

MODELAREA ȘI SIMULAREA UNUI PEDIPULATOR MONOMOBIL

BUCĂ Lavinia¹, GRĂJDAN Ioana², TUDOROIU Florina-Simona³
și ZAMFIR Andreea Denisa⁴

Conducător științific: Șl.dr.ing. Ileana DUGĂEȘESCU

REZUMAT: În lucrare se prezintă noțiuni teoretice referitoare la analiza structural - cinematică a unui sistem mecanic monomobil. Pentru acesta s-au determinat gradul de mobilitate, s-au elaborat modelul structural și schema de conexiuni. Din punct de vedere structural mecanismul studiat este alcătuit din o grupă modulară activă (GMAI) și o grupă modulară pasivă de tip diadă. Analiza cinematică are în vedere calculul parametrilor dependenți de poziții, viteze și accelerații ai grupelor modulare. În această lucrare se prezintă analiza structural – cinematică și modelarea unui pedipulator monomobil. De asemenea sunt prezentate traiectoriile descrise de extremitățile end-effectorilor. La finalul lucrării este prezentat pedipulatorul realizat practic.

CUVINTE CHEIE: analiză structurală, analiza cinematică, traiectorii, pedipulator

1 ISTORIC

Pedipulatoarele sunt sisteme mecanice utilizate pentru susținerea și deplasarea platformelor mobile. Mecanismul reprezintă un sistem mecanic sau hibrid destinat realizării unei anumite miscări bine determinate a elementului de execuție.

Peste 40 de mecanisme diferite au fost inventate și construite de Pafnuti Lvovici Cebîșev. Acesta a fost unul dintre cei mai mari matematicieni ruși, întreaga sa activitate constând dintr-o permanentă îmbinare a teoriei cu practica. Mecanismele sale au fost prezentate în circa 80 de variante, cum ar fi mașina de sortat, mașina prășitoare, mecanism de vâslire, etc.

2 NOȚIUNI GENERALE

Lanțul cinematic este un ansamblu de elemente cinematice legate între ele prin cuple cinematice. Acestea pot fi plane/spațiale sau închise/deschise. Elementul cinematic este un ansamblu de corpuri rigidizate caracterizate printr-o anumită mișcare.

¹ Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: ioanagrajdan@gmail.com;

² Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

³ Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

⁴ Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

Cupla cinematică este legătura permanentă directă și mobilă dintre două elemente cinematice.

Mecanismul este caracterizat prin *gradul de mobilitate* (M) ce reprezintă numărul gradelor de libertate ale sistemului în raport cu elementul fix și *numărul de contururi independente* (N).

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

$$N = \sum c - m = i + s - m \quad (2)$$

- m reprezintă numărul elementelor cinematice mobile;
- i reprezintă numărul cuplelor inferioare, iar s numărul cuplelor superioare.

Prin efectuarea analizei structurale se vor pune în evidență elementele și cuplele cinematice și se vor elabora modelul structural și schema de conexiuni.

Prin efectuarea analizei cinematice se vor calcula parametrii dependenți de poziții (X, Y), viteze ($X1, Y1$) și accelerații ($X2, Y2$).

3 STUDIU DE CAZ

Schema cinematică a pedipulatorului monomobil analizat se regăsește în figura 1. Acesta are în componența sa trei elemente cinematice mobile și patru cuple inferioare.

Gradul de mobilitate este unitar ($M = 1$), adică sistemul studiat are o singură grupă modulară activă inițială.

Elementele cinematice sunt notate cu cifre arabe (1 – 3), iar cuplele cinematice cu litere (A – D).

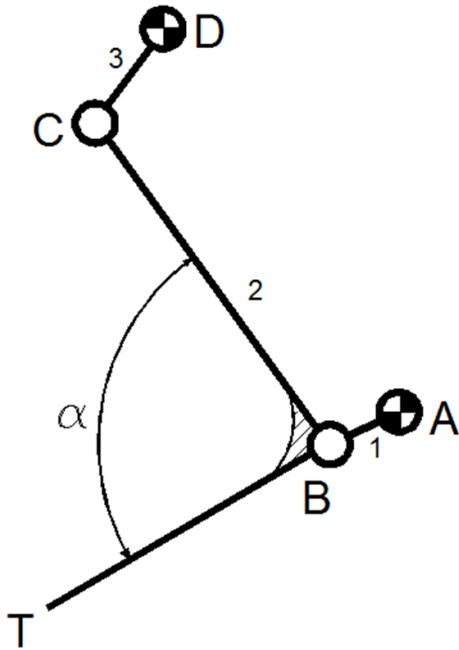


Fig.1. Schema cinematică

În figura alăturată este prezentată schema cinematică a pedipulatorului în două poziții ale manivelei AB.

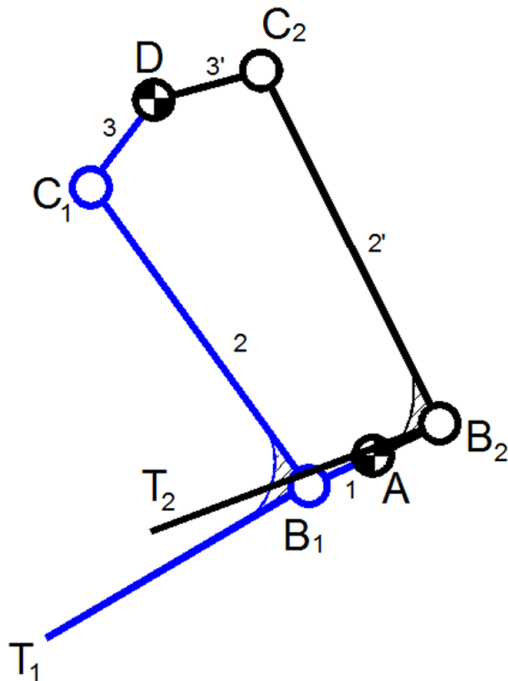


Fig.2. Schema cinematică pentru două poziții ale manivelei 1

3.1 ANALIZA STRUCTURALĂ A MECANISMULUI PEDIPULATOR

Analiza structurală presupune rezolvarea schemei cinematice, a modelului structural, precum și indicarea lanțului din care provine modelul structural.

Modelul structural este o reprezentare simbolică, independentă de poziția și dimensiunile elementelor cinematice, și în care cuplele de translație sunt figurate analog cuplelor de rotație.

În figura 3 este prezentat modelul structural corespunzător schemei cinematice din figura 1.

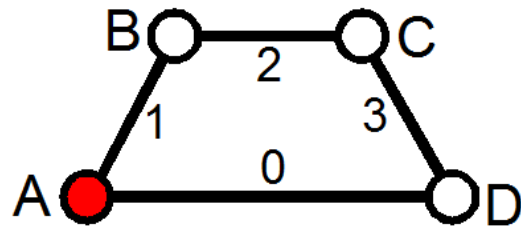


Fig.3. Modelul structural

Se poate observa că modelul structural este alcătuit din grupa modulară activă formată din cupla A și manivela 1, și o grupă modulară pasivă formată din elementele cinematice BC și DC.

Prin intermediul modelului structural din figura 3 se stabilește conexiunea grupelor modulare prezentată în figura 4.

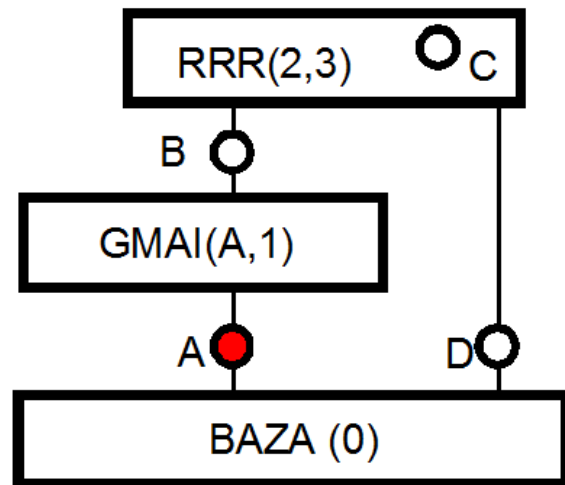


Fig.4. Schema de conexiuni

3.2 ANALIZA CINEMATICĂ A PEDIPULATORULUI I

Analiza cinematică a mecanismelor are ca scop studiarea mișcării elementelor cinemactice sau a unor puncte de pe ele, care pot fi chiar cuplele cinemactice.

Analiza cinematică are ca scop determinarea pozițiilor, vitezelor și accelerațiilor liniare și unghiulare ale unor puncte caracteristice, respectiv ale elementelor pedipulatorului.

În figura 5 este prezentată schema cinematică în care s-au evidențiat parametrii de poziții.

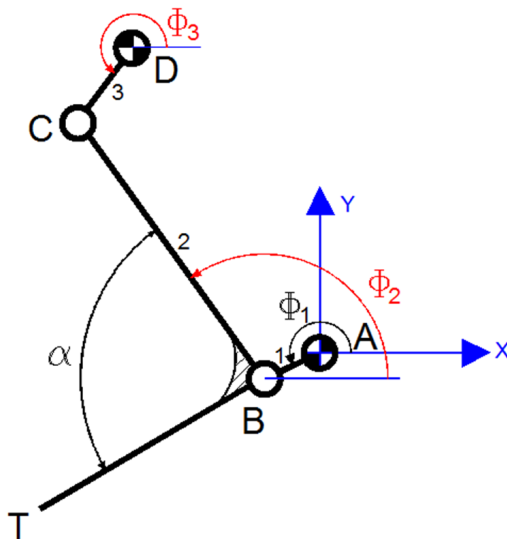


Fig.5. Schema cinematică-punerea în evidență a parametrilor de poziții

3.2.1. Grupa modulară activă

În figura 6 este prezentată grupa modulară activă formată din elementul cinematic 1 și cupla activă A.

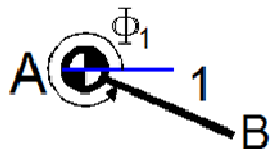


Fig. 6. GMAI (A,1)

În continuare se vor scrie ecuațiile pentru calculul parametrilor dependenți de poziții (X,Y), viteze (X1,Y1) și accelerații (X2,Y2) pentru punctul B, care aparține manivelei AB.

Parametrii punctului B

Pozitii

$$\begin{aligned} X_{B_k} &:= X_A + AB \cdot \cos(\phi_{1_k}) \\ Y_{B_k} &:= Y_A + AB \cdot \sin(\phi_{1_k}) \end{aligned} \quad (3)$$

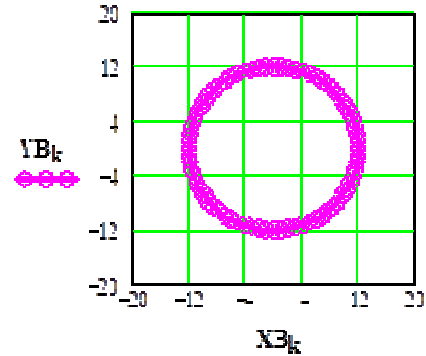


Fig. 7. Traectoria descrisă de punctul B

Viteze

$$\begin{aligned} X_{1B_k} &:= X_{1A} - AB \cdot \omega_1 \cdot \sin(\phi_{1_k}) \\ Y_{1B_k} &:= Y_{1A} + AB \cdot \omega_1 \cdot \cos(\phi_{1_k}) \end{aligned} \quad (4)$$

Accelerații

$$\begin{aligned} X_{2B_k} &:= X_{2A} - AB \cdot \varepsilon_1 \cdot \sin(\phi_{1_k}) - AB \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\phi_{1_k}) \\ Y_{2B_k} &:= Y_{2A} + AB \cdot \varepsilon_1 \cdot \cos(\phi_{1_k}) - AB \cdot \omega_1^2 \cdot \sin(\phi_{1_k}) \end{aligned} \quad (5)$$

3.2.2. Diada RRR(2,3)

În figura 8 este prezentată grupa modulară pasivă tip diadă formată din elementele cinemactice BC și DC.

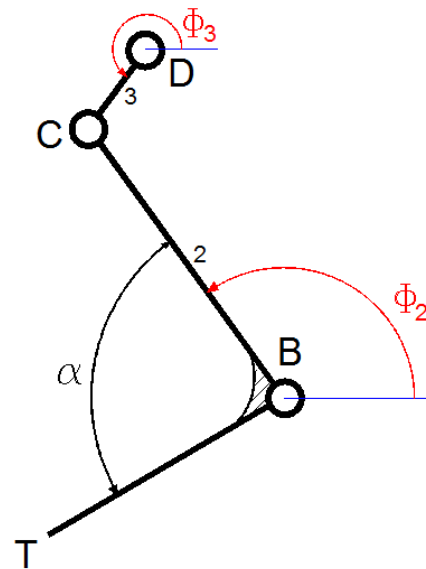


Fig. 8. Diada RRR (2,3)

Pozitii

$$\begin{aligned} X_{B_k} - X_D + BC \cdot \cos(\phi_2) - DC \cdot \cos(\phi_3) &= 0 \\ Y_{B_k} - Y_D + BC \cdot \sin(\phi_2) - DC \cdot \sin(\phi_3) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

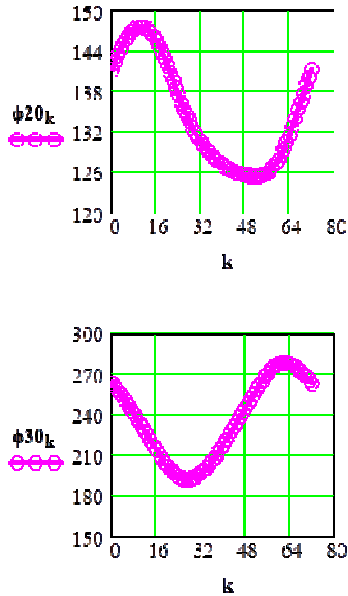


Fig.7. Parametrii dependenți de poziții

Viteze

$$A_k := \begin{pmatrix} -BC \cdot \sin(\phi_{2k}) & DC \cdot \sin(\phi_{3k}) \\ BC \cdot \cos(\phi_{2k}) & -DC \cdot \cos(\phi_{3k}) \end{pmatrix}$$

$$B_k := \begin{bmatrix} -(X1B_k - X1D) \\ -(Y1B_k - Y1D) \end{bmatrix}$$

(7)

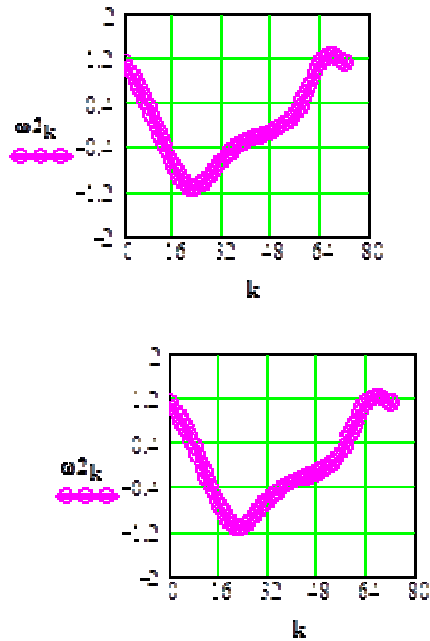


Fig.8. Parametrii dependenți de viteze.

Accelerații

$$A_k := \begin{pmatrix} -BC \cdot \sin(\phi_{2k}) & DC \cdot \sin(\phi_{3k}) \\ BC \cdot \cos(\phi_{2k}) & -DC \cdot \cos(\phi_{3k}) \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$C_k := \begin{bmatrix} -[X2B_k - X2D - BC \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \cos(\phi_{2k}) + DC \cdot (\omega_{3k})^2 \cdot \cos(\phi_{3k})] \\ -[Y2B_k - Y2D - BC \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \sin(\phi_{2k}) + DC \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \sin(\phi_{3k})] \end{bmatrix}$$

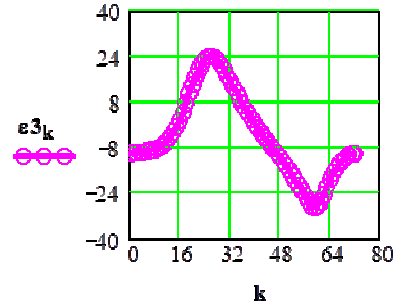
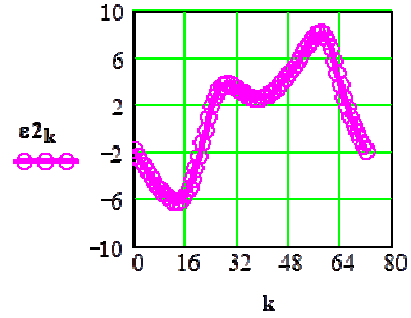


Fig.9. Parametrii dependenți de accelerații

3.2.3. Traectoria punctului C

Pozitii

$$XC_k := XB_k + BC \cdot \cos(\phi_{2k})$$

$$YC_k := YB_k + BC \cdot \sin(\phi_{2k})$$

(9)

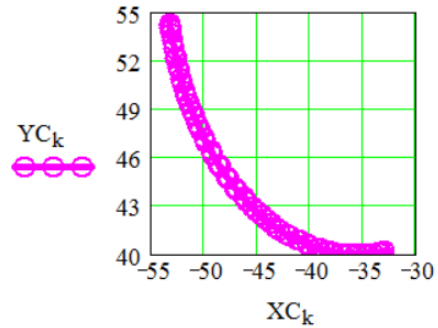


Fig.10. Traectoria punctului C

Viteze

$$\begin{aligned} X1C_k &:= X1B_k - BC \cdot \omega_{2k} \cdot \sin(\phi_{2k}) \\ Y1C_k &:= Y1B_k + BC \cdot \omega_{2k} \cdot \cos(\phi_{2k}) \end{aligned} \quad (10)$$

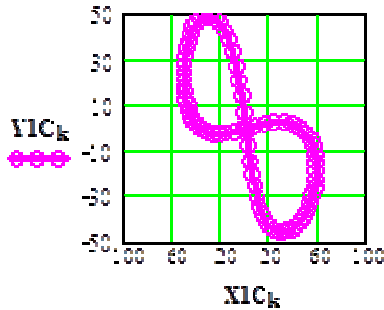


Fig. 11. Hodograful de viteze al punctului C

Accelerații (11)

$$\begin{aligned} X2C_k &:= X2B_k - BC \cdot \varepsilon_{2k} \cdot \sin(\phi_{2k}) - BC \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \cos(\phi_{2k}) \\ Y2C_k &:= Y2B_k + BC \cdot \varepsilon_{2k} \cdot \cos(\phi_{2k}) - BC \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \sin(\phi_{2k}) \end{aligned}$$

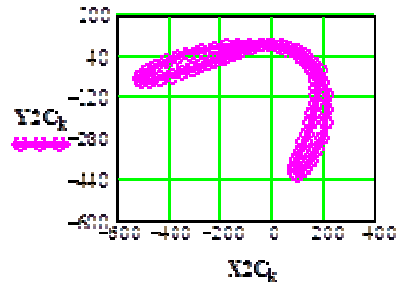


Fig.12. Hodograful de accelerații al punctului C

3.2.4. Traectoria punctului T

Ecuatiile pentru calculul traiectoriei punctului T sunt următoarele:

$$\begin{aligned} XT_k &:= XB_k + BT \cdot \cos(\phi_{2k} + \alpha) \\ YT_k &:= YB_k + BT \cdot \sin(\phi_{2k} + \alpha) \end{aligned} \quad (12)$$

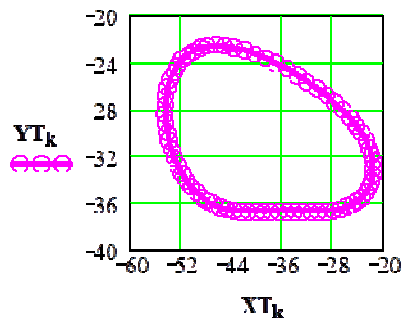


Fig.13. Traectoria descrisă de punctul T

3.3 ANALIZA CINEMATICĂ A PEDIPULATORULUI II

3.3.1. Grupa modulară activă

În continuare se vor scrie ecuațiile pentru calculul parametrilor dependenți de poziții (X,Y), viteze (X1,Y1) și accelerații (X2,Y2) pentru punctul B, care aparține manivelei AB.

Parametrii punctului B'

Pozitii

$$\begin{aligned} XB_{pk} &:= XA + AB \cdot \cos(\phi_{1pk}) \\ YB_{pk} &:= YA + AB \cdot \sin(\phi_{1pk}) \end{aligned} \quad (13)$$

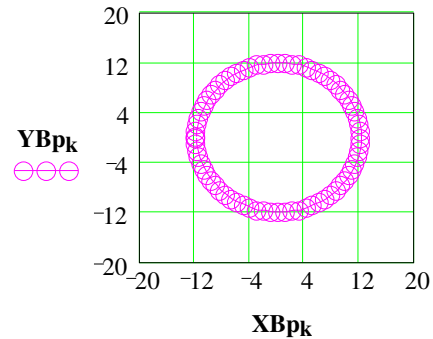


Fig. 14. Traectoria descrisă de punctul B'

Viteze

$$\begin{aligned} X1B_{pk} &:= X1A - AB \cdot \omega_1 \cdot \sin(\phi_{1pk}) \\ Y1B_{pk} &:= Y1A + AB \cdot \omega_1 \cdot \cos(\phi_{1pk}) \end{aligned} \quad (14)$$

Accelerații

$$\begin{aligned} X2B_{pk} &:= X2A - AB \cdot \varepsilon_1 \cdot \sin(\phi_{1pk}) - AB \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\phi_{1pk}) \\ Y2B_{pk} &:= Y2A + AB \cdot \varepsilon_1 \cdot \cos(\phi_{1pk}) - AB \cdot \omega_1^2 \cdot \sin(\phi_{1pk}) \end{aligned} \quad (15)$$

3.3.2. Diada RRR(2',3')

Relațiile de calcul ale parametrilor dependenți de poziții ai diadei sunt:

Pozitii

$$\begin{aligned} XB_{pk} - XD + BC \cdot \cos(\phi_{2p}) - DC \cdot \cos(\phi_{3p}) &= 0 \\ YB_{pk} - YD + BC \cdot \sin(\phi_{2p}) - DC \cdot \sin(\phi_{3p}) &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Variația parametrilor dependenți de poziții este prezentată în graficele alăturate.

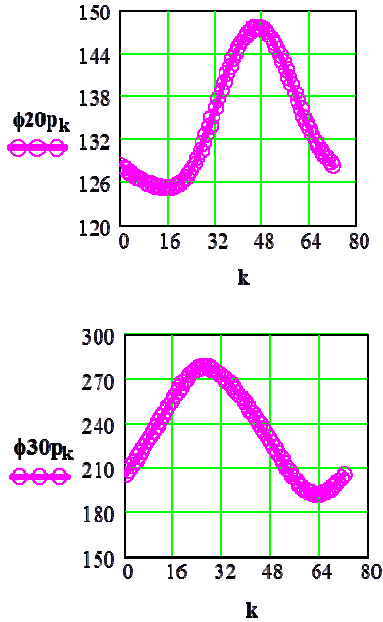


Fig.15. Parametrii dependenți de poziții

Viteze

$$A_{pk} := \begin{pmatrix} -BC \cdot \sin(\phi_{2pk}) & DC \cdot \sin(\phi_{3pk}) \\ BC \cdot \cos(\phi_{2pk}) & -DC \cdot \cos(\phi_{3pk}) \end{pmatrix}$$

$$B_{pk} := \begin{bmatrix} -(X1B_{pk} - X1D) \\ -(Y1B_{pk} - Y1D) \end{bmatrix} \quad (17)$$

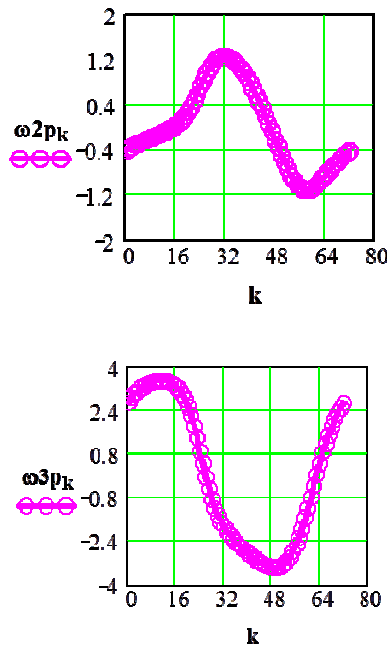


Fig.16. Parametrii dependenți de viteze.

Accelerații

$$A_{pk} := \begin{pmatrix} -BC \cdot \sin(\phi_{2pk}) & DC \cdot \sin(\phi_{3pk}) \\ BC \cdot \cos(\phi_{2pk}) & -DC \cdot \cos(\phi_{3pk}) \end{pmatrix}$$

$$C_{pk} := \begin{bmatrix} -[X2B_{pk} - X2D - BC \cdot (\omega_{2pk})^2 \cdot \cos(\phi_{2pk}) + DC \cdot (\omega_{3pk})^2 \cdot \cos(\phi_{3pk})] \\ -[Y2B_{pk} - Y2D - BC \cdot (\omega_{2pk})^2 \cdot \sin(\phi_{2pk}) + DC \cdot (\omega_{3pk})^2 \cdot \sin(\phi_{3pk})] \end{bmatrix} \quad (18)$$

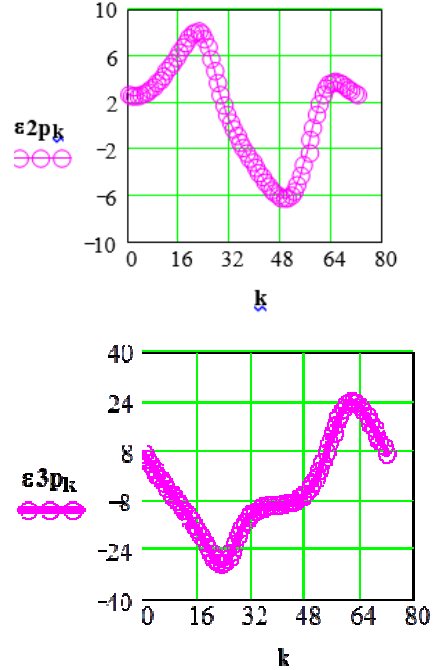


Fig.17. Parametrii dependenți de accelerații

3.3.3. Traectoria punctului C'

Pozitii

$$XC_{pk} := XB_{pk} + BC \cdot \cos(\phi_{2pk})$$

$$YC_{pk} := YB_{pk} + BC \cdot \sin(\phi_{2pk}) \quad (19)$$

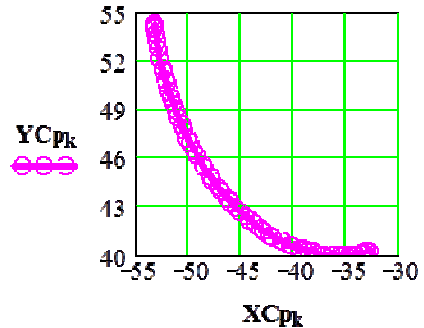


Fig.18. Traectoria punctului C'

Viteze

$$\begin{aligned} X1C_{pk} &:= X1B_{pk} - BC \cdot \omega 2_{pk} \cdot \sin(\phi 2_{pk}) \\ Y1C_{pk} &:= Y1B_{pk} + BC \cdot \omega 2_{pk} \cdot \cos(\phi 2_{pk}) \end{aligned} \quad (20)$$

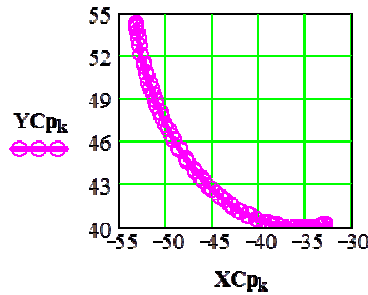


Fig. 19. Hodograful de viteze al punctului C'

Accelerații

$$\begin{aligned} X2C_{pk} &:= X2B_{pk} - BC \cdot \epsilon 2_{pk} \cdot \sin(\phi 2_{pk}) - BC \cdot (\omega 2_{pk})^2 \cdot \cos(\phi 2_{pk}) \\ Y2C_{pk} &:= Y2B_{pk} + BC \cdot \epsilon 2_{pk} \cdot \cos(\phi 2_{pk}) - BC \cdot (\omega 2_{pk})^2 \cdot \sin(\phi 2_{pk}) \end{aligned} \quad (21)$$

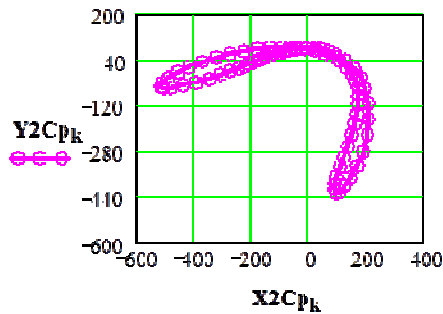


Fig.20. Hodograful de accelerații al punctului C'

3.3.4. Traectoria punctului T'

Ecuatiile pentru calculul traiectoriei punctului T sunt următoarele:

$$\begin{aligned} XT_{pk} &:= XB_{pk} + BT \cdot \cos(\phi 2_{pk} + \alpha) \\ YT_{pk} &:= YB_{pk} + BT \cdot \sin(\phi 2_{pk} + \alpha) \end{aligned} \quad (22)$$

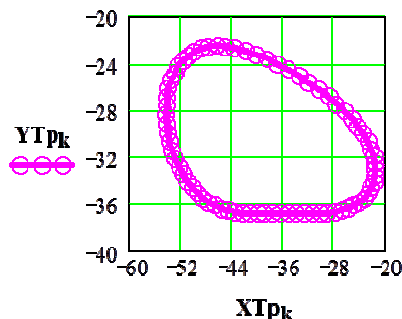


Fig. 21. Traectoria descrisă de punctul T'

În figura de mai jos sunt prezentate traiectoriile descrise de cele două extremități ale pedipulatoarelor studiate.

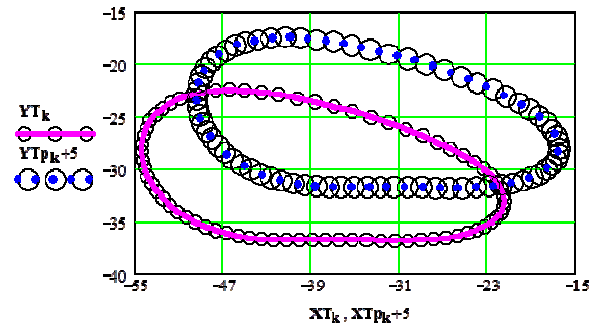


Fig.22.Traiectoriile descrise de extremitățile celor două pedipulatoare T și T'

4. MODELAREA MECANISMULUI OSCILANT

Pentru a efectua modelarea fiecărui element cinematic se deschide un fișier, se alege opțiunea *Part* și apoi se alege planul de lucru. În acest caz s-a ales *Front Plane*. Se utilizează formele predefinite și cu ajutorul comenzii *Smart Dimension* se stabilesc cotele exacte ale elementelor cinemate. Apoi s-a extrudat forma geometrică obținută cu ajutorul comenzii *Extruded Boss/Base*.

Pentru a se realiza mecanismului pedipulator s-a avut în vedere executarea fiecărui element cinematic în parte. Acestea se regasesc în figurile de mai jos.

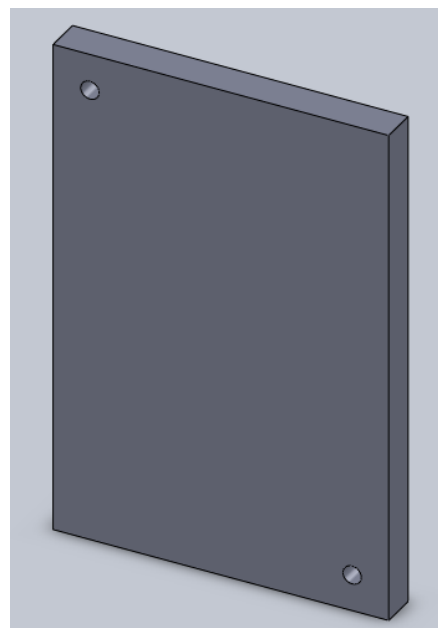


Fig. 23. Element fix

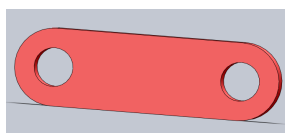


Fig. 24. Manivela 1 (AB)

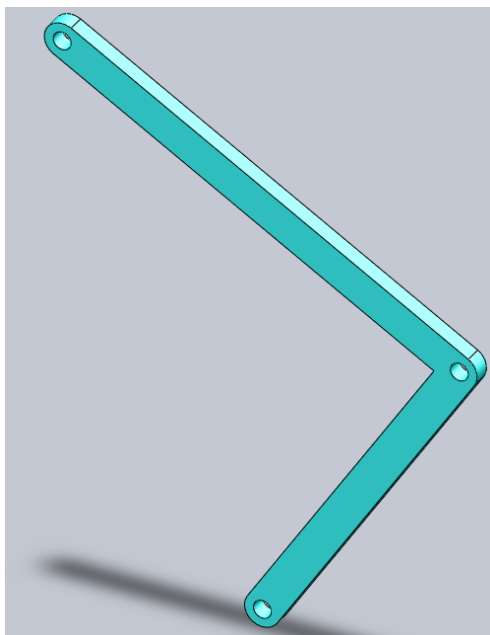


Fig.25. End-effector – element 2

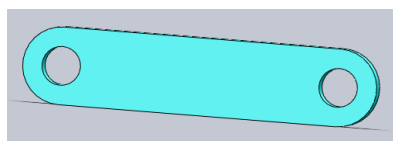


Fig.26. Balansier – element 3

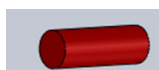


Fig.27. Bolt 1

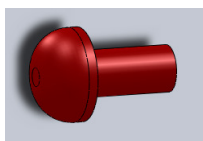


Fig.28. Bolt 2

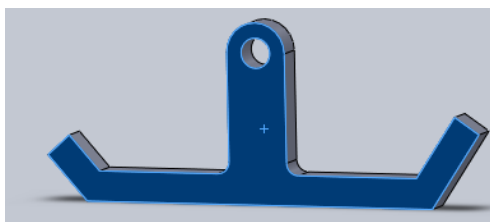


Fig.29. Talpa

În urma asamblării acestor elemente rezultă mecanismul dorit. În figura de mai jos este prezentat ansamblul și traiectoriile descrise de extremitățile T și T'.

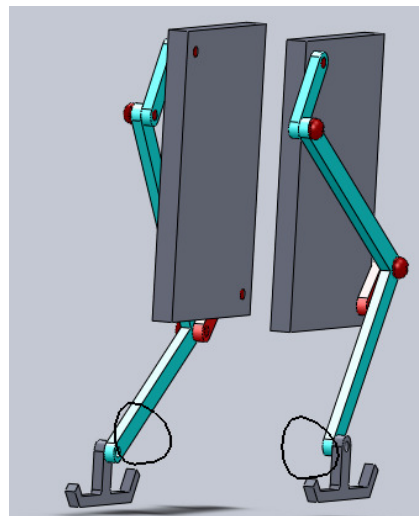


Fig.30. Mecanismul pedipulator și traiectoriile descrise de extremitățile T și T'

5 REALIZAREA PRACTICĂ A MECANISMULUI

După efectuarea analizei structural – cinematice și a modelării, sistemul mecanic a fost realizat practic. Mai jos sunt prezentate unele etape.

Primul element cinematic montat va fi carcasa și motorul. Apoi se vor monta pe rând toate elementele cinematice începând cu manivela 1.

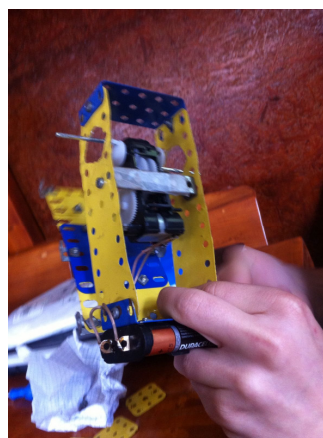


Fig.31. Pedipulatorul în lucru

Odata asamblată carcasa împreună cu motorul se verifică ca mișcarea efectuată să fie cea corectă. Apoi se măsoară pe cele două părți laterale ale mecanismului coordonatele celor două puncte fixe. Picioarele pedipulatorului sunt construite din

elemente metalice și sunt asamblate cu șuruburi și piulițe. După asamblarea picioarelor s-a făcut verificarea mecanismului în vederea funcționării corecte ale acestuia.



Fig.32. Pedipulatorul asamblat

Deoarece picioarele pedipulatorului monomobil nu pot susține greutatea carcasei și a motorului, (tot mecanismul fiind construit din elemente metalice) i-am adăugat acestuia două roți în partea de jos - spate a carcasei pentru o mai bună susținere, astfel picioarele vor transporta mai ușor greutatea carcasei.



Fig.33. Sistemul mecanic monomobil

S-au modelat toate elementele cinematice, s-au asamblat și s-a obținut sistemul mecanic plan. Apoi s-a realizat practic sistemul mecanic (figura 33).

6 BIBLIOGRAFIE

- [1] Comănescu, Adr., Comanescu, D., Dugășescu I., Boureci, A., *Bazele modelării mecanismelor*, Editura Politehnica Press, București, 2010;
- [2] Maican, E., *Solidworks, modelare 3D pentru ingineri*, Editura Printech, București, 2006;
- [3] Pelecudi, Chr., Comanescu, Adr., s.a., *Analiza cinematica a mecanismelor - probleme*, UPB, 1985.
- [4] Tempea, I., Dugaesescu, I., Neacsu, M., *Mecanisme*, Ed. Printech, 2006, ISBN (10) 973-718-560-9
- [5] Tempea, I., Dugaesescu, I., *Proiectarea Mecanismelor*, Ed. Printech, 2005, ISBN 973-718-246-4
- [6] <http://wikipedia.ro>

7 NOTAȚII

- XA, YA-parametri de poziție
- X1A, Y1A-parametri de viteze
- X2A, Y2A-parametri de accelerații

6 CONCLUZII

În cadrul acestei lucrări s-a urmărit efectuarea analizei structurale și cinematice pentru mecanismul studiat. Pentru aceasta s-a elaborat modelul structural, schema de conexiuni și s-au determinat parametrii dependenți de poziții, viteze și accelerații.