

## Razvoj prototipa mini laboratorijske i edukacione stonke troosne glodalice sa paralelnom kinematikom

SAŠA T. ŽIVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd

MILOŠ M. GLAVONJIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

DRAGAN S. MILUTINOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

NIKOLA R. SLAVKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

ZORAN Ž. DIMIĆ, LOLA Institut, Beograd

*Originalni naučni rad*

*UDC: 621.914.3*

*U ovom radu je predstavljen razvoj mini laboratorijske i edukacione stonke troosne glodalice sa paralelnom kinematikom. Usvojeni su funkcionalni zahtevi i koncepcija mašine. Prikazan je opis primenjenog paralelnog mehanizma. Predstavljena je primenjena metodologija za konfigurisanje mini laboratorijske i edukacione stonke troosne glodalice sa paralelnom kinematikom primenom IDEF0 dijagrama, sa detaljnom razradom aktivnosti koje se donose na realizaciju prototipa mašine. Verifikacija virtuelnog prototipa koncepcije mašine je izvršena simulacijom obrade na virtuelnoj mašini u CAD/CAM okruženju. U radu su pokazani neki od karakterističnih detalja pri realizaciji prototipa, kao i njegovog razvojnog ispitivanja.*

**Ključne reči:** konfigurisanje, virtuelni prototip, troosna glodalica sa paralelnom kinematikom

### 1. UVOD

Savremena proizvodnja je zasnovana na numerički upravljanim mašinama alatkama. Za programiranje i rukovanje ovih mašina potrebna je sveobuhvatna edukacija učenika, studenata i inženjera. Edukacija na industrijskim mašinama je skupa i ne omogućava pojedinačni i/ili samostalni rad, a postojeći edukacioni kompleti često su veoma jednostavni i ne pokrivaju sve elemente obuke. Predmet ovog rada je mini laboratorijska i edukaciona stonka glodalica sa paralelnom kinematikom koja je bazirana na patentiranom paralelnom mehanizmu [1]. Mašina je namenjena za sveobuhvatnu pojedinačnu edukaciju u: konfigurisanju, programiranju i upravljanju numerički upravljanih mašina alatki. Iskorišćena su sva iskustva stečena u razvoju obradnih sistema i u držanju obuke za programiranje i rukovanje modernih obradnih sistema.

Za razvoj je izabrana mašina iz grupe mašina alatki sa paralelnom kinematikom. Ove mašine su se pojavile u prvoj polovini 90-ih godina prošlog veka i njihova pojava se smatra za najozbiljniji pomak u ovoj oblasti posle pojave numeričkog upravljanja [2] - [4]. Zbog specifičnosti paralelnih mehanizama i složenosti modeliranja, upravljanja, projektovanja, izrade i korišćenja mašina alatki i robota zasnovanih na njima, istraživanje i razvoj ovih sistema bazirano je na visokom nivou kooperacije univerziteta, istraživačkih instituta i industrije. Ova kooperacija je zastupljena i u nacionalnim i u međunarodnim okvirima. Ove činjenice potvrđuje veliki broj komercijalno razvijenih mašina alatki sa paralelnom kinematikom [2]. Mini laboratorijska i edukaciona stonka glodalica sa paralelnom kinematikom, koja je ovde predmet razvoja, konfigurisana je po uzoru na ranije realizovani industrijski prototip troosne vertikalne glodalice sa paralelnom kinematikom [5]-[7].

Adresa autora: Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16

Rad primljen: 01.04.2014.

Rad prihvaćen: 05.04.2014.

### 2. FUNKCIONALNI ZAHTEVI

Osnovni funkcionalni zahtevi za stonku troosnu glodalicu sa paralelnom kinematikom se mogu is-

kazati na sledeći način [7]: (i) niskobudžetna mašina alatka, (ii) laboratorijska i edukaciona mašina alatka, (iii) mašina koja obrađuje meke materijale, (iv) upravljanje otvorene arhitekture, (v) programiranje mašine na uobičajeni način u G-kodu, (vi) mašina koja je pristupačna i bezbedna za rad. Ovo je nulti nivo funkcionalnih zahteva, kojima su otvoreni izazovi za njen razvoj. Detaljniji plan rada u vidu funkcionalnih zahteva za izabranu stonu glodalicu sa paralelnom kinematikom mogao bi da izgleda ovako:

FZ1: Izbor faktora skaliranja originalne koncepcije paralelnog mehanizma, radi dobijanja gabarita pogodnih za stonu mašinu alatku i usvajanje osnovnih parametara paralelnog mehanizma.

FZ2: Radni sto i obradak na mašini treba da miruju. Sva kretanja treba da ostvaruje paralelni mehanizam pn101.

FZ3: Koordinatne sisteme usvojiti prema standardu za mašine alatke sa numeričkim upravljanjem.

FZ4: Standardne komponente konfigurisati primenom dostupnih konfiguratora komponenata.

FZ5: Razmotriti mogućnost modeliranja generičkih specijalnih komponenata, primenom konfiguratora komponenata.

FZ6: Razmotriti mogućnost planiranja konfigurisanja familije stonih mašina.

FZ7: Razmotriti mogućnost proširivanja konfiguracije mašine na 4D i/ili 5D konfiguraciju.

FZ8: Koristiti sistem za upravljanje otvorene arhitekture [8] - [10], koji radi u realnom vremenu i odgovarajući softver, tako da operater ne oseti nelinearnost inverzne i direktne geometrije mašine.

FZ9: Konfigurisati i virtuelne mašine u cilju verifikacije programa, kao i za potrebe edukacije [8] - [10].

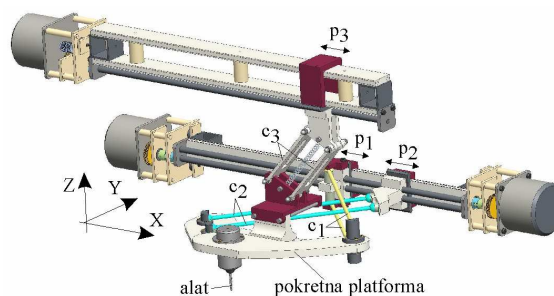
FZ10: Sprovesti izgledne optimizacije strukture mašine po odabranim i/ili uobičajenim kriterijumima [9], [10].

FZ11: Naći mesto za stonu mašinu, kao edukacioni resurs, tako da mašina bude pravo inženjersko radno mesto.

Osnovni cilj je napraviti prototip stone troosne glodalice sa paralelnom kinematikom. Uslov za konfigurisanje je bio korišćenje raspoloživih komponenata i resursa. Tek u drugoj generaciji planira se razvoj komercijalne verzije stone glodalice sa paralelnom kinematikom.

### 3. KONCEPCIJA MEHANIZMA

CAD model usvojene verzije paralelnog mehanizma za konfigurisanje mini laboratorijske i edukacione stone troosne mašine sa paralelnom kinematikom je prikazan na slici 1.



Slika 1 - CAD model paralelnog mehanizma

Kao što se može videti, mehanizam se sastoji od pokretne platforme, tri zglobna paralelograma  $c_1$ ,  $c_2$  i  $c_3$  i dve paralelne vodice. Dva ukrštena zglobna paralelograma  $c_1$  i  $c_2$ , sa sfernim zglobovima, su jednim svojim krajevima vezani za pokretnu platformu dok su drugim svojim krajevima vezani za nezavisne klizače  $p_1$  i  $p_2$  koji sa jednom zajedničkom vodicom 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  $p_3$  koji sa vodicom na bazi čini treći osnaženi i upravljani translatorni zglob. Pokretanjem klizača  $p_1$ ,  $p_2$  i  $p_3$  se obezbeđuju 3 stepena slobode pokretne platforme odnosno alata tako da platforma pri kretanju u prostoru ostaje paralelna samoj sebi, odnosno zadržava konstantnu orijentaciju u prostoru.

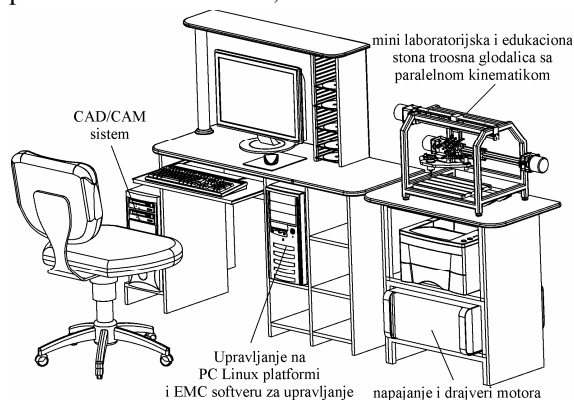
Osim izbora odgovarajuće kinematičke topologije mehanizma, vrlo je važan izbor osnovnih geometrijskih dimenzija, kao parametara paralelnog mehanizma, jer one značajno utiču na performanse buduće mašine [5] - [7].

Razvoj mini laboratorijske i edukacione stone troosne glodalice sa paralelnom kinematikom baziran je na realizovanom industrijskom prototipu, usvajanjem odgovarajućeg faktora skaliranja, radi dobijanja gabarita pogodnih za stonu mašinu alatku i usvajanje njenih osnovnih parametara.

Analizom geometrijskih dimenzija, došlo se do zaključka da je razmera 1:5 u odnosu na industrijski prototip, optimalno rešenje za jednu stonu mašinu alatku. Na taj način bi se i parametri industrijskog prototipa 5 puta umanjili, zadržavajući sve prednosti primenjenog paralelnog mehanizma.

Ova razmera omogućava gabarite mašine, pogodne za postavljanje na radni sto (školsku klupu), ali i mogućnost izbora postojećih standardnih komponenti, kao i izradu ostalih specijalnih komponenti u laboratoriji. Ovako određeni parametri za analize i simulacije su neznatno korigovani pri detaljnom projektovanju i konstruisanju prvog prototipa.

Konačni rezultat je laboratorijsko i edukaciono radno mesto sa prototipom stone troosne glodalice sa paralelnom kinematikom, slika 2.



Slika 2 – Radno mesto sa mini laboratorijskom i edukacionom stonom troosnom glodalicom sa paralelnom kinematikom [10]

Radno mesto pored mašine obuhvata: (i) sto za postavljanje mašine i smeštaj kutije sa drajverima, (ii) računar sa instalisanim Linux operativnim sistemom i sistemskim softverom za upravljanje mašine (EMC-Enhanced Machine Controller), (iii) računar sa CAD/CAM okruženjem za programiranje i (iv) radni sto za smeštaj dva računara i štampač, slika 2.

#### 4. KONFIGURISANJE STONE TROOSNE GLODALICE

Obavljene su ključne aktivnosti, koje su po metodologiji za konfigurisanje, potrebne da se napravi jedna nova mašina alatka. Interpretacija primenjene metodologije konfigurisanja novih mašina alatki [9]-[12], ovde se predstavlja na konkretnom zadatku razvoja mini laboratorijske i edukacione stome troosne glodalice sa paralelnom kinematikom. Ovaj pristup podrazumeva primenu IDEF0 metodologije [13], kao grafičkog jezika za modeliranje, i iskorišćen je za definisanje funkcionalnog modela stome troosne glodalice sa paralelnom kinematikom. Ovaj funkcionalni model predstavlja strukturnu prezentaciju funkcija i/ili aktivnosti posmatranih u više različitih nivoa. Na taj način je dobijen model koji se sastoji od hijerarhijskog, skupa dijagrama sa tekstualnim opisom u željenom broju nivoa, u cilju razumevanja funkcionalnog modela mašine pn101\_st i interakcije između njenih funkcija i/ili aktivnosti koji se odvijaju tokom njenog konfigurisanja.

Osnovni tok aktivnosti u konfigurisanju mini laboratorijske i edukacione stome troosne mašine sa paralelnom kinematikom pn101\_st, je pokazan na slici 3. Ove aktivnosti su: A1-usvajanje koncepcije, projektovanje i konstruisanje mašine alatke, A2-kon-

figurisanje upravljanja mašine alatke, A3-optimizacija, simulacije i verifikacija virtuelnog prototipa, A4-Realizacija prototipa i razvojno ispitivanje mašine alatke, A5-komercijalno ispitivanje i probni rad mašine alatke. Svaki od funkcionalnih blokova može se dalje hijerarhijski raščlanjivati.

U okviru ovog rada, detaljnije se razmatra hijerarhijski raščlanjena aktivnost A4. Osnovni tok aktivnosti za aktivnost A4 - Realizacija prototipa i razvojno ispitivanje, pokazan je na slici 4. Na ovom IDEF0 dijagramu pokazane su aktivnosti od A41 do A44.

Ulaz u tok aktivnosti za realizaciju prvog prototipa je verifikovani projekat virtuelne mašine, kao i odgovarajući resursi za gradnju. Osnovni rezultat, odnosno izlaz je verifikovani prototip stome troosne glodalice sa paralelnom kinematikom pn101\_st V1.5.

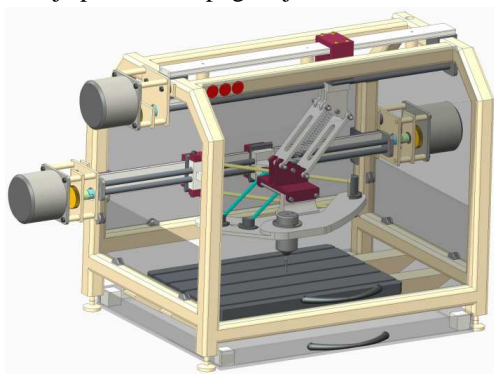
U sklopu prve aktivnosti A41, koristi se potrebna tehnička dokumentacija za projektovanje tehnologije i izradu specijalnih komponenta na mašinama Zavoda za mašine alatke, Mašinskog fakulteta u Beogradu. To su pre svega specijalne komponente, kao što su pokretna platforma, klizači p1, p2 i p3, nosač pasivnog translatorno-obrtnog zgloba, itd. Izradom svih potrebnih komponenta, stekli su se uslovi da se sa ostalim resursima koji su gotove standardne komponente, ostvari montaža paralelnog mehanizma u sklopu aktivnosti A42. Za potrebe montaže se koristi tehnička dokumentacija za montažu. Iz ovog bloka izlazi sklop stome troosne mašine, sa ugrađenim svim komponentama i predstavljaju ulaz u blok A43. U ovoj fazi je izvršena i konačna fizička realizacija paralelnog mehanizma za stonu mašinu.

Za hardver mašine u aktivnostima A43, ostvaruje se kalibracija paralelnog mehanizma na nosećoj strukturi mašine, ugradnja koračnih motora i integracija upravljanja, koje je takođe ulaz u ovaj blok aktivnosti. Upravnost grana noseće strukture mašine, paralelnost vođica i njihov položaj na nosećoj strukturi ostvaruje se primenom raspoloživog obradnog centra. Prilikom kalibracije i integracije upravljanja, uzima se u obzir usvojena referentna pozicija mašine, odnosno referentne tačke za sve tri pogonske ose.

Na izlazu iz ovog bloka je kalibrisana mašina sa hardverom i upravljačkim softverom, spremna za razvojno ispitivanje, podešavanje, koji se odvija u bloku A44. U sklopu razvojnog ispitivanja, proverava se i hardver i softver mašine, odnosno geometrija i upravljanje. Izvodi se ispitivanje radne tačnosti obradom probnih delova. Takođe se testira i oformljeno okruženje za programiranje. Razvojno ispitivanje u bloku A44 ima za cilj da se uoče eventualni nedostaci, koji se mogu korigovati u prethodnoj aktivnosti A43 i iskoristiti za unapređenje eventualno sledeće komercijalne varijante mašine.



Do sada je konfigurisan veći broj virtuelnih prototipova, za koje je uvedena jedinstvena oznaka pn101\_st, gde je pn101 oznaka primenjenog patentiranog paralelnog mehanizma, a st skraćenica koja ukazuje na stonu mašinu alatku. U oznaci još figuriše i oznaka verzije mašine V1., V1.5, itd. Na slici 4 pokazan je virtuelni prototip koncepcije mašine pn101\_st V1.5, koja je konfigurisana od dostupnih i raspoloživih komponenata za razvoj prototipa, čija je realizacija pokazana u poglavlju 6.

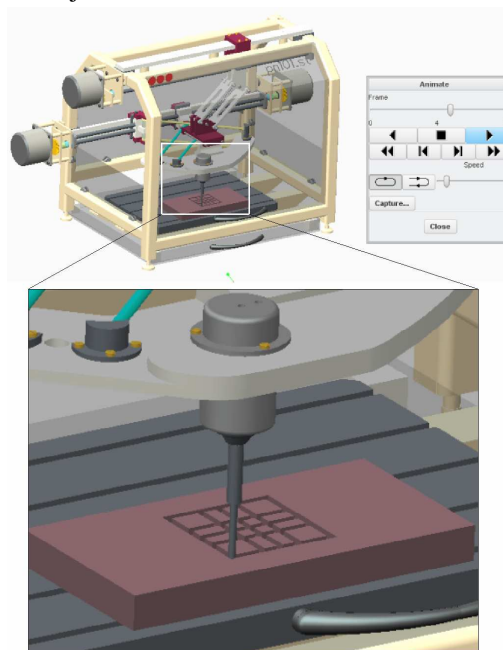


Slika 5 - Mini laboratorijska i edukaciona stona glodalica sa paralelnom kinematikom pn101\_st V1.5

Analizom virtuelnog prototipa sa slika 5 mogu se uočiti i sledeći detalji: (i) prototip ima ugrađeni paralelni mehanizam pn101; (ii) verzija prototipa V1.5 je konfigurisana tako da može biti realizovana od raspoloživih komponenata sa minimalnim ulaganjem, (iii) sferni zglobovi su magnetni, pravljeni u samogradnji, (iv) vodice pasivnog translatornog zgloba cilindrične, (v) noseća struktura je od zavarenih čeličnih profila, (vi) zavojna vretena su sa običnim metričkim navojem, (vii) postoji zaštita radnog prostora providnim pleksiglasom sa tri strane, dok se sa prednje strane nalaze providna vrata, prilagođena obliku noseće strukture. Ispod se nalazi fijoka, u koju se skuplja strugotina.

Verifikacija pokazanog virtuelnog prototipa je ostvarena simulacijom obrade u CAD/CAM okruženju. Simulacija kinematike virtuelnog prototipa omogućava kretanje modeliranih segmenata, sa alatom na kraju, koji na ekranu iscrta putanju alata, koja je nastala kao rezultat izvršenja zadatog programa. Izabrano okruženje za programiranje je CAD/CAM sistem PTC Creo. Postprocesiranje se vrši kao za troosnu glodalicu sa serijskom kinematikom. Za potrebe simulacije, mašina sa slici 5 je u sklopu aktivnost A1, definisana sa korektnim kinematičkim vezama. Korišćene su veze tipa klizača (Slider), sfernog zgloba (Ball) i obrtne ose (Pin). Prilikom simulacije rada mašine po generisanoj putanji alata moguće je u simulaciju uključiti i kompletan virtuelni prototip ma-

šine, opcijom Machine play. Primer verifikacije virtuelnog prototipa izvršenjem programa za obradu jednog probnog dela, koji uključuje simulaciju obrade, pokazan je na slici 6.



Slika 6 - Simulacija kinematike za zadati program obrade probnog dela

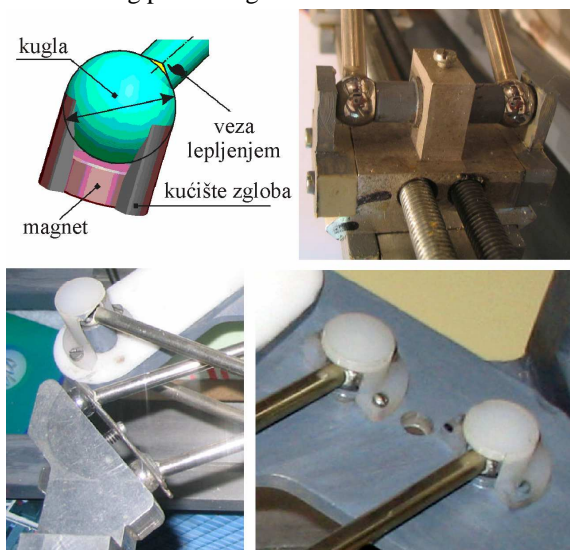
Simulacija kinematike virtuelnog prototipa mašine na osnovu programa upravljanja, je vrlo značajna zbog mogućnosti testiranja i verifikacije programa i pre same realizacije prototipa mašine. Ovakav vid simulacije obrade može biti koristan i sa aspekta verifikacije programa u off-line programiranju kao i za edukaciju.

## 6. REALIZACIJA PROTOTIPA

U ovom poglavlju se daju neki od karakterističnih detalja u aktivnostima prilikom realizacije prototipa kao što su: (i) realizacija sfernih zglobova, (ii) obrada specijalnih komponenata, (iii) montaža, (iv) probni rad.

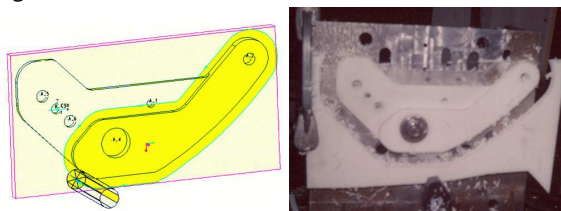
U realizaciji paralelnog mehanizma za prototip stone troosne mašine posebnu pažnju zaslužuju sferni zglobovi. Iskorišćena je ideja magnetnih zglobova, firme Holo Pack Technology [17]. Ovi zglobovi su bili uzor, za sferne zglobove koji su napravljeni. Konstrukcija zglobova je takva da se na spojka nalazi kugla, a na klizačima kućište sfernog zgloba. Na spojka su kugle prečnika 12 mm, koje su izvađene iz kugličnog ležaja, zalepljene lepkom za merne trake, kao na slici 7. Ove kugle se drže priljubljene na konusne upuste kućišta zgloba, pomoću magneta. Jak magnet se nalazi u kućištu, sa konusnim udubljenjem na koji naleže privučena metalna kugla, dajući fini

sferni zglob malih dimenzija, pogodan za potrebe ovako malog paralelnog mehanizma.



Slika 7 – Sferni zglobovi na bazi stalnih magneta

Pri realizaciji prototipa stone mašine u sklopu aktivnosti A41, ostvarena je obrada specijalnih komponenata, kao što su: pokretna platforma, klizači za translatorne ose  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ , pasivni translatorno-obrtni zglob, nosač za pasivni translatorno-obrtni zglob, spojke  $c_3$  pasivnog obrtnog zgloba, kućište za smeštaj glavnog vretena itd. Kao ilustracija ovih obrada, pokazana je obrada platforme, kao vrlo značajne pozicije za paralelni mehanizam, slika 8. Na njoj se nalaze otvori koji se koriste pri montaži zglobova i spojki mehanizma, a čije pozicije su jedni od osnovnih parametara primenjenog paralelnog mehanizma. Platforma treba da je jednostavnog skladnog oblika, funkcionalnog dizajna i da pri kretanju u granicama radnog prostora ne ostvaruje koliziju sa ostalim elementima mašine. Na platformi se još nalaze glavno vreteno, kućišta sfernih zglobova i nosač za translatorno obrtni zglob.

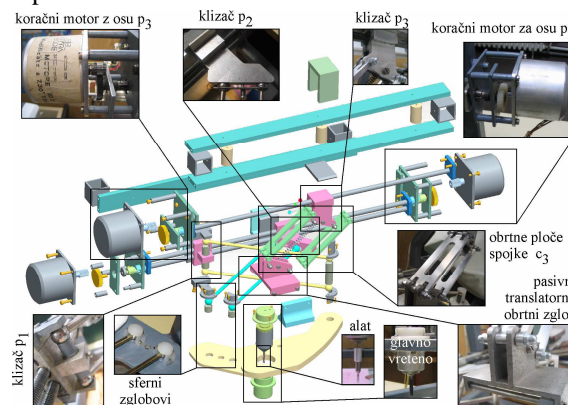


Slika 8 – Obrada platforme paralelnog mehanizma

Na slici 9 prikazan je eksplodirani prikaz virtuelnog prototipa paralelnog mehanizma sa detaljima realizacije karakterističnih podsklopova.

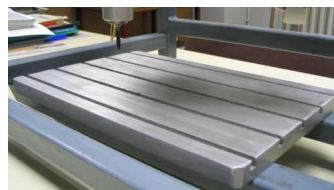
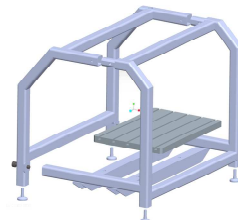
Većina pokretnih komponenenata na mašini kao što su klizači, kućište glavnog vretena, pasivni translatorno-obrtni zglob, spojke  $p_3$  su od aluminijuma, čime se postižu što manje težine pokretnih masa. Po-

stojanje pasivnog translatorno-obrtnog zgloba utiče na poboljšanje oblika radnog prostora. Aktuatore čine koračni motori, zavojna vretena i linearne klizne vođice. Dve pogonske ose imaju ukrštene spojke i to u dve uzajamno upravne ravni, čime se doprinosi većoj krutosti paralelnog mehanizma. Na ulaznom stepenu postoji mala redukcija broja obrtaja sa motora na zavojno vreteno radi povećanja momenta. Vođice i zavojna vretena su gotove komponente, dok su klizači sopstvene izrade.



Slika 9 – Eksplodirani prikaz CAD modela sklopa mašine i pripadajućih komponenata za montažu paralelnog mehanizma

Noseća struktura ima dve grane sa stubovima. Svaka od grana je zavarena konstrukcija od šipkastog cevastog materijala kvadratnog poprečnog preseka, koje se međusobno spajaju zavrtnjima, slika 10.

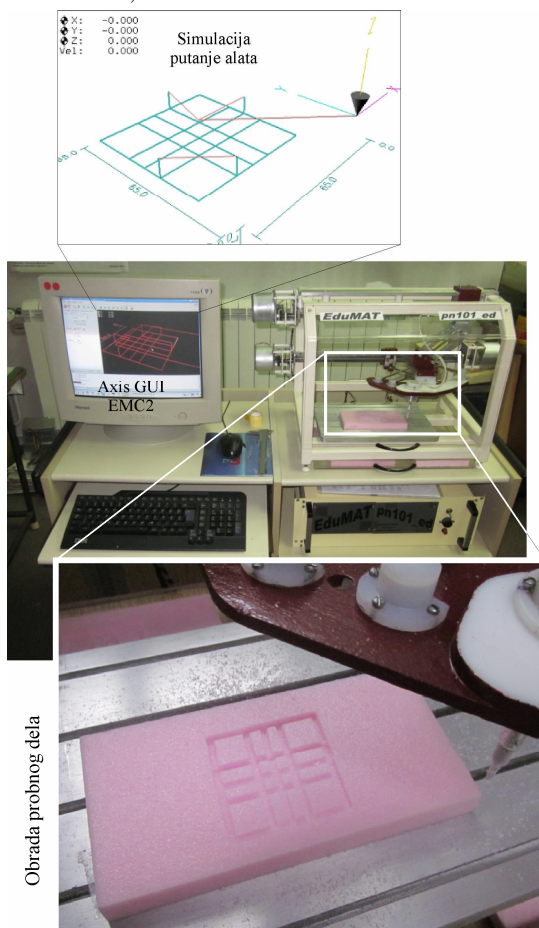


Slika 10 – Montaža noseće strukture i radnog stola

Noseća struktura ima stope za nivelaciju u horizontalnoj ravni. Upravnost grana noseće strukture proverena je na obradnom centru. Radni sto je napravljen od aluminijuma sa T žlebovima i postavljen je na dva uzdužna nosača na nosećoj strukturi, slici 10. Nivelacija stola se vrši zavrtnjima. Pogodan pristup radnom stolu za postavljanje priprema za obradu je sa prednje strane u pravcu ose Y, pri čemu je moguće

paralelni mehanizam pomeriti u krajnju levu ili desnu poziciju.

U sklopu aktivnosti A44 sa slike 4, ostvarena je konačna verifikacija plana upravljanja i programiranja stone troosne mašine pn101\_st V1.5, kroz njeno razvojno ispitivanje obradom probnih delova. Korišćeni su uzori probnih delova za mašine alatke, posebno onih sa paralelnom kinematikom. Za ovakve mašine ozbiljan zadatak je ostvarivanje linearne interpolacije. Zato je za njen probni rad izabran probni deo sa žlebovima, slika 11.



Slika 11 – Obrada probnog dela

Za potrebe razvojnog ispitivanja i probnog rada, sve mere probnih delova su podešene prema veličini radnog prostora mašine. Elementi geometrije su planirani tako da se mogu obraditi raspoloživim alatom (vretenasto glodalo prečnika 3 mm). Pokazani probni deo sa slika 11 je obrađen u stiroduru. Neki od detalja prilikom razvojnog ispitivanja su sledeći: (i) izgled i proverene gabaritne mere potvrđuju koncept izračunavanja, (ii) pozicioniranje u granicama radnog prostora je bilo dobro. Ostvarivanje poklapanja pozicije vrha alata sa nultom tačkom pokazalo je dobro pozicioniranje obratka i određivanje nulte tačke, (iii)

izgled obrađenih elemenata geometrije probnog dela, potvrđuje ispravnost postavki referentnih tačaka na pogonskim osama.

## 8. ZAKLJUČAK

Osnovni ciljevi, ostvareni u ovom radu, mogu se svesti na razvoj mini laboratorijske i edukacione stone troosne glodalice sa paralelnom kinematikom u cilju stvaranja okruženja za laboratorijska istraživanja u oblasti mašina sa paralelnom kinematikom, kao i za potrebe edukacije u konfigurisanju novih mašina alatki, razvoju sistema upravljanja otvorene arhitekture i obuci za programiranje numerički upravljanih mašina alatki.

U radu je pokazana i simulacija rada virtuelnog prototipa mašine koja radi prema zadatom programu u CAD/CAM okruženju. Za ovakav verifikovani prototip je ostvarena i fizička realizacija prototipa mašine na osnovu izložene metodologije za konfigurisanje sa detaljnom analizom aktivnosti koje se odnose na realizaciju prototipa mašine i njeno razvojno ispitivanje kroz ostvareni probni rad.

U sklopu daljih istraživanja razmatra se i realizacija virtuelne petoosne mašine nadogradnjom postojećeg paralelnog mehanizma dodavanjem dvoosne serijske glave. Drugi pravac istraživanja je i primena hibridnog objektnog programiranja numerički upravljanih mašina [16], poznatijeg kao STEP-NC, na primeru razmatrane stone troosne glodalice sa paralelnom kinematikom.

## 9. ZAHVALNICA

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu „TR 35022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema“, koji je podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] M. Glavonjić, D. Milutinović, V. Kvirgić, Troosni prostorni paralelni mehanizam, mašina alatka i industrijski robot sa tim mehanizmom, patent broj RS50375B, Republika Srbija, Zavod za intelektualnu svojinu, 10.11.2009.
- [2] Weck, D. Staimer, Parallel Kinematic Machine Tools – Current State and Future Potentials, Annals of the CIRP, vol. 51/2, p. 671-681, 2002.
- [3] Hebsacker M, Treib T, Zirn O, Honegger M, Hexaglide 6 DOF and Triaglide 3 DOF Parallel Manipulators; Editors C.R. Boer, L. Molinari Tosatti, K.S. Smith; Springer Verlag, London, UK, pp 345-355, September 1999.
- [4] Rehsteiner F, Neugebauer R, Spiewak S, Wieland F, Putting Parallel Kinematics Machines (PKM) to

- Productive Work, Annals of the CIRP, vol. 48/1, p. 345-350, 1999.
- [5] D. Milutinovic, M. Glavonjic, V. Kvirgic, S. Zivanovic, A New 3-DOF Spatial Parallel Mechanism for Milling Machines with Long X Travel, CIRP Annals - manufacturing technology, vol. 54/1, p. 345-348, 2005.
- [6] Glavonjic M, Milutinovic D, Parallel structured milling machines with long X travel, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing vol. 24, p.310-320, 2008.
- [7] M. Glavonjic, D. Milutinovic, S. Zivanovic, Z. Dimic, V. Kvirgic, Desktop 3-axis parallel kinematic milling machine, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 46, p.51-60, 2010.
- [8] Živanović, S., Glavonjić, M., Dimić, Z., Konfigurisanje virtuelne mašine troosne glodalice sa paralelnom kinematikom za simulaciju i verifikaciju upravljanja i programiranja, XI međunarodni naučno-stručni Simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2012, Zbornik radova Vol. 11, str. 464-469, mart 2012.
- [9] S. Živanović, Konfigurisanje novih mašina alatki, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2010.
- [10] S. Živanović., Razvoj edukacione mašine sa paralelnom kinematikom, Zaduzbina Andrejevic, Beograd, 2012.
- [11] S. Živanović, M. Glavonjić, Metodologija funkcionalnog konfigurisanja novih mašina alatki, 35. JUPITER konferencija, Zbornik radova, str.3.1-3.7, Mašinski fakultet, Beograd, jun 2009.
- [12] S. Zivanovic, M. Glavonjic, Z. Dimic, Methodology for Configuring Desktop 3-axis Parallel Kinematic Machine, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, FME Transactions, vol.37, p. 107-115, 2009.
- [13] Announcing the Standard for INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0), Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 21. December 1993.
- [14] Y. Altintas, C. Brecher, M. Weck, S. Witt, Virtual machine tool, CIRP Annals - manufacturing technology, vol. 54/2, p. 115-138, 2005.
- [15] A. A. Kadir, X. Xu, E. Hämmerle, Virtual machine tools and virtual machining - A technological review, Robotics and Computer - Integrated Manufacturing, vol. 27, p. 494-508, 2011.
- [16] M. Glavonjić, S. Živanović, Protokol STEP-NC za programiranje numerički upravljanih mašina alatki, TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Tehnika-Mašinstvo 61, Broj 6, Godina LXVII, str. 937-942, 2012.
- [17] HOLO PACK Technology, Ball joint, <http://www.holo-pack.com.tw/en/>

## SUMMARY

### DEVELOPMENT OF MINI LABORATORY AND EDUCATIONAL DESKTOP 3 AXIS MILLING MACHINE WITH PARALLEL KINEMATIC

*This paper presents the development of mini laboratory and educational desktop 3 axis milling machine with parallel kinematic. Functional requirements and concept of this machine were adopted. Description of the applied parallel mechanism is shown in this paper. The presented methodology was used to configure mini laboratory and educational desktop 3 axis milling machine with parallel kinematic using IDEF0 diagrams, with detailed development activities who are made on the implementation of the prototype machine. Verification of the concept of virtual prototype is described using simulation on virtual machine in the CAD/CAM environment. The paper presents some of the most characteristic details in the implementation of the prototype, as well as his development testing.*

**Key words:** *configuring, virtual prototype, 3 axis milling machine with parallel kinematic*