

ANALIZA ȘI PROIECTAREA UNUI MECANISM PEDIPULATOR

**BOBE Luanda-Iana, DUMITRU Sorin,
GRECU Cristian, ILINA Silvia-Maria**

Conducători științifici: Ș.l.dr.ing. **Ileana DUGĂEȘESCU**, Ș.l.dr.ing. **Liviu UNGUREANU**

REZUMAT: Lucrarea conține considerații generale utilizate în modelarea structurală a mecanismelor plane, noțiuni fundamentale și un studiu asupra analizei și proiectarea unui mecanism pedipulator.

Obiectivele acestei lucrări sunt aprofundarea cunoștințelor teoretice și punerea în practică a acestora. La elaborarea acestei lucrări s-au avut în vedere următoarele obiective: realizarea unei lucrări colective în ceea ce privește documentarea și contribuțiile științifice; modul sintetic al prezentării diferitelor aspecte analizate.

CUVINTE CHEIE: Analiza structural-cinematică, proiectare, mecanism pedipulator

1 INTRODUCERE

Dezvoltarea și diversificarea mașinilor și mecanismelor cu aplicații în toate domeniile reclamă noi cercetări științifice pentru sistematizarea și perfecționarea sistemelor mecanice existente, prin crearea de noi mecanisme adaptate cerințelor moderne, ceea ce implică structuri topologice tot mai complexe. Importanța studiului mecanismelor constă în faptul că face trecerea spre cunoașterea construcției de mașini și utilaje din orice domeniu industrial, sintetizând și aplicând într-o concepție unitară cunoștințe de matematică, fizică, tehnologie, rezistența materialelor, organe de mașini, desen tehnic, protecția muncii și altele.

2 STADIUL ACTUAL

Mecanismele paralele reprezintă structura mecanică a roboților paraleli și sunt formate din două platforme: o platformă fixă și una mobilă, legătura dintre acestea fiind realizată prin lanțuri cinematice numite picioare.

Deși dezvoltarea sistemelor paralele este relativ recentă, primele soluții ale unor mecanisme paralele, cu diverse aplicații, datează încă din deceniul 3 al secolului trecut [2].

Astfel James E. Gwinnett a propus un patent pentru o platformă de agreement, acționată prin mai multe picioare, fiind probabil primul sistem paralel brevetat (1928). Evident că acest proiect de mecanism paralel, care se pare că nu a fost realizat practic, nu poate fi numit robot, deoarece nu era prevăzut cu un sistem de comandă și control. Primul brevet de robot paralel care a fost construit, a rezultat ca urmare a colaborării între Willard L. V. Pollard și fiul său Willard L. G. Pollard Jr. Este un robot cu 5 grade de mobilitate, destinat operației de vopsire. Patentul a fost publicat în anul 1942. În anul 1947, Dr Eric Gough (Anglia) a construit primul robot octaedral hexapod, destinat testării anvelopelor Dunlop, utilizate la trenurile de aterizare ale aparatelor de zbor. De menționat că, înainte de apariția acestui sistem, mai multe companii au construit un tip de hexapod cu trei picioare verticale și trei orizontale, cunoscut sub acronimul MAST (Multi-Axis Simulation Table). În anul 1960 Klaus Cappel (USA) a construit un sistem paralel hexapod propus ca simulator de zbor, având o structură asemănătoare cu cea a platformei Gough. Dar cel mai mare impact asupra dezvoltării roboților paraleli, o are o lucrare a lui D. Stewart (1965), apărută în volumele IMechE (Institution of Mechanical Engineers, Anglia), în care este descrisă o platformă cu 6 grade de mobilitate, utilizată ca simulator de zbor. Meritul acestuia constă în faptul că a sugerat o serie de aplicații ale sistemelor paralele, care au fost confirmate de dezvoltarea ulterioară a acestui domeniu.

¹ Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: bobe.luanda@yahoo.com;

² Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

³ Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

⁴ Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

2.1 Noțiuni generale

Mecanismul este un sistem mecanic sau hibrid care are ca scop realizarea unei anumite mișcări pentru elementul de execuție.

Elementul cinematic (1,2,3) este un ansamblu de corpuri rigidizate caracterizate printr-o anumită mișcare.

Cupla cinematică (A,B,C,D) este legătura permanentă directă și mobilă dintre două elemente cinematice.

Lanțul cinematic este un ansamblu de elemente cinematice legate între ele prin cuple cinematice. Acestea pot fi plane/spațiale sau închise/deschise.

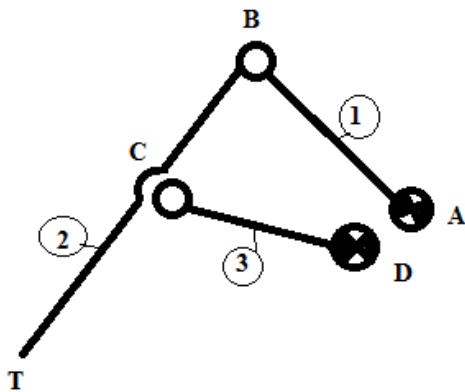


Fig.1. Mecanism plan-picior cu secvența fixă

2.2 Elemente de analiză și sisteme structurale ale mecanismelor plane

2.2.1 Noțiuni elementare

Schema cinematică reprezintă desenul la scală într-o anumită poziție și care are în vedere dimensiunile elementelor cinematice și natura cuplelor (Rotatie/Translatie).

Pe baza schemei cinematice se realizează **modelul structural**. Acesta este o reprezentare simbolică independentă de poziția mecanismului și de dimensiunile elementelor și care are în vedere exclusiv clasa elementelor și natura cuplelor cinematice din sistem.

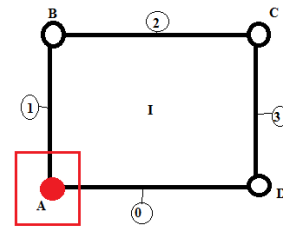


Fig.2. Modelul structural pentru schema din Fig.1.

Orice mecanism are un element fix sau considerat fix și mișcări bine determinate ale tuturor elementelor cinematice.

Mecanismul este caracterizat prin:

- **Gradul de mobilitate (M)** reprezintă numărul gradelor de libertate ale sistemului în raport cu elementul fix.

$$M = 3 \cdot m - 2 \cdot i - s \quad (1)$$

m = numărul elementelor mobile;
 i = numărul cuplelor inferioare;
 s = numărul cuplelor superioare.
- Numarul de contururi independente (N)

$$N = C - n + 1 = C - m$$

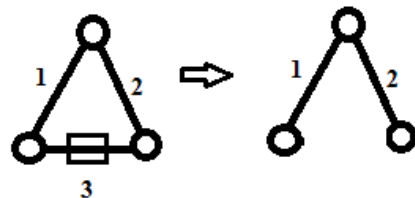
2.2.2 Principiul fundamental de formare al mecanismelor

Orice mecanism plan poate fi format din conexiunea unor grupe modulare active și pasive.

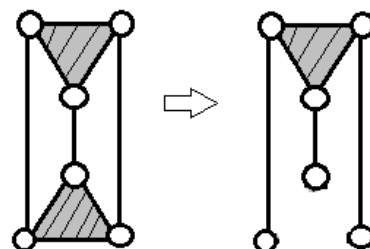
1. Grupa modulară pasivă

Reprezintă lanțul cinematic fundamental plan, deschis, nedecompozabil cu grad de mobilitate nul.

a) $M=0, N=1$ - diade



b) $M=0, N=2$ - triade

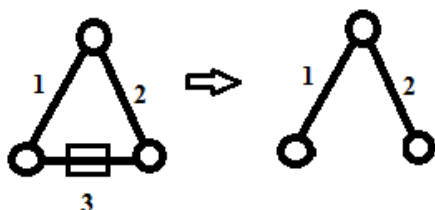


O grupă modulară pasivă se obține prin eliminarea dintr-un lanț cinematic fundamental plan a unui element. Cuplele acestuia devin cuple potențiale sau de legătură ale grupei structurale cu alte sisteme. Pentru a putea transmite mișcarea este necesar și suficient ca nu toate cuplele să fie legate la același element.

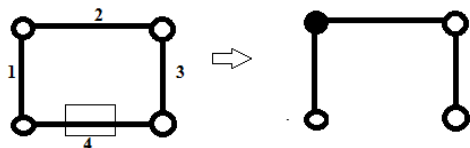
2. Grupa modulară activă

Reprezintă lanțuri cinematice fundamentale plane, deschise nedecompozabile caracterizate printr-un anumit grad de mobilitate.

a) $M=1, N=0$



b) $M=1, N=1$



2.2.3 Analiza cinematică a mecanismelor plane

Cinematica mecanismelor are ca obiect de studiu determinarea pozițiilor, vitezelor și accelerațiilor elementelor conduse fără a ține seama de forțele care le condiționează mișcarea. În toate cazurile se consideră cunoscută mișcarea elementului sau elementelor conducătoare. Având în vedere faptul că mecanismele se pot descompune în grupe structurale, analiza cinematică se reduce la studiul acestor grupe în scopul determinării:

- pozițiilor mecanismului pentru poziții date ale elementelor conducătoare;
- traiectoriilor unor puncte de pe mecanism pentru întregul ciclu;
- vitezelor și accelerațiilor unor puncte de pe mecanism;
- vitezelor și accelerațiilor unghiulare ale elementelor conduse;

O altă ipoteză fundamentală a analizei cinematice a mecanismelor se referă la faptul că elementele și zonele de contact ale cuplelor cinematice se consideră având rigiditate infinită, ele păstrându-și nemodificate formele și dimensiunile, independent de intensitatea

forțelor generalizate, care le solicit în timpul mișcării. În timpul funcționării mecanismelor, elementele se mișcă periodic; adică la un număr de rotații complete ale elementului conducător, elementele conduse execută aceleași mișcări ca și în perioada precedentă.

Pentru studiul cinematic al mecanismelor este suficient a se studia mișcarea elementelor și punctelor respective pentru o singură perioadă. În acest scop se studiază mișcarea mecanismului pentru un număr cât mai mare de poziții ale elementului conducător. Analiza cinematică a unui mecanism se poate efectua grafic, grafo - analitic sau analitic. Datorită simplității lor, primele două metode au o utilizare mai largă

3 STUDIU DE CAZ

În figura 3 este prezentată schema cinematică a unui pedipulator monomobil, care este utilizat în construcția unor roboți pășitori

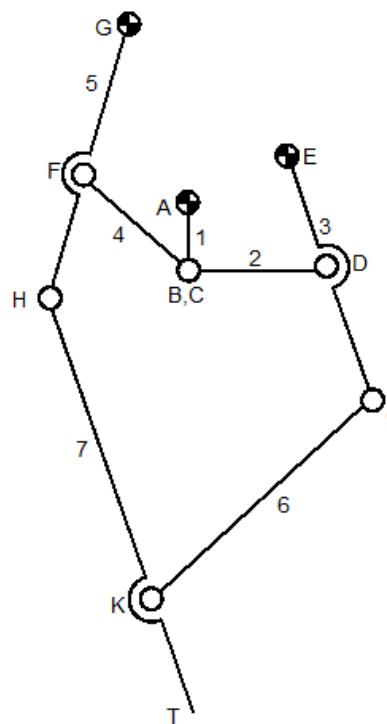


Fig.3. Schema cinematică a mecanismului

Gradul de mobilitate (M) pentru mecanismele plane se calculează cu formula (Manolescu N.I., 1973)

$$M_3 = 3 \cdot n - 2 \cdot i - s$$

$$M = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 - 0 = 1$$

În acest caz gradul de mobilitate este $M = 1$, ceea ce reprezintă că mecanismul are un singur grad de mobilitate, adică un singur element conducător.

Numărul contururilor independente (N) este:

$$N = 10 - 7 = 3$$

3.1 Analiza structurală a mecanismului pedipulator

Acest sistem are în structura sa șapte elemente mobile ($m = 7$) și zece cuple inferioare ($i = 10$) după cum urmează:

A(0,1)R	B(1,4)R	C(1,2)R
D(3,2)R	E(0,3)R	F(4,5)R
G(0,5)R	H(5,7)R	J(3,4)R
K(6,7)R		

Pe baza schemei cinematice din figura 3 se stabilește modelul structural (figura 4).

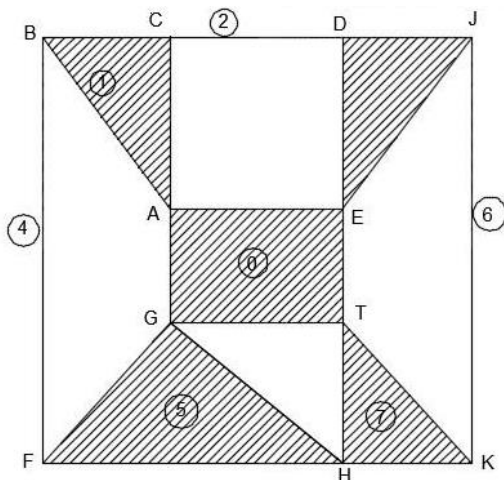


Fig.4. Modelul structural corespunzător schemei cinematice din fig. 3

Utilizând modelul structural din figura 4 se stabilește conexiunea grupelor modulare ce este prezentată în figura 5.

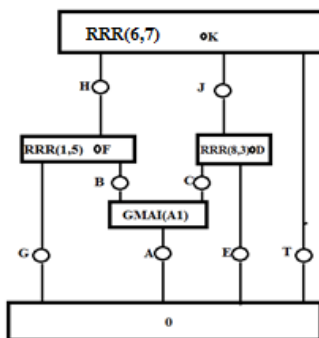


Fig. 5. Schema de conexiuni

3.2 Analiza cinematică a mecanismului pedipulator

Analiza cinematică are ca scop determinarea pozițiilor, traiectoriilor, vitezelor și accelerațiilor liniare și unghiulare ale unor puncte caracteristice, respectiv ale elementelor mecanismului, în perioada unui ciclu geometric al mișcării, când se cunoaște atât structura și geometria mecanismului, cât și mișcarea elementului conducător (poziția, viteza și accelerația elementului conducător), fără însă a se lua în considerare forțele care provoacă mișcarea. Ciclul geometric al mișcării unui mecanism reprezintă perioada minimă de timp după care elementele mecanismului ajung în aceleași poziții. Pentru calculul cinematic există metode: grafice, grafo-analitice, analitice și numerice.

Parametrii poziționali cinematici ai elementelor cinematice pentru legi de mișcare date ale elementului de execuție și respectiv ai platformei se pot obține cu ajutorul modelului structural invers. Grupele modulare pasive implicate sunt redată în figura anterioară, unde se menționează totodată parametrii poziționali dependenți.

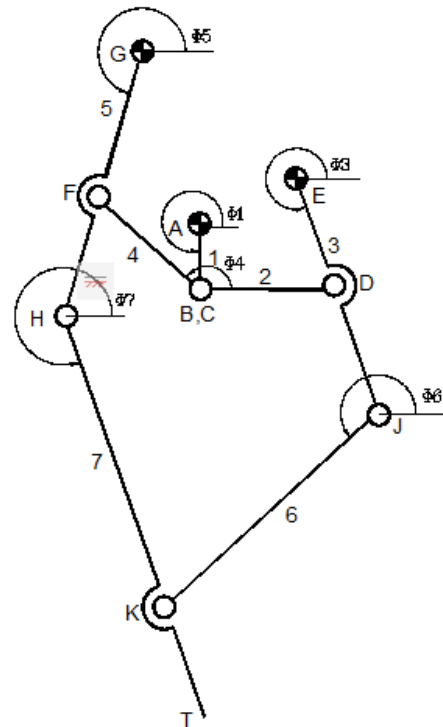


Fig.6. Schema cinematică a mecanismului

3.2.1. Grupa modulară activă

Grupa modulară activă este compusă din elementul cinematic AB și cupla A (figura 7).

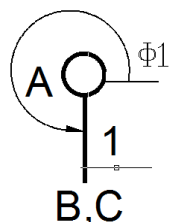


Fig. 7. Grupa modulară activă inițială

$$\begin{aligned} X_{B_k} &:= X_A + AB \cdot \cos(\phi_{1k}) \\ Y_{B_k} &:= Y_A + AB \cdot \sin(\phi_{1k}) \end{aligned} \quad (2)$$

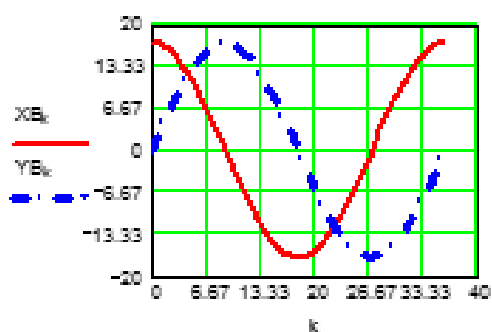


Fig. 8. Traectoria punctului B

3.2.2 Grupa modulară pasivă RRR(2,3)

Diada formată din elementele cinematice 2 și 3 este prezentată în figura 9.

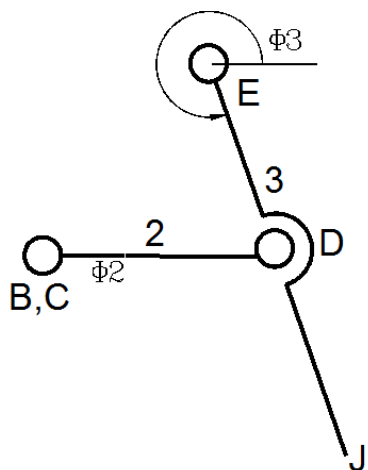


Fig. 9. Diada RRR(2,3)

- Determinarea parametrilor poziționali

$$\begin{aligned} X_{B_k} - X_E + BD \cdot \cos(\phi_2) - ED \cdot \cos(\phi_3) &= 0 \\ Y_{B_k} - Y_E + BD \cdot \sin(\phi_2) - ED \cdot \sin(\phi_3) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

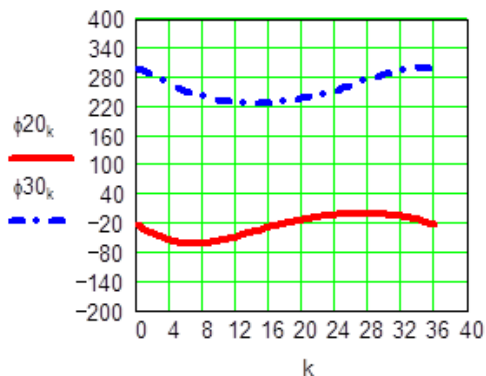


Fig. 10. Variația parametrilor F_2 și F_3

- Determinarea parametrilor de viteze

$$A_k := \begin{bmatrix} -BD \cdot \sin(\phi_{2k}) & ED \cdot \sin(\phi_{3k}) \\ BD \cdot \cos(\phi_{2k}) & -ED \cdot \cos(\phi_{3k}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$C_k := \begin{bmatrix} -(X_{1B_k} - 0) \\ -(Y_{1B_k} - 0) \end{bmatrix}$$

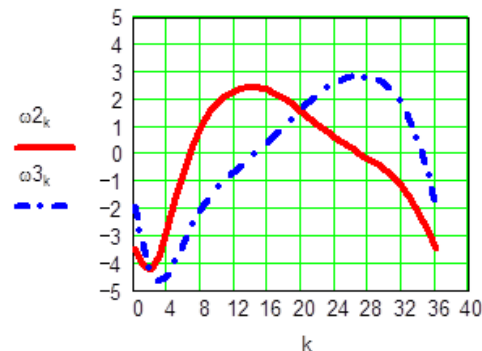


Fig. 11. Variația parametrilor de viteze dependenți

- Determinarea parametrilor de accelerații

$$D_k := \begin{bmatrix} -[X_{2B_k} - 0 - BD \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \cos(\phi_{2k}) + ED \cdot (\omega_{3k})^2 \cdot \cos(\phi_{3k})] \\ -[Y_{2B_k} - 0 - BD \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \sin(\phi_{2k}) + ED \cdot (\omega_{3k})^2 \cdot \sin(\phi_{3k})] \end{bmatrix} \quad (5)$$

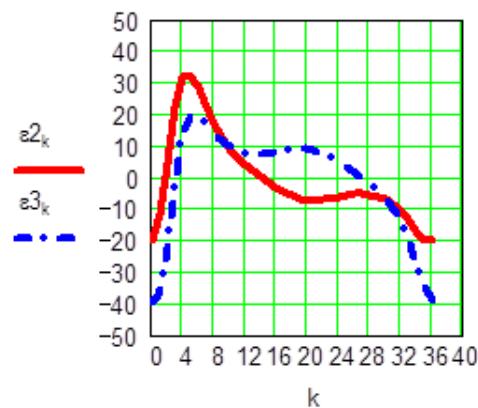


Fig. 12. Variația parametrilor de accelerații dependenți

3.2.3. Parametrii cuplei D

- Determinarea parametrilor poziționali

$$\begin{aligned} XD_k &:= XE + ED \cdot \cos(\phi_{3k}) \\ YD_k &:= YE + ED \cdot \sin(\phi_{3k}) \end{aligned} \quad (6)$$

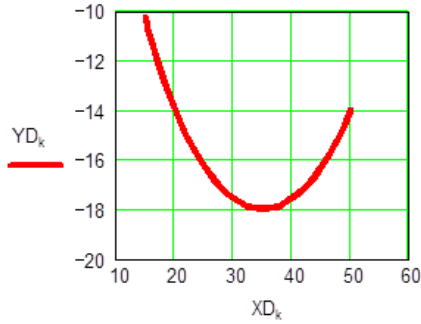


Fig. 13. Traiectoria punctului D

3.2.4 Grupa modulară pasivă RRR(4,5)

Diada formată din elementele cinematice 4 și 5 este prezentată în figura 14.

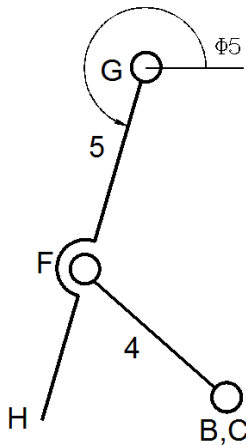


Fig. 14. Diada RRR(4,5)

- Determinarea parametrilor poziționali

$$\begin{aligned} XB_k - XG + BF \cdot \cos(\phi_4) - GF \cdot \cos(\phi_5) &= 0 \\ YB_k - YG + BF \cdot \sin(\phi_4) - GF \cdot \sin(\phi_5) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

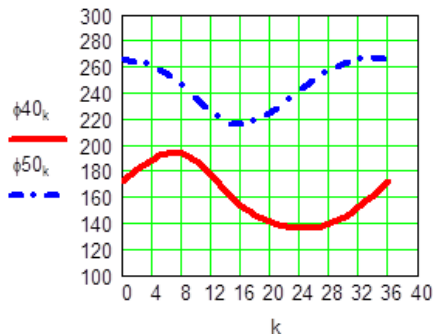


Fig. 15. Variația parametrilor F_{40} și F_{50}

- Determinarea parametrilor de viteze

$$\begin{aligned} A_k &:= \begin{bmatrix} -BF \cdot \sin(\phi_{4k}) & GF \cdot \sin(\phi_{5k}) \\ BF \cdot \cos(\phi_{4k}) & -GF \cdot \cos(\phi_{5k}) \end{bmatrix} \\ C_k &:= \begin{bmatrix} -(X1B_k - 0) \\ -(Y1B_k - 0) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

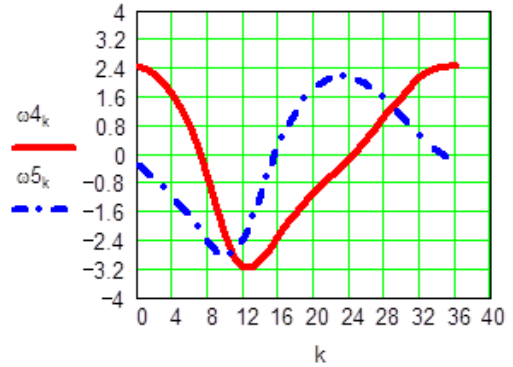


Fig. 16. Variația parametrilor de viteze dependenți

- Determinarea parametrilor de accelerații

$$D_k := \begin{bmatrix} -[X2B_k - 0 - BF \cdot (\omega_{4k})^2 \cdot \cos(\phi_{4k}) + GF \cdot (\omega_{5k})^2 \cdot \cos(\phi_{5k})] \\ -[Y2B_k - 0 - BF \cdot (\omega_{4k})^2 \cdot \sin(\phi_{4k}) + GF \cdot (\omega_{5k})^2 \cdot \sin(\phi_{5k})] \end{bmatrix} \quad (9)$$

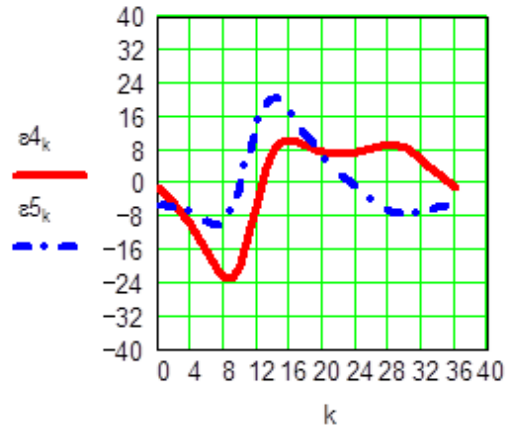


Fig. 17. Variația parametrilor de accelerații dependenți

3.2.5. Parametrii cuplei H

- Determinarea parametrilor poziționali

$$\begin{aligned} XH_k &:= XG + GH \cdot \cos(\phi_{5k}) \\ YH_k &:= YG + GH \cdot \sin(\phi_{5k}) \end{aligned} \quad (10)$$

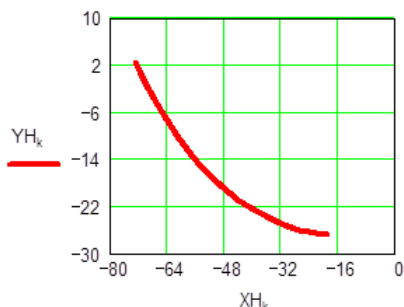


Fig. 18. Traectoria punctului H

3.2.6. Parametrii cuplei J

$$\begin{aligned} XJ_k &:= XE + EJ \cdot \cos(\phi_{3k}) \\ YJ_k &:= YE + EJ \cdot \sin(\phi_{3k}) \end{aligned} \quad (11)$$

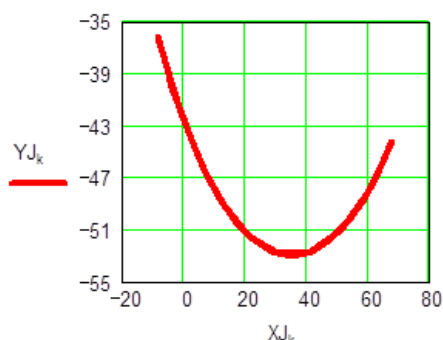


Fig. 19. Traectoria punctului J

3.2.7 Grupa modulară pasivă RRR(6,7)

Diada formată din elementele cinematice 6 și 7 este prezentată în figura 20.

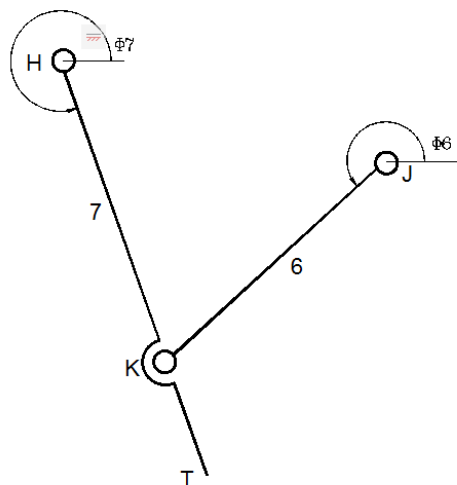


Fig. 20. Diada RRR(6,7)

- Determinarea parametrilor poziționali

$$\begin{aligned} XJ_k - XH_k + JK \cdot \cos(\phi_6) - HK \cdot \cos(\phi_7) &= 0 \\ YJ_k - YH_k + JK \cdot \sin(\phi_6) - HK \cdot \sin(\phi_7) &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

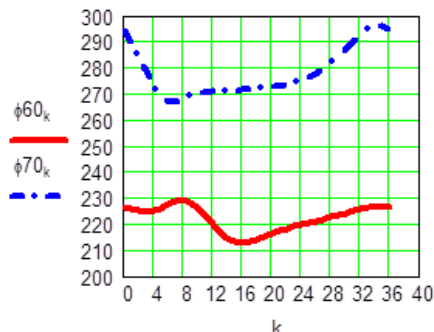


Fig. 21. Variația parametrilor F_{60} și F_{70}

- Determinarea parametrilor de viteze

$$\begin{aligned} A_k &:= \begin{bmatrix} -JK \cdot \sin(\phi_{6k}) & HK \cdot \sin(\phi_{7k}) \\ JK \cdot \cos(\phi_{6k}) & -HK \cdot \cos(\phi_{7k}) \end{bmatrix} \\ C_k &:= \begin{bmatrix} -(X1J_k - X1H_k) \\ -(Y1J_k - Y1H_k) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (13)$$

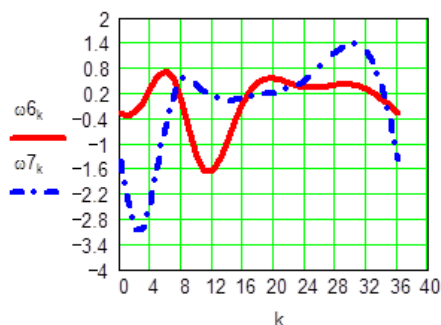


Fig. 22. Variația parametrilor de viteze dependenți

- Determinarea parametrilor de accelerații

$$D_k := \begin{bmatrix} -[X2J_k - X2H_k - JK \cdot (\omega_{6k})^2 \cdot \cos(\phi_{6k}) + HK \cdot (\omega_{7k})^2 \cdot \cos(\phi_{7k})] \\ -[Y2J_k - Y2H_k - JK \cdot (\omega_{6k})^2 \cdot \sin(\phi_{6k}) + HK \cdot (\omega_{7k})^2 \cdot \sin(\phi_{7k})] \end{bmatrix} \quad (14)$$

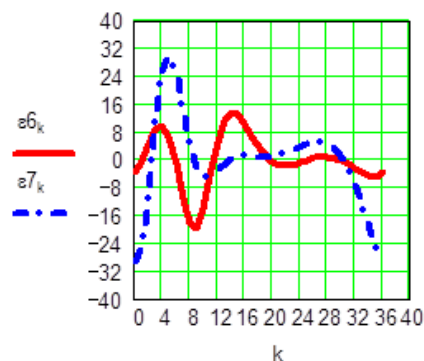


Fig. 23. Variația parametrilor de accelerații dependenți

3.2.8. Parametrii cuplei T

$$\begin{aligned} X_{T_k} &:= X_{H_k} + HT \cdot \cos(\phi_{7k}) \\ Y_{T_k} &:= Y_{H_k} + HT \cdot \sin(\phi_{7k}) \end{aligned} \quad (15)$$

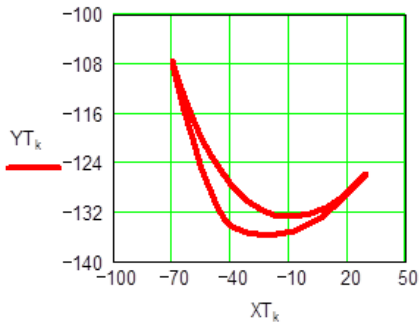


Fig. 24. Traiectoria punctului T

3.3 Proiectarea mecanismului pedipulator

Sistemele integrate CAD/CAM/CAE/PDM reprezintă instrumente de lucru eficiente în activitățile de proiectare în diverse domenii, cu ajutorul cărora se poate realiza unele produse performante.

Pentru a se realiza mecanismului pedipulator s-a avut în vedere executarea fiecărui element cinematic în parte. Acest mecanism are în componența sa șapte elemente cinematice mobile.

Elementul cinematic 6 – biela	
Elementul cinematic 7	
Bolt1	
Bolt2	

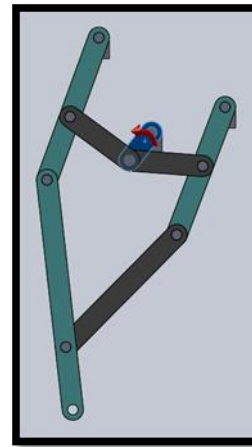


Fig.25. Mecanismul pedipulator – s-a pus în evidență elementul conducător (manivela AB)

Elementul fix	
Elementul cinematic 1 – manivela	
Elementul cinematic 2 – biela	
Elementul cinematic 3 – balansier	
Elementul cinematic 4 – biela	
Elementul cinematic 5 – balansier	

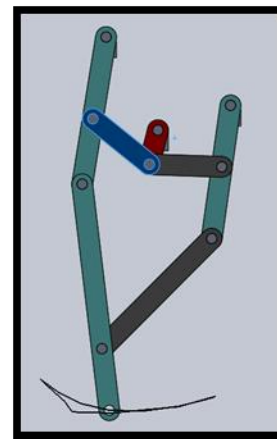


Fig.26. Mecanismul pedipulator – Traiectoria descrisă de extremitatea pedipulatorului

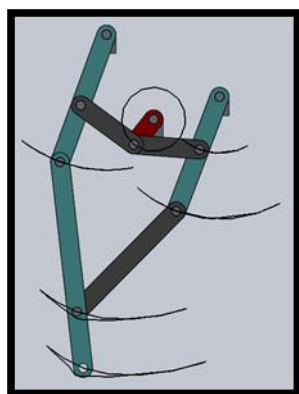


Fig.27. Mecanismul pedipulator

3.4 Realizarea efectivă a mecanismului pedipulator



Fig.28. Decuparea materialului



Fig.29. Elemente cinematice



Fig.30. Elemente cinematice



Fig.31. Mecanismul pedipulator final

4 CONCLUZII

Mecanismul pedipulator bimobil are capacitatea de a atinge cu extremitatea nloctorului orice punct dintr-un domeniu plan determinat.

Pedipulatorul este o componentă a unui mecanism care oferă acestuia capacitatea de a se deplasa.

5 MULȚUMIRI

Le multumim îndrumătorilor pentru implicarea și susținerea ce ne-au oferit-o pe tot parcursul cercetării.

Ș.l.dr.ing. Ileana Dugăeșescu,

Ș.l.dr.ing. Liviu Ungureanu

6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Comănescu, Adr., Comanescu, D., Dugăeșescu I., Boureci, A., *Bazele modelării mecanismelor*, Editura Politehnica Press, București, 2010;
- [2]. Comănescu, Adr., Grecu, B., Terme, D., *Mecanisme – modele structurale și cinematice*, Edit.Bren, București, 2001, ISBN 973-8154-36-5
- [3]. Tempea, I., Dugaesescu, I., Neacsu, M., *Mecanisme*, Ed. Printech, 2006, ISBN (10) 973-718-560-9

8. NOTATII

P.D.P=parametrii dependenti de pozitie;

P.D.A=parametrii dependenti de acceleratie;

P.D.V=parametrii depedenti de viteza.