

PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM BIPED TRANSPORTOR

TUDOROIU¹ Florina-Simona¹ și GRĂJDAN² Ioana²

²Facultatea: IMST, Specializarea: IEI, Anul de studii: III, e-mail: ioanagrajdan@gmail.com

Conducător științific: Șl.dr.ing. **Ileana DUGĂEȘESCU**

REZUMAT: Lucrarea constă în proiectarea și realizarea unui sistem biped transportor. Analiza structurală constă în determinarea gradului de mobilitate, în realizarea modelului structural și a schemei de conexiuni. Mecanismul studiat este alcătuit dintr-o grupă modulară activă (GMAI) și o grupă modulară pasivă de tip diadă RRR. Analiza cinematică constă în determinarea parametrilor dependenți de poziții, viteze și accelerații ai grupei modulare. În această lucrare se prezintă și modelarea unui dispozitiv de alimentare a mecanismului biped. La finalul lucrării sunt prezentate bipedul și dispozitivul de alimentare, realizate practic.

CUVINTE CHEIE: biped, analiză structural-cinematică, traiectorii, transportor, alimentare

1. Istoric

Sistemele mecanice bipede au în componența lor două picioare pentru sprijin și/sau locomoție [6,8].

Pafnuti Lvovici Cebîșev a inventat mecanisme folosind metode analitice, care să descrie o traiectorie dreaptă pe o anumită porțiune [10].

Pentru imitarea mersului unui cal, piciorul avea o traiectorie aproape o linie dreaptă, în timp ce mișcarea piciorului ca întreg era un arc circular [4,8].

2. Noțiuni generale

Prin mecanism se înțelege un sistem de corpuri solide, rigide aflate în interacțiune mecanică, sistem care primește, transformă sau transmite o mișcare într-un scop tehnologic bine determinat [7]. Corpurile care compun un mecanism sunt legate între ele prin cuple cinematice inferioare și/sau superioare. Pentru analiza cinematică a unui mecanism se elaborează schema de conexiuni. Această schemă se parcurge începând de la grupa modulară activă inițială (GMAI) până la grupa modulară pasivă pentru a afla etapele de calcul cinematic.

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), ce reprezintă numărul ecuațiilor ce pot fi scrise.

3. Studiu de caz

Schema cinematică a mecanismului analizat este reprezentat în figura 1 [10]. În componența sa se regăsesc patru cuple inferioare și trei elemente cinematice mobile. Elementele cinematice sunt notate cu cifre arabe (1–3), iar cuplele cinematice cu litere (A–D).

3.1. Analiza structurală a sistemului biped

Analiza structurală presupune rezolvarea schemei cinematice prin elaborarea modelului structural, indicarea lanțului din care provine acesta și elaborarea schemei de conexiuni.

Cunoscând numărul elementelor și cuplelor cinematice se poate calcula gradul de mobilitate. Acesta este unitar. Numărul conturilor independente este egal cu doi, acesta calculându-se ca diferența dintre numărul cuplelor cinematice și cel al elementelor mobile. Cuplele A și D sunt fixate la bază, numită și element fix. Elementele mobile sunt manivela 1, biela 2 și balansierul 3.

În figura de mai jos este prezentată schema cinematică piciorului 1.

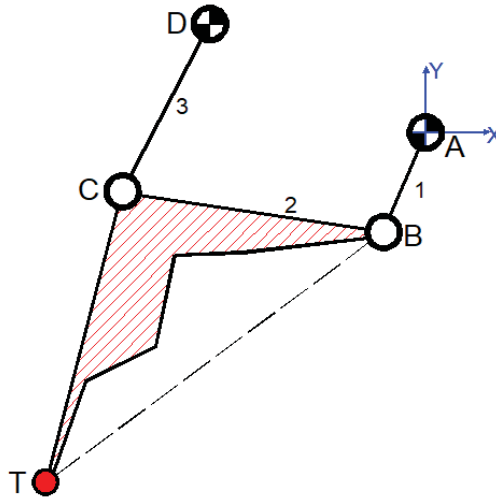


Fig. 1. Schema cinematică a unui picior

În figura 2 este prezentat modelul structural corespunzător [1,2,3] schemei cinemate din figura 1. Acesta este alcătuit din grupa modulară activă formată din cupla A și manivela 1 și o grupă modulară pasivă formată la rândul ei din elementele cinematice BC și DC. Relația structurală în acest caz este $GMAI(A,1) - RRR(2,3)$.

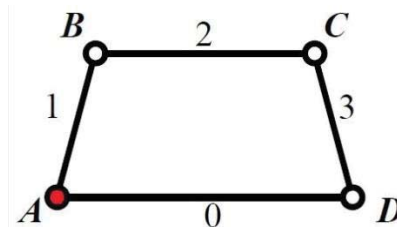


Fig. 2. Modelul structural

Apoi se stabilește schema de conexiuni [1,2] prezentată în figura 3. La această schemă s-a pus în evidență cupla motoare A, grupa modulară activă și diada formată din elementele cinematice BC - bielă, DC - end-effector.

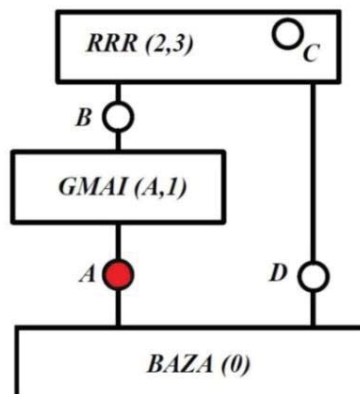


Fig. 3. Schema de conexiuni

Scopul elaborării schemei de conexiuni este acela de a pune în evidență etapele de calcul cinematic. Acestea sunt: $GMAI(A,1) - B - RRR(2,3) - C$.

3.2. Analiza cinematică a sistemului biped

Analiza cinematică are ca scop determinarea pozițiilor, traiectoriilor, vitezelor și accelerațiilor unghiulare ale unor puncte caracteristice ale mecanismului [1,2,3].

Schema cinematică în care s-au evidențiat parametrii de poziții se regăsește în figura de mai jos. În figura 4 se pot observa parametrii dependenți de poziții Φ_2 și Φ_3 .

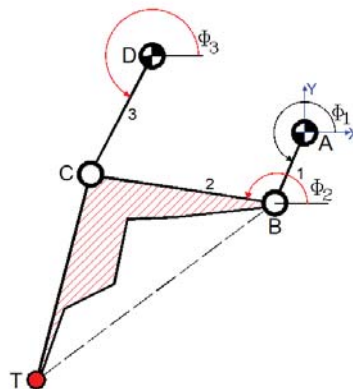


Fig. 4. Schema cinematică- punerea în evidență a parametrilor de poziții

Prima grupă modulară este grupa modulară activă, formată din elementul cinematic 1 și cupla activă A, așa cum se poate observa în figura 5.

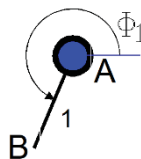


Fig. 5. Grupa modulară activă GMAI (A,1)

Pentru punctul B se scriu ecuațiile pentru calculul parametrilor dependenți de poziții, viteze și accelerații [1,2].

➤ Parametrii dependenți de poziții - PDP

$$\begin{aligned} X_{B_k} &= X_A + AB * \cos(\Phi_{1_k}) \\ Y_{B_k} &= Y_A + AB * \sin(\Phi_{1_k}) \end{aligned} \quad (1)$$

În urma efectuării calculului s-a trasat traiectoria descrisă de extremitatea elementului cinematic 1, respectiv manivela AB. Se poate observa că punctul C descrie un cerc (figura 6).

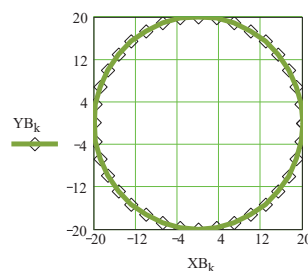


Fig. 6. Traiectoria descrisă de punctul B

➤ Parametrii dependenți de viteze – PDV [1,2]

$$\begin{aligned} X1B_K &= -\omega_1 * AB * \sin(\phi_{1k}) \\ Y1B_K &= \omega_1 * AB * \cos(\phi_{1k}) \end{aligned} \quad (2)$$

➤ Parametrii dependenți de accelerații – PDA [1,2]

$$\begin{aligned} X2B_K &= -\omega_1^2 * AB * \cos(\phi_{1k}) \\ Y2B_K &= -\omega_1^2 * AB * \sin(\phi_{1k}) \end{aligned} \quad (3)$$

Următoarea etapă constă din calculul parametrilor dependenți ai diadei formată din elementele cinematice 2 și 3. În figura 7 este prezentată grupa modulară pasivă formată din biela BC și balansierul DC. Parametrii dependenți de poziții sunt unghiurile ϕ_2 și ϕ_3 .

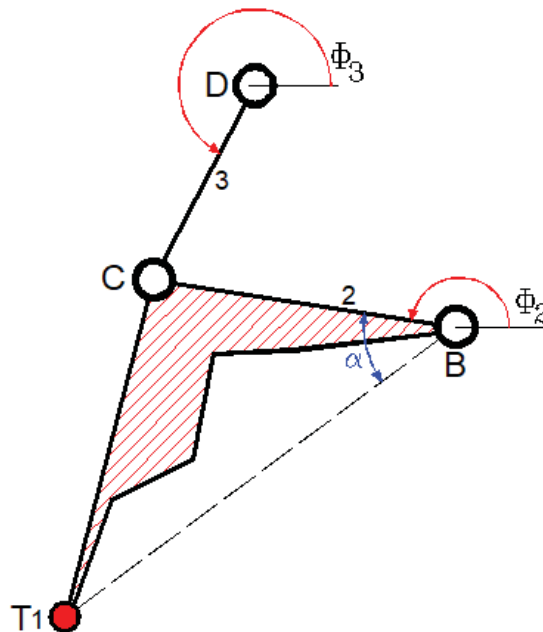


Fig. 7. Diada RRR (2,3)

Relațiile de calcul ale unghiurilor ϕ_2 și ϕ_3 sunt [1,2]:

$$\begin{aligned} XB_K - XD + BC * \cos(\phi_2) - DC * \cos(\phi_3) &= 0 \\ YB_K - YD + BC * \sin(\phi_2) - DC * \sin(\phi_3) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

În urma rezolvării sistemului neliniar format din cele două ecuații de mai sus se poate afișa grafic variația acestor parametri pentru o rotație completă a manivelei.

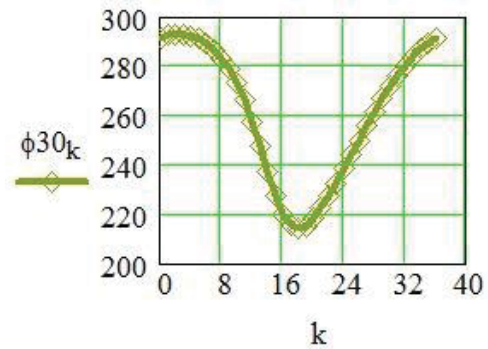
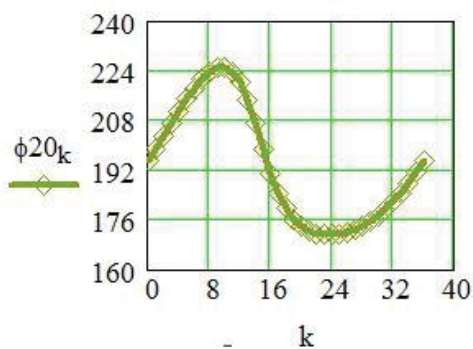


Fig. 8. Parametrii dependenți de poziții

Pentru a putea scrie relațiile de calcul ale parametrilor dependenți de viteze se va deriva în raport cu timpul sistemul de ecuații 4 și apoi se va scrie sub formă matricială [1,2] obținându-se:

$$AD1_K = \begin{pmatrix} -BC * \sin(\varnothing2_k) & DC * \sin(\varnothing3_k) \\ BC * \cos(\varnothing2_k) & -DC * \cos(\varnothing3_k) \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$CD1_K = \begin{bmatrix} -(X1B_k & -0) \\ -(Y1B_k & -0) \end{bmatrix}$$

Apoi se va obține relațiile de calcul pentru determinarea parametrilor dependenți de accelerații [1,2]. Se va rezolva sistemul matricial format din matricele AD1_k și DD1_k.

$$DD1_k = \begin{bmatrix} -[X2B_k - 0 - BC * (\omega2_k)^2 * \cos(\varnothing2_k) + DC * (\omega3_k)^2 * \cos(\varnothing3_k)] \\ -[Y2B_k - 0 - BC * (\omega2_k)^2 * \sin(\varnothing2_k) + DC * (\omega3_k)^2 * \sin(\varnothing3_k)] \end{bmatrix} \quad (6)$$

Variația parametrilor dependenți de viteze și accelerații sunt prezentați în figura 9 a) și b).

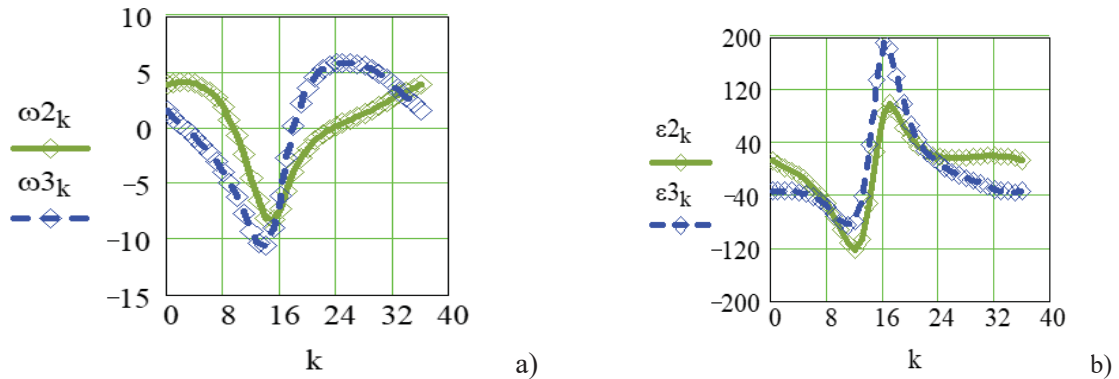


Fig. 9. a) Parametrii dependenți de viteze, b) Parametrii dependenți de accelerații

Pentru trasarea traiectoriei descrise de punctul C se scriu ecuațiile [1,2]:

$$\begin{aligned} XC_k &= XB_k + BC * \cos(\varnothing2_k) \\ YC_k &= YB_k + BC * \sin(\varnothing2_k) \end{aligned} \quad (7)$$

și se reprezintă grafic în figura 10.

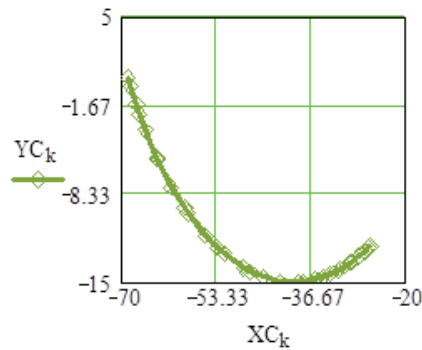


Fig. 10. Traiectoria punctului C

Se derivează în raport cu timpul sistemul de ecuații 7 și se vor obține relațiile necesare aflării parametrilor dependenți de viteze [1,2].

$$\begin{aligned} X1C_k &= X1B_k - \omega2_k * BC * \sin(\varnothing2_k) \\ Y1C_k &= Y1B_k + \omega2_k * BC * \cos(\varnothing2_k) \end{aligned} \quad (8)$$

Se continuă cu derivarea în raport cu timpul a sistemului de ecuații 8 și se obține [1,2]:

$$\begin{aligned} X2C_k &= X2B_k - (\omega 2_k)^2 * BC * \cos(\phi 2_k) - \varepsilon 2_k * BC * \sin(\phi 2_k) \\ Y2C_k &= Y2B_k - (\omega 2_k)^2 * BC * \sin(\phi 2_k) + \varepsilon 2_k * BC * \cos(\phi 2_k) \end{aligned} \quad (9)$$

Variația parametrilor dependenți de viteze și accelerații ai grupei modulare pasive este:

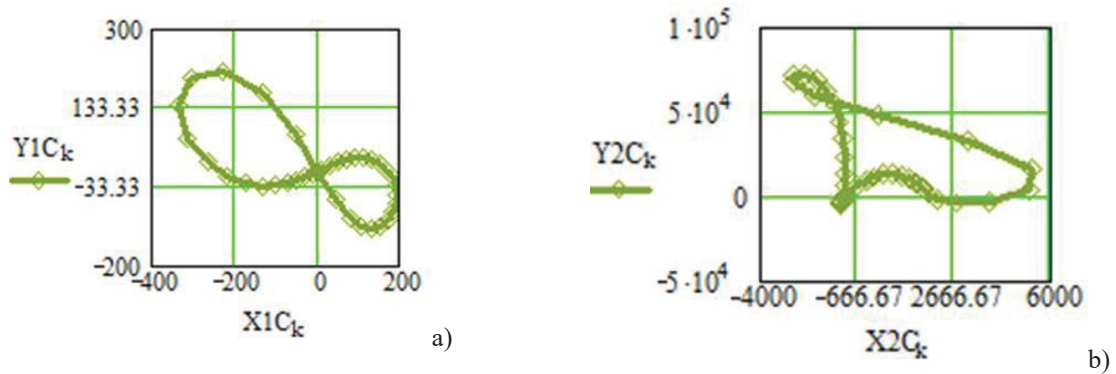


Fig. 11. a) Hodograful de viteze al punctului C, b) Hodograful de accelerații al punctului C

Apoi se va trasa traiectoria punctului T1. Relațiile de calcul ale acestui punct sunt [1,2]:

$$\begin{aligned} XT1_k &= XB_k + BT1 * \cos(\phi 2_k + \alpha) \\ YT1_k &= YB_k + BT1 * \sin(\phi 2_k + \alpha) \end{aligned} \quad (10)$$

Traectoria descrisă de extremitatea efectorului 2 este prezentată în figura 12.

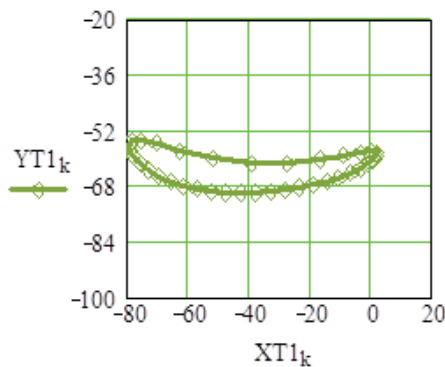


Fig. 12. Traectoria descrisă de punctul T1

S-a reluat calculul pentru al doilea picior și s-a obținut traiectoria descrisă de punctul T2.

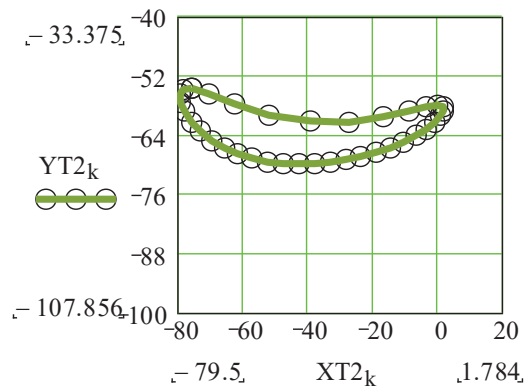


Fig. 13. Traectoria descrisă de punctul T2

În figura de mai jos sunt reprezentate traiectoriile descrise de punctele T1 și T2.

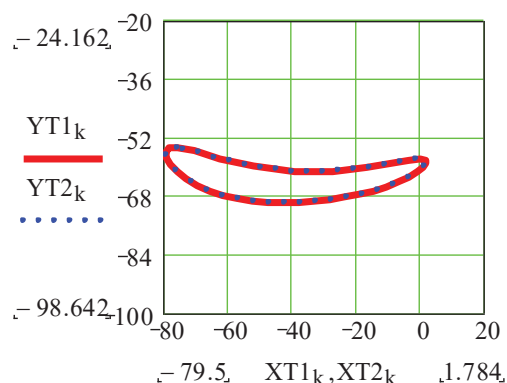


Fig. 14. Traiectoriile descrise de punctele T1 și T2

4. Modelarea sistemului biped

Modelarea fiecărui element cinematic se efectuează pornind de la alegerea planului de lucru față de care vor fi orientate elementele cinematice. Se poate alege *Front Plane* [5].

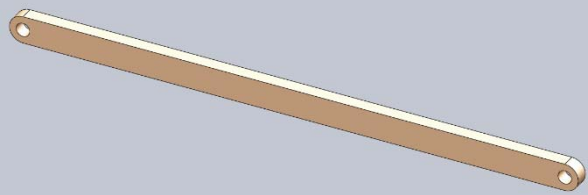
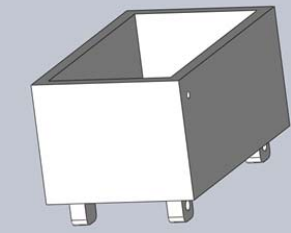

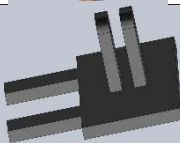
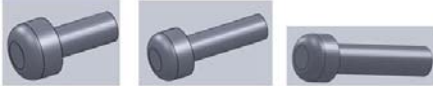
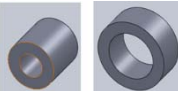
Pentru a efectua modelarea fiecărui element cinematic din componența piciorului robot se utilizează opțiunea *Part* și formele predefinite, apoi se stabilesc dimensiunile corecte. Pentru a obține elementul 3D, aceasta se extrudează [5].

Elementele cinematice modelate sunt prezentate în figurile de mai jos.

Tabelul 1. Elementele cinematice modelate CAD

Nr. crt.	Denumirea elementului	Reprezentarea elementului cinematic modelat
1.	Baza	
2.	BCT efector	
3.	AB manivela	
4.	CD balansier	
5.	Ax	

Tabelul 1. Elementele cinematice modelate CAD (continuare)

Nr. crt.	Denumirea elementului	Reprezentarea elementului cinematic modelat
6.	Element cinematic	
7.	Recipient transport	
8.	Roată	
9.	Talpă	
10.	Bolțuri	
11.	Bucșe	

În urma asamblării componentelor rezultă sistemul biped prezentat în figura 15.

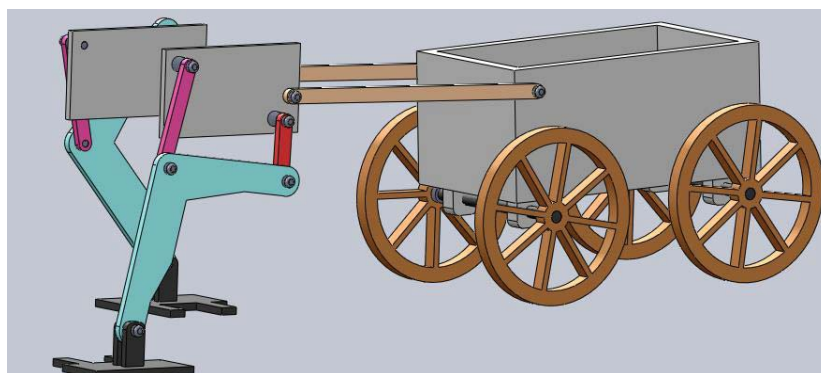


Fig. 15. Sistemul mecanic asamblat

5. Realizarea practica a sistemului biped

În urma efectuării analizei structural-cinematice și a modelării, sistemul mecanic a fost realizat și practic. Principalele etape sunt prezentate mai jos.

Etapa 1. Realizarea celor două picioare

În primă fază se assemblează partea de sus a piciorului, adică elementele efector, balansierul și manivelă cu ajutorul bolțurilor. Rezultatul este prezentat în figura 16.

Apoi se realizează tălpile mecanismului și se îmbină cu partea realizată anterior.



Fig. 16. Asamblarea componentelor picioarelor

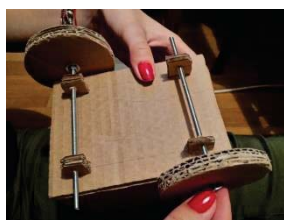
Cele două picioare, manivela, balansierul și bușele au fost printate cu ajutorul unei imprimante 3D.



Fig. 17. Elemente printate

Etapa 2. Realizarea cutiei

Se realizează un recipient folosit pentru transportul pieselor, componentă regăsită în Tabelul 1, poziția 7. Acesta se leagă de corpul sistemului biped prin intermediul elementului cinematic din Tabelul 1, poziția 6.



a)



b)

Fig. 18. a) Componentă transport, b) Ansamblul

Etapa 3. Realizarea dispozitivului de alimentare

Acest dispozitiv [9] este utilizat la alimentarea mecanismului biped în vederea transportării la destinație (punctul de sosire). Componenta superioară a dispozitivului, rezultată în urma măsurării materialelor la cotele corespunzătoare, tăiere și asamblare este prezentată în figura 19.



Fig. 19. Partea superioară

S-a obținut sistemul de alimentare prezentat în figura alăturată. Componenta de alimentare se assemblează cu balansierul și se fixează pe picioarele de susținere ale dispozitivului. În final se assemblează toate componentele și rezultă dispozitivul de alimentare din figura 20a) ce ulterior a fost vopsit (figura 20b).

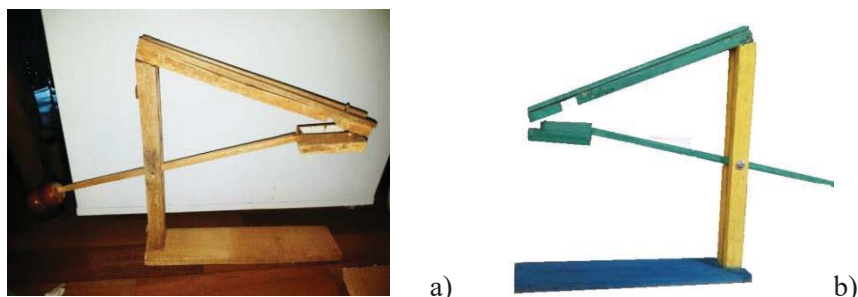


Fig. 20. Dispozitiv de alimentare

6. Concluzii

În concluzie, această lucrare a constat în realizarea unui sistem biped transportor și a dispozitivului de alimentare. În urma efectuării analizei structural-cinematice s-a elaborat modelul structural, schema de conexiuni și s-au determinat parametrii cinematici dependenți. Modelarea și simularea mecanismului studiat ne ajută la verificarea funcționării și punerii în practică a sistemului mecanic. În final s-a obținut sistemul biped transportor din figura 18 b).

7. Bibliografie

- [1]. Comănescu, A., Comănescu, D., Dugăeșescu I. și Boureci, A. (2010), *Bazele modelării mecanismelor*, Editura Politehnica Press, București;
- [2]. Pelecudi, C. (1967), *Bazele analizei mecanismelor*, Editura Academiei Republicii Socialiste Romania;
- [3]. Tempea, I., Dugăeșescu, I. și Neacșa, M., (2006), *Mecanisme*, Ed. Printech, ISBN (10) 973-718-560-9;
- [4]. Pandrea, N., Popa, D. și Stănescu, N.D. (2017), *Classical and Modern Approaches in the theory of mechanisms*, Wiley;
- [5]. Maican, E. (2006), *Solidworks, modelare 3D pentru ingineri*, Editura Printech, București, ISBN 973-718-544-7, 978-973-718-544-0;
- [6]. Troy, J.J. (1995), *Dynamic balance and walking control of biped mechanisms*;
- [7]. Manafi, N. (2002), *Bazele mecanicii aplicate – Statică și cinematică*, Editura Fair Partners;
- [8]. *** <http://www.scritub.com/tehnica-mecanica/ROBOTI-PASITORI74695.php>;
- [9]. *** <https://www.youtube.com/watch?v=gnlAT5J99mg>;
- [10]. *** https://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev_linkage.

8. Notații

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