

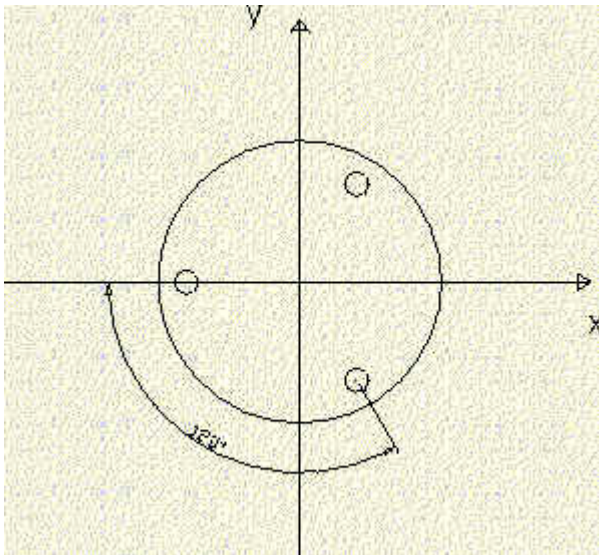
# *Edukaciona mašina sa paralelnom kinematikom*

## *TRIPOD*

### *OPŠTI MODEL TRIPODA*

Pri konstruisanju ovih tripoda pošlo se od pravolinijskih aktuatora zbog njihove relativno niske cene. Razmotreni su slučajevi osa raspoređenih po krugu pod različitim uglovima jedna u odnosu na drugu (ovi uglovi su definisani pomoću uglova  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ ) i zakrenute pod različitim uglovima (u opštem slučaju  $\Theta$ ) u odnosu na uzdužnu osu glavnog vretena. Pri tome je uzeto da se zakretanje ose vrši u tački koja se nalazi na njenoj polovini. U ovom radu je variran ugao koji ose zaklapaju sa uzdužnom osom glavnog vretena ( $\Theta$ ) i uglovi koji definišu međusoban položaj osa u ravni koja je paralelna ravni poprečnoj na glavno vreteno ( $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ ), mada se mogu varirati i drugi konstrukcioni parametri kao što su dužina štapa ( $l$ ) ili poluprecnik kruga koji obrazuju tačke oko kojih se vrši zakretanje osa.

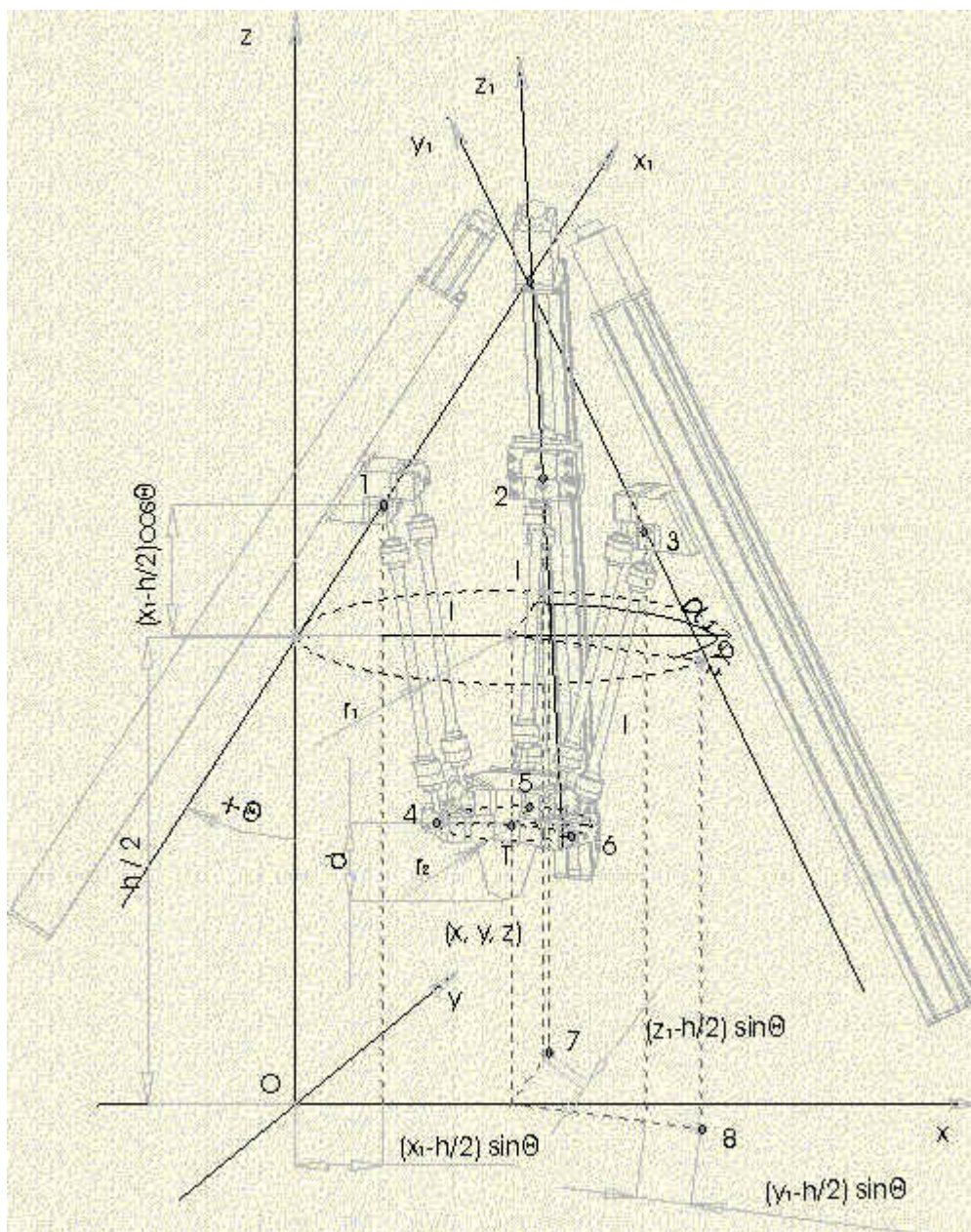
U svim slučajevima uzetim u razmatranje pošlo se od toga da se orijentacija platforme ne menja i da su štapovi za platformu vezani radijalno simetrično na po  $120^\circ$ . Položaj veza na platformi u odnosu na koordinatni sistem vezan za nju može biti prikazan sledećom skicom:



*Položaj tacaka vezivanja štapova na platformi*

Kao što se vidi, jedna veza je postavljena na x osu, a druge dve radijalno na po  $120^\circ$  u odnosu na nju.

Opšti model familije tripoda uzete u razmatranje dat je na sledećoj slici:



**Opšti model familije tripoda uzete u razmatranje**

Gde su:

- Oxyz koordinatni sistem mašine;
- $x_1, y_1, z_1$  koordinatne ose vezane za svaku od linearnih osa;
- $(x, y, z)$  koordinate vrha glavnog vretena u koordinatnom sistemu mašine;
- $\theta$  ugao zakretanja linearnih osa. Na slici je naznačen njegov pozitivan smer;
- $h$  dužina linearne ose;
- $l$  dužina štapa;
- $d$  rastojanje od mesta vezivanja štapova za platformu do vrha glavnog vretena;
- 1, 2, 3 tacke vezivanja štapova za linearne ose;
- 4, 5, 6 tacke vezivanja štapova za platformu;
- 7, 8 projekcije tacaka 2 i 3, respektivno, u Oxy ravni;
- $r_1$  poluprecnik kruga koji obrazuju tacke oko kojih se vrši zakretanje linearnih osa;
- $r_2$  poluprecnik kruga koji obrazuju tacke u kojima se štapovi vezuju za platformu;

- T centar kruga koji obrazuju tacke u kojima se štapovi vezuju za platformu;
- $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  uglovi koje ose  $z_1$  i  $y_1$  zaklapajusa x osom, respektivno;

Pošto se radi o troosnoj mašini, uzima se da je orijentacija platforme konstantna, tj. da se menja samo njena pozicija.

Nepokretan Dekartov koordinatni sistem je postavljen tako da:

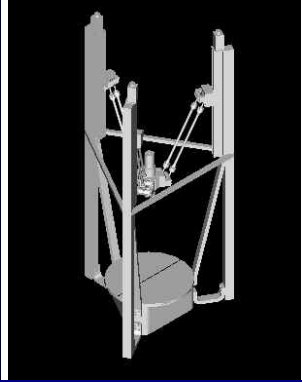
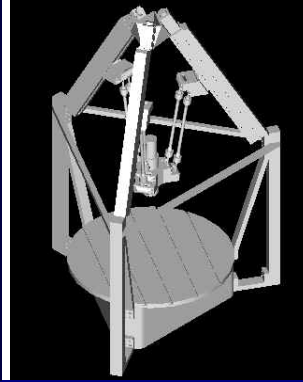
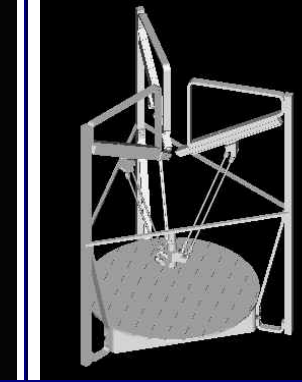
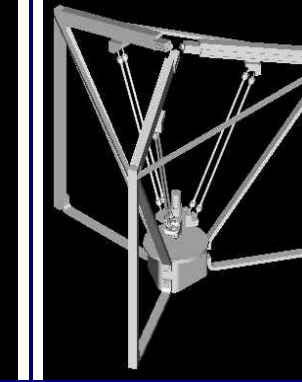
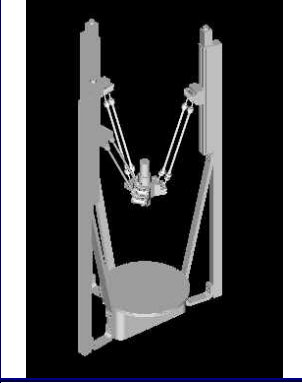
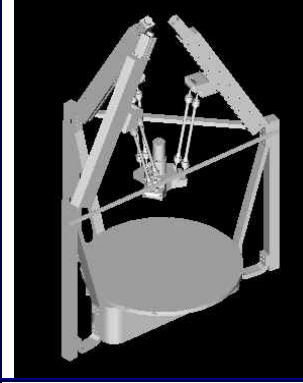
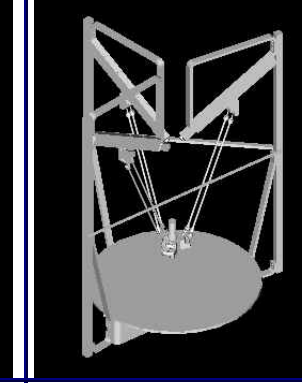
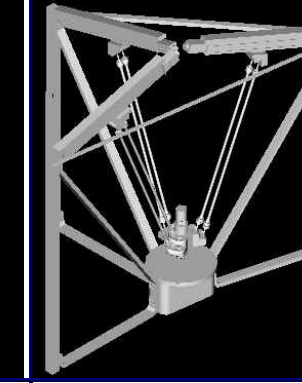
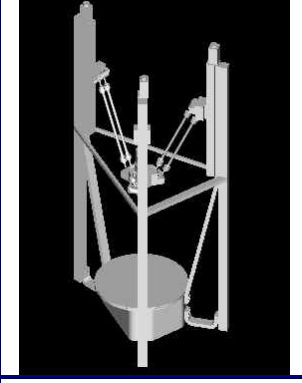
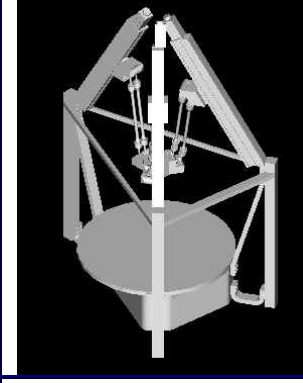
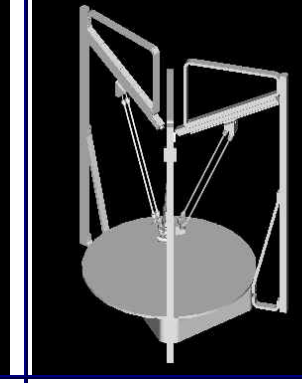
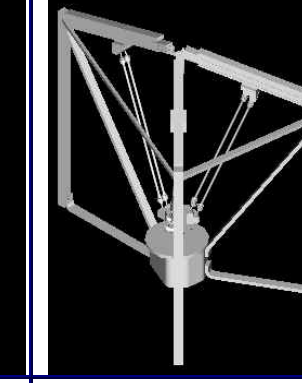
- je z osa paralelna uzdužnoj osi glavnog vretena i prolazi kroz tacku zakretanja jedne linearne ose;
- se koordinatni pocetak nalazi naniže duž z ose za  $h/2$  u odnosu na tacku zakretanja prethodno navedene linearne ose;
- je x osa postavljena tako da preostale dve linearne ose zaklapaju uglove  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  sa njom;
- je y osa postavljena tako da sa x i z osom cini Dekatov koordinatni sistem desne orijentacije;

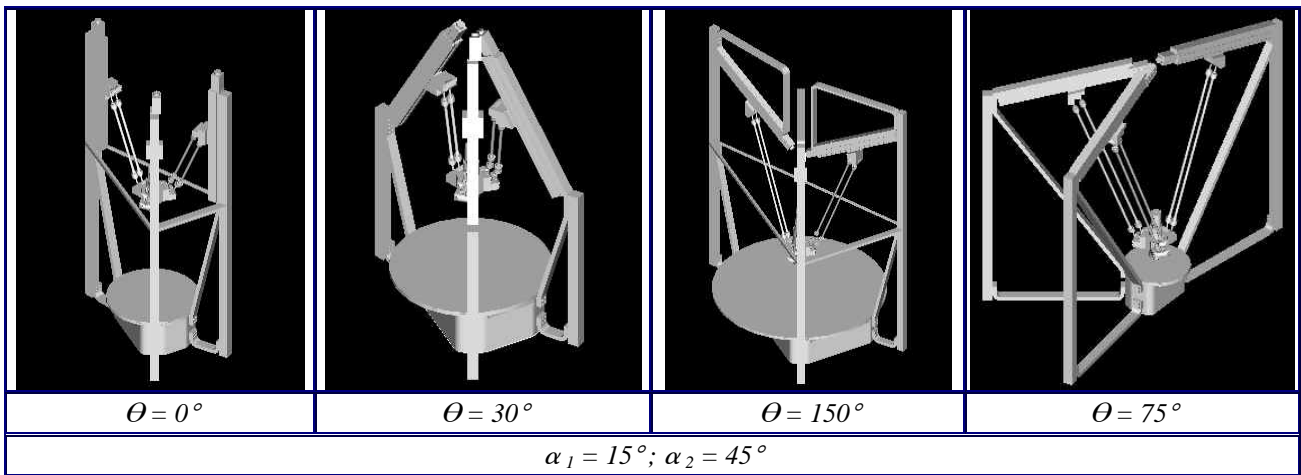
Koordinatni sistem vezan za platformu je paralelan koordinatnom sistemu mašine i prolazi kroz tacku T. Položaj tacaka vezivanja štapova prikazan je na slici 5.1.

Za svaku od linearnih osa vezana je po jedna koordinatna osa ( $x_1, y_1, z_1$ ).

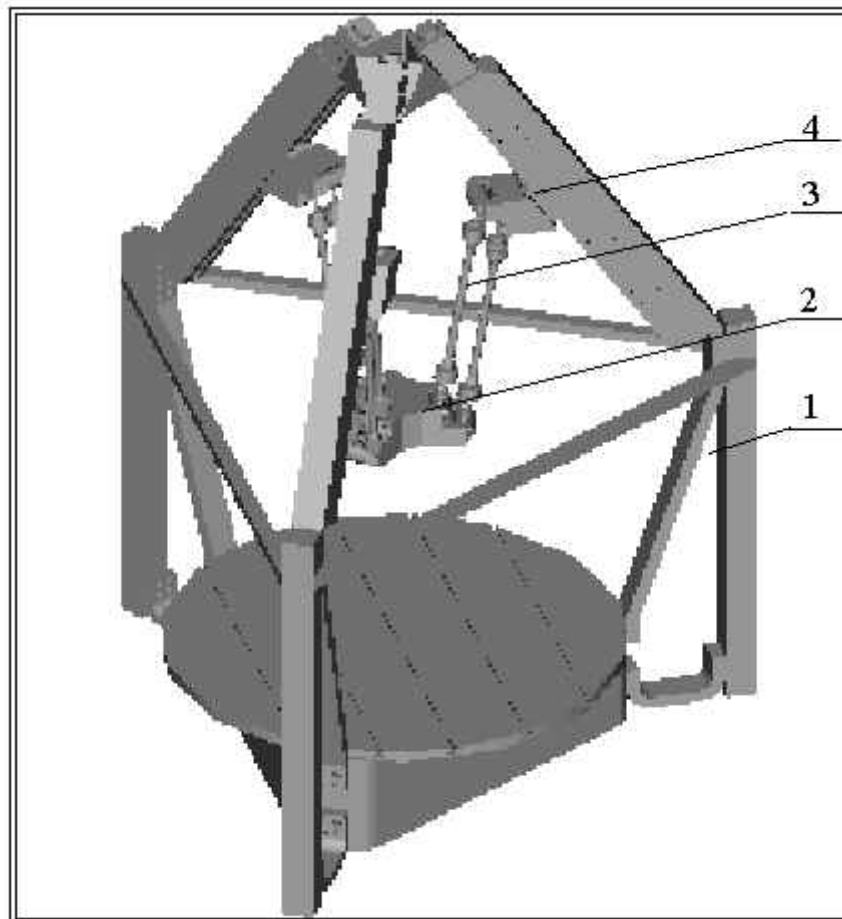
## IDEJNO REŠENJE KONSTRUKCIJE TRIPODA

Idejno rešenje konstrukcije tripoda za nekoliko karakterističnih uglova  $\Theta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , prikazani su u sledecoj tabeli:

			
$\Theta = 0^\circ$	$\Theta = 30^\circ$	$\Theta = 150^\circ$	$\Theta = 75^\circ$
$\alpha_1 = 60^\circ; \alpha_2 = 60^\circ$			
			
$\Theta = 0^\circ$	$\Theta = 30^\circ$	$\Theta = 150^\circ$	$\Theta = 75^\circ$
$\alpha_1 = 75^\circ; \alpha_2 = 90^\circ$			
			
$\Theta = 0^\circ$	$\Theta = 30^\circ$	$\Theta = 150^\circ$	$\Theta = 75^\circ$
$\alpha_1 = 30^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$			



Detalji konstrukcije bice pokazani na primeru mašine sa sledecim vrednostima karakteristiknih uglova:  $\Theta = 30^\circ$ ,  $\alpha_1 = 60^\circ$ ,  $\alpha_2 = 60^\circ$ .



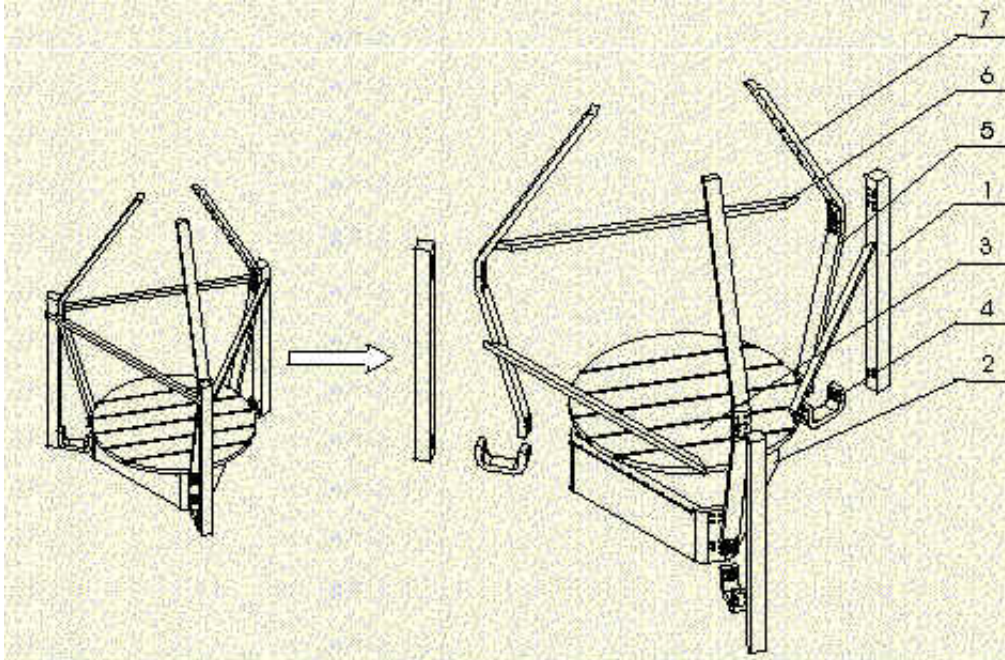
$\Theta = 30^\circ, \alpha_1 = 60^\circ, \alpha_2 = 60^\circ$

Kao što se vidi sa slike, tripod se sastoji iz 4 osnovna podsklopa: noseće strukture – 1; platforme – 2; štapova – 3; ose – 4;

## ***NOSECA STRUKTURA***

Noseca struktura se sastoji iz dva osnovna dela, medusobno fizicki razdvojena. To su oktaedarski ram i piramida

Kod oktaedarskog rama ispunjen je princip triangularizacije.



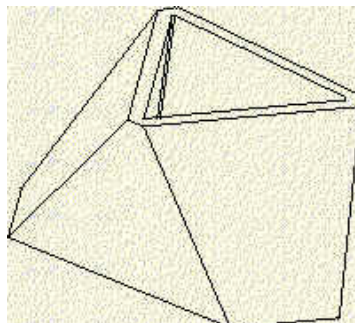
*Oktaedarski ram*

Oktaedarski ram se sastoji iz:

- stubova - 1;
- nosaca radnog stola - 2;
- radnog stola - 3;
- celicnih profila - 4, 5, 6;
- nosaca osa - 7;

Stubovi (1), kvadratnog poprečnog preseka 70 x 70 mm, postavljeni su radijalno simetrično na po 120°. Medusobno su povezani celicnim profilima (6) koji sprečavaju njihovo uvijanje. Ovi profili grade trougao. Sa nosacem radnog stola (2) stubovi su povezani celicnim profilima (4 i 5) pri čemu je i ovde formirana trougaona struktura. Za gornji kraj stubova vezani su nosaci osa (7). Svi celicni profili i nosaci osa su poprečnog preseka 70x30mm. Na nosac radnog stola postavljen je radni sto (3).

Piramida je vezana za ose sa unutrašnje strane. Ona služi da spreči savijanje nosaca osa sa osama.

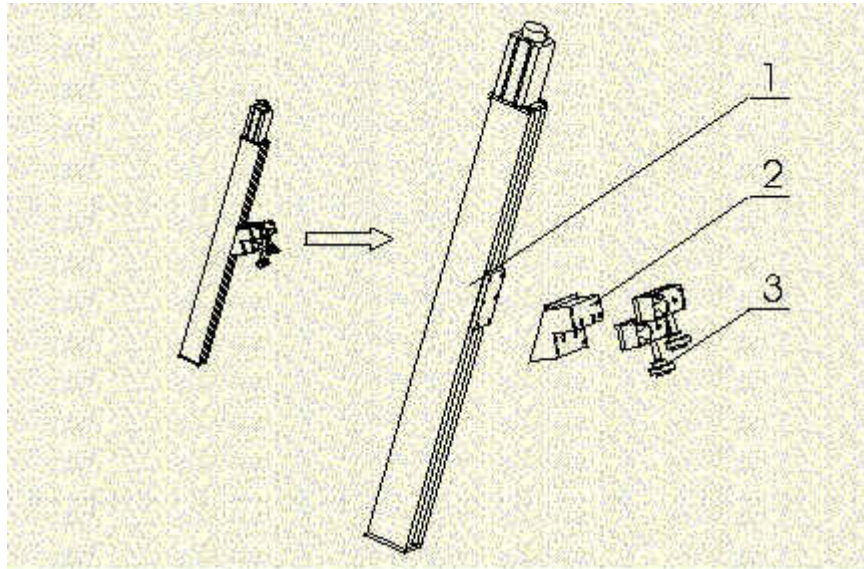


*Piramida*

---

**OSA**


---



Podsklop ose se sastoji od:

- linearnih osa - 1;
- nosaca osa - 2;
- zglobova - 3;

Linearne ose (1) su preko nosaca osa povezane sa oktaedarskim ramom. To su Narrow Profile Slide\* ) koje proizvodi firma ISEL pod katalogskim brojem HL31SBM501100005 [15]. Kucište ose je od aluminijuma sa elektrolitickom prevlakom. Ima duple linearne vodice zašticene prevlakom od aluminijumske prašine i presvucene teflonom. Klizac je takode aluminijumski sa šest otvora sa navojem M6. Ima zavojno vreteno sa recirkulacionom navrtkom precnika 16 mm sa korakom od 5 mm. Pogon je ostvaren pomocu koracnog motora proizvodnje iste firme pod katalogskim brojem HL2100M473030. Osa ostvaruje ponovljivost od  $\pm 0,01$  mm. Dužina ose sa motorom je 1160 mm, a hod klizaca je 800 mm.

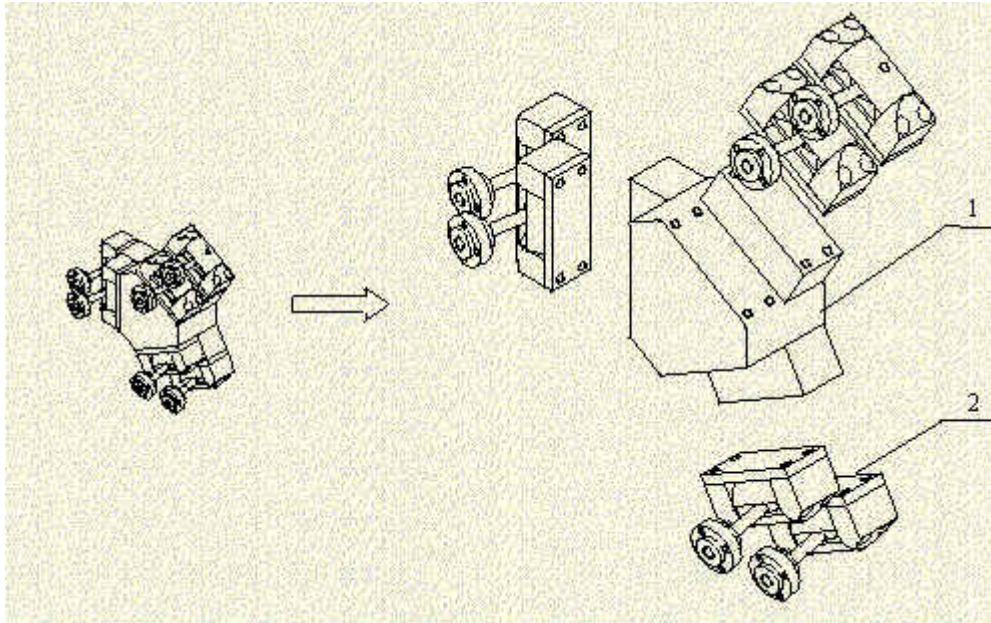
Za klizac je pomocu tri zavrtnja M6 vezan nosac zglobova (2) cije je idejno rešenje radionickog crteža dato u prilogu 2. On ima i otvore sa navojem M8 za veze zglobova.

Dva kardanska zgloba (3), proizvodnje firme INA pod katalogskim brojem GLK 3 F-233324 [17] specijalno projektovanih za heksapode, postavljeni su na nosac zglobova. Zglobovi su vezani tako da je jedan od njih postavljen na stepenik na nosacu zglobova. Ovaj stepenik ima visinu 50 mm što predstavlja precnik poprecnog obrtnog valjka zgloba. Na ovaj nacin se izbegava kolizija izmedu zglobova pri njihovom obrtanju. Zglobovi imaju mogucnost zakretanja od  $\pm 90^\circ$  oko poprecne i  $\pm 45^\circ$  oko uzdužne ose.

---

**PLATFORMA**


---



*Platforma*

Podsklop platforme se sastoji od:

- platforme - 1;
- zglobova - 2;

Idejno rešenje radionickog crteža platforme (1) dato je u prilogu 2. Za nju je vezano šest zglobova (3) u parovima radijalno simetricno na po  $120^\circ$ . Zglobovi su isti kao u podsklopu ose (proizvodnje firme INA pod kataloškim brojem GLK 3 F-233324). Platforma ima stepenike visine 50 mm (precnik popreznog obrtnog valjka zgloba) za koji se vezuje jedan od zglobova u paru. Jedan zglob u paru je podignut u odnosu na drugi da ne bi došlo do kolizije izmedu njih pri obrtanju.

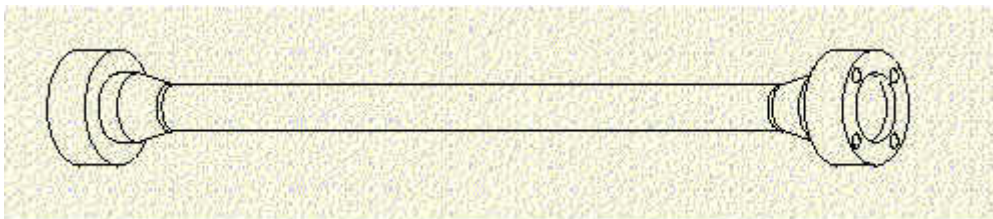
Kao što je receno, ovaj tripod je edukaciona mašina alatka. Edukacione mašine alatke se, najčešće, isporučuju bez glavnog vretena visokih performansi. One se mogu koristiti za obradu obojenih metala, plastike, za graviranje, mogu imati primenu i u stomatologiji za izradu veštackih zuba. Korisnik mašine sam postavlja glavno vreteno na platformu u zavisnosti od svojih potreba.



## *ŠTAP*

---

Svaki od podsklopova osa je sa podsklopom platforme povezan pomocu dva štapa. Štapovi se nalaze u parovima da bi se onemogućila promena orijentacije platforme pod dejstvom otpora rezanja (tripod je mašina sa mogućnošću troosne obrade). Sa obe strane su vezani za zglobove (na osi i na platformi) pomocu četiri zavrtnja M8. Dužina štapova je 420 mm što u zbiru sa rastojanjem od mesta vezivanja štapa za zglob do tacke preseka uzdužne i poprecne ose zgloba daje ukupnu dužinu od 600 mm.

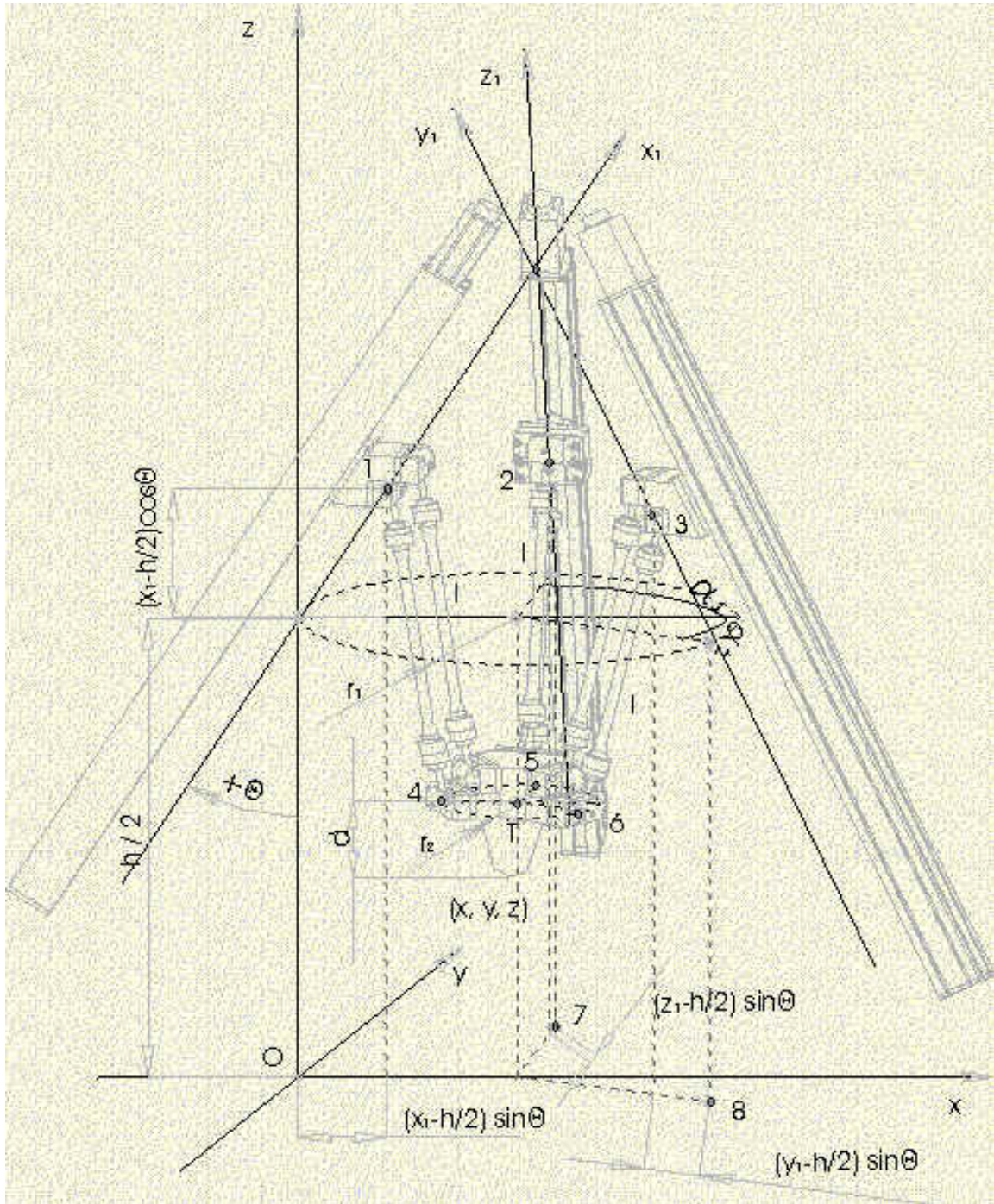


*Štap*

## ***INVERZNI I DIREKTNI KINEMATICKI PROBLEM TRIPODA***

Rešavanje inverznog kinematskog problema (IKP) podrazumeva određivanje položaja koji klizaci treba da zauzmu na osama  $x_1$ ,  $y_1$  i  $z_1$  da bi se postigla određena pozicija i orijentacija platforme u koordinatnom sistemu mašine  $Oxyz$  (opšti model tripoda).

Rešavanje direktnog kinematskog problema (DKP) podrazumeva određivanje pozicije i orijentacije koju zauzima platforma pri određenoj poziciji klizaca na linearnim osama. U datom slučaju potrebno je odrediti  $x$ ,  $y$  i  $z$  u funkciji od  $x_1$ ,  $y_1$  i  $z_1$  (opšti model tripoda). IKP i DKP su rešeni u zavisnosti od sledećih parametara:  $\Theta$ ,  $h$ ,  $l$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  (opšti model tripoda).



***Opšti model tripoda***

Korišćenjem elementarne geometrije, sa slike se mogu odrediti koordinate značajnih tacaka:

- 7**  $(r_1 + r_1 \cos \alpha_1, r_1 \sin \alpha_1)$ ;  
**8**  $(r_1 + r_1 \cos \alpha_2, -r_1 \sin \alpha_2)$ ;  
**1**  $[(x_1 - h/2) \sin \Theta, 0, h/2 + (x_1 - h/2) \cos \Theta]$ ;  
**2**  $[(r_1 + r_1 \cos \alpha_1) - (z_1 - h/2) \sin \Theta \cos \alpha_1, r_1 \sin \alpha_1 - (z_1 - h/2) \sin \Theta \sin \alpha_1, h/2 + (z_1 - h/2) \cos \Theta]$ ;  
**3**  $[(r_1 + r_1 \cos \alpha_2) - (y_1 - h/2) \sin \Theta \cos \alpha_2, -r_1 \sin \alpha_2 + (y_1 - h/2) \sin \Theta \sin \alpha_2, h/2 + (y_1 - h/2) \cos \Theta]$ ;  
**4**  $(x - r_2, y, z + d)$ ;  
**5**  $(x + r_2 \sin 30^\circ, y + r_2 \cos 30^\circ, z + d)$ ;  
**6**  $(x + r_2 \sin 30^\circ, y - r_2 \cos 30^\circ, z + d)$ ;

Koordinate tacaka 4, 5 i 6 su dobijene iz uslova konstantnosti orijentacije platforme.

Dužine štapova ( $l$ ) su konstantne i mogu se dobiti kao rastojanja između tacaka 1 i 4, 2 i 5, i 3 i 6. Odatle slede jednačine:

$$l^2 = \left[ \left( x_1 - \frac{h}{2} \right) \sin \Theta - (z - r_2) \right]^2 + \left[ \left( \frac{h}{2} + \left( x_1 - \frac{h}{2} \right) \cos \Theta \right) - (z + d) \right]^2 + y^2$$

$$l^2 = \left[ (r_1 + r_1 \cos \alpha_2) - \left( y_1 - \frac{h}{2} \right) \sin \Theta \cos \alpha_2 - (x + r_2 \sin 30^\circ) \right]^2 + \left[ -r_1 \sin \alpha_2 + \left( y_1 - \frac{h}{2} \right) \sin \Theta \sin \alpha_2 - (y - r_2 \cos 30^\circ) \right]^2 + \left[ \frac{h}{2} + \left( y_1 - \frac{h}{2} \right) \cos \Theta - (z + d) \right]^2$$

$$l^2 = \left[ (r_1 + r_1 \cos \alpha_1) - \left( z_1 - \frac{h}{2} \right) \sin \Theta \cos \alpha_1 - (x + r_2 \sin 30^\circ) \right]^2 + \left[ r_1 \sin \alpha_1 - \left( z_1 - \frac{h}{2} \right) \sin \Theta \sin \alpha_1 - (y + r_2 \cos 30^\circ) \right]^2 + \left[ \frac{h}{2} + \left( z_1 - \frac{h}{2} \right) \cos \Theta - (z + d) \right]^2$$

Iz navedenih jednačina dolazi se do rešenja [inverznog](#) i [direktnog](#) kinematskog problema.

### **REŠENJE INVERZNOG KINEMATICKOG PROBLEMA TRIPODA**

Rešenje inverznog kinematskog problema predstavljaju jednačine

$$x_1 = \frac{-U_1 \pm \sqrt{U_1^2 - 4V_1}}{2}$$

$$y_1 = \frac{-U_2 \pm \sqrt{U_2^2 - 4V_2}}{2}$$

$$z_1 = \frac{-U_3 \pm \sqrt{U_3^2 - 4V_3}}{2}$$

Gde su:

$$U_1 = -h + 2(u_1 \sin \theta + v_1 \cos \theta)$$

$$V_1 = -h(u_1 \sin \theta + v_1 \cos \theta) + u_1^2 + v_1^2 + y^2 - l^2$$

$$U_2 = -h + 2[\sin \theta (v_2 \sin \alpha_2 - u_2 \cos \alpha_2) + w_2 \cos \theta]$$

$$V_2 = \frac{h^2}{4} + h[\sin \theta (u_2 \cos \alpha_2 - v_2 \sin \alpha_2) - w_2 \cos \theta] + u_2^2 + v_2^2 + w_2^2 - l^2$$

$$U_3 = -(h + 2[\sin \theta (u_3 \cos \alpha_1 + v_3 \sin \alpha_1)] - w_3 \cos \theta)$$

$$V_3 = \frac{h^2}{4} + h[\sin \theta (u_3 \cos \alpha_1 + v_3 \sin \alpha_1) - w_3 \cos \theta] + u_3^2 + v_3^2 + w_3^2 - l^2$$

$$u_1 = -(x - r_2)$$

$$v_1 = \frac{h}{2} - (z + d)$$

$$u_2 = (r_1 + r_1 \cos \alpha_2) - (x + r_2 \sin 30^\circ)$$

$$v_2 = -r_1 \sin \alpha_2 - (y - r_2 \cos 30^\circ)$$

$$w_2 = \frac{h}{2} - (z + d)$$

$$u_3 = (r_1 + r_1 \cos \alpha_1) - (x + r_2 \sin 30^\circ)$$

$$v_3 = r_1 \sin \alpha_1 - (y + r_2 \cos 30^\circ)$$

$$w_3 = \frac{h}{2} - (z + d)$$

U ovim jednacinae  $x$ ,  $y$  i  $z$  su dati implicitno - sadržani su u parametrima  $U_1$ ,  $V_1$ ,  $U_2$ ,  $V_2$ ,  $U_3$  i  $V_3$  preko parametara  $u_1$ ,  $v_1$ ,  $u_2$ ,  $v_2$ ,  $w_2$ ,  $u_3$ ,  $v_3$  i  $w_3$ . Kao što se vidi, matematički, jednacine imaju po dva rešenja. Međutim, ne može se svako od ovih rešenja uzeti za rešenje inverznog kinematskog problema. U nekim slučajevima postoje dva rešenja, ali se u većini slučajeva može uzeti samo jedno. Ti slučajevi su:

1. Kada jedno od rešenja jednacina nije u opsegu kretanja klizaca po osama
2. Kada bi se bar jedan od štapova, za jedno od rešenja jednacina nalazio u fizicki nemogućem položaju, tj kada bi  $z$  koordinata bar jedne od tacaka 1, 2 ili 3 bila manja od  $z$  koordinate tacaka 4, 5 i 6 respektivno.

Ako se u navedene jednacine vrate smene za navedene parametre, dobice se rešenje inverznog kinematskog problema sa eksplicitno izraženim  $x$ ,  $y$  i  $z$ :

$$x_1 = \frac{-[-h - 2(x - r_2) \sin \theta + h \cos \theta - 2(z + d) \cos \theta] \pm \sqrt{[-h - 2(x - r_2) \sin \theta + h \cos \theta - 2(z + d) \cos \theta]^2 - 4 \left[ \frac{h^2}{2} + h(x - r_2) \sin \theta + (x - r_2)^2 - \frac{h^2}{2} \cos^2 \theta - h(z + d)(1 - \cos \theta) + (z + d)^2 - l^2 + y^2 \right]}}{2}$$

$$y_1 = \frac{-\left\{ -h - 2[(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ - 2[r_1 \cos 30^\circ + (y - r_1 \cos 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ + 2 \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right] \cos \theta \right\}}{2} \pm \sqrt{\frac{\left\{ -h - 2[(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ - 2[r_1 \cos 30^\circ + (y - r_1 \cos 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ + 2 \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right] \cos \theta \right\}^2}{4} - \left[ \frac{h^2}{4} + h[(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ + [(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)]^2 \right]}$$

$$- 4 \left\{ h[r_1 \cos 30^\circ + (y - r_1 \cos 30^\circ)] \sin \theta \cos 30^\circ + [r_1 \cos 30^\circ + (y - r_1 \cos 30^\circ)]^2 - h \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right] \cos \theta + \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right]^2 - l^2 \right\}$$

$$z_1 = \frac{-\left\{ -h - 2[(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ - 2[r_1 \cos 30^\circ - (y + r_1 \cos 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ + 2 \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right] \cos \theta \right\}}{2} \pm \sqrt{\frac{\left\{ -h - 2[(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ - 2[r_1 \cos 30^\circ - (y + r_1 \cos 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ + 2 \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right] \cos \theta \right\}^2}{4} - \left[ \frac{h^2}{4} + h[(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)] \sin \theta \sin 30^\circ + [(r_1 + r_1 \sin 30^\circ) - (x + r_1 \sin 30^\circ)]^2 \right]}$$

$$- 4 \left\{ h[r_1 \cos 30^\circ - (y + r_1 \cos 30^\circ)] \sin \theta \cos 30^\circ + [r_1 \cos 30^\circ - (y + r_1 \cos 30^\circ)]^2 - h \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right] \cos \theta + \left[ \frac{h}{2} - (z + d) \right]^2 - l^2 \right\}$$

Date jednacine su prilično komplikovane jer su izražene u opštim brojevima. Međutim, za svaku konkretnu mašinu, za koju su sve promenljive velicine poznate, one postaju značajno jednostavnije.

## REŠENJA DIREKTNOG KINEMATICKOG PROBLEMA TRIPODA

Rešenje direktnog kinematičkog problema u implicitnom obliku predstavljaju jednacine

$$\left(\frac{B_1^2}{A_1^2} + B_2^2 + 1\right)z^2 + \left[2\left(a_3 + \frac{C_1}{A_1}\right)\frac{B_1}{A_1} - 2(b_3 - A_2)B_2 - 2c_3\right]z + \left[\left(a_3 + \frac{C_1}{A_1}\right)^2 + (b_3 - A_2)^2 + c_3^2 - 1^2\right] = 0$$

$$x = -\frac{B_1}{A_1}z - \frac{C_1}{A_1}$$

$$y = A_2 + B_2z$$

Gde su:

$$a_1 = \left(x_1 - \frac{h}{2}\right) \sin \theta + r_2$$

$$c_1 = \left(\frac{h}{2} + \left(x_1 - \frac{h}{2}\right) \cos \theta\right) - d$$

$$a_2 = (r_1 + r_1 \cos \alpha_2) - \left(y_1 - \frac{h}{2}\right) \sin \theta \cos \alpha_2 - r_2 \sin 30^\circ$$

$$b_2 = -r_1 \sin \alpha_2 + \left(y_1 - \frac{h}{2}\right) \sin \theta \sin \alpha_2 + r_2 \cos 30^\circ$$

$$c_2 = \frac{h}{2} + \left(y_1 - \frac{h}{2}\right) \cos \theta - d$$

$$a_3 = (r_1 + r_1 \cos \alpha_1) - \left(z_1 - \frac{h}{2}\right) \sin \theta \cos \alpha_1 - r_2 \sin 30^\circ$$

$$b_3 = r_1 \sin \alpha_1 - \left(z_1 - \frac{h}{2}\right) \sin \theta \sin \alpha_1 - r_2 \cos 30^\circ$$

$$c_3 = \frac{h}{2} + \left(z_1 - \frac{h}{2}\right) \cos \theta - d$$

$$A_1 = -2(a_1 - a_3) + \frac{2b_3}{b_2}(a_1 - a_2)$$

$$B_1 = \frac{2b_3}{b_2}(c_1 - c_2) - 2(c_1 - c_3)$$

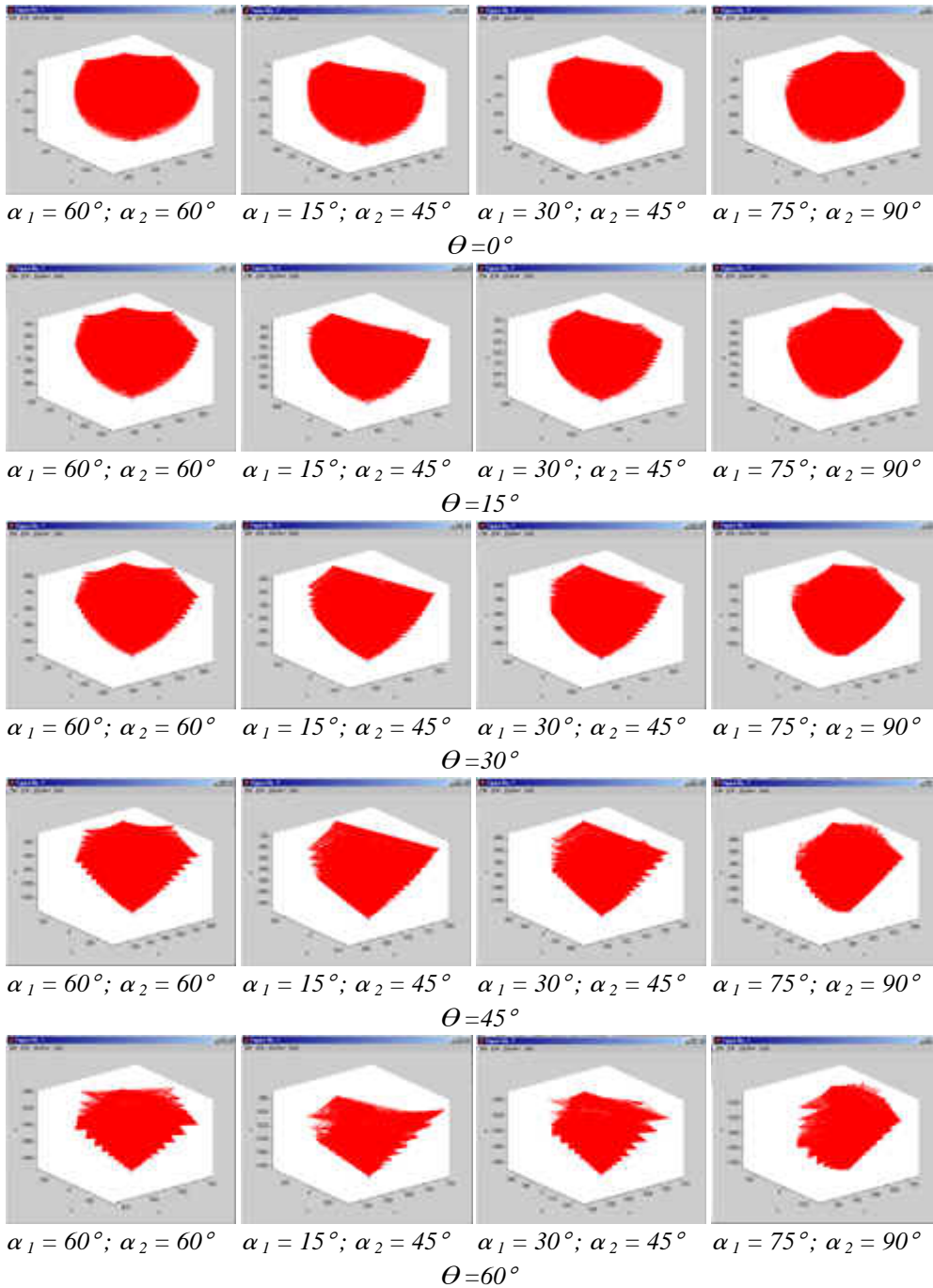
$$C_1 = (a_1^2 - a_3^2) - b_3^2 - \frac{b_3}{b_2} \left[ (a_1^2 - a_2^2) - b_2^2 + (c_1^2 - c_2^2) \right] + (c_1^2 - c_3^2)$$

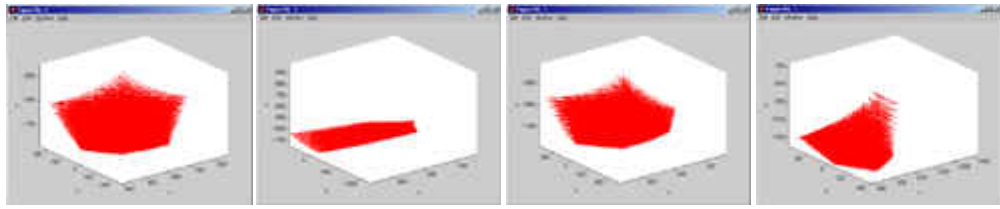
$$A_2 = -\frac{1}{2b_2} \left[ (a_1^2 - a_2^2) - b_2^2 + (c_1^2 - c_2^2) \right] + \frac{1}{b_2} (a_1 - a_2) \left( -\frac{C_1}{A_1} \right)$$

$$B_2 = \frac{1}{b_2} (c_1 - c_2) - \frac{1}{b_2} (a_1 - a_2) \frac{B_1}{A_1}$$

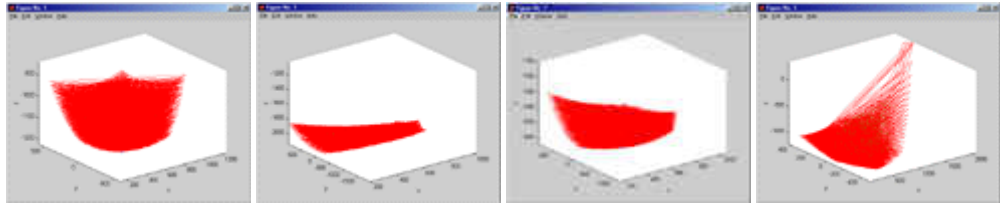
**PRIMERI RADNIH PROSTORA TRIPODA**

Na osnovu rada programa direktnatal ( $\Theta, \alpha_1, \alpha_2$ ) dobijaju se skice radnih prostora mašine u zavisnosti od ugla zakretanja linearnih osa u odnosu na uzdužnu osu glavnog vretena  $\Theta$  i uglova koji definišu međusoban položaj osa u ravni koja je paralelna ravni poprečnoj na glavno vreteno -  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ . Ove sklice za nekoliko specifičnih kombinacija uglova date su u sledećoj tabeli:

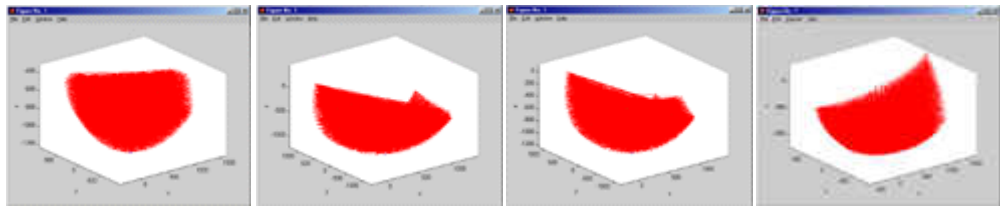




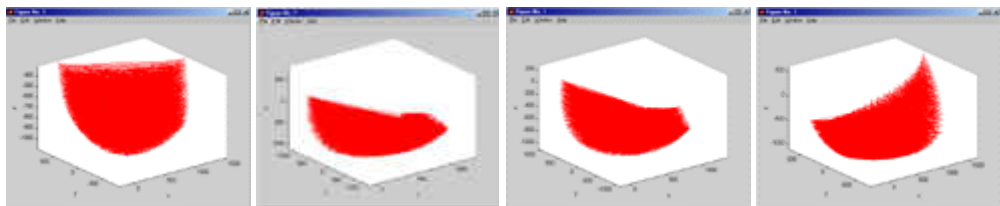
$\alpha_1 = 60^\circ; \alpha_2 = 60^\circ$     $\alpha_1 = 15^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 30^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 75^\circ; \alpha_2 = 90^\circ$   
 $\Theta = 75^\circ$



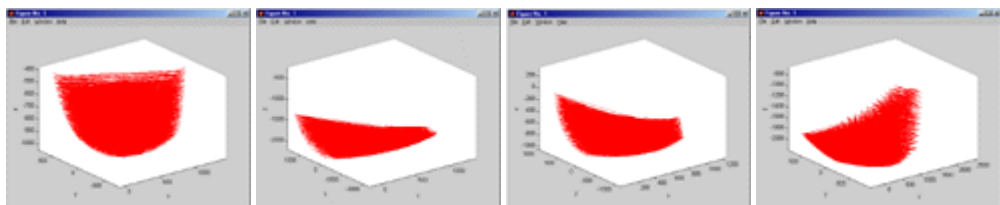
$\alpha_1 = 60^\circ; \alpha_2 = 60^\circ$     $\alpha_1 = 15^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 30^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 75^\circ; \alpha_2 = 90^\circ$   
 $\Theta = 90^\circ$



$\alpha_1 = 60^\circ; \alpha_2 = 60^\circ$     $\alpha_1 = 15^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 30^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 75^\circ; \alpha_2 = 90^\circ$   
 $\Theta = 105^\circ$



$\alpha_1 = 60^\circ; \alpha_2 = 60^\circ$     $\alpha_1 = 15^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 30^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 75^\circ; \alpha_2 = 90^\circ$   
 $\Theta = 120^\circ$

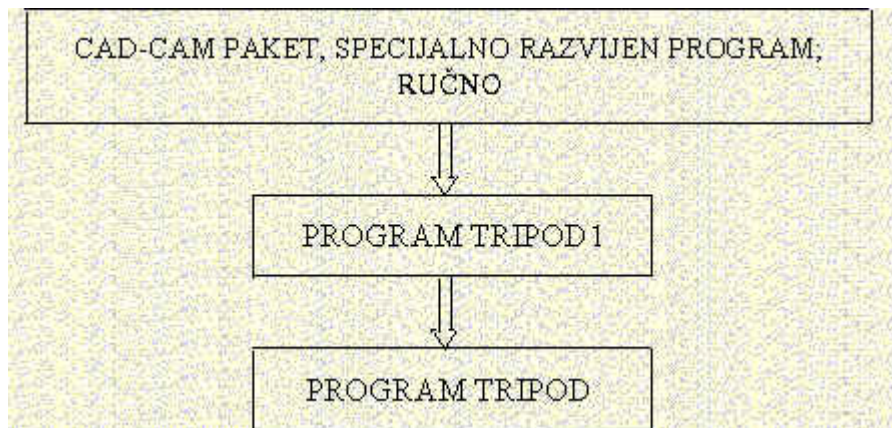


$\alpha_1 = 60^\circ; \alpha_2 = 60^\circ$     $\alpha_1 = 15^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 30^\circ; \alpha_2 = 45^\circ$     $\alpha_1 = 75^\circ; \alpha_2 = 90^\circ$   
 $\Theta = 135^\circ$



## UPRAVLJANJE TRIPODA

Upravljanje heksapoda, uopšte, vrši se na dva načina: pomoću posebne upravljačke jedinice ili pomoću PC slot-in kartice. Kod tripoda usvojeno je upravljanje pomoću MPK-3 mikrokoracne PC slot-in kartice



Upravljanje tripoda sastoji se iz sledećih koraka:

1. Određivanja položaja u koje alat treba da dođe da bi se izvršila obrada po određenoj putanji;
2. Pretvaranja koordinata vrha alata u koordinatnom sistemu Oxyz u koordinate po osama  $x_1$ ,  $y_1$  i  $z_1$ , tj. određivanje položaja u koje klizaci treba da dođu da bi se zahtevana obrada izvršila;
3. Pokretanje motora pomoću kartice MPK-3;

Za razdvajanje upravljanja na ova tri segmenta postoje određeni razlozi. Položaji vrha alata u koordinatnom sistemu Oxyz zavise od oblika obradene površine koji može biti veoma komplikovan. Oni se mogu dobiti lako ako se radi o prostoj površini. Međutim ako je površina obrade komplikovana, onda se za određivanje položaja vrha alata mogu koristiti razni CAD/CAM paketi ili posebno za to razvijeni programi. Ovako dobijeni podaci prosleđuju se programima koji izvode dalje korake upravljanja. Za ručno unošenje podataka razvijeni su programi tripodunos.

U drugom koraku upravljanja vrši se pretvaranje koordinata vrha alata u koordinatnom sistemu Oxyz u koordinate po osama  $x_1$ ,  $y_1$  i  $z_1$ . Ovaj korak je razdvojen od narednog da računar pri samoj obradi ne bi gubio vreme na ove proračune. Za izvršavanje ovog koraka napisan je program tripod1 u C++ - u.

Poslednji korak predstavlja pozivanje određenih funkcija driver-a MPK3DRV pomoću software interrupt-a. Ovaj korak se izvršava pomoću programa tripod pisanog takođe u C++ - u.

Prenošenje podataka između programa vrši se pomoću datoteka datoteka.dat i datoteka.dat.