

## STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF A SEEDLINGS TRANSPLANTING MANIPULATOR

SOARE Gabriel Alexandru, ZAMFIR Andreea, TALĂ George,  
BURTAN Alexandru Cosmin și ILIE Florin Cosmin Prenume

Facultatea: Ingineria Sistemelor Biotehnice, Specializarea: Mecronica Sistemelor Biotehnice,  
Anul de studii: II,  
e-mail: [gabriel\\_soare99@yahoo.com](mailto:gabriel_soare99@yahoo.com)

Conducător științific: Prof.dr.ing. **Adriana COMĂNESCU**

**ABSTRACT:** In the paper it is deeply analyzed a manipulator, which may have various applications in agricultural operations, among that of seedlings transplantation. The main structural, kineto-dynamic characteristics highlighted by relevant graphic representations and their general positional-kinematic and kineto-static and dynamic algorithms are presented. The mechanism may be integrated in various manipulators and other equipment.

**CUVINTE CHEIE:** agricultural manipulator, mechanism, structural model, modular groups connection, kineto-dynamic algorithm.

### 1. Introducere

Modelul constructiv al manipulatorului analizat în lucrare este selectat din literatura de specialitate [1][2][3]. Pe baza acestuia se pun în evidență caracteristicile structurale ale sistemului, precum structura modulară pentru stabilirea algoritmului de calcul cineto-dinamic. Aceste algoritme, care utilizează modelele de calcul specifice diverselor grupe modulare active și pasive sunt verificate prin ilustrații și animații grafice.

### 2. Considerații structurale

Manipulatorul pentru operația de transplant a răsadurilor (Fig.1) este un sistem plan cu un grad de mobilitate și trei contururi independente ale modelului structural (Fig. 2). Acesta este obținut din lanțul fundamental Watt prin amplificarea cu o diadă.

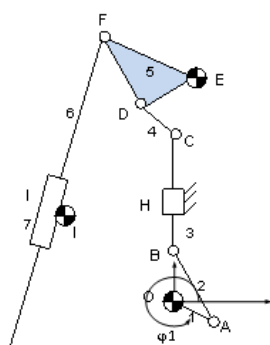


Fig. 1. Modelul constructiv

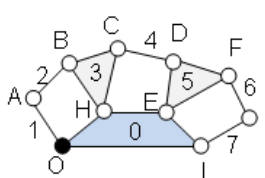


Fig. 2. Modelul structural

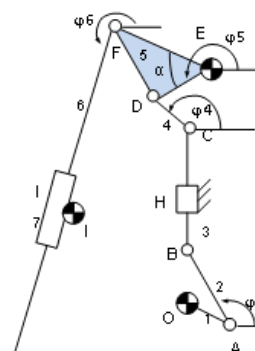


Fig. 3. Parametrii dependenți ai mecanismului

Pe baza modelului structural (Fig. 2) cu 7 elemente cinematice mobile și 10 cuple cinematice inferioare (de rotație și de translație) se stabilește conexiunea grupelor modulare (figura 4) din care se

desprind o grupă modulară activă GMAI (O,1) și trei grupe de tip diadă, respectiv RRT, RRR și RTR. Această conexiune stă la baza algoritmului cineto-dinamice elaborat în secțiunile următoare.

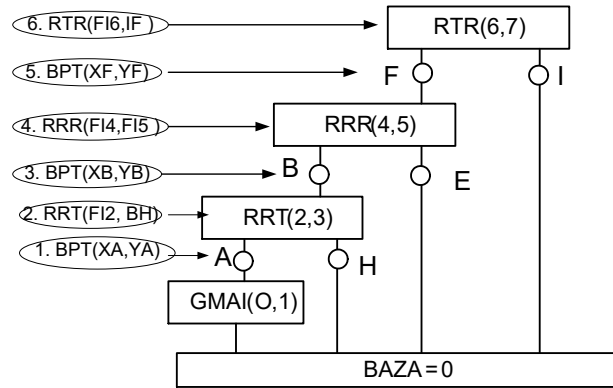


Fig.4. Conexiunea grupelor modulare

Pe baza modelului constructiv (Fig. 2) se stabilesc parametrii geometrici constanți ai sistemului:

**Tabelul 1. Parametri geometrici constanți**

PARAMETRII GEOMETRICI CONSTANTI						
XO := 0	XE := 24	YE := 379	XI := -177	YI := 164		
OA := 53	AB := 137	BC := 185	CD := 83	ED := 59	EF := 173	FT := 543
	$\alpha := 1.39$		$\alpha 0 := \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$			

Parametrul independent al mecanismului (Fig. 1) este menționat în tabelul 2.

**Tabelul 2. Parametrul independent al mecanismului**

PARAMETRUL INDEPENDENT		
$k := 0..36$	$\phi 1_k := k \cdot \frac{\pi}{18}$	$\omega 1 := 1$

### 3. Modelarea pozițional-cinematică a manipulatorului

Urmărind conexiunea grupelor modulare expusă în (Fig. 4) și utilizând modelele de calcul cinematic se realizează algoritmul de calcul din Tabelul 3.

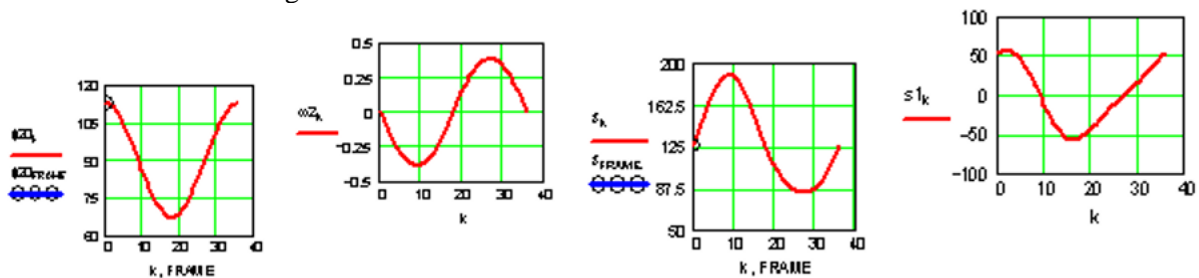


Fig. 5. Parametrii dependenți ai diadei RRT(2,3)

Parametrii cinematici dependenți sunt redați grafic după cum urmează:

- parametrii dependenți ai diadei RRT (2,3) (Fig. 5);  
 $\phi 2[rad], \phi 20[degree], \omega 2[sec^{-1}], s \equiv OH, s1 \equiv ds/dt$
- parametrii dependenți ai diadei RRR (4,5) (Fig. 6);  
 $\phi 4[rad], \phi 40[degree], \omega 4[sec^{-1}], \phi 5[rad], \phi 50[degree], \omega 5[sec^{-1}]$

- parametrii dependenți ai diadei RRR (6,7) (Fig. 7);  
 $\phi_6[\text{rad}], \phi_{60}[\text{degree}], \omega_6[\text{sec}^{-1}], FI, d(FI)/dt$
- parametrii cinematici ai punctului T – extremitatea elementului de execuție 6 (Fig. 8).

**Tabelul 3. Parametrii dependenți**

Modulul	Parametrii dependenți
BPT(A)	$XA_k := 0 + OA \cdot \cos(\phi_{1k}) \quad YA_k := 0 + OA \cdot \sin(\phi_{1k})$ $X1A_k := 0 - OA \cdot \sin(\phi_{1k}) \quad Y1A_k := 0 + OA \cdot \cos(\phi_{1k})$
RRT(2,3)	$XA_k + AB \cdot \cos(\phi_2) = 0 \quad YA_k + AB \cdot \sin(\phi_2) - s = 0$ $\text{sol}_k := \text{Find}(\phi_2, s) \quad \begin{pmatrix} \phi_{2k} \\ s_k \end{pmatrix} := \text{sol}_k \quad \phi_{20k} := \phi_{2k} \cdot \frac{180}{\pi}$ $A_k := \begin{pmatrix} -AB \cdot \sin(\phi_{2k}) & 0 \\ AB \cdot \cos(\phi_{2k}) & -1 \end{pmatrix} \quad B_k := \begin{bmatrix} -(X1A_k - 0) \\ -(Y1A_k - 0) \end{bmatrix} \quad \text{sol}_k := \text{Isolve}(A_k, B_k)$ $\begin{pmatrix} \omega_{2k} \\ s_{1k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k$
BPT(B)	$XB_k := XA_k + AB \cdot \cos(\phi_{2k}) \quad X1B_k := X1A_k - AB \cdot \sin(\phi_{2k}) \cdot \omega_{2k}$ $YB_k := YA_k + AB \cdot \sin(\phi_{2k}) \quad Y1B_k := Y1A_k + AB \cdot \cos(\phi_{2k}) \cdot \omega_{2k}$
RRR(4,5)	$XC_k + CD \cdot \cos(\phi_4) - XE - ED \cdot \cos(\phi_5) = 0$ $YC_k + CD \cdot \sin(\phi_4) - YE - ED \cdot \sin(\phi_5) = 0$ $\text{sol}_k := \text{Find}(\phi_4, \phi_5) \quad \begin{pmatrix} \phi_{4k} \\ \phi_{5k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k \quad \begin{pmatrix} \phi_{40k} \\ \phi_{50k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k \cdot \frac{180}{\pi}$ $A_k := \begin{pmatrix} -CD \cdot \sin(\phi_{4k}) & ED \cdot \sin(\phi_{5k}) \\ CD \cdot \cos(\phi_{4k}) & -ED \cdot \cos(\phi_{5k}) \end{pmatrix} \quad B_k := \begin{bmatrix} -(X1C_k - 0) \\ -(Y1C_k - 0) \end{bmatrix}$ $\text{sol}_k := \text{Isolve}(A_k, B_k) \quad \begin{pmatrix} \omega_{4k} \\ \omega_{5k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k$
BPT(F)	$XF_k := XE + EF \cdot \cos(\phi_{5k} - \alpha) \quad YF_k := YE + EF \cdot \sin(\phi_{5k} - \alpha)$ $X1F_k := 0 - EF \cdot \sin(\phi_{5k} - \alpha) \cdot \omega_{5k} \quad Y1F_k := 0 + EF \cdot \cos(\phi_{5k} - \alpha) \cdot \omega_{5k}$
RTR(6,7)	$XF_k + FI \cdot \cos(\phi_6) - XI = 0$ $YF_k + FI \cdot \sin(\phi_6) - YI = 0 \quad \text{sol}_k := \text{Find}(FI, \phi_6) \quad \begin{pmatrix} FI_k \\ \phi_{6k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k$ $\phi_{60k} := \phi_{6k} \cdot \frac{180}{\pi} \quad A_k := \begin{pmatrix} \cos(\phi_{6k}) & -FI_k \cdot \sin(\phi_{6k}) \\ \sin(\phi_{6k}) & FI_k \cdot \cos(\phi_{6k}) \end{pmatrix} \quad B_k := \begin{pmatrix} -X1F_k \\ -Y1F_k \end{pmatrix}$ $\text{sol}_k := \text{Isolve}(A_k, B_k) \quad \begin{pmatrix} FI_{1k} \\ \omega_{6k} \end{pmatrix} := \text{sol}_k$
BPT(T)	$XT_k := XF_k + FT \cdot \cos(\phi_{6k}) \quad X1T_k := X1F_k - FT \cdot \sin(\phi_{6k}) \cdot \omega_{6k}$ $YT_k := YF_k + FT \cdot \sin(\phi_{6k})$ $Y1T_k := Y1F_k + FT \cdot \cos(\phi_{6k}) \cdot \omega_{6k}$

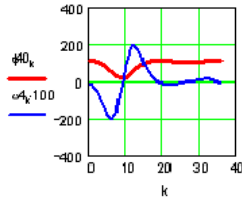


Fig. 6. Parametrii dependenti ai diadei RRR(4,5)

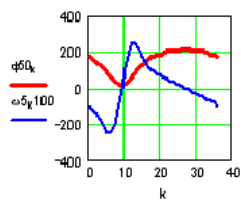


Fig. 7. Parametrii dependenti ai diadei RTR(6,7)

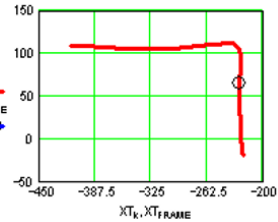
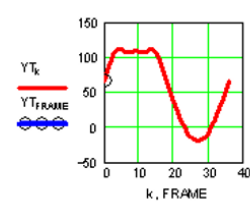
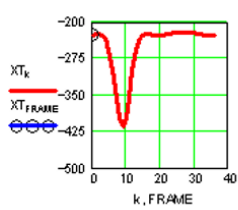
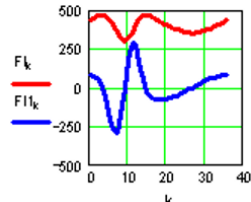
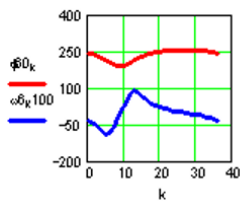


Fig. 8. Parametrii cinematici ai extremității elementului de execuție

#### 4. Determinarea momentului de echilibrare prin metoda puterilor virtuale

Metoda puterilor virtuale dă posibilitatea determinării momentului de echilibrare care asigură echilibrul sistemului sub acțiunea sistemului de forțe exterioare și de inerție.

Tabelul 4. Determinarea momentului de echilibrare

DETERMINAREA MOMENTULUI DE ECHILIBRARE	
RT := 20	$CM_k := \frac{-(RT \cdot Y1T_k)}{\omega_1}$

În lucrare se pune în evidență momentul de echilibrare necesar a fi aplicat în cupla activă luând în considerare exclusiv forța exterioară RT aplicată la extremitatea T a elementului de execuție, celelalte categorii de forțe fiind neglijate. Anterior se determină parametrii de viteză a punctului T, astfel încât se poate calcula din Tabelul 4 valoarea acestui moment notat  $CM_k$ . Curba de variație a acestuia este redată în figura 9.

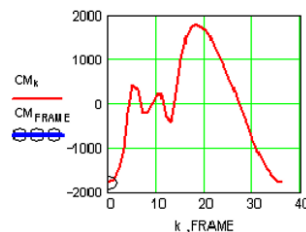


Fig. 9. Variația momentului de echilibrare pentru un ciclu cinematic

#### 5. Modelarea cinetostatică a manipulatorului

Momentul de echilibrare se poate determina alături de torsiunea de reacțiune din fiecare cuplă cinematică utilizând pentru analiza cinetostatică conexiunea grupelor modulare (Fig. 4) în ordinea inversă legării modulelor structurale. Algoritmul de calcul cinetostatic cu etapele sale successive este prezentat în Tabelul 5.

Pentru grupa modulară RTR (6,7) prezentată în figura 10 variația componentelor de reacțiune din cupla F sunt redată în figura 11.

Tabelul 5. Algoritm de calcul cinetostatic

Modulul	Parametrii dependenți
Torsorul echivalent al elementelor 7 și 6	$X6_k := 0 \quad Y6_k := RT \quad CM6_k := -(YT_k - YF_k) \cdot 0 + (XT_k - XF_k) \cdot RT$ $X7_k := 0 \quad Y7_k := RT \quad CM7_k := 0$
RTR (6, 7)	$A_k := \begin{bmatrix} -(YF_k - YI) & XF_k - XI \\ \cos(\phi6_k) & \sin(\phi6_k) \end{bmatrix} \quad B_k := \begin{bmatrix} -[CM6_k - (YF_k - YI) \cdot X6_k + (XF_k - XI) \cdot Y6_k] \\ -(X6_k \cdot \cos(\phi6_k) + Y6_k \cdot \sin(\phi6_k)) \end{bmatrix}$ $solr_k := \text{Isolve}(A_k, B_k) \begin{pmatrix} X56_k \\ Y56_k \end{pmatrix} := solr_k$ $X07_k := -(X56_k + X6_k + X7_k) \quad Y07_k := -(Y56_k + Y6_k + Y7_k)$
Torsorul echivalent al elementelor 4 și 5	$X4_k := 0 \quad Y4_k := 0 \quad CM4_k := 0 \quad X5_k := -X56_k \quad Y5_k := -Y56_k$ $CM5_k := -(YF_k - YE) \cdot (-X56_k) + (XF_k - XE) \cdot (-Y56_k)$
RRR(4,5)	$A_k := \begin{bmatrix} -(YC_k - YD_k) & XC_k - XD_k \\ -(YC_k - YE) & XC_k - XE \end{bmatrix} \quad B_k := \begin{bmatrix} 0 \\ -(CM5_k) \end{bmatrix}$ $solr_k := \text{Isolve}(A_k, B_k) \begin{pmatrix} X34_k \\ Y34_k \end{pmatrix} := solr_k$ $Y05_k := -(Y34_k + Y4_k + Y5_k) \quad X05_k := -(X34_k + X4_k + X5_k)$
Torsorul echivalent al elementelor 2 și 3	$X3_k := X43_k \quad Y3_k := Y43_k$ $CM3_k := -(YC_k - YB_k) \cdot X43_k + (XC_k - XB_k) \cdot Y43_k$ $X2_k := 0 \quad Y2_k := 0 \quad CM2_k := 0$ <b>Obs.</b> centrul de masa al elementului 3 - B=T $X43_k := -X34_k \quad Y43_k := -Y34_k$
RRT(2,3)	$A_k := \begin{bmatrix} -(YA_k - YB_k) & XA_k - XB_k \\ \cos(\frac{\pi}{2}) & \sin(\frac{\pi}{2}) \end{bmatrix} \quad B_k := \begin{bmatrix} -0 \\ -(X3_k \cdot \cos(\frac{\pi}{2}) + Y3_k \cdot \sin(\frac{\pi}{2})) \end{bmatrix}$ $solr_k := \text{Isolve}(A_k, B_k) \begin{pmatrix} X12_k \\ Y12_k \end{pmatrix} := solr_k \quad N03_k := -(X12_k + X43_k)$ $X32_k := -(X12_k + X2_k) \quad Y32_k := -(Y12_k + Y2_k) \quad X23_k := (X12_k + X2_k)$ $Y23_k := (Y12_k + Y2_k)$
Torsorul echivalent al elementului 1	$X21_k := -X12_k \quad Y21_k := -Y12_k \quad X1_k := X21_k \quad Y1_k := Y21_k$ $CM1_k := -(YA_k - 0) \cdot X21_k + (XA_k - 0) \cdot Y21_k$
GMAI(O,1)	$X01_k := -X1_k \quad Y01_k := -Y1_k \quad ME_k := -CM1_k$

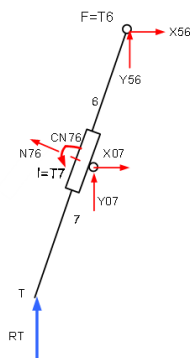


Fig. 10 Diada RTR (6, 7) torsorul de reacțiune din cuple

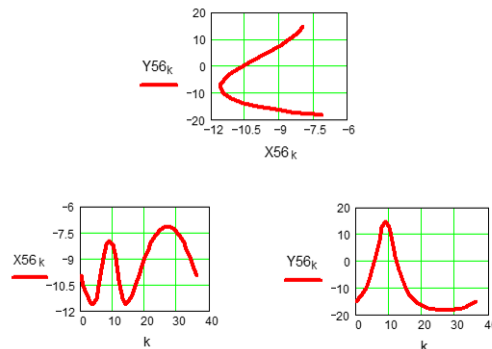


Fig. 11 Diada RTR (6, 7) torsorul de reacțiune din cupla cinematică F

Similar, pentru diada RRR (3,4) din figura 12, hodograful reacțiunii din cupla C (de legătură cu următoarea grupă modulară este prezentat în figura 13.

Următoarea grupă modulară RRT(2,3) este redată cu componentele torsorului de reacțiune în figura 14, iar variația componentelor din cuplă sunt prezentate în figura 15. Grupa modulară activă are în cupla activă O torsorul de reacțiune, care are una dintre componente momentul de echilibrare ME (figura 16). Acest torsor este redat în figura 17. Se observă că momentul de echilibrare din cupla activă A determinat prin cele două metode de calcul au valori și reprezentări identice (Fig. 9, Fig. 17).

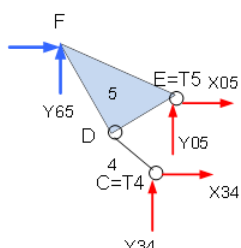


Fig. 12 Diada RRR (4, 5) torsorul de reacțiune din cuplele potențiale

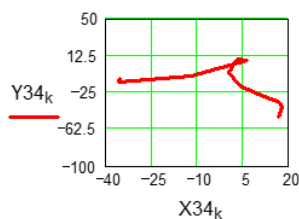


Fig. 13 Diada RRR (4, 5) hodograful reacțiunii din cupla cinematică C

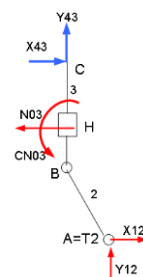


Fig. 14 Diada RRT (2, 3) torsorul de reacțiune din cuplele potențiale

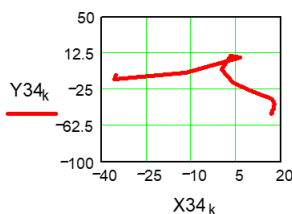


Fig. 15 Diada RRT (2, 3) Hodograful reacțiunii din cupla cinematică C

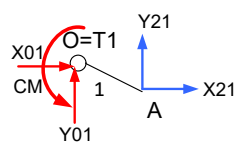


Fig. 16 Grupa modulară activă GMAI (0, 1) torsorul de reacțiune din cupla activă

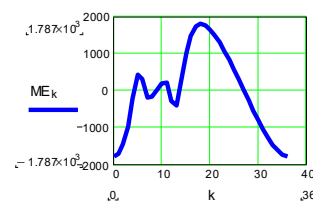


Fig. 17 Variația momentului de echilibrare pentru un ciclu cinematic

## 6. Concluzii

Manipulatorul cu anumite caracteristici utile pentru diverse operații agricole, cum ar fi acelea de realizare a unui pat germinativ pentru răsaduri, plantarea răsadurilor, verificarea culturilor sau recoltarea, poate fi integrat într-un echipament cu atributele unui robot mobil cu secvență fixă.

Contribuția autorilor constă în modelarea sistemului cu metode specifice teoriei mecanismelor.

## 7. Bibliografie

- [1]. Comănescu, Adr., Note de curs, seminar și laborator la disciplina MECANISME – UPB, Facultatea Ingineria Sistemelor Biotehnice, martie – iunie 2021;
- [2]. [https://www.researchgate.net/figure/Kinematic-Model-of-Transplanting-Finger-Mechanism-14-shows-the-mathematical-modelof\\_fig1\\_327234353](https://www.researchgate.net/figure/Kinematic-Model-of-Transplanting-Finger-Mechanism-14-shows-the-mathematical-modelof_fig1_327234353);
- [3]. Comănescu, Adr., Comănescu, D., Dugășescu, I., Ungureanu, L., Alionte, C., *Modelarea și simularea mecanismelor și a sistemelor biomorfe*, Editura POLITEHNICA Press, București, 2019 ISBN:978-606-515-857-3;
- [4]. Comănescu, Adr., Comănescu, D., Dugășescu, I., Boureci, A., *Bazele modelării mecanismelor*, Editura Politehnica-PRESS, ISBN:978-606-515-114-7, București, 2010;