

Kinematička i dinamička analiza Wattovog 6segmentnog mehanizma

Kukić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:185353>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**KINEMATIČKA I DINAMIČKA ANALIZA WATT
6SEGMENTNOG MEHANIZMA**

Rijeka, rujan 2022.

Karlo Kukić

0069076628

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad
**KINEMATIČKA I DINAMIČKA ANALIZA WATT
6SEGMENTNOG MEHANIZMA**

Mentor: prof. dr. sc. Roberto Žigulić

Rijeka, rujan 2022.

Karlo Kukić
0069076628

Rijeka, 12. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za tehničku mehaniku**
Predmet: **Dinamika**
Grana: **2.15.06 tehnička mehanika (mekanika krutih i deformabilnih tijela)**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Karlo Kukić (0069076628)**
Studij: **Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva**

Zadatak: **Kinematička i dinamička analiza Wattovog 6segmentnog mehanizma/
Kinematic and dynamic analysis of Watt 6bar mechanism**

Opis zadatka:

Proučiti dostupnu literaturu u kojoj se opisuje kinematička i dinamička analiza kako jednostavnijih tipova mehanizama (klipni mehanizmi, zglobni četverokuti, mehanizmi s koincidentnom točkom...) tako i složenijih tipova mehanizama tj. mehanizama s više članova. Proučiti i ispitati moguće primjene ravninskih mehanizama s više članova (Stephensovi i Wattovi mehanizmi), te njihove prednosti i nedostatke. Definirati kinematičke zakonitosti i jednadžbe Wattove porodice mehanizama te odrediti pomake, brzine, i ubrzanja kao i odgovarajuće kutne veličine njihovih članova. Iznijeti teorijske postavke dinamičke analize s izrazima za određivanje nepoznatih sila u zglobovima i osloncima te testirati izrađeno programsko rješenje temeljeno na Excel/VBA platformi na više primjera, varirajući pritom dimenzije pojedinih članova mehanizama i njegova opterećenja.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

Prof. dr. sc. Roberto Žigulić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Prof. dr. sc. Kristian Lenić

IZJAVA

Sukladno članku 8. pravilnika o završnom radu i završnom ispitu na preddiplomskom sveučilišnom studiju i stručnom studiju Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio ovaj završni rad na temu „Kinematička i dinamička analiza Wattova 6segmentnog mehanizma“, koristeći navedenu literaturu i znanje stečeno na Tehničkom fakultetu u Rijeci, pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Roberta Žigulića.

Rijeka, sranj 2021

Karlo Kukić
0069076628

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr. sc. Robertu Žiguliću, na odvojenom vremenu i pomoći tijekom pisanja ovog završnog rada. Također se zahvaljujem za pomoć pri odabiru teme ovog završnog rada te pojašnjavanju problema proizašlih prilikom rješavanja zadatka.

SADRŽAJ

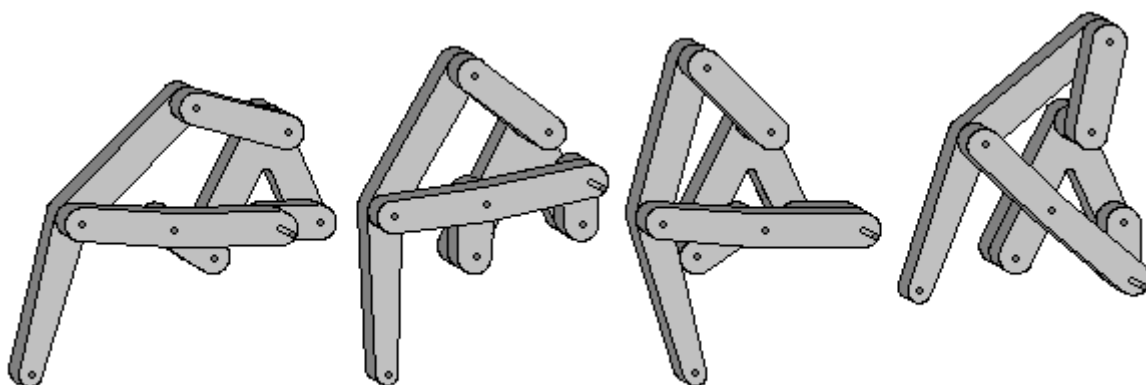
1. UVOD	1
2. KINEMATIČKA ANALIZA	3
2.1. Ulazni podaci.....	5
2.2. Analiza položaja.....	6
2.3. Analiza kutnih brzina	11
2.4. Analiza kutnih ubrzanja	12
3. DINAMIČKA ANALIZA.....	14
3.1. Težišta elemenata mehanizma.....	14
3.2. Ubrzanja težišta	16
3.3. Inercijske sile.....	17
3.4. Maseni momenti tromosti.....	18
3.5. Analiza sila.....	19
4. MODELIRANJE WATTOVIG I. TIPA MEHANIZMA U MICROSOFT EXCEL-U ..	23
4.1. Analiza položaja.....	23
4.2. Analiza kutnih brzina	32
4.3. Analiza kutnih ubrzanja	33
4.4. Analiza sila.....	34
5. PRIKAZ GIBANJA WATT I. MEHANIZMA U EXCELLU	38
5.1 Oslonci i segmenti mehanizma	38
5.2 Prikaz gibanja mehanizma (otvoreno-otvorena konfiguracija).....	39
5.3 Prikaz gibanja mehanizma (otvoreno-zatvorena konfiguracija)	41
5.4 Prikaz gibanja mehanizma (zatvoreno-otvorena konfiguracija)	43
5.5 Prikaz gibanja mehanizma (zatvoreno-zatvorena konfiguracija).....	45
6. ZAKLJUČAK	47
LITERATURA.....	48
POPIS SLIKA	49

POPIS OZNAKA	51
SAŽETAK.....	52
SUMMARY	53

1. UVOD

Mehanizam je uređaj koji prenosi ulazne sile i gibanja u određene izlazne sile i gibanja. Sastoje se od pokretnih dijelova koji uključuju remene, zupčanike, zglobne spojeve, bregasta vratila i slično. Glavna karakteristika mehanizama nekog stroja je da svi članovi imaju ograničeno gibanja koja mogu izvoditi samo na određeni način jedan u odnosu na drugoga.

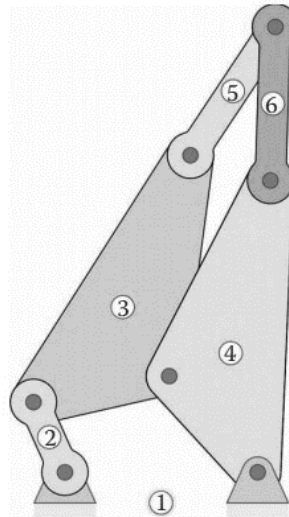
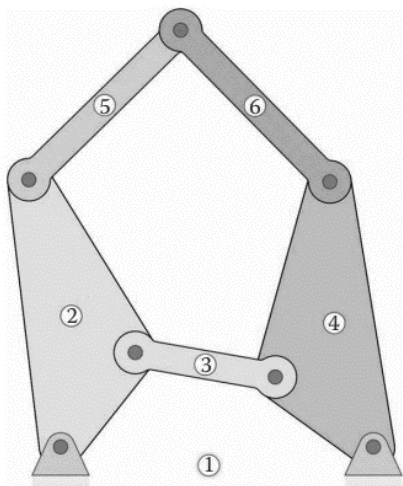
Funkcija mehanizama sastavljenih od više članova je pretvaranje rotacijskog gibanja pogonskog segmenta u kompleksna ili jednostavna ravninska gibanja točaka, poluga ili ploča. Primjer korištenja takvog oblika mehanizma je Klannov mehanizam koji se koristi kao noge nekih hodajućih strojeva.



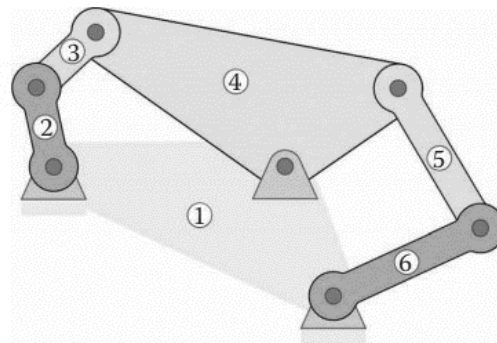
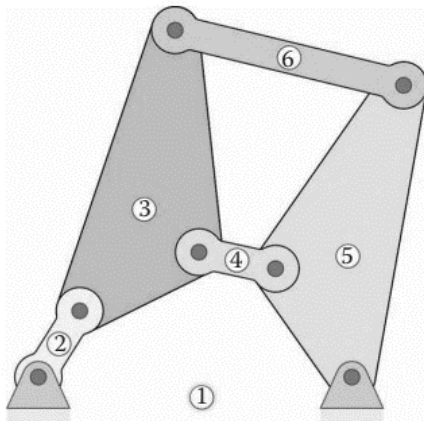
Slika 1.1. Klannov hodajući mehanizam

Wattov mehanizam je vrsta mehanizma koji se sastoji od centralne točke mehanizma koja se prilikom gibanja pomiče po skoro ravnoj liniji. Izmislio ga je James Watt, škotski izumitelj, inženjer i kemičar. Watt je opisao Wattov mehanizam prilikom patentiranja Wattovog parnog motora 1784. godine. Postoje dvije vrste Wattovog mehanizma: Watt I. i Watt II. Oba wattova mehanizam sastoji se od 7 zglobova i 6 poluga. Razlikuju se u tome šta Watt I. mehanizam ima četiri dvozglobe poluge i dvije trozglobne ploče dok Watt II. mehanizam ima pet dvozglobnih poluga i jednu trozglobnu ploču.

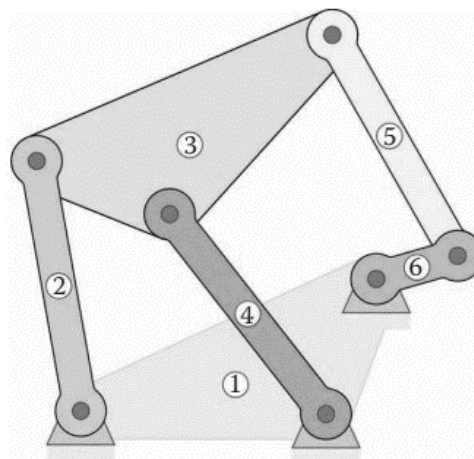
Za razliku od Stephensonovog 6-segmentnog mehanizma u kojem su ploče razdvojene dvozglobnim polugama, u Wattovom mehanizmu trozglobne ploče su međusobno spojene, a dvozglobne poluge su spojene u parove. Wattovi mehanizmi se izvode u 2 konfiguracije, Stephensonovi mehanizmi u tri konfiguracije (slike 1.2, 1.3 i 1.4).



Slika 1.2. Stephensonov I. tip i Wattov I. tip mehanizma



Slika 1.3. Stephensonov II. tip i Wattov II. tip mehanizma

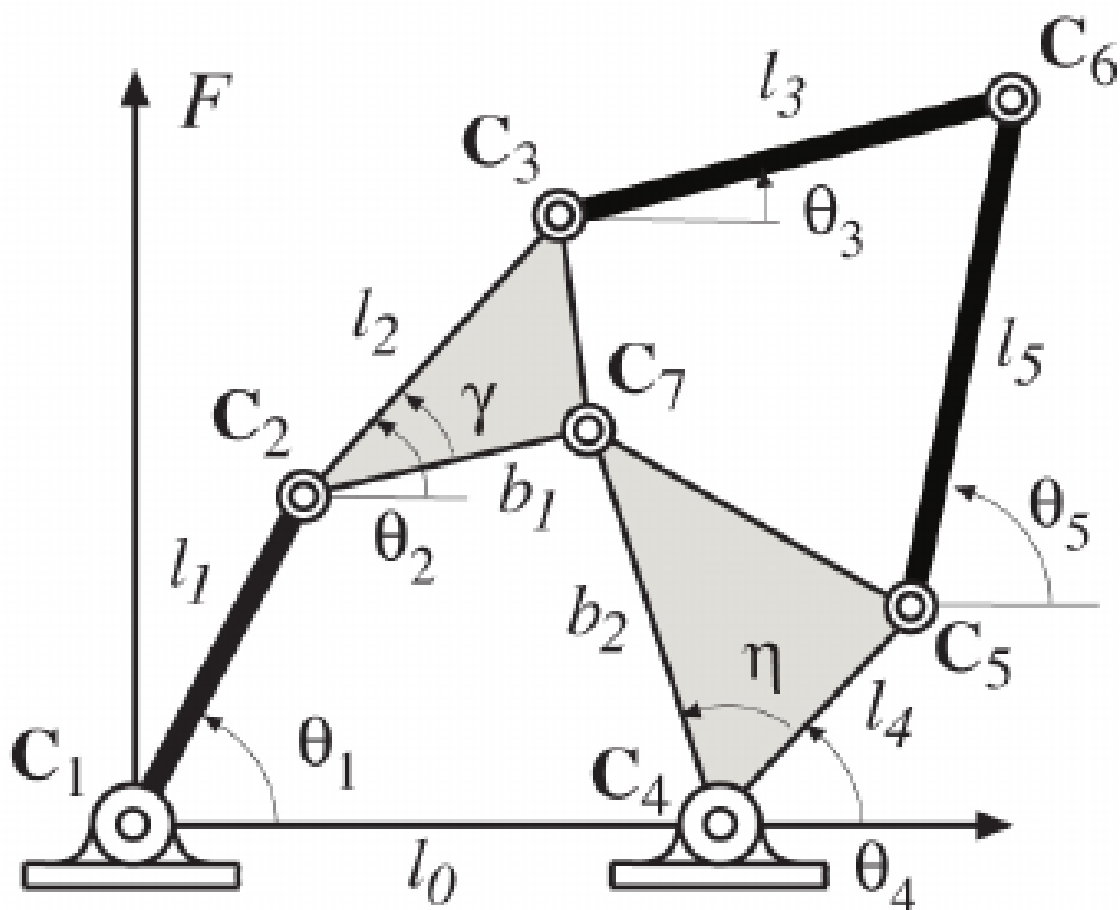


Slika 1.4. Stephensonov III. tip mehanizma

2. KINEMATIČKA ANALIZA

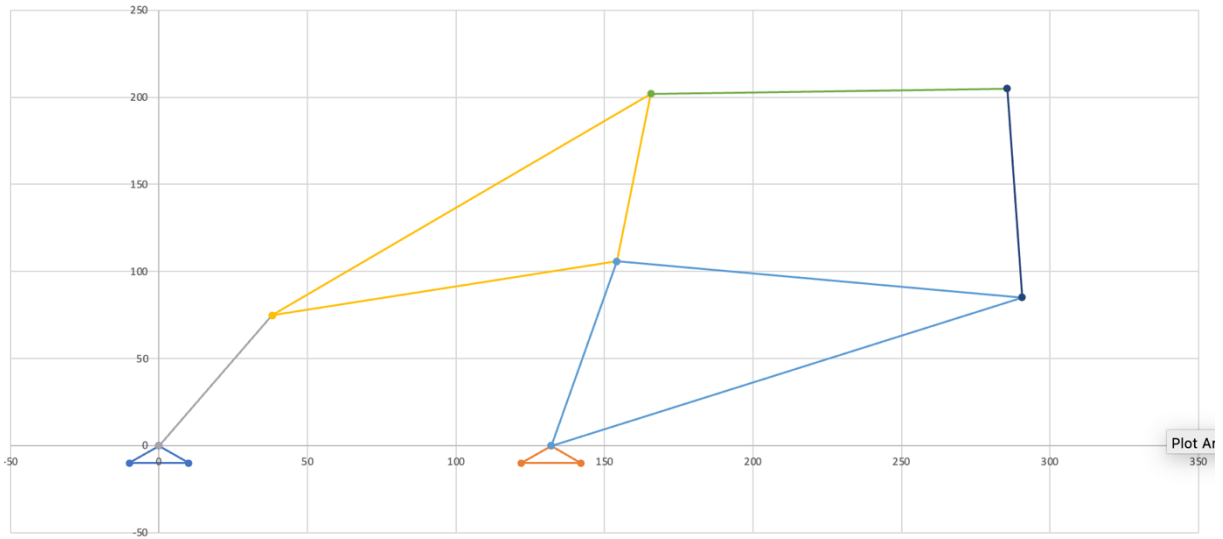
Kinematička analiza se koristi za definiranje vremenskog intervala u kojem se događaju promjene položaja, brzine i ubrzanja točaka, ne uzimajući u obzir sila koje djeluju na pojedine elemente. Kinematička analiza se može izvršiti grafičkim putem koji se može koristiti za izračunavanje jednostavnijih mehanizama ili analitičkim putem kojim se uz pomoć računala mogu dobiti rezultati za puno kompleksnije i zahtjevnije mehanizme.

Kinematička analiza Wattovog mehanizma prikazanog na slici 2.1 provoditi će se preko analitičke Ravenove metode kojom se primjer rješava postavljanjem vektorskih jednadžbi koje se raspisuju u oblik kompleksnih brojeva koji se onda pretvaraju u trigonometrijski oblik.

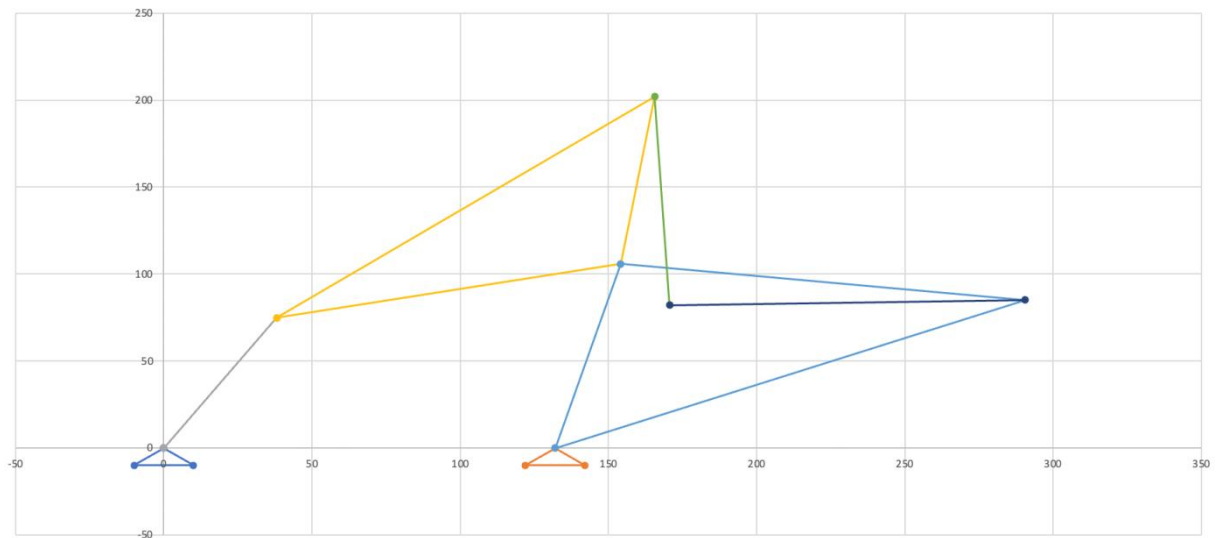


Slika 2.1. Wattov I. mehanizma – primjer

6-segmentni mehanizmi su složeni oblici mehanizama koji se promatraju kao dva odvojena 4-segmentna mehanizma, te postoje u više varijanti s istim vrijednostima duljina elemenata (otvorena i zatvorena konfiguracija).



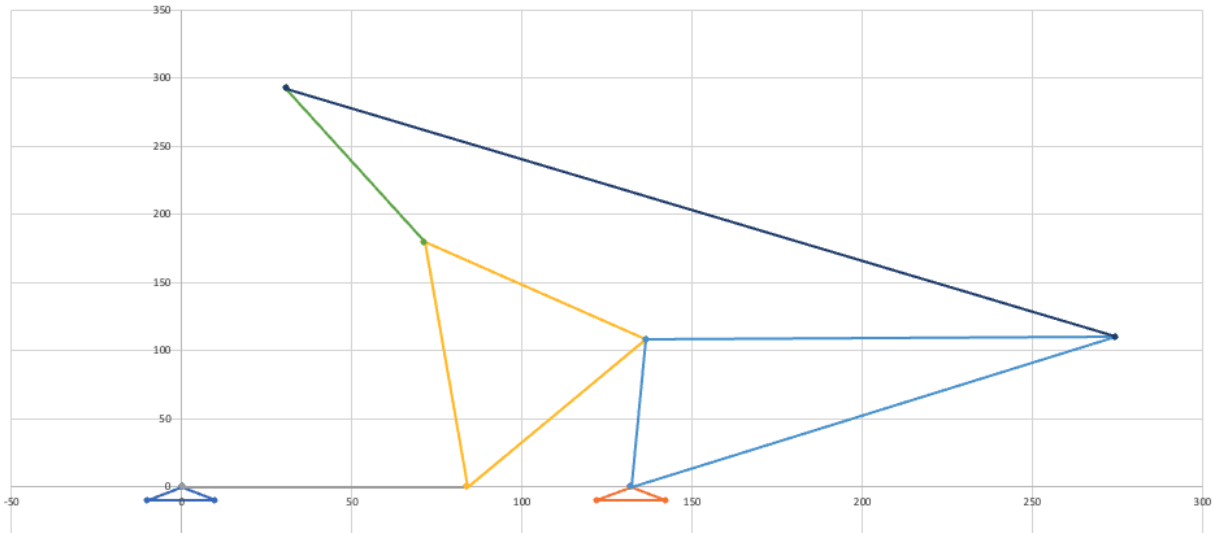
Slika 2.2. Otvoreno-otvorena konfiguracija Wattovog I. mehanizma



Slika 2.3. Otvoreno-zatvorena konfiguracija Wattovog I. mehanizma

2.1. Ulazni podaci

Za provođenje kinematičke analize Wattovog mehanizma i postavljanjem vektorske jednadžbe potrebni su ulazni podaci prikazani na slici 2.1., za duljine segmenata (r_1 , r_2 , r_3 , r_4 , r_{BE} , r_{DF} , r_5 i r_6) i kutove (γ_3 i γ_4), te kutna brzina i kutno ubrzanje pogonskog člana (ω_2 , ε_2). Za početak se određuje početni položaj mehanizma s kutom $\theta_2 = 0^\circ$ prikazanog na slici 2.5.

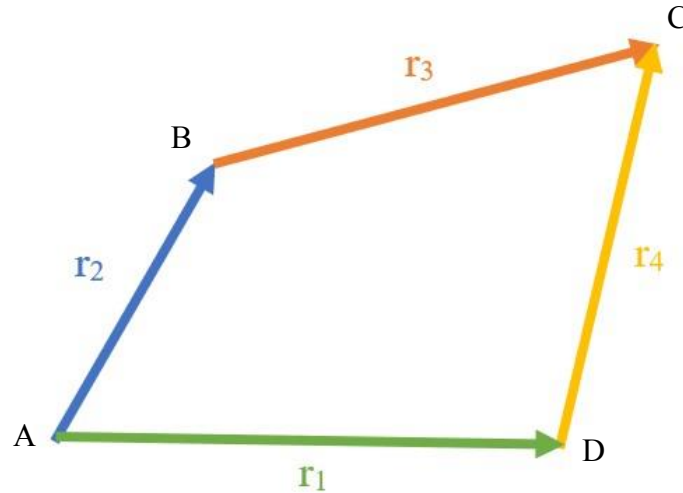


Slika 2.4. Početni položaj mehanizma

Mehanizam se pokreće okretanjem pogonskog člana oko točke A koja je smještena na ishodištu koordinatnog sustava. Početna kutna brzina pogonske ploče je $\omega_2 = 1$, a kutno ubrzanje je $\varepsilon_2 = 1$. Korištenjem Ravenove metode može se iz ulaznih podataka dobiti vrijednosti položaja, brzine i ubrzanja bilo koje točke mehanizma postavljanjem dvije jednostavne vektorske jednadžbe.

2.2. Analiza položaja

Za postavljanje vektorskih jednadžbi položaja pojedinih točaka 4-segmentnog mehanizma (točke A, B, C i D) koristi se zatvoreni poligon vektora prikazan na slici 2.6.



Slika 2.5. Vektorski prikaz donjeg 4-segmentnog mehanizma

Iz slike 2.6. slijedi slijedeća vektorska jednadžba:

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_4 = \vec{r}_2 + \vec{r}_3 \quad (2.1)$$

$$r_1 * e^{i\theta_1} + r_4 * e^{i\theta_4} = r_2 * e^{i\theta_2} + r_3 * e^{i\theta_3}$$

Raspisivanjem vektorske jednadžbe (2.1) Ravenovom metodom dobivaju se trigonometrijske jednadžbe (2.2) i (2.3).

$$r_1 * \cos \theta_1 + r_4 * \cos \theta_4 = r_2 * \cos \theta_2 + r_3 * \cos \theta_3 \quad (2.2)$$

$$r_1 * \sin \theta_1 + r_4 * \sin \theta_4 = r_2 * \sin \theta_2 + r_3 * \sin \theta_3 \quad (2.3)$$

Vektor r_1 spaja točke A i D koje su nepomični zglobovi na istoj horizontali što znači da je kut $\theta_1 = 0$.

$$r_4 * \cos \theta_4 = r_2 * \cos \theta_2 + r_3 * \cos \theta_3 - r_1 \quad (2.4)$$

$$r_4 * \sin \theta_4 = r_2 * \sin \theta_2 + r_3 * \sin \theta_3 \quad (2.5)$$

Kvadriranjem i zbrajanjem jednadžbi (2.4) i (2.5) dobiva se (2.10):

$$r_4 * \cos \theta_4 = r_2 * \cos \theta_2 + r_3 * \cos \theta_3 - r_1 \quad (2.6)$$

$$r_4 * \sin \theta_4 = r_2 * \sin \theta_2 + r_3 * \sin \theta_3 \quad (2.7)$$

$$r_4^2 * \cos^2 \theta_4 = r_2^2 * \cos^2 \theta_2 + 2 * r_2 * r_3 * \cos \theta_2 * \cos \theta_3 + r_3^2 * \cos^2 \theta_3 - 2 * r_1 * r_2 * \cos \theta_2 - 2 * r_1 * r_3 * \cos \theta_3 \quad (2.8)$$

$$r_4^2 * \sin^2 \theta_4 = r_2^2 * \sin^2 \theta_2 + 2 * r_2 * r_3 * \sin \theta_2 * \sin \theta_3 + r_3^2 * \sin^2 \theta_3 \quad (2.9)$$

$$\frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2}{2 * r_2 * r_3} + \cos \theta_2 * \cos \theta_3 + \sin \theta_2 * \sin \theta_3 - \frac{r_1}{r_3} * \cos \theta_2 - \frac{r_1}{r_2} * \cos \theta_3 = 0 \quad (2.10)$$

Uvođenjem konstanti k_1 , k_2 i k_3 i njihovim ubacivanjem ubacujemo u jednadžbu (2.10), dobiva se:

$$k_1 = \frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2}{2 * r_2 * r_3} \quad (2.11)$$

$$k_2 = \frac{r_1}{r_3} \quad (2.12)$$

$$k_3 = \frac{r_1}{r_2} \quad (2.13)$$

$$k_1 + \cos \theta_2 * \cos \theta_3 + \sin \theta_2 * \sin \theta_3 - k_2 * \cos \theta_2 - k_3 * \cos \theta_3 = 0 \quad (2.14)$$

Slijedi univerzalna zamjena sinusa i kosinusa za kut θ_3 (2.15), (2.16):

$$k_1 + \cos \theta_2 * \frac{1 - t^2}{1 + t^2} + \sin \theta_2 * \frac{2t}{1 + t^2} - k_2 * \cos \theta_2 - k_3 * \frac{1 - t^2}{1 + t^2} = 0 \quad (2.15)$$

$$k_1 * (1 + t^2) + \cos \theta_2 * (1 - t^2) + \sin \theta_2 * 2t - k_2 * \cos \theta_2 * (1 + t^2) - k_3 * (1 - t^2) = 0 \quad (2.16)$$

Koeficijentima uz t^2 pridružuje se A, uz t koeficijent pridružuje se B, a ostalima C (2.17), (2.18), (2.19):

$$A = k_1 - \cos \theta_2 - k_2 * \cos \theta_2 + k_3 \quad (2.17)$$

$$B = 2 * \sin \theta_2 \quad (2.18)$$

$$C = k_1 + \cos \theta_2 - k_2 * \cos \theta_2 - k_3 \quad (2.19)$$

Dobivamo kut θ_3 s 2 moguća rješenja (2.20):

$$\theta_3 = 2 * \text{atan}\left(\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 * A * C}}{2 * A}\right) \quad (2.20)$$

Istim postupkom dobiva se formulu za kut θ_4 :

$$r_3 = r_1 + r_4 - r_2 \quad (2.21)$$

$$r_3 * \cos \theta_3 = r_1 + r_4 * \cos \theta_4 - r_2 * \cos \theta_2 \quad (2.22)$$

$$r_3 * \cos \theta_3 = r_4 * \cos \theta_4 - r_2 * \cos \theta_2 \quad (2.23)$$

$$r_3^2 * \cos^2 \theta_3 = r_1^2 + 2r_1 * r_4 * \cos \theta_4 + r_4^2 * \cos^2 \theta_4 - 2r_1 * r_2 * \cos \theta_2 - 2r_2 r_4 * \cos \theta_2 * \cos \theta_4 + r_2^2 * \cos^2 \theta_2 \quad (2.24)$$

$$r_3^2 * \sin^2 \theta_3 = r_4^2 * \sin^2 \theta_4 - 2r_2 * r_4 * \sin \theta_2 * \sin \theta_4 + r_2^2 * \sin^2 \theta_2 \quad (2.25)$$

$$r_1^2 + r_4^2 + r_2^2 - r_3^2 + 2r_1 * r_3 * \cos \theta_4 - 2r_1 * r_2 * \cos \theta_2 - 2r_2 * r_3 * \cos \theta_2 * \cos \theta_4 + \sin \theta_2 * \sin \theta_4 = 0 \mid \div (2 * r_2 * r_4) \quad (2.26)$$

$$\frac{r_1^2 + r_4^2 + r_2^2 - r_3^2}{2r_2 * r_4} + \frac{r_1}{r_2} * \cos \theta_4 - \frac{r_1}{r_4} * \cos \theta_2 - (\cos \theta_2 * \cos \theta_4 + \sin \theta_2 * \sin \theta_4) = 0 \quad (2.27)$$

Uvođenjem konstante k_4 , k_5 i k_6 :

$$k_4 = \frac{r_1^2 + r_2^2 + r_4^2 - r_3^2}{2 * r_2 * r_4} \quad (2.28)$$

$$k_5 = \frac{r_1}{r_2} \quad (2.29)$$

$$k_6 = \frac{r_1}{r_4} \quad (2.30)$$

Nakon uvrštavanja u jednadžbu (2.27):

$$k_4 + k_5 * \left(\frac{1 - t^2}{1 + t^2} \right) - k_6 * \cos \theta_2 - (\cos \theta_2 * \left(\frac{1 - t^2}{1 - t^2} \right) + \sin \theta_2 * \left(\frac{2t}{1 + t^2} \right)) = 0 \mid * (1 + t^2) \quad (2.31)$$

$$k_4 * (1 + t^2) + k_5 * (1 - t^2) - k_6 * \cos \theta_2 * (1 + t^2) - \cos \theta_2 * (1 - t^2) - \sin \theta_2 * 2 * t = 0 \quad (2.32)$$

Koeficijentima uz t^2 pridružuje se D, uz t pridružuje se E, a ostalima F (2.33), (2.34), (2.35):

$$D = k_4 + \cos \theta_2 - k_6 * \cos \theta_2 - k_5 \quad (2.33)$$

$$E = -2 * \sin \theta_2 \quad (2.34)$$

$$F = k_4 - \cos \theta_2 - k_6 * \cos \theta_2 + k_5 \quad (2.35)$$

Na kraju se dobiva θ_4 s 2 moguća rješenja (2.36):

$$\theta_4 = 2 * \operatorname{atan}\left(\frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4 * D * F}}{2 * D}\right) \quad (2.36)$$

Nakon što su izračunati kutovi θ_3 i θ_4 , trigonometrijom se računaju koordinate točaka zglobova donjeg 4-segmentnog mehanizma. Točka A mehanizma se nalazi u ishodištu koordinatnog sustava i time su njezine koordinate (0, 0) u svim zakretnim položajima mehanizma. Za ostale točke koordinate se rješavaju jednostavnim trigonometrijskim jednadžbama.

$$B_x = r_2 * \cos \theta_2 \quad (2.37)$$

$$B_y = r_2 * \sin \theta_2 \quad (2.38)$$

$$C_x = B_x + r_3 * \cos \theta_3 \quad (2.39)$$

$$C_y = B_y + r_3 * \sin \theta_3 \quad (2.40)$$

$$D_x = r_1 \quad (2.41)$$

$$D_y = 0 \quad (2.42)$$

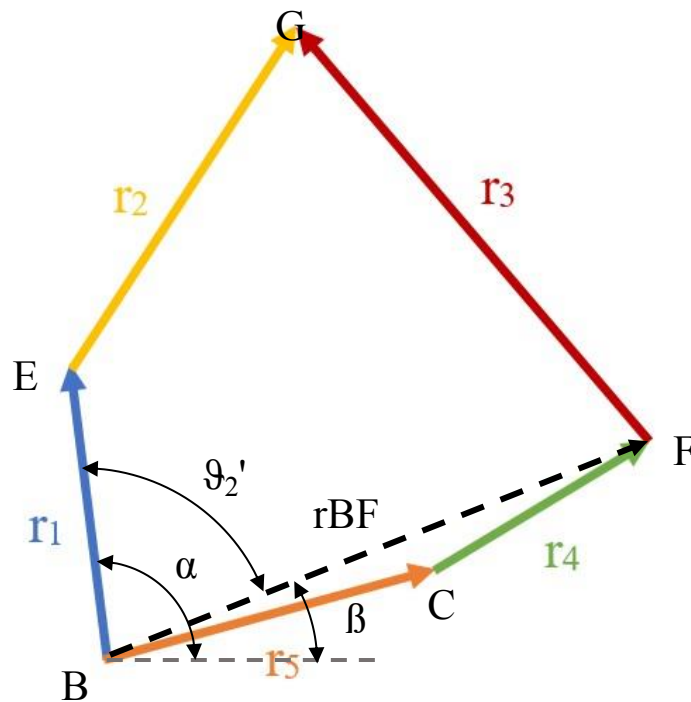
$$E_x = D_x + r_{DE} * \cos(\theta_4 - \gamma_4) \quad (2.43)$$

$$E_y = r_{DE} * \sin(\theta_4 - \gamma_4) \quad (2.44)$$

$$F_x = r_{AF} * \cos \gamma_2 \quad (2.45)$$

$$F_y = r_{AF} * \sin \gamma_2 \quad (2.46)$$

Koordinate točke G mogu se izračunati tek nakon što se odrede vrijednosti kutova θ_5 i θ_6 koje se računaju rješavanjem gornjeg 4-segmentnog mehanizma Ravenovom metodom vektorskog zbroja.



Slika 2.6. Vektorski zbroj gornjeg 5-članog mehanizma

Za određivanje vrijednosti kutova θ_5 i θ_6 ponoviti ćemo postupak Ravenove metode. Kako bi se moglo započeti s ovim dijelom proračuna potrebno je odrediti vrijednost unutarnjeg kuta θ_2' (2.49) koji se dobiva preko kutova α i β (2.47) i (2.48).

$$\alpha = \arccos \frac{E_x - D_x}{r_{DE}} \quad (2.47)$$

$$\beta = \arccos \frac{F_x - D_x}{r_{DF}} = konst. \quad (2.48)$$

$$\theta'_2 = \alpha + \beta \quad (2.49)$$

Postupak računanja je jednak kao i kod četveročlanog mehanizma gdje su koeficijenti A, B, C, D, E i F u ovom slučaju G, H, I, J, K i L a krajnja formula za kutove θ_5 i θ_6 otvorene konfiguracije mehanizma θ_{51} (2.50) i θ_{61} (2.51) i glasi:

$$\theta_{51} = 2 * \operatorname{atan}\left(\frac{-H + \sqrt{H^2 - 4 * G * F}}{2 * G}\right) + \beta \quad (2.50)$$

$$\theta_{61} = 2 * \operatorname{atan}\left(\frac{-K - \sqrt{K^2 - 4 * J * L}}{2 * J}\right) + \beta \quad (2.51)$$

Za zatvorenu konfiguraciju θ_{52} (2.52) i θ_{62} (2.53) slijedi:

$$\theta_5 = 2 * \operatorname{atan}\left(\frac{-H - \sqrt{H^2 - 4 * G * F}}{2 * G}\right) + \beta \quad (2.52)$$

$$\theta_6 = 2 * \operatorname{atan}\left(\frac{-K + \sqrt{K^2 - 4 * J * L}}{2 * J}\right) + \beta \quad (2.53)$$

Nakon izračunatih kutova mogu se dobiti koordinate točke G za obje konfiguracije mehanizma (2.54), (2.55), (2.56) i (2.57):

$$G_{x1} = F_x + r_6 * \cos \theta_{61} = E_x + r_5 * \cos \theta_{51} \quad (2.54)$$

$$G_{y1} = F_y + r_6 * \sin \theta_{61} = E_y + r_5 * \sin \theta_{51} \quad (2.55)$$

$$G_{x2} = F_x + r_6 * \cos \theta_{62} = E_x + r_5 * \cos \theta_{52} \quad (2.56)$$

$$G_{y2} = F_y + r_6 * \sin \theta_{62} = E_y + r_5 * \sin \theta_{52} \quad (2.57)$$

2.3. Analiza kutnih brzina

Kutne brzine elemenata se mogu izračunati raspisivanjem jednadžbe vektorskog zbroja (2.58) i deriviranjem iste (2.59):

$$r_1 * e^{i\theta_1} + r_4 * e^{i\theta_4} = r_2 * e^{i\theta_2} + r_3 * e^{i\theta_3} / d\theta \quad (2.58)$$

$$r_2 * e^{i\theta_2} * i\theta_2 + r_3 * e^{i\theta_3} * i\theta_3 = r_4 * e^{i\theta_4} * i\theta_4 \quad (2.59)$$

Raspisivanjem u trigonometrijski oblik dobiva se (2.60):

$$\begin{aligned} & * r_4 * \omega_4 * (\cos \theta_4 + i * \sin \theta_4) \\ & = i * r_2 * \omega_2 * (\cos \theta_2 + i * \sin \theta_2) + i * r_3 * \omega_3 * (\cos \theta_3 + i \\ & * \sin \theta_3) \end{aligned} \quad (2.60)$$

Daljnijm sređivanjem dobiva se jednadžba za kutnu brzinu ω_4 (2.61):

$$\omega_4 = \frac{r_2 * \omega_2 * \sin(\theta_3 - \theta_2)}{r_4 * \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (2.61)$$

Istim postupkom se dobiju i ostale kutne brzine ω_3 (2.62) i kutna brzina virtualne poluge $\omega_{2'}$ (2.63):

$$\omega_3 = \frac{r_2 * \omega_2 * \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 * \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (2.62)$$

$$\omega_{2'} = \frac{r_2 * \omega_2 * \sin(\theta_3 - \theta_2)}{r_4 * \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (2.63)$$

Kutne brzine otvoreno-otvorenog položaja ω_{51} (2.64) i ω_{61} (2.65) se dobiju istim postupkom raspisivanjem formule vektorskog zbroja gornjeg 4-segmentnog mehanizma:

$$\omega_{51} = \frac{r_{DE} * \omega_4 * \sin(\theta_{61} - \theta_2')}{r_5 * \sin(\theta_{51} - \theta_{61})} \quad (2.64)$$

$$\omega_{61} = \frac{r_{DE} * \omega_4 * \sin(\theta_{51} - \theta_2')}{r_6 * \sin(\theta_{51} - \theta_{61})} \quad (2.65)$$

Kutne brzine otvoreno-zatvorenog položaja ω_{52} (2.66) i ω_{62} (2.67) iznose:

$$\omega_{52} = \frac{r_{DE} * \omega_4 * \sin(\theta_{62} - \theta_2')}{r_5 * \sin(\theta_{52} - \theta_{62})} \quad (2.66)$$

$$\omega_{62} = \frac{r_{DE} * \omega_4 * \sin(\theta_{52} - \theta_2')}{r_6 * \sin(\theta_{52} - \theta_{62})} \quad (2.67)$$

2.4. Analiza kutnih ubrzanja

Kutna ubrzanja se dobivaju derivacijom izvoda formula za kutne brzine (2.68), (2.69).

$$i * r_4 * \omega_4 * e^{i\theta_4} = i * r_2 * \omega_2 * e^{i\theta_2} + i * r_3 * \omega_3 * e^{i\theta_3} / d\theta \quad (2.68)$$

$$\begin{aligned} i * r_4 * \varepsilon_4 * e^{i\theta_4} - r_4 * \omega_4^2 * e^{i\theta_4} \\ = i * r_2 * \varepsilon_2 * e^{i\theta_2} - r_2 * \omega_2^2 * e^{i\theta_2} + i * r_3 * \varepsilon_3 * e^{i\theta_3} - r_3 * \omega_3^2 \\ * e^{i\theta_3} \end{aligned} \quad (2.69)$$

Raspisivanjem u trigonometrijski oblik i sređivanjem jednadžbe se dobiva (2.71) i (2.72):

$$\begin{aligned} i * r_4 * \varepsilon_4 * (\cos \theta_4 + i * \sin \theta_4) - r_4 * \omega_4^2 * (\cos \theta_4 + i * \sin \theta_4) \\ = i * r_2 * \varepsilon_2 * (\cos \theta_2 + i * \sin \theta_2) - r_2 * \omega_2^2 * (\cos \theta_2 + i * \sin \theta_2) \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\begin{aligned} + i * r_3 * \varepsilon_3 * (\cos \theta_3 + i * \sin \theta_3) - r_3 * \omega_3^2 * (\cos \theta_3 + i * \sin \theta_3) \\ - r_4 * \varepsilon_4 * \sin \theta_4 - r_4 * \omega_4^2 * \cos \theta_4 \\ = -r_2 * \varepsilon_2 * \sin \theta_2 - r_2 * \omega_2^2 * \cos \theta_2 - r_3 * \varepsilon_3 * \sin \theta_3 - r_3 * \omega_3^2 \\ * \cos \theta_3 \end{aligned} \quad (2.71)$$

$$\begin{aligned} r_4 * \varepsilon_4 * \cos \theta_4 - r_4 * \omega_4^2 * \sin \theta_4 \\ = r_2 * \varepsilon_2 * \cos \theta_2 - r_2 * \omega_2^2 * \sin \theta_2 + r_3 * \varepsilon_3 * \cos \theta_3 - r_3 * \omega_3^2 \\ * \sin \theta_3 \end{aligned} \quad (2.72)$$

Daljnijm sređivanjem se dolazi do konačne formule za kutna ubrzanja ε_3 (2.73)

i ε_4 (2.74), te kutna ubrzanja virtualne poluge ε_2' (2.75):

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 \\ = \frac{-r_2 \varepsilon_2 * \sin \theta_2 - r_2 \omega_2^2 * \cos \theta_2 - r_3 \omega_3^2 * \cos \theta_3 + r_4 \varepsilon_4 * \sin \theta_4 + r_4 \omega_4^2 * \cos \theta_4}{r_3 * \sin \theta_3} \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$\varepsilon_4 = \frac{r_2 \omega_2^2 * \cos(\theta_3 - \theta_2) - r_2 \varepsilon_2 * \sin(\theta_3 - \theta_2) + r_3 \omega_3^2 - r_4 \omega_4^2 * \cos(\theta_3 - \theta_4)}{r_4 * \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (2.74)$$

$$\varepsilon_2' = \frac{r_2 \omega_2^2 * \cos(\theta_4 - \theta_2) - r_2 \varepsilon_2 * \sin(\theta_4 - \theta_2) + r_{BF} \omega_2'^2 * \cos(\theta_4 - \theta_2') - r_4 \omega_4^2}{r_{CF} \sin(\theta_4 - \theta_2')} \quad (2.75)$$

Preostale kutna ubrzanja ε_{51} (2.76) i ε_{61} (2.77) za otvoreno-otvorenu konfiguraciju se dobiju istim postupkom deriviranjem vektorske jednadžbe kutnih brzina gornjeg 4-segmentnog mehanizma:

$$\varepsilon_{51} = \frac{r_{CE} \omega_4^2 \cos(\theta_{61} - \theta_2') - r_{CE} \varepsilon_4 \sin(\theta_{61} - \theta_2') - r_6 \omega_6^2 + r_5 \omega_5^2 \cos(\theta_{61} - \theta_{51})}{r_5 * \sin(\theta_{61} - \theta_{51})} \quad (2.76)$$

$$\varepsilon_{61} = \frac{r_{CE}\omega_4^2 \cos(\theta_{51} - \theta_2') - r_{CE}\varepsilon_4 \sin(\theta_{51} - \theta_2') + r_5\omega_5^2 - r_6\omega_6^2 \cos(\theta_{51} - \theta_{61})}{r_6 * \sin(\theta_{61} - \theta_{51})} \quad (2.77)$$

Za otvoreno-zatvorenu konfiguraciju kutnih ubrzanja ε_{52} (2.78) i ε_{62} (2.79) su:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{52} \\ = \frac{r_{CE}\omega_4^2 \cos(\theta_{62} - \theta_2') - r_{CE}\varepsilon_4 \sin(\theta_{62} - \theta_2') - r_6\omega_6^2 + r_5\omega_5^2 \cos(\theta_{62} - \theta_{52})}{r_5 * \sin(\theta_{62} - \theta_{52})} \end{aligned} \quad (2.78)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{62} \\ = \frac{r_{CE}\omega_4^2 \cos(\theta_{52} - \theta_2') - r_{CE}\varepsilon_4 \sin(\theta_{52} - \theta_2') + r_5\omega_5^2 - r_6\omega_6^2 \cos(\theta_{52} - \theta_{62})}{r_6 * \sin(\theta_{62} - \theta_{52})} \end{aligned}$$

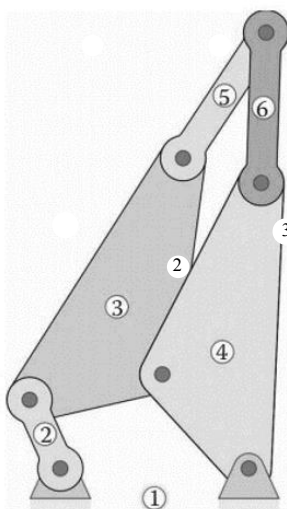
(2.79)

3. DINAMIČKA ANALIZA

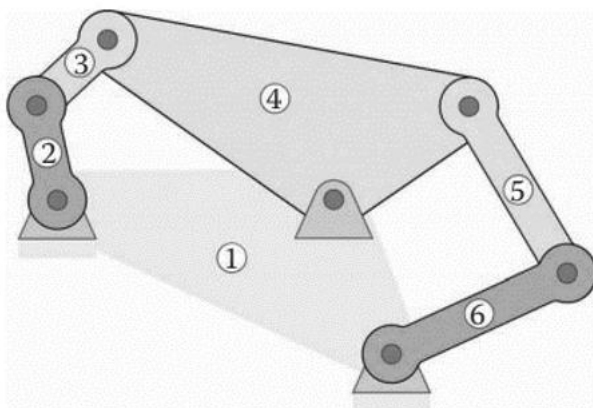
Dinamika je grana mehanike koja analizira gibanje tijela i povezuje ih sa silama koje djeluju na njega. Dinamičkom analizom za poznate položaje točaka, brzine i ubrzanja možemo dobiti sile i momente zbog kojih se mehanizam giba. Za izračunavanje sila, potrebne su nam koordinate težišta svih elemenata mehanizma jer se pretpostavlja da je u težištu koncentrirana cjelokupna masa svih čestica tijela.

3.1. Težišta elemenata mehanizma

Wattov mehanizam sastoji od 5 različitih elemenata spojenih zglobovima prikazanim na slici 3.1.



Slika 3.1. Segmenti Wattovog I. mehanizma



Slika 3.2. Segmenti Wattovog II. mehanizma

Težište elementa oblika trokutaste ploče se dobiva zbrajanjem koordinata kutova i dijeljenjem tog broja s 3 (što predstavlja broj kutova ploče), dok se težište poluge dobije zbrojem koordinata točaka zglobova i dijeljenjem s 2.

$$T_{2x} = \frac{A_x + B_x}{2} \quad (3.1)$$

$$T_{2y} = \frac{A_y + B_y}{2} \quad (3.2)$$

$$T_{3x} = \frac{B_x + C_x + E_x}{3} \quad (3.3)$$

$$T_{3y} = \frac{B_y + C_y + E_y}{3} \quad (3.4)$$

$$T_{4x} = \frac{C_x + D_x + F_x}{3} \quad (3.5)$$

$$T_{4y} = \frac{C_y + D_y + F_y}{3} \quad (3.6)$$

$$T_{51x} = \frac{E_x + G_{x1}}{2} \quad (3.7)$$

$$T_{51y} = \frac{E_y + G_{y1}}{2} \quad (3.8)$$

$$T_{52x} = \frac{E_x + G_{x2}}{2} \quad (3.9)$$

$$T_{52y} = \frac{E_y + G_{y2}}{2} \quad (3.10)$$

$$T_{61x} = \frac{F_x + G_{x1}}{2} \quad (3.11)$$

$$T_{61y} = \frac{F_y + G_{y1}}{2} \quad (3.12)$$

$$T_{62x} = \frac{F_x + G_{x2}}{2} \quad (3.13)$$

$$T_{62y} = \frac{F_y + G_{y2}}{2} \quad (3.14)$$

3.2. Ubrzanja težišta

Brzine točaka težišta dobivaju se derivacijom vektorske jednadžbe položaja točaka težišta.

Daljnjom deriviranjem brzina dobivaju se jednadžbe za ubrzanja točaka težišta.

Slika 3.2. Vektori položaja točaka težišta

$$a_{2x} = -g_2\omega_2^2\cos(\theta_2 + \varphi_1) - g_2\varepsilon_{20}\sin(\theta_2 + \varphi_1) \quad (3.15)$$

$$a_{2y} = -g_2\omega_2^2\sin(\theta_2 + \varphi_1) + g_2\varepsilon_{20}\cos(\theta_2 + \varphi_1) \quad (3.16)$$

$$a_{3x} = -r_2\omega_2^2\cos(\theta_2) - r_2\varepsilon_{20}\sin(\theta_2) - g_3\omega_3^2\cos(\theta_3) - g_3\varepsilon_3\sin(\theta_3) \quad (3.17)$$

$$a_{3y} = -r_2\omega_2^2\sin(\theta_2) + r_2\varepsilon_{20}\cos(\theta_2) - g_3\omega_3^2\sin(\theta_3) + g_3\varepsilon_3\cos(\theta_3) \quad (3.18)$$

$$a_{4x} = -g_4\omega_4^2\cos(\theta_4 + \pi - \varphi_2) - g_4\varepsilon_4\sin(\theta_4 + \pi - \varphi_2) \quad (3.19)$$

$$a_{4y} = -g_4\omega_4^2\sin(\theta_4 + \pi - \varphi_2) + g_4\varepsilon_4\cos(\theta_4 + \pi - \varphi_2) \quad (3.20)$$

$$a_{51x} = -r_{AE}\omega_2^2\cos(\theta_2 + \gamma_2) - r_{AE}\varepsilon_{20}\sin(\theta_2 + \gamma_2) - g_5\omega_{51}^2\cos(\theta_{51}) - g_5\varepsilon_{51}\sin(\theta_{51}) \quad (3.21)$$

$$a_{51y} = -r_{AE}\omega_2^2\sin(\theta_2 + \gamma_2) + r_{AE}\varepsilon_{20}\cos(\theta_2 + \gamma_2) - g_5\omega_{51}^2\sin(\theta_{51}) + g_5\varepsilon_{51}\cos(\theta_{51}) \quad (3.22)$$

$$a_{61x} = -r_{DF}\omega_4^2\cos(\theta_4 - \gamma_2) - r_{DF}\varepsilon_4\sin(\theta_4 - \gamma_2) - g_6\omega_{61}^2\cos(\theta_{61} + \pi) - g_6\varepsilon_{61}\sin(\theta_{61} + \pi) \quad (3.23)$$

$$a_{61y} = -r_{DF}\omega_4^2\sin(\theta_4 - \gamma_2) + r_{DF}\varepsilon_4\cos(\theta_4 - \gamma_2) - g_6\omega_{61}^2\sin(\theta_{61} + \pi) + g_6\varepsilon_{61}\cos(\theta_{61} + \pi) \quad (3.24)$$

$$a_{52x} = -r_{AE}\omega_2^2\cos(\theta_2 + \gamma_2) - r_{AE}\varepsilon_{20}\sin(\theta_2 + \gamma_2) - g_5\omega_{52}^2\cos(\theta_{52}) - g_5\varepsilon_{52}\sin(\theta_{52}) \quad (3.25)$$

$$a_{52y} = -r_{AE}\omega_2^2\sin(\theta_2 + \gamma_2) + r_{AE}\varepsilon_{20}\cos(\theta_2 + \gamma_2) - g_5\omega_{52}^2\sin(\theta_{52}) + g_5\varepsilon_{52}\cos(\theta_{52}) \quad (3.26)$$

$$a_{62x} = -r_{DF}\omega_4^2\cos(\theta_4 - \gamma_2) - r_{DF}\varepsilon_4\sin(\theta_4 - \gamma_2) - g_6\omega_{62}^2\cos(\theta_{62} + \pi) - g_6\varepsilon_{62}\sin(\theta_{62} + \pi) \quad (3.27)$$

$$a_{62y} = -r_{DF}\omega_4^2\sin(\theta_4 - \gamma_2) + r_{DF}\varepsilon_4\cos(\theta_4 - \gamma_2) - g_6\omega_{62}^2\sin(\theta_{62} + \pi) + g_6\varepsilon_{62}\cos(\theta_{62} + \pi) \quad (3.28)$$

3.3. Inercijske sile

Inercijske sile se suprotstavljaju promjeni gibanja tijela. Za određivanje inercijskih sila moraju biti poznate mase segmenata i ubrzanja težišta. U ovom su radu uzete slijedeće mase segmenata:

$$m_2 = 0.2 \text{ kg}$$

$$m_3 = 0.1 \text{ kg}$$

$$m_4 = 0.2 \text{ kg}$$

$$m_5 = 0.1 \text{ kg}$$

$$m_6 = 0.1 \text{ kg}$$

Izrazi za komponente inercijskih sila segmenata u smjeru koordinatnih osi glase:

$$F_{in2x} = -m_2 a_{2x} \quad (3.29)$$

$$F_{in2y} = -m_2 a_{2y} \quad (3.30)$$

$$F_{in3x} = -m_3 a_{3x} \quad (3.31)$$

$$F_{in3y} = -m_3 a_{3y} \quad (3.32)$$

$$F_{in4x} = -m_4 a_{4x} \quad (3.33)$$

$$F_{in4y} = -m_4 a_{4y} \quad (3.34)$$

$$F_{in51x} = -m_5 a_{51x} \quad (3.35)$$

$$F_{in51y} = -m_5 a_{51y} \quad (3.36)$$

$$F_{in61x} = -m_6 a_{61x} \quad (3.37)$$

$$F_{in61y} = -m_6 a_{61y} \quad (3.38)$$

$$F_{in52x} = -m_5 a_{52x} \quad (3.39)$$

$$F_{in52y} = -m_5 a_{52y} \quad (3.40)$$

$$F_{in62x} = -m_6 a_{62x} \quad (3.41)$$

$$F_{in62y} = -m_6 a_{62y} \quad (3.42)$$

3.4. Maseni momenti tromosti

Za izračunavanje inercijskih momenata svakog segmenta mehanizma, potrebno je izračunati njihove masene momente tromosti koji iznose:

$$J_2 = \frac{m_2 r_2^2}{12} \quad (3.43)$$

$$J_3 = \frac{m_3}{72} * (3r_{BE} + 4(r_2 \sin(\gamma_2)))^2 \quad (3.44)$$

$$J_4 = \frac{m_4}{72} * (3r_{DF} + 4(r_4 \sin(\gamma_4)))^2 \quad (3.45)$$

$$J_5 = \frac{m_5 r_5^2}{12} \quad (3.46)$$

$$J_6 = \frac{m_6 r_6^2}{12} \quad (3.47)$$

Prema tome su inercijski momenti:

$$M_{in2} = -J_2 \varepsilon_{20} \quad (3.48)$$

$$M_{in3} = -J_3 \varepsilon_3 \quad (3.49)$$

$$M_{in4} = -J_4 \varepsilon_4 \quad (3.50)$$

$$M_{in51} = -J_5 \varepsilon_{51} \quad (3.51)$$

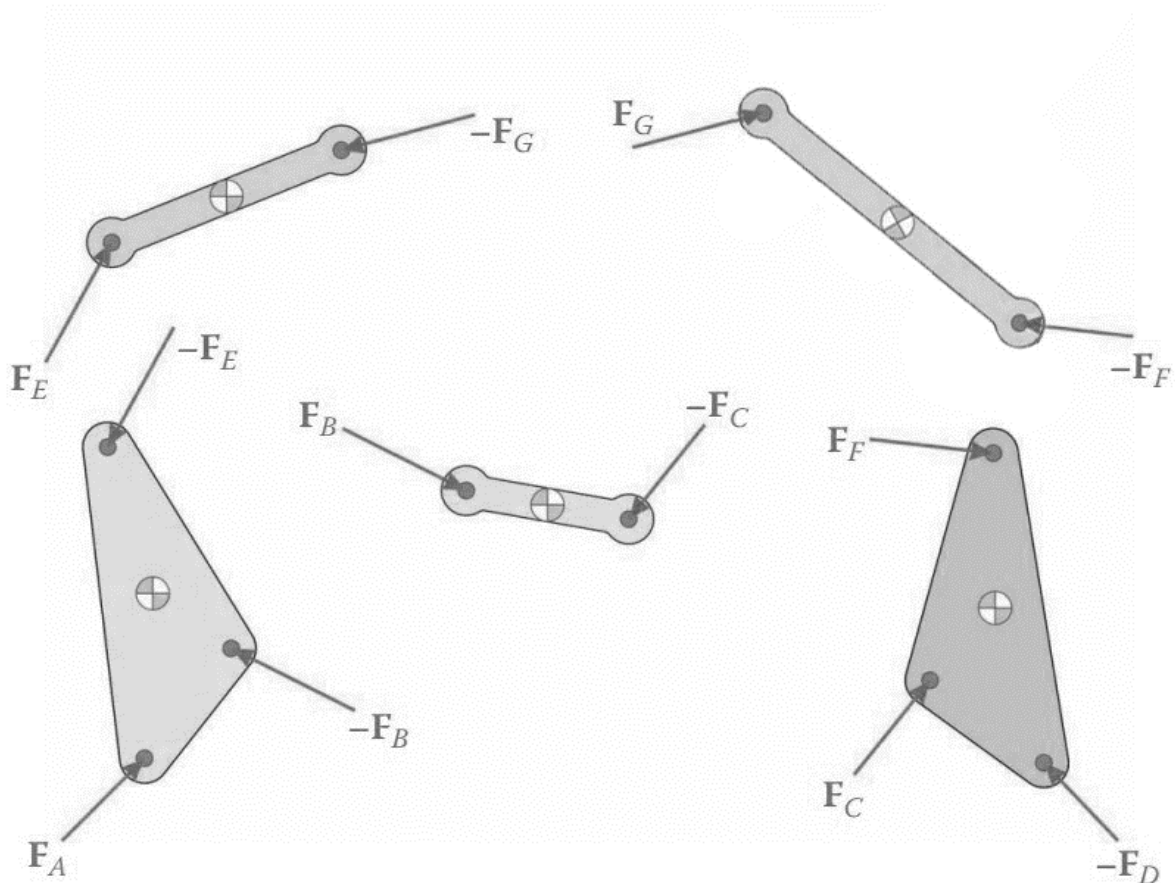
$$M_{in61} = -J_6 \varepsilon_{61} \quad (3.52)$$

$$M_{in52} = -J_5 \varepsilon_{52} \quad (3.53)$$

$$M_{in62} = -J_6 \varepsilon_{62} \quad (3.54)$$

3.5. Analiza sila

Sile koje se javljaju u zglobovima pri zaokretanju mehanizma, te okretni moment motora T_2 potreban za savladavanje svih sila Stephensonovog I. tipa mehanizma računa se raspisivanjem sila po x i y osi te momenata po z osi za svaki segment kao što je prikazano na slici 3.3.



Slika 3.3. Sile koje se javljaju u pojedinim segmentima

Za prvi segment vrijedi:

- sile:

$$F_{ax} - F_{bx} = m_2 a_{2x} \quad (3.55)$$

$$F_{ay} - F_{by} = m_2 a_{2y} \quad (3.56)$$

- moment:

$$s_{2a} F_a - s_{2b} F_b = J_2 \varepsilon_2 \quad (3.57)$$

Drugi segment:

- sile:

$$F_{bx} - F_{cx} - F_{ex} = m_3 a_{3x} \quad (3.58)$$

$$F_{by} - F_{cy} - F_{ey} = m_3 a_{3y} \quad (3.59)$$

- moment:

$$s_{3b}F_b - s_{3c}F_c - s_{3e}F_e - T_3 = J_3 \varepsilon_3 \quad (3.60)$$

Treći segment:

- sile:

$$F_{cx} - F_{dx} - F_{fx} = m_4 a_{4x} \quad (3.61)$$

$$F_{cy} - F_{dy} - F_{fy} = m_4 a_{4y} \quad (3.62)$$

- moment:

$$s_{4c}F_c - s_{4d}F_d - s_{4f}F_f - T_4 = J_4 \varepsilon_4 \quad (3.63)$$

Četvrti segment:

- sile:

$$F_{ex} - F_{gx} = m_5 a_{5x} \quad (3.64)$$

$$F_{ey} - F_{gy} = m_5 a_{5y} \quad (3.65)$$

- moment:

$$s_{5e}F_e - s_{5g}F_g = J_5 \varepsilon_5 \quad (3.66)$$

Peti segment:

- sile:

$$F_{gx} - F_{fx} = m_6 a_{6x} \quad (3.67)$$

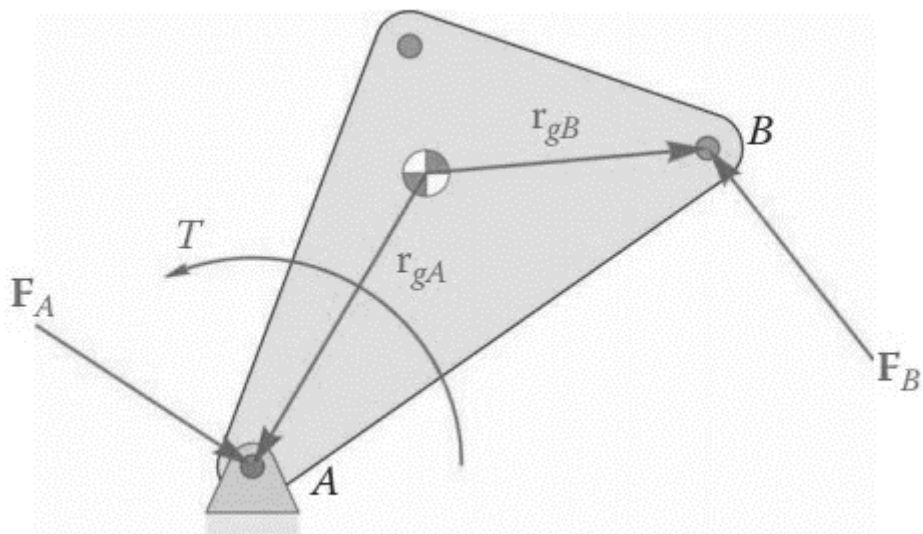
$$F_{gy} - F_{fy} = m_6 a_{6y} \quad (3.68)$$

- moment:

$$s_{6g}F_g - s_{6f}F_f = J_6 \varepsilon_6 \quad (3.69)$$

Kraskovi sila (s_{2a} , s_{2b} , s_{2e} , itd.) se dobiju vektorskim produktom vektora „ r “ i sila u zglobovima (3.70) kao što je prikazano na slici 3.4.

$$s = r \times F = \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r_x & r_y & 0 \\ F_x & F_y & 0 \end{bmatrix} = (r_x F_y - r_y F_x) \vec{k} \quad (3.70)$$



Slika 3.4. Vektor „r“ i sile u zglobovima

Naposlijetku se sve dobivene jednačbe sile unose u zajedničku matricu $\mathbf{Sf} = \mathbf{t}$.

U matrici \mathbf{S} se nalaze geometrijski parametri (3.71):

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix}
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\
 s_{2ay} & s_{2ax} & s_{2by} & s_{2bx} & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{2ey} & s_{2ex} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & s_{3by} & s_{3bx} & s_{3cy} & s_{3cx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & s_{4cy} & s_{4cx} & s_{4dy} & s_{4dx} & 0 & 0 & s_{4fy} & s_{4fx} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{51ey} & s_{51ex} & 0 & 0 & s_{51gy} & s_{51gx} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{61fy} & s_{61fx} & s_{61gy} & s_{61gx} & 0
 \end{bmatrix} \quad (3.71)$$

Vektor \mathbf{f} predstavlja sve sile unutar mehanizma (3.72):

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \\ F_{bx} \\ F_{by} \\ F_{cx} \\ F_{cy} \\ F_{dx} \\ F_{dy} \\ F_{ex} \\ F_{ey} \\ F_{fx} \\ F_{fy} \\ F_{gx} \\ F_{gy} \\ T_2 \end{bmatrix} \quad (3.72)$$

\mathbf{t} je vektor inercijalnih sila i momenata (3.73):

$$\mathbf{t} = \begin{bmatrix} m_2 a_{2x} \\ m_2 a_{2y} \\ m_3 a_{3x} \\ m_3 a_{3y} \\ m_4 a_{4x} \\ m_4 a_{4y} \\ m_5 a_{5x} \\ m_5 a_{5y} \\ m_6 a_{6x} \\ m_6 a_{6y} \\ J_2 \varepsilon_2 \\ J_3 \varepsilon_3 \\ J_4 \varepsilon_4 \\ J_5 \varepsilon_5 \\ J_6 \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (3.73)$$

Za određivanje vrijednosti nepoznatih sila pogonskog momenta potrebno je riješiti nepoznati vektor \mathbf{f} (3.74):

$$\mathbf{f} = [\mathbf{S}]^{-1} \mathbf{t} \quad (3.74)$$

4. MODELIRANJE WATTOVIG I. TIPA MEHANIZMA U MICROSOFT EXCEL-U

Analiza Watoovog I. tipa mehanizma u Microsofot Office Excel-u započinje unošenjem ulaznih podataka mehanizma. Za potpunu sliku promjena položaja, brzina i ubrzanja, te ostalih varijabli pri potpunom okretu mehanizma, računati će se varijable za svakih 9° promjene kuta ϑ_2 pogonske ploče. Pri tome se dobiva 41 položaja, kutova koja se u Excel-u prikazuje u tablici.

r1 (mm)	r2 (mm)	r3 (mm)	r4 (mm)	rBE (mm)	rDF (mm)	r5 (mm)	r6 (mm)	y3 (deg)	y4 (deg)	θ1 (deg)	ω20	ε2	t1	t2	broj podjela u vremenu
132	84	120	108	180	180	120	120	30	50	0	1	1	4,683255	-2,68326	60
								y3 (rad)	y3 (rad)	θ1 (rad)					
								0,523599	0,872665	0					

Slika 4.1. Ulazni podaci Wattvog I. tipa mehanizma

4.1. Analiza položaja

Nakon definiranja poznatih dimenzija, računaju se položaji točaka zglobova donjeg 4-segmentnog mehanizma uvrštavanje formula u odgovarajuće ćelije. Radi jednostavnijeg zapisa koristimo konstante k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 i k_6 , te se pomoću njih dobivaju konstante A, B, C, D, E i F ovisne o kutu pogonske ploče, ϑ_2 . Uvođenjem formula za kinematičku analizu dobivamo kutove ϑ_{31} , ϑ_{32} , ϑ_{41} i ϑ_{42} .

k1	k2	k3	k4	k5	k6
1,35	1,1	1,571429	1,198413	1,571429	1,222222

Slika 4.2. Konstante

Računanje gornjeg 4-segmentnog mehanizma započinjemo izračunavanjem virtualnih kutova α i β , ovisno položajima točaka C i E odnosno C i F.

$\alpha 1$	$\beta 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$
-0,832217	0,014119	0,073416	0,097476
-1,092478	-0,220536	-0,189991	-0,191538
-1,295347	-0,354361	-0,387732	-0,458322
-1,437022	-0,398435	-0,498548	-0,66674
-1,534457	-0,381484	-0,537899	-0,820478
1,538554	-0,325986	-0,52713	-0,933788
1,488755	-0,246059	-0,482548	-1,018932
1,451579	-0,150254	-0,415052	-1,084417
1,423262	-0,043869	-0,331772	-1,135839
1,401469	0,069665	-0,237463	-1,176856
1,384745	0,187997	-0,135412	-1,209861
1,37221	0,309403	-0,028006	-1,236396
1,363399	0,432497	0,082901	-1,257394
1,358186	0,556035	0,19574	-1,273307
1,356779	0,678753	0,309031	-1,284141
1,35977	0,799198	0,421202	-1,289424
1,368236	0,91554	0,530396	-1,288106
1,383885	1,025358	0,634269	-1,278401
1,409145	1,125503	0,729852	-1,257704
1,446956	1,212297	0,813732	-1,222808
1,499937	1,28243	0,882856	-1,170836
1,56906	1,334402	0,935836	-1,100703
-1,488653	1,369298	0,973647	-1,013909
-1,393069	1,389996	0,998907	-0,913763
-1,289197	1,3997	1,014556	-0,803946
-1,180003	1,401019	1,023023	-0,687604
-1,067831	1,395735	1,026013	-0,567158
-0,95454	1,384901	1,024607	-0,44444
-0,841702	1,368989	1,019393	-0,320902
-0,730795	1,34799	1,010582	-0,197809
-0,623389	1,321456	0,998047	-0,076403
-0,521337	1,288451	0,981323	0,04193
-0,427028	1,247433	0,95953	0,155463
-0,343749	1,196011	0,931213	0,261848
-0,276252	1,130527	0,894037	0,357653
-0,23167	1,045382	0,844238	0,43758
-0,220901	0,932073	0,775657	0,493078
-0,260253	0,778335	0,678222	0,510029
-0,371069	0,569917	0,536546	0,465956
-0,56881	0,303132	0,333678	0,33213
-0,832217	0,014119	0,073416	0,097476

Slika 4.7. Kut α i β

Za određivanje koordinata točke G mehanizma za otvorenu i zatvorenu kompoziciju, potrebno je izračunati kutove ϑ_{51} , ϑ_{52} , ϑ_{61} i ϑ_{62} . Određujemo početni kut gornjeg 4-segmentnog mehanizma koji ovisi o kutovima donjeg 4-segmentnog mehanizma.

$\theta_2'1$ [rad]	$\theta_2'1$ [st]	$\theta_2'2$ [rad]	$\theta_2'2$ [st]
-0,846335	-48,49145	-0,02406	-1,378518
-0,871942	-49,95862	0,001547	0,088655
-0,940986	-53,91452	0,070591	4,044555
-1,038588	-59,50669	0,168193	9,636723
-1,152974	-66,06054	0,282579	16,19057
1,86454	106,8303	0,406658	23,29977
1,734813	99,39748	0,536384	30,73255
1,601833	91,77824	0,669365	38,35179
1,467131	84,06042	0,804066	46,06961
1,331805	76,30679	0,939393	53,82324
1,196748	68,56861	1,07445	61,56143
1,062807	60,89437	1,20839	69,23566
0,930902	53,33677	1,340295	76,79327
0,802151	45,95986	1,469047	84,17018
0,678026	38,84803	1,593171	91,282
0,560571	32,11836	1,710626	98,01168
0,452696	25,93754	1,818502	104,1925
0,358527	20,5421	1,91267	109,5879
0,283642	16,25148	1,987556	113,8786
0,234658	13,44493	2,036539	116,6851
0,217506	12,4622	2,053691	117,6678
0,234658	13,44493	2,036539	116,6851
-2,857951	-163,7485	1,987556	113,8786
-2,783065	-159,4579	1,91267	109,5879
-2,688897	-154,0625	1,818502	104,1925
-2,581022	-147,8816	1,710626	98,01168
-2,463567	-141,152	1,593171	91,282
-2,339442	-134,0401	1,469047	84,17018
-2,21069	-126,6632	1,340295	76,79327
-2,078785	-119,1056	1,20839	69,23566
-1,944845	-111,4314	1,07445	61,56143
-1,809788	-103,6932	0,939393	53,82324
-1,674462	-95,93958	0,804066	46,06961
-1,53976	-88,22176	0,669365	38,35179
-1,406779	-80,60252	0,536384	30,73255
-1,277053	-73,16973	0,406658	23,29977
-1,152974	-66,06054	0,282579	16,19057
-1,038588	-59,50669	0,168193	9,636723
-0,940986	-53,91452	0,070591	4,044555
-0,871942	-49,95862	0,001547	0,088655
-0,846335	-48,49145	-0,02406	-1,378518

Slika 4.8. Kutovi ϑ'_{21} i ϑ'_{22}

Potom radimo provjeru dimenzija duljina štapova te uvodimo koordinate G, H, I, J, K i L za zatvorenu i otvorenu kompoziciju te kao i kod donjeg 4-segmentnog mehanizma izračunavamo kutove ϑ_{51} , ϑ_{52} , ϑ_{61} i ϑ_{62} .

G1	H1	I1	J1	K1	L1
1,223813	-1,497714	-0,301434	-0,301434	1,497714	1,223813
1,265521	-1,53116	-0,298509	-0,298509	1,53116	1,265521
1,382418	-1,616278	-0,29031	-0,29031	1,616278	1,382418
1,557829	-1,723377	-0,278007	-0,278007	1,723377	1,557829
1,776499	-1,827949	-0,26267	-0,26267	1,827949	1,776499
3,272009	1,914333	-0,157777	-0,157777	-1,914333	3,272009
3,000453	1,973159	-0,176823	-0,176823	-1,973159	3,000453
2,715999	1,999037	-0,196775	-0,196775	-1,999037	2,715999
2,426685	1,989263	-0,217067	-0,217067	-1,989263	2,426685
2,140098	1,943154	-0,237167	-0,237167	-1,943154	2,140098
1,86336	1,861712	-0,256577	-0,256577	-1,861712	1,86336
1,603032	1,747449	-0,274836	-0,274836	-1,747449	1,603032
1,364955	1,604318	-0,291535	-0,291535	-1,604318	1,364955
1,15406	1,437706	-0,306326	-0,306326	-1,437706	1,15406
0,974141	1,254514	-0,318946	-0,318946	-1,254514	0,974141
0,827583	1,06334	-0,329225	-0,329225	-1,06334	0,827583
0,71505	0,874782	-0,337118	-0,337118	-0,874782	0,71505
0,635161	0,701791	-0,342721	-0,342721	-0,701791	0,635161
0,58434	0,559707	-0,346286	-0,346286	-0,559707	0,58434
0,557344	0,465021	-0,348179	-0,348179	-0,465021	0,557344
0,549075	0,431591	-0,348759	-0,348759	-0,431591	0,549075
0,557344	0,465021	-0,348179	-0,348179	-0,465021	0,557344
4,71417	-0,559707	-0,056626	-0,056626	0,559707	4,71417
4,66335	-0,701791	-0,060191	-0,060191	0,701791	4,66335
4,58346	-0,874782	-0,065794	-0,065794	0,874782	4,58346
4,470928	-1,06334	-0,073687	-0,073687	1,06334	4,470928
4,32437	-1,254514	-0,083966	-0,083966	1,254514	4,32437
4,14445	-1,437706	-0,096585	-0,096585	1,437706	4,14445
3,933555	-1,604318	-0,111377	-0,111377	1,604318	3,933555
3,695478	-1,747449	-0,128075	-0,128075	1,747449	3,695478
3,43515	-1,861712	-0,146334	-0,146334	1,861712	3,43515
3,158413	-1,943154	-0,165744	-0,165744	1,943154	3,158413
2,871825	-1,989263	-0,185845	-0,185845	1,989263	2,871825
2,582512	-1,999037	-0,206137	-0,206137	1,999037	2,582512
2,298058	-1,973159	-0,226088	-0,226088	1,973159	2,298058
2,026501	-1,914333	-0,245135	-0,245135	1,914333	2,026501
1,776499	-1,827949	-0,26267	-0,26267	1,827949	1,776499
1,557829	-1,723377	-0,278007	-0,278007	1,723377	1,557829
1,382418	-1,616278	-0,29031	-0,29031	1,616278	1,382418
1,265521	-1,53116	-0,298509	-0,298509	1,53116	1,265521
1,223813	-1,497714	-0,301434	-0,301434	1,497714	1,223813

Slika 4.9. Koeficijenti (otvorena konfiguracija)

G2	H2	I2	J2	K2	L2
0,49902	-0,048115	-0,35227	-0,35227	0,048115	0,49902
0,4984	0,003095	-0,352313	-0,352313	-0,003095	0,4984
0,503754	0,141064	-0,351938	-0,351938	-0,141064	0,503754
0,528748	0,334801	-0,350185	-0,350185	-0,334801	0,528748
0,583702	0,557666	-0,34633	-0,34633	-0,557666	0,583702
0,673804	0,791083	-0,340011	-0,340011	-0,791083	0,673804
0,80046	1,022063	-0,331127	-0,331127	-1,022063	0,80046
0,962519	1,240976	-0,319761	-0,319761	-1,240976	0,962519
1,157025	1,440367	-0,306119	-0,306119	-1,440367	1,157025
1,379651	1,6144	-0,290504	-0,290504	-1,6144	1,379651
1,624982	1,758656	-0,273297	-0,273297	-1,758656	1,624982
1,886722	1,870093	-0,254939	-0,254939	-1,870093	1,886722
2,157859	1,947104	-0,235922	-0,235922	-1,947104	2,157859
2,430784	1,989656	-0,216779	-0,216779	-1,989656	2,430784
2,697377	1,999499	-0,198081	-0,198081	-1,999499	2,697377
2,949031	1,980479	-0,18043	-0,18043	-1,980479	2,949031
3,176603	1,938955	-0,164469	-0,164469	-1,938955	3,176603
3,370337	1,884256	-0,15088	-0,15088	-1,884256	3,370337
3,519921	1,828811	-0,140389	-0,140389	-1,828811	3,519921
3,615177	1,786976	-0,133708	-0,133708	-1,786976	3,615177
3,647995	1,771309	-0,131406	-0,131406	-1,771309	3,647995
3,615177	1,786976	-0,133708	-0,133708	-1,786976	3,615177
3,519921	1,828811	-0,140389	-0,140389	-1,828811	3,519921
3,370337	1,884256	-0,15088	-0,15088	-1,884256	3,370337
3,176603	1,938955	-0,164469	-0,164469	-1,938955	3,176603
2,949031	1,980479	-0,18043	-0,18043	-1,980479	2,949031
2,697377	1,999499	-0,198081	-0,198081	-1,999499	2,697377
2,430784	1,989656	-0,216779	-0,216779	-1,989656	2,430784
2,157859	1,947104	-0,235922	-0,235922	-1,947104	2,157859
1,886722	1,870093	-0,254939	-0,254939	-1,870093	1,886722
1,624982	1,758656	-0,273297	-0,273297	-1,758656	1,624982
1,379651	1,6144	-0,290504	-0,290504	-1,6144	1,379651
1,157025	1,440367	-0,306119	-0,306119	-1,440367	1,157025
0,962519	1,240976	-0,319761	-0,319761	-1,240976	0,962519
0,80046	1,022063	-0,331127	-0,331127	-1,022063	0,80046
0,673804	0,791083	-0,340011	-0,340011	-0,791083	0,673804
0,583702	0,557666	-0,34633	-0,34633	-0,557666	0,583702
0,528748	0,334801	-0,350185	-0,350185	-0,334801	0,528748
0,503754	0,141064	-0,351938	-0,351938	-0,141064	0,503754
0,4984	0,003095	-0,352313	-0,352313	-0,003095	0,4984
0,49902	-0,048115	-0,35227	-0,35227	0,048115	0,49902

Slika 4.10. Koeficijenti (zatvorena konfiguracija)

051 [rad]	052 [rad]	053 [rad]	054 [rad]	051 [st]	052 [st]	053 [st]	054 [st]
1,915058	-0,33424	1,55176	-1,243888	109,7247	-19,15055	88,90929	-71,26956
1,667425	-0,558938	1,203044	-1,593395	95,53639	-32,0248	68,92934	-91,29481
1,495927	-0,668176	0,773126	-2,01654	85,71033	-38,28366	44,29686	-115,5392
1,393	-0,682245	0,349095	-2,410474	79,813	-39,08975	20,0017	-138,11
1,334441	-0,635742	-0,010503	-2,710735	76,45784	-36,42533	-0,601761	-155,3136
-0,17975	-1,490378	-0,288186	-2,90462	-10,29894	-85,39237	-16,51182	-166,4225
-0,086587	-1,516998	-0,495596	-3,011442	-4,961052	-86,91757	-28,39554	-172,5429
0,025155	-1,528607	-0,651133	-3,055762	1,441293	-87,58271	-37,30715	-175,0823
0,150553	-1,528412	-0,769922	-3,056863	8,626031	-87,57153	-44,11328	-175,1454
0,286756	-1,517937	-0,862508	-3,028054	16,42989	-86,9714	-49,41807	-173,4947
0,432255	-1,49753	-0,935899	-2,978296	24,76638	-85,80214	-53,62309	-170,6438
0,5865	-1,466571	-0,994691	-2,913717	33,60395	-84,02833	-56,9916	-166,9437
0,749712	-1,423519	-1,041847	-2,838659	42,95536	-81,56161	-59,69344	-162,6432
0,922783	-1,365858	-1,079179	-2,756362	52,87155	-78,25788	-61,83237	-157,9279
1,107089	-1,2901	-1,107602	-2,66941	63,43151	-73,91729	-63,46091	-152,9459
1,303929	-1,192179	-1,127242	-2,580056	74,70966	-68,30681	-64,5862	-147,8263
1,512895	-1,069018	-1,137416	-2,49047	86,68251	-61,25021	-65,16915	-142,6934
1,728253	-0,922504	-1,136548	-2,402942	99,02162	-52,8556	-65,11941	-137,6784
1,933825	-0,765761	-1,122126	-2,31999	110,8	-43,87489	-64,29306	-132,9256
2,101722	-0,625967	-1,090982	-2,244252	120,4198	-35,86529	-62,50864	-128,5862
2,202672	-0,533993	-1,040258	-2,177963	126,2038	-30,59555	-59,60238	-124,7881
2,223827	-0,503863	-0,968877	-2,122147	127,4159	-28,86921	-55,51256	-121,5901
1,733243	1,238925	-0,87833	-2,076194	99,30751	70,98518	-50,32462	-118,9572
1,806879	1,268102	-0,77191	-2,038303	103,5265	72,65687	-44,22718	-116,7862
1,887018	1,284344	-0,653256	-2,00631	108,1182	73,58748	-37,42883	-114,9531
1,97274	1,288984	-0,525421	-1,978235	113,0297	73,85337	-30,10443	-113,3445
2,06229	1,283678	-0,390619	-1,952427	118,1605	73,54932	-22,38085	-111,8658
2,15368	1,269804	-0,250312	-1,927495	123,3968	72,75443	-14,34182	-110,4373
2,244948	1,248214	-0,105355	-1,902167	128,6261	71,51742	-6,036404	-108,9862
2,33416	1,219177	0,043896	-1,87513	133,7375	69,85369	2,515063	-107,437
2,419281	1,182379	0,197559	-1,844838	138,6146	67,74531	11,3193	-105,7014
2,497985	1,136889	0,356278	-1,809268	143,124	65,13893	20,41323	-103,6634
2,567388	1,081046	0,52138	-1,765561	147,1005	61,93939	29,87289	-101,1592
2,623677	1,012233	0,695132	-1,709497	150,3256	57,9967	39,82815	-97,94698
2,661548	0,926487	0,88099	-1,634857	152,4955	53,08378	50,47699	-93,6704
2,673366	0,817894	1,083182	-1,533252	153,1726	46,86185	62,06179	-87,84886
2,647997	0,677814	1,303054	-1,397178	151,7191	38,8359	74,65947	-80,05241
2,569769	0,494525	1,525865	-1,233704	147,2369	28,33419	87,42564	-70,68604
2,420205	0,256102	1,697404	-1,092262	138,6676	14,67356	97,25408	-62,58201
2,191093	-0,03527	1,726712	-1,069727	125,5404	-2,020823	98,93332	-61,29083
1,915058	-0,33424	1,55176	-1,243888	109,7247	-19,15055	88,90929	-71,26956

Slika 4.11. Kut ϑ_5 (otvorena i zatvorena konfiguracija)

$\theta 61$ [rad]	$\theta 62$ [rad]	$\theta 63$ [rad]	$\theta 64$ [rad]	$\theta 61$ [st]	$\theta 62$ [st]	$\theta 63$ [st]	$\theta 64$ [st]
2,807352	-1,226535	1,897704	-1,589833	160,8494	-70,27528	108,7304	-91,09071
2,582654	-1,474168	1,548198	-1,938549	147,9752	-84,46361	88,70519	-111,0707
2,473417	-1,645665	1,125053	-2,368467	141,7163	-94,28967	64,46077	-135,7031
2,459348	-1,748593	0,731119	-2,792497	140,9103	-100,187	41,89002	-159,9983
2,505851	-1,807152	0,430858	-3,152095	143,5747	-103,5422	24,68635	-180,6018
1,651215	-3,321343	0,236973	-3,429778	94,60763	-190,2989	13,57754	-196,5118
1,624595	-3,228179	0,13015	-3,637188	93,08243	-184,9611	7,457063	-208,3955
1,612986	-3,116437	0,08583	-3,792725	92,41729	-178,5587	4,917723	-217,3072
1,613181	-2,99104	0,08473	-3,911515	92,42847	-171,374	4,854645	-224,1133
1,623655	-2,854837	0,113538	-4,004101	93,0286	-163,5701	6,505268	-229,4181
1,644063	-2,709338	0,163296	-4,077492	94,19786	-155,2336	9,356195	-233,6231
1,675022	-2,555093	0,227876	-4,136284	95,97167	-146,396	13,05631	-236,9916
1,718074	-2,39188	0,302933	-4,18344	98,43839	-137,0446	17,3568	-239,6934
1,775735	-2,21881	0,385231	-4,220771	101,7421	-127,1284	22,0721	-241,8324
1,851492	-2,034504	0,472183	-4,249195	106,0827	-116,5685	27,05409	-243,4609
1,949414	-1,837663	0,561537	-4,268835	111,6932	-105,2903	32,1737	-244,5862
2,072575	-1,628698	0,651123	-4,279009	118,7498	-93,31749	37,30657	-245,1691
2,219088	-1,413339	0,738651	-4,278141	127,1444	-80,97838	42,32159	-245,1194
2,375831	-1,207768	0,821603	-4,263718	136,1251	-69,19999	47,07438	-244,2931
2,515625	-1,03987	0,897341	-4,232574	144,1347	-59,58017	51,41385	-242,5086
2,6076	-0,938921	0,96363	-4,18185	149,4045	-53,79621	55,21192	-239,6024
2,63773	-0,917766	1,019446	-4,11047	151,1308	-52,58409	58,40993	-235,5126
4,380518	-1,40835	1,065398	-4,019923	250,9852	-80,69249	61,04282	-230,3246
4,409694	-1,334714	1,103289	-3,913503	252,6569	-76,47347	63,21383	-224,2272
4,425936	-1,254574	1,135283	-3,794849	253,5875	-71,88181	65,0469	-217,4288
4,430577	-1,168853	1,163358	-3,667014	253,8534	-66,97032	66,65548	-210,1044
4,425271	-1,079303	1,189165	-3,532212	253,5493	-61,83951	68,13416	-202,3808
4,411397	-0,987913	1,214097	-3,391905	252,7544	-56,60324	69,56266	-194,3418
4,389807	-0,896644	1,239425	-3,246948	251,5174	-51,37393	71,01384	-186,0364
4,36077	-0,807432	1,266463	-3,097697	249,8537	-46,26247	72,56298	-177,4849
4,323971	-0,722312	1,296755	-2,944034	247,7453	-41,38541	74,29858	-168,6807
4,278482	-0,643608	1,332325	-2,785315	245,1389	-36,87603	76,33657	-159,5868
4,222639	-0,574205	1,376032	-2,620212	241,9394	-32,89951	78,84082	-150,1271
4,153826	-0,517915	1,432095	-2,44646	237,9967	-29,67437	82,05302	-140,1719
4,068079	-0,480044	1,506736	-2,260603	233,0838	-27,50452	86,3296	-129,523
3,959486	-0,468227	1,608341	-2,05841	226,8619	-26,82742	92,15114	-117,9382
3,819407	-0,493595	1,744414	-1,838539	218,8359	-28,28093	99,94759	-105,3405
3,636118	-0,571823	1,907888	-1,615727	208,3342	-32,76306	109,314	-92,57436
3,397695	-0,721387	2,049331	-1,444189	194,6736	-41,33245	117,418	-82,74592
3,106323	-0,9505	2,071866	-1,414881	177,9792	-54,45962	118,7092	-81,06668
2,807352	-1,226535	1,897704	-1,589833	160,8494	-70,27528	108,7304	-91,09071

Slika 4.12. Kut θ_6 (otvorena i zatvorena konfiguracija)

Odredivši kutove gornjeg 4-segmentnog mehanizma možemo odrediti koordinate točke G za zatvorenu i otvorenu konfiguraciju.

Gx1	Gy1	Gx2	Gy2	Gx3	Gy3	Gx4	Gy4
30,76967	292,5083	184,629	140,1831	235,4134	19,17898	166,9932	-214,4441
105,291	309,3592	218,6066	126,2846	243,8483	-11,03452	82,83454	-242,9804
157,6892	311,9438	242,9077	117,9333	254,4746	-46,86641	76,78248	-238,9464
187,688	311,1814	259,6038	117,4087	258,439	-86,29638	264,8128	-207,4665
202,3148	311,3278	270,7713	123,4111	252,2184	-120,0222	108,9508	-168,88
293,4282	175,6099	185,0014	77,45181	240,5229	-142,1426	5,874224	-136,2084
291,5982	189,3038	178,5004	79,85481	228,4072	-153,4322	6,418564	-111,9394
285,582	204,9362	170,6813	82,02464	217,9694	-156,8794	201,9977	-94,43594
275,6315	221,2998	162,0736	83,40941	209,4328	-155,0637	208,2625	-81,68955
261,9302	237,4351	153,1703	83,6617	202,3511	-149,7569	33,0599	-72,21504
244,6494	252,546	144,4707	82,59762	196,1635	-142,1418	190,0504	-65,03446
223,964	265,9453	136,5024	80,18263	190,388	-133,0454	16,40935	-59,52354
200,0491	277,0127	129,8324	76,54036	184,6763	-123,0921	214,3681	-55,29007
173,0771	285,1493	125,0654	71,98632	178,8254	-112,7934	201,5331	-52,09774
143,239	289,7207	122,8099	67,08915	172,7825	-102,5997	53,53676	-49,82386
110,8463	289,9995	123,5574	62,74605	166,6562	-92,92953	-3,082782	-48,44022
76,60758	285,1924	127,3816	60,18607	160,739	-84,18662	80,76932	-48,01
42,12693	274,8096	133,4029	60,64016	155,5417	-76,76119	207,2524	-48,69374
10,25905	259,6873	139,3745	64,33795	151,817	-71,00282	166,7346	-50,7485
-15,65477	243,1037	142,3527	69,31729	150,5146	-67,13411	-22,00911	-54,48501
-33,68588	229,9178	140,487	72,01028	152,5733	-65,09138	168,715	-60,13938
-44,16579	223,3091	133,8327	70,06216	158,5538	-64,37915	19,06344	-67,68725
0,197223	242,4659	58,70273	237,4979	168,3702	-64,11962	201,1642	-76,75656
-18,18819	237,3502	45,65049	235,2232	181,3678	-63,31912	-7,097112	-86,74186
-37,47437	231,4187	33,74914	232,4789	196,6219	-61,13372	67,5931	-96,99907
-57,11649	224,1776	23,20004	229,0077	213,1788	-56,98199	225,7178	-106,9693
-76,47148	215,3983	14,14446	224,6905	230,1611	-50,54007	159,1398	-116,2157
-94,91388	205,1019	6,714277	219,5216	246,7879	-41,69776	24,17706	-124,4196
-111,8922	193,5216	1,057954	213,5836	262,3656	-30,5166	75,15331	-131,369
-126,9469	181,0736	-2,654024	207,0298	276,272	-17,20004	253,8522	-136,9515
-139,7101	168,3439	-4,229663	200,0705	287,9389	-2,076607	223,3388	-141,152
-149,8952	156,0929	-3,452588	192,9622	296,8301	14,40334	64,37089	-144,0553
-157,2738	145,284	-0,070224	185,998	302,4078	31,65073	295,4409	-145,8498
-161,6263	137,1414	6,232221	179,4951	304,0826	48,88231	110,1035	-146,8237
-162,6353	133,25	15,87924	173,7735	301,1535	64,98356	325,3346	-147,3346
-159,6523	135,6989	29,4833	169,1071	292,8247	78,21221	355,7996	-147,7176
-151,1949	147,2068	47,95473	165,6024	278,658	85,72762	239,9314	-148,1928
-133,9566	170,8862	72,57656	162,8999	260,2247	83,62007	254,8097	-149,5053
-101,5137	208,4232	104,6793	159,5693	243,1882	69,52469	374,6147	-156,0353
-45,82795	254,546	143,8506	152,6698	234,3775	46,3751	256,5843	-177,4176
30,76967	292,5083	184,629	140,1831	235,4134	19,17898	166,9932	-214,4441

Slika 4.13. Koordinate točke G (otvorena i zatvorena konfiguracija)

4.3. Analiza kutnih ubrzanja

Kutna ubrzanja se računaju unošenjem formula (2.73), (2.74), (2.75), (2.76), (2.77), (2.78) i (2.79) u Python kao što je i prikazano na slici 4.18.

ε31	ε32	ε41	ε42	ε21'	ε22'	ε51	ε52	ε53	ε54	ε61	ε62	ε63	ε64
-1,549305	-1,950695	0,591443	-4,091443	0,591443	-4,091443	-2,205652	-2,684059	-13,47015	-5,43576	-2,684059	-2,205652	-5,43576	-13,47015
1,712603	2,149676	4,486308	-0,399134	4,486308	-0,399134	-2,109582	-2,36904	3,151649	15,10338	-2,36904	-2,109582	15,10338	3,151649
2,69165	4,556932	5,416052	2,532115	5,416052	2,532115	-0,376072	-1,062527	19,75744	26,94385	-1,062527	-0,376072	26,94385	19,75744
2,133584	4,482728	4,603106	3,136369	4,603106	3,136369	0,314056	-0,606108	10,59351	12,81064	-0,606108	0,314056	12,81064	10,59351
1,334404	3,55928	3,584366	2,705808	3,584366	2,705808	0,299122	-0,616124	1,747893	2,61042	-0,616124	0,299122	2,61042	1,747893
0,694959	2,66274	2,788511	2,102553	2,788511	2,102553	0,288475	0,648397	-0,105539	0,612149	0,648397	0,288475	0,612149	-0,105539
0,244244	1,999921	2,223443	1,588248	2,223443	1,588248	0,240092	0,701036	0,128285	0,760887	0,701036	0,240092	0,760887	0,128285
-0,061959	1,558992	1,82404	1,200367	1,82404	1,200367	0,172413	0,815046	0,462715	0,959985	0,815046	0,172413	0,959985	0,462715
-0,265521	1,285659	1,533627	0,920542	1,533627	0,920542	0,144977	1,002905	0,636184	0,986443	1,002905	0,144977	0,986443	0,636184
-0,395212	1,128775	1,312803	0,724299	1,312803	0,724299	0,215393	1,292286	0,703806	0,914405	1,292286	0,215393	0,914405	0,703806
-0,46865	1,047512	1,135024	0,59245	1,135024	0,59245	0,415	1,715035	0,72279	0,803938	1,715035	0,415	0,803938	0,72279
-0,495561	1,009634	0,981732	0,512286	0,981732	0,512286	0,728359	2,277225	0,72389	0,68346	2,277225	0,728359	0,68346	0,72389
-0,479841	0,988574	0,838857	0,476644	0,838857	0,476644	1,073811	2,91718	0,721539	0,564311	2,91718	1,073811	0,564311	0,721539
-0,42077	0,960993	0,694542	0,482858	0,694542	0,482858	1,286837	3,461089	0,722229	0,450444	3,461089	1,286837	0,450444	0,722229
-0,31375	0,905171	0,537903	0,53175	0,537903	0,53175	1,121068	3,598682	0,728751	0,3431	3,598682	1,121068	0,3431	0,728751
-0,151498	0,800729	0,35923	0,625959	0,35923	0,625959	0,314801	2,939091	0,741938	0,243067	2,939091	0,314801	0,243067	0,741938
0,072368	0,631337	0,153219	0,765758	0,153219	0,765758	-1,186789	1,263782	0,760965	0,152159	1,263782	-1,186789	0,152159	0,760965
0,353785	0,393754	-0,071786	0,939185	-0,071786	0,939185	-2,868895	-0,999541	0,782736	0,07469	-0,999541	-2,868895	0,07469	0,782736
0,660444	0,115366	-0,277909	1,105751	-0,277909	1,105751	-3,701556	-2,676104	0,801416	0,018691	-2,676104	-3,701556	0,018691	0,801416
0,919482	-0,133558	-0,392612	1,191031	-0,392612	1,191031	-3,245481	-2,986179	0,810563	-0,005223	-2,986179	-3,245481	-0,005223	0,810563
1,051935	-0,274157	-0,356766	1,134544	-0,356766	1,134544	-2,286061	-2,491117	0,807134	0,011763	-2,491117	-2,286061	0,011763	0,807134
1,048648	-0,294272	-0,205813	0,970795	-0,205813	0,970795	-1,645408	-2,037543	0,785713	0,076348	-2,037543	-1,645408	0,076348	0,785713
0,967524	-0,243606	-0,046638	0,806055	-0,046638	0,806055	-1,488538	1,794635	0,728921	0,194924	1,794635	-1,488538	0,194924	0,728921
0,826748	-0,114112	0,052798	0,70793	0,052798	0,70793	-1,247122	1,567423	0,625914	0,360064	1,567423	-1,247122	0,360064	0,625914
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
-0,963777	-1,113958	-1,344842	-0,282235	-1,344842	-0,282235	0,949973	0,421183	-2,135325	-2,116361	0,421183	0,949973	-2,116361	-2,135325
-2,62149	-2,277142	-2,479755	-1,941585	-2,479755	-1,941585	1,034598	0,221543	-2,612409	-2,516024	0,221543	1,034598	-2,516024	-2,612409
-3,59202	-3,343578	-2,590758	-4,15395	-2,590758	-4,15395	0,17444	-0,773746	-7,282268	-5,121459	-0,773746	0,17444	-5,121459	-7,282268
-1,549305	-1,950695	0,591443	-4,091443	0,591443	-4,091443	-2,205652	-2,684059	-13,47015	-5,43576	-2,684059	-2,205652	-5,43576	-13,47015

Slika 4.15. Kutna ubrzanja Wattovog I. tipa mehanizma

Uvrštavanjem ubrzanja točaka težišta u matricu dobijemo matricu koju onda prebacimo u njen inverzni oblik kako bi dobili Matricu A.

-1	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	-42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	-1	0	95,8185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	42	0	-1	-95,8185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	-12,0877	-1	0	-35,3188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	39,24339	0	-1	-73,1235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	72,58739	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-1	-49,0297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	83,73078	0	0	0	1	0	56,4795	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	-25,9868	0	0	0	0	1	20,25009	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-56,4795	-1	0	-162,969	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-20,2501	0	0	-1	-187,14	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	37,26857	0	0	0	1	0	0	-19,6831	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	93,55944	0	0	0	0	0	0	1	-56,6796	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Slika 4.19. Matrica A

Umnožak mase i akceleracija pojedinih elemenata mehanizma te inercijski momenti daju nam vektor B.

m2	m3	m4	m5	m6
0,1	0,2	0,1	0,1	0,15

Slika 4.20. Mase pojedinih elemenata mehanizma

I2	I3	I4	I5	I6
235,2	2400	972	480	720

Slika 4.21. Inercijski momenti

-4,2
4,2
235,2
-82,2363
5,54005
-3718,33
0,902216
-27,3067
574,8827
-55,2238
-2,0771
-1058,71
14,56259
-62,6892
-1932,52

Slika 4.22. Vektor B

Umnoškom Matrice A i Vektora B dobijemo rješenje odnosno vrijednosti nepoznatih sila za svaki kut pogonskog člana ϑ_2 .

9882,6
-9882,6
-356207
366162
24558,81
-187925
41730,14
-28159
-371272
75191,86
374778
383155,9
59478,54
163230,3
235,2

Slika 4.23. Rješenje, matrice sila otvorene konfiguracije

Ukupno se dobivaju 4 rješenja, 2 za otvorenu konfiguraciju i 2 za zatvorenu konfiguraciju.

5. PRIKAZ GIBANJA WATT I. MEHANIZMA U EXCELLU

Za prikaz gibanja Wattovog mehanizma koristimo se funkcijom crtanja grafova u Excelu. Kao rješenje ove analize imati ćemo 4 grafa koji će se gibati po koordinatama ovisno o vrijednostima kutova

5.1 Oslonci i segmenti mehanizma

Određimo koordinate fiksnih oslonaca koji će se prikazivati na sva 4 grafa.

Oslonac 1.			Oslonac 2.		
	x	y		x	y
O1s	0	0	O3s	132	0
O1l	-10	-10	O3l	122	-10
O1d	10	-10	O3d	142	-10
O1s	0	0	O3s	132	0

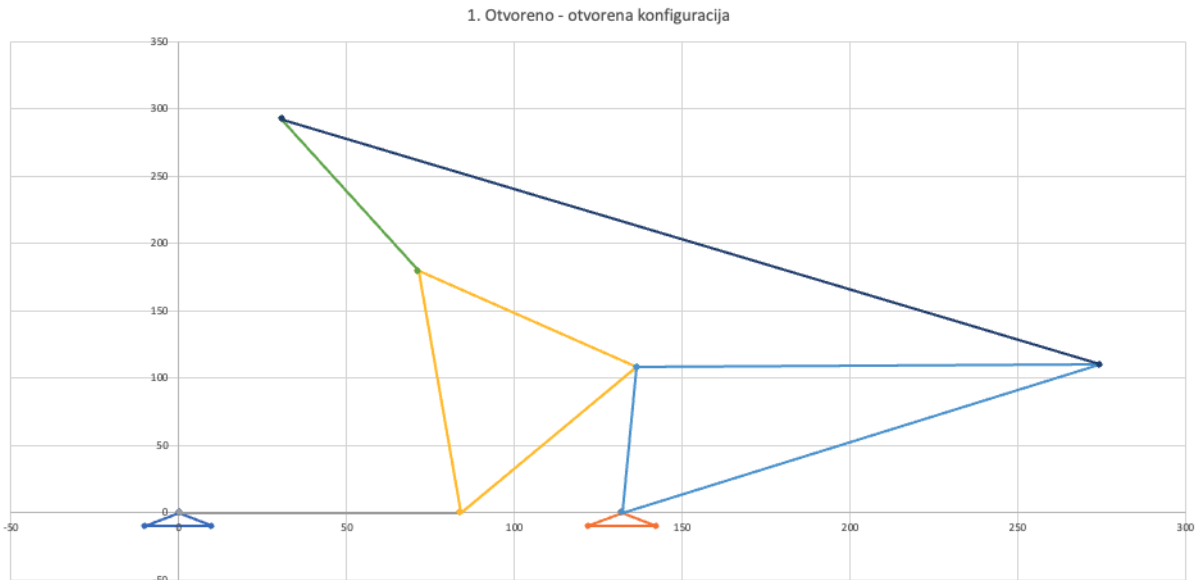
Slika 5.1. Koordinate oslonaca Watt I. mehanizma

Također postavimo koordinate krajnjih točaka svakog segmenta za svaku konfiguraciju gdje će se ovisno o promjeni pogonskog kuta mijenjati i vrijednosti i kordinata točaka.

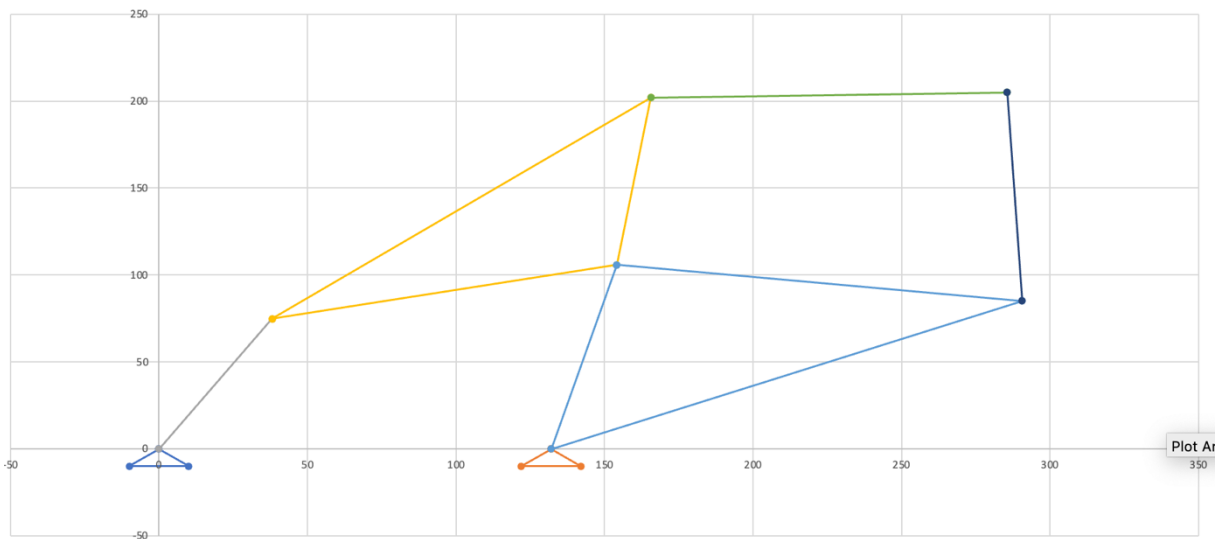
Štap R2		
	x	y
A	0	0
B	84	0
Ploča R3		
	x	y
B	84	0
C	136,5	107,9062
E	71,26984	179,5493
B	84	0
Ploča R4		
	x	y
C	136,5	107,9062
D	132	0
F	274,5892	109,856
C	136,5	107,9062
Štap R5		
	x	y
E	71,26984	179,5493
G	30,76967	292,5083
Štap R6		
	x	y
F	274,5892	109,856
G	30,76967	292,5083

Slika 5.2. Koordinate segmenata mehanizma

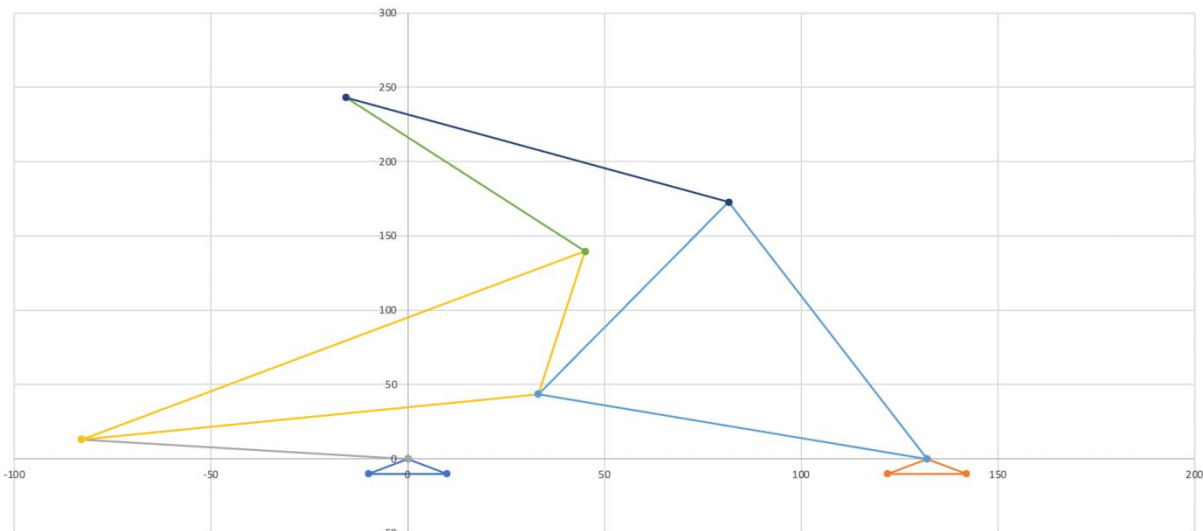
5.2 Prikaz gibanja mehanizma (otvoreno-otvorena konfiguracija)



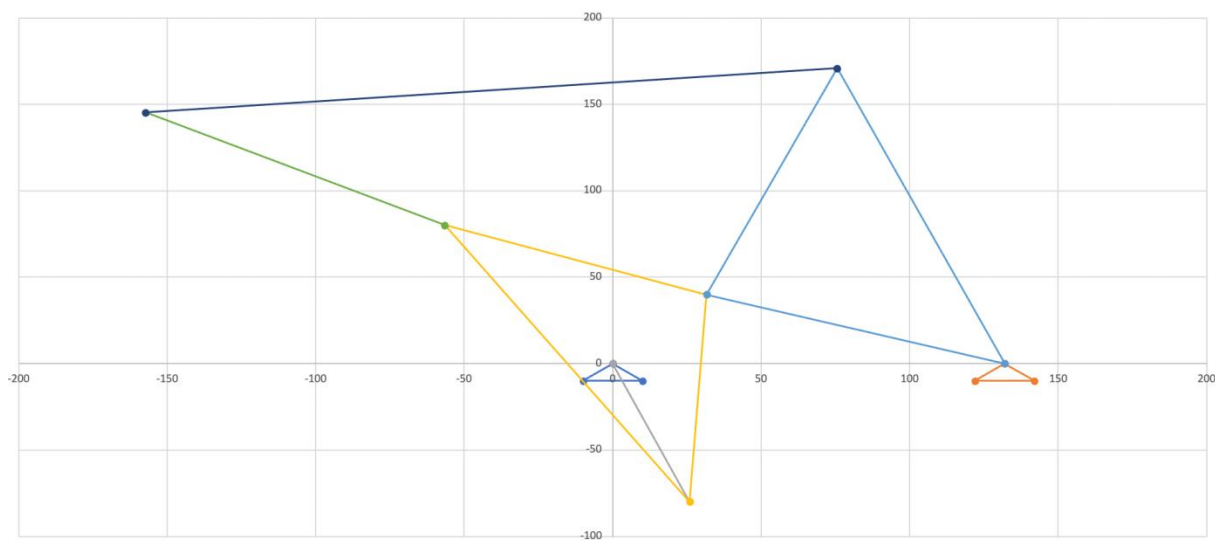
Slika 5.3. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)



Slika 5.4. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)

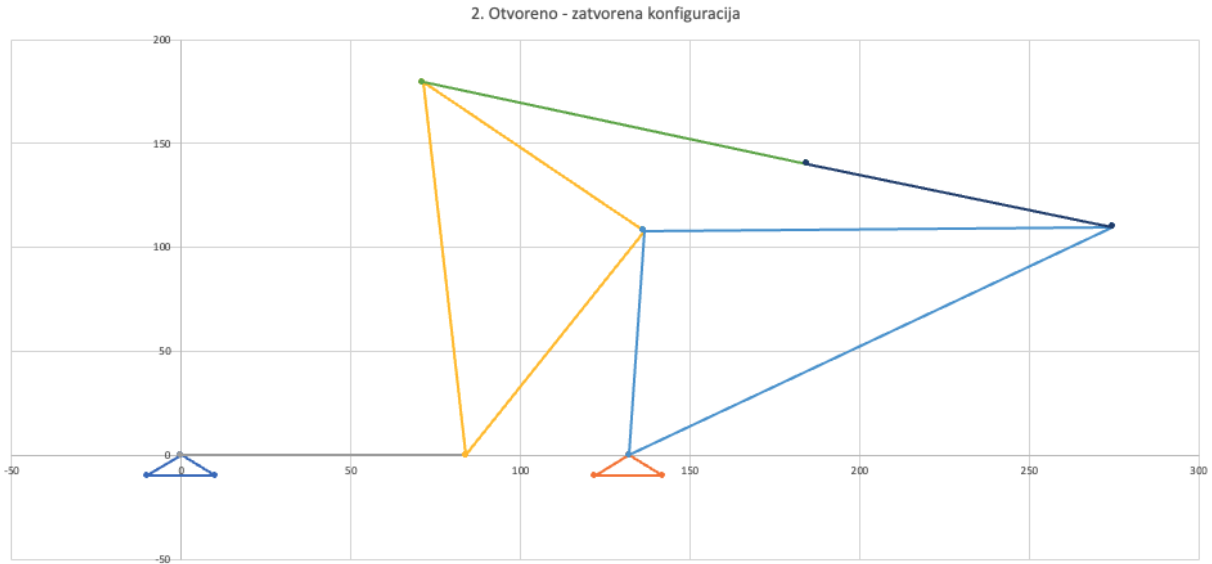


Slika 5.5. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)

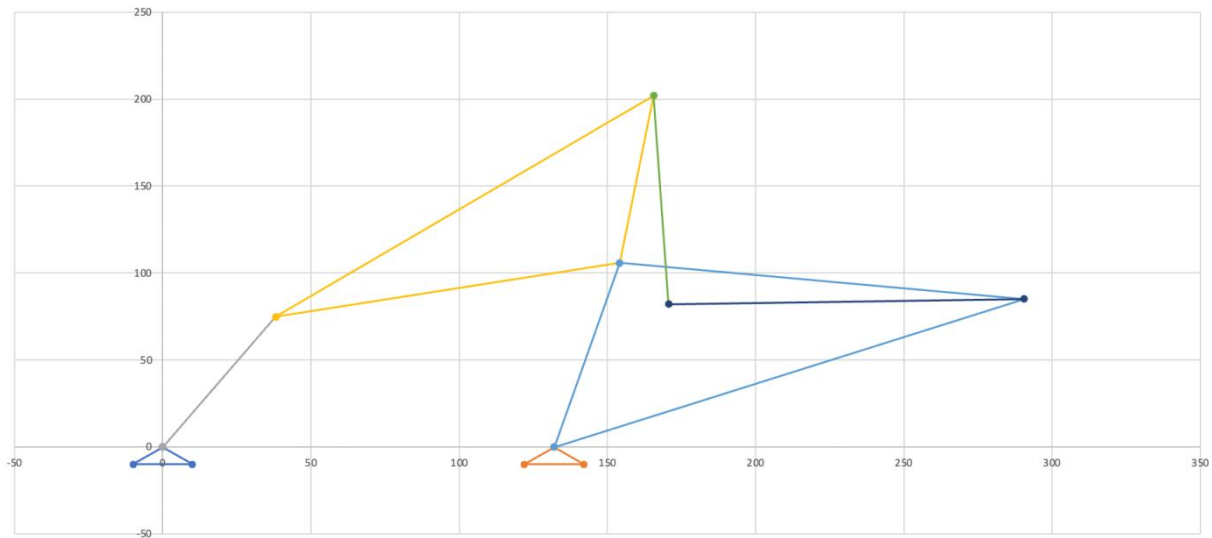


Slika 5.6. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)

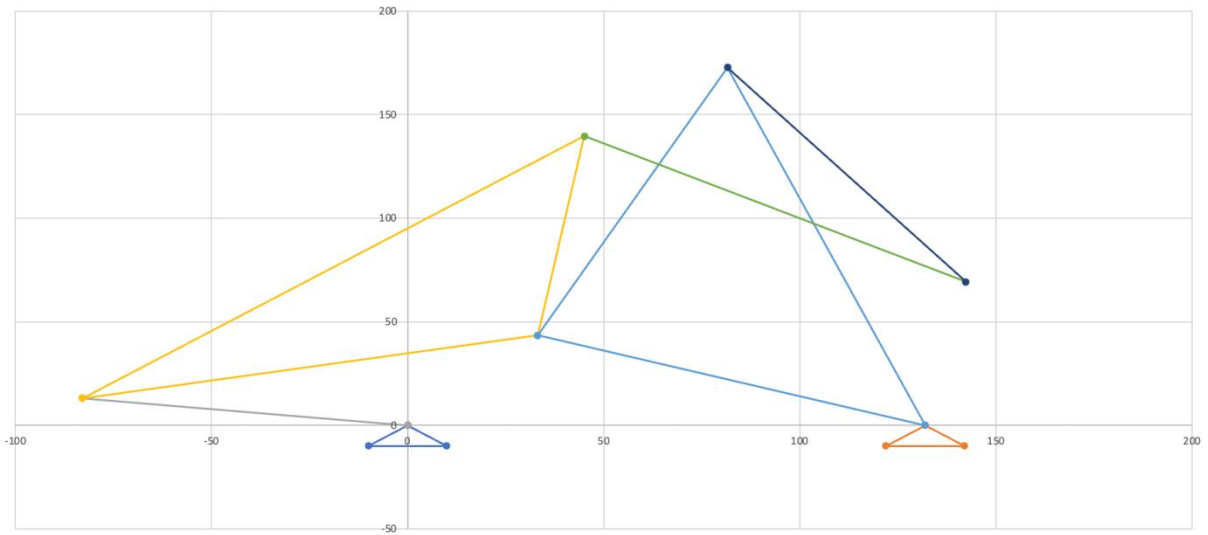
5.3 Prikaz gibanja mehanizma (otvoreno-zatvorena konfiguracija)



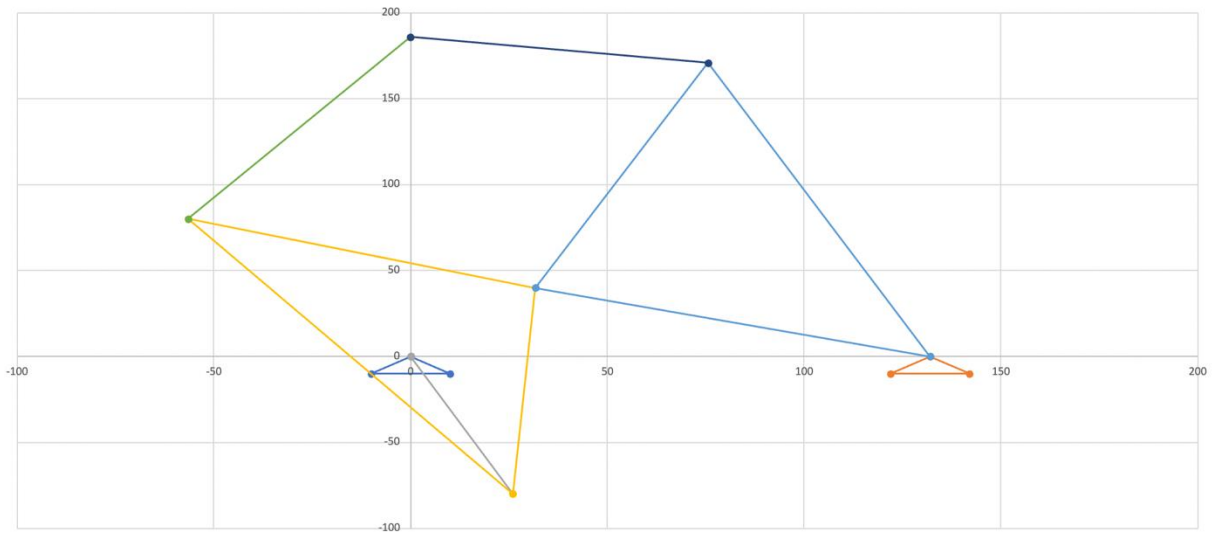
Slika 5.7. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)



Slika 5.8. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)

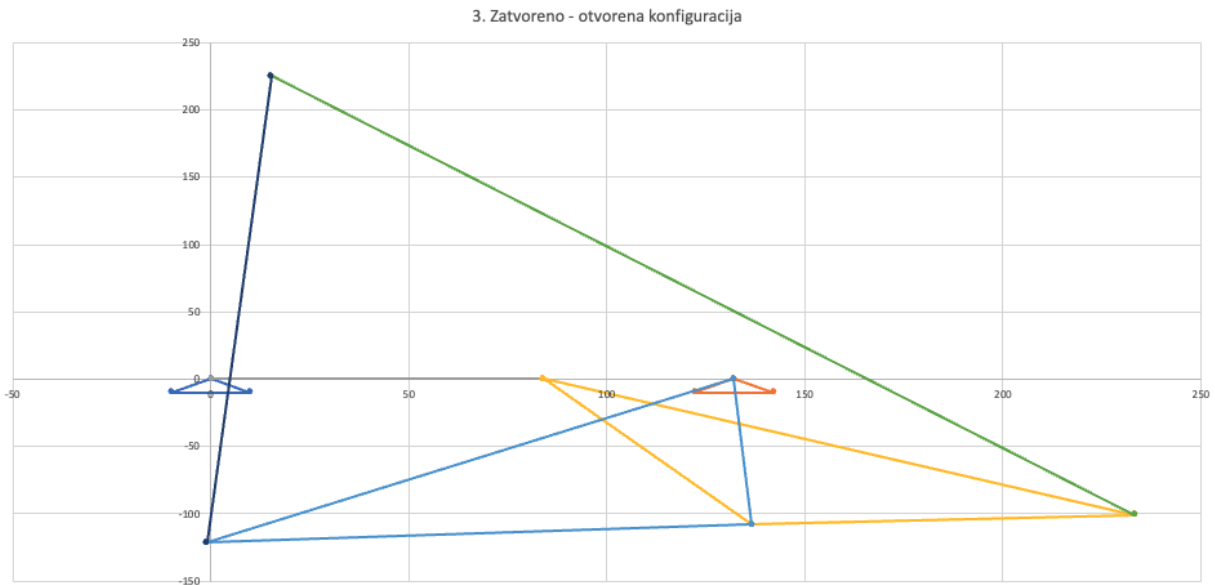


Slika 5.9. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)

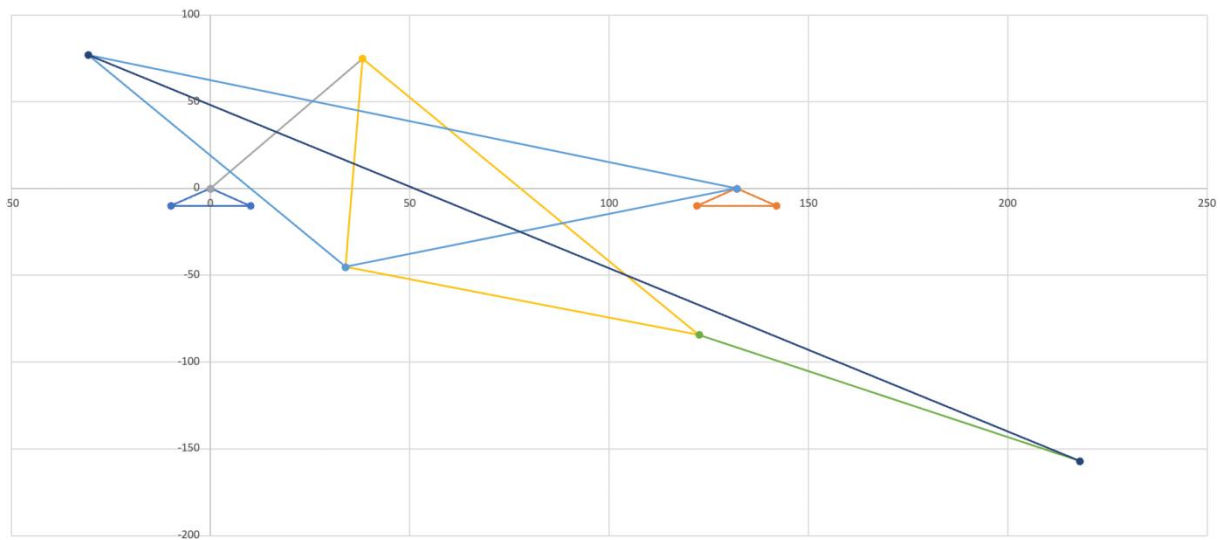


Slika 5.10. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)

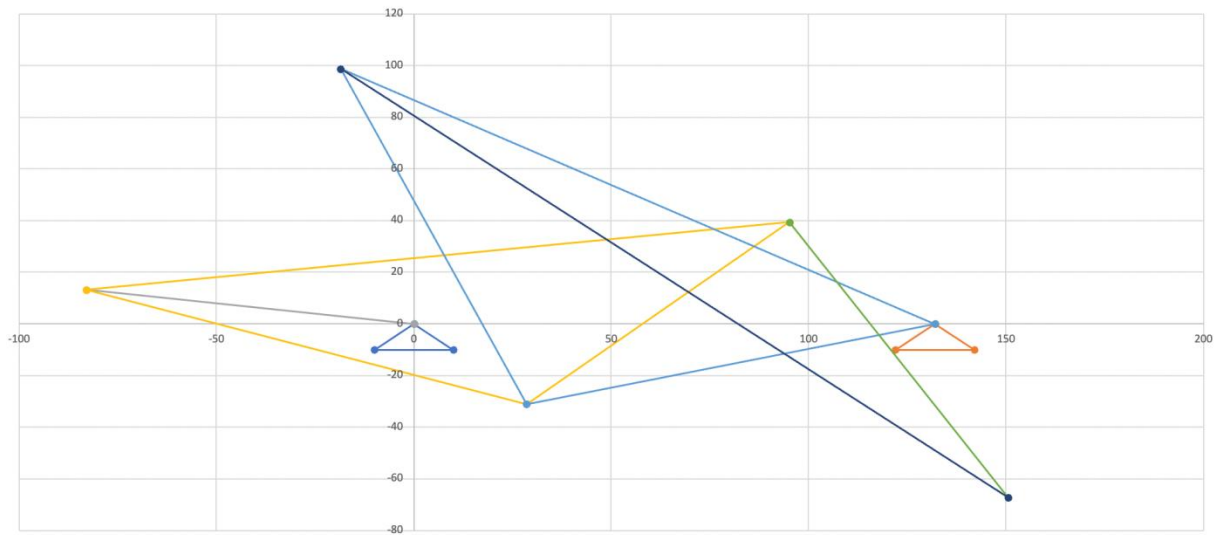
5.4 Prikaz gibanja mehanizma (zatvoreno-otvorena konfiguracija)



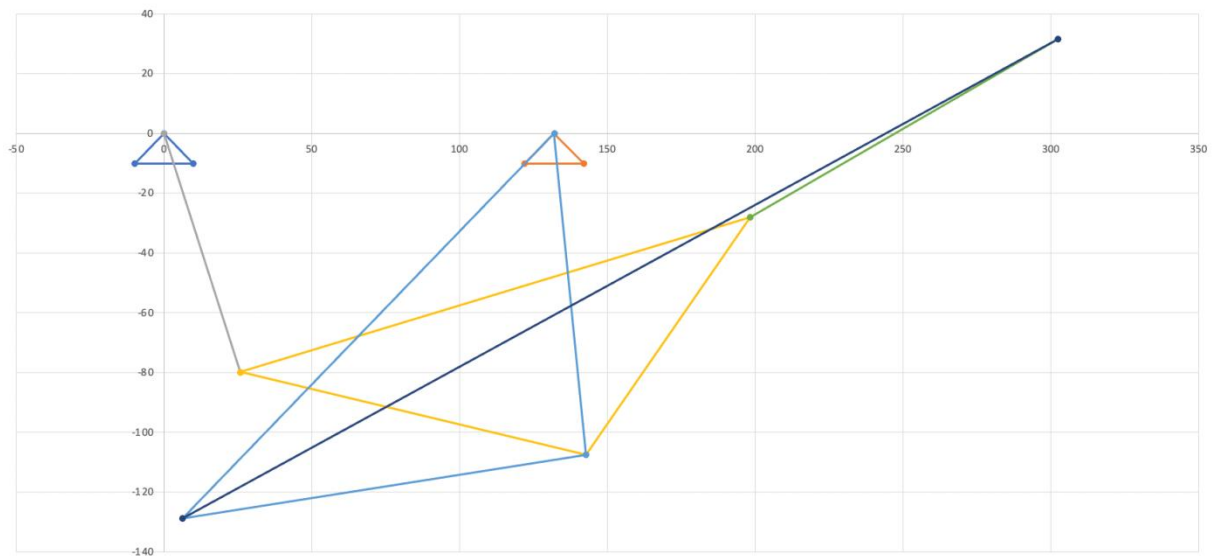
Slika 5.11. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)



Slika 5.12. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)

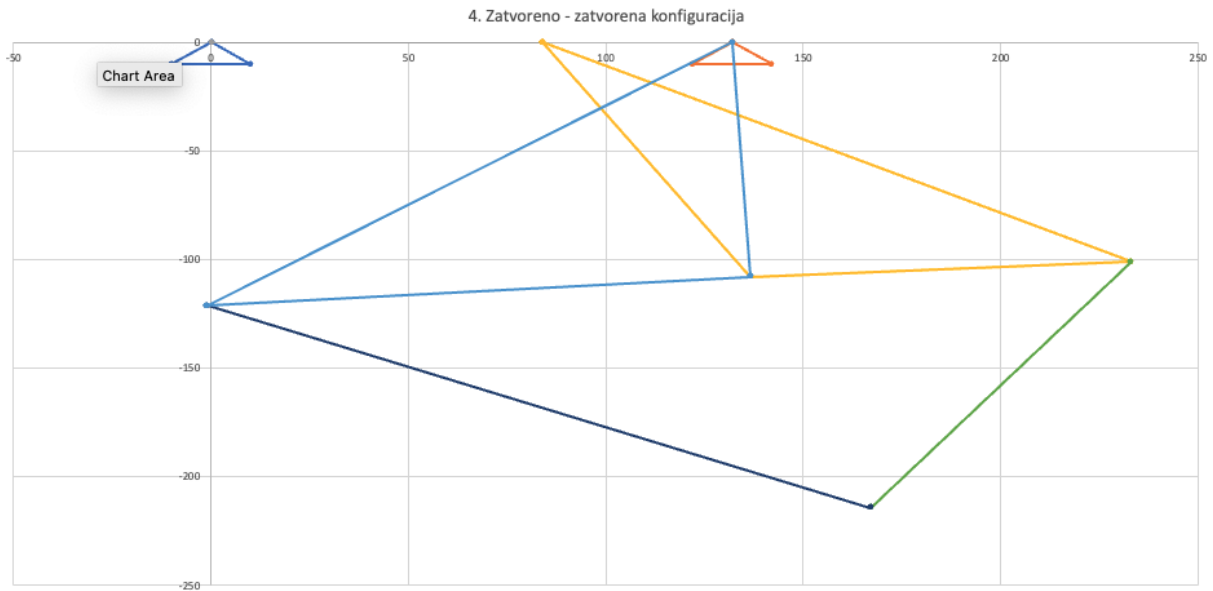


Slika 5.13. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)

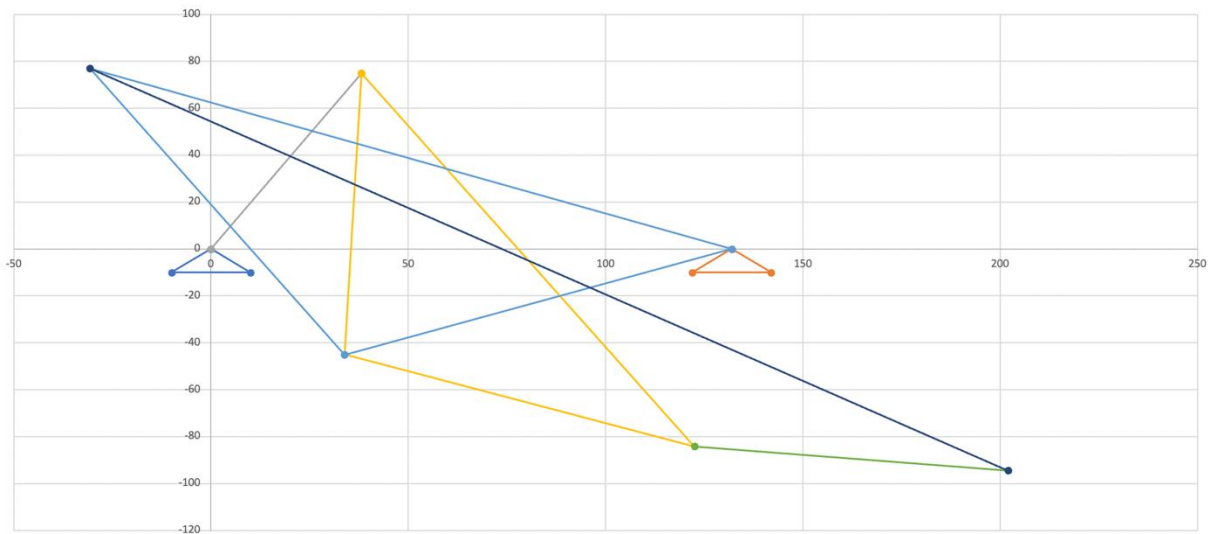


Slika 5.14. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)

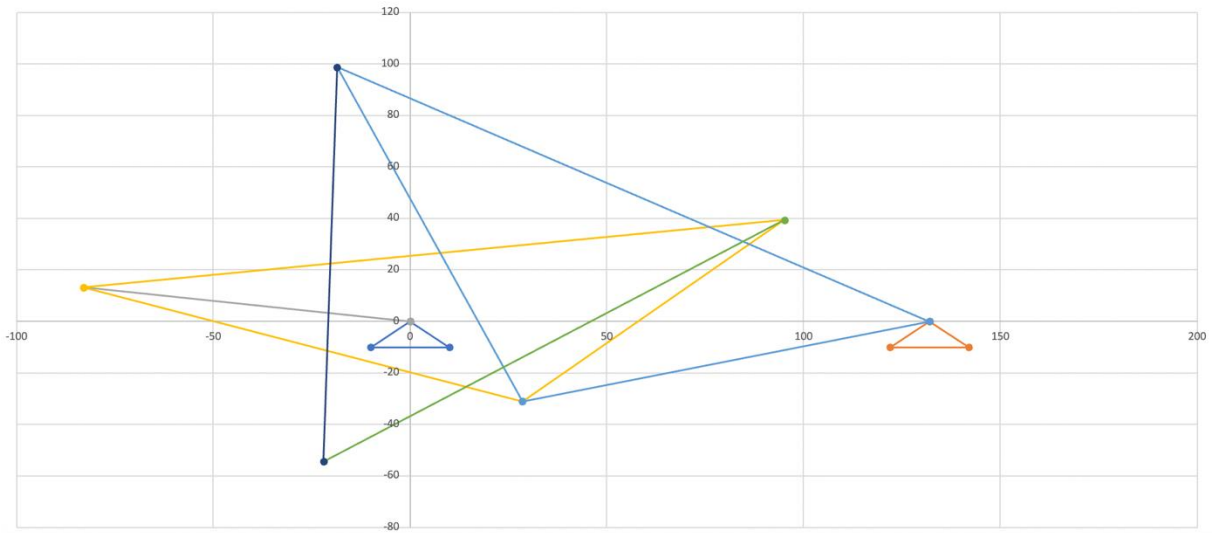
5.5 Prikaz gibanja mehanizma (zatvoreno-zatvorena konfiguracija)



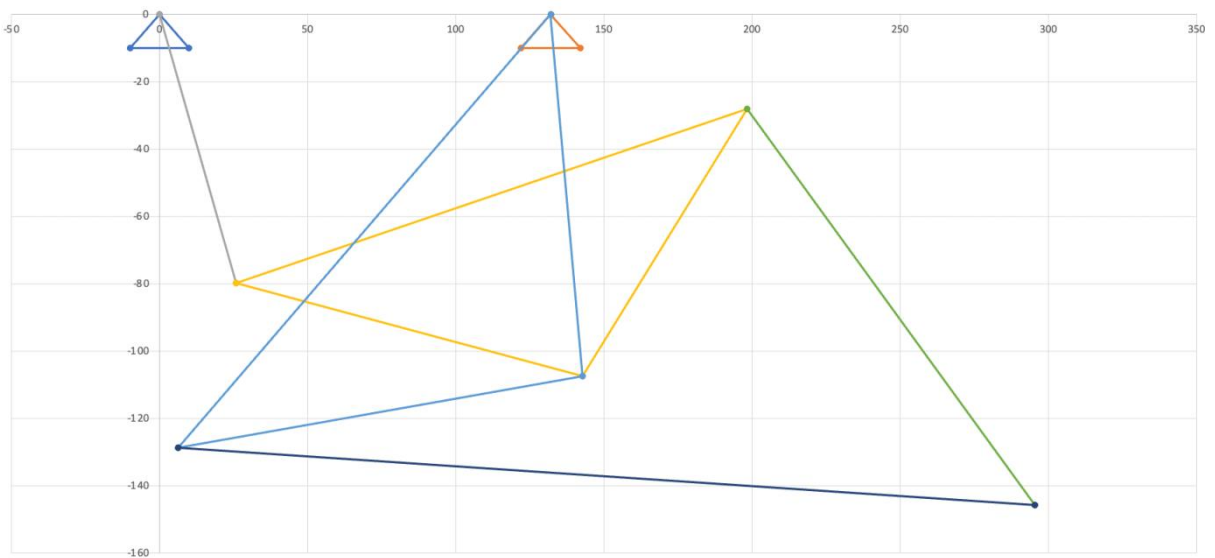
Slika 5.15. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)



Slika 5.16. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)



Slika 5.17. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)



Slika 5.18. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)

6. ZAKLJUČAK

Wattov 6-segmentni mehanizmi su mehanizma sa složenim putanjama gibanja zglobova koji su jako učinkoviti ukoliko u slučaju kompleksnih gibanja segmenata ili zglobova. Proračuni kinematičke i dinamičke analize su zahtjevni i zahtijevaju puno koraka. Program Excel pruža nam savršen alat za rješavanje takvih kompleksnih proračuna. Sva rješenja su spremljena u tablicu i lako se prikazuju.

Rješenja matrica odnosno simulaciju gibanja mehanizma u Excelu lako je prikazati te se ulazni podaci mogu lako korigirati po potrebi.

Ovim završnim radom, analizirali smo uspješno kompleksni Wattov I. mehanizam čija rješenja pružaju nam uvid u kompleksnost ovakvog tipa mehanizma.

LITERATURA

- [1] Žigulić, R.; Braut, S.: „Kinematika“, Tehnički fakultet Sveučilište u Rijeci, 2012.
- [2] Krpan, M.; Butković, M.; Franulović, A.; Žigulić, R.; Braut, S.: „Dinamika – teorija i primjena“, Tehnički fakultet Sveučilište u Rijeci, 2001.
- [3] Dyer, K.B.; Constans. E.: „Introduction to mechanism design with computer applications“, CRC Press, Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway NW, 2019.
- [4] Russel, K.; Shen, Q.; Sodhi, R.S.: „Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems Implementation in MATLAB and SimMechanics“, CRC Press, Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway NW, 2016.
- [5] Mata, A. S. „i drugi“: „Fundamentals of Machine Teory and Mechanisms“, Springer, Switzerland, 2016.

POPIS SLIKA

- Slika 1.1. Klannov hodajući mehanizam
- Slika 2.2. Stephensonov I. tip i Wattov I. tip mehanizma
- Slika 1.3. Stephensonov II. tip i Wattov II. tip mehanizma
- Slika 1.4. Stephensonov III. tip mehanizma
- Slika 2.1. Wattov I. mehanizma – primjer
- Slika 2.2. Otvoreno-otvorena konfiguracija Wattovog I. mehanizma
- Slika 2.3. Otvoreno-zatvorena konfiguracija Wattovog I. mehanizma
- Slika 2.4. Početni položaj mehanizma
- Slika 2.5. Vektorski prikaz donjeg 4-segmentnog mehanizma
- Slika 2.6. Vektorski zbroj gornjeg 5-članog mehanizma
- Slika 3.1. Segmenti Wattovog I. mehanizma
- Slika 3.2. Segmenti Wattovog II. mehanizma
- Slika 3.3. Sile koje se javljaju u pojedinim segmentima
- Slika 3.4. Vektor „r“ i sile u zglobovima
- Slika 4.1. Ulazni podaci Wattovog I. tipa mehanizma
- Slika 4.2. Konstante
- Slika 4.3. Konstante ovisne o kutu pogonske ploče, ϑ_2
- Slika 4.4. Promjena kuta ϑ_3 u ovisnosti o ϑ_2
- Slika 4.5. Promjena kuta ϑ_4 u ovisnosti o kutu ϑ_2
- Slika 4.6. Koordinate točaka
- Slika 4.7. Kut α i β
- Slika 4.8. Kutovi ϑ'_{21} i ϑ'_{22}
- Slika 4.9. Koeficijenti (otvorena konfiguracija)
- Slika 4.10. Koeficijenti (zatvorena konfiguracija)
- Slika 4.11. Kut ϑ_5 (otvorena i zatvorena konfiguracija)
- Slika 4.12. Kut ϑ_6 (otvorena i zatvorena konfiguracija)
- Slika 4.13. Koordinate točke G (otvorena i zatvorena konfiguracija)
- Slika 4.14. Kutne brzine Wattovog I. tipa mehanizma
- Slika 4.15. Kutna ubrzanja Wattovog I. tipa mehanizma
- Slika 4.16. Težišta elemenata

Slika 4.17. Ubrzanja točaka težišta
Slika 4.18. Ubrzanja točaka težišta
Slika 4.19. Matrica A
Slika 4.20. Mase pojedinih elemenata mehanizma
Slika 4.21. Inercijski momenti
Slika 4.22. Vektor B
Slika 4.23. Rješenje, matrice sila otvorene konfiguracije
Slika 5.1. Koordinate oslonaca Watt I. mehanizma
Slika 5.2. Koordinate segmenata mehanizma
Slika 5.3. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)
Slika 5.4. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)
Slika 5.5. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)
Slika 5.6. Otvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)
Slika 5.7. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)
Slika 5.8. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)
Slika 5.9. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)
Slika 5.10. Otvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)
Slika 5.11. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)
Slika 5.12. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)
Slika 5.13. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)
Slika 5.14. Zatvoreno - otvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)
Slika 5.15. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 0^\circ$)
Slika 5.16. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 63^\circ$)
Slika 5.17. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 171^\circ$)
Slika 5.18. Zatvoreno - zatvorena konfiguracija ($\theta_2 = 288^\circ$)

POPIS OZNAKA

r - duljina štapa

θ - kut položaja štapa

γ - kut ploče

α i β - kutovi virtualne poluge

ω - kutna brzina

ε - kutno ubrzanje

F - sila

m - masa

a - ubrzanje

T_x - koordinata težišta po osi x

T_y - koordinata težišta po osi y

r_x - udaljenost po osi x

r_y - udaljenost po osi y

s_x - krak sile po x osi

s_y - krak sile po y osi

J - moment tromosti

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je bila kinematička i dinamička analiza Wattovog 6-segmentnog mehanizma prvog tipa u programu Microsoft Office Excell. Iz ulaznih podataka, koji su veličina štapova i kut pogonskog člana, postavljanjem vektorskih jednadžbi položaja segmenata dobivena su prvo rješenja kinematičke analize i nakon toga derivacijom istih vektorskih jednadžbi dobivena su i rješenja dinamičke analize.

Dobivene jednadžbe su upisane u program Microsoft Office Excell, te su dobiveni rezultati u tablici za određeni broj kutova pogonskog člana, koordinate položaja, kutne brzine, kutna ubrzanja i sile. Gibanje mehanizma je prikazano pomoću programa.

Ključne riječi: 6-segmentni mehanizam, Wattov mehanizam, kinematička analiza, dinamička analiza

SUMMARY

The aim of this work was the kinematic and dynamic analysis of Watt's 6-segment mechanism of its first type in Microsoft Office Excel. From the input data, which are the size of the rods and the angle of the drive member, the solutions of the kinematic analysis were first obtained by setting the vector equations of the position of the segments, and then the solutions of the dynamic analysis were obtained by deriving the same vector equations.

The resulting equations were entered into the Microsoft Office Excel program, and the results were obtained in a table for a certain number of angles of the driving member, position coordinates, angular velocities, angular accelerations and forces. The movement of the mechanism is shown using the program.

Key words: 6-segment mechanism, Watt mechanism, kinematic analysis, dynamic analysis