



Dimić, Z., Kvirgić, V., Živanović, S., Krošnjar, A.

KONCEPT UPRAVLJANJA PETOOSNOG VERTIKALNOG STRUGARSKOG OBRADNOG CENTRA UPRAVLJAČKIM SISTEMOM OTVORENE ARHITEKTURE

Rezime: Do pre desetak godina CNC kao specijalizovan računarski sistem je bio neprikosnoven industrijski računar za upravljanje mašinama alatkama. Otvorena PC arhitektura dizajnirana za industrijske aplikacije polako i vrlo temeljno potiskuje specijalizovane CNC sisteme sa tržišta. Iako se veliki proizvođači CNC sistema bore da održe korak i ulažu velika sredstva u razvoj, arhitektura i performanse, a posebno cena, prosečnog industrijskog PC-a nema konkurenciju. To je razlog što se sve više ljudi u svetu okreće razvoju softverski orijentisanih CNC sistema, za šta se kao osnova koristi PC platforma i Linux operativni sistem sa real-time ekstenzijom. Dakle, PC kao osnova, odgovarajuće PC interfejs kartice i softverski orijentisani CNC čine tri glavne celine upravljačke jedinice otvorene arhitekture (OAC - Open architecture control), na svetskom tržištu.

Cljučne reči: otvorena arhitektura, CNC, Linux, real-time, PC platforma, obradni centar, višeosna obrada

CONCEPT OF 5-AXES VERTICAL TURNING MACHINING CENTER CONTROL USING OPEN ARCHITECTURE CONTROL SYSTEM

Abstract: Up to 10 years ago, CNC as specialized computer system was the only industrial computer for machine tools control. Open PC architecture designed for industrial applications easily and very thoroughly suppresses specialized CNC systems from market. Although huge manufacturers of CNC systems invest in development, architecture and performances, and especially price of average PC has no competition. This is the main reason that more and more people turns to development of software oriented CNC systems which, as a basis, use PC platform and Linux OS with real-time extension. Hence, PC as basis, corresponding PC interface cards and software oriented CNC make three main entities of open architecture control unit (OAC - Open architecture control) in world market.

Key words: open architecture, CNC, Linux, real-time, PC platform, machining center, multiaxes machining

1. UVOD

Istraživanja u oblasti upravljanja otvorene arhitekture su postala dominantna u istraživačkim institucijama koja se bave razvojem upravljačkih sistema. Na sličan način na koji je otvorenost arhitekture uticala na revolucionaran rast PC industrije, otvorenost arhitekture upravljačkih jedinica mašina alatki treba da doprinese, kako bržem rastu industrije mašina alatki, tako i bržem razvoju malih i srednjih preduzeća iz oblasti mašinstva, kroz osavremenjavanje postojećih mašina alatki uz minimalna ulaganja.

Trenutno na tržištu postoje komercijalni programski paketi i sistemi koji pokrivaju ovaj segment. Međutim, oni su, zbog visoko postavljenih zahteva primene, zatvorenosti arhitekture i visoke cene, gotovo potpuno nedostupni domaćem tržištu.

Otvorenost arhitekture upravljačkog sistema podrazumeva otvorenost arhitekture korisničkog interfejsa, ograničenu otvorenost jezgra operativnog sistema (kernela) i otvorenost sistema upravljanja u hardverskom i softverskom smislu [1,3]. To podrazumava nezavisan izbor jeftinog hardvera, uz korišćenje besplatnog operativnog sistema i fleksibilnog upravljačkog softvera. U tom smislu, razvoj predmetne upravljačke jedinice za upravljanje mašinama alatkama i industrijskim robotima je zasnovan na univrezalnoj hardverskoj PC platformi i na real-time operativnom sistemu otvorene arhitekture.

2. STANJE ISTRAŽIVANJA

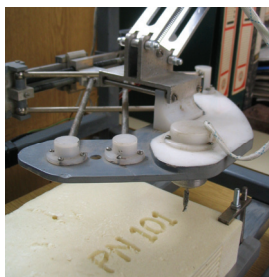
U svetu je EMC2 (*Enhanced Machine Controller*) [4,5] opšte prihvaćeni softverski sistem za upravljanje mašinama alatkama i robotima. Primena je vrlo raznolika. Kreće se od

edukacione, uz korišćenje virtuelnih mašina generisanih u Python programskom okruženju [8], pa do vrlo ozbiljne koja podrazumeva upravljanje kapitalnim mašinama alatkama [7,11]. Ne treba zanemariti činjenicu da sve više novih proizvođača mašina alatki, kao osnovu za razvoj sopstvenog CNC-a, koriste EMC2. U tome, naravno, prednjače kineski proizvođači mašina. U Kini postoje i vrlo ambiciozni stručnjaci koji na bazi otvorene arhitekture razvijaju iz osnova nove upravljačke sisteme [2,3].

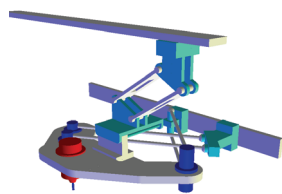
Tokom više godina prisutnosti na domaćoj i inostranoj softverskoj sceni, EMC2 *open-source* softverski sistem za upravljanje mašinama alatkama je stekao veliki broj, kako korisnika, tako i onih koji učestvuju u permanentnom razvoju ovog sistema [7-12]. Naša istraživanja i razvoj u ovoj oblasti, počela su pre tri godine konfigurisanjem upravljanja za stonu edukacionu troosnu mašinu sa paralelnom kinematikom pn101_st V.1, [10], (Slika 1a). Na uspešnu realizaciju ovog projekta, nadovezalo se upravljanje robotom LOLA 50 kao multifunkcionalnim rekonfigurabilnim obradnim centrom, [12] (Slika 1c).

Uporedo sa navedenim upravljačkim sistemima, razvijane su virtuelne mašine na istoj osnovi, kao podrška programiranju mašina i u svrhe edukacije studenata Mašinskog fakulteta u Beogradu, [8]. Tako je nastao, najpre, virtuelni model robota LOLA 50 kao posledica neminovnosti postojanja *off-line* sistema za programiranje složenog sistema kakav je multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni centar na bazi robota, slika 1d).

Ovladavanje modeliranjem složenih kinematičkih sistema u Python objektno orijentisanom programskom jeziku, omogućilo nam je da u virtuelno okruženje smestimo i mehanizam stone troosne mašine sa paralelnom kinematikom pn101_st V.1, slika 1b).



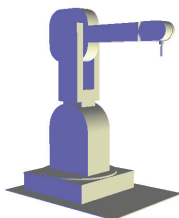
a) pn101_st V.1



b) Virtuelna pn101_st V.1



c) LOLA 50

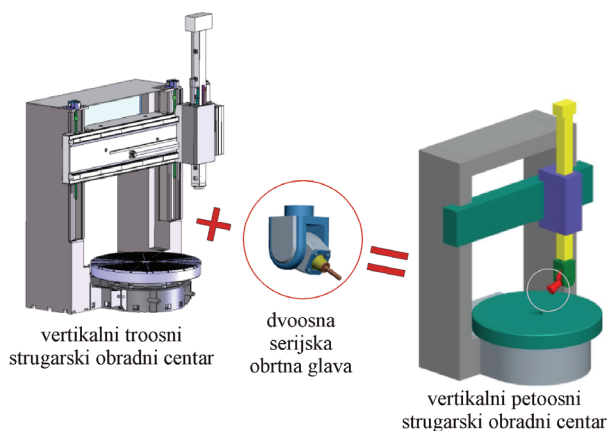


d) Virtuelni robot LOLA 50

Slika 1. Primeri do sada realizovanih upravljanja otvorene arhitekture na bazi EMC softverskog sistema

3. KONCEPCIJA PETOOSNOG STRUGARSKOG OBRADNOG CENTA

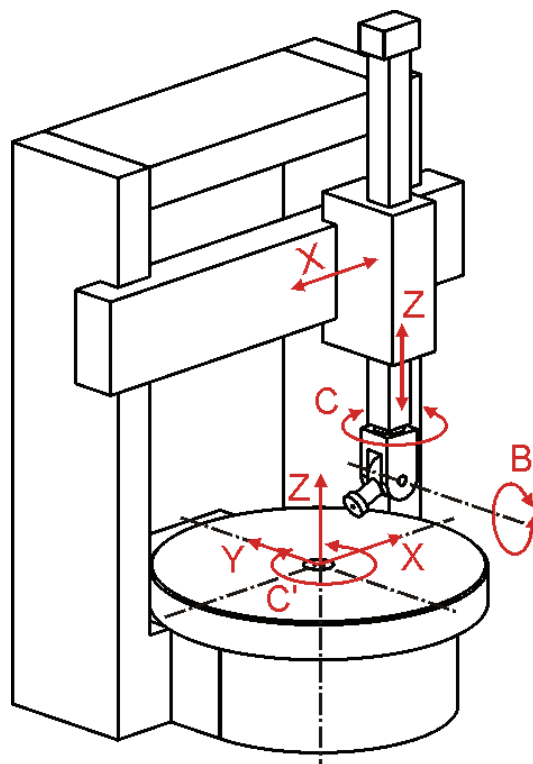
Usvojena koncepcija petoosnog vertikalnog strugarskog obradnog centra je nastala nadogradnjom vertikalnog troosnog strugarskog obradnog centra, dvoosnom serijskom glodačkom glavom na jedinicu struganja, bušenja i glodanja, slika 2.



Slika 2. Koncepcija nadogradnje troosnog na petoosni strugarski obradni centar

Na taj način se realizuje funkcija 5-osnog glodanja. Prva osa glodačke glave je kolinearna osi Z mašine. Zakretanje glodačke glave oko ove ose za $\pm 180^\circ$ omogućava zakretanje reznog alata u pokretnoj XY ravni. Druga osa glodačke glave omogućava zakretanje reznog alata u odnosu na horizontalnu osu. Svaka od ove dve ose ima sopstveni pogon. Petoosnom obradom se omogućava da osa glodala tokom obrade uvek bude normalna na površinu koja se obrađuje, čime se bitno povećava kvalitet i produktivnost obrađenih površina. Ovo eliminiše potrebu za njihovim ručnim poliranjem, što je obavezno kod 2.5 osne obrade.

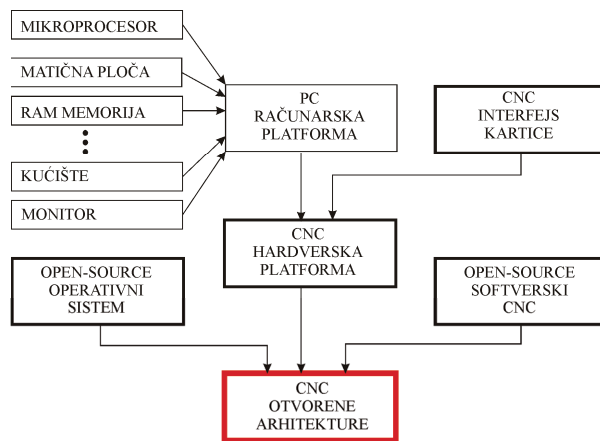
Na mašini ne postoji kretanje po Y osi, po vodičama, kakvo postoji kod klasične portalne glodalice. Da bi se ostvarilo kretanje po Y osi, bazni koordinatni sistem mašine mora biti vezan za obrtni sto, slika 3. Za ostvarivanje kretanja po X i Y osi moraju, po zakonu inverzne kinematika, da se složeno kretanje svih osa mašine alatke [7].



Slika 3. Koncepcija petoosnog strugarskog obradnog centra sa koordinatnim osama mašine

4. KONCEPT OTVORENE ARHITEKTURE UPRAVLJANJA

Do pre desetak godina CNC kao specijalizovan računarski sistem je bio neprikosnoven industrijski računar za upravljanje mašinama alatkama. Otvorena PC arhitektura dizajnirana za industrijske aplikacije polako i vrlo temeljno potiskuje specijalizovane CNC sisteme sa tržišta. Iako se veliki proizvođači CNC sistema bore da održe korak i ulažu velika sredstva u razvoj, arhitektura i performanse, a posebno cena, prosečnog industrijskog PC-a nema konkurencij. To je razlog što se sve više ljudi u svetu okreće razvoju softverski orijentisanih CNC sistema, za šta se kao osnova koristi PC platforma i Linux operativni sistem sa *real-time* ekstenzijom. Dakle, PC kao osnova, odgovarajuće PC interfejs kartice, softverski orijentisani CNC i *real-time* operativni sistem, čine četiri glavne celine upravljačke jedinice otvorene arhitekture (OAC - Open architecture control), slika 4.

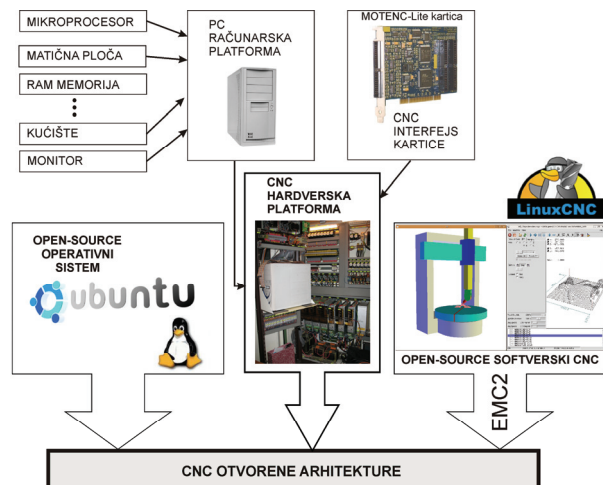


Slika 4. Koncept CNC-a otvorene arhitekture na PC računarskoj platformi

5. REALIZACIJA UPRAVLJANJA NA PRIMERU PETOOSNOG VERTIKALNOG STRUGARSKOG OBRADNOG CENTRA

Za realizaciju upravljačke jedinice za upravljanje višeosnom mašinom neophodno je obezbediti stabilnu hardversku platformu, *real-time* operativni sistem i upravljački softver otvorene arhitekture sa odgovarajućim performansama. Kao hardverska platforma, u našem slučaju je izabrana PC računarska platforma, kompatibilna sa odgovarajućim operativnim sistemom za rad u realnom vremenu. Pri tome je od posebnog značaja cena koja je i nekoliko puta niža od komercijalno raspoloživih CNC hardverskih platformi. Kao vrlo pouzdan i široko rasprostranjen, Ubuntu *real-time* Linux je pronašao svoje mesto u našem razvojnom projektu. Ovaj operativni sistem u potpunosti zadovoljava kriterijume izbora koji se odnose na vremenski kritične procese softverskog CNC. Period izvršavanja servo petlje od 1ms i generisanje novog interpolacionog segmenta putanje na svakih 5ms, kao i pravovremeno izvršavanje ne manje važnih procesa nižeg prioriteta uz paralelan komforan rad korisnika sa drugim manje zahtevnim aplikacijama su glavni kriterijumi koji se uzimaju u obzir prilikom izgradnje CNC hardverske platforme i izbor operativnog sistema, slika 5.

Da bi koncepcija upravljačke jedinice bila upotpunjena, u PC računarsku platformu je neophodno uključiti odgovarajuće CNC interfejs kartice. PCI interfejs ka matičnoj ploči računara je bio jedan od glavnih kriterijuma za izbor MOTENC Lite kartica. Dve ovakve kartice, koje su pridodate osnovnoj računarskoj platformi imaju ukupno osam analognih izlaza za vezu sa frekvencijskim regulatorima i osam kvadraturnih digitalnih ulaza za vezu sa optičkim mernim sistemima. Tu je i mnoštvo digitalnih ulaza i izlaza za vezu sa senzorima i mikro-prekidačima sa mašine. Ovo je više nego dovoljno za upravljanje pogonom pet osa pomoćnog kretanja mašine i pogonom vretena glavnog kretanja.



Slika 5. Struktura razvijene koncepcije CNC otvorene arhitekture na PC računarskoj platformi

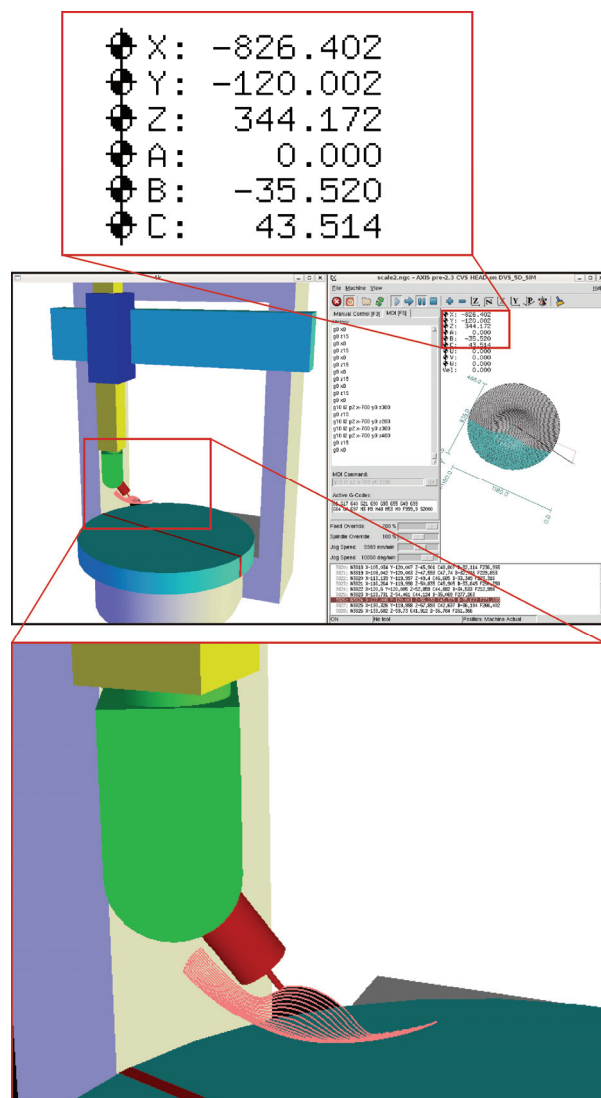
Softverski orijentisan PLC je još jedan od segmenata u sastavu EMC2 softverskog sistema. Svi moderni CNC upravljački sistemi imaju u sebi integrisan programabilni logički kontroler. Softverski PLC se izvršava na istoj hardverskoj platformi kao i softverski orijentisan CNC. To je u osnovi program koji se izvršava paralelno, konkurentno sa ostalim softverskim komponentama sistema na istoj hardverskoj platformi. PLC daje dodatne mogućnosti za proširenje funkcionalnosti mašine alatke, kao što je dodatak automatskog izmenjivača alata i dr.

Fleksibilan korisnički interfejs je jedna od najvažnijih komponenti softverskog CNC-a. Predstavljani AXIS korisnički interfejs [6], slika 6, je intuitivan a opet dovoljno kompleksan i transparentan, da korisniku sistema učini jednostavnim upravljanje i programiranje mašine alatke.

6. PROGRAMIRANJE

Programiranje petoosnog strugarskog obradnog centra se ostvaruje kao za petoosnu vertikalnu glodalicu koncepcije XYZBC, pri čemu se navike programera petoosne obrade ne menjaju.

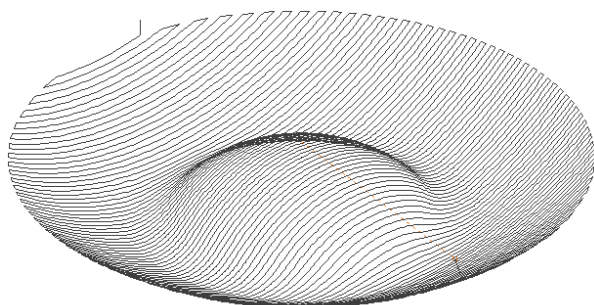
Prve probe sa simulacijom obrade na virtuelnom modelu su realizovane programiranjem u Pro/Engineer okruženju. Za dobijanje G koda konfigurisan je i odgovarajući postprocesor. Testiranje je ostvareno na virtuelnoj mašini strugarskog obradnog centra, realizovanoj u *Python* programskom jeziku, koja je integrisana sa AXIS korisničkim interfejsom. Na slici 6. je pokazana petoosna obrada složene površine u virtuelnom okruženju. Simulirana putanja vrha alata za površinu koja se obrađuje pokazana je na slici 7.



Slika 6. Petoosni strugarski obradni centar kao virtuelna mašina integrisana sa okruženjem AXIS

Prilikom postavljanja radnog predmeta u radni prostor mašine ove konfiguracije, potrebno je posebnu pažnju obratiti na delove radnog prostora u kojima se mašina može naći u singularnim pozicijama. U slučaju da je radni predmet

postavljen u blizini centra obrtnog stola, vrlo je verovatno da će, pri obradi, sto premašiti maksimalno dozvoljenu ugaonu brzinu, pri čemu dolazi do aktiviranja sigurnosnih sistema. Prevazilaženje ovog problema kao i ostalih problema sa singularnim pozicijama mašine, su predmet narednih istraživanja.



Slika 7. Simulirana putanja alata za obradu na virtuelnom petoosnom strugarskom obradnom centru

7. ZAKLJUČAK

Sa napretkom PC tehnologije, hardverske i softverske, softverski orijentisani CNC postaje značajna konkurencija komercijalno raspoloživim CNC sistemima. U ovom radu je predstavljena realizacija softverski orijentisanog CNC-a za upravljanje mašinom alatkom sa netrivialnom kinematikom. Zahvaljujući transparentnosti softverskog i hardverskog sistema, predstavljena upravljačka jedinica može se iskoristiti za upravljanje velikog broja mašina alatki, serijskih i paralelnih, industrijskih robota, ali i stonih mini mašina sa koračnim pogonima.

Deo ovih rezultata se već koristi u edukacione svrhe na Mašinskom fakultetu u Beogradu, u okviru laboratorijskih vežbi predmeta Mašine alatke i roboti nove generacije.

8. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu „Istraživanje i razvoj nove generacije vertikalnih petoosnih strugarskih obradnih centara” koji je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

9. LITERATURA

- [1] G. Pritschow, Y. Altintas and F. Jovane *et al.*, Open Controller Architecture - Past, Present and Future, *Annals of the CIRP* 50/2 (2001), pp. 463–470
- [2] Sungsik Park, Sun-Ho Kim, Hyunbo Cho, Kernel software for efficiently building, re-configuring, and distributing an open CNC controller, *Int J Adv Manuf Technol* Vol 27, pp 788-796, 2006.
- [3] Ji H, Li Y, Wang J.: A software oriented CNC system based on Linux/RTLinux, *Int J Adv Manuf Technol* Vol 39, pp 291-301, 2008.
- [4] EMC - Enhanced Machine controller web site - www.linuxcnc.org
- [5] NIST - National Institute of Standards and Technology web site - www.nist.gov
- [6] AXIS: A User Interface for EMC2, 5-axis machining with EMC, <http://axis.unpythonic.net/>, 2008.
- [7] Kvrđić, V., Dimić, Z., Trgovčević, S., Razvoj 5-osnog vertikalnog strugarskog obradnog centra, 9. Međunarodna konferencija o dostignućima

elektrotehnike, mašinstva i informatike DEMI2009, Mašinski fakultet, Banjaluka, u štampi, 2009.

- [8] Dimić, Z., Živanović, S., Kvrđić, 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.
- [9] Dimić, Z., Živanović, S., Kvrđić, V., Koncept razvoja CNC upravljanja za mašine alatke specifične konfiguracije na bazi EMC softvera, 34. JUPITER konferencija, 30. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-628-0, str.3.19-3.26, Mašinski fakultet, Beograd, jun 2008.
- [10] Milutinovic, D., Glavonjic, M., Zivanovic, S., Dimic, Z., Kvrđić, V., Mini educational 3-axis parallel kinematic milling machine, Proceedings of 3rd International Conference on Manufacturing Engineering IC MEN and EUREKA Brokerage Event, pp.463-474, Kallithea of Chalkidiki, Greece, 1-3 october, 2008.
- [11] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Dimić, Z., Konfiguracija jedne hibridne petoosne mašine, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, ISBN 978-86-7083-592-4, str.3.19-3.6, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, maj 2007.
- [12] 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.

Autori: Zoran Dimić, dipl. inž. el, Dr Vladimir Kvrđić, dipl. inž. maš, Aleksa Krošnjarić, dipl. inž. el, Lola institut d.o.o, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 2542-510, Fax: +381 11 2544-096, Mr Saša Živanović, dipl. inž. maš, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 3302-271, Fax: +381 11 3370-364.

E-mail: dimic@lola-ins.co.rs
kvrgic@lola-ins.co.rs
akrosnjari@lola-ins.co.rs
szivanovic@mas.bg.ac.rs