



REKONFIGURABILNI OBRADNI SISTEM NA BAZI PETOOSNOG ROBOTA

Milutinović Dragan¹, Glavonjić Miloš², Živanović Saša³, Slavković Nikola⁴

Rezime: Istraživanje u oblastima tehnologija višeosne obrade i rekonfigurabilnih obradnih sistema su danas veoma aktuelna u svetu. Istraživanje i razvoj tehnologija višeosne obrade i rekonfigurabilnih obradnih sistema čiji se deo rezultata opisuje u ovom radu se odnosi na obradu složenih estetskih i funkcionalnih površina na delovima od mekih materijala, većih gabarita, niže klase tačnosti. Za ove oblasti primene u domaćoj industriji se umesto velikih i skupih petoosnih mašina alatki u ovom radu opisuje planirana i delimična realizacija rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi postojećeg industrijskog robota domaće proizvodnje.

Ključne riječi: mašine alatke, roboti, rekonfigurabilni obradni sistem

5 AXIS ROBOT BASED RECONFIGURABLE MACHINING SYSTEM

Abstract: Research and development in the fields of multi-axis machining and reconfigurable machine tools are very intensive world wide. This paper presents the part of research results in the development of robot based reconfigurable multi-functioned machining system for large parts of soft materials with lower tolerances and sculptured surfaces.

Keywords: machine tool, robot, reconfigurable machining system

1. UVOD

Kao što je poznato, savremene 5-oozne mašine alatke karakteriše visoka cena i relativno mali radni prostor. Ove činjenice su snažno motivisale proizvođače robota da pokriju prostor obrade velikih delova sa složenim površinama od mekih materijala i niže klase tačnosti. Industrijski roboti na današnjem nivou razvoja imaju izuzetne karakteristike u pogledu nosivosti, tačnosti i dinamike. Poredeći ih sa 5-ooznim mašinama alatkama, za pomenutu klasu zadataka, odlikuje ih mnogo veći radni prostor i cena koja je niža skoro za red veličine. Međutim, jedan od najvećih nedostataka današnjih robota je njihovo programiranje. Naime, svaki proizvođač robota ima svoj jezik za programiranje. S obzirom da su roboti po definiciji multifunkcionalne mašine, robotski jezici pokrivaju vrlo različite oblasti primene kao što su manipulacija,

¹ dr Dragan Milutinović, Beograd, Mašinski fakultet, (dmilutinovic@mas.bg.ac.yu)

² dr Miloš Glavonjić, Beograd, Mašinski fakultet, (mglavonjic@mas.bg.ac.yu)

³ mr Saša Živanović, Beograd, Mašinski fakultet, (szivanovic@mas.bg.ac.yu)

⁴ Nikola Slavković, dipl. maš. inž, Beograd, Mašinski fakultet, (nslavkovic@mas.bg.ac.yu)

zavarivanje, bojenje i tzv. pomoćne operacije obrade kao što su obaranje ivica, čišćenje, poliranje i slično. Programski jezici za robote su u kombinaciji sa obučavanjem pogodni za slučajeve gde se jednom napisan program koristi duže vremena. Međutim, za primenu robota u brzom izradi prototipova ili u višeosnoj obradi programiranje robota programskim jezicima je veoma složeno i dugotrajno. Razlog za ovo leži u nedovoljnoj kooperativnosti proizvođača robota u poređenju sa proizvođačima mašina alati koji su bili spremni da koriste CAD/CAM sisteme na bazi standarda RS274, odnosno G kod. Prema [1,4] razlog za ovo je ležao u relativno malom tržištu robota, ali i nespremnosti proizvođača robota da otkriju detalje svojih upravljačkih algoritama i softvera.

U cilju savladavanja ove ozbiljne barijere za primenu robota u višeosnoj obradi mekših delova velikih gabarita danas je pokrenuto nekoliko projekata kako od velikih i renomiranih proizvođača robota (KUKA, Motoman, Fanuc, Staubli), tako i od proizvođača softvera (Delcam). Primeri robota za obradu proizvođača robota KUKA i Staubli su pokazani na slici 1. Osnovni cilj ovih projekata je razvoj softvera za prevođenje G koda generisanih iz postojećih postprocesora za petosne mašine alatke, na njihove robotske programske jezike.



Sl.1 Primeri robota za obradu proizvođača robota KUKA i Staubli

Polazeći od dugogodišnjeg iskustva Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu, pokrenut je projekat razvoja pilot rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi robota za delove većih gabarita od mekših materijala, niže klase tačnosti i sa složenim estetskim i funkcionalnim površinama [1]. U ovom radu se daje postavka koncepta rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi robota domaće proizvodnje.

2. KONCEPT REKONFIGURABILNOG OBRADNOG SISTEMA NA BAZI ROBOTA

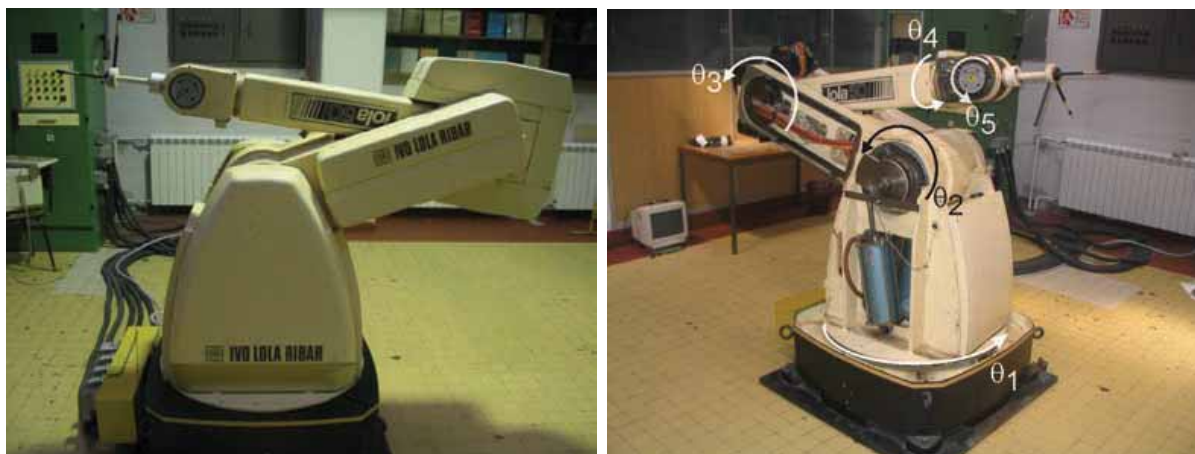
Potrebu za tehnologijom višeosne obrade složenih estetskih i funkcionalnih površina kao i za rekonfigurabilnim multifunkcionalnim obradnim sistemima imaju preduzeća u oblastima: izrade delova od lakih legura, obrade drveta, obrada drugih nemetala (kamen, plastika, staklo, kompozit), livenje metala (modeli, kalupi za jezgra i sl.), izrada alata za proizvode od kompozita (korita čamaca, kabine vozila, ljuski lopatica, branika i sl.). Takođe značajan prostor za primenu ovakvih obradnih sistema predstavljaju i potrebe za restauracijom objekata kulturne baštine (crkve, manastiri, spomenici i sl.), kao i pozorišna i filmska scenografija [1,2].

Planirani rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota za izabranu klasu delova treba da obezbedi brzu izradu, na jednom mestu, složenih delova velikih gabarita od mekših materijala niže klase tačnosti sa složenim površinama generisanim raspoloživim CAD/CAM sistemima i metodama reverznog inženjerstva.

Ovakav sistem bi imao višestruko nižu cenu od postojećih petoosnih mašina alatki i zadovoljio zahteve u pogledu obrade niže klase tačnosti.

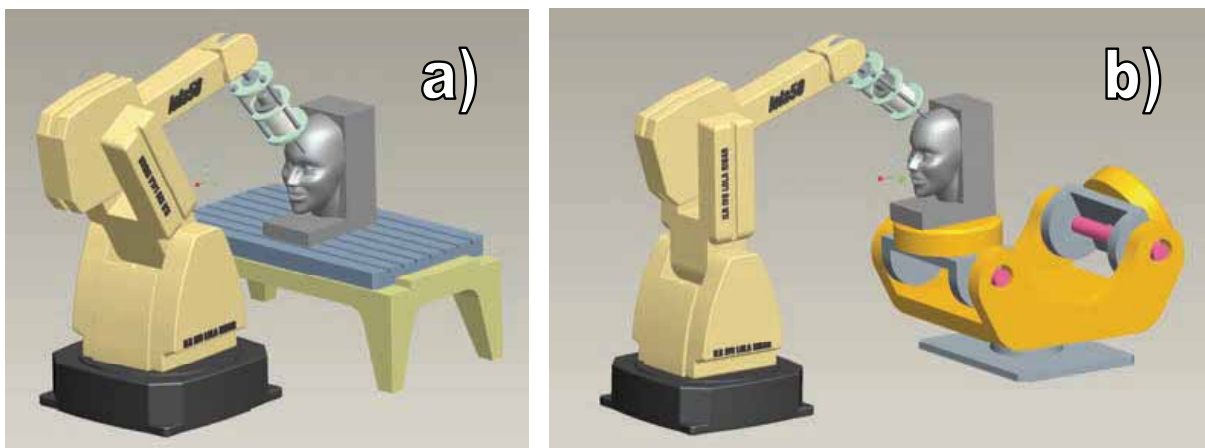
Postavka koncepta rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi robota koja se ovde ukratko daje se zasniva na:

- raspoloživom 6-ooenom robotu domaće proizvodnje LOLA 50, slika 2, velikog radnog prostora, nosivosti i krutosti, sa mogućnošću rekonstrukcije na 5 osa;



Sl.2 Petoosna verzija Industrijskog robota LOLA 50

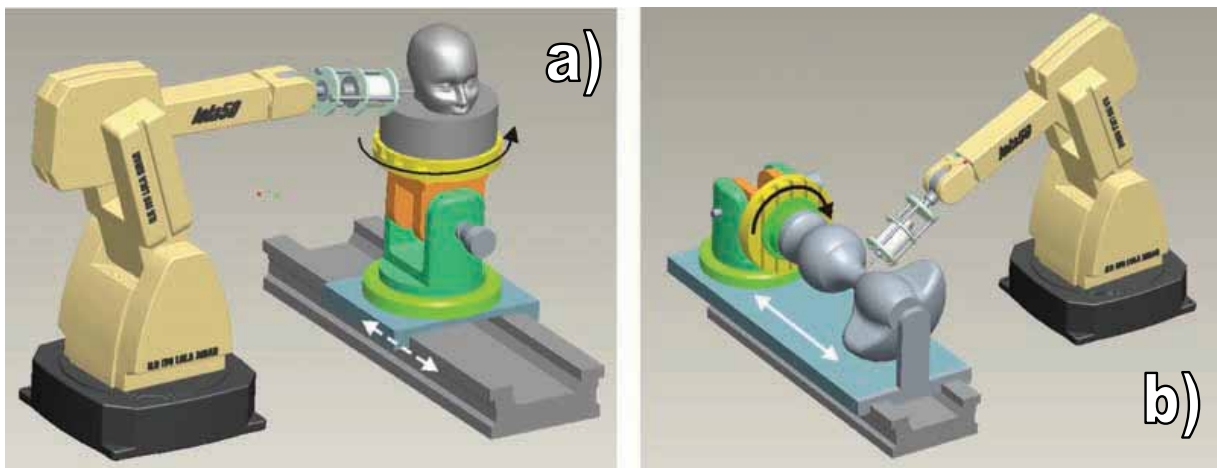
- upravljačkom sistemu koji se konfigurira na bazi EMC2 (*Enhanced Machine Controller*) [5,6], softvera i PC hardvera, koji će omogućiti programiranje u G-kodu, za sva kretanja koja ostvaruje robot, slika 3a,b).
- mogućnosti dogradnje dodatnih osa (pozicionih i kontinualnih) za specifične višeosne obrade, slike 4a,b) što čini osnovu rekonfigurabilnosti sistema.



a) robot sa radnim stolom

b) robot sa izmenjivačem paletnim pozicionerom

Sl.3 Konceptualni modeli obradnog sistema na bazi petoosne verzije robota kada sva kretanja ostvaruje robot



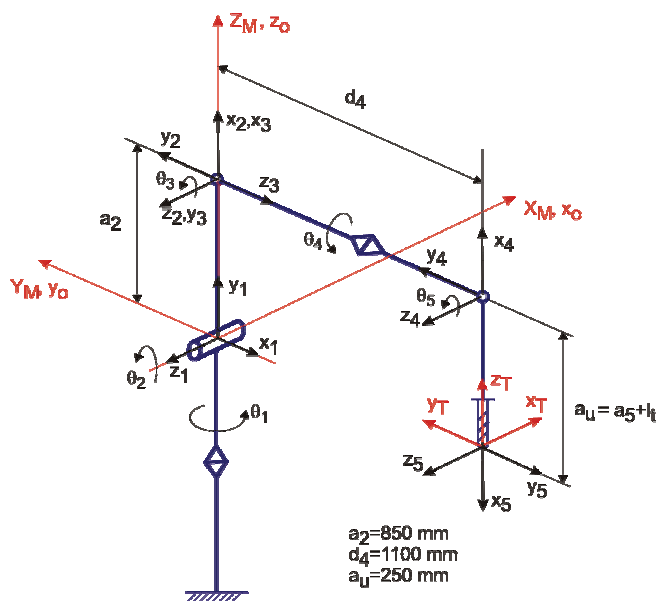
a) translatorna osa poziciona, obrtna kontinualna

b) translatorna i obrtna osa kontinualne

Sl.4 Konceptualni modeli rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi petoosne verzije robota sa jednom od varijanti dodatnih osa u dve različite konfiguracije

3. UPRAVLJANJE I PROGRAMIRANJE

Upravljački sistem je baziran na PC Linux platformi i upravljačkom softveru otvorene arhitekture EMC2 (Enhanced Machine Control) [5], koji je namenjen za upravljanje mašina alatkama i robotima serijske i paralelne kinematike. Ovaj softver je veoma popularan na univerzitetima širom sveta jer se jednostavno konfigurira za upravljanje različitim mašinama. EMC2 je izrađen na osnovi NIST-ove (National Institute of Standards and Technology) [6] RCS (Real-time Control System) metodologije i programiran je korišćenjem RCS biblioteke. Specifičan pristup kinematičkom modeliranju robota LOLA 50 (rešenje inverzne i direktne kinematike) je izvršeno po konvenciji za petoosne vertikalne mašine alatke slika 5.



Sl.5 Kinematički model robota LOLA50 za petoosnu obradu

Modeliranje robota LOLA 50 je izvršeno po Denavit-Hartenberg-ovoj konvenciji s tim što su uvedene dve dodatne transformacije koje se odnose na koordinatne sisteme alata i mašine po konvenciji za petoosne vertikalne mašine alatke. Pozicija i orijentacija alata, odnosno koordinatnog sistema vezanog za vrh alata $\{T\}$, u odnosu na koordinatni sistem robota kao mašine $\{M\}$ je definisana jednačinom (1)

$${}^M T_T = {}^M T_o \cdot {}^o T_5 \cdot {}^5 T_T = \begin{bmatrix} i_x & j_x & k_x & x_m \\ i_y & j_y & k_y & y_m \\ i_z & j_z & k_z & z_m \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

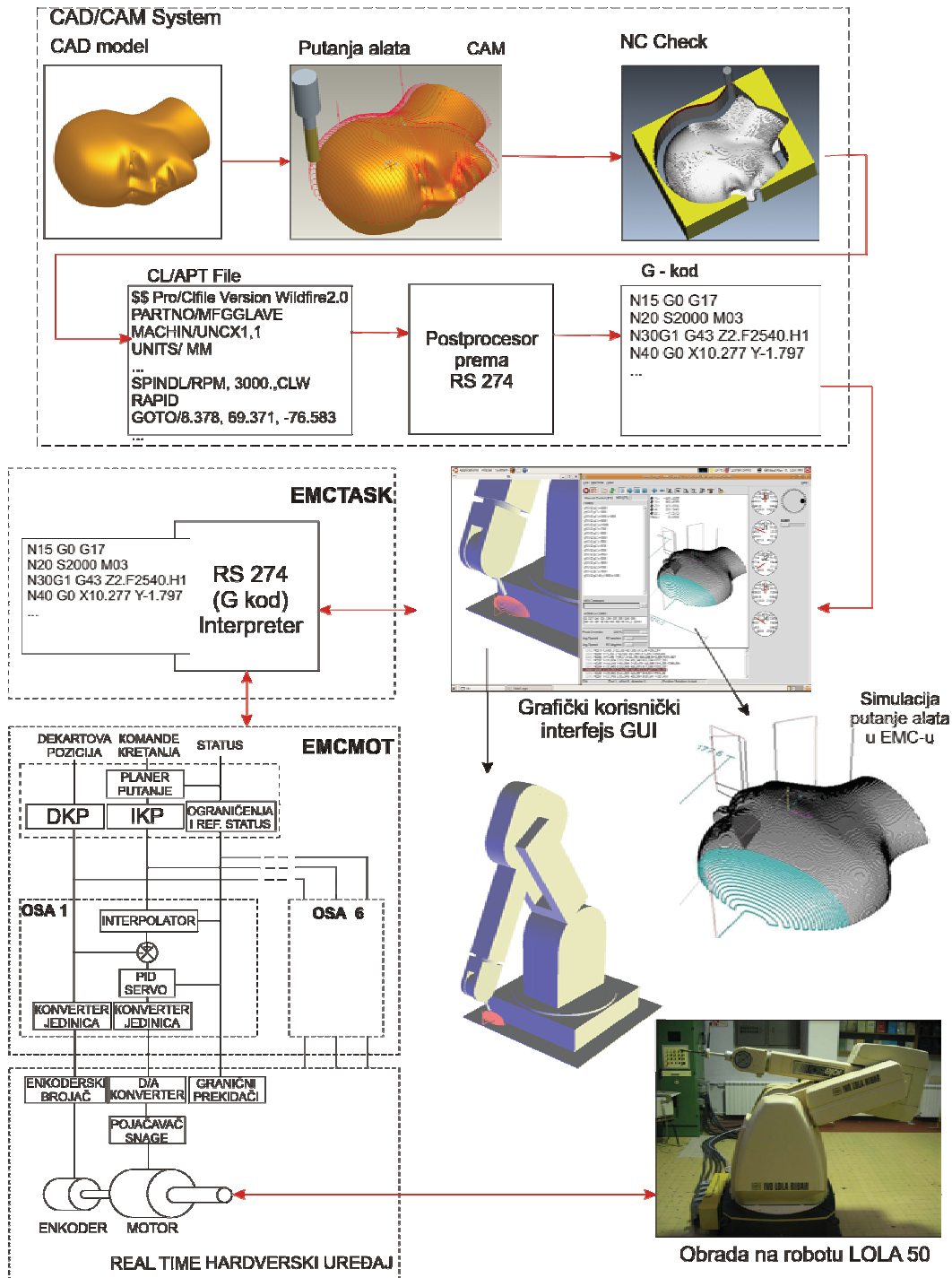
gde matrica ${}^o T_5$ određuje poziciju i orijentaciju koordinatnog sistema Ox5y5z5 vezanog za vrh end-efektora u odnosu na koordinatni sistem Oxoyozo, vezanog za bazu robota. Matrica ${}^5 T_T$, definiše poziciju i orijentaciju koordinatnog sistema $\{T\}$ u odnosu na koordinatni sistem Ox5y5z5. Matrica ${}^M T_o$ definiše poziciju i orijentaciju baznog koordinatnog sistema robota u odnosu na usvojeni koordinatni sistem po konvenciji za petoosne vertikalne mašine alatke.

Za ovako postavljeni kinematički model rešenje direktnog kinematičkog problema je jednostavno. Međutim rešavanje inverznog kinematičkog problema je veoma specifično kako za slučaj da samo robot izvodi sva kretanja tako i u slučajevima preraspodele kretanja između robota i dodatnih osa. Za rešeni direktni i inverzni kinematički problem, napisane su odgovarajuće funkcije u C++ jeziku i integrisane sa HAL (Hardware Abstarct Layer) u EMC2-u.

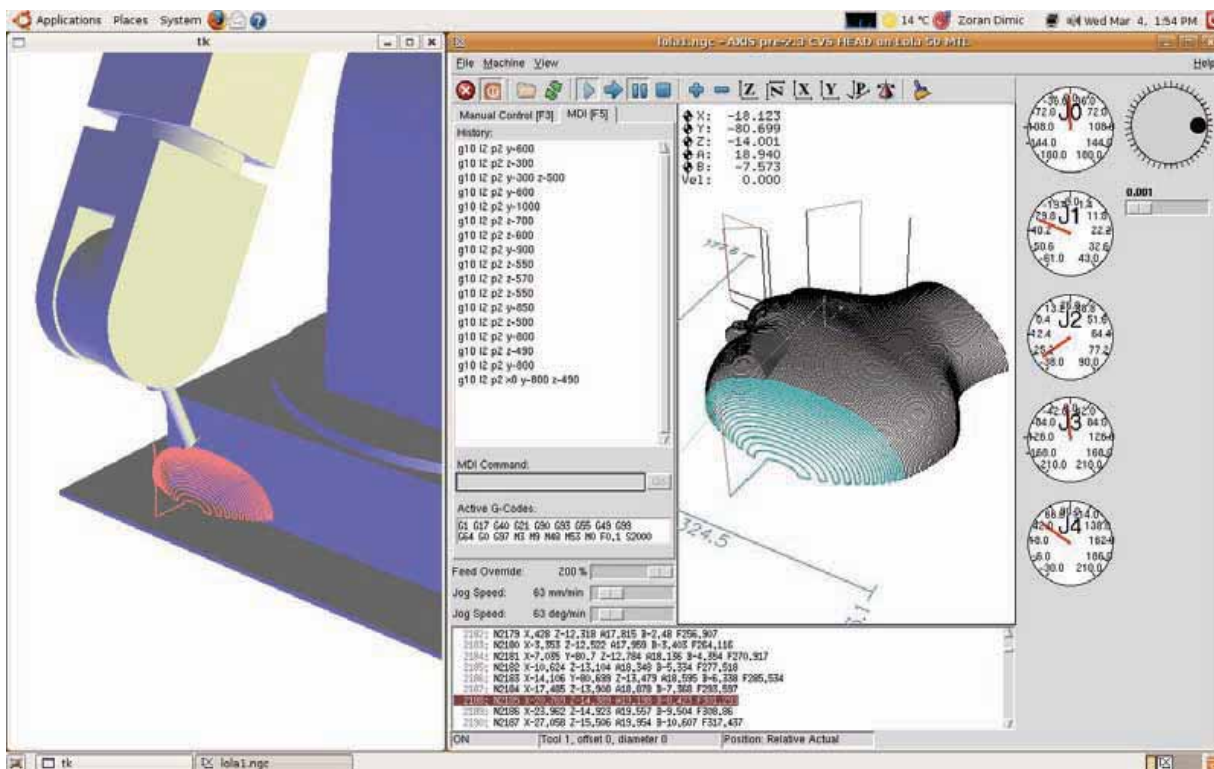
Polazeći od postavljenog cilja da se planirani rekonfigurabilni obradni sistem na bazi petoosnog robota programira kao CNC mašina alatka primenom G-koda (RS274), dobijenog iz raspoloživih CAD/CAM sistema, sistem upravljanja i programiranja je konfigurisan kao što je pokazano na slici 6.

Polazi se od CAD modela za koji se u CAD/CAM sistemu (Pro/Engineer) generiše putanja alata (CLF – Cutter Location File). Za dobijenu putanju alata prvo se vrši njena verifikacija u raspoloživom softveru za simulaciju uklanjanja materijala (slika 6), a zatim pristupa postprocesiranju CLF radi dobijanja G-koda za petoosnu horizontalnu glodalicu. Razmatrane su varijante postprocesora za konfiguracije mašina (X,Y, Z,A,B) i (X,Y, Z,A,C) [1,2], gde X,Y,Z predstavlja poziciju vrha alata, a A,B i C uglove orijentacije alata. Za varijantu sistema sa slike 3a, gde sva kretanja izvodi robot usvojen je postprocesor za konfiguraciju mašine (X,Y, Z,A,B). Tako dobijeni G-kod se učitava u upravljački softver EMC2 gde se najpre vrši verifikacija programa na virtuelnoj mašini u realnom vremenu, slika 7, a zatim se upravljački signali sa sigurnošću mogu usmeriti ka realnom robotu kao petoosnoj vertikalnoj mašini. Verifikacija programa u realnom vremenu na virtuelnoj mašini je neophodno zbog kinematike robota koja se bitno razlikuje od kinematike petoosnih mašina alatki (3 translatorne + 2 obrtne ose) čiji se G-kod preuzima. Takođe je vrlo značajna analiza postavljanja obratka u radni prostor veštine robota, tako da obrada bude izvedena, do kraja, a da ni jedna osa ne dođe do kraja svog hoda. To se proverava upravo na simulatoru, odnosno na

virtuelnom robotu kao mašini, gde se vrši verifikacija G-koda, sa pomeranjem segmenata i ispisivanjem putanje alata, kao da je reč o realnom robotu, slika 7. Ukoliko dođe do prekoračenja hoda neke ose, vrši se korekcija postavljanja obratka u radni prostor i postupak ponavlja do ispunjenja svih uslova za obradu.



Sl.6 Koncept sistema upravljanja i programiranja



Sl.7 Prikaz ekrana za simulaciju putanje alata i simulator virtuelnog robota

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan koncept i delimična realizacija rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi petoosnog robota, kao deo istraživanja na projektu Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije.

U ovoj fazi istraživanja konfigurisan je virtuelni sistem upravljanja i programiranja za slučaj obrade petoosnim robotom, pri čemu sva kretanja ostvaruje robot, dok obradak miruje. Napravljen je simulator virtuelnog robota kao mašine, za potrebe simulacije i testiranja programa pre slanja programa na realan robot. Nakon toga je tako konfigurisan sistem implementiran na realnom rekonstruisanom petoosnom robotu LOLA 50, čime je zamenjena postojeća upravljačka jedinica, koja je imala PTP (Point to Point) uravljanje i sistem programiranja obučavanjem.

Suštinu novo konfigurisanog sistema upravljanja i programiranja čini mogućnost programiranja robota u višeosnoj obradi pomoću G-koda. Ovaj pristup se bitno razlikuje od postojećih sistema programiranja robota robotskim jezicima, što je za obradu veoma komplikovano. Takođe, ovako konfigurisan sistem upravljanja i programiranja se razlikuje i od danas aktuelnih pokušaja da se za obradu robotima, vrši prevođenje G-koda u robotske jezike [7]. Sistem je testiran na većem broju primera, koji su programirani u raspoloživom CAD/CAM sistemu.

U narednim fazama istraživanja definišaće se broj, vrste i rapored dodatnih pomoćnih i pozicionih translatorskih i obrtnih osa. Ovo znači da će se sistem upravljanja i programiranja modifikovati tako da će omogućiti petoosnu obradu različitim kombinacijama osa robota i dodatnih pomoćnih osa.

5. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije, koji je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Vlade Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Milutinović, D., Kvrgić, V., Dimić, Z., Živanović, S., Glavonjić, M., Multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem za višeosnu obradu složenih alata i delova velikih gabarita, Elaborat, Mašinski fakultet Beograd, 2008.
- [2] Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Dimić, Z., Multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova ISBN 978-86-7892-131-5, str. 369-372, FTN Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 2008.
- [3] Dimić, Z., Živanović, S., Kvrgić, V., Konfigurisanje EMC2 za programiranje i simulaciju višeosnih mašina alatki u Python virtuelnom grafičkom okruženju, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova ISBN 978-86-7892-131-5, str.353-356, FTN Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 2008.
- [4] Webb, G., Morel, M., K., Robots: The Lower Cost, More Flexible Process Improvement Alternative to CNC Machine Tools, <http://www.Robotmachining.com>
- [5] EMC, Enhanced Machine controller web site, <http://www.linuxcnc.org>
- [6] NIST, National Institute of Standards and Technology web site, <http://www.nist.gov>
- [7] Gerke, W., Milling-Robot with 3D Vision System for Styrofoam Modeling, International IEEE Conference Mechatronics & Robotics, Aachen, Germany, september 2004.
- [8] Bates, C., Move over machine tools here come robots, American Machinist Vol. 02/17/2006.