



Universitatea *TRANSILVANIA* din Braşov
Facultatea **DESIGN DE PRODUS ŞI MEDIU**
Departamentul DESIGN DE PRODUS, MECATRONICĂ ŞI MEDIU



Universitatea
Transilvania
din Braşov

Teză de abilitare DOMENIUL INGINERIE MECANICĂ

Modelarea şi analiza dinamică a structurilor mecanice de tip paralel cu jocuri şi elemente elastice

CANDIDAT: CONF. DR. ING. Nadia Ramona CREȚESCU



REZULTATELE ACADEMICE ȘI PLANURI DE DEZVOLTARE: **cuprins**

1. Educație și
formare

2. Activitate
didactică

3. Activitate de
cercetare

4. Vizibilitate la
nivel:

- local
- național
- internațional

1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE



1.1 STUDII

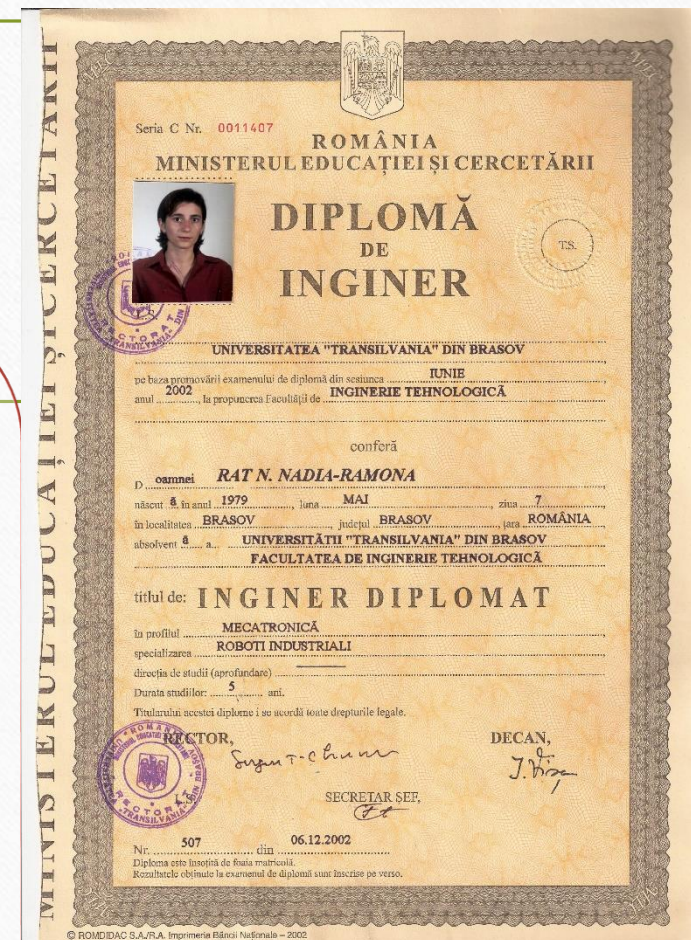
1.2 FORMARE PROFESIONALĂ

1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE

1.1 STUDII

Studii
de LICENȚĂ

- Absolventă din anul 2002 a Universității Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică, specializarea *Roboți Industriali* (domeniul *Mecatronică*)
- Șefă de promoție

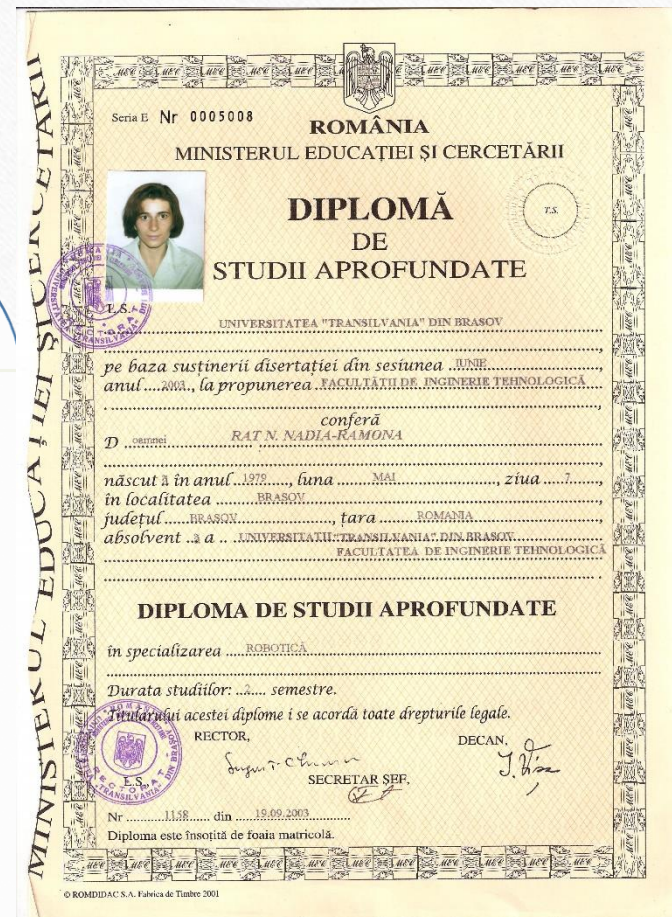


1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE

1.1 STUDII

Studii
de MASTERAT

- 2002 – 2003- **Diplomă de studii aprofundate** în **Robotică** eliberată de Universitatea Transilvania din Brașov

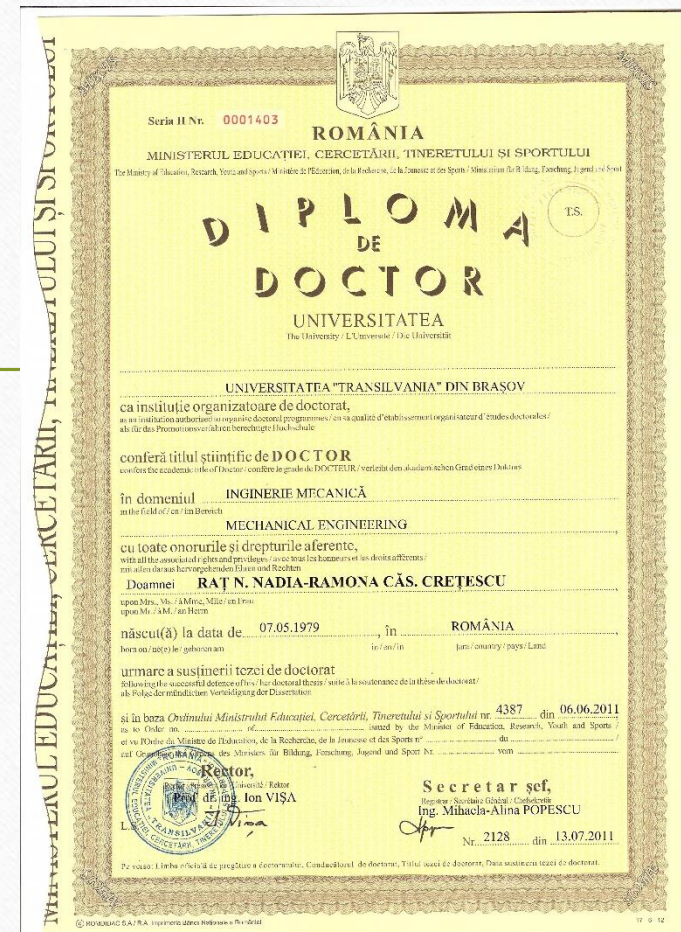


1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE

1.1 STUDII



- 2003 – 2011 - Teza de doctorat cu titlul *Modelarea roboților paraleli cu mișcări decuplate*
- Conducător științific: Prof. dr. Dhc. ing. Florea DUDIȚĂ
- Domeniul: Inginerie mecanică
- Universitatea Transilvania din Brașov



1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE

1.2 FORMARE PROFESIONALĂ- mobilități și stagii

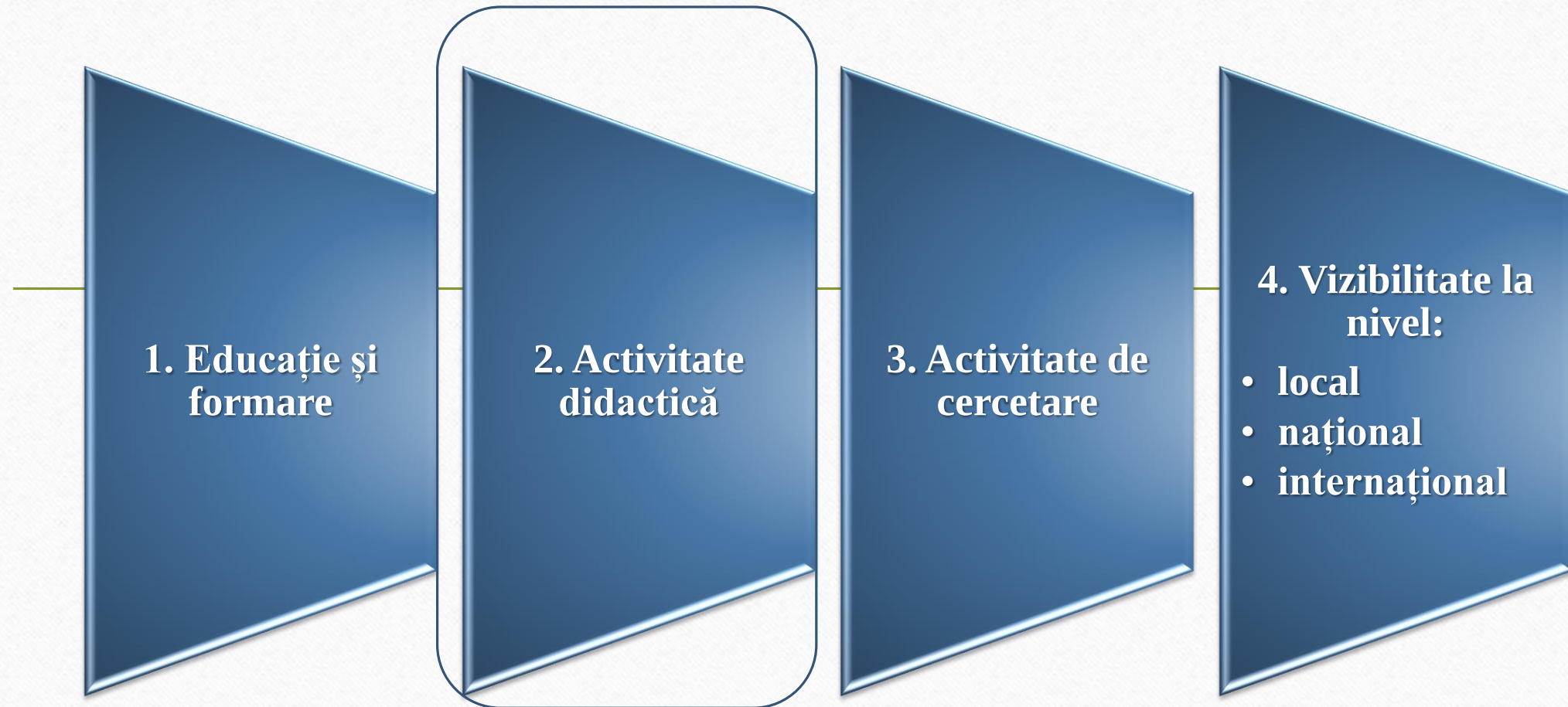
- Mobilitate Erasmus la IFMA, Clermont-Ferrand, Franța (Ianuarie -Iulie 2000);
- Stagiul de teză la IFMA, Clermont-Ferrand, Franța (Martie- Iulie 2004);
- Stagiul de teză la IFMA, Clermont-Ferrand, Franța (Februarie- Aprilie 2005);
- Mobilitate Erasmus la IFMA, Clermont-Ferrand, Franța (Aprilie- Mai 2006);
- Stagiul de teză la IFMA, Clermont-Ferrand, Franța (Iunie-Iulie 2007) ;
- Mobilitate Erasmus, Barcelona, Spania (iulie 2019).

1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE

1.2 FORMARE PROFESIONALĂ-premii

- **Premiul II** – cu lucrarea „Poșeta pentru discotecă” susținută în cadrul Sesiunii de comunicări a cercurilor științifice studențești din anul universitar 2000-2001.
- **Premiul I** – cu lucrarea „Modelarea și simularea cinematică și dinamică a unui manipulator paralel trimobil” susținută în cadrul Sesiunii de comunicări a cercurilor științifice studențești din anul universitar 2001-2002.
- **Premiul III** – cu lucrarea „Modelarea, simularea cinematică și experimentale privind precizia structurilor de tip paralel” susținută în cadrul Sesiunii de comunicări a cercurilor științifice studențești din anul universitar 2002-2003.

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ



2.1 Grade didactice

2.2 Discipline predate

2.3 Coordonare proiecte de diplomă/disertații

2.4 Activități conexe celor didactice

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.1 GRADE DIDACTICE



2023- Conferențiar universitar

2014 - Șef de lucrări

2002– Preparator universitar

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.2 DISCIPLINE PREDATE

- Titular al următoarelor discipline:
 - **Organe de mașini** (anul 2 la studenții Facultății de Știința și Ingineria Materialelor – licență);
 - **Designul produselor mecatronice** (anul 3/4 DI – Design Industrial, 3/4 ID – Industrial Design – licență);
 - **Sisteme mecatronice** (anul 3 Robotică – licență);
 - **Produse mecatronice** (anul 4 ISER – Ingineria Sistemelor de Energii Regenerabile – licență);
 - **Metode numerice** (anul 2 DI, 2/3 ISER – licență);
 - **Producție și consum durabil** (anul 4 IDPE – Industrial Design Product–licență).

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.2 DISCIPLINE PREDATE

- Cadru didactic asociat al disciplinei de:
 - **Mecanisme și organe de mașini** (anul 2 IPMI – Ingineria și Protecția Mediului în Industrie, 2 MT – Mecatronică, 2 OPTO – Optometrie, 2 IMED – Inginerie medicală, 2 IEI – Inginerie Economică Industrială, 2 IMA – Ingineria și Managementul Afacerii – licență);
 - **Mecanisme** (anul 2 AR – Autovehicule Rutiere, 2 IM – Inginerie Mecanică – licență IFR);
 - **Organe de mașini** (anul 3 IM – licență IFR, 2 ISER- licență);
 - **Modelarea asistată a sistemelor mecanice** (anul 2 ISER – licență);
 - **Cinematica și dinamica roboților industriali** (anul 4 RI – licență);
 - **Acționarea, comanda și controlul sistemelor mecanice** (anul 3DI – licență);

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.2 DISCIPLINE PREDATE

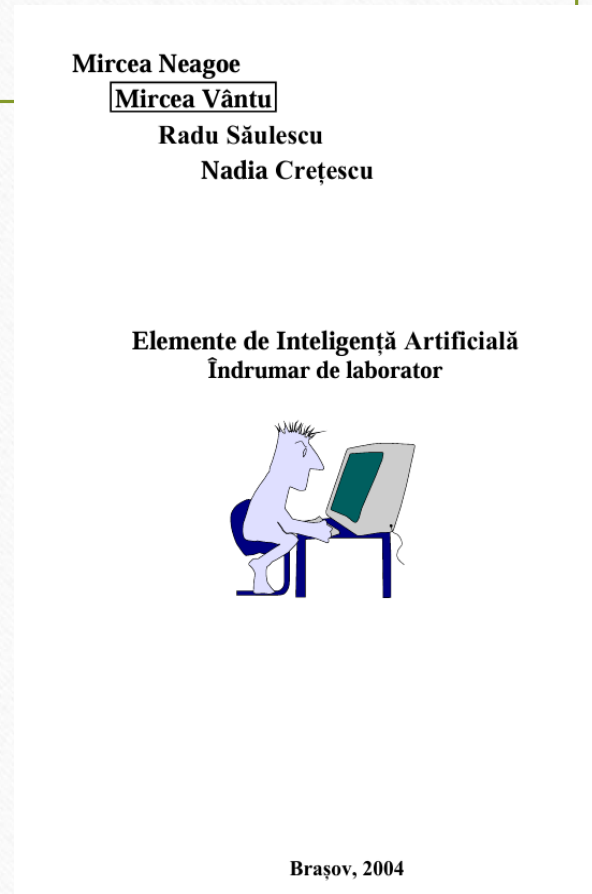
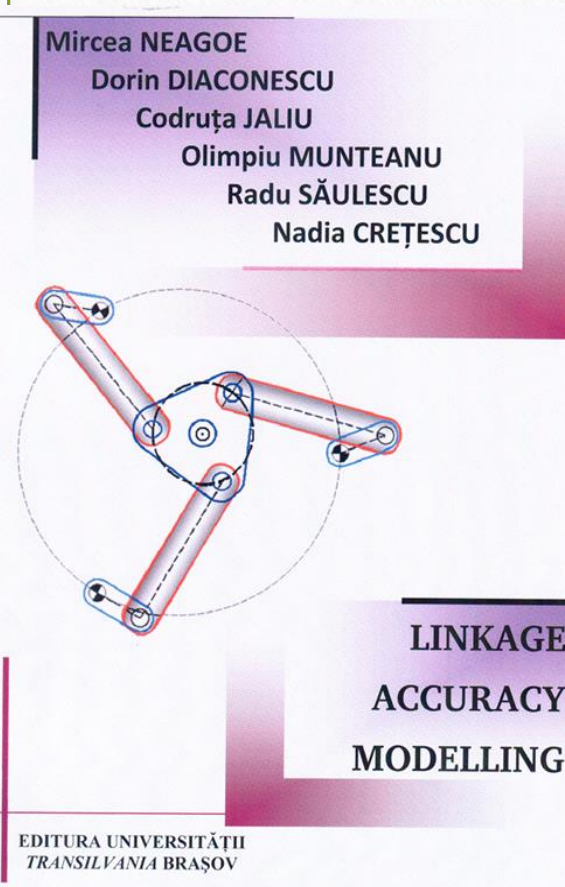
- **Cadru didactic asociat al disciplinei de:**
 - **Metoda Elementului Finit** (anul 3 IPMI, 3 ISER, 3 DI – licență);
 - **Inteligență artificială** (anul 3 IEI – licență) ;
 - **Sisteme fotovoltaice** (anul 3 ISER – licență);
 - **Sisteme hibride și cogenerarea energiei** (anul 4 ISER – licență);
 - **Designul sistemelor de energii regenerabile** (anul 1 DPDM – Design de Produs pentru Dezvoltare Durabilă și Protecția Mediului - master);
 - **Design de produs pentru dezvoltare durabilă** (anul 3 DI – licență);
 - **Dezvoltare durabilă** (anul 2 IPMI, 2 ISER – licență).

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

Publicații didactice

2.2. Cursuri universitare

Indrumare L/P



2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.3 Coordonare proiecte de diplomă/ disertații

- **Proiecte de diplomă** la programele de licență: *Design industrial, Ingineria sistemelor de energie regenerabilă, Optometrie, Inginerie medicală, Inginerie mecanică (IFR)*;
- **Disertații** la masterul *Design de produs pentru dezvoltare durabilă și protecția mediului*;
- Toate proiectele de diplomă/ disertațiile au **finalizare practică** și/sau aplicabilitate în **mediul economic**, în mediul **universitar** sau în cercetare;
- Toate proiectele de diplomă coordonate participă la Sesiuni Științifice Studentești (**SCSS**) ;
- Participarea la **AFCO** (Absolvenți în Fața COmpaniilor) cu proiecte de diplomă.

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.3 Coordonare proiecte de diplomă/ disertații - Perspectivă

-
- Participare la **Sesiuni de comunicări științifice studențești** – permanent;
 - Creșterea numărului de proiecte dezvoltate **în parteneriat cu companiile.**

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.4 Activități conexe celor didactice

- Implicare cu studenți la **cercuri științifice studentești**;
- Implicare activă la **Olimpiada Națională de Mecanisme (ONM)** și

Students International Olympiad on Mechanism and Machine Science (**SIOMMS**);

- Activitate de **tutorat** a studenților (tutore anul 1 ISER – licență);
- Implicare în procesul de **admitere la nivel de facultate**;
- Responsabil **practică** pentru anul II DI;
- Implicare activă în atragerea de viitori studenți, atât prin realizarea de ore aplicative în parteneriat cu Colegiul de Științe ale Naturii “Emil Racoviță” Brașov, cât și prin realizarea de prezentări elevilor de gimnaziu și liceu în cadrul Săptămânii Altfel sau Verde.

- Perspectivă

Continuarea activităților prezente și identificarea de noi posibilități pentru a pune în valoare spiritul de competiție și abilitățile de lucru în echipă ale studenților.



3. ACTIVITATE DE CERCETARE

- 3.1 Direcții de cercetare
- 3.2 Contracte de cercetare
- 3.3 Publicații
- 3.4 Participare la manifestări științifice
- 3.5 Brevete
- 3.6 Cărți cu caracter științific

1. Educație și formare

2. Activitate didactică

3. Activitate de cercetare

4. Vizibilitate la nivel:

- local
- național
- internațional

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

3.1 Direcții de cercetare

Membră a Centrului de cercetare Sisteme de Energii Regenerabile și Reciclabile – **RESREC**, Institutul ICDT al Universității Transilvania din Brașov

- **Mecanisme și transmisii mecanice**

Optimizarea mecanismelor, software pentru analiza mecanismele articulate.

- **Robotică**

Roboți industriali de înaltă viteză și precizie, elasticități și jocuri ale roboților paraleli.

- **Sisteme de energii regenerabile**

Sisteme fotovoltaice.

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

3.2 Contracte de cercetare

Activitatea de cercetare s-a materializat prin:

➤ **9 contracte de cercetare, dintre care unul ca și director (selecție):**

- Contract CNCSIS tip A nr. 40533/2003, tema 5/970
Denumirea: *Cercetări teoretice și experimentale privind optimizarea modelelor teoretice ale roboților prin calibrare.*
Director: Neagoe, M.
Beneficiar: Ministerul Educației, Cercetării și Tineretului
Director: Neagoe, M.
Autori: Neagoe, M., Dudiță, F., Gogu, Gr., Diaconescu, D., Munteanu, O., Starețu, I., Telea, D., Bercan, N., Jaliu, C., Pozna, C., Eftimie, E., Săulescu, R., Pascale, L., **Crețescu, N.**, Borca, A., Manciulea, M., Mățăuanu, M., Jane la Tore, Z., Stoica, B., Mihai, C., Maftai, C.
- Contract nr. 33369/2004, tema 5/1330
Denumirea: *Studiul și optimizarea dinamică a variatoarelor planetare de înaltă putere prin conversia sistemului mecanic în sistem mecatronic.*
Director: Diaconescu, D.
Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării.
Autori: Diaconescu, D., Bercan, N., Telea, D., Munteanu, O., Jaliu, C., Neagoe, M., Pozna, C., Eftimie, E., Pascale, L., Săulescu, R., Lateș M, **Crețescu, N.**, Borca, A., Stud: Gall, R.
- **Contract nr. TD 138/2006, tema 6/1060**
Denumirea: *Modelarea robotilor paraleli cu miscari decuplate.*
Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării.
Director: **Crețescu, N.**,
Valoare: 31.000.000 lei
- Proiectul nr. 3280/nr. 72197 din 1.10.2008 (2008-2011), cu titlul “Sisteme mecatronice complexe pentru aplicatii in medicina - SMART”, încheiat în cadrul Programului 4 – Parteneriate în domenii prioritare, Directia de cercetare 7.3 Tehnologii și produse mecanice de înaltă precizie și sisteme mecatronice.
Contractor: Universitatea *Tehnică* din Cluj Napoca
Parteneri: Universitatea *Transilvania* din Brașov, Universitatea *Politehnica* din Timișoara

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

3.3 Publicații

➤ **47 articole științifice**, dintre care:
-18 indexate WOS ca prim autor sau autor de corespondență (selecție):

-
- ❖ **Cretescu, N.**, Neagoe, M., Saulescu. R. Dynamic Analysis of a Delta Parallel Robot with Flexible Links and Joint Clearances. Applied Sciences. 2023; 13(11):6693.
<https://doi.org/10.3390/app13116693>. FI: 2.838, SRI: 0.885, ISSN: 2076-3417.
 - ❖ **Cretescu, N.**, Neagoe, M. Dynamic Modelling of an Isoglide T3 Type Parallel Robot. In: Lovasz, EC., Maniu, I., Doroftei I., Ivanescu, M., Gruescu. C.M. (eds) New Advances in Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics. Joint International Conference of the International Conference on Mechanisms and Mechanical Transmissions and the International Conference on Robotics, MTM&Robotics 2020, 14-16 October 2020, Timișoara, Romania. Mechanisms and Machine Science, Vol. 88, 2021. Springer, Cham, p. 235-248, DOI: 10.1007/978-3-030-60076-1_21, ISBN 978-3-030-60075-4.

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

3.3 Publicații

-4 lucrări indexate

WOS în calitate de co-autor
(selecție):

- ❖ Burduhos, B., Visa, I., Neagoe, M., **Cretescu, N.** Simulated vs. produced electrical energy of a 9.6 kWp PV system installed in a mountain temperate climate, Journal of Science and Arts, No. 1(50), pp. 215-224, 2020, ISSN2068-3049, http://www.josa.ro/docs/josa_2020_1/c_03_Burduhos_215-224_10p.pdf
- ❖ Neagoe M., **Crețescu N.**, Săulescu R., Dynamic modelling of a 3DOF medical parallel robot with one decoupled motion. Jurnal: [Advanced Materials Research](#) Vols. 837 (2014) pp 594-599, Trans Tech Publications, Switzerland, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.837.594.

- 4 lucrări indexate **BDI** ca
prim autor sau autor de
corespondență (selecție):

- ❖ **Cretescu, N.**, Neagoe, M., Saulescu, R. Kinematic and Dynamic Analysis of a 4DOF Parallel Robot with Flexible Links, Proceedings of The Joint International Conference of the XII International Conference on Mechanisms and Mechanical Transmissions (MTM) and the XXIII International Conference on Robotics (Robotics '16), Aachen, 26-27 October 2016, New Advances in Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics, Editors Burkhard Corves, Erwin-Christian Lovasz, Mathias Husing, Inocentiu Maniu, Corina Gruescu, Ed. Springer, pp. 473-481, ISBN 978-3-319-45449-8, Mechanisms and Machine Science 46, DOI 10.1007/978-3-319-45450-4_48 (autor de corespondență).

Accession Number: WOS:000404231000048

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

3.3 Publicații

-9 lucrări indexate **BDI** în calitate de coautor (selecție):

- ❖ Neagoe, M., Saulescu, R., Jaliu, C., **Cretescu, N.** (2020). Efficiency Analysis of a Planetary Speed Increaser for Wind Turbines with Counter-Rotating Versus Fixed-Stator Electric Generator. 1-4. 10.1109/EEAE49144.2020.9279068.
- ❖ Saulescu, R., Neagoe, M., **Cretescu, N.** (2020). Comparative analysis of two wind turbines with counter-rotating vs. fixed-stator electric generator. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 997. 012091. 10.1088/1757-899X/997/1/012091.
- ❖ Saulescu, R., Jaliu, C., Neagoe, M., Ciobanu, D., **Cretescu, N.** (2023). Comparative analysis of torque-adding wind energy conversion systems with a counter-rotating vs. conventional electric generator. Frontiers in Energy Research. 11. 10.3389/fenrg.2023.1215509. ISSN 2296598X DOI 10.3389/fenrg.2023.1215509

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

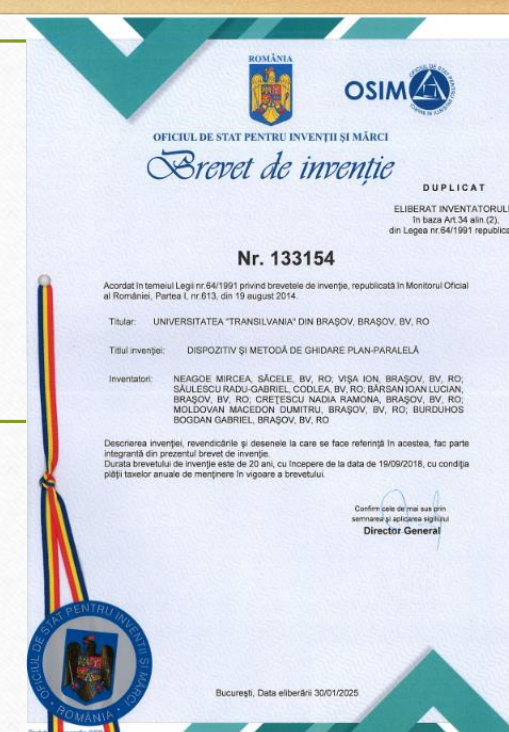
3.4 Participare la manifestări științifice

- Conferințele s-au desfășurat în **Germania** Aachen, **Slovakia** Trnava, Republica **Moldova** Chișinău, **Portugalia** Guimarães, precum și în diverse orașe din **România** Iași, Oradea, Cluj, București, Timișoara, etc.

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

3.5 Brevete

➤ 3 brevete de invenție:



1. Neagoe, M., Săulescu, R., Jaliu, C., Munteanu, O., **Crețescu, N.** *Sistem eolian contrarotativ monomobil*, Nr. înregistrare OSIM A/00539/29.07.2016. Brevet de invenție nr. RO 131512B1/30.03.2022.
2. Săulescu, R., Neagoe, M., Vișa, M., Jaliu, C., Munteanu, O., Totu, I. **Crețescu, N.** *Amplificator de turație planetar monomobil cu două ieșiri contrarotative*, Nr. înregistrare OSIM A/00905/25.11.2016.
3. Neagoe, M., Vișa, I., Săulescu, R., Barsan, L., **Crețescu, N.**, Moldovan, M.D., Burduhos, B.G. *Dispozitiv și metodă de ghidare plan-paralelă*, Nr. înregistrare DPI 205/17.09.2018, OSIM A/00693/19.09.2018.

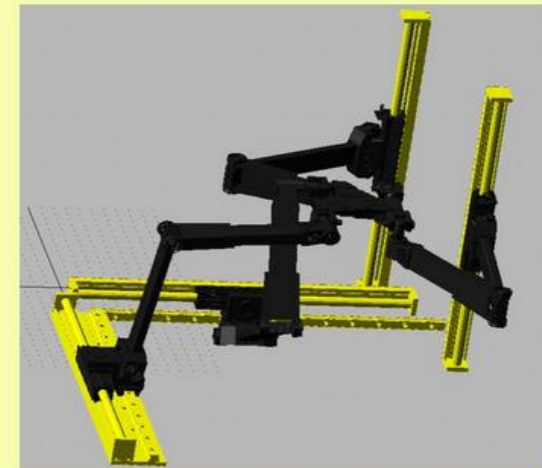
3. ACTIVITATE DE CERCETARE

3.6 Cărți cu caracter științific

- Rezultatele din cadrul cercetărilor au fost diseminate și prin intermediul **unei cărți cu caracter științific.**
-

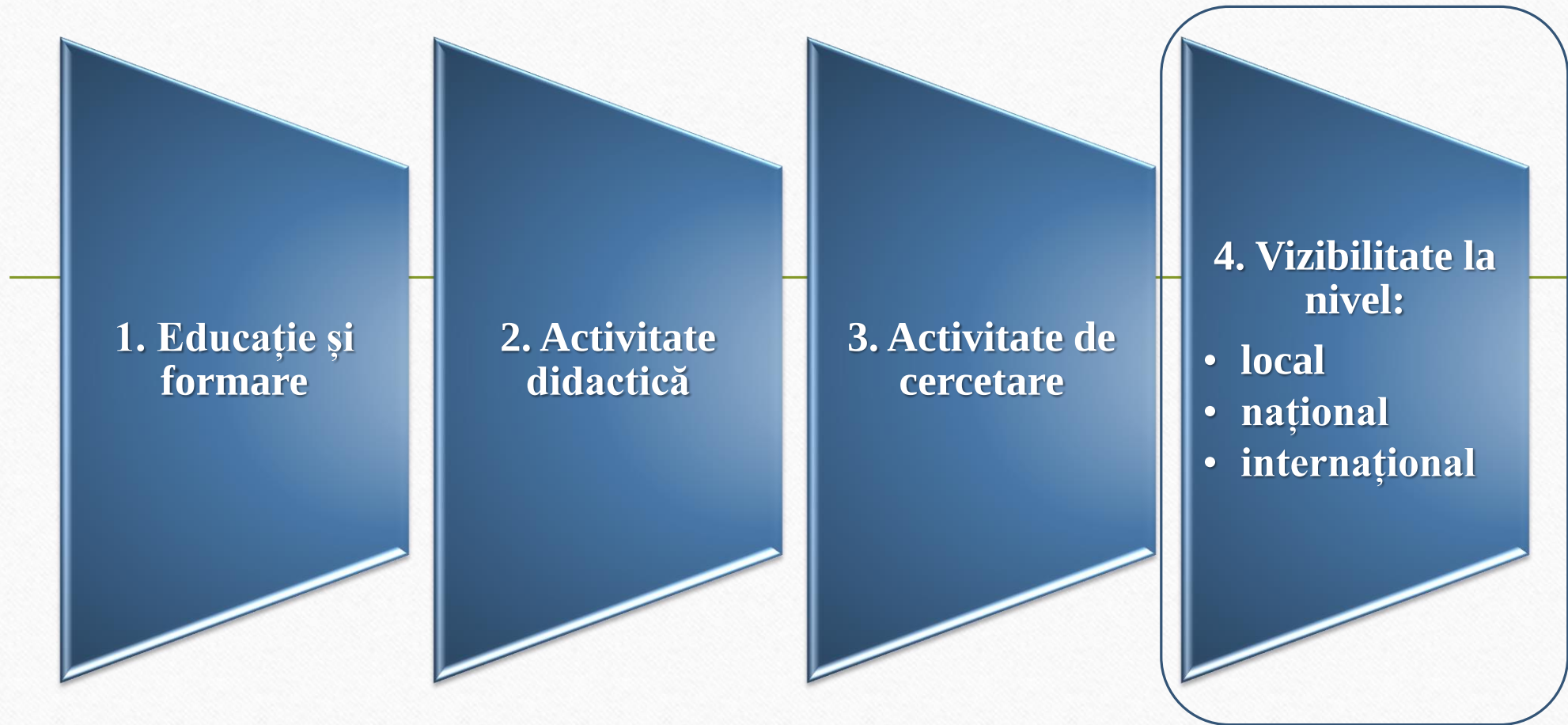
Nadia Ramona CREȚESCU

**Modelarea roboților paraleli cu
mișcări decuplate**



 Editura
Universității
Transilvania
din Brașov

4. VIZIBILITATE



4.1 Vizibilitate la nivel local

4.2 Vizibilitate la nivel național/ internațional

4.1 VIZIBILITATE LA NIVEL LOCAL

4.1.1 Implicare la nivel de departament/ facultate

La nivel de departament

- Implicare organizare ore în **Școala altfel/verde**;
- Activitate de **tutorat** pentru anul I ISER;
- Responsabil **practică** pentru anul 2 DI ;
- Membru în **două** comisii de evaluare a proiectelor de diplomă/disertații.



La nivel de facultate

- 2014-prezent – **membru în Comisia de admitere**;
- Din 2018 – **responsabilă** cu Protecția Muncii la nivel de facultate.

4.1 VIZIBILITATE LA NIVEL LOCAL

4.1.2 Îndrumare lucrări la cercuri științifice studențești/ concursuri profesionale/ alte evenimente dedicate studenților

- Participarea cu studenți la **Sesiunea de Comunicări Științifice Studențești** – faza locală;
- Participarea cu studenți îndrumați la proiectele de diplomă la **Conferința “Absolvenții în fața companiilor – AFCO”** organizată la nivelul Universității Transilvania din Brașov.

4.2 VIZIBILITATE LA NIVEL NAȚIONAL/ INTERNAȚIONAL

4.2.1 Dezvoltarea de legături/ colaborări cu universități și alte organizații

- Membru în organizarea de conferințe naționale/internaționale, precum PRASIC, CSE, ROBOTICA, SYROM, etc.

4.2 VIZIBILITATE LA NIVEL NAȚIONAL/ INTERNAȚIONAL

4.2.2 Alte modalități de creștere a vizibilității la nivel național/ internațional

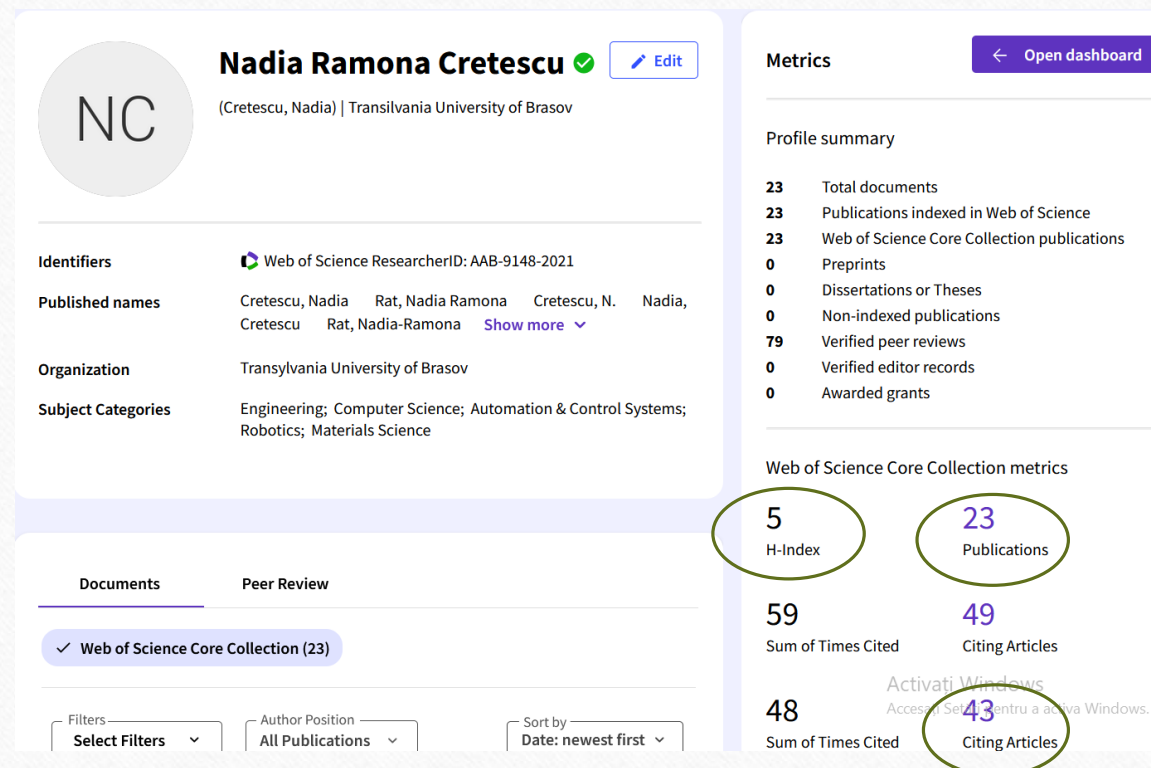
Membru în organizații științifice/ profesionale naționale în domeniu

- Membru **ARoTMM** (Asociația Română de Știința Mecanismelor și Mașinilor);
- Membru **SRI** (Societatea Română de Robotică);
- Publicare în jurnale recunoscute la nivel național/internațional;

➤ Indici Hirsch:

ISI WEB of Science

– **5** (43 de citări / 23 lucrări)



-SCOPUS

– 5 (93 de citări / 23 lucrări)

GOOGLE Scholar

– 7 (163 de citări/ 40 lucrări)



Scopus

This author profile is generated by Scopus ↗

Cretescu, Nadia

Universitatea Transilvania din Braşov, Braşov • Scopus ID: 55985853200 • [Connect to ORCID](#) ↗

[Show all information](#)

93

Citations by 73 documents

23

Documents

5

[h-index](#)



Nadia Cretescu ✎

Alte nume ▶

Universitatea Transilvania Braşov

Adresă de e-mail confirmată pe unitbv.ro

[Mecanisme](#) [Robotica](#) [Mecatronica](#)

URMĂRIȚI ACTIV

Citat de

[AFIȘAȚI-LE PE TOATE](#)

Toate Din 2020

Referințe bibliografice	163	107
h-index	7	5
i10-index	4	1

☐ TITLU



CITAT DE

ANUL

☐

[Dynamic analysis of a delta parallel robot with flexible links and joint clearances](#)

25

2023

N Cretescu, M Neagoe, R Saulescu

Applied Sciences 13 (11), 6693

☐

[Novel Speed increaser used in counter-rotating wind turbines](#)

16

2016

M Neagoe, R Saulescu, C Jaliu, N Cretescu

New Advances in Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics ...

☐

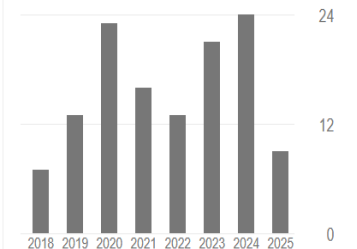
[Dynamic simulations regarding the influence of the load-rigidity correlation on the working accuracy of a medical Triglide parallel robot](#)

11

2011

NR Rat, M Neagoe, D Diaconescu, SD Stan

Mechatronics 17 (6), 178-184



Realizări științifice și profesionale -cuprins

Modelarea și analiza dinamică a structurilor mecanice de tip paralel cu jocuri și elemente elastice

1. Introducere

2. Modelare și
analiză
dinamică a unui
robot paralel

3. Analiza
jocurilor din
cuplele sferice

4. Optimizare
dimensională

1. INTRODUCERE

- **Structurile mecanice** sunt elemente fundamentale în industria modernă, având o dinamică accelerată datorită tehnologiilor tot mai avansate utilizate.
- **Structurile mecanice paralele (ale roboților paraleli)** au o arhitectură cinematică unică, care conduce la proprietăți operaționale distincte în comparație cu structurile seriale.

Avantajele roboților paraleli:

- Rigiditate și stabilitate
- Precizie
- Viteză de lucru mare
- Eficiență energetică.

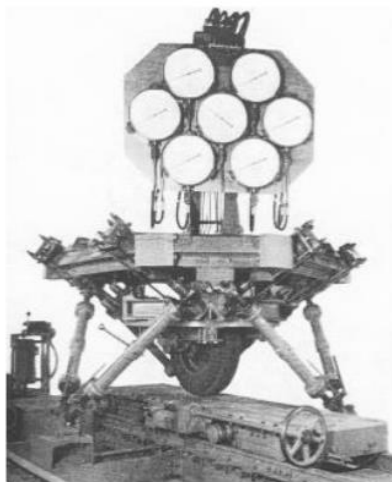
Dezavantajele roboților paraleli:

- Spațiu de lucru limitat și apariția singularităților
- Cinematică și control complexe
- Complexitate în proiectare.

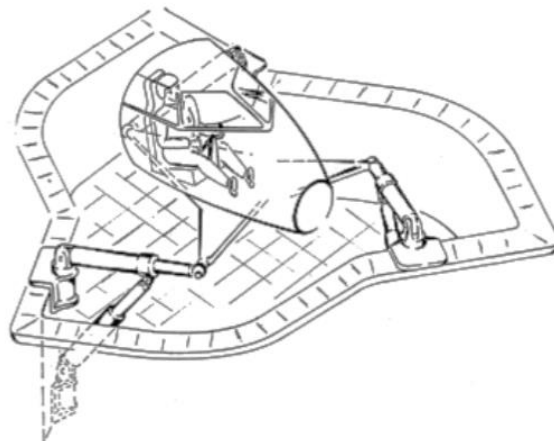


A. Platforma Stewart (Hexapod)

Platforma Gough-Stewart este un sistem robotic paralel cu **6 grade de mobilitate**, compus dintr-o platformă mobilă conectată la o bază fixă prin șase actuatori liniari, de obicei hidraulice sau electrice, permit modificarea individuală a lungimii, permițând platformei deplasări cu trei grade de mobilitate pentru poziționare (X, Y, Z) și trei pentru orientare (tangaj, ruliu, girație) [10-12].



(a)

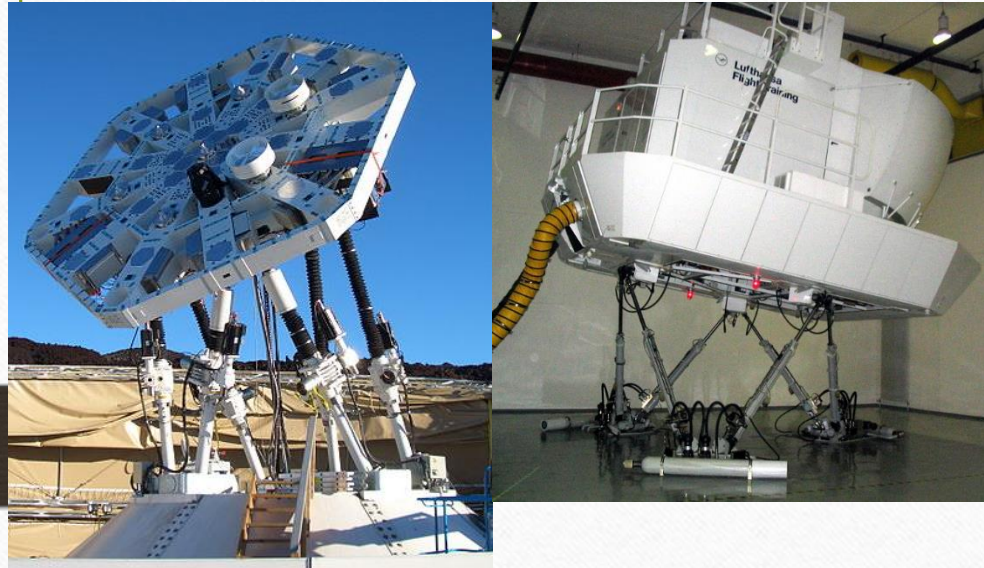


(b)

Fig. 1.1. Platforma Stewart : (a) varianta originală [7, 8];
(b) prima schiță utilizată pentru platforma de zbor [9].

- **1954** - dezvoltată de V.E. Gough din Marea Britanie, un inginer auto de la fabrica Dunlop Tyres

A. Platforma Stewart (Hexapod)



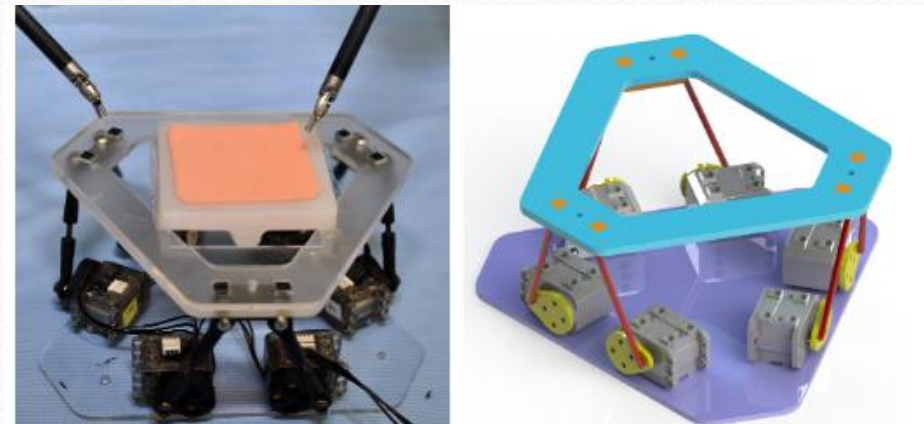
(a)

(b)

Fig. 1.3. Utilizarea platformei Stewart la: (a) un radiotelescop cosmic [13]; (b) un simulator de zbor de la Lufthansa [13].

Platforma Stewart, datorită avantajelor sale, are aplicabilitate într-o multitudine de sectoare, precum:

- **Aerospațial și apărare:** simulatoare de zbor, structuri spațiale, dispozitive de poziționare de înaltă precizie (telescoape) (fig. 1.3).
- **Medical și reabilitare:** chirurgie ortopedică (cadrul spațial Taylor, fixatoare externe), medii de reabilitare asistată de calculator (CAREN), testare biomedicală (studii spinale).



(a)

(b)

Fig. 1.4. Utilizarea unei platforme în miniatură de tip Stewart (a) care simulează mișcările anatomice în timpul operațiilor cu robotul da Vinci și modelul CAD al acestuia (b) [14].

A. Platforma Stewart (Hexapod)



Fig. 1.5. Utilizarea unei platforme de tip Stewart în domeniul auto pentru un simulator de mișcare [15].

- **Auto și transporturi:** simulatoare de conducere (fig 1.5), mașini de testat anvelope, mentenanță vehicule, construcții navale, construcții de poduri.
- **Producție și testare:** tehnologia mașinilor-unelte (hexapode), testarea materialelor și structurilor (propagarea fisurilor, simulări seismice), sisteme de compensare a mișcării.
- **Divertisment și simulare:** animatronica, tauri mecanici.
- **Cercetare și robotică avansată:** poziționare de înaltă precizie (antene satelit), robocrane (manipulatoare acționate prin cablu), cercetare subacvatică, simulare cutremure etc.

B. Robotul paralel Delta

Robotul paralel Delta, alcătuit dintr-un cadru fix (bază) și brațele sale paralele, conectate la o platforma mobilă prin intermediul articulațiilor sferice acționate de actuatori rotative. Robotul paralel Delta este proiectat pentru a realiza mișcări rapide și precise în spațiu, cu o gamă mare de viteze.



(a)

(b)

Fig. 1.6. Utilizarea roboților Delta în: (a) industria de asamblare [18];
(b) industria de ambalare [19].

Aplicații

- preluarea și plasarea obiectelor, asamblarea (fig. 1.6.a),
- ambalarea, inspecția vizuală (fig. 1.6.b)

1. INTRODUCERE -exemple

B. Robotul paralel Delta

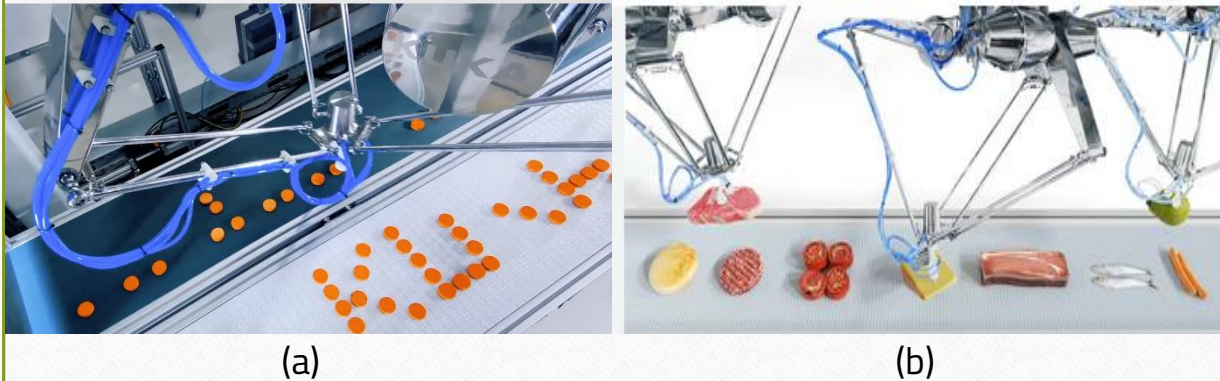


Fig. 1.7. Utilizarea roboților Delta în industria: (a) farmaceutică [20]; (b) alimentară [21]

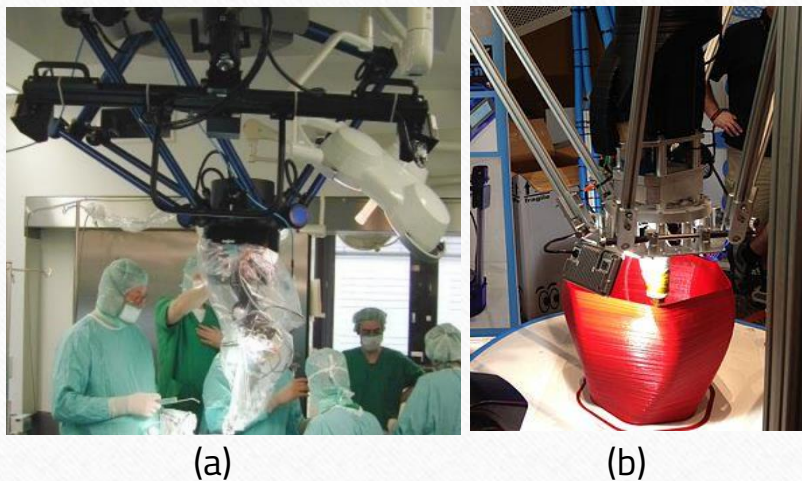


Fig. 1.8. Utilizarea roboților Delta în: (a) chirurgie [22];
(b) domeniul imprimantelor 3D [23]

Aplicații

- în domeniul farmaceutic sau alimentară (fig. 1.7), medicină (fig. 1.8), dar și în domeniul divertismentului, cum ar fi în jocurile video sau simulatoare.

C. Robotul paralel Tricept

Dezvoltat de Karl-Erik Neumann în 1987, Tricept include o structură cinematică paralelă semnificativă, fiind un exemplu concludent de mașină cinematică hibridă paralel – serială .

6DOF

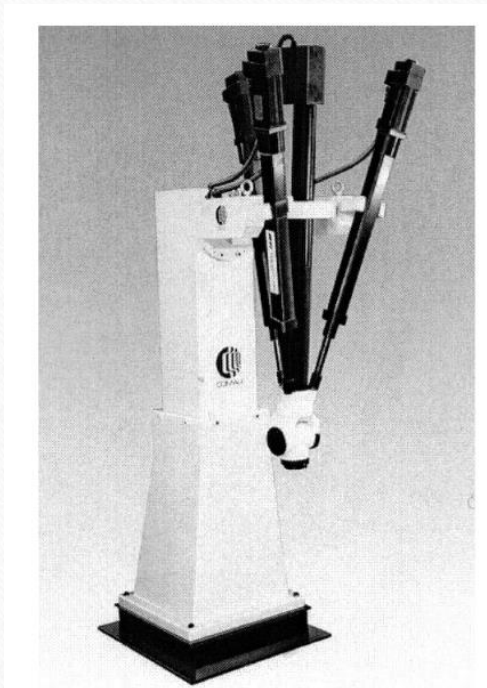
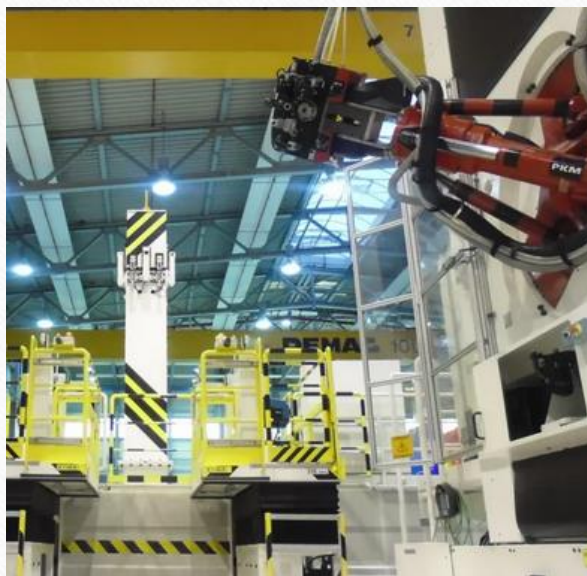
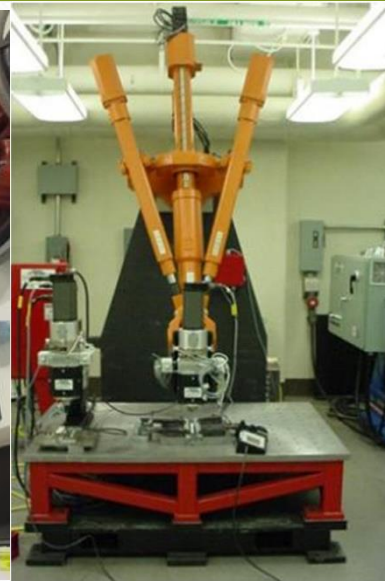


Fig. 1.9. Robotul paralel Comau Tricept HP1 [26].

5DOF



(a)



(b)

Fig. 1.11. Robot paralel Tricept : (a) dezvoltat de LOXIN [27]; (b) utilizat la sudare prin frecare (FSW) [29].

C. Robotul paralel Tricept

Printre avantajele cel mai importante ale roboților Tricept se numără:

- Rigiditate ridicată.
- Performanță dinamică îmbunătățită.
- Precizie și acuratețe.
- Sarcină utilă ridicată.
- Modularitate și flexibilitate.

Utilizat într-o gamă largă de aplicații industriale, precum:

- **Prelucrarea de mare viteză:** aplicații de prelucrare, precum ar fi frezarea de mare viteză, debavurarea și prelucrarea lemnului.
- **Operațiuni de asamblare:** de exemplu în industria automobilelor.
- **Procese de fabricație avansate:** includ tăierea cu laser, tăierea cu jet de apă, sudarea în puncte și sudarea cu laser, și în mod remarcabil, sudarea prin frecare (FSW), un proces de îmbinare în stare solidă care necesită forță și precizie ridicate - dezvoltat și implementat cu succes pe Tricept 805.

D. Robotul paralel Orthoglide

Robotul paralel Orthoglide de tip 3TRPaR (3 Translații, Rotație, Paralelogram, Rotație) este un robot trimobil, cu 3 intrări și 3 ieșiri, care are 3 mișcări cuplate; este compus dintr-o platformă mobilă (fig. 1.12 și fig. 1.13) conectată la bază prin 3 lanțuri cinematice de tip paralelogram, compuse din câte 5 elemente și câte 6 cuple de rotație nemotoare.



Fig. 1.12. Robotul paralel Orthoglide [30].



Fig. 1.13. Robotul paralel Orthoglide în 5 axe – machetă digitală [33].

- Dezvoltat în laboratorul IRCCyN, Nantes, Franța în anii 2000-2001
- Cuplele de translație motoare sunt montate ortogonal

D. Robotul paralel Orthoglide



Fig. 1.14. Robotul paralel Orthoglide in 5 axe semindustrial pentru operații de prelucrare [33].

Deși Orthoglide este optimizat pentru prelucrare, poate fi aplicat în diverse alte industrii:

- **Asamblare și prelucrare:** pentru sarcini care necesită forțe mari de inserție, cum ar fi în industria auto (fig. 1.14).
- **Pick-and-place:** aplicații de mare viteză.
- **Sudură:** inclusiv sudură cu laser și jet de apă.
- **Reabilitare medicală și chirurgie:** datorită preciziei și capacității de a gestiona interacțiunea cu mediul.
- **Alte aplicații:** debavurare.

1. INTRODUCERE –metode de modelare

Metode de modelare (analitice sau numerice) :

- **Metoda geometrică:** se bazează pe relațiile geometrice și trigonometrice directe între elementele robotului pentru a determina poziția și orientarea platformei mobile.
- **Metoda cinematică:** implică utilizarea matricei Jacobi, care exprimă legătura dintre viteza platformei mobile și vitezele din spațiul articular. **Cinematica directă** poate fi obținută prin integrarea numerică sau analitică a ecuațiilor vitezei, derivate din cinematica inversă.

Problema **cinematicii inverse** are ca soluție configurația articulațiilor motorizate (deplasări, viteze și accelerații) necesară pentru a atinge o poziție și orientare dorită a efectorului final.

- **Modelarea dinamică** a roboților paraleli conduce la înțelegerea comportamentului lor sub influența forțelor și a maselor, fiind esențială pentru proiectarea sistemelor de control.

- metoda Lagrange-Euler
- metoda Newton-Euler

Ipoteze de lucru:

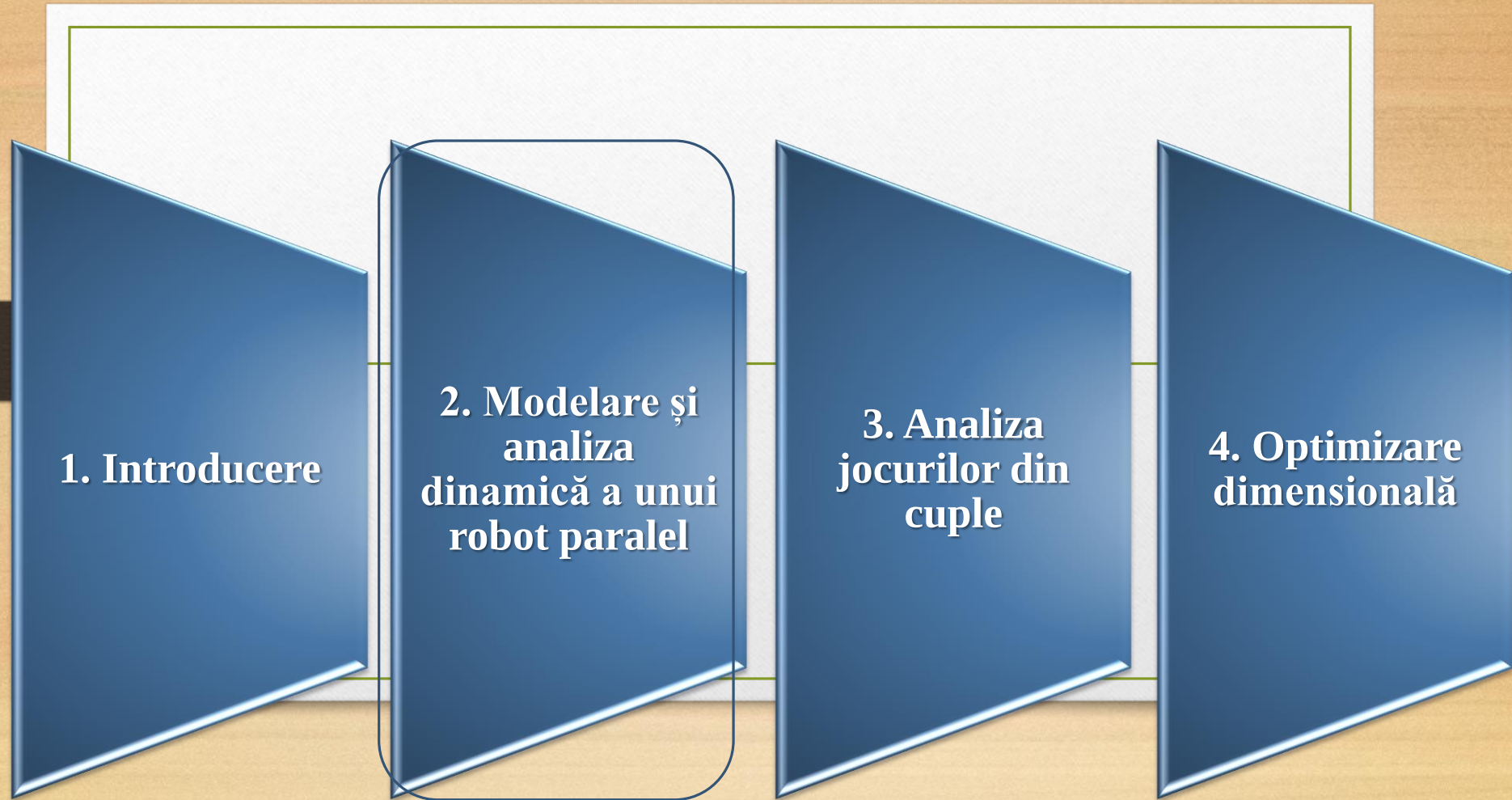
- Ipoteza corpului rigid;
- Flexibilitatea elementelor;
- Jocurile din cuple ;
- Frecările din cuple.

1. INTRODUCERE –metode de modelare

O gamă variată de software-uri sunt utilizate pentru modelarea și simularea roboților paraleli:

- **MATLAB/Simulink (cu Simscape Multibody):** acest mediu este considerat unul dintre cele mai rapide și eficiente instrumente pentru simularea roboților paraleli. Permite modelarea structurii robotului prin diagrame bloc, facilitând reprezentarea componentelor fizice, sinteza controlerelor și simularea performanței în buclă închisă a sistemelor complexe.
- **ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems):** un software de simulare numerică multifizică, utilizat pe scară largă pentru validarea modelelor dinamice. Studiile arată o concordanță excelentă între rezultatele obținute cu ADAMS și cele analitice, confirmând acuratețea modelelor.
- **MAPLE:** un alt software puternic de calcul simbolic, folosit pentru dezvoltarea și validarea modelelor cinematice și dinamice analitice, conducând la rezultate analitice care pot fi validate prin simulări numerice.

2. Modelare și analiza dinamică a unui robot paralel Delta

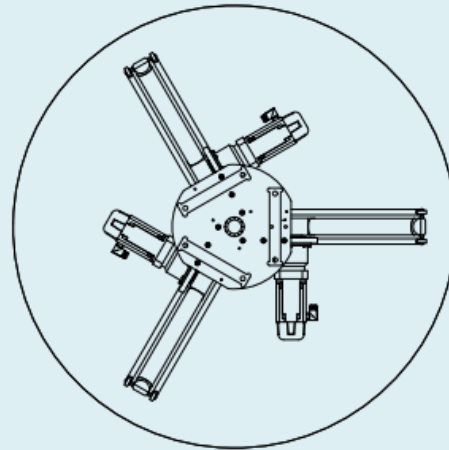
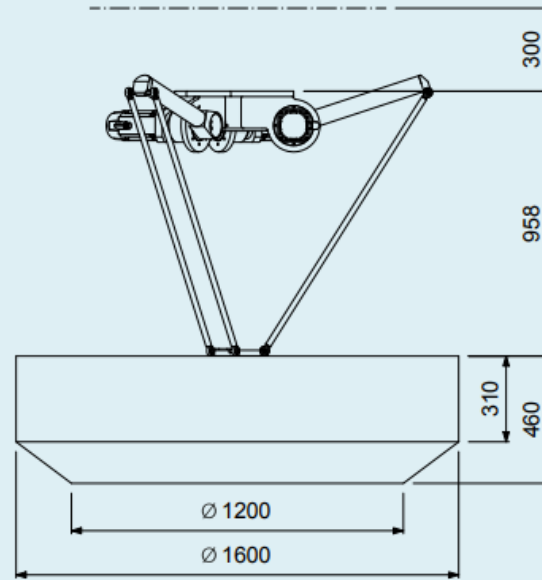


Robotul paralel Delta SIAX D3 1600



- o capacitate mare de încărcare utilă, datorită structurii sale paralele robuste, precizie ridicată și accelerație rapidă. De asemenea, acesta poate fi configurat în dimensiuni variate, în funcție de cerințele aplicației.

SIAX D3 1600

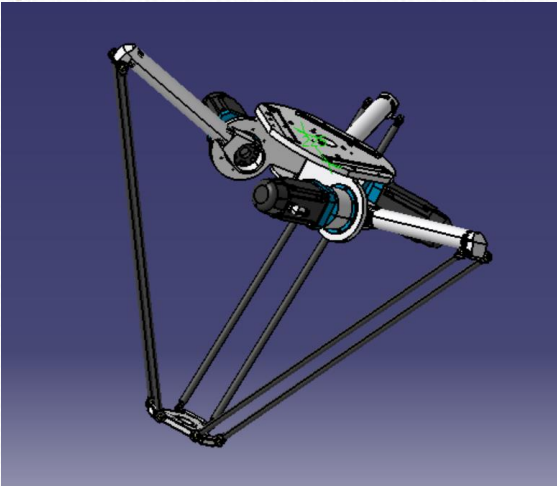


	D3 1600	D4 1600
Weight <i>Peso</i>	80 Kg	82 Kg
Power supply <i>Alimentazione</i>	380V three phase	
Installed power <i>Potenza installata</i>	6,6 KW	6,6 KW
Class protection <i>Grado di protezione</i>	IP55 – Optional IP65	
Temperature <i>Temperatura</i>	0 ÷ 45 °C	
Humidity <i>Umidità</i>	max 95%	
Position repeatability <i>Ripetibilità di posizione</i>	0.1 mm	
Number of cycles/min. <i>Numero cicli/minuto</i>	Up to 150 - <i>Fino a 150</i>	
Degrees of freedom <i>Gradi di libertà</i>	3	3+1 rotation
Max working range <i>Range massimo di lavoro</i>	1600 mm	
Max payload <i>Portata massima</i>	5 Kg	3 Kg

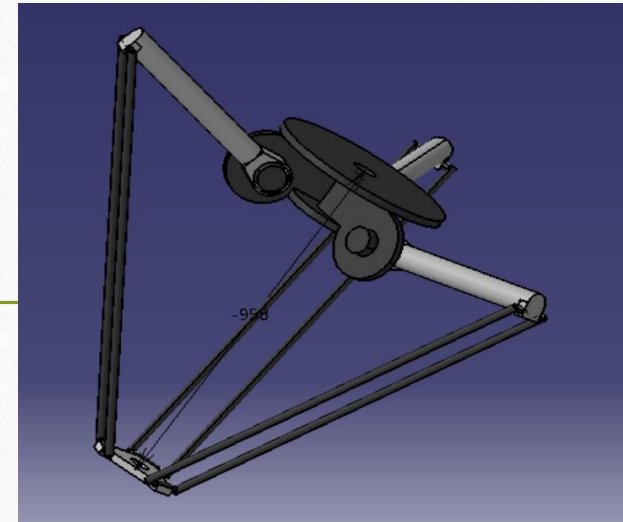
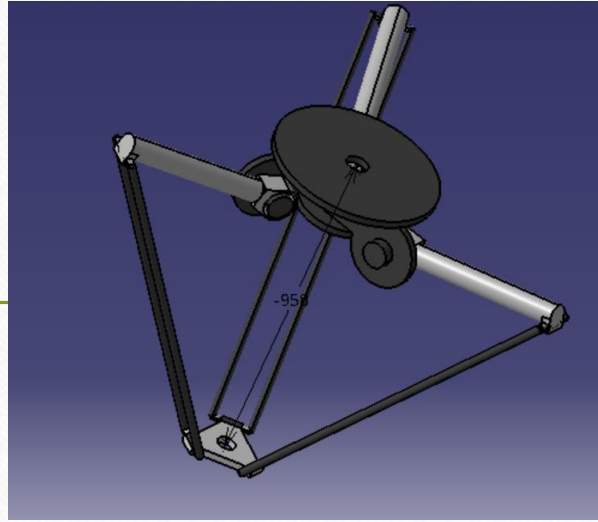
Robotul paralel Delta SIAX D3 1600 – modelare și simulare



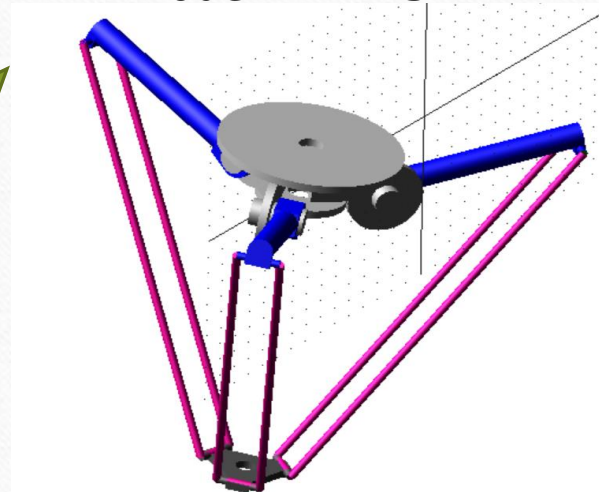
Model inițial



Model CATIA - simplificat



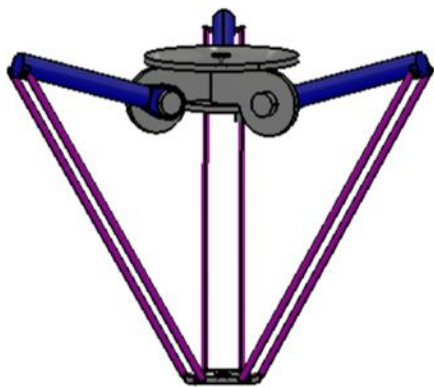
Model ADAMS



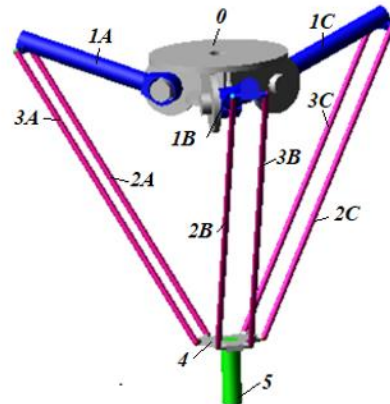
Robotul paralel Delta SIAX D3 1600



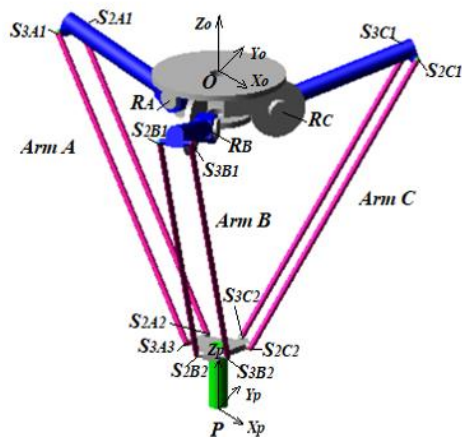
(a)



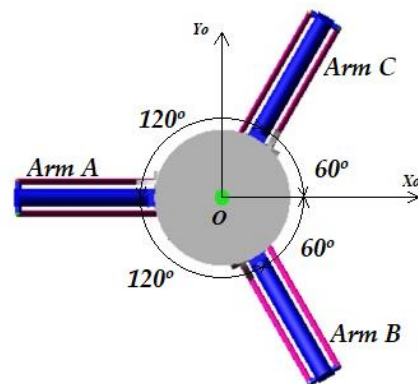
(b)



(c)

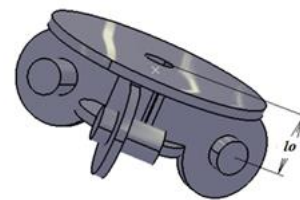


(d)

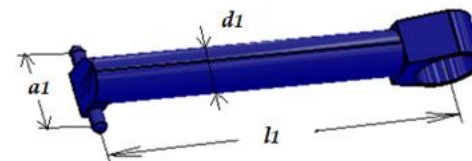


(e)

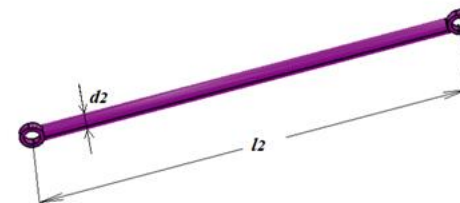
Figura 1: Robot paralel Delta: (a) Delta SiAx D3-1600; (b) CATIA model; (c) ADAMS model; (d) ADAMS model parametrizare; (e) dispunerea brațelor.



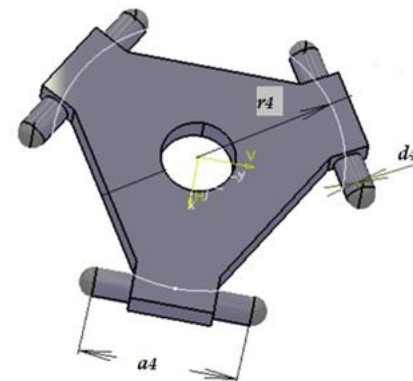
$$l_0 = 125 \text{ mm}$$



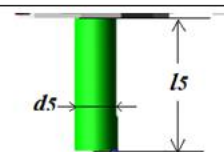
$$\begin{aligned} l_1 &= 500 \text{ mm} \\ m_1 &= 1.58 \text{ kg} \\ d_1 &= 62 \text{ mm} \\ a_1 &= 106 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} l_2 &= l_3 = 1106 \text{ mm} \\ m_2 &= m_3 = 0.34 \text{ kg} \\ d_2 &= d_3 = 20 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} m_4 &= 0.46 \text{ kg} \\ d_4 &= 20 \text{ mm} \\ a_4 &= 106 \text{ mm} \\ r_4 &= 97 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} l_5 &= 212 \text{ mm} \\ m_5 &= 5 \text{ kg} \\ d_5 &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Robotul paralel Delta SIAX D3 1600

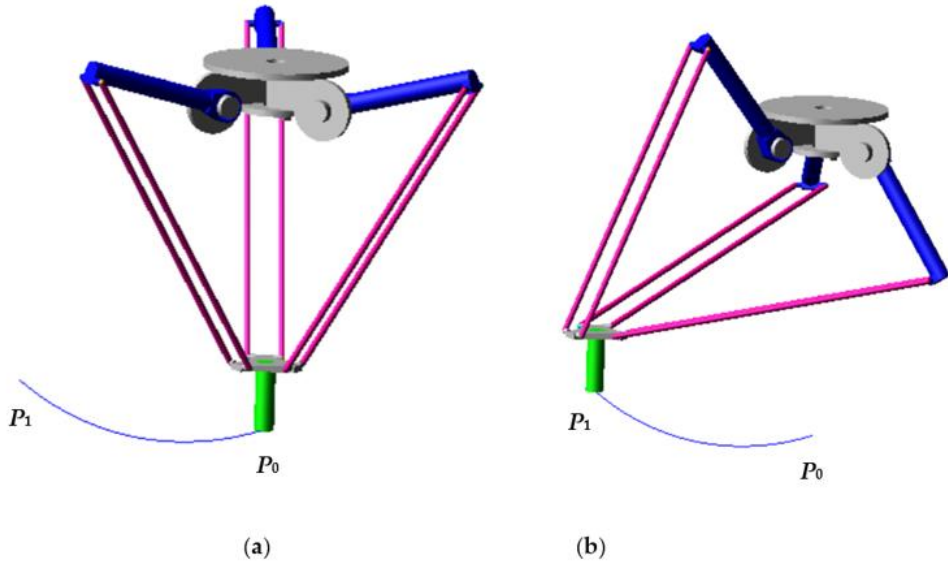
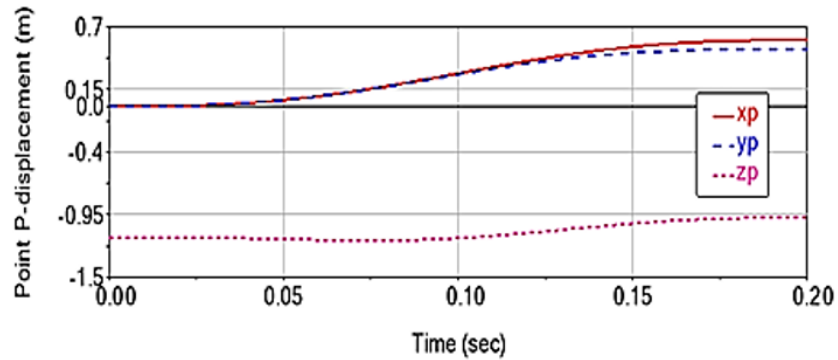
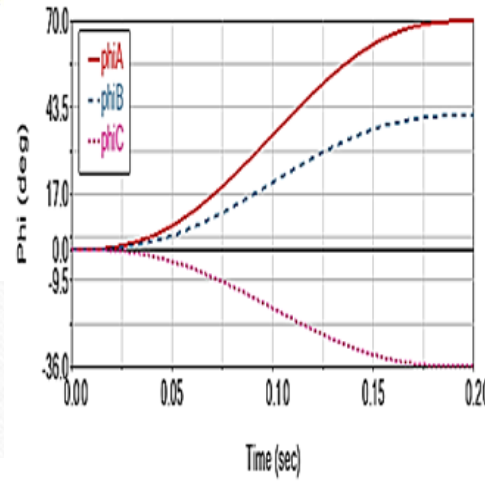


Figura 2: Traiectoria robotului paralel Delta :
(a) poziție inițială; (b) poziție finală.

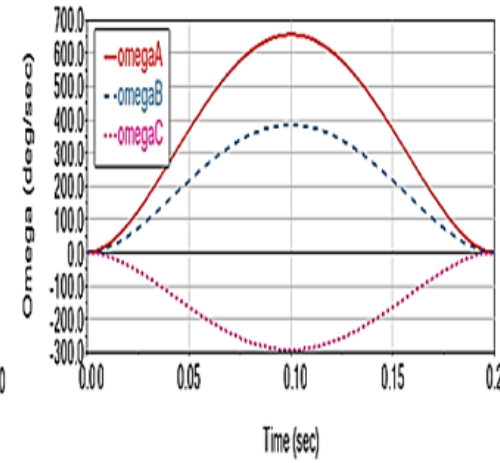


Mișcări impuse în cuplele motoare:

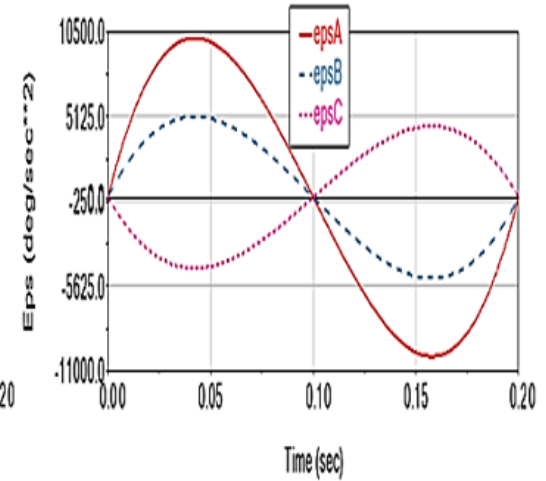
- Cupla A (R_A): 70° (în sens pozitiv)
- Cupla B (R_B): 41° (în sens pozitiv)
- Cupla C (R_C): 36° (în sens negativ)



(a)



(b)



(c)

Figura 3: Traiectoria de mișcare în cuplele active (R_A , R_B și R_C):
(a) deplasare unghiulară; (b) viteză unghiulară și (c) accelerație unghiulară.

$$v_{Pmax} = 8 \text{ m/s}$$
$$a_{Pmax} = 120 \text{ m/s}^2$$

Robotul paralel Delta SIAX D3 1600

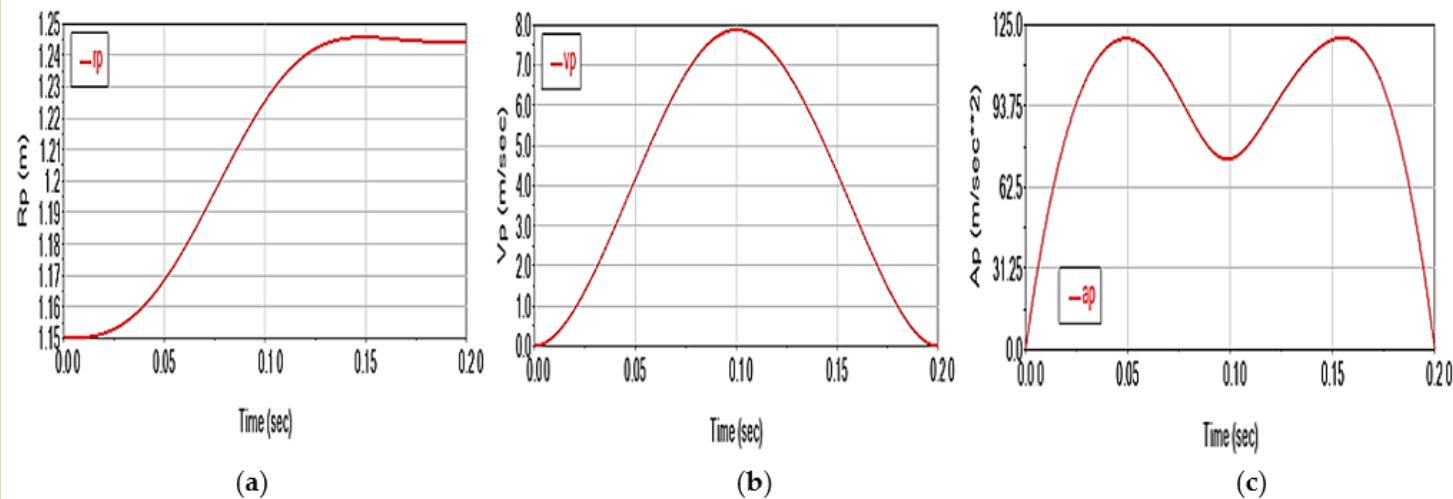


Figura 4: Mișcarea elementului final al robotului paralel Delta (magnitudine): (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație.

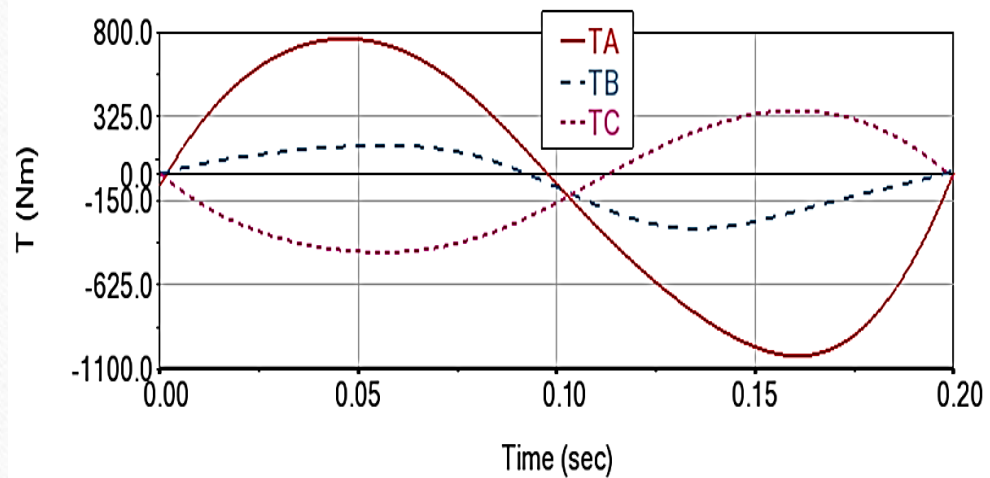
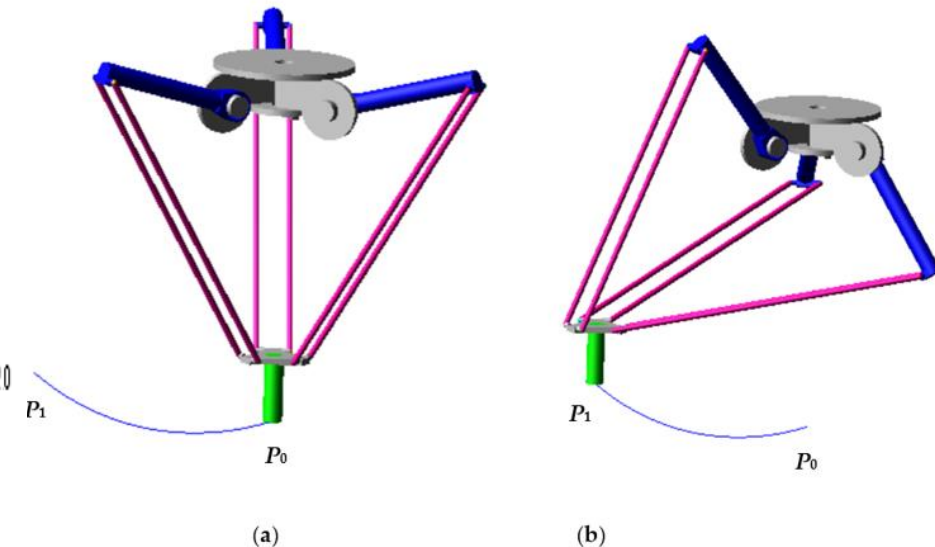


Figura 5: Momentele motoare (TA , TB și TC) ale robotului paralel Delta.



Scenariul 1:

- Cu luarea în considerare a frecărilor din cuplele sferice pasive (S_{2k1} , S_{2k2} and S_{3k1} , S_{3k2} , $k = A, B, C$) de tip oțel/oțel cu lubrifianț cu coeficient de frecare static 0.11 și dinamic 0.084

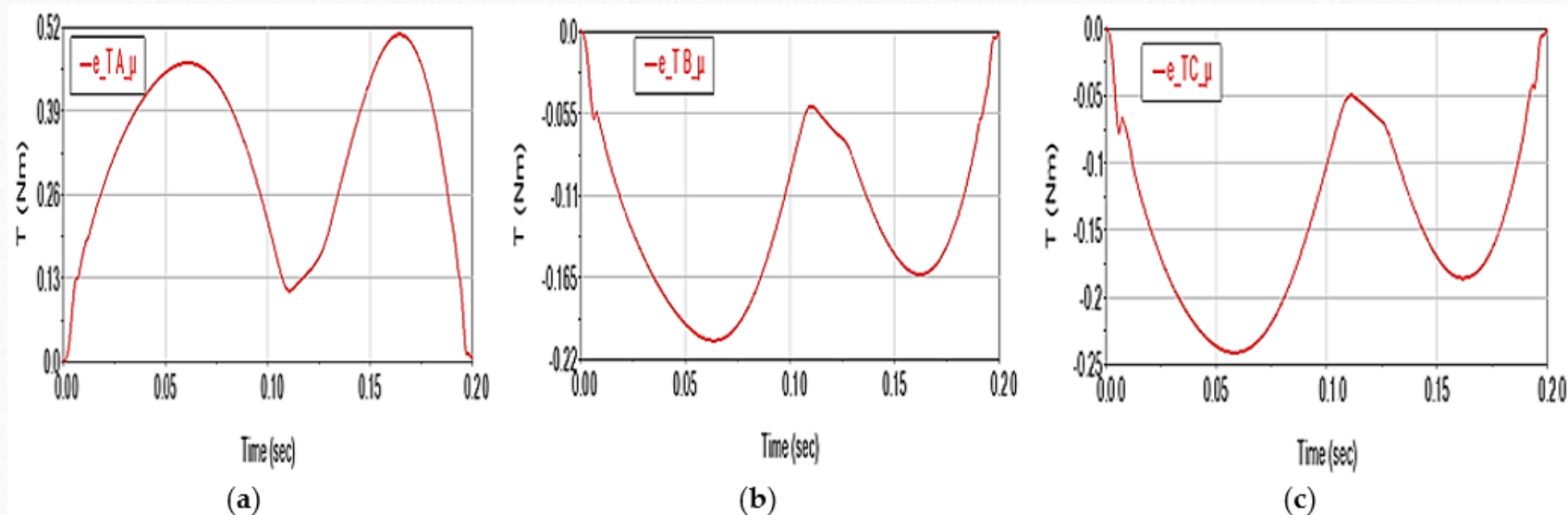


Figura 6 : Erorile momentelor motoare considerând frecarea în cuplele sferice (Scenariul 1): (a) braț A; (b) braț B; (c) braț C

- CINEMATICĂ - erori mișcări **neglijabile**
- DINAMICĂ- frecarea conduce la o creștere a valorilor momentelor T_k în timpul fazei de accelerare (interval 0.0–0.1 s) și ajută motoarele să frâneze în timpul fazei de decelerare (0.1–0.2 s).

Scenariul 2:

- Elementele 2 și 3 de pe fiecare braț elastice
- S-au luat în considerare primele 10 moduri de vibrații (cu frecvențe naturale mai mici de 250Hz)

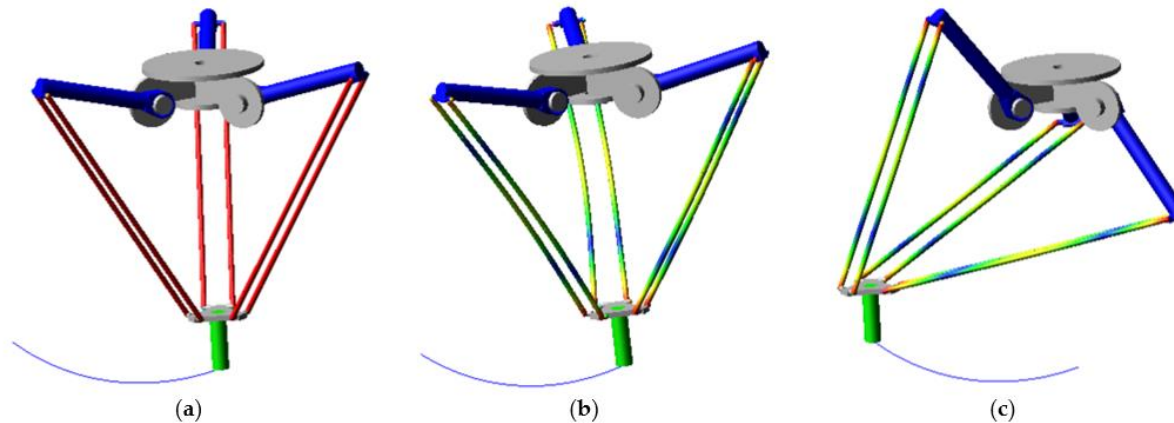


Figura 7: Modelul CAD al robotului Delta: (a) în cazul ideal, și cazul cu luarea în considerare a elasticităților (b) la început de traiectorie P₀; (c) la sfârșit de traiectorie P₁

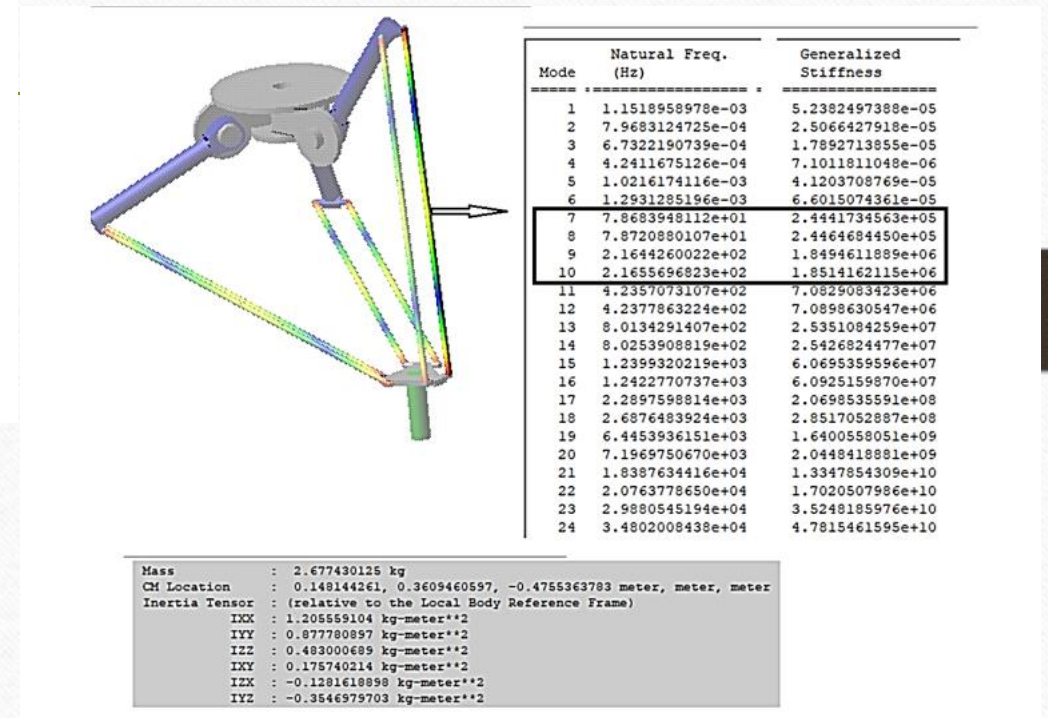


Figura 8: Reprezentarea modurilor de vibrații al unui element elastic

- cinematic:

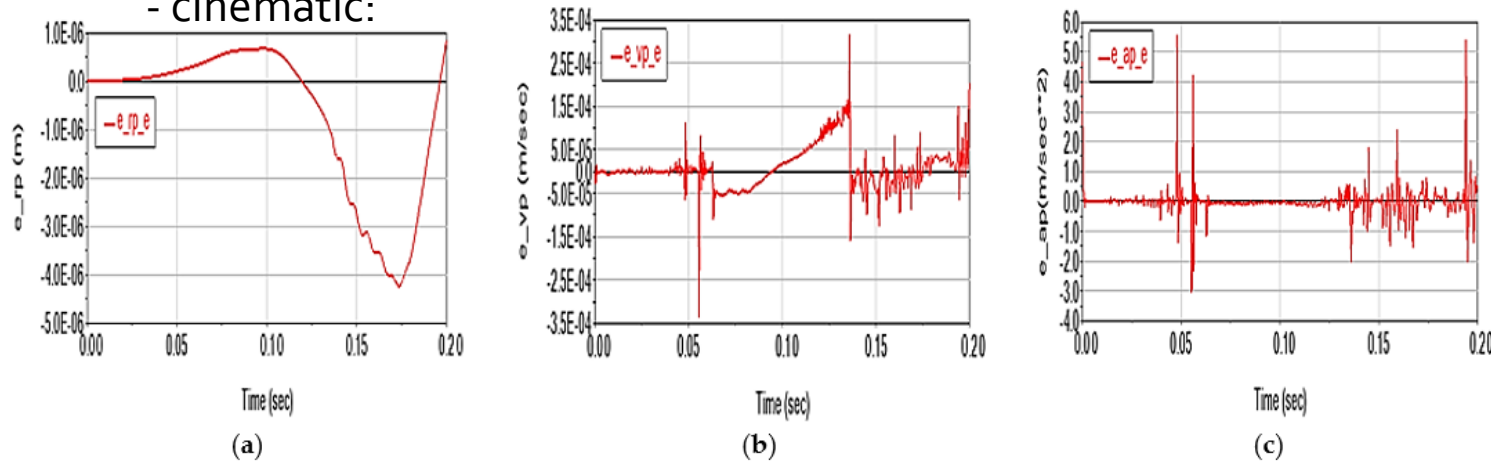


Figura 9: Erorile de mișcare a elementului final al robotului paralel Delta (magnitudine): (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație.

- dinamic:

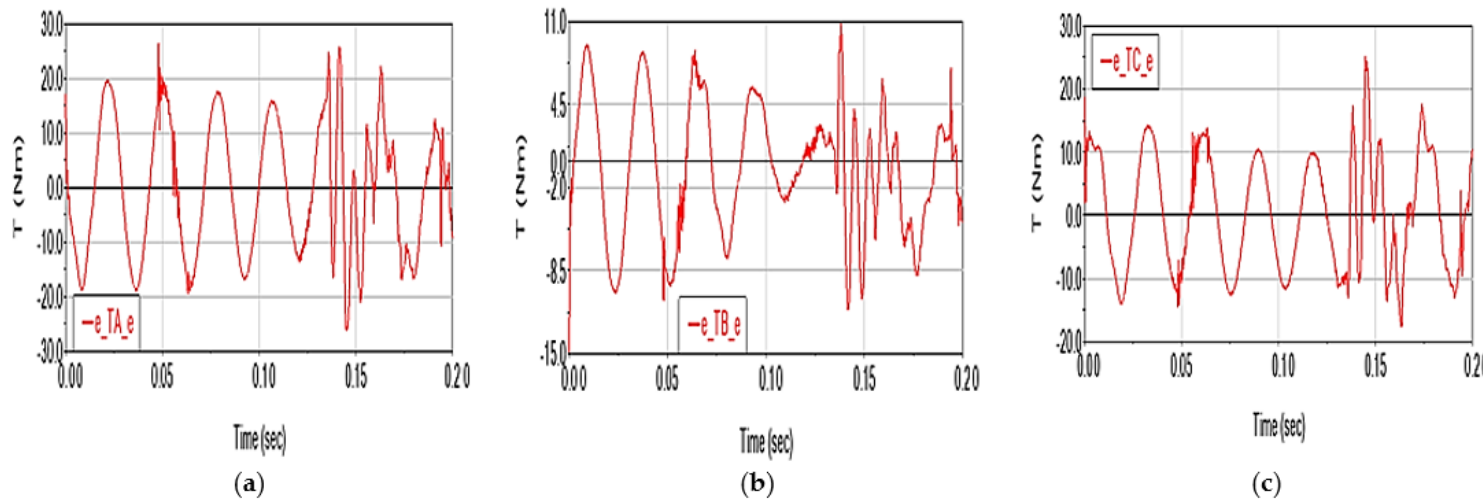


Figura 10: Erorile momentelor motoare în scenariul 2: (a) braț A; (b) braț B; (c) braț C

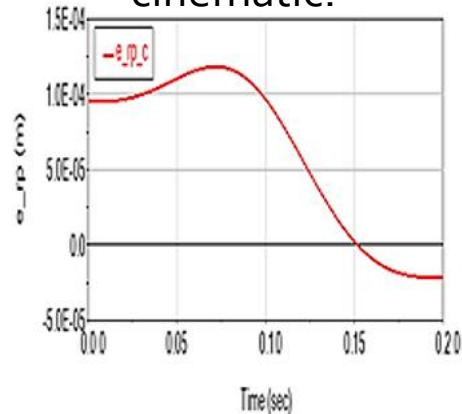
-> abateri mici de la traiectoria teoretică a efectorului ($e_{rp} < 4.2 \cdot 10^{-6}$ m), abaterea vitezei de până la $3.1 \cdot 10^{-4}$ m/s și abateri de până la 5 m/s² pentru accelerație (adică max. 4.2%).

-> cele mai mari abateri e_{vp} și e_{ap} apar la aproximativ 0.042 s și, respectiv, 0.158 s, momentele de timp în care accelerația a_p este la maximă.

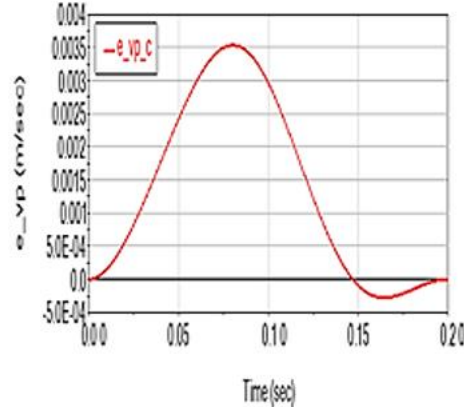
-> caracterizată prin valori maxime de ~26. N·m pentru T_A , ~10.8 N·m pentru T_B și ~ 25.3 N·m pentru T_C . Abaterile maxime se înregistrează în cazul motorului în articulația A (~0.035%).
-> un fenomen de instabilitate are loc în momentul de ~0.15 s, corespunzătoare zonei de accelerație maximă a punctului caracteristic.

Scenariul 3 : -> influența jocurilor din cuplele sferice, de 0.1 mm

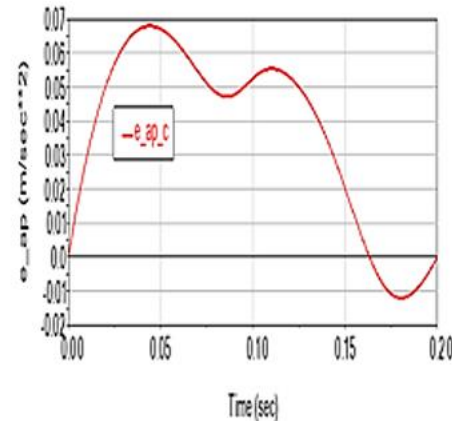
- cinematic:



(a)



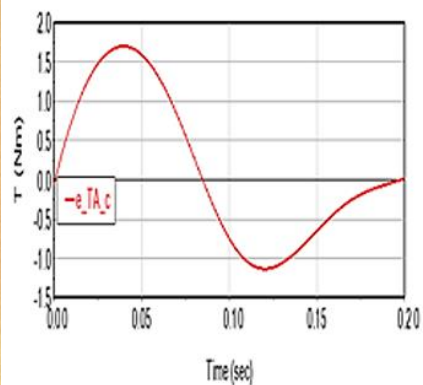
(b)



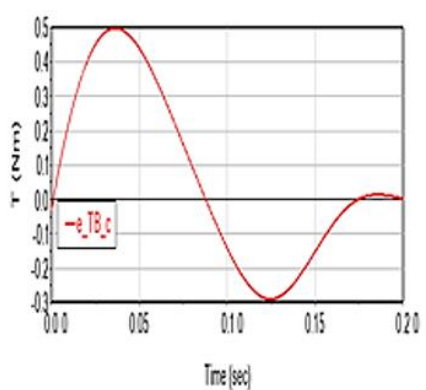
(c)

Figura 11: Erorile de mișcare a elementului final al robotului paralel Delta (magnitudine): (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație.

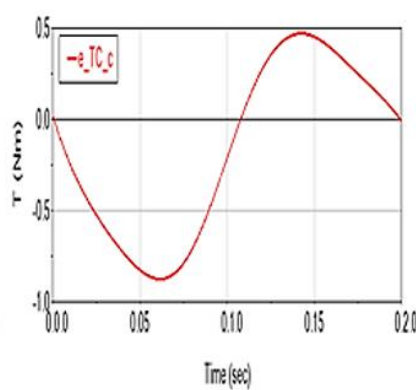
- dinamic:



(a)



(b)



(c)

Figura 12 : Erorile momentelor motoare în scenariul 3: (a) braț A; (b) braț B; (c) braț C

-> deviația față de punctul caracteristic este de până la $1.18 \cdot 10^{-4}$ m (Figure 11a), pentru viteză de 0.0035 m/s (Figure 11b) și pentru accelerație de până la 0.068 m/s² (Figure 11c).

-> comparativ cu scenariul 2, abaterea deplasării pe traiectorie este semnificativ mai mare (~20 de ori mai mare), dar abaterea accelerației pe traiectorie este mult mai mică (~70 de ori mai mică).

-> rezultate de aproximativ 10–20 de ori mai mici decât în scenariul 2, dar de 2–3 ori mai mare decât în scenariul 1. O abatere de până la 1.7 N·m poate fi evidențiată pentru T_A , până la 0.49 N·m pentru T_B și până la 0.47 N·m pentru T_C .

-> valorile extreme ale abaterilor se înregistrează în jurul valorilor de 0.042 s și 0.158 s.

Scenariul 4: -> influența frecărilor din cuple și a elasticităților elementelor 2 și 3 de pe fiecare braț

- cinematic:

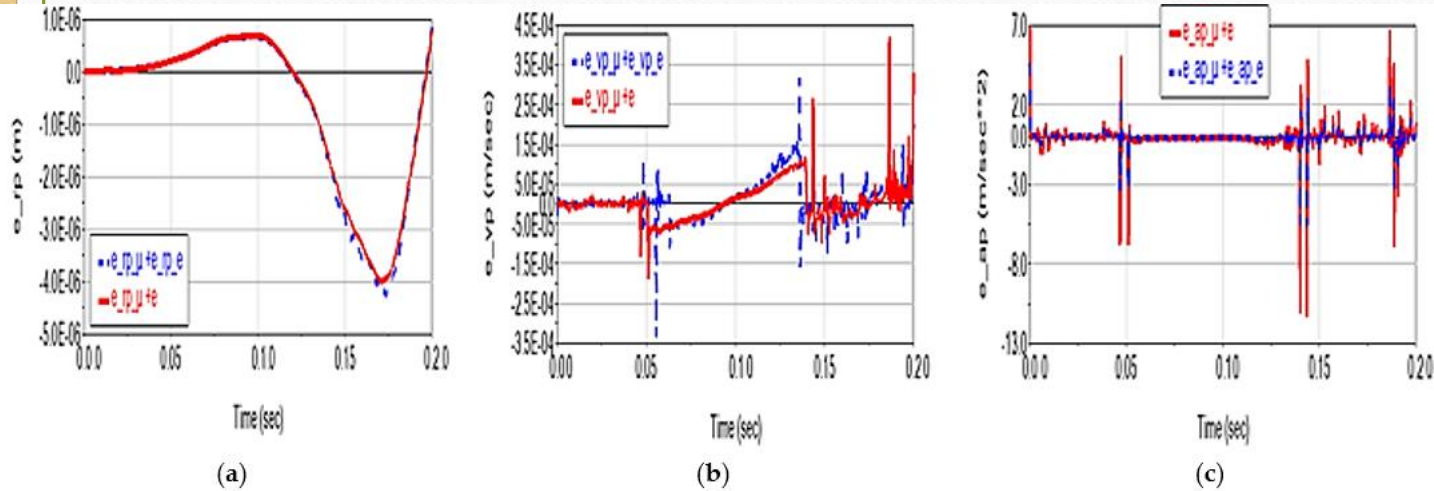


Figura 13: Erorile de mișcare a elementului final al robotului paralel Delta (magnitudine): (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație.

- dinamic:

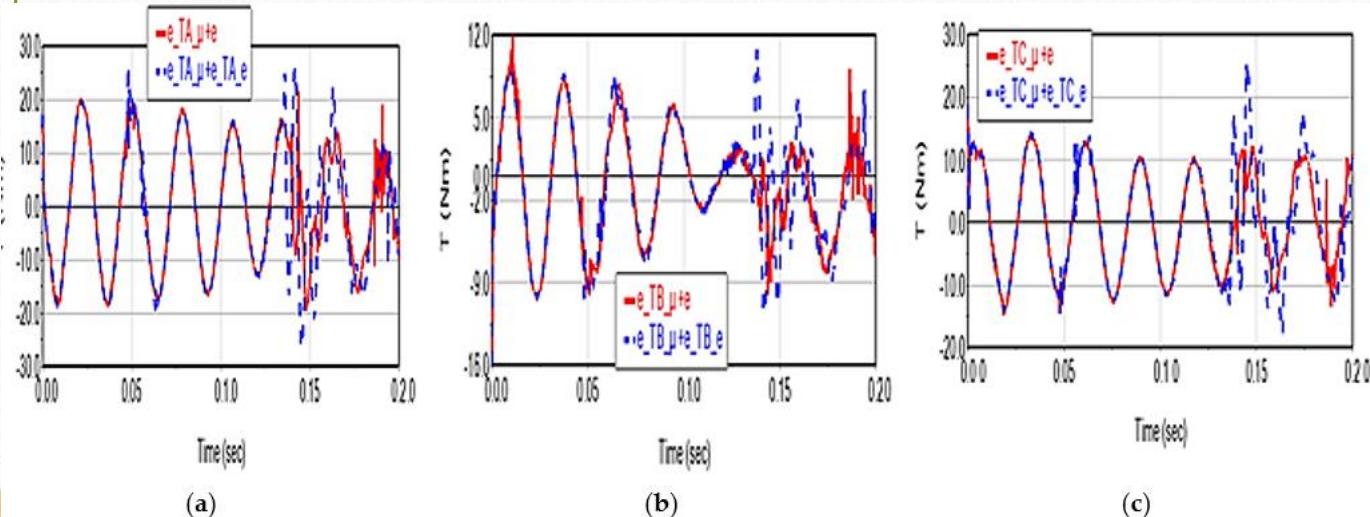


Figura 14 : Erorile momentelor motoare în scenariul 4: (a) braț A; (b) braț B; (c) braț C

-> efectul cumulativ al factorilor conduce la o abatere de până la maximum $4.23 \cdot 10^{-6}$ m (față de de $\sim 4 \cdot 10^{-6}$ m pentru cazul însumării efectelor), până la $4.2 \cdot 10^{-4}$ m/s pentru viteză față de maximul de $3.5 \cdot 10^{-4}$ m/s pentru cazul aditiv, și până la ~ 6 m/s² pentru accelerație, față de maximul ~ 6 m/s² pentru cazul însumării efectelor.

-> aceste rezultate evidențiază faptul că efectele cinematice ale celor doi factori **nu sunt aditive**.

-> o **scădere** a valorilor maxime ale abaterilor momentelor motoare comparativ cu cazul aditiv

-> frecarea (cu mai puțină semnificație) nu afectează forma curbei de deviație, ci mai degrabă contribuie la forme mai bune ale curbei pentru valorile deviației momentelor.

Scenariul 5: -> influența frecărilor și a jocurilor din cuple

- cinematic:

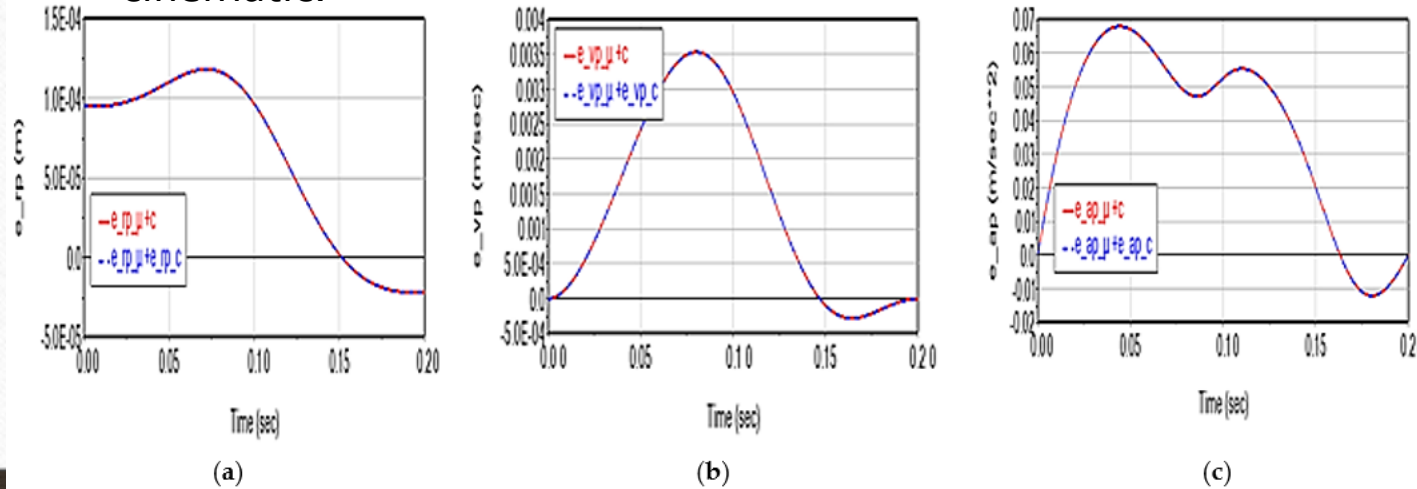


Figura 15: Erorile de mișcare a elementului final al robotului paralel Delta (magnitudine): (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație.

- dinamic:

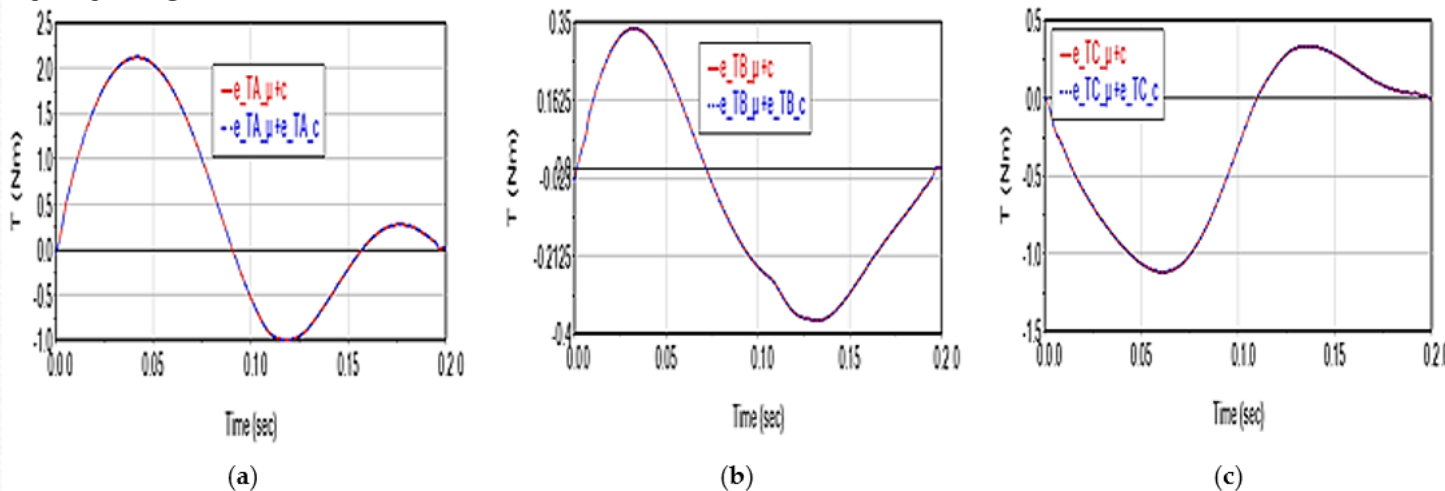


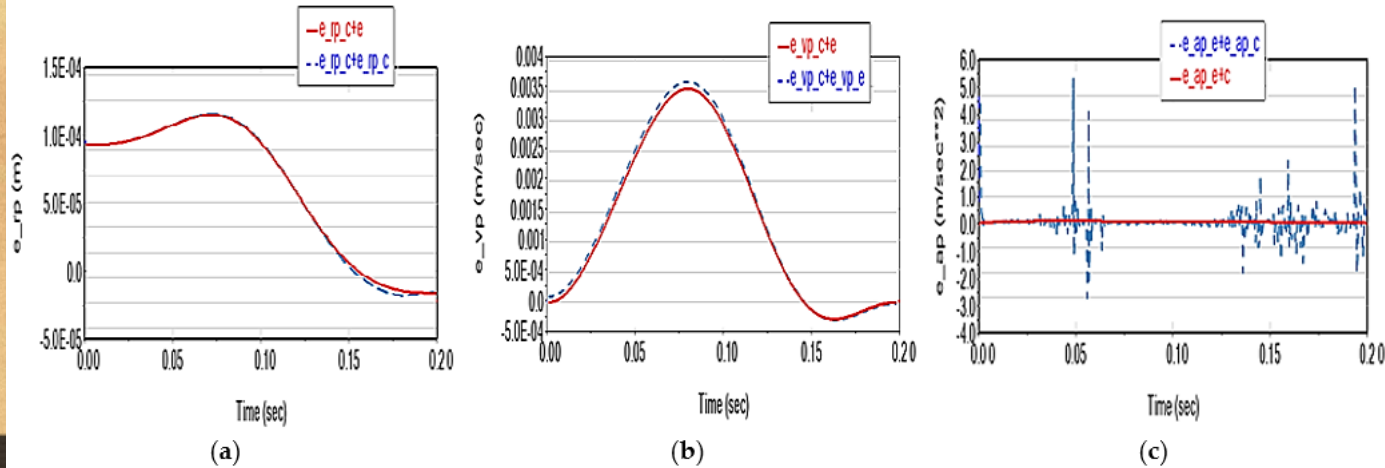
Figura 16: Erorile momentelor motoare în scenariul 5: (a) braț A; (b) braț B; (c) braț C

-> prin cuplare rezultă aceeași abatere.

-> efectul cumulativ duce la creșterea abaterilor până la 2.12 N·m (caz aditiv) pentru cuplul T_A , până la 0.36 N·m (cuplul T_B), 1.11 N·m (cuplu T_C) -> abaterile de moment au aceeași valoare și în cazul însumării efectelor, când valorile acestora sunt aceleași față de cazul însumării efectelor, fără a afecta forma curbelor.

Scenariul 6: -> influența jocurilor din cuple și a elasticităților elementelor 2 și 3 de pe fiecare braț

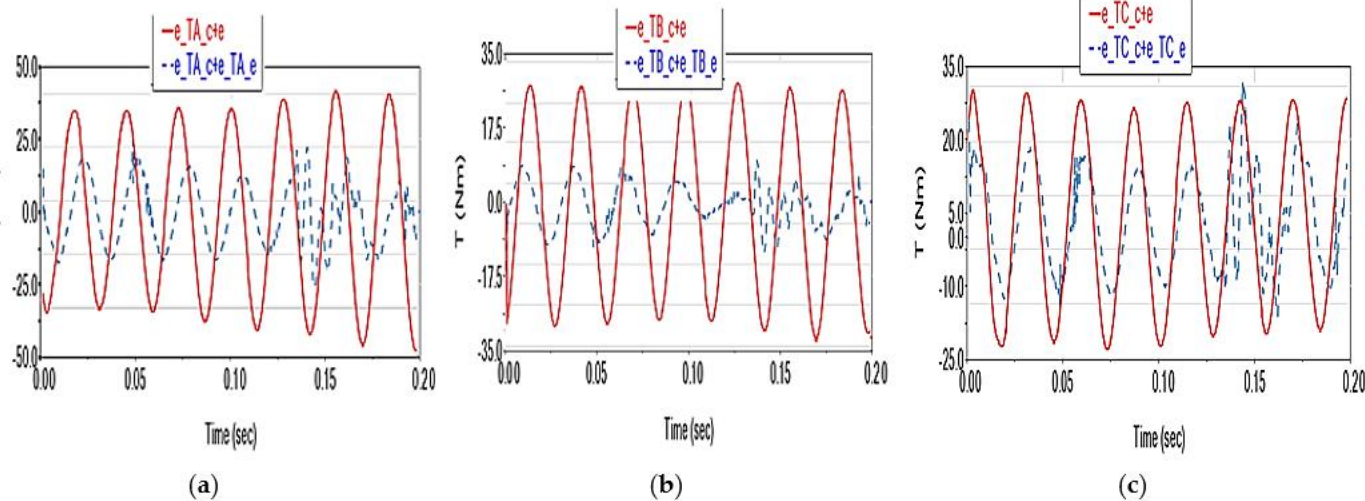
cinematic:



-> diferențe neglijabile

Figura 17: Erorile de mișcare a elementului final al robotului paralel Delta (magnitudine): (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație.

dinamic:

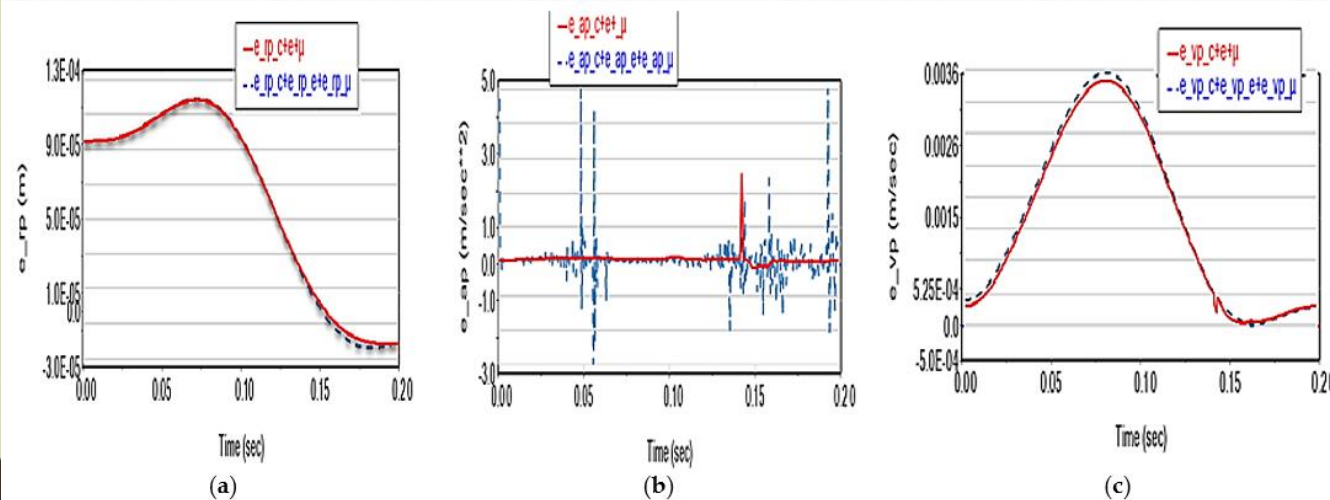


-> abaterile momentelor au variații armonice cu valori maxime de $\sim 50 \text{ N}\cdot\text{m}$ vs. $\sim 20 \text{ N}\cdot\text{m}$ (în cazul însumării) pentru T_A (Figure 18a), de $\sim 30 \text{ N}\cdot\text{m}$ vs. $\sim 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ pentru T_B (Figure 18b), $20 \text{ N}\cdot\text{m}$ vs. $22 \text{ N}\cdot\text{m}$ pentru T_C (Figure 18c).

Figura 18: Erorile momentelor motoare în scenariul 6: (a) braț A; (b) braț B; (c) braț C

Scenariul 7: -> influența frecărilor, jocurilor din cuple și a elasticităților elementelor 2 și 3 de pe fiecare braț

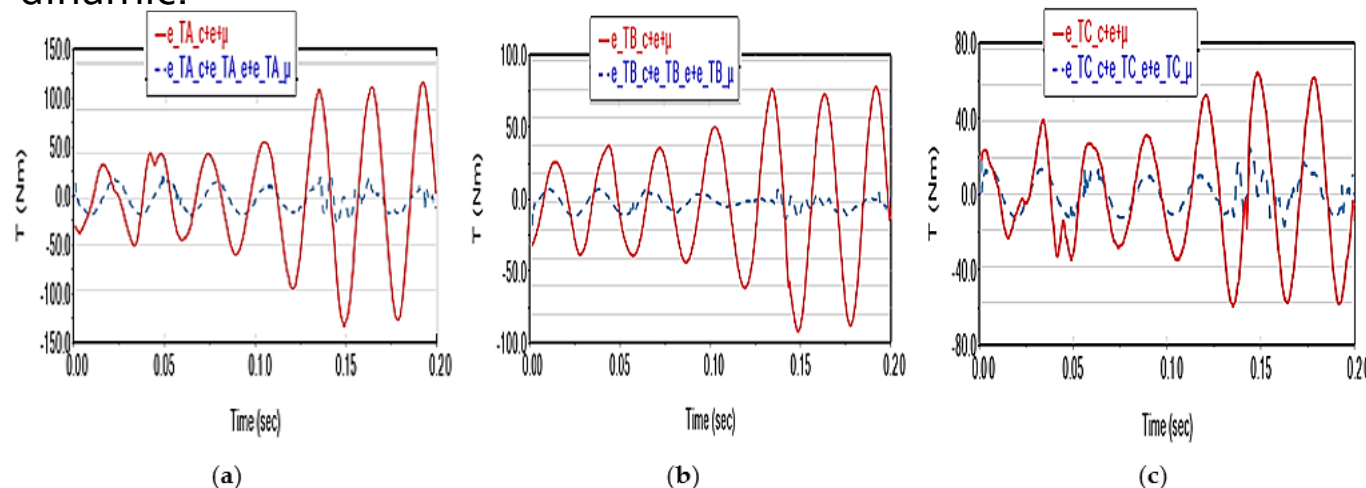
cinematic:



-> diferențe neglijabile

Figura 19: Erorile de mișcare a elementului final al robotului paralel Delta (magnitudine): (a) deplasare; (b) accelerație și (c) viteză.

- dinamic:



-> deviația maximă a momentelor motoare (cu o alura armonică) este de **~120 N·m** vs. **~20 N·m** (în cazul aditiv) pentru T_A (Figure 20a), **~80 N·m** vs. **~10 N·m** pentru T_B (Figure 20b) and **~70 N·m** vs. **~10 N·m** pentru T_C (Figure 20c).

Figura 20: Erorile momentelor motoare în scenariul 7: (a) braț A; (b) braț B; (c) braț C

Concluzii - din punct de vedere cinematic:

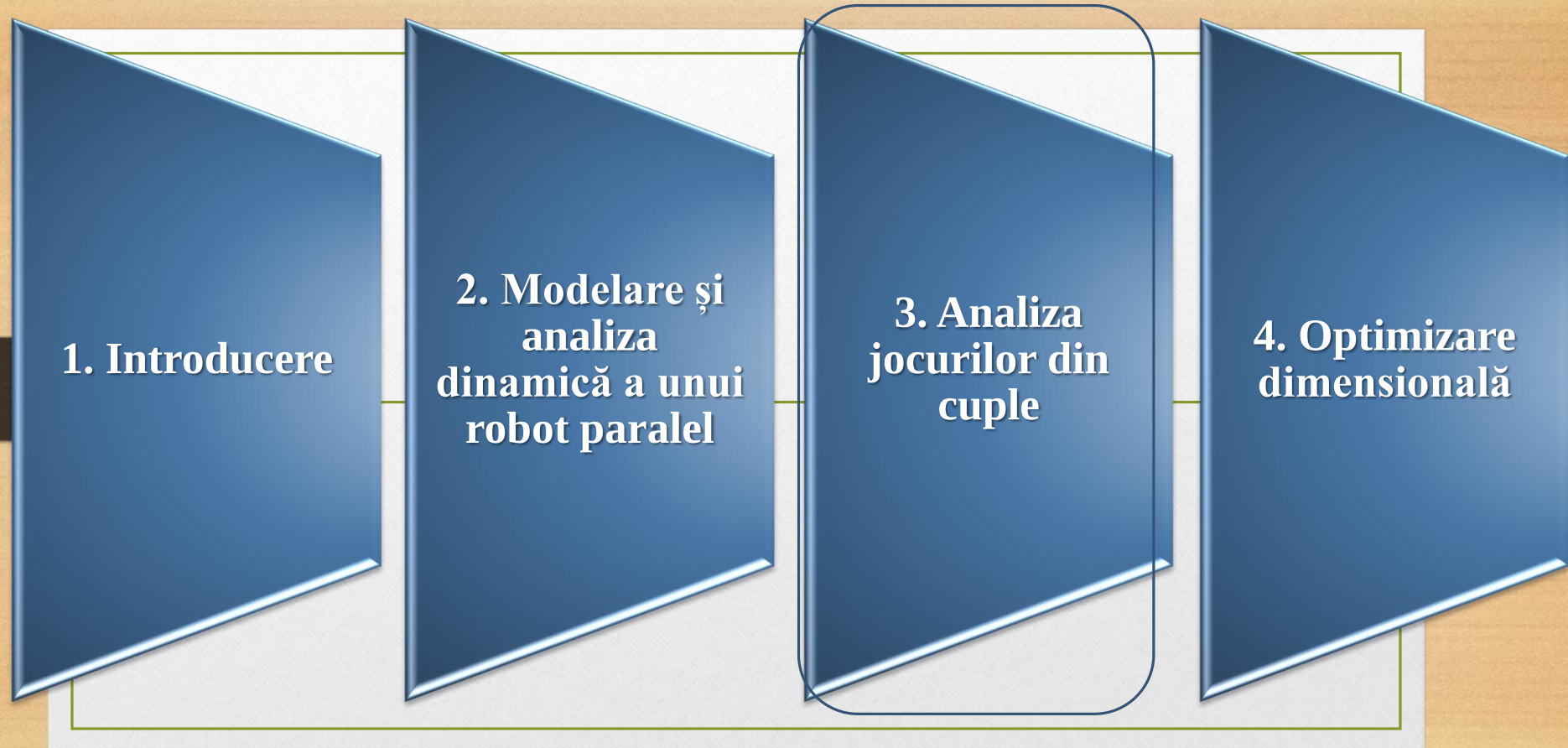
- **Frecarea** are o influență **nesemnificativă** asupra parametrilor de mișcare a punctului caracteristic (deplasare, viteză, accelerație);
- **Elasticitatea** elementelor determină abateri practic neglijabile la deplasarea pe traiectorie (de ordinul a 10^{-6} m), mici abateri ale vitezei (de ordinul a 10^{-4} m/s), dar semnificative în accelerație (de până la 5 m/s²);
- **Jocurile** din cuple (considerate la valoarea de 0.1 mm) au un efect redus asupra deplasării punctului caracteristic (abateri de ordinul 10^{-4} m), moderate asupra vitezei (de ordinul a 10^{-3} m/s) și relativ neglijabil la accelerație (de ordinul 10^{-2} m/s²);
- **Cuplarea a doi dintre acești factori** are ca rezultat efecte cumulate asupra cinematicii și dinamicii, cu excepția scenariului 6, unde abaterile ating valori de trei ori mai mari decât cele în cazul însumării efectelor individuale;
- **Cuplarea celor trei factori** conduce, din punct de vedere cinematic, la o ușoară reducere a abaterilor, cu excepția accelerației, unde se poate observa o reducere semnificativă a abaterilor, conducând la o mai bună soluție de integrare numerică.

Concluzii - din punct de vedere dinamic:

- **Frecarea** din cuple determină o variație practic nesemnificativă a momentelor (de ordinul a 10^{-1} N·m) față de valorile nominale ale acestora de ordinul a 103 N·m (<750 N·m);
- **Elasticitatea** elementelor are un impact substanțial asupra momentelor motoare (abateri de până la 25 N·m, adică 3,3%, cu o evoluție armonică);
- **Jocurile din cuple** au un efect moderat asupra momentelor motoare (<2 N·m);
- Atunci când sunt **combinați doi factori** (cu excepția scenariului 6), abaterile pot atinge valori de până la două ori mai mari comparativ cu cazul însumării efectelor individuale și valori de până la trei ori mai mari atunci când toți cei trei factori sunt combinați.
- Pentru toate scenariile de cuplare a factorilor (S4–S7), studiul a observat că efectele individuale nu sunt întotdeauna cumulative. Cuplarea factorilor poate crește valorile deviației atunci când se iau în considerare simultan jocurile și elasticitățile elementelor. **În consecință, nu se recomandă simularea acestor factori separat și însumarea efectelor acestora.**

Deoarece fenomenele nu sunt liniare, este necesară o abordare combinată a factorilor pentru a obține rezultate relevante.

3. Analiza parametrică a efectului dinamic al jocurilor din cuplele sferice ale robotului paralel Delta



- 3.1. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice superioare*
- 3.2. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice inferioare*
- 3.3. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice (superioare+inferioare)*
- 3.4. Identificarea aditivității efectului jocurilor în cuplele sferice superioare și inferioare*
- 3.5. Concluzii*

Ipoteze de lucru:

- Elementele sunt corpuri solide rigide;
- Toate elementele sunt din oțel;
- Jocurile din cuplele sferice (distanța dintre centrele sferelor - Δr) au valori discrete cuprinse între 0,1 mm și 0,6 mm, cu pas de 0,1 mm (rezultă șase cazuri) în trei scenarii: a) jocuri doar în cuplele sferice superioare, b) doar în cele inferioare și c) varianta combinată a)+b).

Mișcări impuse în cuplele motoare:

- Cupla A (R_A): 25° (în sens pozitiv)
- Cupla B (R_B): 70° (în sens negativ)
- Cupla C (R_C): 60° (în sens negativ)

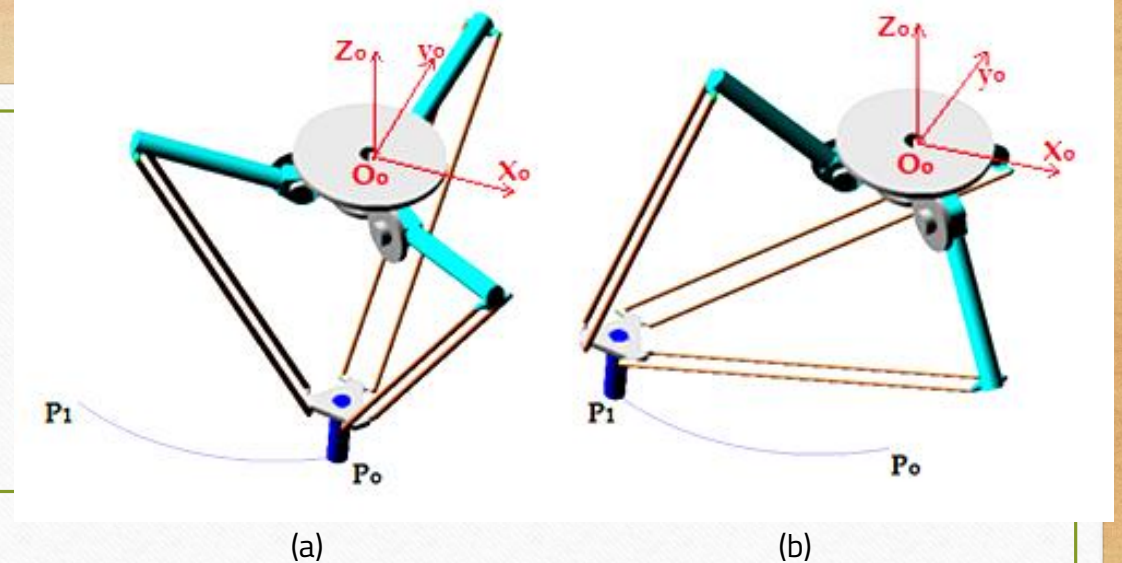


Fig. 3.1. Traectoria carteziană a robotului paralel Delta: (a) poziția inițială; (b) poziția finală.

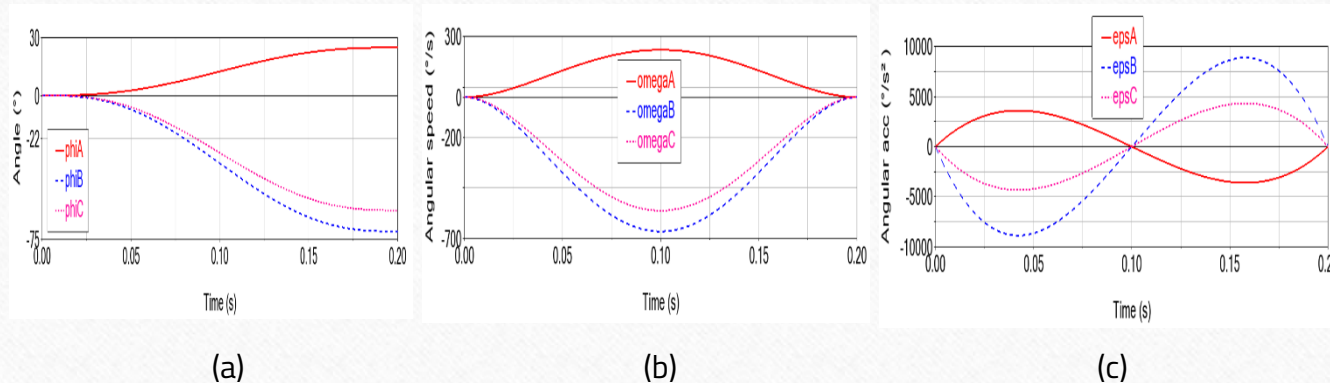


Fig. 3.2. Traectoriile de mișcare în spațiul articular al cuplelor active (R_A , R_B și R_C): (a) deplasare unghiulară; (b) viteză unghiulară și (c) accelerație unghiulară.

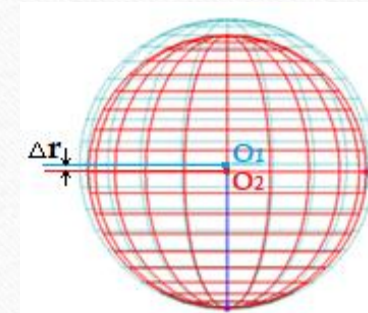


Fig. 3.6. Jocul din cuplele sferice ale robotului paralel Delta în poziția inițială.

3.1. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice superioare

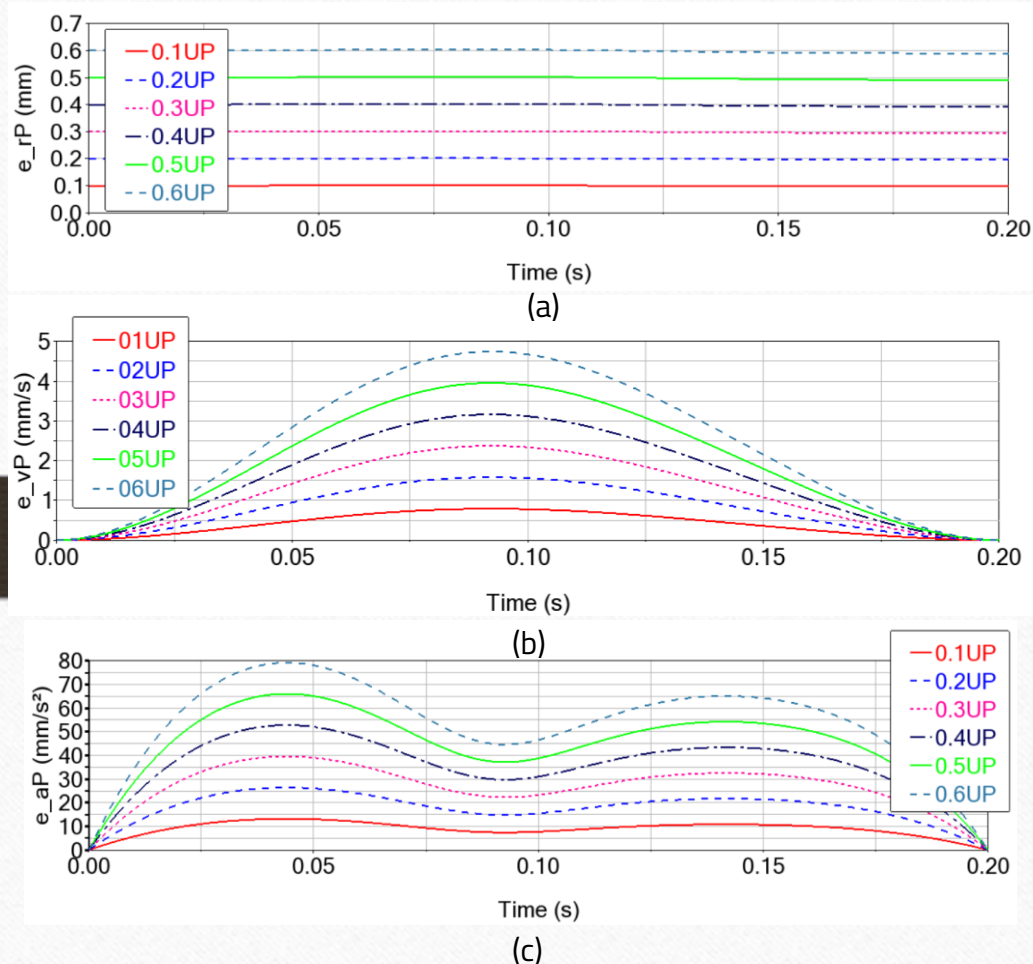


Fig. 3.7. Eroarea mișcărilor end-efectorului în cazul jocurilor în cuplele sferice superioare de 0,1 mm (red, solid line), 0,2 mm (blue, dash line), 0,3 mm (magenta, dot line), 0,4 mm (midnight_blue DotDash line), 0,5 mm (green, solid line) și 0,6 mm (blue gray, DotDash line), pentru: (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație a punctului caracteristic P.

Tabelul 3.1. Erorile cinematice maxime pe traiectorie (valori absolute și procente din valoarea maximă a parametrului cinematic) datorate jocurilor din cuplele sferice superioare ale robotului Delta.

Jocul [mm]	e_{rPmax} [mm]	Δe_{rPmax} [mm]	e_{vPmax} [mm/s]	e_{aPmax} [mm/s ²]
0,1	0,1008	0,0025	0,791 (0,009%)	13,201 (0,011%)
0,2	0,2015	0,0049	1,581 (0,019%)	26,402 (0,022%)
0,3	0,3023	0,0074	2,372 (0,029%)	39,602 (0,033%)
0,4	0,403	0,0098	3,163 (0,039%)	52,803 (0,044%)
0,5	0,5038	0,0123	3,953 (0,049%)	66,004 (0,055%)
0,6	0,6045	0,0147	4,744 (0,059%)	79,204 (0,066%)

3.1. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice superioare

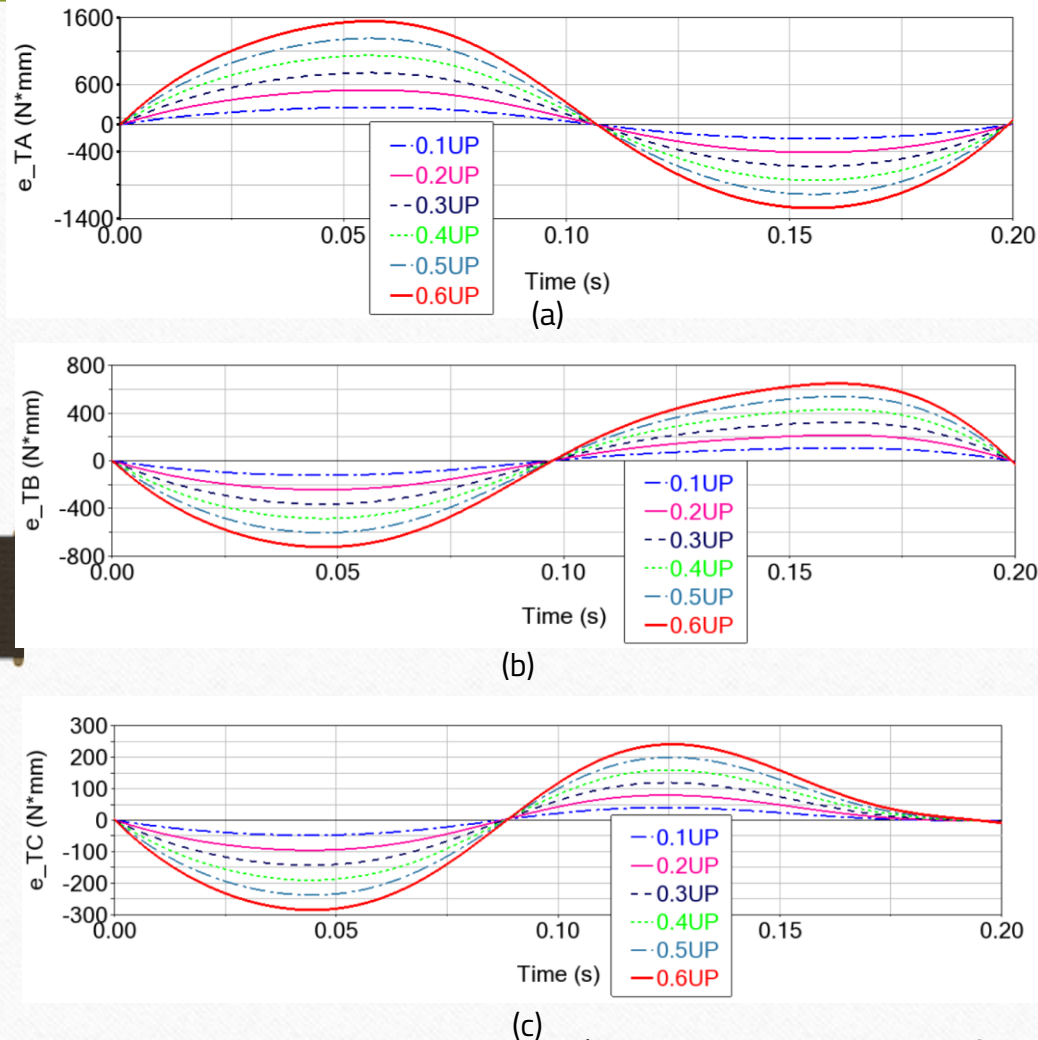
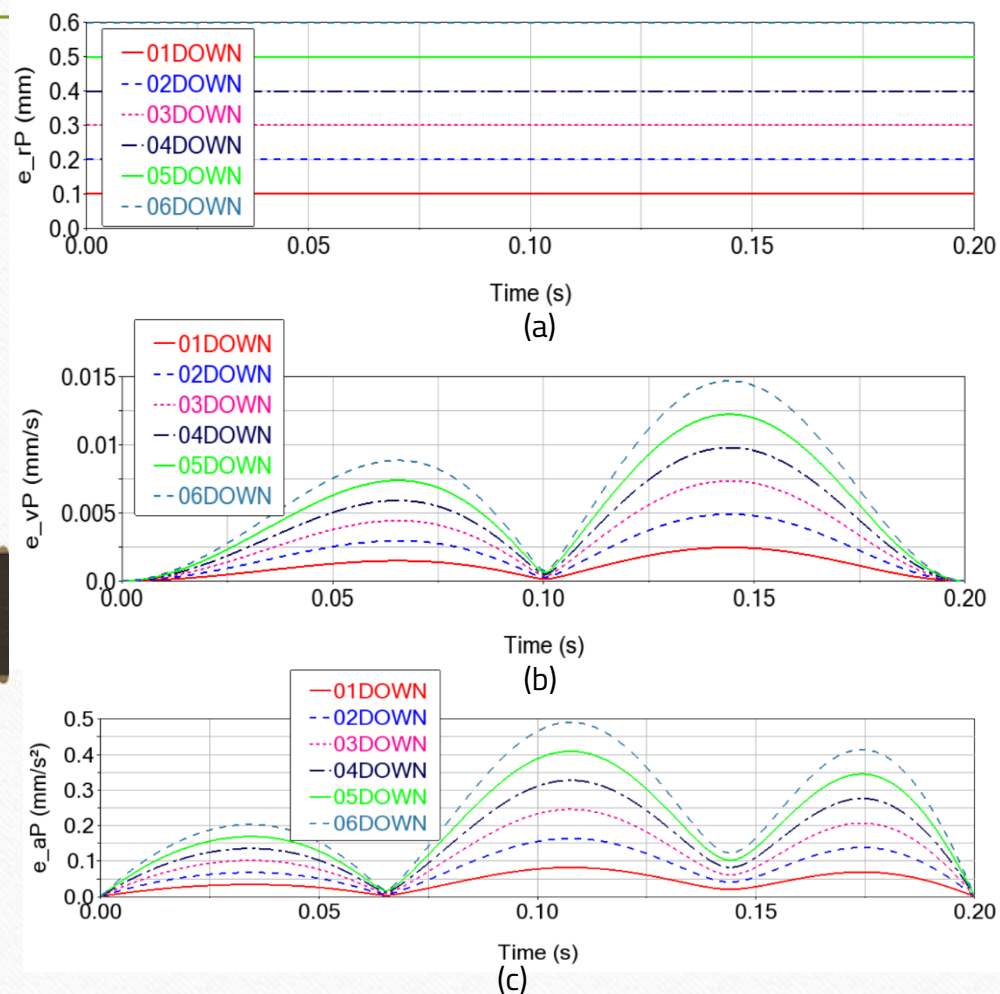


Fig. 3.11. Eroarea momentelor motoare în cazul jocurilor din cuplele sferice superioare de 0,1 mm (red, solid line), 0,2 mm (blue, dash line), 0,3 mm (magenta, dot line), 0,4 mm (midnight_blue DotDash line), 0,5 mm (green, solid line) si 0,6 mm (blue gray, DotDash line), pentru: (a) bratul A; (b) bratul B si (c) bratul C.

Tabelul 3.2. Erorile dinamice maxime pe traiectorie (valori absolute și procente din valoarea maximă a parametrului cinematic) datorate jocurilor din cuplele sferice superioare ale robotului Delta.

Jocul [mm]	e_TAmix [N·mm]	e_TBmax [N·mm]	e_TCmax [N·mm]
0,1	260,012 (0,0289%)	121,652 (0,0135%)	47,705 (0,013%)
0,2	519,157 (0,057%)	243,006 (0,027%)	95,394 (0,026%)
0,3	777,520 (0,086%)	364,009 (0,04%)	143,037 (0,039%)
0,4	1035,193 (0,1152%)	484,604 (0,053%)	190,619 (0,053%)
0,5	1292,307 (0,1439%)	604,734 (0,067%)	238,106 (0,066%)
0,6	1548,955 (0,1724%)	724,344 (0,08%)	285,469 (0,079%)

3.2. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice inferioare

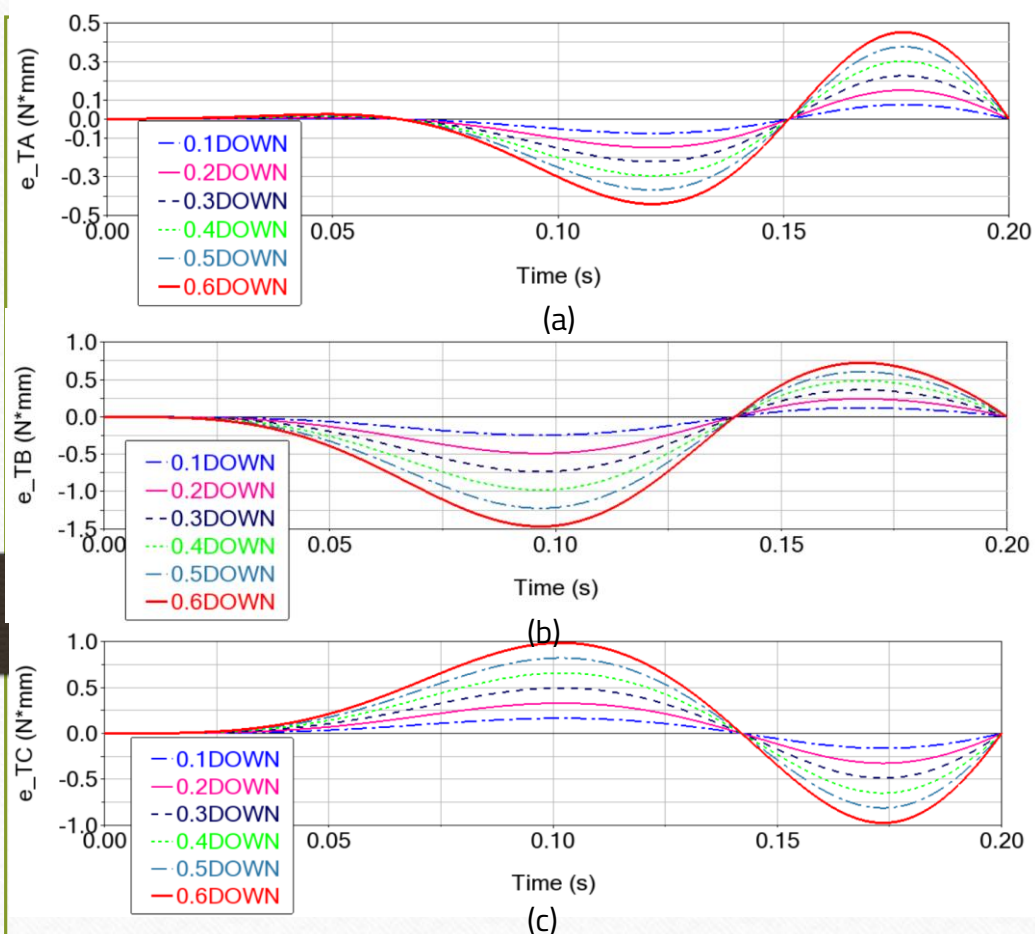


Tabelul 3.3. Erorile cinematice maxime pe traiectorie (valori absolute și procente din valoarea maximă a parametrului cinematic) datorate jocurilor din cuplele sferice inferioare ale robotului Delta.

Jocul [mm]	e_{rPmax} [mm]	Δe_{rPmax} [mm]	e_{vPmax} [mm/s]	e_{aPmax} [mm/s ²]
0,1	0,1000	$0,1 \cdot 10^{-9}$	0,0025 (0,000031%)	0,0819 (0,000068%)
0,2	0,2000	$0,1 \cdot 10^{-9}$	0,0049 (0,000061%)	0,1637 (0,000136%)
0,3	0,3000	$0,1 \cdot 10^{-9}$	0,0074 (0,000092%)	0,2456 (0,000204%)
0,4	0,4000	$0,1 \cdot 10^{-9}$	0,0098 (0,000122%)	0,3274 (0,000272%)
0,5	0,5000	$0,1 \cdot 10^{-9}$	0,0123 (0,000153%)	0,4093 (0,000341%)
0,6	0,6000	$0,1 \cdot 10^{-9}$	0,0147 (0,000183%)	0,4911 (0,000409%)

Fig. 3.12. Eroarea mișcărilor end-efectorului în cazul jocurilor în cuplele sferice inferioare de 0,1 mm (red, solid line), 0,2 mm (blue, dash line), 0,3 mm (magenta, dot line), 0,4 mm (midnight_blue DotDash line), 0,5 mm (green, solid line) și 0,6 mm (blue gray, DotDash line), pentru: (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație a punctului caracteristic P.

3.2. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice inferioare



Tabelul 3.4 Erorile dinamice maxime pe traiectorie (valori absolute și procente din valoarea maximă a parametrului cinematic) datorate jocurilor din cuplele sferice inferioare ale robotului Delta.

Jocul [mm]	e_TAmix [N·mm]	e_TBmax [N·mm]	e_TCmax [N·mm]
0,1	0,0754 (0,0000083%)	0,2448 (0,0000272%)	0,1644 (0,0000459%)
0,2	0,1509 (0,0000168%)	0,4896 (0,0000545%)	0,3289 (0,0000918%)
0,3	0,2209 (0,0000245%)	0,7344 (0,0000817%)	0,4933 (0,0000137%)
0,4	0,3018 (0,0000336%)	0,9792 (0,000109%)	0,6578 (0,0000183%)
0,5	0,3772 (0,0000420%)	1,2240 (0,000136%)	0,8222 (0,0000229%)
0,6	0,4526 (0,0000504%)	1,4687 (0,000163%)	0,9867 (0,0000275%)

Fig. 3.14. Eroarea momentelor motoare în cazul jocurilor din cuplele sferice inferioare de 0,1 mm (red, solid line), 0,2 mm (blue, dash line), 0,3 mm (magenta, dot line), 0,4 mm (midnight_blue DotDash line), 0,5 mm (green, solid line) si 0,6 mm (blue gray, DotDash line), pentru: (a) bratul A; (b) bratul B si (c) bratul C.

3.3. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice (superioare+inferioare)

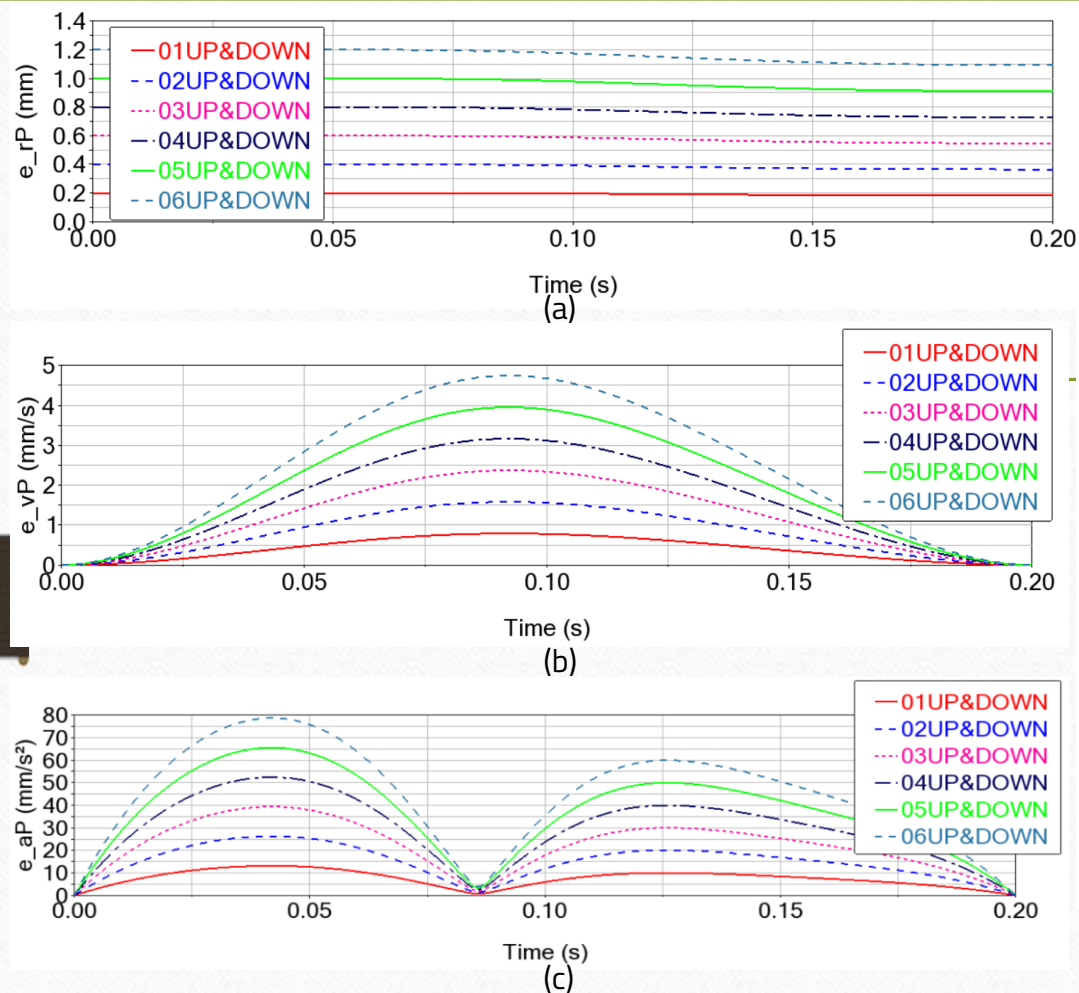


Fig. 3.15. Eroarea mișcărilor end-efectorului în cazul jocurilor în cuplele sferice de 0,1 mm (red, solid line), 0,2 mm (blue, dash line), 0,3 mm (magenta, dot line), 0,4 mm (midnight_blue DotDash line), 0,5 mm (green, solid line) și 0,6 mm (blue gray, DotDash line), pentru: (a) deplasare; (b) viteză și (c) accelerație a punctului caracteristic P.

Tabelul 3.5. Erorile cinematice maxime pe traiectorie (valori absolute și procente din valoarea maximă a parametrului cinematic) datorate jocurilor din cuplele sferice superioare și inferioare ale robotului Delta.

Jocul [mm]	e_{rPmax} [mm]	Δe_{rPmax} [mm]	e_{vPmax} [mm/s]	e_{aPmax} [mm/s²]
0,1	0,2002	0,0178	0,791 (0,009%)	13,117 (0,0109%)
0,2	0,4004	0,0357	1,582 (0,019%)	26,234 (0,0218%)
0,3	0,6006	0,0535	2,372 (0,029%)	39,351 (0,0327%)
0,4	0,8008	0,0713	3,163 (0,039%)	52,468 (0,0437%)
0,5	1,0011	0,0893	3,954 (0,049%)	65,585 (0,0546%)
0,6	1,2013	0,1071	4,745 (0,059%)	78,702 (0,0655%)

3.3. Analiza erorilor cinematice si dinamice ale robotului paralel Delta cu jocuri în cuplele sferice (superioare+inferioare)

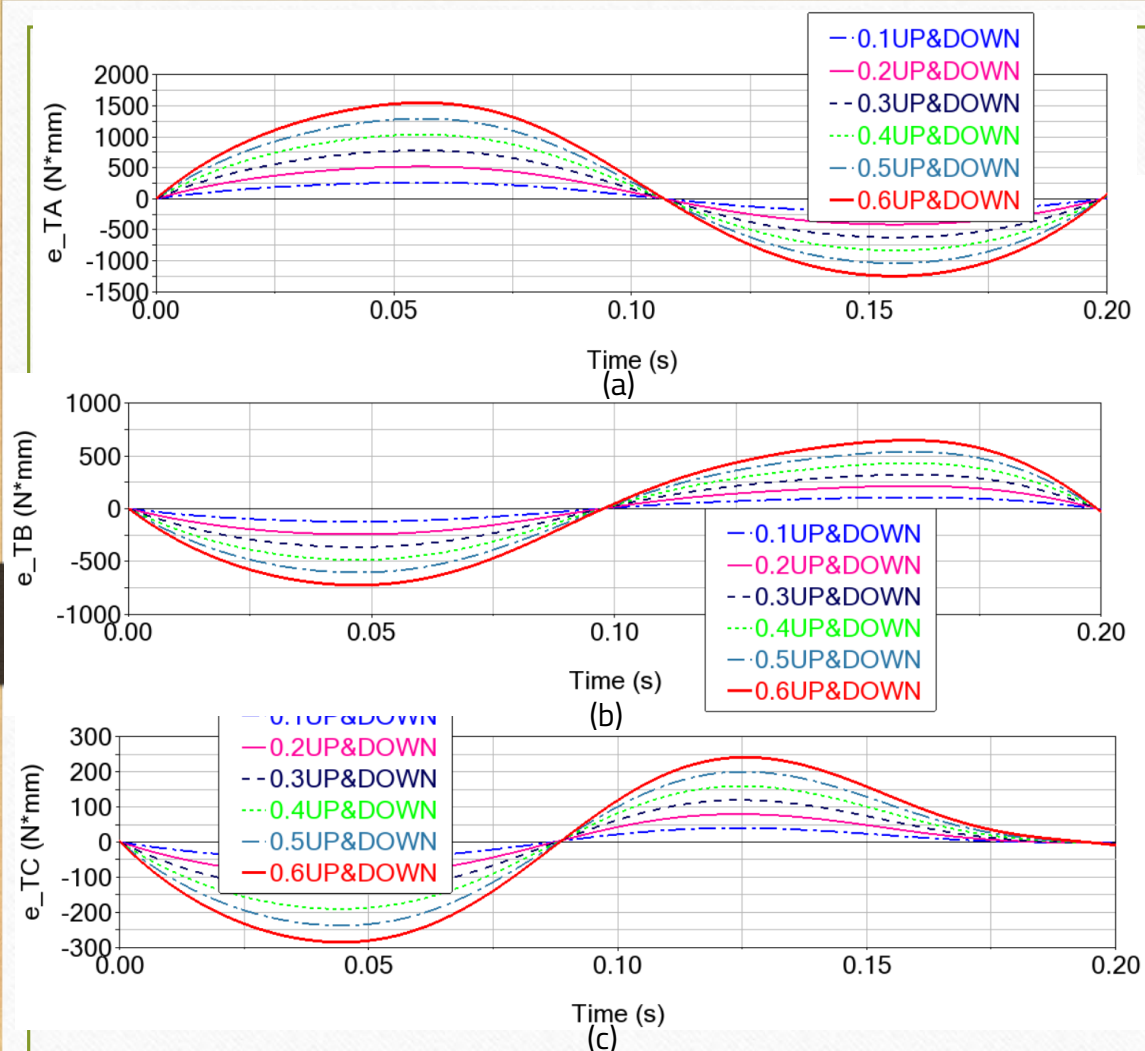


Fig. 3.16. Eroarea momentelor motoare în cazul jocurilor din cuplele sferice de 0,1 mm (red, solid line), 0,2 mm (blue, dash line), 0,3 mm (magenta, dot line), 0,4 mm (midnight_blue DotDash line), 0,5 mm (green, solid line) si 0,6 mm (blue gray, DotDash line), pentru: (a) bratul A; (b) bratul B si (c) bratul C.

Tabelul 3.6. Erorile dinamice maxime pe traiectorie (valori absolute și procente din valoarea maximă a parametrului cinematic) datorate jocurilor din cuplele sferice superioare și inferioare ale robotului Delta.

Jocul [mm]	e_TAmx [N·mm]	e_TBmax [N·mm]	e_TCmax [N·mm]
0,1	260,089 (0,0289%)	121,704 (0,0135%)	47,682 (0,013%)
0,2	519,164 (0,057%)	243,113 (0,027%)	95,3467 (0,026%)
0,3	777,530 (0,086%)	364,170 (0,04%)	142,967 (0,039%)
0,4	1035,208 (0,1152%)	484,818 (0,053%)	190,523 (0,053%)
0,5	1292,324 (0,1439%)	605,001 (0,067%)	237,985 (0,066%)
0,6	1548,976 (0,1724%)	724,655 (0,08%)	285,324 (0,079%)

3.4. Identificarea aditivității efectului jocurilor în cuplele sferice superioare și inferioare

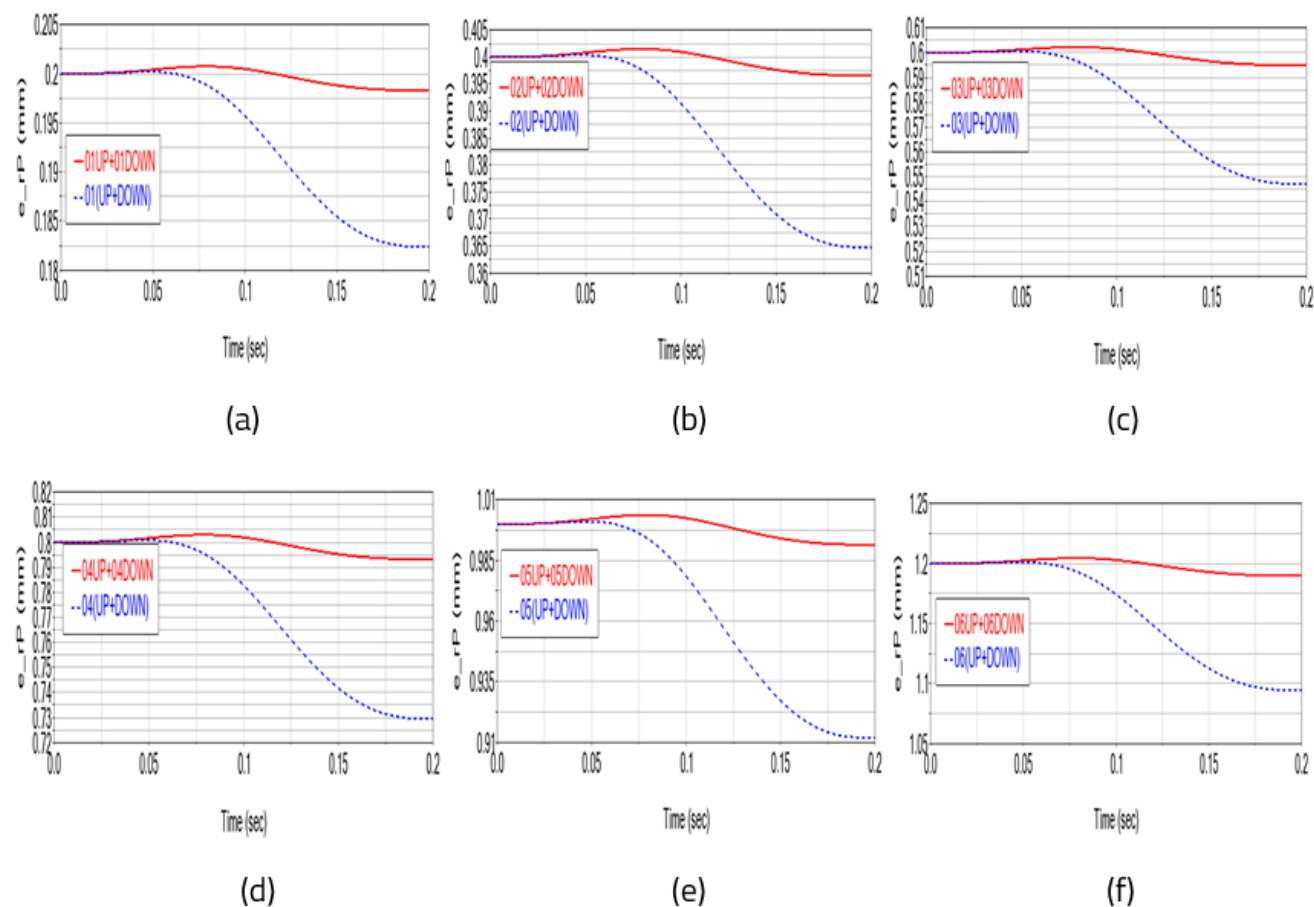


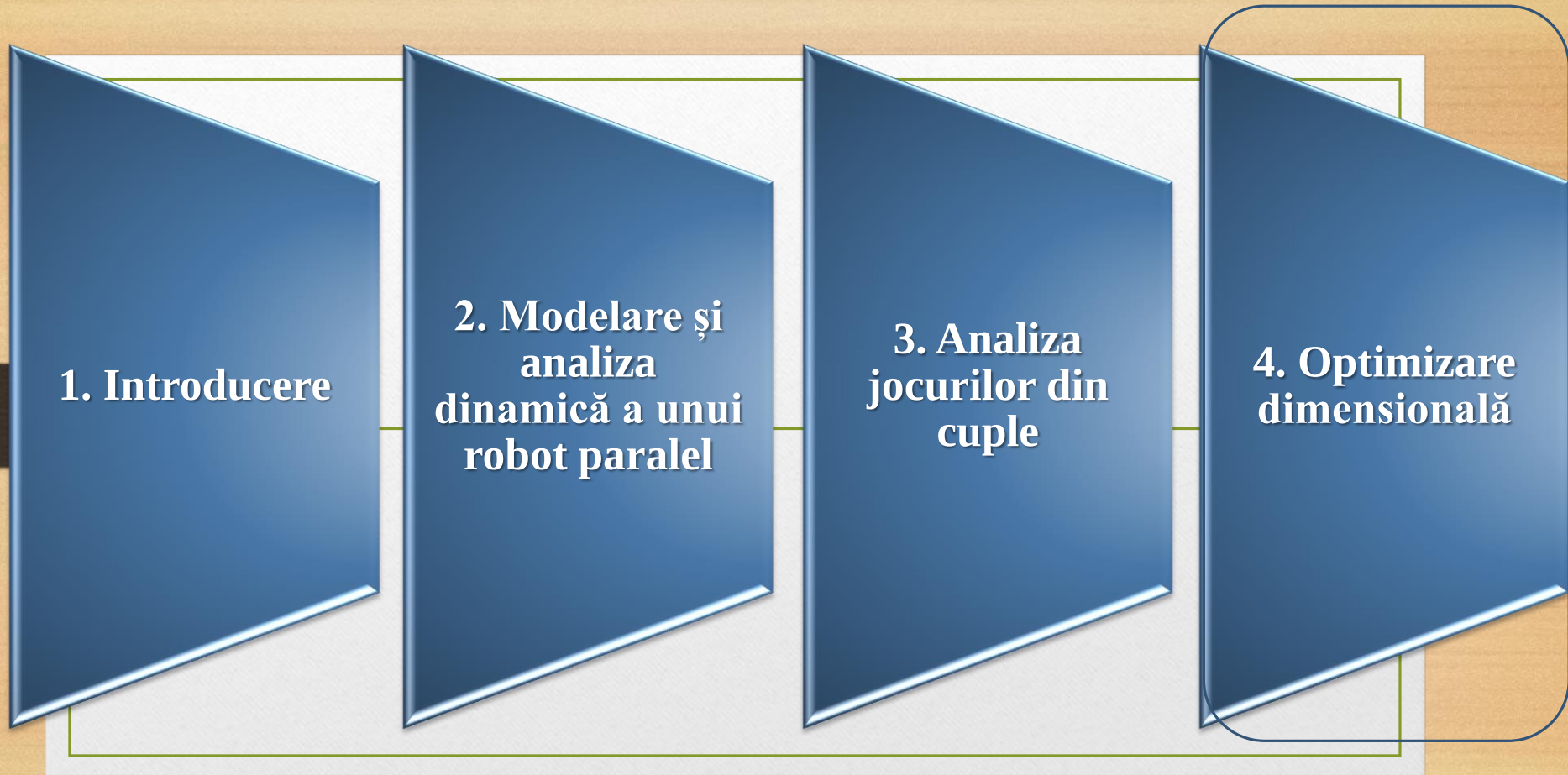
Fig. 3.17. Eroarea deplasărilor end-efectorului în cazul jocurilor în cuplele sferice superioare și inferioare (red line) și suma celor superioare și inferioare (blue line) pentru jocuri de: (a) 0,1 mm; (b) 0,2 mm; (c) 0,3 mm; (d) 0,4 mm; (e) 0,5 mm; (f) 0,6 mm.

3.5. Concluzii

În urma analizei efectuate, se desprind câteva concluzii;

- Mai multe variante ale jocurilor din cuplele sferice au fost luate în considerare pentru a stabili influența acestora asupra comportamentului cinematic și dinamic: 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm sau 0,6 mm;
- Jocurile din cuplele sferice influențează comportamentul cinematic și dinamic al robotului paralel;
- Efectul cel mai mare asupra comportamentului cinematic al robotului îl au jocurile din cuplele sferice superioare, cel din cuplele sferice inferioare fiind neglijabile sau au valori foarte mici;
- Din punct de vedere cinematic, erorile cresc odată cu jocurile din cuplele sferice, dar nu proporțional cu acestea;
- Din punct de vedere dinamic, efectul jocurilor din cuplele sferice conduce la erori de pînă la ~1600 N·mm;
- Efectul jocurilor din cuplele sferice nu este aditiv.

4. Optimizarea dimensională a robotului paralel Delta



4.1. Analiza efectului diametrelor barelor asupra comportamentului robotului paralel Delta

4.2. Analiza robotului cu elemente elastice și jocuri în cuplele sferice

4.3. Concluzii

4.1. Analiza efectului diametrelor barelor asupra comportamentului robotului paralel Delta

În ipoteza considerării flexibilității elementelor elastice ale robotului paralel Delta (elementele 2 și 3 pe fiecare braț) și limitând analiza la primele moduri de vibrație (cu frecvențe naturale mai mici de **300 Hz**), se obțin rezultatele privind comportamentul cinematic și dinamic al robotului pentru elemente cu diverse diametre ale barelor ($0,4\Phi - 4\text{ mm}$, $0,8\Phi - 8\text{ mm}$ și $1\Phi - 10\text{ mm}$).

Restul ipotezelor luate în considerare în capitolul precedent rămân valabile (celelalte elemente rămân rigide, accelerația gravitațională are direcția în sensul negativ al axei Z).

- *Analiza erorilor cinematice și dinamice ale robotului paralel Delta cu elemente suple elastice și cu diametre de $0,4\Phi$*

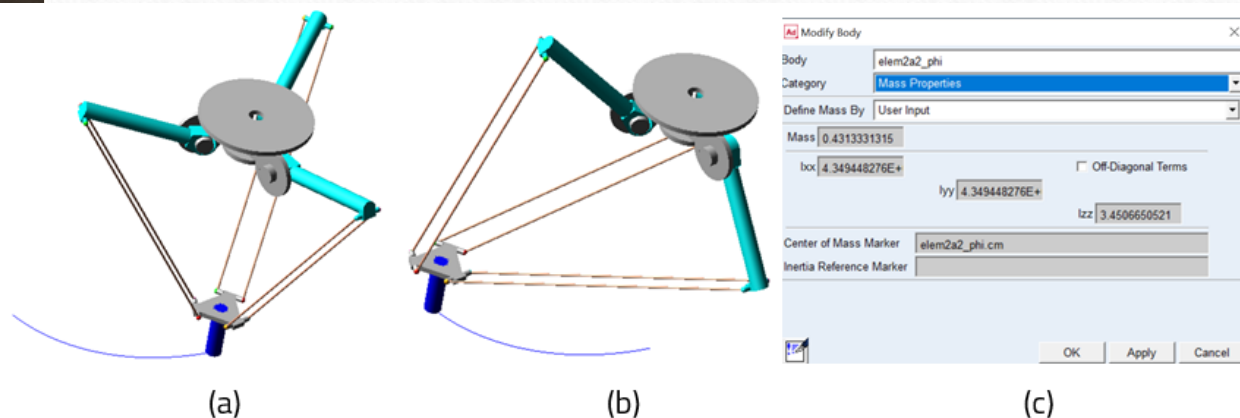


Fig. 4.5. Traiectoria carteziană a robotului paralel Delta: (a) poziția inițială; (b) poziția finală; (c) proprietățile masice și inerțiale ale elementelor suple cu diametru redus la $0,4\Phi$.

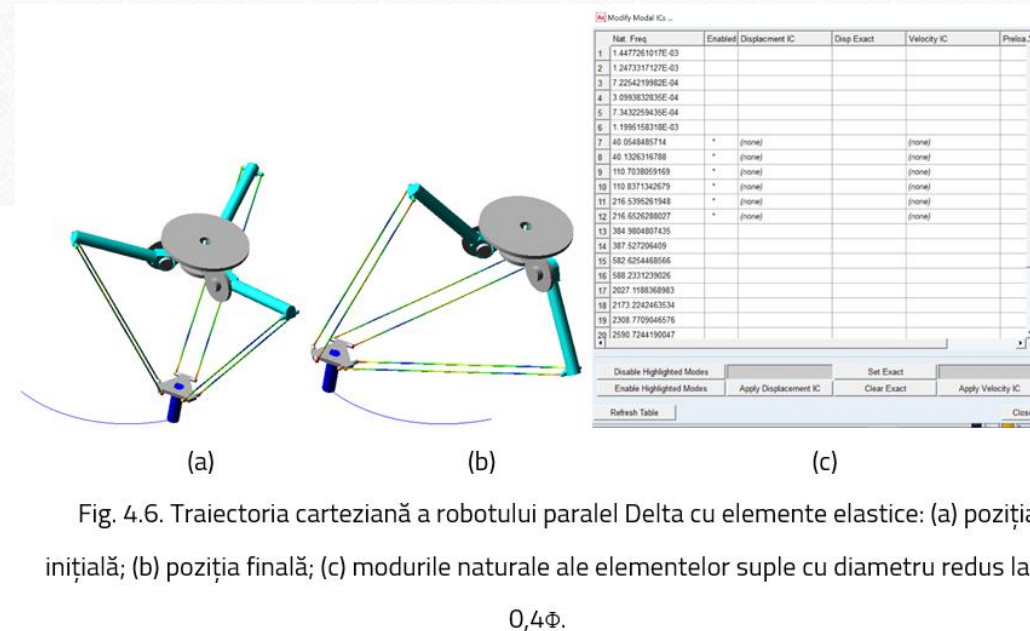


Fig. 4.6. Traiectoria carteziană a robotului paralel Delta cu elemente elastice: (a) poziția inițială; (b) poziția finală; (c) modurile naturale ale elementelor suple cu diametru redus la $0,4\Phi$.

➤ Analiza erorilor cinematice și dinamice ale robotului paralel Delta cu elemente suple elastice și cu diametre de $0,8\Phi$ și de 1Φ

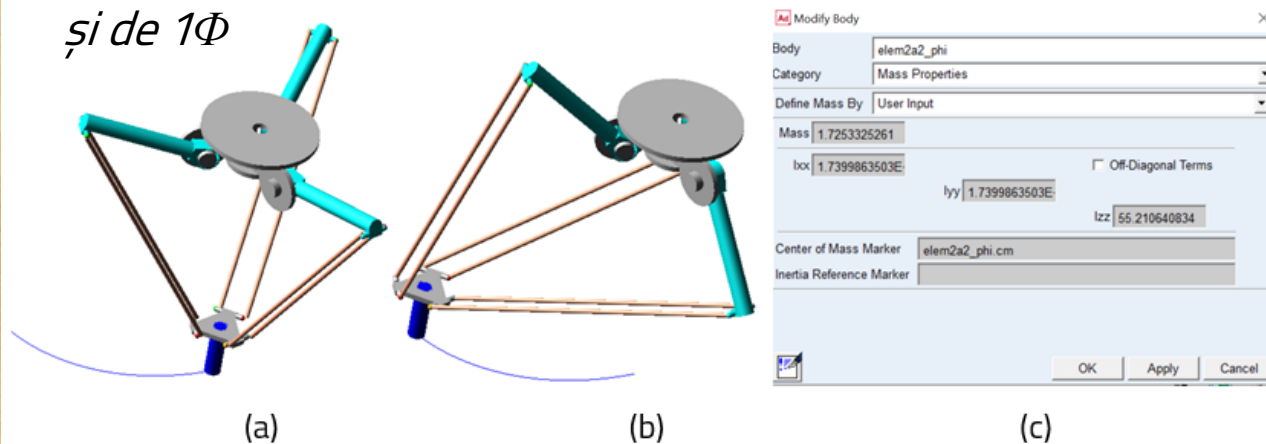


Fig. 4.9. Traiectoria carteziană a robotului paralel Delta: (a) poziția inițială; (b) poziția finală; (c) proprietățile masice și inerțiale ale elementelor suple cu diametru redus la $0,8\Phi$.

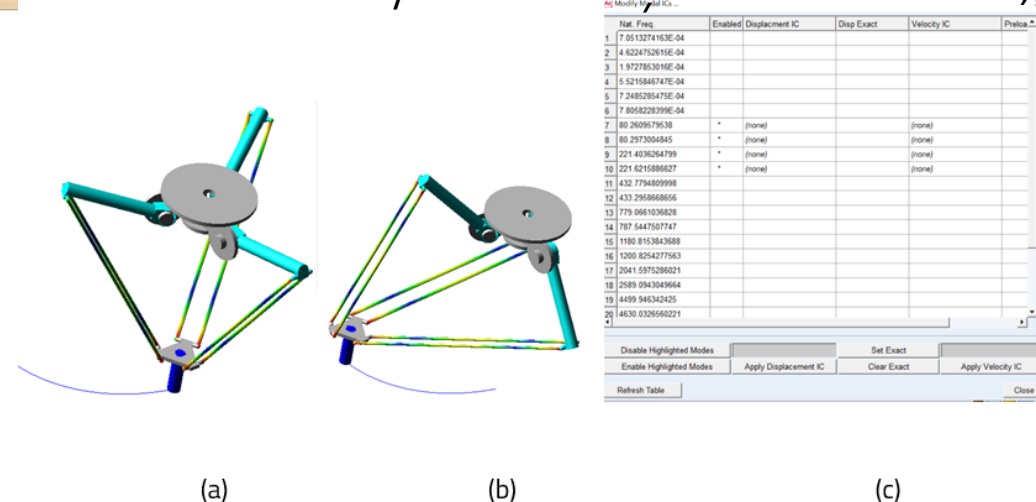


Fig. 4.10. Traiectoria carteziană a robotului paralel Delta cu elemente elastice: (a) poziția inițială; (b) poziția finală; (c) modurile naturale ale elementelor suple cu diametru redus la $0,8\Phi$.

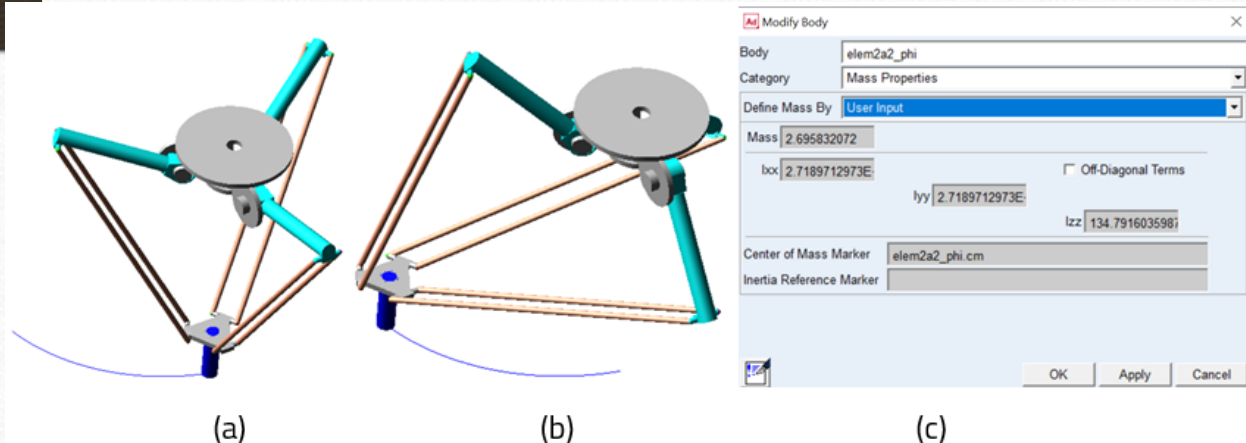


Fig. 4.13. Traiectoria carteziană a robotului paralel Delta: (a) poziția inițială; (b) poziția finală; (c) proprietățile masice și inerțiale ale elementelor suple cu diametru de 1Φ .

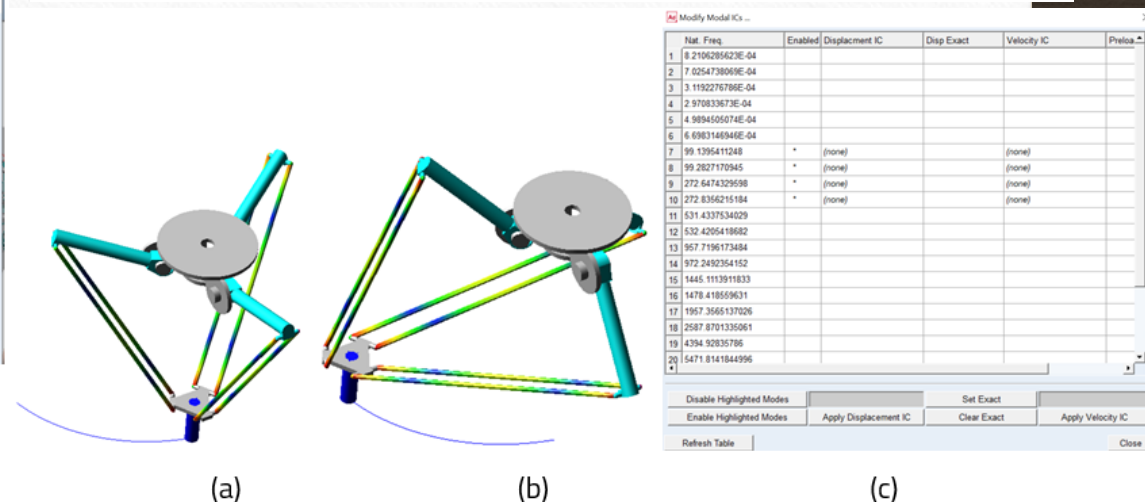


Fig. 4.14. Traiectoria carteziană a robotului paralel Delta cu elemente elastice: (a) poziția inițială; (b) poziția finală; (c) modurile naturale ale elementelor suple cu diametru de 1Φ .

➤ Concluzii

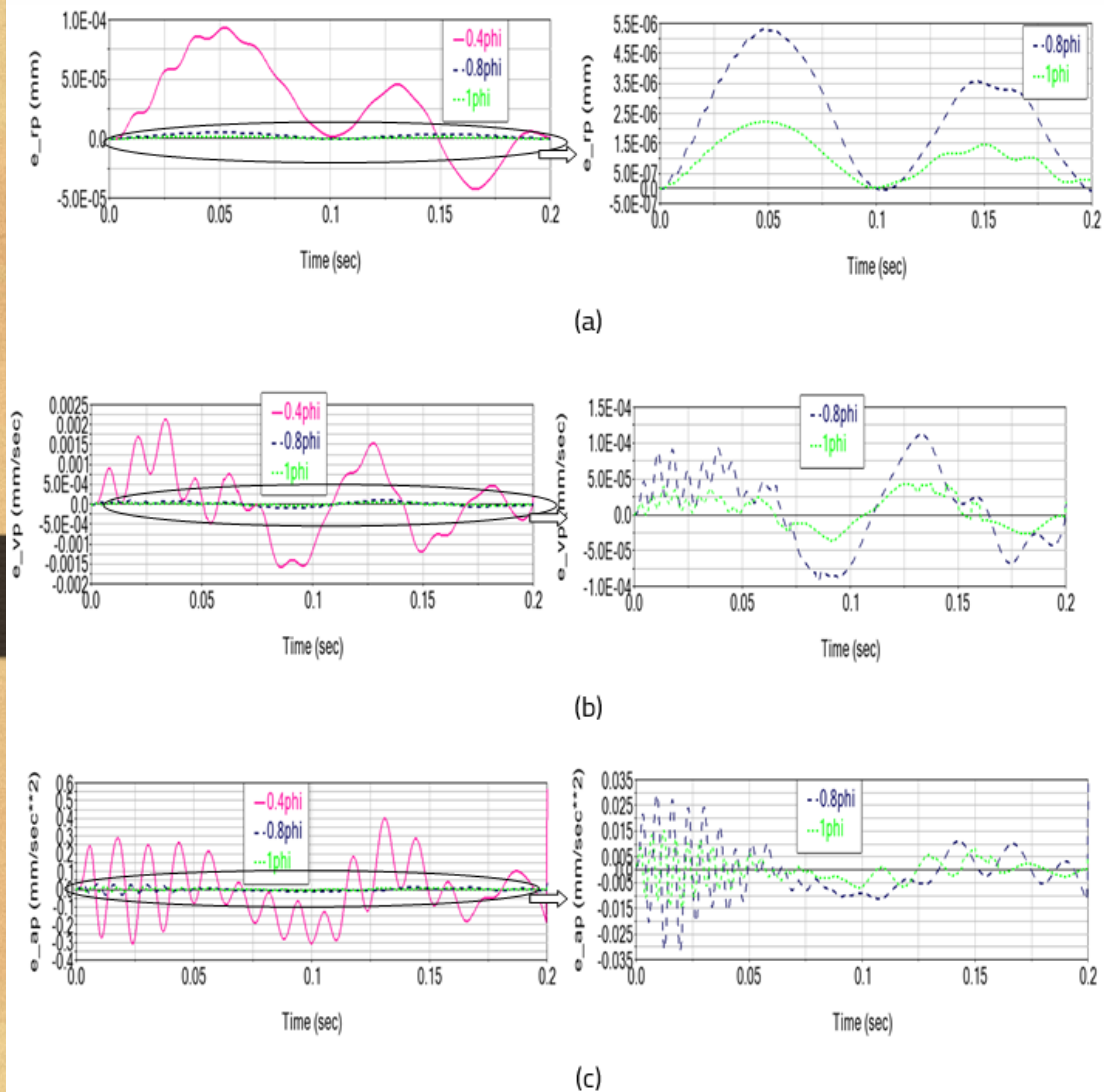


Fig. 4.17. Eroarea mișcărilor end-efectorului în cazul diametrelor barelor elastice de 0,4Φ, 0,8Φ și 1Φ pentru: (a) deplasare; (b) viteză; (c) accelerație a punctului caracteristic P.

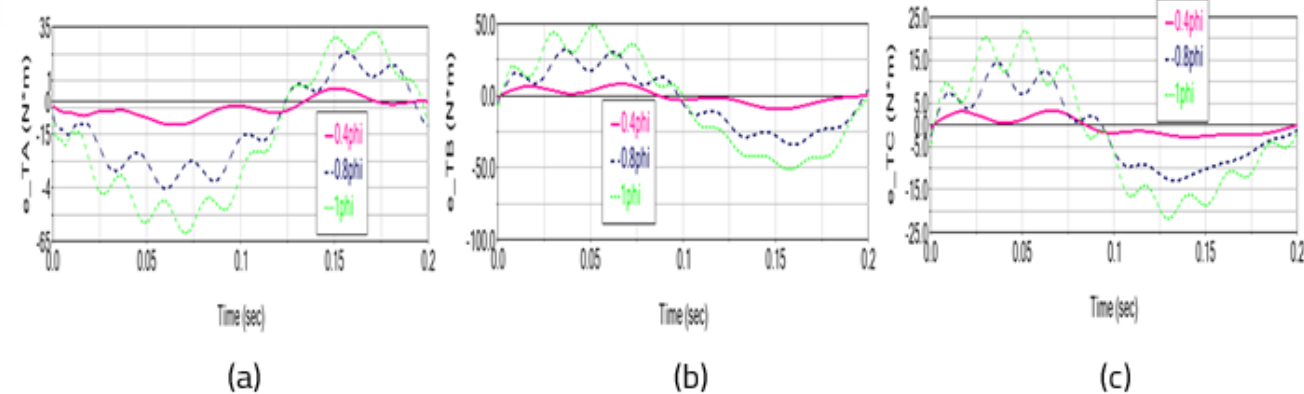


Fig. 4.18. Eroarea momentelor motoare în cazul diametrelor barelor elastice de 0,4Φ, 0,8Φ și 1Φ pentru: (a) brațul A; (b) brațul B; (c) brațul C.

- Din analiza comparativă prezentată a erorilor mișcărilor punctului caracteristic P (fig. 4.17), se poate observa că cel mai dezavantajos caz din punct de vedere cinematic este cel al celui mai mic diametru (**0,4Φ**- 4 mm).
- La nivel de erori ale momentelor motoare (fig. 4.18), datorită supleții structurii, valorile sunt mai mici atunci când avem diametre mai mici. iar din punctul de vedere al momentelor motoare, varianta optimă este cea a barelor cu diametrul de 1Φ (10 mm).

4.2. Analiza robotului cu elemente elastice și jocuri în cuplele sferice

- erorile cinematice și dinamice ale robotului paralel Delta cu elemente elastice pentru bare cu diametru de $0,4\phi$ și jocuri în cuplele sferice (0,2 mm, 0,4 mm și 0,6 mm)

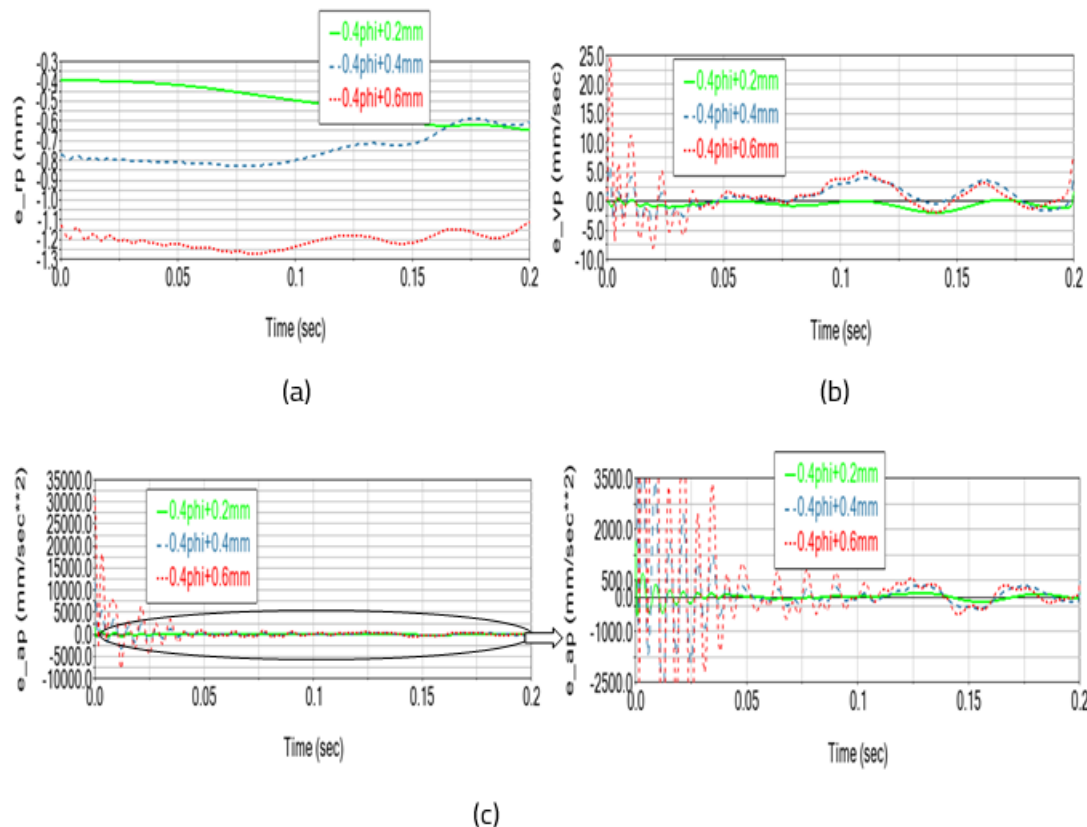


Fig. 4.44. Eroarea mișcărilor end-effectorului în cazul elasticității elementelor de $0,4\phi$ și a jocurilor în cuplele sferice pentru: (a) deplasare; (b) viteză; (c) accelerație.

- jocurile conduc la erori mai mari pe traiectorie, afectând poziția inițială a end-effectorului, iar apoi deviind cu până la 0,2 mm.
- eroarea vitezei punctului caracteristic P (fig. 4.44.b), conduce la o instabilitate a sistemului în prima parte a traiectoriei, când erorile sunt și de 5 ori mai mari în cazul jocurilor de 0,6 mm.
- erorile accelerației păstrează același trend ca și erorile vitezelor, cu diferența că în primele 0,04 s abaterile sunt mult mari pentru cazul cu jocuri de 0,6 mm.

În concluzie, din punct de vedere cinematic, se poate afirma faptul că jocurile de 0,6 mm sunt mult prea mari și conduc la instabilitatea sistemului în prima parte a traiectoriei.

4.2. Analiza robotului cu elemente elastice și jocuri în cuplele sferice

- *erorile cinematice și dinamice ale robotului paralel Delta cu elemente elastice pentru bare cu diametru de $0,4\Phi$ și jocuri în cuplele sferice (0,2 mm , 0,4 mm și 0,6 mm)*

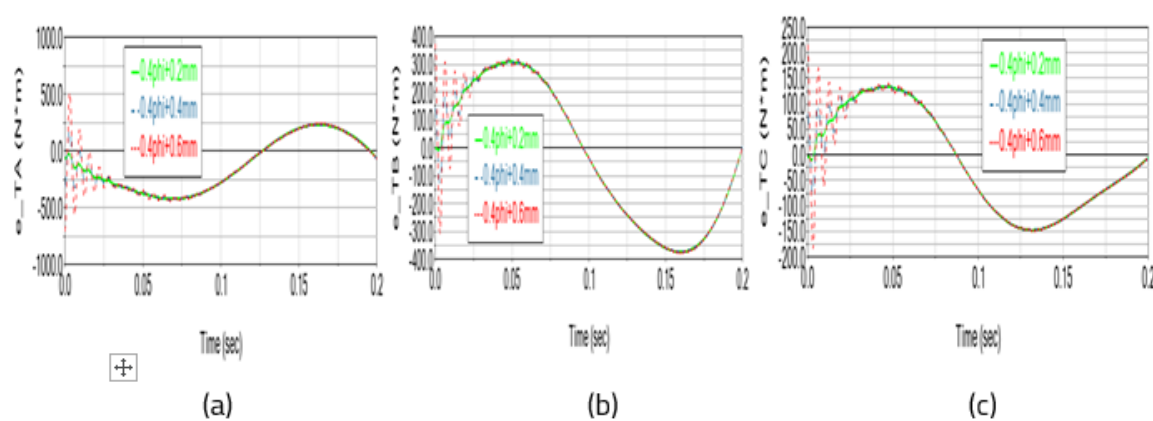


Fig. 4.45. Eroarea momentelor motoare în cazul elasticităților elementelor de $0,4\Phi$ și a jocurilor în cuplele sferice pentru: (a) brațul A; (b) brațul B; (c) brațul C.

Din punct de vedere al erorilor momentelor motoare (fig.4.45), pentru cel mai dezavantajos caz al elasticităților elementelor (cu diametrul barelor de $0,4\Phi$, adică cele mai subțiri), efectul jocurilor este aproximativ același, cu excepția primei părți a traiectoriei unde apar abateri din ce în ce mai mari odată cu creșterea jocului din cuplele sferice.

4.2. Analiza robotului cu elemente elastice și jocuri în cuplele sferice

- erorile cinematice și dinamice ale robotului paralel Delta cu elemente elastice pentru bare cu diametru de $0,8\phi$ și jocuri în cuplele sferice (0,2 mm, 0,4 mm și 0,6 mm)

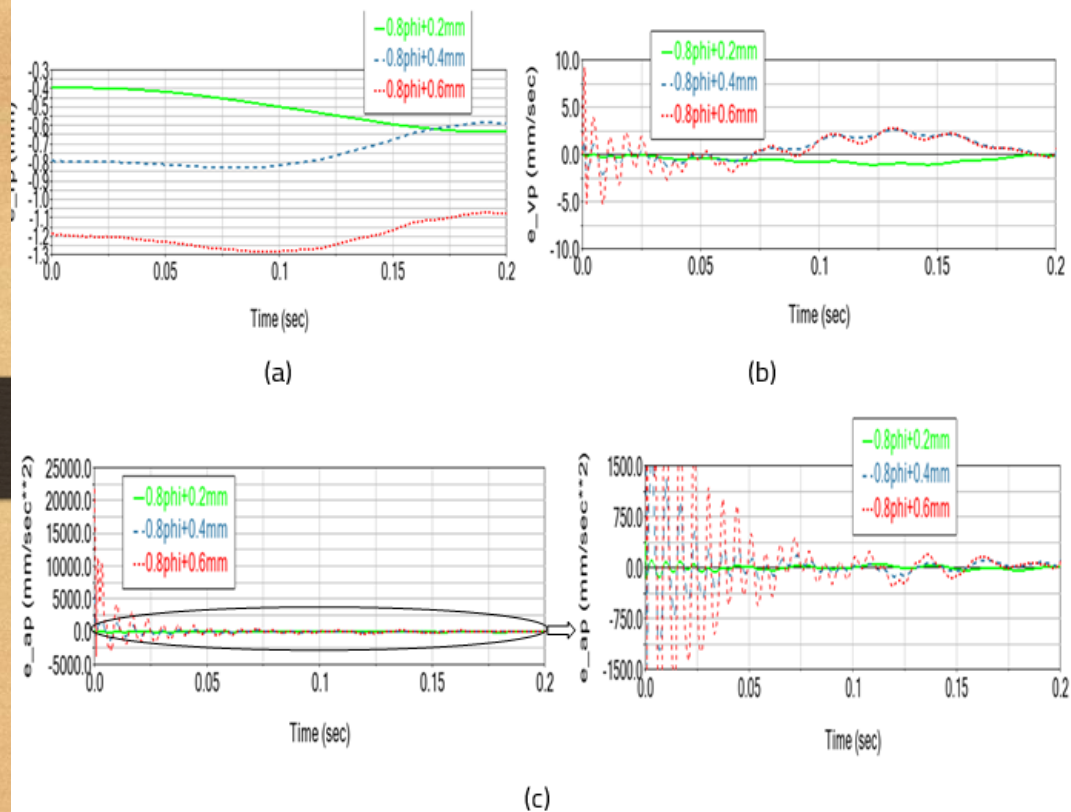


Fig. 4.70. Eroarea mișcărilor end-efectorului în cazul elasticităților elementelor de $0,8\phi$ și a jocurilor în cuplele sferice pentru: (a) deplasare; (b) viteză; (c) accelerație.

- Erorile deplasării pe traiectorie, cresc odată cu creșterea jocurilor (fig. 4.70.a).
- Erorile vitezelor pe traiectorie (fig. 4.70.b) cresc semnificativ atunci când se iau în considerare jocuri de 0,4 mm și 0,6 mm, când eroarea vitezei pe traiectorie nu crește decât în partea de început a traiectoriei (până se stabilizează sistemul).
- Erorile accelerațiilor pe traiectorie (fig. 4.70.c) cresc foarte mult la începutul traiectoriei (până se ajunge la o stabilizare a sistemului), după care valorile sunt mai mici pentru cazul în care se iau în considerare jocuri de 0,2 mm ale jocurilor cuplelor sferice față de cele de 0,4 mm sau 0,6 mm.

4.2. Analiza robotului cu elemente elastice și jocuri în cuplele sferice

- erorile cinematice și dinamice ale robotului paralel Delta cu elemente elastice pentru bare cu diametru de $0,8\Phi$ și jocuri în cuplele sferice (0,2 mm , 0,4 mm și 0,6 mm)

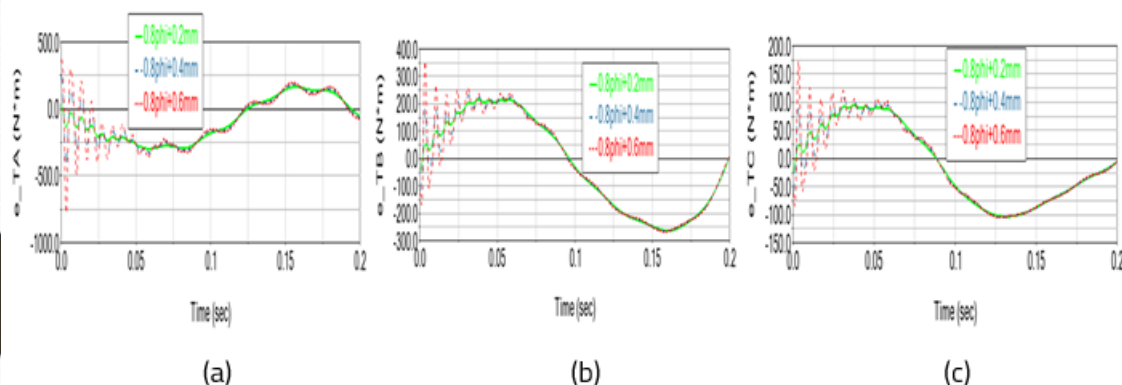


Fig. 4.71. Eroarea momentelor motoare în cazul elasticităților elementelor de $0,8\Phi$ și a jocurilor în cuplele sferice pentru: (a) brațul A; (b) brațul B; (c) brațul C.

Eroarea momentelor motoare (fig. 4.71) este aproape aceeași atunci când se iau în considerare cele 3 tipuri de valori ale jocurilor din cuplele sferice, cu excepția primelor 0,04 s, când abaterile cresc semnificativ odată cu creșterea jocurilor.

4.3. Concluzii

- Din punctul de vedere al *elasticităților* elementelor reiese că cea mai bună variantă este cea cu diametrul barelor de 1ϕ , deoarece rigiditatea mărită a elementelor duce la erori cinematice reduse și un comportament cinematic și dinamic mai bun. Reducerea diametrului nefiind o soluție viabilă în vederea obținerii unei soluții mai suple care ar putea lucra la viteze și accelerații mai mari decât soluția existentă.
- În urma analizei cu luarea în considerare a **jocurilor** din cuplele sferice reiese că:
 - Jocurile din cuplele sferice (superioare și inferioare) influențează comportamentul cinematic și dinamic al robotului paralel Delta;
 - Erorile cinematice cresc odată cu creșterea valorilor jocului din cuplele sferice, dar nu proporțional cu acestea;
 - Din punct de vedere dinamic, efectul jocurilor din cuplele sferice conduce la erori ale momentelor relativ reduse;
 - Cel mai dezavantajos caz este cel al jocurilor de **0,6 mm** în cuplele sferice.

Varianta optimizată din punct de vedere geometric a robotului paralel Delta include bare de diametre de 10 mm (1ϕ), iar jocurile permise din cuplele sferice pasive să nu depășească 0,4 mm (informații utile pentru modelul de comandă și control).

Vă mulțumesc!