/dezasamblare completă a unui produs deservit de un robot mobil echipat cu manipulator cât și a procesului de asamblare/dezasamblare a unui produs deservit de un robot mobil echipat cu un manipulator utilizând rețele Petri temporizate în abordare SED. Se mai prezintă și contribuțiile privind analiza și modelarea dinamicii unui sistem didactic FESTO MPS-200 de prelucrare a unui produs, utilizând rețele Petri netemporizate și temporizate în abordare SED. Se prezintă formalismul de descriere a modelului RPH generalizate și a RPH sincronizate pentru conducerea liniei flexibile HERA & Horstmann deservită de un robot mobil echipat cu manipulator.

În **Capitolul 5** se prezintă contribuțiile privind simularea modelelor prezentate în Capitolul 4 utilizând programele VisualObject Net ++ și Sirphyco. Se prezintă contribuțiile privind simularea în timp real a liniei flexibile HERA & Horstmann în cadrul procesului de asamblare/dezasamblare deservit de un robot mobil echipat cu manipulator utilizând programul LabVIEW.

În **Capitolul 6** este prezentat programul și aplicația de conducere în timp real a procesului de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator.

În **Capitolul 7** sunt prezentate concluziile și direcții de cercetare viitoare.

Capitolul 2

Stadiul actual privind analiza proceselor de fabricație din cadrul sistemelor flexibile de fabricație deservite de roboți

2.1 Introducere

2.2 Procese flexibile de fabricație

2.3 Concluzii

2.1 Introducere

În ultimul deceniu industria cunoaște o nouă evoluție, una globală, antrenată de creșterea progresului tehnologic, cunoscută sub numele de sisteme și procese flexibile de fabricație. Acest progres se propagă în toate domeniile industriale și declanșază formarea de noi generații de sisteme avansate de producție flexibilă, de noi sisteme și metode de conducere centralizată, distribuită sau supervizată, de noi roboți și mașini-unelte de prelucrare cât și de introducerea sistemelor eficiente de transport și manipulare, toate acestea conducând spre globalizarea întregii industrii [1], [2], [3].

Fabricarea flexibilă generează un nou trend, cel al produselor diversificate și personalizate, cu calități superioare, costuri competitive și cu cicluri de fabricație reduse.

2.2 Procese flexibile de fabricației

Pe parcursul ultimelor două zeci de ani, flexibilitatea și optimizarea proceselor de fabricație a atras atenția centrelor de cercetare din acest domeniu. Cele mai multe studii

abordate au la bază creșterea numărului de operații de fabricație cu aceleași utilaje și creșterea productivității, ambele având un impact asupra calității produsului final [4], [5]. Recent, tehnologia de fabricație flexibilă dezvoltă un nou proces, cel a dezasamblării produselor sau componentelor. Noile tendințe presupun planificarea producției prin metode de cooperare dintre procesul de asamblare/dezasamblare și roboți.

2.1.1 Procesul de asamblare

Procesul de asamblare, unul dintre cele mai vechi forme de producție flexibilă prezintă o extraordinară modernizare datorate evoluției tehnologiei. Procesul de asamblare este definit în literatură ca fiind o funcție productivă de a construi anumite piese individuale, subansamble de piese sau structuri, într-o anumită cantitate dată pe o perioadă de timp bine determinată.

Cercetările actuale urmăresc optimizarea timpului de asamblare a unei structuri prin creșterea flexibilității, dezvoltarea echipamentelor și optimizarea algoritmilor de planificare [18]. *Proiectarea procesului de asamblare (PPA)* presupune luarea în considerare a aspectelor de proiectare ale unui produs, de procedurile și etapele de asamblare care au efect și asupra ciclului de viață al produsului [15], [16]. Obiectivul principal urmărit este de a reduce costul total de fabricație și de a îmbunătăți calitatea acestuia [17].

Abordări mai recente tratează procesele de asamblare și dezasamblare prin integrarea acestora în medii de realitate virtuală pentru a optimiza metodele de proiectare, planificare a proceselor, de deservire și colaborare cu unități robotice așa cum sunt descrise și în [25], [26].

2.1.2 Procesul de dezasamblare

Dezasamblarea, ca primă etapă în procesul de reciclare va avea o rată mare de expansiune pe viitor în mediul industrial [26], [33]. În prezent, dezasamblarea de produse se execută în principal manual, iar uneori printr-un proces mecanizat într-o oarecare măsură. La momentul actual există foarte puține sisteme flexibile care execută dezasamblarea componentelor produselor pe care le-au fabricat (sau ansamblat). În acest moment se dezasamblează în special piesele produselor de înaltă calitate, sau componente, în scopul de a reutiliza anumite componente [28], [29], [30]. Majoritatea produselor actuale sunt distruse pentru reciclare fără a trece printr-un proces de demontare [31], [32].

Conceptele existente de sisteme flexibile de dezasamblat prezintă caracteristici de inflexibilitate și sunt dezvoltate doar pentru o anumită sarcină sau produs, efectuarea operației de dezasamblare completă de către același sistem de asamblare este încă în stadiu de cercetare. În acest caz, domeniul dezasamblării flexibile prezintă o foarte mare atracție, actual dezvoltându-se conceptul de dezasamblare a unei familii sau grupuri similare sau diferite de

produse, care necesită aproape aceleași operații de dezasamblare, realizate cu aceleași instrumente de montare/asamblare [34].

2.3 Concluzii

În prezent, concurența și cerințele ridicate privind calitatea pentru o mare varietate de produse a dus la creșterea rolului sistemelor de producție și mai ales ale proceselor pe care acestea le îndeplinesc. Sistemele flexibile de fabricație sunt compuse în prezent din elemente dinamice și adaptive care impun utilizarea eficientă a tuturor resurselor, cu toate acestea anumite procese de fabricație, cum ar fi procesul de dezasamblare mai necesită modificări majore privind adaptabilitatea și flexibilitatea acestuia. Introducerea structurilor robotice, a sistemelor de conducere distribuite, optimizarea utilajelor, etc. joacă un rol important în optimizarea întregului ansamblu de fabricație. În conceptul producției actuale nu s-a modificat esențial rolul și locul sistemelor de fabricație, optimizarea proceselor de fabricației existente fac ca un proces să devină competitiv.

Pornind de la necesitatea îmbunătățirii performanțelor proceselor tehnologice de asamblare, prin modernizarea tehnologiilor de montaj, se pot asigura creșteri importante ale productivității, în condițiile îmbunătățirii substanțiale ale calității. Consecința directă se reflectă asupra ciclului de viață al produselor sau de apariția accidentală a unui defect al produsului sau piesei ce intră în componența sa, care impune reutilizarea acestora, acest ciclu presupune introducerea unor sisteme de dezasamblare sau optimizarea unei structuri de asamblare ale aceleași game de produse în vederea dezasamblării cu aceleași utilaje.

Detalierea teoretică și practică în vederea optimizării unui sistem flexibil de fabricație care poate să execute atât procese de asamblare și dezasamblare cu aceleași utilaje impune parcurgerea unor etape de concepere, realizare și implementare a unei structuri capabile să execute două tipuri de sarcini cu aceleași utilaje. În acest context subiectul tezei tratează soluții noi aplicabile sistemelor flexibile de asamblare, în vederea optimizării acestora în cadrul procesului de dezasamblare precum și integrarea structurilor robotice în vederea creșterii flexibilității și extinderii anumitor sarcini din cadrul procesului tehnologic.

Capitolul 3

Contribuții privind analiza liniilor flexibile de fabricație deservite de roboți

-
- 3.1 Introducere*
 - 3.2 Structura unui sistem flexibil de fabricație*
 - 3.3 Funcțiile sistemelor flexibile de fabricație*
 - 3.4 Conducerea sistemelor flexibile de fabricație*
 - 3.5 Performanțele sistemelor flexibile de fabricație*
 - 3.6 Optimizarea sistemelor flexibile de fabricație*
 - 3.7 Sistemul flexibil de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann*
 - 3.8 Sistemul flexibil de prelucrare FESTO MPS-200*
 - 3.9 Platforma mobilă Pioneer P3-DX*
 - 3.10 Concluzii*
-

Acest capitol este dedicat analizei și descrierii aspectelor importante privind componența și caracteristicile liniilor flexibile de fabricație [39], [42], [43], [44], [45]. Detalierea lor se realizează în cadrul a trei secțiuni principale. În prima secțiune se analizează o structură clasică de sistem flexibil de fabricație în conformitate cu literatura de specialitate, urmărind ca, în secțiunea următoare să se particularizeze structura clasică pe un proces de asamblare, dezasamblare și prelucrare, procese care pot fi deservite de un robot mobil echipat cu manipulator. Ultima secțiune este dedicată concluziilor prin care se pun în evidență contribuțiile privind analiza unei structuri flexibile de asamblare și deservirea acesteia în cadrul procesului de dezasamblare cu ajutorul un robot mobil echipat cu manipulator.

3.1 Introducere

Un sistem flexibil de fabricație reprezintă totalitatea mijloacelor, utilajelor, echipamentelor și a relațiilor dintre acestea, capabile să rezolve o sarcină sau un ansamblu de sarcini de fabricație. Conceptul de SFF a fost proiectat și dezvoltat pentru fabricarea de produse diferite, în loturi mici sau medii.

În **Fig. 3.1** este prezentat schema bloc a unui SFF (asamblare/dezasamblare) clasic deservit de roboți, acesta este alcătuit din următoarele blocuri funcționale:

- robot industrial necesar operațiilor de manipulare (necesită precizie, sistem de control al traiectoriei și sistem de senzori și traductoare);
- robot de transport (necesită sistem de control al traiectoriei sau sistem de ghidare, sistem de senzori de poziție și navigație);
- scule (instrumente) de montare/demontare/prelucrare necesare roboților industriali sau celulelor de fabricație;
- sistem de stocare componente și/sau subansamble necesare asigurării unui flux continuu de asamblare/dezasamblare. Sunt incluse și magaziiile de stocare componente dezasamblate;

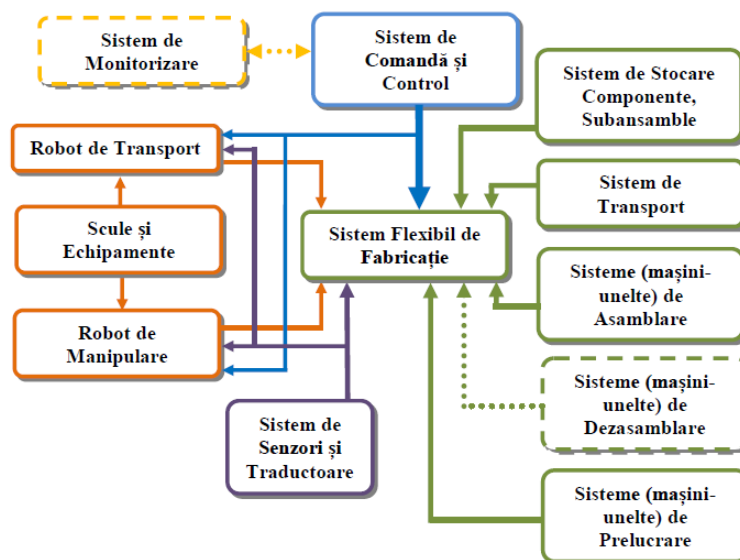


Fig. 3.1 Sistem flexibil de asamblare/dezasamblare în variantă clasică, deservit de roboți

- sistem de transport (benzi transportoare) necesare transportului de la o celulă flexibilă la alta a componentelor sau subansamblelor;
- sisteme (celule) flexibile echipate cu mașini-unelte necesare operației de asamblare/dezasamblare sau prelucrare;

- sistem de senzori și traductoare necesar SFF cât și roboților de transport și manipulare;
- sistem de comandă și control local sau distribuit interconectat cu un sistem de monitorizare;

Pornind de la obiectivele impuse și de analiză a SFF privind realizările teoretice și experimentale din domeniul industrial se prezintă în acest capitol sistemul flexibil de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann deservit de un robot mobil Pioneer P3-DX echipat cu un manipulator robotic Pioneer 5-DOF și un sistem flexibil de prelucrare FESTO MPS-200.

3.2 Structura unui SFF

Structurile sistemelor flexibile de fabricație sunt direct legate de stabilitatea ierarhizării pe nivele a acestor unități. Până în prezent nu apare un accord unanim în această privință, în continuare fiind prezentate structurile corespunzătoare unui număr de patru nivele:

- Nivelul 1 (SFF₁):* la acest nivel se găsește cea mai mică unitate cu funcții de fabricație autonome, aceasta fiind o mașină-unealtă flexibilă, multifuncțională, respectiv un echipament care concentrează un număr mare de operații cu prelucrări diferite.
- Nivelul 2 (SFF₂):* intervine *celula de fabricație flexibilă (CFF)* în care sunt concentrate mai multe mașini-unelte cu comandă numerică, de regulă 2, ..., 4 mașini, deservite de un robot industrial, tot ansamblu fiind controlat de un calculator (sau *automat programabil (AP)*) care asigură întreaga funcționare a celulei.
- Nivelul 3 (SFF₃):* se găsesc sistemele flexibile, compuse de regulă din mai multe celule flexibile, legate prin dispozitive de transport și manipulare.
- Nivelul 4 (SFF₄):* La acest nivel intervin totalitatea mijloacelor tehnice și persoanele necesare pentru realizarea aprovizionării, depozitării, planificării de lungă durată, proiectării constructive și tehnologice a produselor și fabricației propriu-zise.

3.3 Funcțiile sistemelor flexibile de fabricație

Structura generală a unui SFF, prezentată sub forma schemei bloc (**Fig. 3.1**) permite evidențierea funcțiilor generale ale sistemului:

- Funcția de prelucrare automată a pieselor sau subansamblelor;
- Funcția de depozitare, transport și manipulare automată;

- Funcția de comandă automată a tuturor componentelor sistemului și de supraveghere, control și diagnostic automat;

Funcția de prelucrare automată se realizează în cadrul subsistemului tehnologic al SFF, având în componență stațiile (celule) de lucru, mijloacele de manipulare a pieselor și sculelor.

Funcția de depozitare, transport și manipulare automată se referă la fluxul automat al sculelor, pieselor, componentelor și subansamblelor necesare SFF și care includ mai multe funcții parțiale.

Funcția de comandă, monitorizare, control și diagnostic dintr-un SFF este realizată de subsistemul informațional prin fluxul informațional care se transmite în 2 sensuri: sensul direct, al informațiilor de comandă și sensul invers, al informațiilor de monitorizare, control și diagnostic.

Funcția de comandă automată se realizează cu ajutorul unuia sau mai multor AP în diverse configurații, centralizat sau distribuit, sau calculatoare de proces ce lucrează în timp real sau unități locale de comandă (echipamente CNC, AP la sistemele de manipulare și transport, microcalculatoare pentru comanda depozitelor automate etc.).

3.4 Conducerea sistemelor flexibile de fabricație

Structura generală a subsistemului de comandă al SFF se distribuie pe nivele ierarhice, numărul acestora depinzând de mărimea SFF, de domeniul de aplicare și de numărul funcțiilor de fabricație flexibilă integrate în sistem.

La partea inferioară a structurii de comandă (Nivelul 1) se află echipamentele industriale de comandă a mașinilor-unelte, roboților industriali, precum și echipamentele de comandă locală a depozitelor și sistemelor de transport. La nivelul ierarhic 2 se află AP (sau calculatorul de conducere locală) a fabricației care realizează conducerea echipamentelor din nivelul inferior și transmiterea informațiilor către nivelul superior. La nivelele ierarhice 3 și 4 se realizează proiectarea produselor, pregătirea și planificarea fabricației, aceste nivele ierarhice putând funcționa și independent.

În funcție de gradul de complexitate al funcțiilor ce se realizează în cadrul SFF și în funcție de modul cum se organizează activitățile pe diferite nivele ierarhice apar modificări, unele dintre nivele putând chiar să nu existe.

3.6 Optimizarea sistemelor flexibile de fabricație

O prima etapă în optimizarea SFF o constituie conducerea și optimizarea fluxurilor de activități (operații) care implică două faze: planificare fluxurilor și execuția acestora.

Pentru sistemele flexibile de fabricație trebuie găsite metode adecvate de planificare; acestea trebuie să contribuie la evitarea acțiunilor de blocare și conflictuale. Această abordare trebuie să permită sistemului de planificare a operațiilor să construiască un plan care să conțină detalii ale tuturor operațiilor și interacțiunilor viitoare. Dezvoltarea unui algoritm de planificare a operațiilor într-un mediu de fabricație flexibil prezintă o mare dificultate cauzată de anumite aspecte de natură practică. Planificarea offline a operațiilor va continua cu o planificare online în care planul dezvoltat este completat astfel încât să fie pregătit pentru fabricație.

O alta etapă de optimizare a SFF o reprezintă creșterea gradului de flexibilitate a echipamentelor, dezvoltarea și perfecționarea utilajelor pentru a putea executa mai multe operații. Prin mărirea gradului de flexibilitate se reduc timpi în care produsul pe linia de fabricație execută diverse operații care necesită timp (transport, manipulare, etc.).

3.7 Sistemul flexibil de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann

Structura sistemului flexibil de asamblare/dezasamblare HERA Horstmann este alcătuită din mai multe module (**Fig. 3.1**):

- a. Structura hardware:
 - 5 stații (celule) de prelucrare și un depozit de produse finite
 - sistem de transport dintre stațiile de prelucrare de tip benzi transportoare
 - sistem de manipulare și depozitare de tip lift

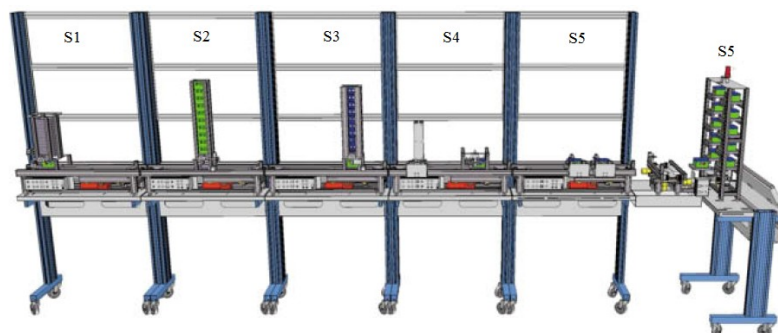


Fig. 3.1 Sistemul flexibil de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann

Stațiile de prelucrare S1, S2, S3 și S4 conform **Fig. 3.2** și **Fig. 3.3**, prezintă câte o magazie de piese, în fiecare magazie găsiindu-se un alt tip de componentă care intră în alcătuirea produsului final (**Fig. 3.7**). Fiecare stație depune (prelucrează) câte o piesă.

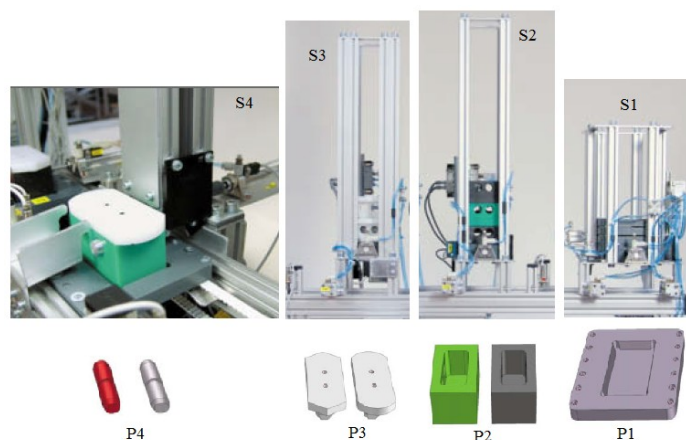


Fig. 3.2 Stații de prelucrare (depunere) și componentele aferente acestora

Depunerea unei piese pe banda transportoare se realizează prin intermediul unor elemente de execuție de tip piston pneumatic, acționat de un sistem pneumatic. Fiecare stație este echipată cu traductori de poziție, pentru o poziționare precisă în dreptul fiecărei magazii.



Fig. 3.3 Produs final

Paletul are în componența sa șase discuri metalice dispuse în ambele părți laterale, acestea au rolul de a transmite poziția paletului pe banda transportoare prin identificarea numărului de discuri de către traductoarele de poziție.

b. Structura software: este împărțită în echipamente de automatizare și program de conducere.

Structura sistemului de automatizare (**Fig. 3.4**) este de tip distribuită și este formată dintr-un AP SIEMENS Simatic S7-300 cu procesor din seria CP 314C-2 DP și modul de comunicație SIEMENS CP 343-2. Acesta se conectează pe magistrala PROFIBUS DP care conectează *modulele auxiliare* (MA) de interfațare I/O de tip SIEMENS ET200S-IM 151-1 distribuite pe fiecare dintre stațiile sistemului flexibil de asamblare/dezasamblare.

Pe magistrala PROFIBUS DP este conectat un terminal de tip panou operator SIEMENS Simatic HMI TP 177, prin intermediul căruia se poate vizualiza starea sistemului flexibil și se poate pune în execuție un proces de asamblare sau dezasamblare.

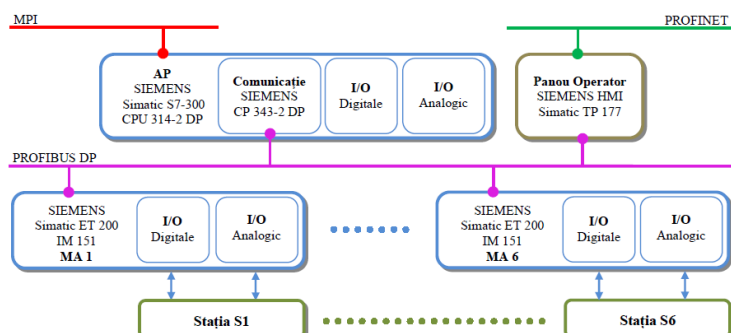


Fig. 3.4 Arhitectura sistemului de automatizare al liniei flexibile de asamblare/dezasamblare
HERA & Horstmann

3.8 Sistemul de prelucrare FESTO MPS-200

Sistemul mecatronic FESTO MPS-200 (**Fig.3.5**) reprezintă o linie flexibilă didactică de prelucrare, sortare și depozitare. Aceasta este compusă din 4 stații (celule), fiecare realizând operații diferite.

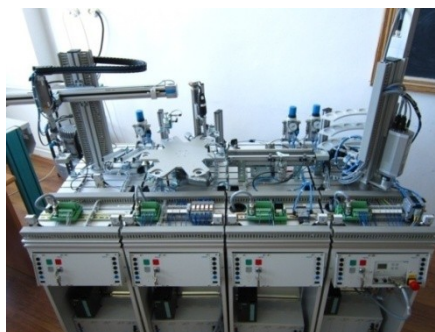


Fig. 3.5 Sistem flexibil de fabricație FESTO MPS-200

Structura sistemului flexibil FESTO MPS-200 este alcătuită din următoarele stații:

- Celulă de sortare;
- Celulă de prelucrare;
- Celulă de acumulare (de tip buffer);
- Celulă de depozitare;

Structura sistemului de automatizare (**Fig. 3.6**) este de tip locală pe fiecare stație și este compusă dintr-un AP SIEMENS Simatic S7-300 cu procesor din seria CP 312C-2 DP și module auxiliare de interfațare I/O distribuite pe fiecare dintre stațiile sistemului flexibil.

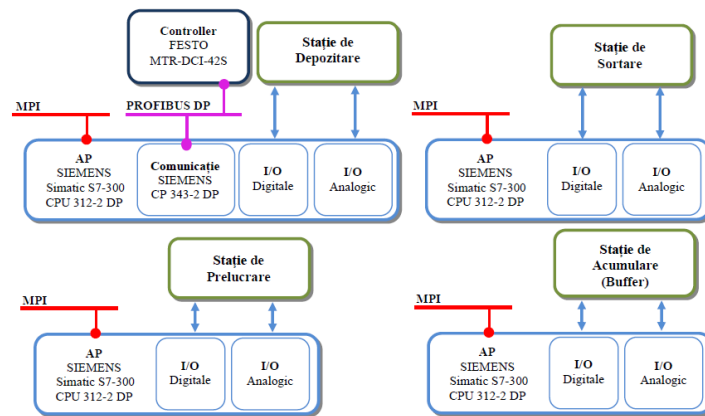


Fig. 3.6 Arhitectura sistemului de automatizare al liniei flexibile de prelucrare
FESTO MPS-200

3.9 Platforma mobilă Pioneer P3-DX

Platforma mobilă Pioneer P3-DX (**Fig. 3.7**) face parte dintr-o familie de roboți mobili produși de compania MOBILE ROBOTS. Pioneer P3-DX este dotat cu sistem de conducere onboard, devenind astfel un robot mobil autonom. Spre deosebire de alți roboți, dimensiunea mică a platformei mobile Pioneer P3-DX permite navigarea pe culoare înguste și spații aglomerate. Sistemul de conducere al robotului Pioneer 3-DX folosește două motoare de curent continuu, fiecare fiind echipat cu un encoder optic.



Fig. 3.7 Robot mobil Pioneer P3-DX

Pioneer P3-DX poate urca în rampă cu o înclinație de maximu 25%, pe teren plan viteza robotului mobil poate ajunge până la 1,6 m/s (5,76 km/h). Cântărește 9 kg cu un număr minim de baterii. Aceste caracteristici îi permit să transporte o sarcină de pîna la 23 kg.

Manipulatorul robotic Pioneer 5-DOF (**Fig. 3.8**) poate manipula obiecte pîna la 150 g. Pioneer 5-DOF este alcătuit din:

- bază rotativă;
- 2 articulații mobile;
- o articulație pivotantă și rotativă;
- un gripper pivotant;



Fig. 3.8 Manipulator robotic Pioneer 5-DOF

Toate articulațiile cu excepția gripperului pot pivota și roti cel puțin 180° . El se poate monta pe platforma mobilă Pioneer P3-DX și poate efectua o gamă largă de operații, având o rază de acțiune de 50 cm de la baza rotativă până la vârful gripperului.

3.10 Concluzii

Principalele contribuții rezultate în urma cercetărilor efectuate în cadrul prezentului capitol au vizat, în mod deosebit, analiza sistemelor flexibile de fabricație din cadrul proceselor de asamblare, dezamblare și prelucrare pentru elaborarea unei noi structuri flexibile de fabricație capabilă să îndeplinească sarcini multiple cu aceleași echipamente în cadrul diferitelor procese de fabricație. Rezultatele analizei obținute au urmărit deservirea proceselor flexibile de fabricație de o platformă mobilă echipată cu manipulator robotic capabilă să îndeplinească două sarcini diferite, transport și manipulare. Ca rezultat al optimizării gradului de flexibilitate al echipamentelor și introducerea structurii robotice care deservește linia flexibilă de asamblare/dezasamblare, se poate evidenția în **Fig. 3.9** noua structură care permite posibilitatea dezamblării complete a unui produs care s-a asamblat cu aceleași utilaje, dezamblare deservită de o platformă mobilă echipată cu manipulator. Se evidențiază subsistemele flexibile de fabricație (prelucrare, transport, manipulare) care pot executa operații de asamblare/dezasamblare și prelucrare distincte cu aceleași utilaje.

Cele mai importante contribuții din cadrul acestui capitol sunt:

1. obținerea unei structuri optimizate de fabricație flexibilă care permite cu aceleași utilaje efectuarea a două procese distincte: asamblare și dezamblare;
2. introducerea unei platforme mobile echipate cu manipulator pentru deservirea liniei flexibile în cadrul procesului de dezamblare;
3. optimizarea sistemului de control și monitorizare prin introducerea sistemului distribuit de conducere a platformei mobile echipată cu manipulator cât și a liniei flexibile de asamblare/dezasamblare;

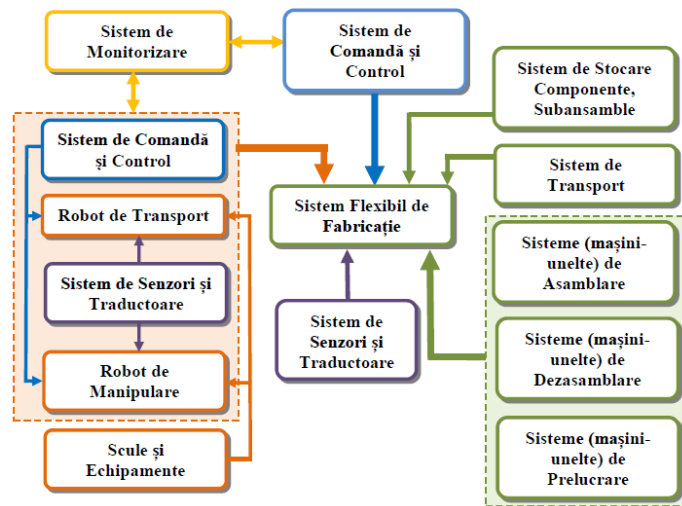


Fig. 3.9 Sistem flexibil de asamblare/dezasamblare în variantă conceptuală, deservit de roboți mobile echipați cu manipulator robotic

Capitolul 4

Contribuții privind analiza și modelarea proceselor de fabricație pe liniile flexibile deservite de roboți mobili

-
- 4.1 Introducere*
 - 4.2 Ipoteze de analiză și modelare a liniei flexibile HERA & Horstmann*
 - 4.3 Planificarea taskurilor aferente procesului de dezasamblare deservit de robot mobil echipat cu manipulator*
 - 4.4 Modelarea conducerii liniei de asamblare/dezasamblare deservită de robot mobil echipat cu manipulator cu ajutorul RP netemporizate în abordare SED*
 - 4.5 Modelarea conducerii liniei de asamblare/dezasamblare deservită de robot mobil echipat cu manipulator cu ajutorul RP temporizate în abordare SED*
 - 4.6 Modelarea conducerii liniei de asamblare/dezasamblare deservită de robot mobil echipat cu manipulator cu ajutorul RPH sincronizate*
 - 4.7 Ipoteze de analiză și modelare a liniei flexibile FESTO MP-200*
 - 4.8 Planificarea taskurilor aferente procesului de prelucrare al liniei flexibile FESTO MPS-200*
 - 4.9 Modelarea conducerii liniei de prelucrare FESTO MPS-200 cu ajutorul RP netemporizate în abordare SED*
 - 4.10 Concluzii*
-

Principalul obiectiv urmărit în acest capitol este stabilirea de noi rezultate în modelarea proceselor de fabricație pe liniile flexibile deservite de roboți mobili echipați cu manipolatoare. Având în vedere structura particulară a liniei flexibile de asamblare/dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator, prezentată în Capitolul 3, au fost utilizate mai multe abordări de modelare pentru a evidenția cu acuratețe

procesul real de fabricație. Diferite abordări de modelare au fost tratate în literatură în [40], [41], [47], [48].

4.1 Introducere

În SFF se desfășoară evenimente asincrone paralele (paralelism în timp), denumite și evenimente asincrone concurente. Existența evenimentelor asincrone paralele impune tehnici complexe de modelare adoptate pentru conducerea unui SFF iar numărul relativ redus de tehnici utilizate până în prezent a fost determinat de acest inconvenient, precum și de cerințele impuse modelului: generalitatea aplicării, simplitatea utilizării și fidelitatea reprezentării. Principalele tehnici de analiză și modelare folosite în prezent și descrise pentru a evidenția SFF deservite de roboți prin evenimentele asincrone paralele sunt *rețelele Petri* (RP).

Principalele obiective ale acestui capitol sunt:

- Analiza și modelarea dinamicii sistemului de asamblare și dezasamblare deservită de roboți mobili a liniei flexibile HERA & Horstmann la apariția evenimentelor utilizând RP clasice;
- Analiza și modelarea dinamicii sistemului de asamblare și dezasamblare deservită de roboți mobili a liniei flexibile HERA & Horstmann la apariția evenimentelor a căror durată este cuantificată și considerată în model utilizând RP temporizate;
- Analiza și modelarea dinamicii sistemului de asamblare și dezasamblare deservită de roboți mobili a liniei flexibile HERA & Horstmann în care se consideră atât aspectul de SED dar și cel al variației continue a stării utilizând *RP Hibride* (RPH);
- Analiza și modelarea dinamicii sistemului de prelucrare FESTO MPS-200 la apariția evenimentelor utilizând RP clasice;

4.2 Ipoteze de analiză și modelare a liniei flexibile HERA & Horstmann

În cadrul analizei și modelării liniei flexibile de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann se introduc inițial ipoteze de funcționare a procesului de asamblare și dezasamblare.

- a. Analiza procesului de asamblare (**Fig. 4.1**): la pornirea liniei flexibile HERA & Horstmann, se declanșează procesul de asamblare.
- b. Analiza procesului de dezasamblare deservit de robot mobil (**Fig. 4.2**): dacă se constată că produsul final este rebut se declanșează procesul de dezasamblare. Dezasamblarea este un proces accidental care se declanșează atunci când produsul nu trece testul de calitate.

4.3 Planificarea taskurilor aferente procesului de dezasamblare deservit de robot mobil echipat cu manipulator

Conform ipotezelor descrise în subcapitolul 4.2 în **Fig. 4.3** și **Fig. 4.4** sunt prezentate zonele și traiectoriile pe care trebuie să le parcurgă platforma mobilă în decursul procesului de dezasamblare. Traiectoriile sunt linii drepte pe care le parcurge robotul mobil echipat cu manipulator pentru a transporta la magaziile de depozitare piesele rezultate în urma operațiilor de dezasamblare.

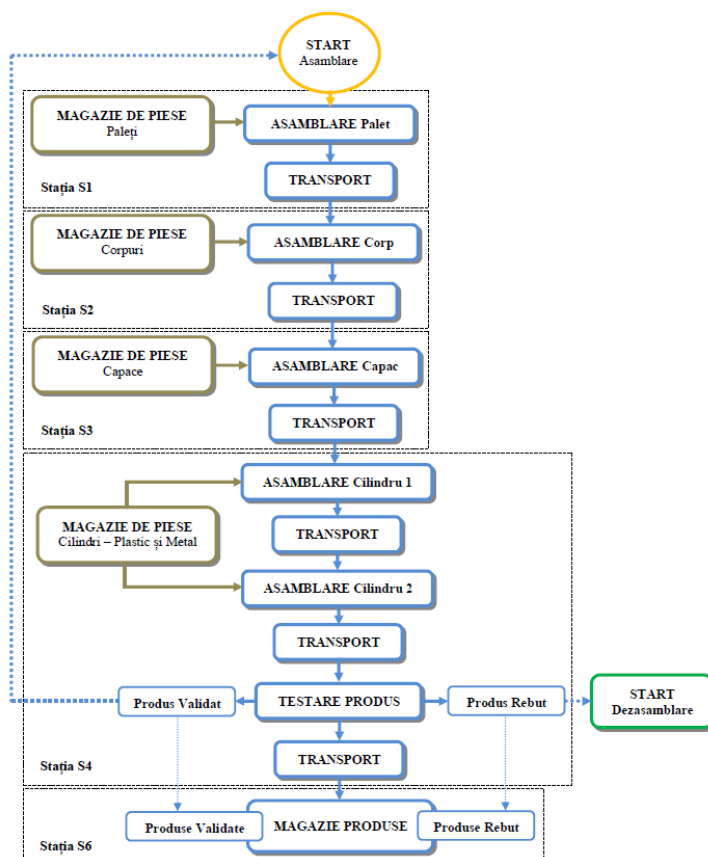


Fig. 4.1 Schema bloc a operațiilor de asamblare a unui produs

Strategia de dezasamblare este bazată pe un graf de reprezentare a produsului asamblat în care relațiile dintre componente sunt exprimate prin săgeți. Utilizând acest graf se elaborează o planificare a taskurilor prin care se determină secvența în care componentele sunt dezasamblate și transportate la magaziile de depozitare [36], [37], [38], [51], [52].

Dacă un produs final asamblat este declarat rebut, planificarea taskurilor furnizează cea mai bună secvență pentru dezasamblarea produsului. Se propune planificarea taskurilor din **Fig. 4.5**.

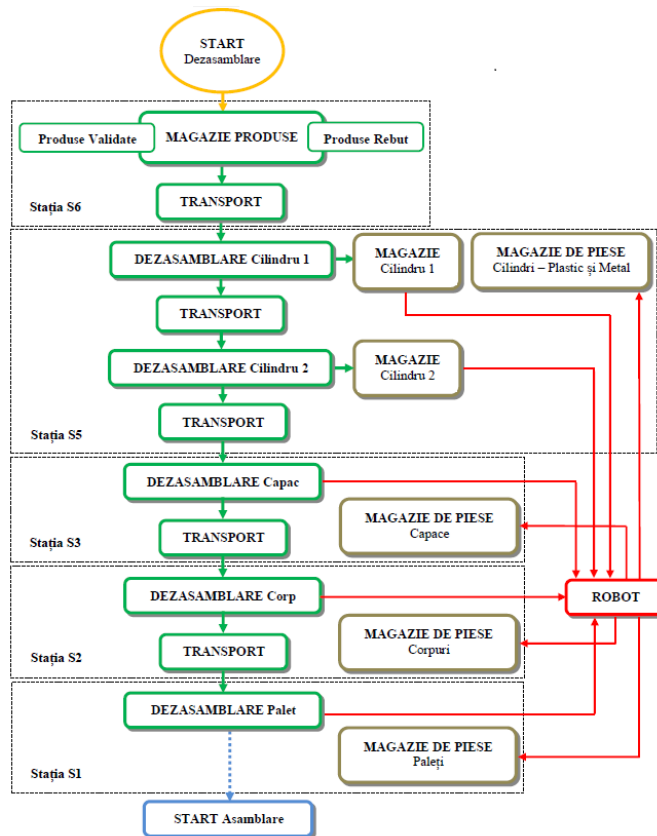


Fig. 4.2 Schema bloc a operațiilor de dezamblare deservită de un robot mobil a unui produs

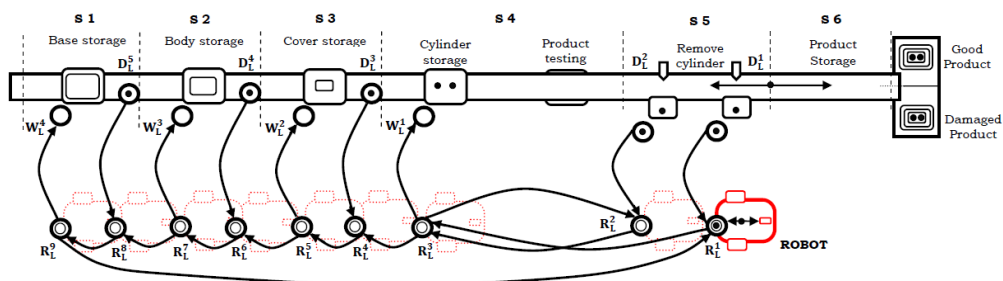


Fig. 4.3 Ciclul complet a robotului mobil echipat cu manipulator în procesul de dezamblare

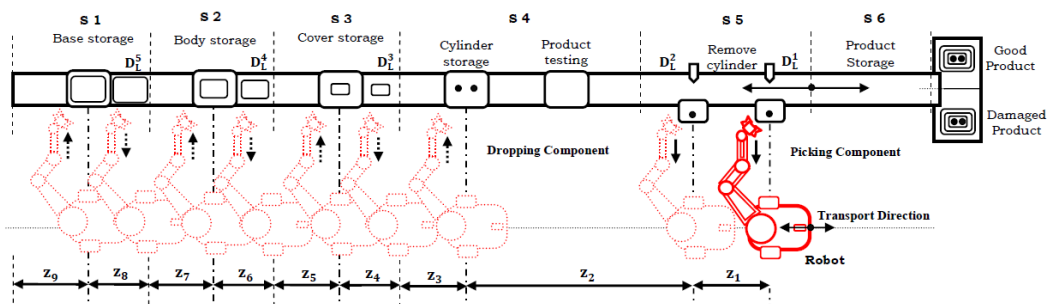


Fig. 4.4 Împărțirea pe secțiuni și zone a procesului de dezamblare

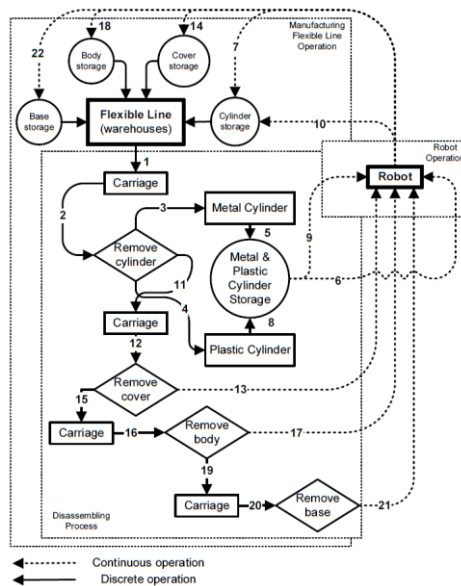


Fig. 4.5 Planificarea taskurilor pentru operația de dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator

4.4 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare pe linia flexibilă deservită de robot mobil echipat cu manipulator utilizând RP netemporizate în abordare SED

O rețea Petri este [53], [54] un cvintuplu, $PN = (P, T, F, W, M0)$ unde:

- $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ este o mulțime finită de locații, unde:

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\} = P^A \cup P^D \quad (4.1)$$

Unde,

$$P^D = \{Pa_i\}_{i=1, \dots, n} \cup \{Pd_j\}_{j=1, \dots, n} \cup \{Pr_k\}_{k=1, \dots, n} \quad (4.2)$$

- $\{Pa_i\}_{i=1, \dots, n}$ este mulțimea locațiilor aferente procesului de asamblare;
- $\{Pd_j\}_{j=1, \dots, n}$ este mulțimea locațiilor aferente procesului de dezasamblare;
- $\{Pr_k\}_{k=1, \dots, n}$ este mulțimea locațiilor pentru stările platformei mobile în timpul procesului de dezasamblare;
- $T = \{Ta_1, Ta_2, \dots, Ta_n\}$ este o mulțime de tranziții, unde:

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\} = T^A \cup T^D \quad (4.4)$$

Unde,

$$T^D = \{Ta_i\}_{i=1, \dots, n} \cup \{Td_j\}_{j=1, \dots, n} \cup \{Tr_k\}_{k=1, \dots, n} \quad (4.5)$$

- $\{Ta_i\}_{i=\overline{1,n}}$ sunt tranzițiile pentru operațiile de asamblare;
- $\{Td_j\}_{j=\overline{1,n}}$ sunt tranzițiile pentru operațiile de dezasamblare;
- $\{Tr_k\}_{k=\overline{1,n}}$ sunt tranzițiile discrete asociate stărilor platformei mobile care deservește procesul de dezasamblare;
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ este o mulțime de arce;
- $W:F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ este o funcție de pondere a arcelor;
- $M0:P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ este o funcție de marcaj inițial;
- n reprezintă numărul maxim de locații sau de tranziții asociate operațiilor de asamblare, dezasamblare și operațiilor de deservire a liniei flexibile de un robot mobil;

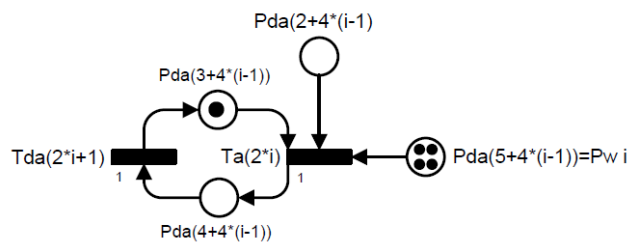


Fig. 4.6 Modelarea procesului de asamblare a unei componente pe linia flexibilă cu RP netemporizate în abordare discretă

În **Fig. 4.6** se prezintă modelarea unui singur proces de asamblare, în care, din magazia de piese este preluată o componentă și prin operația de asamblare aceasta intră în componența produsului. Astfel, se pot modela utilizând rețele Petri netemporizate un număr de $i = \overline{1,n}$ stații de asamblare, în abordare discretă. În **Fig. 4.7** se prezintă modelarea unui proces de asamblare a unei componente care este supusă unui test de calitate în vederea stocării produsului final pe două criterii: produse bune (care au fost validate la testul de calitate) și produse cu defect (care au fost invalidate la testul de calitate). La apariția unui produs declarat defect este inițializat procesul de dezasamblare iar produsul este întors din magazia aferentă pe linia de asamblare pentru a fi dezasamblat în vederea recuperării părților componente.

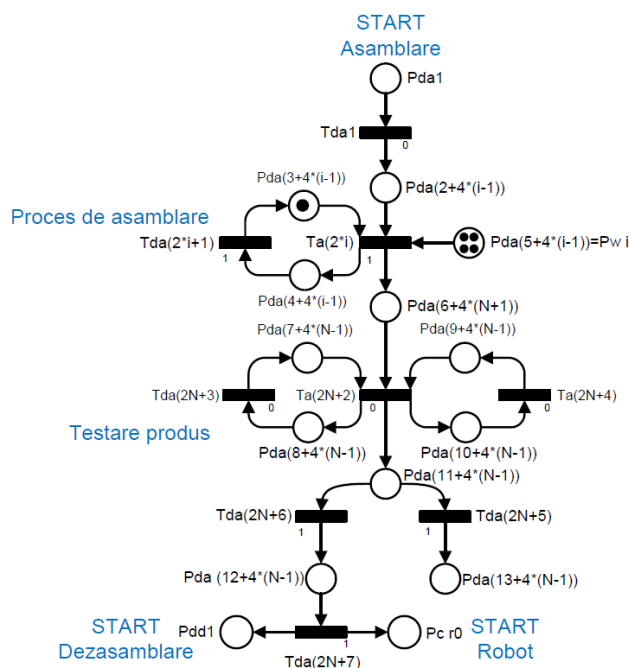


Fig. 4.7 Modelarea procesului dezasamblare, testare și depozitare a unui produs pe linia flexibilă cu RP netemporizate în abordare discretă

Considerând planificarea taskurilor din **Fig. 4.5** și descrierea operațiilor din **Fig. 4.1** în **Fig. 4.8** este prezentată RP netemporizată ce reprezintă modelul liniei flexibile HERA & Horstmann în cadrul procesului de asamblare în abordare SED [54].

Considerând planificarea taskurilor din **Fig. 4.5** și descrierea operațiilor din **Fig. 4.1** în **Fig. 4.9** este prezentată RP netemporizată ce reprezintă modelul liniei flexibile HERA & Horstmann în cadrul procesului de dezasamblare parțială în abordare SED.

Prin modelarea procesului de dezasamblare parțială prezentată în **Fig. 4.9** se pun în evidență operațiile prin care sunt dezasamblate două componente din cadrul produsului și depozitate în magaziile aferente celor două locații de dezasamblare.

Dezasamblarea parțială a celor două componente face parte din cadrul procesului de asamblare și dezasamblare (parțială) pe linia flexibilă HERA & Horstmann. În urma optimizării procesului de dezasamblare și introducerii robotului mobil echipat cu manipulator care deservește linia flexibilă se obține o dezasamblare totală a produsului și astfel linia flexibilă devine complet reversibilă, modelarea acestor operații este prezentată mai jos.

Considerând planificarea taskurilor din **Fig. 4.5** și descrierea operațiilor din **Fig. 4.1** în **Fig. 4.10** este prezentată RP netemporizată ce reprezintă modelul liniei flexibile HERA & Horstmann în cadrul procesului de dezasamblare parțială deservită de un robot mobil cu manipulator în abordare SED.

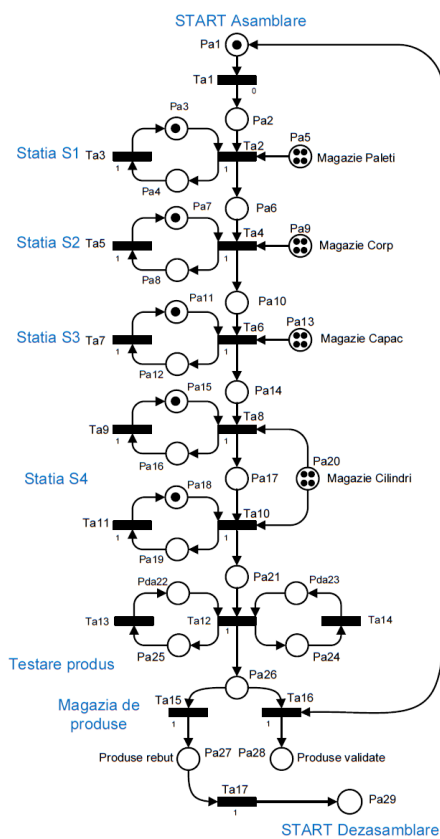


Fig. 4.8 Modelarea procesului de asamblare pe linia flexibilă HERA & Horstmann cu RP netemporizate în abordare discretă

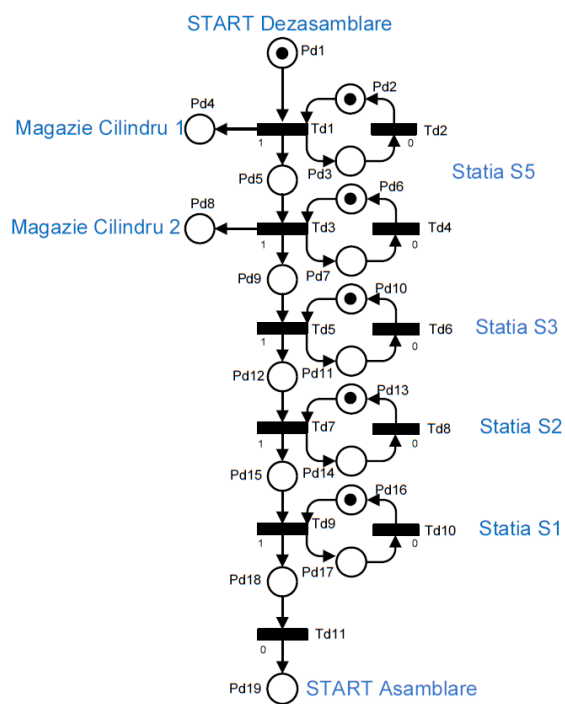


Fig. 4.9 Modelarea procesului de dezasamblare parțială pe linia flexibilă HERA & Horstmann cu RP netemporizate în abordare discretă

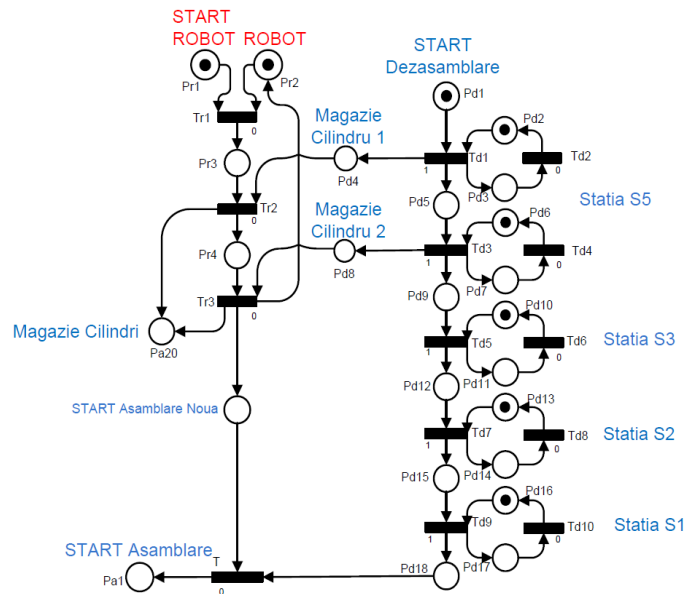


Fig. 4.10 Modelarea procesului de dez asamblare parțială pe linia flexibilă HERA & Horstmann deservită de un robot mobil cu manipulator utilizând RP netemporizate în abordare discretă

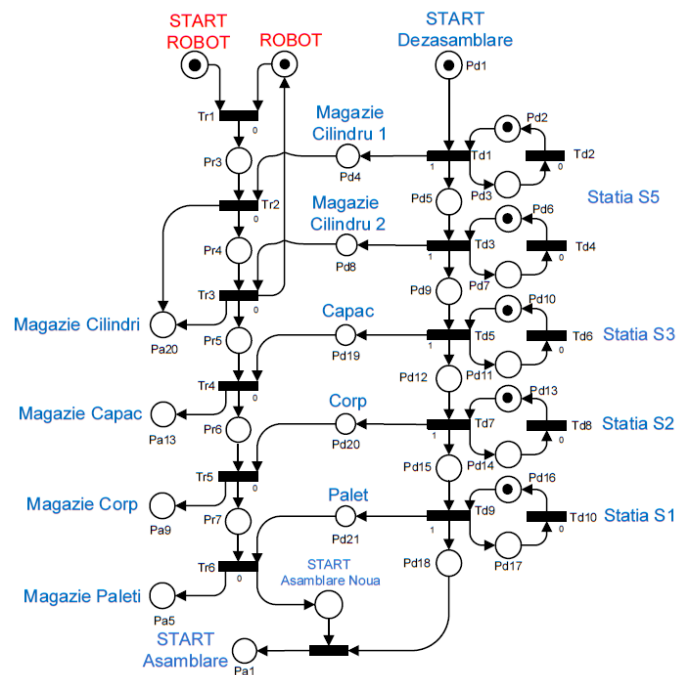


Fig. 4.11 Modelarea procesului de dez asamblare totală pe linia flexibilă HERA & Horstmann deservită de un robot mobil cu manipulator utilizând RP netemporizate în abordare discretă

Considerând planificarea taskurilor din **Fig. 4.5** și descrierea operațiilor din **Fig 4.1** în **Fig. 4.11** este prezentată RP netemporizată ce reprezintă modelul liniei flexibile HERA &

Horstmann în cadrul procesului de dezasamblare totală deservit de un robot mobil cu manipulator în abordare SED.

Considerând planificarea taskurilor din **Fig. 4.5** și descrierea operațiilor din **Fig 4.1** în **Fig. 4.12** este prezentată RP netemporizată ce reprezintă modelul liniei flexibile HERA & Horstmann în cadrul procesului de asamblare și dezasamblare totală deservit de un robot mobil cu manipulator în abordare SED.

4.5 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare pe linia flexibilă deservită de robot mobil echipat cu manipulator cu ajutorul RP temporizate în abordare SED

Modelarea procesului de asamblare și dezasamblare pe linia flexibilă HERA & Horstmann deservită de un robot mobil echipat cu manipulator utilizând rețele Petri netemporizate în abordare discretă se realizează la nivel de stare: în care se determină ce acțiuni se produc în sistem, care stări preced acestor acțiuni și în ce stări va trece sistemul după producerea acțiunilor precedente, astfel este pus în evidență întregul comportament.

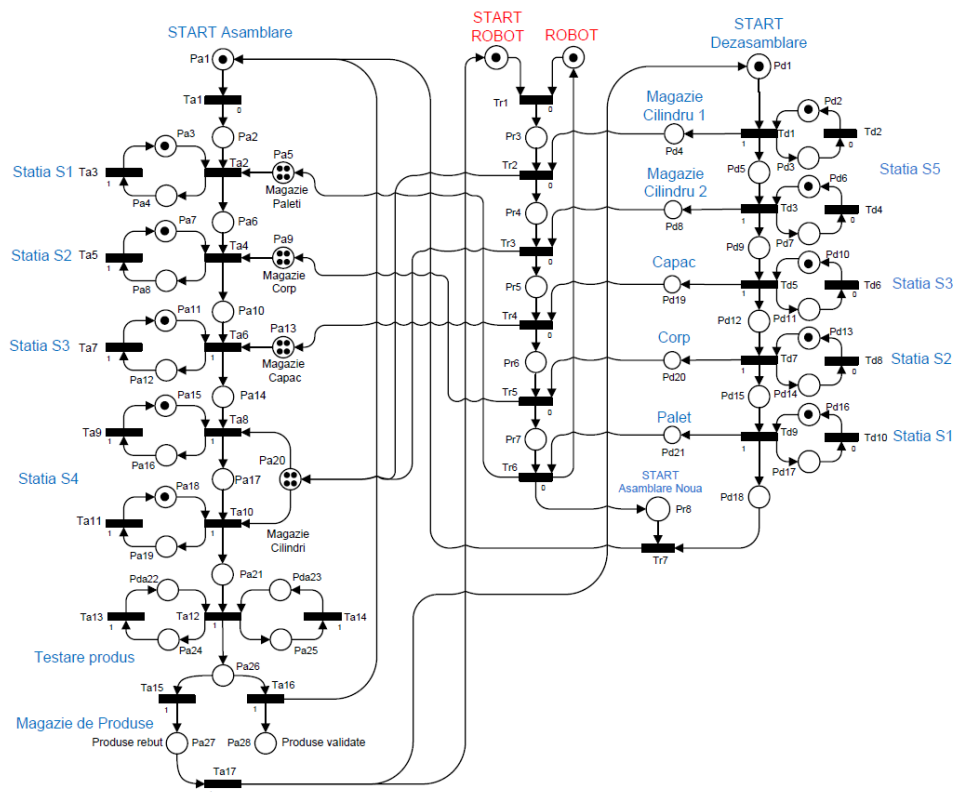


Fig. 4.12 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare totală pe linia flexibilă HERA & Horstmann deservită de un robot mobil cu manipulator cu RP netemporizate în abordare discretă

Prin analiza rețelei Petri netemporizată se cunosc stările în care s-a aflat sau nu sistemul, care sunt în principiu, stările necontrolabile, etc., însă o astfel de analiză nu poate oferi informații suficiente despre caracteristicile numerice care determină stările sistemului și nu poate pune în evidență cât mai real comportamentul sistemului, de aceea am utilizat în modelare și rețele Petri temporizate în abordare discretă.

Cu ajutorul acestui model se pot lua în discuție toate caracteristicile temporale specifice începerii unui proces de asamblare a unui nou produs, urmat de un proces de dezasamblare la apariția unui produs declarat defect (nevalidat), urmat de anumite succesiuni de operații pe care le execută robotul mobil echipat cu manipulator care deservește întregul proces de dezasamblare.

Considerând planificarea taskurilor din Fig. 4.5, descrierea operațiilor din Fig. 4.1 și ecuațiile 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 în Fig. 4.13 este prezentată RP temporizată ce reprezintă modelul liniei flexibile HERA & Horstmann în cadrul procesului de asamblare și dezasamblare totală deservit de un robot mobil cu manipulator în abordare SED.

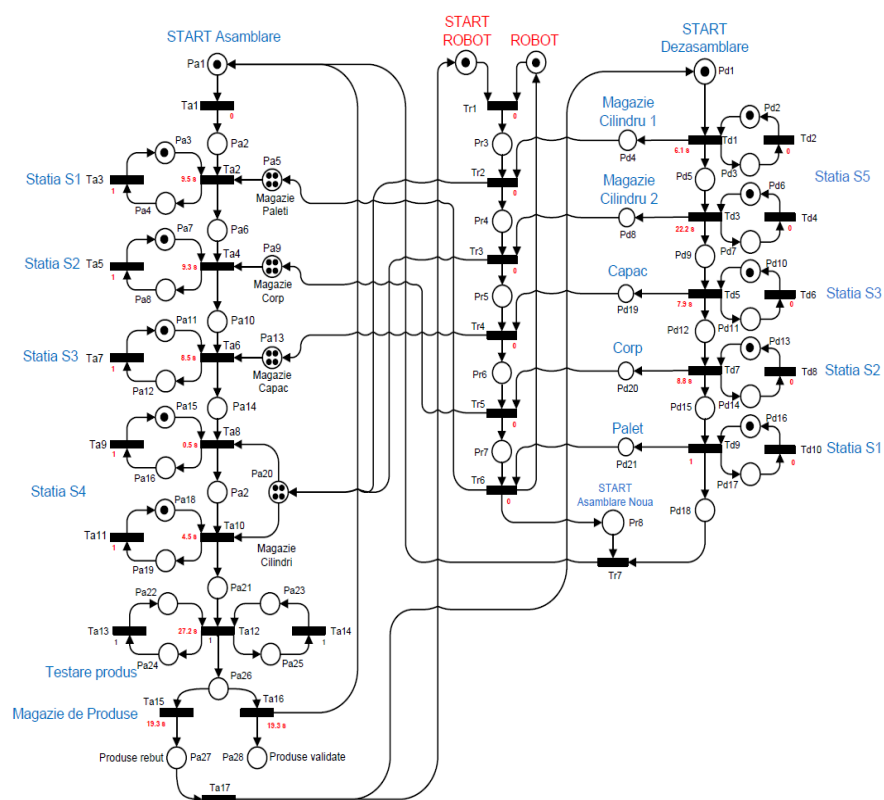


Fig. 4.13 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare totală pe liniei flexibile HERA & Horstmann deservit de un robot mobil cu manipulator cu RP temporizate în abordare discretă

4.6 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare pe linia flexibilă deservită de robot mobil echipat cu manipulator cu ajutorul RPH sincronizate

Pentru elaborarea modelului global al asamblării și/sau dezamblării, se va considera aspectul hibrid al procesului de asamblare/dezasamblare deservit de platforma mobilă. Instrumentul dedicat modelării sunt rețele Petri hibride care întregesc atât aspectul discret (în modelarea proceselor de asamblare/dezasamblare) dar și cel continuu (deplasarea robotului mobil și acțiunile lui de manipulare a componentelor). Modelul final este de tip *RPH sincronizate* (RPHS) deoarece este interfațat cu evenimente externe de sincronizare, într-o abordare a modelării/simulării în timp real.

4.6.1 Modelul generalizat al RPHS

Modelarea structurii de RPHS aferentă procesului de asamblare și dezamblare a unui produs cu N componente este prezentată în **Fig. 4.14**, unde:

- N reprezintă componentele produsului supuse operațiilor de asamblare/dezasamblare;
- $n_{a_i}, i = \overline{1, N}$ reprezintă localizarea pe axa Ox a sistemului de coordonate xOy, în sensul crescător al axei Ox, corespunzător etapei curente de asamblare a unui produs;
- $n_{d_j}, j = \overline{1, N-1}$ reprezintă localizarea pe axa Ox a sistemului de coordonate xOy, în sensul descrescător al axei Ox, corespunzător etapei curente de dezamblare;
- $w_i, i = \overline{1, N}$ reprezintă localizarea axa Ox a sistemului de coordonate xOy a magaziiilor de stocare a componentelor;

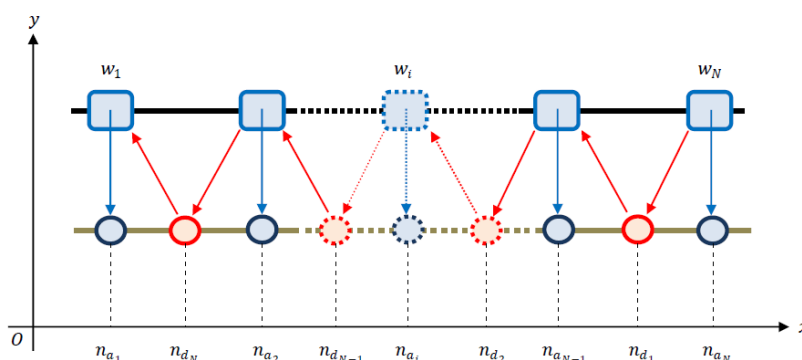


Fig. 4.14 Reprezentarea punctelor de lucru ale procesului de asamblare/dezasamblare pentru o piesă cu N componente

Pentru a descrie modelul asociat liniei de asamblare/dezasamblare deservită de robotul mobil echipat cu manipulator utilizat în conducere, se apelează la formalismul RPHS [56]-[59], [61]-[64]. În **Fig. 4.16** este dat acest model.

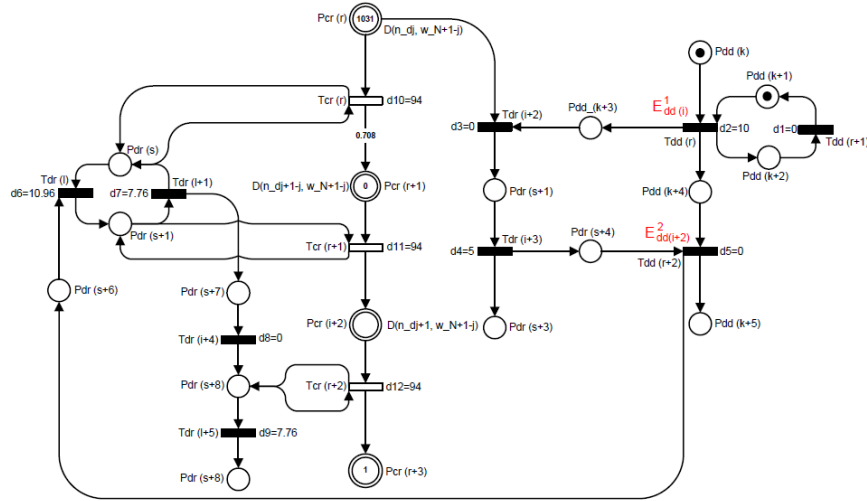


Fig. 4.15 Structura generalizată a modelului sincronizat corespunzător procesului de dezasamblare a N piese

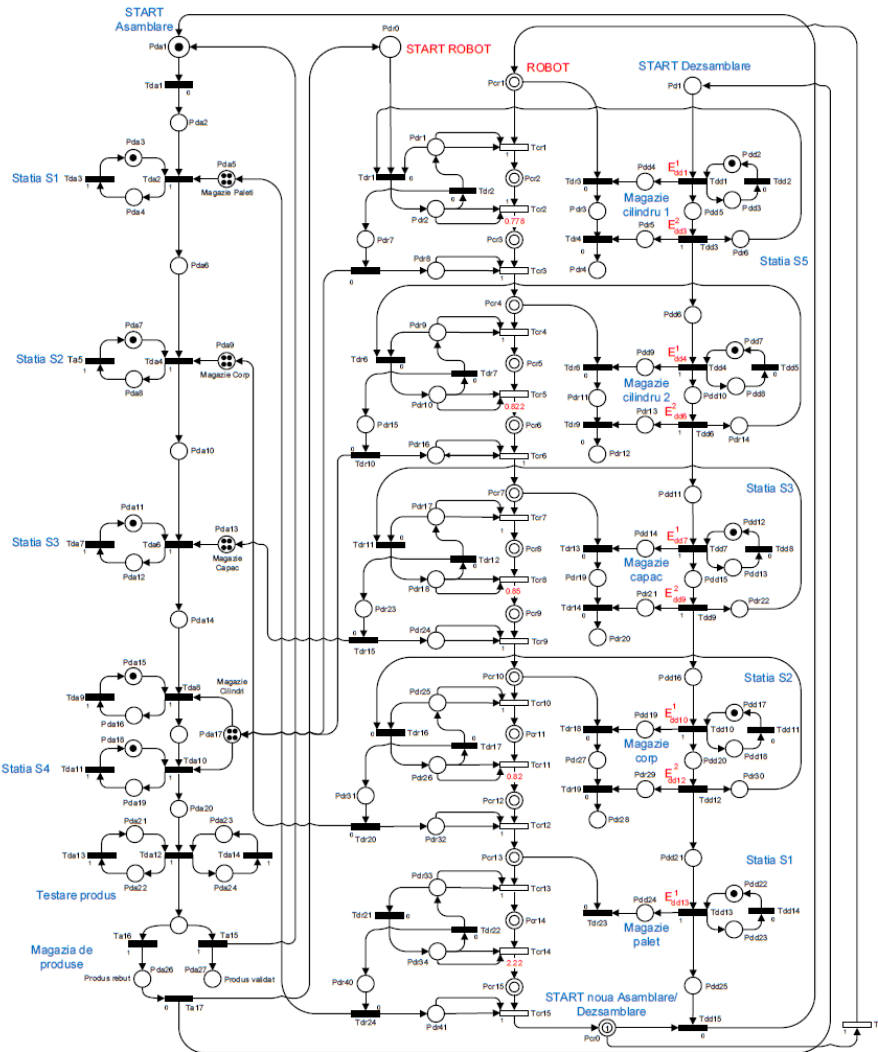


Fig. 4.16 Modelarea procesului de asamblare/dezasamblare totală pe linia flexibilă HERA & Horstmann deservit de un robot mobil cu manipulator cu RPH sincronizată

În Fig. 4.17, aceasta reprezintă modelarea structurii generalizate corespunzătoare procesului de dez asamblare a primei piese din cadrul produsului. Cele patru stații de dez asamblare deservite de robotul mobil echipat cu manipulator sunt identice, mai puțin Stația 1.

În Fig. 4.18 se prezintă modelarea structurii generalizate corespunzătoare ultimului proces de dez asamblare aferent ultimei componente din cadrul produsului, proces deservit de un robot mobil echipat cu manipulator.

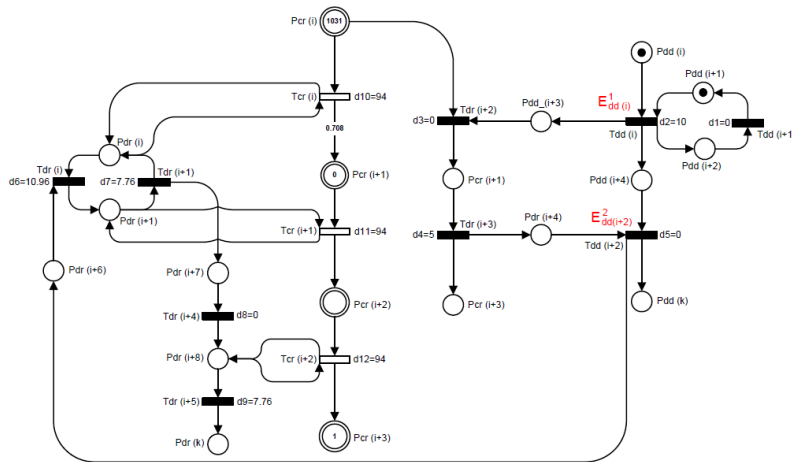


Fig. 4.17 Structura generalizată a modelului sincronizat corespunzător procesului de dez asamblare a primei piese din cadrul produsului

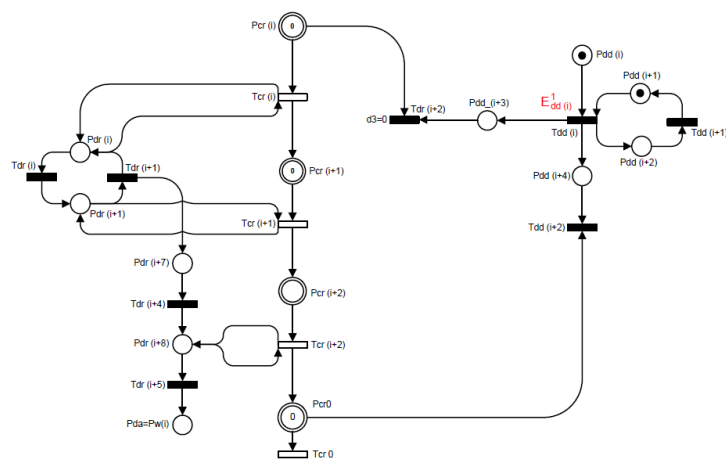


Fig. 4.18 Structura generalizată a modelului sincronizat corespunzător procesului de dez asamblare a ultimei piese din cadrul produsului

- E^1 este un semnal de sincronizare extern asociat procesului de dez asamblare și corepunde la *STOP* linie de mecatronică și *START* operație de dez asamblare;
- E^2 este un semnal de sincronizare extern asociat procesului de dez asamblare și corepunde prinderii piesei dez asamblate și *START* linie de mecatronică;

- e este un eveniment intern care apare în permanență și nu corespunde nici unuia dintre evenimentele externe utilizate pentru sincronizare;

Aplicația,

$$Sync: T \rightarrow \{E^1, E^2\} \cup \{e\} \quad (4.38)$$

poate fi descrisă astfel:

$$Sync: \{Tdd_j\}_{j=1,16} \rightarrow \{E^1, E^2\} \quad (4.39)$$

Aspectul hibrid al unei RPHS este determinat de variabilele asociate distanțelor între locațiile de dezasamblare și magaziile de depozitare, distanțe pe care robotul mobil trebuie să le parcurgă.

4.7 Ipoteze de analiză și modelare a liniei flexibile FESTO MPS-200

În cadrul analizei și modelării liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS-200 (Fig. 4.19) se introduc inițial ipoteze de funcționare a procesului de prelucrare.

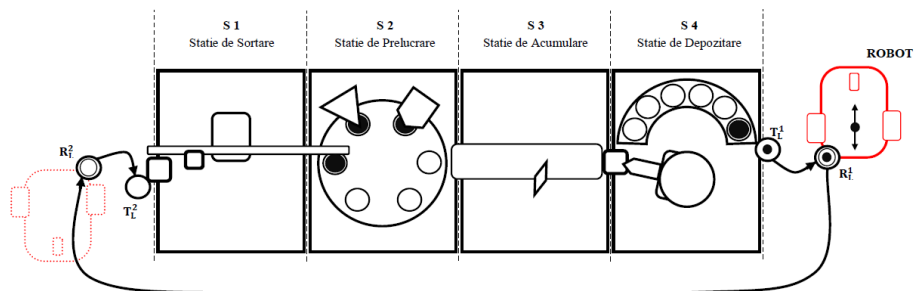


Fig. 4.19 Ciclul complet al robotului mobil echipat cu manipulator deservind linia flexibilă FESTO MPS-200

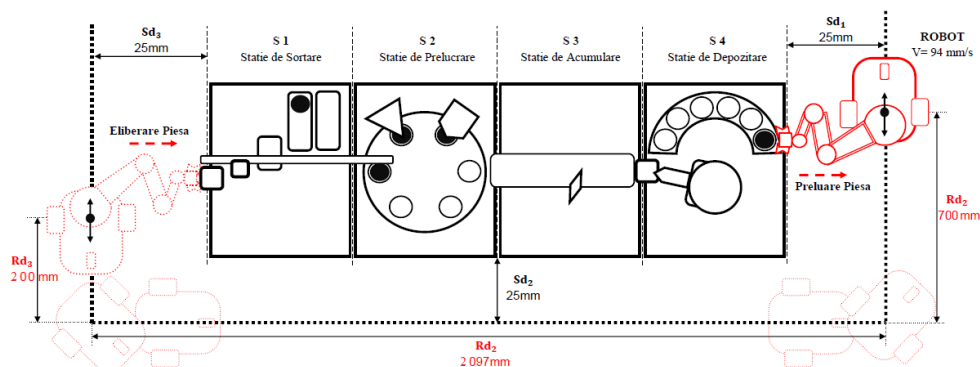


Fig. 4.20 Împărțirea pe secțiuni și traiectoria pe care o parcurge platforma mobilă

Conform ipotezelor descriese, în **Fig. 4.20** sunt prezentate secțiunile și traiectoriile pe care le parcurge platforma mobilă echipată cu manipulator în cadrul procesului de deservire a liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS-200.

4.8 Planificarea taskurilor aferente procesului de prelucrare al liniei flexibile FESTO MPS-200

Conform ipotezelor descriese în subcapitolul 4.8 în **Fig. 4.21** se propune planificarea taskurilor aferente liniei flexibile FESTO MPS-200.

Strategia de sortare, prelucrare și depozitare este bazată pe un graf de reprezentare a produsului prelucrat în care relațiile dintre stații sunt exprimate prin săgeți. Utilizând acest graf se elaborează o planificare a taskurilor prin care se determină secvența în care componentele sunt prelucrate.

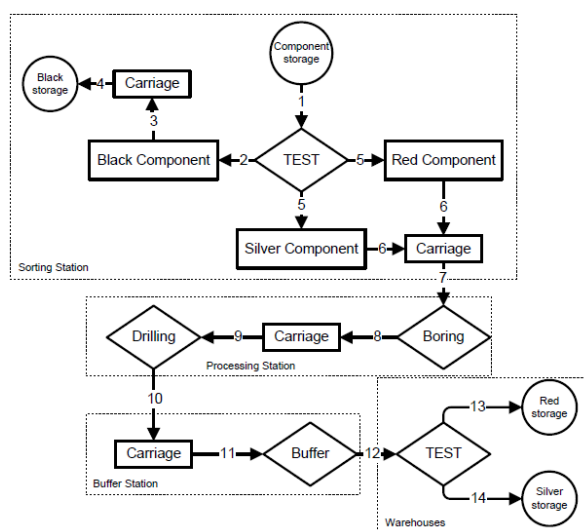


Fig. 4.21 Planificarea taskurilor pentru operațiile de sortare, prelucrare și depozitare

4.9 Modelarea liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS-200 cu ajutorul RP netemporizate în abordare SED

Considerând planificarea taskurilor din **Fig. 4.21** și descrierea operațiilor din subcapitolul 4.8 împreună cu ecuațiile din subcapitolul 4.4 în **Fig. 4.22** este prezentată RP netemporizată ce reprezintă modelul liniei flexibile FESTO MPS-200 în cadrul procesului de prelucrare în abordare SED.

4.10 Modelarea liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS -200 cu ajutorul RP temporizate în abordare SED

Modelarea procesului de prelucrare pe linia flexibilă FESTO MPS-200 deservită de un robot mobil echipat cu manipulator utilizând rețele Petri temporizate este prezentată în **Fig.**

4.23. Considerând planificarea taskurilor din **Fig. 4.21**, descrierea operațiilor din Capitolul 4.7 RP temporizată reprezintă modelul liniei flexibile FESTO MPS-200, model prin care se evidențiază procesul real de prelucrare deservită de un robot mobil cu manipulator în abordare SED.

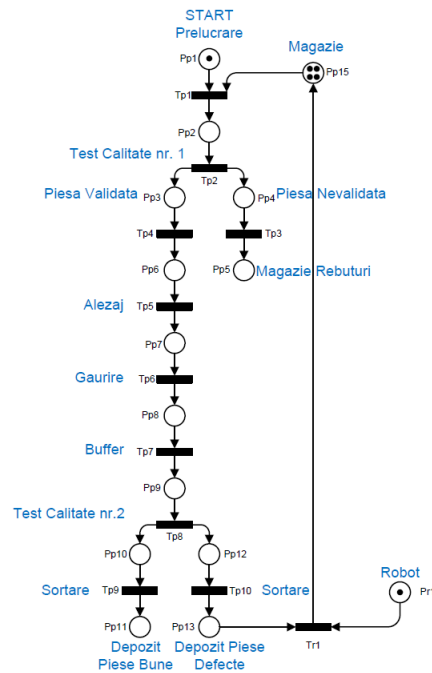


Fig. 4.22 Modelarea procesului de prelucrare pe linia flexibilă FESTO MPS-200 cu ajutorul RP netemporizate în abordare discretă

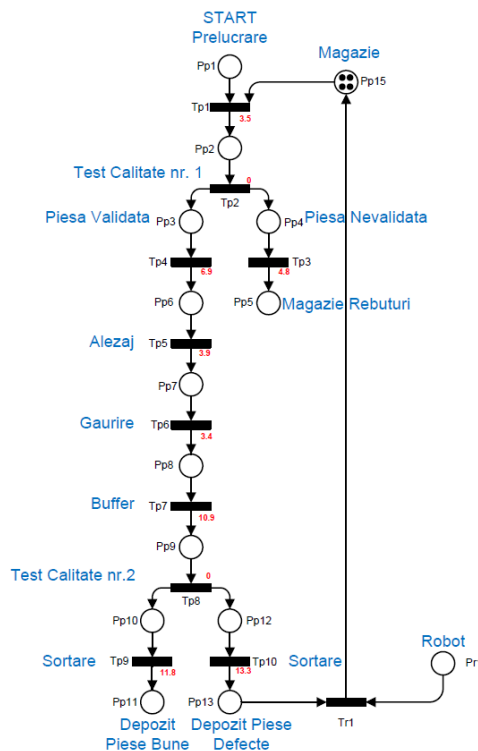


Fig. 4.23 Modelarea procesului de prelucrare pe linia flexibilă FESTO MPS-200 cu ajutorul RP temporizate în abordare discretă

4.10 Concluzii

Principalele contribuții rezultate în urma cercetărilor efectuate în cadrul prezentului capitol au vizat, în mod deosebit, modelarea proceselor de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu un manipulator și a unui proces de prelucrare. Cele mai importante contribuții din cadrul acestui capitol sunt:

1. obținerea unui instrument de simulare a procesului de asamblare, dezasamblare și prelucrare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator, considerând un model cât mai complex al sistemului real care conține componentele: stații de asamblare care pot efectua și o dezasamblare parțială, dezasamblarea totală a unui produs fiind realizată prin deservirea de către o platformă mobilă echipată cu manipulator și stații de prelucrare;

2. obținerea unei structuri complete de modelare a unui proces de flexibil de asamblare, dezasamblare și prelucrare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator. Menționăm că informațiile disponibile din literatură se referă la modele care nu descriu în totalitate un proces de fabricație care poate realiza diverse funcții.

3. deducerea modelului proceselor flexibile de asamblare, dezasamblare și prelucrare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator s-a realizat printr-o procedură în două etape. În prima etapă se construiește un model de planificare al task-urilor, definit printr-un graf de activități. Modelul grafului de activități nu este explicit, dar pune în evidență principalele task-uri care se desfășoară și ordinea acestora. În a doua etapă, se realizează modelarea procesului cu ajutorul grafului de activități din prima etapă.

4. modelarea procesului de asamblare pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;

5. modelarea procesului de dezasamblare parțială pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;

6. modelarea procesului de asamblare și dezasamblare parțială pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;

7. modelarea procesului de asamblare și dezasamblare totală a unui produs pe linii flexibile utilizând rețele Petri temporizate și netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;

8. modelarea procesului de asamblare și dezasamblare totală a unui produs pe linii flexibile deservite de un robot mobil echipat cu manipulator, utilizând rețele Petri Hibrice generalizate, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;

9. modelarea procesului de asamblare și dezasamblare totală a unui produs pe linii flexibile deservite de un robot mobil echipat cu manipulator, utilizând rețele Petri Hibrade sincronizate, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann.

10. modelarea procesului de prelucrare pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă FESTO MPS-200;

11. modelarea procesului de prelucrare pe linii flexibile utilizând rețele Petri temporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă FESTO MPS-200;

Capitolul 5

Contribuții privind simularea procesului de asamblare/dezasamblare deservit de un robot mobil echipat cu manipulator

-
- 5.1 Simularea procesului de asamblare/dezasamblare a unui produs deservit de un RM cu manipulator*
 - 5.2 Simularea structurii generalizate a modelului RPH sincronizate*
 - 5.3 Modelul cinematic al platformei mobile*
 - 5.4 Conducerea Sliding Mode a platformei mobile*
 - 5.5 Simularea conducerii în Sliding Mode*
 - 5.6 Concluzii*
-

Modele rețelelor Petri netemporizate și temporizate permit studierea proprietăților calitative ale funcționării sistemelor dinamice cu evenimente discrete. O altă clasă importantă de astfel de modele o constituie RPH sincronizată.

Simularea și analiza permit evaluarea a unor indici (criterii) de performanță ce caracterizează funcționarea procesului fizic modelat prin rețea Petri netemporizată, temporizată, și RPH sincronizată, exprimând eficiența atât în derularea proceselor de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator, cât și în utilizarea resurselor întregului sistem flexibil. În faza de simulare, evaluarea criteriilor de performanță permite introducerea unor strategii de planificare în utilizarea resurselor liniei flexibile de fabricație cât și a RM cu manipulator, care adaugă reguli suplimentare pentru operarea întregului proces de dezasamblare a unui produs sau le modifică pe cele rezultate numai din considerente logice, calitative [65]-[69].

5.1 Simularea procesului de asamblare/dezasamblare a unui produs deservit de un RM cu manipulator

În cadrul simulării sa utilizat programul Visual Object Net ++. Valorile mărcilor și ale tranzițiilor corespund procesului real, acestea au fost utilizate în simulare pentru a evidenția evoluția corectă a etapelor de asamblare, dezasamblare și deservirea robotului mobil echipat cu manipulator în cadrul procesului de dezasamblare completă a unui produs. S-au utilizat în simulare modelele de rețele Petri descrise în Capitolul 4.

Proprietățile comportamentale ale rețelei Petri temporizate sunt dependente atât de topologia cât și de introducerea tranzițiilor temporizate al rețelei. Operația de asamblare fiind un proces continuu care se desfășoară până când în mod accidental apare o componentă sau un produs declarat defect la testul de calitate, inițializându-se astfel procesul de dezasamblare, proces care este deservit de un robot mobil echipat cu manipulator. În Fig. 5.1 se poate observa rezultatul procesului de asamblare al primei componente, proces care durează 9.5 s, conform valorii temporizării tranziției Ta_2 și a tranziției $Ta_3 = 0$.

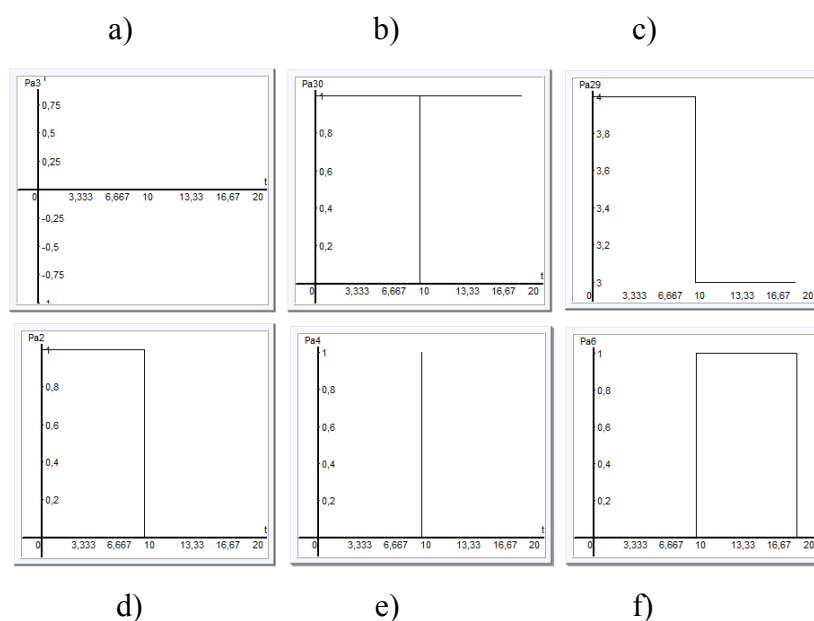


Fig. 5.1 Evoluția stărilor corespunzătoare locațiilor aferente procesului de asamblare al primei piese de la stația S1: a) starea marcajului inițial M_0 care corespunde mărcii $P_a 3$; b) starea procesului de asamblare al primei piese care corespunde mărcii $P_a 30$; c) starea starea magaziei de component aferentă mărcii $P_a 29$; d) starea prin care se declanșează banda transportoare aferentă mărcii $P_a 2$; e) starea prin care procesul se reinițializează după efectuarea primei asamblări aferentă mărcii $P_a 4$; starea prin care se transport component asamblată către stația următoare, aferentă mărcii $P_a 6$;

Valoarea timpului total al ciclului de asamblare a unui produs este $Ta_{ciclu} = 78.8$ s, această valoare corespunde atât depozitării produsului declarat defect cât și a produsului validat la testul de calitate.

În **Fig. 5.2** se poate observa rezultatul procesului de dezasamblare al primei componente din cadrul produsului, proces care durează 6.1 s, conform valorii temporizării tranziției Td_1 și la care se adaugă timpul de la inițializarea operației de dezasamblare și timpul de transport al produsului rebut din magazine în dreptul primei stații de dezasamblare, aferent tranziției Ta_{15} care are o durată de 32.8 s.

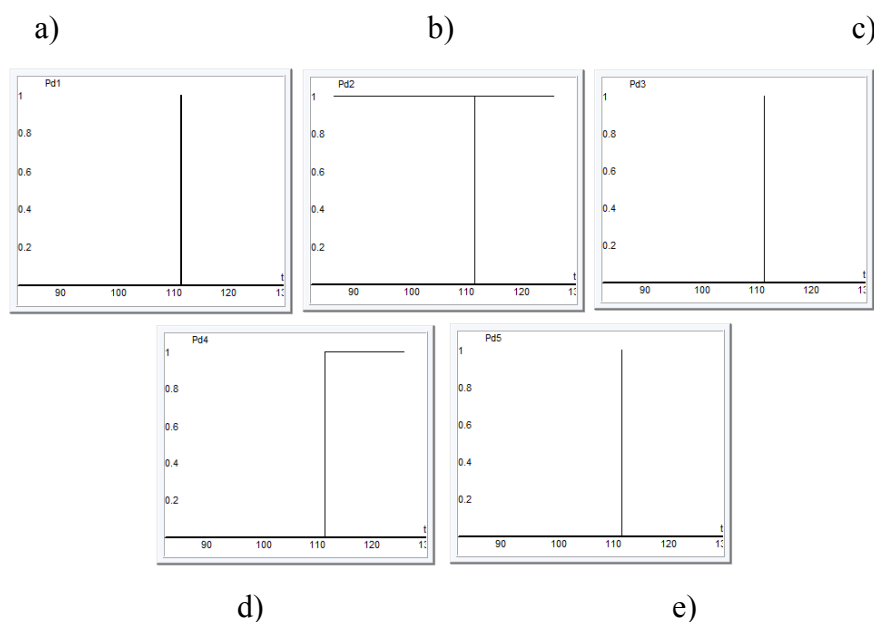


Fig. 5.2 Evoluția stărilor corespunzătoare locațiilor aferente procesului de dezasamblare a unei componente din cadrul unui produs declarat rebut: a) starea marcajului de inițializare a procesului de dezasamblare care corespunde mărcii P_d1 ; b) starea procesului de dezasamblare al primei piese care corespunde mărcii P_d2 ; c) starea prin care procesul se reinițializează după efectuarea primei dezasamblări aferentă mărcii P_d3 ; d) starea starea magaziei de component dezasamblate aferentă mărcii P_d4 ; e) starea prin care se transport produsul către stația următoare de dezasamblare, aferentă mărcii P_a6 ;

Valoarea timpului total al ciclului de dezasamblare a unui produs este $Td_{ciclu} = 53.2$ s, în cadrul acestui timp total al ciclului de dezasamblare se adaugă timpul ciclului în care robotul deservește linia flexibilă în cadrul procesului de dezasamblare Tr_{ciclu} . Valoarea lui Tr_{ciclu} este rezultată din simularea RPH, prezentată în subcapitolul următor [70].

5.2 Simularea structurii generalizate a modelului RPH sincronizate

În cadrul simulării structurii generalizate a modelului RPH sincronizată s-au utilizat două programe Visual Object Net ++ și Sirphyco. Utilizarea a două medii de simulare a fost necesară din motive de limitare a ambelor programe, atât a numărului de elemente folosite cât și a posibilităților restrânse de elaborare a RPH. Valorile mărcilor și ale tranzițiilor corespund procesului real, acestea au fost utilizate în simulare pentru a evidenția evoluția corectă a etapelor de asamblare, dezasamblare și deservirea robotului mobil echipat cu manipulator în cadrul procesului de dezasamblare completă a unui produs. S-au utilizat în simulare modelele de rețele Petri descrise în Capitolul 4. Pentru a evidenția evoluția unei singure etape de dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator, în figura de mai jos este prezentată evoluția marcajelor RPH generalizate din **Fig. 5.3**.

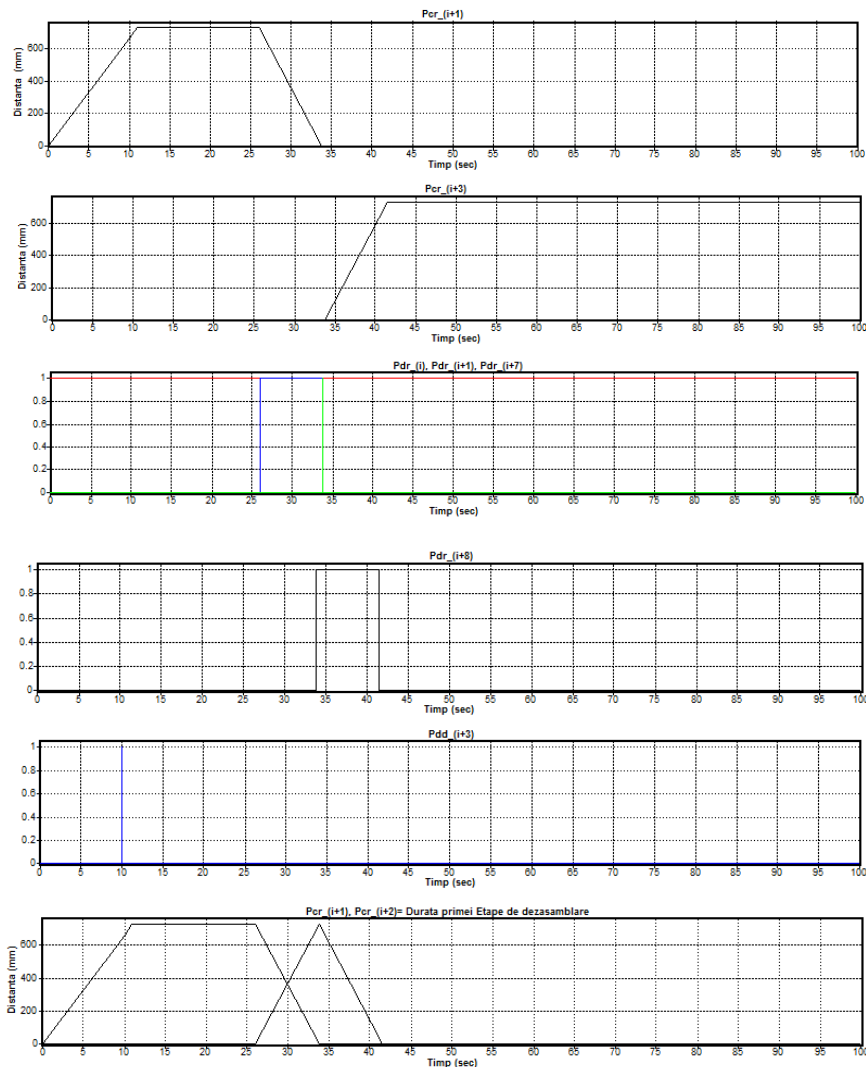


Fig. 5.3 Evoluția locațiilor continue și locațiilor discrete asociate robotului mobil echipat cu manipulator în cadrul procesului de dezasamblarea a primei componente

5.3 Modelul cinematic al platformei mobile

Platforma mobilă descrisă în subcapitolul 3.9, prezintă două roți motoare cu tracțiune diferențială și o roată directoare după cum se poate observa în **Fig. 5.4**.

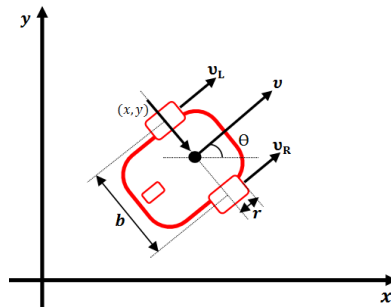


Fig. 5.4 Variabilele cinematice ale platformei mobile cu două roți motoare și o roată directoare

Problema modelării cinematice a platformelor mobile a fost tratată explicit în literatură [83], [84].

$$\begin{cases} \dot{x}_r(t) = v_r(t) \cdot \cos \Theta_r(t) \\ \dot{y}_r(t) = v_r(t) \cdot \sin \Theta_r(t) \\ \dot{\Theta}_r(t) = \omega_r(t) \end{cases} \quad (5.1)$$

unde, x_r și y_r reprezintă coordonatele Carteziene ale centrului geometric al platformei mobile, v_r este viteza liniară a platformei mobile, Θ_r reprezintă unghiul direcției, ω_r reprezintă viteza unghiulară a robotului și b reprezintă distanța între planele roților motoare.

5.4 Conducerea Sliding Mode a platformei mobile

Erorile de urmărire a traiectoriei pot fi caracterizate prin (x_e, y_e, Θ_e) . Scopul acestei secțiuni este de a proiecta un controler stabil care generează un vector comandă (v_c, ω_c) .

Se obține,

$$\dot{v}_c = \frac{-Q_1 \cdot s_1 - P_1 \cdot \text{sgn}(s_1) - k_1 \cdot \dot{x}_e - \dot{\omega}_d \cdot y_e - \omega_d \cdot \dot{y}_e + v_r \cdot \dot{\Theta}_e \cdot \sin \Theta_e + \dot{v}_d}{\cos \Theta_e} \quad (5.8)$$

$$\omega_c = \frac{-Q_2 \cdot s_2 - P_2 \cdot \text{sgn}(s_2) - k_2 \cdot \dot{y}_e - \dot{v}_r \cdot \sin \Theta_e + \dot{\omega}_d \cdot x_e + \omega_d \cdot \dot{x}_e}{v_r \cdot \cos \Theta_e + k_0 \cdot \text{sgn}(y_e)} + \omega_d \quad (5.9)$$

5.5 Simularea conducerii în Sliding Mode

Se consideră robotul mobil Pioneer P3-DX un robot mobil autonom, modelat ca un solid rigid sau articulată, cu cinematică și geometrie cunoscută, situat într-un punct $P_n = [x, y, \Theta]^T$ unde $n = \{n_d, n_p\}$, care poate corespunde unei locații $P_{n_d} = \{1, \dots, 9\}$ de deservire a

liniei flexibile HERA & Horstmann în procesul de dezasamblare a unei componente sau a unei locații $P_{n_p} = \{1, 2\}$ de deservire a liniei FESTO MPS-200 de prelucrare. S-a simulat în programul MobileSim parcurgerea traiectoriilor ambelor procese de către platforma mobilă.

5.5.1 Simularea conducerii platformei mobile în cadrul deservirii liniei flexibile HERA & Horstmann

În cadrul simulării s-au impus anumite condiții de parcurgere a traiectoriei de către platforma mobilă Pioneer P3-DX în conducere sliding mode [71]-[77]. Traiectoria simulată corespunde procesului real de deservire a liniei flexibile HERA & Horstmann în cadrul procesului de dezasamblare deservit de o platformă mobilă echipată cu manipulator.

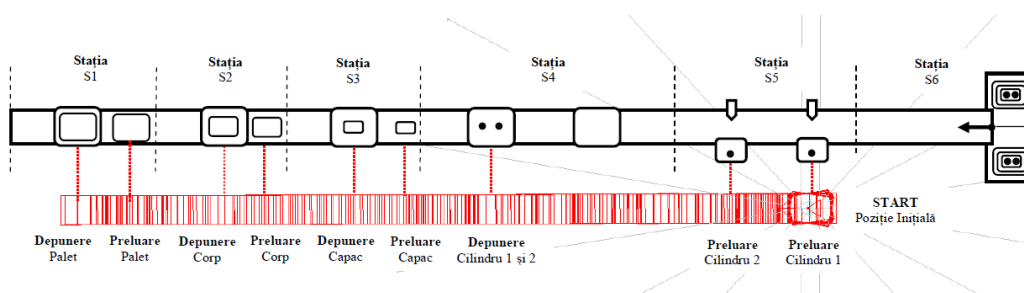


Fig. 5.5 Simularea parcurgerii traiectoriei în conducere Sliding Mode din cadrul procesului de deservire al liniei flexibile HERA & Horstmann

Rezultatele simulării se pot observa în **Fig. 5.6**, unde în a) se poate observa traiectoria reală a platformei mobile cât și traiectoria impusă. Ambele traiectorii coincid pe toată distanța parcursă. În b) se observă variații ale vitezei liniare reale față de viteza liniară impusă. Din simulare a rezultat că timpul de parcurgere a distanței de 7960 mm a fost de 84.6 s.

5.5.2 Simularea conducerii platformei mobile în cadrul deservirii liniei flexibile FESTO MPS-200

Utilizând ecuațiile din Capitolul 5.3 și 5.4 în cadrul simulării conducerii și parcurgerii traiectoriei de către platforma mobilă Pioneer P3-DX în conducere sliding mode din cadrul procesului de deservire a liniei flexibile FESTO MPS-200 traiectoria simulată corespunde procesului real și este prezentată în **Fig. 5.7**.

Rezultatele simulării se pot observa în **Fig. 5.8**, unde în a) se poate observa traiectoria reală a platformei mobile cât și traiectoria impusă. În b) se observă variații ale vitezei liniare reale față de viteza liniară impusă. Din simulare a rezultat că timpul de parcurgere a distanței de 5634 mm a fost de 121.7 s.

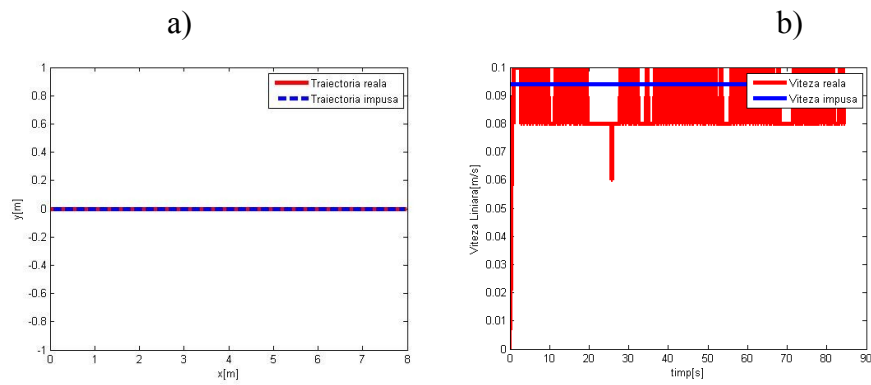


Fig. 5.6 Simularea parcurgerii traiectoriei în conducere sliding mode: a) traiectoria parcursă; b) viteza platformei mobile;

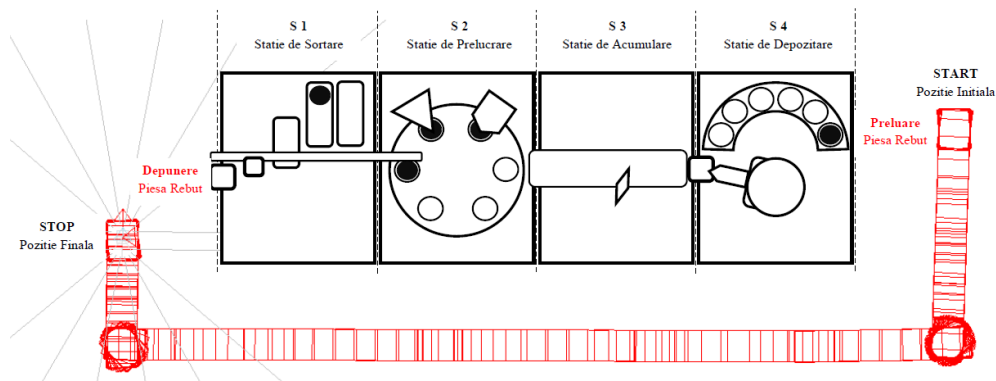


Fig. 5.7 Simularea parcurgerii traiectoriei în conducere Sliding Mode din cadrul procesului de prelucrare al liniei flexibile FESTO MPS-200

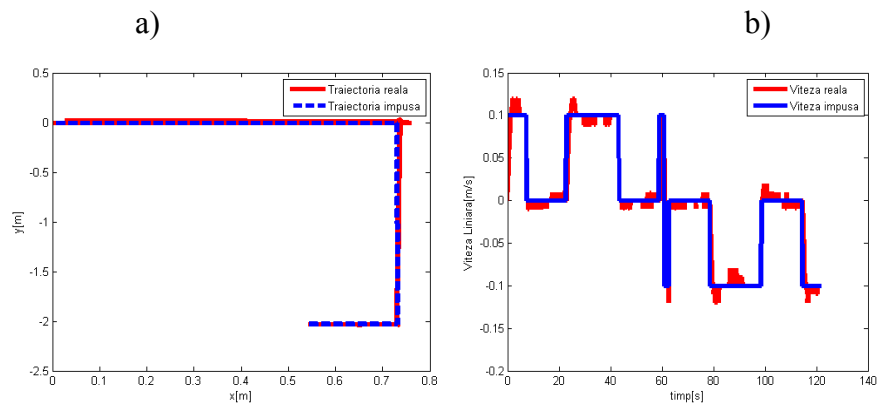


Fig. 5.8 Simularea parcurgerii traiectoriei în conducere sliding mode: a) traiectoria parcursă; b) viteza platformei mobile;

5.6 Concluzii

Ca unealtă de modelare, un model de rețea Petri poate fi descris de un set de ecuații lineare algebrice sau de alte modele care să reflecte comportamentul sistemului analizat. Acest lucru permite o verificare formală a proprietăților asociate comportamentului derulării procesului de fabricație flexibilă vizat (relații de precedență între evenimente, operații

concurrente, sincronizările necesare, eliminarea situațiilor de blocare (*deadlock*), activitățile repetitive și excluderile mutuale ale resurselor partajate).

Validarea modelului prin simulare poate produce un set limitat de stări ale sistemului modelat și astfel poate arăta doar prezența (nu și absența) erorilor din model și specificațiile sale de bază. În cadrul simulării procesului de asamblare/dezasamblare deservit de un robot mobil echipat cu manipulator aferent liniei flexibile de fabricație HERA & Horstmann și a liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS-200, s-au eliminat erorile, situațiile și evenimentele nedorite. În simulare s-au utilizat valori ale tranzițiilor aferente stărilor din procesul real pentru ca simularea să reflecte cât mai bine comportamentul liniilor flexibile. Pentru o mai bună evidențiere a procesului real modelat s-au simulat următoarele modele, care reprezintă și principalele contribuții ale acestui capitol:

- simularea modelului cu rețele Petri temporizate a procesului de asamblare și dezasamblare a unui produs, dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator;
- simularea modelului cu rețele Petri temporizate a procesului de prelucrare a unui produs, proces deservit de un robot mobil echipat cu manipulator;
- simularea modelului cu RPH sincronizate a procesului de asamblare și dezasamblare a unui produs, dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator;
- testarea modelului cu RPH sincronizate a procesului de asamblare și dezasamblare a unui produs, dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator utilizând programul LabVIEW;
- simularea conducerii robotului mobil echipat cu manipulator în cadrul deservirii liniei flexibile de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann;
- simularea conducerii robotului mobil echipat cu manipulator în cadrul deservirii liniei flexibile de prelucrare FESTO MPS-200;

Capitolul 6

Contribuții privind conducerea în timp real

6.1 Implementarea conducerii în timp real

6.2 Prezentarea aplicației în mediul de programare grafică LabVIEW

6.3 Conucerea în timp real a procesului de dezasamblare completă

6.4 Concluzii

6.1 Implementarea conducerii în timp real

Implementarea are la bază utilizarea programului LabVIEW [85]-[87] pentru dezvoltarea unei aplicații grafice de control și conducere a liniei flexibile HERA & Horstmann deservită de robotul mobil Pioneer P3-DX echipat cu manipulator Pioneer 5-DOF în procesul de asamblare și dezasamblare completă a unui produs.

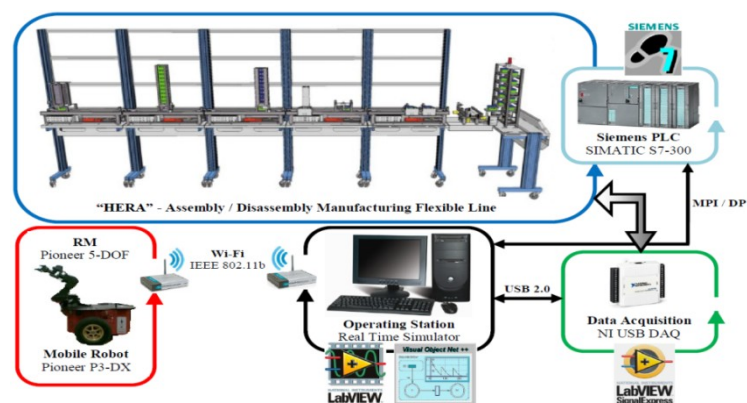


Fig. 6.1 Schema bloc a comunicației dintre echipamentele utilizate în conducerea liniei flexibile HERA & Horstmann deservită de un robot mobil Pioneer P3-DX

Prin această aplicație se va controla și conduce în timp real procesul de asamblare/dezasamblare și se va sincroniza robotul mobil astfel încât să se execute operații de dezasamblare concomitent cu operațiile robotului mobil [78], [79], [80].

6.2 Prezentarea aplicației în mediul de programare grafică LabVIEW

Interfața grafică de control și conducere realizată în mediul LabVIEW este prezentată în Fig 6.2 este prezentat panoul de control.

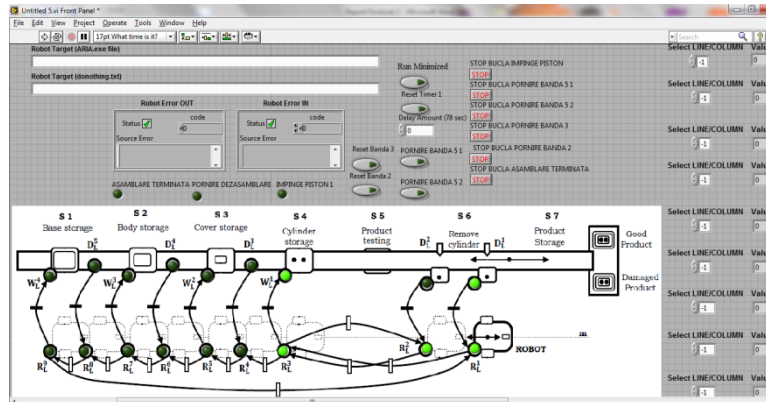


Fig. 6.2 Interfața grafică de conducere în mediul LabVIEW

În Fig. 6.3 sunt date distanțele ($Rd_1 \dots Rd_8$) pe care le parcurge robotul mobil echipat cu manipulator în cadrul procesului de dezasamblare completă a unui produs.

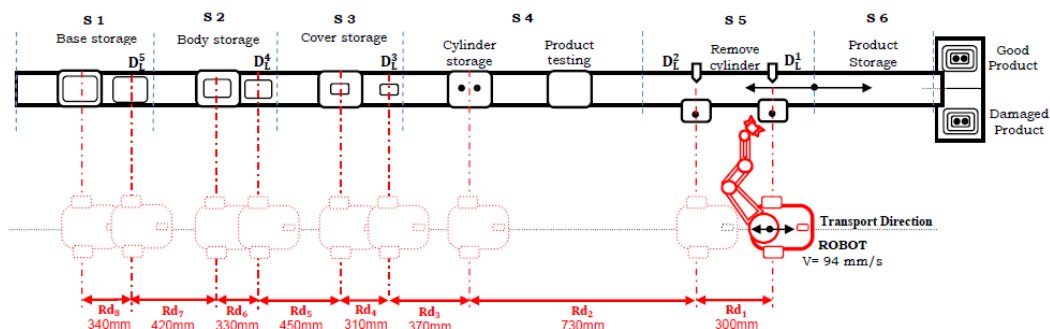


Fig. 6.3 Distanțe parcurse de robotul mobil echipat cu manipulator

6.3 Conducerea în timp real a procesului de dezasamblare completă.

În cadrul procesului de testare în timp real din mediul de programare grafică LabVIEW se poate observa în Fig 6.4 evoluția operației de dezasamblare a unei componente, prin preluarea de către manipulator a primului cilindru, transportul acestuia cu ajutorul platformei mobile până la deposit și eliberarea acestuia.

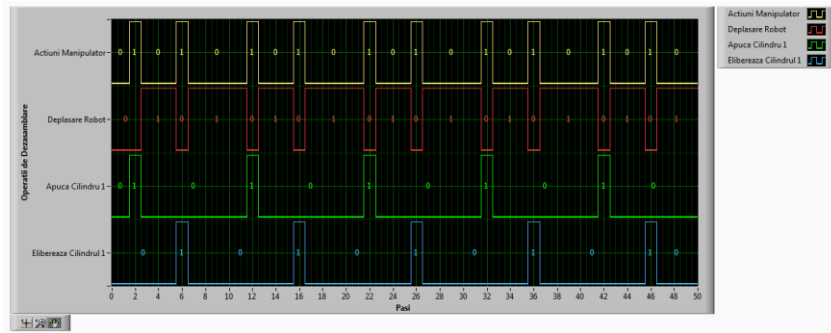


Fig. 6.4 Operația de dezasamblare a unei componente

În **Fig. 6.5** este prezentată evoluția întregului proces de dezasamblare a unui produs și momentele în care manipulatorul deservește linia flexibilă.

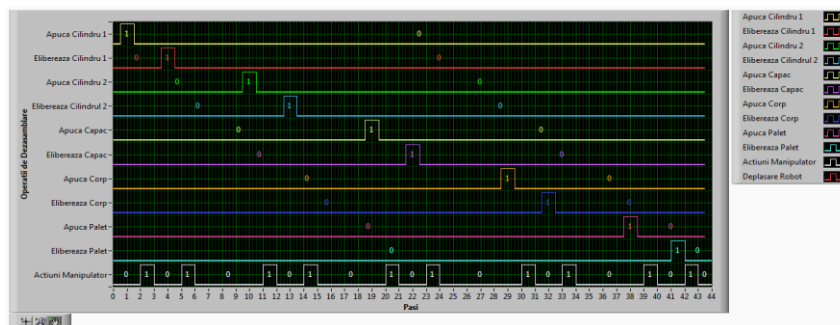


Fig. 6.5 Operațiile de dezasamblare a unui produs

În **Fig. 6.6** se observă acțiunile de deplasare a robotului mobil în cadrul procesului de dezasamblare și operațiile manipulatorului.

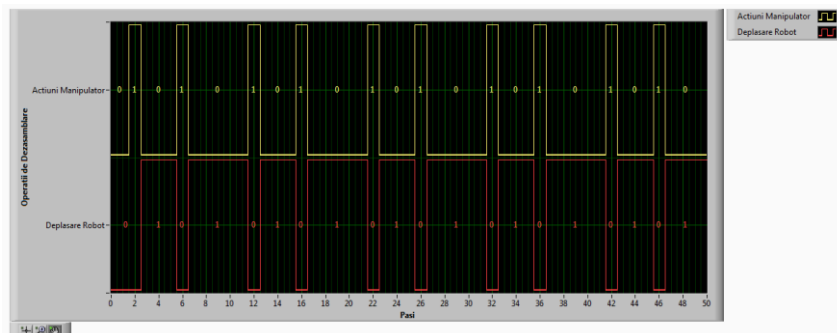


Fig. 6.6 Operațiile robotului mobil Pioneer P3-DX echipat cu manipulator Pioneer 5-DOF

6.4 Concluzii

Principalele contribuții rezultate în urma implementării aplicației de conducere în timp real în cadrul prezentului capitol au vizat, în mod deosebit, elaborarea unei noi structuri

flexibile de fabricație capabilă să îndeplinească sarcini multiple cu aceleași echipamente în cadrul diferitelor procese de fabricație. Rezultatele implementării au urmărit deservirea proceselor flexibile de fabricație de o platformă mobilă echipată cu manipulator robotic capabilă să îndeplinească două sarcini diferite, transport și manipulare. Principalele contribuții sunt:

- dezvoltarea și implementarea unei aplicații grafice de control și conducere în timp real a sistemului flexibil de asamblare și dezasamblare a unui produs, deservit de un robot mobil echipat cu manipulator;
- dezvoltarea și implementarea unei metode de sincronizare a echipamentelor prin introducerea sistemului distribuit de conducere;

Capitolul 7

Concluzii

Dezvoltarea proceselor din cadrul sistemelor flexibile de fabricație deservite de o entitate robotică precum și dezvoltarea echipamentelor dedicate proceselor industriale a dus la dezvoltarea sistemelor de fabricație flexibilă, la conducerea proceselor de fabricație în timp real, la monitorizarea cu sisteme de tip calculator de proces și conducerea roboților utilizând sisteme de sincronizare ale echipamentelor pentru scăderea timpului de ciclu de fabricație.

Principala contribuție a acestei teze o reprezintă optimizarea și conducerea unor astfel de sisteme flexibile, prin realizarea programelor de conducere în timp real a unei linii flexibile de fabricație deservită de un robot mobil echipat cu manipulator care deservește un proces de asamblare și dezasamblare a unui produs, proces în urma căruia linia flexibilă devine complet reversibilă.

În **Capitolul 2** au fost abordate, dintr-o perspectivă tehnologică procesele de fabricației flexibile din cadrul sistemelor de fabricație flexibilă. O mare parte a acestor perspective sunt trecute în acest capitol introductiv dedicat stadiului actual.

În literatura de specialitate există multe abordări ce pot fi utilizate pentru o dezvoltare și optimizare a liniilor flexibile de fabricație. O mare parte a principalelor aspecte au fost prezentate în **Capitolul 3**, principala contribuție adusă o reprezintă optimizarea unei linii flexibile de fabricație care execută un proces de asamblare și dezasamblare parțială. Obiectivul urmărit a fost obținerea de contribuții privind optimizarea liniei flexibile în cadrul procesului de dezasamblare prin introducerea unei platforme mobile echipată cu manipulator. Astfel procesul de dezasamblare parțială este deservit de o entitate robotică capabilă să execute operații de dezasamblare, operații în urma cărora linia flexibile de asamblare și dezasamblare parțială, devine complet reversibilă în urma dezasamblării complete a unui produs. De asemenea în urma optimizării procesului de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator au rezultat contribuții prin creșterea gradului de

flexibilitate a liniei flexibile de fabricație în urma căruia se pot executa operații de asamblare/dezasamblare și prelucrare cu aceleași utilaje.

Pentru un sistem flexibil de fabricație complex, care execută operații de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator o modelare riguroasă presupune modelarea cu acuratețe a tuturor etapelor din cadrul proceselor de asamblare și dezasamblare cât și modelarea acțiunilor de transport și manipulare a robotului mobil echipat cu manipulator. Modelarea acestora poate fi realizată utilizând instrumente specifice modelării sistemelor cu evenimente discrete cât și utilizarea de diverse tipologii de rețele Petri dedicate modelării duratelor operațiilor aferente platformei mobile. În **Capitolul 4** se prezintă rezultate în urma modelării proceselor de asamblare, dezasamblare parțială, dezasamblare parțială deservită de un robot mobil echipat cu manipulator, asamblare și dezasamblare parțială deservită de un robot mobil echipat cu manipulator, asamblare și dezasamblare totală deservită de un robot mobil echipat cu manipulator. Concluziile acestei modelări evidențiază că modelarea proceselor flexibile din cadrul sistemelor flexibile de fabricație utilizează ca instrumente rețelele Petri netemporizate și netemporizate, rețele Petri hibride, și rețele Petri hibride sincronizate reprezintă o soluție pentru a evidenția cu acuratețe procesul real și de a scoate în evidență necesitatea optimizării operațiilor în vederea îmbunătățirii timpului total de ciclu de fabricație. În cadrul acestui capitol s-au elaborat și modelele unui proces de prelucrare din cadrul unui sistem flexibil de fabricație utilizând rețele Petri netemporizate și temporizate în abordare discretă. Modelarea se realizează printr-o procedură în două etape. În prima etapă se analizează procesele din cadrul liniei flexibile de fabricație și ordinea executării acestora rezultând un graf al procesului de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator. În urma grafului rezultat și a descrierii individuale amănunțite se implementează modelele aferente fiecărui proces. Aceste modele sunt utilizate, de asemenea, în simulările din capitolul următor.

Abordările de modelare a proceselor din cadrul liniei flexibile de fabricație utilizând diverse tipologii de rețele Petri permit analiza și studierea diferitelor proprietăți ale sistemelor cu evenimente discrete. Toate modele, prezentate în Capitolul 3, au fost utilizate în **Capitolul 5**, în care pe baza instrumentelor de simulare a rezultat o analiză detaliată a proceselor de asamblare, dezasamblare și prelucrare din care rezultă anumite criterii de performanță ce caracterizează funcționarea procesului fizic. Simularea a permis evidențierea proprietăților comportamentale ale liniei flexibile și a evoluției conform procesului real, a etapelor de asamblare, dezasamblare deservită de robot mobil echipat cu manipulator și prelucrare. Rezultatele simulării arată că procesul de asamblare este un proces continuu care se

desfășoară până când în mod accidental apare o componentă sau un produs defect, inițializându-se astfel procesul de dezasamblare al produsului.

Validarea modelului prin simulare reflectă comportamentul sistemului analizat. Acest lucru permite o verificare a proprietăților operațiilor derulate din cadrul liniei flexibile, operații care sunt controlate printr-un algoritm de conducere în cadrul **Capitolului 6**. Implementarea are la bază utilizarea unui mediu de programare pentru dezvoltarea unei aplicații grafice de control și conducere în timp real a liniei flexibile deservită de un robot mobil echipat cu manipulator în cadrul procesului de asamblare și dezasamblare a unui produs. S-a dezvoltat o metodă de sincronizare a echipamentelor și s-a implementat un sistem de conducere a cărui structură poate fi adaptată la modificări importante ale intrărilor/ieșirilor (scopurile de fabricație flexibilă în cazul nostru) și respectiv să asigure continuarea fluxului de asamblare/dezasamblare.

7.1 Sumarul contribuțiilor originale din cadrul tezei

În Capitolul 3

- optimizarea unei structuri clasice de sistem flexibil de fabricației care să permită efectuarea cu aceleași utilaje a două procese de fabricație: asamblare și dezasamblare a unui produs;
- introducerea unui robot mobil echipat cu manipulator pentru deservirea liniei flexibile de asamblare și dezasamblare în cadrul procesului de dezasamblare a unui produs;
- implementarea și optimizarea sistemului de control prin introducerea sistemului distribuit de conducere a liniei flexibile de asamblare și dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator;

În Capitolul 4

- modelarea procesului de asamblare pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;
- modelarea procesului de dezasamblare parțială pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;
- modelarea procesului de asamblare și dezasamblare parțială pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;
- modelarea procesului de asamblare și dezasamblare totală a unui produs pe linii flexibile utilizând rețele Petri temporizate și netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;

- modelarea procesului de asamblare și dezasamblare totală a unui produs pe linii flexibile deservite de un robot mobil echipat cu manipulator, utilizând rețele Petri Hibrade generalizate, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann;
- modelarea procesului de asamblare și dezasamblare totală a unui produs pe linii flexibile deservite de un robot mobil echipat cu manipulator, utilizând rețele Petri Hibrade sincronizate, particularizat pe linia flexibilă HERA & Horstmann.
- modelarea procesului de prelucrare pe linii flexibile utilizând rețele Petri netemporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă FESTO MPS-200;
- modelarea procesului de prelucrare pe linii flexibile utilizând rețele Petri temporizate în abordare SED, particularizat pe linia flexibilă FESTO MPS-200;

În Capitolul 5

- simularea modelului cu rețele Petri temporizate a procesului de asamblare și dezasamblare a unui produs, dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator;
- simularea modelului cu rețele Petri temporizate a procesului de prelucrare a unui produs;
- simularea modelului cu RPH sincronizate a procesului de asamblare și dezasamblare a unui produs, dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator;
- validarea modelelor simulate, analiza comportamentului sistemului flexibil deservit de un robot mobil echipat cu manipulator;
- testarea modelului cu RPH sincronizate a procesului de asamblare și dezasamblare a unui produs, dezasamblare deservită de un robot mobil echipat cu manipulator utilizând programul LabVIEW;
- simularea conducerii în timp real a robotului mobil echipat cu manipulator în cadrul deservirii liniei flexibile de asamblare și dezasamblare HERA & Horstmann;

În Capitolul 6

- dezvoltarea și implementarea unei aplicații grafice de control și conducere în timp real a sistemului flexibil de asamblare și dezasamblare a unui produs, deservit de un robot mobil echipat cu manipulator;
- dezvoltarea și implementarea unei metode de sincronizare a echipamentelor prin introducerea sistemului distribuit de conducere;

7.2 Direcții de cercetare viitoare

Având la bază rezultatele prezentei teze de doctorat, se pot identifica următoarele direcții de cercetare viitoare:

- utilizarea protocolului de comunicație PROFIBUS al liniei flexibile de asamblare și dezasamblare HERA & Horstmann pentru a transmite și citi variabile de stare ale procesului prin intermediul calculatorului de proces;
- implementarea unei aplicații în mediul de programare LabVIEW de tip client-server pentru a citi variabilele de stare la o viteză net superioară achiziției datelor prin intermediul placilor de achiziție. Aplicația poate utiliza programele OPC NI Server și OPC Siemens Server;
- implementarea unei bucle de conducere al manipulatorului utilizând diferite tehnici de procesare și recunoaștere a secvențelor video;
- implementarea unui algoritm de conducere al roboților mobili echipați cu manipulator pentru deservirea liniilor flexibile de prelucrare în vederea optimizării și deservirii acestora în procesul de prelucrare;

Bibliografie Selectivă

- [1] Toni A. and Tonchia S., *Manufacturing Flexibility: a literature review*, International Journal of Production Research, 1998, vol. 36, no. 6, 1587-617.
- [2] Chryssolouris G., *Manufacturing Systems – Theory and Practice*, New York, NY: Springer Verlag, 2005, 2nd edition.
- [3] Tolio D., *Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools*. Berlin: Springer, 2009, ISBN 978-3-540-85413-5.
- [4] Chen F.F. and E.E. Adams, “*The Impact of Flexible Manufacturing Systems on Productivity and Quality*”, IEEE Transactions of Engineering Management, vol. 38, pp. 33-45, 1991.
- [5] Da Silverira G., D. Borenstein and F.S. Fogliatto, “*Mass Customization: Literature Review and Research Directions*”, International Journal of Production Economics, vol. 72, pp. 1-13, 2001.
- [15] Boothroyd G. and Althing L., “*Design for assembly and disassembly*”, *Annals of CIRP* 41(2), pp. 625–636, 1992.
- [16] Feddema J. T. and Simon R. W., “*Visual servoing and CAD-driven microassembly*”, IEEE Robotics Automat. Mag. 5(4), pp. 18–24, 1998.
- [17] Fisher E. L. and Nof S. Y., “*Knowledge-based economic analysis of manufacturing systems*”, J. Manufacturing Systems 6(2), pp. 138–150, 1987.
- [18] Huang Y. F. and Lee C. S. G., “*An automatic assembly planning system*”, Proc. of the IEEE Internat. Conf. on Robotics and Automation, Cincinnati, OH, pp. 1594–1599, 1990.
- [25] Barad M. and S.Y. Nof, “*CIM Flexibility Measures: A Review and a Framework for Analysis and Applicability Assessment*”, International Journal of Computer Integrated manufacturing, vol. 10, pp. 296-308, 1997.
- [26] Rajan V. N. and Nof S. Y., “*Logic and communication issues in cooperation planning for multi-machine workstations*”, Internat. J. Systems Automat. Res. Appl. 2, pp. 193–212, 1992.
- [28] Kopacek B. and P.Kopacek, “*Intelligent Disassembly of Electronic Equipment*”, in Proceedings of the 1st IFAC Workshop on „Intelligent Assembly and Disassembly – IAD'98“, pp. 87-92, Oxford, UK, 1998.
- [29] Kopacek and P.Kopacek, “*Intelligent Disassembly of Electronic Products*”, in Proceedings of the 2nd Symposium „Eco-Efficient Concepts for the Electronics Industry Towards Sustainability - CARE INNOVATION'98“, pp. 130-136, Vienna, Austria, 1998.
- [30] Miyata M., “*Development of Robot System for Automatic Disassembling and Assembling of Brake Equipment Parts*”, Japanese Railway Engineering no.119, 1992.
- [32] Reynders R.J.M., “*Design of a disassembly system*”, T.U. Eindhoven, 1995.
- [34] Subramani, A.K. and P. Dewhurst, “*Automatic generation of Product Disassembly Sequences*”, Annals of the CIRP, vol. 40, no.1, 1991.
- [36] Zhang G.W., Zhang S.C., Xu Y.S., “*Research on flexible transfer line schematic design using hierarchical process planning*”, Journal of Material Processing Technology, 2002; no. 129: 629-633.
- [37] Contini P., Tolio T., “*Computer-aided set-up planning for machining centers configuration*”, International Journal of production research 2004; vol 42, no. 17: 3473-3491.
- [38] Dolgui A., Guschinsky N., Levin G., “*A special case of transfer lines balancing by graph approach*”, European Journal of Operational Research 2006, no. 168: 732-746.
- [39] Matta A., Semeraro Q., “*Design of advanced manufacturing systems*”, Springer 2005.
- [40] Banaszak (Ed.) Z., “*Modelling and Control of FMS: Petri Net Approach*”, Wroclaw Technical University Press, Wroclaw, Poland, 1991.
- [41] Dicesare F., G. Harhalakis, J.M. Proth, M. Silva, F.B. Vernadat, “*Practice of Petri Nets in Manufacturing*”, Chapman and Hall, London, 1993.
- [42] Košťál P., K. Krajčová, and R. Ružarovský, “*Material flow description in flexible manufacturing*”, Advanced logistic systems, vol. 4, pp. 104-108, 2010.
- [43] Košťál P., A. Mudriková, and D. R. Delgado Sobrino, “*Material Flow in Flexible Production Systems*”, Proceedings in Manufacturing Systems, vol. 5, no. 4 (2010), pp. 213-216, 2010.
- [44] Radaschin A., Filipescu A., Minzu V., Mincă E. and Filipescu Jr. A. “*Adaptive disassembly sequence control by using mobile robots and system information*”, Proceeding of 15th IEEE International Conference in System Theory, Control and Computing (ICSTCC 2011), 14-16 October 2011, Sinaia, Romania, ISBN 978-973-621-323-6, 499-505, (2011).
- [45] Ruzarovsky R., S. Horvath, and K. Velisek, “*Designing of automated manufacturing and assembly systems*”, in Annals Of DAAAM For 2008 & Proceedings Of The 19th International DAAAM Symposium, Vienna Univ Technology, Karlsplatz 13, Wien, A-1040, Austria, 2008, pp. 1201-1202.

- [47] Lee D. and DiCesare F. “*Scheduling flexible manufacturing systems using Petri nets and heuristic search*”, IEEE Transaction on Robotics and Automation, vol. 10, pp. 123-132, 1994.
- [48] Critan I., “*Sisteme Flexibile*”, TCMM, vol. I si vol. II. Editura Tehnică, Bucuresti, 1987.
- [52] Radaschin A., A. Vodă, E. Mincă, A. Filipescu, “*Task Planning Algorithm in Hybrid Assembly/Disassembly Process*”, 14 th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2012), 23-25 May 2012, IFAC Proceedings Vol.14, Part 1, ISSN: 1474-6670, ISBN: 978-3-902661-98-2.
- [56] Alla H., Cavaille J.-B., Le Bail J. and Bel G., “*Les syst`emes de production par lot: une approche discret-continu utilisant les r`eseaux de Petri hybrids*”, Symposium ADPM '92. Paris 1992.
- [57] Alla H. and David R., “*Continuous and Hybrid Petri Nets*”, Journal of Circuits, Systems & Computers 8(1): 159–188, 1998.
- [58] Allam M. and Alla H., “*Modelling production systems by hybrid automata and hybrid Petri nets*”. Conf. on Control of Industrial Systems Belfort, 1997.
- [59] Alur R., Courcoubetis C., Halwachs N., Henzinger T.A., Ho P.H., Nicollin X., Olivero A., Sifakis J. and Yovine S., *The algorithmic analysis of hybrid systems*, Theoretical Computer Science, no. 138: 3–34, 1995.
- [61] David R., “*Modeling of hybrid systems using continuous and hybrid Petri nets*”. *Petri Nets & Performance Models (PNPM'97)*. Saint Malo, France, 1997, pp. 47–58.
- [62] Le Bail J., Alla H. and David R., “*Hybrid Petri nets*”. European Control Conference Grenoble, 1991, pp. 1472– 1477.
- [63] Weiting R., “*Hybrid high-level Nets*”, Proceedings of the Winter Simulation Conference, Coronado, USA, 1996, pp. 848–855.
- [64] Weiting R., “*Modeling and Simulation of Hybrid Systems Using Hybrid High-Level Nets*”, Proceedings of the 8th European Simulation Symposium, Genova, 1996, pp. 158–162.
- [65] Balduzzi F., Giua A. & Seatzu C., “*Modelling and Simulation of Manufacturing Systems Using First-Order Hybrid Petri Nets*”, Int. J. of Production Research, vol. 39, no. 2, pp. 255-282, (2001).
- [66] Balduzzi F., Giua A. & Menga G., “*First-Order Hybrid Petri Nets: a Model for Optimization and Control*”, *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 16, pp. 382-399, (2000).
- [67] Champagnat R., Esteban P., Pingaud H. & Valette R., “*Modeling and Simulation of a Hybrid System Through PR/TR PN-DAE Model*”, Proc. 3rd Int. Conf. on Automation of Mixed Processes, Reims, France, (1998).
- [68] Chen H. & Hanisch H.-M., “*Hybrid net condition/event systems for modeling and analysis of batch processes*”, Proc. 3rd Int. Conf. on Automation of Mixed Processes, Reims, France, (1998).
- [69] Chen H., Amodeo L., Chu F. & Labadi K., “*Modeling and performance evaluation of supply chains using batch deterministic and stochastic Petri nets*”, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 2, no. 2, pp. 132-144, (2005).
- [70] Demongodin I. & Giua A., “*Some analysis methods for continuous and hybrid Petri nets*”, Proc. IFAC World Congress, Barcelona, Spain, (2002).
- [71] Alina V., A. Radaschin, E. Minca, A. Filipescu, “*Control of Automatic Robot with Guided Manipulator Integrated into Flexible Manufacturing System Using Hybrid Petri Nets*”, 16 th International Conference on System Theory, Control and Computing Joint Conference (ICSTCC 2012), 12-14 October, Sinaia, Romania.
- [72] Dumitrascu B., A. Filipescu, A. Radaschin, Minca E., A.Filipescu Jr., *Discrete-Time Sliding Mode Control Of Wheeled Mobile Robots*, 8th Asian Control Conference ASCC2011, 15-18 May 2011, IEEE ISBN: 978-1-61284-487-9, pp. 771-776.
- [73] Şuşnea I. Vasiliu G, Filipescu A, Coman G., Radaschin A., *Real-Time Control of Autonomous Mobile Robots Using Virtual Pheromones*, Proceedings of the 7th Asian Control Conference, Hong Kong, China, August 27-29, 2009, IEEE Catalog Number CFP09832, ISBN:978-89-956056-9-1, pp.1450-1455.
- [74] Şuşnea I., Filipescu A., Serbencu A, Radaschin A., *Virtual Pheromones to Control Mobile Robots . A Neural Network Approach*, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, Shenyang, China, ISBN: 978-1-4244-4795-4/09, 2009 IEEE, CD-ROM Proceedings IEEE, Catalog: CFP09CAL, August 5 - 7, 2009, Shenyang, China, pp1962-1967.
- [75] Şuşnea I., Vasiliu G., Filipescu A., Radaschin A., *Virtual Pheromones for Real-Time Control of Autonomous Mobile Robots*, STUDIES IN INFORMATICS AND CONTROL, Volume: 18 Issue: 3 Pages: 233-240 Published: SEP 2009, IDS Number: 499SC, ISSN: 1220-1766.
- [76] Şuşnea I., Adrian Filipescu, Grigore Vasiliu, A. Radaschin, *The Bubble Rebound Obstacle Avoidance Algorithm for Mobile Robots*, Control and Automation (ICCA), 2010 8th IEEE International Conference in Control and Automation, 9-11 June 2010, Xiamen, China, ISBN: 978-1-4244-5195-1, ISSN:1948-3449, pp.540-545.
- [77] Radaschin A., *Sliding mode control of an autonomous welding robot*, *Automation Quality and Testing Robotics*, 2010 IEEE International Conference, Automation Quality and Testing Robotics (AQTR 2010), 2010 IEEE International Conference, Cluj-Napoca, Romania , 28-30 May 2010, volume 1, pp.1-5, ISBN: 978-1-4244-6724-2.

- [83] Fukao T., Nakagawa H., Adachi N., *Adaptive tracking control of a nonholonomic mobile robot*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 16, nr.5, pp. 609-615, 2000.
- [84] De Luca A. and Oriolo G.” *Modelling and Control of Nonholonomic Mechanical Systems*”, in: J. Angeles, A. Kecskemethy (Editors), *Kinematics and Dynamics of Multi-Body Systems*, Springer-Verlag, pp. 277–342, (1995).
- [85] LabVIEW User Manual, 2011. <http://www.ni.com/pdf/manuals/320999e.pdf>
- [86] LabVIEW Function and VI Reference Manual, 1998.
<http://www.ni.com/pdf/manuals/321526b.pdf>
- [87] LabVIEW Data Acquisition Basic Manual, 1996.
<http://www.ni.com/pdf/manuals/320997a.pdf>