

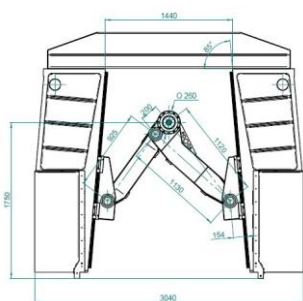
Vasilić, G., Živanović, S., Kokotović, B., Glavonjić, M. ¹⁾**OPTIMIZACIJA DUŽINA SPOJKI DVOOSNOG REKONFIGURABILNOG
PARALELNOG MEHANIZMA - MOMA ²⁾****Rezime**

U radu je opisan jedan dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA, kao i mogućnosti njegove primene. Za paralelni mehanizam je rešen inverzni geometrijski problem a potom i izvedena Jakobijan matrica. Jednačine su izvedene tako da mogu predstavljati formalizam koji se može primeniti za bilo koju konfiguraciju paralelnog mehanizma MOMA. Prikazana je metoda za optimizaciju dužine spojki dvoosnog paralelnog mehanizma preko globalnog indeksa pokretljivosti. Određene su optimalne dužine spojki za više različitih konfiguracija paralelnog mehanizma. Na samom kraju je objašnjeno šta se dobija sa optimalnom dužinom spojki a šta se dobija kada se koristile spojke koje nemaju optimalnu dužinu.

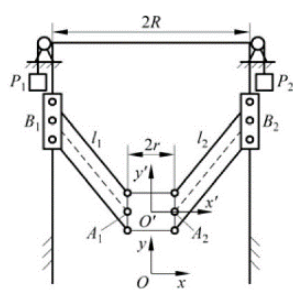
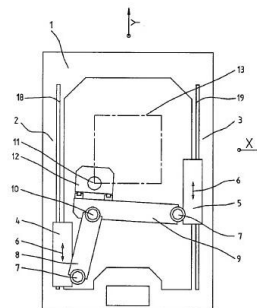
Ključne reči: paralelni mehanizam, optimizacija, rekonfigurabilna mašina alatka, globalni indeks pokretljivosti

1. UVOD

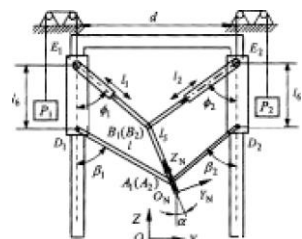
Nakon razvoja Stewart-ove platforme 1965. god. javlja se veliko interesovanje za izučavanje i razvoj paralelnih mehanizama [1]. Danas postoje savremeni obradni centri, bazirani na Stjuartovoj platformi. Zbog velike pokretljivosti upotrebljivost ovog mehanizma je veoma velika, što je dovelo do njegove široke primene od simulatora letenja do industrijskog robota i mašine alatke. Pokazalo se da paralelni mehanizmi imaju značajne prednosti u odnosu na tradicionalne serijske mehanizme te se u sve većoj meri koriste kao mehanizmi za mašine alatke sa paralelnom ili hibridnom (paralelno-serijskom) kinematikom. Neke od prednosti paralelnih mehanizama su: odnos mase i nosivosti mehanizma je povoljnija u odnosu na serijske mehanizme, opterećenje se deli na sve spojke paralelnog mehanizma, greške u mernim sistemima se osrednjavaju prema broju spojki, itd. Ima mnogo objavljenih rezultata iz oblasti mašina sa paralelnom kinematikom [2]. Izdvojićemo samo neke od mašina, pokazanih na slici 1, koje u osnovi imaju dvoosni paralelni mehanizam, koji je i predmet ovog rada.



a) Trijoint [3]

b) Mehanizam sa dva
paralelograma [4]

c) Specht [5]

d) Ravanski paralelni
mehanizam sa tri
stepena slobode [6]**Slika 1. Neki od realizovanih paralelnih mehanizama**

¹⁾ Goran Vasilić, dipl.ing.maš., student doktorskih studija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (goran.v.vasilic@gmail.com), doc dr Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (szivanovic@mas.bg.ac.rs), dr Branko Kokotović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (bkokotovic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Miloš Glavonjić, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (mglavonjic@mas.bg.ac.rs)

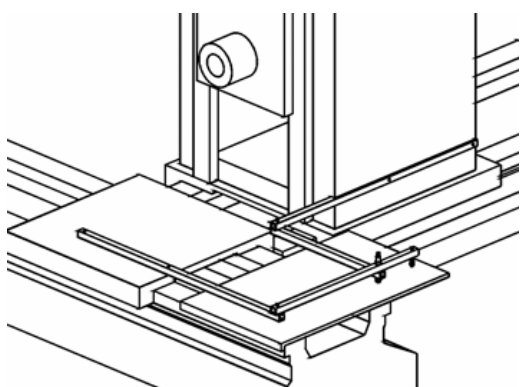
²⁾ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja su realizovana na projektu TR035022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema, koji finansijski podržava Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

U ovakve mašine mogu se ubrojiti *Trijoint*, slika 1.a [3], mehanizam sa dva paralelograma slika 1.b [4], mašina *Specht*, slika 1.c [5], ravanski paralelni mehanizam sa tri stepena slobode, slika 1.d [6] i drugi.

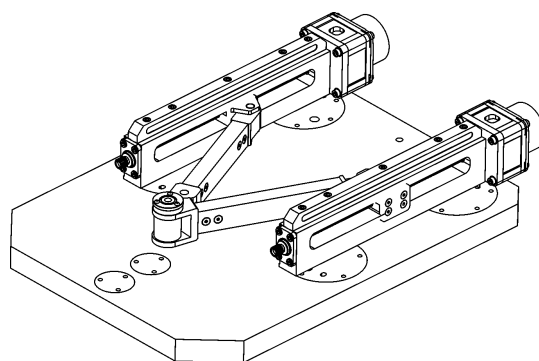
Osim svojih prednosti paralelni mehanizmi poseduju i nedostatke kao što su radni prostori nepravilnog oblika, postojanje singulariteta, rešavanje geometrijskih problema je znatno složenije. Kombinujući serijske i paralelne mehanizme pri čemu se koriste njihove prednosti a otklanjaju nedostaci, mogu se dobiti upotrebljivi hibridni mehanizmi za gradnju obećavajućih novih koncepcija mašina alatki.

Istraživanja na Mašinskom fakultetu su krenula sa dvoosnim paralelnim mehanizmom 2D TeMoPaM (**T**echnološki **M**odul sa **P**aralelnim **M**ehanizmom) [7-9], koji je pokazan na slici 2a. Uopštavanjem ovog mehanizma dobijen je dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam za gradnju stona dvoosne rekonfigurabilne mašine sa paralelnom kinematikom – MOMA (**M**odularna **M**ašina **A**latka sa upravljanjem otvorene arhitekture) [10-12]. 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 po kome postoje ukupno 33 različite konfiguracije dvoosne mašine [10]. Jedna od tih mašina iz plana gradnje je pokazana na slici 2d, a još neke od njih i na slici 3.

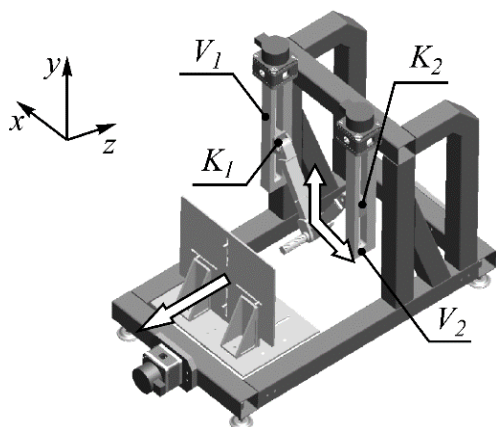
Dalji plan primene dvoosnog paralelnog mehanizma MOMA je ugradnja ovog mehanizma u troosnu hibridnu verziju mašine MOMA-3. Mašina alatka MOMA-3 je stona hibridna mašina sa tri stepena slobode. Hibridni mehanizam čini paralelni mehanizam sa dva stepena slobode koji omogućuje kretanje alata u pravcu osa x i y , i serijski dodata treća osa koja omogućuje kretanje obratka duž ose z . CAD model jednog idejnog rešenja mašine MOMA-3 je prikazan na slici 2c [13]. Na slici je takođe prikazan koordinatni sistem mašine definisan standardom ISO-6983 [14]. Jedna od mogućih primena dvoosnog paralelnog mehanizma je i u koncepciji stona petoosne hibridne mašine H5D pokazane na slici 2d. Ovde se paralelni mehanizma koristi sa ostvarivanje pomeranja po x i y osi, uz dva pasivna translatorna pomeranja i trećom serijskom osom z . Preostala dva kretanja su rotacije serijskog dvoosno-obrtnog stola [15,16].



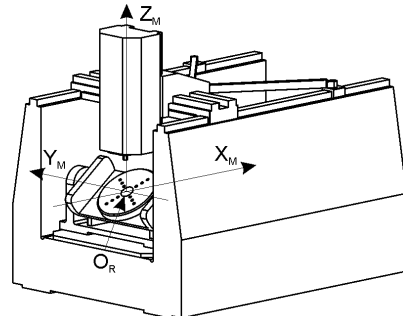
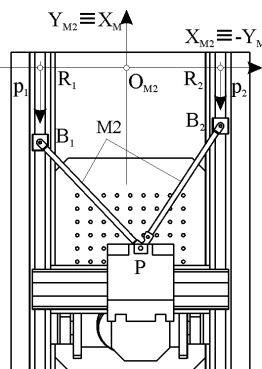
a) 2D TeMoPaM [9]



b) Stona dvoosna rekonfigurabilna mašina sa paralelnom kinematikom – MOMA [10]



c) Hibridna mašina MOMA-3 [13]

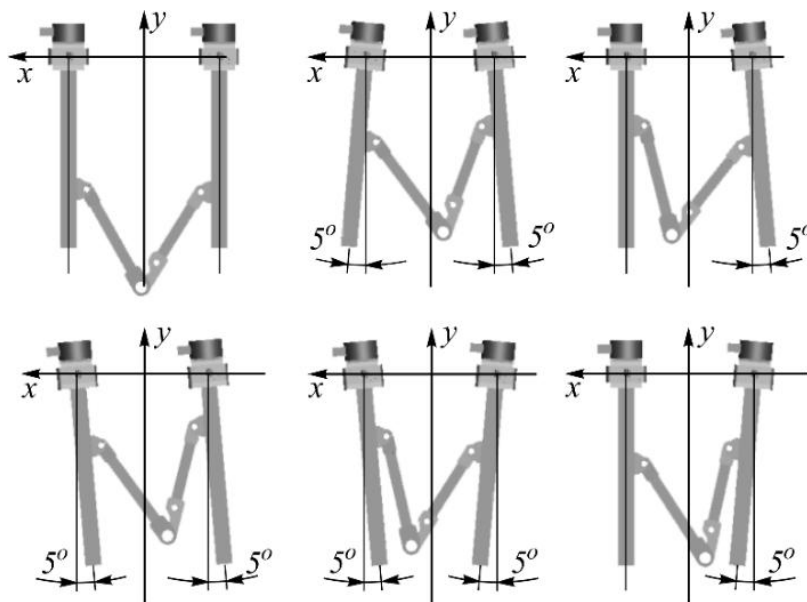


d) H5D Hibridna petoosna mašina alatka [15,16]

Slika 2. Koncepti mašina alatki na bazi dvoosnog paralelnog mehanizma

Paralelni mehanizam MOMA čine dve spojke konstantne dužine koje su međusobno zglobovno vezane. Svaka od spojki je svojim drugim krajem zglobovno vezana za klizače K_1 i K_2 koji se mogu kretati duž vodiča

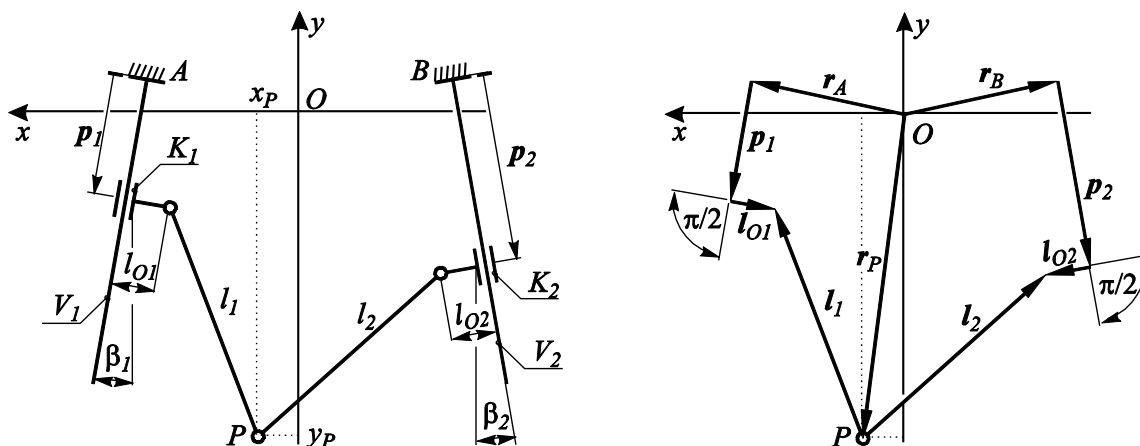
V_1 i V_2 , slika 2c. Dvoosni paralelni mehanizam je rekonfigurabilan i njegova konfiguracija se može lako i brzo menjati primenom pravila gradnje i konfiguratora, čime može dobiti veliki broj različitih konfiguracija kako dvoosnog paralelnog mehanizma tako i troosne hibridne mašine alatke. Neke od mogućih konfiguracija paralelnog mehanizma mašine MOMA su prikazane na slici 3. Rekonfigurabilnost paralelnog mehanizma, a samim tim i mašine sa hibridnim kinematikom povećava broj mogućih ostvarivih konfiguracija novih mašina. Iz tog razloga velika pažnja se posvećuje izučavanju i unapređenju ovakvih mašina čime se dobijaju konfiguracije sa optimalnom geometrijom u pogledu radnog prostora, singulariteta i pokretljivosti samog mehanizma. Predmet ovog rada je upravo optimizacija dužina spojki dvoosnog paralelnog mehanizma MOMA, primenom globalnog indeksa pokretljivosti. Da bi se pristupilo metodologiji optimizacije, neophodno je prvo rešiti inverzni geometrijski problem (IGP) i odrediti Jakobijan matricu paralelnog mehanizma, što je pokazano u narednom poglavlju.



Slika 3. Neke od konfiguracija mašine MOMA

2. GEOMETRIJSKI MODEL PARALELNOG MEHANIZMA MOMA

Uopšten geometrijski model paralelnog mehanizma sa slike 3, mašine alatke MOMA je prikazan na slici 4. Osim već uvedenih oznaka, sa slike 2c, uvedene su još i sledeće oznake: A, B – tačke u kojima su vodice vezane za noseću konstrukciju čime je onemogućeno bilo kakvo njihovo kretanje; r_A, r_B – vektori položaja tačaka A i B u odnosu na usvojeni nepokretni koordinatni sistem; P – platforma paralelnog mehanizma; r_P – vektor položaja platforme u odnosu na nepokretni koordinatni sistem; l_1, l_2 – dužine spojki; l_{O1}, l_{O2} – dužine ofseta; α_1, α_2 – ugao između vodica i ose x . Navedene veličine definišu geometriju paralelnog mehanizma i od njih zavisi oblik i veličina radnog prostora, singularni položaji mehanizma kao i sam rad mehanizma.



Slika 4. Geometrijski model paralelnog mehanizma mašine MOMA-3

Veličine p_1 i p_2 predstavljaju unutrašnje koordinate paralelnog mehanizma a x_p i y_p predstavljaju spoljašnje koordinate paralelnog mehanizma. Unutrašnje i spoljašnje koordinate su međusobno zavisne. Rešavanjem inverznog geometrijskog problema (IGP) paralelnog mehanizma mašine MOMA se dobija zavisnost unutrašnjih koordinata od spoljašnjih koordinata što se može predstaviti jednačinama (1). Rešavanjem direktnog geometrijskog problema (DGP) paralelnog mehanizma se dolazi do zavisnosti spoljašnjih koordinata od poznatih unutrašnjih koordinata što je predstavljeno jednačinama (2).

$$\begin{aligned} p_1 &= p_1(x_p; y_p) \\ p_2 &= p_2(x_p; y_p) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x_p &= x_p(p_1; p_2) \\ y_p &= y_p(p_1; p_2) \end{aligned} \quad (2)$$

2.1 Rešavanje inverznog geometrijskog problema paralelnog mehanizma

Prema geometrijskom modelu paralelnog mehanizma mašine MOMA, sa slike 4, mogu se napisati sledeće vektorske sledeće jednačine:

$$\mathbf{r}_A + \mathbf{p}_1 + \mathbf{l}_{O1} = \mathbf{r}_P + \mathbf{l}_1 \quad (3)$$

$$\mathbf{r}_B + \mathbf{p}_2 + \mathbf{l}_{O2} = \mathbf{r}_P + \mathbf{l}_2 \quad (4)$$

Projektovanjem jednačina (3) i (4) na ose nepokretnog koordinatnog sistema xOy pri čemu važi $\alpha_i = 3\pi/2 + \beta_i$, $i=1,2$ dobijaju se četiri skalarnе jednačine

$$\begin{aligned} x_A + p_1 \cdot \cos \alpha_1 + l_{O1} \cdot \sin \alpha_1 &= x_P + l_{1x} \\ y_A + p_1 \cdot \sin \alpha_1 - l_{O1} \cdot \cos \alpha_1 &= y_P + l_{1y} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x_B + p_2 \cdot \cos \alpha_2 - l_{O2} \cdot \sin \alpha_2 &= x_P + l_{2x} \\ y_B + p_2 \cdot \sin \alpha_2 + l_{O2} \cdot \cos \alpha_2 &= y_P + l_{2y} \end{aligned} \quad (6)$$

Uvođenjem smena datih grupom jednačina (7)

$$\begin{aligned} v_1 &= x_A + l_{O1} \cdot \sin \alpha_1 \\ v_2 &= y_A - l_{O1} \cdot \cos \alpha_1 \\ v_3 &= x_B - l_{O2} \cdot \sin \alpha_2 \\ v_4 &= y_B + l_{O2} \cdot \cos \alpha_2 \\ v_5 &= 2[(v_1 - x_P) \cos \alpha_1 + (v_2 - y_P) \sin \alpha_1] \\ v_6 &= (v_1 - x_P)^2 + (v_2 - y_P)^2 - l_1^2 \\ v_7 &= 2[(v_3 - x_P) \cos \alpha_2 + (v_4 - y_P) \sin \alpha_2] \\ v_8 &= (v_3 - x_P)^2 + (v_4 - y_P)^2 - l_2^2 \end{aligned} \quad (7)$$

a potom sređivanjem i rešavanjem jednačina (5) i (6) dobijaju se jednačine (8) koje predstavljaju rešenje IGP-a paralelnog mehanizma mašine MOMA. Za obe unutrašnje koordinate postoje po dva rešenja a iz praktičnih razloga se uzimaju rešenja koja imaju manju vrednost jer ona zahtevaju kraće vođice.

$$\begin{aligned} p_{1,1,2} &= \frac{-v_5 \pm \sqrt{v_5^2 - 4v_6}}{2} \\ p_{2,1,2} &= \frac{-v_7 \pm \sqrt{v_7^2 - 4v_8}}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

2.2 Jakobijan matrica paralelnog mehanizma mašine MOMA-3

Ako se vektor unutrašnjih koordinata mašine MOMA zapiše kao $\mathbf{p}=[p_1 \ p_2]^T$ a vektor spoljašnjih koordinata kao $\mathbf{x}=[x_p \ y_p]^T$ onda Jakobijan matrica daje vezu između izvoda unutrašnjih i spoljašnjih koordinata po vremenu. Jakobijan matrica paralelnog mehanizma mašine MOMA je sledećeg oblika

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_1}{\partial x_p} & \frac{\partial p_1}{\partial y_p} \\ \frac{\partial p_2}{\partial x_p} & \frac{\partial p_2}{\partial y_p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 + \frac{v_5 \cos \alpha_1 - 2(v_1 - x_p)}{\sqrt{v_5^2 - 4v_6}} & \sin \alpha_1 + \frac{v_5 \sin \alpha_1 - 2(v_2 - y_p)}{\sqrt{v_5^2 - 4v_6}} \\ \cos \alpha_2 + \frac{v_7 \cos \alpha_2 - 2(v_3 - x_p)}{\sqrt{v_7^2 - 4v_8}} & \sin \alpha_2 + \frac{v_7 \sin \alpha_2 - 2(v_4 - y_p)}{\sqrt{v_7^2 - 4v_8}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3. OPTIMIZACIJA DUŽINE SPOJKI PARALELNOG MEHANIZMA MAŠINE MOMA

Za optimizaciju paralelnog mehanizma mašine MOMA koristi se izvedena Jakobijan matrica za koju se računa parametar Jakobijan matrice po sledećoj formuli [12,17,18]:

$$1 \leq \kappa = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \leq \infty \quad (10)$$

gde su $\sigma_1 = \sigma_{\max}$ i $\sigma_2 = \sigma_{\min}$ vrednosti dobijene rešavanjem sledeće jednačine:

$$\det(\sigma^2 I - J^T J) = 0 \quad (11)$$

Globalni indeks pokrtljivosti je veličina čija vrednost pokazuje sposobnost paralelnog mehanizma da promeni svoju poziciju i izračunava se na sledeći način:

$$\eta = \sqrt{\eta_1^2 + (w_n \eta_2)^2} \quad (12)$$

gde je η_1 srednja vrednost parametra Jakobijan matrice za definisan radni prostor paralelnog mehanizma, η_2 količnik maksimalne i minimalne vrednosti parametra Jakobijan matrice i w_n težinski faktor koji po prešporukama iz literature ima vrednost 0.1 [17]

$$\eta_1 = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \kappa(m, n) \quad (13)$$

$$\eta_2 = \frac{\max(\kappa(m, n))}{\min(\kappa(m, n))} \quad (14)$$

Optimizacija dužine spojki se vrši za definisan (koristan) radni prostor paralelnog mehanizma. Uprošten geometrijski model paralelnog mehanizma kao i granice radnog prostora su prikazane na slici 5. Za tako definisan radni prostor određuju se maksimalna i minimalna dužina spojki sa kojima platforma može da dostigne svaku tačku definisanog radnog prostora. Ako se proizvod transponovane Jakobijan matrice i Jakobijan matrice prikaže kao:

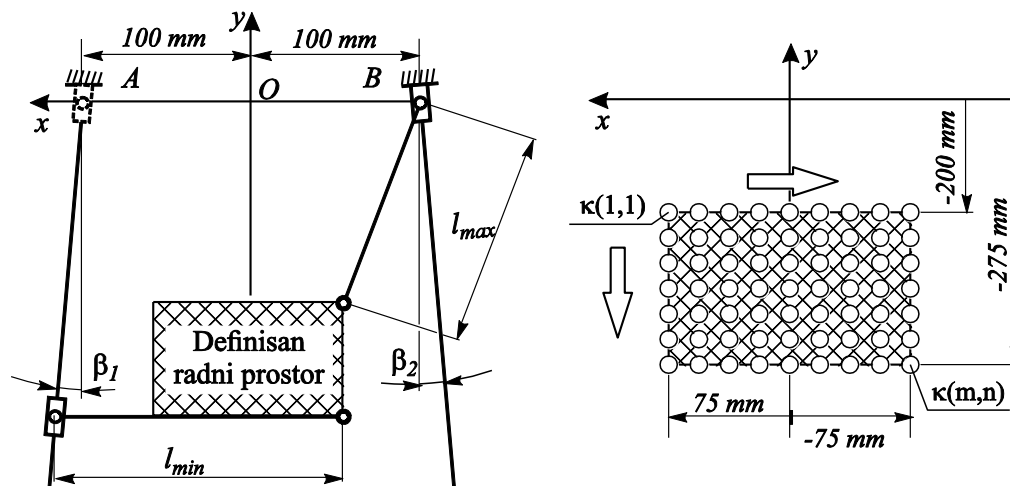
$$W = J^T J = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Na osnovu jednačine (11) onda se može napisati:

$$\sigma^4 - \sigma^2(W_{11} + W_{22}) + W_{11}W_{22} - W_{12}W_{21} = 0 \quad (16)$$

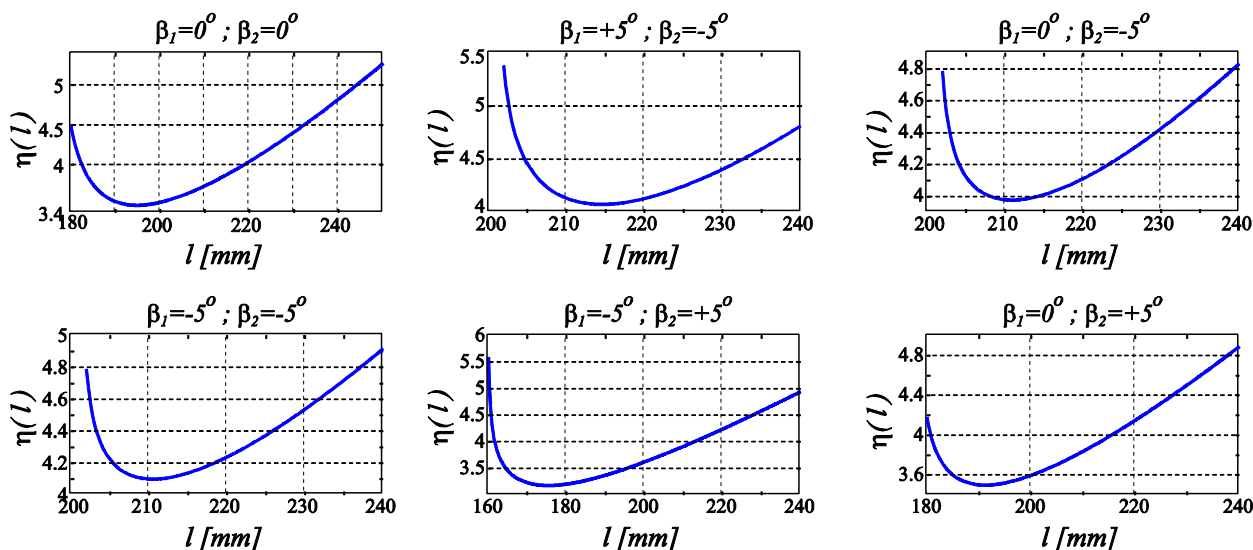
Rešavanjem jednačine (16) se dobijaju vrednosti σ_{\max} i σ_{\min} potrebne za izračunavanje parametra Jakobijan matrice $\kappa_{m,n}$ prema jednačini (10) i odnosi se na određenu tačku radnog prostora. Prema jednačinama (12),

(13) i (14) se izračunava globalni indeks pokretljivosti za ceo definisan radni prostor i odnosi se na jednu dužinu spojki. Postupak se vrši za sve dužine spojki u intervali $l_{min} - l_{max}$ i za svaku dužinu se dobija po jedna vrednost globalnog indeksa pokretljivosti. Dužina spojki koja daje $\eta = \eta_{min}$ je optimalna dužina za definisan radni prostor.



Slika 5. Izabrani deo radnog prostora mašine MOMA za koji se radi optimizacija dužina spojki

Optimizacija dužina spojki je primenjena za izračunavanje optimalne dužine spojki za različite konfiguracije paralelnog mehanizma mašine MOMA. Minimalne i maksimalne dužine spojki su određene grafičkim putem a potom je globalni indeks pokretljivosti η računat za sve dužine spojki od l_{min} do l_{max} sa korakom od $0,1mm$. Rezultat su dijagrami zavisnosti globalnog indeksa pokretljivosti od dužine spojki $\eta = \eta(l)$ prikazani na slici 6. U Tabeli 1. su date izračunate vrednosti optimalnih dužina spojki l_{opt} i globalnih indeksa pokretljivosti za konfiguracije paralelnog mehanizma sa slike 3.

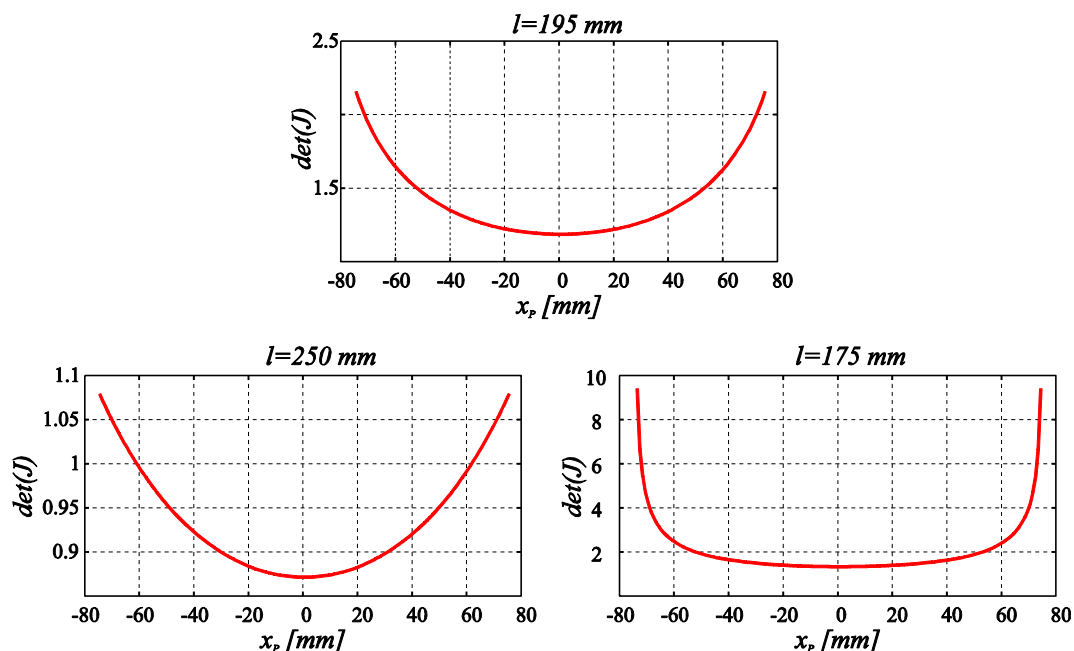


Slika 6. Zavisnost globalnog indeksa pokretljivosti η od dužine spojki l

| Tabela 1. Rezultati optimizacije dužine spojki paralelnog mehanizma mašine MOMA-3 | | | |
|---|--------------------|--------|----------------|
| $\beta_1 [^\circ]$ | $\beta_2 [^\circ]$ | η | $l_{opt} [mm]$ |
| 0 | 0 | 3,5285 | 195,7 |
| +5 | -5 | 4,0764 | 214,6 |
| 0 | -5 | 3,9779 | 210,9 |
| -5 | -5 | 4,0992 | 210,5 |
| -5 | +5 | 3,1786 | 175,4 |
| 0 | +5 | 3,4991 | 191,2 |

Za konfiguraciju paralelnog mehanizma gde je $\beta_1=\beta_2=0^\circ$ i dužinama spojki $l_1=l_2=175\text{mm}$ i $l_1=l_2=250\text{mm}$ izračunate su vrednosti determinante Jakobijan matrice duž ose x i to za vrednosti koordinate platforme paralelnog mehanizma od $x_p=-75\text{mm}$ do $x_p=+75\text{mm}$ što odgovara granicama definisanog radnog prostora. Vrednosti su upoređene sa vrednostima determinante Jakobijan matrice za spojke dužine $l_1=l_2=l_{opt}$. Rezultati su prikazani na slici 7.

Na osnovu dijagrama koji pokazuju zavisnost $\det(J)=f(x_p)$, primećuje se da spojke čija je dužina $l < l_{opt}$ dovodi do velikih vrednosti $\det(J)$ u blizini granica definisanog radnog prostor. U graničnom slučaju za $l_1=l_2=175\text{mm}$ i kada je $x_p=\pm 75\text{mm}$ determinanta Jakobijan matrice ima vrednost $\det(J)=\infty$ što znači da se na granicama radnog prostora nalaze singulariteti. U suprotnom, spojke čije su dužine $l > l_{opt}$ smanjuju vrednosti $\det(J)$ u celom radnom prostoru a na koordinati $x_p=0$ povećavanjem dužine spojki $\det(J)$ teži vrednosti $\det(J)=0$.



Slika 7. Vrednosti determinante Jakobijan matrice duž ose x za paralelni mehanizam konfiguracije $\beta_1=\beta_2=0^\circ$ i dužinama spojki $l=l_{opt}=195\text{mm}$, $l=250\text{mm}$ i $l=175\text{mm}$

9. ZAKLJUČAK

Cilj rada je bio postaviti koncept jedne hibridne rekonfigurabilne mašine i definisati geometriju koja bi obezbedila optimalni rad mašine. Za mašinu alatku MOMA-3 je rešen inverzni geometrijski problem paralelnog mehanizma u a potom je i izvedena Jakobijan matrica paralelnog mehanizma. Izvedene jednačine su korištene za optimizaciju dužine spojki paralelnog mehanizma hibridne mašine i to za šest različitih konfiguracija. Za svaku od razmatranih konfiguracija dobijena je optimalna dužina spojki. Optimalne dužine spojki se razlikuju za svaku konfiguraciju što dovodi do zaključka da geometrija paralelnog mehanizma utiče na optimalnu dužinu spojki. Ova činjenica je naročito bitna za mašine kao što su razmatrane i pokazane mašine tipa MOMA, jer pri promeni konfiguracije mašine treba koristiti spojke odgovarajuće dužine. Od značaja je napomenuti da dobijene vrednosti za optimalnu dužinu spojki važe za definisane granice radnog prostora. Ukoliko postoji potreba za promenom granica radnog prostora potrebno je i odrediti novu optimalnu dužinu spojki da bi se izbegli singulariteti unutar radnog prostora. U planu daljih istraživanja je konceptijsko projektovanje novih kompleksnih mašina alatki sa osobinama rekonfigurabilnosti i multifunkcionalnosti, koje u sebi sadrže bar jedan dvoosni rekonfigurabilni paralelni mehanizam MOMA.

10. LITERATURA

- [1] Stewart D.: *A Platform With Six Degrees of Freedom*, The Institution of Mechanical Engineers, Proceedings 1965-66, Part 1, No 15, str. 371-386
- [2] Weck, M., Staimer, D.: *Parallel kinematic machine tools-current state and future potentials*, CIRP Annals Manufacturing Technology, vol. 51, no. 2, p. 671-683, 2002.

- [3] Šika, Z., Hamrle, V., Valášek, M., Beneš, P.: *Calibrability as additional design criterion of parallel kinematic machines*, Mechanism and Machine Theory, Vol 50, 48-63, April 2012.
- [4] Jun, W., Jinson, W., Tiemin, L., Liping, W.: *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., 413-420, September 2007.
- [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.: *Optimal Kinematic Design and Application of a Redudantly Actuated 3DOF planar Parallel Manipulator*, Journal of Mechanical design, Vol 13., May 2008.
- [7] 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.
- [8] Živanović, S.: *Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom*, Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 24. 7. 2000.
- [9] Živanović, S.: *Parallel Kinematic Machines*, International Journal of Production Engineering and Computers, Volume 3, Number 3, pp.49-54, 2000.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Glavonjić, M.: *Konfigurisanje mašina alatki*, Mašine alatke M podsetnik za temu AN3, http://cent.mas.bg.ac.rs/nastava/ma_bsc/index_m.htm, decembar, 2011.
- [13] Vasilić, G.: *Rekonstrukcija učila MOMA-2 u troosnu mašinu alatku*, Diplomski (M.Sc.) rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2013.
- [14] ISO-6983: *Automation system and integration – Numerical control of machines – Program format and definition of address words*, International standard, 2001.
- [15] Glavonjić, M., Živanović, S., Kokotović, B.: *Koncepcije multifunkciobnalnih i rekonfigurabilnih stonih petoosnih mašina alatki*, Infoteh-Jahorina, Vol 13., 539-544, Mart 2014.
- [16] Živanović, S., Glavonjić, M., Kokotović, B.: *Jedna stona rekonfigurabilna mašina alatka sa hibridnom kinematikom*, TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Tehnika-Mašinstvo (u pripremi za štampu)
- [17] Jun, W., Tiemin, L., Xinjun, L., Liping, W.: *Optimal Kinematic Design of 2-DOF Planar Parallel Manipulator*, Tsinghua Science and Technology, Vol 12., 269-275, June 2007
- [18] Tian, H., Zhanxian, L., Meng, L., Derek, C., Clement, G.: *Conceptual Design and Dimensional Synthesis of a Novel 2-DOF Translational Parallel Robot for Pick-and-Place Operations*, Journal of Mechanical Design, Vol 126., 449-455, May 2004

Vasilić, G., Živanović, S., Kokotović, B., Glavonjić, M.

OPTIMISATION OF THE LENGTH OF LEGS OF THE 2-DOF RECONFIGURABLE PARALLEL MECHANISM – MOMA

Abstract: This paper describes a 2-axis reconfigurable parallel mechanism MOMA, and the possibility of its application. Inverse geometry problem for the parallel mechanism is solved and thereafter derived is Jacobian matrix. Equations can presents formalism which may be applied to any configuration of parallel mechanism MOMA. Shown is a method for optimisation length of legs. The method is based on global conditioning index. For different configuration of parallel mechanism were determined optimal length of legs. At the end is explanation the importance of optimal length of legs, what it offers and what is the result if length of legs are different of optimal length.

Key words: parallel mechanism, optimisation, reconfigurable machine tool, Global Conditioning Index