



VARIJANTNOST KONFIGURISANJA DVOOSNOG REKONFIGURABILNOG PARALELNOG MEHANIZMA - MOMA

Saša Živanović¹, Goran Vasilic²

Rezime: U radu su pokazane neke od postojećih konfiguracija mašina sa paralelnom kinematikom koje sadrže dvoosni paralelni mehanizam, i predložena jedna moguća klasifikacija dvoosnih paralelnih mehanizama. Glavna tema rada je prikazati varijantnost različitih konfiguracija razvijenog dvoosnog rekonfigurabilnog paralelnog mehanizma MOMA, koji u osnovi predstavlja modularni sistem koji je u radu prikazan primenom morfoloških matrica.

Cljučne riječi: konfigurisanje, rekonfigurabilni, modularni sistem, paralelni mehanizam

VARIANTS OF CONFIGURING THE 2-AXIS RECONFIGURABLE PARALLEL MECHANISM – MOMA

Abstract: The paper presents some of the existing parallel kinematic machines configurations containing the 2-axis parallel mechanism, and suggested one possible classification for the 2-axis parallel mechanisms. The main topic of this paper is show variants of different configurations developed 2-axis reconfigurable parallel mechanism MOMA, which is basically a modular system performance which is shown in this paper by using morphological matrix.

Key words: configuring, reconfigurable, modular system, parallel mechanism

1. UVOD

Dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam, pripada generaciji rekonfigurabilnih tehnoloških modula [1], koji može egzistirati samostalno ili u kombinaciji sa drugim mehanizmima, gradeći nove mašine alatke. U radu se razmatra varijantnost konfigurisanja modularne mašine alatke otvorene arhitekture upravljanja (MOMA), na bazi dvoosnog rekonfigurabilnog paralelnog mehanizma.

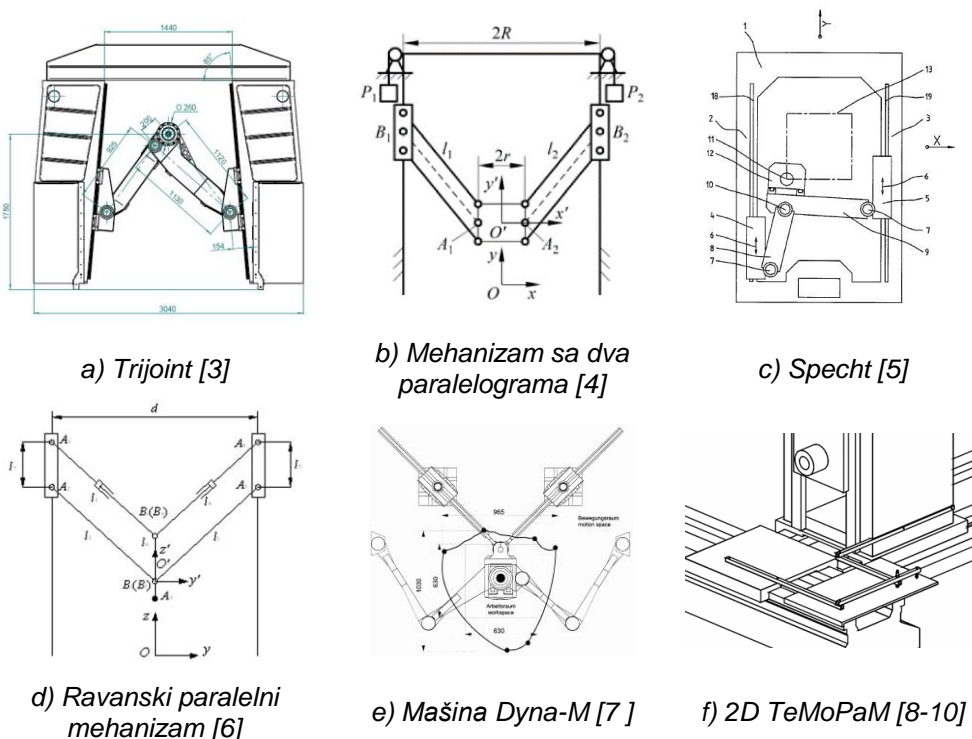
MOMA je uspostavljena kao sistem sastavnih elemenata (modularni sistem), na osnovu koga se može vršiti rekonfigurisanje i hardverskog i softverskog dela sistema. U ovom radu se razmatra samo deo koji se odnosi na rekonfigurisanje hardvera različitih konfiguracija mogućih mašina na bazi razvijenog modularnog

¹ Doc. dr Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, szivanovic@mas.bg.ac.rs

² Goran Vasilic, dipl.maš.inž., student doktorskih studija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, goran.v.vasilic@gmail.com

sistema. MOMA je u osnovi namenjena za edukaciju u: (i) konfigurisanju i rekonfigurisanju novih mašina alatki, (ii) programiranju i (iii) upravljanju na bazi softvera otvorene arhitekture.

Do danas ima mnogo objavljenih rezultata iz oblasti mašina sa paralelnom kinematikom [2-10]. Izdvojićemo samo neke od mašina sa paralelnom kinematikom, pokazanih na slici 1, koje u osnovi imaju neku od varijanti dvoosnog paralelnog mehanizma, koji je predmet ovog rada.



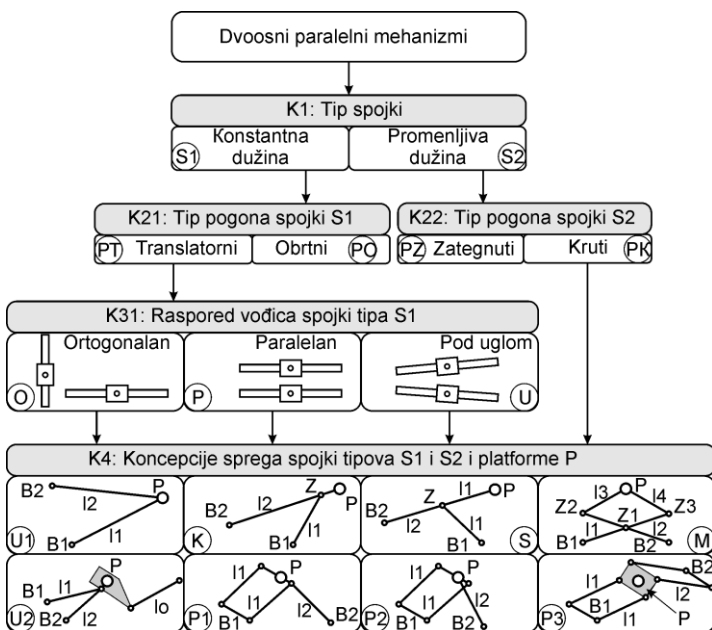
Slika 1. Neki od realizovanih paralelnih mehanizama koji u osnovi imaju dvoosni paralelni mehanizam

U ovakve mašine mogu se ubrojiti *Trijoint*, slika 1a [3], mehanizam sa dva paralelograma slika 1b [4], mašina *Specht*, slika 1c [5], redundantno pogonjeni ravanski paralelni mehanizam, slika 1d [6], mašina *Dyna-M* [7], slika 1e i dvoosni tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom 2D *TeMoPaM*, koji radi kao funkcionalni simulator dvoosne mašine sa paralelnom kinematikom, slika 1f [8-10]. Valja uočiti da su dvoosni paralelni mehanizmi na slikama 1a,b,c,f sa konstantnim dužinama spojki, dok preostala dva, slika 1d,e, imaju i spojke promenljivih dužina. Takođe se mogu uočiti i rasporedi vođica po kojima se kreću klizači za mehanizme sa spojkama konstantne dužine, koji mogu biti paralelni, pod nekim uglom i ortogonalni. Ovo je samo deo paralelnih mehanizama koji su razmatrani pri formiranju klasifikacije dvoosnih paralelnih mehanizama u narednom poglavlju. U trećem poglavlju je predstavljen konfigurisani dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA, dok je u četvrtom poglavlju predstavljen jedan konfigurator kao dokumentovani formalizam u vidu morfoloških matrica za opis modularnog sistema razmatrane mašine.

2. JEDNA KLASIFIKACIJA DVOOSNIH PARALELNIH MEHANIZAMA

Istraživanja na ovu temu na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, su započeta sa dvoosnim paralelnim mehanizmom 2D TeMoPaM (**T**ehnološki **M**odul sa **P**aralelnim **M**ehanizmom) [8-10], koji je pokazan na slici 1f. Uopštavanjem ovog dvoosnog paralelnog mehanizma dobijen je dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam za gradnju stone dvoosne rekonfigurabilne mašine sa paralelnom kinematikom – MOMA (**M**odularna **M**ašina **A**latka sa upravljanjem **O**tvorene arhitekture) [11-13].

Za orijentaciju je pokazan i pregled mogućih rešenja za hardver mašine MOMA, slika 2. Po ovoj klasifikaciji može se sastaviti i morfološka matrica modularnog sistema za mehanizam dvoosne mašine sa paralelnom kinematikom. Klasifikacija je predstavljena prema 4 kriterijuma: (K1) prema tipu spojki, (K2) prema tipu pogona spojki, (K3) prema rasporedu vodica spojki i (K4) prema koncepcijama sprega spojki i platforme. Proučavanjem ove klasifikacije potrebno je odabrati pogodnu koncepciju prema uspostavljenom kriterijumu ili predložiti novu koncepciju i nadograditi postojeću klasifikaciju novim mehanizmom.



Legenda:

V1 i V2: Baze pogonskih osa.

I1 i I2: Spojke pogonskih osa, ali i dužine tih spojki, fiksne, ili promenljive.

P: Platforma, istovremeno i osa glavnog vretena.

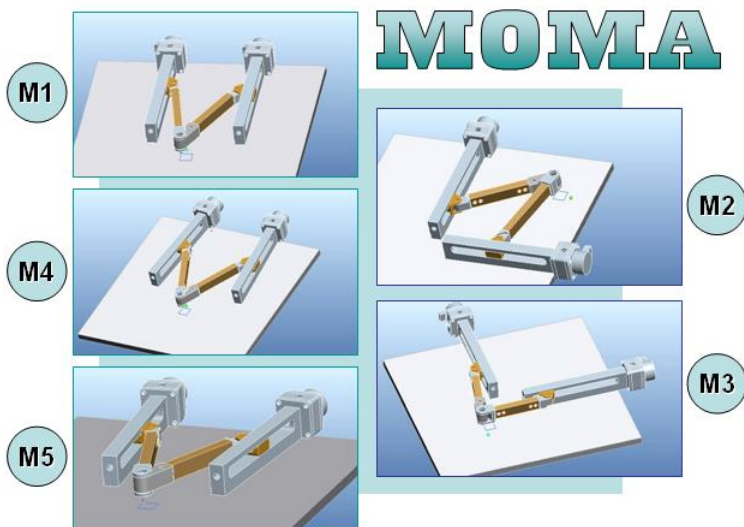
Z: Pomoćni zglob na mehanizmu, za kompletiranje kinematike celog mehanizma.

Slika 2. Klasifikacija polaznih koncepcija rekonfigurabilnog dvoosnog paralelnog mehanizma [13]

Prilikom koncipiranja jednog mehanizma treba samostalno isključiti nemoguće i/ili jako loše kombinacije rešenja po izabranim kriterijumima. U svakoj od koncepcija sprega po kriterijumu K4 planirano je da se razmotri mogućnost da spojke budu i tipa S1 i tipa S2, kada je god to moguće. Po ovoj klasifikaciji može se sastaviti i morfološka matrica sistema sastavnih elemenata za mehanizam dvoosne mašine sa paralelnom kinematikom.

3. DVOOSNI REKONFIGURABILNI PARALELNI MEHANIZAM – MOMA

Ravanski rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA je mehanizam sa dva stepena slobode, koji se sastoji od dve identične pogonske translatorne ose, po kojima se kreću dva klizača. Klizači su pomoću dve spojke povezane u paralelni mehanizam. Spojke su sa klizačima i međusobno povezane obrtnim zglobovima. Dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam se konfigurira prema programu gradnje. Prikaz osnovnih pet tipova (M1 do M5) iz plana gradnje stone dvoosne rekonfigurabilne mašine MOMA je dat je na slici 3.

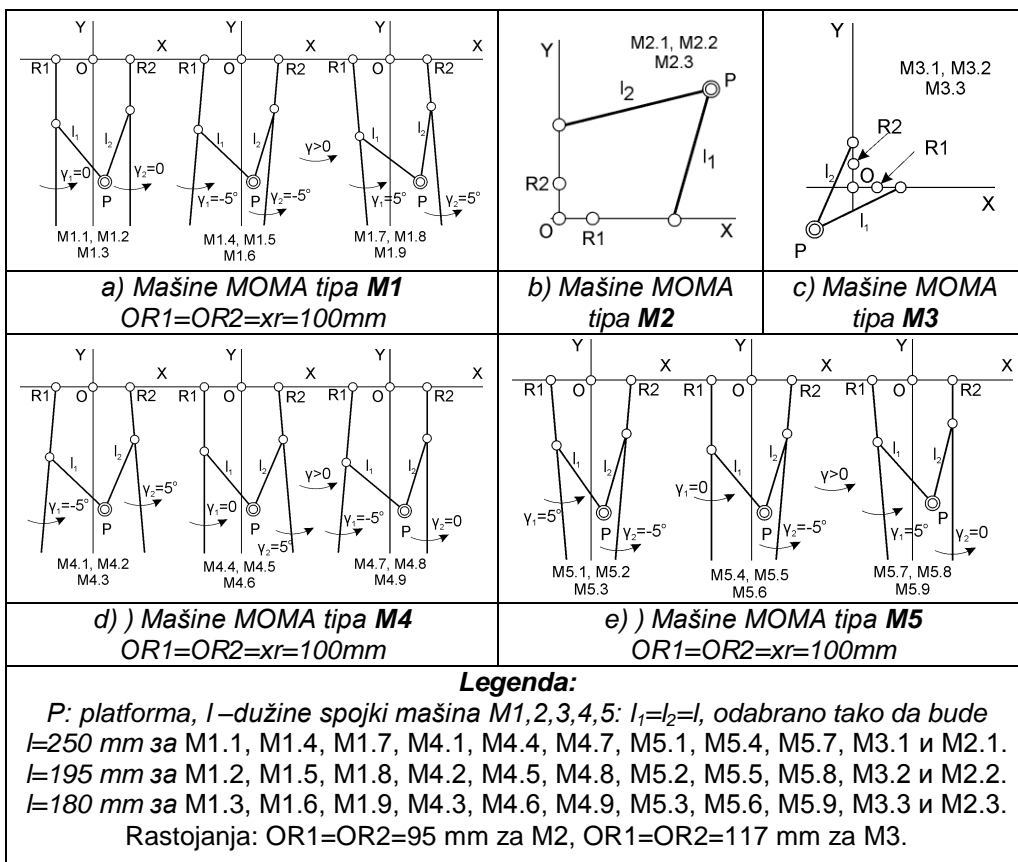


Slika 3. Osnovnih pet tipova M1- M5 stone dvoosne rekonfigurabilne mašine [11]

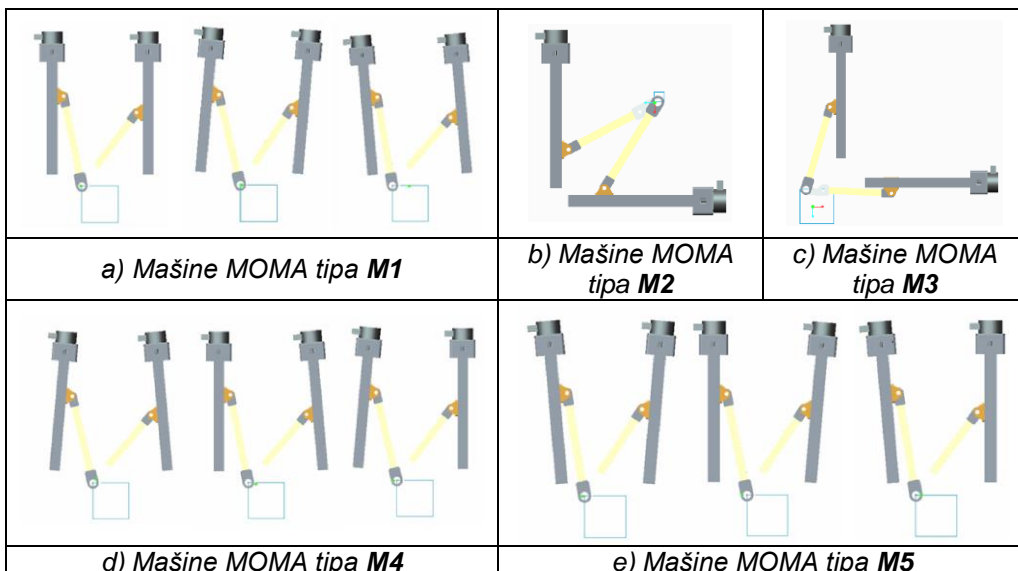
Sve aktuelne podvarijante osnovnih pet tipova paralelnog mehanizma MOMA pokazane su na slici 4. Za mašine M1, M4 i M5 upotrebljeni su uglovi γ_1 i γ_2 u naznačenom pozitivnom smeru ($\gamma > 0$) za opisivanje odstupanja pravca pogonskih osa od pravca ose Y. Mašine tipa M1, M4 i M5 imaju svaka po 9 verzija (slika 4a,d,e), koje se razlikuju po položaju vođica za klizače i po dužinama spojki. Za mašine M2 i M3 koriste se samo po tri verzije (slika 4b,c), koje se među sobom razlikuju samo po dužinama spojki. Za sve konfiguracije su dužine spojki jednake ($l_1 = l_2 = l$) u tri nominalne veličine (250, 195 i 180 mm).

Očekivani glavni rezultat konfigurisanja je jedna, prema nekom kriterijumu izabrana, konfiguracija mašine MOMA. Do glavnog rezultata potrebno je preći put konfigurisanja, od geometrijskih i kinematičkih modela, preko Jakobijana inverzne kinematike i analize singulariteta, analize radnog prostora, optimizacije nekih elementa mašine (npr. dužina spojki), dobijanje virtuelnog prototipa, simulacija na virtuelnim prototipovima do konfigurisanja hardvera mašina na bazi raspoloživog fonda modula i testiranja upravljanja za konačnu verifikaciju konfigurisane nove mašine alatke [11].

Na slici 5 su uporedo prikazani i CAD modeli svih podvarijanti rekonfigurabilnog paralelnog mehanizma. Svaka od podvarijanti se može dobiti različitim kombinovanjem nagnutosti svake pogonske ose i različitim dužinama spojki. Ovo je kombinovani prikaz CAD modela i dobijene konture putanje alata u obliku kvadrata, pri simulaciji rada mašine po zadatom programu u CAD/CAM okruženju.



Slika 4. Podvarijante mašina u okviru svakog od pet osnovnih tipova mašine alatke MOMA [11, 13]



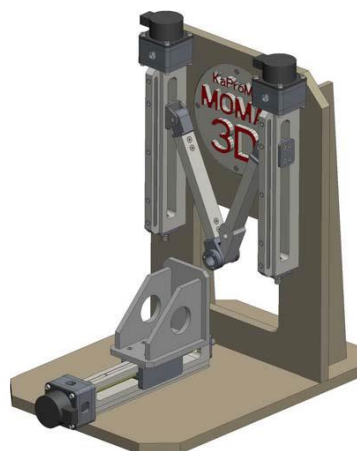
Slika 5. CAD modeli podvarijanti u okviru svakog od pet osnovnih tipova mašine alatke

Varijantnost strukture već prikazanog osnovnog rekonfigurabilnog dvoosnog paralelnog mehanizma omogućava, po definiciji, široku primenljivost ovog mehanizma kao tehnološkog modula za vertikalne i horizontalne troosne mašine alatke sa hibridnom (paralelno-serijskom) kinematikom. Na primer, moguća je primena ovog upotrebljenog dvoosnog paralelnog mehanizma, sa još jednom dodatom serijskom translatorskom osom, radi dobijanja troosne mašine alatke. To je pokazano na slici 6. Model na slici 6a, je idejno rešenje koje koristi identičnu treću pogonsku osu za pomeranje po horizontalnoj Z osi, dok je na slici 6b prikazana jedna od mogućih rekonstrukcija dvoosnog paralelnog mehanizma u troosnu mašinu. Na ovaj način se mogu nadograditi sve osnovne varijante mehanizma M1, M4 i M5, uključujući i sve podvarijante. Na slici 6 su prikazane dve varijante mašine tipa M1, zajedno sa dodatom horizontalnom translatorskom osom, koja ovde predstavlja osu Z mašine.

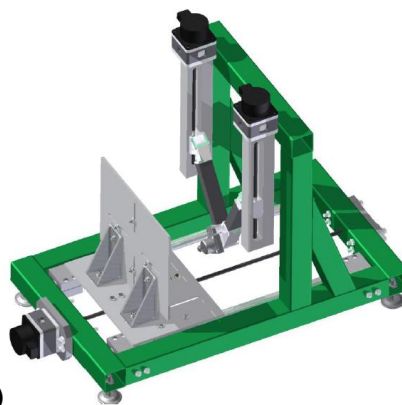
4. JEDAN KONFIGURATOR NA BAZI MODULARNOG SISTEMA

Za projektovanu rekonfigurabilnu mašinu alatku neophodno je uspostaviti sistem sastavnih elemenata, ili modularni sistem, sa bazom raspoloživih modula i pravilima pomoću kojih je moguće njeno rekonfigurisanje. To je u stvari jedan konfigurator kao dokumentovana procedura za konfigurisanje. Sistem sastavnih elemenata stane rekonfigurabilne mašine MOMA, najlakše može biti predstavljen formalizmom morfološke matrice, kao što je pokazano na slici 7. Na ovoj slici su prikazane osnovne funkcionalne celine (FC) kao što su: baze, aktuatori, zglobovi i spojke, kao i plan gradnje sa primerima konfigurisanih sklopova CAD modela za osnovne konfiguracije rekonfigurabilne mašine od M1 do M5, kao i raspoložive realizacije svake od funkcionalnih celina. Mašine tipova M1, M4 i M5, koriste istu bazu B145, dok mašine tipova M2 i M3 koriste bazu B23. Aktuatori paralelnog mehanizma su identični za sve tipove mašina. Spojke koriste identične obrtne zglobove i mogu biti u već pominjane tri nominalne dužine (250, 195 i 180 mm).

Redosled poslova za konfigurisanje i/ili rekonfigurisanje i pripremu za rad na mašini je sledeći: (1) Konfigurisanje i sklapanje hardvera mašine, na osnovu morfološke matrice sa slike 7, za izabrani tip mašine MOMA i prema zadatim parametrima. (2) Konfigurisanje upravljačkog softvera EMC2, koje uključuje proveru osnovnih parametara mašine i jednačina inverzne i direktne kinematike, koje su implementirane u softver za upravljanje i njihovo prilagođavanje za izabrani tip mašine MOMA [11]. U okviru svake osnovne varijante postoje još i podvarijante koje se mogu




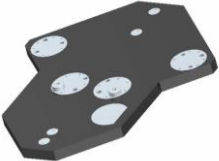
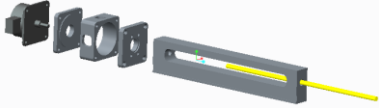
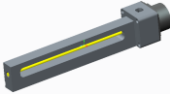
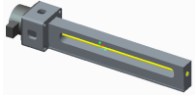

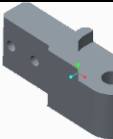


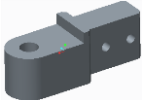
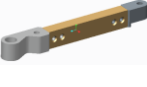
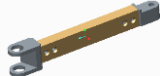
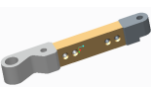
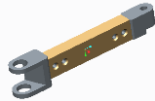

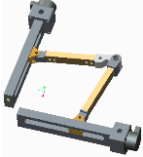
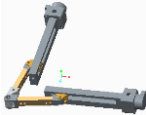
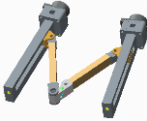
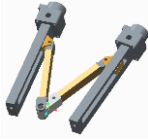


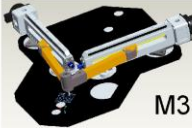
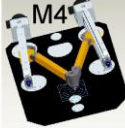
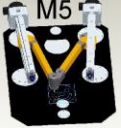
a)



b)

Slika 6. Prikaz dve varijante troosne stane rekonfigurabilne mašine alatke MOMA [11, 12]

realizovati prema slikama 4 i 5.

FC↓	Realizacije				
Baza	 B145		 B23		
Aktuatori					
Zglobovi					
Spojke					...
T _p	M1	M2	M3	M4	M5
CAD model paralelnog mehanizma					
CAD modeli mašine MOMA	 M1	 M2	 M3	 M4	 M5

Slika 7. Morfološka matrica pet osnovnih konfiguracija dvoosne rekonfigurabilne mašine alatke MOMA

5. ZAKLJUČCI

Stona dvoosna rekonfigurabilna mašina sa paralelnom kinematikom –MOMA konfigurisana je na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Ova mašina predstavlja značajan doprinos u edukaciji za razvoj i korišćenje mašina alatki nove generacije, kao što su rekonfigurabilne mašine alatke i mašine alatke sa paralelnom kinematikom, koje su realizovane na bazi upravljanja otvorene arhitekture. Mašina se već koristi u nastavi na Mašinskom fakultetu na grupi predmeta Mašine alatke.

Razmatrana mašina je istovremeno i osnova za uspostavljanje metoda za pravljenje kvalitetnih, čak i neuobičajenih mašina alatki za sopstvene potrebe. U planu daljih istraživanja je konceptijsko projektovanje novih mašina alatki sa

osobinama rekonfigurabilnosti i multifunkcionalnosti, sa paralelnom i/ili hibridnom kinematikom, a koje u sebi sadrže bar jedan dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu „TR35022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema”, koji je podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Brussel H.V. (1999). Reconfigurable Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 48/2, p. 527-540.
- [2] Weck, M., Staimer, D. (2002). Parallel kinematic machine tools-current state and future potentials, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 51/2, p. 671–683.
- [3] Šika, Z., Hamrle, V., Valášek, M., Beneš, P. (2012). Calibrability as additional design criterion of parallel kinematic machines, *Mechanism and Machine Theory*, 50, p. 48-63.
- [4] Jun, W., Jinson, W., Tiemin, L., Liping, W. (2007). Dynamic analysis of the 2-DOF planar parallel manipulator of a heavy duty hybrid machine tool , *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol 34., p.413-420.
- [5] Hanrath, G., Stengele, B.: *Machine tool for triaxial machining of workpieces*. United States Patent. Patent number: 6,328,510. Date of Patent: dec. 11. 2001.
- [6] Jun, W., Jinson, W., Liping, W. (2008). Optimal Kinematic Design and Application of a Redudantly Actuated 3DOF planar Parallel Manipulator, *Journal of Mechanical design*, Vol 13.
- [7] Weck, M. et al., Device for machining and/or assembling of workpieces. United States Patent. Patent number: 5,919,014. Date of Patent: jul. 6. 1999.
- [8] Živanović, S., Glavonjić M., *Edukaciona 2D paralelna mašina alatka kao tehnološki modul*, 26. JUPITER konferencija, 22. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.247-3.254, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [9] Živanović, S.: *Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom*, Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 24. 7. 2000.
- [10] Živanović, S. (2000). Parallel Kinematic Machines, *International Journal of Production Engineering and Computers*, vol. 3, no. 3, p.49-54.
- [11] Živanović, S., Glavonjić, M., Kokotović, B., Dimić, Z.: *Stona dvoosna rekonfigurabilna mašina sa paralelnom kinematikom – MOMA*, Tehničko rešenje (Novi laboratorijski proizvod, M82), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2014.
- [12] Vasilić, G. (2013). *Rekonstrukcija učila MOMA-2 u troosnu mašinu alatku*, Diplomski (M.Sc.) rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
- [13] Glavonjić, M., Zadatak za seminarski rad. Tema 1: MOMA sa paralelnom kinematikom.http://cent.mas.bg.ac.rs/nastava/ma_bsc/pdf_m/zadatak_za_seminarski_komplet.pdf, septembar, 2013.