**CONTRIBUŢII PRIVIND UTILIZAREA ŞI OPTIMIZAREA ROBOŢILOR INDUSTRIALI**

**ÎN APLICAŢII DE PRELUCRARE PRIN AŞCHIERE**

**(REZUMAT)**

Teză destinată obţinerii

titlului ştiinţific de doctor inginer

la

Universitatea Politehnica Timişoara

în domeniul INGINERIE MECANICĂ

de către

**Ing. Adrian Pop**

Conducător ştiinţific: prof.univ.dr.ing. Valer Dolga

Referenţi ştiinţifici: prof.univ.dr.ing. Ioan BLEBEA

 prof.univ.dr.ing Mircea NIȚULESCU

 prof.univ.dr.ing. Inocențiu MANIU

Ziua susţinerii tezei: 12.01.2016

Adrian POP,

**Contribuţii privind utilizarea şi optimizarea roboţilor industriali în aplicaţii de prelucrare prin aşchiere**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 170, Editura Politehnica, 2016, 191 pagini, 162 figuri, 26 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-606-35-0040-4

Cuvinte cheie: Yamaha YK400, prelucrări mecanice, rigiditatea și vibrația roboților, sistem mecanic.

Rezumat,

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.

Lucrarea de faţă este structurată în șapte capitole după cum urmează: Introducere, șase capitole destinate obiectivului principal al tezei, un capitol de concluzii și bibliografia aferentă.

Rezultatele originale au fost publicate într-un număr de trei conferințe internaționale indexate în baze de date internaţionale şi/sau cotate ISI și 2 lucrări publicate în reviste de specialitate.

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin parțial din grantul strategic POSDRU,

**Investeşte în oameni!**

**Proiect cofinanţat din Fondul Social European prin Programul Operaţional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013**

**Axa prioritară:** 1„Educaţia şi formarea profesională în sprijinul creşterii economice şi dezvoltării societăţii bazate pe cunoaştere”

**Domeniul major de intervenţie:** 1.5 „Programe doctorale şi postdoctorale în sprijinul cercetării”

**Titlul proiectului:** **„Parteneriat inter-universitar pentru excelenta in inginerie - PARTING”**

**Cod Contract: POSDRU/159/1.5/S/137516**

**Beneficiar: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca**

# CUPRINS

[CUPRINS I](#_Toc438732541)

[Lista de tabele V](#_Toc438732542)

[Lista de figuri VI](#_Toc438732543)

[1 INTRODUCERE 1](#_Toc438732544)

[1.1 Scurt istoric al roboticii 1](#_Toc438732545)

[1.2 Mecatronică și robotică 4](#_Toc438732546)

[1.3 Motivația abordării temei de doctorat 8](#_Toc438732547)

[1.4 Obiectivele tezei de doctorat 8](#_Toc438732548)

[1.5 Structura tezei de doctorat 9](#_Toc438732549)

[2 STADIUL ACTUAL AL UTILIZĂRII ROBOȚILOR INDUSTRIALI 11](#_Toc438732550)

[2.1 Introducere 11](#_Toc438732551)

[2.2 Sisteme de fabricație flexibile 16](#_Toc438732552)

[2.3 Particularități ale roboților utilizați în procese de prelucrare 18](#_Toc438732553)

[2.3.1 Particularități și structuri ale sistemului mecanic 18](#_Toc438732554)

[2.3.2 Particularități și structuri ale sistemului de comandă 21](#_Toc438732555)

[2.4 Aspecte actuale ale utilizării roboţilor industriali în procese de fabricaţie 27](#_Toc438732556)

[2.4.1 Introducere 27](#_Toc438732557)

[2.4.2 Procese de frezare cu utilizarea robotului industrial 27](#_Toc438732558)

[Figura 2.18 Freză şi obiect din lemn prelucrat [\*\*\* Freză] 27](#_Toc438732559)

[2.4.3 Proces de debavurare cu utilizarea robotului industrial 30](#_Toc438732560)

[2.4.4 Proces de găurire cu utilizarea robotului industrial 31](#_Toc438732561)

[2.4.5 Proces de lustruire/șlefuire robotizat 32](#_Toc438732562)

[2.4.6 Concluzii finale 34](#_Toc438732563)

[3 ASPECTE TEORETICE PRIVIND ROBOTUL YAMAHA YK 400 35](#_Toc438732564)

[3.1 Introducere 35](#_Toc438732565)

[3.2 Robotul Yamaha caracteristicile și spatiul de lucru 35](#_Toc438732566)

[3.3 Sistemul de operare al robotului Yamaha YK 400 36](#_Toc438732567)

[3.4 Analiza cinematică a robotului Yamaha YK 400 38](#_Toc438732568)

[3.4.1 Generalități 38](#_Toc438732569)

[3.4.2 Modelarea cinematicii directe pentru Yamaha YK400 39](#_Toc438732570)

[3.4.3 Analiza cinematică inversă 46](#_Toc438732571)

[3.5 Simularea și realizarea unor traiectorii cu Yamaha YK400 47](#_Toc438732572)

[3.5.1 Exemple de programe și piese, realizate cu robotul Yamaha YK400 52](#_Toc438732573)

[3.5.2 Concluzii 56](#_Toc438732574)

[3.6 Concluzii finale 56](#_Toc438732575)

[4 ANALIZA COMPORTAMENTULUI SISTEMULUI MECANIC 57](#_Toc438732576)

[4.1 Introducere 57](#_Toc438732577)

[4.2 Sistemul mecanic al robotul Yamaha YK 400 57](#_Toc438732578)

[4.3 Determinarea rigidității și flexibilității robotului YAMAHA YK 400 58](#_Toc438732579)

[4.3.1 Generalități privind rigiditatea structurii mecanice a unui robot 60](#_Toc438732580)

[4.3.2 Analizele de flexibilitate a structurilor de robot YAMAHA YK400 62](#_Toc438732581)

[4.3.3 Rezultate experimentale 65](#_Toc438732582)

[4.3.4 Concluzii 68](#_Toc438732583)

[4.4 Analiza vibrației structurii robotului 68](#_Toc438732584)

[4.4.1 Introducere 68](#_Toc438732585)

[4.4.2 Generalități privind vibrația structurii mecanice, a unui robot industrial ................................................................................................................68](#_Toc438732586)

[4.4.3 Analiza vibrației structurii mecanice pentru Yamaha YK 400 în operații de prelucrare 75](#_Toc438732587)

[4.4.4 Concluzii 85](#_Toc438732588)

[4.5 Modelarea și analiza dispozitivului de fixare a echipamentului de frezat 85](#_Toc438732589)

[4.5.1 Introducere 85](#_Toc438732590)

[4.5.2 Generalități privind analiza cu element finit 86](#_Toc438732591)

[4.5.3 Analiza și modelarea dispozitivului de fixare 87](#_Toc438732592)

[4.5.4 Rezultate experimentale 89](#_Toc438732593)

[4.5.5 Concluzii 92](#_Toc438732594)

[4.6 Concluzii Finale 92](#_Toc438732595)

[5 APLICAȚII DE FREZARE ȘI LUSTRUIRE 93](#_Toc438732596)

[5.1 Introducere 93](#_Toc438732597)

[5.2 Generalități privind procesele de frezare 93](#_Toc438732598)

[5.2.1 Introducere 93](#_Toc438732599)

[5.2.2 Parametrii procesului de frezare 93](#_Toc438732600)

[5.2.3 Forțele de așchiere 94](#_Toc438732601)

[5.2.4 Prelucrarea mecanică la viteze mari (High Speed Machining) 95](#_Toc438732602)

[5.3 Procese de frezare cu robotul Yamaha YK400 97](#_Toc438732603)

[5.3.1 Introducere 97](#_Toc438732604)

[5.3.2 Standul experimental și procedura de lucru 97](#_Toc438732605)

[5.3.3 Prelucrări și rezultate 99](#_Toc438732606)

[5.3.4 Frezarea și analiza vibrațiilor 101](#_Toc438732607)

[5.3.5 Concluzii 108](#_Toc438732608)

[5.4 Aplicații de lustruire cu Robotul Yamaha YK 400 108](#_Toc438732609)

[5.4.1 Introducere 108](#_Toc438732610)

[5.4.2 Generalități privind operațiile de șlefuire. 109](#_Toc438732611)

[5.4.3 Analiza posibilității de utilizare a robotului YK400 în aplicații de lustruire ..............................................................................................................109](#_Toc438732612)

[5.4.4 Rezultate experimentale 117](#_Toc438732613)

[5.4.5 Concluzii 120](#_Toc438732614)

[5.5 Concluzii Finale 120](#_Toc438732615)

[6 CONTROLUL PUNCTULUI CARACTERISTIC 121](#_Toc438732616)

[6.1 Introducere 121](#_Toc438732617)

[6.2 Controlul vitezei punctului caracteristic 122](#_Toc438732618)

[6.2.1 Prelucrarea informației cu ajutorul Programului LabView 124](#_Toc438732619)

[6.2.2 Dezvoltarea programului pentru controlul punctului caracteristic al robotului ..............................................................................................................127](#_Toc438732620)

[6.2.3 Desfășurarea experimentului 130](#_Toc438732621)

[6.2.4 Concluzii 131](#_Toc438732622)

[6.3 Determinarea caracteristicilor senzorului de forță cu timbre tensometrice 131](#_Toc438732623)

[6.3.1 Introducere 131](#_Toc438732624)

[6.3.2 Stand experimental 132](#_Toc438732625)

[6.3.3 Descrierea experimentului 133](#_Toc438732626)

[6.3.4 Rezultate experimentale 134](#_Toc438732627)

[6.3.5 Concluzii 136](#_Toc438732628)

[6.4 Controlul poziției punctului caracteristic 136](#_Toc438732629)

[6.4.1 Prelucrarea informației cu ajutorul Programului LabView 137](#_Toc438732630)

[6.4.2 Controlul punctului caracteristic al robotului în funcție de nivelul forței de contact în VipWindows 140](#_Toc438732631)

[6.4.3 Concluzii 143](#_Toc438732632)

[6.4.4 Desfășurarea experimentului. 143](#_Toc438732633)

[6.4.5 Concluzii 145](#_Toc438732634)

[6.5 Concluzii finale 145](#_Toc438732635)

[7 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE 147](#_Toc438732636)

[7.1 Concluzii finale 147](#_Toc438732637)

[7.2 Contribuții originale ale tezei 148](#_Toc438732638)

[7.3 Diseminarea rezultatelor cercetărilor 149](#_Toc438732639)

[7.4 Direcții viitoare de cercetare 150](#_Toc438732640)

[Bibliografie 151](#_Toc438732641)

[Anexe 162](#_Toc438732642)

[Anexa 3.1 162](#_Toc438732643)

[Anexa 3.2 163](#_Toc438732644)

[Anexa 3.3 165](#_Toc438732645)

[Anexa 3.4 166](#_Toc438732646)

[Anexa 4.1 168](#_Toc438732647)

[Anexa 4.2 177](#_Toc438732648)

[Anexa 4.3 178](#_Toc438732649)

[Anexa 5.1 181](#_Toc438732650)

[Anexa 5.2 182](#_Toc438732651)

[Anexa 6.1 183](#_Toc438732652)

[Anexa 6.2 184](#_Toc438732653)

[Anexa 6.3 185](#_Toc438732654)

# 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 şi 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 fabricaţie. 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 relaţii de calcul şi 4 tabele.

**Capitolul 4 – *Analiza comportamentului sistemului mecanic*** – face referire la sistemul mecanic al robotul Yamaha YK 400, generalități privind rigiditatea și vibrația structuri 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 şi include 39 de figuri, 27 relații de calcul și 9 tabele.

**Capitolul 5 –** ***Aplicați 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 şi include 5 relație de calcul, 24 figuri și 2 tabel.

**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.

#  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 perlucrare mecanică prin așchiere și lustruire;

• Sintetizarea unor aspecte teoretice privind vibrațiile şi 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 expeimentală;

• 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 senzorului 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.

# LISTA LUCRĂRILOR

**Ing. Adrian POP**

[1] **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

[2] **Adrian Pop**, Adam Andrei, Cosma Cristian, Comsa Alexandru, Redesigning a product using modern CAD-CAM software. 8th International ConferenceInterdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu-Mures, Romania

[3] **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

[4] **Adrian Pop**, Andrei Pop, Adam Andrei, 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

[5] **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.

[6] **Adrian POP**, Andrei POP, Adriana TEODORESCU, Valer DOLGA, Real Time Speed Control of Yamaha YK400 Robot in Milling Operations, BULETINUL ŞTIINŢIFIC AL UNIVERSITĂŢII „POLITEHNICA” din TIMIŞOARA, ROMÂNIA SERIA MECANICĂ, ISSN 1224-6077, ISUE 2 2015 (În curs de publicare)

[7] **Adrian POP**, Andrei POP, Adriana TEODORESCU, Valer DOLGA, Yamaha Robot YK400 in polishing operations, BULETINUL ŞTIINŢIFIC AL UNIVERSITĂŢII „POLITEHNICA” din TIMIŞOARA, ROMÂNIA SERIA MECANICĂ, ISSN 1224-6077, ISUE 2 2015 (În curs de publicare)