

Miloš Glavonjić, Saša Živanović, Dragan Milutinović¹⁾

TROOSNA PARALELNA MAŠINA pn101²⁾

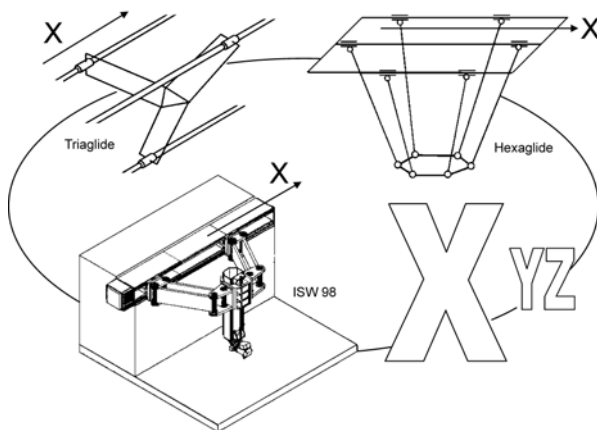
Rezime

U radu je pokazan jedan pristup interpretaciji mašina sa paralelnom kinematikom u fazi njihovog konfigurisanja. Vrlo je značajn, naročito u početnim fazama konfigurisanja, jer omogućava laku modifikaciju i promenu vrednosti parametara modela. Takođe omogućava dobijanje digitalnog prototipa koji predstavlja ulazni model u CA aplikacije, za različite proračune, analize, simulacije i projektovanje. Ovde je pokazan primer evolucije CAD modela mašine pn101 sa paralelnom kinematikom.

Ključne reči: CAD modeli, paralelni mehanizam, mašina sa paralelnom kinematikom.

1. UVOD

Mašine postoje da bi se koristile za neku transformaciju kretanja radi obavljanja planiranog posla. Radi njih zato postoje mehanizmi i nekakvo upravljanje i programiranje. Deo geometrije i kinematike mašine, koji potiče od mehanizma, ne može biti korigovan. Ako je upravljanje programabilno, onda se njime mogu podešavati neki elementi geometrije i kinematike mašine. Kada mehanizam mašine ima paralelnu kinematiku, tada su oblik i veličina radnog prostora slabost većine takvih mašina. Ipak, mehanizmi tipa Triaglide i Hexaglide primeri su mašina gde je radni prostor izdužen u pravcu jedne od pogonskih, ovde ose X (slika 1.). Za takvo izdvajanje jedne dominantne ose razvijen je jedan paralelni mehanizam za horizontalne i vertikalne glodalice pod nazivom pn101[1-5]. U poređenju sa sličnim napravljenim mehanizmima ovaj mehanizam ima bitno pravilniji oblik radnog prostora [3,4] (nalik na modifikovanu prizmu), kako je to uobičajeno za serijske mašine. Njemu onda treba dodati upravljanje da bi postao mašina. Paralelni mehanizam pn101 nastao je kao rezultat projekta Troosne paralelne mašine, koji je rađen u saradnji sa LOLA Sistemom. Oblik radnog prostora posledica je koncepcije mehanizma, a njegove mere mogu biti naknadno podešavane pomoću parametara mehanizma, a da se ne otvara posebno problem generalne sinteze.



Slika 1. Mašine sa paralelnom kinematikom sa izduženom osom X

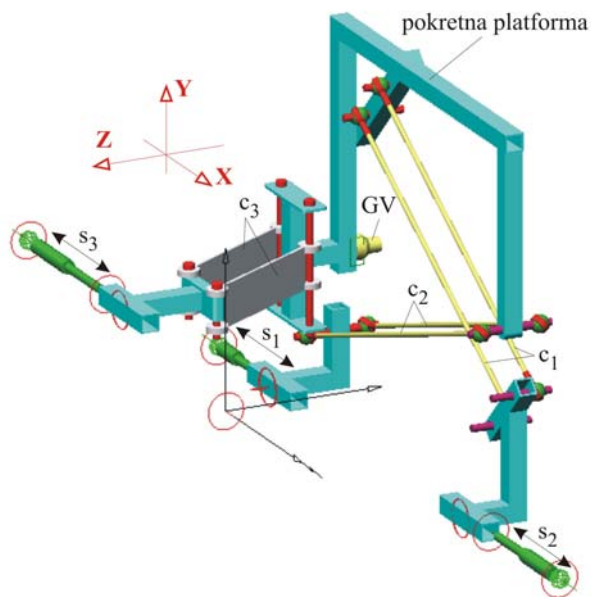
Fizički model inicijalne verzije mehanizma pokazan je na slici 2. To je kombinovani prikaz fizičkog modela i analitički dobijenog očekivanog oblika njegovog radnog prostora. Paralelni mehanizmi za mašine alatke nisu još tipizirani. Zbog toga je konfigurisanje upravljanja za svaki od njih poseban projekat. Mali budžet za projekat u domaćim uslovima podrazumeva da se takav projekat otvara sa sopstvenim resursima. Za te potrebe bilo je planirano prilagođavanje postojećeg sistema za upravljanje šestoosnim robotom sa serijskom kinematikom. Za programiranje su odabrani resursi kojima se programiraju mašine alatke sa serijskom kinematikom. Postprocesiranje se vrši kao za jednu posebnu troosnu glodalicu.

¹⁾ dr Miloš Glavonjić, vanredni profesor (mglavonjic@mas.bg.ac.yu), mr Saša Živanović, asistent (szivanovic@mas.bg.ac.yu), dr Dragan Milutinović, redovni profesor (dmilutinovic@mas.bg.ac.yu), Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd.

²⁾ Rađeno u okviru trogodišnjeg projekta MIS.3.02.0101.B Troosne paralelne mašine, u čijem su finansiranju učestvovali Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Srbije i LOLA Sistem iz Beograda i pripreme za realizaciju novog trogodišnjeg projekta 006309 Petoosne paralelne mašine.

2. POLAZNI MODEL PARALELNOG MEHANIZMA pn101

Polazna verzija paralelnog mehanizma pn101 imala je oznaku pn101_1. Pokazana je na slici 2. Prve provere geometrije i kinematike ovog mehanizma vršene su na njegovom fizičkom modelu. Na osnovu toga je napravljen njegov CAD model. Ovaj paralelni mehanizam ima veliki hod po osi X, s obzirom da se pokretni deo mehanizma može istovremeno pomerati po odgovarajućim paralelnim vodičama. Od njihove dužine zavisi i dužina radnog prostora. Mehanizam se sastoji od pokretne platforme, tri zglobna paralelograma c1, c2 i c3 i nepokretne osnove, na kojoj se nalaze dve paralelne vodice. Dva ukrštena zglobna paralelograma c1 i c2, sa sfernim i/ili univerzalnim, odnosno kardanskim zglobovima, jednim su svojim krajevima vezani za pokretnu platformu dok su drugim svojim krajevima vezani za nezavisne klizalice s1 i s2, koji, sa jednom zajedničkom vodičom na bazi, čine dva osnažena i upravljana translatorna zgloba. Treći zglobni paralelogram (c3) je jednim svojim krajem, preko pasivnih translatorno-obrtnih zglobova sa dva stepena slobode, vezan za pokretnu platformu. Svojim drugim krajem je obrtnim zglobovima vezan za klizač s3, koji sa vodičom na bazi čini treći osnaženi i upravljani translatorni zglob. Pokretanjem klizalca s1, s2 i s3 obezbeđuju se tri stepena slobode pokretne platforme, odnosno alata tako da platforma pri kretanju u prostoru ostaje paralelna sama sebi, odnosno zadržava konstantnu orijentaciju alata u radnom prostoru mašine[4].



Slika 2. Osnovni model paralelnog mehanizma pn101, istovremeno i verzija pn101_1

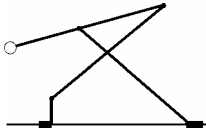
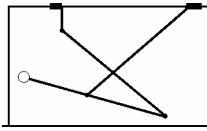
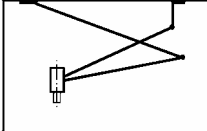
3. DEO ISTORIJE KONFIGURISANJA MAŠINE SA PARALELNIM MEHANIZMOM pn101

Plan rada za konfigurisanje ovakve mašine sa paralelnom kinematikom imao je sledeće zadatke (Z):

- Z1 Formirati konfiguraciju paralelnog mehanizma pn101 sa horizontalnim položajem glavnog vretena.
- Z2 Formirati i konfiguraciju paralelnog mehanizma pn101 sa vertikalnim položajem glavnog vretena.
- Z3 Razmotriti mogućnost proširivanja troosne mašine na petoosnu konfiguraciju.
- Z4 Dati prioritet crti mašine alatke u ovoj mašini, kako po kinematici, tako i po metodu programiranja.
- Z5 Naći i primeniti dobru razmeru softvera i hardvera u mašini i poslovanju oko nje.
- Z6 Osnovati i koristiti elemente škole za paralelne i slične mašine u toku izrade prototipa troosne paralelne mašine.
- Z7 Sprovesti izgledne optimizacije strukture mašine po odabranim i/ili uobičajenim kriterijumima.

Planirana polazna znanja, koja bi trebalo sticati u školi za paralelne mašine, bila su: rešavanje problema inverzne i direktne geometrije (IGP i DGP); identifikacija krutosti mehanizma bez pogona; izračunavanje opterećenja spojki; svestrano korišćenje Jakobijana ovog mehanizma; izbor metoda generisanja trajektorije alata; podešavanje profila brzine, ubrzanja i udara na trajektoriji alata; izbor i podešavanje procedure i resursa za programiranje mašine; podešavanje parametara upravljačkog sistema; identifikacija osetljivosti mehanizma i mašine; razvoj i korišćenje metoda kalibracije i/ili kompenzacije u upravljanju mašinom; razvoj i korišćenje metoda ispitivanja paralelne mašine. Nekoliko varijanti konfiguracija paralelnog mehanizma pn101 dato je u tablici T1. U ovoj morfološkoj matrici pokazane su samo po četiri realizacije za svaku funkciju. Tako se dobija $4^8=65536$ formalno mogućih konfiguracija mašine sa ovakvim mehanizmom. Na slici 3 su prikazani neki modeli, razvijani tokom konfigurisanja prototipa troosne paralelne mašine alatke. Polazna verzija paralelnog mehanizma pokazana je na slikama 2 i 3a). Na njenom fizičkom modelu vršena su prva ispitivanja i učinjeni prvi koraci u projektovanju eksperimentisanjem. Na slici 3b) pokazani su modeli jedne razrade polazne verzije mašine sa vertikalnim vretenom. Osnovna razlika između ovih modela je u koncepciji pasivnih zglobova. Paralelni mehanizam pn101_3 ima horizontalan položaj vodića pasivnih translatorno-obrtnih zglobova i zglobova na klizaču pogonske ose p3; pn101_3a ima zakošene vodice na pasivnim translatorno-obrtnim zglobovima i na klizaču pogonske ose p3; pn101_3b ima zakošene vodice i udvojene obrtne zglobove bliže platformi. To su bile verzije koje je trebalo prevesti u radnu za dalji rad.

Tablica T1: Generator scenarija za konfigurisanje mašina sa paralelnom kinematikom pn101-*

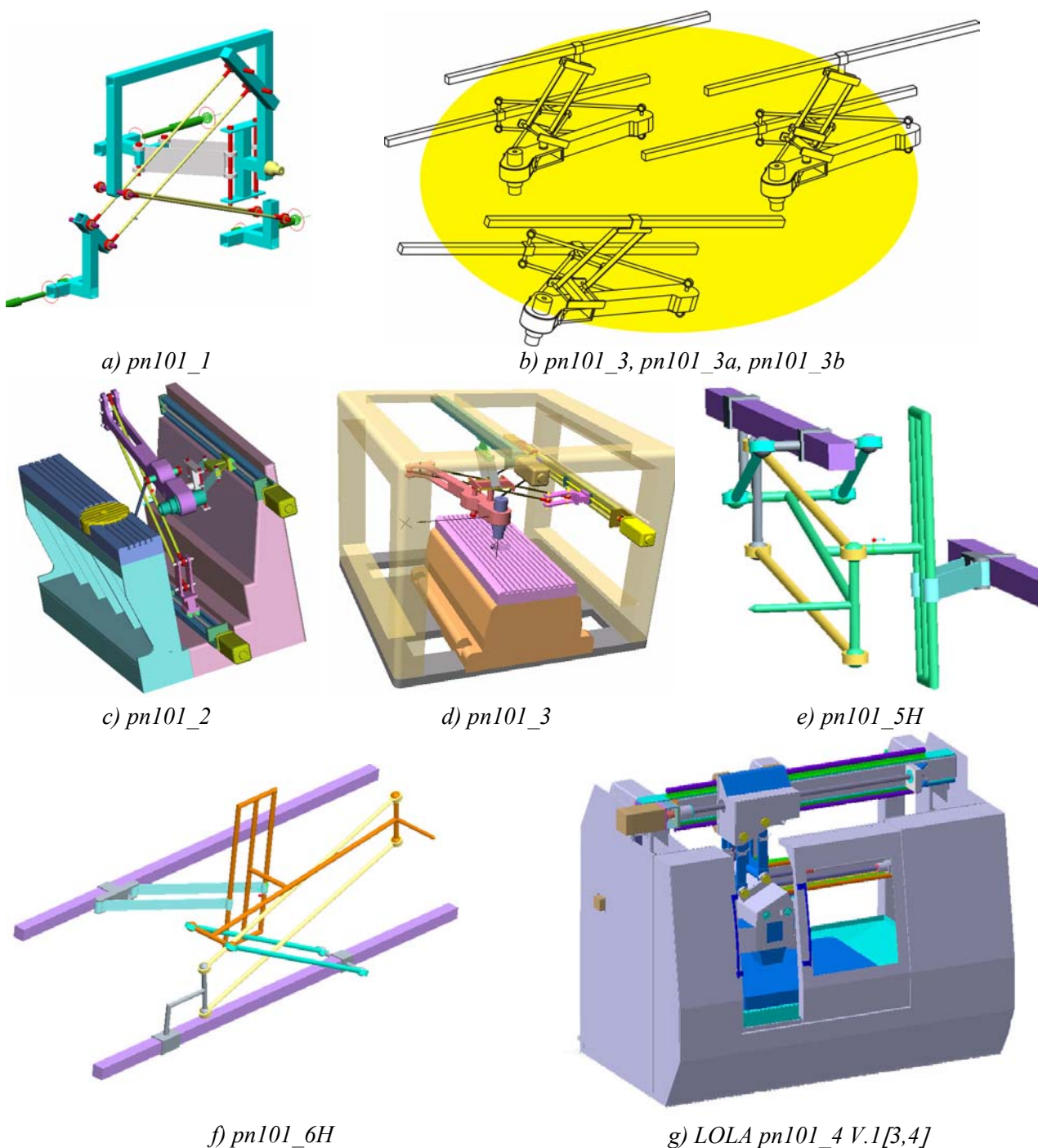
RB	Funkcija	R1	R2	R3	R4	...
1	Osnovni položaj mehanizma				R1 v R2 v R3 + 2D	...
2	Materijali	Metal	Metal+PB	Metal+PB+K	Metal+K	...
3	Pogonske ose	BP	ZV / N	ZK / K	LM	...
4	UJ	Bez UJ	PLC	RC	OA	...
5	Motiv	Samo proba SE	Samo eksponat PKM	Samo eksperiment za publikaciju	Mašina	...
6	Obim angažovanja	Samo mašina	Mašina + Interno programiranje + Simulacija	Mašina + Sprega sa CAD/CAM (+ PP)	Mašina + Sprega sa CAD/CAM + Simulacija	...
7	Razvoj softvera	Bez ponude SW	PP na bazi CAM za SK	CAD/CAM okruženje za mašinu	Kooperacija za SW	...
8	Patentna aktivnost	Samo direktna	Samo indirektna	Direktna i indirektna	Bez	...
...

Legenda:
 RB: Redni broj; R1, ...: Realizacije; PB: Polimer beton; K: Kompoziti (armirana matrica i/ili impregnirana potka); BP: Bregaste ploče; ZV/N: Zavojno vreteno sa recirkulacionom navrtkom; ZK/K: Zupčasti kaiš sa kaišnicima; LM: Translatorni motori; UJ: Upravljačka jedinica; PLC: (Servo) PLC; RC: Robot controller; OA: Open Architecture Controller; SE: Simultano inženjerstvo; PKM: Mašina sa paralelnom kinematikom; PP: postprocesor; SW: Softver; SK: Serijska kinematika

To je model sa slike 3c). On je detaljno analiziran. Bio je prvobitno planiran kao horizontalna verzija mašine. Ova konfiguracija je zamenjena novom varijantom mašine sa vertikalnim položajem glavnog vretena, slika 3d), što je bila polazna verzija za početak konstruisanja. Model sa slike 3e) je nova varijanta horizontalne mašine sa prve dve pogonske ose iznad treće, a model sa slike 3f) je verzija pn101_2 sa alatom na većoj visini. Odabrana verzija paralelnog mehanizma je pn101_4. On je realizovan kao troosna paralelna mašina pn101_4 V.1, slika 3g). U sintezi ovih modela troosne paralelne mašine postojala je mogućnost korišćenja istih komponenti za različite varijante mehanizma. Parametrizovane dimenzije modela omogućile su laku izmenljivost mera i prilagođavanje komponentata za montažu za različite parametre istog mehanizma. U okviru jedne varijante mehanizma varirani su i njegovi parametri uporedo sa rasporedom pogonskih osa, spojki i realizacijom pasivnog translatornog zgloba, da bi se dobio što povoljniji oblik radnog prostora. Primer rezultata jednog takvog konfigurisanja pokazan je na slici 4. (RB je redni broj pozicije, p1,2,3 su pogonske ose, c1,2,3 su spojke, sve u ravni paralelnoj ravni (X,Y)). Oblik radnog prostora menja se neznatno po celoj njegovoj visini. Sklapanje mehanizama i menjanje položaja klizača na pogonskim osama vršeno je na bazi rešenja inverznog geometrijskog problema (IGP). Razmena podataka između CAD/CAM/CAE radnih mesta učesnika u projektu vršena je pomoću formata IGES i STEP, omogućavajući time i uspešnu komunikaciju projektnih timova koji su radili na konfigurisanju ove mašine u CAD/CAM/CAE okruženju.

4. ZAKLJUČAK

Tokom konfigurisanja nove mašine sa paralelnom kinematikom primena CAD modeliranja značajno je doprinela skraćivanju perioda inkubacije ovog prototipa, čime je postavljeni zadatak ispunjen prema termin planu. Interpretacije paralelnog mehanizma, koje su ovde predstavljene, nastale su tokom evolucije ovog mehanizma od ideje do industrijskog prototipa. To su neka od rešenja dobijena na osnovu scenarija iz tablice T1. Takođe, postoje još neka od rešenja, koja se odnose na varijantu horizontalne mašine sa paralelnom kinematikom, koja su još uvek na nivou digitanog prototipa konfiguracije. Ovde se vrše analize parametara mehanizma, ali i načina izvođenja pravolinijskog kretanja, koje ostvaruje pasivni translatorni zglob, uz mogućnost upotrebe nekih ravanskih mehanizama koji generišu pravu liniju, ili njoj blisku (Čebiševljevi ili Poseljevi mehanizam). Prva iskustva u konfigurisanju paralelnih mašina sticana su na dvoosnim i troosnim funkcionalnim simulatorima. Po planu istraživanja bilo je potrebno osnovati i pokazni centar za paralelne mašine i oko njega okupljati sve resurse i sve inicijative. To je stalna aktivnost, a trenutno stanje rezultata daje se i na jednoj aktivnoj WEB adresi [6].



a) pn101_1

b) pn101_3, pn101_3a, pn101_3b

c) pn101_2

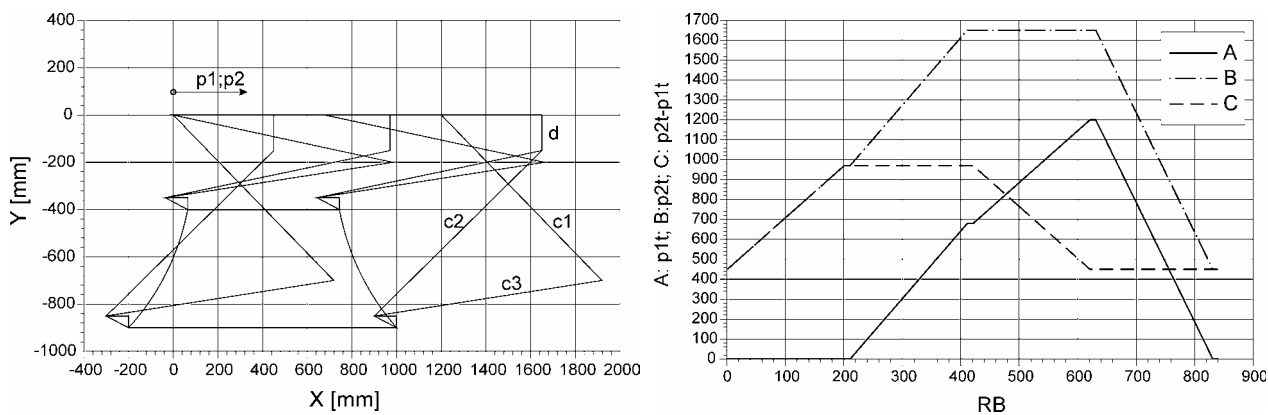
d) pn101_3

e) pn101_5H

f) pn101_6H

g) LOLA pn101_4 V.1 [3,4]

Slika 3. CAD interpretacije geneze prototipa jedne troosne paralelne mašine pn101

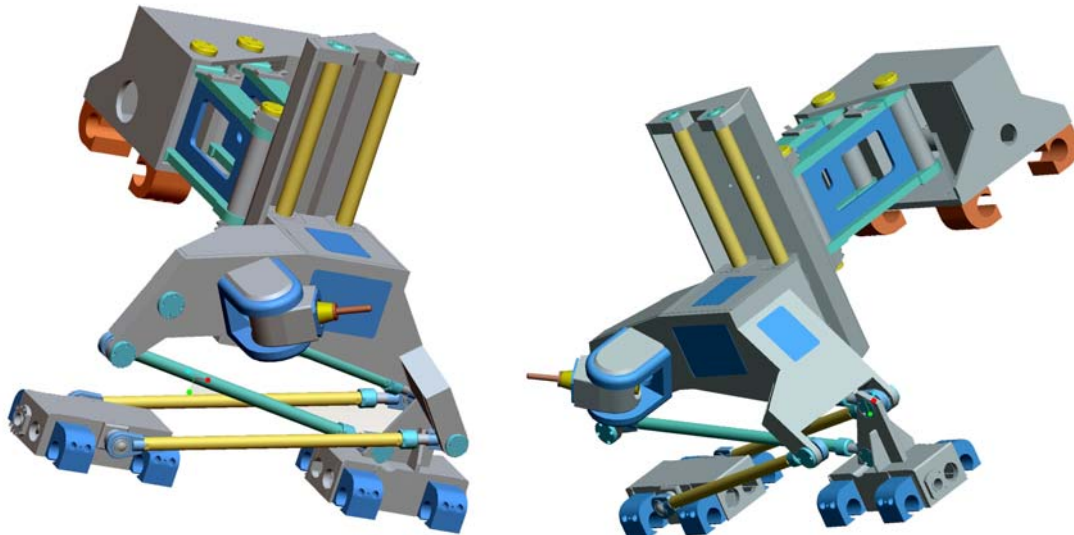


a) Oblik i mere radnog prostora

b) Kretanje pogonskih osa po konturi radnog prostora

Slika 4. Presek radnog prostora mašine pn101_4 po sredini njegove visine

Uporedo je planiran nastavak istraživanja do razvoja petoosnih paralelnih mašina, za početak hibridnih: troosnih paralelnih sa dva serijska stepena slobode. Primer ovakve hibridne konfiguracije pokazan je na slici 5. Razmotreni su i aktuelni trendovi u pravljenju mašina alatki i robota, specijalno paralelnih mašina i to: rekonfigurabilnost, kalibracija, programiranje, ispitivanje, korišćenje netipičnih materijala, razvoj specijalnih komponenta itd. Inicijativa za razvoj ovakvih mašina opravdava se očekivanim tehničkim napretkom: razvojem novog prototipa angažovanjem domaćih resursa, izradom mašine i pripremom za osnivanje novog proizvodnog programa, izradom disertacije, monografijom, pokaznim centrom i/ili nečim drugim.



Slika 5. CAD model petoosne mašine (troosna paralelna pn101_4 i dvoosna serijska glava)

5. LITERATURA

- [1] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., IDEJNO REŠENJE ODABRANE KONCEPCIJE TROOSNE PARALELNE MAŠINE, Projekat: MIS.3.02.0101.B Troosne paralelne mašine, Elaborat 01-03-2003, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [2] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., STUDIJA IZVODLJIVOSTI TROOSNE PARALELNE MAŠINE i CAD/CAM PROGRAMIRANJE P3-PARALELNE MAŠINE ALATKE, Projekat: MIS.3.02.0101.B Troosne paralelne mašine, Elaborat 02-03-2003, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [3] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Kvirgić, V., Višnjčić, Z., O jednoj troosnoj paralelnoj mašini, 30. JUPITER konferencija, 26. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.49-3.54, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [4] D. Milutinovic, M. Glavonjic, V. Kvirgic, S. Zivanovic, A NEW 3-DOF SPATIAL PARALLEL MECHANISM FOR MILLING MACHINES WITH LONG X TRAVEL, 2005., Annals of the CIRP, Rad primljen za objavljivanje 2005. godine.
- [5] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Elaborat: MIS.3.02.0101.B Troosne paralelne mašine, Završni izveštaj, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [6] N. N., POKAZNI CENTAR ZA MAŠINE SA PARALELONOM KINEMATIKOM, <http://cent.mas.bg.ac.yu>, odrednice: projekti/troosne paralelne masine.

Miloš Glavonjić, Saša Živanović, Dragan Milutinović

CAD INTERPRETATIONS OF THREE AXES PARALLEL KINEMATICS MACHINE pn101

Summary

This paper presents one approach to parallel kinematics machines interpretation in the phase of their configuration. This is very important especially in the start phases of configuration because it enables easy modification and change of model parameters. Also, it enables generation of digital prototype which represents a start model for other CA applications for different computations, analyses and simulations. This paper gives interpretations of evolution of pn101 – parallel kinematics machine tool CAD model .

Key words: CAD models, parallel mechanism, parallel kinematics machine