

## CONTRIBUȚII PRIVIND STUDIUL UNUI SISTEM BIOMECHANIC

CARAGAȚĂ Camelia<sup>1</sup>, POPESCU Silvia-Emilia<sup>2</sup>, RAJGĂ Lavinia<sup>3</sup> și VOICU Dana-Monica<sup>4</sup>

Conducător științific: Ș.l.dr.ing. Ileana DUGĂEȘESCU

**REZUMAT:** Studiul își propune realizarea unei analize cinematice asupra modelului structural al unui sistem compus din două diade RRR și RRT, în scopul determinării posibilităților de mișcare ale acestuia și în special a traiectoriei punctului de interes din elementul final, pentru a determina aplicabilitatea acestui tip de sistem în cadrul ansamblului unui produs biomecanic și pentru a facilita implementarea acestuia în cadrul produsului. Studiul are ca obiectiv determinarea compatibilității traiectoriei punctului final al mecanismului supus studiului cu traiectoria unui punct de pe piciorul unui produs tip robot la deplasarea piciorului pe treptele unei scări.

**CUVINTE CHEIE:** sistem biomecanic, mecanism, cuple, model cinematic

### 1 INTRODUCERE

Până în prezent au fost realizate studii asupra modului în care se pot reproduce cu ajutorul mecanismelor mișcările umane și a modului în care merg oamenii și cum își mișcă articulațiile. Recrearea mersului oamenilor în mod mecanic este o sarcină greu de realizat iar volumul de studii în această direcție este amplu, acest domeniu aflându-se abia la începuturi.

Progresele au început să apară în acest domeniu, dar odată cu acestea și cerințele pentru performanțe au devenit tot mai mari: dacă în prima fază sistemele tip robot puteau merge doar în linie dreaptă realizând câțiva pași pe durata cărora își puteau menține echilibrul, acum provocarea este realizarea deplasării pe suprafețe denivelate sau pe suprafețe în trepte. Această provocare constă în descoperirea de mecanisme care pot asigura traiectorii țintă pentru punctele de interes situate pe elementele efectoare de mișcare în cadrul produsului, precum și în analiza cinematică a acestor mecanisme pentru a facilita implementarea lor. mecanismul trebuie ales astfel încât traiectoria punctului de interes al acestuia să corespundă cu traiectoria punctului definitiv de pe elementul efector de mișcare al robotului.

<sup>1</sup> Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: [camelia.caam@yahoo.com](mailto:camelia.caam@yahoo.com)

<sup>2</sup> Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: [emilia\\_199563@yahoo.com](mailto:emilia_199563@yahoo.com);

<sup>3</sup> Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail:

<sup>4</sup> Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: [danutzzaa93@yahoo.com](mailto:danutzzaa93@yahoo.com)

În cadrul studiului de față, traiectoria punctului de pe mecanism trebuie să corespundă cu traiectoria unui punct ales pe talpa piciorului unui produs tip robot la deplasarea pe o suprafață în trepte.

### 2 STADIUL ACTUAL

Această problematică a reproducerii mișcărilor umane cu ajutorul mecanismelor și a modului în care omul își mișcă articulațiile pe durata deplasării au condus la numeroase studii de analiză structurală și analiză cinematică a unor mecanisme pășitoare. Deasemenea, au fost realizate o serie de ecuații de studiu a pozițiilor, vitezelor și accelerațiilor în cadrul analizelor cinematice a mecanismelor pășitoare.

Odată cu demararea acestor studii a apărut noțiunea de „robot pășitor”. Robotul pășitor este un robot care asigură funcții de locomoție similar ființelor umane sau animalelor, bazându-se pe mecanisme generatoare de traiectorii, adică acele mecanisme care deplasează punctul caracteristic de interes dintr-o poziție în alta în spațiu. Această traiectorie dată de pozițiile succesive ale punctului poate fi descrisă analitic cu ajutorul unei curbe.

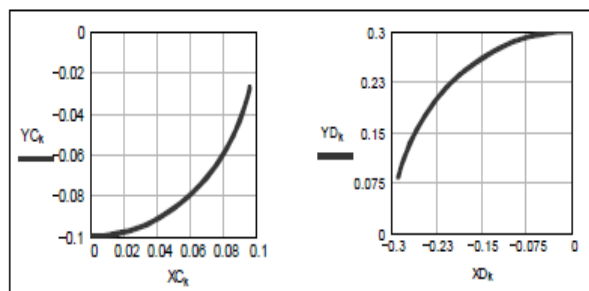


Fig. 1. Exemple de traiectorii generate cu ajutorul mecanismelor

În figura 2 se prezintă o mașină pășitoare iar în figura 3 se prezintă unul dintre primele mecanisme

## Contribuții privind studiul unui sistem biomecanic

pentru pășire inventat de Cebîșev – „calul” lui Cebîșev.



Fig. 2. Model de mecanism pășitor



Fig.3. Mecanismul pentru pășire inventat de Cebîșev

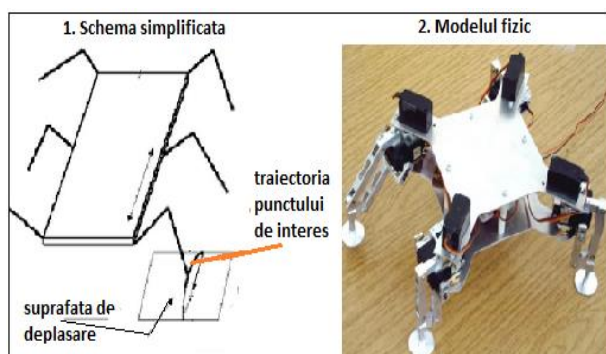


Fig.4. Exemplu de masină pășitoare

Un robot prezintă următoarea structură:

- sistemul mecanic;
- sistemul de acționare;
- sistemul de comandă.

Dintre aceste sisteme, sistemul mecanic este cel care are funcția de a realiza deplasarea dintr-o poziție în alta în spațiu. Sistemul de acționare se obține prin transformarea cuplelor cinematice în cuple motoare – fie prin amplasarea motoarelor în cuplele cinematice, fie prin asocierea fiecărei cuple cinematice a unui motomecanism (mecanism motor mono sau policontur). Sistemul de comandă este acela care comandă operațiile cu ajutorul calculatorului.

La baza dezvoltării unui mecanism pășitor stau întotdeauna modelele cinematice de mecanisme, care odată concepute sunt supuse analizei cinematice pentru a determina posibilitățile de utilizare pe care le conferă. Un exemplu de mecanism este prezentat în figura următoare:

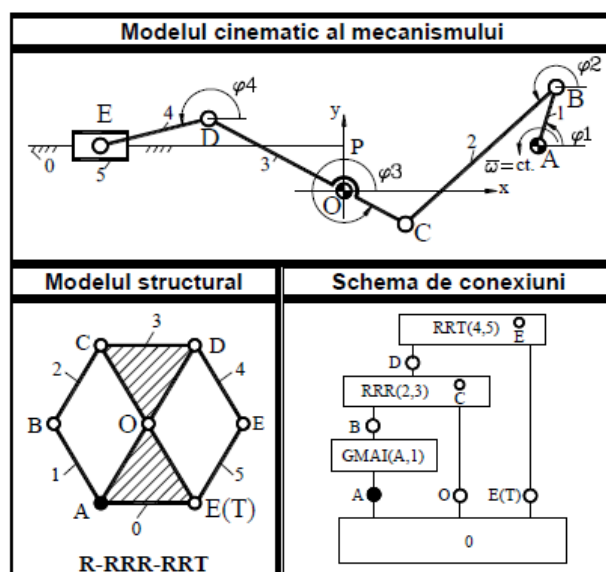


Fig.5. Exemplu de mecanism cinematic

Acest domeniu, fiind în plină dezvoltare, promite evoluții și îmbunătățiri semnificative pe baza noilor tehnologii și a noilor contribuții/ studii în acest domeniu.

### 3 STUDIUL DE CAZ

În cadrul studiului de față, obiectivul este analiza cinematică a traiectoriei punctului „T” (fig.6) de pe mecanism ce trebuie să corespundă cu traiectoria unui punct ales pe talpa piciorului unui produs tip robot la deplasarea pe o suprafață în trepte. Mecanismul propus este un mecanism plan constituit din  $m=5$  elemente cinematice și  $i=7$  cuple cinematice inferioare, astfel încât gradul de mobilitate este în concordanță cu existența unei singure cuple active în sistem, și anume cupla cinematică activă de rotație A.

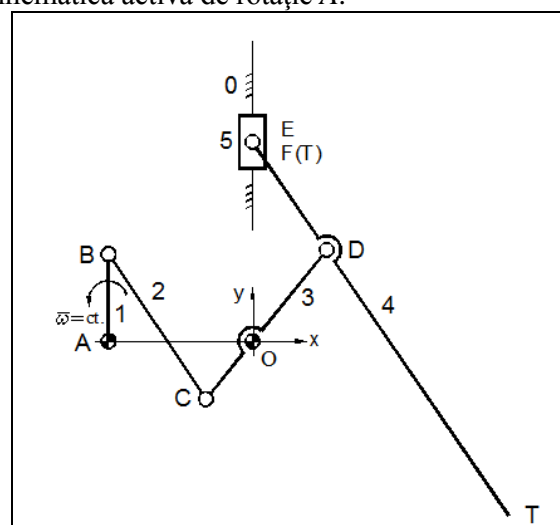


Fig.6. Mecanism plan

Mecanismul este constituit din punct de vedere structural din trei grupe modulare:

- grupa modulară activă constituită din cupla activă din A și elementul cinematic 1;
- grupa modulară pasivă de tip RRR formată din elementele cinematice 2, 3, cuplele cinematice din B și O fiind cuple cinematice potențiale;
- grupa modulară pasivă de tip RRT formată din elementele cinematice 4, 5.

Se observă că modelul structural al mecanismului se obține dintr-un lanț cinematic de tip Watt.

### 3.1 Modelul pozițional-cinematic al mecanismului

Parametrii geometrici constanți corespunzători fiecărei grupe modulare sunt următorii:

Tabelul 1. Modelul pozițional-cinematic

Grupa modulară activă (A,1)	AB:=0.06
Grupa modulară pasivă RRR(2,3)	BC:=0.3 ; OC:=0.1
Grupa modulară pasivă RRT(4,5)	DE:=0.4 ; $\alpha_0:=0$ ; $\beta=0$

În continuare, este prezentat modelul cinematic al mecanismului ales, însoțit de modelul structural, precum și de schema de conexiuni pe baza căreia se face analiza cinematică și cinetostatică:

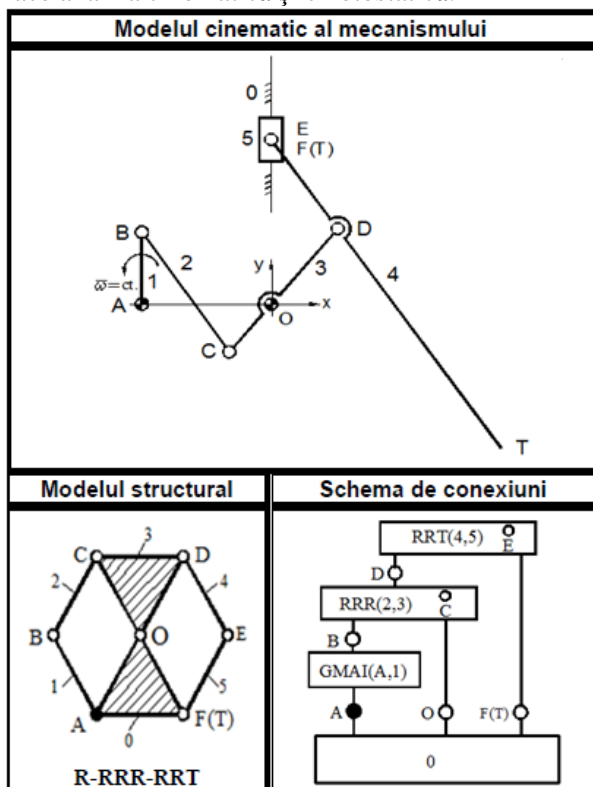


Fig.7. Mecanism plan

Mai departe este prezentată exemplificarea analizei cinematice cu ajutorul unui program specializat:

#### Parametrul independent

$$k := 0..36$$

$$\omega_1 := 1$$

$$\varepsilon_1 := 0$$

$$\phi_{1k} := k \cdot \frac{2 \cdot \pi}{36}$$

#### Parametrii cuplei B

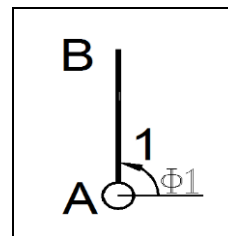


Fig.7.1. GMAI (A,1)

#### Poziții

$$XB_k := XA + AB \cdot \cos(\phi_{1k}) \quad (1)$$

$$YB_k := YA + AB \cdot \sin(\phi_{1k})$$

#### Viteze

$$X1B_k := -\omega_1 \cdot AB \cdot \sin(\phi_{1k}) \quad (2)$$

$$Y1B_k := \omega_1 \cdot AB \cdot \cos(\phi_{1k})$$

#### Accelerații

$$X2B_k := -\omega_1^2 \cdot AB \cdot \cos(\phi_{1k})$$

$$Y2B_k := -\omega_1^2 \cdot AB \cdot \sin(\phi_{1k}) \quad (3)$$

#### Diada RRR(2,3)

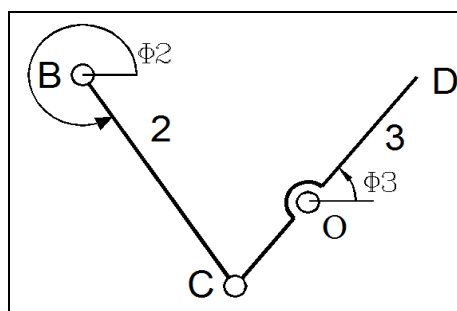


Fig.7.2. Diada RRR

#### Valori inițiale

$$\phi_{20} := 210$$

$$\phi_{30} := 340$$

$$\phi_2 := \phi_{20} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\phi_3 := \phi_{30} \cdot \frac{\pi}{180}$$

#### Poziții

$$XB_k - XO + BC \cdot \cos(\phi_2) - OC \cdot \cos(\phi_3) = 0$$

## Contribuții privind studiul unui sistem biomecanic

$$YB_k - YO + BC \cdot \sin(\phi_2) - OC \cdot \sin(\phi_3) = 0$$

$$\text{sol}_k := \text{Find}(\phi_2, \phi_3) \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} \phi_{2k} \\ \phi_{3k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k$$

$$\begin{pmatrix} \phi_{20k} \\ \phi_{30k} \end{pmatrix} := \frac{180}{\pi} \cdot \begin{pmatrix} \phi_{2k} \\ \phi_{3k} \end{pmatrix}$$

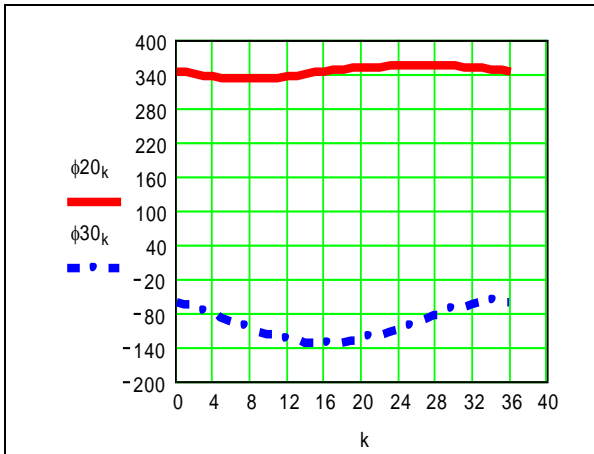


Fig.8.1. Grafic de poziții Diada RRR

### Viteze

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

$$C_k := \begin{pmatrix} -(X1B_k - 0) \\ -(Y1B_k - 0) \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\text{sol}_k := \text{Isolve}(A_k, C_k)$$

$$\begin{pmatrix} \omega_{2k} \\ \omega_{3k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k$$

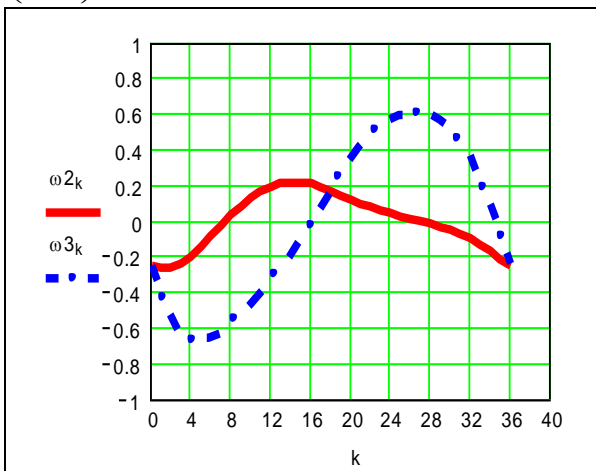


Fig.8.2. Grafic de viteze Diada RRR

### Accelații

$$D_k := \begin{bmatrix} -[X2B_k - 0 - BC \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \cos(\phi_{2k}) + OC \cdot (\omega_{3k})^2 \cdot \cos(\phi_{3k})] \\ -[Y2B_k - 0 - BC \cdot (\omega_{2k})^2 \cdot \sin(\phi_{2k}) + OC \cdot (\omega_{3k})^2 \cdot \sin(\phi_{3k})] \end{bmatrix}$$

$$\text{sola}_k := \text{Isolve}(A_k, D_k) \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{2k} \\ \varepsilon_{3k} \end{pmatrix} := \text{sola}_k$$

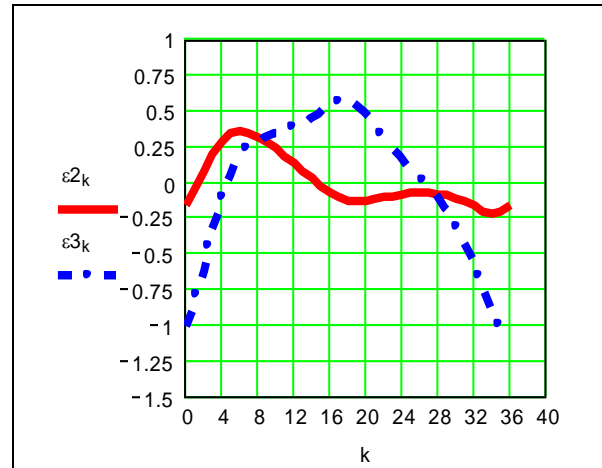


Fig.8.3. Grafic de accelerații Diada RRR

În diagramele de mai sus sunt prezentate grafic curbele determinate cu ajutorul unui program specializat în domeniu.

### Parametrii cuplei C

#### Poziții

$$XC_k := XO + OC \cdot \cos(\phi_{3k})$$

$$YC_k := YO + OC \cdot \sin(\phi_{3k}) \quad (7)$$

#### Viteze

$$X1C_k := -\omega_{3k} \cdot OC \cdot \sin(\phi_{3k}) \quad (8)$$

$$Y1C_k := \omega_{3k} \cdot OC \cdot \cos(\phi_{3k})$$

#### Accelații

$$X2C_k := -(\omega_{3k})^2 \cdot OC \cdot \cos(\phi_{3k}) - \varepsilon_{3k} \cdot OC \cdot \sin(\phi_{3k})$$

$$Y2C_k := -(\omega_{3k})^2 \cdot OC \cdot \sin(\phi_{3k}) + \varepsilon_{3k} \cdot OC \cdot \cos(\phi_{3k}) \quad (9)$$

### Parametrii cuplei D

$$X2O := 0$$

$$Y1O := 0$$

#### Poziții

$$Y2O := 0$$

$$XD_k := XO + OD \cdot \cos(\phi_{3k} + \pi) \quad (10)$$

$$YD_k := YO + OD \cdot \sin(\phi_{3k} + \pi)$$

#### Viteze

$$X1D_k := X1O - \omega_{3k} \cdot OD \cdot \sin(\phi_{3k} + \pi) \quad (11)$$

$$Y1D_k := Y1O + \omega3_k \cdot OD \cdot \cos(\phi3_k + \pi)$$

**Accelerații**

$$X2D_k := X2O - (\omega3_k)^2 \cdot OD \cdot \cos(\phi3_k + \pi) - \varepsilon3_k \cdot OD \cdot \sin(\phi3_k + \pi)$$

$$Y2D_k := Y2O - (\omega3_k)^2 \cdot OD \cdot \sin(\phi3_k + \pi) + \varepsilon3_k \cdot OD \cdot \cos(\phi3_k + \pi) \quad (12)$$

**Diada RRT(4,5)**

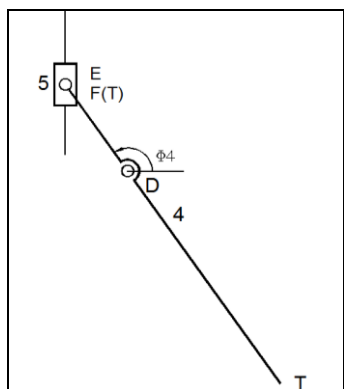


Fig.7.3. Diada RRT

**Valori inițiale**

$$\alpha := 90 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$XP := 0$$

$$\phi40 := 80$$

$$s := 0.09$$

$$YP := 0$$

$$\phi4 := \phi40 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$XD_k - XP + DE \cdot \cos(\phi4) - s \cdot \cos(\alpha) = 0 \quad (13)$$

$$YD_k - YP + DE \cdot \sin(\phi4) - s \cdot \sin(\alpha) = 0$$

$$\text{sol}_k := \text{Find}(\phi4, s)$$

$$\begin{pmatrix} \phi4_k \\ s_k \end{pmatrix} := \text{sol}_k$$

$$\phi40_k := \frac{180}{\pi} \cdot \phi4_k$$

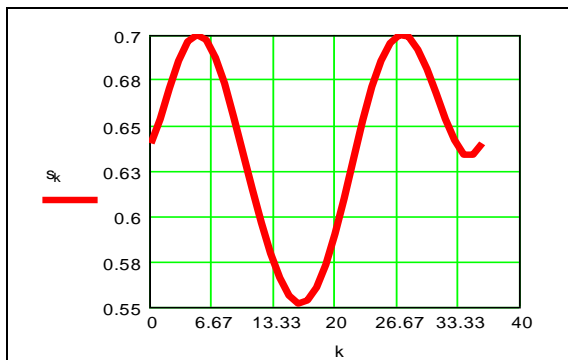


Fig.8.4. Grafic de poziții Diada RRT

**Viteze**

$$A_k := \begin{pmatrix} -DE \cdot \sin(\phi4_k) & -\cos(\alpha) \\ DE \cdot \cos(\phi4_k) & -\sin(\alpha) \end{pmatrix}$$

$$C_k := \begin{pmatrix} -(X1D_k - 0) \\ -(Y1D_k - 0) \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$\text{sol}_k := \text{Isolve}(A_k, C_k)$$

$$\begin{pmatrix} \omega4_k \\ s1_k \end{pmatrix} := \text{sol}_k$$

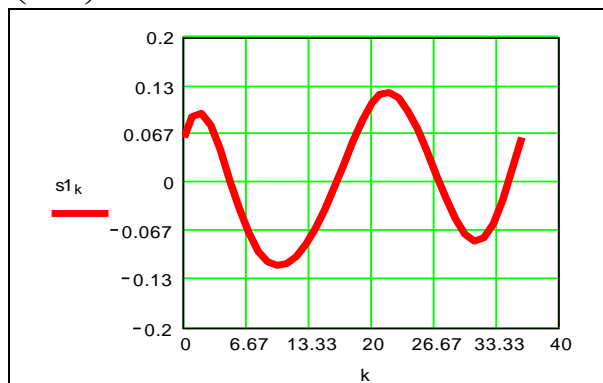


Fig.8.4. Grafic de viteze Diada RRT

**Accelerații**

$$D_k := \begin{pmatrix} -[X2D_k - 0 - DE \cdot (\omega4_k)^2 \cdot \cos(\phi4_k)] \\ -[Y2D_k - 0 - DE \cdot (\omega4_k)^2 \cdot \sin(\phi4_k)] \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\text{sol}_k := \text{Isolve}(A_k, D_k)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon4_k \\ s2_k \end{pmatrix} := \text{sol}_k$$

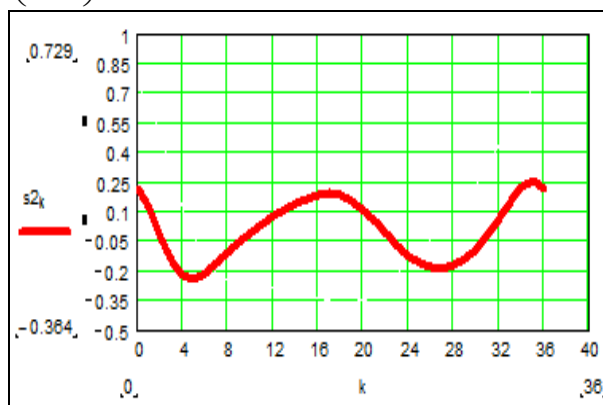


Fig.8.4. Grafic de accelerații Diada RRT

**3.2 Determinarea traiectoriei punctului „T”**

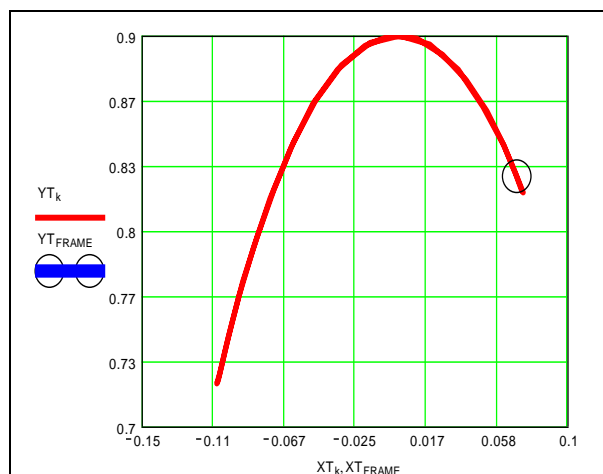
Traectoria punctului „T” a fost determinată tot prin intermediul programului specializat pe baza analizei cinematice a mecanismului supus studiului:

$$DT := 0.6$$

$$XT_k := XD_k + DT \cdot \cos(\phi4_k) \quad (16)$$

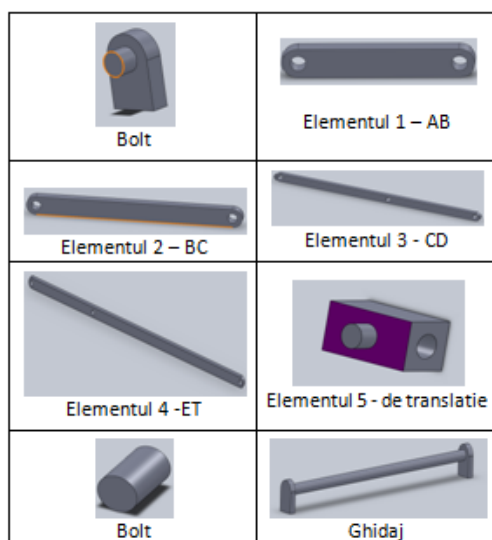
$$YT_k := YD_k + DT \cdot \sin(\phi4_k)$$

## Contribuții privind studiul unui sistem biomecanic



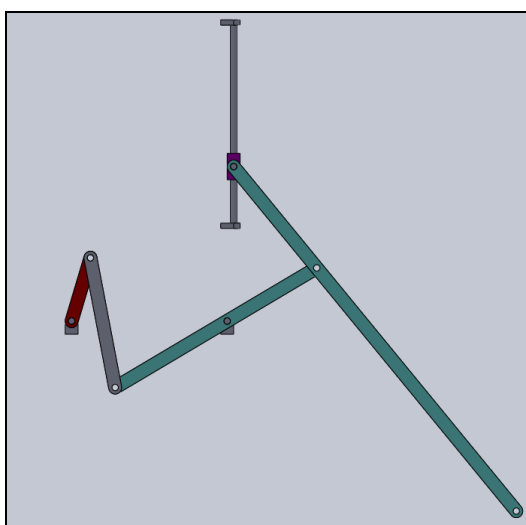
**Fig.9. Traectoria punctului T**

Cu ajutorul unui software specializat s-a realizat modelul 3D al mecanismului studiat. S-a efectuat modelarea tuturor elementelor cinematice.



**Fig.10. Elementele mecanismului analizat**

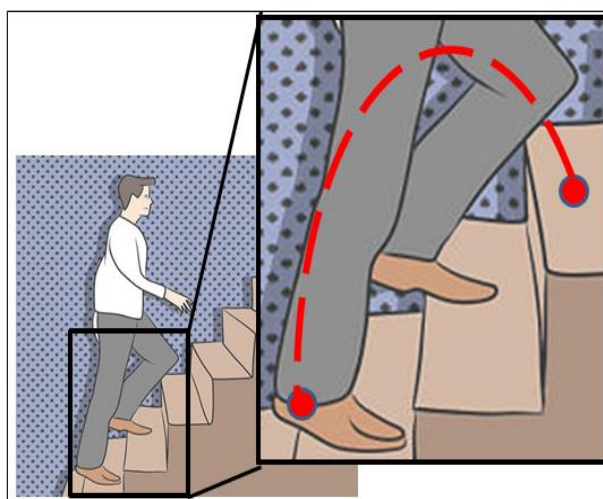
Apoi s-a efectuat asamblarea acestora in scopul obținerii sistemului biomecanic studiat.



**Fig.11. Modelul 3D pentru mecanismul analizat**

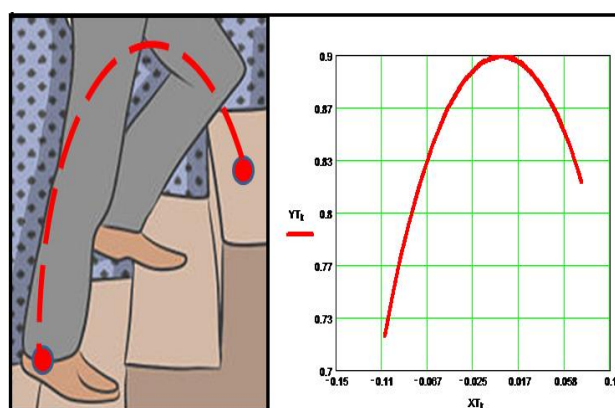
Pe baza observațiilor realizate în timpul deplasării pe o suprafață în trepte asupra unui corp uman prin marcarea punctului de interes la nivelul tălpii piciorului, prin experiment, a fost determinată traectoria acestui punct în timpul deplasării.

Definirea traectoriei normale la deplasarea pe treptele unei scări a punctului de interes stabilit reprezintă o etapă cheie. În cadrul acestei etape se prefigurează etalonul de comparație al traectoriei descrise de punctul efector al mecanismului. Acest mecanism este cel ce ar trebui să transpună la nivel de produs biomecanic mișcarea dorită.



**Fig.12. Traectoria unui punct la deplasarea pe scări**

Prin urmare, prin compararea celor două curbe se poate observa că elementul efector al mecanismului studiat descrie o traectorie ce se pliază perfect pe traectoria normală descrisă de un punct fixat pe picior ce este supus observării, în timpul urcării unor trepte.



**Fig.13. Comparație biosistem-mecanism**

Ca urmare a acestor rezultate, implementarea unui astfel de mecanism în cadrul unui produs ansamblu de tip robot pășitor poate fi realizată cu succes pentru îndeplinirea mișcării dorite.

Acest tip de mecanism poate fi utilizat în dezvoltarea de produse tip robot foarte evaluate cum este cel prezentat în figura următoare:

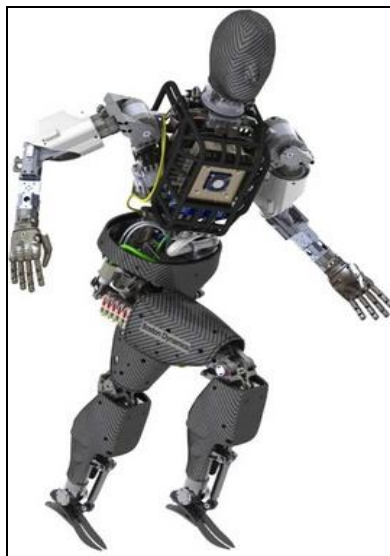


Fig.14. Robot pășitor evoluat

#### 4 CONCLUZII

Obiectivul acestui studiu l-a reprezentat conceperea unui mecanism care să poată asigura o traiectorie țintă pentru un punct de interes situat pe elementul efector de mișcare în cadrul unui produs, precum și analiza cinematică a acestui mecanism pentru a facilita implementarea sa în cadrul produsului. Cu alte cuvinte, mecanismul a trebuit să fie ales astfel încât traiectoria punctului de interes al acestuia să corespundă cu traiectoria punctului definitiv de pe elementul efector de mișcare al unui produs tip robot.

Contribuția echipei de cercetare a constat în proiectarea elementelor mecanismului, conceperea schemei structurale ce stă la baza mecanismului și analiza cinematică a acestuia, precum și elaborarea grafică a traiectoriei punctului țintă.

În același timp, s-a realizat un studiu de cercetare prin observare directă asupra unui subiect uman cu privire la curba fizică descrisă de un punct ales pe talpa piciorului, în cazul deplasării subiectului de analiză pe o suprafață în trepte.

Rezultatul cercetării fizice asupra subiectului uman, obținut prin simulări experimentale multiple, a fost prelucrat și s-a trasat o curbă ce corespunde pozițiilor succesive parcurse de punctul țintă (marcat pe talpa piciorului), curba obținută fiind de tip parabolic – ciclic.

Analiza comparativă dintre curba obținută cinematic ca traiectorie a punctului țintă al mecanismului și curba obținută în urma determinării experimentale asupra subiectului uman, a demonstrat că, prin suprapunere, acestea sunt identice. Cu alte

cuvinte, mecanismul conceput, poate fi integrat în cadrul unui produs tip robot biomecanic care să îndeplinească sarcina de a parcurge o suprafață în trepte.

Echipa de cercetare dorește să continue studiul cu dimensionarea elementelor mecanismului, stabilirea proporțiilor dintre acestea, în vederea determinării amplitudinii optime și necesare de mișcare, astfel încât mecanismul să asigure o deplasare a punctului țintă la scara reală, ce poate fi ajustabilă în funcție de dimensiunea treptelor întâlnite de mecanismul robot (adică mecanismul să poată asigura traiectorii de diferite lungimi și înalțimi).

La o primă observare traiectoria celuilalt picior este similară, dar ca și direcții de studiu viitoare, echipa de cercetare își propune determinarea unui mecanism care să asigure mișcarea de revenire în poziție de “zero” –poziție inițială pentru elementele de tip picior ale produsului biomecanic – robot pășitor.

Considerăm că acest studiu poate reprezenta un punct de plecare în cercetarea-dezvoltarea unui produs tip robot pășitor, de aceea intenționăm să continuăm studiul pe problematici specifice direcției de cercetare alese.

#### 5 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Comănescu, Adr., Comănescu, 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]. [https://www.google.ro/search?q=imagini+roboti+pasitori&espv=2&biw=1366&bih=653&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=7CNUVdK3A4i1UavfgMgD&ved=0CAYQ\\_AUoAQ](https://www.google.ro/search?q=imagini+roboti+pasitori&espv=2&biw=1366&bih=653&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=7CNUVdK3A4i1UavfgMgD&ved=0CAYQ_AUoAQ) (Accesat la data: 10.05.2015).
- [4]. [https://www.google.ro/search?q=robot+merge+p+scara&espv=2&biw=1366&bih=653&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=DCRUVefIH8L9UuSigMgE&ved=0CAYQ\\_AUoAQ#tbm=isch&q=foot+on+step](https://www.google.ro/search?q=robot+merge+p+scara&espv=2&biw=1366&bih=653&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=DCRUVefIH8L9UuSigMgE&ved=0CAYQ_AUoAQ#tbm=isch&q=foot+on+step) (Accesat la data: 10.05.2015).

#### 6 NOTAȚII

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

RRR = rotație – rotație – rotație

RRT = rotație – rotație – translație