

SUMMARY OF THE HABILITATION THESIS
RESEARCH CONCERNING THE CINEMATIC AND DYNAMIC
MODELING OF THE MECHANISMS IN
THE VIEW OF OPTIMIZATION

Main domain: Engineering Sciences

Doctoral domain: Mechanical Engineering

Author: Professor Dr. Eng. BĂDOIU Dorin George

Department: Mechanical Engineering

University Petroleum-Gas of Ploiești

Ploiești

2024

SUMMARY OF THE HABILITATION THESIS

The habilitation thesis entitled *Research concerning the cinematic and dynamic modeling of the mechanisms in the view of optimization* presents a series of results of the teaching and scientific research obtained by the author since he is graduating his scientific doctorate in 1997.

The habilitation thesis is structured in two parts entitled: *Scientific and professional achievements* and *Career evolution and its development plans*.

The first part is structured in three chapters entitled:

- Research concerning the kinematics and dynamics of the plane mechanisms with bars in the view of optimization;
- Research concerning the analysis and synthesis of the robotic mechanisms;
- Research concerning the analysis and synthesis of the mechanism of the conventional sucker rod pumping units used in petroleum industry.

Among the scientific achievements of the author presented in the chapters listed above, the following can be mentioned:

- achievement of several computer programs using the *Maple* programming environment for the positional and cinematic analysis and synthesis of mechanisms with bars with single-contour and polycontour in order of their constructive and functional optimization;
- achievement of several computer programs for the study of the dynamic model and solving the equation of motion in the case of the mechanisms with bars;
- development of a method for establishing and solving the equation of motion in the case of plane mechanisms with bars based on expressing the dynamic equilibrium in instantaneous powers of all forces and moments working on the components of the mechanism;
- total static balancing and analysis of the solutions of partial static balancing of some polycontour mechanisms. In the simulation programs of the functioning of the mechanisms developed in these cases, the influence of the balancing of the mechanisms on the variation of the motor moment was also analyzed;
- achievement of some operation simulators of some polycontour plane mechanisms in the view of optimization using SQP type algorithms;

- achievement of some computer programs for simulating the operation of Mitsubishi robots and Lynx robots from the endowment of the Robotics laboratory for fulfilling some work tasks in the conditions of satisfying some optimization criteria;
- development of some ARX type models in the case of mono and polycontour plane mechanisms that make the connection between the variation during the operation of the motor moment and the variation of the technological loads to which the structural elements of the mechanism are subjected;
- development of a method and of some computer programs for the dimensional synthesis of mechanisms in order to optimize the variation on the cinematic cycle of the connecting forces in the joints in the presence of functional constraints;
- generation of complex trajectories using robotic mechanisms with different configurations;
- geometric, cinematic and dynamic modeling of different robot structures;
- dynamic study of robotic manipulators when considering the elasticity of the components and solving the equations of motion in this case, the simulation results being very close to the experimental ones;
- study of positioning errors of robotic mechanisms due to construction and assembly errors of their components;
- achievement of several computer programs for determining and solving the equations of motion of robotic mechanisms with different configurations;
- development of simulators for cinematic analysis and determination of Mitsubishi RV-1A robot configurations in order to obtain imposed positions and orientations at the tool coordinate system with their visualization using the Ciroso Studio program;
- dynamic study of the mechanism of conventional pumping units used in the petroleum industry with the determination of the variation during operation of the values of the connecting forces in the bearings;
- establishing and solving the equation of motion of the mechanism of conventional sucker rod pumping units. It has been shown that the most accurate evaluation of the dynamic response depends on a more accurate determination of the variation on the cinematic cycle of the synthesis quantities that intervene in the equation of motion of the mechanism of the pumping units;
- development of computer programs for simulating the dynamics of the sucker rod column from the composition of conventional pumping installations using different pumping regimes;

- expressing in a simplified but sufficiently accurate form of the various cinematic and dynamic parameters that characterize the proper functioning of the pumping units using polynomial functions;
- development of a method and a computer program for identifying the parameters of conventional pumping units (dimensions and masses of components) starting from the records of the measurements regarding the variation of the motor moment at the crankshaft and using the functions included in the *Optimization* package from the Maple programming environment;
- development of a predictive calculation model of the motor moment at the crankshaft of conventional pumping units, the estimation of the model parameters being achieved by minimizing a function that contains the errors of the calculation model;
- development of a computer program that allows the determination of the influence of construction and assembly errors of the components of conventional pumping units on their dynamics.

The second part of the habilitation thesis entitled *Career evolution and its development plans* is structured in three sections.

- Education and vocational training;
- Teaching and research activity;
- Teaching and research career development.

I graduated the *Faculty of Petroleum Equipment and Technology* in 1988, obtaining the degree of *Engineer* in the *Mechanical* profile, with recommendation for research and higher education, being then employed at UPETROM 1 Mai Ploiești until 1991.

Since 1991, when I occupied by contest the position of university preparator in the department of *General Mechanical Disciplines* (now the department of *Mechanical Engineering*) I completed all teaching degrees, occupying by contest the positions of: assistant professor, lecturer, associate professor, and since 2003, full professor.

In 1997, I obtained the PhD degree in the specialty Statics, dynamics and stability of constructions, having as doctoral supervisor Professor Nicolae Posea, the title of the doctoral thesis being *Research concerning the kinematics and dynamics of the structural elements of some industrial robots in order to optimize their dimensions*.

I carried out my teaching activity in the field of *Mechanical Engineering*, being a course holder at disciplines such as: Mechanisms, Mechanisms and machine parts, Robotics, Robot mechanics, Robotic systems, Mechanics.

The didactic and scientific research activity is also highlighted in: the 15 articles published in scientific journals quoted Thomson Reuters, all published after the doctoral thesis (at 13 of them I am the first or the only author), 86 articles published in journals indexed BDI or CNCSIS (81 of them published after the doctoral thesis), 24 articles published in conference volumes (20 after the doctoral thesis), 8 books (at 5 of them I am the first or the only author, all published after the doctoral thesis), 10 contracts in which I was director (all after the doctoral thesis).

As director of the PN II grant no. 143/2007 I have made the Laboratory of Robotics and CIM applications (room E303) with: an FMS system type MT2R5 (Festo Didactic) with two 2 workstations with Mitsubishi industrial robots, 15 educational robotic systems (4 Lynx 5 robots , 4 Lynx 6 robots, 2 bipedal robotic systems, 4 hexapod robotic systems), computer network with 14 workstations, software dedicated to the use of robotic systems (Rios, Ciros Robotics, Ciros Studio, Ciros Mechatronics, Ciros Manufacturing) and software dedicated to assisted design (Catia, Inventor, SolidWorks).

Regarding the development of the teaching and research career, the main directions will be:

- development of new laboratories dedicated to the teaching and research activities in the field of Robotics and Mechatronics;
- obtaining new grants and contracts with economic agents, as well as initiating collaborations in international projects;
- publishing new articles in well-quoted journals in the field of Mechanical Engineering.

In the future, I will continue to form interdisciplinary teams to carry out scientific research programs that fall within the scope of my preoccupations related to the structural and functional optimization of mechanisms, modeling of robotic structures or mechatronic applications in the petroleum industry.

REZUMATUL TEZEI DE ABILITARE
CERCETĂRI PRIVIND MODELAREA CINEMATICĂ ȘI
DINAMICĂ A MECANISMELOR ÎN VEDEREA OPTIMIZĂRII

Domeniul fundamental: Științe Inginerești

Domeniul de doctorat: Inginerie Mecanică

Autor: Profesor univ. dr. ing. BĂDOIU Dorin George

Departamentul: Inginerie Mecanică

Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești

2024

REZUMATUL TEZEI DE ABILITARE

Teza de abilitare intitulată *Cercetări privind modelarea cinematică și dinamică a mecanismelor în vederea optimizării* prezintă o serie de rezultate ale activității didactice și de cercetare științifică obținute de autor de la obținerea titlului de doctor în anul 1997.

Lucrarea este structurată în două părți intitulate: *Realizări științifice și profesionale*, respectiv *Evoluția în carieră și planuri de dezvoltare ale acesteia*.

Prima parte este structurată în trei capitole intitulate:

- Cercetări privind cinematica și dinamica mecanismelor plane cu bare în vederea optimizării;
- Cercetări privind analiza și sinteza mecanismelor robotice;
- Cercetări privind analiza și sinteza mecanismului unităților de pompare convenționale folosite în industria petrolieră.

Dintre realizările științifice ale autorului prezentate în capitolele enumerate mai sus se pot menționa următoarele:

- realizarea mai multor programe de calculator folosind programul *Maple* pentru analiza și sinteza pozițională și cinematică a unor mecanisme cu bare monocontur și policontur în vederea optimizării constructive și funcționale a acestora;
- realizarea mai multor programe de calculator pentru studiul modelului dinamic și rezolvarea ecuației de mișcare în cazul mecanismelor cu bare;
- dezvoltarea unei metode de stabilire și rezolvare a ecuației de mișcare în cazul mecanismelor plane cu bare care se bazează pe exprimarea echilibrului dinamic în puteri instantanee a tuturor forțelor și momentelor care lucrează pe elementele componente ale mecanismului;
- echilibrarea statică totală și analiza soluțiilor de echilibrare statică parțială a unor mecanisme plane policontur. În programele de simulare a funcționării mecanismelor dezvoltate în aceste cazuri s-a analizat și influența echilibrării mecanismelor asupra variației momentului motor;
- realizarea unor simulatoare de funcționare a unor mecanisme plane policontur în vederea optimizării folosind algoritmi de tip SQP;

- realizarea unor programe de calculator pentru simularea funcționării roboților Mitsubishi și a roboților Lynx din dotarea laboratorului de Robotică pentru îndeplinirea unor sarcini de lucru în condițiile satisfacerii unor criterii de optimizare;
- dezvoltarea unor modele de tip ARX în cazul mecanismelor plane mono și policoncur care realizează legătura dintre variația în timpul funcționării a momentului motor și variația încărcărilor tehnologice la care sunt supuse elementele structurale ale mecanismului;
- dezvoltarea unei metode și a unor programe de calculator pentru sinteza dimensională a mecanismelor în vederea optimizării variației pe ciclul cinematic a forțelor de legătură din cuple în prezența unor constrângeri funcționale;
- generarea traiectoriilor complexe folosind mecanisme robotice cu diferite configurații;
- modelarea geometrică, cinematică și dinamică a diferitelor structuri de roboți;
- studiul dinamic al manipuloarelor robotice atunci când se consideră elasticitatea elementelor componente și rezolvarea ecuațiilor de mișcare în acest caz, rezultatele simulărilor fiind foarte apropiate de cele experimentale;
- studiul erorilor de poziționare ale mecanismelor robotice datorate erorilor de construcție și montaj ale componentelor acestora;
- realizarea mai multor programe de calculator pentru determinarea și rezolvarea ecuațiilor de mișcare ale mecanismelor robotice cu diferite configurații;
- realizarea de simulatoare pentru analiza cinematică și determinarea configurațiilor robotului Mitsubishi RV-1A în vederea obținerii unor poziții și orientări impuse la nivelul reperului sculei cu vizualizarea acestora folosind programul Ciro Studio;
- studiul dinamic al mecanismului unităților de pompare convenționale folosite în industria petrolieră cu determinarea variației în timpul funcționării a valorilor forțelor de legătură din lagăre;
- stabilirea și rezolvarea ecuației de mișcare a mecanismului unităților de pompare convenționale cu prăjini. S-a arătat că evaluarea cât mai corectă a răspunsului dinamic depinde de o cât mai exactă determinare a variației pe ciclul cinematic a mărimilor de sinteză care intervin în ecuația de mișcare a mecanismului unităților de pompare;
- realizarea de programe de calculator pentru simularea dinamicii garniturii de prăjini de pompare din componența instalațiilor de pompare convenționale folosind diferite regimuri de pompare;
- exprimarea într-o formă simplificată, dar suficient de exactă a diversilor parametri cinematici și dinamici care caracterizează buna funcționare a unităților de pompare folosind funcții polinomiale;

- dezvoltarea unei metode și a unui program de calculator de identificare a parametrilor unităților de pompare convenționale (dimensiuni și mase ale componentelor) plecând de la înregistrările măsurătorilor privind variația momentului motor la arborele manivelor și folosind funcțiile incluse în pachetul *Optimization* din programul Maple;
- dezvoltarea unui model de calcul predictiv al momentului motor la arborele manivelor unităților de pompare convenționale, estimarea parametrilor modelului realizându-se prin minimizarea unei funcții care conține erorile modelului de calcul;
- realizarea unui program de calculator care permite determinarea influenței erorilor constructive și de montaj ale componentelor unităților de pompare convenționale asupra dinamicii acestora.

A doua parte a tezei de abilitare intitulată *Evoluția în carieră și planuri de dezvoltare ale acesteia* este structurată în trei secțiuni:

- Educația și formarea profesională;
- Activitatea didactică și de cercetare;
- Dezvoltarea carierei didactice și de cercetare.

Am absolvit facultatea de *Utilaje și Tehnologie Petrolieră* în anul 1988, obținând diploma de *Inginer* în profilul *Mecanic*, cu repartiție și recomandare pentru cercetare și învățământ superior, fiind apoi angajat la întreprinderea UPETROM 1 Mai Ploiești până în anul 1991.

Din anul 1991, când am ocupat prin concurs postul de preparator universitar în cadrul catedrei *Discipline Mecanice Generale* (actualul departament de *Inginerie Mecanică*) am parcurs toate gradele didactice, ocupând prin concurs posturile de: asistent universitar, șef de lucrări, conferențiar, iar din anul 2003, profesor universitar.

În anul 1997 am obținut titlul de Doctor inginer în specialitatea Statica, dinamica și stabilitatea construcțiilor, având conducător de doctorat pe domnul prof. dr. ing. Nicolae Posea, titlul tezei de doctorat fiind "Cercetări privind cinematica și dinamica elementelor structurale ale unor roboți industriali în vederea optimizării dimensiunilor".

Mi-am desfășurat activitatea didactică în domeniul *Ingineriei Mecanice*, fiind titular de curs la discipline precum: Mecanisme, Mecanisme și organe de mașini, Robotică, Mecanica roboților, Sisteme robotice, Mecanică.

Activitatea didactică și de cercetare științifică se reliefează și în: cele 15 articole ISI, toate publicate după susținerea tezei de doctorat (la 13 dintre ele sunt prim sau unic autor), 86 de articole publicate în reviste BDI sau în reviste naționale de categoriile B+ și B, în cotarea CNCSIS (81

dintre ele publicate după susținerea tezei de doctorat), 24 de articole publicate în volume ale unor conferințe internaționale (20 după susținerea tezei de doctorat), 8 cărți (la 5 dintre ele sunt prim sau unic autor, toate publicate după susținerea tezei de doctorat), 10 proiecte de cercetare-dezvoltare-inovare pe bază de grant/contract la care am fost director (toate după susținerea tezei de doctorat).

Ca director al grantului PN II nr. 143/2007 am realizat *Laboratorul de Robotică și aplicații CIM* (sala E303) având în dotare: un sistem FMS tip MT2R5 (Festo Didactic) cu două 2 stații de lucru dotate cu roboți industriali Mitsubishi, 15 sisteme robotice educaționale (4 roboți Lynx 5, 4 roboți Lynx 6, 2 sisteme robotice bipede, 4 sisteme robotice hexapode), rețea de calculatoare cu 14 posturi de lucru, softuri dedicate utilizării roboților și sistemelor robotizate (Rios, Ciros Robotics, Ciros Studio, Ciros Mechatronics, Ciros Manufacturing, CNC programming WinNC) și softuri dedicate proiectării asistate (Catia, Inventor, SolidWorks).

În ceea ce privește dezvoltarea carierei didactice și de cercetare, principalele direcții vor fi:

- dezvoltarea unor noi laboratoare dedicate activităților didactice și de cercetare în domeniul Roboticii și al Mecatronicii;
- obținerea de noi granturi și contracte cu agenți economici, precum și inițierea de colaborări în proiecte internaționale;
- publicarea de noi articole în reviste bine cotate în domeniul Ingineriei Mecanice.

În viitor voi continua să formez echipe interdisciplinare pentru realizarea de programe de cercetare științifică care să se înscrie în sfera preocupărilor mele legate de optimizarea structurală și funcțională a mecanismelor, modelarea structurilor robotice sau al aplicațiilor mecatronice din industria petrolieră.