



## MAŠINE SA PARALELNO KINEMATIKOM

Dragan Milutinović<sup>1</sup>, Miloš Glavonjić<sup>2</sup>, Saša Živanović<sup>3</sup>

**Rezime:** U radu se daje presek stanja istraživanja i razvoja u oblasti mašina sa paralelnom kinematikom kao i rezultati istraživanja na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

**Ključne riječi:** paralelni mehanizam, hibridni mehanizam, konfigurisanje, upravljanje

### PARALLEL KINEMATIC MACHINES

**Abstract:** The paper presents the state-of-the-art in the field of parallel kinematic machines as well the results in this field achieved at the Mechanical Engineering Faculty of Belgrade University.

**Keywords:** parallel mechanism, hybrid mechanism, configuration, control

## 1. UVOD

Mašine alatke, roboti i oprema su i danas još uvek ključne oblasti tehnologije. Istraživanja u ovim oblastima u visoko razvijenim zemljama su fokusirana na: rekonfigurabilne mašine i tehnološke sisteme, kao nadogradnje modularnih mašina alatki i fleksibilnih tehnoloških sistema, upravljačke sisteme otvorene arhitekture, i mašine sa paralelnom kinematikom.

Pojava mašina alatki i robota sa paralelnom kinematikom ranih 90-ih godina prošlog veka smatra se za najozbiljniji pomak u ovoj oblasti nakon pojave numeričkog upravljanja. Zbog specifičnosti paralelnih mehanizama i složenosti modeliranja, upravljanja, projektovanja, izrade i korišćenja mašina alatki i robota zasnovanih na njima, istraživanje i razvoj ovih sistema je bazirano na visokom nivou kooperacije univerziteta, istraživačkih instituta i industrije. Ova kooperacija je zastupljena i u nacionalnim i u međunarodnim okvirima. Ove činjenice potvrđuje veći broj nacionalnih i međunarodnih projekata, od kojih su neki završeni, a neki su još uvek u fazi realizacije, kao i to da su prototipovi ovakvih mašina i robota razvijeni na institutima i/ili fabrikama u saradnji sa univerzitetima.

<sup>1</sup> Dr Dragan Milutinović, redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd ([dmilutinovic@mas.bg.ac.yu](mailto:dmilutinovic@mas.bg.ac.yu))

<sup>2</sup> Dr Miloš Glavonjić, vanredni profesor, Mašinski fakultet, Beograd ([mglavonjic@mas.bg.ac.yu](mailto:mglavonjic@mas.bg.ac.yu))

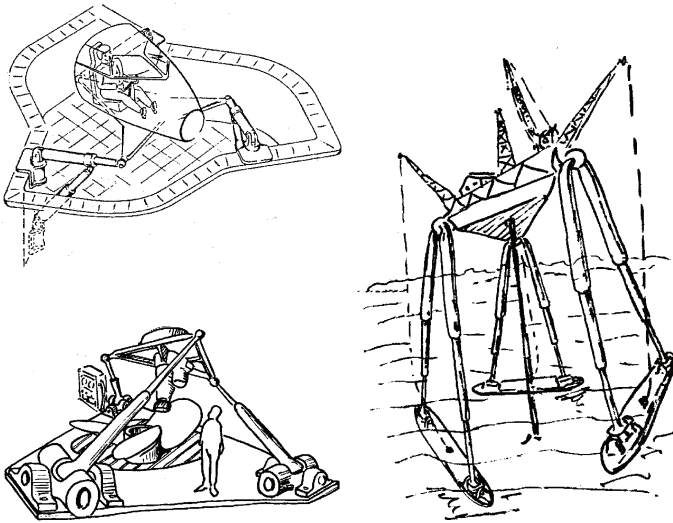
<sup>3</sup> Mr Saša Živanović, asistent, Mašinski fakultet, Beograd ([szivanovic@mas.bg.ac.yu](mailto:szivanovic@mas.bg.ac.yu))

U radu se daje presek stanja istraživanja i razvoja u oblasti mašina sa paralelnom kinematikom kao i rezultati istraživanja na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Istraživanja u oblasti mašina alatki i robota sa paralelnom kinematikom na Katedri za proizvodno mašinstvo su započela neposredno pre pojave prvih komercijalnih paralelnih mašina na IMTS, Čikago 1994. godine (Variac – Giddings& Lewis i Hexapod - Ingresol). Prvi radovi iz ove oblasti kod nas su se pojavili 1996 godine [3,4]. Ovo su bila prva istraživanja u ovoj oblasti u našoj zemlji i po obimnom i dugoročnom programu su imala za cilj razvoj nove generacije domaćih mašina alatki i robota. U istraživanja su na samom startu uključene i domaće fabrike na izradi modela, simulatora i konačno, prvog industrijskog prototipa [5-12,16-20]. Takođe, ostvarena je i međunarodna saradnja u okviru jednog EUREKA projekta sa partnerom iz Grčke [23-25].

## 2. ISTORIJSKI OSVRT

Tip strukture paralelnog mehanizma je poznat već dugo vremena. Još je matematičar Koši je proučavao krutost zglobnog oktaedra (1813). Oktaedralni heksapod je naziv jedne moderne konfiguracije mašine sa paralelnom kinematikom. Mnogo bliže je istraživanje *Gough-a* 1949. godine, koji je koristio sličan paralelni mehanizam za testiranje spoljnih guma [13].



Sl.1 Stjuartova platforma [1]

Ove strukture su reafirmisane 60-ih godina XX veka, kada su se pokazale kao veoma praktično rešenje za ugrađivanje u simulatore leta. Godine 1965. Stjuart je ilustrova svoju strukturu sa paralelnim mehanizmom, kao simulator leta, mašinu alatku, nosač naftne platforme i drugo, slika 1. Od tada, paralelni mehanizam se najčešće popularno naziva Stjuartova platforma. Do današnjih dana je prezentiran vrlo veliki broj različitih projektnih

konceptija paralelnih mehanizama, u mnogim oblastima primene. Mašine sa paralelnom kinematikom već imaju više od desetogodišnje tradicije, računajući od pojavljivanja prvih primeraka, kao sajamskih eksponata, 1994. godine. Do sada je populacija mašina alatki sa paralelnom kinematikom pokrila Aziju, Evropu i Severnu Ameriku, slika 2. Neke od tih mašina već imaju industrijsku primenu, neke su laboratorijski prototipovi, a neke uzorci velikih firmi.

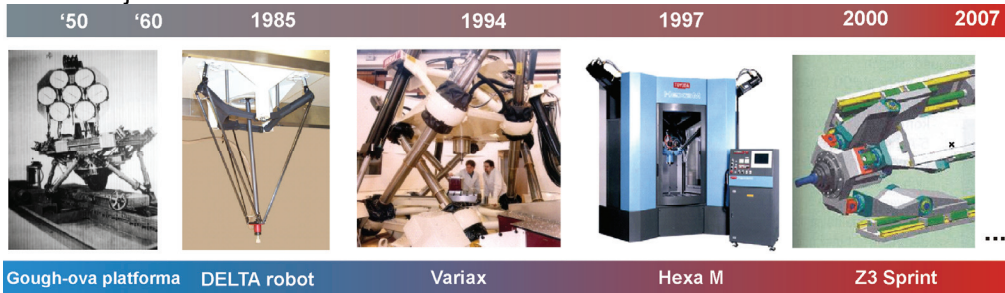


a) HexaM, Toyoda; b) Cosmo Center PM-600, Okuma; c) Eclipse-I, NU Seul; d) TM-1000, Lapik; e) KIM-750, Lapik; f) Trijoints 900H, Kovosvit MAS; g) Tricept 805, NEOS Robotics; h) Mikromat 6X, MIKROMAT/IWU; i) SpechtXperimental, Cross Hüller; j) V100, Index; k) Tricenter DMT100, DMG; l) Hexapod HOH600, WZL; m) Pegasus, Reichenbacher; n) Urane SX, Renault; o) Ulyses I, Fatronic; p) G500, Geodetic; q) Variax, Giddings&Lewis; r) Octahedral Hexpod, Ingersoll; s) Hexel, Sandia.

### Sl.2 Prve komercijalne mašine sa paralelnom kinematikom

Jedna od njih je čak i numerički upravljana merna mašina, slika 2e). Jedna od njih koristi se za obradu drveta slika 2m). Jedna od njih je u jednom birou za brzu izradu prototipova slika 2p). Oko jedne je formiran konzorcijum, slika 2o), itd.

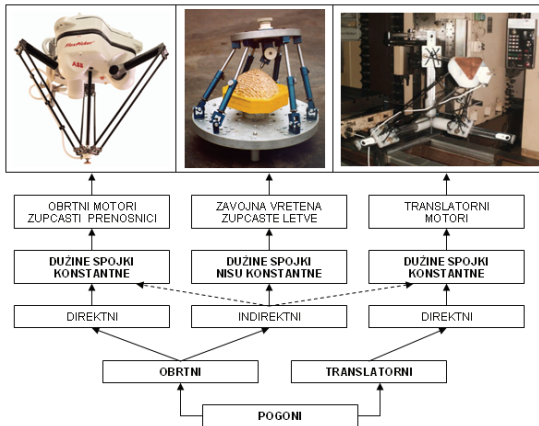
Tako su se u proteklom vremenu menjale koncepcije mašina, njihove primene, sistemi za upravljanje i centri u kojima su se razvijale. Jedna geneza paralelnih mašina ilustrovana je na slici 3.



Sl.3 Istorijski osvrt na razvoj mašina sa paralelnom kinematikom

Među tim mašinama su primerci nastali u Japanu, Evropi i Americi, inicijalna Gough-ova platforma i najprodavaniji DELTA robot, zatvorena mašina Variax, otvoreni HexaM i otvorena hibridna mašina sa paralelnim mehanizmom Z3 Sprint, itd.

### 3. KLASIFIKACIJA MAŠINA SA PARALELNO KINEMATIKOM



Sl.4 Klasifikacija mašina sa paralelnom kinematikom [10]

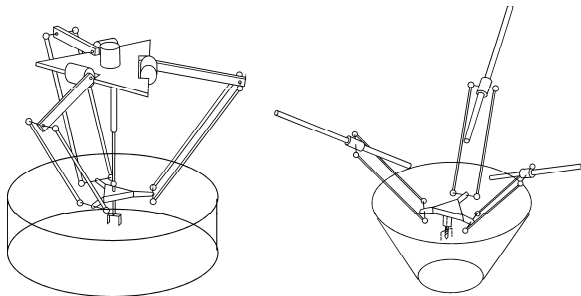
Mašine sa paralelnom kinematikom se vezuju za paralelni mehanizam, a time i za njegovu aktuaciju i upravljanje, bez kojeg nema mašine. Neophodno je preciznije definisati paralelni mehanizam. Paralelni mehanizam je mehanizam u kome je završni član, platforma, spojen sa nepokretnim članom, bazom, pomoću više međusobno nezavisnih serijskih kinematičkih lanaca. Paralelni mehanizmi su već široko zastupljeni u najrazličitijim varijantama. Vodeći istraživački centri imaju projekte o mašinama sa paralelnom kinematikom. Rezultati projekata

uglavnom su prototipovi ovakvih mašina, na kojima se vrše dalja istraživanja koncepcija, performansi i opravdanosti uvođenja mašina sa paralelnom kinematikom. Varijantnost konfiguracija mašina sa paralelnom kinematikom može biti posmatrana po više osnova. Jedna klasifikacija mašina sa paralelnom kinematikom je data na slici 4. Prema tome, kako se ostvaruje pomeranje platforme, mašine sa paralelnom kinematikom (MPK) se mogu podeliti u tri grupe:

- sa obrtnim spojkama fiksnih dužina (efekat isti kao kod mašina sa promenljivim dužinama spojnica),
- sa promenljivim dužinama spojnica i različitim mogućim rasporedima zglobova na bazi i



- sa konstantnim dužinama spojki i pokretnim zglobovima duž aktuatora na bazi.



Karakteristike	obrotni aktuatori	translatorsni aktuatori
Sile na endefektoru	<b>male</b>	velike
Položaj aktuatora	stacionarani u bazi	stacionarani u bazi
Pokretne mase	male	male
Brzina	vrlo velika	velika
Krutost	<b>mala</b>	dobra
Radni prostor	veliki	<b>manji</b>
Struktura	kompaktna	velika baza

Sl.5 Poređenje DELTA paralelnog mehanizma sa obrtnim i translatorsnim aktuatorima

Polazeći od komparativne analize prostornih paralelnih mehanizama sa obrtnim i translatorsnim aktuatorima u [2], na slici 5. su pokazane prednosti i nedostaci DELTA mehanizama sa obrtnim i translatorsnim aktuatorima. Može se uočiti da se mašine uglavnom koriste za višeosnu obradu (3D i 5D). U poslednje vreme dosta istraživačkih centara se bavi problematikom translatorsno pokretnih zglobova sa pravolinijskim aktuatorima i to najčešće sa tri stepena slobode. Ovakva rešenja u

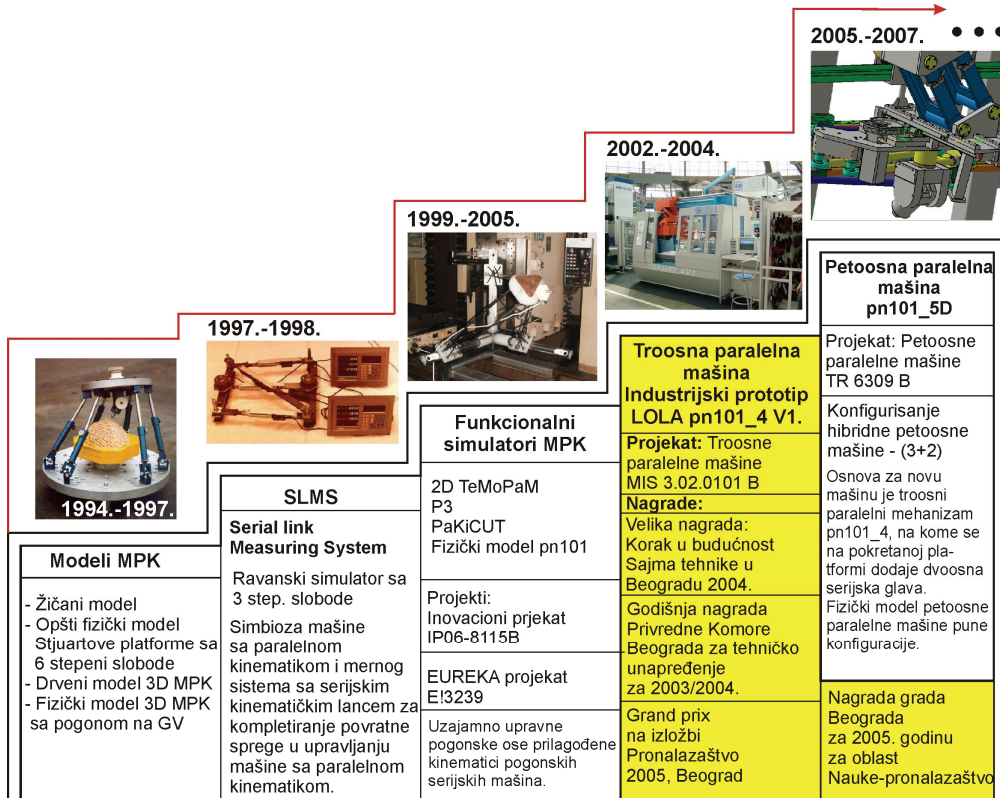
osnovi imaju vrlo slične paralelne mehanizme. Takvi mehanizmi su kinematički ekvivalent DELTA mehanizmu. Različitost ovih mašina potiče od položaja pravolinijskih aktuatora u prostoru strukture mašine. Putanje, po kojima se kreću klizači, koji omogućavaju pomeranje baznih zglobova, mogu zauzeti najrazličitije položaje u prostoru.

#### 4. ISTRAŽIVANJA NA MAŠINSKOM FAKULTETU U BEOGRADU

Istraživanja u ovoj oblasti u našoj zemlji su po obimnom i dugoročnom programu imala za cilj razvoj nove generacije domaćih mašina alatki i robota sa paralelnom kinematikom. Za ovakve mašine je potrebno:

- Tražiti i naći neke komponente sa tehnološkom tradicijom, da bi se dobio bar neki njihov robusni deo.
- Oformiti CAD/CAM/CAE okruženje za konfigurisanje, programiranje, ispitivanje i održavanje takvih mašina.
- Tražiti etalone za geometriju i kinematiku mašina sa paralelnom kinematikom u kojima su pogonske ose u svom koordinatnom sistemu, a alat sa svojim nosačem u svom.
- Premostiti diskontinuitet mašina sa paralelnom kinematikom u odnosu na zatečenu tradiciju standarda i preporuka za ispitivanje i eksploataciju mašina sa numeričkim upravljanjem i serijskom kinematikom.
- Proceniti šta se zaista govori, a šta realizuje kada je tema kalibracija mašina sa paralelnom kinematikom.
- Naslutiti vek ove generacije mašina sa paralelnom kinematikom, taman i da se svi očekivani izazovi u tehnološkim sistemima i ostvare.
- Naći način da se nešto proveriti sopstvenim snagama...[16].

Kako su odgovori na ova pitanja traženi na Mašinskom fakultetu ilustrovano je na slici 6. Na početku je bio fizički model Stjuartove platforme, sa dodatim modelom njenog radnog prostora, potom je eksperimentisano sa serijskim mernim sistemom u strukturi paralelnog mehanizma, onda su pravljene funkcionalni simulatori, pa je napravljena troosna paralelna mašina, dok je sada aktuelna izrada jedne petoosne paralelne mašine.

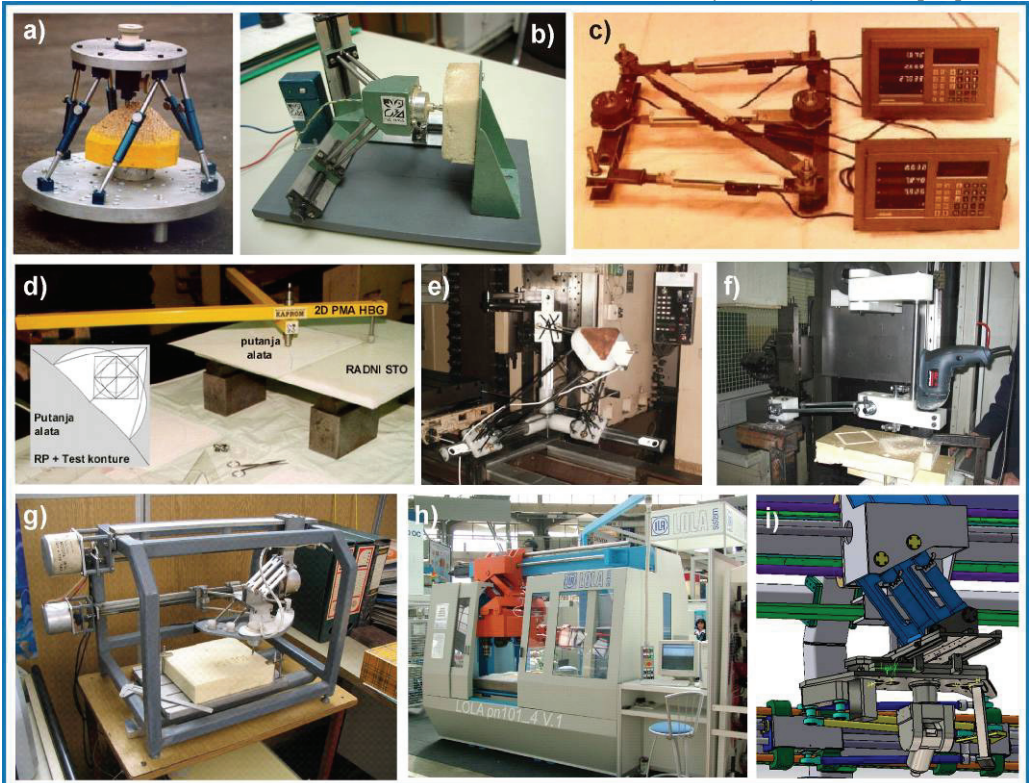


Sl.6 Etape istraživanja na Mašinskom fakultetu u Beogradu

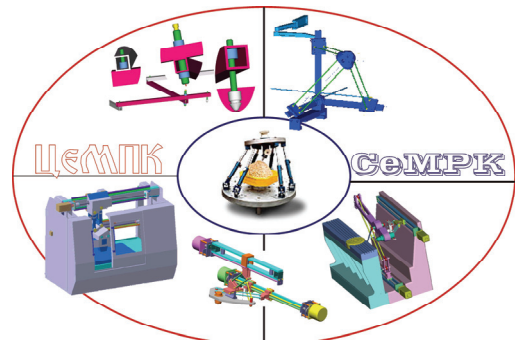
Mi smo našli načina da kroz istraživačke domaće i međunarodne projekte, edukaciju, diplomske radove, magistarske teze i doktorske disertacije ostvarimo rezultate sopstvenim snagama. Ovi rezultati obuhvataju sledeće celine:

- Opšti fizički model Stjuartove platforme sa 6 stepeni slobode, slika 7a).
- Fizički model troosne paralelne mašine sa uzajamno upravnim pogonskim osama 3DMPK, slika 7b).
- SLMS – Ravanski simulator sa 3 stepena slobode i simbioza mašine sa paralelnom kinematikom i mernog sistema sa serijskim kinematičkim lancem, slika 7c).
- Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom (2D TeMoPaM), slika 7d).
- P3 - funkcionalni simulator troosne glodalice sa paralelnom kinematikom za baznu mašinu HBG80, slika 7e).
- PaKiCUT – funkcionalni simulator troosne glodalice sa paralelnom kinematikom za baznu mašinu HMC500, slika 7f).

- pn 101\_4 fizički model troosne paralelne mašine u razmeri 1:5, slika 7g) [22,26,30].
- Prototip LOLA pn 101\_4 V1. troosne mašine sa paralelnom kinematikom (instalisan u LOLA Sistemu), slika 7h).
- Petoosna hibridna paralelna mašina 5D\_pn101 (Tekući projekat), slika 7i).
- Pokazni Centar za Mašine sa Paralelnom Kinematikom (CeMPK), slika 8 [21].



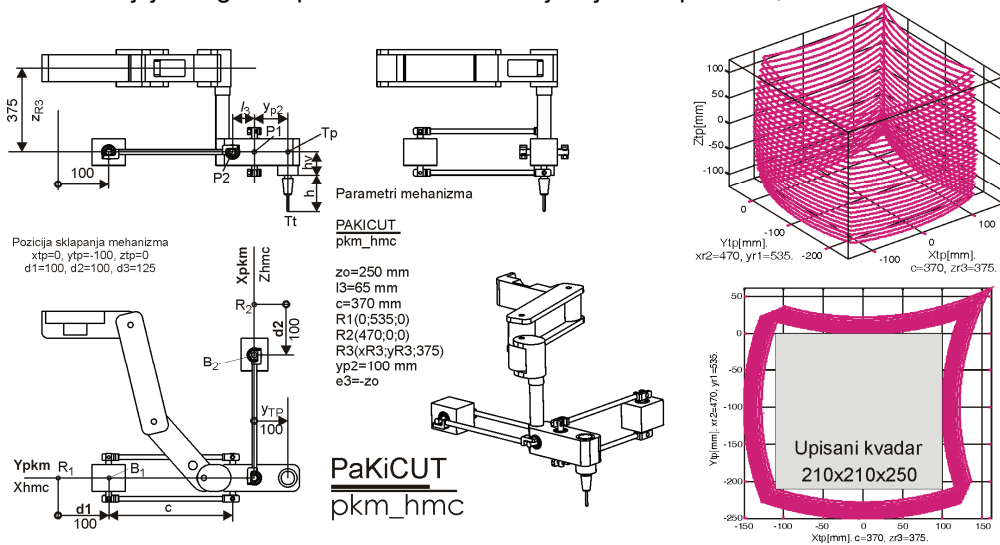
*Sl.7 Rezultati istraživanja mašina sa paralelnom kinematikom na Mašinskom fakultetu u Beogradu*



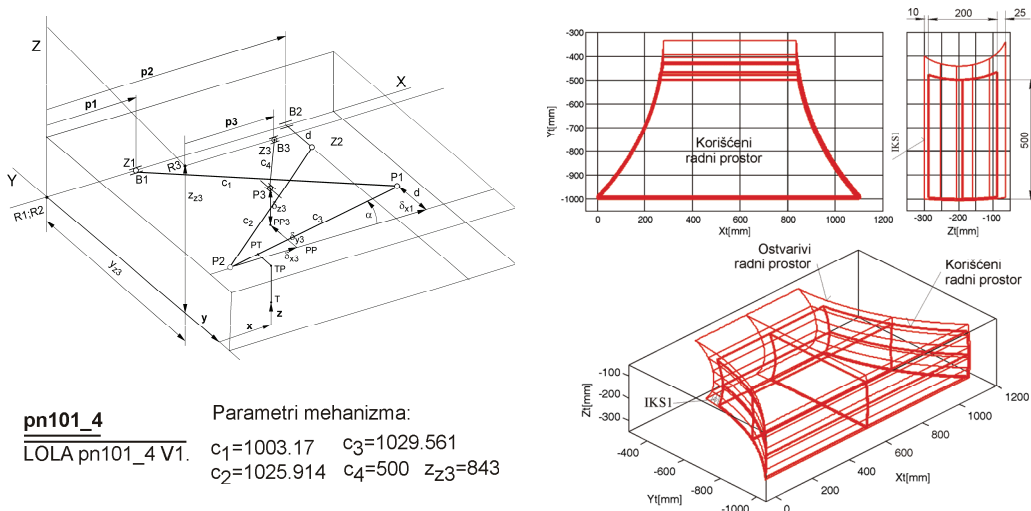
*Sl.8 Pokazni Centar za Mašine sa Paralelnom Kinematikom [21]*

### 4.1 Optimizacija parametara paralelnog mehanizma

Pomoću parametara paralelnog i/ili hibridnog mehanizma obično podešavamo oblik, mere i položaj radnog prostora u odnosu na singularitete mehanizma. Na primer, troosni mehanizam PaKiCUT, u jednom funkcionalnom simulatoru, već je podešen da radi daleko od svojih singulariteta pa mu se parametri podešavaju da njegov radni prostor bude što pravilniji. Tako je dobijen radni prostor u koji se može upisati kvadar sa merama 210x210x250 mm za hodove pogonskih osa od 250 mm, slika 9. Međutim, parametrima troosnog paralelnog mehanizma pn101\_4 podešavan je i položaj radnog prostora u odnosu na kritični singularitet IKS1 i njegov oblik pomoću parametara  $c_1, c_2, c_3, c_4, z_{z3}$ . Tako je u granicama ostvarivog radnog prostora izdvojen korišćeni radni prostor u koji je moguće upisati kvadar zadovoljavajuće zapremine, slika 10.



Sl.9 Primer optimizacije parametara paralelnog mehanizma PaKiCUT[23]



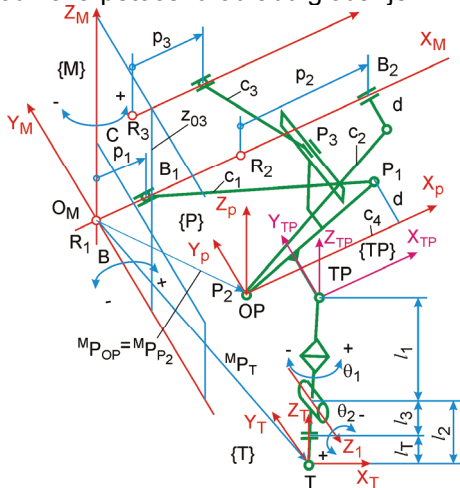
Sl.10 Primer optimizacije parametara paralelnog mehanizma pn101\_4 [16]



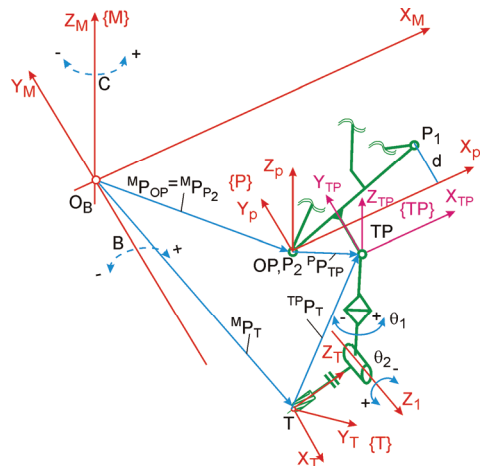
#### 4.2 Kinematičko modeliranje paralelnih i hibridnih mehanizama

Vršimo ga radi pripreme za upravljanje i programiranje mašine. Za zadatu poziciju vrha alata  ${}^M p_T = [x_T \ y_T \ z_T]^T$  i orijentaciju alata definisanu ortom  ${}^M k_T = [k_{Tx} \ k_{Ty} \ k_{Tz}]^T$ , odnosno, uglovima orijentacije alata  $B$  i  $C$ , treba odrediti pozicije klizača  $p_1$ ,  $p_2$  i  $p_3$  i uglove  $\theta_1$  i  $\theta_2$ . Na slici 11a,b) pokazan je kinematički model jedne petoosne hibridne mašine [27]. Serijski mehanizam (slika 11b) obično modeliramo po Denavit-Hartenberg-ovoj konvenciji. Inverzni i direktni kinematički problem paralelnog mehanizma obično rešavamo pomoću vektorskog računa. Rezultati za ovaj mehanizam dati su na slici 11c,d). Određivanje uglova  $\theta_1$  i  $\theta_2$  je vrlo jednostavno:  $\theta_1 = C$  i  $\theta_2 = -B$ . Veza između koordinata orta ose alata ( $k_{Tx}$ ,  $k_{Ty}$ ,  $k_{Tz}$ ) i uglova  $B$  i  $C$  je:  $B = \pm A \tan 2(\sqrt{1-k_{Tz}^2}, k_{Tz})$ ,  $C = A \tan 2(k_{Ty}, k_{Tx})$ ,  $k_{Tx} = cCsB$ ,  $k_{Ty} = sCsB$ ,  $k_{Tz} = cB$ .

Za sistem za upravljanje ove mašine potrebne su pozicije pogonskih osa paralelnog mehanizma ( $p_1$ ,  $p_2$  i  $p_3$ ) i pozicije obrtnih osa  $B$  i  $C$  serijskog mehanizma. Tih 5 pozicija obično se određuje pomoću CAM sistema koji ima adekvatan postprocesor i podržava petoosnu obradu glodanjem.



a) Kinematički model hibridne mašine



b) Kinematički model dvoosnog serijskog dela hibridnog mehanizma

$$p_1 = x_{p_2} + c_4 - \sqrt{c_1^2 - (y_{p_2} + d)^2 - z_{p_2}^2}$$

$$p_2 = x_{p_2} + \sqrt{c_2^2 - (y_{p_2} + d)^2 - z_{p_2}^2}$$

$$p_3 = x_{p_2} + x_{p_3} - \sqrt{c_3^2 - (z_{p_2} + z_{p_3} - z_{03})^2}$$

c) Rešenje inverznog kinematičkog problema za troosni paralelni mehanizam

$$x_{p_2} = \frac{p_2^2 + c_1^2 - c_2^2 - (p_1 - c_4)^2}{2(p_2 - p_1 + c_4)}$$

$$z_{p_2} = z_{03} - z_{p_3} - \sqrt{c_3^2 - (p_3 - (x_{p_2} + x_{p_3}))^2}$$

$$y_{p_2} = -d - \sqrt{c_2^2 - (p_2 - x_{p_2})^2 - z_{p_2}^2}$$

d) Rešenje direktnog kinematičkog problema za troosni paralelni mehanizam

Sl. 11 Kinematički model jedne petoosne hibridne mašine



## 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] T. Arai, K. Cleary, T. Nakamura, H. Adachi, K. Homma, Analysis and Construction of a Prototype Parallel Link Manipulator, Proceedings of the IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, IROS, 1990, pp 205-212
- [3] Glavonjic, M., Milutinović D., Stjuartov mehanizam u novoj generaciji obradnih centara i robota, 22. JUPITER konferencija, 18. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str 3.53 - 3.63, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
- [4] Glavonjić M., Milutinović D., Novi kinematički podsistem mašine alatke, 26. Međunarodno savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, str.553-559, Podgorica-Budva, 1996.
- [5] Milutinović D., Glavonjić M., Serial Link Measuring System - based Approach for Testing and Control of Stewart Platform - based Machines; Proceedings of the Fourth ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems, Moscow, 1998. pp.288-293.
- [6] Milutinović D., Glavonjić M., Pose measurement of Parallel Kinematics Machines with Serial Link Measuring System in Parallel Kinematic Machines-Theoretical Aspects and Industrial Requirements, Eds. Boer C.R., Molinari Tosatti L., and Smith K.S., Springer Verlag, 1999, pp.189-203.
- [7] Milutinovic,D., Glavonjic, M., Simbioza mašina sa paralelnom kinematikom i mernog sistema sa serijskim kinematičkim lancem, 25. JUPITER konferencija, 21. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str 3.43 - 3.50, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.
- [8] Živanovic S., Parallel Kinematic Machines, International Journal of Production Engineering and Computers, Volume 3, Number 3, pp.49-54, 2000.
- [9] Živanovic, S., Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom, magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [10] Čović N., Razvoj konceptualnog projektovanja jedne klase fleksibilnih tehnoloških sistema, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [11] Milutinovic D., Glavonjic M., Stanje istraživanja i perspektive razvoja i primene mašina sa paralelnom kinematikom u Jugoslaviji, 26. JUPITER konferencija, 22. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str.3.1-3.6, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [12] Milutinović D., Čović N., Glavonjić M., Functional simulator of 3D Parallel Kinematics Milling Machine, Proceedings of 27th JUPITER Conference with foreign participants, pp. 3.1-3.10, 23th Simposium NU-Roboti-FTS, Beograd, 2001.
- [13] M. Weck (1), D. Staimer, Parallel Kinematic Machine Tools – Current State and Future Potentials, Annals of the CIRP Vol51/2/2002, pp 671-681
- [14] S. Živanović, Metodologija za sistematizaciju mašina sa paralelnom kinematikom, 28. JUPITER konferencija, 24. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.117-3.120, Mašinski fakultet, Beograd, 2002.
- [15] Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Novi paralelni mehanizam na bazi DELTA koncepta, 28. JUPITER konferencija, 24. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.121-3.126, Mašinski fakultet, Beograd, 2002.

- [16] M. Glavonjić, D. Milutinović, S. Živanović, V. Kvirgić, Z. Višnjčić, O jednoj troosnoj paralelnoj mašini, Mašinski fakultet, Beograd, 30. JUPITER konferencija, Zbornik radova (CD), str.3.49-3.54, 2004.
- [17] D. Milutinović, M. Glavonjić, V. Kvirgić, S. Živanović, A New 3-DOF Spatial Parallel Mechanism for Milling Machines with Long X Travel, pp. 345-348, Annals of the Vol54/1, CIRP 2005.
- [18] 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.
- [19] 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, str.3.6-3.11, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, 2005.
- [20] Živanović, S., Ivanović, R., Simulacija kinematike troosne paralelne mašine sa translatorno pokretnim aktuatorima duž X ose, 7. Međunarodni naučno-stručni skup o dostignućima elektro i mašinske industrije DEMI 2005, Zbornik radova, str.77-82, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, maj, 2005.
- [21] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Pokazni centar za mašine sa paralelnom kinematikom, Naučno - stručni časopis iipp – Istraživanja i projektovanja za privredu, str. 29-34, 2005.
- [22] Živanović, S., Fizički model petoosne mašine sa paralelnom kinematikom, IX Međunarodna konferencija Fleksibilne tehnologije mma 2006, Zbornik radova, ISBN 86-85211-96-4, str. 57-58, Novi Sad, jun 2006.
- [23] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Bouzakis, K., Mitsi, S., Misopolinos, L., Development of a Parallel Kinematic device Integrated into a 3-axis Milling centre, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Manufacturing Engineering ICMEN and EUREKA Brokerage Event, pp.351-361, Kassandra-Chalkidiki, Greece, october, 2005.
- [24] Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Funkcionalni simulator troosnih mašina sa paralelnom kinematikom, 31. Savetovanje proizvodnog mašinstva SCG sa međunarodnim učesćem, Zbornik radova, str.295-304, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2006.
- [25] Živanović, S., Konfigurisanje funkcionalnih simulatora troosnih mašina sa paralelnom kinematikom, Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema - IRMES '06, Zbornik radova, str.95-100, Mašinski fakultet Banjaluka, 2006.
- [26] S. Živanović, Z. Dimić, Upravljanje modela troosne mašine sa paralelnom kinematikom pn 101 na bazi EMC sistemskog softvera, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, rad u štampi, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, maj 2007.
- [27] M. Glavonjić, D. Milutinović, S. Živanović, Z. Dimić, Konfiguracija jedne hibridne petoosne mašine, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, rad u štampi, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, maj 2007.
- [28] EMC - Enhanced Machine controller web site - [www.linuxcnc.org](http://www.linuxcnc.org)
- [29] NIST - National Institute of Standards and Technology web site - [www.nist.gov](http://www.nist.gov)
- [30] Živanović, S., Konfigurisanje jedne troosne mašine sa paralelnom kinematikom, 30. Jubilarno savetovanje proizvodnog mašinstva SCG, Zbornik radova, str.119-124, Vrnjačka banja, 2005.