



Miloš Glavonjić, Dragan Milutinović, Saša Živanović<sup>1)</sup>

## TROOSNI PARALELNI MEHANIZAM SA SPECIFIČNIM REŠENJIMA PASIVNOG TRANSLATORNOG ZGLOBA<sup>2)</sup>

### Rezime

Kao što je poznato, oblik i dimenzije radnog prostora su među najvećim nedostacima mašina sa paralelnom kinematikom. Mehanizmi Hexaglide i Triaglide su primeri kod kojih je radni prostor izdužen po jednoj osi, kao glavnoj osi kretanja, što je inače uobičajena karakteristika mašina sa serijskom strukturom. Polazeći od značaja izdvajanja jedne ose kao dominantne razvijen je novi prostorni paralelni mehanizam sa 3 stepena slobode za horizontalne i vertikalne glodalice. U radu su pokazane koncepcije mehanizama sa specifičnim rešenjima pasivnog translatornog zgloba.

*Ključne reči:* Paralelni mehanizam, mehanizmi za generisanje prave linije, glodalica

### 1. UVOD

Mašine alatke i roboti sa paralelnom kinematikom su uveliko prepoznati kao novi-revolucionarni koncept. Rezultati istraživanja u ovoj oblasti su publikovani u velikom broju radova. Međutim, iznalaženje struktura sa superiornim performansama i niskom cenom u odnosu na konvencionalne mašine još nije završeno [1]. Do sada je razvijen veliki broj mašina sa paralelnom kinematikom različitih topologija sa 3 – 6 stepeni slobode [2,3,4]. Međutim, petoosna obrada nije uvek neophodna za većinu delova uobičajene složenosti oblika. Iz ovih razloga su u poslednje vreme istraživanja fokusirana na razvoj mašina sa manje od 6 stepeni slobode [5]. Zbog fizičkih i komercijalnih ograničenja mnogi proizvođači trenutno razvijaju troosne mašine sa paralelnom kinematikom za obradu velikim brzinama. Kao što je poznato oblik i dimenzije radnog prostora su među najvećim nedostacima MPK. Pored prednosti koje pružaju paralelni mehanizmi sa konstantnim dužinama spojki, Hexaglide i Triaglide [4,6] su mehanizmi gde je korišćenjem paralelnih vođica izdužena jedna osa radnog prostora, kao glavna osa kretanja, što je karakteristično za serijske mašine. Polazeći od značaja izduživanja jedne ose kao dominantne, razvijen je novi paralelni mehanizam sa 3 stepena slobode. U poređenju sa sličnim, ovaj mehanizam ima nekoliko prednosti: pravilan radni prostor, što je karakteristika serijskih mašina, veću krutost po prirodi koncepcije sa ukrštenim štapovima i vrlo dobar odnos sila i brzina u celom radnom prostoru. Pored toga, struktura mehanizma odnosno oblik, dimenzije i kretanja platforme omogućuju i ugradnju dve serijske ose, odnosno gradnju hibridnih paralelno-serijskih petoosnih mašina. Polazeći od specifičnosti mehanizma, da je za vezu sa platformom korišćen pasivni translatorni zglob u radu su pokazane koncepcije mehanizama sa specifičnim rešenjima pasivnog translatornog zgloba na bazi mehanizma Čebiševa i Poseljeoovog mehanizma.

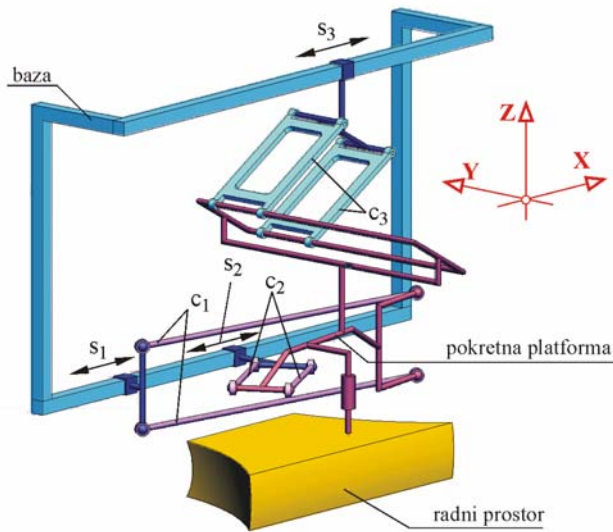
### 2. OPIS MEHANIZMA I PRIMENA

CAD model mehanizma je prikazan na slici 1. Kao što se može videti sa slike 1, mehanizam se sastoji od pokretne platforme, tri zglobna paralelograma  $c_1$ ,  $c_2$  i  $c_3$  i nepokretne osnove na kojoj se nalaze dve paralelne vođice. Dva ukrštena zglobna paralelograma  $c_1$  i  $c_2$ , sa sfernim i/ili univerzalnim odnosno kardanskim zglobovima, su jednim svojim krajevima vezani za pokretnu platformu dok su drugim svojim krajevima vezani za nezavisne klizače  $s_1$  i  $s_2$  koji sa jednom zajedničkom vođicom na bazi čine dva osnažena i upravljana translatorna zgloba. Treći zglobni paralelogram  $c_3$  je jednim svojim krajem, preko pasivnih translatorno-obrtnih zglobova sa 2 stepena slobode, vezan za pokretnu platformu, dok je drugim svojim krajem obrtnim zglobovima vezan za klizač  $s_3$  koji sa vođicom na bazi čini treći osnaženi i upravljani translatorni zglob. Pokretanjem klizača  $s_1$ ,  $s_2$  i  $s_3$  se obezbeđuju 3 stepena slobode pokretne platforme

<sup>1)</sup> dr Miloš Glavonjić, vanr. prof. ([mglavonjic@mas.bg.ac.yu](mailto:mglavonjic@mas.bg.ac.yu)), dr Dragan Milutinović, red. prof. ([dmilutinovic@mas.bg.ac.yu](mailto:dmilutinovic@mas.bg.ac.yu)), mr Saša Živanović, asistent ([szivanovic@mas.bg.ac.yu](mailto:szivanovic@mas.bg.ac.yu)), Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd.

<sup>2)</sup> Rađeno u okviru trogodišnjeg projekta TR6309B Petoosne paralelne mašine, u čijem su finansiranju učestvovali Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Srbije i LOLA Sistem iz Beograda

odnosno alata tako da platforma pri kretanju u prostoru ostaje paralelna samoj sebi, odnosno zadržava konstantnu orijentaciju u prostoru.



Slika 1. CAD model mehanizma

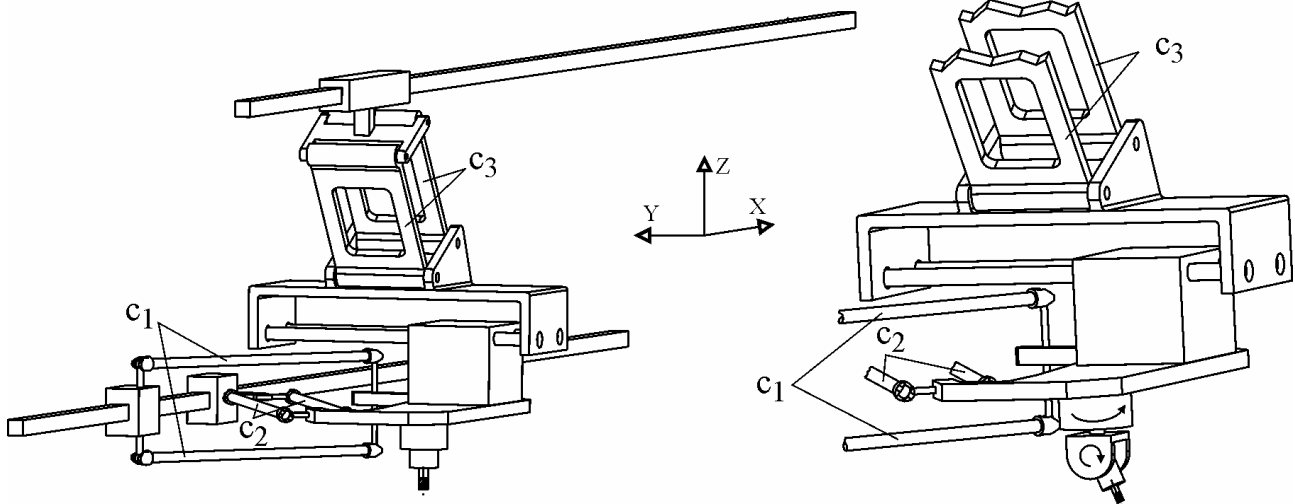
na njegovim granicama  $X_{\min}$  i  $X_{\max}$ .

Uticaj strukture mehanizma na geometrijske karakteristike radnog prostora se ogleda u sledećem:

- Pralelnost vođica obezbeđuje:
  - Proizvoljnu dužinu radnog prostora u X pravcu, i
  - Pravilan oblik radnog prostora na njegovim granicama u Y pravcu, tj.  $Y_{\min} = \text{const}$  i  $Y_{\max} = \text{const}$ .
- Pasivni translatorni stepen slobode, ili zglob u Y pravcu obezbeđuje:
  - Dekuplovanost kretanja platforme u pravcima Z i Y, i
  - Izuzetnu pravilnost radnog prostora sa  $Z_{\min} = \text{const}$  i  $Z_{\max} = \text{const}$  na njegovim granicama za svako  $Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max}$ .
- Ukrštenost zglobnih paralelograma  $c_1$  i  $c_2$  obezbeđuje:
  - Manje dužine vođica za istu dimenziju X radnog prostora, i
  - Manju zakrivljenost radnog prostora

Struktura mehanizma obezbeđuje dobre prenosne odnose sila i brzina platforme sa pogonskim silama i brzinama. Jednostavnost rešavanja inverznog kinematičkog problema, mogućnost analitičkog rešavanja direktnog kinematičkog problema i inverzne Jakobijan matrice omogućavaju efikasne upravljačke algoritme. Takođe značajna prednost mehanizma je i njegova tehnološkičnost u smislu izrade i korišćenja tipiziranih komponenta i sistema razvijenih za serijske i paralelne mašine.

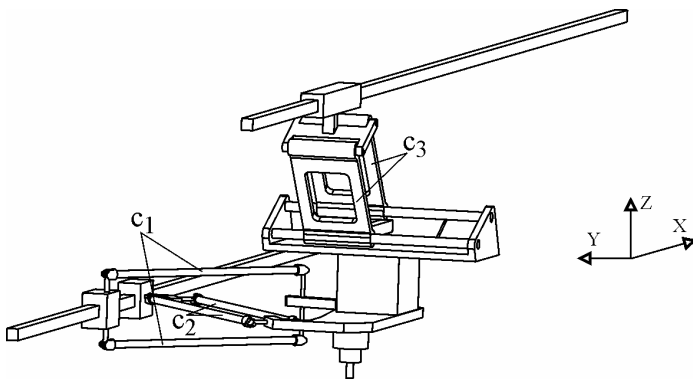
Varijantnost strukture mehanizma omogućava široku oblast primene za vertikalne i horizontalne troosne paralelne glodalice odnosno obradne centre, kao i za hibridne paralelno-serijske petoosne mašine zbog povoljnog oblika i dimenzija pokretne platforme, slika 2.



Slika 2. Varijanta mehanizma pogodna za glodalice i obradne centre

Mehanizam takođe može biti pogodan i za lakše mašine kao što su mašine za obradu drveta i drugih nemetalnih materijala i industrijske robote, slika 3.

Varijanta mehanizma sa slike 2. je iskorišćena za razvoj vertikalne glodalice, slika 4, detaljno opisane u [9,11,12], slika 4.



Slika 3. Varijanta mehanizma pogodna za lakše mašine



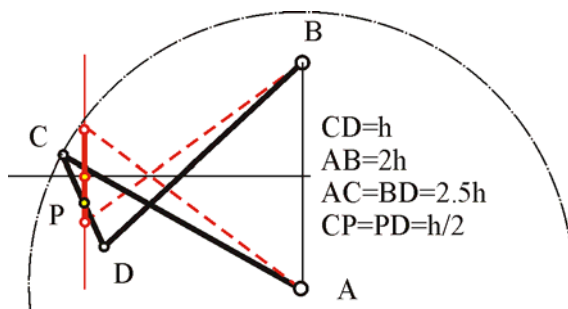
Slika 4. Prototip glodalice

### 3. KONCEPCIJE MEHANIZAMA SA SPECIFIČNIM REŠENJIMA PASIVNOG TRANSLATORNOG ZGLOBA

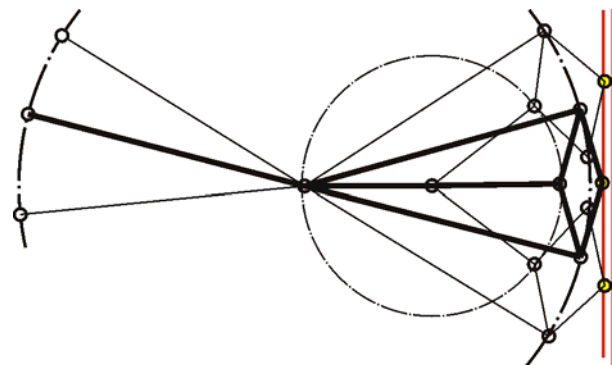
Osnovna specifičnost ovog mehanizma u odnosu na druge, odnosno veza paralelograma  $c_3$  sa platformom pomoću translatorsnog zgloba, daje mogućnost da se i on realizuje pomoću nekog od mehanizama koji generišu pravu liniju. Razlozi za ovo su višestruki: smanjenje pokretnih masa, niža cena, veća krutost i slično. U ovom radu su pokazane mogućnosti korišćenja mehanizma Čebiševa, slika 5. i Poseljeoovog mehanizma, slika 6 [13].

Mehanizam Čebiševa, odnosno tačka P spojke CD, opisuje približno pravolinijski segment. Ova činjenica je iskorišćena da se veza zglobnog paralelograma  $c_3$  sa pokretnom platformom na mehanizmu za jednu horizontalnu mašinu, izvede pomoću dva mehanizma Čebiševa, slika 7.

Poseljeov mehanizam je poznati mehanizam koji tačno generiše pravu liniju. Kada se on ugradi umesto zglobnog paralelograma  $c_3$  i pasivnog translatorsnog zgloba nije potrebno vršiti korigovanje s obzirom da nema odstupanja od prave linije. Za mehanizma Čebiševa to odstupanje iznosi oko 2mm na prototipu horizontalne mašine sa hodom po osi Y od 800mm.

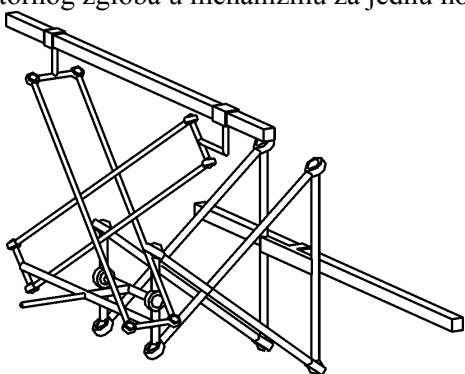


Slika 5. Mehnaizam Čebiševa

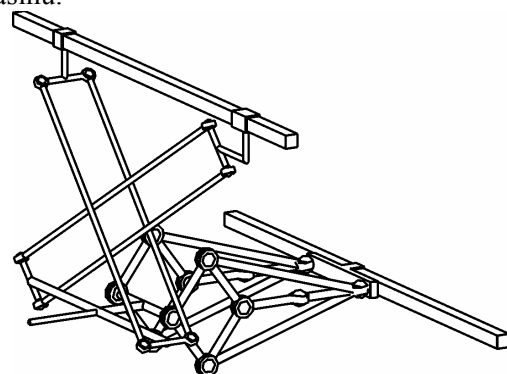


Slika 6. Poseljeov mehanizam

Na slici 8 je pokazan koncept sa dva Poseljeova mehanizma umesto zglobnog paralelograma i pasivnog translatorsnog zgloba u mehanizmu za jednu horizontalnu mašinu.



Slika 7. Koncept sa dva mehanizma Čebiševa umesto zglobnog paralelograma i pasivnog translatorsnog zgloba



Slika 8. Koncept sa dva mehanizma Poseljea umesto zglobnog paralelograma i pasivnog translatorsnog zgloba

#### 4. ZAKLJUČAK

U cilju razvoja troosne glodalice sa dugačkom X osom koja zadovoljava uslove savremene proizvodnje razvijen je novi troosni mehanizam sa paralelnom kinematikom. Polazeći od specifičnosti mehanizma da je za vezu sa platformom korišćen pasivni translatorni zglobovi u radu su pokazane koncepcije mehanizama sa specifičnim rešenjima pasivnog translatornog zgloba na bazi mehanizma Čebiševa i Poseljevoog mehanizma.

Ovakvom nadgradnjom mehanizma ostvarile bi se dodatne prednosti kao što su smanjenje masa, povećanje brzine i snižavanje cene mašine.

#### 5. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj projekat je podržan od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine, Vlade Republike Srbije i od strane LOLA Sistema A.D. Beograd.

#### 6. LITERATURA

- [1] Weck, M., Staimer, D., 2002, Parallel Kinematic Machine Tools – Current State and Future Potentials, Annals of the CIRP, 51/2:671-681.
- [2] Pritschow, G., Wurst, K.H., 1997, Systematic Design of Hexapods and other Parallel Link Systems, Annals of the CIRP, 46/1:291-295.
- [3] Warnecke, H.J., Neugebauer, R., Wieland, F., 1998, Development of Hexapod Based Machine Tool, Annals of the CIRP, 47/1:337-340.
- [4] Hebsacker, M., Treib, T., Zirn, O., Honegger, M., 1999, Hexaglide 6 DOF and Triaglide 3 DOF Parallel Manipulators; Editors C.R. Boer, L. Molinari Tosatti, K.S. Smith; Springer Verlag, September 1999, London, UK, pp. 345-355.
- [5] Cai, G.Q., Hu, M., Guo, C., Li, B., Wang, Q.M., 1999, Development and Study of a New Kind of 3-DOF Tripod, Annals of the CIRP, 48/1:333-336.
- [6] Rehsteiner, F., Neugebauer, R., Spiewak, S., Wieland, F., 1999, Putting Parallel Kinematics Machines (PKM) to Productive Work, Annals of the CIRP, 48/1:345-350.
- [7] Arai, T., Tanikawa, T., Merlet, J-P., Sendai, T., 1996, Development of a New Parallel Manipulator with Fixed Linear Actuator, Proc. of Japan/USA Symposium on Flexible Automation, Vol.1, pp.145-149.
- [8] Merlet, J.-P., 1999, The Importance of Optimal Design for Parallel Structures, Parallel Kinematic Machines; Editors C.R. Boer, L. Molinari Tosatti, K.S. Smith; Springer Verlag, September 1999, London, UK, pp. 345-355.
- [9] Milutinovic, D., Glavonjic, M., Kvrđić, V., Živanovic, S., A New 3-DOF Spatial Parallel Mechanism for Milling Machines with Long X Travel, 2005., Annals of the CIRP, 54/1, pp. 345-348.
- [10] Tsai, L.W., Robot Analysis, The mechanics of Serial and Parallel Manipulators, John Wiley & Sons, NY., 1999.
- [11] Milutinović, D., Glavonjić, M., Kvrđić, V., Živanović, S., Novi paralelni mehanizam za glodalice sa dugačkom X osom, 31. JUPITER konferencija, 27. Simpozijum NU\*ROBOTI\*FTS, Zbornik radova, str. 3.6-3.11.
- [12] Glavonjić, M., Živanović, S., Milutinović, D., Troosna paralelna mašina pn101, 31. JUPITER konferencija, 27. Simpozijum NU\*ROBOTI\*FTS, Zbornik radova, str. 3.1-3.5.
- [13] Shigley, J.E., Uicker J. J., Theory of Machines and Mechanisms, McGraw-Hill, 1980.

Miloš Glavonjić, Dragan Milutinović, Saša Živanović

#### THREE AXIS PARALLEL MECHANISM WITH SPECIFIC SOLUTIONS OF PASSIVE TRANSLATORY JOINT

##### Summary

*It is well known that the shape and volume of the workspace are one of the greatest weaknesses of parallel kinematic machine tools. Hexaglide and Triaglide mechanisms are examples where workspace extension is achieved by elongating one axis as a principal motion axis that is a common feature of all Cartesian machines. With the idea of principal axis of motion in mind, a new three DOF spatial parallel mechanism for horizontal and vertical milling machines has been developed. The paper describes the concepts of the mechanism with specific solutions of passive translatory joints.*

*Key words: Parallel mechanism, straight-line mechanisms, milling machine.*