



S. Živanović¹

MODEL MAŠINE ALATKE I ROBOTA SA PARALELNI MEHANIZMOM

Rezime

U radu se razmatra realizovan fizički model mašine alatke na bazi Stjuartovovog mehanizma. Radi se o univerzalnom modelu na kome se može vršiti verifikacija raznih izračunavanja, za konfiguracije sa različitim parametrima. Razmotrene su i ostvarene razne mogućnosti zglobnih veza (sa 2 i 3 stepena slobode) nogu mehanizma sa bazom i platformom, što omogućava mogućnost kombinovanja različitih konfiguracija kao i iznalaženje i testiranje ponašanja novih konfiguracija.

1. UVOD

Razvoj i projektovanje mašina alatki, dugo vremena se bazira pre svega na poboljšanju postojećih, već osvojenih rešenja kretanja, vođenja i pozicioniranja, kao i sistema upravljanja. Ubrzani razvoj numeričkog i kompjuterskog upravljanja, omogućio je pojavu novih pristupa u projektovanju modernih brzohodnih mašina alatki i industrijskih robota na bazi paralelno kinematički vezanih mehanizama. Za paralelno vezane mehanizme karakteristično je da struktura i aktuatori deluju paralelno, što je u kontrastu sa tradicionalnim mašinama, koje predstavljaju serijski vezane mehanizme.

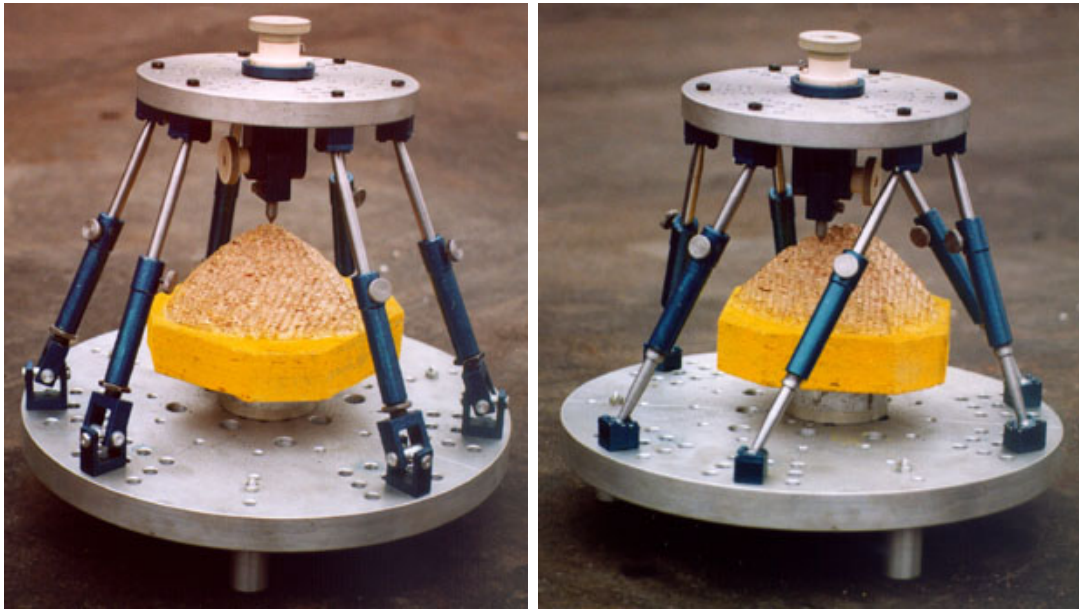
Danas postoje savremeni obradni centri, bazirani na Stjuartovoj platformi sa šest stepeni slobode. Zbog velike pokretljivosti upotrebljivost ovog mehanizma je veoma velika, što je dovelo do njegove široke primene od simulatora letenja do industrijskog robota i mašine alatke. Ovaj mehanizam se može javljati u više varijacija u pogledu broja segmenata, vrste i realizacija zglobova, kao i u pogledu broja stepeni slobode i načina i vrste pogona.

U cilju daljeg proučavanja ovakvih koncepcija mašina alatki i robota, javila se potreba za fizičkim modelom Stjuartove platforme. Ovaj model je realizovan i u nastavku će biti predstavljene osnovne karakteristike i mogućnosti primene ovog modela.

2. MODEL STJUARTOVE PLATFORME

Pogodnost mašina alatki na bazi Stjuartove platforme je lako rešavanje inverznog kinematičkog problema [3], ali je zato problem rešavanje direktnog kinematičkog problema, kao i određivanje oblika i dimenzija radnog prostora ovakvih mašina. Stoga se pristupilo izradi odgovarajućeg modela ovog mehanizma, radi verifikacije raznih izračunavanja, kao ispitivanja raznih varijanti ovog mehanizma. Na slici 2.1 je prikazan model mašine alatke na bazi Stjuartovog mehanizma sa sledećim karakteristikama:

¹ Saša Živanović, dipl. maš. ing., asistent - pripravnik, Mašinski fakultet - Beograd, Katedra za Proizvodno mašinstvo, 27. marta 80, 11000 Beograd



slika 2.1 Model mašine alatke sa paralelnim mehanizmom

- u bazi i platformi su napravljeni otvori za različite rasporede zglobova, simetrične i nesimetrične po krugu, ili slobodni raspored;
- u bazi su napravljeni i pomoćni otvori, za baziranje i stezanje probnih obradaka;
- u platformi je napravljen otvor koji treba da nosi model prenosnika za glavno kretanje (ovde model dvoosne glave) ili endefektor;
- na platformi je postavljen model dvoosne glave, tako da model mašine alatke ukupno ima osam stepeni pokretljivosti, od čega su na glavi dva i služe za doseganje teže dostupnih površina obradka;
- zglobovi su realizovani tako da omogućavaju proizvoljno kombinovanje sfernog i kardanovog zgloba;

Na modelu su isprobane neke od varijanti mašina alatki na bazi ovog mehanizma. Mehanizam može biti aktivan i zaključan, i to:

aktivan - kada su sve upravljive ose aktivne i platforma ima šest stepeni slobode, i **zaključan** - kada su upravljivi stepeni slobode blokirani platforma ima fiksnu poziciju i orijentaciju.

Grozdinski i M'Ewen [5] su ponudili formulu pomoću koje se određuje broj stepeni slobode mehanizma iz broja segmenata, broja zglobova i broja stepeni slobode u zglobovima.

$$F = 6(n-1) + \sum_1^g (6-f), \quad (1)$$

gde je F - rezultujući broj stepeni slobode,
 f - broj stepeni slobode zglobova,
 n - broj segmenata (uključujući bazu i platformu),
 g - broj zglobova.

$$\text{Jednačinu (1) se može drugačije zapisati kao } F = 6(n-1) - 6g + f = 6(n-g-1) + f_1 \quad (2)$$

gde je f_1 - ukupan broj stepeni slobode u svim zglobovima. Posle sređivanja se dobija tzv.

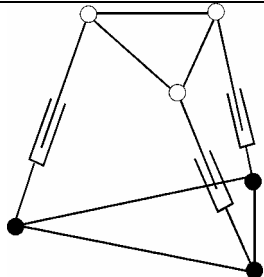
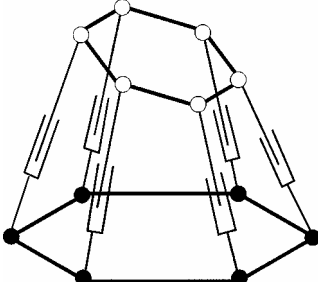
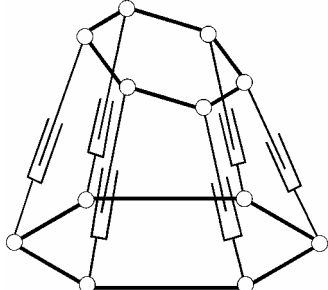
$$\text{Grübler - ova formula [5]: } F = 6(n-g-1) + \sum_{i=1}^n f_i$$

Na slici 2.2 su uz upotrebu Grübler-ove formule određeni brojevi stepeni slobode pojedinih konfiguracija mehanizama.

Kod prvobitne strukture Stjuartovog mehanizma temena trouglaste platforme povezuju se sa troosnim zglobom za tri noge, dok se svaka noga vezuje za bazu pomoću dvoosnog zgloba (kardanov zglob).

Najpoznatija konfiguracija, sastoji se od baze i platforme povezane sa šest nogu, pri čemu je svaka noga vezana za platformu troosnim, a za bazu dvoosnim zglobom, dok klizni zglobovi omogućavaju promenu dužina nogu.

Ako bi smo na mesto veze noge i baze postavili troosni zglob dobili bismo ukupno 12 stepeni pokretljivosti. Rezultat ukazuje na pojavu redundantnosti (predodređenosti). Ovaj višak stepena slobode, svake noge po jedan, ukupno šest za ceo mehanizam, ne utiče na ostvarenje funkcije mehanizma pa se naziva još pasivnim stepenima slobode.

	<p>Prvobitno rešenje Stjuartove platforme</p> <p>$n = 8$ $g = 9$ $f_1 = 3 \times 3 + 3 \times 1 + 3 \times 2 = 18$ $F = 6(n-g-1) + f_1 = 6(8-9-1) + 18 = 6$</p>
	<p>Najpoznatija konfiguracija Stjuartove platforme</p> <p>$n = 14$ $g = 18$ $f_1 = 6 \times 3 + 6 \times 1 + 6 \times 2 = 36$ $F = 6(n-g-1) + f_1 = 6(14-18-1) + 36 = 6$</p>
	<p>Stjuartova platforma sa 12 stepeni pokretljivosti</p> <p>$n = 14$ $g = 18$ $f_1 = 6 \times 3 + 6 \times 1 + 6 \times 3 = 42$ $F = 6(n-g-1) + f_1 = 6(14-18-1) + 42 = 12$</p>

slika 2.2

- Značenja zglobova na slici 2.2
- sferni zglob (tri stepena slobode)
 - kardanov zglob (dva stepena slobode)
 - ≡— (jedan stepen slobode).

Primena ovog mehanizma je nekako bliža robotici, dok je njegova primena u gradnji mašina alatki, donela totalno nov pristup u projektovanju mašina, koji razbija vekovni princip projektovanja mašina alatki tradicionalne koncepcije. U skladu sa dosadašnjim realizovanim

mašinama i robotima, moguće je model razmatrati sa oba ova aspekta. Neke od mogućih koncepcija realizovanih na modelu prikazana su na slici 2.3.

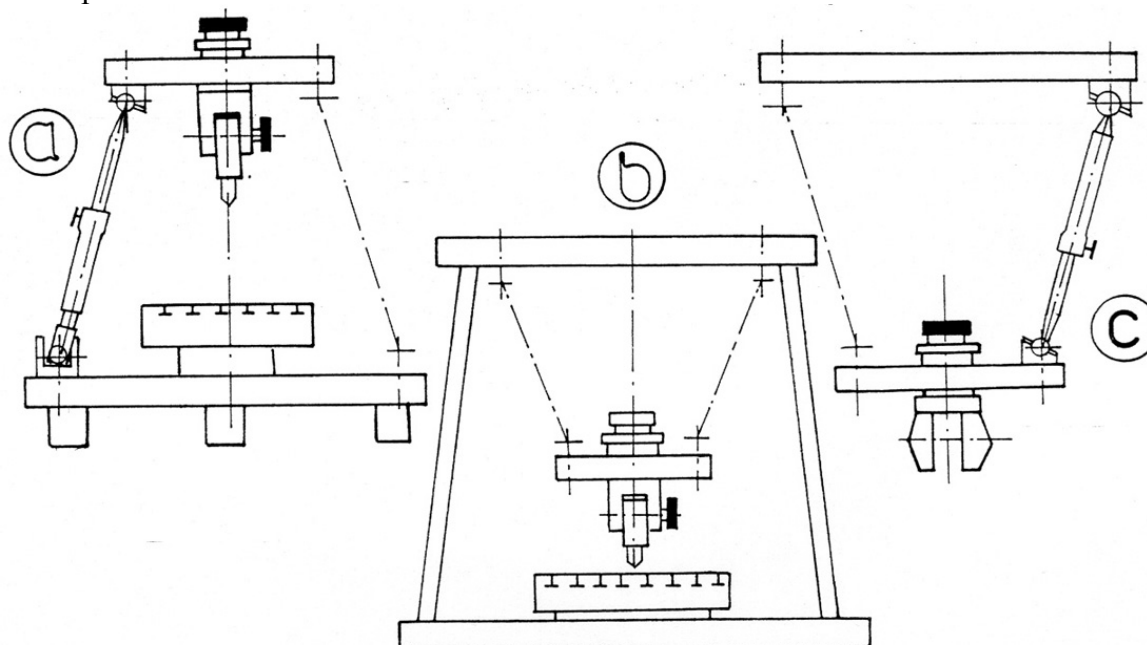
Kao mašina alatka model može predstavljati mašinu kod koje razlikujemo bazu i platformu povezanih sa šest nogu, koje su osnažene servomotorima koji rade zajedno i pokreću platformu koja nosi glavno vreteno (GV) slika 2.3-a, primer Variax obradni centar, američke firme GIDDINGS&LEWIS [2].

Druga moguća koncepcija, takođe poseduje bazu i platformu, pri čemu je baza sa gornje strane i o nju vise osnažene noge mehanizma, koje na svom kraju nose platformu i prenosnik glavnog kretanja mašine sa GV., slika 2.3-b, primer Hexapod obradni centar, američke firme INGERSOLL [2].

Jedna od mogućih primena ovog mehanizma je i manipulacija teškim objektima sa velikom tačnošću, jer se greške pozicioniranja ne povećavaju zbog savijanja (svi članovi lanca su opterećeni samo aksijalno), slika 2.4 [8]. Endefektor je pričvršćen na platformi koja visi na tri para nogu koje su vezane za bazu preko sfernih (troosnih) zglobova. Na slici 2.3-c, je prikaz modela prilagođenog ovoj konfiguraciji.

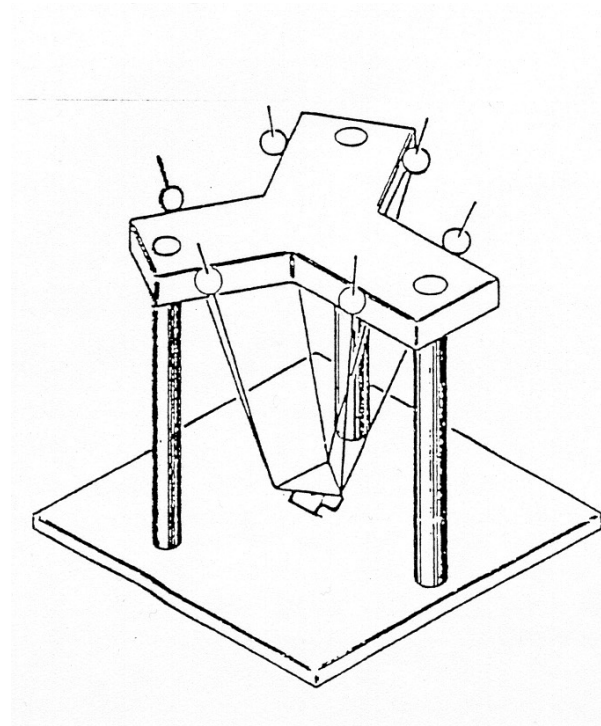
Na slici 2.5 je prikazana jedna koncepcija mašine alatke, koja odgovara konfiguraciji modela na slici 2.3-b, i na njoj je uočljivo da o bazi vise noge mehanizma koje su vezane za platformu na kojoj se nalazi prenosnik za glavno kretanje. Karakteristično je da je ovo primer mašine potpuno zatvorene u kabinu, zbog obilja strugotine i sredstva za hlađenje i podmazivanje, što odgovara koncepcijama modernih brzohodnih i vrlo produktivnih mašina. Ovo je primer mašine razvijene u Velikoj Britaniji, koja je kao patent, prodana švajcarskoj firmi Geodetics, bez uočenog komercijalnog rasta.

Pogodnost paralelnog mehanizma je u mogućnosti ostvarivanja velikih brzina, krutosti i tačnosti, što je značajno za realizaciju mašina alatki i robota. Međutim zbog prirode samog mehanizma ovakvi sistemi imaju manji radni prostor u odnosu na one koje su projektovane na bazi prostih kinematičkih lanaca.

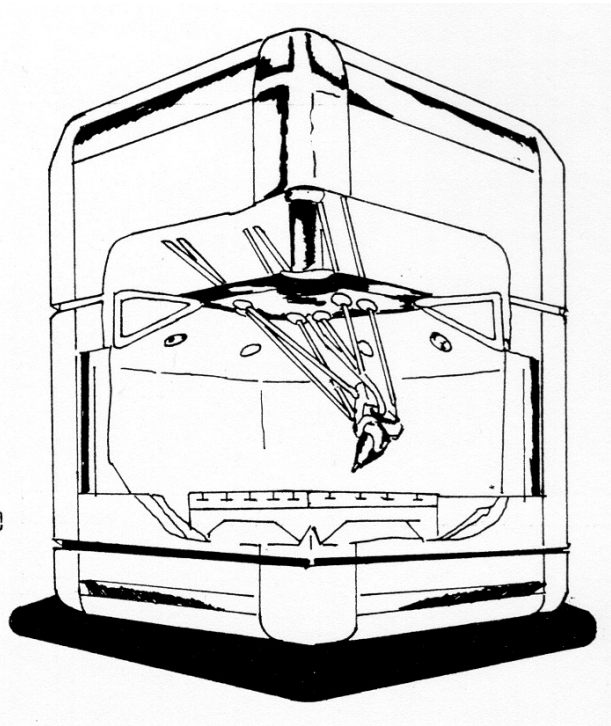


slika 2.3 Neke moguće konfiguracije modela Stjuartove platforme

Nerešivost direktnog kinematičkog problema, uslovio je da se omotač radnog prostora ovakvih mašina određuje posredno postupnim izračunavanjem i probanjem na osnovu uzastopnog rešavanja inverznog kinematskog problema i provere dostižnosti određenih pozicija. Za usvojene parametre na fizičkom modelu, određene su koordinate svih dostižnih tačaka. Od njih su posebno izdvojene one koje čine omotač radnog prostora, da bi se ove tačke iskoristile za vođenje glodala od tačke do tačke na troosnoj glodalici, čime bi se napravio model radnog prostora mašine alatke na bazi Stjuartovog mehanizma. Ovakav model je napravljen u Zavodu za Mašine alatke, na obradnom centru ILR HBG 80 [7].



slika 2.4 Konceptija robota sa paralelnim mehanizmom [8]



slika 2.5 Moderna mašina alatka na bazi Stjuartovog mehanizma [10]

3. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen fizički model Stjuartovog mehanizma koji se primenjuje u proučavanju postojećih i novih koncepcija primene ovog mehanizma. Iako ovaj mehanizam nosi jedan totalno nov pristup u projektovanju mašina alatki, on polako ali sigurno sa daljim razvojem računarskih i numeričkih sistema upravljanja, dobija svoje mesto u razvoju novih generacija mašina alatki i robota, koje karakterišu:

- mala masa, uz visoku krutost,
- velika brzina pomoćnih kretanja,
- visoka preciznost,
- mogućnost prenošenja velikih tereta,
- mobilnost i mogućnost ugradnje u Fleksibilne tehnološke sisteme, itd.

Pošto se ovde radi o novoj generaciji mašina, stoga se u projektovanju komponenti može pristupiti pravljenju novih komponenti svojstvenih ovom tipu mašina, što naravno ne znači da se neće koristiti postojeće opravdane komponente. Upravljanje ovakvih mašina, je moralo da sačeka razvoj računara da bi bila moguća obrada i prenos informacija, ostvarljiva u realnom

vremenu. Iako postoje realizovane mašine ovog tipa, sve su one za sada na nivou prototipova i čekaju svoje vreme za komercijalnu primenu. U toku projektovanja ovih mašina planirano je ostvarenje sadejstva novih mašina sa standardnim perifernim uređajima, kao što je paletni transportni sistem. Cilj je da se nova generacija mašina uklopi u postojeći ambijent fleksibilnih tehnoloških sistema, radi njihovog daljeg osavremenjavanja.

Fizički model je korak dalje u proučavanju mogućnosti primene paralelnih mehanizma, kao i preduslov za dalji pomak u proučavanju raznih vrsta izračunavanja, neophodnih u ostvarenju upravljanja nove generacije mašina.

4. LITERATURA

- [1] Stewart D., A Platform With Six Degrees of Freedom, The Institution of Mechanical Engineers, Proceedings 1965-66, Part 1, No 15, str. 371-386
- [2] Živanović S., Glavonjić M., Pregled modernih brzohodnih mašina alatki, 22. JUPITER Konferencija, Zbornik radova, Mašinski fakultet, Beograd, 1996, str. 3.47-3.52
- [3] Glavonjić M., Milutinović D., Stjuartov mehanizam u novoj generaciji obradnih centara i robota, 22. JUPITER Konferencija, Zbornik radova, Mašinski fakultet, Beograd, 1996, str. 3.53-3.62
- [4] Grozdinski P., M'Ewen E., Linki Mechanisms in Modern Kinematics, Proc. Inst. Mech. Engrs. 1954, 168 N^o
- [5] Craig J., Introduction to Robotics (Mechanics and Control), Second edition, 1989, pp.277-288; pp. 294-297
- [6] Maksimović D., Projektovanje modela industrijskog robota sa šest stepeni slobode na bazi Stjuartovog mehanizma, diplomski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
- [7] Krndija B., Kinematika mašine alatke sa paralelnim mehanizmom, diplomski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
- [8] D.M.J. Harris, A Hydraulic Parallel-Linkage Robot, Robotics&Control Group, School of Electrical and Mechanical Engineering University of Ulster, Shore Road, NEWTOWNABBEY, County Antrim BT37 0QB, United Kingdom, pp. 1695-1699
- [9] Glavonjić M., Milutinović D., Novi kinematički podsistem mašine alatke, 26. Međunarodno savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, Zbornik radova, Mašinski fakultet Podgorica, 1996, str. 553-558.
- [10] Hartmut Becker, Dieburg, Schnelle Stand-alone-Maschinen flexibel und präzise, Werkstatt und Betrieb 128 (1995) 7-8, pp. 644-646
- [11] Kieckhafer L., Sheldon P., A Revolutionary New Machining Center, EPE, N^o 1-2, 1995, pp. 44-46

S. Živanović

Summary

MODEL OF MACHINE TOOL AND ROBOT WITH PARALLEL MECHANISM

Realized physical model of machine tool based on Stewart mechanism has been discussed in this paper. Suggested universal model can be used for verification of various calculations for configurations with different parameters. Various realized joint links (with 2 and 3 degrees of freedom) of legs with platform and base were discussed. Such model allows possibility of different configurations combining as well as testing of behaviour of new configurations.