



MEHANIZAM MANIPULATORA ZA POLJOPRIVREDNE SISTEME: ANALIZA KINEMATIKE I DINAMIKE

MANIPULATOR MECHANISM FOR AGRICULTURAL SYSTEMS: A KINEMATIC AND DYNAMIC ANALYSIS

Boris Brkić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHANIZACIJA I KONSTRUKCIONO MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Kompleksnost ubiranja „mekih“ plodova čini automatizaciju ubiranja gotovo nemogućom. U ovom radu obrazložena je potreba za automatizacijom, dat je pregled postojećih mehanizama i prikazan je razvoj novog prostornog mehanizma. Sprovedena je kinematička, a zatim i dinamička analiza, koje su proverene upotrebom Matlab i ADAMS softvera. Na kraju su prikazani rezultati razvoja mehanizma i kasnijih analiza.

Ključne reči: *Roboti u poljoprivredi, mehanizmi, simulacije, analiza mehanizma, prostorni mehanizmi.*

Abstract – The complexity of harvesting "soft" fruits makes automation nearly impossible. This paper explains why automation is needed, reviews the existing mechanisms used in this field and shows the development of a new spatial mechanism. Kinematic analysis was carried out, followed by a dynamic analysis, which were both verified through the use of Matlab and ADAMS software. Finally, the results of the mechanism development and analysis were presented.

Keywords: *Robots in agriculture, mechanisms, simulations, mechanism analysis, spatial mechanisms.*

1. UVOD

U dvadeset prvom veku pred poljoprivrednu proizvodnju postavljaju se mnogi zahtevi. Predviđeni rast ljudske populacije na svetskom nivou zahteva povećanje: efikasnosti proizvodnje i količine hrane. Takođe povećanje globalnih temperatura i smanjenje dostupne količine fosilnih goriva zahteva optimizaciju celog procesa. Ovaj cilj moguće je postići samo automatizacijom poljoprivredne proizvodnje.

Automatizacija procesa u poljoprivredi već je u toku širom sveta, upotreba mašina za: obradu zemljišta, setvu, zaštitu i ubiranje znatno je humanizovala rad i povećala prinose u prošlosti.

Ipak pored toga danas postoji veliki broj poslova koje i dalje obavljaju ljudi. Primer takvih poslova je ubiranje „mekih“ plodova. Ubiranje „mekih“ plodova bez njihovog oštećenja je jedan od najvećih problema koji još uvek nisu u rešenju.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Maja Čavić, vanred. prof.

Glavni razlog tome jeste raznolikost karakteristika plodova. Zbog kompleksnosti prirode problema veliki broj istraživača smatra da se ova vrsta problema može rešiti uvođenjem specijalizovanih robota.

U ovom radu biće predstavljen novi mehanizam robota sa šest stepeni slobode kretanja koji ima potencijal da bude korišćen u poljoprivrednoj proizvodnji.

Mehanizam će biti detaljno analiziran sa aspekta kinematike i dinamike: izvešće se jednačine kretanja a zatim će biti urađena detaljna kinetostatička analiza svih članova. Simulacija kretanja će se izvesti korišćenjem programa MATLAB., Formiraće se model mehanizma u programu ADAMS-u i verifikovati dobijeni rezultati.

2. STANJE U OBLASTI

Automatizacija procesa u poljoprivrednoj industriji tema je brojnih publikacija u struci. Pokazalo se da se svakom problemu mora prići sa specifičnim rešenjem koje zahteva multidisciplinarni prilaz [1].

Pre automatizacije bilo kog postupka ubiranja postavlja se veliki broj pitanja i uzima se u obzir veliki broj uticajnih faktora [1]. U gotovo svim slučajevima zbog velikog broja različitih karakteristika: plodova, biljaka i okruženja, roboti koji vrše ubiranje moraju posedovati veliki broj senzora i stepeni slobode kretanja [2].

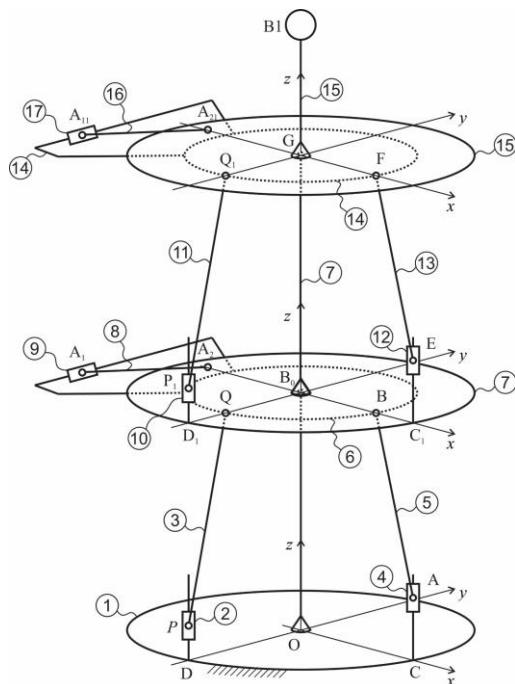
Sama kompleksnost rešenja često povlači za sobom niz nedostataka, npr. svi roboti koriste električne komponente koje su osetljive na kišu i blato, što prouzrokuje niz problema u praksi. Senzori koji su u blizini radnih organa često su najizloženiji nečistoćama i samim tim oštećenjima. Mehanička struktura mehanizama robota mora biti prilagođena težini plodova i njihovom položaju, a pri tome mora omogućavati velike brzine kretanja. Takođe struktura robota mora omogućavati postizanje određene „spretnosti“ rada mašine [3].

Pored velikog broja zahteva koji se postavljaju pred poljoprivredne robote, došlo je do naglog razvoja početkom 2000 godine. Razvijeni su roboti za ubiranje: pečuraka [4], lubenica [5], plavog patlidžana [6], pomorandži [7] i mnogih drugih biljaka. Takođe razvijena su rešenja koja opslužuju plastenike [8]. Sva rešenja su se razlikovala. Jedina konstanta koja ih povezuje jeste upotreba optičkih senzora. U postojećoj literaturi još uvek nije razvijen robot sa mehanizmom koji je obrađen u ovom radu. Ono što je specifično za mehanizam koji će se analizirati jeste upotreba sfernih zglobnih veza.

3. OPIS RADA MEHANIZMA

Na slici 1 prikazan je prostorni mehanizam, koji će biti detaljno analiziran. Član 1 predstavlja postolje sa vodičama na kojima su članovi 2 i 4 kao i kruto zavareni štap OB_0 . Svi klizači (članovi: 2, 4, 9, 10, 12, 17) su pogonski i vrše translatorno kretanje po vodičama. U tački B_0 , štap OB_0 sferno (sferni zglobovi) je vezan za član 6. Sfernim vezama u tačkama Q i B vezani su za član 6 članovi 3 i 5. Član 3 vezan je cilindričnom vezom (1 rotacija) u pravcu x ose za član 2. Članovi 4 i 5 sferno su vezani.

Kretanja članova 2 i 4 zadaju položaje članu 6. Član 6 na sebi nosi član 9 koji se translatorno kreće po njegovoj vodiči. Članovi 6 i 7 vezani su cilindričnom vezom u tački B_0 i mogu se zakretati jedan u odnosu na drugi oko B_0G pravca. Član 8 zglobovno je vezan za članove 9 i 7. Kretanje člana 9 definiše zakretanje člana 7 u odnosu na član 6.



Slika 1. Šema prostornog mehanizma

Član 7 ima sličnu konfiguraciju kao član 1, za njega su zavarene dve vodiče po kojima se kreću članovi 10 i 12. Takođe štap B_0G zavaren je za član 7 u tački B_0 . Ostatak mehanizma se ponavlja tj. veza između članova 10 i 11 je cilindrična, između 11 i 14 kao i 13 i 14 je sferna. Isto tako su veze između sledećih članova sferni zglobovi: 12 i 13, 16 i 17, 16 i 15.

Diskovi tj. članovi 14 i 15 klize jedan u odnosu na drugi kao članovi 6 i 7. Članovi 14 i 7 sferno su vezani u tački G. Položaj člana 14 u odnosu na član 7 definisan je pogonskim članovima 10 i 12, dok je rotacija člana 15 u odnosu na član 14 definisana kretanjem člana 17. Štap GB_1 zavaren je za član 15 u tački G. Svi članovi su kruti. Koordinatni sistemi: B_0xyz , $Gxyz$ čvrsto su vezani za članove 7 i 15 respektivno. Nakon svakog zakretanja ose u oznaci dobijaju po jednu zaptetu (*).

4. KINEMATIČKA ANALIZA

Cilj kinematičke analize je nalaženje brzine i ubrzanja tačke B_1 sa slike 1. pošto ona predstavlja hvataljku (radni organ) manipulatora.

4.1. Kretanje pogonskih članova

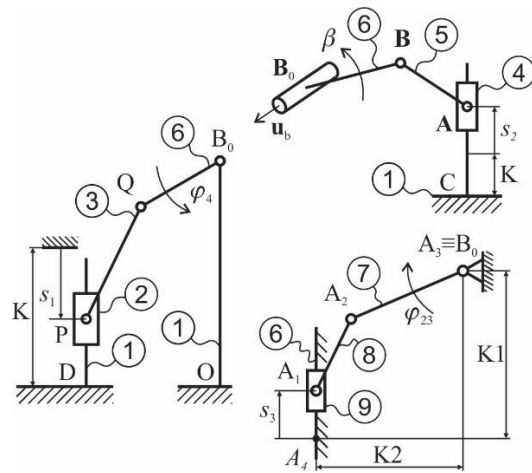
Da bi sistem tela bio mehanizam mora se kontrolisano kretati tj. mora se zadati zakon kretanja pogonskim članovima i dobiti poznato, kontrolisano kretanje izlaznog člana. U ovom slučaju koristi se polinom 3-4-5 zbog svojih povoljnih karakteristika [9]:

$$s = 10h \cdot (t/T)^3 - 15h \cdot (t/T)^4 + 6h \cdot (t/T)^5 \quad (1)$$

T predstavlja vreme trajanja kretanja, h je konačni pređeni put pogonskog člana, t je vreme. Svi pogonski članovi imaju isti zakon kretanja.

4.2. Prvi segment

Mehanizam se može podeliti na 2 segmenta. Ovi segmenti se analiziraju posebno. Prvi segment sastoji se od članova: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9. Rešavanje zahteva razlaganje na tri mehanizma data na slici 2. Svaki mehanizam definiše jedan od tri ugla sfernog kretanja člana 7 oko tačke B_0 .



Slika 2. Tri mehanizma sa uglovima koji definišu položaj člana 7

Pošto su dva mehanizma ravanska (sl. 2 levo i dole desno) i slična, mogu se lako rešiti pisanjem vektorskih kontura čijim projektovanjem na ose koordinatnog sistema i rešavanjem se dobijaju uglovi φ_4 i φ_{23} . Treći mehanizam je prostorni (sl. 2 gore desno). Za rešavanje prostornog mehanizma koriste se matricne metode. U ovom slučaju iz uslova da je član 5 kruto dobija se traženi ugao β . Na ovaj način dobijene su jednačine koje tačno definišu položaj člana 7 u svakom trenutku vremena. Korišćenjem dobijenih uglova formiraju se matrice transformacije:

$$\begin{bmatrix} R_{\varphi_4, x} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_4 & \sin \varphi_4 \\ 0 & -\sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R_{\beta, y'} \\ 0 \\ -\sin \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} R_{\varphi_{23}, z''} \\ \sin \varphi_{23} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{23}^* & -\sin \varphi_{23}^* & 0 \\ \sin \varphi_{23}^* & \cos \varphi_{23}^* & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R1 \\ R2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{\beta, y'} \\ R_{\varphi_4, x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{\varphi_{23}, z''} \\ R_{\beta, y'} \\ R_{\varphi_4, x} \end{bmatrix} \quad (3)$$

gde je φ_{23}^* ugao zakretanja čl. 7 u odnosu na čl. 6.

Nakon nalaženja uglova rotacije oko odgovarajućih osa, moguće je odrediti ugaonu brzinu člana 7. Za to potrebno

je sve vektorske konture i uslove diferencirati po vremenu i rešiti. Nakon rešavanja opet se dobijaju eksplicitne jednačine, s tim da se sada određuju: $\dot{\phi}_4$, $\dot{\phi}_{23}$ i $\dot{\beta}$. Sada se ugaona brzina člana 7 dobija kao:

$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \dot{\beta} [R_{\phi_{4,x}}]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \dot{\phi}_{23} [R1]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

gde se matrice transformacije koriste za prebacivanje vektora iz pokretnih u nepokretni koordinatni sistem.

Ako se diferenciraju vektorske konture i uslovi još jednom po vremenu dobijaju se jednačine iz kojih se određuju: $\ddot{\phi}_4$, $\ddot{\phi}_{23}$ i $\ddot{\beta}$. Diferenciranjem ugaone brzine dobijaju se ugaono ubrzanje člana 7 kao:

$$\vec{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \ddot{\phi}_4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \ddot{\beta} [R_{\phi_{4,x}}]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} - \dot{\beta} \dot{\phi}_4 \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \times [R_{\phi_{4,x}}]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \ddot{\phi}_{23} [R1]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \dot{\phi}_{23} \left(\begin{bmatrix} \dot{\phi}_4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - [R_{\phi_{4,x}}]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\beta} \\ 0 \end{bmatrix} \right) \times [R1]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Brzina i ubrzanje tačke G nalaze se kao:

$$\vec{v}_G = \vec{\omega} \times \vec{r}_G^{B_0} \quad (6)$$

$$\vec{a}_G = \vec{\varepsilon} \times \vec{r}_G^{B_0} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_G^{B_0}) \quad (7)$$

gde je:

$$\vec{r}_G^{B_0} = [R2]^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ B_0G \end{bmatrix} \quad (8)$$

Ovime je završena analiza prvog segmenta.

4.3. Drugi segment

Detaljnijom analizom može se uočiti da je drugi segment isti kao i prvi. Zato se sada ceo proračun ponavlja na isti način. Dobijenim veličinama pridružuje se broj 1 u indeksima i oznakama. Dobijene jednačine definisane su za pokretni koordinatni sistem B_0xyz . Najbitnije veličine dobijaju sledeće oznake:

$$\begin{aligned} s_1 &\rightarrow s_4 & \vec{\omega} &\rightarrow \vec{\omega}_1 & \vec{r}_G^{B_0} &\rightarrow \vec{r}_{B1}^G \\ s_2 &\rightarrow s_5 & \vec{\varepsilon} &\rightarrow \vec{\varepsilon}_1 & & \\ s_3 &\rightarrow s_6 & & & & \end{aligned} \quad (9)$$

Brzina i ubrzanje vrha mehanizma - tačke B_1 je:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{B1} &= \vec{v}_G + \vec{\omega}_{B1} \times \vec{r}_{B1}^G \\ \vec{a}_{B1} &= \vec{a}_G + \vec{\varepsilon}_{B1} \times \vec{r}_{B1}^G + \vec{\omega}_{B1} \times (\vec{\omega}_{B1} \times \vec{r}_{B1}^G) \end{aligned} \quad (10)$$

gde su:

$$\begin{aligned} \vec{\omega}_{B1} &= \vec{\omega} + [R2_1]^{-1} \vec{\omega}_1 \\ \vec{\varepsilon}_{B1} &= \vec{\varepsilon} + [R2_1]^{-1} \vec{\varepsilon}_1 \end{aligned} \quad (11)$$

Time je analiza drugog segmenta i kinematička analiza celog mehanizma završena.

4. KINETOSTATIČKA ANALIZA

Cilj kinetostatičke analize je dobijanje pogonskih sila u svim pogonskim članovima kao i sila koje deluju na pojedine članove pod dejstvom opterećenja tokom kretanja mehanizma.

U tački B_1 kruto se veže kugla mase $m = 10kg$, momenata inercije u svim pravcima J . Kugla u ovom slučaju simulira težinu ubranog ploda i hvataljke. Na ceo mehanizam deluje sila težine kugle kao i inercijalne sile koje su posledica kretanja kugle:

$$\begin{aligned} \vec{G} &= m \cdot g \\ \vec{F}^{in} &= -m \cdot \vec{a}_{B1} \\ \vec{M}^{in} &= -J \cdot \vec{\varepsilon}_{B1} \end{aligned} \quad (12)$$

Analiza počinje od vrha mehanizma i sprovodi se do svakog pogonskog čl. Korišćenjem drugog i trećeg Njutnovog zakona kao i Dalamberovog principa, za svaki član pišu se jednačine za glavni vektor svih sila i glavni moment svih sila za jednu proizvoljnu tačku. Koristi se metod dekompozicije. Pošto je u pitanju prostorni mehanizam sve jednačine se projektuju na tri ose jednog pokretnog ili nepokretnog koordinatnog sistema. Rešavanje ovih sistema radi se isključivo matricnom metodom. Pošto često nije moguće rešiti jednačine pojedinih članova posebno, rešavaju se zajedno u sistemima jednačina.

Na kraju kinetostatičke analize dobijene su reakcije veza u pokretnim i nepokretnim koordinatnim sistemima, čime se omogućava dimenzionisanje svih članova mehanizma. Takođe dobijaju se potrebne pogonske sile na svim pogonskim članovima što omogućuje dimenzionisanje, ili odabir pogonskih motora. Ova analiza prevazilazi okvire ovog rada jer se ne može svesti na par jednačina kao kinematička analiza pa neće biti prikazana.

5. SIMULACIJE

Na osnovu jednačina koje su izvedene u kinematičkoj i kinetostatičkoj analizi izvršice se simulacija kretanja u MATLABu. Članovima mehanizma zadaju se konačne dimenzije. Takođe, radi verifikacije, formira se model mehanizma i vrše se simulacije kretanja u programu ADAMS.

Za svaki pokret mehanizma dobijaju se vrednosti: položaja, brzina i ubrzanja svih tačaka mehanizma. Isto tako dobijaju se sve sile koje deluju na sve članove mehanizma. Simulira se pet pokreta. Prvi pokret dobija se kada je mehanizam u vertikalnom položaju i zadaju se kretanja članova 9 i 17. Drugi pokret dobija se zadavanjem kretanja članova 4 i 12 tako da se donji disk zakrene za 20 stepeni, a gornji za 40 stepeni. Treći pokret počinje iz krajnjeg položaja drugog pokreta. Mehanizam se zatim kreće u vertikalni položaj koristeći iste članove a pogon. Kroz vertikalni položaj prolazi i nastavlja da se naginje na drugu stranu dok diskovi ne dobiju uglove naginjanja od -20 i -40 step. Četvrti pokret predstavlja kombinaciju prvog i drugog. Peti pokret dobija se kretanjem svih pogonskih članova istovremeno. Svaki pokret traje jednu sekundu, broj koraka u Adamsu i matlabu je 100.

6. REZULTATI I DISKUSIJA

Pri pretpostavci da su svi članovi a posebno diskovi tj. članovi 6, 7, 14 i 15 laki, rezultati dobijeni u oba programa poklapaju se za sve pokrete. Pretpostavka je opravdana jer su mase pojedinih članova, pogotovo upotrebom modernih materijala, značajno manje od mase hvataljke sa plodom. Nakon zadavanja dužina svih

$$\overline{OD} = \overline{OC} = \overline{B_0D_1} = \overline{B_0C_1} = 150\text{mm}$$

$$\overline{OB_0} = \overline{B_0G} = \overline{GB1} = 500\text{mm}$$

članova: $\overline{QB_0} = \overline{B_0B} = \overline{Q_1G} = \overline{GF} = 100\text{mm}$

$$\overline{PQ} = \overline{AB} = \overline{P_1Q_1} = \overline{EF} = 300\text{mm}$$

$$K = 204,196\text{mm} \quad K1 = 300\text{mm} \quad K2 = 100\text{mm}$$

$$\overline{B_0A_2} = \overline{GA_2} = 100\text{mm} \quad \overline{A_1A_2} = \overline{A_{11}A_{21}} = 300\text{mm}$$

I nakon zadavanja hoda za kretanje svih pogonskih članova kao:

1. *pokret* $\rightarrow s_1 = 0, s_2 = 0, s_3 = 34,263\text{mm},$

$$s_4 = 0, s_5 = 0, s_6 = 34,263\text{mm}$$

2. *pokret* $\rightarrow s_1 = 0, s_2 = -33,119\text{mm}, s_3 = 0,$

$$s_4 = 0, s_5 = -33,119\text{mm}, s_6 = 0$$

3. *pokret* $\rightarrow s_1 = 0, s_2 = -68,404\text{mm}, s_3 = 0,$

$$s_4 = 0, s_5 = -68,404\text{mm}, s_6 = 0$$

4. *pokret* $\rightarrow s_1 = 0, s_2 = -33,119\text{mm}, s_3 = 34,263\text{mm},$

$$s_4 = 0, s_5 = -33,119\text{mm}, s_6 = 34,263\text{mm}$$

5. *pokret* $\rightarrow s_1 = -33,119\text{mm}, s_2 = 33,454\text{mm}, s_3 = 34,263\text{mm}$

$$s_4 = 33,119\text{mm}, s_5 = 33,454\text{mm}, s_6 = 34,263\text{mm}$$

Dobija se da su:

- sve sile u razumnim granicama,

- najveća brzina tačke B1 iznosi 1991mm/s i postiže se u p 3. Pokretu,

- najveće ubrzanje iznosi 6309 mm/s² i postiže se takođe u 3. Pokretu.

- najveća pogonska sila pojavljuje se u čl. 4 i iznosi 1286 N, dok se sa dodavanjem masa povećava na 1434 N.

Da bi znali koliki je uticaj masa koje su zanemarene, u ADAMS-u formiran je model sa masama i momentima inercije za navedene članove. Rezultati pokazuju da dodavanjem masa i momenata inercije najviše rastu sile na donjim pogonskim članovima. Za dodate mase od po 2,5 kg na centre diskova (čl. 6, 7, 14 i 15) uz masu od 10 kg u tački B₁ i dodavanjem momenata inercije članovima 6 i 14: $J_x = 2,812 \cdot 10^4 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$, $J_y = 1,4 \cdot 10^4 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$ i članovima 7 i 15 kao: $J_x = 1,25 \cdot 10^4 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$, $J_y = 6251 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$ uz to da je: $J = 10^6 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$ dobija se da je najveći porast pogonske sile na članu 9 u petom pokretu. U tom slučaju sila raste za 17,4% u nekim trenucima tokom kretanja.

7. ZAKLJUČAK

Analiziran je prostorni mehanizam manipulatora sa šest stepeni slobode kretanja. Jednačine koje opisuju kretanje manipulatora i opterećenja svih članova su izvedene što potvrđuju simulacije u programskom paketu ADAMS. Tokom analize pokazalo se da je drugi segment veoma sličan prvom, što znači da se drugi segment može

nadograditi na vrh mehanizma n puta, što omogućava formiranje manipulatora sa $3n$ stepeni slobode kretanja. Ovako formiran mehanizam imao bi značajno veću pokretljivost i radni prostor. Jednačine koje su dobijene mogu da se i u tom slučaju koriste. Takođe, dobijene jednačine mogu da se koriste za optimizaciju mehanizma. Matrice rotacije i zakretanja značajno olakšavaju rešavanje problema gde postoji veliki broj pokretnih koordinatnih sistema. Primećeni porast pogonske sile nakon dodavanja inercijalnih karakteristika diskovima ukazuje na to da kod formiranja mehanizma dodavanjem više uzastopnih drugih segmenata dolazi do sve veće računске greške pogonske sile jer formirane jednačine ne uzimaju u obzir mase svih elemenata.

8. LITERATURA

- [1] C. Schertz, G. Brown, "Basic considerations in mechanizing citrus harvest", In proc. Annual meeting of the american society of agricultural engineers, 343-346. Amherst, june (1966).
- [2] N. Tillett, "Robotic manipulators in horticulture: a review", Agricultural engineering research 55(2): 89-105 (1993).
- [3] B. Sivaraman and F. Burks, "Robot manipulator for citrus harvesting: configuration selection", In proc. ASABE annual international meeting, paper number: 071144, Minneapolis, June 17-20 (2007).
- [4] N. Reed, J. Miles, J. Butler, M. Baldwin, R. Noble, "Automatic mushroom harvester development", Agricultural engineering research 78(1): 15-23 (2001).
- [5] Y. Edan, D. Rogozin, T. Flash, E. Miles, "Robotic melon harvesting", IEEE transactions on Robotics and Automation 16(6): 831-835 (2000).
- [6] S. Hayashi, K. Ganno, Y. Ishii, I. Tanaka, "Robotic Harvesting System for Eggplants", Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ 36(3) 163-168 (2002).
- [7] G. Muscato, M. Prestifilippo, N. Abbate, I. Rizzuto, "A prototype of an orange picking robot: past history, the new robot and experimental results", Industrial Robot: An International Journal 32(2): 128-138 (2005).
- [8] J. Van Henten, J. Hemming, J. van Tuijl, G. Kornet, J. Meuleman, J. Bontsema, A. van Os, "An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouses", Autonomous robots 13(3): 241-258 (2002).
- [9] R. Norton, "Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines", Worcester polytechnic institute, Massachusetts (1999).

Kratka biografija:



Boris Brkić rođen je u Vrbasu 1993. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehanizacija i konstrukciono mašinstvo odbranio je 2020.god.
kontakt: borisbrki93@gmail.com



Maja Čavić je rođena u Beogradu 1965. Doktorirala je 2012. na FTN. Od 2017. je zvanju vanredni profesor. Oblast interesovanja su teorija mehanizama i mašina i prenos snage i kretanja.