

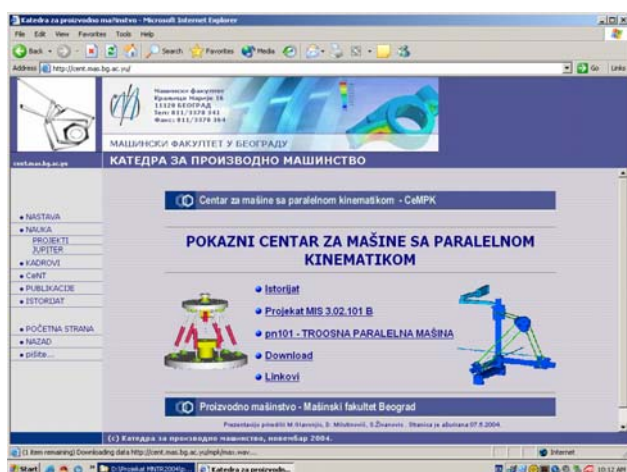
POKAZNI CENTAR ZA MAŠINE SA PARALELNO KINEMATIKOM

M. Glavonjić,
D. Milutinović,
S. Živanović,
Mašinski fakultet Beograd

Uspostavljen je na Mašinskom fakultetu u Beogradu, u Centru za nove tehnologije. Ima i svoju Internet adresu <http://cent.mas.bg.ac.yu/mpk/index.htm>. Označen je kao CeMPK. U njemu je bilo aktivnosti prilikom izrade diplomskih radova, jednog magistraskog rada i jedne disertacije. U toku su i nova istraživanja koja obogaćuju sadržaj ovog Centra. Najviše aktivnosti je bilo prilikom realizacije projekta Troosne paralelne mašine. Po tome se može smatrati da je CeMPK razvojna baza za paralelne mašine. Iz njega je potekla i koncepcija mehanizma pn101, u njemu se priprema i program petoosnih paralelnih mašina za naredni trogodišnji period istraživanja.

UVOD

Jedan ovakav Pokazni centar za mašine sa paralelnom kinematikom (CeMPK), je zaokružena celina u kojoj su predstavljeni rezultati desetogodišnjih istraživanja iz ove oblasti. CeMPK ima veze sa spoljašnjim okruženjem putem Interneta, čime smo naš centar ostavili otvorenim za saradnju, zapažanja i sugestije sa spoljašnjim zainteresovanim okruženjem. Ovaj centar je prvobitno planiran kao laboratorijski i takav je ostao. Uspostavljen je na Mašinskom fakultetu, u Centru za nove tehnologije i ima i svoju adresu. Ima i svoju web prezentaciju na adresi <http://cent.mas.bg.ac.yu/mpk/index.htm>, slika 1.



Slika 1. CeMPK na internetu

SADRŽAJ EDUKACIONOG KOMPLETA

Sadržaji pokaznog centra su ostvarivani kroz aktivnosti prilikom izrade diplomskih radova, jednog magistraskog rada i dve doktorske disertacije, od kojih je jedna završena, a druga je u toku izrade. Sadržaji ovog centra se

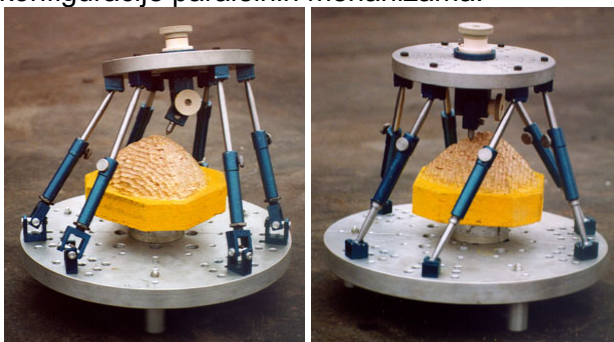
planiraju koristiti za edukaciju i naučno istraživačke delatnosti. U tom pogledu sadržaji centra se već koriste u nastavi iz predmeta mašine alatke i industrijski roboti, na Katedri za proizvodno mašinstvo. Nastava se ostvaruje kroz osmišljeni edukacioni komplet koji obuhvata sledeće celine:

- Tehnološke module sa paralelnim mehanizmom (2D i 3D TeMoPaM);
- bazne mašine tradicionalne koncepcije HBG 80 i HMC 500;
- P3 - funkcionalni simulator troosne glodalice sa paralelnom kinematikom za baznu mašinu HBG80;
- pn 101_4 fizički model troosne paralelne mašine u razmeri 1:5;
- prototip LOLA pn 101_4 v1. troosne mašine sa paralelnom kinematikom (nalazi se u LOLA Sistemu);
- PaKiCUT – funkcionalni simulator troosne glodalice sa paralelnom kinematikom za baznu mašinu HMC500;
- CAD/CAM/CAE radno mesto, (CA - tehnologije za automatizovano inženjersko projektovanje primenom računara, npr. Pro/Engineer, CATIA i dr.), uz poštovanje principa simultanog inženjerstva;
- Uputstva za rad sa CA – tehologijama;
- Prezentacije, internet sadržaji.
- Laboratorijske vežbe sa praktičnim radom, uključujući realizaciju programa rada od papira do konture dobijene obradom ili crtanjem primenom tehnološkog modula sa paralelnim mehanizmom;
- Ispitivanje radne i geometrijske tačnosti mašina sa paralelnom kinematikom;
- Procedure ispitivanja i obrasci izveštaja za obavljanje ispitivanja,

Praksa je da se informacije o postojećoj opremi, procedurama upotrebe i planovima ispitivanja, budućim korisnicima dostave izvesno vreme pre početka eksperimenta, radi upoznavanja sa problematikom i efikasnijeg iskorišćenja postojeće opreme.

FIZIČKI MODELI MAŠINA SA PARALELNO KINEMATIKOM

Prve provere valjanosti računa inverznog kinematičkog problema, kao i određivanje oblika i dimenzija radnog prostora mašina sa paralelnom kinematikom ostvareno je na fizičkim modelima ovakvih mašina. Prvi ovakav model je prikazan na slici. To je model mašine alatke i robota na bazi Stjuartovog mehanizma sa sledećim karakteristikama: 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. Moduli ovog modela su korišćeni i za drugačije konfiguracije paralelnih mehanizama.



Slika 2. Prvi fizički model mašine alatke i robota sa paralelnom kinematikom

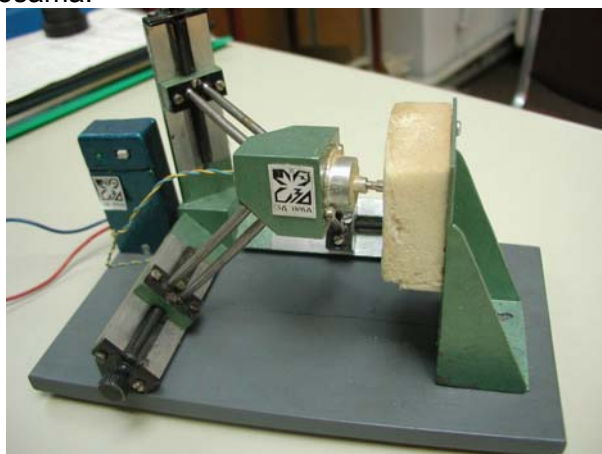
Prilikom početnih istraživanja na temu troosnih paralelnih mašina, napravljeni su i prvi fizički modeli ovakvih mašina. Uzor za edukacionu troosnu mašinu sa paralelnom kinematikom je Tojoda konfiguracija, sa translatorno pokretnim zglobovima i nogama konstantnih dužina. Pošto je planirano da ova mašina bude tehnološki modul koji će koristiti resurse bazne mašine HBG80, to su i njene translatorne ose morale biti paralelne sa osama bazne mašine. Provera

održivosti ovakvog mehanizma je ostvarena na drvenom modelu, koji je pokazan na slici 3. Pošto je proba bila uspešna, pristupilo se daljim istraživanjima u ovom pravcu, što je na kraju rezultiralo i uspešnom gradnjom funkcionalnog simulatora P3.



Slika 3. Fizički model 3D MPK od drveta

Pored drvenog modela, napravljen je i model mini mašine sa pogonom za glavno kretanje. Zbog postojećih ograničenja u resursima, model je realizovan sa ručnim pomeranjem translatornih osa, pomoću zavojnih vretena koje pomeraju klizače po vodičama tipa lastinog repa, dok je za pogon glavnog vretena iskorišćen mali elektromotor, koji je ugrađen u šupljinu pokretne platforme. Ideja je bila da se u glavno vreteno postavi odgovarajući alat, dok bi se pomoćno kretanje zadavalo ručno, čime bi bilo moguće ostvariti obradu pene (stiropora). Predviđeno je da se na taj način omogući približna obrada udubljenja koje odgovara obliku i veličini radnog prostora, pošto model ne poseduje pogone i upravljanje po translatornim osama.



Slika 4. Fizički model 3D MPK

TEHNOLOŠKI MODULI SA PARALELNO KINEMATIKOM

U pokaznom centru se nalazi zaokružena celina na temu funkcionalnih simulatora mašina sa paralelnom kinematikom kao tehnoloških modula koji se postavljaju na bazne mašine serijske kinematike. Ovakvi

tehnološki moduli su pogodni za laboratorijska istraživanja i edukaciju. Izrada ovakvih modula je mnogo jeftinija i pristupačnija nego kupovina novih mašina sa paralelnom kinematikom. Do sada su realizovana dva tehnološka modula, a treći je u fazi konfigurisanja. Ovi moduli obuhvataju jedan dvoosni (2D MPK) i dva troosna tehnološka modula (P3 i PaKiCUT).

Dvoosni TeMoPaM (2D MPK)

Prva iskustva u definisanju metoda za ispitivanje i verifikaciju geometrije i programiranje mašina sa paralelnom kinematikom ostvarena su na primeru dvoosnog 2D tehnološkog modula sa paralelnim mehanizmom (2D TeMoPaM) koji je detaljno opisan u [1,2]. Ovaj paralelni mehanizam se kao modul postavlja na baznu mašinu HBG 80. Paralelni mehanizam.

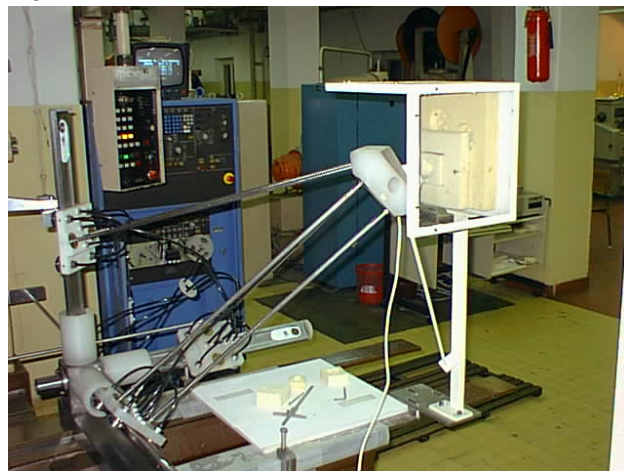


Slika 5. Instalirani dvoosni TeMoPaM

P3 funkcionalni simulator (3D MPK)

Troosna mašina sa paralelnom kinematikom (3D MPK) je nastavak ideje realizacije mašine kao tehnološkog modula sa paralelnim mehanizmom, po uzoru na uopštenu koncepciju paralelnog mehanizma sa translatorno pokretnim zglobovima i spojkama istih konstantnih dužina. Ovakav modul se ugrađuje na postojeće ose obradnog centra HBG80 slično kao prethodno opisani mehanizam. Na taj način je napravljen

funkcionalni simulator troosne glodalice sa paralelnom kinematikom, [3,4], pod nazivom P3.

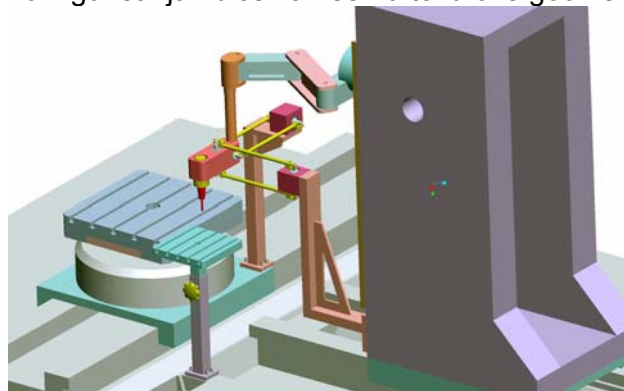


Slika 6. P3 funkcionalni simulator na HBG 80

Osnovna koncepcija podrazumeva paralelnost osa tradicionalne mašine sa osama po kojima se kreću klizači sa zglobovima. Platforma i klizač su sa po dve noge konstantnih dužina sfernim zglobovima međusobno povezane. Na taj način bi se translatorsnim pomeranjem klizača menjala pozicija platforme po tri ose, slično kao što se to ostvaruje i na tradicionalnim troosnim mašinama, ne menjajući orijentaciju alata, koji ostaje stalno paralelan horizontalnoj Z osi.

Uređaj sa paralelnom kinematikom PaKiCUT

Priča o funkcionalnim simulatorima se zaokružuje projektom uređaja sa paralelnom kinematikom pogodnim za montažu na obradne centre tipa HMC500, ali i na svim drugim sličnim mašinama tradicionalne koncepcije, obradnim centrima i glodalicama sa tri ortogonalne ose. Ovaj uređaj je u fazi konfigurisanja i biće završen u toku ove godine.



Slika 7. PaKiCUT uređaj sa paralelnom kinematikom na HMC 500

TROOSNE PARALELNE MAŠINE

Najviše aktivnosti je bilo prilikom realizacije ovog projekta. Po tome se može smatrati da je CeMPK razvojna baza za paralelne mašine. Iz njega je potekla i koncepcija mehanizma pn101, u njemu se priprema i program petosnih paralelnih mašina za naredni trogodišnji period istraživanja. Neki od ovih rezultata detaljno su prezentovani u [5-10].

Inicijalni model paralelnog mehanizma

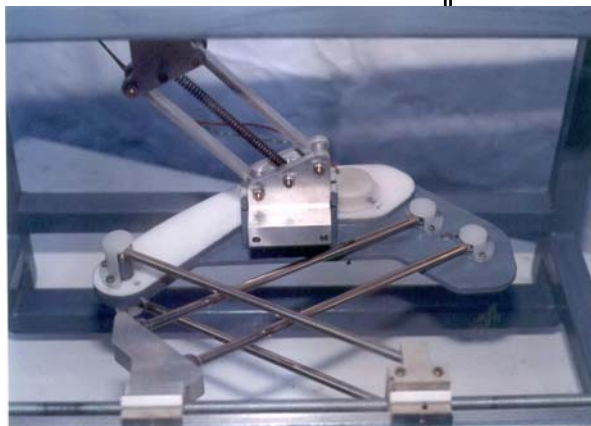
Polazna verzija paralelnog mehanizma pn101 imala je oznaku pn101_1. Pokazana je na slici 8. Prve provere geometrije i kinematike ovog mehanizma vršene su na njegovom fizičkom modelu. Istraživanja su vršena na proračunskim modelima pn101-1 do pn101-4. Da bi konačni parametri za mašinu bili usvojeni za verziju modela pod rednim brojem 4. Početna postavka mašine za prva dva modela, je bila sa horizontalnim glavnim vretenom, da bi se u daljim istraživanjima usvojio koncept sa vertikalnim glavnim vretenom.



Slika 8. Prospekt mašine LOLA pn101_4 V1.

Model mašine sa paralelnim mehanizmom

Prilikom realizacije ovog modela, ideja je bila da se proverí usvojeni proračunski model mehanizma pn101, kako po konstrukciji tako i po razmeri, da bi se zadržala veza sa dobijenim parametrima usvojenog konceptijskog rešenja. Model je napravljen u razmeri 1:5 u odnosu na prave vrednosti parametara pn101_4. Kretanje po tri translatorne ose, je ostvareno po vođicama, kretanjem klizača sa točkicama (kotrljajna verzija) ili klizanjem klizača (klizna verzija). Pogon na ove translatorne ose se dovodi pomoću zavojnih vretena. Pogon može biti ručni, ili pomoću 3 motora. Motor glavnog vretena je ugrađen u šupljinu glavnog vretena, koje je vezano za pokretanu platformu. Pored istraživanja ovaj model je planiran i za edukaciju, slika 9.



Slika 9. Fizički model mehanizma pn101

LOLA pn101_4 V1.

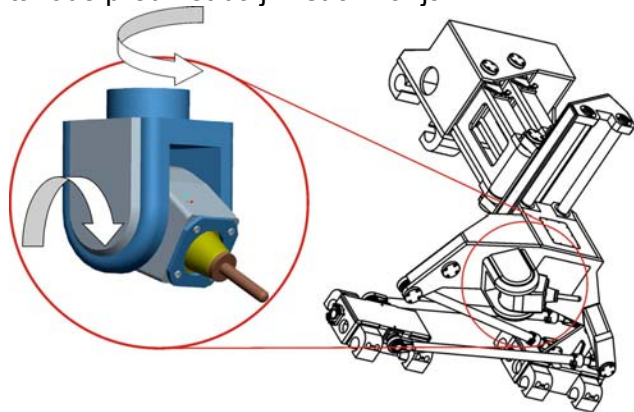
Na osnovu usvojenog koncepta i projektnih parametara razvijen je prvi industrijski prototip vertikalne glodalice sa paralelnom kinematikom u LOLA Sistem AD Beograd, slika 10. Aktuatore čine servomotori, zavojna vretena i linearne vođice. Ovo je još uvek široko primenjen koncept zbog niza prednosti u pogledu cene, pouzdanosti i održavanja, ali je planirano i korišćenje linearnih motora u cilju poboljšanja brzine i ubrzanja. Upravljački sistem je baziran na adaptiranom upravljačkom sistemu robota. Programiranje je konvencionalno primenom razvijenog postprocesora za konverziju CL datoteke u G kod. Posle planiranog ispitivanja gemoetrijske tačnosti projektovan je i urađen nestandardni test radni predmet, za ispitivanje radne tačnosti u cilju određivanja strategije za dalja ispitivanja i kalibraciju prototipa.



Slika 10. Industrijski prototip LOLA pn101_4 V1.

U cilju razvoja troosne glodalice sa dugačkom X osom koja zadovoljava uslove savremene proizvodnje razvijen je novi troosni mehanizam

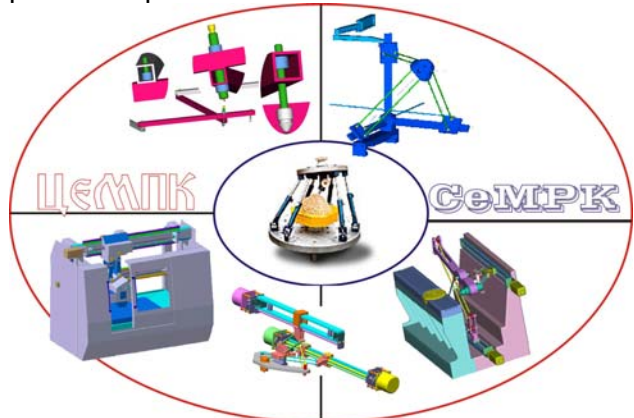
sa paralelnom kinematikom. U radu je opisana struktura mehanizma, modeliranje i simulacije na primeru razvijenog prototipa vertikalne glodalice. Predloženi mehanizam opisan u ovom radu predstavlja obećavajući alternativni koncept u poređenju sa nekim postojećim troosnim paralelnim mehanizmima. Razvijeni prototip vertikalne glodalice ukazuje da bi ovakva komercijalna mašina mogla biti superiorna u odnosu na slične postojeće mašine u pogledu cene, dinamike i tačnosti što opravdava dalja istraživanja u ovom pravcu. Kao što je pokazano u radu, varijantnost strukture mehanizma omogućava široku oblast primene za horizontalne troosne mašine kao i za hibridne paralelno-serijske, slika 11, što je takođe predmet daljih istraživanja.



Slika 11. Hibridna petoosna paralelno-serijska mašina

ZAKLJUČAK

Pokazni centar za mašine sa paralelnom kinematikom nastao u toku realizacije projekta Troosne paralelne mašine. Može se smatrati razvojnom bazom za paralelne mašine. U njemu su uključeni svi rezultati dosadašnjih, i posejane klice budućih istraživanja. A ta buduća istraživanja se odnose na program petoosnih paralelnih mašina.



Slika 12. Pokazni centar CeMPK

LITERATURA

- [1] Živanović S., Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom, magistarska teza, Mašinski fakultet Beograd, 2000.
- [2] Živanović S., Parallel Kinematic Machines, International Journal of Production Engineering and Computers, Volume 3, Number 3, pp.49-54, 2000.
- [3] Čović N., Razvoj konceptijskog projektovanja jedne klase fleksibilnih tehnoloških sistema, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd, 2000,
- [4] Čović N., Živanović S., Glavonjić M., Osnovna koncepcija jednog prototipa troosne mašine sa paralelnom kinematikom, 28. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Mašinski fakultet Kraljevo, Mataruška banja, 2000.
- [5] Glavonjić M., Milutinović D., Živanović S., Kvirgić V., Višnjić 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.
- [6] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Sistem za kalibraciju, Projekat: Troosne paralelne mašine - MIS.3.02.0101.B, Elaborat 02-02-2004-01-02, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [7] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Elaborat: MIS.3.02.0101.B Troosne paralelne mašine, Završni izveštaj, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [8] Glavonjić, M., Živanović, S., Milutinović, D., Troosna paralelna mašina pn101, 31. JUPITER konferencija, 27. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, ISBN 86-7083-508-8, str.3.1-3.5, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, april 2005.
- [9] Milutinović, D., Glavonjić, M., Kvirgić, M., Živanović, S., Novi paralelni mehanizam za glodalice sa dugačkom X osom, 31. JUPITER konferencija, 27. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, ISBN 86-7083-508-8, str.3.6-3.11, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, april 2005.
- [10] 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