

Konfigurisanje stonih petoosnih mašina alatki

MILOŠ M. GLAVONJIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

SAŠA T. ŽIVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

BRANKO M. KOKOTOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 621.9

U ovom radu je pokazano koncipiranje jedne rekonfigurabilne stone petoosne mašine alatke. Dati su opis kompleksnih mašina alatki i polazne koncepcije mašine. Na primeru konfigurisanja rekonfigurabilne stone petoosne mašine alatke pokazani su i elementi odabranog konfiguratora multifunkcionalnih mašina alatki. Za upravljanje je izabran sofiver otvorene arhitekture, kao što je EMC (Enhanced Machine Control). Verifikacija virtuelnog prototipa koncepcije mašine je izvršena simulacijom obrade na virtuelnoj mašini u CAD/CAM okruženju.

Ključne reči: kompleksne mašine alatke, rekonfigurabilna stona petoosna mašina, konfigurisanje, EMC, upravljanje i programiranje

1. UVOD

Istraživanja rekonfigurabilnih i multifunkcionalnih mašina alatki su intenzivna i imaju dosta kompletnih rezultata [1, 2]. Ovde su rekonfigurabilne stone petoosne mašine svrstane u kompleksne mašine alatke [3]. Kompleksna mašina alatka je jedna od svih, u privremenoj grupi mašina, koje su drugačije od većine ostalih po bar jednom delu svoje strukture, ili po bar jednoj nameni. Sve mašine alatke pokazane su kao grupa mašina, koja postoji i koja se svaki put iznova prebrojava, tražeći neku mašinu bitno drugačiju od ostalih. Takve specifične mašine se grupišu u kompleksne. Osnovni deo strukture mašine alatke čine: noseća struktura, pogoni, prenosnici, aktuatori, upravljanje i programiranje. Deo klasifikacije kompleksnih mašina alatki pokazan je na slici 1. Kriterijumi su: (i) namena (po kojem je izdvojena grupa multifunkcionalnih mašina [3] po osnovu kumulacije namena) i (ii) struktura (po kojem je izdvojena grupa unikatnih mašina po osnovu posebnih struktura). Domen ovog rada naznačen je na slici 1. U njemu su ko-

mbinovane mašine, koje pripadaju grupi multifunkcionalnih, a time kompleksnih mašina alatki. U tom domenu je i koncepcija stone multifunkcionalne, petoosne rekonfigurabilne mašine [4]. Među kombinovanim mašinama tipični su strugovi sa obradom glodanjem i glodalice sa obradom struganjem.

Kriterijumi za njihovu klasifikaciju su: (i) broj vretena (po kojem se ocenjuju stepen slaganja svih mogućih uporednih obrada i stepen kontinualnosti obrada) i (ii) broj procesa (po kojem se ocenjuje stepen kumulacije namena ovakve mašine). Predmet ovog rada su multifunkcionalni strugovi sa visokom kumulacijom namena i sa jednim ili dva vretena. Izmena alata (IA) nije predmet ovih istraživanja, kao ni drugi elementi opreme ovakve mašine, osim neizostavnog sistema za programiranje, bez kojeg je nemoguće programirati ovakve mašine. Držanje u prvom planu strugova sa obradom glodanjem opravdava se i statistički češćim osno simetričnim delovima u proizvodnim programima proizvođača raznih mašina. To omogućava da se i obrade glodanjem kompletiraju sa istim baziranjem na istoj mašini, čime se postiže kontinualnost obrade uz dobar kvalitet.

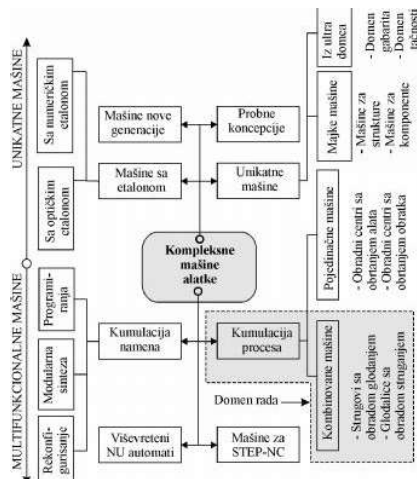
Pod koncepcijom rekonfigurabilne mašine alatke ovde se podrazumeva sistem sastavnih elemenata pomoću kojeg se može kompletirati više mašina. Svaka od tih mašina je nova struktura. Za pretraživanje stru-

Adresa autora: Miloš Glavonjić, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet Beograd, Kraljice Marije 16

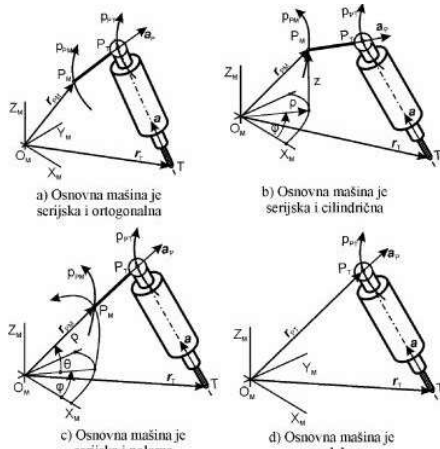
Rad primljen: 09.05.2013.

Rad prihvaćen: 05.06.2013.

ktura multifunkcionalnih mašina posmatra se njihova osnovna mašina, a onda i nosač alata, po konvenciji za programiranje kretanja alata u odnosu na obradak. Ovde su odabrane osnovne mašine kakve su na slici 2a.



Slika 1 - Deo klasifikacije kompleksnih mašina alatki



Slika 2 - Tipovi osnovne mašine petoosnih glodalica

Kada treba prebrojavati sve do sada poznate tipove petoosnih mašina, potrebno je uračunati i sve tipove osnovne troosne mašine [4], kao na slici 2. Ako je osnovna mašina serijska i ortogonalna, onda su to petoosne glodalice i njima slične mašine, što je predmet ovog rada. Oznake na slici 2 su: $O_M(X_M, Y_M, Z_M)$ koordinatni sistem mašine; T: vrh alata; P_T : centar zgloba glave koja nosi alat, ili, elektromotorno vreteno; P_M : podnožje nosača glave koja nosi alat. Često je $P_M \equiv P_T$; a : programirani ort ose alata kojim se orijentiše glavno vreteno u obradi. Na glodalicama nema uticaja obrtanje alata oko njegove ose, kada se vrši njegova orijentacija, pa se ta dopunska rotacija ignoriše; a_p : ort nosača glave; r_T : programirana pozicija vrha alata; r_{PM} : izračunati vektor položaja tačke P_M ; p_{PT} : izračunata putanja centra P_T ; p_{PM} : izračunata, ili potrebna putanja tačke P_M ; (φ, ρ, z) : koordinate

tačke P_M na osnovnoj serijskoj cilindričnoj mašini; (φ, θ, ρ) : koordinate tačke P_M na osnovnoj polarnoj serijskoj mašini. Na mašini sa paralelnom kinematikom obično je elektromotorno glavno vreteno postavljeno na platformu, pa se poza glavnog vretena pridružuje pozi same platforme i tako se ove poze posmatraju kao jedna.

Mašine alatke se mogu formalno opisivati klasičnim strukturnim formulama, kao u Tabeli 1 [4]-[6]. Za ovaj rad je izdvojena koncepcija mašine koja može da pokriva razne grupe (GM1,2,3). Ovde se posmatraju samo petoosne glodalice sa serijskom kinematikom i to tako da imaju tri translatorsna i dva obrtna pomoćna kretanja. Po standardu su osnovna obrtna pomoćna kretanja označena sa A, B i C. Prvo je oko ose X, drugo oko ose Y, a treće oko ose Z. Petoosna mašina ima dva od takva tri kretanja. Strukturne formule dela skupa ovih glodalica popisane su u tabeli 1. U tim formulama je osnovna mašina deo mehanizma sa translatorsnim osama i nepokretnim članom. Obrtne ose pokreću ili samo alat, ili samo obradak, ili i alat i obradak. Po šemi iz tabele 1 može se sastaviti mnogo strukturnih formula, posebno za horizontalne, posebno za vertikalne mašine.

Tabela 1. Rezultati eksperimentalnih merenja.

W	OM	T
A'B'	GM1:	-
B'A'	Grupa mašina u kojima obrtne ose pokreću samo obradak.	-
A'C'	Nepokretni član O i ose X,Y,Z	-
C'A'	osnovne troosne mašine su u svim uzajamnim redosledima.	-
B'C'	Mašine su horizontalne ili vertikalne.	-
C'B'		
W	OM	T
-	GM2:	AB
-	Grupa mašina u kojima obrtne ose pokreću samo alat.	BA
-	Nepokretni član O i ose X,Y,Z	AC
-	osnovne troosne mašine su u svim uzajamnim redosledima.	CA
-	Mašine su horizontalne ili vertikalne.	BC
-		CB
W	OM	T
A'	GM3:	B
B'	Grupa mašina u kojima obrtne ose pokreću i alat i obradak.	A
A'	Nepokretni član O i ose X,Y,Z	C
C'	osnovne troosne mašine su u svim uzajamnim redosledima.	A
B'	Mašine su horizontalne ili vertikalne.	C
C'		B
<p>Oznake: W je obradak, odnosno član mehanizma-mašine koji drži obradak; OM je osnovni, troosni deo mehanizma-mašine sa postoljem-nepokretnim članom O; T je alat, odnosno član mehanizma-mašine koji drži alat; A, B, C su obrtne ose; X, Y, Z su translatorsne ose. Ako je mašina horizontalna, onda se nepokretni član označava sa H, a sa V ako je vertikalna; GM1,2,3 su grupe mašina sa sličnom strukturnom formulom.</p>		

Primeri: (i) C'VZXYB je kombinovana mašina tipa struga sa obradom glodanjem, vertikalnim referentnim položajem alata (V), u koordinatnom sistemu struga i sa jednim kretanjem obratka (C') i (ii) C'A'VXYZ je kombinovana mašina tipa vertikalne glodalice (V) sa obradom struganjem, u koordinatnom sistemu vertikalne glodalice i sa oba obrtna kretanja obratka (C' pa A').

2. KONCEPCIJE REKONFIGURABILNE STONE PETOOSNE MAŠINE

Analizom osnovnih komponenata mašina alatki [3], [4], [7], [8], omogućeno je uspostavljanje sistema sastavnih elemenata rekonfigurabilnog hardvera, koji čini koncepciju mašine, pokazane na slici 3 u vidu jedne morfološke matrice.

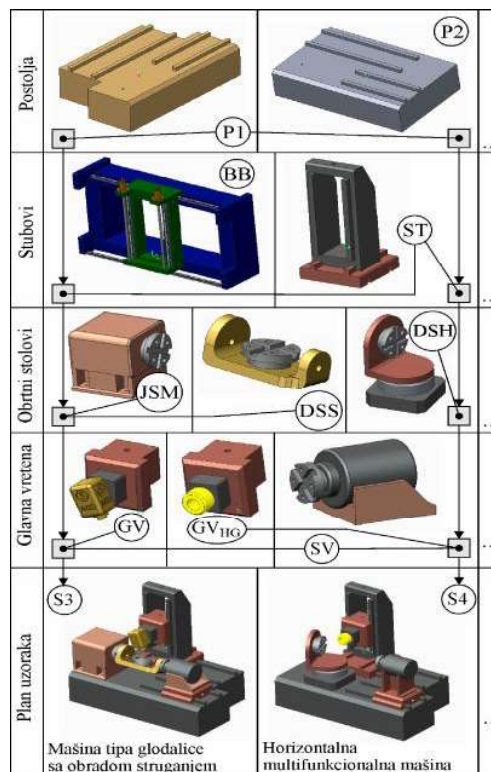
Na slici 3 su pokazane realizacije sistema - sastavnih elemenata za postolja, stubove, obrtne stolove, glavna vretena i deo plana uzoraka za mašine tipa S3 i S4, koje predstavljaju neke od do sada razmatranih polaznih koncepcija za projekat razvoja rekonfigurabilne stone petoosne mašine alatke. Prolaskom kroz morfološku matricu sa slike 3 i skupljanjem odgovarajućih realizacija za osnovne funkcije mašine, dobija se plan uzoraka mogućih mašina.

Na slici 3 su pokazane dve varijante čiji opis može biti iskazan i na sledeći način: mašina tipa S3 se dobija kao varijanta koja sadrži sledeće module $S3 = P1 \wedge ST \wedge JSM \wedge DSS \wedge GV \wedge SV$, dok mašinu tipa S4 čine moduli

$$S4 = P1 \wedge ST \wedge DSH \wedge GV_{HG} \wedge SV.$$

Detaljniji prikaz za ove dve strukture (S3 i S4) i još dve iz istog plana uzoraka (S1 i S2), dat je na slici 4. To su polazne strukture mašine. Dodate su i oznake koordinatnih sistema mašine, ali i osnovnih elemenata njihove strukture. Date su ukupno četiri različite varijante strukture: S1, S2, S3 i S4. Alternative za stubove za svaku mašinu su pokazane ili kao „Box in Box” (kao na slici 4a), ili kao stub (slika 4b,c,d). U toku projektovanja će biti odlučeno koja će alternativa biti realizovana na osnovu očekivane krutosti, pogodnosti za izradu itd [9], [10].

Oznake na slici 4 za sve mašine su: P: postolja; DSV: dupli sto vertikalne; DSS: dupli sto horizontalne; GV: glodačko vreteno; SV: strugarsko vreteno; BB: postolja „Box in Box”, ST: stub; JSM: jednostruki sto multifunkcionalne; (O_{VG} , O_{HG} , O_{MF} , O_S): koordinatni sistemi vertikalne i horizontalne glodalice, multifunkcionalne i strugarske mašine; DSH: dupli sto horizontalne; GV_{HG} : glavno vreteno horizontalne; VDV: vođice drugog vretena; A,B,C: rotacije

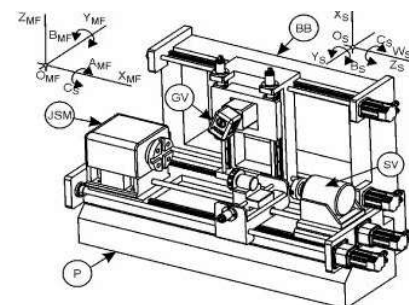


Slika 3 - Konfigurator za rekonfigurabilne stone petoosne mašine

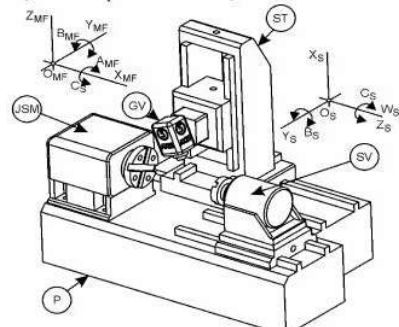
U Tabeli 2 navedeni su karakteristični primeri takvih mašina, pozivajući se na koncepcije date na slici 4. Za petu mašinu (RB=5) potrebno je proširenje prikazane koncepcije.

Tabela 2. Tipične koncepcije multifunkcionalne mašine

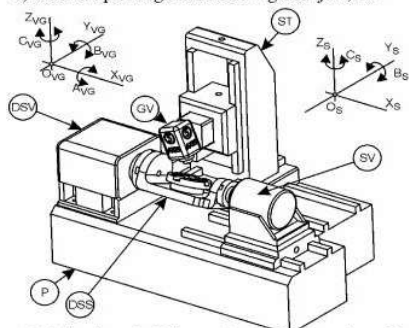
rb	Opis koncepcije	Osobine	Tipične namene
1	Vertikalna (Sl. 4c) bez GV, GM1 iz Tabele 1	Dobar prilaz alata obratku. Mala površina osnove mašine.	Mali delovi. Raznovrsni. U malim serijama.
2	Vertikalna (Sl. 4b) sa nagibnim GV, GM3 iz Tabele 1	Dobar prilaz alata obratku. Mala površina osnove mašine.	Mali delovi. Lopatice i slični delovi.
3	Horizontalna (Sl. 4d) sa DSH i GV_{HG} , sto na stolu	Brzohodne. Manja opasnost od kolizija u radu mašine.	Impeleri. Rotori turbina. Razni rezni alati.
4	Horizontalna (Sl. 4c) a GV_{HG} i zadržanim DSS	Dovoljan radni prostor za prihvat većih delova. Krutost.	Veliki impeleri. Delovi sa obradom sa pet strana.
5	Horizontalna izvedena sa Sl. 4d, sa osom A na alatu	Veliki i teški delovi. Dobre baze za obradak.	Delovi velikog gabarita. Delovi sa tankim zidovima.



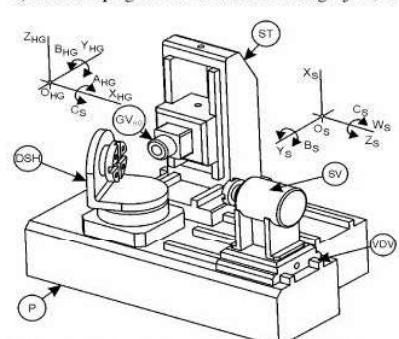
a) Mašina tipa "Box in Box", S1



b) Mašina tipa struga sa obradom glodanjem, S2



c) Mašina tipa glodalice sa obradom struganjem, S3



d) Horizontalna multifunkcionalna mašina, S4

Slika 4 - Polazne koncepcije multifunkcionalne rekonfigurabilne mašine

Osnovni funkcionalni zahtevi za razvoj rekonfigurabilne stonog petoosne mašine su [11], [12]: (1) napraviti niskobudžetnu stonog mašinu alatku, (2) iskoristiti napravljenu mašinu za istraživanje i edukaciju, (3) mašinu prilagoditi obradi mekih materijala, (4) kompletirati upravljanje otvorene arhitekture, (5) mašinu programirati pomoću G-kôda i primenom STEP-

NC-a [13], [14], (6) obezbediti pristupačnost i bezbednost u radu.

Ova koncepcija ima i rekonfigurabilni hardver i rekonfigurabilni softver za sistem za upravljanje. Konfigurator se koristi za oba podsistema. Ima formalni deo, koji koristi module sa slike 3, za sintezu mašine dobre strukture i ekspertski deo, koji se koristi za postupno konfigurisanje optimalne mašine za zadate uslove za konfigurisanje. Prvo se kompletira virtuelna mašina alatka, a onda i projekti za sve module i uzorak tipičnih multifunkcionalnih mašina [11], [12]. Sprovodi se kalibracija simulacionih modela podsistema mašine, vrši optimizacija kinematike i noseće strukture u odnosu na termičke pomeraje, krutost i stabilnost i kalibracija simulacionih modela sprege hardvera i softvera za upravljanje. Sistem za upravljanje se konfigurira prema strukturi mašine i za upravljanje u spoljašnjim koordinatama. Potom se vrši izrada modula i mašina, pa sprovođenje procedure ispitivanja i verifikacije dobijenih prototipova mašina [7], [8].

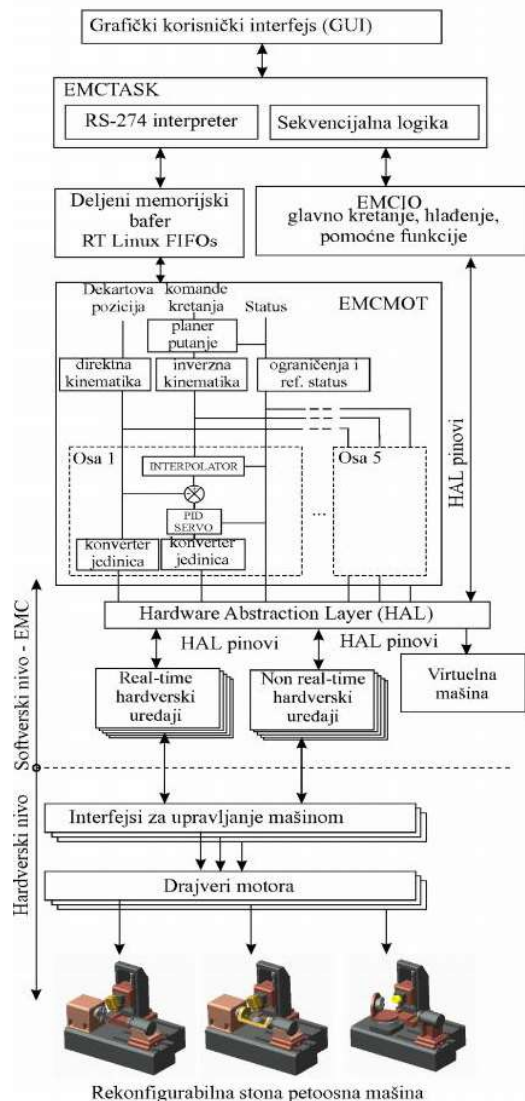
3. UPRAVLJANJE I PROGRAMIRANJE

Za upravljanje rekonfigurabilnom stonog petoosnom mašinom je izabran softver otvorene arhitekture, kao što je EMC (Enhanced Machine Control) [15], [16], koji predstavlja real-time softver za upravljanje mašinama alatkama i robotima [10]-[12], čiji se kôd može slobodno koristiti, modifikovati i distribuirati (GNU-General Public License). EMC omogućava programiranje mašina standardizovanim G- kôd instrukcijama. Osnovu softverskog paketa razvio je Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (NIST-National Institute of Standards and Technology) [16]. Sama metodologija konfigurisanja upravljanja u EMC-u je već verifikovana [7], [8], [10], [12]. Na slici 5 je prikazana interna softverska struktura EMC-a za upravljanje rekonfigurabilne stonog petoosne mašine alatke.

Ova softverska struktura EMC-a sadrži četiri osnovna programska modula i to: kontroler kretanja (EMCMOT), kontroler diskretnih U/I (ulazno/izlaznih) signala (EMCIO), kontroler procesa koji ih koordinira (EMCTASK) i kolekciju tekstualnih, ili grafičkih korisničkih interfejsa (GUI). Mogu se koristiti različiti grafički interfejsi, kao što su: TkEmc, Mini i Axis. Najčešće je u upotrebi Axis korisnički interfejs, koji je i korišćen pri konfigurisanju upravljanja. Ovo okruženje je vrlo intuitivno za rad, sa prepoznatljivim ikonama, koje olakšavaju rad rukovodaca. Pored toga, pogodnost Axis okruženja je i mogućnost integracije sa virtuelnom mašinom, radi verifikacije programa pre obrade na stvarnoj mašini.

U ovoj fazi projekta verifikacija polaznih koncepcija virtuelnog prototipa je prikazana simulacijom

obrade na virtualnoj mašini [11], [12] u CAD/CAM okruženju. Programi za verifikaciju su pripremljeni primenom CAD/CAM sistema. Simulacija kinematike virtualnog prototipa omogućava kretanje modeliranih segmenata, sa alatom na kraju, koji na ekranu iscrtava putanju alata, koja je nastala kao rezultat izvršenja zadatog programa. Format programa, koji koristi EMC, zasnovana se na G kôdu po standardu RS-274. Odabrana je verzija koja je slična formatu programa koje koriste FANUC CNC sistemi, za koje postoje pouzdani postprocesori.

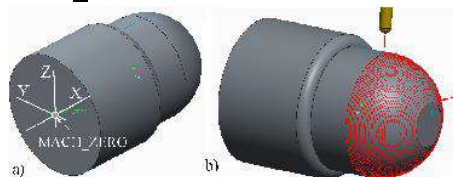


Slika 5 - Struktura upravljanja rekonfigurabilne stonice petoosne mašine

Za programiranje su odabrani resursi kojima se programiraju mašine alatke sa serijskom kinematikom. Izabrano okruženje za programiranje je CAD/CAM sistem CREO. Postprocesiranje se vrši kao za petoosnu glodalicu, za koju je konfigurisan postpro-

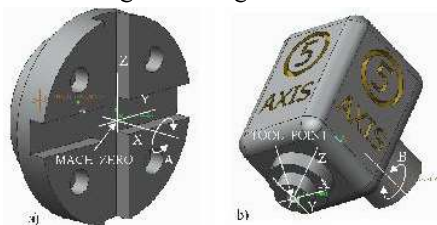
cesor primenom generatora postprocesora u CAD/CAM sistemu CREO.

Primer simulacije kinematike virtualnog prototipa pokazan je za mašinu tipa S1, sa slike 4a. Za probni deo, pokazan na slici 6a, usvojena je nulta tačka u osi obrtanja u podnožju cilindra, sa koordinatnim osama X, Y, Z, kao za vertikalnu glodalicu i ona je označena kao MACH_ZERO.



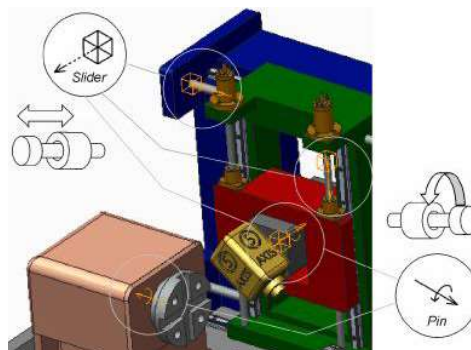
Slika 6 - Definisane koordinatne sisteme obratka i simulaciju putanje alata

Identična nulta tačka postoji i na mašini, na obrtnom radnom stolu (osa A), na koju se postavlja obradak, slika 7a. Poklapanjem ova dva koordinatna sistema, obratka i radnog stola, ostvaruje se postavljanje obratka na mašinu tokom simulacije obrade. Na slici 6b pokazana je simulirana putanja alata na obratku, na osnovu generisanog CLF-a.



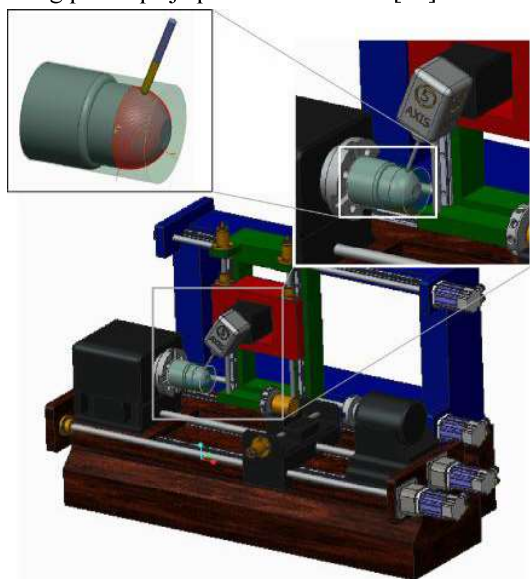
Slika 7 - Definisane koordinatne sisteme alata i obratka

Kako za obradak, tako se i za alat definišu koordinatni sistemi na alatu i na mašini sa oznakom TOOL_POINT, slika 7b. Poklapanjem koordinatnih sistema na alatu i na čelu glavnog vretena (slika 7b), ostvaruje se postavljanje alata na mašinu tokom simulacije obrade. Ovo je moguće ukoliko je mašina definisana sa korektnim kinematičkim vezama, kao na slici 8.



Slika 8 - Prikaz kinematičkih veza rekonfigurabilne petoosne mašine

Korišćene su veze tipa klizača (Slider) i obrtne ose (Pin). Dobijanje putanje alata je ostvareno u CAD/CAM okruženju CREO. Prilikom simulacije rada mašine po generisanoj putanji alata moguće je u simulaciju uključiti i kompletan virtuelni prototip mašine, opcijom Machine play. Jedan primer verifikacije virtuelnog prototipa izvršenjem programa za obradu, za probni deo sa slike 6, simulacijom kinematike virtuelnog prototipa je pokazan na slici 9 [17].



Slika 9 - Simulacije kinematike multifunkcionalne rekonfigurabilne petoosne mašine za zadati program obrade probnog dela

Na osnovu ostvarene simulacije rada virtuelnog prototipa mašine, prema zadatom programu obrade, nisu uočene kolizije između elemenata mašine u toku izvršenja programa, pa se može smatrati da su prve probe sa ovakvom strukturom mašine uspešno završene.

7. ZAKLJUČAK

Osnovni ciljevi, prikazani u ovom radu, mogu se svesti na razvoj rekonfigurabilne stonice petoosne mašine alatke, na bazi koncepta CNC upravljanja otvorene arhitekture, a za mašine alatke specifične konfiguracije. U ovoj fazi su razmatrane polazne koncepcije za razvoj rekonfigurabilne stonice petoosne mašine alatke i izabrano je okruženje za programiranje i simulaciju kinematike mašine, kada ona radi po zadatom programu, radi verifikacije polaznih struktura ovakve mašine. Ustanovljen je sistem sastavnih elemenata, sa pravilima za korišćenje osnovnih modula, prilikom sinteze polaznih struktura mašina u planu uzoraka za planiranu stonice petoosnu mašinu. Među svim strukturama u planu uzoraka neka od njih će biti izabrana za realizaciju.

Rekonfigurabilna stonice petoosna mašina će imati rekonfigurabilni hardver i softver za sistem upravljanja. Za upravljanje mašinom je izabran već uhodani softver otvorene arhitekture, kao što je EMC (Enhanced Machine Control), čiji se kôd može slobodno koristiti, modifikovati i distribuirati (GNU-General Public License).

Primena ove mašine je značajna za dalja istraživanja u oblasti višeosne obrade i rekonfigurabilnih petoosnih mašina, kao i za obuku i edukaciju za programiranje, što je posebno značajno za obrazovne ustanove, prilikom sticanja znanja o kompleksnim rekonfigurabilnim višeosnim mašinama.

U sklopu daljih istraživanja razmatra se i realizacija virtuelne petoosne mašine integrisane u sistem upravljanja i primena jedne vrste hibridnog objektnog programiranja numerički upravljanih mašina, poznatijeg kao STEP-NC, u meri u kojoj će taj metod programiranja biti primenljiv na budućim jedinicama za numeričko upravljanje [13,14]. U početku će se koristiti otvorenost upravljanja ove stonice mašine tako da se na PC-u, koji će se koristiti kao upravljačka jedinica, instalise nekakav podsistem za primenu protokola STEP-NC, koji bi bio ekvivalentan sadašnjim interpreterima G koda, koji je napravljen po standardu RS 274D.

8. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu „TR035022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema“, koji je podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Erdős G., Xirouchakis P., STEP-NC Data Model Development for Wire-EDM Manufacturing, IFAC Conference, Budapest, 2003.
- [2] Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Brussel H.V., Reconfigurable Manufacturing Systems, Annals of the CIRP, Vol. 48/2, p. 527-540. 1999.
- [3] Moriwaki T., Multi-functional machine tool, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 57, p.736-749, 2008.
- [4] Glavonjić M., Kompleksne mašine alatke, Podsetnik za temu AN-7, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, decembar 2012, http://cent.mas.bg.ac.rs/nastava/ma_bsc/pdf_m/ha7_m.pdf
- [5] Glavonjić M., Mašine alatke za višeosnu obradu, Podsetnik za temu AN-7, Univerzitet u Beogradu,

- Mašinski fakultet, april 2011, http://cent.mas.bg.ac.rs/-nastava/ma_bsc/pdf_nma/ha7nma.pdf
- [6] Врагов Ю. Д., Анализ компоновок металлорежущих станков, Основы компонетики, Машиностроение, Москва, 1978.
- [7] Salje E., Böckem J., Depcke H., Puttkammer K., Redecker W., Eine Systematik für Relativbewegungen bei spanender Bearbeitung in Abhängigkeit von Werkstück und Werkzeug, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 68, 8, p. 404-408, 1973.
- [8] Živanović S., Konfigurisanje novih mašina alatki, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2010.
- [9] Živanović S., Glavonjić M., Metodologija funkcionalnog konfigurisanja novih mašina alatki, 35. JUPITER konferencija, Zbornik radova, str.3.1-3.7, Mašinski fakultet, Beograd, jun 2009.
- [10] Altintas Y., Brecher C., Weck M., Witt S., Virtual machine tool, CIRP Annals - manufacturing technology, vol. 54/2, p. 115-138, 2005.
- [11] Zivanovic S., Glavonjic M., Dimic Z., Methodology for Configuring Desktop 3-axis Parallel Kinematic Machine, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, FME Transactions, vol.37, p. 107-115, 2009.
- [12] Dimić Z., Živanović S., Kvirgić V., Konfigurisanje EMC2 za programiranje i simulaciju višeosnih mašina alatki u Python virtuelnom grafičkom okruženju, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, str. 353-356, FTN Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 2008.
- [13] Živanović S., Glavonjić, Dimić Z., Konfigurisanje virtuelne mašine troosne glodalice sa paralelnom kinematikom za simulaciju i verifikaciju upravljanja i programiranja, XI međunarodni naučno-stručni Simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2012, Zbornik radova Vol. 11, str. 464-469, mart 2012.
- [14] Glavonjić M., Živanović S., Novi pristup programiranju numerički upravljanih mašina alatki primenom STEP-NC, 38. JUPITER konferencija, 34. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str. 3.112-3.117, Mašinski fakultet, Beograd, maj 2012.
- [15] Glavonjić M., Živanović S., Protokol STEP-NC za programiranje numerički upravljanih mašina alatki, TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Tehnika-Mašinstvo 61, Broj 6, Godina LXVII, str 937-942, 2012.
- [16] LinuxCNC, EMC's webpage, <http://www.linuxcnc.org/>
- [17] Real-Time Control Systems Library — Software and Documentation, <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/rcslib/>
- [18] Ivanov A., Stona multifunkcionalna mašina alatka, diplomski rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2012.

SUMMARY

CONFIGURING THE DESKTOP 5 - AXIS MACHINE TOOLS

This paper presents conception of one reconfigurable desktop 5-axis machine tool. This paper also provides a description of complex machine tools and machines' initial conception. The elements of the planned configurator of multifunctional machine tools are presented throughout configuration of reconfigurable desktop 5-axis machine tool. The control is based on the open architecture software such as EMC (Enhanced Machine Control). Verification of the concept of virtual prototype is described using simulation on virtual machine in the CAD/CAM environment.

Key words: *complex machine tools, reconfigurable desktop 5 axis machine tool, configuring, EMC, control and programming*