



CONTRIBUȚII PRIVIND UTILIZAREA ȘI OPTIMIZAREA ROBOȚILOR INDUSTRIALI ÎN APLICAȚII DE PRELUCRARE PRIN AȘCHIERE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul INGINERIE MECANICĂ
de către

Ing. Adrian Pop

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Valer DOLGA
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Ioan BLEBEA
prof.univ.dr.ing. Mircea NIȚULESCU
prof.univ.dr.ing. Inocențiu MANIU

Ziua susținerii tezei: 12.01.2016

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin partial din grantul strategic POSDRU/159/1.5/S/137516, cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 2. Chimie | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 3. Energetică | 12. Ingineria sistemelor |
| 4. Ingineria Chimică | 13. Inginerie energetică |
| 5. Inginerie Civilă | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică | 15. Ingineria materialelor |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management |
| 8. Inginerie Industrială | 17. Arhitectură |
| 9. Inginerie Mecanică | 18. Inginerie civilă și instalații |

Universitatea Politehnica din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2016

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Facultății de Mecanică, la Catedra de Mecatronică a Universității „Politehnica” din Timișoara.

Teza de doctorat își propune să aducă contribuții în analiza cinematicii, rigidității și vibrațiilor roboților industriali și identificarea de soluții constructive și dispozitive de corecție în vederea ameliorării acestora.

Consider că lucrarea este un suport științific de luat în considerare pentru cercetările viitoare care vor avea ca subiect de pornire analiza teoretică, constructivă și experimentală a robotului Yamaha YK 400 și analiza utilizării roboților în operații de prelucrare mecanică.

Alese mulțumiri și profundă recunoștință se cuvin adresate conducătorului de doctorat, **prof.dr.ing. Valer Dolga**, pentru atenția, seriozitatea și exigența cu care m-a îndrumat pe parcursul studiilor și cercetărilor necesare elaborării acestei lucrări de doctorat.

Rămân recunoscător și mulțumesc domnilor profesori: *Conf.dr.ing. Erwin-Christian LOVASZ*, *Conf.dr.ing. Iosif CĂRABAȘ*, *Șl.dr.ing. Sanda Margareta GRIGORESCU* și *Șl. dr.ing. Valentin CIUPE* care mi-au oferit cu generozitate timpul și experiența lor, îndrumându-mă în conceperea și realizarea acestei teze.

Mulțumesc, de asemenea membrilor comisiei de doctorat, în persoanele domnilor: **prof.dr.ing Ioan BLEBEA**, **prof.dr.ing. Mircea NIȚULESCU** și **prof.dr.ing. Inocențiu Maniu** în calitate de referenți ai lucrării și domnului **prof.dr.ing. Liviu BERETEU** în calitate de președinte al comisiei.

Respect și mulțumiri tuturor celor care m-au susținut cu energia, sfaturile, ideile și profesionalismul lor în timpul anilor de studiu.

Doresc să mulțumesc familiei mele pentru faptul că mi-a fost alături, încurajându-mă mereu, convingși fiind că, prin munca mea, voi reuși să-mi îndeplinesc visul, să duc la bun sfârșit acest proiect.

Timișoara, ianuarie 2016

ing. Adrian Pop

CUPRINS

CUPRINS.....	I
Lista de tabele	V
Lista de figuri.....	VI
1 INTRODUCERE	1
1.1 Scurt istoric al roboticii.....	1
1.2 Mecatronică și robotică.....	4
1.3 Motivația abordării temei de doctorat.....	8
1.4 Obiectivele tezei de doctorat.....	8
1.5 Structura tezei de doctorat.....	9
2 STADIUL ACTUAL AL UTILIZĂRII ROBOȚILOR INDUSTRIALI.....	11
2.1 Introducere	11
2.2 Sisteme de fabricație flexibile.....	16
2.3 Particularități ale roboților utilizați în procese de prelucrare.....	18
2.3.1 Particularități și structuri ale sistemului mecanic.....	18
2.3.2 Particularități și structuri ale sistemului de comandă.....	21
2.4 Aspecte actuale ale utilizării roboților industriali în procese de fabricație ...	27
2.4.1 Introducere	27
2.4.2 Procese de frezare cu utilizarea robotului industrial	27
Figura 2.18 Freză și obiect din lemn prelucrat [*** Freză]	27
2.4.3 Proces de debavurare cu utilizarea robotului industrial	30
2.4.4 Proces de găurire cu utilizarea robotului industrial.....	31
2.4.5 Proces de lustruire/șlefuire robotizat.....	32
2.4.6 Concluzii finale	34
3 ASPECTE TEORETICE PRIVIND ROBOTUL YAMAHA YK 400.....	35
3.1 Introducere	35
3.2 Robotul Yamaha caracteristicile și spațiul de lucru.....	35
3.3 Sistemul de operare al robotului Yamaha YK 400	36
3.4 Analiza cinematică a robotului Yamaha YK 400.....	38

3.4.1	Generalități.....	38
3.4.2	Modelarea cinematicii directe pentru Yamaha YK400.....	39
3.4.3	Analiza cinematică inversă	46
3.5	Simularea și realizarea unor traiectorii cu Yamaha YK400.....	47
3.5.1	Exemple de programe și piese, realizate cu robotul Yamaha YK400... ..	52
3.5.2	Concluzii	56
3.6	Concluzii finale	56
4	ANALIZA COMPORTAMENTULUI SISTEMULUI MECANIC.....	57
4.1	Introducere	57
4.2	Sistemul mecanic al robotul Yamaha YK 400.....	57
4.3	Determinarea rigidității și flexibilității robotului YAMAHA YK 400	58
4.3.1	Generalități privind rigiditatea structurii mecanice a unui robot	60
4.3.2	Analizele de flexibilitate a structurilor de robot YAMAHA YK400	62
4.3.3	Rezultate experimentale	65
4.3.4	Concluzii	68
4.4	Analiza vibrației structurii robotului	68
4.4.1	Introducere	68
4.4.2	Generalități privind vibrația structurii mecanice, a unui robot industrial	68
4.4.3	Analiza vibrației structurii mecanice pentru Yamaha YK 400 în operații de prelucrare.....	75
4.4.4	Concluzii	85
4.5	Modelarea și analiza dispozitivului de fixare a echipamentului de frezat	85
4.5.1	Introducere	85
4.5.2	Generalități privind analiza cu element finit	86
4.5.3	Analiza și modelarea dispozitivului de fixare	87
4.5.4	Rezultate experimentale	89
4.5.5	Concluzii	92
4.6	Concluzii Finale	92
5	APLICAȚII DE FREZARE ȘI LUSTRIURE.....	93
5.1	Introducere	93
5.2	Generalități privind procesele de frezare	93

5.2.1	Introducere	93
5.2.2	Parametrii procesului de frezare.....	93
5.2.3	Forțele de aşchiere.....	94
5.2.4	Prelucrarea mecanică la viteze mari (High Speed Machining)	95
5.3	Procese de frezare cu robotul Yamaha YK400	97
5.3.1	Introducere	97
5.3.2	Standul experimental și procedura de lucru	97
5.3.3	Prelucrări și rezultate.....	99
5.3.4	Frezarea și analiza vibrațiilor	101
5.3.5	Concluzii	108
5.4	Aplicații de lustruire cu Robotul Yamaha YK 400	108
5.4.1	Introducere	108
5.4.2	Generalități privind operațiile de șlefuire.....	109
5.4.3	Analiza posibilității de utilizare a robotului YK400 în aplicații de lustruire	109
5.4.4	Rezultate experimentale	117
5.4.5	Concluzii	120
5.5	Concluzii Finale	120
6	CONTROLUL PUNCTULUI CARACTERISTIC.....	121
6.1	Introducere	121
6.2	Controlul vitezei punctului caracteristic	122
6.2.1	Prelucrarea informației cu ajutorul Programului LabView	124
6.2.2	Dezvoltarea programului pentru controlul punctului caracteristic al robotului	127
6.2.3	Desfășurarea experimentului.....	130
6.2.4	Concluzii	131
6.3	Determinarea caracteristicilor sensorului de forță cu timbre tensometrice.	131
6.3.1	Introducere	131
6.3.2	Stand experimental.....	132
6.3.3	Descrierea experimentului	133
6.3.4	Rezultate experimentale	134
6.3.5	Concluzii	136

6.4	Controlul poziției punctului caracteristic	136
6.4.1	Prelucrarea informației cu ajutorul Programului LabView	137
6.4.2	Controlul punctului caracteristic al robotului în funcție de nivelul forței de contact în VipWindows	140
6.4.3	Concluzii	143
6.4.4	Desfășurarea experimentului.....	143
6.4.5	Concluzii	145
6.5	Concluzii finale.....	145
7	CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	147
7.1	Concluzii finale	147
7.2	Contribuții originale ale tezei.....	148
7.3	Diseminarea rezultatelor cercetărilor	149
7.4	Direcții viitoare de cercetare	150
	Bibliografie	151
	Anexe	162
	Anexa 3.1	162
	Anexa 3.2	163
	Anexa 3.3	165
	Anexa 3.4	166
	Anexa 4.1	168
	Anexa 4.2	177
	Anexa 4.3	178
	Anexa 5.1	181
	Anexa 5.2	182
	Anexa 6.1	183
	Anexa 6.2	184
	Anexa 6.3	185

LISTA DE TABELE

<i>Tabel 1.1 Clasificarea sistemelor mecatronice.....</i>	<i>5</i>
<i>Tabel 2.1 Aplicații ale roboților industriali în procese de prelucrare.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabel 2.2 Arhitectura Middleware [Sziebig, 2007]</i>	<i>24</i>
<i>Tabel 3.1 Parametrii (D-H) ai robotului Yamaha</i>	<i>45</i>
<i>Tabel 3.2 Detalii privind traiectoriile realizate și modul de definire a acestora</i>	<i>50</i>
<i>Tabel 3.3 Traseu descris de punctul caracteristic</i>	<i>50</i>
<i>Tabel 3.4 Traseu descris de punctul caracteristic</i>	<i>51</i>
<i>Tabel 4.1 Matricea configurației, punct de măsurare / punct de aplicarea forței.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabel 4.2 Date măsurate și prelucrate statistic</i>	<i>65</i>
<i>Tabel 4.3 Configurații cinematice ale brațului robotului, și flexibilitatea</i>	<i>66</i>
<i>Tabel 4.4 Dependența Deformare / Valoarea forței</i>	<i>67</i>
<i>Tabel 4.5 Caracteristicile vibrației în raport cu viteza de rotație [rot/min]</i>	<i>83</i>
<i>Tabel 4.6 Caracteristicile vibrației în raport cu materialele prelucrate</i>	<i>83</i>
<i>Tabel 4.7 Caracteristicile vibrației în raport cu poziția punctului caracteristic</i>	<i>84</i>
<i>Tabel 4.8 Deplasarea față de poziția inițială.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabel 4.9 Volumul modelelor propuse</i>	<i>91</i>
<i>Tabel 5.1 Caracteristicile vibrației la frezarea unui cerc în polistiren</i>	<i>103</i>
<i>Tabel 5.2 Caracteristicile vibrației la frezarea unui pătrat în polistiren</i>	<i>104</i>
<i>Tabel 5.3 Caracteristicile vibrației la frezarea unui cerc în komatex</i>	<i>105</i>
<i>Tabel 5.4 Caracteristicile vibrației la frezarea unui pătrat în komatex</i>	<i>106</i>
<i>Tabel 5.5 Caracteristicile vibrației la frezarea unui cerc.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabel 5.6 Caracteristicile vibrației la frezarea unui pătrat.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabel 5.7 Matricea de desfășurare a experimentelor</i>	<i>116</i>
<i>Tabel 5.8 Rezultatele procesului de șlefuire</i>	<i>119</i>
<i>Tabel 6.1 Mediile celor cinci seturi de măsurători.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabel 6.2 Parametri statistici.....</i>	<i>136</i>

LISTA DE FIGURI

Figura 1.1 Isaac Asimov pe coperta revistei Science Fiction [*** Science Fiction].....	1
Figura 1.2 Matematicianul grec Archytas [*** Archytas].....	2
Figura 1.3 Structură mecanică care imită forma umană și cavaler condus de un sistem de pârgă și roți dințate.....	2
Figura 1.4 Structură mecanică ce imită forma unui leu [*** Leu].....	3
Figura 1.5 Unimate [*** Unimate].....	3
Figura 1.6 Robotul VERSATRAN și consola de programare. [*** Versatran].....	4
Figura 1.7 Vânzările de roboți industriali în 2011 și prognoza pentru 2016.....	6
Figura 1.8 Distribuția roboților industriali pe domenii industriale și respectiv pe aplicații [*** Distribuția roboților].....	6
Figura 1.9 Prognoza pentru anul 2025 [*** Prognoza 2015].....	6
Figura 1.10 Evoluția și prognoza pieței de roboți pe domenii.....	7
Figura 1.11 Sinteza evoluției roboticii prin imagini și aplicații.....	7
Figura 1.12 Parcursul cercetării teoretice și experimentale.....	10
Figura 2.1 Influențe ale roboticii.....	11
Figura 2.2 Aplicații industriale ale roboților prin valori statistice.....	12
Figura 2.3 Celulă robotizată a firmei Garner Holt Productions cu utilizarea robotului KUKA [*** Celulă robotizată].....	14
Figura 2.4 Procesarea copiei sfinxului [*** Sfinx].....	15
Figura 2.5 Realizarea de sculptură [*** Sculptură].....	15
Figura 2.6 Reprezentarea sistemică a producției.....	16
Figura 2.7 Reprezentarea structurală a sistemului de fabricație, [*** Țarca].....	17
Figura 2.8 Filatură de bumbac [*** Filatură de bubac].....	17
Figura 2.9 Roboți industriali în procese de prelucrare.....	19
Figura 2.10 Roboți pentru procese de prelucrare.....	20
Figura 2.11 Dispozitive de curățat [Beom-Sahng, 2006].....	21
Figura 2.12 Modelul client – server [*** Client-Server].....	21
Figura 2.13 Utilizator, middleware și hardware.....	22
Figura 2.14 Aspectul piesei de prelucrat și marcajele realizate de controlor [Solvang, 2008].....	25
Figura 2.15 Imagine achiziționată (a) și imagine filtrată (b) [Sziebig, 2007].....	25
Figura 2.16 Detaliu din imaginea achiziționată [Sziebig, 2007].....	26
Figura 2.17 Determinarea punctelor de coliziune [Sziebig, 2007].....	26
Figura 2.18 Freză și obiect din lemn prelucrat [*** Freză].....	27
Figura 2.19 Dispozitiv de prehensiune și cap de forță.....	28
Figura 2.20 Robot industrial în aplicații de frezare, [Pan, 2006].....	29
Figura 2.21 Robot în timpul operațiilor.....	29
Figura 2.22 Celula de prelucrare RMC 100-RTSL.....	30

Figura 2.23 Robotul ABB 6400 în aplicații de debavurare a jantelor	31
Figura 2.24 Prezentare generală a sistemului de control al robotului [Olsson, 2009]	32
Figura 2.25 Robot în aplicații de găurire [Zanchetin, 2011]	32
Figura 2.26 Robot în operații de lustruire [Nagata, 2013]	33
Figura 2.27 Robotul în aplicații de lustruire	33
Figura 2.28 Sistem robotizat de lustruire	34
Figura 3.1 Robotul Yamaha YK 400 [*** Yamaha-motor]	35
Figura 3.2 Mișcările Robotul Yamaha YK 400 [Yamaha, 2004]	35
Figura 3.3 Configurații posibile ale robotului Yamaha YK400	36
Figura 3.4 Spațiul de lucru al Robotul Yamaha YK 400	36
Figura 3.5 Configurarea robotului Yamaha [RCX240, 08]	37
Figura 3.6 Moduri de operare de bază [RCX240, 08]	37
Figura 3.7 Analiza cinematică directă și inversă	38
Figura 3.8 Sistemul robot și parametrii elementelor și a cuplelor cinematice	39
Figura 3.9 Geometria robotului YK400XR	40
Figura 3.10 Simularea unei mișcări în cinematica directă	41
Figura 3.11 Traectoria realizată	41
Figura 3.12 Modelul de simulare în Matlab/Simulink	42
Figura 3.13 Traectoria $x_p(t)$	42
Figura 3.14 Traectoria $y_p(t)$	43
Figura 3.15 Convenția Denavid-Hartenberg	44
Figura 3.16 Analiza dimensională	46
Figura 3.17 Robotul în scena de lucru	48
Figura 3.18 Modul de prescriere a coordonatelor	48
Figura 3.19 Linie dreaptă	49
Figura 3.20 Linie curbă	49
Figura 3.21 Schema logică a programului CALOTĂ	53
Figura 3.22 Programul CALOTĂ	54
Figura 3.23 Imagine din timpul procesului de frezare a sferei	54
Figura 3.24 Schema logică a programului "UPT"	55
Figura 3.25 Imagine din timpul procesului de frezare	55
Figura 3.26 Imagine cu prelucrarea mecanică efectuată	56
Figura 4.1 Schema cinematică a robotului YAMAHA YK 400	58
Figura 4.2 Efector final, punct caracteristic și dreaptă caracteristică	59
Figura 4.3 Bară supusă unor forțe exterioare	61
Figura 4.4 Stand de măsurare a rigidității robotului YAMAHA YK 400	62
Figura 4.5 Procedura de lucru pentru analiza rigidității	63
Figura 4.6 Punctele de aplicare a forței F	64
Figura 4.7 Diagrama mișcării periodice	69
Figura 4.8 Senzorul DITRAN 3055B3	69
Figura 4.9 Achiziția informației de la senzor	70
Figura 4.10 Vibrograma unei mișcări	70
Figura 4.11 Parametrii care descriu o mișcare oscilatorie armonică și semnificația acestora	71

Figura 4.12 Exemplu semnal	72
Figur 4.13 Sistem de frezare și exemplu de semnal al vibrației	74
Figura 4.14 Diagrama de configurare.....	74
Figura 4.15 Plan de analiză experimentală.....	76
Figura 4.16 Robotul în timpul procesului de frezare și rezultatul frezării în PVC	77
Figura 4.17 Exemplu de frezare în lemn și PVC	77
Figura 4.18 Imagine cu programul Prelucrare date LVM	78
Figura 4.19 Semnal importat din fisierul m=0.lvm	78
Figura 4.20 Spectrul de putere corespunzător: $t=21500\text{rot/min}$	79
Figura 4.21 Nivelul vibrațiilor corespunzător $t=21500\text{rot/min}$	79
Figura 4.22 Nivelul vibrațiilor cu o integrare corespunzător $t=21500\text{rot/min}$	79
Figura 4.23 Date statistice corespunzătoare $t=21500\text{rot/min}$	80
Figura 4.24 Nivelul amplitudinii corespunzătoare $t=21500\text{rot/min}$	80
Figura 4.25 Filtru Butterworth trece jos la 40Hz și de ordine 15	81
Figura 4.26 Semnal achiziționat.....	81
Figura 4.27 RMS și DC în funcție de viteză.....	82
Figura 4.28 Diferențe ale RMS între frezarea în lemn și PVC.....	84
Figura 4.29 RMS în funcție de poziția punctului caracteristic	85
Figura 4.30 Etapele procesului de proiectare	85
Figura 4.31 Principalele solicitări în criteriul Von Mises [*** VonMises].....	86
Figura 4.32 Metodologia de proiectare a dispozitivului port sculă	88
Figura 4.33 Structura logică a etapelor de lucru	88
Figura 4.34 Modele de dispozitive propuse.....	89
Figura 4.35 Matricea tensorului de inerție.....	89
Figura 4.36 Imagine din CREO Parametric în timpul simulărilor.....	90
Figura 4.37 Rezultatele analizei (criteriul von Mises)	90
Figura 4.38 Deformarea dispozitivului sub acțiunea forței F	91
Figura 4.39 Volumul modelelor propuse.....	91
Figura 5.1 Caracteristicile generale ale HSM [Schultz, 1999].....	95
Figura 5.2 Forțele de tăiere în prelucrări mecanice [Hon, 2006].	96
Figura 5.3 Ansamblu robot-freză în timpul procesului de frezare	98
Figura 5.4 Freză DREMEL [*** Dremel]	98
Figura 5.5. Procedura de lucru	99
Figura 5.6 Traiectoria de mișcare etapa I.....	99
Figura 5.7 Traiectoria de mișcare etapa a II-a	100
Figura 5.8 Imagini cu materiale prelucrate prin frezare	101
Figura 5.9 Frezare în Komatex.....	101
Figura 5.10 Ansamblu robot-freză-senzor în timpul procesului de frezare.....	102
Figura 5.11 Imagini cu rezultatele prelucrării mecanice	102
Figura 5.12 Vibrograma din procesul de frezare în komatex.....	103
Figura 5.13 RMS pentru traiectoria cerc în polistiren	104
Figura 5.14 RMS pentru traiectoria pătrat în polistiren	105
Figura 5.15 RMS pentru traiectoria cerc în komatex	105
Figura 5.16 RMS pentru traiectoria pătrat în komatex	106

Figura 5.17 RMS pentru traiectoria cerc în lemn de brad	107
Figura 5.18 RMS pentru traiectoria pătrat în lemn de brad	107
Figura 5.19 Mostră în urma operației de debitare prin strunjire.....	110
Figura 5.20 Procedura de lucru	110
Figura 5.21 Ansamblu stand experimental 1	111
Figura 5.22 Ansamblu stand experimental 2	111
Figura 5.23 Cilindru de șlefuit	112
Figura 5.24 Spirala lui Arhimede [*** spirală].....	113
Figura 5.25 Programul Spirală	113
Figura 5.26 Schema logică ce descrie programul Spirală C++	114
Figura 5.27 Imagine cu spirala lui Arhimede simulată în mediul C++	114
Figura 5.28 Mostră finisată cu hârtie abrazivă P 1200,	115
Figura 5.29 Perie de șlefuit utilizată.	116
Figura 5.30 Perie de șlefuit în contact cu piesa	117
Figura 5.31 Mostra 2 în timpul etapelor de finisare	118
Figura 5.32 Rugozimetru SURTRONIC 25 [*** rugozimetru],	118
Figura 5.33 Mostrele la finalul procesului de lustruire	119
Figura 6.1 Robot industrial în interacțiunea cu un mediu de lucru	122
Figura 6.2 Schema bloc de fuziune a informațiilor pentru conducerea robotului.....	122
Figura 6.3 Schema bloc pentru controlul vitezei	123
Figura 6.4 Schema transferului de informație a standului experimental	123
Figura 6.5 Algoritmul mediei ponderate	126
Figura 6.6 Programul T_PCJT_1 dezvoltat în VIP Windows	129
Figura 6.7 Sensor de forță [*** Sensor]	131
Figura 6.8 Circuit de măsurare și traductor tensometric	132
Figura 6.9 Standul experimental.....	133
Figura 6.10 Conexiunea la placa de achiziție NI USB 6221	133
Figura 6.11 Interfața Sistemului de achiziție DAQ Assistent	134
Figura 6.12 Imagine cu afișarea rezultatelor în programul SignallExpress	134
Figura 6.13 Caracteristica sensorului de forță a) încărcare, b) descărcare.....	135
Figura 6.14 Dispozitiv port freză cu senzor de forță	137
Figura 6.15 Ierarhia Instrumentelor Virtuale în programul Controlul Forței.....	137
Figura 6.16 Panoul frontal al programului Controlul Forței	138
Figura 6.17. Schema bloc a VI-ului Test_3.vi	138
Figura 6.18. Schema bloc a VI-ului Test_Forța.vi	139
Figura 6.19 Interfața DAQ Assistent de achiziție a semnalului	140
Figura 6.20 Programul, T_FORT_9, dezvoltat în VIP Windows.....	142
Figura 6.21 Standul experimental utilizat pentru testarea posibilității de utilizare a corecției pe axa z.....	143
Figura 6.22 Stand experimental, vedere frontală	144
Figura 6.23 Traseul punctului caracteristic față de planul înclinat.....	144
Figura 6.24 Menținerea contactului între plan și palpator	145

1 INTRODUCERE

1.1 Scurt istoric al roboticii

Robotica – *robotics* – nu este un concept nou. Termenul se referă la studiul și utilizarea roboților. Cuvântul „robot” a fost utilizat prima dată în anul 1920 de scriitorul Karel Capek într-o piesă a sa, R.U.R. Autorul descrie muncitori cu înfățișare umană, care sunt crescuți în rezervoare, sugerând ideea că omul construiește un robot, iar robotul îl va ucide pe om. O serie de filme, care au urmat, prezentau roboții ca mașini periculoase.

Isaac Asimov introduce și utilizează pentru prima dată acest termen. El este cunoscut în literatură pe o mare varietate de subiecte dar este cunoscut cel mai bine pentru operele sale de science fiction. Dintre acestea „Eu robotul” (1950) este cea mai importantă. Asimov a formulat și cele trei legi ale roboticii:

Legea 1 - Un robot nu are voie să pricinuiască vreun rău unei ființe umane, sau, prin neintervenție, să permită ca unei ființe omenești să i se facă un rău;

Legea 2 - Un robot trebuie să se supună ordinelor date de către o ființă umană, atât timp cât ele nu intră în contradicție cu Legea 1;

Legea 3 - Un robot trebuie să-și protejeze propria existență, atât timp cât acest lucru nu intră în contradicție cu Legea 1 sau Legea 2;

Acțiunea din romanele sale a condus la apariția unei legi suplimentare, intitulată *Legea 0* - *Un robot nu are voie să pricinuiască vreun rău umanității sau să permită prin neintervenție ca umanitatea să fie pusă în pericol*. Ca urmare a Legii 0, toate celelalte legi se modifică corespunzător, Legea 0 fiind legea supremă, [*** Legea 0].



Figura 1.1 Isaac Asimov pe coperta revistei Science Fiction [*** Science Fiction]

Literatura de specialitate prezintă pe larg interesul omului pentru construcția unor mecanisme / mașini care să imite aspectele biomecanice ale omului, animalelor sau să îi faciliteze execuția unor operații tehnologice [Evan, 2014], [Bar-Cohen, 2003]:

- În anul 270 î.Hr. fizicianul și inventatorul grec Ctesibus din Alexandria a creat un ceas cu apă numit Clepsidră care marca trecerea timpului [Mathia, 2010];
- Matematicianul grec Archytas a construit un porumbel propulsat cu vapori, care putea zbura singur. Acest porumbel era confecționat din lemn și umplut cu aer sub presiune, [*** Porumbel], (fig.1.2);

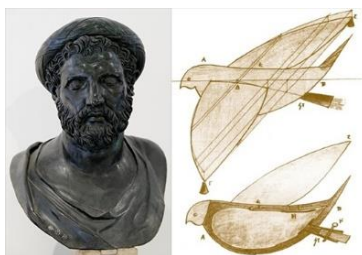


Figura 1.2 Matematicianul grec Archytas [*** Archytas]

- Leonardo DaVinci creează o structură mecanică care imită forma umană, un cavaler condus de un sistem de pârghii și roți dințate, care avea capacitatea de a se așeza, de a-și mișca mâinile și gâtul, figura 1.3. De asemenea, el a creat o structură mecanică ce imită forma unui leu figura 1.4.[Murtagh, 2006].

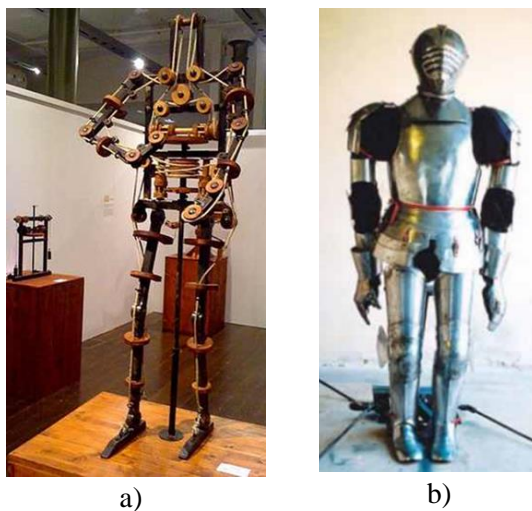


Figura 1.3 Structură mecanică care imită forma umană și cavaler condus de un sistem de pârghii și roți dințate [*** Structură mecanică][*** Cavaler]



a
Figura 1.4 Structură mecanică ce imită forma unui leu [*** Leu]

- General Motors, în primăvara anului 1961, folosește în procesul de producție al uzinelor de la Ewing Township primul robot industrial (fig.1.5). Acesta era un braț de robot care avea rolul de a manipula piese, cu temperaturi ridicate și de a le transporta printr-un lichid de răcire. [Weber, 2011]

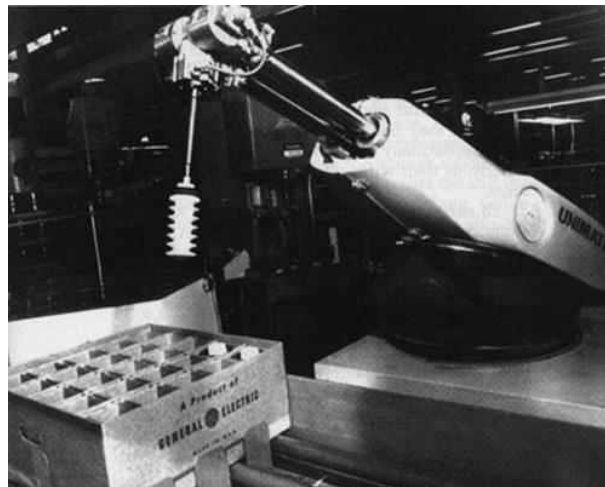


Figura 1.5 Unimate [*** Unimate]

- În 1958 AMF Corporation inițiază construcția unei mașini universale de transfer VERSATRAN. În 1962, la uzinele Ford din Canton (USA), se pune în funcțiune primul robot cilindric, Versatran, cu comandă point-to-point [Singh, 2013];

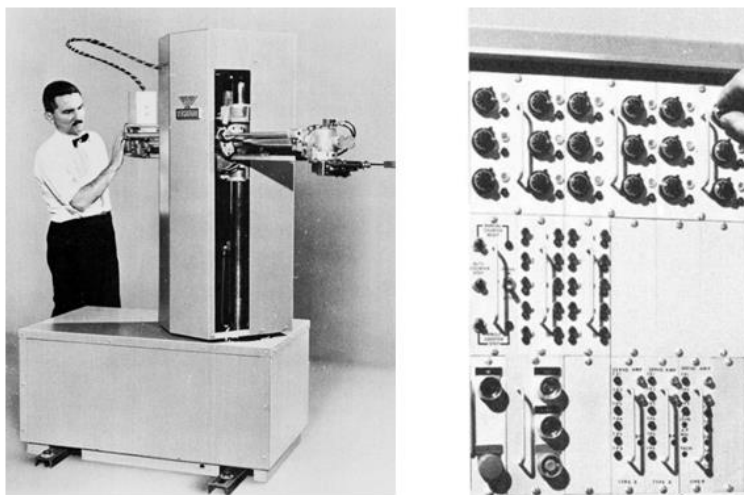


Figura 1.6 Robotul VERSATRAN și consola de programare. [*** Versatran]

Din acest moment, a început o etapă de consolidare a conceptului de robotică și de dezvoltare a unor structuri constructive diverse, implementate în principal în procese industriale. Specialiștii simțeau necesitatea unui nou concept - o nouă filozofie - care să le permită construcția și utilizarea roboților.

1.2 Mecatronică și robotică

Conceptul de mecatronică, a fost introdus în Japonia în 1969 de către Tetsuro Mori, inginer la Yaskawa Electric Corporation.

Termenul a fost brevetat (numărul de înregistrare „46-32714”, în 1971) de către concernul Yaskawa Electric, între anii 1971 - 1972 și protejat până în 1982, ca marcă a acestei firme. Inițiativa specialiștilor a fost susținută de necesitatea corelării diverselor aspecte multidisciplinare, care apăruseră, în proiectarea și dezvoltarea roboților industriali.

În 1979 “Robot Institut of America” definește robotul ca “Un manipulator reprogramabil, multifuncțional proiectat pentru a muta materiale, piese, scule sau dispozitive speciale prin diverse mișcări programate și pentru îndeplinirea unei varietăți de sarcini ” [Mihai, 2004], [Gupta, 2013]

În anul 1986, conceptul este citat și în literatura de specialitate din România pentru roboți industriali. Pe parcursul timpului robotul a fost definit ca un sistem mecatronic, destinat automatizării interacțiunii omului cu mediul în care operează.

Definiția formulată, în 1986, de către Comitetul Consultativ pentru Cercetare și Dezvoltare Industrială al Comunității Europene este: “Mecatronică este o îmbinare sinergetică între: ingineria mecanică de precizie, controlul electronic și gândirea sistemică în proiectarea produselor și proceselor” [van Amerongen, 2000]

Conform primei conferințe *IFAC (International Conference of Automatic Control)* de „Sisteme Mecatronice”, organizată între 18 și 20 septembrie 2000 la

Darmstadt, Germania, o imagine asupra complexității domeniilor din „mecatronică” este prezentată în tabelul 1.1 [Dumitriu, 2006]:

Tabel 1.1 Clasificarea sistemelor mecatronice

Secțiunea	Domenii
A	Sisteme mecatronice ce includ vehicule mecatronice, motoare și mașini mecatronice, trenuri mecatronice și sisteme spațiale mecatronice.
B	Componente mecatronice, cu temele actuatori și dispozitive mecatronice și lagăre magnetice.
C	Roboți și mașini pășitoare, cuprinzând roboți mecatronici, sisteme robotice mobile, mașini pășitoare.
D	Proiectarea sistemelor mecatronice, având ca scop modelarea și identificarea, instrumente software, simularea în timp real.
E	<i>Controlul automat al sistemelor mecatronice care s-a concentrat asupra metodelor de control, a controlului mișcării și vibrațiilor și a sistemelor mecatronice pentru detectarea și diagnosticarea erorilor.</i>

Putem afirma că *robotica* este știința care se ocupă cu tehnologia, designul și fabricarea roboților. Alte definiții ale roboticii, respectiv robotului sunt prezentate în cele ce urmează:

- Robotica este o conexiune inteligentă între percepție și acțiune - *Prof. Sir Michael Brady, Oxford University (~ 1985)*
- Robotul este o mașină capabilă a extrage informația dintr-un mediu și de a utiliza cunoașterea pentru a se mișca singur în lumea respectivă pentru scopul propus - *Prof. Maja Mataric (Comp. Sc. Dep., Univ. Of Calif., USC Rob. Lab (~1990)*
- Robotica este știința și tehnologia de a proiecta sisteme mecatronice capabile de a genera și controla mișcare și forță - *Prof. Paolo Dario, Univ. Of Pisa (~ 2000).*

Construcția și vânzările de roboți industriali pe plan mondial au atins un vârf în anul 1990 când au depășit cifra de 80.000 de unități [Maniu, 2009]. Între anii 1991-1993 a urmat o perioadă de recesiune, când vânzările au coborât la 53.000 de unități (1993).

În următorii ani a urmat din nou o perioadă de creștere a vânzărilor, în anul 1997 atingându-se un nou record de 82.000 de unități [Maniu, 2009].

În anii '90, implementarea roboților industriali în Europa și SUA se situa la numai 20 %, respectiv 7 % din numărul roboților instalați în Japonia. În 2001, se constata pentru prima dată o depășire a numărului de roboți instalați în SUA și Europa, comparativ cu numărul roboților instalați în Japonia.

În perioada 2001-2003, numărul de roboți industriali a crescut astfel că, la finele anului 2005 în Japonia și Republica Korea, se constata cea mai mare densitate de roboți industriali la 10.000 de angajați din industrie: 352 de roboți în Japonia și 173 de roboți în Republica Korea [Maniu, 2009]. Cu 171 de roboți pe 10.000 de angajați din industrie,

Germania este țara cu cea mai mare densitate de roboți industriali din Europa, urmată de Italia cu 130 și Suedia cu 117 [Maniu, 2009].

Prețul roboților industriali în raport cu costurile de producție, a scăzut brusc în perioada 1990 – 2000.

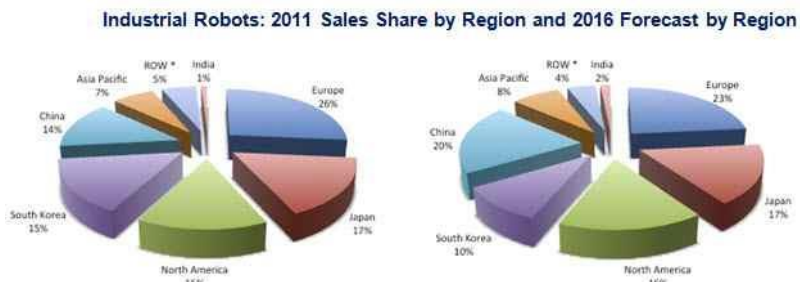


Figura 1.7 Vânzările de roboți industriali în 2011 și prognoza pentru 2016 [*** Vânzările de roboți]

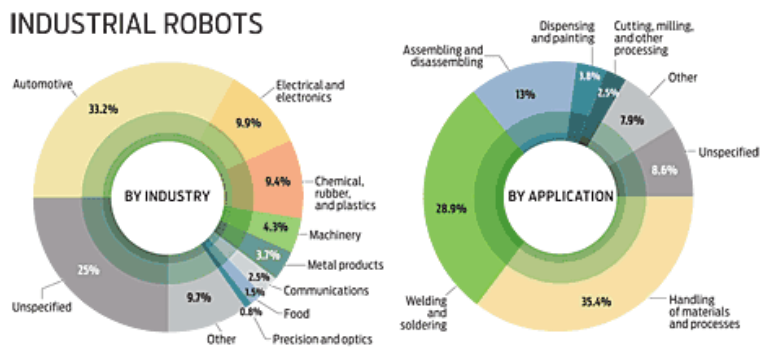


Figura 1.8 Distribuția roboților industriali pe domenii industriale și respectiv pe aplicații [*** Distribuția roboților]

În figura 1.9 este ilustrată Prognoza pentru anul 2025 a locurilor de muncă pierdute datorită introducerii roboților industriali pe domeniile de activitate.

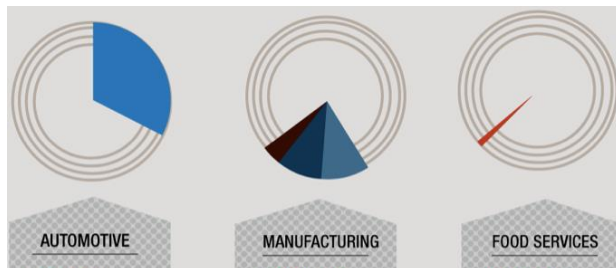


Figura 1.9 Prognoza pentru anul 2025 [*** Prognoza 2015]

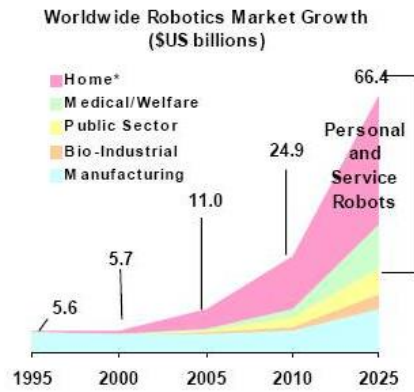


Figura 1.10 Evoluția și prognoza pieței de roboți pe domenii
[*** Prognoza pe domenii]

Evoluția roboticii în direcțiile aplicative în principal și susținute prin construcții adecvate în secundar este concludentă prin modurile de definire a acestei noțiuni pe parcursul timpului. Această evoluție în abordarea conceptuală și constructivă s-a făcut simțită și în zona aplicativă (fig.1.11.), [Mondoc, 2014], [Gorie, 2014].

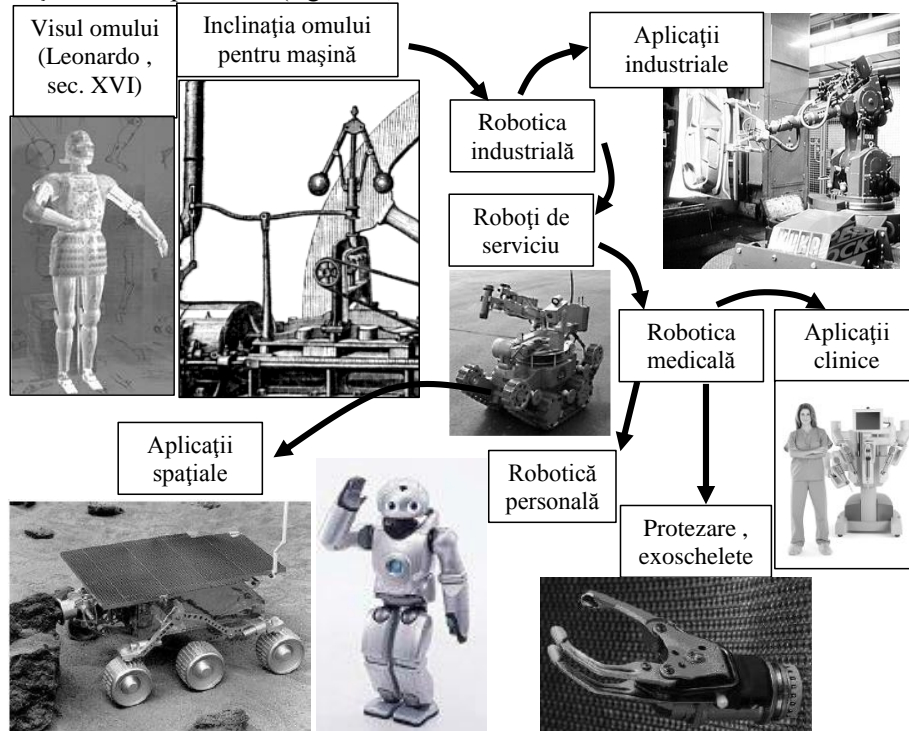


Figura 1.11 Sinteza evoluției roboticii prin imagini și aplicații

1.3 Motivația abordării temei de doctorat

Filosofia mecatronică a marcat trecerea de la ingineria tradițională, secvențială la ingineria simultană sau concurrentă. Astfel, a apărut noțiunea de “mașină inteligentă”, o dată cu revoluția mecatronică. Mecatronica, prin caracterul său integrator, sinergic, transcende limitele unei singure discipline, reprezentând o „viziune globală în domeniul tehnologic” [Mătieș, 2002].

Roboții industriali au devenit tentanți pentru industrie, odată cu apariția nevoii de creștere a eficienței și flexibilității în procesele de producție [Olofsson, 2013]. Printre beneficiile oferite de utilizarea roboților industriali, putem enumera: creșterea productivității și a calității produselor, în timp ce se reduc costurile, cantitățile de materiale utilizate și consumul de spațiu [*** Beneficiile utilizării roboților industriali]. Astăzi, principalele operații realizate cu ajutorul roboților industriali sunt: manipulare (38%), sudare (29%), asamblare (10%), dozare (4%) și doar 2%, procese de prelucrare [Jobin, 2014].

Primele cercetări asupra utilizării roboților industriali în procese de prelucrare mecanică au apărut încă din 1990, dar potențialul maxim de utilizare al roboților pe această direcție, nu a fost încă atins [Chen, 2012]. Unul din principalele proiecte de cercetare a utilizării roboților în procese de prelucrări mecanice este COMET. Acesta a fost creat cu scopul de a cerceta cinematica roboților și de a dezvolta noi metode de poziționare a efectorului final.

De asemenea s-a urmărit, îmbunătățirea softului utilizat în conducerea roboților industriali, dar și ameliorare acurateței de poziționare prin utilizarea de camere video, cu ajutorul cărora să se calculeze devierea poziției efectorului final, și dezvoltarea unui sistem de compensare dinamică, pentru îmbunătățirea acurateței robotului [*** Proiectul Comet]

Atât analiza cinematicii, rigidității și vibrațiilor roboților industriali și identificarea de soluții constructive în vederea ameliorării acestora cât și echiparea acestora cu dispozitive de corecție a erorilor reprezintă o necesitate de o urgență ridicată.

1.4 Obiectivele tezei de doctorat

Teza de doctorat își propune să aducă contribuții în analiza cinematicii, rigidității și vibrațiilor roboților industriali și identificarea de soluții constructive și dispozitive de corecție în vederea ameliorării acestora.

Obiectivul principal al tezei de doctorat este: analiza teoretică, constructivă și experimentală a robotului Yamaha YK 400.

Obiectivului principal i-au fost subordonate o serie de obiective operaționale sau specifice integrate într-un parcurs, conform cu schema prezentată în figura 1.12:

- realizarea unei cercetări extinse referitoare la problema abordată;
- analiza teoretică a caracteristicilor robotului Yamaha YK 400;
- realizarea standurilor de lucru în vederea efectuării unor experimente de prelucrări mecanice prin așchiere cu robotul Yamaha YK 400;

- proiectarea unor experimente pentru determinarea caracteristicilor funcționale ale sistemului format din robot-senzor-freză-sistem de prelucrare a informațiilor;
- efectuarea experimentelor de laborator utilizând diferite configurații ale sistemului robot-senzor-freză-sistem de prelucrare a informațiilor;
- modelarea și analiza experimentală a unui dispozitiv port freză;
- analiza teoretică și experimentală privind controlul vitezei de avans a robotului în funcție de vibrațiile echipamentului de frezare;
- analiza teoretică și experimentală privind controlul forței de contact a efectorului final asupra piesei de prelucrat.

1.5 Structura tezei de doctorat

Realizarea obiectivelor menționate anterior este descrisă în următoarele capitole ale tezei de doctorat după cum urmează:

Capitolul 1 - *Introducere* - descrie domeniul și direcțiile de cercetare în care se încadrează prezenta teză de doctorat. Este evidențiată motivația temei și obiectivul principal al tezei. În finalul capitolului este prezentată structura tezei de doctorat, pe capitole și extensia acestora. Capitolul are o extensie de 10 pagini și include 12 figuri și 1 tabel.

Capitolul 2 - *Stadiul actual al utilizării roboților industriali în procese tehnologice* - prezintă o sinteză bibliografică referitoare la sistemele de fabricație flexibile, particularități ale roboților utilizați în procese de prelucrări mecanice și aspecte actuale ale utilizării roboților industriali în procese de fabricație. Capitolul are o extensie de 24 pagini și include 28 figuri și 2 tabele.

Capitolul 3 - *Aspecte teoretice privind robotul Yamaha YK 400* –Prezintă o analiză a robotului Yamaha YK 400 din punct de vedere al caracteristicilor tehnice, al cinematicii și al modului de operare cu acesta. Capitolul 3 are o extensie de 22 de pagini în care sunt integrate 26 figuri, 17 relații de calcul și 4 tabele.

Capitolul 4 – *Analiza comportamentului sistemului mecanic* – face referire la sistemul mecanic al robotului Yamaha YK 400, generalități privind rigiditatea și vibrația structurii mecanice a unui robot. Expune rezultatul analizei rigidității și flexibilității robotului, Yamaha YK 400, precum și analiza vibrației structurii mecanice. Capitolul 4 are o extensie de 37 de pagini și include 39 de figuri, 27 relații de calcul și 9 tabele.

Capitolul 5 – *Aplicații de frezare și lustruire* – are ca obiectiv operațional studiul experimental al utilizării robotului Yamaha YK 400 în procese de frezare și lustruire. Concluziile rezultate în urma experimentelor încheie acest capitol care are o extensie de 28 pagini și include 33 figuri, 22 de relații de calcul și 8 tabele.

Capitolul 6 - *Controlul vitezei și a forței de contact a robotului* - include: prezentarea modului de prelucrare a informației cu ajutorul programului LabView și a senzorului de forță, controlul VITEZEI punctului caracteristic în spațiul de lucru în funcție de nivelul vibrațiilor, controlul punctului caracteristic al robotului în funcție de nivelul forței de contact. Capitolul are o extensie de 26 pagini și include 5 relații de calcul, 24 figuri și 2 tabele.

Capitolul 7 – Concluzii finale, contribuții și recomandări viitoare - se referă la concluziile ce se desprind în urma activităților desfășurate, trece în revistă contribuțiile personale, diseminarea rezultatelor și recomandările pentru cercetările viitoare.

Bibliografia include o parte din titlurile utilizate pe parcursul elaborării tezei. Bibliografia cuprinde 166 de titluri bibliografie.

Anexele includ materiale rezultate și prelucrate în perioada de elaborare a tezei. Aceste materiale au fost utilizate pentru redactarea capitolelor tezei.

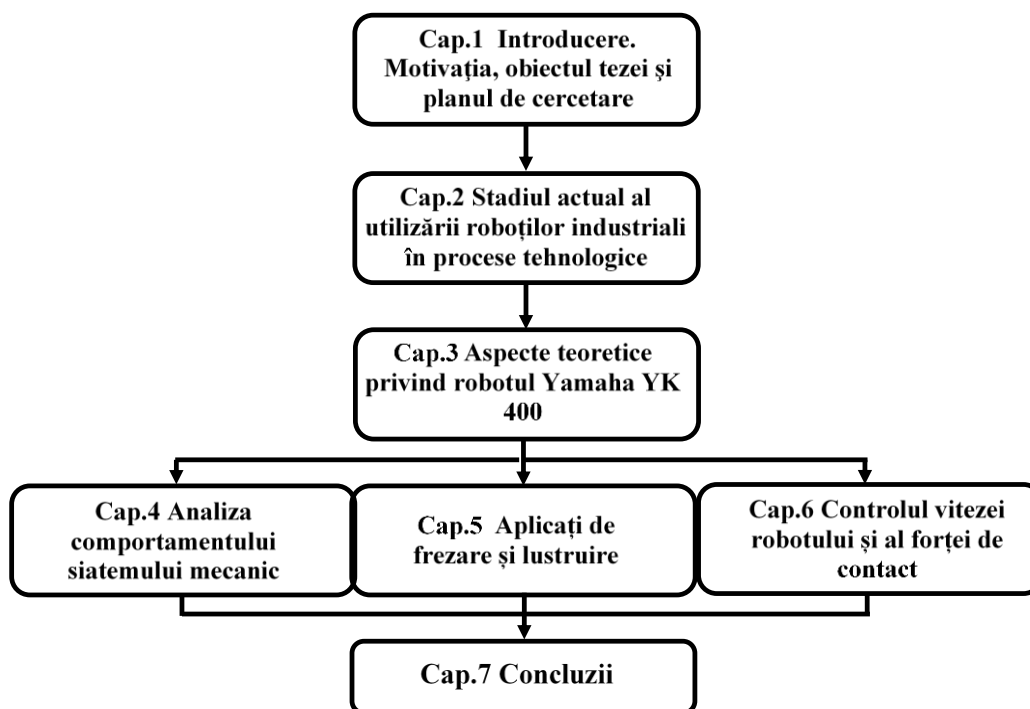


Figura 1.12 Parcursul cercetării teoretice și experimentale

2 STADIUL ACTUAL AL UTILIZĂRII ROBOȚILOR INDUSTRIALI

2.1 Introducere

Obiectivul operațional al capitolului constă în prezentarea stadiului actual privind preocupările și realizările, la nivel de cercetare și, respectiv, aplicații industriale, referitor la sisteme de fabricație flexibile pentru procese de prelucrare robotizate.

Frankfurt, 18 septembrie 2013 - "Industria robotica este în căutarea unui viitor luminos!" a declarat dr Shinsuke Sakakibara, președintele IFR, cu ocazia publicării studiului "World Robotics 2013 - Industrial Robots". "În 2013, vânzările globale de roboți vor crește cu circa 2%, la 162,000 de unități.

Departamentul de Statistică IFR se așteaptă ca între 2014 și 2016, vânzările la nivel mondial să crească cu circa 6% în medie pe an. În 2016, furnizarea anuală de roboți industriali va ajunge la mai mult de 190,000 de unități" [Litzenberger, 2013].

Influențe ale roboticii pe plan economic (investiție), integrare și echivalent forță de muncă sunt prezentate în figura 2.1.

4.1 numărul mediu de roboți instalați /oră



18 miliarde US\$ în
industria roboților
(2007)

7 : 1 numărul de muncitori raportat la numărul de roboți în
Germania (industria automobilului)

Figura 2.1 Influențe ale roboticii

[*** Germania (industria automobilului)]

Roboții industriali au o mare contribuție la trecerea automatizării industriale pe o nouă treaptă și permit o reducere a forței de muncă. Un exemplu edificator îl constituie inserția în anul 2008, a unui total de 12557 roboți în valoare de 894.9 milioane \$ doar în America de Nord [Pan, 2009]. Cu toate acestea, mai mult de 80% din cererile pentru roboți industriali sunt limitate în domeniul proceselor de manipulare și al sudării de

materiale. Foarte puțini roboți au fost integrați în aplicații cu valoare adăugată mare, cum ar fi procesele de îndepărtare a materialului în aplicații de prelucrare [Pan, 2009]

În figura 2.2. este prezentată o statistică referitoare la aplicații industriale ale roboților. Se remarcă prezența proceselor de prelucrare tăiere, frezare ș.a. într-o proporție relativ redusă – 2,5 %.

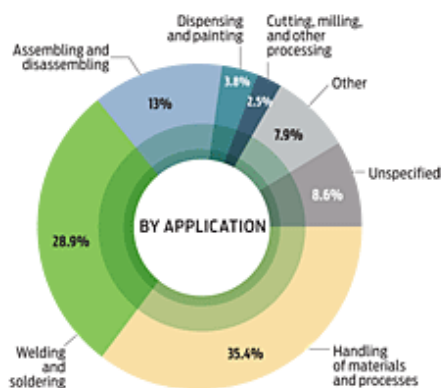


Figura 2.2 Aplicații industriale ale roboților prin valori statistice
[*** Aplicații ale RI]

Pe de altă parte, cererea industriei de descoperire a unor soluții eficiente de prelucrare a pieselor din aluminiu este foarte mare. Industria auto reprezintă cea mai rapidă creștere ca segment de piață a industriei de aluminiu, ca urmare a utilizării tot mai mare de aluminiu în construcția de autoturisme.

În general, există mai multe stimulente puternice pentru a deschide noi domenii de utilizare a roboților industriali. Cu toate acestea, au fost identificate mai multe probleme în această dezvoltare: rigiditatea scăzută a dispozitivului de ghidare a robotului [Zhang, 2005] și dificultăți de integrare de diverși senzori și controlerelor roboților. Acest lucru se explică prin faptul că în cazul fabricației, trebuie luate în considerare forțele de contact. Forțele măsurate, cu senzori integrați în zona efectorului final sunt incluse în circuitul de reacție al controlerului. Integrarea elementelor senzoriale este condiționată de arhitectura controlerelor sistemului robot.

Kalpakjian & Schmid (2006), afirmă că operațiunile manuale de debavurare pot crește cu până la 10% costul de producție. În șlefuire manuală, în general, condițiile de lucru sunt dificile, lucrătorii trebuie să poarte echipament de protecție (ochelari de protecție, mănuși și apărători sonice) [Thomessen, 1999].

Sabri și Ray-lung în 1990 considerau deja că există cerințe multiple pentru performanțe ridicate în operații de prelucrare și că soluția constă în utilizarea roboților industriali în aplicații de prelucrare. Se menționau ca avantaje preconizate: reconfigurare mecanică, capacitatea de a lucra cu scule diferite, dispozitive de fixare simple a sculelor, re-programabilitate rapidă prin software [Sabri, 1990].

Colectivul de cercetare multidisciplinar din UP Timișoara a desfășurat activități de proiectare și implementare a unor roboți industriali în industrie în baza unor teme de proiectare ale beneficiarilor: familia de manipuloare sincrone MS-200..1000 (operații

de curățire, sablare, debavurare, periere, șlefuire etc.), celulă flexibilă de debavurat prin frezare etc. [Maniu, 2009].

Astăzi, cele mai multe dintre operațiunile de curățare și pre-prelucrare sunt fie efectuate manual, într-un mediu extrem de zgomotos, periculos cu mult praf sau sunt completate de mașini specializate CNC cu investiții uriașe de capital. Prin urmare, o soluție de automatizare flexibilă pentru aceste operațiuni este de dorit. Robotica bazată pe soluții cu sisteme flexibile este considerată ca fiind o soluție ideală pentru programarea aplicațiilor adaptivitate și flexibile cu costuri relativ scăzute. Cu toate acestea sunt semnalate și aspecte negative – calitatea suprafeței, vibrațiile - care fac ca industria metalurgică să accepte ușor integrarea roboților [Pan, 2009].

O serie de ramuri industriale necesită forme complexe de prelucrare pentru care se apelează la mașini cu 5 axe, pentru operații de finisare, frezare, șlefuire, lustruire [Ning, 2005]. Rigiditatea și precizia (repetabilitatea) se constituiau un impediment în utilizarea roboților industriali comparativ cu mașinile unelte clasice [Fei, 2009].

Cu toate acestea, în aplicații în care flexibilitatea, suprafețele complexe de realizat și o rigiditate permisivă (nu sunt cerințe deosebite), roboții industriali pot fi sistemul ideal pentru operații de prelucrare. Printre aplicațiile de prelucrare care pot apela la un sistem robotizat se pot menționa debavurarea, găurirea ș.a. Cerința impusă pieselor era realizarea lor din materiale cu rezistențe reduse de așchiere [Schaaf, 2000]. Printre acestea sunt specificate unele din aliajele de aluminiu, aliaje de magneziu, lemn, materiale plastice și de asemenea, unele materiale compozite cu matrice de plastic / rășină și întăriri de rezistență mică [Cezary, 2003], [Huang, 2002].

Mașinile unelte cu mai mult de 4 axe sunt, de regulă, foarte scumpe (500.000 EU) și întreținerea acestora trebuie să asigure o viață de funcționare mai mare de 10 ani. În contrast, un robot industrial cu 6 axe, cu o sarcină utilă de 10 kg , este incomparabil mai puțin costisitor (în jur de 50.000 EU).

Printre sursele de erori de prelucrare pe mașini-unelte, deformarea termică și erorile geometrice sunt recunoscute în mod tradițional. Dacă o parte dintre acestea au fost analizate pentru lucrul cu mașini-unelte clasice, aceste probleme trebuie avute în vedere în cazul roboților.

Eroarea de situare a robotului industrial poate deveni un impediment în implementarea roboților industriali în aplicații de prelucrare. Cu toate acestea, utilizarea forței ca un semnal de feedback pentru a compensa o eroare de traiectorie se consideră o soluție de urmat [Sabri, 1990]. Pentru alte aplicații, o integrare de micromodule - care să conlucreze cu robotul industrial - pentru compensarea erorilor de situare , se consideră soluția ideală [Oliveira, 2004].

Construcția programului pentru o operațiune de prelucrare cu un robot poate fi, de asemenea, o sarcină dificilă. În mod normal, un / sistem CAM CAD este utilizat pentru a genera un fișier de date de la un desen 3D și apoi este scris un program CNC pentru un anumit tip de mașină-unelte cu 5 axe, pentru suprafețe [Yuyao, 2009].

Utilizarea roboților necesită o compatibilitate a procesorului și limbajului pentru sistemul de comandă a acestuia. Rigiditatea structurii mecanice a roboților industriali și vibrațiile acestora au fost de asemenea analizate în perspectiva integrării lor în sisteme de fabricație de prelucrare mecanică [Jinwook, 200].

Un robot industrial are o rigiditate mai mică decât o mașină CNC asemănătoare. De obicei rigiditatea versiunii IRB 6400 este în jur de $0,5N / \mu m$ comparativ cu peste $30N / \mu m$ pentru o mașină standard CNC. Se impune ca deformarea posibilă a structurii robotului industrial datorită forței de interacțiune cu mediul să fie compensată.

O corelare a cerințelor pentru aplicația de prelucrare cu caracteristica robotului și parametrii de prelucrare pot soluționa optim problema.

Aplicații ale roboților industriali în procese de prelucrare sunt prezentate în tabelul 2.1. [Martins, 2010]

Tabel 2.1 Aplicații ale roboților industriali în procese de prelucrare

Domenii industriale	Procese	Produce
Aerospațial (aeronautică)	Șlefuire, lustruire, găurire	Palete de turbine, fuzelaj
Automobile	Șlefuire, găurire, tăiere, frezare	Blocuri motoare, caroserii, panouri
Turnătorie	Șlefuire, frezare, găurire	Matrițe și piese turnate
Medical	Lustruire, șlefuire	Proteze
Divertisment	Frezare	Scene și figuri în parcuri de distracție, sculpturi
Industria lemnului	Frezare	Mobilier, balustrade, matrițe pentru căzi de baie
Materiale plastice	Frezare	Căști de protecție, forme de injecție

Interesul pentru aplicabilitatea roboților în astfel de procese este susținut de numărul de firme care au implementat cu succes astfel de aplicații [Martins, 2010].

- Compania americană axată pe industria de divertisment, produce scene animate și figuri în parcuri de distracții, muzee și cazinouri. În procesul de producție se utilizează scanere laser tridimensionale. Fișierul obținut poate fi utilizat pentru prelucrarea obiectului dorit (fig.2.3).



Figura 2.3 Celulă robotizată a firmei *Garner Holt Productions* cu utilizarea robotului KUKA [*** Celulă robotizată]

- Compania franceza SNBR este activă în restaurarea operelor de artă contemporană și conservarea patrimoniului arhitectural. Firma a dezvoltat o tehnologie robotizată, care permite prelucrarea de opere mari de artă din materiale originale (fig. 2.5.). Aceasta companie a participat la un proiect comun cu o echipa științifică pentru a recrea Sfinxul de Naxos, din marmură, ca oreplică din ipsos a Sfinxului (fig. 2.4).

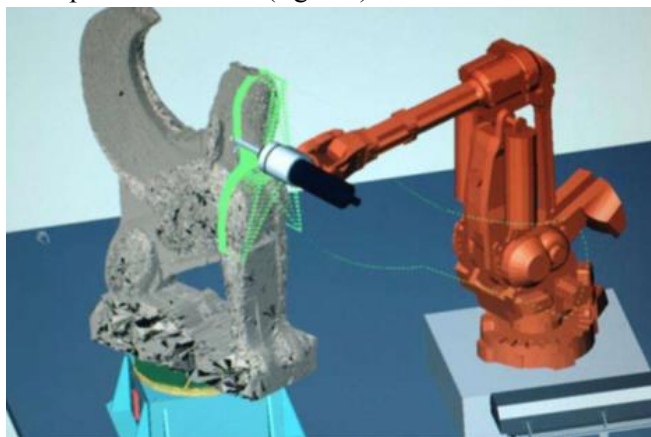


Figura 2.4 Procesarea copiei sfinxului [*** Sfinx]

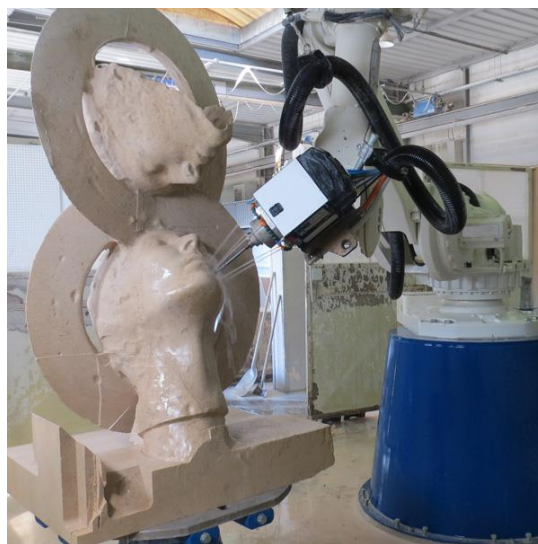


Figura 2.5 Realizarea de sculptură [*** Sculptură]

O utilitate actuală a roboților industriali se referă la procesele tehnologice din categoria șlefuire, debavurare, frezare, [Sornmo,2012], [Slamani 2015], [Zhang, 2006], [Olsson, 2009], [Besari, 2010]. Avantajele utilizării roboților industriali în aceste

procese decurg din flexibilitatea deosebită și posibilitatea adaptării în mod suplimentar pentru operații suplimentare necesare în sistemul de fabricație.

2.2 Sisteme de fabricație flexibile

Prin producție se înțelege suma tuturor activităților care presupun transformări de energie (E), materiale (M) și informație (I) în (alte) bunuri materiale sau servicii, în scopul satisfacerii unor necesități [*** Țarca]. În figura 2.6 este prezentată o abordare sistemică a ceea ce am definit prin producție.



Figura 2.6 Reprezentarea sistemică a producției

Procesele sunt fenomene din natură care se produc și a căror desfășurare este programată, având la bază diferite legături funcționale și obiecte. Domeniului tehnic îi este caracteristic procesul tehnologic. Procesele tehnologice sunt destinate creării produselor și au la bază trei tipuri de transformări: ale materiei (substanței), ale energiei și ale informației.

În cadrul producției sunt incluse mai multe activități: marketing, design, fabricație, vânzare, întreținere, reparație, reciclarea produsului. Fiecare activitate din cele enumerate se poate regăsi într-o reprezentare sistemică dacă sistemul de producție este descompus pe nivele ierarhice.

Procesul de fabricație definește totalitatea activităților care concură la producție: operații de prelucrare și operații de manipulare.

Operațiile de prelucrare sunt acele operații ale procesului de fabricație în care obiectul muncii își schimbă forma, starea de agregare, structura sau calitatea suprafeței [*** Țarca]. Produsele sunt obiecte fizice, materiale, create în mod conștient, dirijat și controlat prin munca omului;

Prin operațiile de manipulare obiectul de lucru își schimbă situația (poziția și orientarea în spațiu). În cadrul operațiilor de manipulare sunt incluse și operațiile prin care se obțin informații despre obiectul manipulat: operațiile de măsurare, control, etc. Se face observația că obiectul manipulat poate fi obiect de lucru, sculă de prelucrare, dispozitiv, deșeuri, etc. [*** Țarca].

Prin sistem de fabricație se înțelege totalitatea mijloacelor materiale și componente nemateriale care concură la realizarea unui produs și care sunt grupate în timp și în spațiu într-un mod bine determinat

O reprezentare structurală a sistemului de fabricație este dată în figura 2.7.

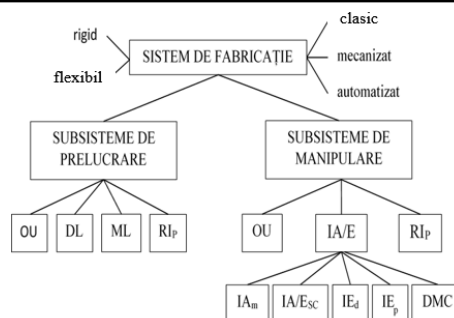


Figura 2.7 Reprezentarea structurală a sistemului de fabricație, [*** Țarca]

Semnificația notațiilor din figura anterioară reprezintă: OU - operator uman; DL - dispozitive de lucru; ML - mașini de lucru; RI - roboți industriali; IA/E - instalații de aducere: instalații aducătoare de materiale și materii prime (I.A.m); instalații aducătoare și de evacuare scule și dispozitive (I.A/Esc), instalații de evacuat deșeuri (I.E.d), instalații de evacuat piese finite (I.E.p) respectiv dispozitive de măsură și control (D.M.C.). Se constată prezența robotului industrial (RI), atât în structura subsistemului de prelucrare cât și în structura subsistemului de manipulare. Operatorul uman (OU) este de asemenea prezent în sistem. Procesul de fabricație a cunoscut și a urmat parcursul clasic al evoluției:

- mecanizarea – acțiunea de a mecaniza și rezultatul ei, introducerea mașinilor în procesul de producție. Anul 1769 constituie un punct de referință când Richard Arkwright utilizează mașina cu apă pentru filaturi de bumbac (fig. 2.8.) Din 1790 se apelează la mașina cu abur.



Figura 2.8 Filatură de bumbac [*** Filatură de bumbac]

- automatizarea este o ramură a tehnicii, al cărei scop este ca mașinile și instalațiile să lucreze automat, deci independente de o continuă și/sau directă intervenție a forței de muncă umane. În instalațiile automatizate operatorul uman preia sarcini de supraveghere, de aprovizionare cu material, de transport a produselor finite, de întreținere și alte activități similare.
- robotizarea reprezintă dezvoltarea automatizării flexibile prin integrarea roboților în sistemul de producție. Robotizarea proceselor de producție are

efecte directe asupra factorului uman, acestea referindu-se în principal la următoarele aspecte: gradul de implicare a forței de muncă în anumite procese tehnologice de producție; evitarea utilizării operatorului uman în medii periculoase; degrevarea operatorului uman de activități monotone, repetitive și/sau stresante.

Între un anumit proces de fabricație și sistemul de fabricație corespunzător există o corespondență biunivocă bine determinată. Procesul de fabricație poate fi clasificat în funcție de o serie de criterii. Luând în considerare flexibilitatea sistemului de fabricație, acesta poate fi clasificat în:

- sistem de fabricație rigid;
- sistem de fabricație flexibil.

Flexibilitatea unui sistem de fabricație se definește ca fiind calitatea acestuia de a răspunde eficient la variabilitatea:

- de stare: ordinea operațiilor, trasee diferite, volum schimbător al producției etc.;
- de acțiune: totalitatea schimbărilor necesare pentru modificarea condițiilor la mașina de lucru, la dispozitivele de lucru etc.

Pentru organizarea producției se apelează la metode diverse care să asigure optimul:

- Metode de organizare a producției în flux, pentru tipul de producție de masă;
- Metode de organizare a producției pe comenzi, pentru tipul de producție de serie;
- Metode de organizare a producției pe unicate, pentru tipul de producție individuală.

2.3 Particularități ale roboților utilizați în procese de prelucrare

2.3.1 Particularități și structuri ale sistemului mecanic

Roboții destinați acestor procese necesită o rigiditate corespunzătoare în general și în special în zona mecanismului de orientare.

În general roboții industriali proiectați pentru aplicații mai puțin provocatoare se realizează la prețuri scăzute utilizând transmisii pe bază de curele sincrone, transmisii armonice și cicloïdale. Roboții rigizi sunt de obicei proiectați cu reductoare de viteză și au integrate scule pentru procesele de prelucrare. Acești roboți sunt, în general, proiectați pentru a lucra în condiții grele și praf.

Trebuie menționat că rigiditatea sistemului mecanic al robotului este un factor limitativ pentru prelucrarea materialelor cu duritate mare. Au fost analizate pentru integrare în sisteme de fabricație atât structurile seriale cât și cele paralele. Majoritatea roboților industriali serie prezintă o configurație articulată cu axe de rotație.

Structura unui robot serial articulată are un spațiu de lucru mai mare, cu o mare accesibilitate la partea de prelucrat, dar cu rigiditate limitată în comparație cu o structură de robot paralel.

Structura mecanică a robotului paralel are o rigiditate de valori ridicate ceea ce îi permite robotului repetabilitate foarte bună și stabilitate în condiții tipice de încărcare

în aplicații de prelucrare a metalelor. Ca și aspect negativ poate fi menționat spațiul de lucru de valori mai reduse.

Pot fi menționate printre variantele de roboți industriali utilizați pentru procese de prelucrare:

- FANUC F-200iB este o structură paralelă pentru aplicații de prelucrare care necesită rigiditate și repetabilitate mare (fig. 2.9. a));
- ABB IRB 6660 – structură serială dedicat pentru operații de pre-prelucrare în industria metalurgică (fig. 2.9. b)): finisare, frezare, rectificare, tăiere (prelucrare aluminiu, fier, aliaje de magneziu). Alte variante: ABB IRB 140 (fig. 2.9. c); ABB IRB 2400 (fig. 2.9. d); ABB IRB 4400/L10; ABB IRB 4400/L30.
- Kuka KR 550 - structură serială - cu o capacitate de încărcare de până la 550 kg (fig. 2. 10 a)) Alte variante: KUKA KR30(fig. 2.10 b); KUKA KR60; KUKA KR3.
- Motoman DX1350N - structură serială - compactă și rigiditate bună, foarte folosit în operațiuni de rectificare (fig. 2. 10 c)); Alte variante: K6; K30; K60; K165.
- Staubli RX170HSM - structură serială - aplicații de prelucrare la viteză mare (fig. 2. 10 d))



Figura 2.9 Roboți industriali în procese de prelucrare



Figura 2.10 Roboți pentru procese de prelucrare

Cerințele de referință se întâlnesc în zona efectorului final și a echipamentelor periferice care compun sistemul de fabricație.

Sculele utilizate pentru procese de prelucrare sunt acționate pneumatic sau electric. Aceste scule integrate în structura robotului sunt clasificate după turația rotorului:

- motor de mare viteză (15.000 rot/min și mai mare) pentru fișierele rotative;
- motor cu viteză medie (10.000 - 15.000 rot/min) pentru antrenarea unei perii, cu diametrul de 60 mm sau mai mică;
- motor cu viteză redusă (500 - 1.500 rot/min) pentru instrumente destinate aplicațiilor speciale cum ar fi debavurarea interiorului unei găuri.

Pentru o prelucrare de curățare prin periere două concepte sunt recunoscute:

- robotul manipulează piesa iar scula este fixată pe un dispozitiv separate. Robotul aduce piesa în contact cu peria dispozitivului de curățat și controlează procesul;
- robotul manipulează dispozitivul de curățat și îl aduce în contact cu piesa de curățat, care este fixată pe un suport (fig. 2.11, a)).

Când bavurile sunt ușor accesibile, cum ar fi bavuri pe muchia exterioară sau pe colțurile unei piese de lucru se pot utiliza polizoare cu bandă atașate la robot (fig. 2.11. b).



Figura 2.11 Dispozitive de curățat [Beom-Sahng, 2006].

2.3.2 Particularități și structuri ale sistemului de comandă

Sistemul de comandă al robotului industrial constituie un subiect actual de studiu și analiză. O serie de lucrări de referință au ca subiect sistemul de comandă și modul de realizare al programării.

Conducerea unui robot presupune corelarea activităților pentru realizarea unui proces dat: parcurgerea etapelor unui proces tehnologic presupune deplasarea punctului caracteristic, în raport cu obiectele din mediu, astfel încât să ocupe situații impuse în funcție de timp [Bogdanov, 2009].

Modelul client-server, utilizat pe larg în comunicarea user-robot, datează de la sfârșitul anilor 1980. Termenul client / server a fost folosit pentru prima dată în anii 1980 cu referire la computere personale (PC) pe o rețea. Arhitectura software client / server oferă posibilitatea schimbului de informații între ‘client’ și ‘server’, posibilitatea unei folosiri adecvate a capacității de calcul etc [*** Enciclopedia Britanica]. Se pot enumera utilizări și funcționalități ale diferitelor tipuri de servere: server de fișiere, server de baze de date, server grup și mai recent serverul obiect (fig. 2.12) [Aplicații Client-Server].

Pe lângă problemele referitoare la restricții ale parametrilor sistemului mecanic, procesele de prelucrare robotizate au impus pentru analiză aspectele ce țin de comunicarea user-robot și aspectele de programare.

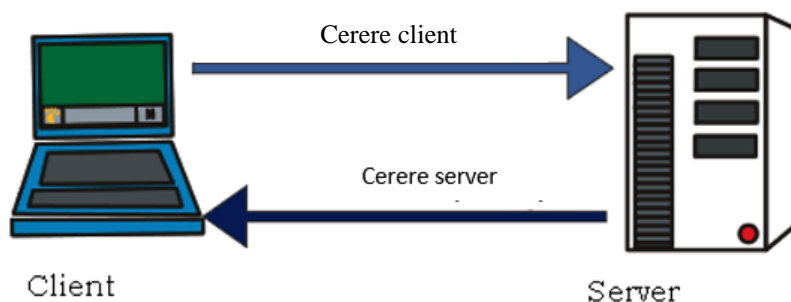


Figura 2.12 Modelul client – server [*** Client-Server]

Mai multe cercetări s-au concentrate pe direcția înlocuirii în totalitate a controlerului original [Garcia, 2004]. Alte cercetări [Thomessen, 2000] și [Blomdell, 2005] au propus soluții pentru bucla de control. Tehnologia middle-ware a prezentat variante de soluționare a acestor probleme.

Middleware este softwareul organizat pe layere în funcționalitatea client - server. Middleware constă dintr-un set de servicii care permit mai multe procese care rulează pe unul sau mai multe sisteme informatice pentru a interacționa într-o rețea. Rolul middleware este de a ușura sarcina de proiectare, programare și gestionarea aplicațiilor distribuite prin asigurarea unui mediu simplu, coerent și integrat de programare distribuită.

Middleware pentru sistemul robot este un strat de abstractizare care se află între sistemul de operare și aplicațiile software

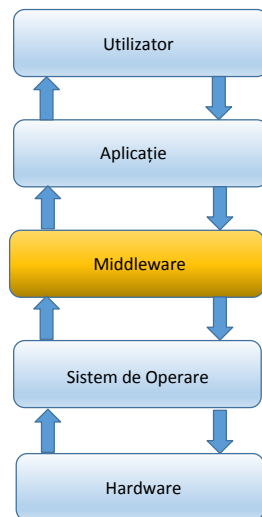


Figura 2.13 Utilizator, middleware și hardware

Roboții moderni sunt considerați sisteme distribuite / sisteme mecatronice complexe formate dintr-un număr de module hardware și software integrate. Modulele robotului cooperează împreună pentru a îndeplini sarcini specifice. Aceste module sunt senzori, elemente de acționare și controlere.

Sistemele robotizate necesită o importantă interacțiune și coordonare a elementelor hardware și software. Agregarea unui număr mare de sub-sisteme, chiar și în cadrul unui singur robot, necesită o analiză atentă și probleme arhitecturale pentru a promova flexibilitatea, performanța și reutilizarea atât hardware cât și software. Aceste aspecte devin și mai evidente când luăm în considerare posibilitatea utilizării mai multor tipuri de roboți și sisteme integrate, tipuri de aplicații, modele de programare și medii de operare.

În general, pe fiecare sistem robotizat rulează un software – aplicație care este responsabilă pentru preluarea informațiilor de la senzori, extragerea informațiilor necesare de la ei, calcularea secvențelor de acțiuni pentru a realiza o anumită sarcină și controlul servomotoarelor cu privire la executarea măsurilor ce se impun. Folosind o

abordare client, va exista o singură cerere monolit care se va ocupa de toate aceste sarcini. Din această cauză, codul de întreținere e dificil (greu) și împiedică reutilizarea și partajarea între diferite proiecte a oricărei forme de cod [Solvang, 2008].

Dintre facilitățile tehnologiei *middleware* în robotică, se pot menționa:

- simplificarea procesului de dezvoltare;
- suport pentru comunicații și interoperabilitate;
- asigurarea utilizării eficiente a resurselor disponibile;
- asigurarea eterogenitatea abstracțiunilor;
- sprijinirea integrării cu alte sisteme;
- asigurarea recurgerii la decizii automate și configurare
- sprijinirea componentelor integrate (cu resurse limitate).

În tabelul 2.2 se identifică unii dezvoltatori ai tehnologiei middle-ware pentru aplicații robotizate [Solvang, 2008].

Toate soluțiile middle-ware sunt compuse din componente modularizate și au o configurare ierarhică [Solvang, 2008] [Brodgård, 2007] care prevede că o condiție esențială, pentru integrarea cu succes a robotului industrial în IMM-uri, modularitatea mecanică și software.

O altă provocare legată de integrarea robotului industrial în operațiuni de prelucrare este cea a unei comunicări eficiente om-robot metodologie. În mod tradițional, interacțiunea om-mașină s-a bazat pe tehnici de programare on-line și mai târziu pe metodologiile de programare offline.

Problema eficienței se păstrează totuși dacă avem în vedere observația făcută de Thomessen și colab. (2004) prin care durata programării robotului de polizare este de 400 de ori durata timpul de execuție a programului.

Un exemplu de pachet software pentru controlul roboților îl constituie OROCOS [Ceriani, 2012]. Acesta este compus din 4 biblioteci C++.



Figura 2.14 Pachetul OROCOS [*** Componentele OROCOS]

Tabel 2.2 Arhitectura Middleware [Sziebig, 2007]

<i>Name</i>	<i>Middleware technology</i>	<i>Relevant contributors</i>
ASEBA (Magnenat et al., 2007)	CAN	EPFL
CLARAty (Nayar & Nesnas, 2007)	Multi-level mobility abstraction	NASA
Microsoft RS (Jackson, 2007)	Web-Services	Microsoft
Miro (Weitzenfeld et al., 2003)	CORBA	University of California
Orca (Ozaki & Hashimoto, 2004)	ICE	KTH Stockholm
OrIN (Mizukawa et al., 2002)	DCON, SOAP, XML	JARA
Open-R (Lopes & Lima, 2008)	Aperios OS	Sony
Orocos (Bruyninx et al., 2003)	RealTime Toolkit	Katholieke Universiteit Leuven
Player (Kranz et al., 2006)	Client / Server architecture	Multiple
RT-Middleware (Ando et al., 2005)	CORBA	AIST
YARP (Metta et al., 2006)	Client / Server architecture	MIT
UPnP (Veiga et al., 2007)	HTTP, SOAP, XML	University of Coimbra
Urbi (Baillie, 2005)	Client / Server architecture	Gostai

Biblioteca Orocos Real-Time Toolkit (RTT) nu este o aplicație în sine, dar oferă infrastructură și funcționalitate pentru a construi aplicații în C++ în domeniul roboticii. Accentul se pune pe timp real, aplicații interactive și bazate pe componente. Real-Time Toolkit (RTT) permite proiectanților, construirea de aplicații în mod confortabil și interactiv cu control în timp real și bazate pe componente. RTT permite componentelor să ruleze pe sisteme de operare în timp real și oferă capabilități de scripting în timp real, componenta de comunicare și de distribuție API (bazată pe CORBA) și de configurare XML (fig. 2.14.).

O componentă RTT poate fi scrisă, de exemplu, pentru a controla dispozitivele de la senzori la întreg robotul, pentru a captura și tipări un flux de date, pentru a regla un algoritm sau pentru conectarea la interfața utilizator.

Biblioteca de componente OROCOS - Orocos Components Library (OCL) - oferă unele componente gata de utilizare. Toate componentele sunt bazate pe RTT, iar unele dintre ele pot folosi bibliotecile KDL sau BFL.

Biblioteca Orocos de cinematică și dinamică (KDL) este o bibliotecă C++, care permite calculul lanțurilor cinematice în timp real. Biblioteca (KDL) dezvoltă un cadru independent pentru modelarea și calculul lanțurilor cinematice pentru roboți, modele umane biomecanice, figuri animate de calculator, mașini-unelte, etc.

Biblioteca Orocos de filtre Bayse Bayesian (BFL) oferă o aplicație independentă, cadru pentru inferență în dinamica bayes a rețelelor. Acești algoritmi pot fi utilizați pentru estimare în aplicații cinematice și dinamice.

Drept exemplu de comunicare și abordare a conducerii unui proces de prelucrare mecanică robotizat se prezintă succesiunea etapelor de comunicare user-robot.

Conceptul este următorul: prelucrarea unei piese este analizată de un operator, care decide dacă mai sunt necesare alte prelucrări.

Sucesiunea pașilor de lucru incluși în metodologia de lucru este următoarea:

1. Inspecția piesei de lucru; Este necesară identificarea erorilor de lucru pe piesele rezultate dintr-un proces de prelucrare anterior. Acest lucru este realizat de către un operator uman, care poate identifica erorile foarte ușor și poate identifica categoria de nereguli existente, fără a putea defini exact amploarea și locația exactă a erorii. Operatorul trebuie să identifice dacă este vorba despre puncte cu eroare, curbe sau suprafețe.



Figura 2.14 Aspectul piesei de prelucrat și marcajele realizate de controlor [Solvang, 2008]

2. Selecția procesului de prelucrare; În pasul următor operatorul indică sarcinile de prelucrare prin marcaj pe suprafața de lucru a piesei. (fig. 2.15) Culorile sunt diferite și înseamnă operațiuni de prelucrare diferite (de ex. verde indică o operație de lustruire). Operatorul trebuie să identifice scula de prelucrare pentru procesul de lucru pe care îl estimează. Estimativ operatorul trebuie să prevadă adâncimea de prelucrare. În finalul etapei are loc preluarea unei imagini a piesei cu marcajele realizate.
3. Procesarea imaginii; Imaginea achiziționată este prelucrată pe principiul clasic [Solvang, 2008]. Imaginea memorată este reprezentată sub forma matriceală a valorilor fiecărui pixel (între valoarea '0' – echivalentă culorii negre și 255 – echivalentă culorii albe). Imaginea este tratată, segmentată, determinate contururile, etc.

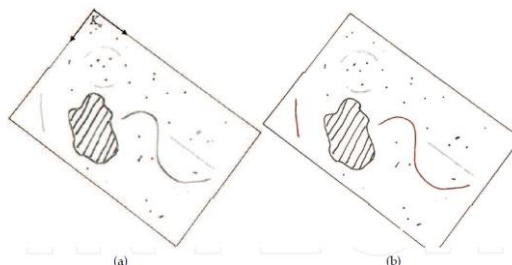


Figura 2.15 Imagine achiziționată (a) și imagine filtrată (b) [Sziebig, 2007]

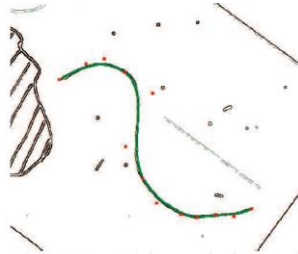


Figura 2.16 Detaliu din imaginea achiziționată [Sziebig, 2007]

4. Conversia imaginii în puncte de prelucrare; Operatorul execută următoarele sarcini pentru a selecta calea de prelucrare:
 - scalarea imaginii în concordanță cu obiectul geometric cunoscut;
 - definirea unui sistem de coordonate atașat piesei de prelucrat (sistem de coordonate K_w (2.17);
 - selectarea procesului de prelucrare, pe baza culorii marcate;
 - evidențierea traiectoriei 2D pentru prelucrare;
 - salvarea datelor prelucrate și a fișierului cod generat de softul CAD/CAM apelat pe baza marcajului punctelor de prelucrare. Coordonatele punctelor de prelucrat din sistemul piesă trebuie transpuse în coordonate robot.

Ca rezultat al secțiunii anterioare sunt coordonatele x, y (2D) ale zonei de prelucrat. Este necesară și definirea adâncimii (z) de prelucrare. Acest lucru se realizează printr-un program standard, comercial de simulare, disponibil, prin care robotul industrial mapează suprafața de lucru a piesei. Procesul de cartografiere constă în: deplasarea punctului caracteristic de-a lungul căii de prelucrat și înregistrarea fiecărui punct de coliziune prin coordonata (z) și a coordonatelor (x,y) ale punctului și numărului de ordine [Sziebig, 2007].

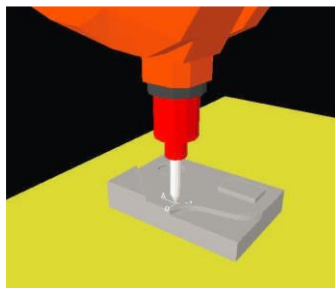


Figura 2.17 Determinarea punctelor de coliziune [Sziebig, 2007]

5. Stabilirea orientării sculei de prelucrare;
6. Localizarea piesei de lucru în spațiul de lucru robot;
7. Simularea operației;
8. Execuția operației;

2.4 Aspecte actuale ale utilizării roboților industriali în procese de fabricație

2.4.1 Introducere

În automatizarea proceselor de prelucrare prin sisteme de fabricație flexibile, roboții efectuează operații din categoria debavurare, lustruire, șlefuire, tăiere.

Domeniile majore de aplicare a roboților industriali includ.

- debavurarea blocurilor motor auto, arbori cotiți, arbori cu came;
- debavurarea și finisarea produselor turnate în matrițe;
- șlefuirea și polizarea produselor de bucătărie;
- tăierea și găurirea de materiale plastice;

Cererea de sisteme robotizate în industrie contribuie la umanizarea muncii, mai ales în locuri de muncă care pot fi dăunătoare pentru operatorul uman (de ex. operațiile de frezare, debavurare, sudare, vopsire etc.)

2.4.2 Procese de frezare cu utilizarea robotului industrial

2.4.2.1 Procesul de frezare

Frezarea reprezintă operația de eliminare a materialului sub formă de șpan, folosind scule așchietoare în puncte multiple, de diferite forme pentru a genera suprafețe plane sau profiluri pe o piesă, de secțiune regulată sau neregulată [Swift, 2013].

Frezarea este procedeul tehnologic de obținere a suprafețelor prin așchiere la care mișcarea principală este de rotație a sculei așchietoare numită freză iar mișcarea de avans este executată fie de piesă, fie de scula așchietoare (fig 2,19).



Figura 2.18 Freză și obiect din lemn prelucrat [*** Freză]

Frezele sunt scule cu mai mulți dinți așchietori, reușiți pe un corp unic, la care, datorită mișcării de rotație, fiecare din dinți ajunge, printr-o succesiune repetată, în așchiere. Numărul dinților variază în funcție de tipul frezei, putând scădea în cazuri speciale până la un singur dinte. Dinții desprind așchii, de obicei numai în timpul unei perioade scurte din rotația sculei, astfel încât așchiera întreruptă rezultată asigură o răcire bună a tășurilor în timpul prelucrării. [Căpățînă, 2008]

În funcție de scopul urmărit, frezele se construiesc cu tășurile dispuse pe suprafața cilindrică (freze cilindrice), sau cu tășurile dispuse pe partea frontală a corpului de bază (freze frontale), precum și cu tășuri dispuse atât pe suprafața cilindrică, cât și pe cea frontală (freze cilindro-frontale), [Căpățînă, 2008].

În ceea ce privește procesul de frezare, parametrii de tăiere de bază ce definesc operația sunt: viteza de taiere, avansul pe dinte, adâncimea axială de taiere și lățimea radială de tăiere respectiv diametrul frezei [López de Lacalle, 2011]. În funcție de caracteristicile materialelor de prelucrat sunt utilizate diferite valori ale parametrilor de frezare.

Frezarea lemnului este operația reprezentativă pentru obținerea unor piese, componente pentru mobilier, la forma și dimensiunile conforme desenului de execuție. Frezarea lemnului se face în două direcții în funcție de fibrele lemnului longitudinal și transversal, operația realizându-se pe mașini de frezat normale, mașini de frezat de sus cât și pe mașini de frezat cu comandă numeric [Galis, 2013].

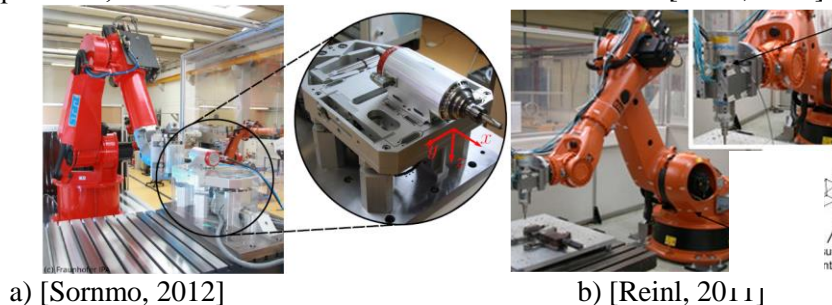
Mașinile pentru frezat sunt cele mai întâlnite utilaje în cadrul unui atelier de prelucrat lemnul. Ele sunt utilizate în vederea realizării de profiluri variate pentru piesele de lemn, în acest scop folosindu-se freze deget sau capetele de freză. În funcție de tipul mesei de lucru, frezele pentru prelucrarea lemnului se împart în: masă cu role, masă de formalizată, simple și cu ax înclinabil. Cea mai importantă caracteristică a unei freze pentru lemn este turația axului - importantă în precizia cu care se realizează frezarea lemnului. Aproape toate modelele permit ajustarea acestei caracteristici, modelele la un preț mai mic prezintă minim două trepte de turație.

Materialul de prelucrat se fixează pe masa suport, iar freza în dispozitivul portsculă.

2.4.2.2 Sistem de fabricație robotizat pentru frezare

A fost propus un sistem de control bazat pe un modelul de prototip pentru controlul poziției mecanismului prin utilizarea controlului LQG. Contribuția principală a acestei lucrări este o verificare experimentală a beneficiilor de utilizare a sistemului de compensare on-line. Ne arată că precizia de frezare obținută cu mecanismul de compensare propus, se mărește de până la de trei ori față de cazul necompensării [Sornmo, 2012].

Pot fi considerate două abordări diferite pentru realizarea aceluiași proces tehnologic (frezare). În prima abordare efectorul final utilizat este un dispozitiv de prehensiune care are rolul de a manipula piesa de prelucrat în câmpul de acțiune al unui echipament de prelucrat ex. Freză [Sornmo, 2012]. În cea de-a doua abordare, efectorul final este un cap de forță sau o sculă care acționează în mediul de lucru direct asupra piesei de prelucrat, aceasta fiind fixată în aria de lucru a robotului [Reinl, 2011].



a) [Sornmo, 2012]

b) [Reinl, 2011]

Figura 2.19 Dispozitiv de prehensiune și cap de forță

În [Pan, 2006], este prezentată o celulă de lucru robotizată dezvoltată în jurul robotului industrial ABB IRB6400. Dispozitivul de prelucrare este fixat ca efector final al robotului, iar piesa de prelucrat este fixată pe o masa de lucru. Robotul industrial este dotat cu un senzor de forță (model ATI - cu șase componente) care a fost integrat între efectorul final al robotului și dispozitivul de lucru (fig. 2.22), cu scopul asigurării conducerii în forță a aplicației de frezare robotizate.

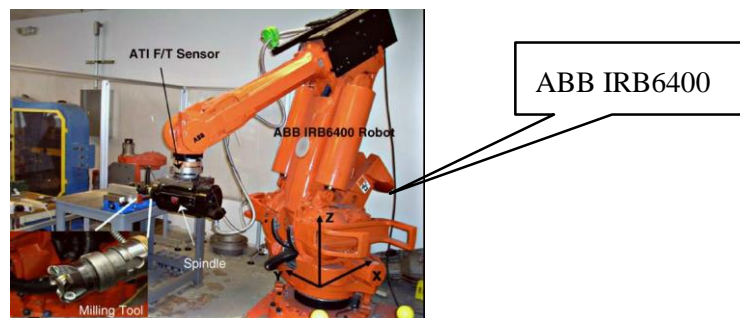


Figura 2.20 Robot industrial în aplicații de frezare, [Pan, 2006].

Mohamed Slamani în lucrarea sa [Slamani, 2015], abordează efectele combinate ale parametrilor de prelucrare prin frezare asupra componentelor de forță în timpul frezării robotizate cu viteză mare. Modelele dezvoltate au fost utilizate pentru a anticipa componentele forței de tăiere pentru diferitele valori ale forței de frezare, ale avansului și configurației robotului.

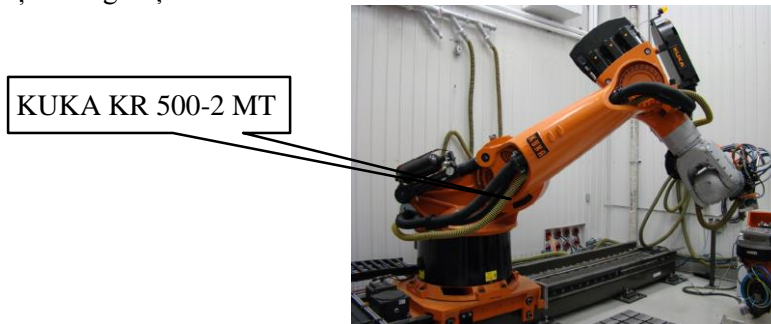


Figura 2.21 Robot în timpul operațiilor de frezare [Slamani, 2015].

Robotics Solutions Inc., a dezvoltat o celulă de prelucrare care să satisfacă nevoia de a prelucra piese de dimensiuni mari, cu complexitate și precizie ridicată, având capacitatea de a prelucra materiale de diferite durități. Noua soluție este o variantă particulară a celulei de prelucrare RMC 100-RTSL. Soluția propusă utilizează un robot, KUKA KR 100 L80HA, montat pe o axă liniară, KL 1500 [KUKA].

Robotul KUKA KR 100 L80HA este un robot ce manipulează până la 100 kg și poate atinge 3000 mm, are o repetabilitate de 0,01 mm. Datorită vitezei sale ridicate de lucru, KR 100 se situează peste standardul impus în domeniu. Axa liniară, KL 1500, este

utilizată pentru mărirea spațiului de lucru al robotului. Controlul axei liniare, KL 1500, este integrat ca o axă matematică în controlerul robotului, nefiind necesar un controler suplimentar. Sistemul este capabil să prelucreze piese de diferite dimensiuni din diferite materiale cu precizie și viteză ridicată. Acest sistem reduce timpul de lucru și spațiul ocupat în interiorul unității de producție [***2.18.].



Figura 2.22 Celula de prelucrare RMC 100-RTSL
[*** KUKAROBOTICS]

2.4.2.3 Concluzii

Procesele de frezare, cu ajutorul roboților industriali, sunt tot mai des întâlnite. Acest lucru se datorează evoluției tehnologice atât din punct de vedere a materialelor utilizate în proces cât și a dezvoltării tehnicii de calcul.

2.4.3 Proces de debavurare cu utilizarea robotului industrial

2.4.3.1 Procesul de debavurare

Debavurarea este procesul de îndepărtare a bavurilor. Bavurile fiind muchi ascuțiți rezultate din procese de prelucrare anterioare, în general, piesele nu au nevoie de finisare și deci debavurarea devine etapa finală de prelucrare mecanică. Bavurile pot fi îndepărtate manual, caz în care operatorul uman trebuie să fie instruit, este un proces consumator de timp, sau mecanic, cu discuri abrazive [Dickman, 2007].

2.4.3.2 Sistem de fabricație robotizat pentru debavurare

1. Hui Zhang prezintă în lucrarea [Zhang, 2006], o metodă de generare a traseelor de robot ce utilizează forța hibridă și Visual Servoing. Forța servoing păstrează instrumentul robotului în contact continuu cu suprafața roții și servoing vizual controlează instrumentul robotul, ca acesta să urmeze o traiectorie definită asupra roții, în timp ce poziția și orientarea sunt controlate și înregistrate,



Figura 2.23 Robotul ABB 6400 în aplicații de debavurare a jantelor din aluminiu [Zhang, 2006].

2.4.3.3 Concluzii

Rezultatele experimentale ilustrează faptul că metoda dezvoltată poate reduce foarte mult timpul de programare, de la opt-zece săptămâni la mai puțin de o oră, atingând precizie ridicată la generarea traiectoriei de lucru. Prin urmare, metoda dezvoltată poate fi aplicată pentru a genera traiectorii de lucru pentru sisteme cu 6 grade de libertate, în procese automate de debavurare cu eficiență ridicată și precizie.

Această metodă poate fi utilizată pentru a genera traiectorii de lucru și pentru alte procese de fabricație, cum ar fi sudura și vopsirea bandă.

2.4.4 Proces de găurire cu utilizarea robotului industrial

2.4.4.1 Procesul de găurire

Găurirea reprezintă operația de eliminare a materialului sub formă de șpan, folosind unelte rotative de diferite tipuri, cu două sau mai multe muchii de tăiere pentru a produce găuri cilindrice într-o piesă [Swift, 2013].

Burghiile sunt scule așchietoare utilizate la executarea găurilor din plin, fiind unele dintre cele mai răspândite scule. Trebuie privite ca scule de degroșare, cu toate că, în numeroase situații, găurile prelucrate prin procese de burghiere pot fi considerate suficient de precise, astfel încât nu mai necesită prelucrări ulterioare. Se construiesc, de regulă, cu două tăișuri, aflate permanent în contact cu materialul prelucrat în timpul așchierii [Căpățînă, 2008].

2.4.4.2 Sistem de fabricație robotizat pentru găurire

În lucrarea: „Cost-efficient drilling using industrial robots with high-bandwidth force feedback”, este prezentată o metodă de găurire cu precizie ridicată, folosind un robot industrial cu lățime de bandă mare a forței de răspuns. Acesta este utilizat pentru a crea presiunea de fixare, a efectorului final, pe piesa de prelucrat înaintea procesului de găurire. Scopul este de a elimina mișcarea de glisare a efectorului final pe suprafața de lucru, efect ce apare datorită rigidității scăzute a roboților industriali seriali și ale forțelor de tăiere, care apar în timpul găuririi [Olsson, 2009].

O aplicație de găurire necesită un mecanism cu cinci grade de libertate, pentru a poziționa și orienta corect scula de lucru. În timpul proceselor de găurire cu roboți industriali cu șase grade de libertate, această sarcină lasă un grad de libertate în plus. Acest grad poate fi exploatat pentru orice criteriu suplimentar. Din păcate arhitectura roboților industriali nu permite utilizatorului, algoritmul cinematicii inverse, și astfel de a rezolva, sarcina de redundanță, ca urmare a oricărei criteriu specificat. În această lucrare o metodă de a pune în aplicare un criteriu arbitrar de rezoluție redundanță prioritar a unui controlor de robot industrial, se discută și se aplică în cazul unei sarcini de găurire. Gradul de libertate suplimentar este utilizat pentru a efectua o găurire-cuplu eficientă. Pentru această aplicație s-a utilizat un robot ABB IRB 140 [Zanchetin, 2011].

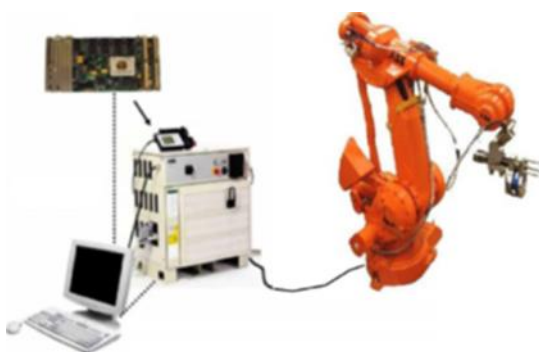


Figura 2.24 Prezentare generală a sistemului de control al robotului [Olsson, 2009]

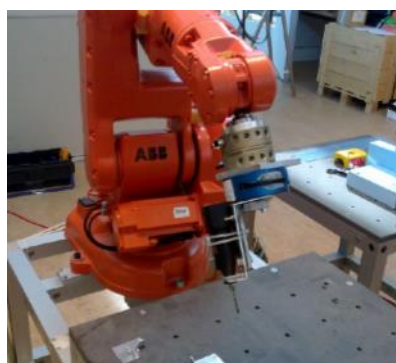


Figura 2.25 Robot în aplicații de găurire [Zanchetin, 2011]

2.4.4.3 Concluzii

Utilizarea roboților industriali în aplicații de găurire a fost limitată, în principal datorită variațiilor mari de forțe tehnologice ce apar în timpul procesului de găurire. Exemplele prezentate demonstrează că prin utilizarea: controlului forței și a unor dispozitive dedicate de control, se pot ameliora caracteristici ale robotului ca precizia de găurire.

2.4.5 Proces de lustruire/șlefuire robotizat

2.4.5.1 Introducere

Finisarea mecanică se referă la o operațiune care modifică suprafața unui substrat prin mijloace fizice cum ar fi șlefuirea și lustruirea. Lustruirea reprezintă îmbunătățirea calității suprafeței prin intermediul îndepărtării de material și se face, în general, cu ajutorul unor suporturi abrazive cum ar fi bandă abrazivă, roată de rectificat ș.a.. Această operație este în cele mai multe cazuri precedată de polizare și dacă se impune de operația de finisare [Dickman, 2007]. În cele mai multe cazuri această operație este realizată de către operatorul uman, de regula cu experiență [Liao, 2008]

2.4.5.2 Sistem de fabricație robotizat pentru lustruire

Fusaomi Nagata în lucrarea sa, „Polishing robot for pet bottle blow molds”, prezintă un robot YASKAWA MOTOMAN UP6 cartezian cu controlul poziției și al forței, utilizat în operații de lustruire a unei matrițe. Controlerul reglează poziția sculei, direcția de contact a acesteia și forța de lustruire, compusă din forța de contact și forțele de frecare cinetică. Când robotul efectuează operații de lustruire, bucla de control a poziției contribuie delicat la bucla de control a forței pentru a realiza un control periodic de avans și un control precis al forței de contact.

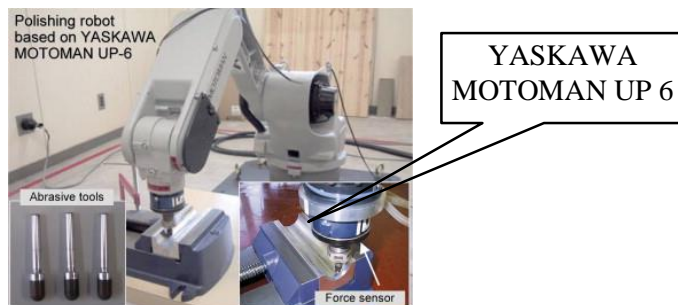


Figura 2.26 Robot în operații de lustruire [Nagata, 2013]

Robotul SMART NS 16-1.65 (de la COMAU Robotic Italia) este utilizat în operații de lustruire. Robotul are șase axe și o structură antropomorfă, echipat cu un instrument de lustruire pneumatic compus din polizor și roți de lustruire abrazive, împreună cu aparatul de fotografiat, OMRON F500Sistem Visio, cu o rezoluție de 1 mega pixel care permite inspectarea cu o precizie ridicată a suprafețelor lustruite [Besari, 2010].

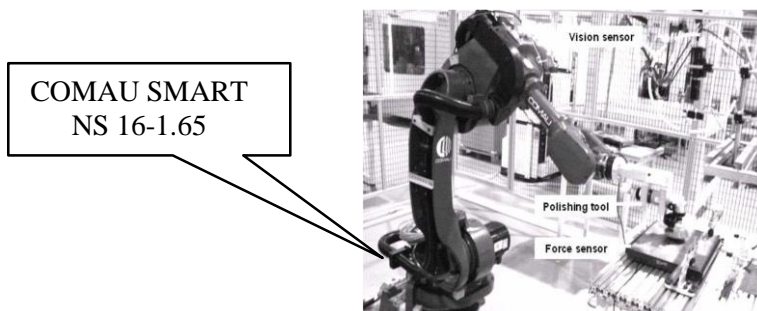


Figura 2.27 Robotul în aplicații de lustruire [Besari, 2010],

Un sistem robotizat de lustruire a fost dezvoltat la Universitatea Ryerson. Acesta constă dintr-un robot hibrid și un instrument de lucru cu dublu scop. Acesta este un sistem decuplat, deoarece robotul este folosit doar pentru a asigura mișcarea sculei în raport cu piesa de prelucrat, în timp ce capul de lucru este folosit doar pentru a furniza forța instrumentului de lucru. Robotul are cinci axe, e compus dintr-un robot paralel cu

trei axe, numit ParaWrist trepied, și două axe fixate, așa cum se arată în Figura 2.30 [Liao, 2008].

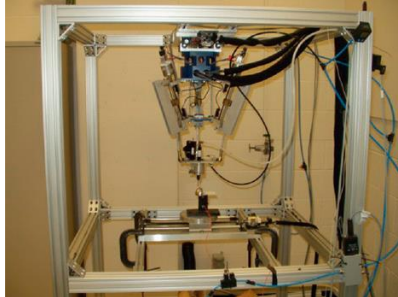


Figura 2.28 Sistem robotizat de lustruire
[Liao, 2008]

2.4.5.3 Concluzii:

Utilizarea roboților industriali în procese de lustruire sunt tot mai des întâlnite în industrie, datorită evoluției echipamentelor de control al forței și al preciziei de poziționare.

2.4.6 Concluzii finale

Prin sinteza bibliografică prezentată anterior au fost ilustrate câteva exemple de aplicații cu roboți industriali în procese de prelucrare. Au fost identificate aspecte esențiale ale utilizării roboților industriali în procese de: frezare, debavurare, găurire, șlefuire/lustruire.

Beneficiile utilizării roboților industriali în procese de prelucrări mecanice sunt: înlocuirea operatorului uman cu roboți industriali în mediile periculoase, îmbunătățirea calității produselor, ameliorarea flexibilității linilor de producție, reducerea rebuturilor și a deșeurilor și reducerea costurilor de producție prin creșterea productivității.

Principalele provocări în dezvoltarea roboților industriali pentru aplicații în procese de prelucrare sunt: îmbunătățirea rigidității structurii mecanice a roboților în vederea creșterii preciziei de prelucrare și reducerea vibrațiilor din structura mecanică a roboților industriali.

3 ASPECTE TEORETICE PRIVIND ROBOTUL YAMAHA YK 400

3.1 Introducere

Roboții constituie sisteme mecatronice de referință pentru industria și cercetarea actuală. Aceste sisteme sunt capabile să execute multe sarcini și operații diferite, precise și specifice unui operator uman. Cu toate acestea, este nevoie de efort și resurse pentru a dezvolta în mod corespunzător o funcție/aplicație robotizată.

Robotul Yamaha YK 400 este un robot din clasa SCARA ce beneficiază de capabilitățile acestei clase. Robotul a fost proiectat cu componente specifice firmei Yamaha cu sistem de operare și limbaj de programare proprii [*** Yamaha YK400].

Literatura de specialitate din domeniul mecatronic precizează că dezvoltarea unui sistem mecatronic trebuie să aibă un echilibru între componenta de modelare/simulare și partea experimentală. În analiza sistemului robot, există două direcții importante de studiu: analiza cinematică și dinamică. Obiectivul acestui capitol constă în detalierea aspectelor legate de modelarea și simularea cinematicii robotului Yamaha YK 400.

3.2 Robotul Yamaha caracteristicile și spatiul de lucru

Seria de roboți YAMAHA YK-X este dezvoltată pe conceptul roboților industriali tip SCARA (fig.3.1). Ca robot SCARA, robotul Yamaha YK 400 are 4 cuple cinematice motoare care denotă faptul că are 4 grade de libertate (DOF) (fig.3.2). Experiența firmei YAMAHA în domeniul automatizării se regăsește în soluțiile adoptate. Seria YAMAHA YK-X este destinată pentru o gamă largă de aplicații: de asamblare, instalarea și inserția elementelor constructive a unui ansamblu, montajul unor etanșări și operațiuni de ambalare. Corespunzător obiectivului tezei de doctorat, se dorește analiza posibilităților de utilizare a robotului Yamaha YK 400 în operații de prelucrare.



Figura 3.1 Robotul Yamaha YK 400
[*** Yamaha-motor]

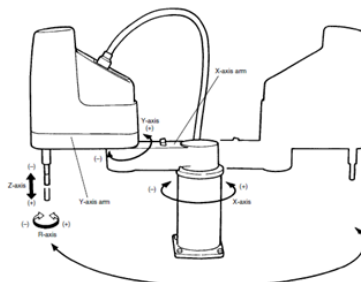


Figura 3.2 Mișcările Robotul Yamaha YK 400 [Yamaha, 2004]

Configurația de lucru posibilă a robotului este prezentată în figura 3.3 iar setarea acesteia este posibilă prin mediul de programare a robotului (fig.3.4) [Manual, 08].

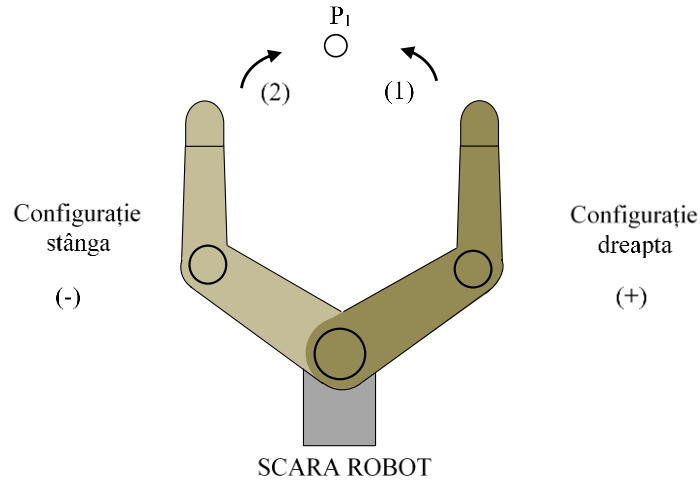


Figura 3.3 Configurații posibile ale robotului Yamaha YK400

Detalii referitoare la caracteristicile robotului Yamaha YK 400 sunt evidențiate în anexa 3.1. Spațiul de lucru al robotului, pentru configurațiile posibile și evidențierea dimensională a mișcărilor, este prezentat în figura 3.5.

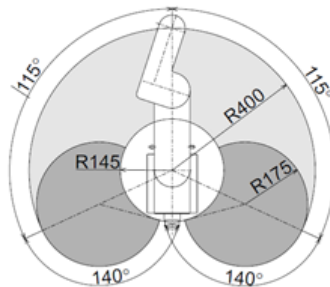


Figura 3.4 Spațiul de lucru al Robotul Yamaha YK 400
[*** Spațiul de lucru]

3.3 Sistemul de operare al robotului Yamaha YK 400

Conducerea unui robot industrial este un exemplu de aplicație software în timp real. Software-ul unui robot industrial cuprinde și un sistem de operare în timp real, care realizează calcule matematice, ce susțin generarea și controlul traiectoriilor și prin care este asigurată securitatea în timpul funcționării.[Bogdanov, 2009].

Limbajul utilizat în sistemul robotizat (cu robot Yamaha) a fost dezvoltat de compania Yamaha Motor Co., Ltd. IM pentru programarea simplă și eficientă a controlului roboților industriali YAMAHA. Limbajul YAMAHA este similar cu limbajul BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code). Aspecte privind posibilitatea de programare sunt prezentate succinct în anexa 3.2.

Robotul Yamaha, configurarea acestuia și modul de interfațare în scopul controlului este prezentat figura 3.6. și respectiv figura 3.7.

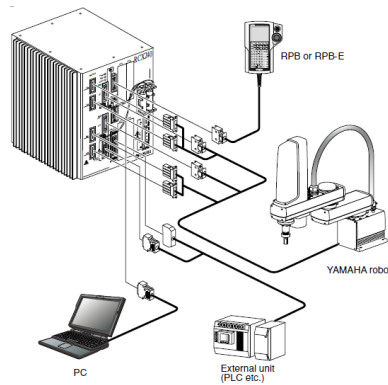


Figura 3.5 Configurarea robotului Yamaha [RCX240, 08]

Cu ajutorul acestui mediu de programare se pot efectua mișcări complexe ale robotului. Este disponibilă o metodă de compilare pentru o execuție rapidă a programelor. Aceasta metodă de compilare verifică sintaxa în limbajul de programare al robotului, o transformă în coduri și creează fișiere de execuție înainte de rularea efectivă a programului [RCX240, 08], [Manual, 08].

Programarea robotului Yamaha YK400 se poate realiza direct prin intermediul casetei de programare (RPB) sau online prin intermediul software-ului VIP Windows. Acesta fiind compatibil cu controlere din seria RCX (fig. 3.6). VIP Windows este o interfață pentru programarea controlerelor, MRC/QRC/RCX online. Acesta poate fi utilizat pentru a: restaura datele salvate anterior în controlerul robotului, pentru operarea roboților direct și prin intermediul controlerelor, pentru modificarea datelor controlerului și modificarea diferitelor fișiere de pe computer. Modurile de operare bază sunt prezentate în figura 3.8.

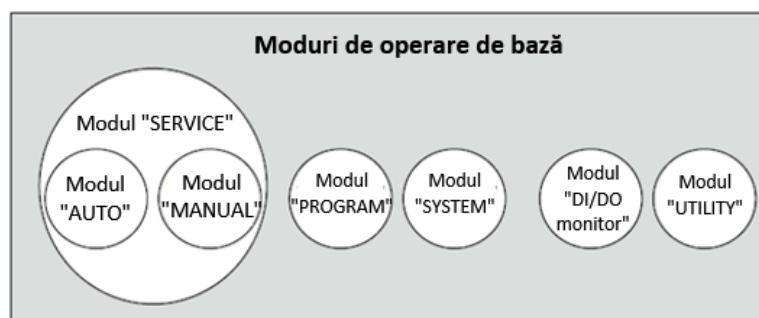


Figura 3.6 Moduri de operare de bază [RCX240, 08]

Sunt 4 moduri de operare de bază cu următoarele semnificații:

- SERVICE în acest mod se efectuează lucrări de întreținere utilizând RPB-ul, în condiții de siguranță, în interiorul spațiului de lucru al robotului. Acest mod

include AUTO și MANUAL și sunt posibile următoarele operații: robotul este controlat numai prin RPB, funcționarea automată este inactivă, viteza de operare este setată sub 3% și funcționarea robotului este posibilă numai prin controlul hold-to-run.

- Modul AUTO permite execuția de programe. Programele Robotului pot fi rulate numai în acest mod. Sarcinile operabile în acest mod diferă în funcție de setările parametrilor din modul "SERVICE".
- Modul PROGRAM este utilizat pentru a crea și edita programe de robot.
- Modul MANUAL acest mod este utilizat pentru a opera robotul manual sau cu scopul de a efectua învățarea de puncte. Revenirea în punctul de origine poate fi executată numai în acest mod.

3.4 Analiza cinematică a robotului Yamaha YK 400

3.4.1 Generalități

Cinematica este domeniul mecanicii care se ocupă cu studiul mișcării fără a lua în considerare forțele care generează această mișcare. Studiul cinematic al unui sistem robot presupune studiul pozițional și temporal al proprietăților mișcării [Kucuk, 2006].

Cinematica poate fi privită sub aspectul analizei cinematice directe și respectiv al analizei cinematice inverse. Analiza cinematică directă reprezintă procesul de identificare a valorilor coordonatelor în spațiul cartezian (W) pentru anumite coordonate (Q) din spațiul de lucru.

$$F(Q) = W \quad (3.1)$$

Configurația determinată în baza relației (1) este unică.

Analiza cinematică inversă definește trecerea coordonatelor $W \rightarrow Q$ prin relația:

$$Q^{-1} = F^{-1}(W) \quad (3.2)$$

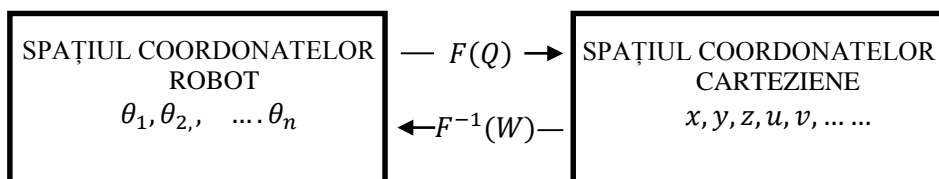


Figura 3.7 Analiza cinematică directă și inversă

În general există mai multe seturi de variabile comune care vor conduce la o anumită configurație carteziană. În aceste cazuri trebuie aleasă o soluție validă. Există și cazuri degenerate cu un număr infinit de soluții denumite puncte de singularitate. Pentru rezolvarea problemei cinematice inverse se folosesc metode diverse: geometrice, trigonometrice sau algebrice.

3.4.2 Modelarea cinematicii directe pentru Yamaha YK400

3.4.2.1 Introducere

Un sistem robot poate fi privit ca o serie de corpuri conectate între ele prin cuple formând un lanț cinematic. Modelarea cinematicii pentru lanțul cinematic al robotului se realizează conform unor proceduri (mai simple sau mai complexe) funcție de metoda adoptată. Definirea sistemelor de coordonate, în cadrul modelării sistemului robot, este un prim pas și se realizează în coordonanță cu ANSIR.

- Sistemul de coordonate robot, asociate cuplelor cinematice din lanțul cinematic $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$;
- Sistemul de coordonate cartezian (X, Y, Z, A, B, C) cu localizare arbitrară;
- Sistemul de coordonate de bază: X_0, Y_0, Z_0, \dots cu originea în elemental de bază al robotului.

Sistemul robot Yamaha YR400, cu cele 4 cuple cinematice și sistemele de coordonate aferente, este prezentat în figura 3.10.

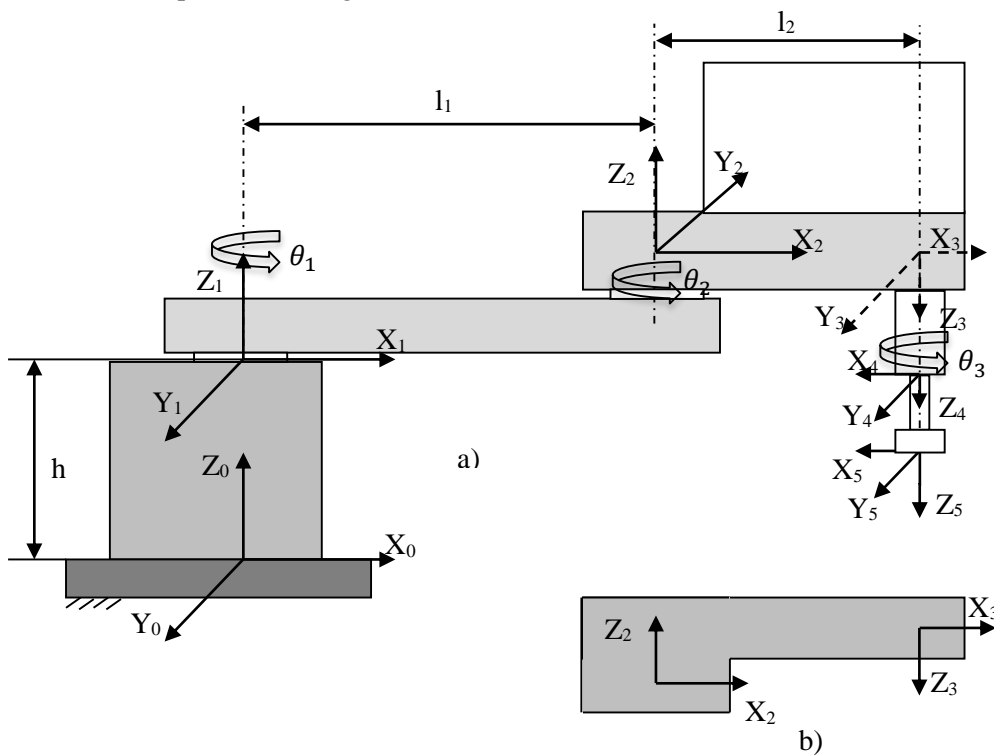


Figura 3.8 Sistemul robot și parametrii elementelor și a cuplelor cinematice

3.4.2.2 Modelarea cinematică directă prin metoda grafică

Metoda grafică a analizei cinemactice plane se bazează pe analiza configurației geometrice a robotului. Din analiza constructivă a robotului Yamaha YK 400XR au fost identificate lungimile elementelor (fig. 123) asociate sistemului de coordonate de bază:

- Elementul 1 de lungime $l_1=225\text{mm}$;
 - Elementul 2 de lungime $l_2=166,1\text{mm}$ și cu un offset $a_2=55\text{mm}$ (fig. 123 a)
- Pe baza valorilor anterioare a elementului 2 se poate calcula lungimea echivalentă a segmentului \overline{BP} corespunzătoare elementului 2:

$$\dot{2} = \overline{BP} = \sqrt{166,1^2 + 55^2} = 175 \text{ mm} \quad (3.3)$$

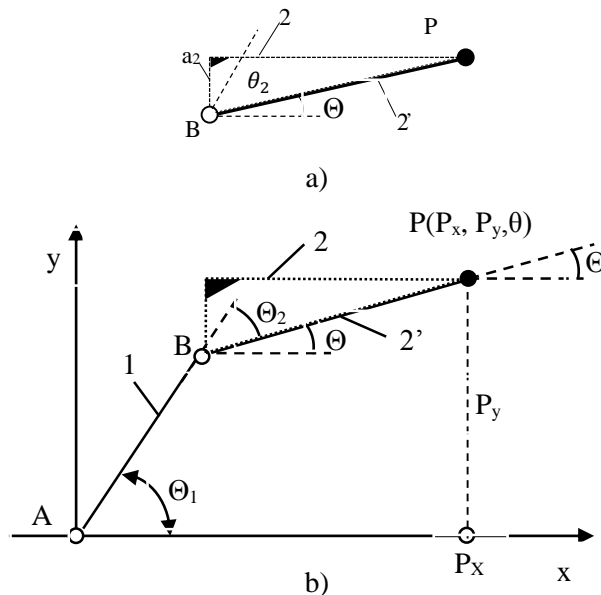


Figura 3.9 Geometria robotului YK400XR

Pe baza algebrei vectoriale (fig. 3.11 b) se pot determina coordonatele punctului caracteristic al robotului:

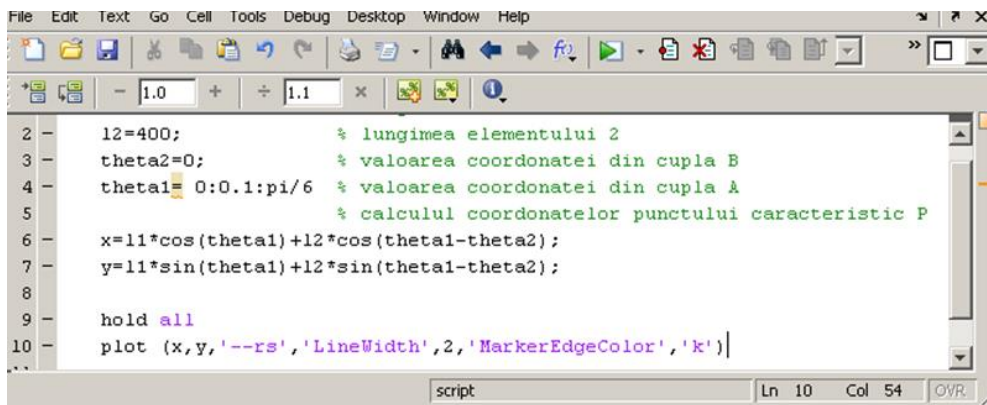
$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos (\theta_1 \pm \theta_2) \quad (3.4)$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin (\theta_1 \pm \theta_2) \quad (3.5)$$

$$\theta = \theta_1 \pm \theta_2 \quad (3.6)$$

În funcție de configurația robotului Yamaha stânga / dreapta (Fig. 3.11 a) semnul în relația anterioară va fi (-) și respectiv (+)

Relațiile (3.3)-(3.5) permit determinarea traiectoriei descrise de punctul caracteristic P când se impun coordonatele în cuplele cinematice motoare A și B. În figura (3.12) este prezentat fișierul pentru simularea traiectoriei (realizat în mediul de lucru Matlab). Rezultatul acestei simulări este prezentat în figura (3.13). O altă variantă de simulare a fost realizată în Matlab/Simulink (Fig. 3.14) cu rezultatele prezentate în figurile 3.15 și 3.16 .



```

File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
+ - 1.0 + ÷ 1.1 ×
2 - l2=400;           % lungimea elementului 2
3 - theta2=0;       % valoarea coordonatei din cupla B
4 - theta1= 0:0.1:pi/6 % valoarea coordonatei din cupla A
5 -               % calculul coordonatelor punctului caracteristic P
6 - x=11*cos(theta1)+12*cos(theta1-theta2);
7 - y=11*sin(theta1)+12*sin(theta1-theta2);
8 -
9 - hold all
10 - plot (x,y,'--rs','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k')
script Ln 10 Col 54 OVR

```

Figura 3.10 Simularea unei mișcări în cinematica directă

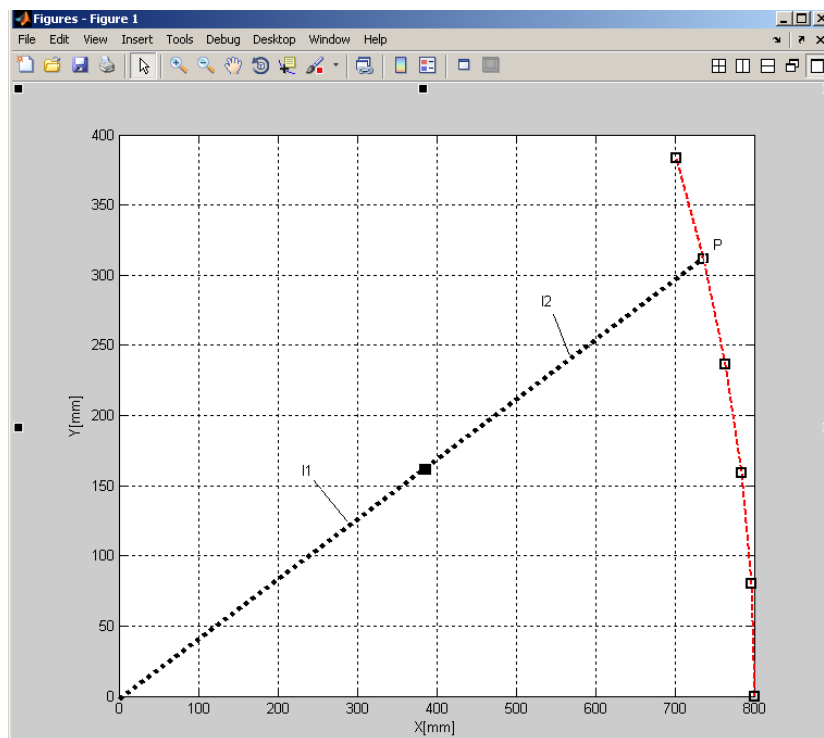


Figura 3.11 Traiectoria realizată

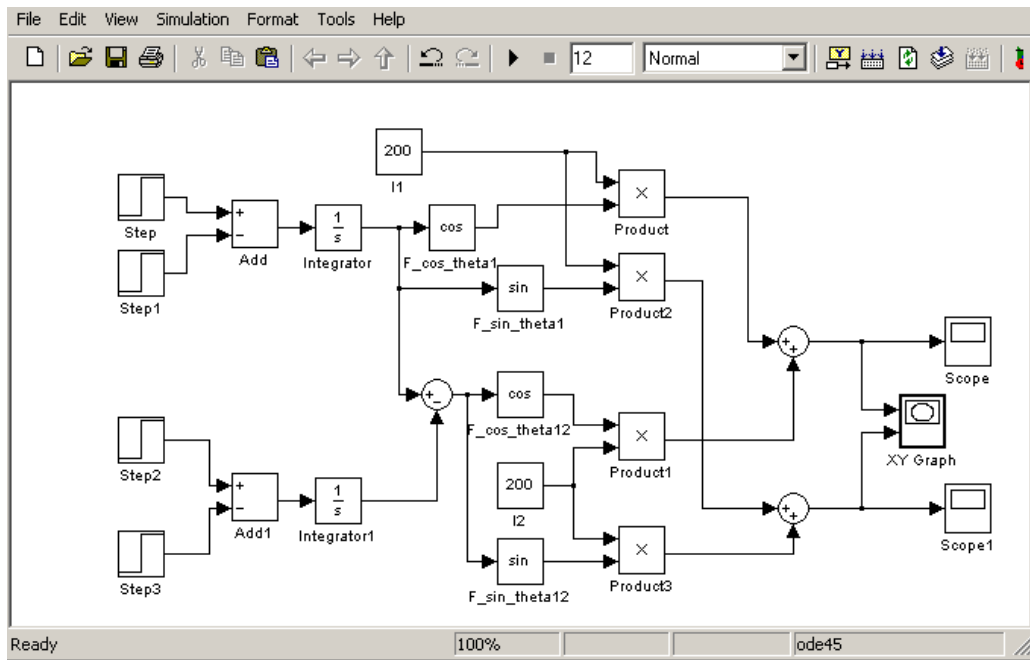


Figura 3.12 Modelul de simulare în Matlab/Simulink

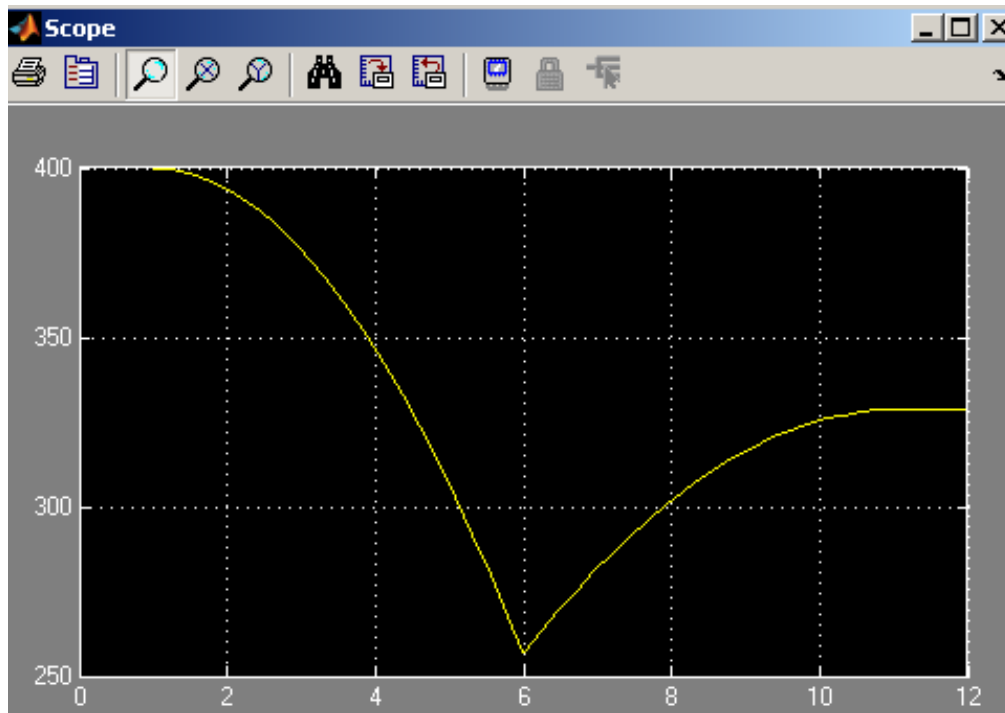
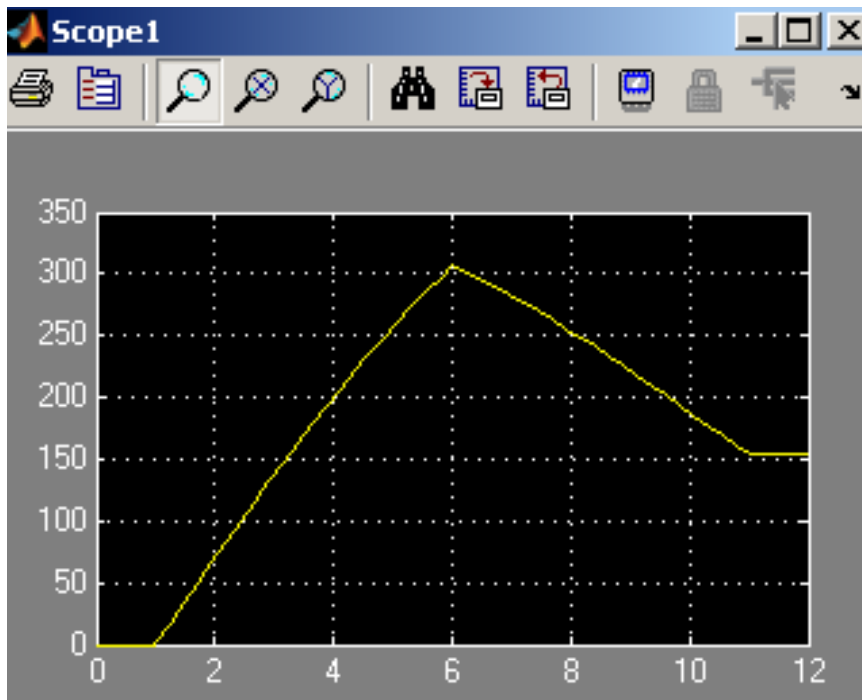


Figura 3.13 Traiectoria $x_p(t)$

Figura 3.14 Traiectoria $y_p(t)$

3.4.2.3 Metoda convenției Denavid- Hartenberg

Una dintre metodele de analiză are la bază convenția Denavid-Hartenberg [Corke, 2014], [Nwokah, 2001], [Rehiara, 2011], [Rehiara, 2011] (fig. 3.17). Metoda a fost elaborată în 1955 pentru studiul mecanismelor spațiale, ca mai târziu să devină metodă de studiu pentru roboți industriali. Aplicarea metodei ține seamă de următoarele precizări:

- un robot este format dintr-o mulțime de elemente, conectate secvențial între ele prin cuple cinematice formând un lanț cinematic.
 - se consideră că fiecare cuplă cinematică permite numai un grad de libertate, ceea ce asigură o singură variabilă „q” aferentă fiecărei articulații.
 - tipul mișcării permise de o cuplă cinematică poate fi de rotație sau de translație.
- Parametrii introduși de convenția D-H și precizați în figura 3.17 sunt:
- lungimea legăturii – a_{i-1} – definită prin dimensiunea perpendicularei comune dintre axele $i-1$ și i ;
 - unghiul axelor – α_{i-1} – definit ca unghiul dintre axele $i-1$ și i , măsurat dinspre axa $i-1$ spre axa i ;
 - offset-ul legăturii – d_i – reprezintă distanța măsurată de-a lungul axei i dintre perpendiculara comună axelor $i-1$ și i (specifică legăturii $i-1$) respectiv perpendiculara comună axelor i și $i+1$ (specifică legăturii i);
 - unghiul cuplei - θ_i – reprezintă unghiul de rotație dintre direcția legăturii $i-1$ și direcția legăturii i ;

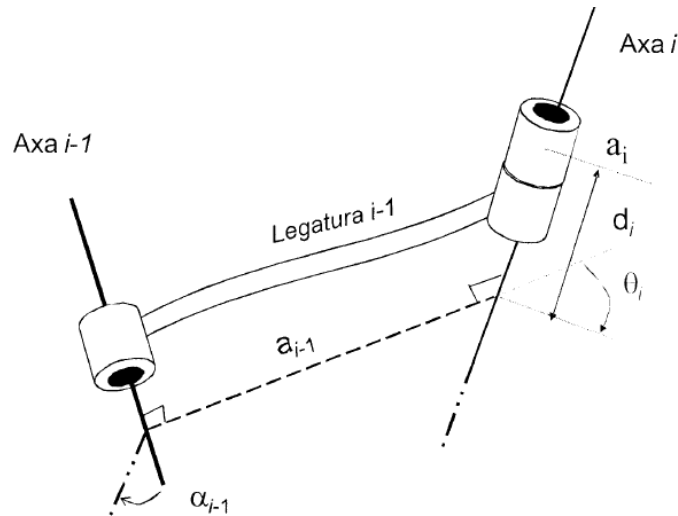


Figura 3.15 Convenția Denavid-Hartenberg

Prin determinarea valorilor pentru cei patru parametri (pentru fiecare legătură din lanțul cinematic) se poate determina modelul geometric al lanțului cinematic asociat sistemului mecanic al robotului. Doi dintre acești parametri descriu legătura însăși iar ceilalți doi descriu conexiunea cu legătura vecină. De obicei parametrii sunt pozitivi, deoarece corespund unor distanțe. Parametrii α_i , d_i , θ_i corespund unor mărimi cu semn. Modul de asociere a sistemelor de coordonate și apoi determinarea parametrilor se desfășoară conform unei proceduri descrise de literatura de specialitate [Saha, 2008].

Modelarea lanțului cinematic are la bază modul de definire a transformării care definește sistemul $\{i\}$ relativ la sistemul $\{i-1\}$. Prin compunerea transformărilor precizate în procedura de lucru, se obține matricea de transformare omogenă D-H pentru sistemele de coordonate adiacente $\{i-1\}$ și $\{i\}$:

$${}^{i-1}T_i = Rot(z, \theta_i) \cdot Trans(z, d_i) \cdot Trans(x, a_i) \cdot Rot(x, \alpha_i) \quad (3.7)$$

sau într-o formă dezvoltată:

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

unde: a_i , α_i , d_i , θ_i – sunt parametrii definiți anterior; c – semnifică funcția trigonometrică \cos ; s – semnifică funcția trigonometrică \sin ;

Modelul lanțului cinematic presupune determinarea transformării, care definește sistemul $\{n\}$ relativ la sistemul $\{0\}$ ținând cont de toate legăturile intermediare, descrise prin relația:

$${}^0T_N = {}^0T_1 * {}^2T_2 * {}^3T_3 * \dots * {}^{N-1}T_N \quad (3.9)$$

În conformitate cu figura 3.10 și procedura de lucru pentru convenția D-H pot fi identificați parametrii (D-H) ai robotului Yamaha YR400 (tabelul 3.1).

Tabel 3.1 Parametrii (D-H) ai robotului Yamaha

Numărul axei	Coordonata unghiulară Θ_i	Offset-ul elementului d_i	Lungimea elementelor a_i	Unghiul de rotire α_i
1	Θ_1	d_1	l_1	0
2	Θ_2	d_2	l_2	0
3	0	d_3	0	π
4	Θ_4	d_4	0	0

Pe baza considerentelor anterioare, utilizând relațiile (3.6) și (3.7) și modul de definire a parametrilor D-H, se poate determina matricea de trecere de la sistemul "4" la sistemul "0". Considerând doar modelul plan al mișcării robotului (planul X-Y), matricile de trecere corespunzătoare sunt:

$$T_2^1 = Trans(x, l_1)Rot(z, \theta_2) = \begin{bmatrix} c\theta_2 & s\theta_2 & 0 & l_1 \\ -s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$T_1^0 = Trans(z, d_1)Rot(z, \theta_1) = \begin{bmatrix} c\theta_2 & s\theta_2 & 0 & 0 \\ -s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$T_2^0 = T_1^0 T_2^1 = \begin{bmatrix} c(\theta_2 - \theta_1) & -s(\theta_1 - \theta_2) & 0 & l_1 c\theta_1 \\ s(\theta_1 - \theta_2) & c(\theta_2 - \theta_1) & 0 & l_1 s\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Perechea de coordonate $\{x_{20} \ y_{20} \ z_{20}\}$ va fi transformată în coordonatele sistemului de bază $\{x \ y \ z\}$ prin utilizarea relației:

$$[x \ y \ z]^T = T_2^0 \cdot [x_{20} \ y_{20} \ z_{20}]^T \quad (3.13)$$

obținându-se relațiile:

$$x = x_{20} \cdot \cos(\theta_1 - \theta_2) - y_{20} \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2) + l_1 \cdot \cos\theta_1 \quad (3.14)$$

$$x = x_{20} \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2) + y_{20} \cdot \cos(\theta_1 - \theta_2) + l_1 \cdot \sin\theta_1 \quad (3.15)$$

$$z = d_1 \quad (3.16)$$

Particularizând $x_{20} = l_2$ și $y_{20} = 0$ se obțin relațiile din modelul geometric determinate anterior.

3.4.3 Analiza cinematică inversă

3.4.3.1 Metoda geometrică pentru analiza cinematică inversă

Din analiza dimensională în triunghiurile ABP – teorema cosinusului sau teorema lui Pitagora generalizată - și AP₀B – teorema lui Pitagora - se poate scrie egalitatea (fig. 3.18):

$$AP^2 = x^2 + y^2 = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2\cos(\pi - \theta_2) = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2\cos\theta_2 \quad (3.17)$$

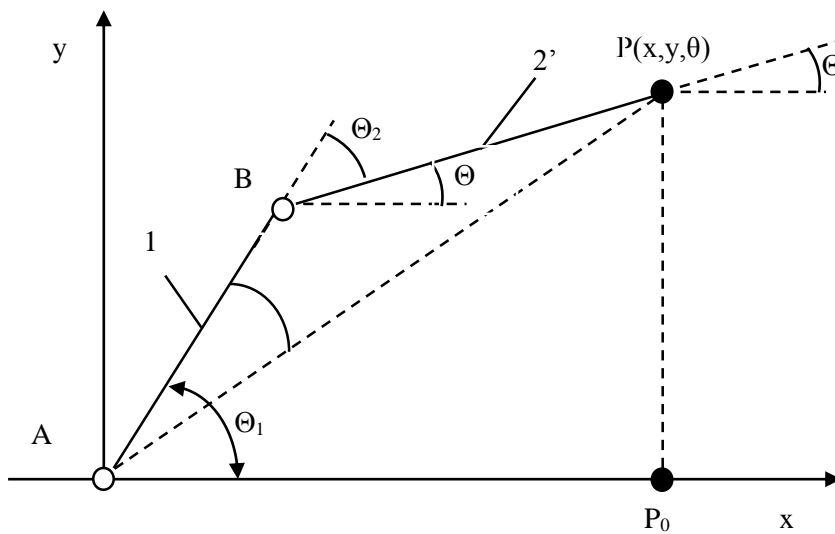


Figura 3.16 Analiza dimensională

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 + l_2^2}{2l_1l_2}\right) \quad (3.17, a)$$

Aplicând teorema sinusului în triunghiul ABP se poate scrie relația:

$$\frac{l_2}{\sin \beta} = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sin \gamma} \quad (3.17 \text{ b))}$$

Având în vedere că există și relațiile:

$$\alpha = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (3.17, \text{ c))}$$

$$\sin \gamma = \sin(\pi - \theta_2) = \sin \theta_2 \quad (3.17, \text{ d))}$$

se poate determina din (3.18):

$$\sin \beta = \frac{l_2 \sin \theta_2}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (3.17, \text{ e))}$$

sau

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{l_2 \sin \theta_2}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \quad (3.17, \text{ f))}$$

Având în vedere că există și relația $\theta_1 = \beta + \alpha$, se poate determina coordonata cuplei motoare A:

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{l_2 \sin \theta_2}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) + \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (3.17, \text{ g))}$$

Relațiile anterioare descriu modul de variație a unghiului de rotație din cuplele A și B pentru o traiectorie impusă punctului caracteristic.

3.5 Simularea și realizarea unor traiectorii cu Yamaha YK400

Sunt analizate în continuare posibilități de programare a execuției mișcărilor în spațiul de lucru pentru robotul Yamaha YK 400. Analiza are la bază disponibilitatea hardware și software a sistemului studiat. În programul robotului Yamaha YK400 punctele se pot defini în coordonate polare și coordonate carteziene.

În figura 3.19, este reprezentat robotul Yamaha YK400 în scena de lucru executând o traiectorie compusă din segmente de dreaptă între punctele P1, P2 și P3. Figura 3.20, este reprezentă un detaliu din timpul mișcării executate de robot.

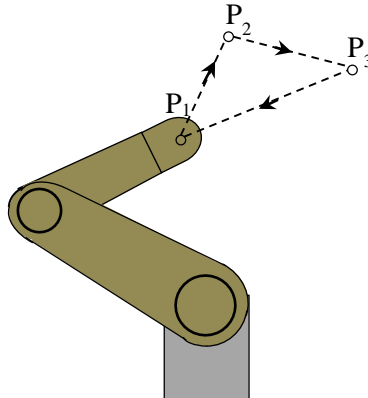


Figura 3.19 Reprezentarea grafică a mișcării

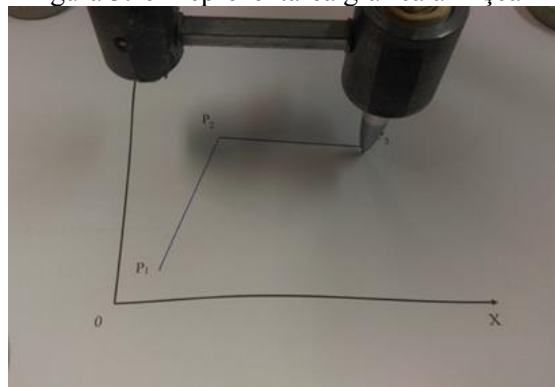
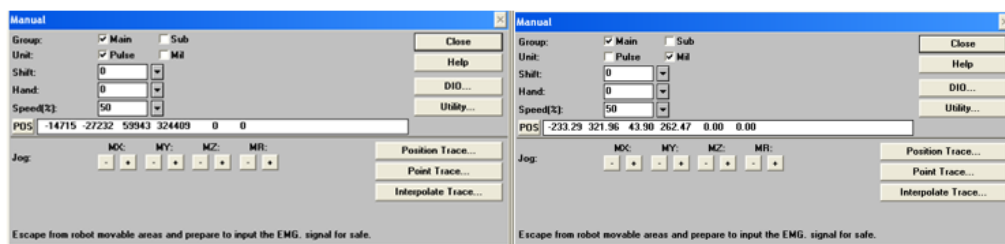


Figura 3.17 Robotul în scena de lucru

În Figura (3.21) se prezintă modul de prescriere a coordonatelor punctelor P_1 , P_2 și P_3 .



a) Coordonate polare

b) Coordonate carteziene

Figura 3.18 Modul de prescriere a coordonatelor

Mișcările complexe ale robotului în spațiul de lucru pot fi descompuse în mișcări simple: linie dreaptă și cerc. În vederea analizei modului de generare a mișcărilor, au fost realizate 8 teste. În cadrul acestor teste, punctul caracteristic al robotului a descris traiectorii geometrice simple, cu viteze diferite iar punctele au fost definite în coordonate carteziene și polare.

Cu scopul de a vizualiza traseul descris de punctul caracteristic al robotului în spațiul de lucru, pe efectorul final s-a fixat un pix (fig. 3.20). Cu ajutorul acestuia au fost trasate traiectoriile descrise în cele opt teste.

Pe parcursul celor 8 teste, s-a observat că traiectoria este descrisă prin punctele țintă prescrise și interpolare între 2 puncte succesive.

În figura 3.22 este ilustrat un segment din traiectoria descrisă de punctul caracteristic pentru cazul traiectoriei în linie dreaptă. În figura 3.23 este prezentat cazul programării traiectoriei în arc de cerc.

În tabelul 3.2 caseta "b" este prezentat modul de prescriere a punctelor țintă pentru cele două cazuri menționate anterior. În tabelul 3.2 caseta "a" sunt prezentate traiectoriile descrise de punctul caracteristic al robotului în spațiul de lucru între punctele P_1 și P_2 .

În tabelul 1, sunt prezentate traseul descris de punctul caracteristic al robotului în spațiul de lucru între punctele P_1 și P_2 , în două cazuri (testul 1 și 2).

- Imaginea 1. caseta "a" ilustrează traiectoria realizată de punctul caracteristic ca răspuns la comanda de mișcare în linie dreaptă între cele două punctele P_1 și P_2 (caseta "b").



Figura 3.19 Linie dreaptă

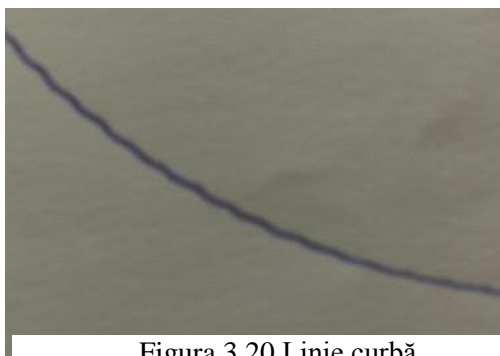
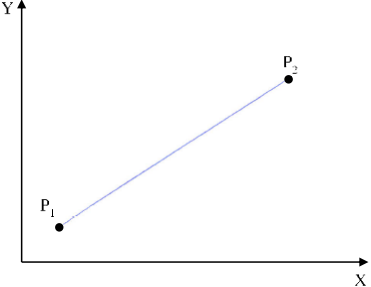
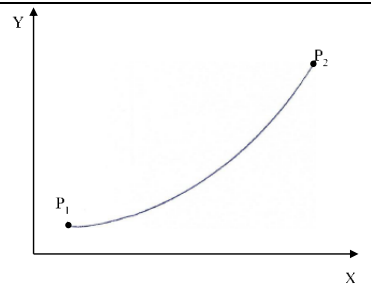


Figura 3.20 Linie curbă

- Reprezentarea mișcării între punctele P_1 și P_2 în modul *point to point* este ilustrată în caseta "c", pe baza comenzii de mișcare din celula "d".

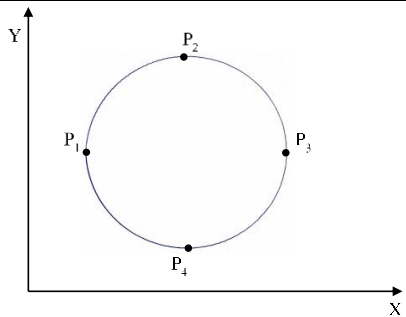
Tabel 3.2 Detalii privind traiectoriile realizate și modul de definire a acestora

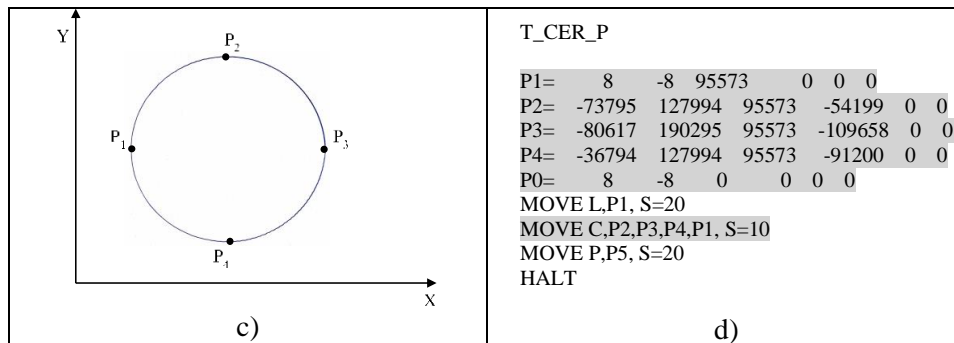
 <p>a)</p>	<p>T_DRE_C</p> <pre>P1= 400.00 0.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P2= 352.00 82.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P0= 400.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 MOVE L,P1, S=20 MOVE L,P2, S=10 MOVE L,P3, S=20 HALT</pre> <p>b)</p>
 <p>c)</p>	<p>T_DRP_C</p> <pre>P1= 400.00 0.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P2= 352.00 82.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P0= 400.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 MOVE L,P1, S=20 MOVE P,P2, S=10 MOVE P,P3, S=20 HALT</pre> <p>d)</p>

În scopul de a analiza modul de realizare a traiectoriei în formă de cerc a fost imaginat testele 3 și 4 (tabelul 3.3)

- În programul T_CER_C (tabelul 2. caseta "b") punctele P₁, P₂, P₃ și P₄ au fost definite în coordonate carteziene. Traseul descris între aceste puncte este prezentat în tabelul 2. caseta "a")
- Programul T_CER_P (tabelul 2. caseta "d") definește punctele P₁, P₂, P₃ și P₄ în coordonate polare. Imaginea din caseta "c") a tabelului 2, ilustrează traseul urmat de punctul caracteristic în acest caz.

Tabel 3.3 Traseu descris de punctul caracteristic

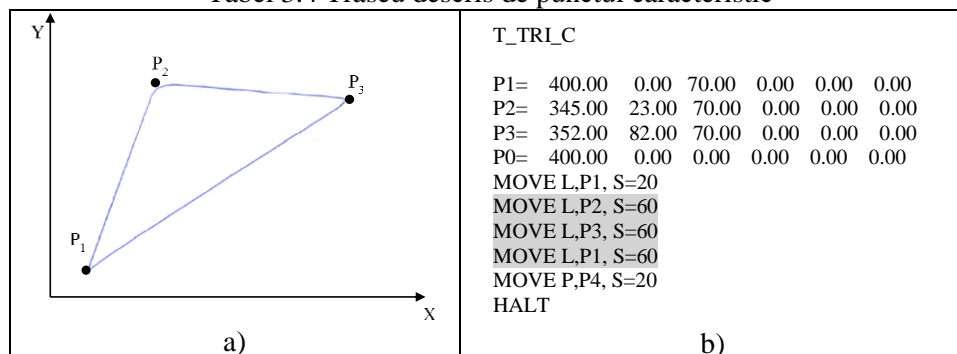
 <p>a)</p>	<p>T_CER_C</p> <pre>P1= 400.00 0.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P2= 350.00 -50.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P3= 300.00 0.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P4= 350.00 50.00 0.00 0.00 0.00 0.00 P0= 400.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 MOVE L,P1, S=20 MOVE C,P2,P3,P4,P1, S=10 MOVE P,P5, S=20 HALT</pre> <p>b)</p>
---	---

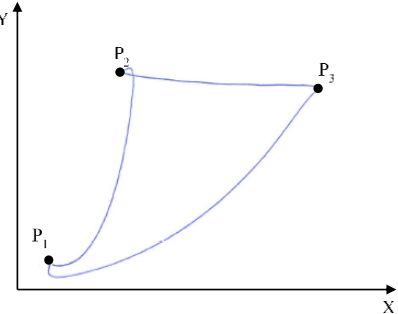
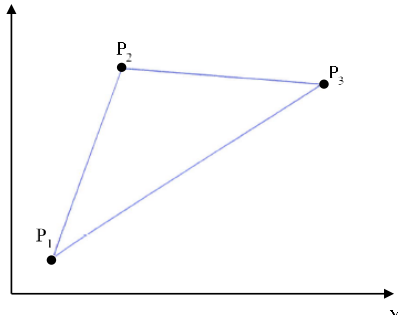
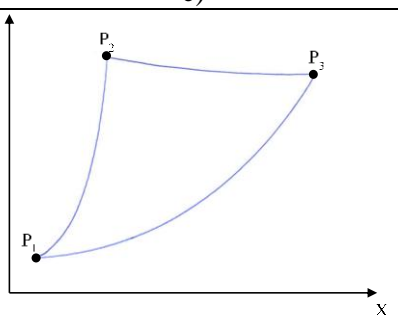


În tabelul 3.4 sunt sintetizate cazurile analizate în testele 5-8. Testele urmăresc modul de realizare a unei traiectorii pentru punctul caracteristic între 3 puncte la două viteze diferite.

- Imaginea din caseta "a" ilustrează traiectoria descrisă de punctul caracteristic ca răspuns la comanda de mișcare în linie dreaptă între cele trei puncte cu viteza de 60%, (caseta "b")
- Imaginea din caseta "c" ilustrează traseul descris între punctele P₁, P₂ și P₃ de către punctul caracteristic, în modul *point to point* cu viteza de 60%, (caseta "d")
- Imaginea din caseta "e" ilustrează traseul descris de punctul caracteristic ca răspuns la comanda de mișcare în linie dreaptă între cele trei puncte cu viteza de 10%, (caseta "f")
- Imaginea din caseta "g" ilustrează traseul descris între punctele P₁, P₂ și P₃ de către punctul caracteristic, în modul *point to point* cu viteza de 60%, (caseta "h").

Tabel 3.4 Traseu descris de punctul caracteristic



 <p>c)</p>	<p>T_TRP_C</p> <pre>P1= 400.00 0.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P2= 345.00 23.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P3= 352.00 82.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P0= 400.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 MOVE P,P1, S=20 MOVE P,P2, S=60 MOVE P,P3, S=60 MOVE P,P1, S=60 MOVE P,P4, S=20 HALT</pre> <p>d)</p>
 <p>e)</p>	<p>T_TRV_C</p> <pre>P1= 400.00 0.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P2= 345.00 23.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P3= 352.00 82.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P0= 400.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 MOVE L,P1, S=20 MOVE L,P2, S=10 MOVE L,P3, S=10 MOVE L,P1, S=10 MOVE P,P4, S=20 HALT</pre> <p>f)</p>
 <p>g)</p>	<p>T_TPV_C</p> <pre>P1= 400.00 0.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P2= 345.00 23.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P3= 352.00 82.00 70.00 0.00 0.00 0.00 P0= 400.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 MOVE P,P1, S=20 MOVE P,P2, S=10 MOVE P,P3, S=10 MOVE P,P1, S=10 MOVE P,P4, S=20 HALT</pre> <p>h)</p>

Testele realizate au scos în evidență limitări în capacitatea software a robotului Yamaha pentru descrierea unor traiectorii complexe.

3.5.1 Exemple de programe și piese, realizate cu robotul Yamaha YK400

Ca o continuare a analizei anterioare și ca o concretizare a cercetărilor efectuate sunt prezentate exemple de prelucrare mecanică cu ajutorul robotului Yamaha YK 400.

Primul exemplu selectat, din încercările efectuate, se referă la prelucrarea unei calote sferice dintr-un semifabricat din Komatex. Ca efector final al robotului a fost utilizată o freză LUND 79314 prezentată succint în anexa 3.3.

Exemplu nr. 1

În figura 3.24 este prezentată schema logică care a stat la baza scrierii programului ” CALOTA ” în mediul de lucru al robotului Yamaha YK 400 (fig. 2.34)

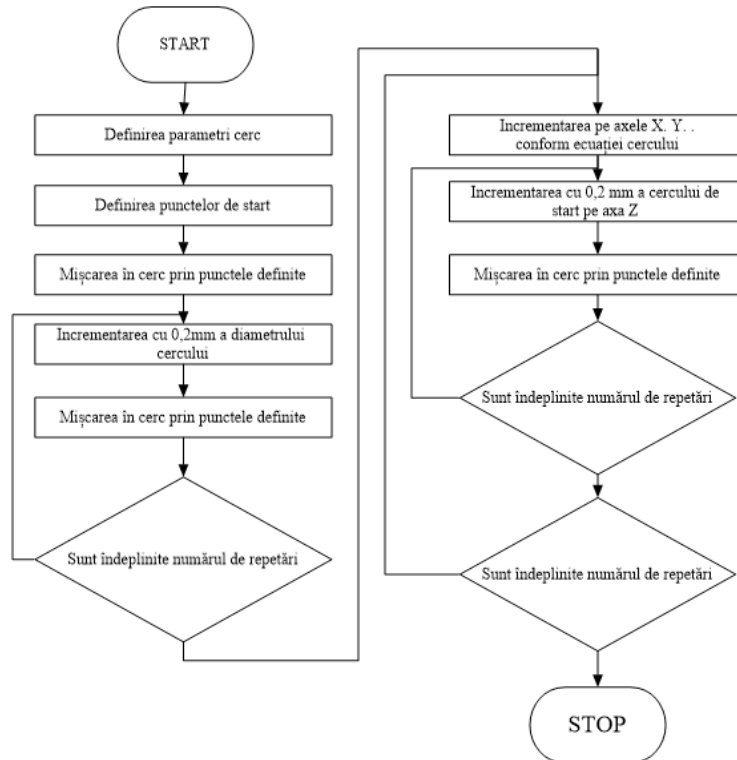


Figura 3.21 Schema logică a programului CALOTĂ

În prima parte a programului sunt definiți parametrii geometrici care definesc calota, urmați de definirea punctelor de start în spațiul de lucru al robotului. Modul de prelucrare mecanică a urmărit schema logică precizată și s-a concretizat prin:

- Descrierea primului cerc prin punctele precizate în program;
- Incrementarea diametrului cercului cu valoarea $\Delta=2\text{mm}$ și executarea următorului cerc;
- Se incrementează pe axele X, Y, Z, după ecuația cercului și se incrementează cu 0,2 mm la fiecare cerc descris pentru a crea noul plan;
- Se rulează incrementarea până la îndeplinirea numărului de repetări;
- Dacă sunt îndeplinite numărul de repetări pentru crearea planului se trece mai departe dacă nu se revine la poziția actuală ;
- În cazul în care nu sunt îndeplinite numărul de repetări pentru crearea sferei se revine în poziția actuală;
- Dacă sunt îndeplinite numărul de treceri pentru realizarea sferei programul se oprește.

```

L=1
L=INCREMENTUL PE Z
Q=5
'Q INALTIMEA CALOTEI
DIFERITA DE RAZA
K=10
'INCREMENTUL PE
CERCURILE PLANE
'AVANS PE Z IN FORMULA
'INCREMENTUL PE X SI Y
R=10
'RAZA SFEREI
P405= 227.50 0.00 20.00 0.00
0.00 0.00 0
P406= 230.00 2.50 20.00 0.00
0.00 0.00 0
P407= 232.50 0.00 20.00 0.00
0.00 0.00 0
P408= 230.00 -2.50 20.00
0.00 0.00 0.00 0
P401=P405
P402=P406
P403=P407
P404=P408
MOVE P,P401,Z=0

MOVE
C,P402,P403,P404,P401,S=5
FOR J=1 TO 8
GOSUB *CERC
NEXT J
FOR N=1 TO 150
GOSUB *ARC
NEXT N
*ARC:
LOCZ(P401)=LOCZ(P405)+N*
0.1
LOCX(P401)=LOCX(P405)-
SQR(50^2-(50-N*0.1)^2)
LOCZ(P402)=LOCZ(P406)+N*
0.1
LOCY(P402)=LOCY(P406)+S
QR(50^2-(50-N*0.1)^2)
LOCZ(P403)=LOCZ(P407)+N*
0.1
LOCX(P403)=LOCX(P407)+S
QR(50^2-(50-N*0.1)^2)
LOCZ(P404)=LOCZ(P408)+N*
0.1
LOCY(P404)=LOCY(P408)-
SQR(50^2-(50-N*0.1)^2)
FOR I=1 TO 8
GOSUB *CERC
NEXT I
RETURN
*CERC:
LOCX(P401)=LOCX(P401)-1
MOVE L,P401,S=5
LOCY(P402)=LOCY(P402)+1
LOCX(P403)=LOCX(P403)+1
LOCY(P404)=LOCY(P404)-1
MOVE
C,P402,P403,P404,P401,S=5
LOCX(P401)=LOCX(P401)-1
MOVE L,P401,S=5
LOCY(P402)=LOCY(P402)+1
LOCX(P403)=LOCX(P403)+1
LOCY(P404)=LOCY(P404)-1
MOVE
C,P402,P403,P404,P401,S=5
RETURN
HALT

```

Figura 3.22 Programul CALOTĂ

- În timpul procesului de frezare s-a observat:
- Programul rulează fără abateri de la traiectoria prestabilită;
 - Dispozitivul de frezare s-a încălzit datorită timpului mare de frezare, (5 ore de funcționare continuă);
 - Programul execută cu succes calota.

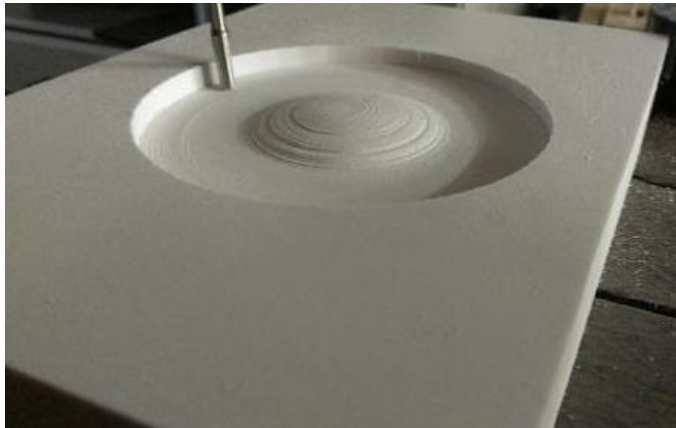


Figura 3.23 Imagine din timpul procesului de frezare a sferei

Exemplu nr. 2

Cel de-al doilea exemplu selectat pentru a fi prezentat se referă la prelucrarea mecanică a siglei UPT. Frezarea a fost realizată tot în material Komatex.

În figura 3.27 este prezentată schema logică care a stat la baza scrierii programului "UPT" în mediul de lucru al robotului Yamaha YK 400.

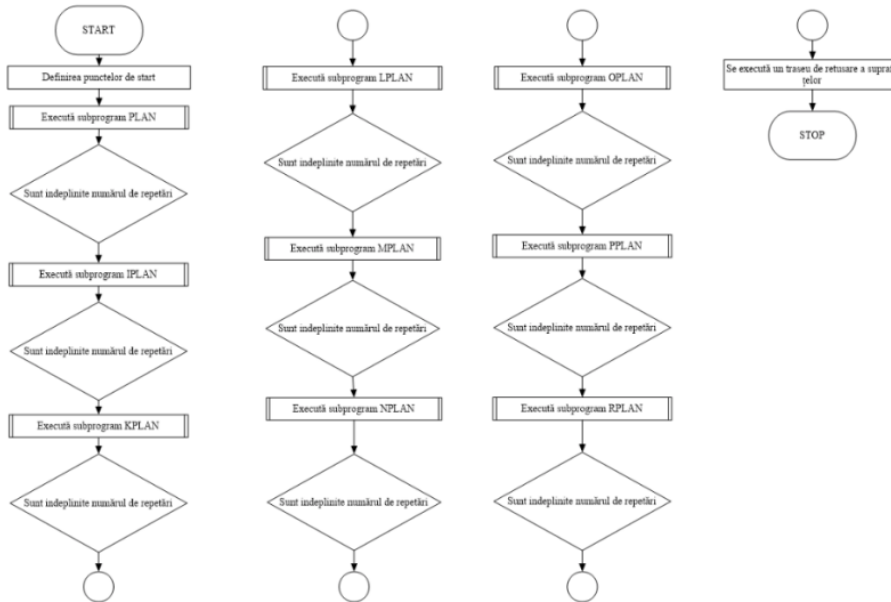


Figura 3.24 Schema logică a programului ”UPT”

Programul ”UPT” (Anexa 3.4) este structurat în nouă subprograme care descriu procesul de prelucrare mecanică prin frezare. Și au în vedere următoarele aspecte:

- Subprogramele descriu mișcarea frezei în spațiul de lucru sub forma unor planuri rectangulare, îndepărtându-se astfel material din piesa de prelucrat;
- Fiecare subprogram este executat până la îndeplinirea condiției de repetabilitate. Condiția de repetabilitate este dată de adâncimea de frezare și de grosimea stratului ce trebuie îndepărtat;
- După rularea celor 9 subprograme sunt rulate mișcări cu ajutorul comenzi MOVE pentru a finisa marginile planurilor.

În figura 3.28 se pot observa planurile ce definesc suprafețele finale ale piesei.

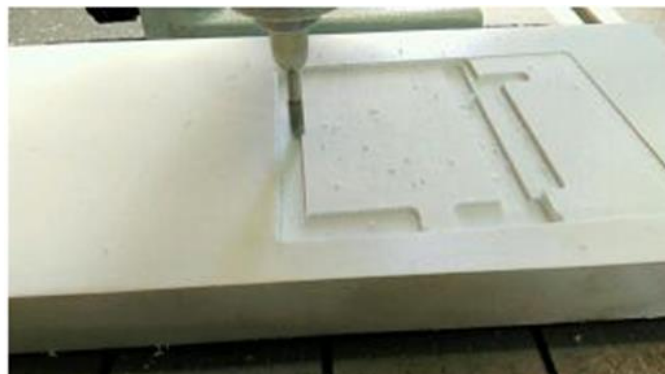


Figura 3.25 Imagine din timpul procesului de frezare



Figura 3.26 Imagine cu prelucrarea mecanică efectuată

În timpul procesului de frezare s-au observat următoarele:

- Programul rulează fără abateri de la traiectoria prestabilită;
- Dispozitivul de frezare s-a încălzit datorită timpului mare de frezare, (5 ore de funcționare continuă);
- Programul UPT execută cu succes piesa pentru acest experiment.

3.5.2 Concluzii

- Ansamblul robot-freza îndeplinește cu succes operații de frezare;
- Datorită caracteristicilor tehnice ale mașini de frezat și a rigidității scăzute a robotului, pentru realizarea unor planuri relativ simple este necesară o perioadă mare de timp;
- Suprafețele rezultate în urma prelucrării sunt de o calitate bună;
- Programarea robotului Yamaha YK 400 este limitată;

3.6 Concluzii finale

Utilizarea roboților industriali model SCARA, prezintă avantaje multiple pentru utilizarea în aplicații de prelucrare mecanică. Integrarea unor astfel de echipamente robotizate trebuie să respecte condițiile domeniului și să fie supuse unui set de încercări multiple și extinse în timp.

S-a confirmat posibilitatea întrebuițării robotului Yamaha YK 400, în operații de prelucrare mecanică prin așchiere. Principalele constrângeri sunt determinate de: limbajul de programare, modelul controlerului RCX 240 al robotului industrial și limitările spațiului de lucru al roboților SCARA.

În urma analizării pieselor prelucrate putem afirma că, suprafețele rezultate sunt de o calitate bună.

4 ANALIZA COMPORTAMENTULUI SISTEMULUI MECANIC

4.1 Introducere

Obiectivul operațional al capitolului are în vedere analiza performanțelor sistemului mecanic al robotului Yamaha 400.

Calitatea unui robot se înțelege ca și totalitate a proprietăților care fac ca robotul să fie apreciat ca utilizabil într-un anumit scop. Nivelul calității se exprimă de regulă prin valori, prin care se apreciază gradul de corespondență dintre proprietăți și cerințele formulate de utilizator [Warnecke, 1995]. Proprietățile robotului care se iau în considerare la aprecierea calității lui sunt, de regulă, caracteristicile sale constructive și performanțele sale în funcționare.

În cadrul analizei au fost urmărite performanța de rigiditate a robotului și comportamentul acestuia în condițiile unui proces vibratoriu.

4.2 Sistemul mecanic al robotul Yamaha YK 400

Robotul Yamaha YK 400 face parte din clasa roboților SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm sau Selective Compliance Articulated Robot Arm).

Roboții SCARA au mișcări similare cu cele ale unui braț uman. Aceste sisteme cuprind atât un "umăr" cât și "cot", împreună cu "încheietura mâinii" care se identifică cu axa pe verticală [Guangfeng, 2012]. Roboții SCARA sunt ideali pentru o varietate de aplicații de uz general ce necesită mișcări rapide și repetabile: mișcări de paletizare, încărcare / descărcare a unei mașini de lucru sau asamblare. De asemenea, acești roboți sunt utilizați pentru aplicații ce necesită accelerații constanțe prin mișcări circulare [***YK-XG series].

Robotul YAMAHA YK400 este un model SCARA, cu lungimea brațelor: A de 225 mm și B de 175 mm, cu o cursă de 150 mm pe axa z. masa utilă este de 3000 g, iar precizia ± 0.01 mm [Yamaha, 2004].

Robotul Yamaha YK 400 este unul din cele șapte modele dezvoltate de firma Yamaha Robotics. Aceste modele diferă prin parametri constructivi și funcționali.

Schema cinematică a robotului Yamaha YK 400 este prezentată în figura 4.1 iar performanțe ale acestuia au fost menționate în cadrul capitolului 3. În cadrul analizei efectuate, referirile vor fi făcute cu privire la această structură.

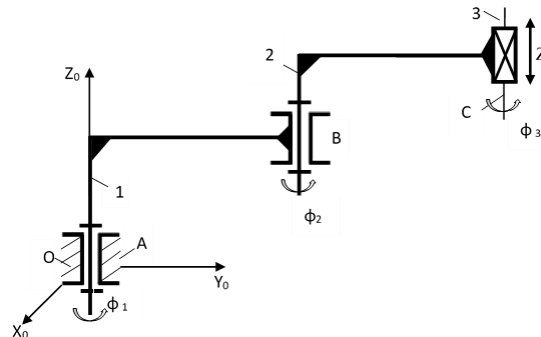


Figura 4.1 Schema cinematică a robotului YAMAHA YK 400

4.3 Determinarea rigidității și flexibilității robotului YAMAHA YK 400

Roboți industriali (RI) sunt apreciați pentru flexibilitatea lor tehnologică. În ultimii ani, există o tendință de a utiliza roboți industriali în diverse aplicații, în special în companii mici și mijlocii [Ranta, 1988].

În cadrul capitoului 2 au fost prezentate aspecte esențiale privind procese mecanice de prelucrare cu utilizarea roboților industriali. Din aceasta analiză s-a putut desprinde o concluzie importantă: roboții industriali integrați în aceste procese trebuie să aibă o rigiditate foarte bună.

Literatura de specialitate acordă o importanță deosebită rigidității roboților industriali:

1. ANSI / RIA 15.05-1-1990- American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems – Point –To –Point and Static Performance Characteristics – Evaluation
2. ANSI/RIA 15.05 - 2 – 1992 - American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems – Path – Related and Dynamic Performance Characteristics – Evaluation

Cele două volume de standarde acoperă aspecte referitoare la comportamentul static și respectiv dynamic. Filosofia subcomitetului SUA privind standardele de performanță ale robotului R15.05 este de a pune la dispoziția utilizatorilor standarde utile pentru selectarea celui mai bun robot pentru aplicații specifice.

3. ISO 9283 standard referitor la - Performance Criteria and Related Test Methods for industrial manipulators. Dintre punctele principale acoperite de acest standard se pot menționa: precizie și repetabilitate; variația direcțională a preciziei; timpul de stabilizare; precizia și repetabilitatea traiectoriei; timp minim de poziționare; conformitate statică.

Aceste norme stabilesc rigiditatea lanțurilor de cinematice ale RI. Ele impun eliminarea jocurilor din cuplurile cinematice prin utilizarea de lagăre moderne care conferă forțe de frecare reduse și o rigiditate superioară [Simon, 2013].

Creșterea rigidității RI este posibilă prin: utilizarea de servomotoare cu acționare directă pe axele cinematice ale RI, sau utilizarea de transmisii pretensionate [Dumas, 2011]. Dar și prin construcția robustă a componentelor structurii mecanice, dar care au o masă proprie redusă (aceasta fiind determinată de masa corpurilor manipulate de RI) [Simon 2013], [Dumas, 2011]. Totuși, forțele tehnologice care acționează asupra structurii mecanice a RI., induc o deformare la nivelul fiecărei componente a sistemului mecanic (batiu, elemente, cuple cinematice conducătoare) [Pashkevich, 1997]. Aceste deformații pot afecta poziția punctului caracteristic și orientarea liniei caracteristice [Varga, 2008]. De asemenea, elasticitatea și rigiditatea afectează comportamentul vibrator al structurilor mecanice [Varga, 2008].

Rezolvarea problemelor, în cadrul rezistenței materialelor are în vedere următoarele trei aspecte: aspecte statice (analiza relațiilor dintre forțe și eforturi), aspecte geometrice (analiza deformațiilor corpului) și aspecte fizice (analiză experimentală). Problemele din domeniul rezistenței materialelor au la bază două criterii: de bună funcționare și de eficiență. Primul criteriu are în vedere asigurarea rezistenței, a rigidității și a stabilității.: *Capacitatea corpurilor de a avea deformații mici sub acțiunea forțelor se numește rigiditate;*

- O construcție se numește rigidă, dacă deplasările și deformațiile ei nu depășesc valori admisibile, care fac imposibilă exploatarea ei;
- Flexibilitatea este definită la rândul său în literatură de specialitate ca proprietatea de a fi flexibil, elastic, adaptabil [***definiție].

Sursele ce influențează flexibilitatea structurii mecanice sunt: cadru (rigiditate cadru), cuplaje cinematice (rigiditate articulară), elemente de rigiditate (rigiditate legătură). Claire Dumas și alții [Dumas, 2011] abordează o modalitate de a determina rigiditatea cuplelor motoare din structurile mecanice ale roboților industriali.

Simon [Simon, 2013] asociază comportamentul elastic al structurilor mecanice pentru mașini-unelte, cu rezultatul procesului de prelucrare.

Se înțelege prin performanța de situare a unui robot capacitatea acestuia de a poziționa și orienta efortorul său final (cu obiectul solidarizat) în conformitate cu programul "offline" realizat [Maniu, 2009]. În analiza performanțelor se recurge la noțiunile de punct caracteristic P (identic cu O_0) și de cuplă caracteristică Δ asociată efortorului final (fig 4.2) [Maniu, 2009].

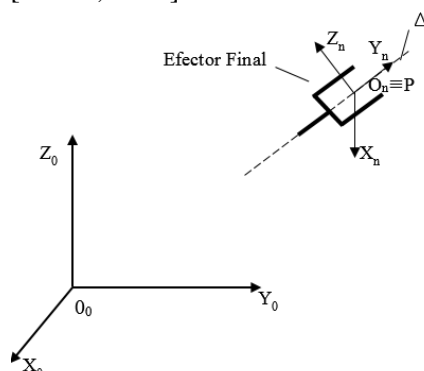


Figura 4.2 Efortor final, punct caracteristic și dreaptă caracteristică

Performanța de rigiditate statică a robotului este proprietatea robotului de a se deforma elastic sub acțiunea greutății proprii și a sarcinii utile în staționare, deci în condiții în care elementele cuplelor cinematice conducătoare aflate în anumite poziții relative generalizate nu se mișcă relativ.

În mod obișnuit, rigiditatea se exprimă la punctual caracteristic atașat unui element al robotului, aflat într-o anumită poziție, prin raportul dintre greutatea utilă și săgeata la punctul caracteristic, într-o poziție convenită a sistemului mecanic (considerat în repaus) [Maniu, 2009].

Expresia matematică a rigidității statice a robotului este:

$$K = \frac{G_U}{\delta} \left[\frac{N}{m} \right] \quad (4.1)$$

unde G_U este sarcina utilă iar δ este săgeata la punctual caracteristic.

Pentru utilizarea robotului în aplicații concrete prezintă interes distribuția rigidității statice și distribuția repetabilității rigidității statice în spațiul de lucru.

Performanța de complianță statică a robotului se referă la aceeași proprietate ca și performanța de rigiditate statică, tot într-o anumită poziție a punctului caracteristic atașat unui element al robotului. Expresia complianței statice este inversa expresiei rigidității statice.

Rigiditatea cinetostatică se exprimă în punctul de aplicație al forței dezvoltate, săgeata care se ia în considerare fiind măsurată după suportul acestei forțe. Expresia rigidității cinetostatice în cazul forței dezvoltate se definește matematic prin relația:

$$K_{CS} = \frac{F}{\delta_{CS}} \left[\frac{N}{m} \right] \quad (4.2)$$

unde δ_{CS} este săgeata pe suportul forței F .

În același mod se poate defini rigiditatea cinetostică pentru un cuplu dezvoltat de robot și respectiv complianța cinetostatică a robotului.

4.3.1 Generalități privind rigiditatea structurii mecanice a unui robot

Ultimul element din mecanismul generator de traiectorie poate fi echivalat cu cel al unei bare încastrate la unul din capete, și încărcată cu o forță externă în capătul liber. Mișcarea punctului caracteristic P și rotația liniei caracteristice (Δ) sunt rezultatul acestui sistem elastic.

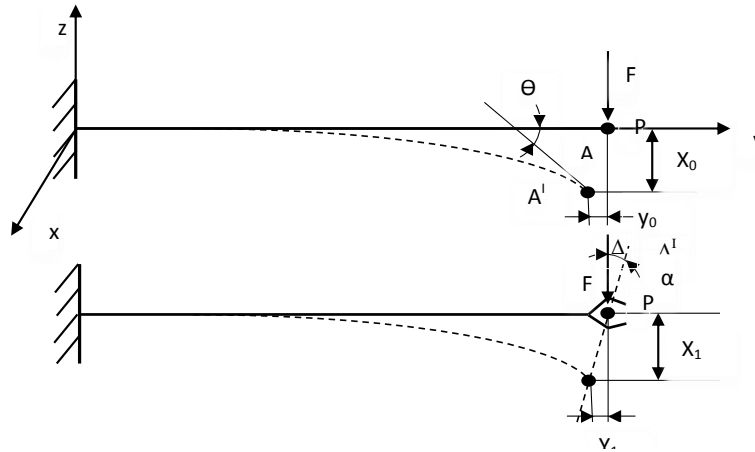


Figura 4.3 Bară supusă unor forțe exterioare

Două concepte fundamentale definesc deformațiile structurii mecanice, rigiditatea și flexibilitatea. În cazurile simple, rigiditatea și flexibilitatea pot fi considerate ca mărimi scalare. Prin definiție, rigiditatea generalizată a elementului este:

$$k = \frac{dQ}{dq} \quad (4.3)$$

unde: Q este forța generalizată, care acționează asupra elementului; q este mișcarea realizată în direcția forței generalizate.

Pentru structuri mai complexe, este valabilă formula matriceală de legătură forță-deplasare:

$$\{Q\} = [K]\{q\} \quad (4.4)$$

Relația anterioară poate fi scrisă sub forma:

$$[q] = [K]^{-1}\{Q\} = [F]\{Q\} \quad (4.5)$$

unde: $[F]$ este matricea de flexibilitate a structurii mecanice,

$$k[K][F] = [I] \quad (4.6)$$

unde $[I]$ este matricea identitate.

4.3.2 Analizele de flexibilitate a structurilor de robot YAMAHA YK400

Analiza performanțelor constructive ale robotului Yamaha YK 400 s-a desfășurat în laboratorul de senzori și traductoare din cadrul Facultății de Mecanică a Universității Politehnice din Timișoara. În acest scop a fost dezvoltat un stand de lucru prezentat în figura 4.3.

Pentru a determina rigiditatea și flexibilitatea structurii mecanice a robotului YAMAHA YK 400 (fig. 4.3.), brațul robotului a fost considerat ca formând o bară, încastrată la un capăt, iar la capătul liber supusă unei forțe F .

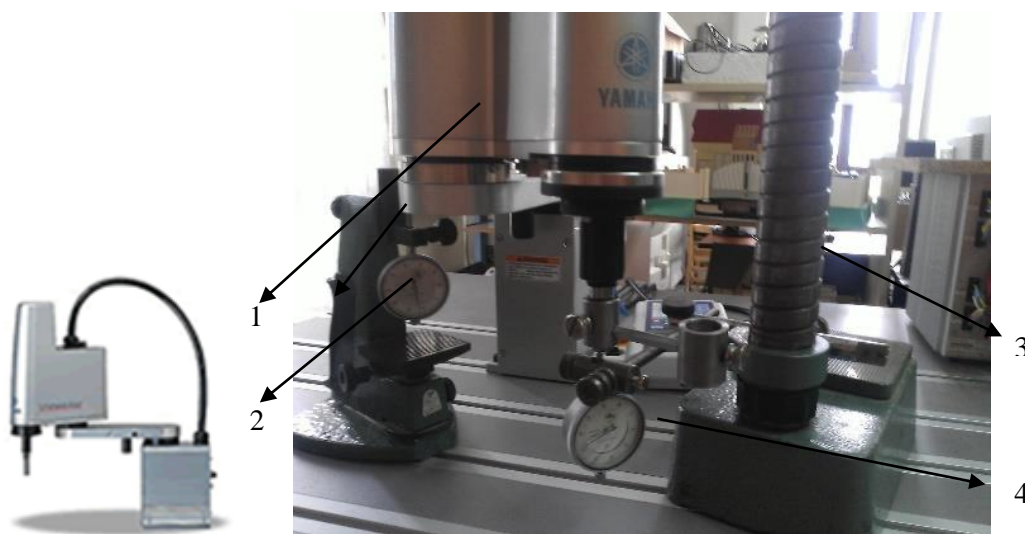


Figura 4.4 Stand de măsurare a rigidității robotului YAMAHA YK 400

Semnificația notațiilor din figură este următoarea: 1, 3 dispozitivele de fixare; 2, 4 comparatoarele pentru determinarea deplasărilor din structura robotului, când acesta este supus unei forțe exterioare F .

Procedura de lucru pentru determinarea rigidității statice a urmărit schema logică prezentată în figura 4.5. Referitor la procedura de lucru se pot menționa:

- Configurațiile robotului definite prin pelementelor, a punctelor de aplicare, a forței și a punctelor de măsurare (tabel 4.2);
- Deplasarea punctului caracteristic în poziția analizată se realizează prin comanda MOVE și sistemele de acționare a cuplelor cinematice motoare;
- S-a urmărit realizarea unui număr de 10 experimente;
- Forța de încărcare F a fost asigurată prin greutatea cu masa cunoscută;
- Forța exterioară F a fost realizată în sens crescător și descrescător;

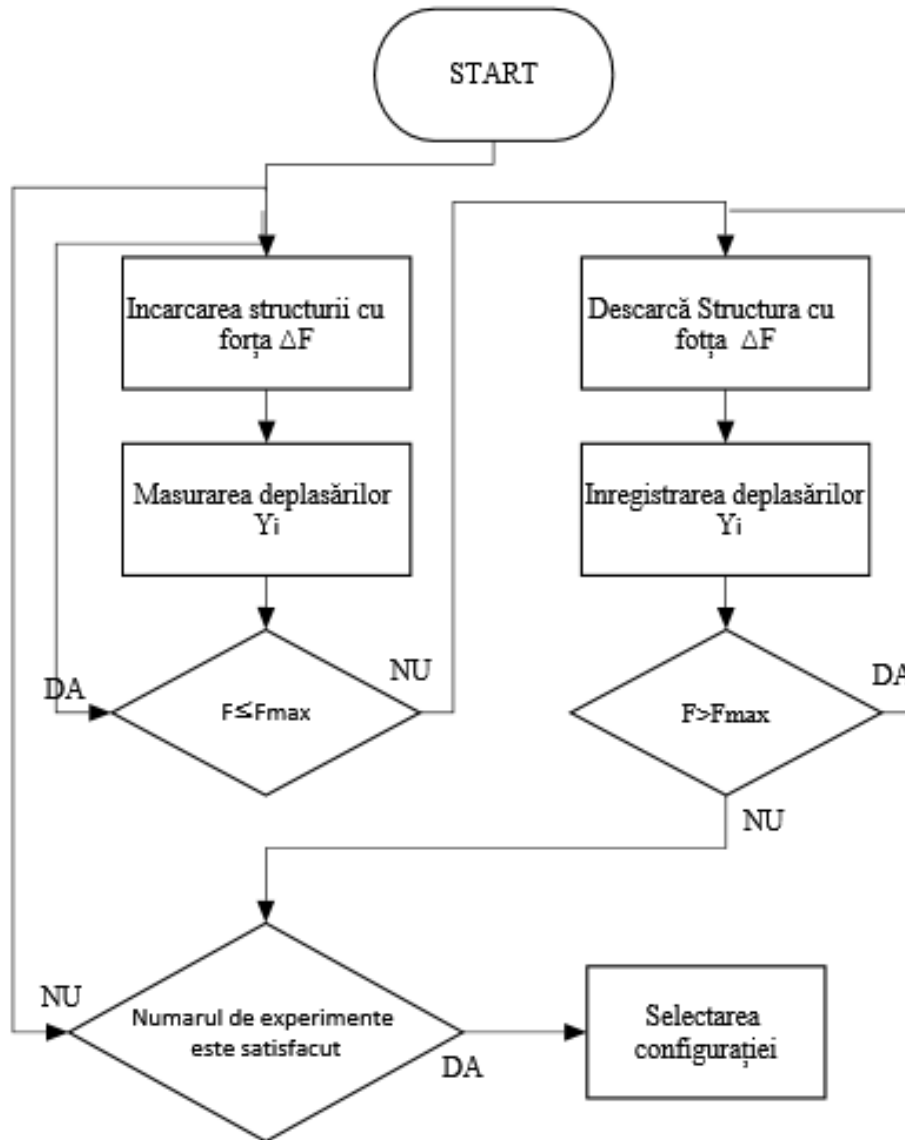


Figura 4.5 Procedura de lucru pentru analiza rigidității

Pe parcursul măsurătorilor, cele două comparatoare au fost fixate pe rând la extremitatea celor două elemente (1, 2) ale robotului. A fost notat cu 1 brațul cel mai aproape de elementul fix al robotului și cu 2 brațul cel mai îndepărtat de elementul fix al robotului.

În figura 4.6 sunt prezentate punctele de aplicare ale forței F , marcate cu X_1 , X_2 . Iar Y_1 și Y_2 reprezintă punctele în care s-au măsurat deplasările structurii mecanice a robotului YAMAHA YK 400 sub acțiunea forței F aplicată structurii.

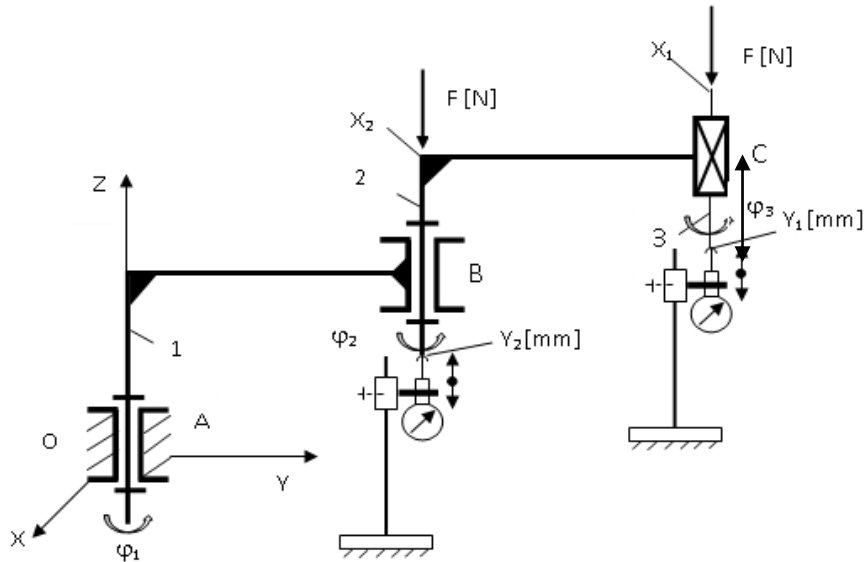


Figura 4.6 Punctele de aplicare a forței F

În tabelul 4.1. este reprezentată matricea explicativă avută în vedere pe parcursul analizei experimentale. Notațiile sunt corelate cu figura 4.4.

Tabel 4.1 Matricea configurației, punct de măsurare / punct de aplicarea forței

Punct de aplicare a forței F	Punct de măsurare a deplasărilor	
	Y_1 [mm]	Y_2 [mm]
X_1	Experimentul 1.1	Experimentul 1.2
X_2	Experimentul 2.1	Experimentul 2.2

Determinarea, gradului de deformare a structurii mecanice s-a realizat prin poziționarea robotul în trei configurații:

- prima configurație corespunde poziționării punctului caracteristic P la distanța maximă față de originea sistemului de axe;
- a doua configurație corespunde poziționării punctului caracteristic P când între elementele 1 și 2 ale robotului există un unghi de 90° ;
- a treia configurație corespunde poziționării punctului caracteristic P când între elementele 1 și 2 ale robotului există un unghi de 135° ;

Pentru fiecare configurație a robotului, s-au efectuat două teste:

- primul test constă în încărcarea capătului elementului 2 al robotului, în punctul X_1 (fig. 4.6.), și efectuarea de 14 încărcări, cu greutăți cuprinse între 210g – 3500g;
- al doilea test constă în încărcarea la capătul elementului 1 al robotului în punctul X_2 (fig. 4.6.), și efectuarea de 14 încărcări, cu greutăți cuprinse între 210g – 3500g;

Pe parcursul desfășurării măsurătorilor s-a avut în vedere următoarele:

- evitarea atingerii mesei de lucru;
- masa de lucru a fost, pe tot parcursul măsurătorilor, eliberată;
- depozitarea greutăților pe o masa alăturată;
- la începutul fiecărei măsurători comparatoarele au fost aduse la zero;

Procesul de măsurare a constat în măsurători repetate, iar valorile au fost prelucrate în Office Excel. Valorile au fost obținute în MsOffice.

4.3.3 Rezultate experimentale

Tabelele cu valorile parametrilor mășurați pe parcursul experimentelor desfășurate sunt prezentate în anexa 4.1.

În tabelul 4.2. sunt prezentate rezultatele măsurate și prelucrate statistic pe parcursul experimentului.

Tabel 4.2 Date măsurate și prelucrate statistic

Forța	Deplasarea 1	Deplasarea 2	Deplasarea 3	Deplasarea 4	Deplasarea 5
F [N]	Δy [mm]	Δy [mm]	Δy [mm]	Δy [mm]	Δy [mm]
2,0593	0,012	0,012	0,010	0,011	0,012
4,9033	0,030	0,025	0,027	0,03	0,027
6,9627	0,040	0,040	0,038	0,04	0,039
9,8066	0,060	0,058	0,052	0,052	0,058
12,1602	0,070	0,065	0,065	0,065	0,068
14,7099	0,090	0,085	0,084	0,082	0,84
17,0635	0,100	0,100	0,110	0,01	0,011
19,6133	0,115	0,112	0,114	0,12	0,119
21,9668	0,130	0,129	0,132	0,128	0,013
24,5166	0,150	0,146	0,142	0,145	0,145
26,8702	0,160	0,151	0,165	0,158	0,0159
29,4199	0,175	0,170	0,180	0,172	0,178
30,9399	0,180	0,185	0,189	0,184	0,192
34,3232	0,210	0,200	0,212	0,240	0,210

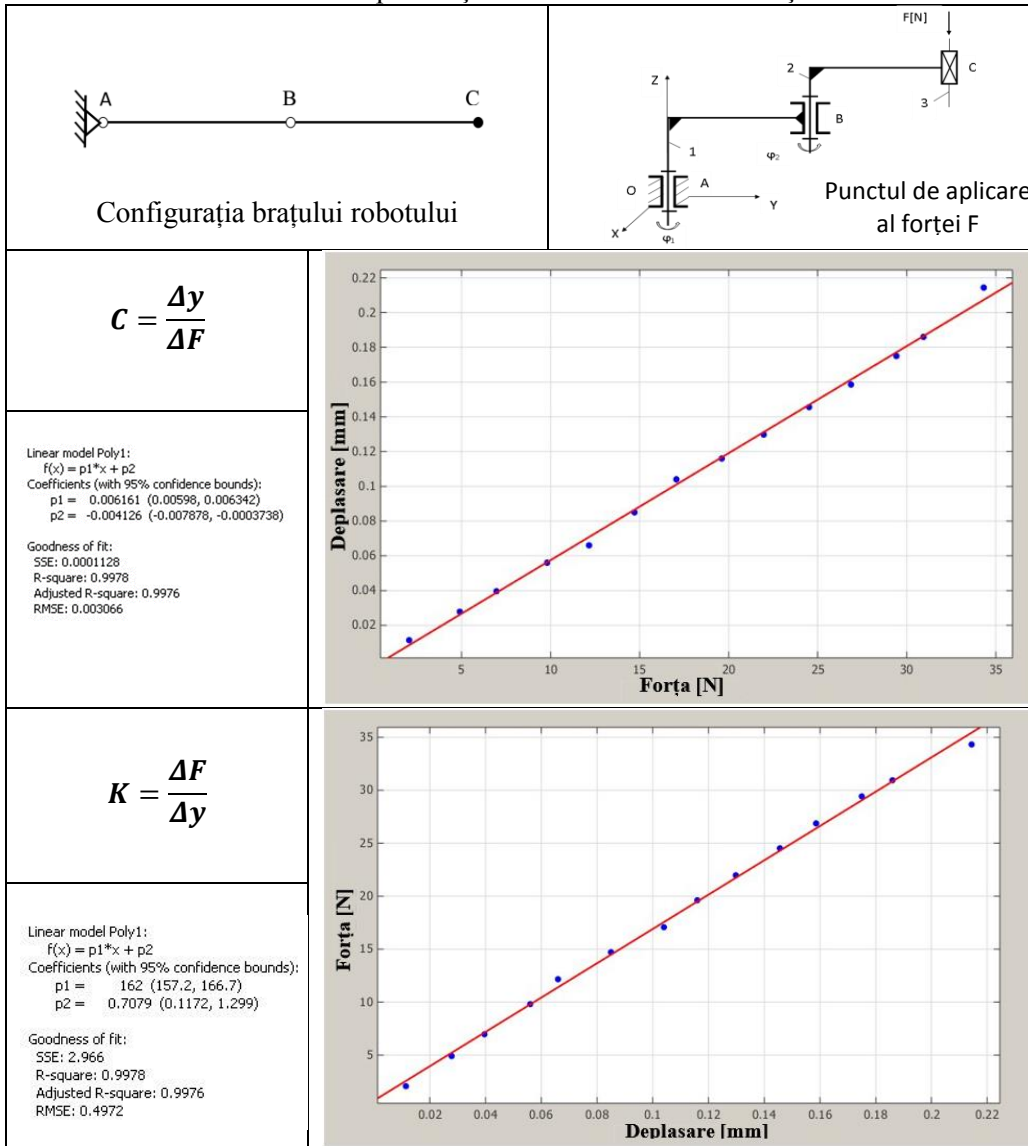
În tabelul 4.3. sunt reprezentate grafic cele 3 poziționări ale robotului, fiecare cu câte două puncte de aplicare a forței F, cu rigiditatea și flexibilitatea corespunzătoare

Tabel 4.3 Configurații cinematice ale brațului robotului, și flexibilitatea

Nr	POZIȚIA ROBOTULUI	PUNCTUL DE APLICARE A FORȚEI F	FLEXIBILITATEA [mm/N] RIGIDITATEA [N/mm]
1			$C=6.246 \times 10^{-3}$ [mm/N] $K=1.6008 \times 10^2$ [N/mm]
2			$C=3.030 \times 10^{-3}$ [mm/N] $K=3.3003 \times 10^2$ [N/mm]
3			$C=3.985 \times 10^{-3}$ [mm/N] $K=2.509 \times 10^2$ [N/mm]
4			$C=2.458 \times 10^{-3}$ [mm/N] $K=4.066 \times 10^2$ [N/mm]
5			$C=4.212 \times 10^{-3}$ [mm/N] $K=2.7336 \times 10^2$ [N/mm]
6			$C=1.544 \times 10^{-3}$ [mm/N] $K=6.4760 \times 10^2$ [N/mm]

Tabelul 4.4 ilustrează deformarea structurii robotului în funcție de valoarea forței F aplicată, în cazul configurației cinematice a robotului la 180°. Pentru care sunt ilustrate rezultatele experimentale ale cazului 1.1 din matricea configurațiilor punct de măsurare / punct de aplicarea forței (tabel 4.1).

Tabel 4.4 Dependența Deformare / Valoarea forței



Pe baza valorilor determinate experimental, au fost obținute ecuațiile matematice ale dreptelor de cea mai bună aproximare pentru cazurile ilustrate anterior:

$$y = 0,006161 * F - 0,004126 \quad [mm] \quad (4.7)$$

$$F = 162 * y - 0,07079 \quad [mm] \quad (4.8)$$

4.3.4 Concluzii

Experimentele desfășurate și rezultatele obținute pe robotul Yamaha YK 400, permit enunțarea următoarelor concluzii:

- obiectivul operațional al subcapitolului a fost atins;
- rigiditatea structurii mecanice a robotului depinde de configurația analizată;
- configurația cea mai defavorabilă din punct de vedere a elasticității sistemului este configurația 1;
- rigiditatea structurii mecanice se situează în intervalul $1,6008 \times 10^2 - 6,4760 \times 10^2$ [N/mm], corespunzător configurațiilor extreme 1 respectiv 6;
- rigiditatea structurii robotului Yamaha YK 400, îl recomandă pentru operații de prelucrări mecanice;

4.4 Analiza vibrației structurii robotului

4.4.1 Introducere

Obiectivul operațional al subcapitolului constă în analiza comportamentului robotului Yamaha YK400, pe parcursul unor operații de prelucrare mecanică prin așchiere. Structura mecanică a robotului este sub influența forțelor dezvoltate prin prelucrare și respectiv sub influența vibrațiilor din timpul procesului de prelucrare.

Analiza experimentală urmărește stabilirea unor corelații dintre parametrii de lucru și parametrii procesului vibratoriu.

Performanțele necesare prelucrării mecanice cu ajutorul roboților industriali pot fi afectate de vibrațiile care apar în structura sistemului mecanic al robotului [Gafițanu, 1989], [White,1994]. Principalele surse ale vibrațiilor sunt: cuplele cinematice ale motoarelor, momentul de inerție al structurii robotului, vibrațiile induse de către mașina de frezat cu care este echipat robotul și vibrațiile care sunt induse din mediul de lucru [Varga, 2008]. Vibrațiile apar în timpul procesului de prelucrare mecanică [Moradi 2013].

4.4.2 Generalități privind vibrația structurii mecanice, a unui robot industrial

4.4.2.1 Definiții: Vibrația armonică

Vibrația reprezintă răspunsul unui sistem la un stimul intern sau extern, care face ca acest sistem să oscileze. Astfel, vibrația se definește ca o mișcare oscilatorie a unui corp sau a punctelor materiale ale unui mediu, efectuată în jurul unei poziții de echilibru

[Buzdugan 1979]. O mișcare vibratorie este periodică dacă toate elementele mișcării se repetă identic după un interval de timp T , numit perioada vibrației. Diagrama unei vibrații periodice a unui mobil pe axa Ox este reprezentată în figura 4.7.

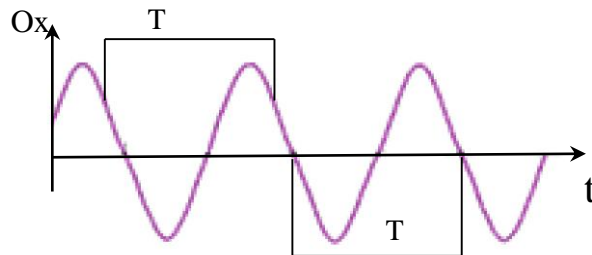


Figura 4.7 Diagrama mișcării periodice

Cea mai simplă vibrație periodică, utilizată în studiul unor mișcări variate și complicate periodice, este vibrația periodică:

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (4.9)$$

unde x reprezintă deplasarea punctului material la un moment dat, în raport cu originea aleasă în centrul de oscilație, x_0 reprezintă amplitudinea vibrației, iar ω este pulsația vibrației a punctului, $\varphi = \omega t + \varphi_0$ reprezintă faza iar φ_0 este faza inițială.

Legile vitezei și accelerației în mișcarea vibratorie armonică (conform relației 4.5) sunt:

$$v = \dot{x} = x_0 \omega \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (4.10)$$

$$a = \ddot{x} = -x_0 \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (4.11)$$

Mișcările la care deplasarea are o evoluție care nu poate fi exprimată analitic se încadrează în categoria vibrațiilor nedeterminate sau aliatoare. Acestea se pot studia numai pe baza unor înregistrări de durată finită și a prelucrării statistice a rezultatelor [Buzdugan 1979].

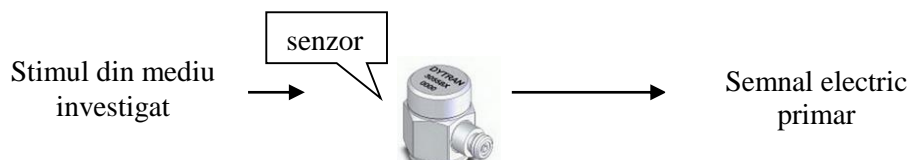


Figura 4.8 Senzorul DITRAN 3055B3

În cele mai multe cazuri, diagrama unei mișcări vibratorii este o curbă foarte complicată. Obținerea unei astfel de informații dintr-un mediu analizat devine obiectul

unui sistem de achiziție a datelor. Un senzor de accelerație este utilizat pentru conversia stimulului din mediul investigat în semnal electric.

În studiul vibrațiilor și a influențelor acestora asupra unor sisteme intervine un număr mare de mărimi. Oricare dintre acestea poate fi obiectul unei măsurari, directe sau indirecte. În figura 4.9. se prezintă modul de conectare directă a senzorului de accelerație la un osciloscop de achiziție a informației.

Ațiunea mediului investigat asupra senzorului de accelerație conduce la obținerea unui semnal electric primar care trebuie analizat pentru a obține în final informații care caracterizează mișcarea oscilatorie.



Figura 4.9 Achiziția informației de la senzor

În figura 4.10 se prezintă vibrograma unei mișcări aleatoare. Axa Ox este asociată timpului t [μs] iar axa Oy este asociată amplitudinii mișcării în [mV]. Interpretarea practică a vibrogramelor depinde de tipul vibrației. Interpretarea practică a vibrogramelor este simplă în cazul mișcărilor armonice dar este dificilă și neconcludentă în cazul mișcărilor periodice complexe sau în cazul mișcărilor aliatoare. Din acest motiv a fost necesară perfecționarea tehnicilor experimentale. Analiza spectrală face parte din tehnicile experimentale utilizate.

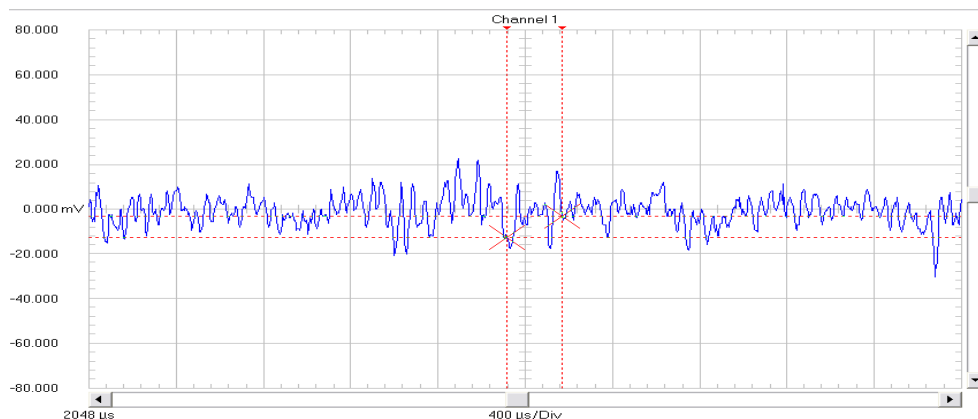


Figura 4.10 Vibrograma unei mișcări

În figura 4.11. se prezintă parametrii care descriu o mișcare oscilatorie armonică întreținută și semnificația parametrilor pentru o mișcare aliatoare.

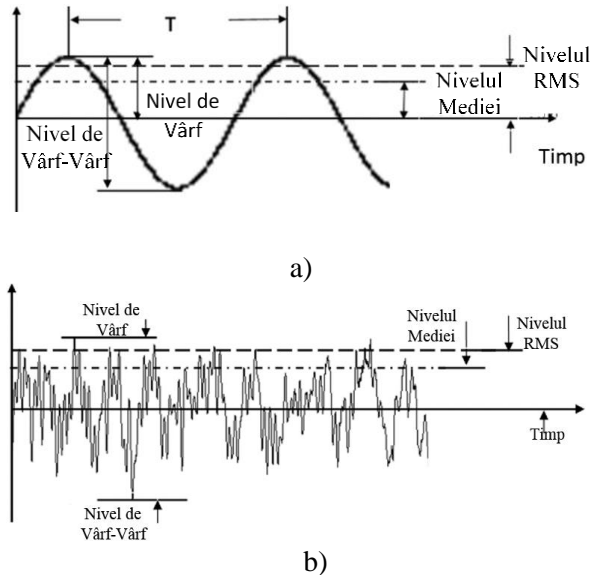


Figura 4.11 Parametrii care descriu o mișcare oscilatorie armonică și semnificația acestora

Mișcarea armonică poate fi descrisă pe baza măsurării amplitudinii, a perioadei (sau a pseudo-perioadei pentru cazul mișcării armonice argotizate) sau a frecvenței mișcării.

Amplitudinea mișcării, parametrul care descrie intensitatea vibrației, poate fi cuantificat în diverse moduri:

- *valoarea vârf-vârf (peak-to-peak)* – extensia maximă a formei de undă;
- *valoarea vârf (peak value)* – folosită pentru mișcări de scurtă durată (șocuri);
- *valoarea medie (average value)* – ia în considerare evoluția în timp a vibrației dar nu include nici o legătură cu o cantitate fizică utilizatoare;

$$x_m = \frac{1}{T} \int_0^T |x| dt \quad (4.12)$$

- *valoarea RMS (root mean square value)* - ia în considerare atât variația în timp a vibrației dar, în același timp, este și direct legată de energia distructivă a ei;

$$x_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2 dt} \quad (4.13)$$

Analiza semnalelor aliatoare a necesitat abordări suplimentare. Se consideră semnalul reprezentat în figura 4.12. Deși semnalul este aleatoriu există posibilitatea ca la două momente de timp t_1 și t_2 apropiate semnalul să aibă valori $A(t_1)$ și $A(t_2)$ apropiate

și astfel să spunem că valorile sunt corelate. Dacă valorile $A(t_1)$ și $A(t_2)$, la momentele de timp t_1 și t_2 depărtate unul de celălalt, sunt diferite atunci se poate preciza că valorile nu sunt corelate. Nivelul de corelare în funcție de timp începe la o anumită valoare și scade la o valoare redusă.

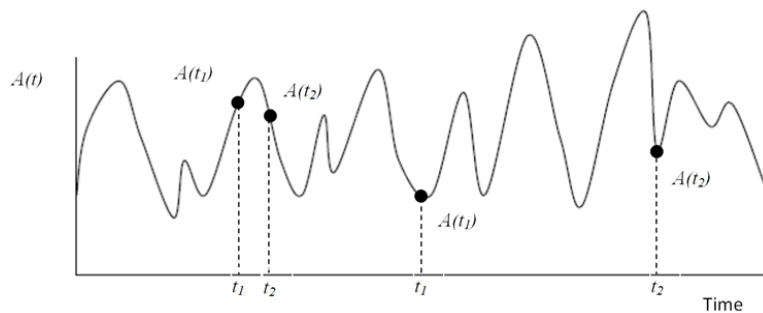


Figura 4.12 Exemplu semnal

O funcție periodică $x(t)$, dacă respectă condițiile lui Dirichlet, poate fi dezvoltată într-o serie Fourier:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i\omega_n t} \quad (4.14)$$

Unde:

$$\omega_n = n\omega_0 \quad (4.15)$$

iar coeficienții c_n sunt exprimați prin relația:

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} x(t) e^{-i\omega_n t} dt \quad (4.16)$$

Graficul $|c_n(i\omega_n)|$ prezintă *spectrul de frecvențe* al funcției $x(t)$.

Puterea medie pe o perioadă definește valoarea medie pătratică a funcției $x(t)$:

$$\overline{x^2(t)} = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} x^2(t) dt = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2 \quad (4.17)$$

Reprezentarea grafică a mărimilor $|c_n|^2$ în funcție de pulsațiile $\omega_n = n\omega_0$ se definește ca *spectrul puterii funcției* $x(t)$.

Expresia anterioară permite și o prezentare de forma:

$$\overline{x^2(t)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\frac{|c_2|^2}{\Delta\omega} \right] \Delta\omega = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(\omega_n) \Delta\omega \quad (4.18)$$

unde mărimea $S(\omega_n)$ este *densitatea spectrală de putere*.

Mărimile definite anterior reprezintă două dintre cele mai uzuale metode de analiză în frecvență a mișcărilor oscilatorii.

Un semnal aleatoriu aparține unui proces a cărui evoluție în timp este supusă legilor probabilistice.

În cazul proceselor aleatoare ergodice - valorile medii statistice sunt egale cu valorile medii temporale - funcția de autocorelație, definită pe baza funcției de corelație a unui semnal cu el însuși, este definită sub forma:

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cdot x(t - \tau) dt \quad (4.19)$$

Caracteristica în domeniul frecvență a unui semnal aleator este funcția de *densitate spectrală a puterii*, $S_{xx}(\omega)$, definită prin relația:

$$S_{xx}(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} |X_T(\omega)|^2 \quad (4.20)$$

unde $X_T(\omega)$ este transformata Fourier a semnalului $x(t)$. Acesta este o parte a semnalului aleatoriu văzut într-o fereastră de timp $[-T, T]$.

În cazul determinării experimentale a funcțiilor de corelație, durata T devine o mărime finită, care în funcție de natura semnalelor, trebuie să îndeplinească condițiile:

- este egală cu perioada T_0 a semnalului (sau kT_0 , $k \in N$) pentru un semnal periodic;
- dependenta de eroarea de estimare acceptată în cazul semnalelor aliatoare.

Legătura între caracteristica temporală $R_{xx}(\tau)$ și caracteristica frecvențială $S(\omega)$ este descrisă de teorema Wiener-Hincin. Conform acestei teoreme densitatea spectrală a mediei pătratice a unui semnal aleatoriu se definește ca transformata Fourier a funcției de auto corelație:

$$S_{xx}(\omega) = F\{R_{xx}(\tau)\} \quad (4.21)$$

$$S_{xx}(\tau) = F^{-1}\{S_{xx}(\omega)\} \quad (4.22)$$

În cazul unui proces aleator acesta se poate reprezenta ca o suprapunere a unui număr infinit de componente armonice, cu pulsații variind între $-\infty$ și $+\infty$ de amplitudini infinit mici $dc(\omega)$:

$$d|c(\omega)|^2 = |S_{xx}(\omega)|d\omega \quad (4.23)$$

Pentru $\tau = 0$, se pot scrie relațiile:

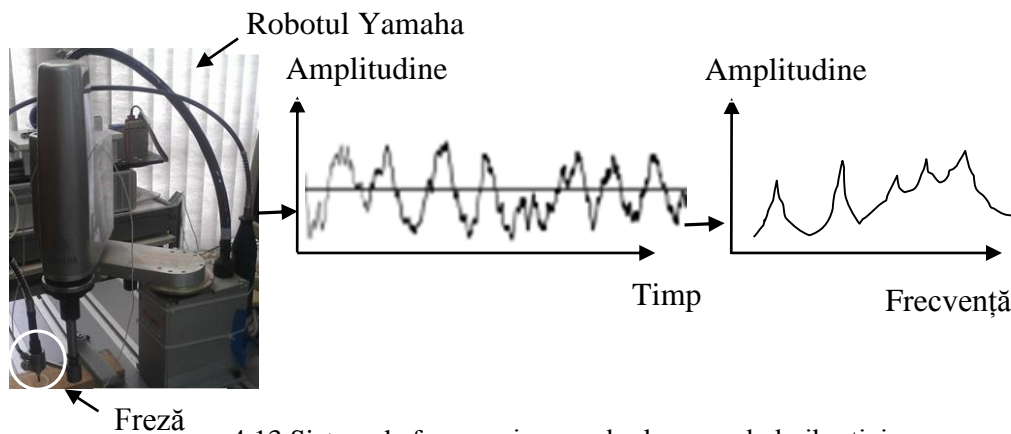
$$R_{xx}(0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2(t) dt = \overline{x^2(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(\omega) d\omega \quad (4.24)$$

Semnificația fizică a mărimilor și funcțiilor legate prin egalitățile anterioare se referă la energia pe intervalul $[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}]$, puterea medie pe durata întregului proces și respectiv densitatea spectrală a mediei pătratice.

Procedeele de determinare a densității spectrale a mediei pătratice cu ajutorul filtrării selective este cel mai răspândit [Solazzia, 11], [McKee, 14].

Sistemele de achiziție a datelor cu software adecvat de analiză dispun de facilități pentru evidențierea aspectelor enunțate anterior.

În figura 4.13. este prezentată imaginea standului dezvoltat pentru analiza vibratorie a structurii robotului Yamaha YK 400.



4.13 Sistem de frezare și exemplu de semnal al vibrației

În figura 4.14 este prezentat aspectul fizic din cadrul fenomenului analizat. Vibrațiile generate în sistemul robot – efector final (freza de lucru) sunt înregistrate în domeniul timp. Utilizând facilitățile analizei spectrale, se pun în evidență noi indicii care caracterizează semnalul aleatoriu achiziționat.

Diagrama de configurare hardware a sistemului de testare este prezentată în figura 4.11.

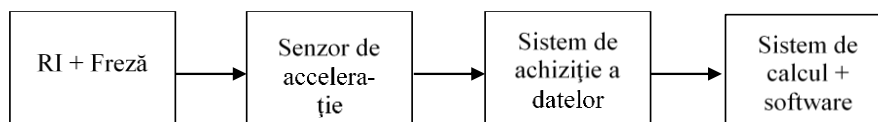


Figura 4.14 Diagrama de configurare

4.4.3 Analiza vibrației structurii mecanice pentru Yamaha YK 400 în operații de prelucrare

4.4.3.1 Standul experimental și programul de lucru

Pentru determinarea vibrațiilor induse de freza LUND fixată la capătul de lucru al robotului s-au folosit următoarele echipamente:

- mașina de frezat LUND 79314, cu posibilitatea de a schimbare a vitezei în trepte;
- Foto Tahometer MasTech digital DT-2234 [*** Tahometer DT-2234];
- placă de achiziție NI 6221-USB [***NI 6221-USB];
- senzor piezoelectric DYTRAN 3055B3 [***DYTRAN 3055B3];
- UPS UPGUARDS PRO425 [*** UPSPRO425];

iar pentru prelucrarea datelor s-au utilizat:

- placă de achiziție National Instruments (NI) 2013;
- Software Microsoft Excel 2010 și SignalExpress (National Instruments);

Echipamentele sunt din dotarea Laboratorului de Senzori și Traductoare din cadrul Departamentului de Mecatronică al Universității Politehnica Timișoara.

Pentru o corectă determinare a vibrațiilor, motoarele robotului, YK400, au fost blocate electric în poziția 0 în care brațul robotului este întins la 180°. Accelerometrul fixat pe dispozitivul port sculă al robotului, unde a fost poziționat și dispozitivul de frezare, a fost conectat printr-un cablu coaxial, la placa de achiziție NI USB6221. Conexiunea s-a realizat pe portul analogic, dv1_ai0, și conectat la PC prin portul USB, iar datele s-au prelucrat în NI SignalExpres și Microsoft Excel 2010.

Pentru alimentarea dispozitivului de prelucrare cu energie electrică, a fost utilizat un dispozitiv UPS pentru a avea o tensiune constantă la bornele dispozitivului de frezare. Au fost evitate astfel apariția variațiilor de viteză, cauzate de fluctuații ale tensiunii de alimentare, (datorate rețelei de alimentare cu energie electrică).

Pentru atingerea obiectivelor operațional, a fost inițiat un plan de analiză experimentală conform cu figura 4.15.

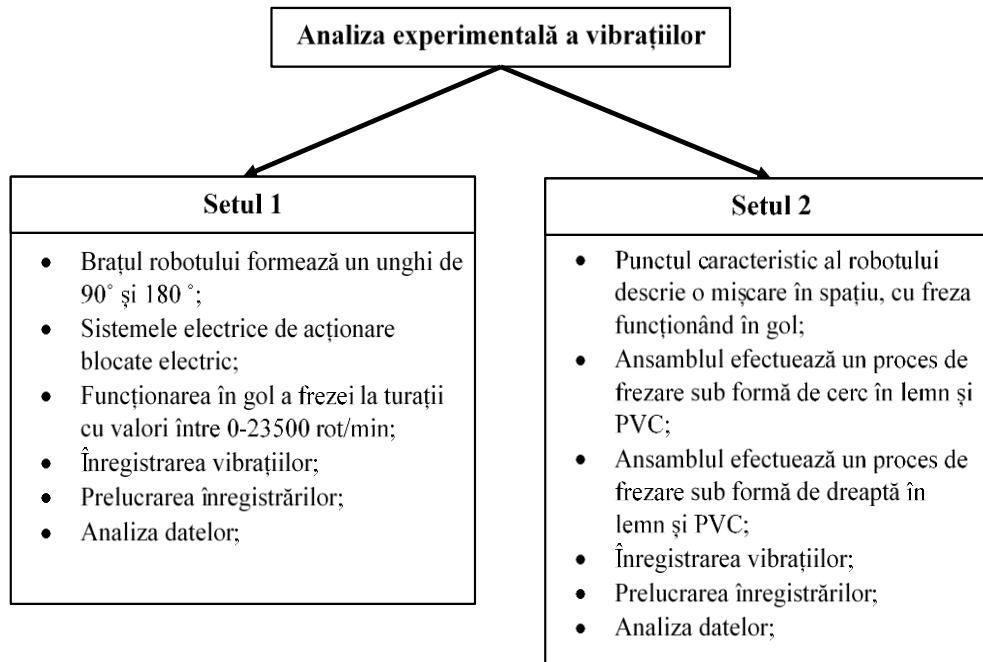


Figura 4.15 Plan de analiză experimentală

În primul set de măsurători, au fost determinate vibrațiile la diferite turații (n) ale dispozitivului de frezare montat pe robot: $n_1 = 0$, $n_2 = 5600$, $n_3 = 11200$, $n_4 = 15700$, $n_5 = 19300$, $n_6 = 21500$, $n_7 = 23500$, în poziția de echilibru a robotului atunci când robotul este întins la 180°. Vitezele au fost determinate cu tahometru digital DT2234A. Fiecare turație corespunde unei viteze din cele 6 + 1 trepte ale dispozitivului de prelucrare.

Pentru a verifica dacă există modificări semnificative ale mărimii vibrațiilor în diferite configurații structurale ale robotului, acesta a fost plasat în unghi de 90° și 180° iar măsurătorile s-au preluat la o viteză de rotație de 23500 rpm.

În cel de-al doilea set de măsurări, s-au determinat vibrațiile în timp ce robotul executa următoarele procese:

- Punctul caracteristic al robotului descrie o mișcare în spațiu;
- Ansamblul efectuează un proces de frezare sub formă de cerc în lemn de brad (fig. 4.16);
- Ansamblul efectuează un proces de frezare sub formă de cerc, în policlorură de vinil (PVC) (fig. 4.16);
- Ansamblul execută un proces de frezare, sub forma de dreapta, în lemn de brad la 23500 rpm (fig. 4.17).;
- Ansamblul execută un proces de frezare, sub forma de dreapta, în PVC (fig. 4.17).

Datele prelevate au fost înregistrate și salvate în format LVM.

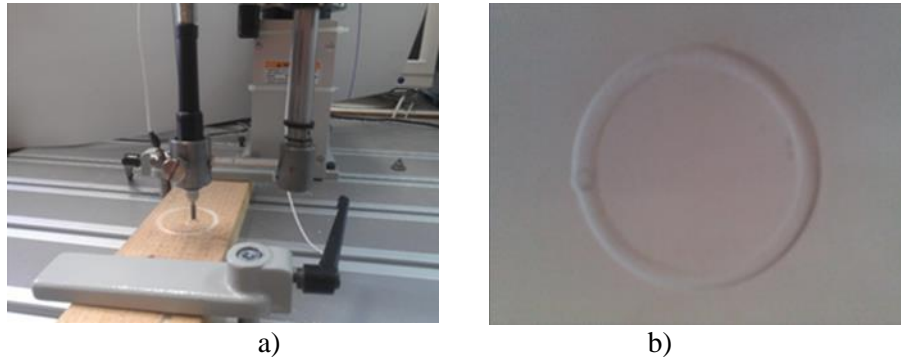


Figura 4.16 Robotul în timpul procesului de frezare și rezultatul frezării în PVC

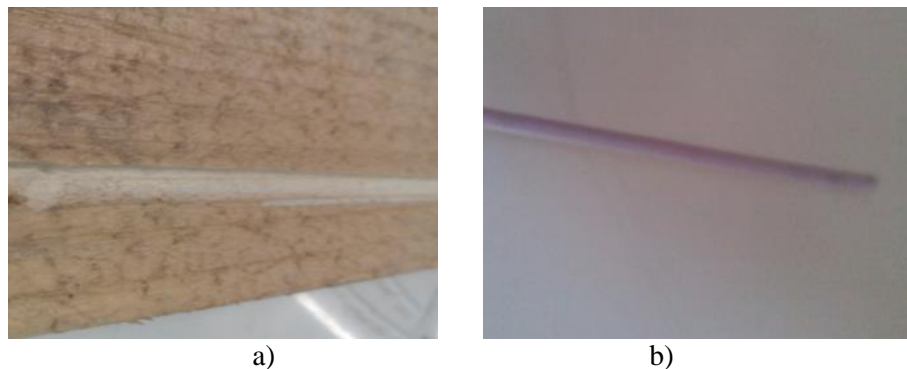


Figura 4.17 Exemplu de frezare în lemn și PVC

4.4.3.2 Prelucrarea datelor

În vederea prelucrării înregistrărilor, s-a configurat un program (*Prelucrare date LVM.seproj*) în mediul de dezvoltare NISignalExpres. Cu ajutorul căruia datele prelevate din mediu (accelerometrul DYTRAN 305583) au fost prelucrate.

Prelucrarea datelor a constat în următoarele etape:

- În primul pas a fost inserată funcția, *Load from LVM*, cu rolul de a încărca fișierele, format lvm salvate anterior;
- Pasul al 2-lea a constat în analiza spectrului de putere;
- În pasul al 3-lea s-a analizat nivelul vibrațiilor;
- În pasul al 4-lea sunt determinate date statistice (maximum, minimum, media, deviația standard, varianța, suma);
- Pasul al 5-lea, analizează nivelul amplitudini (valorile varf superior, varf inferior, varf-varf);
- În pasul al 6-lea semnalul inițial este filtrat trece jos apoi trece banda;

Toate datele, înregistrate în urma măsurărilor, au fost prelucrate conform etapelor prezentate anterior. Din multitudinea de informații prelucrate sunt prezentate cele mai exemplificative exemple.

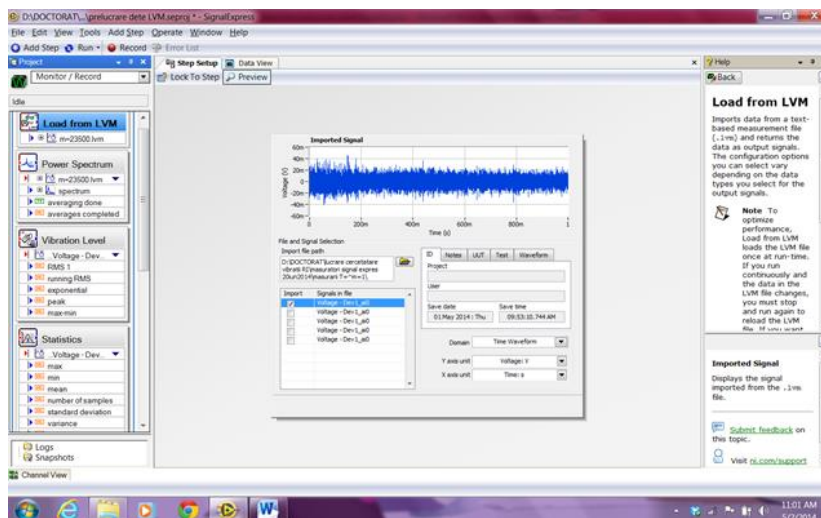


Figura 4.18 Imagine cu programul *Prelucrare date LVM*

În imaginea din figura 4.19 se poate observa grafic semnalul tensiune funcție de timp. Valoarea semnalului este de până la 1.5mV și este achiziționat pe canalul Dev1_a0.

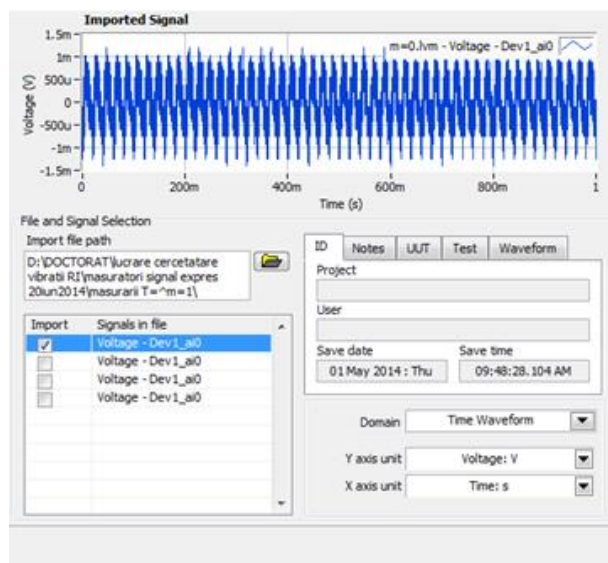


Figura 4.19 Semnal importat din fisierul m=0.lvm
corespunzator: $t=0\text{rot/min}$

În imaginea 4.19 se poate vedea graficul frecvență în funcție de magnitudine cu scala power este selectată liniar.

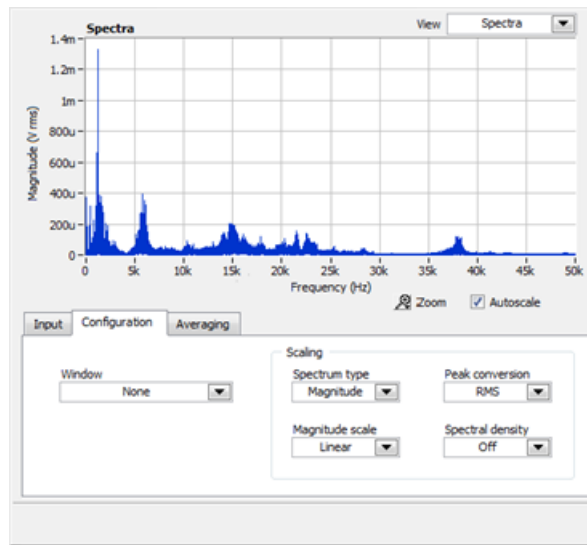


Figura 4.20 Spectrul de putere corespunzător: $t=21500\text{rot/min}$

Figura 4.21 reprezintă grafic nivelul vibrațiilor tensiune în funcție de timp fără integrare. Iar în figura 4.22 este reprezentat grafic nivelul vibrațiilor tensiune în funcție de timp cu integrare.

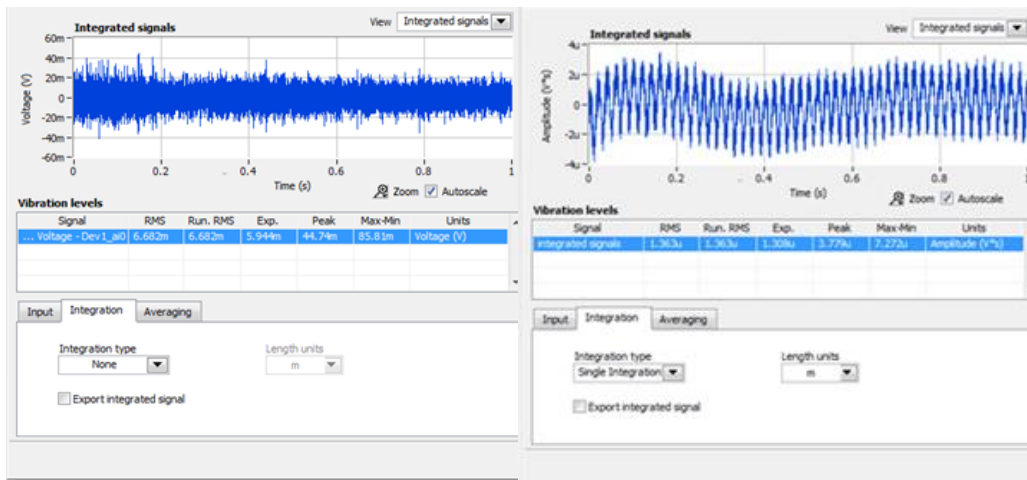


Figura 4.21 Nivelul vibrațiilor corespunzător $t=21500\text{rot/min}$

Figura 4.22 Nivelul vibrațiilor cu o integrare corespunzător $t=21500\text{rot/min}$

În figura 4.23 sunt evidențiate prelucrarea statistică a datelor corespunzătoare semnalului înregistrat $t=21500\text{rot/min}$

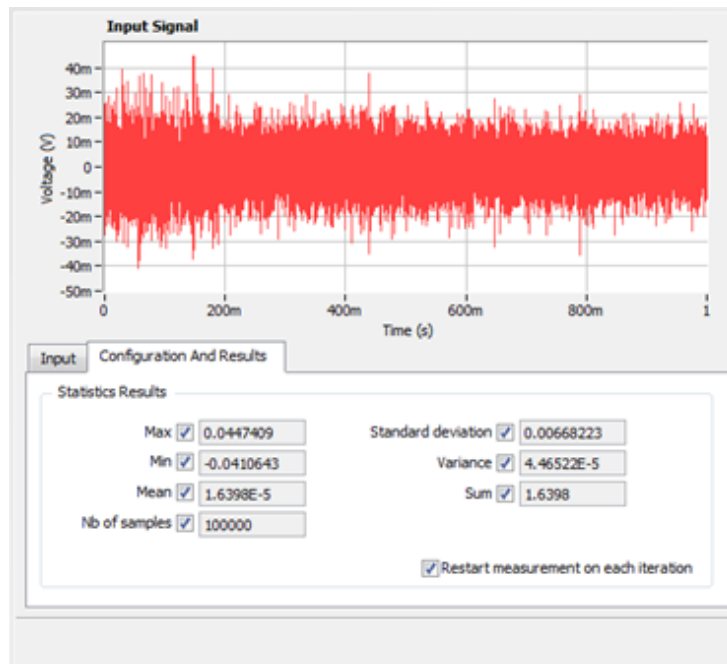


Figura 4.23 Date statistice corespunzătoare $t=21500\text{rot/min}$

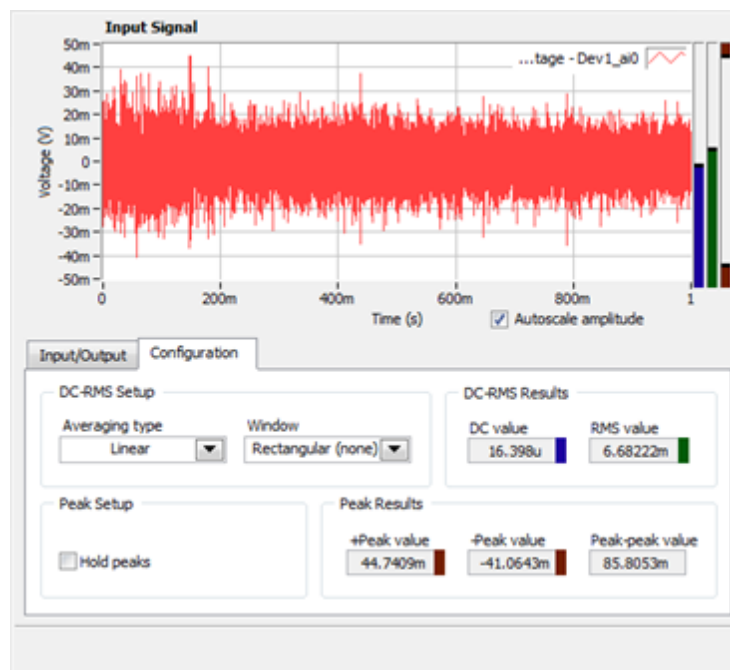


Figura 4.24 Nivelul amplitudinii corespunzătoare $t=21500\text{rot/min}$

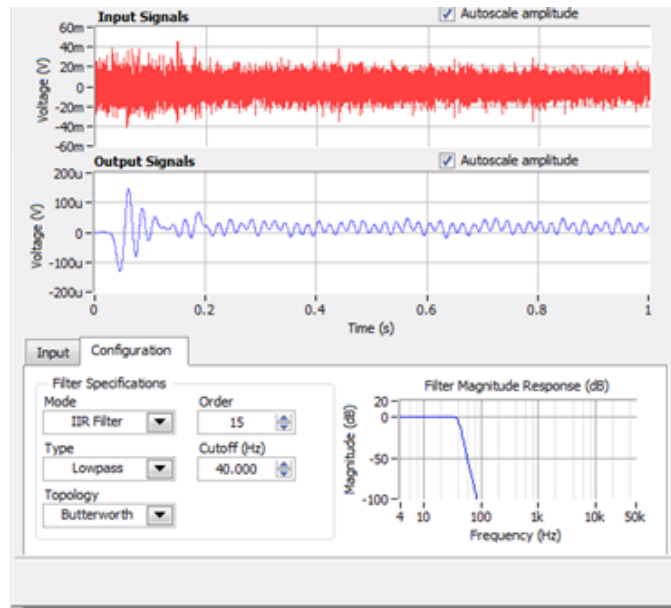
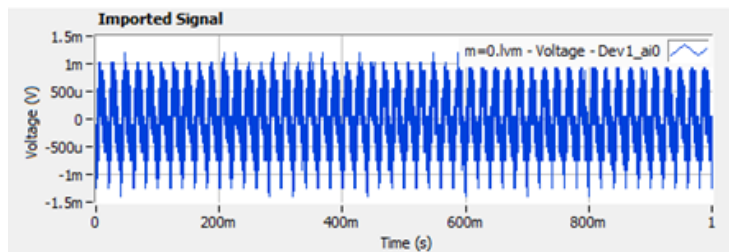


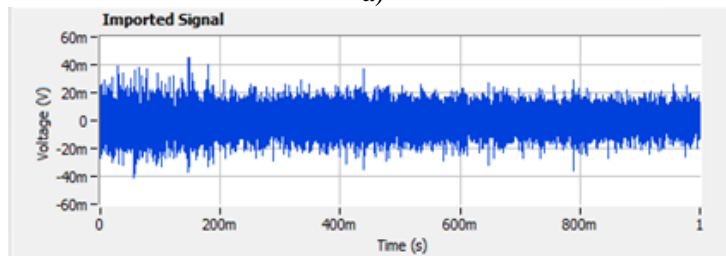
Figura 4.25 Filtru Botterworth trece jos la 40Hz și de ordine 15

4.4.3.3 Rezultate experimentale

În Fig.4.18 sunt ilustrate semnalele achiziționate pentru: $n_1 = 0$ rpm și când $n_7 = 23500$ rpm.



a)



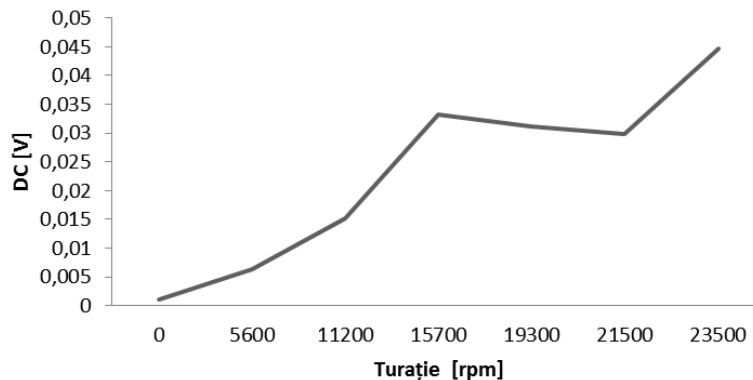
b)

Figura 4.26 Semnal achiziționat

Dependența între viteza de rotație a dispozitivului de frezat și valoarea curentului achiziționat este prezentată în figura 4.19, a), în cazul în care pe axa X este ilustrat timpul [ms] și pe axa Y este ilustrată valoarea DC [V].

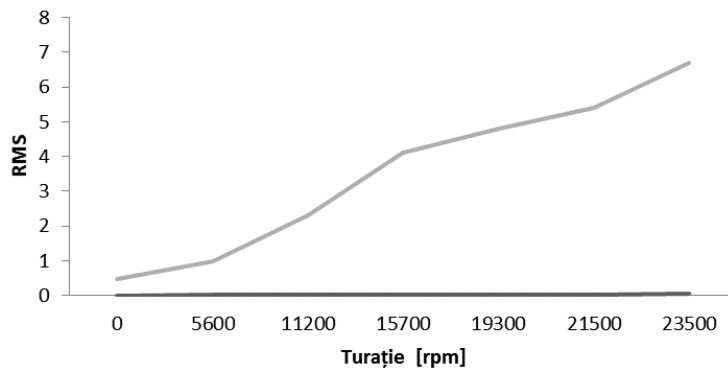
În figura 4.19 punctul b) este reprezentat raportul dintre viteza RMS și viteza de rotație, pe axa X este ilustrată viteza de revoluție în [rot/min] și pe axa Y este ilustrat RMS în [mm/s]. Putem observa corelația liniară dintre cele două grafice.

Grafic DC/Turație



a)

Grafic RMS/Turație



b)

Figura 4.27 RMS și DC în funcție de viteză

Dintr-un număr mare de eșantioane de date, măsurătorile din tabelul 4.5, tabelul 4.6 și tabelul 4.7 au fost selectate pentru a evidenția concluziile noastre.

În tabelul 4.5 sunt prezentate caracteristicile vibrației în raport cu viteza de rotație [rot/min], a dispozitivului de prelucrare, atunci când brațul robotului formează între elementele 1 și 2 un unghi de 180° în poziție de repaus cu motoarele pornite.

Tabel 4.5 Caracteristicile vibrației în raport cu viteza de rotație [rot/min]

Viteza de rotație [rot/min]	DC [mV]	RMS [mm/s]	Vârf [mm/s]	- Vârf [mm/s]	Vârf - Vârf [mm/s]
0	0.023107	0.484598	1.1907	1.3996	2.59035
5600	0.0293514	0.985747	6.37141	-4.79947	11.1709
11200	0.0131908	2.30566	15.2757	-14.999	30.2747
15700	0.017868	4.11637	33.2463	-29.084	62.3302
19300	0.0142561	4.80967	31.1416	-29.7316	60.8732
21500	0.0159059	5.3981	29.8464	-27.7888	57.6352
23500	0.016398	6.68222	44.7409	-41.0643	85.8053

În tabelul 4.6 sunt prezentate caracteristicile vibrației în raport cu materialele care au fost prelucrate, în timp ce ansamblul robot freză execută operații de frezare sub forma de cerc și linie dreaptă în lemn și PVC. Se poate observa că piesele prelucrate din PVC au un nivel mai scăzut de vibrații, în raport cu piesele prelucrate în lemn.

Tabel 4.6 Caracteristicile vibrației în raport cu materialele prelucrate

Viteza de rotație n=23500 [rot/min]	DC [mV]	RMS [mm/s]	Vârf maxim [mm/s]	Vârf minim [mm/s]	Vârf - Vârf [mm/s]
Frezare dreaptă în lemn	-458.556	924.959	530.691	-530.303	106.099
Frezare dreaptă în PVC	-117.44	357.432	312.306	-317.668	629.973
Frezare cerc în lemn	0.0212598	101.686	664.351	-750.627	141.498
Frezare cerc în PVC	164.317	744.949	486.088	-457.967	944.055

În tabelul 4.7 sunt prezentate caracteristicile vibrației în raport cu poziția punctului caracteristic astfel: Poziția 180° și n=23500 rpm, când brațul robotului este întins, iar între cele două elemente 1 și 2 ale robotului se formează un unghi de 180° cu o viteză de rotație a frezei de 23500 [rot/min]. Poziția 90° și n=23500 [rot/min], când brațul robotului formează între cele două elemente 1 și 2 ale robotului un unghi de 90° cu o viteză de rotație a frezei de 23500 [rot/min]. Iar descrierea unui pătrat, fără frezare, este atunci când punctul caracteristic al robotului descrie un pătrat în spațiul de frezare cu dispozitivul de frezare oprit.

Tabel 4.7 Caracteristicile vibrației în raport cu poziția punctului caracteristic

Poziția punctului caracteristic [rot/min]	DC [mm/s]	RMS [mm/s]	Vârf maxim [mm/s]	Vârf minim [mm/s]	Vârf - Vârf [mm/s]
Poziția 180° și n=23500	0.0429491	542.005	259.609	-285.983	545.592
Poziția 90° și n=23500	0.0259548	62.225	342.176	-319.981	662.158
Pătrat, fără frezare	0.0290551	0.806343	280.968	-301.861	582.828

Figura 4.20, evidențiază diferența dintre frezarea în linie dreaptă în lemn și PVC. și diferența dintre frezarea în forma de cerc în lemn și PVC.

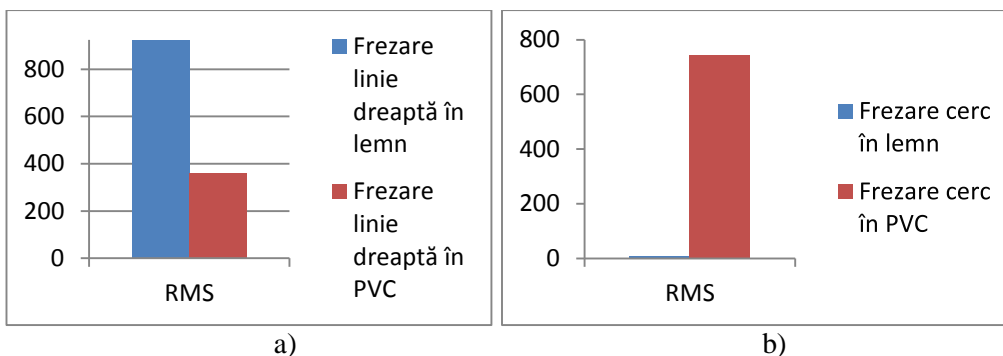


Figura 4.28 Diferențe ale RMS între frezarea în lemn și PVC

Figura 4.21 ilustrează valoarea RMS a vibrațiilor în toate cele trei poziții descrise în tabelul 4.7, poziția 1, punctul caracteristic al robotului descrie un pătrat în spațiul de lucru fără frezare, poziția 2 reprezintă, brațul robotului întins, iar între cele două elemente 1 și 2, este format un unghi de 180°, și poziția 3 reprezintă, brațul robotului când între cele două elemente 1 și 2, se formează un unghi de 180°

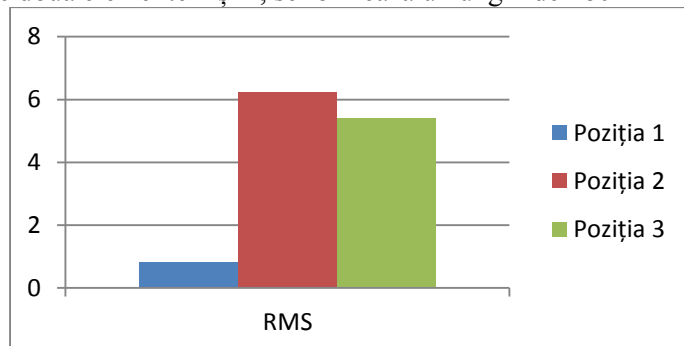


Figura 4.29 RMS în funcție de poziția punctului caracteristic

4.4.4 Concluzii

Rezultatele obținute pe parcursul analizei experimentale scot în evidență complexitatea procesului analizat. Se pot menționa următoarele:

- funcționarea în gol a frezei generează vibrații;
- materialele prelucrate influențează procesul vibratoriu înregistrat;
- dispozitivul de lucru intervine prin parametrii proprii asupra procesului vibratoriu;
- Analiza optimală a procesului tehnologic de prelucrare se impune.

4.5 Modelarea și analiza dispozitivului de fixare a echipamentului de frezat

Un rol în obținerea unui produs de calitate revine procesului de fabricație. Proiectarea produsului este efectiv îmbunătățită dacă, (inițial), sunt evaluate alternativele de proiectare existente.

Proiectarea pentru fabricație DFM (design for manufacturability) oferă o serie de recomandări referitoare la proiectarea optimală [Dolga, 2009].

În figura 4.22 sunt evidențiate etapele procesului de proiectare și etapele selectării materialelor în vederea efectuării simulărilor în mediul de lucru CREO Parametric.

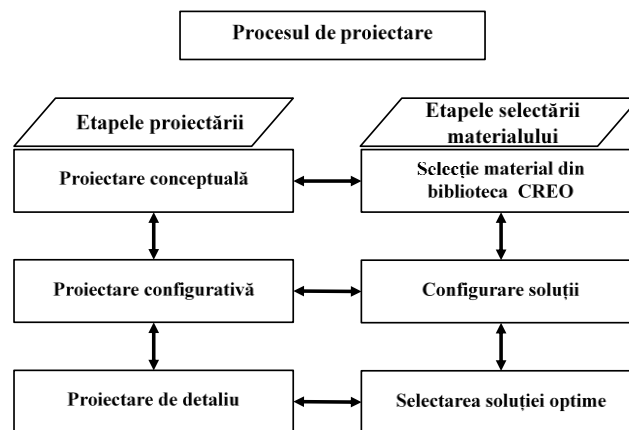


Figura 4.30 Etapele procesului de proiectare

4.5.1 Introducere

Obiectivul operațional al subcapitolului de față abordează identificarea unui dispozitiv port sculă pentru robotul Yamaha YK 400, pe care să se monteze freza LUND 79314. Selecția variantei optime s-a ales în urma analizării mai multor soluții

constructive, din punct de vedere al deformării: sub acțiunea forțelor, al momentului de inerție indus și al criteriului von Mises. Pentru a identifica cele mai bune soluții constructive s-au analizat șase modele diferite ale dispozitivului port sculă. Iar asupra acestor modele s-au efectuat teste cu ajutorul programului Creo Parametric.

4.5.2 Generalități privind analiza cu element finit

Subiectul a fost dezvoltat în a doua jumătate a secolului al 20-lea prin contribuția mai multor cercetători. FEM a fost dezvoltată inițial ca o metodă tip matrice de analiză a structurilor discrete. În cadrul FEM sunt transformate în matrici, ecuațiile algebrice liniare [Lakshmi, 2008]. FEM se bazează pe înlocuirea problemelor complicate greu de rezolvat cu altele mult mai simple. În FEM, se consideră că regiunile sunt formate din mai multe mini elemente, denumite elemente finite [Singiresu, 2004].

Criteriul Von Mises

Criteriul de plasticitate reprezintă o condiție care indică la ce nivel al tensiunii se inițiază deformații plastice. Există mai multe criterii de plasticitate, asociate cu teoriile de rezistență, care descriu condițiile de producere a curgerii în cazul metalelor și al materialelor ductile. Criteriul von Mises, al energiei de distorsiune maxime, este unul din aceste criterii.

Criteriul von Mises are la bază considerații energetice conform cărora energia de deformație se poate descompune în două părți:

- o parte este asociată variației volumului corpului;
- altă parte este asociată schimbării formei corpului;

Tensiunea echivalent sau criteriul VonMises, este direct legat de principalele trei solicitări în orice punct, și este utilizat în cadrul teoriei deplasării maxime a energiei. Această teorie consideră că un element cedează datorită distorsiunii formei și nu datorită expansiunii sau contracției [Lakshmi, 2008]. Criteriul Von Mises mai este cunoscut și sub denumirea de criteriul Huber și reprezintă o măsurare a celor 6 componente ale solicitării în 3D, [Singiresu, 2004].

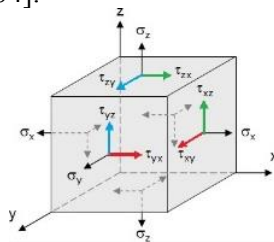


Figura 4.31 Principalele solicitări în criteriul Von Mises [*** VonMises]

Criteriul Von Mises σ_{v_m} poate fi exprimat cu ajutorul expresiei [Kurowski, 2012]:

$$\sigma_{v_m} = \sqrt{0,5[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (4.25)$$

Sau prin intermediul sollicitărilor principale:

$$\sigma_{v_m} = \sqrt{0,5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (4.26)$$

Von Mises este o mărime scalară, non negativă pentru măsurarea sollicitărilor. Este utilizată în mod uzual pentru analiza structurală a materialelor elasto-plastice. Criteriul von Mises se bazează pe teoria Mises-Hencky care afirmă că materialele ductile încep să cedeze în punctul în care σ_{v_m} este egal cu σ_{lim} .

Factorul de siguranță (FOS) în acord cu criteriul von Mises se definește prin relația [Kurowski, 2012]:

$$FOS = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{v_m}} \quad (4.27)$$

unde:

σ_{v_m} reprezintă sollicitarea echivalentă von Mises;

σ_{lim} reprezintă sollicitarea maximă.

4.5.3 Analiza și modelarea dispozitivului de fixare

Pentru determinarea unei structuri optime, a dispozitivului port sculă utilizat la fixarea efectorului final (freza de lucru), pe robotul industrial Yamaha YK 400, s-au dezvoltat în mediul virtual utilizând: CREO Parametric, 6 modele constructive. Astfel încât acest dispozitiv să confere o rigiditate și o influență din punct de vedere al inerției adecvate, ansamblului robot-freză.

Pentru fiecare din aceste modele, s-a analizat comportamentul sub acțiunea unor forțe, simultan pe axele X, Y, Z, de: 30N, 60N, 120N și 150N utilizând criteriul von Mises. Și s-a determinat gradul de deformare, pentru cele 6 modele, sub acțiunea forțelor menționate anterior. Aceste analize repetându-se pentru 3 materiale: Otel, PVC și Al., cu scopul de a identifica soluția optimă atât din punct de vedere al modelului cât și din punct de vedere al materialului utilizat.

Pentru calculul forțelor inerțiale s-au utilizat datele rezultate din analiza modelelor dezvoltate în CREO Parametric [*** Creo 3.0]. Aceste calcule sau repetat pentru toate cele 18 cazuri analizate, iar pentru o evidențiere mai sugestivă s-au realizat grafice de reprezentare.

În figura 4.25. este reprezentată metodologia de proiectare a dispozitivului port sculă, aceasta constă în parcurgerea unor etape concrete de analiză, proiectare și analize tehnice.



Figura 4.32 Metodologia de proiectare a dispozitivului port sculă

Procedura de lucru pentru determinarea soluției optime a dispozitivului de fixare a frezei pe robotul YAMAHA YK 400 este reprezentată în figura 4.26.

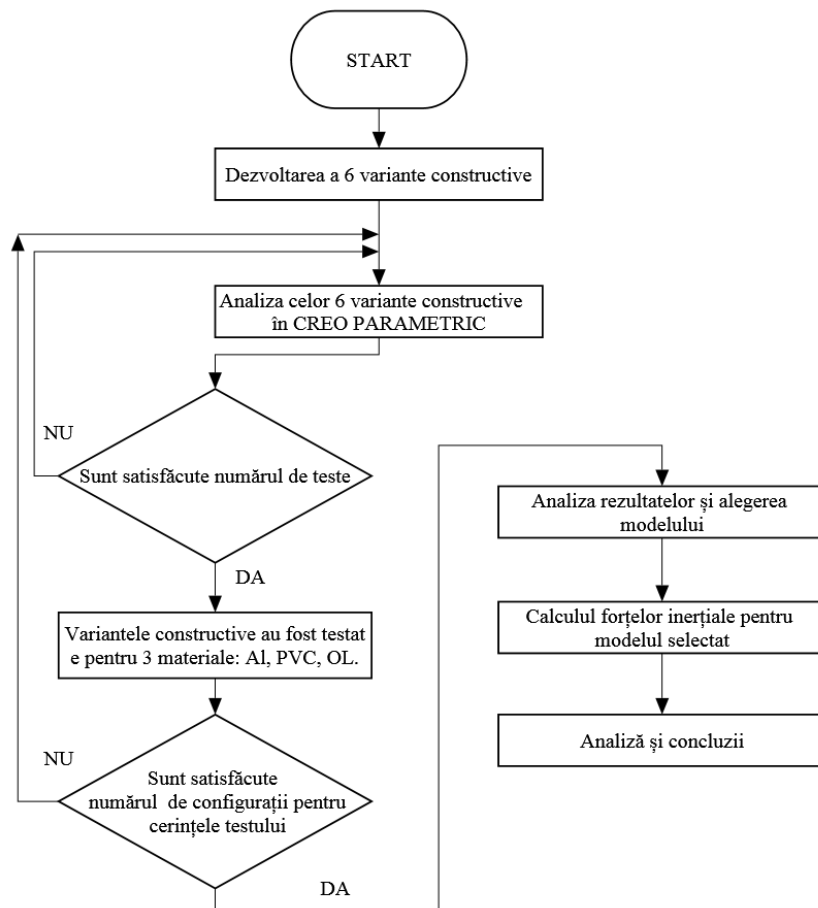


Figura 4.33 Structura logică a etapelor de lucru

Aceasta prezintă structura logică a etapelor de lucru. Primul pas este de a dezvolta 6 modele diferite în vederea testării. Cel de al doilea pas este de analiză cu ajutorul programului CREO Parametric, a modelelor de la primul pas. Dacă sunt îndeplinite numărul de teste se trece la pasul următor, dacă acestea nu sunt îndeplinite se revine la pasul numărul 2. A treia etapă constă în repetarea testelor pentru diferite materiale AL, PVC, OL. Dacă nu sunt îndeplinite condițiile se revine la pasul numărul 2; după ce sunt îndeplinite numărul de configurații dorite se trece la pasul următor ce constă în evaluarea modelelor și identificarea modelului cu cea mai mare rezistență la solicitări. În vederea evaluării s-a luat în considerare masa și volumul modelelor propuse, dar și deplasarea sub acțiunea forțelor de la pasul 3. În pasul 5, se determină tensorul de inerție pentru

modelul selectat la pasul precedent. După ce sunt îndeplinite toate etapele din procedura de lucru, se trece la ultimul pas, Evaluare și Concluzii.

În Figura 4.27 sunt reprezentate variantele constructive dezvoltate în mediul de lucru: CREO Parametric.

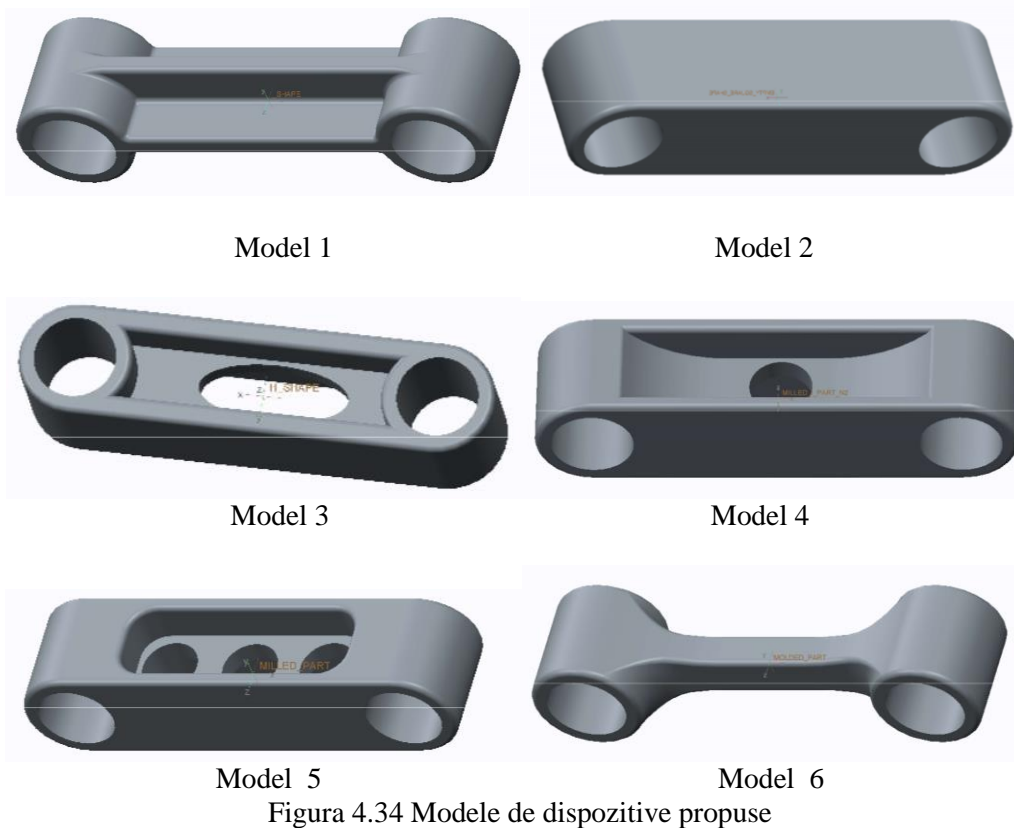


Figura 4.34 Modele de dispozitive propuse

4.5.4 Rezultate experimentale

Din analiza realizată cu ajutorul programului Creo Parametric, s-a obținut pentru soluția constructivă cu numărul 2, matricea tensorului de inerție (fig. 4.28):

$$I_{xx}: 3.97962e-03$$

$$I_{xy}: 2.57231e-08 \quad I_{yy}: 6.13108e-02$$

$$I_{xz}: 8.47480e-09 \quad I_{yz}: 5.15178e-09 \quad I_{zz}: 6.16483e-02$$

Figura 4.35 Matricea tensorului de inerție

În figura 4.29. este ilustrată simularea cu ajutorul programului CREO PARAMETRIC a modelului nr. 6, din AL și supus unei forțe de 120N pe toate cele 3 axe:

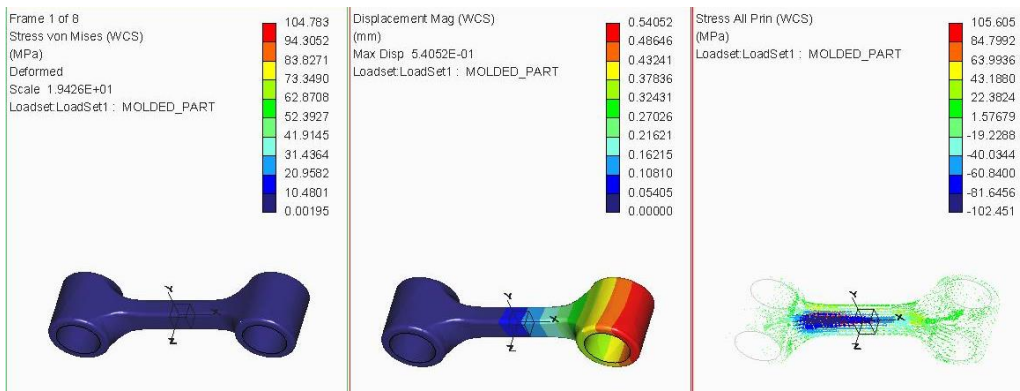


Figura 4.36 Imagine din CREO Parametric în timpul simulărilor

În tabelul 4.8 sunt evidențiate rezultatele analizei prin criteriu von Mises la diferite încărcări statice pe toate cele trei axe: x,y și z. Figura 4.30 subliniază rezultatele analizei von Mises la solicitări cuprinse între 30 N și 150 N. După cum se poate vedea din figura de mai jos, modelul 2 are rezistența la solicitări cea mai mare, iar modelul 6 rezistența la solicitări cea mai scăzută.

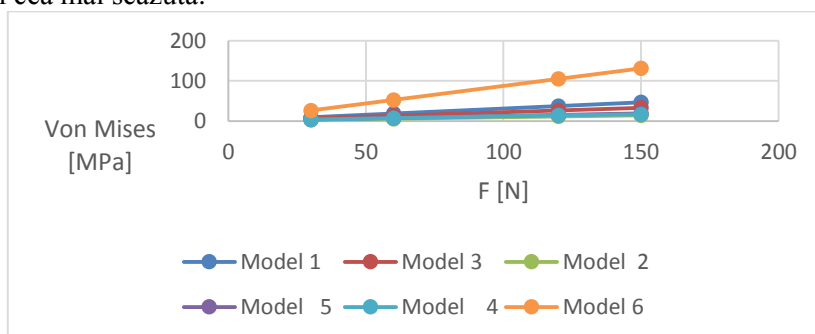


Figura 4.37 Rezultatele analizei (criteriul von Mises)

Tabel 4.8 Deplasarea față de poziția inițială

Deplasarea [mm]				
Force [N]	30	60	120	150
OL	0,04666	0,09332	0,18665	0,23331
PVC	3,08882	6,17764	12,3553	15,4441
Al	0,13513	0,27026	0,54052	0,67564

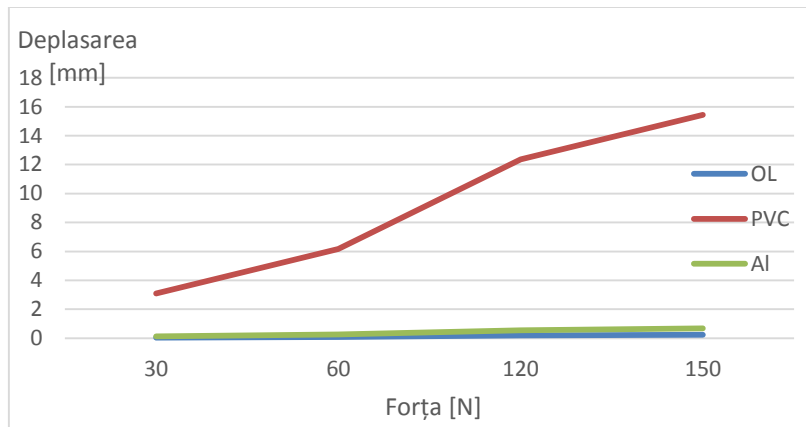


Figura 4.38 Deformarea dispozitivului sub acțiunea forței F

Tabelul 4.8. reprezintă deplasarea față de poziția inițială, sub acțiunea forțelor tehnologice, în cazul variantei constructive nr.1. Alegerea modelului prezentat s-a realizat aleator. Figura 4.31 este reprezentarea grafică a tabelului 4.8. Reprezentare pe care se poate urmări deformarea în funcție de materialul utilizat și forța la care a fost supus modelul. Se poate observa că materialele Al. și OL au o rigiditate mult superioară PVC-ului.

Tabel 4.9 Volumul modelelor propuse

Volumul / Model						
	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3	MODEL 4	MODEL 5	MODEL 6
VOLUMUL [cm ²]	23,889	36,629	30,598	28,006	29,263	23,8896

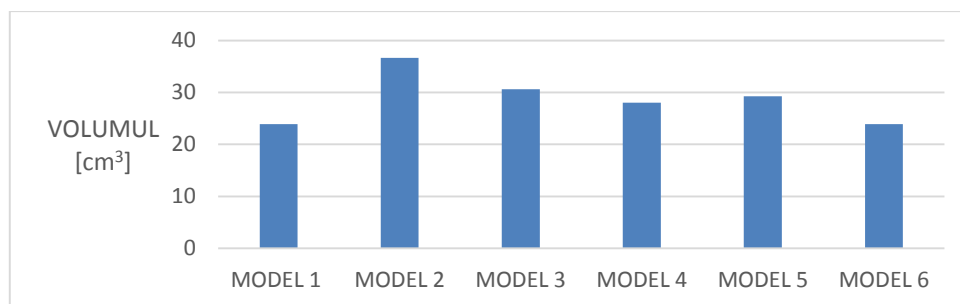


Figura 4.39 Volumul modelelor propuse

În tabelul 4.9. sunt prezentate volumele modelelor propuse. Iar figura 4.32 este reprezentarea grafică a tabelului 4.9.

4.5.5 Concluzii

În urma cercetării se pot remarca următoarele:

- alegerea modelului constructiv este criteriul esențial pentru un dispozitiv port sculă, (în cazul de față port freză);
- piesa cu factorul de siguranță cel mai ridicat este varianta constructivă cu numărul 2;
- varianta constructivă numărul 6 are factorul de siguranță cel mai scăzut;
- caracteristicile dispozitivului sunt influențate de materialul din care sunt construite, în figura 4.31 se poate observa că aliajul de aluminiu și oțelul au o rigiditate mult superioară PVC-ului;
- La o forță de 150 N modelul din PVC se deplasează 15,444 mm față de poziția inițială, iar aliajul de aluminiu și oțelul, 0,2333 mm respectiv 0,675 mm;
- Piesa confecționată din oțel are deformarea sub acțiunea forței, cea mai scăzută.

4.6 Concluzii Finale

Performanțele robotului Yamaha YK 400 sunt legate de sistemul mecanic al acestuia. În acest sens, pentru o rigiditate bună, trebuie ca elementele constructive ale acestuia să fie proiectate corespunzător. Efectorul final al robotului este o componentă vitală ce influențează rigiditatea sistemului, având un impact major asupra calității prelucrărilor mecanice. În cazul de față, modelul constructiv (designul), al dispozitivului port sculă și materialele din care este confecționat, determină viitoarele performanțe ale sistemului. Materialele, precum aluminiu și oțel au cea mai mică încovoiere sub acțiunea forțelor dar au raportul masă/volum cel mai mare.

În urma experimentelor efectuate cu robotul Yamaha YK 400, s-a confirmat rigiditatea bună a roboților SCARA. S-a constatat faptul că deformarea robotului este influențată de locul de aplicare al forței. Iar valorile deformării sunt neașteptat de mici și trebuie luate în considerare doar în cazul în care pe robot se montează un echipament cu masa mai mare de 3500g, iar precizia maximă să fie mai mare de 0,02mm.

Din punct de vedere al vibrațiilor, s-a constatat o dependență între viteza de rotație a frezei și nivelul vibrațiilor. Caracteristicile materialului de prelucrat și traiectoria punctului caracteristic sunt factori ce influențează la rândul lor parametrii vibrațiilor. Poziția brațelor robotului nu are o influență foarte mare asupra vibrațiilor induse în robot.

Ca o concluzie finală, putem afirma că robotul Yamaha YK400 poate fi utilizat în procese de prelucrare mecanică a materialelor din plastic și derivate ale acestuia cu limitarea masei echipamentului montat pe robot la maxim 3500g și o precizie de lucru de maxim 0,02mm.

5 APLICAȚII DE FREZARE ȘI LUSTRIRE

5.1 Introducere

Obiectivul operațional al capitolului constă în analiza comportamentului în procese de prelucrare mecanică a robotului Yamaha YK 400. Încă din anii 1990 au fost raportate cercetări în direcția prelucrărilor mecanice cu ajutorul roboților industriali. Cercetările în acest sens s-au axat pe diverse direcții: dezvoltarea sistemelor flexibile pentru prelucrări mecanice cu roboți industriali, generarea traiectoriei, analiza vibrațiilor, dinamica roboților și rigiditatea roboților industriali [Chen, 2013].

Capitolul de față este structurat în 3 părți: analiza Robotului Yamaha YK 400 în procese de frezare, studierea utilizării robotului Yamaha YK 400 în aplicații de lustruire și concluzii.

5.2 Generalități privind procesele de frezare

5.2.1 Introducere

În ultima perioadă s-au dezvoltat o multitudine de procese neconvenționale, de prelucrare a suprafețelor (electroeroziune, laser, ș.a.). Un rol esențial în prelucrarea suprafețelor îl constituie totuși procesul de frezare, caracterizat de precizie, dimensională și de formă ridicate, în timpul prelucrării pieselor din materiale dure și extradure, în condițiile unei productivități sporite cu consum redus de energie [Rusu, 2015].

5.2.2 Parametrii procesului de frezare

În vederea obținerii unui proces de așchiere optim trebuie să se aleagă: diametrul D al frezei, adâncimea de așchiere t , lățimea de frezare b , și viteza de așchiere v . La alegere trebuie să se țină cont de următoarele: mașina de frezat să nu fie foarte suprasolicitată, durata de viață a frezei să fie cât mai lungă, iar prelucrarea să se execute cu un consum redus de energie.

- Viteza de așchiere v : este viteza tangențială a unui tăiș la circumferința exterioară a frezei și se calculează cu relația [Bolunduț, 1999]:

$$v = \frac{\pi DN}{1000} , \quad \left[\frac{m}{min} \right] \quad (5.1)$$

Unde notațiile au următoarele semnificații:

- Avansul s

Avansul la frezare, se poate raporta la rotația frezei, la dinte sau în funcție de unitatea de timp:

- a) Avansul pe minut (s_m) reprezintă deplasarea relativă a piesei prelucrate, față de un punct oarecare de pe axa frezei, într-un minut și se exprimă în mm/min;
- b) Avansul pe rotație (s_r) reprezintă, deplasarea relativă a piesei în timpul în care freza execută o rotație completă. Avansul se calculează cu relația:

$$s_r = \frac{s_m}{1000}, \quad \left[\frac{m}{min} \right] \quad (5.2)$$

- c) Avansul pe dinte (s_d) reprezintă, deplasarea relativă a piesei prelucrate în timpul rotiri cu un unghi la centru corespunzător unui pas dintre doi dinți consecutivi ai frezei și se calculează cu relația:

$$s_d = \frac{s_r}{z}, \quad \left[\frac{mm}{dinte} \right] \quad (5.3)$$

- Adâncimea de așchiere t : reprezintă distanța dintre suprafața inițială și suprafața generată, măsurată după o direcție normală pe aceasta;
- Grosimea așchiei: reprezintă distanța dintre două suprafețe de așchiere generate de tășurile a doi dinți consecutivi;
- Lățimea așchiei: este lungimea de contact a tășului unui dinte cu piesa;

5.2.3 Forțele de așchiere

Pe parcursul operației de frezare, asupra frezei apar forțe tehnologice distribuite succesiv pe dinții aflați în contact cu materialul de prelucrat. Aceste forțe pot fi descompuse în componentele sale $F_{y1}, F_{y2}, \dots, F_{yi}$ în direcția razei frezei și $F_{z1}, F_{z2}, \dots, F_{zi}$ ce acționează tangențial la cercul exterior al frezei. Din cele două mulțimi se obține prin însumare prin metoda grafică forța radială F_y și forța tangențială F_z . Din rezultanta F a forței radiale F_y și a forței tangențiale F_z se obțin prin descompunere forța de avans F_s și forța verticală F_v .

Forța de așchiere F_z poate fi exprimată prin relația:

$$F_z = g * C * t^x * s_d^y * z * B * D^n, \quad [N] \quad (5.4)$$

unde: g reprezintă accelerația gravitațională, C coeficient ce depinde de natura materialului de prelucrat, x, y și n sunt exponenți ce depind de natura materialului și tipul constructiv al frezei, t reprezintă adâncimea de tăiere, s_d este avansul pe dinte, z reprezintă numărul de dinți ai frezei, b este lățimea frezei, iar D diametrul frezei.

Restul elementelor forței de frezare se exprimă în funcție de F_z astfel [Bolunduț, 1999]:

$$F_y = (0,3 \dots 0,4) * F_z \quad (5.5)$$

$$F_s = (1 \dots 1,2) * F_z \quad (5.6)$$

$$F_v = (0 \dots 0,2) * F_z \quad (5.7)$$

Pentru arborele principal port freză momentul de torsiune se calculează cu relația [Bolunduț, 1999]:

$$M_t = F_z * \frac{D}{2}, \quad [Nmm] \quad (5.8)$$

Puterea consumată în timpul aşchierii se poate calcula cu relația [Bolunduț, 1999]:

$$P = \frac{M_t * n}{9.550.000}, \quad [kW] \quad (5.9)$$

unde n este turația frezei de aşchiere

Puterea necesară a motorului mașini de frezat se poate obține cu ajutorul relației [Bolunduț, 1999]:

$$P_m = \frac{P}{\eta} = \frac{M_t * n}{9.550.000 * \eta}, \quad [kW] \quad (5.10)$$

unde η reprezintă randamentul motorului de acționare a frezei.

5.2.4 Prelucrarea mecanică la viteze mari (High Speed Machining)

Prelucrarea mecanică la viteze mari (High Speed Machining (HSM)), este o tehnologie de prelucrare ce țintește creșterea drastică a productivității și calității fără a crește prețul de producție, [Tu, 2014]. Prima definiția a HSM a fost dată de către Carl Salomon în 1931. Acesta considera că la viteze de 5-10 ori mai mari decât vitezele de lucru convenționale, temperatura la suprafața de contact dintre scula aşchietoare și şpan/piesă începe să scadă, [Pasco, 2002].

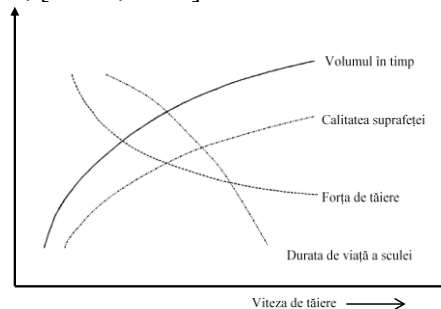


Figura 5.1 Caracteristicile generale ale HSM [Schultz, 1999]

HSM, apare când o dată cu creșterea vitezei de rotație a sculei așchietoare scad forțele de tăiere. La prelucrările mecanice convenționale forțele de tăiere cresc o dată cu creșterea vitezei de rotație a sculei așchietoare, [Hon, 2006].

$$HSM: \quad \partial \frac{F}{v_c} < 0 \quad (5.11)$$

$$Convențional: \quad \partial \frac{F}{v_c} > 0 \quad (5.12)$$

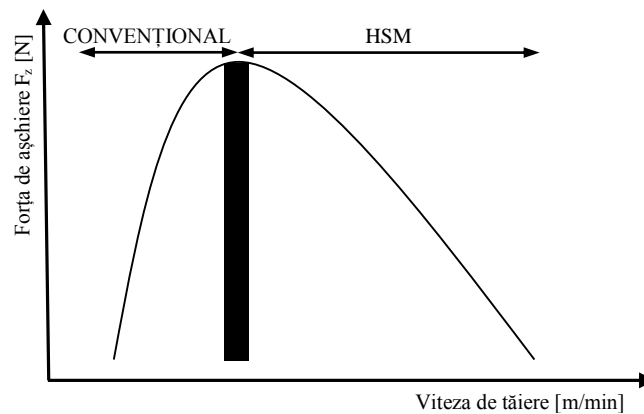


Figura 5.2 Forțele de tăiere în prelucrări mecanice [Hon, 2006].

Mativenga și Hon susțin că în HSM sunt cinci componente dinamice importante definite de relațiile [Mativenga, 2005]:

Frecvența axului:

$$f_s = N/60 \quad (5.13)$$

Frecvența de trecere a dinților:

$$f_{tp} = z f_s \quad (5.14)$$

Frecvența de rezonanță a barei pentru o viteză de rotație de 31500 rpm:

$$f_b = 3.1560 \sqrt{\frac{EI}{ml^4}} \quad (5.15)$$

Frecvența de rezonanță a tijei longitudinale:

$$f_r = \frac{\pi}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (5.16)$$

Frecvența de formare a șpanului:

$$f_c = \frac{v_c n_s}{60} \quad (5.17)$$

Semnificația notațiilor din relațiilor anterioare sunt: N viteza de rotație [rot/min]; z numărul de caneluri; E modulul de elasticitate; I al doilea moment de inerție; m masă pe unitate de lungime; ρ densitatea; v_{cf} viteza șpanului; n_s numărul de dinți pe lungime.

Utilizarea HSM, în prelucrări mecanice pentru diferite materiale este scopul diferitelor cercetări, de la aliaje de Aluminiu, ușor de tăiat, [Schulz, 2001], oțeluri speciale greu de prelucrat, [Quan,2004], [Ezuwgu, 2003] până la materiale utilizate în industria aeronautică ca aliajul de titan Ti-6Al-4V și super aliajul de nichel Inconel 718, [Fang, 2009].

5.3 Procese de frezare cu robotul Yamaha YK400

5.3.1 Introducere

Industria modernă este dependentă de roboți industriali ce pot fi utilizați într-o gamă largă de operații precum: transferul de material, asamblare, sudare și prelucrări mecanice. [Chen, 2009]. Cu toate acestea, doar 3-4% din numărul total de roboți industriali este utilizat în operații de prelucrări mecanice [Abele, 2005].

Obiectivul acestei cercetării constă în analiza experimentală a aplicației de frezare. Analiza este structurată în 3 părți: standul experimental, procedura de lucru, frezarea și analiza vibrațiilor respectiv concluzii.

5.3.2 Standul experimental și procedura de lucru

Pentru atingerea obiectivului propus, robotul Yamaha YK400 a fost integrat într-un experiment de frezare. Standul experimental este prezentat în figura 5.3.

Desfășurarea experimentului este structurată în doua părți:

În prima parte sunt desfășurate teste cu scopul de a determina capacitățile de prelucrare ale ansamblului la diferiți parametrii cum ar fi: adâncimea de frezare pentru diferite materiale, lemn de stejar, plexic, komatex, polistiren, lemn de brad.

Partea a doua a experimentului are ca scop determinarea vibrațiilor induse de ansamblul robot-freză în timpul proceselor de prelucrare prin așchiere a diferitelor materiale. Pentru realizarea acestui experiment s-a urmat procedura de lucru prezentată în figura 5.5.

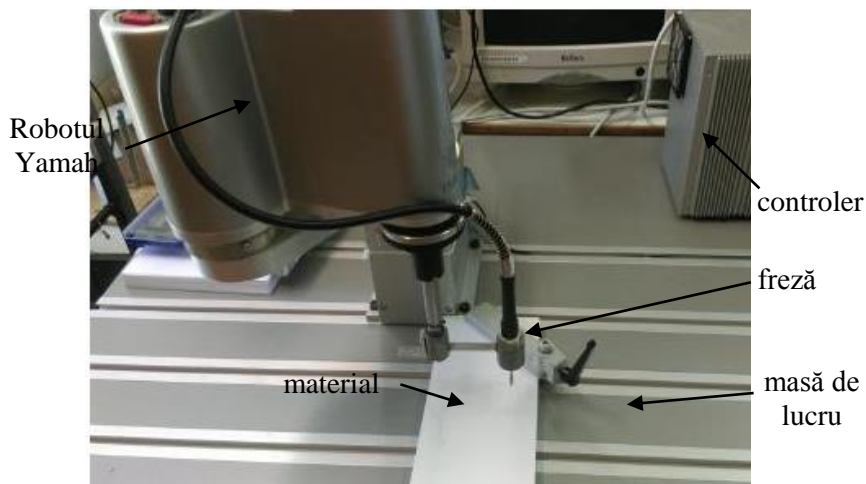


Figura 5.3 Ansamblu robot-freză în timpul procesului de frezare

Ansamblul a fost echipat cu o freză DREMEL, (fig. 5.4.), a căror caracteristici tehnice se regăsesc în anexa 5.2.



Figura 5.4 Freză DREMEL [*** Dremel]

Procedura de lucru descrie etapele procesului experimental. În prima parte a experimentului sunt alese materialele pe care se vor efectua teste (lemn de stejar, plexic, komatex, polistiren, lemn de brad), sunt concepute traiectorii de mișcare, (fig. 5.6. și 5.7.) și alegerea parametrilor de frezare. S-au ales adâncimi de frezare de: 0,1mm, 0,5mm, 1mm, 1,5mm, 2mm pentru a fi testate la o viteză de avans de 10mm/s. Au fost efectuate un număr de 4 teste aferente adâncimii de frezare pentru fiecare din materialele prezentate anterior. Datele au fost înregistrate prelucrate și analizate.

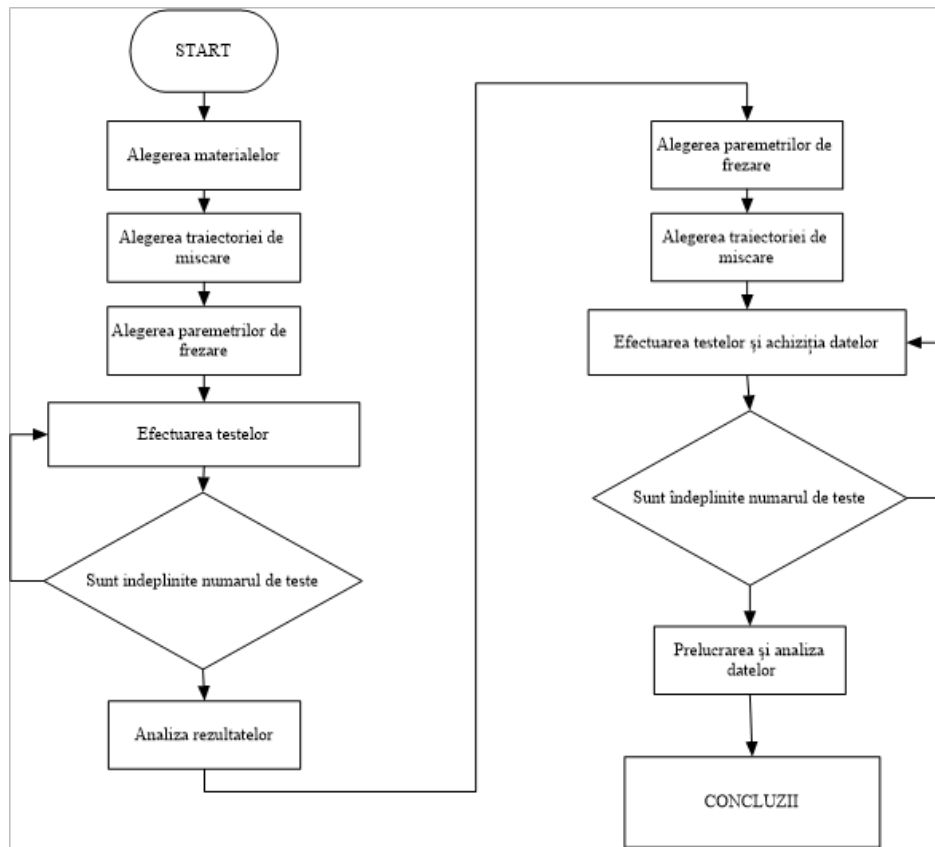


Figura 5.5. Procedura de lucru

5.3.3 Prelucrări și rezultate

În figura 5.6. este prezentată traiectoria de mișcare preconizată în primul experiment. Dintr-un punct de START punctul caracteristic parcurge o traiectorie în zig-zag cu pasul de 8 mm și amplitudinea de 50 mm. Prin frezare rezultă un canal cu parametrii geometrici din figura 5.6. b), Iar în figura 5.7. este prezentată traiectoria de mișcare pentru cea de-a doua parte a experimentului.

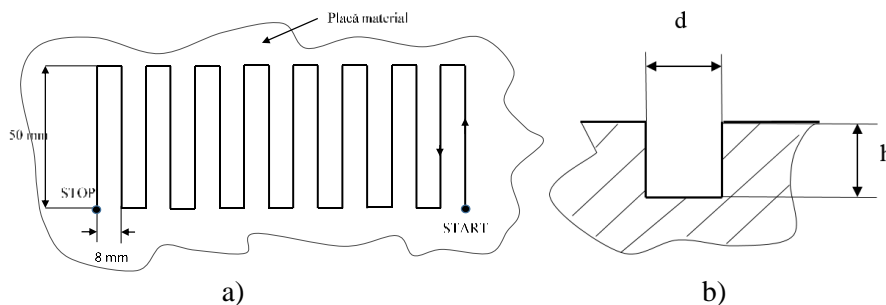


Figura 5.6 Traiectoria de mișcare etapa I

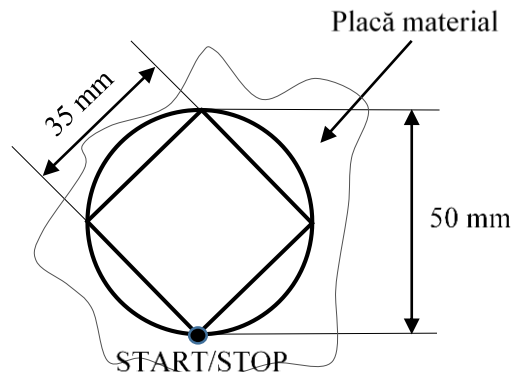


Figura 5.7 Traiectoria de mișcare etapa a II-a

În timpul procesului de frezare s-a observat că materialele plexic și lemnul de stejar sunt materiale foarte dure și sunt greu de prelucrat cu freza avută la dispoziție: adâncimea de frezare pentru plexic a fost setată la 0,1mm. În figura 5.8. sunt ilustrate imagini cu rezultatele prelucrării prin frezare pentru 3 materiale: a) plexic, b) lemn de stejar, c) lemn de brad. Se poate observa că frezarea nu este uniformă și materialul plastic se topește. Aceeași concluzie se poate trage și în cazul lemnului de stejar care la o adâncime de frezare de 0,1 mm se arde. În ambele cazuri mașina de frezat, LUND 79314, nu are suficientă forță, iar viteza de rotație a frezei se reduce drastic.



a)



b)



c)

Figura 5.8 Imagini cu materiale prelucrate prin frezare

Lemnul de brad a putut fi prelucrat până la o adâncime de frezare de 2 mm, însă după cum se poate observa pe muchiile canalului frezat sunt bavuri și rupturi de material. Deci, putem trage concluzia că lemnul de brad poate fi prelucrat cu ansamblul robot-freză la o adâncime de 2 mm cu dificultate, după o corelare a parametrilor de lucru și alegerea frezei în mod corespunzător.

Materialul komatex a putut fi prelucrat până la o adâncime de frezare de 2 mm, (fig. 5.9), însă în comparație cu lemnul de brad, suprafețele și muchiile rezultate în urma prelucrării sunt de o calitate superioară.

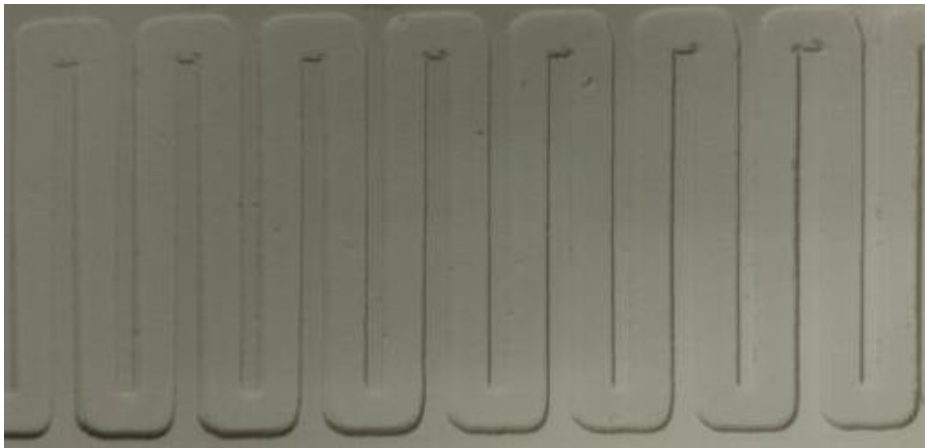


Figura 5.9 Frezare în Komatex

5.3.4 Frezarea și analiza vibrațiilor

Partea a doua a experimentului a constat în determinarea vibrațiilor induse de ansamblu robot-freză, în timpul proceselor de prelucrare prin așchiere a diferitelor materiale. Pe durata procesului de prelucrare au fost achiziționate și prelucrate, vibrogramele prin intermediul: accelerometrul DITRAN 3055B3, placa de achiziție NI USB 62221 și programul SignalExpress.

A fost utilizată aceeași procedură de lucru din figura 5.5, au fost selectați parametri de frezare cum sunt: adâncimea de frezare de 0,1 mm, 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, și viteze de frezare de la: 12 mm/s -60 mm/s. Traectoria punctului caracteristic în procesul de frezare s-a ales ca o combinație de figuri geometrice simple (cerc, pătrat) (fig. 5.7). În figura 5.10, se poate observa ansamblul robot-freză-senzor, utilizat pentru achiziția și analiza vibrației induse de ansamblul robot-freza.

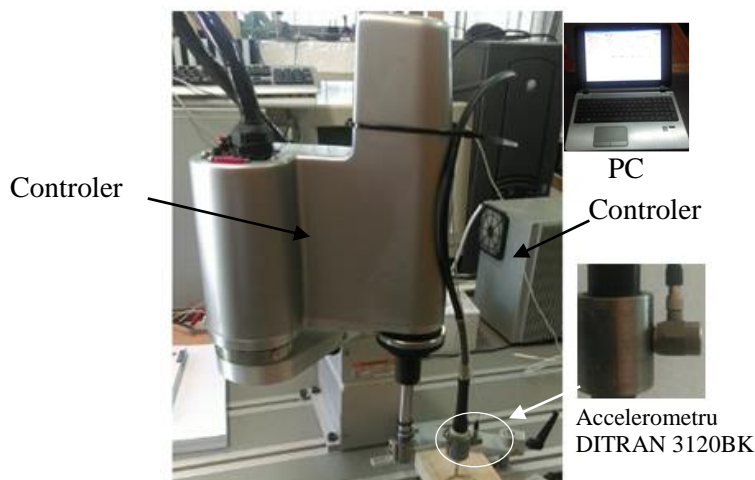


Figura 5.10 Ansamblu robot-freză-senzor în timpul procesului de frezare

Figura 5.11., ilustrează rezultatele prelucrării în timpul procesului de achiziție a vibrațiilor, traectoria descrisă fiind un cerc și un pătrat înscris în cerc. Materialele prelucrate sunt de la stânga la dreapta: polistiren a), komatex b) și lemn de brad c).

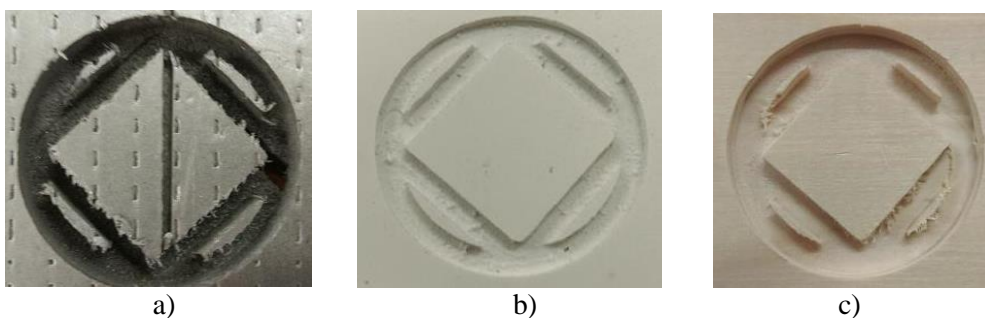


Figura 5.11 Imagini cu rezultatele prelucrării mecanice

În figura 5.12, este prezentată interfața programului de achiziție și prelucrare date, NI SignallExpress, în timpul frezării în komatex. Traectoria descrisă a corespuns unui pătrat cu latura de 35 mm înscris întrun cerc cu diametrul de aproximativ 50 mm. Se pot observa setările programului pentru achiziția de date și graficul vibrației pentru viteza de avans de 24 mm/s. Modul de calcul al mediei a fost setat liniar. Semnificația noțiunilor

și a notațiilor este cea prezentată în capitolul 4. În imagine se poate observa valoarea RMS.

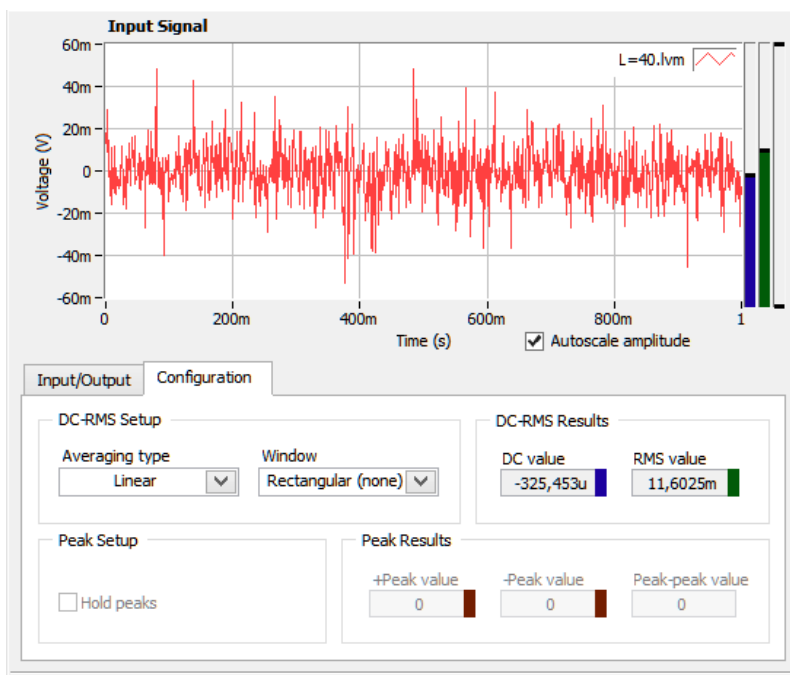


Figura 5.12 Vibrograma din procesul de frezare în komatex

În tabelul 5.1, sunt prezentate caracteristici ale vibrației la frezarea unui cerc în polistiren în raport cu viteza de avans și adâncimea de frezare.

Tabel 5.1 Caracteristicile vibrației la frezarea unui cerc în polistiren

Viteza de avans [mm/s]	Rădăcina medie pătratică RMS Adâncimea de frezare [mm]				
	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0
12	10,1284m	11,0747m	12,3065m	10,6279m	11,0235m
24	10,1510m	11,5007m	12,134m	11,1056m	11,3806m
36	10,2882m	11,8904m	11,7738m	11,8127m	12,5549m
48	10,7903m	11,1007m	10,7447m	10,885m	14,054m
60	10,8963m	11,2211m	11,8975m	12,2225m	13,4747m

În figura 5.13, este reprezentată grafic rădăcina medie pătratică în funcție de adâncimea de frezare și viteza de avans pentru traiectoria cerc în polistiren. După cum se poate observa, axa x reprezintă adâncimea de frezare de la 0,1 mm - 2 mm. Iar pe axa y, sunt indicate valorile vitezei de avans a frezei în timpul prelucrării, la viteze cu valori

între 12 – 60 mm/s. Pe axa z sunt trecute valorile rădăcinii medii pătratice în raport cu viteza de avans și adâncimea de frezare. Se poate observa relația de proporționalitate dintre viteza de avans și valoarea rădăcinii mediei pătratice, și faptul că, la adâncimi de frezare de 0,1 mm, viteza de avans nu influențează considerabil valoarea rădăcinii medii pătratice. Odată cu creșterea adâncimii de frezare, influența vitezei de avans asupra rădăcinii medii pătratice crește.

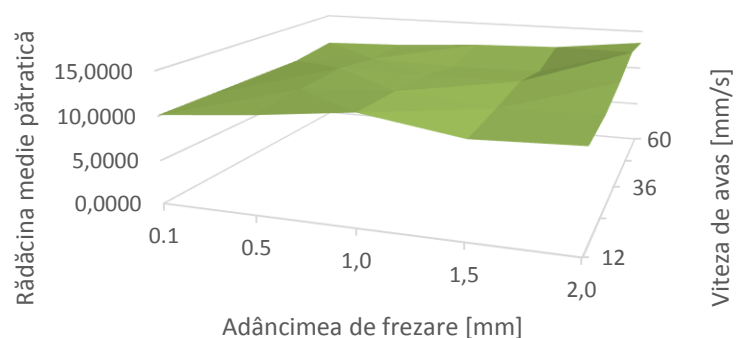


Figura 5.13 RMS pentru traiectoria cerc în polistiren

În tabelul 5.2, sunt prezentate caracteristici ale vibrației la frezarea unui cerc în polistiren în raport cu viteza de avans și adâncimea de frezare

Tabel 5.2 Caracteristicile vibrației la frezarea unui pătrat în polistiren

Viteza de avans [mm/s]	Rădăcina medie pătratică RMS Adâncimea de frezare [mm]				
	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0
12	9,69556m	11,1934m	10,5753m	10,0248m	11,332m
24	10,2882m	10,7588m	12,4676m	10,7578m	12,2107m
36	10,7409m	11,2711m	12,2173m	11,0901m	13,2137m
48	10,4432m	11,6374m	11,6985m	11,1106m	13,657m
60	10,9205m	11,5901m	12,1255m	11,4781m	13,2674m

În figura 5.14, este reprezentată grafic rădăcina medie pătratică în funcție de adâncimea de frezare și viteza de avans pentru traiectoria pătrat în polistiren. Ca și în cazul frazării unui cerc și frzarea unui patrat în polistiren, creșterea adâncimii de frezare, și viteza de avans influențează rădăcina medie pătratică.

În tabelul 5.3 și 5.4, sunt prezentate caracteristici ale vibrației la frezarea unui cerc respectiv pătrat, în polistiren în raport cu viteza de avans și adâncimea de frezare

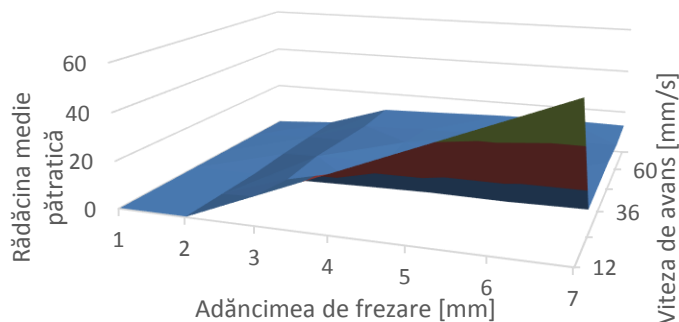


Figura 5.14 RMS pentru traiectoria pătrat în polistiren

Tabel 5.3 Caracteristicile vibrației la frezarea unui cerc în komatex

Viteza de avans [mm/s]	Rădăcina medie pătratică RMS Adâncimea de frezare [mm]				
	0,1	0,5	1	1,5	2
12	11,8288m	11,7999m	8,92611m	6,37233m	8,27645m
24	10,7472m	9,83962m	8,88418m	7,88885m	10,2391m
36	10,6931m	8,19084m	9,4479m		
48	11,2408m	8,62646m	9,71365m		
60	12,3781m	8,26082m			

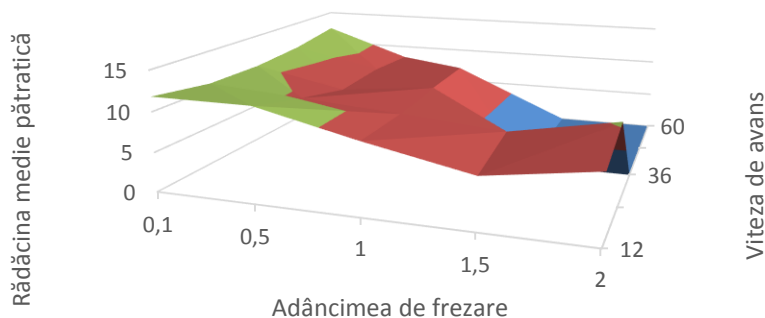


Figura 5.15 RMS pentru traiectoria cerc în komatex

În figura 5.14, este ilustrată valoarea vibrației, RMS, în funcție de adâncimea de frezare și viteza de avans pentru traiectoria pătrat în komatex. Iar în figura 5.15, este ilustrată valoarea vibrației, RMS, în funcție de adâncimea de frezare și viteza de avans pentru traiectoria cerc în komatex. Se poate observa scăderea vibrațiilor o dată cu creșterea adâncimii de frezare. Alături de polistiren, komatex-ul este materialul care poate fi prelucrat până la adâncimi de 2 mm, cu ansamblul robot-freză.

Tabel 5.4 Caracteristicile vibrației la frezarea unui pătrat în komatex

Viteza de avans [mm/s]	Rădăcina medie pătratică RMS Adâncimea de frezare [mm]				
	0,10	0,50	1,00	1,50	2,00
12	12,9702m	9,14865m	7,68611m	7,53622m	9,03497m
24	14,6097m	7,91913m	9,55536m	9,65856m	11,6025m
36	11,3251m	8,93836m	9,41229m		
48	11,1981m	7,87366m	9,22536m		
60	10,7489m	8,31616m			

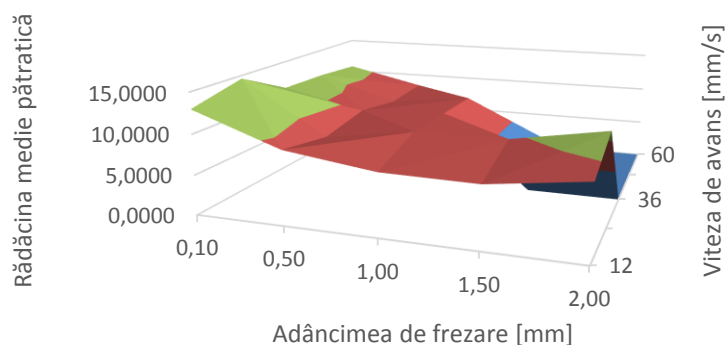


Figura 5.16 RMS pentru traiectoria pătrat în komatex

În tabelul 5.5 și 5.6, sunt prezentate caracteristici ale vibrației la frezarea unui cerc respectiv pătrat, în lemn de brad în raport cu viteza de avans și adâncimea de frezare

Tabel 5.5 Caracteristicile vibrației la frezarea unui cerc în lemn brad

Viteza de avans [mm/s]	Rădăcina medie pătratică RMS Adâncimea de frezare [mm]	
	0,1	0,5
12	11,1586m	9,44332m
24	10,3254m	10,6769m
36	10,3783m	11,1732m
48	10,4207m	10,2236m
60	10,6053m	10,1623m

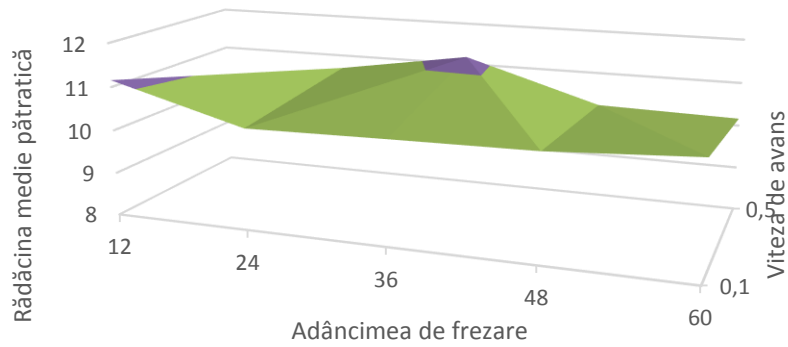


Figura 5.17 RMS pentru traiectoria cerc în lemn de brad

Tabel 5.6 Caracteristicile vibrației la frezarea unui pătrat în lemn brad

Viteza de avans [mm/s]	Rădăcina medie pătratică RMS Adâncimea de frezare [mm]	
	0,1	0,5
12	11,0507m	9,36067m
24	10,8208m	10,6216m
36	10,9276m	8,50398m
48	10,5644m	11,257m
60	9,85189m	9,46618m

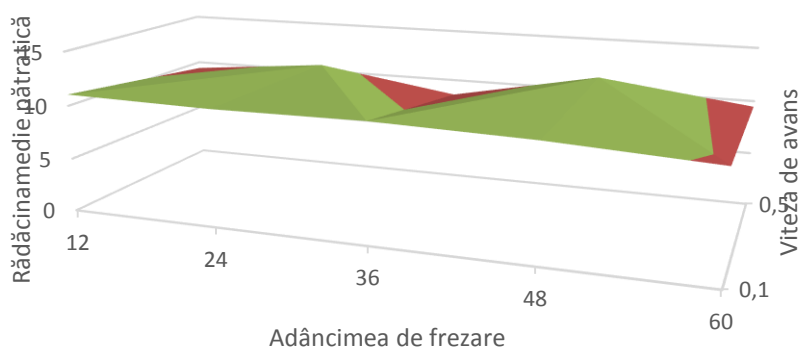


Figura 5.18 RMS pentru traiectoria pătrat în lemn de brad

În cazul experimentelor de frezare realizate, pe lemn de brad, se poate observa că valoarea vibrațiilor scade proporțional cu creșterea vitezei de avans și a adâncimii de frezare. Adâncimea maximă de frezare în cazul lemnului de brad este de 0,5 mm. Limitările sunt determinate de caracteristicile tehnice ale motorului mașinii de frezat, LUND79314, cu care s-a echipat robotul.

5.3.5 Concluzii

În urma analizei experimentale efectuate se poate considera că obiectivul operațional a fost atins.

Se pot menționa și următoarele concluzii:

- Valoarea rădăcinii medii pătratice a vibrației ansamblului robot freză este influențată de: materialul de prelucrat, traiectoria de prelucrare, adâncimea de frezare și viteza de avans.
- În cazul polistirenului valorile vibrației cresc o dată cu creșterea vitezei de avans și a adâncimii de frezare.
- Vibrațiile în timpul procesului de prelucrare a lemnului de brad și a komatex-ului au o tendință de scădere, odată cu creșterea adâncimii de frezare. Se poate trage concluzia că în cazul ansamblului robot freză, nivelul vibrațiilor scade odată cu creșterea durtății materialelor

5.4 Aplicații de lustruire cu Robotul Yamaha YK 400

5.4.1 Introducere

Utilizarea pe scară largă a produselor din plastic a condus la creșterea cererii de matrițe, pentru injectat material plastic. Generând apariția unei cereri din ce în ce mai ridicate, pentru suprafețe tip oglindă a acestor matrițe. Cel mai înalt nivel de finisare este necesar la producerea lentilelor. În general, suprafețele finisate ajută la: ejecția mai ușoară a materialului plastic, reduc riscul de apariție al coroziunii locale și reduce riscul apariției fracturilor și crăpăturilor datorate supraîncărcării sau oboselii. Astfel, calitatea suprafețelor a devenit foarte importantă în construcția matrițelor. Principalele metode de finisare a suprafețelor sunt: lustruirea mecanică, lustruirea chimică, lustruirea electrolică, lustruirea ultrasonică, lustruirea fluidă și lustruirea magnetică [*** lustruire].

Lustruirea mecanică constă în finisarea prin tăiere și îndepărtarea proeminențelor pentru a obține o suprafață netedă. Această metodă constă în utilizarea de pietre de polizor, hârtie abrazivă, lâna și altele. Pentru realizarea suprafețelor lustruite cu o precizie ridicată se utilizează soluții abrazive speciale. Pasta abrazivă este apăsată pe suprafața piesei de prelucrat pentru a obține suprafețe cu o calitate superioară. Prin această tehnică se pot obține suprafețe cu o rugozitate de $Ra=0,008\mu m$. Această rugozitate este adesea utilizată la producerea de matrițe pentru lentile [*** lustruire].

Obiectivul acestei cercetări constă în analiza experimentală a aplicației de lustruire. Analiza este structurată în 3 părți: Generalități privind operațiile de șlefuire,

Analiza posibilității de utilizare a Robotul YK400 în aplicații de lustruire, Rezultate experimentale și Concluzii.

5.4.2 Generalități privind operațiile de șlefuire.

În literatura de specialitate, măsurarea și cuantificarea îndepărtării de material prin șlefuire mecanică este reprezentată de rata de îndepărtare de material (RIM). Cele două abordări ale RIM sunt: modelul analitic și modelul experimental [Guiot, 2012].

Modelul analitic apreciază RIM din punct de vedere al caracteristicilor materialului, forma suprafeței și condițiile de operare. Cel mai des întâlnim această abordare în electronică, la șlefuirea wafere-lor. Această metodă nu este un model pentru prelucrarea mecanică a pieselor [Guiot, 2012].

Preston a descris pentru prima dată procesul de îndepărtare de material dz în orice punct, între două materiale având mișcare relativă între ele și păstrate în contact cu o forță F în dependență cu viteza relativă v_r și presiunea p aplicată în acel moment [Brecher, 2010].

$$dz = \int k * p * v_r dt \quad (5.18)$$

$$dz = k * p * \int v_r dt \quad (5.19)$$

Factorul Preston, k , este o constantă ce descrie multitudinea de factori tribo-chimici ce caracterizează procesul respectiv [Brecher, 2010].

Printre cele mai utilizate echipamente pentru lustruirea suprafețelor se află hârtia abrazivă și pastele cu diamant în suspensie. Hârtia abrazivă a apărut în China în secolul al XIII-lea și era realizată din cochilii de scoici, nisip și semințe tari lipite pe un suport de pergament. Astăzi hârtia abrazivă se produce într-o gama largă, materialele de bază fiind foarte diversificate, [*** hârtie abrazivă].

Pastele cu diamant în suspensie au apărut acum aproape 50 de ani și reprezintă una din cele mai mari descoperiri în pregătirea mostrelor în metalografie. Calitatea acestora este dată de rata de îndepărtare de material, dar și de timpul de întărire și menținerea culorii pastei. O pastă diamantată de calitate conține 10-15% diamante în suspensie. În unele aplicații, diamantele sintetice pot fi mult superioare diamantelor naturale, datorită numărului mai mare de muchii. Diamantele naturale se scindează de-a lungul planurilor cristalografice. Diamantele sintetice pot fi mono sau policristaline, cele policristaline având mai multe muchii de tăiere decât cele mono cristaline.

5.4.3 Analiza posibilității de utilizare a robotului YK400 în aplicații de lustruire

Scopul acestei analize este de a demonstra posibilitatea utilizării robotului Yamaha YK 400 în aplicații de lustruire a matrițelor, utilizate în operații de injecție mase plastice. Pentru analiza posibilității de utilizare a Robotul YK400 în aplicații de lustruire, s-a conceput un experiment ce presupune șlefuirea a 4 mostre din OL52 (S355). Mostrele

au fost debitate dintr-o bară de profil rotund cu diametrul de 49 mm, prin strunjire. Rezultatul procesului sunt plăcuțe rotunde cu diametrul de 49 mm și grosime de 5 mm.

După cum se poate observa în figura 5.15. suprafața piesei prezintă urme vizibile de prelucrare.



Figura 5.19 Mostră în urma operației de debitare prin strunjire

Datorită calității scăzute a suprafeței mostrelor, procesul de lustruire a fost împărțit în două etape:

- În etapa I, s-a utilizat ansamblul pentru îndepărtarea grosieră de material și îmbunătățirea calității suprafețelor cu ajutorul hârtiei abrazive.
- În etapa a II-a, s-a utilizat pâslă și pastă diamantată pentru a ajunge la calitatea dorită a suprafețelor (tip oglindă).

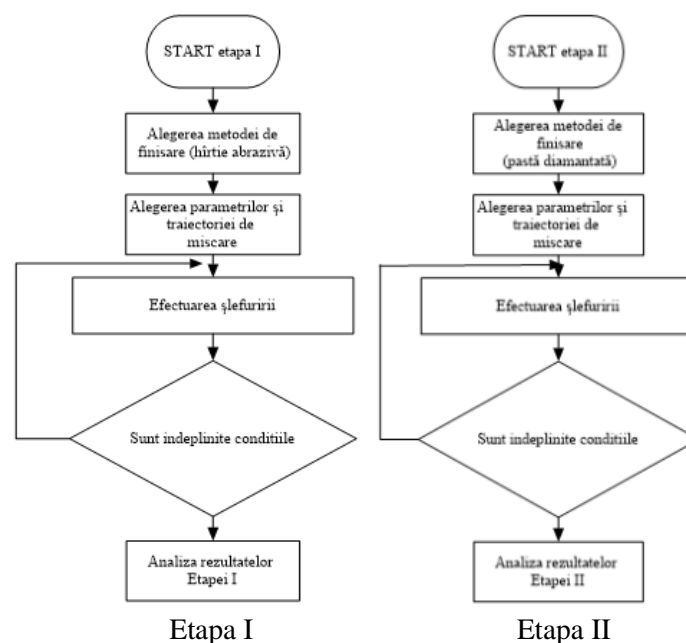


Figura 5.20 Procedura de lucru

În figura 5.16. sunt reprezentate grafic procedurile de lucru pentru cele două etape ale experimentului. Etapa I începe cu alegerea metodei de finisare grosieră urmată de alegerea parametrilor finisării și a traiectoriilor de mișcare, după care se începe șlefuirea propriu zisă, până la îndeplinirea condițiilor de calitate. Etapa I se încheie printr-o analiză a calității suprafeței. Etapa a II-a este similară din punct de vedere metodologic cu etapa I, cu mențiunea că metoda utilizată și parametri aleși sunt modificați. S-a înlocuit hârtia abrazivă cu pastă diamantată.

5.4.3.1 Descrierea standului experimental:

Pentru etapa I, s-a dezvoltat un stand de lucru în jurul robotului Yamaha YK400. Acestuia i s-a atașat un dispozitiv port sculă, prevăzut cu un magnet pentru fixarea piesei metalice de prelucrat. Robotul a fost programat să efectueze mișcări în plan, deasupra hârtiei abrazive lipită pe o placa din lemn de brad. S-a ales suportul din lemn de brad pentru ca acesta să nu afecteze suprafețele pieselor.

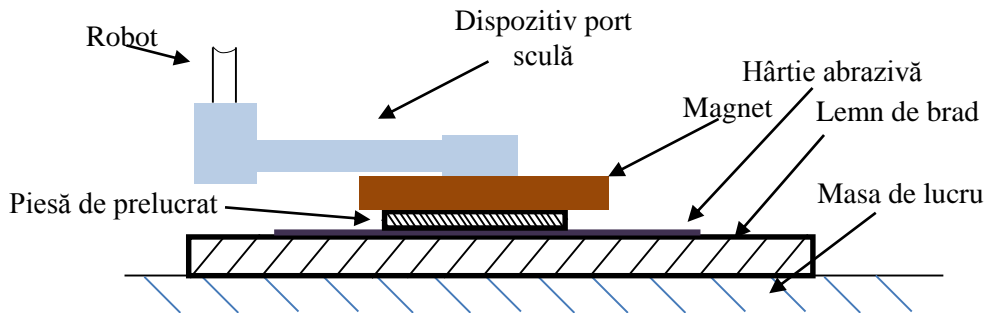


Figura 5.21 Ansamblu stand experimental 1

Pentru cea de a II-a etapă, figura 5.18., s-a utilizat un dispozitiv port freză. În mașina de frezat s-a fixat un cilindru de șlefuit tip A, figura 5.19., care a urmat o traiectorie în formă de spirală la o înălțime de 0,8 mm față de suprafața de șlefuit.

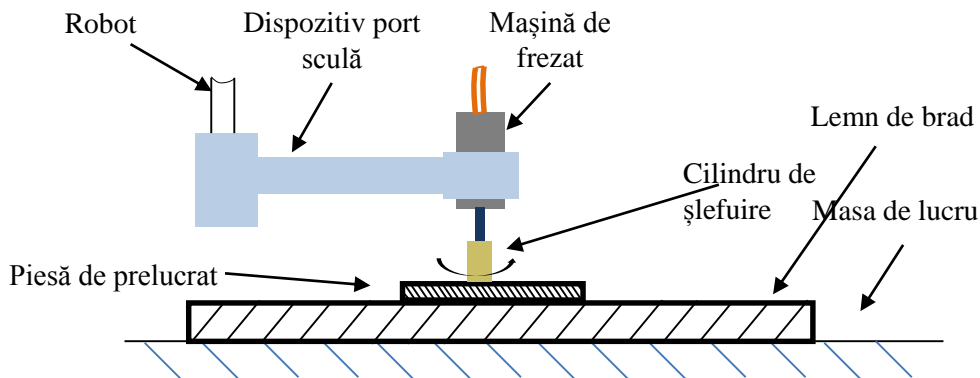


Figura 5.22 Ansamblu stand experimental 2

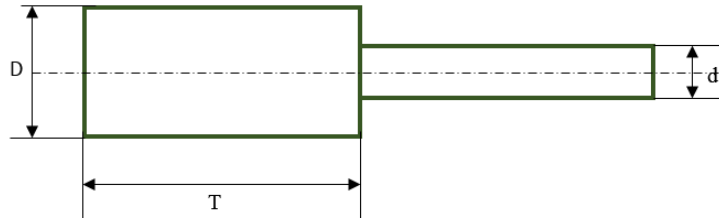


Figura 5.23 Cilindru de șlefuit

Dimensiunile cilindrului de șlefuit din lână sunt: diametrul tije de fixare d , de 3 mm, cilindru de șlefuit cu diametru D de 12 mm și înălțime H de 20 mm.

5.4.3.2 Generarea traiectoriei de lucru.

La alegerea traiectoriei utilizate în aplicația de șlefuire s-a luat în considerare aspecte ca: geometria piesei, metoda de lucru și scula utilizată. Pentru a îndeplini condițiile impuse de geometria piesei și scula utilizată, s-a ales ca și traiectorie de mișcare a sculei de șlefuit, spirala lui Arhimede. Această traiectorie îndeplinește și condiția ca elementul final al robotului, să atingă toate punctele de pe suprafața piesei de un număr egal de ori.

Spirala lui Arhimede este o curbă plană descrisă de un punct ce parcurge uniform (cu viteza v) o dreaptă care se rotește (cu viteza constantă ω) în jurul unui punct fix al ei. În figura 5.20. sunt ilustrate primele trei arce de cerc din spirala lui Arhimede.

[*** spirală].

Din punct de vedere matematic, spirala lui Arhimede este o spirală cu ecuația polară [*** ecuația spirală]:

$$r = a\theta^{1/n} \quad (5.20)$$

unde : r este distanța radială, θ unghiul polar și n constanta ce determină pasul spiralei.

Curbura spiralei lui Arhimede este dată de ecuația:

$$K = \frac{|n|\theta^{1-1/n}(1+n+n^2\cdot\theta^2)}{a(1+n^2\cdot\theta^2)^{3/2}} \quad (5.21)$$

și lungimea arcului de cerc pentru $n > 0$ de relația:

$$s = a\theta^{1/n} {}_2F_1\left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2n}; 1 + \frac{1}{2n}; -n^2\theta^2\right) \quad (5.22)$$

unde ${}_2F_1(a, b; c; x)$ este o funcție hipergeometrică [*** ecuația spirală]. Pentru a obține spirala lui Arhimede (fig. 5.20) se consideră $n=1$.

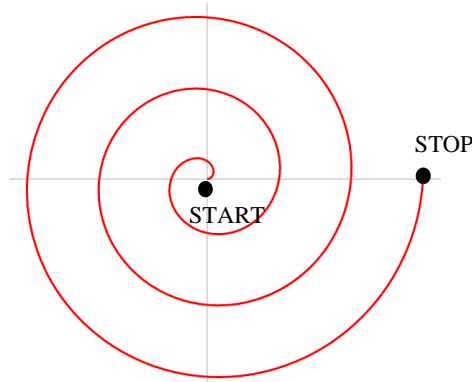


Figura 5.24 Spirala lui Arhimede [*** spirală].

Generarea traiectoriei de lucru s-a realizat cu ajutorul a două medii de lucru diferite: VipWindows și Turbo C++4.0.

Primul mediu de lucru utilizat pentru generarea traiectoriei a fost VipWindows dezvoltat de compania Yamaha. Traiectoria generată reprezintă o aproximare a spiralei lui Arhimede, deoarece nu utilizează ecuația spiralei lui Arhimede pentru generarea punctelor ce definesc spirala. Pentru generarea acesteia s-a apelat la utilizarea funcției LOC în planul determinat de axele X și Y pentru patru puncte ce descriu un cerc [Manual, 2008]

Pentru a genera traiectoria de mișcare cu ecuația spiralei lui Arhimede s-a utilizat mediul de lucru, Turbo C++4.0. În figura 5.23 este ilustrată imaginea cu spirala lui Arhimede simulată în mediul C++. Punctele generate descriu spirala lui Arhimede. Coordonatele punctelor au fost exportate într-un fișier Excel și ulterior încărcate în programul controlerului RCX 240. Prin comanda de mișcare MOVE robotul a realizat traiectoria fizică prin punctele ce descriu spirala lui Arhimede. În figura 5.21 este descrisă schema logică a programului ce generează punctele ce determină spirala.

În cele ce urmează este prezentat programul Spirală în mediul C++:

```
#include <graphics.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
int main(void)
{
    /* request auto detection */
    int gdriver = DETECT, gmode, errorcode;
    int x1,y1,x2,y2;
    double x2d,y2d;
    float iradiani;
    int i;
    float a;
    FILE *csvfile;
    char testtext[100];
    /* initialize graphics and local variables */
    initgraph(&gdriver, &gmode, „C:\\TC\\bgi”);
    /* read result of initialization */
    errorcode = graphresult();
    if (errorcode != grOk) /* an error occurred */
    {
        printf(„Graphics error: %s\n”,
            grapherrormsg(errorcode));
        printf(„Press any key to halt:”);
        getch();
        exit(1); /* terminate with an error code */
    }
    line(10,10,100,100);
    x1=300;
    y1=300;
    a=1;
    putpixel(100,95,255);
    moveto(100,95);
    outtext(„100,95”);
    if ((csvfile=fopen(„csvexportp.csv”, „wt”)) == NULL)
    {
        fprintf(stderr, „Cannot open input file.\n”);
        return 1;
    }
    for(i=0; i<16*360; i=i+2)
```

Figura 5.25 Programul Spirală

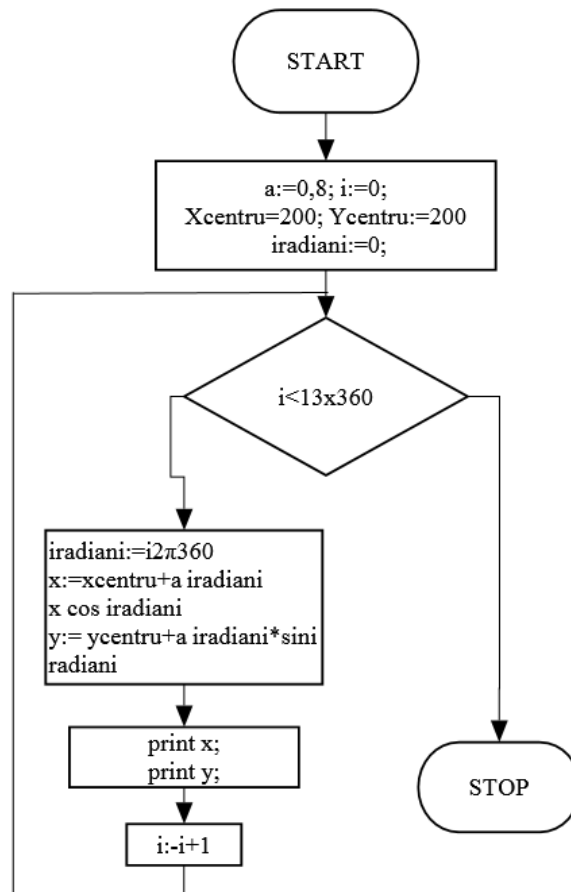


Figura 5.26 Schema logică ce descrie programul Spirală C++

În figura 5.23 sunt ilustrate punctele ce formează spirala lui Arhimede simulate în mediul de lucru C++.



Figura 5.27 Imagine cu spirala lui Arhimede simulată în mediul C++

5.4.3.3 Desfășurarea experimentului

În prima parte, s-a realizat finisarea suprafețelor cu ajutorul hârtiei abrazive până la o rugozitate estimată la $15\ \mu\text{m}$, figura 5.22. Pentru a realiza acest lucru s-a utilizat hârtie abrazivă de: P100, P320, P400, P600, P800, P1000, P1200. Hârtiile abrazive au fost utilizate în ordine crescătoare, pentru cele 4 piese, iar pentru fiecare dimensiune în parte s-au respectat următoarele etape: Hârtia abrazivă a fost fixată pe suportul din lemn de brad, prin lipire cu bandă dublu adezivă, iar piesa a fost fixată pe magnetul dispozitivului de fixare. Robotul a efectuat o mișcare circulară sub formă de spirală, din interior spre exterior și invers, fără schimbarea direcției, într-un plan determinat de punctele de contact dintre mostră și hârtia abrazivă. Într-un ciclu complet traiectoria în formă de spirală a fost efectuată de 25 de ori, cu schimbarea coordonatelor centrului spiralei la fiecare 5 spirale complete. După fiecare ciclu piesa a fost verificată și, dacă se îndeplineau condițiile de aspect, se trecea la următoarea hârtie abrazivă, în caz contrar se repeta ciclul cu un avans de $0,01\ \text{mm}$ pe axa z. Condițiile de aspect reprezintă modificări ale suprafeței pieselor ce constau în reducerea dimensiunilor zgârieturilor față de începutul procesului de finisare.



Figura 5.28 Mostră finisată cu hârtie abrazivă P 1200,

După ce toate cele 4 mostre au îndeplinit condițiile de aspect ale suprafețelor s-a trecut la etapa a II-a a experimentului.

Etapa este formată din 4 mini experimente. Cele 4 mostre au fost prelucrate pe rând cu parametri de lucru diferiți. Parametri ce stau la baza prelucrărilor sunt: viteza de avans a robotului pe traiectorie, viteza unghiulară a elementului de șlefuit și elementul final utilizat în șlefuire.

Metoda utilizată pentru obținerea calității dorite a suprafețelor a presupus utilizarea de paste diamantate de: $15\ \mu\text{m}$, $9\ \mu\text{m}$, $6\ \mu\text{m}$, $4\ \mu\text{m}$, $3\ \mu\text{m}$ produse de compania Diamold și de $2\ \mu\text{m}$ produsă de compania Asah Diamond Industrial Europe S.A.S.

Pastele au fost folosite succesiv începând cu cea de $15\ \mu\text{m}$ și terminând cu cea de $2\ \mu\text{m}$. Acestea au fost diluate în prealabil cu ulei de mecanică fină în proporție de 50%, și depuse pe suprafața de lucru cu ajutorul unui servetel.

Pentru toate cele 4 piese, traiectoria urmată de efectul final al robotului, (elementul șlefuitor), execută o spirală la distanța de $0,8\ \text{mm}$ față de suprafața piesei de prelucrat. Numărul de repetări ale spiralei într-un ciclu este de 25, ciclul repetându-se până când s-a îndeplinit condiția de aspect. După fiecare ciclu sau când culoarea pastei

devenea neagră, piesa a fost curățată cu un șervețel și a fost aplicată pastă de aceeași granulație. În tabelul 5.2. este prezentată matricea de desfășurare a experimentelor.

Tabel 5.7 Matricea de desfășurare a experimentelor

Parametri de lucru	piesa 1	piesa 2	piesa 3	piesa 4
viteza unghiulară a frezei [rot/min]	5600	5600	0	5600
viteza de avans [mm/s]	10	25	25	25
material utilizat pentru șlefuire	cilindru de pâslă	cilindru de pâslă	cilindru de pâslă	perie

Stabilirea parametrilor de lucru a avut în vedere:

- condiția ca pasta diamantată să rămână pe suprafața piesei (din experimente s-a determinat $v_{max}=5600$ [rot/min]);
- condiția ca elementul șlefuitor să nu rămână timp îndelungat în aceeași poziție;
- elementul de șlefuire utilizat a fost ales dintre cele mai utilizate elemente de șlefuit.

Pentru 4 din pastele diamantate s-a utilizat cilindru de șlefuit, iar pentru ultimele două s-a utilizat perie de șlefuit, figura 5.25. Peria a fost apropiată de plan până când toate rândurile de fibră au ajuns în contact cu piesa, figura 5.26.

Toate cele 4 piese au fost analizate din punct de vedere vizual și a fost măsurată rugozitatea acestora.



Figura 5.29 Perie de șlefuit utilizată.



Figura 5.30 Perie de șlefuit în contact cu piesa

5.4.4 Rezultate experimentale

Pe parcursul desfășurării experimentului, mostrele au trecut prin operații de șlefuire succesive cu pastă diamantată de diferite granulații.

În vederea analizării procesului de șlefuire, s-au examinat vizual mostrele la schimbarea pastei diamantate. Pentru a exemplifica evoluția calității suprafețelor prelucrate, au fost efectuate fotografiile la fiecare schimbare a pastei. În continuare este prezentată evoluția suprafeței mostrei numărul 2.

În figura 5.24. este prezentată calitatea suprafeței după finalizarea șlefuirii cu hârtie abrazivă. Se poate observa că suprafața piesei este mată și prezintă zgârieturi vizibile. După șlefuirea cu pastă diamantată de 15 μm , calitatea suprafeței s-a îmbunătățit, aceasta devenind mai lucioasă, iar numărul de zgârieturi și adâncimea acestora a scăzut (figura 5.27.a).

Figura 5.27. b) respectiv c) reprezintă mostre cu suprafețe lustruite cu pastă diamantată de 9 μm respectiv 6 μm . Se poate observa că suprafața pieselor devine mai lucioasă, iar imaginea reflectată mai clară. Odată cu scăderea granulației pastei diamantate la 4 μm , respectiv 3 μm , calitatea suprafeței crește, imaginea reflectată este clară iar zgârieturile sunt greu vizibile cu ochiul liber (figura 5.27. d) respectiv e). Ultima pastă diamantată utilizată este cea de 2 μm , (figura 5.27 f), rezultatul fiind o calitate a suprafeței de tip oglindă.

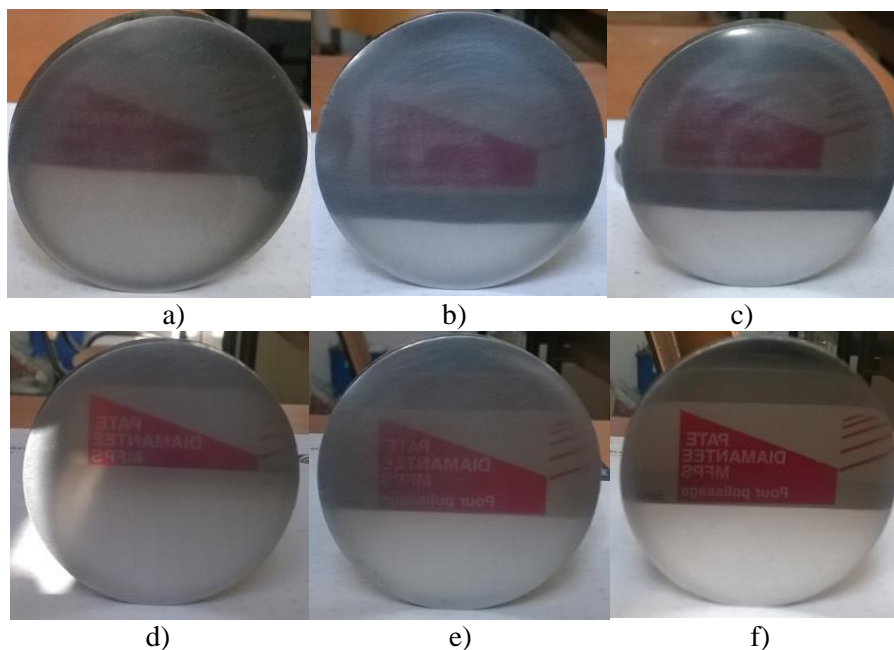


Figura 5.31 Mostra 2 în timpul etapelor de finisare

După realizarea șlefuirii, toate cele 4 probe au fost măsurate cu un rugozimetru model SURTRONIC 25, produs de Taylor Hobson Precision (fig. 5.28).



Figura 5.32 Rugozimetru SURTRONIC 25 [*** rugozimetru],

În figura 5.29, sunt prezentate mostrele la finalul procesului de șlefuire; după cum se poate observa, la prima vedere, nu există diferențe între calitatea suprafețelor mostrelor. La o analiza vizuală mai atentă se observă că cea mai bună calitate a suprafeței a fost obținută la piesa numărul 2, (fig. 5.29. b)). Iar cea mai scăzută calitate a suprafeței s-a obținut pentru piesa numărul 4, (fig. 5.29. c)), care prezintă urme de zgârieturi.

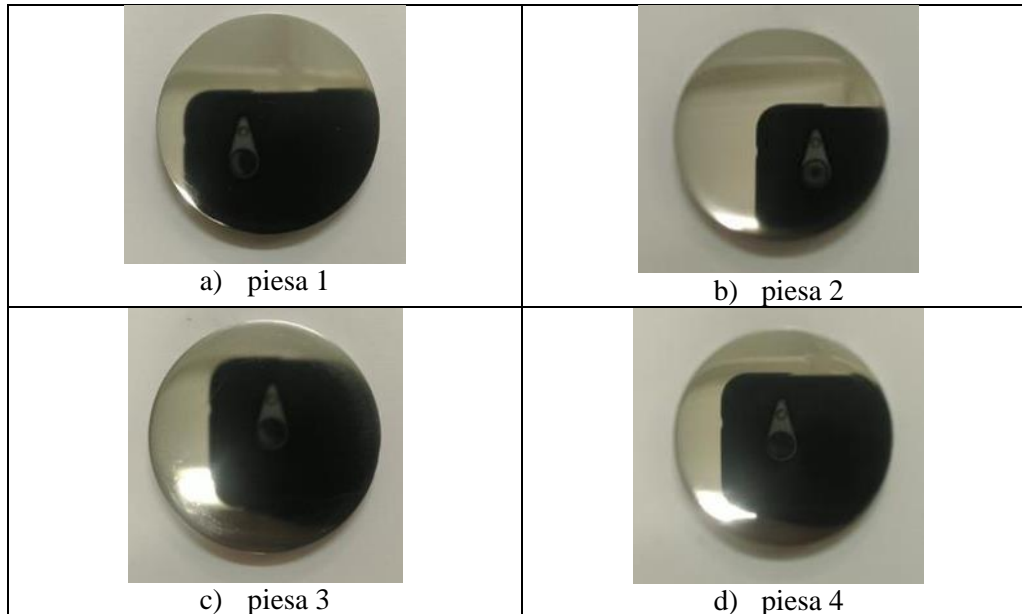


Figura 5.33 Mostrele la finalul procesului de lustruire

Măsurătorile rugozității pieselor, sunt prezentate în tabelul 5.3. Rezultatele confirmă concluziile analizei vizuale.

Tabel 5.8 Rezultatele procesului de șlefuire

Rugozitatea				
Mostra	Măsurarea	Ra [μm]	Rt [μm]	Rp [μm]
1	1	0,12	6,2	0,4
	2	0,12	6,2	0,4
2	1	0,06	0,06	0,02
	2	0,06	0,03	0,02
3	1	0,06	0,6	0,2
	2	0,2	6	0,6
4	1	0,08	1,4	0,3
	2	0,06	0,6	0,3

Notațiile din tabelul 5.3 au următoarea semnificație:

- Ra: abaterea medie aritmetică;
- Rt: înălțimea totală de profilului;
- Rp: înălțimea maximă a profilului de vârf peste linia medie.

Măsurătorile au fost efectuate în două zone diferite ale fiecărei piese pe o lungime de 4 mm.

5.4.5 Concluzii

Analiza experimentală desfășurată și rezultatele obținute permit să se menționeze următoarele:

- Rezultatele experimentale confirmă ipoteza posibilității utilizării robotului Yamaha YK400 în aplicații de șlefuire;
- Ansamblul prezentat în etapa I poate înlocui cu succes piatra abrazivă;
- Procedura utilizată în etape a II-a conduce la obținerea de suprafețe cu rugozități scăzute;
- Parametrii precum viteza unghiulară de rotație a cilindrului de șlefuit și viteza de avans a robotului pe traiectorie influențează calitatea finală a suprafețelor;
- Obiectivul operațional al capitolului a fost atins.

5.5 Concluzii Finale

Un rol esențial în prelucrarea suprafețelor îl constituie procesele de frezare și lustruire. Direcția actuală de cercetare a proceselor de frezare cu ajutorul roboților industriali implică HSM. Vibrațiile sistemului robot–freză sunt influențate de o serie de factori precum: (materialul de prelucrat, traiectoria de prelucrare, adâncimea de frezare și viteza de avans) dar scad o dată cu creșterea durității materialului de prelucrat.

Rezultatele experimentelor confirmă ipoteza utilizării robotului Yamaha YK400 în aplicații de lustruire. Iar ansamblul poate fi utilizat și la șlefuirea cu hârtie abrazivă înlocuind piatra abrazivă. Calitatea și timpul de finisare sunt determinate de parametri ca: viteza unghiulară de rotație a cilindrului de șlefuit și viteza de avans a robotului pe traiectorie. Rugozitatea mostrelor finisate cu ajutorul robotului Yamaha YK 400 este superioară cerințelor minime la fabricarea de matrițe pentru injectat mase plastice.

Putem afirma că robotul Yamaha YK 400 poate fi utilizat cu succes în operații de frezare și lustruire. Principalele limitări sunt: precizia de poziționare de 0,02 mm, mărimea spațiului de lucru, caracteristicile mașini de frezat cu care este echipat robotul, complexitatea suprafeței de prelucrat și timpul îndelungat de prelucrare.

6 CONTROLUL PUNCTULUI CARACTERISTIC

6.1 Introducere

Controlul interacțiunii fizice dintre un robot și mediul exterior este esențial pentru executarea, cu succes, a unui număr de sarcini practice, în cazul în care efectorul final al robotului trebuie să efectueze o operație, pe o suprafață. Exemple tipice în procesele industriale sunt procesele de lustruire, debavurare sau asamblarea.

Pe durata contactului cu mediul se pot impune constrângeri cu privire la traiectoriile punctului caracteristic. Această situație corespunde la contactul cu o suprafață rigidă și este denumită în general mișcare constrânsă.

În unele cazuri, se pot impune constrângeri cinematice pentru mișcarea punctului caracteristic. În alte cazuri, contactul efector final – mediu este caracterizat printr-un model dinamic.

În toate aceste cazuri, se impune existența unei strategii pentru controlul mișcării punctului caracteristic în interacțiunea cu mediul de lucru.

În capitolele anterioare au fost prezentate analize experimentale ale proceselor mecanice de prelucrare cu utilizarea robotului industrial. Din aceste analize au putut fi enunțate concluzii cu privire la influențele parametrilor de lucru asupra calității procesului de prelucrare. În urma acestor analize și în continuarea planului de cercetare a fost abordat noul obiectiv operațional.

Obiectivul operațional al acestui capitol urmărește analiza posibilităților de utilizare a robotului Yamaha YK400 în operații de prelucrare mecanică cu un control al parametrilor de lucru.

Problema de rezolvat, conformă cu obiectivul operațional, se încadrează în conducerea robotului de prelucrare mecanică pe baza unor informații din mediul de lucru: forță, vibrații etc. Literatura de specialitate abordează pe larg problema enunțată în diverse aspecte [Sornmo, 2012], [Slamani, 2015], [Zhang, 2006], [Olsson, 2009].

În figura 6.1 este prezentată integrarea unui robot într-un proces de prelucrare mecanică. Interacțiunea cu mediul de lucru este analizată prin senzori specifici.

Din interacțiunea robotului cu mediul de lucru se obține informația măsurată i_{inf_mas} cu ajutorul senzorului S. Această informație primară este prelucrată în corespondență cu parametrul preconizat pentru conducerea robotului în forma p_{sen} . Informația primară a utilizatorului (operatorului) i_{user} este prelucrată în forma parametrului preconizat de conducere în forma p_{user} . Cele două forme ale parametrului de lucru a robotului sunt prelucrate sub forma parametrului final p_{robot} aplicat sistemului robot care realizează procesul de prelucrare mecanică (fig. 6.2).

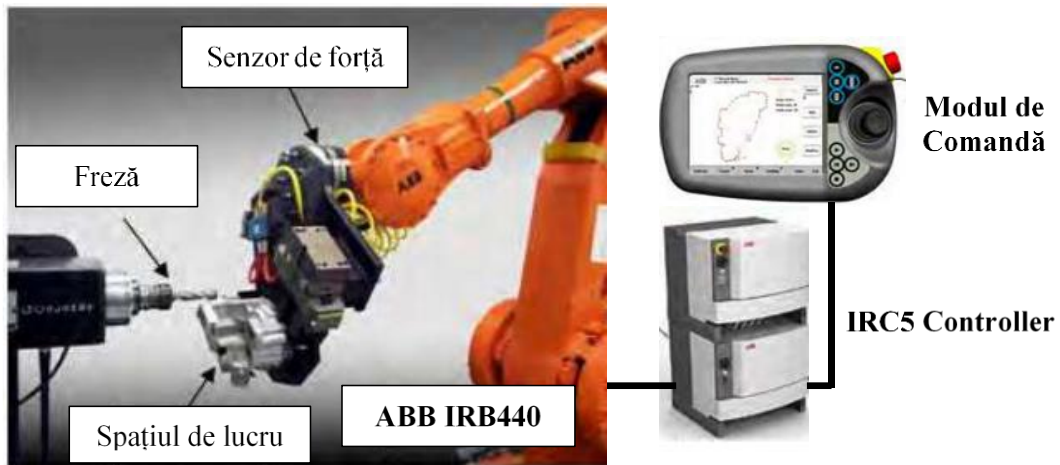


Figura 6.1 Robot industrial în interacțiunea cu un mediu de lucru
[*** RI în mediul de lucru]

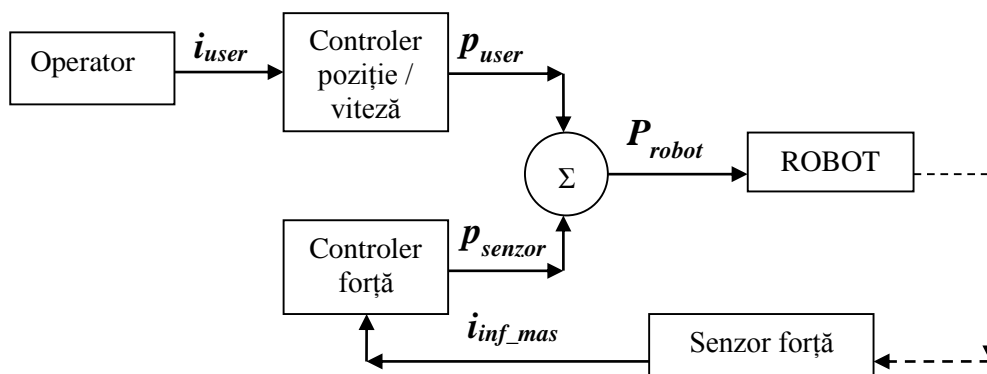


Figura 6.2 Schema bloc de fuziune a informațiilor pentru conducerea robotului

6.2 Controlul vitezei punctului caracteristic

Din analiza experimentală efectuată în capitolele anterioare a fost sesizată dependența procesului de prelucrare mecanică de amplitudinea vibrațiilor măsurate la nivelul frezei de lucru.

Scopul experimentului propus este de a controla viteza de avans a robotului Yamaha YK 400, în timp ce acesta execută operații tehnologice de aşchiere (frezare). Se dorește controlul, în timp real, al variațiilor pentru vibrațiile dispozitivului de frezare. Schema bloc pentru controlul vitezei punctului caracteristic este prezentată în figura 6.3.

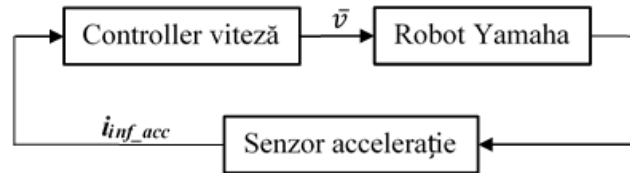


Figura 6.3 Schema bloc pentru controlul vitezei

Dacă amplitudinea vibrațiilor crește viteza de avans, în procesul de prelucrare al robotului va scădea astfel încât să corecteze valoarea amplitudinii vibrațiilor. În cazul în care amplitudinea vibrațiilor scade, viteza de avans crește astfel încât valoarea amplitudinii vibrațiilor să poată fi menținută constantă, între valori ale vibrațiilor acceptate.

Standul experimental (fig. 6.4), utilizat pentru controlul vibrației în timpul procesului de frezare, este compus din:

- ansamblu robot Yamaha, ce conține controlerul RCX240 al robotului;
- dispozitiv port freză, freza LUND 79314 și senzorul de accelerație;
- accelerometrul DITRAN 3055B3;
- modulul de dezvoltare, NI USB-6221, parte a lanțului de măsurare senzor-PC;
- PC-ul pentru memorarea și prelucrarea datelor achiziționate;
- Software-ul utilizat LabView, SignalExpress

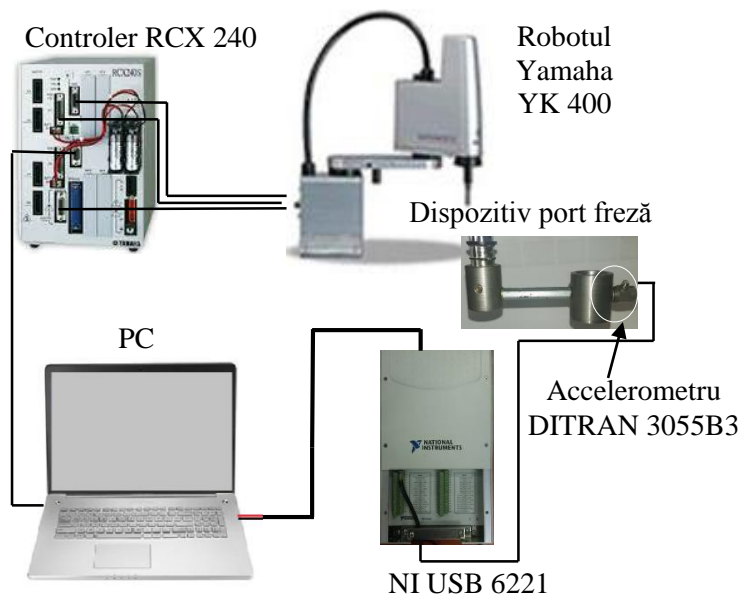


Figura 6.4 Schema transferului de informație a standului experimental

Accelerometrul DITRAN 3055B3 s-a atașat la modulul NI 6221 prin intermediul unui cablu coaxial. Semnalul analogic este transferat (interfață USB) în final către PC-ul de lucru. În mediul de lucru Labview a fost dezvoltat programul *test3 QTR.vi*. Acesta prelucrează datele și le transmite prin portul serial către controlerul robotului în cod ASCII. Controlerul robotului corectează traiectoria punctului caracteristic în spațiul de lucru, pe baza informațiilor din programul preîncărcat în controlerul robotului și informațiile primite pe portul serial de la PC.

6.2.1 Prelucrarea informației cu ajutorul Programului LabView

Prelucrarea informației preluată de la senzorul de accelerație a fost realizată în programul *test3_QR.vi* dezvoltat în mediul LabView [*** LabView]. Panoul frontal al instrumentației virtuale realizate este prezentat în figura 6.5.

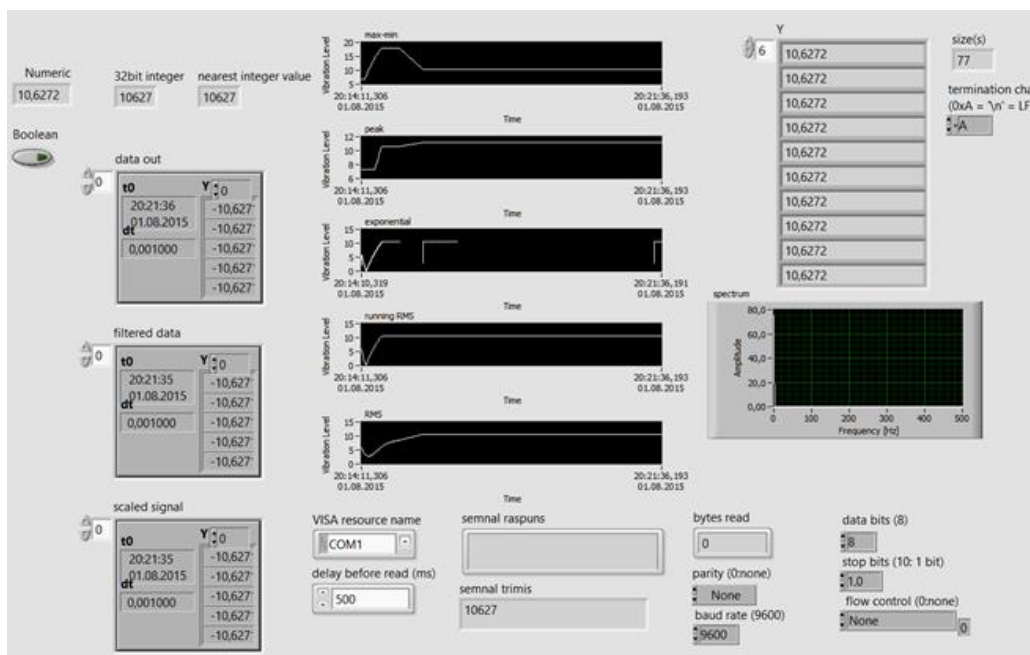


Figura 6.5 Panoul frontal al programului *test3 QTR.vi*

Diagrama bloc care corespunde codului programului și definește funcționalitatea VI-ului, este prezentată în figura 6.6.

Diagrama este compusă din două structuri dependente de timp (*Timed Structures*) conectate între ele cu funcția *Queue*, ce permite transmiterea în mod continuu a datelor între cele două bucle [LabView, 1998]. Prima structură are rolul de achiziție a datelor de la senzor și de prelucrare a acestora. Cea de a doua structură asigură comunicarea informației pe portul serial (scrierea respectiv citirea) [LabView, 1998].

SubVI-ul *DAQ Assistant* asigură lansarea procesului de achiziție al datelor, setările în cadrul acestei funcții sunt vizibile în caseta de lucru prezentată în figura 6.6

Pe portul plăcii de dezvoltare NI USB 6221, unde s-a selectat portul Dev_1. Datele sunt achiziționate continuu cu o rată de 1 kHz.

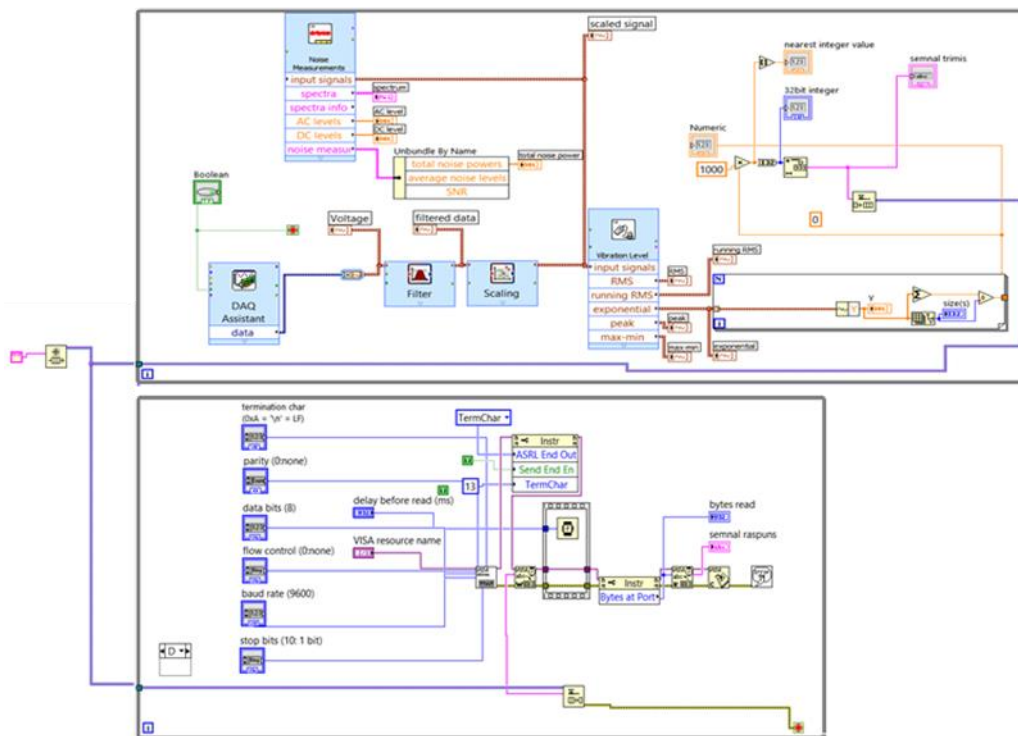


Figura 6.6. Diagrama bloc

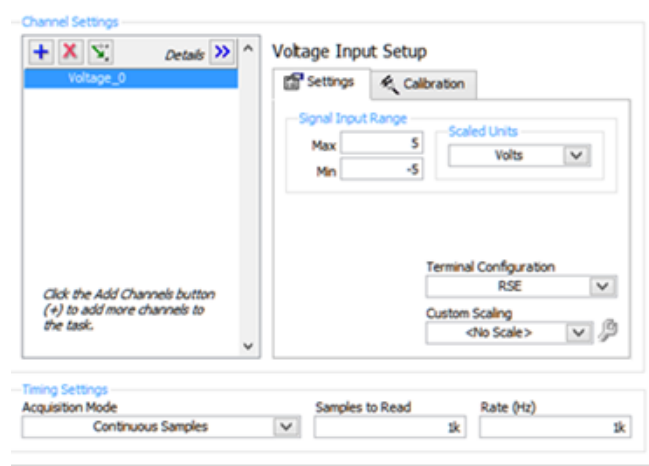


Figura 6.7 Fereastra de lucru a modulului de achiziție a datelor DAQ Assistant

Instrumentul virtual creat conține *subVI-ul* corespunzător filtrării semnalului. Prelucrarea datelor s-a realizat cu ajutorul unui *filtru IIR model trece jos de topologie Butterworth*, după cum este reprezentat în figura 6.8.

Semnalul filtrat este scalat pe un interval de timp (*subVI-ul Scaling*) și analizat din punct de vedere al nivelului vibrațiilor (*subVI-ul Vibration Level*). *SubVI-ul Vibration Level* oferă la ieșire detalii referitoare la parametrii: RMS al nivelului vibrației, valoarea instantanee a RMS pentru nivelul vibrației, media exponențială a nivelului vibrației, valorile extreme ale nivelului vibrației, respectiv diferența dintre vârful maxim și minim al nivelului vibrației.

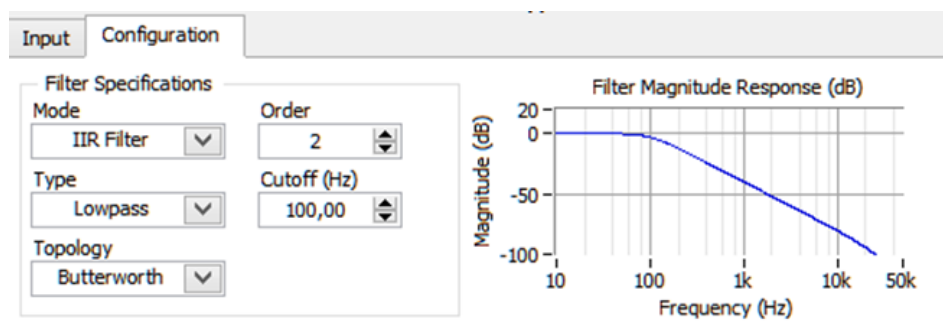


Figura 6.8 Configurația filtrului pentru datele de intrare

Valorile medii ponderate exponențial, în pachete de 6 valori, sunt mediate conform algoritmului din figura 6.5 Valoarea curentă mediată este amplificată prin coeficientul $k=1000$ și convertită într-un număr întreg. Valorile sunt vizualizate și transferate spre cea de a doua structură a VI-ului construit.

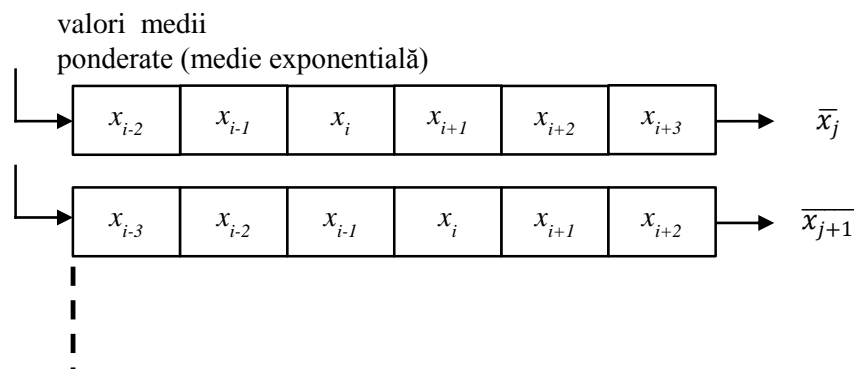


Figura 6.5 Algoritmul mediei ponderate

Cea de a doua structură dezvoltată a VI-ului execută comunicarea cu controlerul RCX 240 al robotului Yamaha YK400 pe portul serial. Transferul informației se realizează în cod ASCII.

6.2.2 Dezvoltarea programului pentru controlul punctului caracteristic al robotului

Datele prelucrate prin programul *test3_QR.vi* sunt trimise către controlerul robotului Yamaha prin intermediul portului serial, cu scopul de a corecta viteza punctului caracteristic al robotului în spațiul de lucru (punctul caracteristic se identifică cu centrul frezei de prelucrat). Pentru realizarea acestui lucru s-au creat programe, (Anexa 6.2), pentru controlerul robotului. Se urmărește realizarea controlului vitezei în funcție de valoarea vibrației.

Într-o primă fază, s-a încercat modificarea parametrilor de avans ai punctului caracteristic, pornind de la valoarea accelerației acestuia. A fost utilizată comanda *ACCEL*, acceptată de limbajul de programare al robotului Yamaha. În corespondență cu acest lucru au fost realizate programe de lucru pentru a fi testate pe robotul Yamaha (fără a ține cont de valoarea amplitudinii vibrației).

- Programul *T_ACC_1* asigură realizarea unei traiectorii circulare cu raza de 50 mm și modifică viteza de avans a punctului caracteristic, prin utilizarea comenzii *ACCEL*, fără a ține cont de valoarea amplitudinii vibrației. Programul este împărțit în două task-uri: Primul task citește valoarea informației "A" achiziționată pe portul serial și o compară cu valoarea curentă a vitezei "B". Dacă cele două valori A și B sunt diferite, al doilea task este suspendat, iar viteza "B" ia valoarea "A", achiziționată pe portul serial, după care task-ul al doilea repornește. Al doilea task are rolul de a executa traiectoria de mișcare și de a modifica viteza punctului caracteristic, prin comanda "ACC B". S-a observat că programul execută cercul, iar modificarea vitezei se efectuează doar între două puncte consecutive din program. În concluzie, utilizarea în această formă a comenzii *ACCEL*, nu produce efectele așteptate.
- Programul *T_ACC_2* este similar cu *T_ACC_1*. Asigură realizarea unei traiectorii circulare cu raza de 50 mm și modifică viteza de avans prin utilizarea comenzii *ACCEL*, fără a ține cont de valoarea amplitudinii vibrației. Principala diferență dintre cele două programe este înlocuirea comenzi *SUSPEND* cu comanda *WAIT* pentru a întrerupe execuția task-ului T2. În urma efectuării de teste s-a observat că programul nu modifică viteza de avans conform așteptărilor.
- Programul *T_ACC_3* asigură realizarea unei traiectorii circulare cu raza de 50 mm și modifică viteza de avans prin utilizarea comenzilor *ACCEL* și *DECEL*, aflate în task-ul al doilea. Primul task are rolul de a executa traiectoria de mișcare, iar cel de al doilea task citește informația "A" achiziționată pe portul serial și o compară cu o valoare curentă a vitezei "B". Atât timp cât valoarea $A < 4$, viteza B a punctului caracteristic este incrementată cu 1, iar viteza punctului caracteristic crește prin intermediul comenzii *ACCEL B*. Dacă $A > 4$, viteza B a punctului caracteristic este incrementată cu 1, iar viteza punctului caracteristic scade prin intermediul comenzii *DECEL B*. În urma testelor efectuate, s-a observat că programul nu modifică viteza de avans a punctului caracteristic.

În cea de a doua fază, s-a dezvoltat un număr de 2 programe, cu ajutorul cărora s-a testat modificarea vitezei de avans a punctului caracteristic, prin utilizarea setării vitezei în mm/s, cu ajutorul comenzii *VEL*.

- Programul *T_SER_1* asigură realizarea unei traiectorii circulare cu raza de 50 mm și modifică viteza de avans, fără a ține cont de valoarea amplitudinii vibrației. Programul este împărțit în două task-uri: Primul task citește valoarea informației "A" achiziționată pe portul serial și o compară cu valoarea curentă a vitezei "B". Dacă cele două valori A și B sunt diferite, al doilea task este suspendat, iar viteza "B" ia valoarea "A", achiziționată pe portul serial, după care task-ul al doilea repornește. Al doilea task are rolul de a executa traiectoria de mișcare și de a modifica viteza punctului caracteristic prin utilizarea variabilei *VEL =xx [mm/s]* în linia comenzii de mișcare *MOVE*. S-a observat că, la modificarea vitezei de avans, direcția sensului de mișcare se modifică până la ultimul punct prin care a trecut. După care își continuă traiectoria, începând de la acesta. Putem concluziona că programul este funcțional, cu observația că durata procesului de frezare crește, datorită opririlor la schimbarea vitezei de avans și datorită schimbării direcției de avans pe traiectorie. Unul din efectele secundare este faptul că, în timpul suspendării procesului de frezare, scade nivelul vibrațiilor, iar la pornire noua viteză va fi una mai ridicată și se va relua procesul de corecție al vitezei.
- Programul *T_SER_3* asigură realizarea unei traiectorii circulare cu raza de 50 mm și modifică viteza de avans ținând cont de valoarea amplitudinii vibrației. Programul este împărțit în două task-uri: Primul task citește valoarea informației "A" achiziționată pe portul serial și o compară cu valoarea curentă a vitezei "B" punctului caracteristic. Dacă cele două valori A și B sunt diferite, al doilea task este suspendat, iar valoarea vitezei "B" este incrementată (dacă $A < 4$) sau decrementată (dacă $A > 4$) cu 5 mm/s, după care task-ul al doilea repornește. Al doilea task are rolul de a executa traiectoria de mișcare și de a modifica viteza punctului caracteristic prin utilizarea variabilei *VEL=xx [mm/s]*, în linia comenzii de mișcare *MOVE*. Programul funcționează, modifică viteza de avans, în funcție de valorile primite pe portul serial, dar are erori. În timpul rulării programului, s-a observat, că la schimbarea vitezei de avans, punctul caracteristic se oprește și pornește cu noua viteză setată. Datorită comenzii *SUSPEND* ce oprește Taskul al doilea, la modificarea vitezei de avans, punctul caracteristic își modifică traiectoria până la ultimul punct prin care a trecut, după care își continuă traiectoria. Putem concluziona că: programul este funcțional, cu observația că durata procesului de frezare crește datorită opririlor la schimbarea vitezei de avans și datorită schimbării direcției de avans pe traiectorie. Dar și datorită faptului că în timpul suspendării procesului de frezare, scade nivelul vibrațiilor, iar la pornire noua viteză va fi una mai ridicată și se va relua procesul de corecție al vitezei.

Pentru a verifica funcționalitatea programelor *T_SER_2* și *T_SER_3*, s-au creat programele *T_PLAN_2*, *T_PLAN_3* și *T_PLAN_4*.

- Programul, *T_PLAN_2*, testează programul *T_SER_2*. În programul *T_SER_2*, este înlocuit task-ul al doilea cu programul *UPT*, care execută frezarea siglei *UPT*.

- Programul *T_PLAN_3* testează programul *T_SER_3*. În programul *T_SER_3* este înlocuit task-ul al doilea cu programul *UPT*, ce realizează prin frezare sigla *UPT*.
- Programul *T_PLAN_4* testează programul *T_SER_3*. În programul *T_SER_3* este înlocuit task-ul al doilea cu programul *CALOTA*, ce realizează prin frezare o calotă sferică în komatex.

În urma testelor realizate s-a ajuns la concluzia că schimbarea instantanee a vitezei (între două puncte consecutive) nu se poate realiza. Astfel, a fost creat programul *P_PCJT_1* care este parțial similar cu *T_SER_3*.

Programul *T_PCJT_1* (fig. 6.6) modifică viteza punctului caracteristic, în funcție de valoarea vibrațiilor. Este folosită modificarea parametrului mișcării prin comanda *VEL*. Vitezele minimă și maximă sunt setate la 2 mm/s și la 300 mm/s. În acest program au fost declarate un număr de 625 de puncte ce descriu un dreptunghi cu distanța dintre puncte de 1 mm. Se observă că modificarea vibrației conduce la modificarea vitezei de avans.

T_PCJT_1

```

START *ST2, T2
A=7
B=7
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A>4 THEN
B=B-5
IF B<2 THEN
B=2
ENDIF
ENDIF
-----▶ IF A<4 THEN
B=B+5
IF B>300 THEN
B=300 'PROTECTIE LA
VITEZA MARE'
ENDIF
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
FOR J=600 TO 1223
MOVE L,P[J],VEL=B -----▶ NEXT J
NEXT J
FOR I=600 TO 1223
MOVE L,P[I],VEL=B
NEXT I
GOTO *ST2
HALT

```

Figura 6.6 Programul *T_PCJT_1* dezvoltat în VIP Windows

6.2.2.1 Concluzii

Analiza teoretică și experimentală realizată permite enunțarea următoarelor considerente:

- Datorită limbajului utilizat, robotul Yamaha are performanțe limitate, din punct de vedere al programării unor aplicații complexe;
- În timpul execuției unei comenzi de mișcare ex. *MOVE*, parametri ce descriu această mișcare (coordonatele punctelor, viteza, accelerația, etc.) nu pot fi modificați;
- Este necesară descompunerea traiectoriei de lucru într-o serie de puncte de precizie ce descriu traseul punctului caracteristic. Astfel, modificarea parametrilor de mișcare se actualizează între două comenzi succesive;

- Dacă se întrerupe taskul care generează traiectoria punctului caracteristic în spațiul de lucru, mișcarea acestuia în spațiul de lucru este oprită.
- Programul *T_PCTJ_1* dezvoltat a permis controlul vitezei punctului caracteristic;

6.2.3 Desfășurarea experimentului

Cu scopul de a verifica funcționalitatea programului *T_PCTJ_1* pentru controlul vitezei de avans a punctului caracteristic pe traiectoria de lucru, în funcție de nivelul vibrațiilor generate de ansamblul robot-freză, în timpul procesului de frezare, s-au efectuat un număr de trei teste:

- Primul test a constat în definirea a 14 puncte în spațiul de lucru, fiecărui punct fiindu-i atribuit un interval al vibrațiilor. Desfășurarea experimentului a constat în rularea programului dezvoltat pentru acest test (Anexa 6.2), timp în care ansamblului robot-freză i s-au indus vibrații prin: pornirea, oprirea și modificarea vitezelor motorului frezei. Motorul frezei a fost pornit și oprit de un număr 5 ori și s-a modificat viteza motorului trecând aleator prin cele șase viteze ale acestuia, tot de cinci ori.
În timpul desfășurării testului, s-a observat mișcarea punctului caracteristic în punctele desemnate diferitelor valori ale vibrațiilor, datorate modificării vitezelor de rotație a frezei. În urma testului, s-a concluzionat că modelul experimental propus funcționează.
- Cel de al doilea test a constat în mișcarea liniară a punctului caracteristic în spațiul de lucru. Traiectoria descrisă de punctul caracteristic reprezintă un dreptunghi cu dimensiunile de 300 mm/10 mm. Acesta este generat de un număr de 623 de puncte aflate la o distanță de 1mm unul față de celălalt, în timpul rulării programului setat să scadă viteza punctului caracteristic, când nivelul vibrațiilor este mai mare decât 0,005 a mediei exponențiale în constanta de timp. Iar pentru valori mai mici ale acesteia, să crească viteza de avans. Creșterea respectiv scăderea vitezei de avans, s-a efectuat prin incrementarea sau decrementarea vitezei de mișcare cu 5 mm/s. Pe parcursul desfășurării experimentului s-au generat vibrații prin pornirea/oprirea respectiv modificarea vitezei de rotație a frezei. Vibrațiile generate au condus la, modificarea vitezei de avans. S-a observat că, datorită distanței mici între două puncte consecutive, viteza de avans scade.
- Al treilea experiment a constat în frezarea în lemn de brad în timp ce sistemul de control al vitezei, în funcție de vibrație, este activ. Traiectoria descrisă a fost un dreptunghi cu dimensiunile de 300mm/10mm, generat de un număr de 623 de puncte, aflate la o distanță de 1mm unul față de celălalt. S-a observat că, în timpul desfășurării experimentului, viteza de avans s-a modificat crescând sau scăzând, astfel că nivelul vibrațiilor a rămas constant între valorile 0,0035-0,0045 ale mediei exponențiale, pe tot parcursul desfășurării experimentului. Putem concluziona că acest test demonstrează funcționalitatea sistemului de control al vitezei în raport cu vibrația și menținerea vibrațiilor între anumite valori.

6.2.4 Concluzii

În urma analizelor și experimentelor efectuate în cadrul subcapitolului se pot preciza următoarele:

- Sistemul propus poate fi utilizat cu succes în frezare cu menținerea nivelului de vibrații între anumite valori;
- Ansamblul robot-freză poate efectua operații de frezare;
- Datorită limbajului utilizat, robotul este limitat din punct de vedere al programării;
- Este necesară descompunerea traiectoriei de lucru într-o serie de puncte, ce descriu traseul de lucru. Pentru că modificarea parametrilor de mișcare să se actualizeze între două comenzi de mișcare;
- Viteza de lucru scade o dată cu creșterea numărului de puncte, ce definesc traiectoria punctului caracteristic;
- Sistemul este limitat la aplicații ce utilizează traiectorii definite printr-un număr maxim de 10000 de puncte;
- Prin rezultatele obținute, se poate considera că obiectivul operațional a fost atins;

6.3 Determinarea caracteristicilor sensorului de forță cu timbre tensometrice

6.3.1 Introducere

Senzorul utilizat, pentru determinarea forțelor din procesul de prelucrare, este compus din elementul elastic prevăzut cu două găuri secante (cu scopul de a crește sensibilitatea sensorului). Pe acest element, sunt aplicate traductoare tensometrice TER (fig. 6.10).

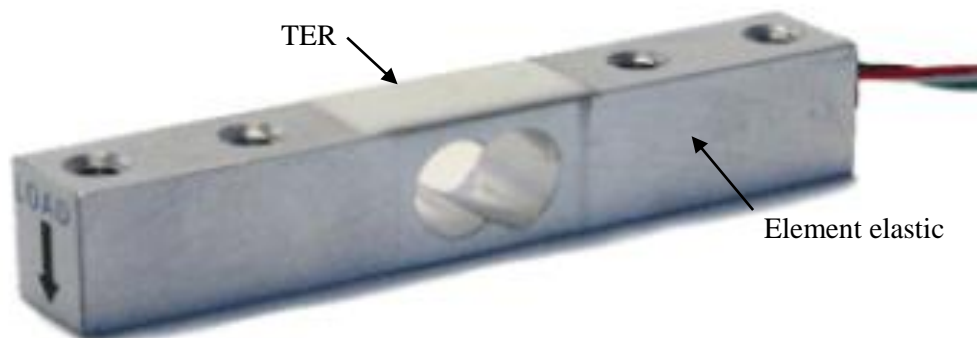


Figura 6.7 Senzor de forță [*** Senzor]

Traductoarele TER sunt conectate într-un circuit de măsurare alimentat de o sursă de tensiune U_i . Fiecare traductor TER convertește efortul mecanic din elementul elastic într-o variație a rezistenței electrice proprii:

$$\frac{\Delta R}{R} = K_S * \frac{\Delta L}{L} = K_S * \varepsilon [\%] \quad (6.1)$$

unde: K_S – coeficient ce exprimă sensibilitatea timbrului tensionetric.

Semnalul de ieșire U_e al circuitului de masurare reprezintă o măsură a forței aplicate elementului elastic.

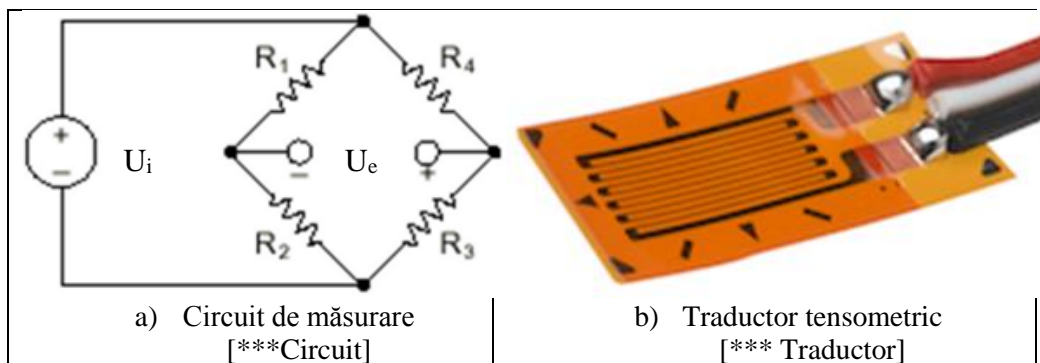


Figura 6.8 Circuit de măsurare și traductor tensometric

Pentru aplicații cu încărcări mici și într-un singur punct se utilizează celule de sarcină confecționate din Al, cel mai utilizat fiind aliajul Al 2023. Datorită fluajului redus și a caracteristici de histerezis, aliajul de aluminiu oferă o deformare suficientă pentru a putea fi măsurată, iar prețul de producție este scăzut, datorită caracteristicilor mecanice ale materialului [Rice, 2010].

6.3.2 Stand experimental

Senzorul utilizat este format dintr-o bară de aliaj de aluminiu cu dimensiunile: 75mm x 12,5mm x 12,5mm și 4 traductoare TER (Figura 6.7). O prezentare succintă a senzorului de forță se poate vedea în anexa 6.1. Circuitul de măsurare realizat este în punte completă (model Full bridge 1) figura 6.8. Pentru determinarea caracteristicii senzorului de forță, s-a utilizat standul din figura 6.9. La dezvoltarea standului a fost avută în vedere destinația elementului senzorial. Din acest motiv, standul este compus din:

- 1- dispozitiv de fixare a frezei pe robot, utilizat în experiment pentru aplicarea forței necesare calibrării. Pe dispozitiv a fost fixat senzorul de forță;
- 2 - taler pentru încărcarea dispozitivului la diferite forțe;
- 3 - modul de achiziție NI USB 6221;
- 4 - greutăți cu masă cunoscută;
- 5 – sistem de achiziție a datelor (mediul LabView, PC)

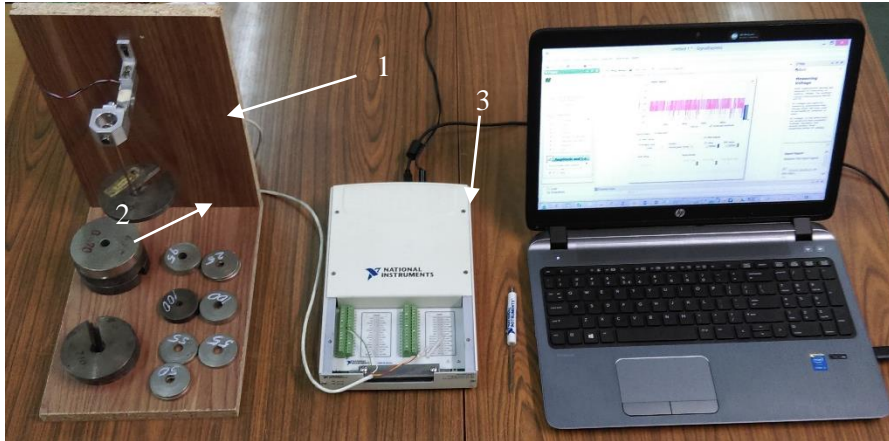


Figura 6.9 Standul experimental

Determinarea caracteristicii senzorului de forță în ansamblul dispozitivului port freză s-a realizat prin conexiunea la placa de achiziție NI USB 6221 pe porturile 7 și 9, după cum se poate observa în figura 6.10.

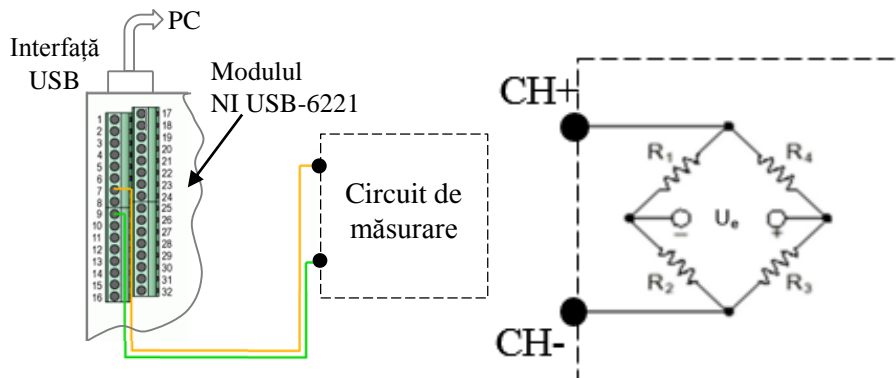


Figura 6.10 Conexiunea la placa de achiziție NI USB 6221

6.3.3 Descrierea experimentului

Procesul de calibrare a elementului senzorial a cuprins următoarele etape:

1. Încărcarea elementului senzorial cu forțe cunoscute (0 N , 2,108 N, 4,217 N, 6,374 N, 8,434 N, 10,493 N, 12,454 N, 14,514 N) în ordine crescătoare;
2. Înregistrarea tensiunii de ieșire din circuitul de măsurare pentru fiecare valoare a forței aplicate;
3. Realizarea operațiilor de la punctul 1 și 2 în ordine descrescătoare a forței;
4. Repetarea operațiilor de la punctul 1, 2 și 3 de un număr de ori (10 ori), pentru obținerea datelor necesare prelucrării statistice.

În figura 6.11, este prezentată caseta pentru interfața cu sistemul de achiziție a datelor. Prin intermediul acesteia, s-au realizat operațiunile: setarea portului de achiziție (Dev1_ai2) și a domeniului pentru semnalul achiziționat (-3, +3 V). În figură, este vizibil și graficul de înregistrare a semnalului analogic.

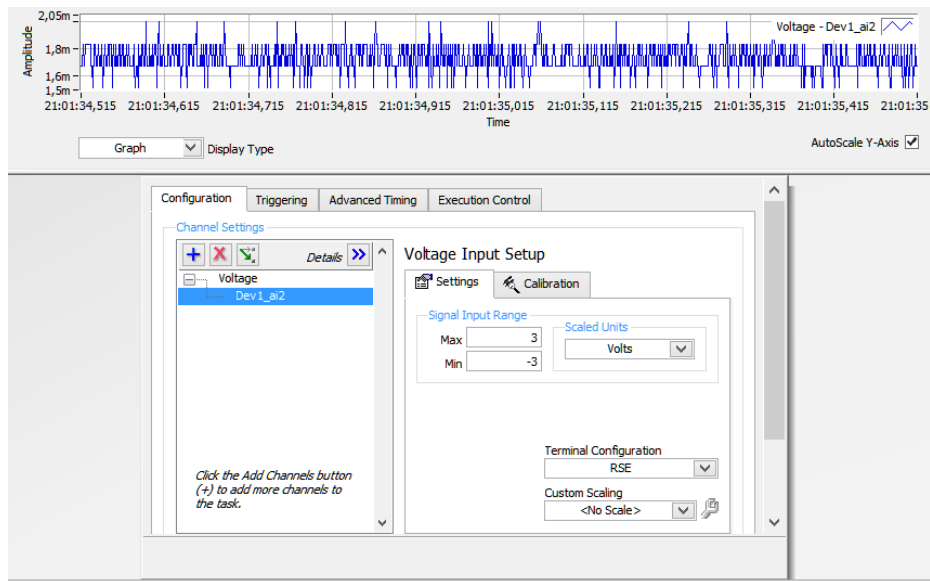


Figura 6.11 Interfața Sistemului de achiziție DAQ Assistant

În figura 6.12, este prezentată o imagine din timpul achiziției de date (afișarea rezultatelor în modulul SignallExpress)

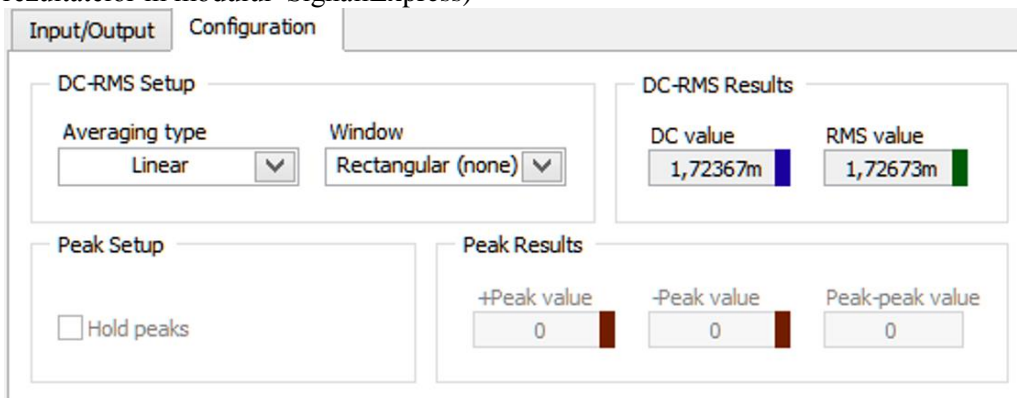


Figura 6.12 Imagine cu afișarea rezultatelor în programul SignallExpress

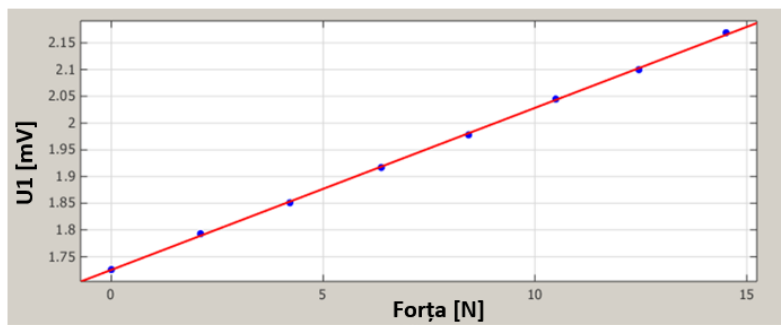
6.3.4 Rezultate experimentale

În tabelul 6.1, sunt prezentate valorile prelucrate ale datelor achiziționate pentru faza de încărcare și respectiv descărcare.

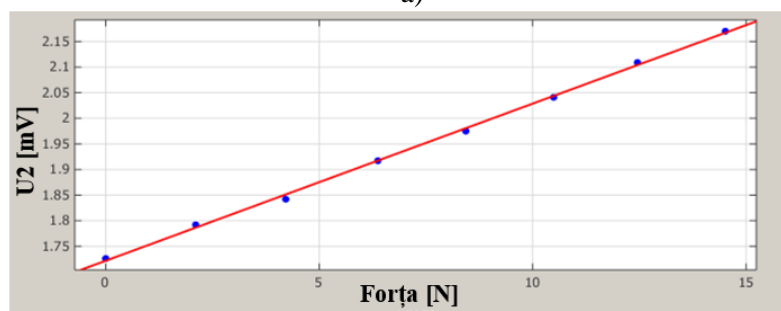
Tabel 6.1 Mediile celor cinci seturi de măsurători

Forța aplicată	Valoarea medie a tensiunii de încărcare	Valoarea medie a tensiunii de descărcare
[N]	[mV]	[mV]
0	1,726	1,726
2,108	1,793	1,792
4,217	1,851	1,842
6,374	1,917	1,917
8,434	1,978	1,975
10,493	2,045	2,041
12,454	2,100	2,109
14,514	2,169	2,170

În figura 6.13, este prezentată caracteristica de încărcare a elementului senzorial.



a)



b)

Figura 6.13 Caracteristica sensorului de forță a) încărcare, b) descărcare

În tabelul 6.2, sunt prezentați parametrii statistici de determinare a dreptei de cea mai bună aproximare.

Tabel 6.2 Parametri statistici

Încărcare	Descărcare
Linear model Poly1: $f(x) = p1*x + p2$ Coefficients (with 95% confidence bounds): $p1 = 0.0303 (0.02975, 0.03085)$ $p2 = 1.725 (1.721, 1.73)$ Goodness of fit: SSE: 5.501e-005 R-square: 0.9997 Adjusted R-square: 0.9996 RMSE: 0.003028	Linear model Poly1: $f(x) = p1*x + p2$ Coefficients (with 95% confidence bounds): $p1 = 0.03069 (0.02962, 0.03175)$ $p2 = 1.722 (1.712, 1.731)$ Goodness of fit: SSE: 0.0002054 R-square: 0.9988 Adjusted R-square: 0.9986 RMSE: 0.005851

Din prelucrarea datelor în mediul de lucru Matlab/Cftool au fost obținute ecuațiile caracteristicilor de încărcare și descărcare ale sensorului de forță.

$$U_1 = 0,03032 * F + 1,725 \quad [mV] \quad (6.2)$$

$$U_2 = 0,0307 * F + 1,722 \quad [mV] \quad (6.3)$$

Din ecuația anterioară (6.2 și 6.3) se poate obține funcțiile inverse:

$$F_1 = 32,98 * U - 56,98 \quad [N] \quad (6.4)$$

$$F_2 = 32,57 * U - 56,09 \quad [N] \quad (6.5)$$

6.3.5 Concluzii

Experimentele desfășurate pentru calibrarea sensorului permit afirmarea următoarelor:

- Elementul senzorial prezintă caracteristică liniară;
- Sensibilitatea elementului senzorial este corespunzătoare scopului urmărit;
- Caracteristica obținută are o ușoară eroare de offset. De acest lucru, trebuie să se țină cont la integrarea sensorului în sistemul robot;
- Concluzia finală privind eventualele modificări ale variantei utilizate va fi luată după integrarea sensorului în sistemul robot și realizarea experimentelor de prelucrare mecanică,

6.4 Controlul poziției punctului caracteristic

Scopul acestui experiment este de a controla forța de contact pe axa z, astfel încât în timpul proceselor tehnologice, să se păstreze o forță de contact constantă, în funcție de valoarea forței dintre punctul caracteristic al robotului și diferitele obiecte din spațiul

de lucru astfel: Dacă forța este mai mare decât valoarea stabilită, corecția poziției punctului caracteristic al robotului pe axa z este negativă. Iar în cazul în care forța este mai mare, corecția pe axa z este pozitivă.

Această aplicație poate fi utilizată în procese de lustruire a pieselor metalice, ca de exemplu matrițe folosite în industria materialelor plastice.

Pentru desfășurarea experimentului, s-a păstrat aceeași configurație a standului experimental ca și în cazul controlului vitezei, (fig 6.1), cu diferența că dispozitivul port freză cu accelerometru a fost înlocuit cu un dispozitiv port freză (fig. 6.14), ce are în componența sa un senzor de forță.

Pentru realizarea aplicației, s-au dezvoltat două programe diferite în mediile de lucru LabView și VipWin.



Figura 6.14 Dispozitiv port freză cu senzor de forță

6.4.1 Prelucrarea informației cu ajutorul Programului LabView

Cu ajutorul mediului de lucru Labview s-a dezvoltat un program, (*Controlul Forței*), prezentat în figura 6.15. Acesta este compus din VI-ul Test_Forță, (fig. 6.16), și VI-ul Test_3, (fig 6.18). Panoul frontal al instrumentației virtuale realizate este prezentat în figura 6.16.



Figura 6.15 Ierarhia Instrumentelor Virtuale în programul *Controlul Forței*

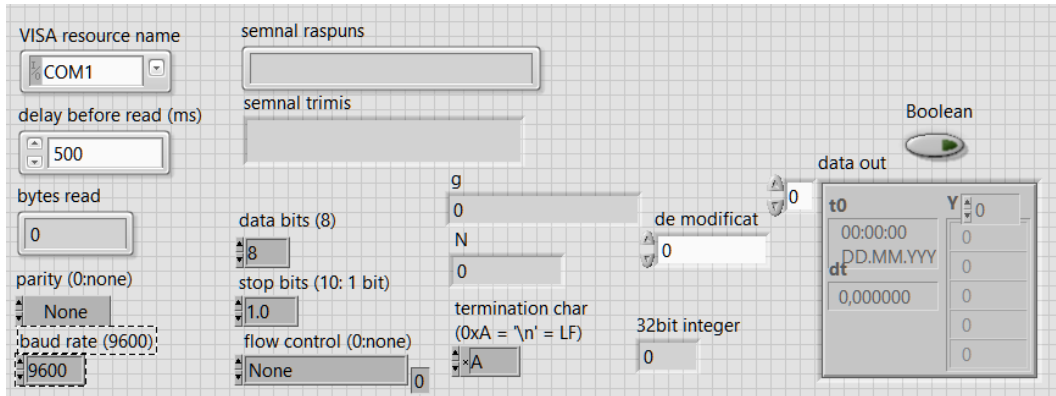


Figura 6.16 Panoul frontal al programului Controlul Forței

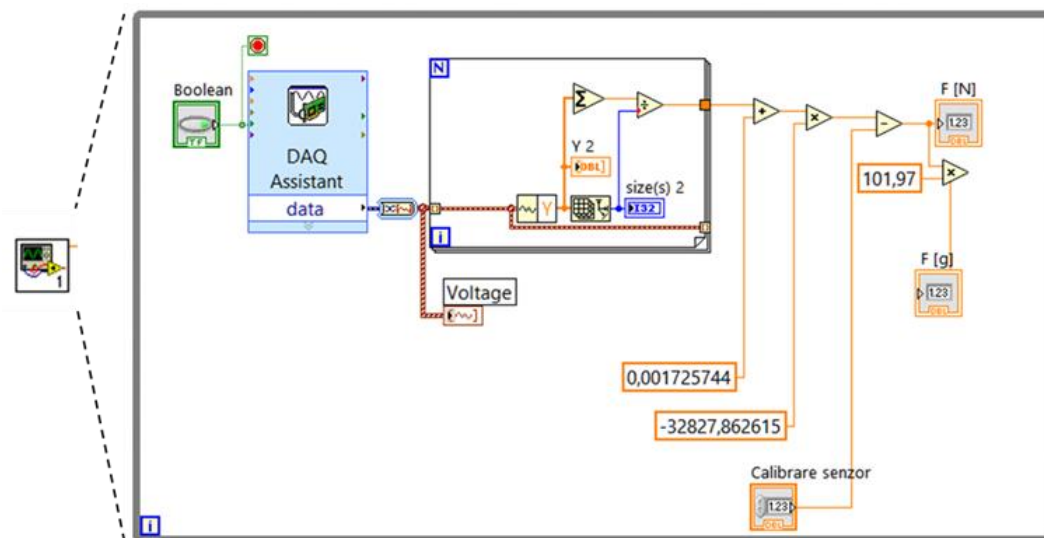


Figura 6.17. Schema bloc a VI-ului Test_3.vi

VI-ul Test_3 fost dezvoltat în vederea achiziției semnalului de la senzor prin dispozitivul portabil de achiziție al datelor. VI-ul are la bază o buclă While, în care sunt inserate:

- Un buton de control (*Boolean*) pentru lansarea procesului de achiziție a datelor. Controlul este conectat la terminalul condițional al buclei și la VI-ul DAQ Assistant;
- VI-ul DAQ Assistant asigură preluarea și transmiterea datelor achiziționate spre bucla For;
- Bucla For conține funcții pentru prelucrarea semnalului achiziționat (*Get Waveform Components (Analog Waveform)*, *Array Size*, *Add Array Elements* și

Divide). Semnalul de ieșire din bucla For corespunde valorii tensiunii de ieșire a senzorului de forță (U) [V];

- Funcții aritmetice pentru integrarea ecuației corespunzătoare caracteristicii senzorului de forță. Calculele realizate oferă valoarea forței de contact (pentru simplificarea modului de reprezentare s-a apelat la unitatea de măsură gf), valoarea este transferată spre următoarea secvență de program (Test_Forță.vi).

VI-ul Test_Forță este structurat în două bucle (fig. 6.18):

- Prima buclă While are rolul de a transforma informația (valoarea forței de contact F [gf]), în vederea transmiterii către controlerul robotului. S-a apelat la lucru cu regiștrii pentru medierea valorilor și conversia în valori întregi. Aceste valori sunt transferate spre următoarea secvență;
- A doua buclă While este creată pentru realizarea transferului de informație prin portul serial către controlerul RCX 240 al robotului Yamaha YK 400. Bucla While are integrate funcții corespunzătoare transferului de informație (VISA Configure Serial Port VI, VISA Write, VISA Read, VISA Close, Simple Error Handler VI).

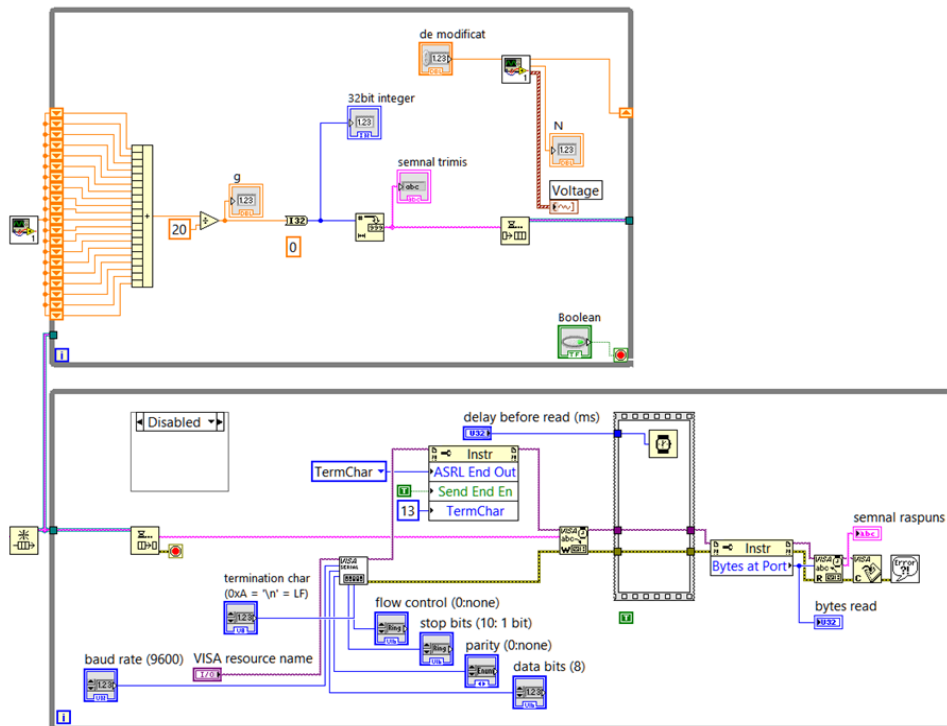


Figura 6.18. Schema bloc a VI-ului Test_Forță.vi

Componenta de achiziție a semnalului utilizează modulul de achiziție DAQ Assistent. Componenta de prelucrare a semnalului este formată din: O buclă FOR, ce are rolul de a rula un program, care face media unui set de valori, ce trec într-un interval de

timp, și un ansamblu de componente ce formează ecuația caracteristică senzorului de forță. Ecuația caracteristică a senzorului de forță ce a fost determinată în prealabil (§ Cap. 6.3). Semnalul trimis către controlerul robotului este în cod ASCII și reprezintă forța în grame.

În figura 6.14, este prezentată interfața modulului DAQ Assistant, unde sunt evidențiate setările modulului cu valorile minime și cele maxime, -200 mV respectiv 200 mV, ale tensiunii de intrare. Pe portul plăcii de dezvoltare NI USB 6221 s-a selectat portul de achiziție Dev_1. Datele sunt achiziționate într-un număr de N probe cu o rată de achiziție de 2 kHz și un număr de 500 de mostre/s. Măsurătorile au fost efectuate cu pământare.

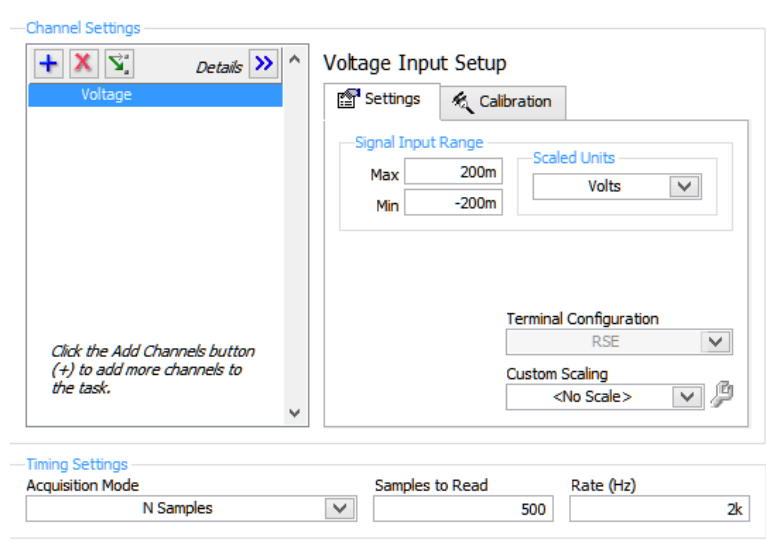


Figura 6.19 Interfața DAQ Assistant de achiziție a semnalului

6.4.2 Controlul punctului caracteristic al robotului în funcție de nivelul forței de contact în VipWindows

Datele prelucrate cu ajutorul programului *test4_QR.vi*, dezvoltat în mediul LabView, sunt trimise către controlerul robotului Yamaha prin intermediul portului serial, cu scopul de a corecta viteza punctului caracteristic al robotului, în spațiul de lucru (punctul caracteristic se identifică cu centrul frezei de prelucrat). Pentru realizarea acestui lucru, s-au creat programe (Anexa 6.2), pentru controlerul robotului. Se urmărește realizarea controlului poziției punctului caracteristic pe axa z, în funcție de valoarea forței de contact.

Programul *T_FORT_1* a fost creat în vederea menținerii forței de contact constantă, prin modificarea poziției punctului caracteristic, pe axa z astfel: Punctului P0 i se atribuie coordonatele actuale ale punctului caracteristic, iar variabilei A i se atribuie valoarea numerică achiziționată pe portul serial, (valoarea forței de contact, dintre piesă și elementul slefuitor, transformată în grame). Dacă forța de contact, achiziționată pe

portul serial, este egală cu 100g atunci, variabilei B i se atribuie valoarea 0. Dacă forța de contact, achiziționată pe portul serial, este mai mică de 100g atunci variabilei B i se atribuie valoarea 1; în schimb, dacă forța de contact achiziționată pe portul serial este mai mare de 100g, atunci variabilei B i se atribuie valoarea -1. După atribuirea de valori variabilei B, se incrementează coordonata z a punctului P0 cu valoarea variabilei B. Prin comanda MOVE P,P0 punctul caracteristic al robotului, (elementul șlefuitor) execută mișcarea de corecție, în noile coordonate ale punctului P0. În timpul testelor, s-a observat că programul nu rulează, și deci, nu poate fi utilizat în scopul dorit.

Programul *T_FORT_2* este similar cu *T_FORT_1* și a fost creat în vederea menținerii forței de contact constantă, prin modificarea coordonatelor poziției punctului caracteristic, pe axa z cu următoarele diferențe: Variabilei B i se atribuie valorile de 5 și -5 în loc de 1 și -1 (în aceleași condiții ca în programul *T_FORT_1*), iar în funcție de direcția de mișcare a punctului caracteristic pe axa z este transmisă către PC valoarea PLUS sau MINUS. Comanda de mișcare, (point to point), a fost înlocuită cu comanda MOVE L,P0 (mișcare liniară) cu viteza S setată la 10% din viteza maximă a robotului. S-a observat că punctul caracteristic își modifică poziția pe axa z, prin incrementarea cu 5 mm, față de poziția precedentă. Dar programul nu modifică poziția punctului caracteristic în mod continuu.

Programele *T_FORT_3* și *T_FORT_4* testează corecția coordonatelor punctului caracteristic în funcție de valoarea forței de contact, în timpul execuției unei mișcări, și conține 2 task-uri. Primul task este programul *T_FORT_2*, iar cel de-al doilea task are rolul de a mișca punctul caracteristic al robotului pe o traiectorie circulară. Diferența dintre cele două programe este că cel de al-doilea incrementează pe axa z coordonatele punctelor ce descriu traiectoria punctului caracteristic. În timpul rulării celor 2 programe s-au observat erori ale traiectoriei punctului caracteristic. Acesta își modifică poziția pe axa z, până la atingerea următorului punct, după care revine la valoarea inițială a coordonatei pe axa z. Datorită erorilor apărute, programul nu satisface cerințele impuse, și nu îndeplinește așteptările inițiale.

Programul *T_FORT_5* testează corecția coordonatelor punctului caracteristic în funcție de valoarea forței de contact, în timpul execuției unei mișcări, și conține 2 task-uri. Primul task este programul *T_FORT_2*, iar cel de-al doilea task are rolul de a mișca punctul caracteristic al robotului pe o traiectorie liniară, ce descrie un dreptunghi cu laturile 88 mm/1 mm. În timpul rulării programului, s-a observat că poziția punctului caracteristic pe axa z nu se modifică.

Programul *T_FORT_6* testează corecția coordonatelor punctului caracteristic în funcție de valoarea forței de contact, în timpul execuției unei mișcări liniare și conține 3 task-uri. În primul task, se atribuie variabilei B valorile 5 sau -5, în funcție de valoarea forței de contact. Dacă forța de contact este mai mică de 100g, atunci variabilei A i se atribuie valoarea 5, iar dacă forța de contact este mai mare de 100g, atunci variabilei A i se atribuie valoarea -5. Cel de al doilea task realizează mișcarea punctului caracteristic în spațiul de lucru. Iar al treilea task execută corecția pe axa z. În timpul rulării programului s-a observat că poziția punctului caracteristic pe axa z nu se modifică.

Programul *T_FORT_7* a fost creat în vederea menținerii forței de contact constantă, prin modificarea poziției punctului caracteristic, pe axa z, prin însumarea

coordonatelor a două puncte utilizând două task-uri, astfel: În primul task sunt declarate variabilele B, C, D și E ce reprezintă puncte. Dacă forța de contact, achiziționată pe portul serial, este mai mică de 100g, atunci coordonatelor punctelor variabile B, C, D și E se adună coordonatele punctului P598. Iar dacă forța de contact, achiziționată pe portul serial, este mai mare de 100g, atunci din coordonatelor punctelor variabile B, C, D și E se scad coordonatele punctului P598. Al doilea task generează traiectoria punctului caracteristic în spațiul de lucru în formă de spirală prin incrementarea simultană pe axele X și Y a coordonatelor punctelor variabile B, C, D și E. În timpul testelor s-a observat că programul nu rulează. Eroarea returnată este: „Same points exist”. În limbajul de programare VipWindows al robotului nu se pot utiliza puncte variabile de format P[A], în vederea generării de traiectorii în linie dreaptă sau cerc, (de forma : MOVE L, P[A]).

Programul *T_FORT_8* a fost creat în vederea menținerii forței de contact constantă, prin modificarea poziției punctului caracteristic, pe axa z în timpul execuției unei traiectorii generată de un șir de puncte importat din Excel, astfel: variabilei A i se atribuie valoarea numerică achiziționată pe portul serial, (valoarea forței de contact, dintre piesă și elementul șlefuitor, transformată în grame). Dacă forța de contact, achiziționată pe portul serial, este mai mică de 100g, atunci coordonatele actuale punctului caracteristic sunt adunate cu coordonatele punctului P599. Iar dacă forța de contact, achiziționată pe portul serial, este mai mare de 100g, atunci coordonatele punctului P599 sunt scăzute din coordonatele actuale ale punctului caracteristic. Programul nu execută corecție la primirea următoarelor valori ale forței. Adunarea a două puncte nu poate fi utilizată sub această formă.

Programul *T_FORT_9* menține forța de contact constantă dintre piesa de prelucrat și elementul șlefuitor constantă prin incrementarea pe axa z a coordonatelor punctelor ce formează traiectoria.

T_FORT_9

```

START *ST2, T2
B=50 'setează înălțimea pe axa Z'
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
FOR K=600 TO 1223
LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])+5
NEXT K
ENDIF
IF A>100 THEN
FOR K=600 TO 1223-----> LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])-5
NEXT K
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
FOR J=600 TO 1223
MOVE L,P[J],S=80
NEXT J
GOTO *ST2
HALT

```

Figura 6.20 Programul, *T_FORT_9*, dezvoltat în VIP Windows

T_FORT_9 este structurat în două task-uri. În primul task este setată înălțimea planului în care se va crea traiectoria. Variabilei A i se atribuie valoarea forței de contact în grame, aceasta se incrementează cu 5 dacă variabila $A < 100$ respectiv -5 în dacă $A > 100$. Task-ul al doilea are rolul de a crea traiectoria de mișcare a punctului caracteristic, prin comanda de mișcare în linie, prin punctele importate din Excel.

Programul rulează și execută corecția pe axa z, în funcție de valoarea semnalului primit pe portul serial.

6.4.3 Concluzii

- Datorită limbajului utilizat, robotul este limitat din punct de vedere al programării.
- În timpul execuției unei comenzi de mișcare ex. MOVE, parametrii ce descriu această mișcare (coordonatele punctelor, viteza, accelerația, etc.) nu pot fi modificați
- Se impune descompunerea traiectoriei în segmente mici, care să compună mișcarea în spațiul de lucru al punctului caracteristic al robotului, astfel încât modificarea parametrilor de mișcare să se actualizeze între două comenzi de mișcare.
- Dacă sunt folosite comanda MOVE pentru mișcare și comanda LOCZ cu scopul de a modifica parametrii punctelor conform ex. T_FORT_9, se poate realiza corecția pe axa z, în funcție de valoarea semnalului primit pe portul serial.

6.4.4 Desfășurarea experimentului.

Experimentul a testat posibilitatea de a utiliza sistemul prezentat anterior pentru a controla forța de contact dintre elementul final al robotului și mediu (piesă).

În acest scop, s-a construit standul din figura 6.21, format dintr-un plan înclinat, cu o lungime 540 mm și pantă variabilă din plexic. În dispozitivul port freză, s-a montat ca și element palpator un pix. S-a utilizat un pix datorită coeficientului de frecare scăzut dintre suprafața redusă a bilei din vârful pixului și materialul plastic (plexic).

În figura 6.22 este prezentat standul experimental (vedere frontală) utilizat pentru testarea posibilității de utilizare a corecției pe axa z, în funcție de forța de contact dintre efectorul final și piesa de prelucrat/mediu.



Figura 6.21 Standul experimental utilizat pentru testarea posibilității de utilizare a corecției pe axa z



Figura 6.22 Stand experimental, vedere frontală

În vederea desfășurării experimentului, s-a dezvoltat un program, (Anexa 6.2), care să descrie o traiectorie în linie dreaptă, cu o lungime de 330 mm formată din 330 de puncte consecutive cu distanța de 1mm între acestea, la o înălțime de 74 mm pe axa z. Programul modifică traiectoria înălțimii pe axa z, în funcție de valoarea forței de contact. Forța de contact a fost setată la 0,98 N. Pentru valori mai mici ale forței de contact măsurate, valoarea coordonatei pe axa z crește cu 3mm. Iar pentru valori mai mari, valoarea coordonatei pe axa z scade cu 3mm, astfel încât să fie menținut contactul între plan și piesa palpatoare cu o forță de 0,98N.

În figura 6.23, este prezentată grafic traiectoria descrisă de palpator în timpul desfășurării experimentelor.

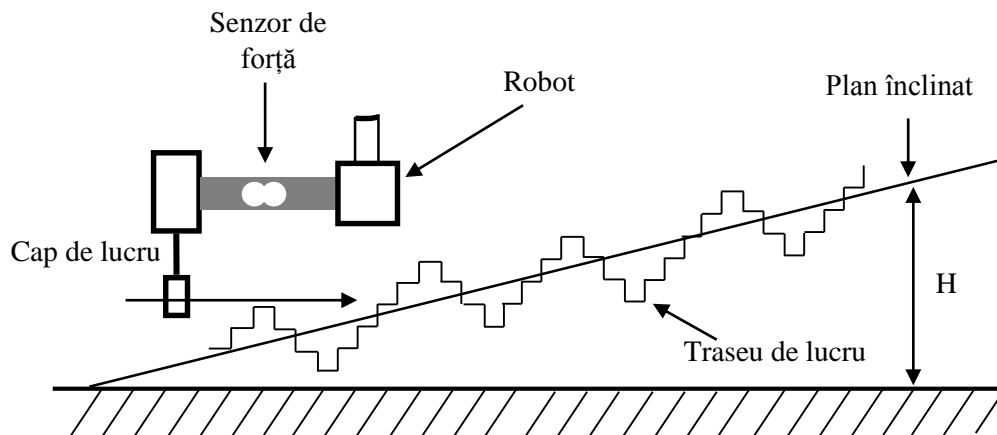


Figura 6.23 Traseul punctului caracteristic față de planul înclinat

Traseul descris de punctul caracteristic al robotului, (palpator) este diferit de planul ce trebuie urmărit, iar menținerea contactului este întreruptă, principalul motiv este timpul de reacție al sistemului format din: senzor, mediul de dezvoltare Labview, și robot. Datorită timpului de reacție mare, forța de contact poate crește de până la 7 ori

față de valoarea stabilită de 0,98 N. Ruperea contactului și reluarea acestuia este influențată de timpul de reacție lent. În figura 6.24, se poate observa menținerea, respectiv ruperea contactului între plan și palpator (pix).

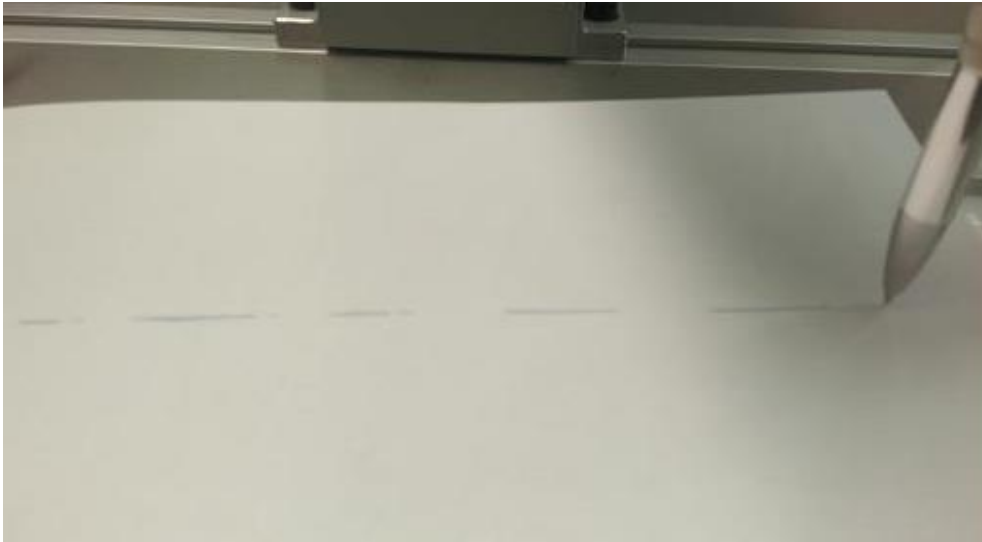


Figura 6.24 Menținerea contactului între plan și palpator

6.4.5 Concluzii

- Datorită limbajului utilizat, robotul este limitat din punct de vedere al programării;
- Sistemul propus este funcțional, acesta modificând parametrii pe axa z, în funcție de forța de contact;
- Principala limitare a utilizării sistemului în practică este dată de timpul de reacție mare al sistemului;
- Rezoluția sinusoidă ce descrie planul înclinat este dată de distanța dintre două puncte consecutive ce descriu traiectoria și de valoarea mărimii cu care se modifica coordonata z a punctului caracteristic.

6.5 Concluzii finale

Nivelul vibrațiilor frezei influențează calitatea prelucrărilor mecanice, de aceea literatura de specialitate tratează, cu mare atenție, reducerea nivelului vibrațiilor. Sistemul propus de corelare a vitezei, în funcție de nivelul vibrației, în vederea menținerii vibrațiilor într-o plajă de valori acceptabile, este funcțional, cu mențiunea că limbajul utilizat în programarea robotului este limitat ca număr maxim de puncte ce pot fi definite și număr de comenzi, respectiv complexitatea acestora. Datorită programului controlerului RCX240, traiectoria de frezare trebuie descompusă într-o serie de puncte

apropiate, în vederea actualizării comenzilor de mișcare între două puncte. Din acest motiv, viteza de lucru scade o dată cu creșterea numărului de puncte definite.

Sistemul dezvoltat în vederea menținerii forței de contact între efectorul final al robotului și piesa de prelucrat prezintă mai multe limitări. Deși elementele senzoriale cu timbre tensionmetrice au o precizie și fidelitate ridicată, iar caracteristica acestor senzori este liniară, principala restricție în utilizarea sistemului propus este timpul lung de răspuns și, deci, imposibilitatea lui de utilizare în operații de frezare, lustruire sau de urmărire a unei suprafețe. Este recomandat în operații unde timpul de răspuns nu trebuie să fie redus.

În încheiere, putem afirma că obiectivul operațional al capitolului a fost atins, și ambele sisteme propuse sunt funcționale, dar există limitări în utilizarea acestora.

7 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1 Concluzii finale

Cerințele pieței au influențat direct procesele de producție, conducând la apariția liniilor flexibile de fabricație și la introducerea roboților în procesele de producție. Una din direcțiile de cercetare actuale este utilizarea roboților industriali în procese de prelucrare mecanică, în vederea satisfacerii condițiilor de flexibilitate și productivitate, înlocuind mașinile convenționale și în unele cazuri și CNC-urile.

Obiectivul principal al tezei și programul de cercetare au luat în considerare aceste aspecte ale dezvoltării industriale și tendințele actuale.

Activitatea prevăzută în planul de cercetare, s-a desfășurat în Laboratorul de Senzori și Actuatore al Departamentului de Mecatronică din cadrul Universității Politehnice Timișoara. Respectând obiectivele tezei și programul de cercetare, teza are două direcții principale de studiu. Prima direcție de cercetare și-a propus studierea teoretică și experimentală a robotului Yamaha YK 400, iar cea de-a doua, analiza experimentală a utilizării robotului Yamaha YK 400 în procese de prelucrare mecanică și dezvoltarea unor aplicații, care să ajute la îmbunătățirea calității prelucrărilor mecanice.

În urma unei analize profunde a stadiului actual în direcția prelucrărilor mecanice cu roboți industriali, s-a constatat nevoia implementării acestora în operații de frezare și lustruire dar și cerința de ameliorare a rigidității roboților.

În timpul analizei experimentale a robotului Yamaha YK 400, s-au conceput experimente și standuri de lucru pentru evaluarea caracteristicilor mecanice ale robotului YK 400 și determinarea nivelului vibrațiilor induse în timpul prelucrărilor. Pentru realizarea experimentelor s-au utilizat: mașina de frezat LUND 79314, Foto Tahometer MasTech digital DT-2234 [*** 4.1], placă de achiziție NI 6221-USB [*** 4.2], senzor piezoelectric DYTRAN 3055B3 [*** 4.3], UPS UPGUARDS PRO425 [*** 4.4] iar pentru achiziția și prelucrarea datelor s-au folosit: placă de achiziție National Instruments (NI) 2013, Microsoft Excel 2010 și software SignalExpress și LabView

Experimentele au fost realizate și implementate astfel încât să respecte direcțiile de cercetare propuse. Putem afirma că, robotul Yamaha YK400 poate fi utilizat în procese de prelucrare mecanică a materialelor din material plastic și derivate ale acestuia cu limitarea masei echipamentului montat pe robot la maxim 3500g și o precizie de lucru de maxim 0,02mm.

Cea de-a doua direcție de cercetare a lucrării tratează, din punct de vedere experimental, posibilitatea utilizării robotului Yamaha YK400 în procese de prelucrări mecanice prin frezare și lustruire. Experimentele ce privesc operațiile de frezare au fost create pentru a demonstra posibilitatea prelucrării diferitelor materiale (PVC, Lemn de brad, Lemn de stejar, Komatex, Polistiren). S-au realizat experimente ce privesc

adâncimea de frezare, viteza avansului și viteza unghiulară a frezei. Lustruirea este un proces important în producția matrițelor pentru injectat material plastic. În acest sens s-a urmărit demonstrarea posibilității utilizării robotului YK 400 în finisarea matrițelor. Punându-se accent pe șlefuirea cu hârtie abrazivă și cu pastă diamantată. Rezultatul final al experimentului a fost o suprafață tip oglindă cu rugozitatea sub 0,08 mm.

În vederea îmbunătățirii proceselor de frezare cu robotul YK 400, s-au creat două aplicații. O aplicație prevede modificarea vitezei de avans în funcție de valoarea vibrației sculei de frezat, iar cea de a doua aplicație, menținerea unei forțe de contact constante prin modificarea poziției punctului caracteristic pe axa z, în funcție de forța de contact dintre elementul ce lustruiește (pâsla, perie) și piesa de lustruit. Putem concluziona că sistemul propus format din robotul Yamaha YK 400, freza LUND, accelerometru Dytran 3055B2, senzor de forță, placa de achiziție NI 66221 și PC poate fi utilizat în operații de frezare și lustruire.

Pe baza tuturor analizelor și precizărilor făcute precum și a concluziilor enunțate, se poate considera că obiectivul tezei de doctorat - **Analiza teoretică, constructivă și experimentală a robotului Yamaha YK 400** - a fost atins și activitatea de cercetare desfășurată conține contribuții originale.

7.2 Contribuții originale ale tezei

A. Contribuții la cercetarea fundamentală

- Structurarea planului de cercetare, enunțarea obiectivelor specifice și a activităților alocate fiecăruia în parte;
- Realizarea unui studiu cu privire la stadiul actual în utilizarea roboților industriali în operații de prelucrare mecanică prin așchiere și lustruire;
- Sinteză bibliografică critică cu privire la utilizarea roboților industriali în aplicații de prelucrare mecanică prin așchiere și lustruire;
- Sintetizarea unor aspecte teoretice privind vibrațiile și parametrii de bază ale acestora, în vederea studierii comportamentului sistemului mecanic al robotului Yamaha YK400;
- Confirmarea disponibilității utilizării mediului de lucru LabView în aplicații de cercetare experimentală
- Sintetizarea unor aspect cu privire la cinematica roboților tip SCARA;
- Simularea în programul Matlab a cinematici roboților SCARA;
- Rezultatele diseminării cercetărilor efectuate.

B. Contribuții la cercetarea aplicativă

- Determinarea rigidității și flexibilități robotului YAMAHA YK 400;
- Analiza vibrației structurii mecanice a unui robot industrial;
- Analiza Robotului Yamaha YK 400 în procese de frezare;
- Construcția 3D și simularea la tensiuni interne a unui dispozitiv de fixarea a frezei pe robotul Yamaha YK400 în mediul de lucru CREO Parametric;

- Confirmarea posibilității de utilizare a Robotul Yamaha YK400 în aplicații de lustruire;
- Controlul, vitezei (de avans), punctului caracteristic în spațiul de lucru în funcție de nivelul vibrațiilor;
- Determinarea caracteristicilor sensorului de forță cu timbre tensometrice;
- Validarea ipotezelor de lucru privind posibilitatea utilizării robotului, Yamaha YK400 în operații de frezare;
- Dezvoltarea de programe în mediul de lucru LabView în vederea testării ipotezelor de experimentelor;
- Controlul poziției punctului caracteristic al robotului în funcție de nivelul forței de contact.

7.3 Diseminarea rezultatelor cercetărilor

A. **Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate Web of Science-Wos (ISI) Proceedings**

1. **Adrian Pop, Adam Andrei, Cosma Cristian, Comsa Alexandru**, Redesigning a product using modern CAD-CAM software. 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu-Mures, Romania
2. **Adrian Pop, Valer Dolga**, Vibration analysis on the structure of the robot Yamaha YK 400, Conferences ICAMaT 2014 - 7th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies ROBOTICS 2014 - VIth International Conference on Robotics POLCOM 2014 - International Conference of Tec, Applied Mechanics and Materials, Vol. 762, pp. 261-266, May. 2015
3. **Andrei Pop, Adam Andrei, Adrian Pop**, Reverse Engineering Tehnique Applied for Manufacturing Thin Wall Plastic Parts, Applied Mechanics and Materials, Vol. 772, pp. 212-217, Jul. 2015, Trans Tech Publications, Switzerland doi: I0.4028/www.scientific.net/AMM.772.212

B. **Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI**

1. **Adrian Pop, Valer Dolga, Andrei Pop**, “The Design and Analysis of The Fixation Device for Milling Machine Mill LUND on Yamaha YK 400 Robot”, International Journal of Emerging Technology & Advanced Engineering (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal), Volume 5, Issue 8, August, 2015.
2. **Adrian Pop, Valer Dolga**, “Determining the influence of stiffness, in industrial robots milling processes.”6th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development

MECAHITECH'14 International Conference Bucharest, Romania
September 4th-5th, 2014

C. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice

- 1. Adrian POP, Andrei POP, Adriana TEODORESCU, Valer DOLGA,** Real Time Speed Control of Yamaha YK400 Robot in Milling Operations, BULETINUL ȘTIINȚIFIC AL UNIVERSITĂȚII „POLITEHNICA” din TIMIȘOARA, ROMÂNIA SERIA MECANICĂ, ISSN 1224-6077, ISSUE 2 2015 (În curs de publicare)
- 2. Adrian POP, Andrei POP, Adriana TEODORESCU, Valer DOLGA,** Yamaha Robot YK400 in polishing operations, BULETINUL ȘTIINȚIFIC AL UNIVERSITĂȚII „POLITEHNICA” din TIMIȘOARA, ROMÂNIA SERIA MECANICĂ, ISSN 1224-6077, ISSUE 2 2015 (În curs de publicare)

7.4 Direcții viitoare de cercetare

În urma desfășurării activității de cercetare, a rezultatelor obținute, a analizei calitative și cantitative desfășurate, se pot considera actuale și de viitor următoarele direcții de cercetare:

- Cercetări privind ameliorarea rigidității structurii mecanice a roboților industriali Yamaha;
- Cercetări ale posibilității reducerii vibrațiilor în timpul prelucrarilor mecanice cu ajutorul robotului Yamaha YK 400;
- Cercetări în direcția utilizării roboților tip SCARA în procese de frezare și lustruire a matrițelor de injectat material plastic;
- Cercetări cu privire la îmbunătățirea software-ului controler-ului RCX240 și interfeței PC VIPWin;
- Cercetări ale utilizării roboților industriali în procese de lustruire cu pastă diamantată.

BIBLIOGRAFIE

A

1. [Abele, 2005] Abele E, Kulok M, Weigold M. Analysis of a machining industrial robot. Proc 10th International Scientific Conference on Production Engineering-CIM2005, Lumbarda, Croatia, pp II 1-11
2. [ANSI, 1990] American National Standards Institute (ANSI), " American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems: Point-to-Point and Static Performance Characteristics - Evaluation." ANSI/RIA 15.05-1-1990, New York, 1990.

B

3. [Bar-Cohen, 2003] Bar-Cohen Y., Breazeal C., Biologically Inspired Intelligent Robotics, Paper 5051-02, Proceedings of the SPIE Smart Structures Conference San Diego, CA., Mar 2-6. 2003 SPIE Copyright © 2003
4. [Beom-Sahng, 2006]. Beom-Sahng R., Pennock G.R., Robot Automation Systems for Deburring, Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications, Low Kin Huat (Ed.), ISBN: 3-86611-286-6, InTech.
5. [Besari, 2010] Besari A. R., Prabuwono A. S., Zamri R., Md. Dan Md.Palil. Computer Vision Approach for Robotic Polishing Application using Artificial Neural Networks. Proceedings of 2010 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOREd 2010), 13 - 14 Dec 2010, Putrajaya, Malaysia.
6. [Blomdell, 2005] Blomdell A., Bolmsjo G., Brogardh T., Cederberg P., Isaksson M., Johansson R., Haage M., Nilsson K., Olsson M., Olsson T., Robertsson A., Extending an industrial robot controller, IEEE Robot. Autom. Mag., vol. 12, pp.85 -94 2005
7. [Bogdanov, 2009] Bogdanov I., Conducerea Robotilor, Editura Orizonturi Universitare, 2009.
8. [Bolundut, 1999] Bolundut I., Dumitrescu I., Masini - Unelte și Prelucrari prin aschiere, Editura Tehnica -Info Chisinau, 1999
9. [Brecher, 2010] Brecher C., Tuecks R., Zunke R., Wenzel C., Development of a force controlled orbital polishing head for free form surface finishing. Received: 9 November 2009 / Accepted: 11 March 2010 / Published online: 24 March 2010_ German Academic Society for Production Engineering (WGP) 2010
10. [Brogårdh, 2007] Brogårdh T, Present and future robot control development— An industrial perspective. Annual Reviews in Control, Vol. 31, No. 1, 2007, pp. 69-79, ISSN 1367- 5788
11. [Brooks, 2005] C. Brooks, K. Iagnemma and S. Dubowsky, Vibration-based Terrain Analysis for Mobile Robots, International Conference on Robotics and Automation Barcelona, Spain, April 2005,
12. [Buzdugan 1979] Buzdugan, Mihăilescu and Mircea Radeș, "Măsurarea Vibrațiilor." Editura: Academiei române. 1979

C

13. [Carbone, 2007] Carbone G., Ceccarelli M., A comparison of indices for stiffness performance evaluation." 12th IFToMM World Congress, Besancon (France), June 18-21, 2007.

14. [CĂPĂȚÎNĂ, 2008] CĂPĂȚÎNĂ N., SCULE AȘCHietoARE I. Editura Universitatea "Dunărea de Jos" Galați – 2008
15. [Ceriani , 2012] Ceriani S., Migliavacca M., Middleware in robotics, de Internal report for "Advanced Methods of Information Technology for Autonomous Robotics", 2012.
16. [Cezary, 2003] Cezary Z., Krzysztof M., Kazimierz N., Wojciech S., A prototype robot for polishing and milling large objects, *Industrial Robot: An International Journal*, Vol.30, No.1, pp 67-76
17. [Chen, 2012] Chen Y., Dong Fenghua., Robot machining: recent development and future research issues, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Impact Factor: 1.46). 06/2012; 66(9-12). DOI: 10.1007/s00170-012-4433-4
18. [Chen, 2013] Chen Y, Dong F, Robot machining: recent development and future research issues. *Int J Adv Manuf Technol* (2013) 66:1489–1497.
19. [Corke, 2002] Corke P., A simple and systematic approach to assigning Denavit-Hartenberg parameters. *JOURNAL OF LATEX CLASS FILES, VOL. 1, NO. 11, NOVEMBER 2002*, http://petercorke.com/doc/simple_systematic.pdf
20. [Dickman, 2007] Dickman A., Polishing and buffing mechanical surface preparation, *Metal Finishing Volume 105, Issue 10, 2007, Pages 13–29*
21. [Dolga, 2009] Dolga V., Maniu I., Radulescu C., Bogdanov I., Varga Ș., Ciupe V., *ROBOTICA Aplicatii Robotizate VOL IV*, Editura Politehnica Timisoara, Timisoara 2009.
22. [Dumas, 2011] Dumas C., și alti, "Joint stiffness identification of six-revolute industrial serial robots" *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 27 (2011) 881–888
23. [Dumitriu, 2006] Dumitriu A., *Mecatronică, Vol.1*, Editura Universității „Transilvania”, Brașov, 2006.
- E
24. [Evan, 2014], Evan A., 7 Early Robots and Automatons, *History.com, A+E Networks*, Sep 09, 2015, <http://www.history.com/news/history-lists/7-early-robots-and-automatons>
25. [Ezugwu, 2003] Ezugwu E.O., Bonney J., An overview of the machinability of aeroengine alloys. *J. Mater. Process Technol.* 134, 233–253
- F
26. [Fang, 2009] Fang F., Wu Q., A comparative study of the cutting forces in high speed machining of Ti–6Al–4V and Inconel 718 with a round cutting edgetool, *Journal of Materials Processing Technology* 209 (2009) 4385–4389
27. [Fei ,2009] Fei R., Yuwen S., Dongming G., Combined reparameterization-based spiral toolpath generation for five-axis sculptured surface machining. *Int J Adv Manuf Technol, International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 01/2009; 40(7):760-768. DOI: 10.1007/s00170-008-1385-9
- G
28. [Gafițanu, 1989] Gafițanu M, Crețu SP, Drăgan B., *Diagnostica vibroacustică a mașinilor unelte*, editura Tehnică București, 1989.
29. [Galis, 2013] Galis I., *Contribuții privind îmbunătățirea calității obținute la frezarea transversală a lemnului*, Teza de doctorat, Oradea 2013, <https://www.uoradea.ro/display1237>
30. [Garcia, 2004] Garcia j.g., Robertsson A., Ortega J.G., Johansson R., Sensor fusion of force and acceleration for robot force control, *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2004)*, pp.3009 -3014

31. [Gorie, 2014] Gorie N., Contribuții la studiul unui sistem mecatronic pentru recuperarea persoanelor cu dizabilități, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2014.
32. [Guangfeng, 2012] Guangfeng C., Yi Y., Linlin Z., Kun Z., Yanzhou Y., SCARA Robot Control System Design and Trajectory Planning: A Case Study, *Advances in Electrical Engineering and Automation* Volume 139 of the series *Advances in Intelligent and Soft Computing* pp 171-176.
33. [Guiot, 2012] Guiot A., Christophe T., Luc M.. Simulation of the material removal rate Simulation of the material removal rate and tool wear to improve 5-axis automatic polishing operations. *IDMME - Virtual Concept 2010*, Oct 2010, Bordeaux, France.
34. [Gupta, 2013] Gupta A.K., Arora S. K., *Industrial Automation and Robotics*. University Science Press, New Delhi-110002, Second Edition 2011. Pg 309.
H
35. [Hon, 2006] Hon K., Hang B., The Impact of Hight Speed Machining on Computing and Automation, *International journal of Automation and computing* 1 (2006) pg. 63-68
36. [Huang, 2002] Huang, H.K., Lin, G.C.I., "Development of a dual-robot system for prototype production", *International Journal of Production Research*, Vol.40, No. 15, pp. 3751-3764.
I
37. [Jordan, 2009] I. Jordan, "Dicționarul explicative al limbii române" ed. Univers enciclopedic Gold, 2009
J
38. [Jinwook, 200] Jinwook K., Park F.C., Munsang K, Geometric design tools for stiffness and vibration analysis of robotic mechanisms, in *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00. IEEE International Conference on*, vol.2, no., pp.1942-1947 vol.2, 2000
39. [Jobin, 2014] Jobin J.P., *INDUSTRIAL ROBOTS: 5 MOST POPULAR APPLICATIONS*, Robotiq, Feb 8 <http://blog.robotiq.com/bid/52886/Industrial-robots-5-most-popular-applications>
K
40. [Kovacs, 1999] Kovacs F., Francisc T., Varga S., "Fabrica Viitorului." Arad, 1999.
41. [Kurowski, 2012] Kurowski Paul M., *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2012*, SDC Publication, Mission, KS, Published April 11, 2012, ISBN: 978-1-58503-710-0
L
42. [LabView, 1998] *LabView User Manual*, National Instruments Corporation, January 1998 Edition, Part Number 320999B-01
43. [Liao, 2008] Liao L., Xi F., Liu K., Modeling and control of automated polishing/deburring process using a dual-purpose compliant toolhead. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 48 (2008) 1454- 146
44. [Litzenberger, 2013] IFR: Die Robotik Industrie blickt in eine rosige Zukunft, IFR Statistical Department, 18. September 20 13, http://www.worldrobotics.org/uploads/tx_zeifr/09_18_2013_PI_IFR_WR_Industrieroboter_2013.pdf
45. [López de Lacalle, 2011] López de Lacalle N. L., Campa F. J., Lamikiz A., *Modern Machining Technology A Practical Guide*, Editura: Woodhead Publishing Limited, 80 High Street, Sawston, Cambridge CB22 3HJ, UK, 2011, Pagina 221
M

46. [Maniu, 2009] Maniu I., Radulescu C., Bogdanov I., Varga Ș., Dolga V., Ciupe V., *ROBOTICA Aplicatii Robotizate VOL IV*, Editura Politehnica Timisoara, Timisoara 2009.
47. [Manual, 2008] Programming Manual YAMAHA Robot Controller © YAMAHA MOTOR CO., LTD.IM Company, Jan. 2008.
48. [Martins, 2010] Martins P. A., *Concepção de um Sistema Robótico para Prototipagem Rápida por Maquinagem*, Dissertação, Porto (Portugal), 2010
49. [Mathia, 2010], Mathia K., *Robotics for Electronica Manufacturing: Principles and Applications in Cleanroom Automation*. Cambrige University Press
50. [Mativenga, 2005] Mativenga P.t., Hon K.K.B An Experimental Study of Cutting Forces in High-Speed End Milling and Implications for Dynamic Force Modeling, *Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2005; 127(2): 251-561. eScholarID:1e1198 I DOI: 10.1115/1.1 86 3254.
51. [Mătieș, 2002] Mătieș, V., Mândru, D., Mirescu, S.C., Bălan, R., Tătar, O., Rusu, C., *Tehnologie și educație mecatronică*, Editura Economică Preuniversitaria, București, 2002
52. [McKee, 14] K, McKee, G. Forbes and others, A vibration cavitation sensitivity parameter based on spectral and statistical methods, *Expert Systems with Applications*, 1 August 2014
53. [Mihai, 2004] Mihai D., *Standards and Classifications of Industrial Robots*, smashingrobotics, October13,2014, <http://www.smashingrobotics.com/standards-and-classifications-of-industrial-robots/>
54. [Mondoc, 2014] Mondoc A., *Analiza teoretică și experimentală a aspectelor aleatorii din scena de lucru a unui robot mobil*, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2014.
55. [Moradi 2013] Hamed Moradi, Gholamreza Vossoughi , Mohammad R. Movahhedy, Mohammad T.Ahmadian, " Forced vibration analysis of the milling process with structural nonlinearity, internal resonance, tool wear and process damping effects" *International journal of Non-Linear Mechanics*, 2013.
56. [Mubarak, 2013] Mubarak M. N., *Outdoor obstacle detection using ultrasonic sensors for an autonomous vehicle safe operations*, Master of Science, Tampere University of Technology, 2013.
57. [Murtagh, 2006] Murtagh L., *Leonardo da Vinci: The Engineer*, Illumin, Volume VIII Issue I, 2006. <https://illumin.usc.edu/150/leonardo-da-vinci-the-engineer/>
N
58. [Nagata, 2013] Fusaomi Nagata, Keigo Watanabe. *Polishing robot for pet bottle blow molds. Controller Design for Industrial Robots and Machine Tools Applications to Manufacturing Processes*, 2013, Pages 141–162, 215–225.
59. [Ning, 2005] Ning L., Martin L., Andrew W., *Surface finish visualisation in high speed, ball nose milling applications*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 45, Issue 10, August 2005, Pages 1152-1161, ISSN 0890-6955
60. [Nwokah, 2001] Nwokah D. I., Hurmuzlu Y., *The Mechanical system handbook: modeling, measurment, and control*, CRC PRESS London 2001, ISBN: 0-8493-8596-2.
O
61. [Oliveira, 2004] Oliveira J.F.G., Valente, C.M.O., 2004, *Fast Grinding Process Control with AE Modulated Power Signals*, *Annals of CIRP*, Vol. 54, No. 1, pp. 121-128.

62. [Olofsson, 2013] Olofsson B., Topics in Machining with Industrial Robots and Optimal Control of Vehicles, Department of Automatic Control Lund University, ISSN 0280-5316, ISRN LUTFD2/TFRT--3259--SE
63. [Olsson, 2007] Olsson T., Robertsson A., Johansson R.. Flexible Force Control for Accurate Low-Cost Robot Drilling. International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy, 10-14 April 2007
64. [Olsson, 2009] Olsson T, Haage M, Kihlman H., Johansson R., Nilsson K., Robertsson A., Bjoman M., Isaksson R., Ossbahr G., Broga T., Cost-efficient drilling using industrial robots with high-bandwidth force feedback. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 26 (2010) 24-38
65. [Otomanski, 2008] Otomanski P., Szlachta A., The evaluation of expanded uncertainty of measurement results in divert measurements using the LabView environment, Measurement Science Review, v. 8, no.6, p.147, 2008.
P
66. [Pan, 2006] Pan Z., Zhang H., Zhu Z., Wang J., Chatter analysis of robotic machining process. Journal of Materials Processing Technology 173 (2006) 301-309.
67. [Pan, 2009] Pan Z., Zhang H., Improving Robotic Machining Accuracy by Real-time Compensation, ICROS-SICE International Joint Conference 2009 August 18-21, 2009, Fukuoka International Congress Center (Japan), p.4289
68. [Pasco, 2002]Pasko R., Przybylski L., Slodki, B., High speed machining (HSM) - The effective way of modern cutting. Proceedings of 7th DAAAM International Workshop CA Systems and Technologies, 72-79, 2002]Pasko R., Przybylski L., Slodki, B., High speed machining (HSM) - The effective way of modern cutting. Proceedings of 7th DAAAM International Workshop CA Systems and Technologies, 72-79
69. [Pashkevich, 1997] Pashkevich A., Klimchik A., Chablat D., "Enhanced stiffness modelling of manipulators with passive joints." Institut de Recherches en Communications et en Cybernetique de Nantes, UMR CNRS 6597, France
70. [Pop, 2014] Adrian Pop, Valer Dolga, Vibration Analysis on the Structure of the Robot Yamaha YK 400, International Conferences ICAMaT 2014 - 7th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies ROBOTICS 2014 - VIth International Conference on Robotics POLCOM 2014 - International Conference of Tec in Applied Mechanics and Materials, Vol. 762, pp. 261-266, May. 2015 DOI 10.4028/www.scientific.Net /AMM.762.261
71. [Pop, 2014] Adrian Pop, Valer Dolga Determining the influence of stiffness, in industrial robots milling processes, 6th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development MECAHITECH'14 International Conference Bucharest, Romania September 4th-5th, 2014
72. [Pop, 2014] Adrian Pop, Adam Andrei, Cosma Cristian, Comsa Alexandru, Redesigning a product using modern CAD-CAM software. 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu-Mures, Romania
73. [Pop, 2014] Andrei Pop, Adam Andrei, Adrian Pop, Reverse Engineering Tehnique Applied for Manufacturing Thin Wall Plastic Parts, Applied Mechanics and Materials, Vol. 772, pp. 212-217, Jul. 2015, Trans Tech Publications, Switzerland doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.772.212

74. [Pop, 2014] Adrian Pop, Valer Dolga and Andrei Pop, The Design and Analysis of the Fixation Device for Milling Machine Mill LUND on Yamaha YK 400 Robot” in International Journal of Emerging Technology & Advanced Engineering (ISSN 2250-2459), Volume 5, Issue 8, August, 2015
75. [Pop, 2015] Adrian POP, Andrei POP, Adriana TEODORESCU, Valer DOLGA, Real Time Speed Control of Yamaha YK400 Robot in Milling Operations, BULETINUL ȘTIINȚIFIC AL UNIVERSITĂȚII „POLITEHNICA” din TIMIȘOARA, ROMÂNIA SERIA MECANICĂ, ISSN 1224-6077, ISUE 2 2015 (În curs de publicare)
76. [Pop, 2015] Adrian POP, Andrei POP, Adriana TEODORESCU, Valer DOLGA, Yamaha Robot YK400 in polishing operations, BULETINUL ȘTIINȚIFIC AL UNIVERSITĂȚII „POLITEHNICA” din TIMIȘOARA, ROMÂNIA SERIA MECANICĂ, ISSN 1224-6077, ISUE 2 2015 (În curs de publicare)
- Q
77. [Quan, 2004] Quan Y.M., Wang C.Y., He, Z.W., Experimental investigation on the high speed machining of hardened steel. Adv. Mater. Manufact. Sci. Technol. Mater. Sci.Forum 471–472, 339–343.
- R
78. [Rafieian] Rafieian F., Zhaoheng L, Hazel B., Dynamic model and modal testing for vibration analysis of robotic grinding process with a 6DOF flexible-joint manipulator, in Mechatronics and Automation, 2009. ICMA 2009. International Conference on , vol., no., pp.2793-2798, 9-12 Aug. 2009
79. [Ranta, 1988] Ranta J. și alti, “Flexible production automation and computer integrated manufacturing: Recent trends in Finland ”Computers in Industry, Vol. 11, Issue 1, Nov. 1988, p, 53-76
80. [RCX240, 08] User's Manual RCX240 YAMAHA Robot Controller © YAMAHA MOTOR CO., LTD.IM Company, Jul. 2008
81. [Rehiara a. B., 2011] Rehiara a. B., Kinematics of AdeptThree Robot Arm, Robot Arms, Prof. Satoru Goto (Ed.), ISBN: 978-953-307-160-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/robot-arms/kinematicsof-adeptthree-robot-arm>
82. [Reinl, 2011] Reinl C., Friedmann M., Bauer J., Pischon M., Abele E., von Stryk E., Model-based Off-line Compensation of Path Deviation for Industrial Robots in Milling Applications 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2011) Budapest, Hungary, July 3-7, 2011
83. [Rice, 2010] Load Cell and Weigh Module Handbook. Rice Lake Weighing Systems, Rice Lake, WI 54868, 2010
84. [Rizk,] Rizk R., Fauroux J. C., Munteanu M., Gogu G., “A Comparative Stiffness Analysis of a Reconfigurable Parallel Machine with three or four Degrees of Mobility.” Mechanical Engineering Research Group (LaMI), IFMA&UBP, Campus des Cézeaux, BP265, 63175 France,
85. [Rozhok, 2008] Rozhok A., Orientation and Navigation in Vertebrates, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-78718-1, 2008.
86. [Rusu, 2015] RUSU O. T., Contribuții privind studiul procesului de frezare cu viteze mari de aşchiere, pe centre de prelucrare. UNIVERSITATEA TEHNICĂ “GHEORGHE ASACHI “DIN IAȘI Școala Doctorală a Facultății de Construcții de Mașini și Management Industrial, IAȘI – 2015
- S

87. [Sabri, 1990] Sabri C., Ray-long T., Position Error compensation of robotic contour end milling, *International Journal Of Machine Tools Manufacture*, Vol 30, No.4 pp. 67-76
88. [Saha, 2008] Saha S. K., Denavit and Hartenberg (DH) Parameters, *Introduction to Robotics*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2008.
89. [Schaaf, 2000] Schaaf W., Robotyping – new rapid prototyping processes for sand moulds using industrial robots, *Assembly Automation*, Vol.20, No.4, pp.321-329
90. [Schultz, 1999] Schulz H., The History of High-Speed Machining, *REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA*, iunie 1999. <http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct13art01.pdf>
91. [Schulz, 2001] Schulz H., Abele E., Sahm A., Material aspects of chip formation in HSC machining. *CIRP Annal.* 50, 45–48
92. [Sermanet, 2009] Sermanet P., Hadsell R., Scoffier M., Grimes M., Ben J., Erkan A. A Multirange Architecture for Collision-Free Off-Road Robot Navigation, *Journal of Field Robotics* 26(1), Pag. 52–87 (2009).
93. [Simon, 2013] Simon S., Botean I.A., Bejan M., "Determinarea Rigidității unor Roboții Industriali." *AGIR* 1/2013, p. 133-138.
94. [Singh, 2013] Evolution of Industrial Robots and their Applications, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 5, May 2013)
95. [Slamani 2015] Slamani M., Gauthier S., Chatelain J.. A study of the combined effects of machining parameters on cutting force components during high speed robotic trimming of CFRPs, *Measurement* 59 (2015) 268–283.
96. [Solazzia, 11] L. Solazzia, C. Petrogallia and M. Lancinia, Vibration based diagnostics on rolling contact fatigue test bench, *Procedia Engineering* 10 (2011) 3465–3470
97. [Solvang, 2008] Solvang B., Sziebig G., Korondi P.. *Robot Programming in Machining Operations, Robot Manipulators*, Marco Ceccarelli (Ed.), ISBN: 978-953-7619-06-0, InTech,
98. [Sornmo,2012] Sornmo O., Olofsson B., Schneider U., Robertsson A., Johansson R., Increasing the Milling Accuracy for Industrial Robots Using a Piezo-Actuated High-Dynamic Micro Manipulator. The 2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, July 11-14, 2012, Kaohsiung, Taiwan
99. [Swift, 2013] Swift K. G., Booker J.D., *Manufacturing Process Selection Handbook*, 1st Edition, Editura: Butterworth-HeinemannPrint Book, pagina 179
100. [Sziebig, 2007] Sziebig G., Interactive vision-based robot path planning, Master of Science thesis, Budapest University of Technology and Economics, 82 pp., May 2007.
- T
101. [Thomessen, 1999] Thomessen T., Lien T.K., Solvang B., Robot Control System for Heavy Grinding Applications, *Proceeding of 30th International Symposium on Robotics*, pp. 33-38, 1999.
102. [Thomessen, 2000] Thomessen T., Lien T.K., Robot control system for safe and rapid programming of grinding applications. *Industrial Robot: An International Journal*, VOL 27, no 6 2002.
103. [Tu, 2014] Tu JF., Corless M., Review of Sensor-Based Approach to Reliable High Speed Machining at Boeing – A Tribute to Jan Jeppsson, High

Speed Machining. Volume 1, Issue 1, ISSN (Online) 2299-3975, DOI: 10.2478/hsm-2014-0001, August 2014.

U

104. [UNI, 1995] Italian National Institute for Standards (UNI), "Manipulating Industrial Robots: Performance Criteria and Related Test Methods." UNI EN 29283 (= ISO 9283), Milan, 1995.

V

105. [Vaidea, 1980] Vaidea A., Botez E., Velicu S., "Proiectatea Maşinilor-Unelte." Bucureşti, 1980
106. [van Amerongen, 2000] van Amerongen, J., "The role of control in mechatronics," in Engineering Science and Education Journal , vol.9, no.3, pp.105-112, Jun 2000 doi: 10.1049/esej:20000302
107. [Varga, 2008] S. Varga, C. Radulescu, I. Bogdanov: Robotica Sistemul Mecanic. Vol 1, Ed politehnica, Timisoara 2008,
108. [Varga, 2008] Varga S., Radulescu C., Bogdanov I., "Robotica Sistemul Mecanic." Vol 1, Ed Politehnica, Timisoara 2008,

W

109. [Warnecke, 1995] Warnecke H.J. Der Produktionsbetrieb, vol 1-3, SV Berlin, 1995
110. [Weber, 2011] Weber A., Happy 'Big 5-0' Robot!, Assembly Magazine, 2401 W. Big Beaver Rd., Suite 700 Troy, MI on April 20, 2011, <http://www.assemblymag.com/blogs/14-assembly-blog/post/89323-happy-big-5-0-robot>
111. [White, 1994]. A. S. White, Vibration control in elastic manipulators, COMPUTING & CONTROL ENGINEERING JOURNAL, APRIL 1994.

Y

112. [Yamaha, 2004] YAMAHA SCARA ROBOTS YK-X SERIES, OWNER'S MANUAL, May. 2004, Ver. 5.12, © YAMAHA MOTOR CO., LTD. IM Company
113. [Yuyao et al., 2009] Yoyao L., Jingchun F., Yuhan W., Jian G., Variable-period feed interpolation algorithm for high-speed five-axis machining, International journal of advanced manufacturing technology, ISSN 0268-3768, Vol. 40, N°. 7-8, 2009, págs. 769-775

Z

114. [Zanchetin, 2011] Zanchettin A. M., Rocco P., Robertsson A, Johansson R., Exploiting task redundancy in industrial manipulators during drilling operations. International Conference on Robotics and Automation Shanghai International Conference Center May 9-13, 2011, Shanghai, China
115. [Zhang, 2005] Zhang H., Wang J., Zhang G., Gan Z., Cui H., Zhu Z., Machining with Flexible manipulator toward improving robotic machining performance, Proceedings of IEE/ASME. International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 1127-1132, ISBN 0-7803-9047-4, 2005
116. [Zhang, 2006] Zhang H., Chen H., Xi N., Zhang G., He J., On-Line Path Generation for Robotic Deburring of Cast Aluminum Wheels, Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 9 - 15, 2006, Beijing, China
117. [*** Legea 0] https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Laws_of_Robotics, accesat la 5.05.2015
118. [*** Science Fiction] <https://www.pinterest.com/williamzupancic/author-gordon-r-dickson-by-william-zupancic/>, accesat la 5.05.2015
119. [*** Porumbel] <http://www.roderik.net/education/cir/history-of-robotics/>, accesat la 10.05.2015

120. [*** Archytas] <http://keepo.me/berita-nyeleneh-channel/2-fakta-men-gejutkan-tentang-robot-sejak-jaman-leonardo-da-vinci-hingga-era-modern-sa-at-ini>, accesat la 10.05.2015
121. [*** Structură mecanică] <http://interestingengineering.com/leonardo-da-vincis-prototypes-that-predicted-the-future>, accesat la 10.05.2015/
122. [*** Cavalier] <http://www.leonardo-da-vinci-biography.com/images/leonardo-da-vinci-robot-knight.jpg>, accesat la 10.05.2015
123. [*** Leu] http://www.anticsonline.co.uk/1934_1_106593100.html, accesat la 10.05.2015
124. [*** Uimate] <https://www.used-robots.com/education/the-history-of-industrial-robots>, accesat la 12.06.2015
125. [*** Versatran] <http://cyberneticzoo.com/early-industrial-robots/1958-62-versatran-industrial-robot-harry-johnson-veljko-milenkovic/>, accesat la 12.06.2015
126. [*** Enciclopedia Britanica] <http://www.britannica.com/Technology/client-server-architecture>, accesat la 12.06.2015
127. [*** Client-Server] <http://www.aritzhaupt.com/resource/phpebook/cha-pter1/index.htm>, accesat la 12.06.2015
128. [*** Aplicații Client-Server] <http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise95/journal/vol4/wcy/report.html>, accesat la 12.06.2015
129. [*** Vânzările de roboți] <http://www.connectorsupplier.com/rise-of-the-robots-010714/>, accesat la 16.06.2015
130. [*** Distribuția roboților] http://www.eetimes.com/author.asp?doc_id=1282374, accesat la 16.06.2015
131. [*** lustruire] <http://www.myplasticmold.com/5-methods-of-plastic-mold-polishing.html>, accesat la 20.08.2015
132. [*** Prognoza 2015] <http://www.neatorama.com/2010/08/18/the-gravest-threat-to-your-job-isnt-illegal-immigrants-its-the-robots/>, accesat la 16.06.2015
133. [*** Prognoza pe domenii] http://robotgossip.blogspot.ro/2005_11_01_archive.html, accesat la 16.06.2015
134. [*** Beneficiile utilizării RI] <https://www.robots.com/faq/show/why-should-my-company-use-industrial-robots>, accesat la 19.06.2015
135. [*** Proiectul Comet] <http://www.cometproject.eu/publications/gizelis-robots-replace-cnc-machines.pdf>, accesat la 19.06.2015
136. [*** Germania (Industria Automobilului)] <http://it.Dreamstime.com/fotografia-stock-libera-da-diritti-robot-industriali-image22187257>, accesat la 19.06.2015, accesat la 19.06.2015
137. [*** Aplicații ale RI] <http://www.eggshell-robotics.com/blog/257-the-world-by-industrial-robot-density>,
138. [*** Celulă robotizată] <http://www.garnerholt.com/ghp-inc/products--services.aspx>, accesat la 19.06.2015
139. [*** Sfinx] http://www.snbrstone.com/index.php?option=com_content&view=article&id=16:le-sphinx-des-naxiens&catid=8:projets-avec-le-robot-sculpteur&Itemid=716.06.2015, accesat la 10.0.2015
140. [*** Sculptură] http://www.snbrstone.com/index.php?option=com_content&view=article&id=20:sculpture-robot-scanner&catid=4:divers-outils&Itemid=19, accesat la 19.06.2015
141. [*** Filatură de bumbac] <http://imgc.allpostersimages.com/images/P-473-48890/72/7223/4GZN100Z/posters/spinning-frame-designed-in-1767-y->

- richard-arkwright-1732-1792-colored-engraving.jpg, accesat la 19.06.2015 F, accesat la 19.06.2015
142. [*** F-200iB] <https://www.used-robots.com/fanuc/used-f-200ia>, accesat la 22.07.2015
 143. [*** IRB 6660] <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6660-for-pre-machining>), accesat la 22.07.2015
 144. [*** IRB 140] <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-140>, accesat la 22.07.2015
 145. [*** IRB 2400] <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2400>, accesat la 22.07.2015
 146. [*** KR 550] <https://www.robots.com/applications>, accesat la 22.07.2015
 147. [*** KR 30] http://www.kukarobotics.com/en/products/industrial_robots/medium/kr30_3/, accesat la 22.07.2015
 148. [*** DX1350 N] <https://www.robots.com/applications>, accesat la 22.07.2015
 149. [*** RX170HSM] <http://www.staubli.com/en/robotics/robot-solution-application/high-speed-machining-robots/>, accesat la 22.07.2015
 150. [*** Freză] <http://www.atelierultau.ro/blog/2010/10/>, accesat la 20.08.2015
 151. [*** Dremel] <http://www.dremeleurope.com/ro/ro/frez%C4%83-hss-3-2mm-133-ocs-p/>, accesat la 20.08.2015
 152. [*** KUKAROBOTICS] http://www.kukarobotics.com/en/solutions/solutions_search/print/L_USA_Large_Scale_Architectural_Milling.htm, accesat la 02.09.2015
 153. [***Componentele OROCOS] <http://www.orocos.org/rtt>, accesat la 19.06.2015
 154. [***YamahaYK400].http://global.yhttp://www1.adept.com/main/KE/DATA/AIM/MotionWare_User_images/amarmco.gifamahamotor.com /business /robot/lineup/ykxg/, accesat la 02.09.2015
 155. [*** LabView] <http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/ap/tech/lang/ro/pg/1/sn/catnav:pm/>, accesat la 05.09.2015
 156. [*** Yamaha-motor] <http://www.yamaha-motor.co.jp.edgesuitestaging.net/global/industrial/robot/ykx/std/yk400x/index.html>, accesat la 02.09.2015
 157. [*** Spațiul de lucru] http://www.limasoft.cz/yamaha/pdf/YK400X_E.pdf, , accesat la 02.09.2015
 158. [Tahometer DT-2234] http://www.logingel.com/Files/Write/Files/179998/mastech_dt2234_a_datasheet_en.pdf?dt=120814083219, accesat la 10.05.2014
 159. [*** Creo 3.0] http://www.ptc.com/File%20Library/Product%20Families/Creo/Shared%20Files/Creo_3-0_Curriculum_Guide.pdf, accesat la 05.09.2015
 160. [***NI 6221-USB];<http://shop.micronplus.ro/pdf/national%20instruments%20USB6221.pdf>, 13.07.2015
 161. [*** DYTRAN 3055B3] <http://72.34.224.196/Model-3055B3-General-Purpose-Accelerometer-P2187.aspx>, accesat la 10.05.2014
 162. [*** rugozimetru] <http://www.taylor-hobson.com/talyprofile-software>
 163. [*** UPSPRO425] <http://www.weitronic.com.tw/UPS/Office%20Pro%20425%20&%20650%20&%201000%20&%201400.pdf>, accesat la 10.05.2014

164. [*** RI în mediul de lucru] http://cdn.intechopen.com/pdfs/10632/intechrobotic_machining_from_programming_to_process_control.pdf, accesat la 02.09.2015
165. [*** Țarca] Tarca, Radu. Sisteme flexibile de fabricație curs. Oradea, <http://imt.uoradea.ro/mecatronica/doc/Sisteme%20flexibile%20de%20fabricatie%20-%20Curs%20-%20Tarca%20Radu.pdf>, accesat la 12.05.2015.
166. [*** definiție] <https://dexonline.ro/definitie/flexibilitate>, accesat la 10.09.2014
167. [*** YK-XG series] <http://global.yamahamotor.com/business/robot/lineup/ykxg/feature/>, accesat la 02.09.2015
168. [*** VonMises] <https://www.capinc.com/2014/02/12/frequently-asked-questions-on-von-mises-stress-explained> accesat la 12.09.2015
169. [*** ecuația spirală] <http://mathworld.wolfram.com/ArchimedeanSpiral.html>, accesat la 27.07.2015
170. [*** spirală] http://ro.math.wikia.com/wiki/Spirala_lui_Arhimede, accesat la 27.07.2015
171. [*** hârtie abrazivă] <http://destepti.ro/hartia-abraziva-smirghelul>, accesat la 27.08.2015
172. [*** Circuit] <http://www.ni.com/white-paper/6534/en/#toc7>, accesat la 13.07.2015
173. [*** Traductor] <http://www.ni.com/white-paper/14327/en/>, accesat la 13.07.2015
174. [*** Senzor] <https://www.transducertechniques.com/ebb-load-cell.aspx>, accesat la 13.07.2015

Anexa 3.2

Programarea robotului Yamaha YK400

Limbajul robotului YAMAHA YK 400 a fost dezvoltat de compania Yamaha Motor Co., Ltd. IM pentru o programare simplă și eficientă cu scopul de a controla roboții industriali YAMAHA. Limbajul robotului YAMAHA este similar cu BASIC (utilizând un cod de instrucțiuni simplu) care se conformează cu limbajul industrial de programare SLIM (Standard Language for Industrial Manipulators). Cu ajutorul acestui program se pot efectua mișcări complexe ale robotului. Și utilizează o metodă de compilare pentru o execuție rapidă a programelor. Aceasta metoda de compilare verifică sintaxa în limbajul de programare a robotului, o transformă în coduri și creează fișiere de execuție înainte de rularea efectivă a programului [USE 08] [PRO 08].

Limbajul YAMAHA robotului utilizează următoarele caractere și simboluri:

Caractere alfabetice:

A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

Caractere numerice

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Simboluri

() [] + - * / ^ = < > & | ~ _ % ! # \$: ; , . ' " ' @ ?

Exemplu de program:

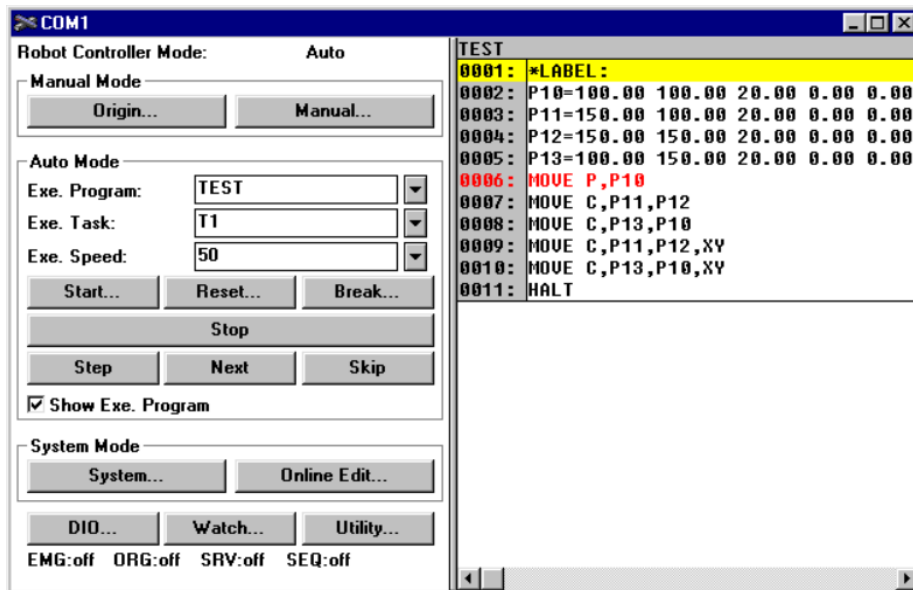
```
FOR MANUAL MODE
* M_F1:'DO(20)ALTERNATE
DO(20)=~DO(20)
* M_F2:'DO(21)ALTERNATE
DO(21)=~DO(21)
:
* M_F6:'DO(25)MOMENTARY
DO(25)=1
DO(25)=0
:
' FOR PROGRAM MODE
* P_F1:'MOVE P,
* P_F6:'MOVE L,
* P_F2:'GOTO *
```

Programarea robotului Yamaha YK400 se poate realiza direct prin intermediul casetei de programare (RPB) sau online prin intermediul software-ului VIP windows acesta fiind compatibil cu controlere din seria RCX.



Caseta de programare RPB [Manual, 08].

VIP Windows (fig. 5.2.) este o interfață pentru programarea controlerelor MRC/QRC/RCX online. Acesta poate fi utilizată pentru a: restaura datele salvate anterior în controlerul robotului, operarea roboților direct și prin intermediul controlerelor, modificarea datelor controlerului și modificare diferitelor fișiere de pe computer.



Interfața programului VipWindows

Anexa 3.3

Parametri tehnici ai frezei LUND 79314.

PARAMETRI TEHNICI

Parametri	Unitatea de măsură	Valoare
Tipul		79314
Tensiunea nominală	[V]	~230
Frecvența nominală	[Hz]	50
Puterea nominală	[W]	135
Rotatii nominale	[min ⁻¹]	10000 - 35000
Nivelul zgomotului		
- presiunea acustică	[dB(A)]	72.0 ± 3.0
- puterea	[dB(A)]	83.0 ± 3.0
Nivelul de oscilatii	[m/s ²]	2.60 ± 1.5
Gradul de protecție		IP20
Clasa de protecție electrică		II
Diametrul portcutitului	[mm]	2.3; 3.2
Diametrul maxim al fitingului	[mm]	Ø35
Masa	[kg]	0.530
Dimensiuni (lungime x înălțime x lățime)	[mm]	230 x 60 x 50

Anexa 3.4

Programul "UPT"

```

P0= 207.50 -27.50 50.00
0.00 0.00 0.00
MOVE P,P0,Z=0,S=5
FOR J=1 TO 50
GOSUB *PLAN
NEXT J
MOVE P,P252,Z=0,S=5
MOVE L,P251,S=5
MOVE L,P250,S=5
MOVE L,P249,S=5
MOVE L,P225,S=5
MOVE L,P224,S=5
MOVE L,P250,S=5
MOVE L,P251,S=5
MOVE P,P226,Z=0,S=5
P253= 242.50 -27.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR I=1 TO 32
GOSUB *IPLAN
NEXT I
MOVE P,P227,Z=0,S=5
P254= 245.00 -40.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR K=1 TO 4
GOSUB *KPLAN
NEXT K
MOVE P,P229,Z=0,S=5
P255= 239.00 -96.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR L=1 TO 6
GOSUB *LPLAN
NEXT L
MOVE P,P226,Z=0,S=5
P0= 245.00 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
MOVE L,P0,S=5
FOR M=1 TO 2
GOSUB *MPLAN
NEXT M
MOVE P,P217,Z=0,S=5
P0= 263.25 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR N=1 TO 10
GOSUB *NPLAN
NEXT N
MOVE P,P218,Z=0,S=5
P0= 275.00 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR O=1 TO 16
GOSUB *OPLAN
NEXT O
MOVE P,P249,Z=0,S=5
P0= 307.50 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR A=1 TO 3
GOSUB *PPLAN
NEXT A
MOVE P,P250,Z=0,S=5
P0= 307.50 -110.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR R=1 TO 32
GOSUB *RPLAN
NEXT R
MOVE P,P256, Z=0,S=5
MOVE L,P257,S=5
MOVE P,P210, Z=0,S=5
MOVE L,P209, S=5
MOVE L,P208, S=5
MOVE L,P207, S=5
MOVE P,P206, Z=0
MOVE L,P270, S=5
MOVE L,P218, S=5
MOVE L,P211, S=5
MOVE P,P222, Z=0
MOVE L,P221, S=5
MOVE L,P220, S=5
MOVE L,P219, S=5
MOVE L,P222, S=5
MOVE P,P201, Z=0
MOVE L,P202, S=5
MOVE C,P248,P203, S=2
MOVE L,P204, S=5
MOVE C,P247,P205, S=2
MOVE P,P212, Z=0
MOVE C,P245,P213, S=2
MOVE L,P214, S=5
MOVE C,P246,P215, S=2
MOVE P,P269
HALT
*PLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*IPLAN:
LOCX(P253)=LOCX(P253)+1
MOVE L,P253,S=5
LOCY(P253)=LOCY(P253)-83
MOVE L,P253,S=5
LOCX(P253)=LOCX(P253)+1
MOVE L,P253,S=5
LOCY(P253)=LOCY(P253)+83
RETURN
**KPLAN:
LOCX(P254)=LOCX(P254)-1
MOVE L,P254,S=5
LOCY(P254)=LOCY(P254)-57
MOVE L,P254,S=5
LOCX(P254)=LOCX(P254)-1
MOVE L,P254,S=5
LOCY(P254)=LOCY(P254)+57
MOVE L,P254,S=5
RETURN
*LPLAN:
LOCX(P255)=LOCX(P255)-1
MOVE L,P255,S=5
LOCY(P255)=LOCY(P255)-2
MOVE L,P255,S=5
LOCX(P255)=LOCX(P255)-1
MOVE L,P255,S=5
LOCY(P255)=LOCY(P255)+2
MOVE L,P255,S=5
RETURN
*MPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*NPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*OPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
RETURN

```

*PPLAN:	LOCY(P0)=LOCY(P0)+83	MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1	MOVE L,P0,S=5	LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5	RETURN	MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83	*RPLAN:	LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5	LOCX(P0)=LOCX(P0)-1	MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1	MOVE L,P0,S=5	RETURN
MOVE L,P0,S=5	LOCY(P0)=LOCY(P0)+8	HALT

Anexa 4.1

Tabelele cu măsurătorile experimentale pentru determinarea rigidității și flexibilității structurii mecanice a robotului YAMAHA YK 400

TABEL 1: deformarea la capătul brațului nr 2. Brațul numărul 2 față de brațul numărul 1 formează 180°

Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593	0,012	0,012	0,010	0,011	0,012	0,0114
4,9033	0,030	0,025	0,027	0,03	0,027	0,0278
6,9627	0,040	0,040	0,038	0,04	0,039	0,0396
9,8066	0,060	0,058	0,052	0,052	0,058	0,056
12,1602	0,070	0,065	0,065	0,065	0,068	0,066
14,7099	0,090	0,085	0,084	0,082	0,84	0,085
17,0635	0,100	0,100	0,110	0,01	0,011	0,104
19,6133	0,115	0,112	0,114	0,12	0,119	0,116
21,9668	0,130	0,129	0,132	0,128	0,013	0,1298
24,5166	0,150	0,146	0,142	0,145	0,145	0,1456
26,8702	0,160	0,151	0,165	0,158	0,0159	0,1586
29,4199	0,175	0,170	0,180	0,172	0,178	0,175
30,9399	0,180	0,185	0,189	0,184	0,192	0,186
34,3232	0,210	0,200	0,212	0,240	0,210	0,2144

EL 2: deformarea la capătul brațului nr 1. Brațul numărul 2 față de brațul numărul 1 formează 180°.

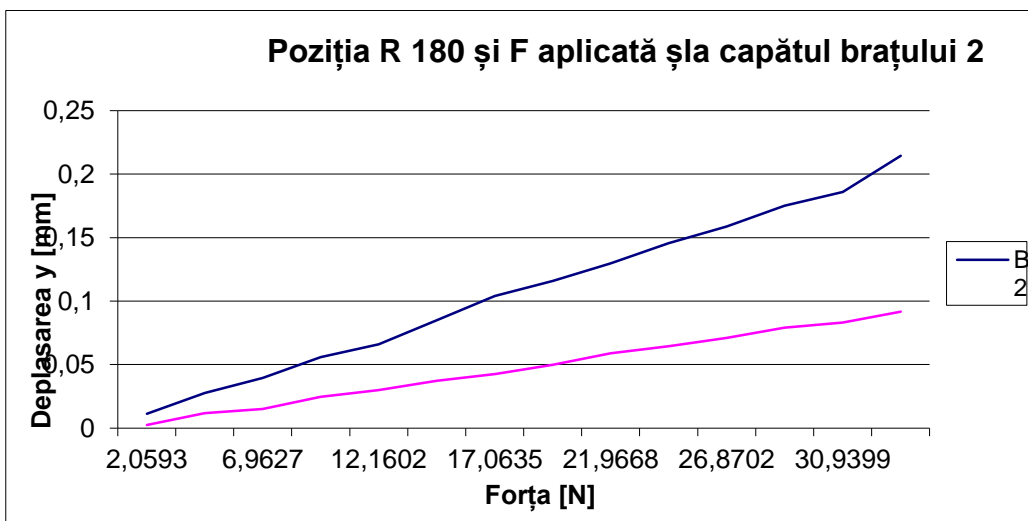
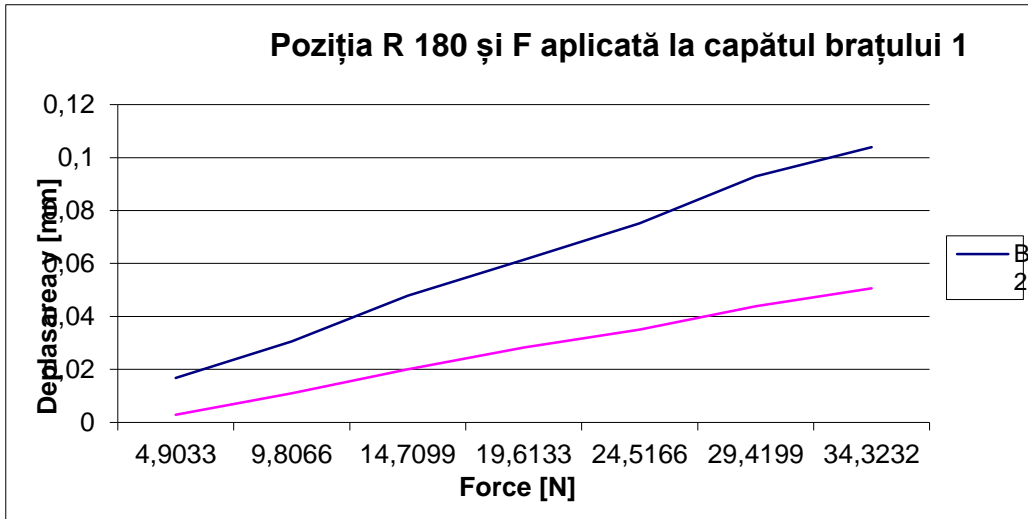
Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,0024
4,9033	0,011	0,012	0,011	0,01	0,015	0,0118
6,9627	0,015	0,016	0,015	0,014	0,015	0,015
9,8066	0,025	0,025	0,024	0,025	0,024	0,0246
12,1602	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,03
14,7099	0,04	0,039	0,036	0,035	0,036	0,0372
17,0635	0,042	0,044	0,042	0,042	0,043	0,0426
19,6133	0,05	0,05	0,049	0,05	0,05	0,0498
21,9668	0,06	0,057	0,59	0,059	0,06	0,059
24,5166	0,065	0,064	0,064	0,065	0,064	0,0644
26,8702	0,075	0,070	0,070	0,070	0,070	0,071
29,4199	0,080	0,080	0,075	0,080	0,081	0,0792
30,9399	0,085	0,082	0,082	0,084	0,083	0,0832
34,3232	0,095	0,090	0,092	0,090	0,091	0,0916

TABEL 3: deformarea la capătul brațului nr 2. Brațul numărul 2 față de brațul numărul 1 formează 180°, cu forța F aplicată la capătul brațului 1

For+A50 :H59	Încercar ea1	Încercar ea2	Încercar ea3	Încercar ea4	Încercar ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593						
4,9033	0,015	0,018	0,017	0,018	0,016	0,0168
6,9627						
9,8066	0,029	0,032	0,032	0,030	0,030	0,0306
12,1602						
14,7099	0,043	0,051	0,050	0,049	0,046	0,0478
17,0635						
19,6133	0,058	0,065	0,062	0,061	0,061	0,0614
21,9668						
24,5166	0,070	0,080	0,076	0,075	0,075	0,0752
26,8702						
29,4199	0,860	0,098	0,096	0,092	0,093	0,093
30,9399						
34,3232	0,100	0,110	0,100	0,110	0,100	0,104

TABEL 4: deformarea la capătul brațului nr 1. Brațul numărul 2 față de brațul numărul 1 formează 180°.

Forta	Încercar ea1	Încercar ea2	Încercar ea3	Încercar ea4	Încercar ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593						
4,9033	0,002	0,003	0,004	0,001	0,004	0,003
6,9627						
9,8066	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012	0,011
12,1602						
14,7099	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
17,0635						
19,6133	0,026	0,029	0,030	0,030	0,026	0,028
21,9668						
24,5166	0,034	0,035	0,036	0,035	0,035	0,035
26,8702						
29,4199	0,042	0,044	0,044	0,045	0,044	0,0438
30,9399						
34,3232	0,050	0,050	0,052	0,050	0,051	0,0506



TABEL 5: deformarea la capătul brațului nr 2. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 formează 90°

Forta +	Încercar ea1	Încercar ea2	Încercar ea3	Încercar ea4	Încercar ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593	0,008	0,007	0,005	0,007	0,005	0,0064
4,9033	0,020	0,017	0,016	0,018	0,017	0,0176
6,9627	0,024	0,023	0,021	0,022	0,021	0,0222
9,8066	0,035	0,034	0,034	0,033	0,032	0,0336
12,1602	0,044	0,041	0,048	0,041	0,041	0,043
14,7099	0,054	0,055	0,055	0,054	0,05	0,0536
17,0635	0,065	0,070	0,064	0,061	0,060	0,064
19,6133	0,079	0,077	0,076	0,071	0,073	0,0752
21,9668	0,086	0,081	0,084	0,081	0,083	0,083
24,5166	0,096	0,096	0,093	0,095	0,091	0,0942
26,8702	0,110	0,150	0,120	0,140	0,090	0,1041
29,4199	0,120	0,113	0,118	0,115	0,119	0,117
30,9399	0,122	0,122	0,121	0,121	0,121	0,1214
34,3232	0,138	0,134	0,140	0,135	0,137	0,1368

TABEL 6: deformarea la capătul brațului nr 1. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 formează 90°

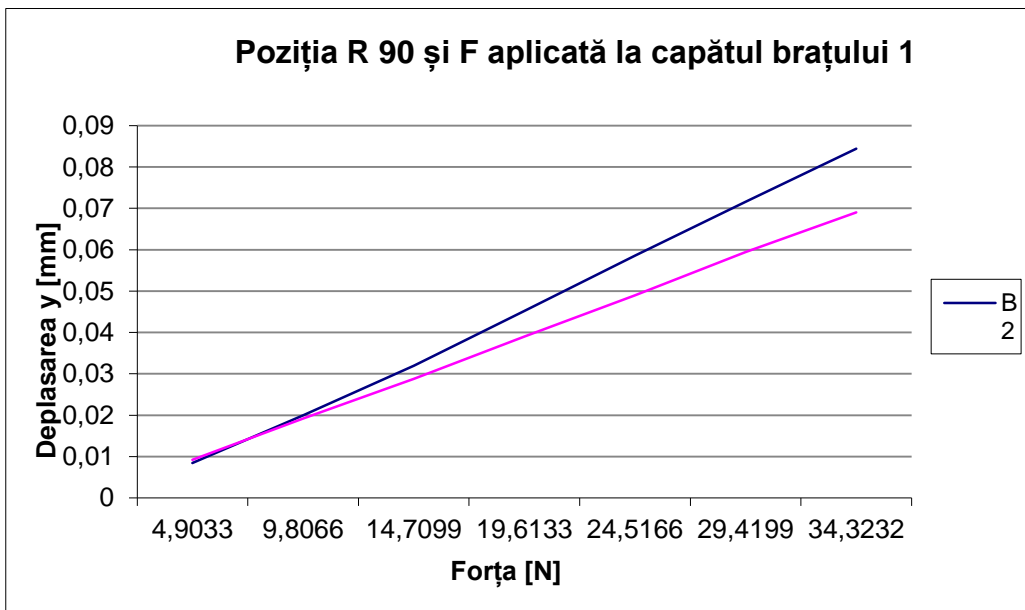
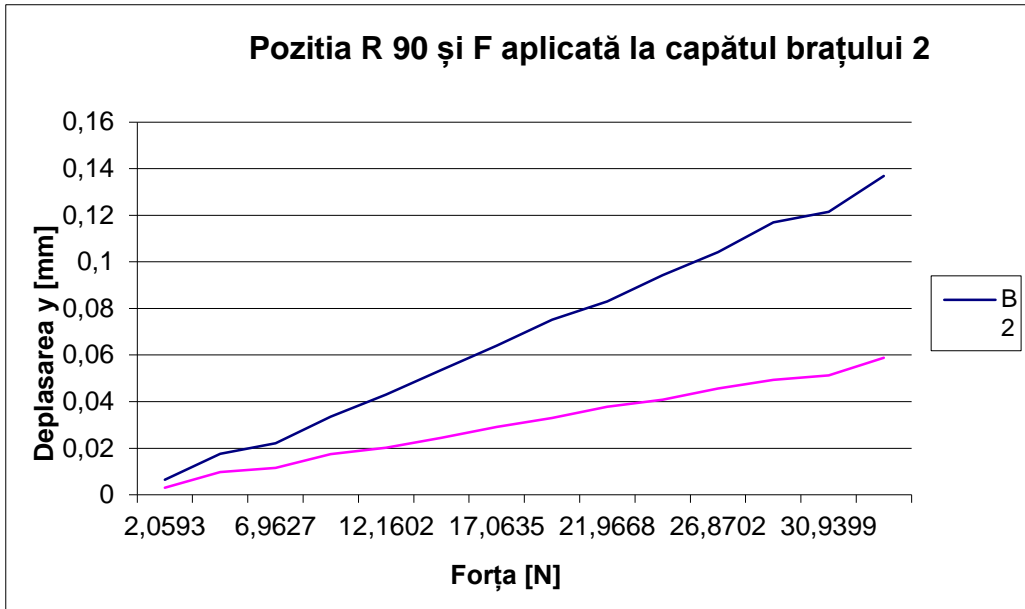
Forta	Încercar ea1	Încercar ea2	Încercar ea3	Încercar ea4	Încercar ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593	0,003	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003
4,9033	0,01	0,01	0,01	0,09	0,01	0,0098
6,9627	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011	0,0116
9,8066	0,02	0,019	0,017	0,016	0,015	0,0174
12,1602	0,022	0,021	0,02	0,019	0,019	0,0202
14,7099	0,028	0,027	0,022	0,022	0,023	0,0244
17,0635	0,031	0,03	0,029	0,027	0,029	0,0292
19,6133	0,038	0,035	0,031	0,03	0,031	0,033
21,9668	0,04	0,04	0,037	0,035	0,037	0,0378
24,5166	0,042	0,043	0,039	0,040	0,040	0,0408
26,8702	0,046	0,048	0,045	0,043	0,046	0,0456
29,4199	0,050	0,050	0,049	0,049	0,049	0,0494
30,9399	0,052	0,051	0,051	0,051	0,051	0,0512
34,3232	0,059	0,059	0,058	0,059	0,059	0,0588

TABEL 7: deformarea la capătul brațului nr 2. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 formează 90°. Iar forța F aplicată la capătul brațului 1.

Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	Media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593						
4,9033	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009	0,0084
6,9627						
9,8066	0,020	0,019	0,020	0,021	0,020	0,02
12,1602						
14,7099	0,032	0,033	0,031	0,032	0,032	0,032
17,0635						
19,6133	0,047	0,047	0,044	0,045	0,043	0,0452
21,9668						
24,5166	0,058	0,058	0,058	0,06	0,059	0,0586
26,8702						
29,4199	0,071	0,069	0,072	0,075	0,071	0,0716
30,9399						
34,3232	0,085	0,081	0,086	0,089	0,081	0,0844

TABEL 8: deformarea la capătul brațului nr 1. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 Formează 90°, Iar forța F aplicată la capătul brațului 1.

Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593						
4,9033	0,009	0,01	0,01	0,009	0,008	0,0092
6,9627						
9,8066	0,018	0,019	0,020	0,020	0,019	0,0192
12,1602						
14,7099	0,028	0,028	0,029	0,03	0,029	0,0288
17,0635						
19,6133	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
21,9668						
24,5166	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
26,8702						
29,4199	0,056	0,059	0,059	0,06	0,06	0,0594
30,9399						
34,3232	0,070	0,068	0,069	0,069	0,069	0,069



TABEL 8: deformarea la capătul brațului nr 2. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 Formează 135°. Iar forța F aplicată la capătul brațului 2.

Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593	0,007	0,007	0,005	0,006	0,006	0,0062
4,9033	0,210	0,015	0,016	0,014	0,015	0,0162
6,9627	0,028	0,021	0,220	0,023	0,026	0,024
9,8066	0,038	0,038	0,036	0,034	0,038	0,0368
12,1602	0,050	0,041	0,044	0,045	0,046	0,0452
14,7099	0,060	0,053	0,053	0,053	0,06	0,0558
17,0635	0,071	0,065	0,065	0,064	0,069	0,0668
19,6133	0,080	0,076	0,073	0,072	0,080	0,0762
21,9668	0,092	0,085	0,082	0,084	0,090	0,0866
24,5166	0,110	0,095	0,093	0,093	0,101	0,0984
26,8702	0,102	0,111	0,103	0,105	0,112	0,1066
29,4199	0,130	0,120	0,114	0,119	0,125	0,1216
30,9399	0,133	0,130	0,123	0,124	0,132	0,1284
34,3232	0,149	0,145	0,140	0,139	0,150	0,1446

TABEL 8: deformarea la capătul brațului nr 1. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 Formează 135°. Iar forța F aplicată la capătul brațului 2.

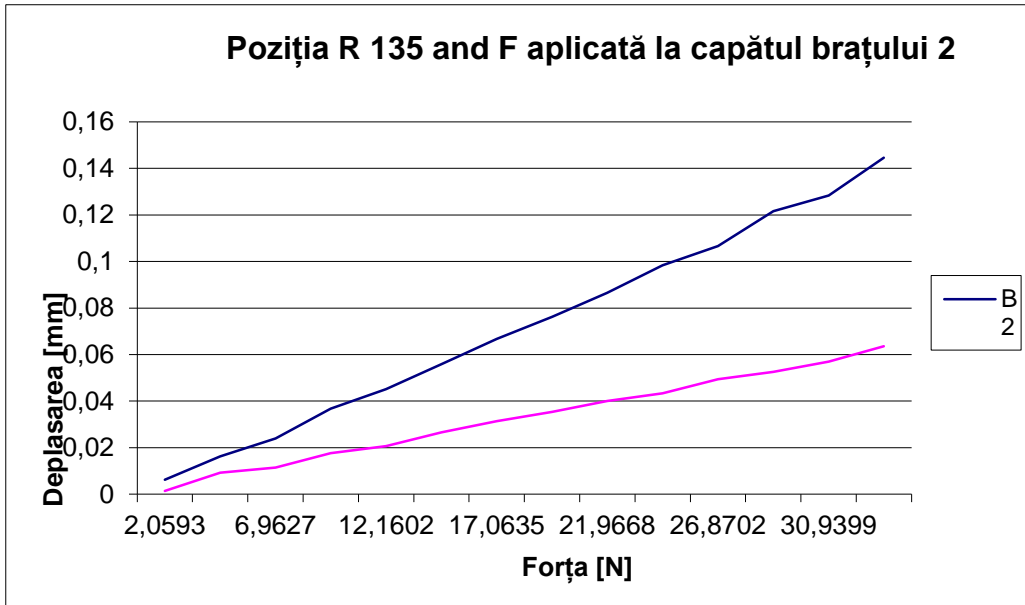
Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,0014
4,9033	0,009	0,01	0,009	0,009	0,009	0,0092
6,9627	0,011	0,011	0,012	0,012	0,011	0,0114
9,8066	0,017	0,019	0,019	0,017	0,016	0,0176
12,1602	0,021	0,021	0,021	0,020	0,020	0,0206
14,7099	0,027	0,027	0,029	0,025	0,025	0,0266
17,0635	0,031	0,031	0,035	0,030	0,030	0,0314
19,6133	0,035	0,036	0,038	0,034	0,035	0,0354
21,9668	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,04
24,5166	0,043	0,045	0,043	0,043	0,043	0,0434
26,8702	0,050	0,051	0,049	0,048	0,049	0,0494
29,4199	0,054	0,550	0,051	0,051	0,052	0,0526
30,9399	0,059	0,059	0,550	0,055	0,057	0,057
34,3232	0,064	0,065	0,063	0,061	0,065	0,0636

TABEL 8: deformarea la capătul brațului nr 2. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 Formează 135°, și g capăt braț 1. F aplicata la capăt braț 1

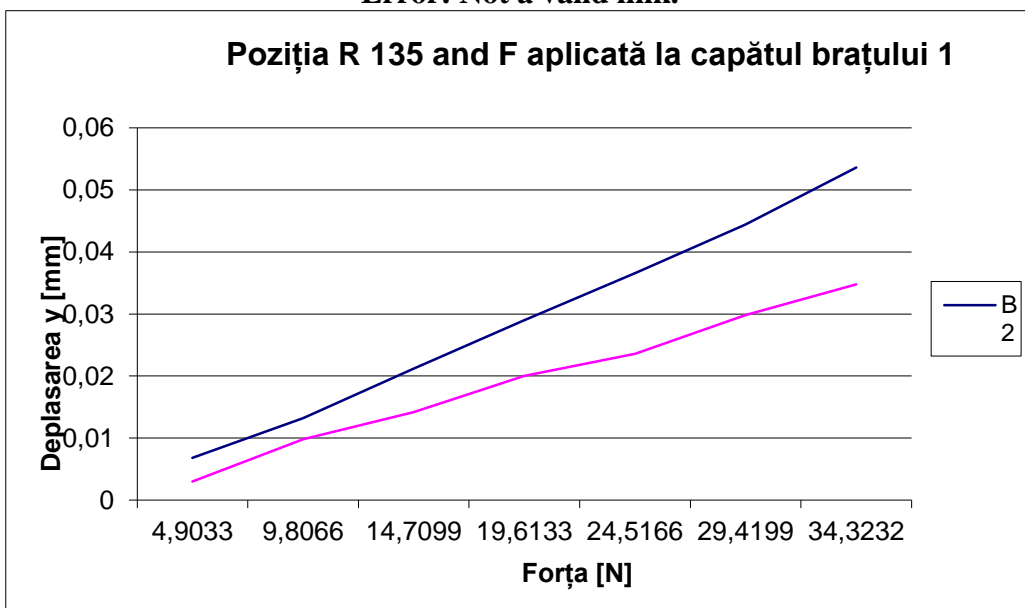
Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593						
4,9033	0,008	0,007	0,006	0,006	0,007	0,0068
6,9627						
9,8066	0,014	0,014	0,014	0,012	0,012	0,0132
12,1602						
14,7099	0,02	0,02	0,021	0,024	0,21	0,0212
17,0635						
19,6133	0,029	0,026	0,03	0,03	0,03	0,029
21,9668						
24,5166	0,035	0,038	0,034	0,039	0,037	0,0366
26,8702						
29,4199	0,045	0,045	0,045	0,044	0,043	0,0444
30,9399						
34,3232	0,052	0,056	0,052	0,055	0,053	0,0536

TABEL 8: deformarea la capătul brațului nr 1. Brațul numărul 1 față de brațul numărul 2 Formează 135°, și g capăt braț 1. G aplicata la capăt braț 1

Forța	Încercare ea1	Încercare ea2	Încercare ea3	Încercare ea4	Încercare ea5	media
[N]	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{\sum x}{n}$
2,0593						
4,9033	0,004	0,003	0,003	0,020	0,003	0,003
6,9627						
9,8066	0,010	0,010	0,010	0,010	0,009	0,0098
12,1602						
14,7099	0,014	0,150	0,014	0,014	0,014	0,0142
17,0635						
19,6133	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,02
21,9668						
24,5166	0,023	0,024	0,023	0,024	0,024	0,0236
26,8702						
29,4199	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,0298
30,9399						
34,3232	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035	0,0348



Error! Not a valid link.



Anexa 4.2

Caracteristicile Tehnice ale accelerometrului Dytran 3055B utilizat.

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF DYTRAN INSTRUMENTS INC. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF DYTRAN INSTRUMENTS INC. IS PROHIBITED		REVISIONS			
REV.	ECN	DESCRIPTION	BY/DATE	CHK	APPR
A	6903	INITIAL RELEASE	RA 06/29/10	JS	ANS
B	7559	INITIAL RELEASE OF 3055B5	EP 06/13/11	<i>DL</i>	<i>ANS</i>

1. CASE AND CONNECTOR MATERIAL: TITANIUM
 NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

MODEL	SENSITIVITY	F.S. RANGE, +/-5V
3055B1	10 mV/g	±500 g's
3055B2	100 mV/g	±50 g's
3055B3	500 mV/g	±10 g's
3055B4	50 mV/g	±100 g's
3055B5	20 mV/g	±250 g's
3055B6	200 mV/g	±25 g's

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: INTERPRET DIM & TOL PER ASME Y14.5M - 1994. REMOVE BURRS. COUNTERSINK INTERNAL THDS 90° TO MAJOR DIA. CHAMFER IT THDS 45° TO MINOR DIA. THD LENGTHS AND DEPTHS ARE FOR MIN FULL THDS. THDS PER MIL-S-7742. DIMENSIONS APPLY AFTER FINISHING. ALL MACHINED SURFACES. TOTAL RUNOUT WITHIN .005. BREAK SHARP EDGES .005 TO .010. MACHINED FILLET RADII .005 TO .015. WELDING SYMBOLS PER AWS A2.4. ABBREVIATIONS PER MIL-STD-12.	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES. DIMENSIONS IN BRACKETS [] ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES ARE: INCHES METRIC ANGLES .XX ± .03 X ± 0.8 ± 1° .XXX ± 0.10 .XX ± 0.25	CONTRACT NO. APPROVALS DATE ORIG PML 12/22/04 CHK RA 08/30/09 APP PML 08/31/09 APP	<p style="font-size: 12px; font-weight: bold; text-align: center;">MASTER ONLY IF IN RED</p> TITLE: <p style="font-size: 10px; text-align: center;">OUTLINE/INSTALLATION DRAWING, MODEL SERIES 3055B</p> SIZE CAGE CODE DWG. NO. REV A 2W033 127-3055B B
USED ON NEXT ASSY APPLICATION THIRD ANGLE PROJECTION USA		SCALE: NONE SOLIDWORKS SHEET 1 OF 1	

Anexa 4.3

Rezultatele analizei piesei ”molded” (numarul 6 din lucrare), prin criteriul von Mises în Creo Parametric:

with beam section properties.

Generate elements automatically.

Checking the model after creating elements...

No errors were found in the model.

Creo Simulate Structure Model Summary

Principal System of Units: millimeter Newton Second (mmNs)

Length: mm

Force: N

Time: sec

Temperature: C

Model Type: Three Dimensional

Points: 408

Edges: 1914

Faces: 2658

Springs: 0

Masses: 0

Beams: 0

Shells: 0

Solids: 1153

Elements: 1153

Standard Design Study

Static Analysis "Analysis15":

Convergence Method: Single-Pass Adaptive

Plotting Grid: 4

Convergence Loop Log: (08:02:45)

>> Pass 1 <<

Calculating Element Equations (08:02:45)

Total Number of Equations: 19701

Maximum Edge Order: 3

Solving Equations (08:02:45)

Post-Processing Solution (08:02:46)

Checking Convergence (08:02:46)

Calculating Disp and Stress Results (08:02:47)

RMS Stress Error Estimates:

Load Set	Stress Error	% of Max Prin Str
-----	-----	-----
LoadSet1	1.15e+00	0.9% of 1.32e+02

Resource Check (08:02:47)

Elapsed Time (sec): 3.85

CPU Time (sec): 3.53

Memory Usage (kb): 606243

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 22528

Total Mass of Model: 4.900665e-05

Total Cost of Model: 0.000000e+00

Mass Moments of Inertia about WCS Origin:

Ixx: 3.97962e-03

Ixy: 2.57231e-08 Iyy: 6.13108e-02

Ixz: 8.47480e-09 Iyz: 5.15178e-09 Izz: 6.16483e-02

Principal MMOI and Principal Axes Relative to WCS Origin:

	Max Prin	Mid Prin	Min Prin
	6.16483e-02	6.13108e-02	3.97962e-03
WCS X:	1.46964e-07	4.48672e-07	1.00000e+00
WCS Y:	1.52681e-05	1.00000e+00	-4.48675e-07
WCS Z:	1.00000e+00	-1.52681e-05	-1.46957e-07

Center of Mass Location Relative to WCS Origin:

(-4.26674e-05, -1.31731e-05, -1.52959e-05)

Mass Moments of Inertia about the Center of Mass:

Ixx: 3.97962e-03

Ixy: 2.57231e-08 Iyy: 6.13108e-02

Ixz: 8.47484e-09 Iyz: 5.15179e-09 Izz: 6.16483e-02

Principal MMOI and Principal Axes Relative to COM:

	Max Prin	Mid Prin	Min Prin
	6.16483e-02	6.13108e-02	3.97962e-03
WCS X:	1.46964e-07	4.48673e-07	1.00000e+00
WCS Y:	1.52681e-05	1.00000e+00	-4.48675e-07
WCS Z:	1.00000e+00	-1.52681e-05	-1.46957e-07

Constraint Set: ConstraintSet1: MOLDED_PART

Load Set: LoadSet1: MOLDED_PART

Resultant Load on Model:

in global X direction: 1.500000e+02

in global Y direction: 1.500000e+02

in global Z direction: 1.500000e+02

Measures:

max_beam_bending: 0.000000e+00

max_beam_tensile: 0.000000e+00

max_beam_torsion: 0.000000e+00

max_beam_total: 0.000000e+00

max_disp_mag: 6.756479e-01

max_disp_x: 1.953038e-01

max_disp_y: 3.498792e-01

max_disp_z: 5.662519e-01

max_prin_mag: 1.321856e+02
max_rot_mag: 0.000000e+00
max_rot_x: 0.000000e+00
max_rot_y: 0.000000e+00
max_rot_z: 0.000000e+00
max_stress_prin: 1.321856e+02
max_stress_vm: 1.311439e+02
max_stress_xx: 1.314290e+02
max_stress_xy: 1.966402e+01
max_stress_xz: 2.685285e+01
max_stress_yy: -1.176165e+01
max_stress_yz: 5.565022e+00
max_stress_zz: -1.569700e+01
min_stress_prin: -1.270992e+02
strain_energy: 5.377225e+01

Analysis "Analysis15" Completed (08:02:47)

Memory and Disk Usage:

Machine Type: Windows 64
RAM Allocation for Solver (megabytes): 512.0
Total Elapsed Time (seconds): 3.96
Total CPU Time (seconds): 3.58
Maximum Memory Usage (kilobytes): 606243
Working Directory Disk Usage (kilobytes): 22528
Results Directory Size (kilobytes):
11043 .\Analysis15
Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):
18432 .\Analysis15.tmp\kel1.bas
4096 .\Analysis15.tmp\oel1.bas

Anexa 5.1

Valori, ale tensiunii, măsurate în timpul determinării caracteristicilor senzorului de forță EBB:

Tabel 1. Valori măsurate în timpul procesului de încărcare

Total Încărcare	Tensiunea					Media
	N	[V]	[V]	[V]	[V]	
0	0,001723	0,00172837	0,001728	0,001725	0,001724	0,001726
2,108	0,001794	0,00178989	0,001793	0,001792	0,001795	0,001793
4,217	0,001856	0,00184866	0,001848	0,001853	0,00185	0,001851
6,374	0,00192	0,00191957	0,001913	0,001918	0,001913	0,001917
8,434	0,001977	0,00198352	0,001971	0,001978	0,00198	0,001978
10,493	0,002035	0,00205038	0,002051	0,002045	0,002041	0,002044
12,454	0,002102	0,00210251	0,002097	0,002105	0,002097	0,002101
14,514	0,002163	0,00217618	0,00217	0,002162	0,002172	0,002169

Tabel 1. Valori măsurate în timpul procesului de descărcare

Total Încărcare	Tensiunea					Media
	N	[V]	[V]	[V]	[V]	
0	0,001721	0,001733	0,001729	0,001729	0,001721	0,001727
2,10843	0,001788	0,001796	0,00179	0,001792	0,001792	0,001791
4,21686	0,001854	0,001852	0,001861	0,001859	0,001783	0,001842
6,374323	0,001911	0,001916	0,001916	0,001925	0,00192	0,001918
8,433719	0,001973	0,001964	0,001973	0,001978	0,001985	0,001975
10,49312	0,002041	0,002031	0,002045	0,002042	0,002047	0,002041
12,45445	0,002118	0,002098	0,00211	0,002114	0,002103	0,002109
14,51384	0,002163	0,002174	0,002169	0,00217	0,002173	0,00217

Anexa 5.2

Caracteristicile frezei:

Dremel Freză (HSS) 3,2 mm (650)

Producator: Dremel

Date tehnice:**Cod produs: 2615065032**

Diametru coadă 3,2 mm
Diametru de lucru 3,2 mm
Utilizare Drept
RPM maxim 35.000 1/min
Cantitate 1

Anexa 6.1

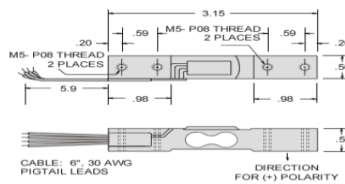
Date tehnice ale senzorului de forță EBB utilizat:

ECONOMICAL BENDING BEAM LOAD CELL

EBB SERIES

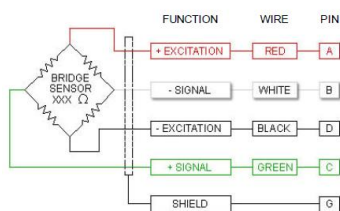
CAPACITY RANGES: 1, 2, 5, 10 Kg.

The EBB Series is a economical low capacity bending beam load cell suitable for use in a variety of industrial and OEM force measurement and weighing applications. It is made of an aluminum alloy and comes in 1, 2, 5 and 10 kilogram ranges.



Specifications

Rated Output (R.O.):	0.5 mV/V \pm 10%
Nonlinearity:	0.1% of R.O.
Hysteresis:	0.1% of R.O.
Nonrepeatability:	0.05% of R.O.
Zero Balance:	\pm 1 mV/V
Compensated Temp. Range:	14°F to 104°F
Safe Temp. Range:	14° to 140°F
Temp. Effect on Output:	0.01% of Load/°F
Temp. Effect on Zero:	0.01% of R.O./°F
Terminal Resistance:	350 ohms nominal
Excitation Voltage:	5 VDC (8 VDC max.)
Safe Overload:	200% of R.O.



<https://www.transducertechniques.com/ebbloadcell.aspx>

Anexa 6.2

Programe dezvoltate în vederea testării controlului poziției punctului caracteristic. în funcție de valoarea vibrației și a forței de contact.

```

START *ST2, T2' MERGE FOARTE
BINE TREBUIE AVUT GRIJA LA
PUNCTE
B=74 'seteaza inaltimea pe axa Z
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
FOR K=2000 TO 5300
LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])+1
NEXT K
ENDIF
IF A>100 THEN
FOR K=2000 TO 5300
LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])-1
NEXT K
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
FOR J=2000 TO 5300
MOVE L,P[J],S=100
NEXT J
GOTO *ST2
HALT

START *ST2, T2' MERGE FOARTE
BINE TREBUIE AVUT GRIJA LA
PUNCTE
B=50' seteaza inaltimea pe axa Z
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
FOR K=600 TO 1223
LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])+5
NEXT K
ENDIF
IF A>100 THEN
FOR K=600 TO 1223
LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])-5
NEXT K
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
FOR J=600 TO 1223
MOVE L,P[J],S=80
NEXT J
GOTO *ST2
HALT

ONLINE
SEND CMU TO A
SELECT CASE A|
CASE 0
MOVE L,P500
CASE 1
MOVE L,P501
CASE 2
MOVE L,P502
CASE 3
MOVE L,P503
CASE 4
MOVE L,P504
CASE 5
MOVE L,P505
CASE 6
MOVE L,P506
CASE 7
MOVE L,P507
CASE 8
MOVE L,P508
CASE 9
MOVE L,P509
CASE 10
MOVE L,P510
CASE 11
MOVE L,P511
CASE 12
MOVE L,P512
CASE ELSE
SEND "NU ESTE CAZUL DORIT" TO
CMU
END SELECT

```

Anexa 6.3

```

T_ACC_1
START *ST2, T2
START *ST1, T3
A=10
B=10
*ST2:
SEND CMU TO A
IF A<>B THEN
SUSPEND T3
B=A
RESTART T3
ENDIF
GOTO *ST2
*ST1:
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
FOR J=1 TO 1000
MOVE
C,P421,P422,P423,P420,ACC=
B
NEXT J
RETURN
HALT

T_ACC_2
START *ST2, T2
A=0
B=0
*ST2:
SEND CMU TO A
SPEED 100
WHILE A<4
IF B<90 THEN
B=B+1
ACCEL B
MO(20)=1
DELAY 200
ENDIF
WEND
WHILE A>4
IF B<90 THEN
B=B+1
DECEL B
MO(20)=1
DELAY 20
WEND
SEND CMU TO A
WAIT MO(20)=1
GOTO *ST2
*ST1:
MOVE C,P411,P412,P413,P410
GOTO *ST1
HALT

T_ACC_3
START *ST2, T2
START *ST1, T3
A=10
B=10
*ST2:
SEND CMU TO A
IF A<>B THEN
WAIT T3
B=A
RESTART T3
ENDIF
GOTO *ST2
*ST1:
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
FOR J=1 TO 1000
ACCEL B
MOVE C,P421,P422,P423,P420
NEXT J
RETURN
HALT

T_ACC_4
START *ST2,T2
START *ST1,T3
A=0
B=0
*ST1:
SPEED 20
WHILE A<4
B=B+1
ACCEL B
MO(20)=1
DELAY 200
WEND
WHILE A>4
B=B+1
DECEL B
MO(20)=1
DELAY 20
WEND
MOVE C,P411,P412,P413,P410
GOTO *ST1
*ST2:
SEND CMU TO A
WAIT MO(20)=1
SEND B TO CMU
GOTO *ST2

T_SER_1
START *ST2, T2

T_SER_2
START *ST2, T2
A=5
B=5
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A<>B THEN
SUSPEND T2
B=A
RESTART T2
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
FOR J=1 TO 50
MOVE
C,P421,P422,P423,P420,VEL=
B
NEXT J
GOTO *ST2

T_SER_3
START *ST2, T2
A=4
B=5
*ST1:' ACHIZITIA DATE PE
SERIAL SI MODIFICAREA
VITEZEI
SEND CMU TO A
IF A<>4 THEN
SUSPEND T2
IF A>4 THEN
B=B-5
IF B<2 THEN

```

```

B=2' VITEZA MINIMA 2
ENDIF
ENDIF
IF A<4 THEN
B=B+5
IF B>300 THEN
B=300'VITEZA MAXIMA
300
ENDIF
ENDIF
RESTART T2
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:' PROGRAM DE LUCRU
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
FOR J=1 TO 50
MOVE
C,P421,P422,P423,P420,VEL=
B
NEXT J
GOTO *ST2

T_SER_4

START *ST2, T2
A=4
B=5
*ST1:' ACHIZITIA DATE PE
SERIAL SI MODIFICAREA
VITEZEI
SEND CMU TO A
IF A<>4 THEN
SUSPEND T2
IF A>4 THEN
B=B-5
IF B<2 THEN
B=2' VITEZA MINIMA 2
ENDIF
ENDIF
IF A<4 THEN
B=B+5
IF B>300 THEN
B=80'VITEZA MAXIMA 80%
ENDIF
ENDIF
RESTART T2
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:' PROGRAM DE LUCRU
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
FOR J=1 TO 50
MOVE
C,P421,P422,P423,P420,S=B
NEXT J

GOTO *ST2

T_PLAN_2

START *ST2, T2
A=5
B=5
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A<>B THEN
SUSPEND T2
B=A
RESTART T2
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
P0= 207.50 -27.50 50.00
0.00 0.00 0.00
MOVE P,P0,Z=0
FOR J=1 TO 50
GOSUB *PLAN
NEXT J
MOVE P,P252,Z=0
MOVE L,P251,VEL=B
MOVE L,P250,VEL=B
MOVE L,P249,VEL=B
MOVE L,P225,VEL=B
MOVE L,P224,VEL=B
MOVE L,P250,VEL=B
MOVE L,P251,VEL=B
MOVE P,P226,Z=0
P253= 242.50 -27.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR I=1 TO 32
GOSUB *IPLAN
NEXT I
MOVE P,P227,Z=0,S=5
P254= 245.00 -40.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR K=1 TO 4
GOSUB *KPLAN
NEXT K
MOVE P,P229,Z=0,S=5
P255= 239.00 -96.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR L=1 TO 6
GOSUB *LPLAN
NEXT L
MOVE P,P226,Z=0,S=5
P0= 245.00 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
MOVE L,P0,S=5
FOR M=1 TO 2
GOSUB *MPLAN
NEXT M
MOVE P,P217,Z=0,S=5
P0= 263.25 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR N=1 TO 10
GOSUB *NPLAN

NEXT N
MOVE P,P218,Z=0,S=5
P0= 275.00 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR O=1 TO 16
GOSUB *OPLAN
NEXT O
MOVE P,P249,Z=0,S=5
P0= 307.50 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR A=1 TO 3
GOSUB *PPLAN
NEXT A
MOVE P,P250,Z=0,S=5
P0= 307.50 -110.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR R=1 TO 32
GOSUB *RPLAN
NEXT R
MOVE P,P256,Z=0,S=5
MOVE L,P257,VEL=B
MOVE P,P210,Z=0,S=5
MOVE L,P209,VEL=B
MOVE L,P208,VEL=B
MOVE L,P207,VEL=B
MOVE P,P206
MOVE L,P270,VEL=B
MOVE L,P218,VEL=B
MOVE L,P211,VEL=B
MOVE P,P222
MOVE L,P221,VEL=B
MOVE L,P220,VEL=B
MOVE L,P219,VEL=B
MOVE L,P222,VEL=B
MOVE P,P201,Z=0
MOVE L,P202,VEL=B
MOVE C,P248,P203,VEL=B
MOVE L,P204,VEL=B
MOVE C,P247,P205,VEL=B
MOVE P,P212,Z=0
MOVE C,P245,P213,VEL=B
MOVE L,P214,VEL=B
MOVE C,P246,P215,VEL=B
MOVE P,P269
HALT
*PLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,VEL=B
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,VEL=B
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,VEL=B
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,VEL=B
RETURN
*IPLAN:
LOCX(P253)=LOCX(P253)+1
MOVE L,P253,VEL=B
LOCY(P253)=LOCY(P253)-83
MOVE L,P253,VEL=B

```



```

LOCX(P253)=LOCX(P253)+1
MOVE L,P253,VEL=B

LOCY(P253)=LOCY(P253)+83
MOVE L,P253,VEL=B
RETURN
*KPLAN:
LOCX(P254)=LOCX(P254)-1
MOVE L,P254,S=5
LOCY(P254)=LOCY(P254)-57
MOVE L,P254,S=5
LOCX(P254)=LOCX(P254)-1
MOVE L,P254,S=5

LOCY(P254)=LOCY(P254)+57
MOVE L,P254,S=5
RETURN
*LPLAN:
LOCX(P255)=LOCX(P255)-1
MOVE L,P255,S=5
LOCY(P255)=LOCY(P255)-2
MOVE L,P255,S=5
LOCX(P255)=LOCX(P255)-1
MOVE L,P255,S=5
LOCY(P255)=LOCY(P255)+2
MOVE L,P255,S=5
RETURN
*MPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*NPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*OPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*PPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5

LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*RPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
GOTO *ST2
HALT

T_PLAN_3
START *ST2, T2
A=7
B=7
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A<4 THEN
SUSPEND T2
IF A>4 THEN
B=B-5
IF B<2 THEN
B=2
ENDIF
ENDIF
IF A<4 THEN
B=B+5
IF B>80 THEN
B=80
ENDIF
ENDIF
RESTART T2
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
P0= 207.50 -27.50 50.00
0.00 0.00 0.00
MOVE P,P0,Z=0
FOR J=1 TO 50
GOSUB *PLAN
NEXT J
MOVE P,P252,Z=0
MOVE L,P251,VEL=B
MOVE L,P250,VEL=B
MOVE L,P249,VEL=B
MOVE L,P225,VEL=B
MOVE L,P224,VEL=B
MOVE L,P250,VEL=B
MOVE L,P251,VEL=B

MOVE P,P226,Z=0
P253= 242.50 -27.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR I=1 TO 32
GOSUB *IPLAN
NEXT I
MOVE P,P227,Z=0,S=5
P254= 245.00 -40.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR K=1 TO 4
GOSUB *KPLAN
NEXT K
MOVE P,P229,Z=0,S=5
P255= 239.00 -96.50 52.00
0.00 0.00 0.00
FOR L=1 TO 6
GOSUB *LPLAN
NEXT L
MOVE P,P226,Z=0,S=5
P0= 245.00 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
MOVE L,P0,S=5
FOR M=1 TO 2
GOSUB *MPLAN
NEXT M
MOVE P,P217,Z=0,S=5
P0= 263.25 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR N=1 TO 10
GOSUB *NPLAN
NEXT N
MOVE P,P218,Z=0,S=5
P0= 275.00 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR O=1 TO 16
GOSUB *OPLAN
NEXT O
MOVE P,P249,Z=0,S=5
P0= 307.50 -27.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR A=1 TO 3
GOSUB *PPLAN
NEXT A
MOVE P,P250,Z=0,S=5
P0= 307.50 -110.50 54.00
0.00 0.00 0.00
FOR R=1 TO 32
GOSUB *RPLAN
NEXT R
MOVE P,P256, Z=0,S=5
MOVE L,P257,VEL=B
MOVE P,P210, Z=0,S=5
MOVE L,P209,VEL=B
MOVE L,P208,VEL=B
MOVE L,P207,VEL=B
MOVE P,P206
MOVE L,P270,VEL=B
MOVE L,P218,VEL=B
MOVE L,P211,VEL=B
MOVE P,P222

```

```

MOVE L,P221,VEL=B
MOVE L,P220,VEL=B
MOVE L,P219,VEL=B
MOVE L,P222,VEL=B
MOVE P,P201,Z=0
MOVE L,P202,VEL=B
MOVE C,P248,P203,VEL=B
MOVE L,P204,VEL=B
MOVE C,P247,P205,VEL=B
MOVE P,P212,Z=0
MOVE C,P245,P213,VEL=B
MOVE L,P214,VEL=B
MOVE C,P246,P215,VEL=B
MOVE P,P269
HALT
*PLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,VEL=B
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,VEL=B
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,VEL=B
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,VEL=B
RETURN
*IPLAN:
LOCX(P253)=LOCX(P253)+1
MOVE L,P253,VEL=B
LOCY(P253)=LOCY(P253)-83
MOVE L,P253,VEL=B
LOCX(P253)=LOCX(P253)+1
MOVE L,P253,VEL=B

LOCY(P253)=LOCY(P253)+83
MOVE L,P253,VEL=B
RETURN
*KPLAN:
LOCX(P254)=LOCX(P254)-1
MOVE L,P254,S=5
LOCY(P254)=LOCY(P254)-57
MOVE L,P254,S=5
LOCX(P254)=LOCX(P254)-1
MOVE L,P254,S=5

LOCY(P254)=LOCY(P254)+57
MOVE L,P254,S=5
RETURN
*LPLAN:
LOCX(P255)=LOCX(P255)-1
MOVE L,P255,S=5
LOCY(P255)=LOCY(P255)-2
MOVE L,P255,S=5
LOCX(P255)=LOCX(P255)-1
MOVE L,P255,S=5
LOCY(P255)=LOCY(P255)+2
MOVE L,P255,S=5
RETURN
*MPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*OPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*PPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*RPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
GOTO *ST2
HALT

T_PLAN_4

START *ST2, T2
A=7
B=7
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A<>4 THEN
SUSPEND T2
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*PLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*OPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*PPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-83
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+83
MOVE L,P0,S=5
RETURN
*RPLAN:
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+8
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)-1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-8
MOVE L,P0,S=5
RETURN
GOTO *ST2
HALT

IF A>4 THEN
B=B-5
ENDIF
IF A<4 THEN
B=B+5
ENDIF
RESTART T2
ENDIF
GOTO *ST1
*ST2:
L=1
'L=INCREMENTUL PE Z
Q=5
'Q INALTIMEA CALOTEI
DIFERITA DE RAZA
K=10
'INCREMENTUL PE
CERCURILE PLANE
'AVANS PE Z IN FORMULA
'INCREMENTUL PE X SI Y
R=10
'RAZA SFEREI
P405= 227.50 0.00 20.00 0.00
0.00 0.00 0
P406= 230.00 2.50 20.00 0.00
0.00 0.00 0
P407= 232.50 0.00 20.00 0.00
0.00 0.00 0
P408= 230.00 -2.50 20.00
0.00 0.00 0.00 0
P401=P405
P402=P406
P403=P407
P404=P408
MOVE P,P401,Z=0
MOVE
C,P402,P403,P404,P401,VEL=
B
FOR J=1 TO 8
GOSUB *CERC
NEXT J
FOR N=1 TO 150
GOSUB *ARC
NEXT N
*ARC:
LOCZ(P401)=LOCZ(P405)+N*
0.1
LOCX(P401)=LOCX(P405)-
SQR(50^2-(50-N*0.1)^2)
LOCZ(P402)=LOCZ(P406)+N*
0.1
LOCY(P402)=LOCY(P406)+S
QR(50^2-(50-N*0.1)^2)
LOCZ(P403)=LOCZ(P407)+N*
0.1

```

```

LOCX(P403)=LOCX(P407)+S
QR(50^2-(50-N*0.1)^2)

LOCZ(P404)=LOCZ(P408)+N*
0.1
LOCY(P404)=LOCY(P408)-
SQR(50^2-(50-N*0.1)^2)
FOR I=1 TO 8
GOSUB *CERC
NEXT I
RETURN
*CERC:
LOCX(P401)=LOCX(P401)-1
MOVE L,P401,VEL=B
LOCY(P402)=LOCY(P402)+1
LOCX(P403)=LOCX(P403)+1
LOCY(P404)=LOCY(P404)-1
MOVE
C,P402,P403,P404,P401,VEL=
B
LOCX(P401)=LOCX(P401)-1
MOVE L,P401,VEL=B
LOCY(P402)=LOCY(P402)+1
LOCX(P403)=LOCX(P403)+1
LOCY(P404)=LOCY(P404)-1
MOVE
C,P402,P403,P404,P401,VEL=
B
RETURN
GOTO *ST2
HALT

T_VEL_1

START *ST2, T2
START *ST1, T3
A=1
*ST2:
SEND CMU TO A
GOTO *ST2
*ST1:
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
MOVE P,P420
FOR J=1 TO 50
GOSUB *PLAN
NEXT J
*PLAN:
K=2
DELAY 1000
LOCZ(P420)=LOCZ(P420)+K
LOCZ(P421)=LOCZ(P421)+K
LOCZ(P422)=LOCZ(P422)+K
LOCZ(P423)=LOCZ(P423)+K
MOVE L,P420
MOVE L,P421
MOVE L,P422
MOVE L,P423
DELAY 1000
MOVE C,P421,P422,P423,P420
MOVE L,P410
RETURN
HALT

T_PCJT_1

START *ST2, T2
A=7
B=7
*ST1:
SEND CMU TO A
IF A>4 THEN

MOVE L,P422,VEL=A
MOVE L,P423,VEL=A
MOVE L,P420,VEL=A
DELAY 1000
MOVE
C,P421,P422,P423,P420,VEL=
A
MOVE L,P410,VEL=A
RETURN

T_ASP_1

START *ST2, T2
START *ST1, T3
A=1
*ST2:
SEND CMU TO A
SPEED 100
ASPEED A
GOTO *ST2
*ST1:
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
MOVE P,P420
FOR J=1 TO 50
GOSUB *PLAN
NEXT J
*PLAN:
K=2
DELAY 1000
LOCZ(P420)=LOCZ(P420)+K
LOCZ(P421)=LOCZ(P421)+K
LOCZ(P422)=LOCZ(P422)+K
LOCZ(P423)=LOCZ(P423)+K
MOVE L,P420
MOVE L,P421
MOVE L,P422
MOVE L,P423
DELAY 1000
MOVE C,P421,P422,P423,P420
MOVE L,P410
RETURN
HALT

T_FORT_1

P0=WHERE
SEND CMU TO A
IF A=100 THEN
B=0
ENDIF
IF A<100 THEN
B=1
WHILE A<100
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE P,P0
WEND
ENDIF
IF A>100 THEN
B=-1
WHILE A>100
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE P,P0
WEND
ENDIF
RETURN

T_FORT_2

*S1:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
B=5
SEND "PLUS" TO CMU
P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF

```

```

IF A>100 THEN
B=-5
SEND "MINUS" TO CMU
P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
GOTO *S1

```

T_FORT_3

```

START *ST2, T2
START *ST1, T3
A=10
B=10
*ST2:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
B=5
SEND "PLUS" TO CMU
P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
IF A>100 THEN
B=-5
SEND "MINUS" TO CMU
P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
GOTO *ST2
*ST1:
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
FOR J=1 TO 1000
MOVE
C,P421,P422,P423,P420,VEL=
30
NEXT J
RETURN
HALT

```

T_FORT_4

```

START *ST2, T2
START *ST1, T3
A=10
B=10
*ST2:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
B=5
SEND "PLUS" TO CMU

```

```

P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
IF A>100 THEN
B=-5
SEND "MINUS" TO CMU
P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
GOTO *ST2
*ST1:
P420=P410
P421=P411
P422=P412
P423=P413
LOCZ(P420)=LOCZ(P420)+B
LOCZ(P421)=LOCZ(P421)+B
LOCZ(P422)=LOCZ(P422)+B
LOCZ(P423)=LOCZ(P423)+B
FOR J=1 TO 1000
MOVE
C,P421,P422,P423,P420,VEL=
30
NEXT J
RETURN
HALT

```

T_FORT_5

```

START *ST2, T2
START *ST1, T3
A=10
B=10
*ST2:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
B=5
SEND "PLUS" TO CMU
P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
IF A>100 THEN
B=-5
SEND "MINUS" TO CMU
P0=JTOXY(WHERE)
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
GOTO *ST2
*ST1:
FOR I=1 TO 1000
P0=JTOXY(WHERE)
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-88

```

```

LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+88
LOCZ(P0)=LOCZ(P0)+B
MOVE L,P0,S=5
NEXT I
RETURN

```

T_FORT_6

```

START *ST2, T2
START *ST1, T4
START *ST3, T3
A=10
B=10
P0= 207.50 -27.50 50.00
0.00 0.00 0.00
MOVE P,P0,S=10
*ST2:
SEND CMU TO A
IF A<100 THEN
B=5
ENDIF
IF A>100 THEN
B=-5
ENDIF
GOTO *ST2
*ST1:
FOR I=1 TO 100
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)-88
MOVE L,P0,S=5
LOCX(P0)=LOCX(P0)+1
MOVE L,P0,S=5
LOCY(P0)=LOCY(P0)+88
MOVE L,P0,S=5
P0=JTOXY(WHERE)
NEXT I
GOTO *ST1
*ST3:
IF A<>100 THEN
LOCZ(P0)=120+B
MOVE L,P0,S=10
ENDIF
GOTO *ST3
RETURN

```

T_FORT_7

```

START *ST2, T2
*ST1:
P[B]=P62
P[C]=P63
P[D]=P64

```

```

P[E]=P61
MOVE P,P[E]
MOVE C,P[B],P[C],P[D],P[E]
SEND CMU TO A
  IF A<100 THEN
P[B]=P[B]+P598
P[C]=P[C]+P598
P[D]=P[D]+P598
P[E]=P[E]+P598
  ENDIF
  IF A>100 THEN
P[B]=P[B]-P598
P[C]=P[C]-P598
P[D]=P[D]-P598
P[E]=P[E]-P598
  ENDIF
  GOTO *ST1
*ST2:
FOR K=1 TO 25
FOR J=1 TO 25
  MOVE
C,P[B],P[C],P[D],P[E],S=10
  LOCX(P[B])=LOCX(P[B])-1
  LOCY(P[C])=LOCY(P[C])+1
  LOCX(P[D])=LOCX(P[D])+1
  LOCY(P[E])=LOCY(P[E])-1
  NEXT J

```

```

FOR K=1 TO 25
  MOVE
C,P[B],P[C],P[D],P[E],S=10
  LOCX(P[B])=LOCX(P[B])+1
  LOCY(P[C])=LOCY(P[C])-1
  LOCX(P[D])=LOCX(P[D])-1
  LOCY(P[E])=LOCY(P[E])+1
  NEXT K
NEXT K
GOTO *ST2
HALT

```

T_FORT_8

```

A=100
SEND CMU TO A
FOR J=600 TO 1223
  IF A=100 THEN
P[J]=P[J]
  ENDIF
  IF A<100 THEN
P[J]=P[J]+P599
  ENDIF
  IF A>100 THEN
P[J]=P[J]-P599
  ENDIF
  MOVE L,P[J],VEL=20

```

```

NEXT J
HALT

```

T_FORT_9

```

START *ST2, T2
B=50' seteaza inaltimea pe axa Z
*ST1:
SEND CMU TO A
  IF A<100 THEN
FOR K=600 TO 1223
  LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])+5
  NEXT K
  ENDIF
  IF A>100 THEN
FOR K=600 TO 1223
  LOCZ(P[K])=LOCZ(P[K])-5
  NEXT K
  ENDIF
  GOTO *ST1
*ST2:
FOR J=600 TO 1223
  MOVE L,P[J],S=80
  NEXT J
  GOTO *ST2
HALT

```

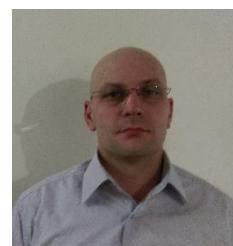

INFORMAȚII PERSONALE

Pop Adrian

📍 Principală 473, Remetea Mare (România)

☎ 0748295416

✉ nask_pop@yahoo.com



EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

05.01.2007-09.05.2007

Inginer productie

Artmatch, Timisoara (România)

Firmă de producție și import echipamente publicitare.

Responsabilități și realizări;

- planificarea producției.
- achiziționarea de noi utilaje.
- realizarea de produse noi.
- calculul costului de producție.
- achiziții materii prime.

01.01.2008-24.07.2014

General manager

NASK GRUP, Timisoara (România)

Management.

- identificarea de noi clienți și menținerea relațiilor cu aceștia;
- implementarea sarcinilor de producție;
- ofertare;
- relația cu furnizorii.

24.04.2014-prezent

Inginer Tehnolog

ELBA, Timisoara (România)

- administrarea eficientă resurselor materiale și financiare;
- urmărirea realizării programului de producție în funcție de capacitate, forța de muncă și sortimente;
- urmărirea desfășurării în bune condiții a procesului tehnologic;
- îmbunătățirea și automatizarea de procese;
- cooperarea cu departamentul de mentenanță în vederea implementării îmbunătățirilor.

EDUCAȚIE ȘI FORMARE

1997 – 2001

Electromecanic intretinere si reparati

Grup Industrial Electritimis, Timisoara (România)

2001 – 2006

Inginer Mecatronic

Universitatea Politehnica Timisoara

- mecanica;
- electronică;
- informatica.

2011 – prezent

Universitatea Politehnica Timișoara în cadrul Facultății de mecanică, Timisoara (România)

Tema de doctorat, CONTRIBUȚII PRIVIND UTILIZAREA ȘI OPTIMIZAREA ROBOȚILOR INDUSTRIALI ÎN APLICAȚII DE PRELUCRARE PRIN AȘCHIERE.

COMPETENȚE PERSONALE

Limba(i) maternă(e)

română

Alte limbi străine cunoscute

ÎNȚELEGERE		VORBIRE		SCRIERE
Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	
engleză	C2	C1	B2	B1

Niveluri: A1/A2: Utilizator elementar - B1/B2: Utilizator independent - C1/C2: Utilizator experimentat
[Cadru european comun de referință pentru limbi străine](#)

Competențe de comunicare

- capacitatea de a elabora si implementa un proiect
- capacitatea de a lucra in mod cooperant si flexibil in cadrul unei echipe
- capacitatea de initiativa si capacitatea de a raspunde pozitiv la schimbari
- abilitatea de a-ti identifica punctele slabe si punctele forte
- capacitatea de a evalua si a-ti asuma riscuri in diverse situatii

Competențe organizaționale/manageriale

- spirit practica.
- orientat catre rezultat.
- atitudine pozitiva

Competențe dobândite la locul de muncă

- comunicare
- inițiativa în actiuni
- prelucrarea informațiilor
- actionarea in condiții de incertitudine
- lucru în echipă

Competențe informatice

Cunostinte PC :ProE Wildfire 2.0,ProE 2001i, Mysql, Php, Visual Basic, Protel