

STUDIUL NUMERIC ȘI EXPERIMENTAL A UNUI ROBOT INDUSTRIAL SERIAL UTILIZÂND METODA CDI

*Asist. dr. ing. Mihaela SIMION,
Șef lucr. dr. ing. Adrian Ioan BOTEAN,
Prof. univ. em. dr. ing. Mircea BEJAN*

*Universitatea Tehnică din Cluj Napoca
Departamentul de Inginerie Mecanică
Filiala Cluj a Asociației Generale a Inginerilor din România – AGIR
România*

ABSTRACT

This paper aims to achieve numerical analysis for an industrial robot with five degrees of freedom, using Finite Element Method (Ansys) in order to determine stresses, deformations and displacement values of the structure solicited by external loads. Verification of FEM analysis is realized by using an optical non-destructive method, Digital Image Correlation (DIC). The obtained and reported results in this paper serve to identify the relationships of similarity between the real robot and an epoxy resin model in order to reduce design costs.

1. Introducere

În proiectarea structurilor mecanice este importantă comportarea mecanică a acestora sub acțiunea solicitărilor exterioare în regim static sau dinamic, precum și influența deformațiilor și tensiunilor produse asupra performanțelor dinamice de funcționare (precizia, repetabilitatea, stabilitatea și complianța). Precizia de poziționare a dispozitivului de prindere poate fi influențată de structura mecanică și de răspunsul acesteia la solicitările exterioare, ceea ce face necesară studiul rigidității, a deformațiilor și tensiunilor structurilor seriale.

Astfel de studii a stărilor de tensiuni și deformații, respectiv de rigiditate se pot realiza prin diferite metode de investigare (metode analitice, numerice, experimentale) utilizând sisteme reale sau prototip. Prototipul poate fi construit din materiale cu proprietăți speciale (cum ar fi rășina epoxidică) și care permit realizarea acestora cu costuri reduse. Investigarea structurilor în domeniul de elasticitate face posibilă corelarea deformării și tensionării materialelor prin legi, relații de similitudine. Cunoașterea precisă a relațiilor de similitudine între structuri realizate din materiale diferite (rășini epoxidice și materiale metalice) fac

posibilă determinarea comportamentului structurii reale atunci când se cunoaște comportamentul structurii prototip.

În acest context, studiile prezentate în această lucrare reprezintă o primă etapă în identificarea relațiilor de similitudine definite de deplasări, ce permit trecerea de la prototip (model din rășină) la structura reală (materiale meta-lice).

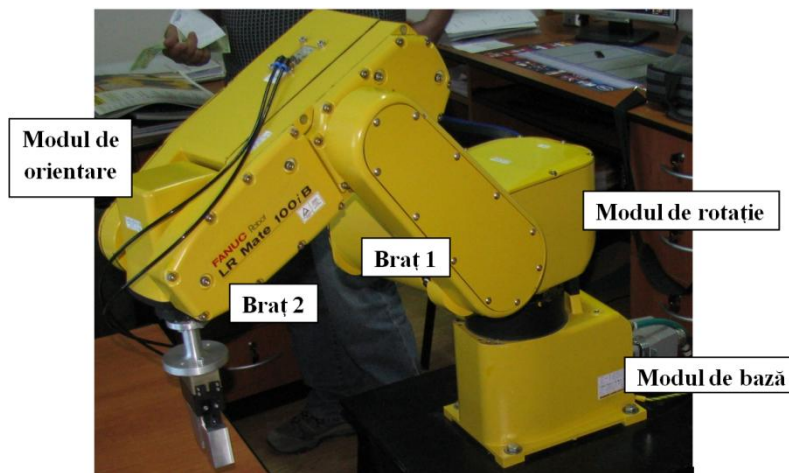


Figura 1. Robot real Fanuc LR Mate 100iB

Robotul Fanuc utilizat pentru acest studiu are în componența sa cinci module (modulul de bază, modul de rotație, 2 brațe și modulul de orientare a dispozitivului de prindere), fiind proiectat pentru încărcarea/descărcarea precisă a mașinilor unelte și manipularea de piese. Mișcarea de rotație a fiecărui modul se realizează prin intermediul unor cuple de rotație acționate de motoare electrice.

2. Determinarea experimentală și numerică a deplasărilor

Măsurătorile experimentale ale deplasărilor verticale în diferite puncte robotului real s-au realizat cu metoda optică Corelarea Digitală a Imaginii, sistemul Q400 cu o cameră (măsurători plane) de la Dantec Dynamics.

Corelarea Digitală a Imaginii este o metodă optică nedistructivă de analiză a comportării pieselor sau a sistemelor mecanice supuse la solicitări statice și dinamice, putându-se determina cu ușurință și în timp real distribuția tensiunilor și deplasărilor. Metoda constă în stocarea consecutivă de imagini în timpul măsurătorilor, atunci când piesa este supusă solicitărilor, prin intermediul camerelor digitale, și compararea lor cu imaginea de referință, atunci când piesa nu este solicitată. Pentru efectuarea măsurătorilor experimentale pentru robotul Fanuc LR Mate 100iB s-a procedat astfel (figura 2):

■ Pentru cele două brațe ale robotului s-a ales o configurație (poziționare) de lucru: brațul 1 în poziție verticală iar brațul 2 în poziție orizontală, formând un unghi de 90° între ele;

- Pe structura robotului s-au ales cinci puncte de interes astfel: P1 și P2 aparțin brațului 2; P6, P7 și P8 pe brațul 1;

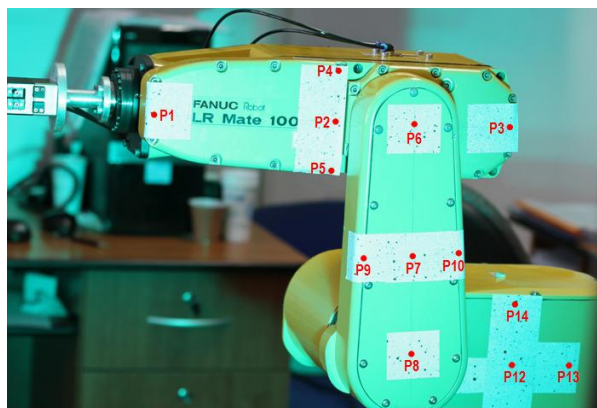


Figura 2. Standul experimental și identificarea punctelor de studiu pe cele două brațe ale robotului Fanuc LR Mate

- Robotul s-a solicitat static cu șase greutăți diferite de maxim 5 kg, aplicate la dispozitivul de prindere;

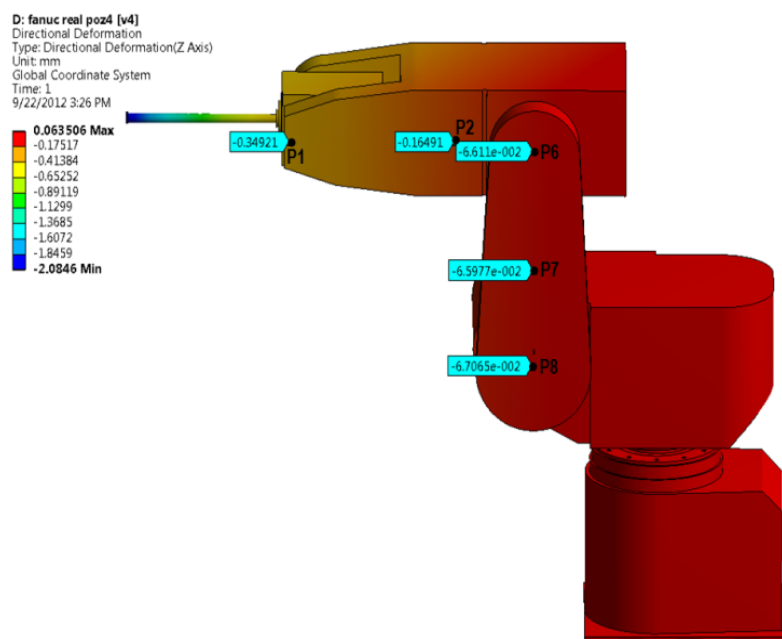


Figura 3. Distribuția deplasărilor (MEF) pentru robotul real Fanuc LR Mate 100iB. $F_{max} = 35.365$ N

■ Pentru fiecare greutate aplicată și pentru fiecare punct ales s-au determinat deplasări verticale(δ_y) cu metoda CDI.

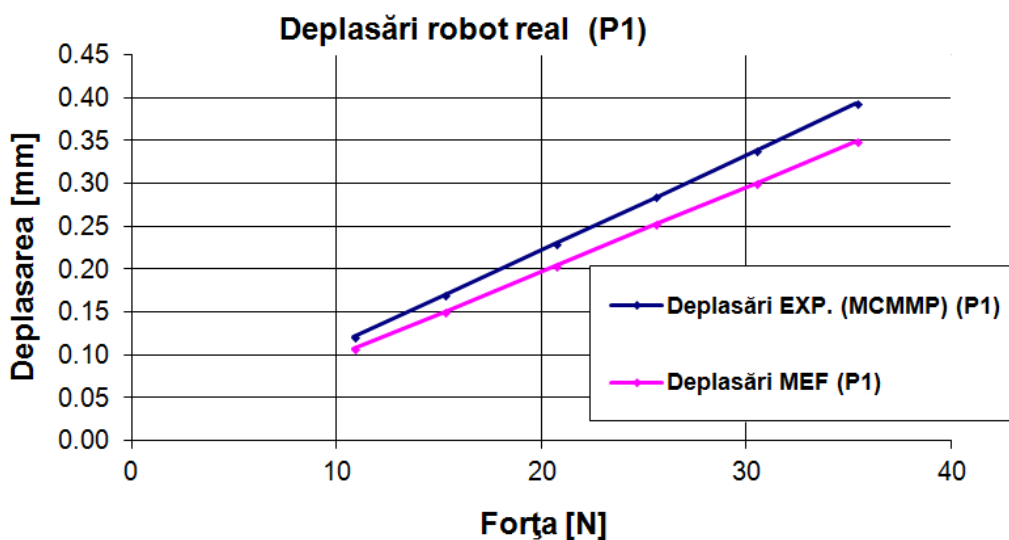
În figura 2 s-au expus imagini cu standul experimental, care reprezintă configurația de studiu aleasă pentru determinarea experimentală a deplasărilor pe structura reală a robotului Fanuc.

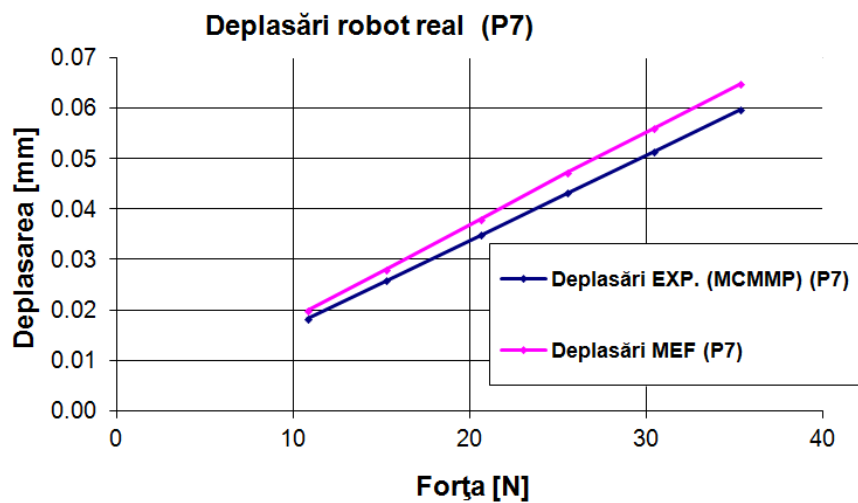
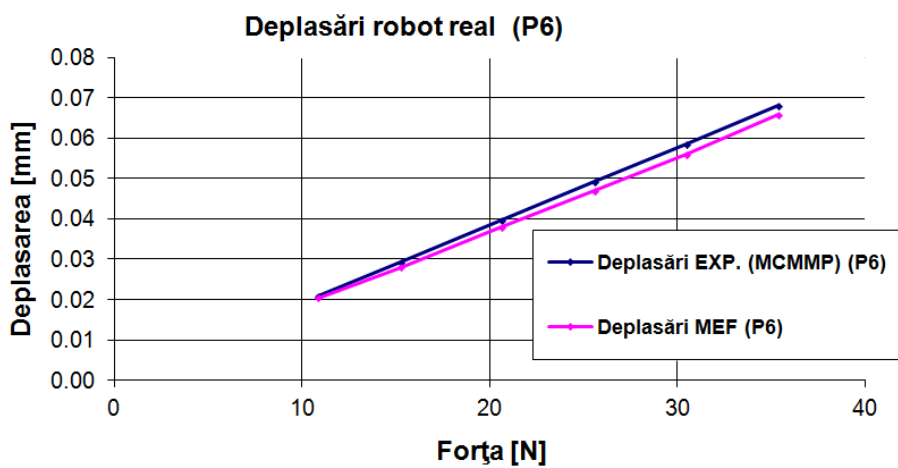
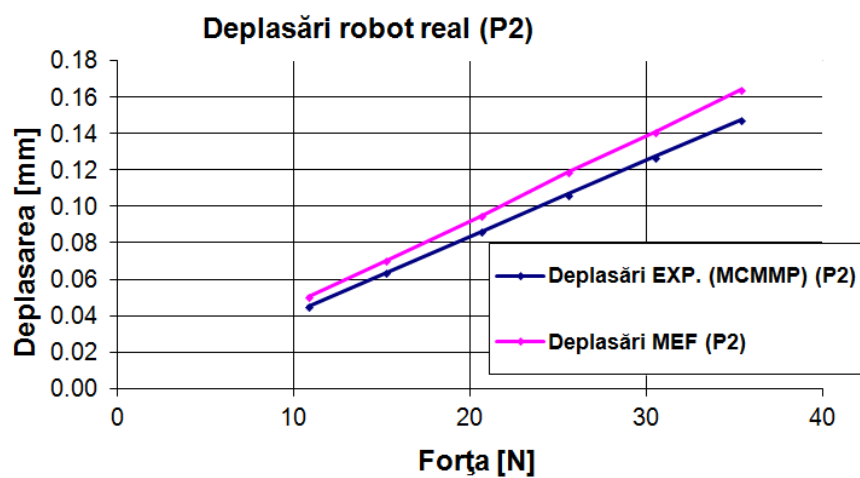
Analiza experimentală prin metoda optică CDI permite validarea și verificarea studiului numeric utilizând metoda elementelor finite – MEF (programul Ansys) pentru robotul real Fanuc, în cazul configurației de studiu considerată. Analiza cu MEF s-a realizat pe modelul CAD al robotului, și s-au impus aceleași condiții de solicitare și constrângeri de rezemare ca în cazul studiului experimental, obținându-se distribuția deplasărilor pe întreaga structură a robotului.

În figura 3 s-a reprezentat distribuția deplasărilor, precum și valorile deplasărilor în punctele de interes atunci când s-a aplicat forța maximă.

3. Rezultate obținute

Rezultatele experimentale obținute în fiecare punct s-au aproximat prin metoda celor mai mici pătrate (MCMMP). Pe baza rezultatelor experimentale (CDI - MCMMP) și numerice (MEF) ale deplasărilor în plan vertical s-au realizat diagramele din figura 4. Aceste diagrame reprezintă variația deplasărilor verticale în raport cu forțele aplicate pentru fiecare punct luat în studiu, pentru structura de robot serială modulară Fanuc, în cazul configurației de lucru aleasă.





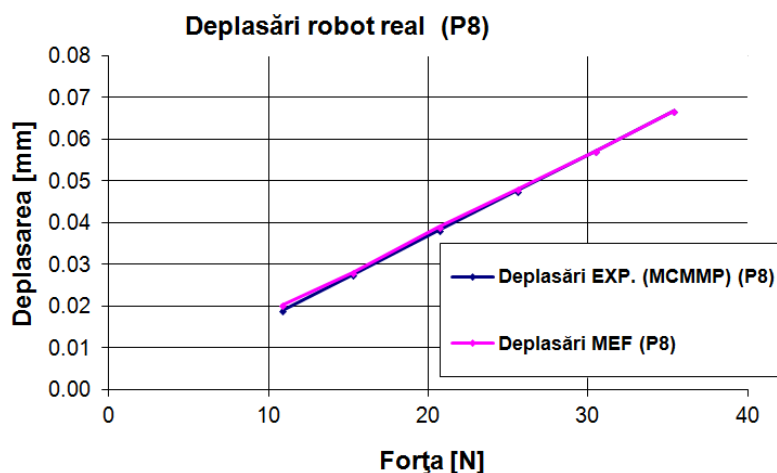


Figura 4. Diagrame de variație a deplasărilor verticale (δ_y) obținute experimental și numeric pentru structura reală a robotului Fanuc

4. Concluzii

- S-au determinat deplasările în plan vertical, pentru robotul real Fanuc, utilizând diferite metode de investigare: numeric (MEF) și experimental (CDI). Astfel, în regim static, experimental s-au determinat deplasările în 5 puncte cheie ale structurii: în cuplele de rotație J2, J3, J4, și în alte două puncte intermediare (pe brațul 1 și 2).
- În diagramele din figura 4 s-au reprezentat comparativ rezultatele obținute experimental și numeric, pentru configurația studiată. S-a obținut o variație liniară a deplasărilor, ceea ce confirmă existența relației de liniaritate dintre deplasări și forțele aplicate, valabilă în domeniul elastic. De asemenea, tot pe baza diagramelor de variație a deplasărilor, rezultatele numerice obținute prezintă erori relativ reduse în raport cu datele experimentale, ceea ce validează acuratețea metodelor de investigare utilizate.
- Pe baza valorilor deplasărilor și eforturilor determinate prin diferite metode (analitice, numerice, experimentale), pentru două structuri echivalente (model și prototip) se pot identifica relații sau legi de similitudine care să facă trecerea de la un model experimental (din rășină) la prototip. Analiza curentă face parte din acest studiu care va conduce la identificarea unor legi de similitudine. Acest studiu vizează reducerea erorilor de proiectare, optimizarea structurii mecanice și a funcționării, precum și un cost redus al proiectării.

Bibliografie:

- [1] Cloud, G., *Optical methods of engineering analysis*, Editura Universității Cambridge, ISBN 0-521-6342- 6, 1998.

- [2] Dudescu, M.C., Botean, A.I., *Deformations measurement using digital image correlation principle*, Acta Technica Napocensis, Series: Machines Construction, Materials 50, 2007.
- [3] Dantec Dynamics, *Basics of 3D digital image correlation, Advanced full-field displacement and strain analysis*.
- [4] Kobayashi, A.S., *Handbook on experimental Mechanics*, Second Revised Edition, ISBN 1-56080-640-6, 1993.
- [5] Simion, Mihaela, Botean, A.I., Bejan, M., *Stiffness study of an industrial robot*, Acta Technica Napocensis, Series: Applied Mathematics and Mechanics, vol.55, Issue III, ISSN 1221-5872, pag. 693-698, Cluj-Napoca, 2012.
- [6] Tung, S-H., Kuo, J-C, Shih, M-H, *Strain distribution analysis using digital image correlation techniques*, the Eighteenth KKCNN Symposium on Civil Engineering – NTU29, 19-21 Decembrie, 2005.
- [7] Simion, Mihaela, *Contribuții privind studiul tensiunilor și deformațiilor unor componente din structura mecanică a roboților industrialiseriali modulari*, teza de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, 2013.
- [8] Bejan, M., *Rezistența materialelor*, vol. 2, ediția a IV-a, Editura AGIR, București, 2009 și Editura MEGA, Cluj Napoca, 2009.
- [9] Bejan, M., Simion, M., Cherecheș, I.A., Lakatos, Gh.D., Vidican, I., *Compendii din Rezistența materialelor*, vol. 1 și 2, Editura AGIR, București, 2013 și Editura MEGA, Cluj Napoca, 2013.