



SIMULACIJA VIRTUELNE REKONFIGURABILNE PETOOSNE MAŠINE ALATKE KADA MAŠINA RADI PO ZADATOM PROGRAMU

Saša Živanović¹, Nikola Slavković², Branko Kokotović³, Dragan Milutinović⁴

Rezime: U ovom radu je pokazano konfigurisanje virtuelne rekonfigurabilne petoosne mašine alatke za potrebe simulacije rada mašine po zadatom programu. Simulacija rada mašine je realizovana u CAD/CAM okruženju, kada mašina radi po zadatom programu na bazi CL fajla i u STEP-NC Machine okruženju, kada mašina radi na bazi programa u STEP-NC formatu. Na ovaj način se dobija mogućnost verifikacije programa za mašinu, koja uključuje i kompletan virtuelni model mašine koji je konfigurisan sa odgovarajućim kinematičkim vezama. Verifikacija simulacije rada mašine kada radi po zadatom programu je testirana na primerima u oba okruženja.

Ključne riječi: CAD/CAM, rekonfigurabilna 5-osna mašina alatka, simulacija, STEP-NC

MACHINE SIMULATION OF VIRTUAL RECONFIGURABLE 5 AXIS MACHINE TOOL WHEN MACHINE WORKING ACCORDING TO THE RUNNING PROGRAM

Abstract: This paper presents configuring of a virtual reconfigurable 5-axis machine tool for the purpose of realizing the simulation of the machine according to the running program. Machining simulation is realized in the CAD/CAM environment, when the machine works according to the running program based on CL files, and in the STEP-NC Machine environment when the machine works according to the running program based on program in the STEP-NC format. In this way, it is obtained a possibility of program verification for the machine, which includes a complete virtual model of the machine which is configured with the corresponding kinematic relationships. Verification of the simulation of machine tool when works according to the running program has been tested on examples in both environments.

Key words: CAD/CAM, reconfigurable 5-axis machine tool, simulation, STEP-NC

1. UVOD

Pojam virtuelnih obradnih sistema, kao i simulacije rada virtuelnog prototipa

¹ Prof. dr Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (szivanovic@mas.bg.ac.rs) (CA)

² Doc. dr Nikola Slavković, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (nslavkovic@mas.bg.ac.rs)

³ Doc. dr Branko Kokotović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (bkokotovic@mas.bg.ac.rs)

⁴ Prof. dr Dragan Milutinović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (dmilutinovic@mas.bg.ac.rs)

mašine kada mašina radi po zadatom programu, je širok i obuhvata kompletne modele procesa obrade, noseće strukture, pogona, prenosnika, kinematičkog podsistema itd. [1]. To se sve integriše u jedinstveni sistem softvera, koji omogućava neki deo virtualne proizvodnje [2,3]. Ovakva istraživanja simulacije rada različitih obradnih sistema na Mašinskom fakultetu u Beogradu su intenzivna i imaju dosta kompletiranih rezultata kao što su: simulacija mini laboratorijske troosne mašine sa paralelnom kinematikom [4], simulacija dvoosnog erozizata sa žicom [5], simulacija rada dvoosnog NU struga [6], simulacija petoosne mašine alatke [7], itd.

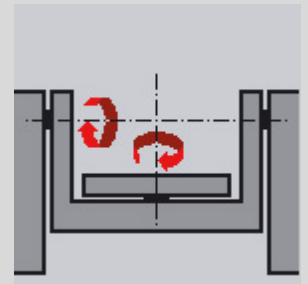
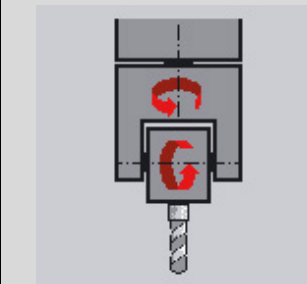
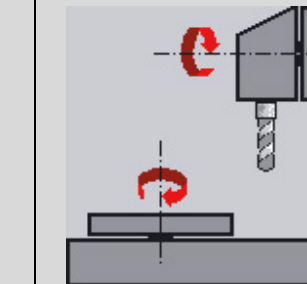
U ovom radu virtualni rekonfigurabilni obradni sistem se bazira na virtualnim prototipovima petoosnih mašina alatki iz klase rekonfigurabilnih mašina alatki razmatranih u radu [8] i obuhvata samo kinematičku simulaciju rada mašine na bazi zadatog programa u dva okruženja: CAD/CAM sistemu PTC Creo 2.0 [9] i STEP-NC Machine [10].

Pod koncepcijom rekonfigurabilne mašine alatke [11] ovde se podrazumeva sistem sastavnih elemenata pomoću kojeg se može kompletirati više različitih mašina, pri čemu je svaka od njih nova struktura. Predmet ovog rada su rekonfigurabilne mašine sa visokom kumulacijom namena i sa jednim ili dva vretena. Izmena alata nije predmet ovih istraživanja, kao ni drugi elementi opreme ovakve mašine, osim neizostavnog sistema za programiranje. Rekonfigurabilni obradni sistem u ovom radu se bazira na koncepcijama rekonfigurabilnih mašina alatki, koje su tipični strugovi sa obradom glodanjem i glodalica sa obradom struganjem. U prvom planu su rekonfigurabilne mašine tipa strugova sa obradom glodanjem, što se opravdava statistički češćim osno simetričnim delovima u proizvodnim programima proizvođača raznih mašina. Na taj način se omogućava da se obrade struganjem i glodanjem kompletiraju sa istim baziranjem na istoj mašini, čime se postiže kontinualnost obrade uz dobar kvalitet.

2. KONCEPCIJE REKONFIGURABILNIH PETOOSNIH MAŠINA ALATKI

Radi lakšeg sagledavanja različitih koncepcija mašina alatki pogodno je iskoristiti neki od načina za opisivanje njihove strukture. Mašine alatke se mogu formalno opisivati klasičnim strukturnim formulama, kao što je pokazano na slici 1. Na osnovu opisa mašine pomoću strukturnih formula, može se uspostaviti veliki broj različitih koncepcija, za koje se mogu konfigurisati inicijalne koncepcije za dalju analizu i izbor najpovoljnijeg rešenja prema nekom zadatom kriterijumu. Za ovaj rad su izdvojene koncepcije mašina koje mogu da pokrivaju razne grupe mašina (GM1, GM2 i GM3), slika 1.

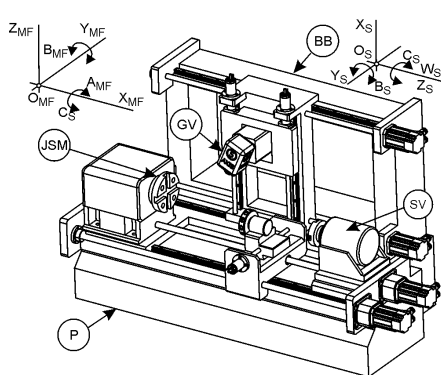
Ovde se posmatraju samo petoosne glodalice sa serijskom kinematikom i to tako da imaju tri translatorna i dva obrtna pomoćna kretanja. Po standardu su osnovna obrtna pomoćna kretanja označena sa A, B i C. Prvo je oko ose X, drugo oko ose Y, a treće oko ose Z. Petoosna mašina ima dva od takva tri kretanja. Strukturne formule dela skupa ovih glodalica date su na slici 1. U tim formulama je osnovna mašina deo mehanizma sa translatorskim osama i nepokretnim članom, koja se opisuje kao neka od varijanti rasporeda osa OXYZ, XOYZ, XOZY, ..., u svim uzajamnim redosledima. Obrtne ose pokreću ili samo alat, ili samo obradak, ili i alat i obradak. Po šemi sa slike 1. može se sastaviti mnogo strukturnih formula, posebno za horizontalne, posebno za vertikalne mašine.

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

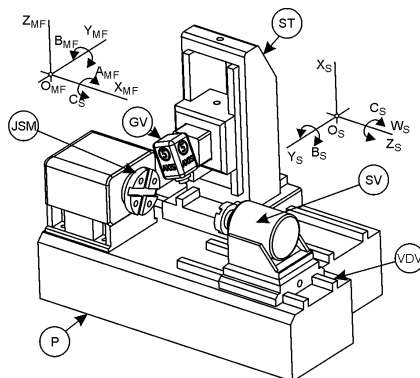
Slika 1. Opis petoosnih mašina alatki pomoću strukturnih formula

Polazne razmatrane koncepcije rekonfigurabilnih petoosnih mašina su pokazane na slici 2. Dodate su i oznake koordinatnih sistema mašine, ali i osnovni elementi njihove strukture. Dato je ukupno šest različitih varijanti strukture: S1, S2, S3, S4, S5 i S6. Alternative za stubove za svaku mašinu su pokazane ili kao „Box in Box” (kao na slici 2a), ili kao stub (slika 2b,c,d,e,f). Analizom osnovnih komponenata mašina alatki, sa slike 2 uspostavljen je sistem sastavnih elemenata rekonfigurabilnog hardvera, koji čini koncepciju mašine, u vidu morfološke matrice, što je pokazano u radu [8]. Ovakav pristup omogućava efikasno konfigurisanje različitih koncepcija, na bazi zajedničke baze modula i dobijanje virtuelnih prototipova za dalju analizu. U ovom radu se razmatra simulacija kinematike mašine kada radi po zadatom programu. Svaka od mašina je konfigurisana u CAD/CAM okruženju, sa odgovarajućim kinematičkim vezama pokretnih elemenata mašine, što omogućava simulaciju rada mašine, koja radi po zadatom programu na konkretnim primerima.

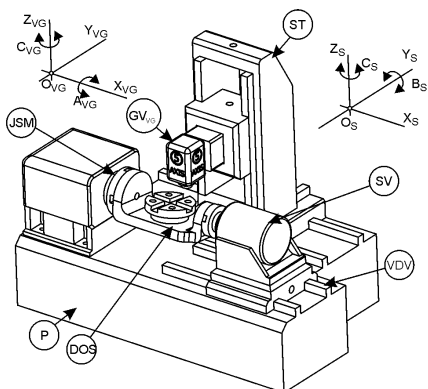
Razvoj pokazanih rekonfigurabilnih petoosnih mašina alatki za cilj ima sledeće: (i) razvoj niskobudžetne stone mašine alatke, (ii) iskoristiti napravljenu mašinu i/ili virtuelne prototipove za istraživanje i edukaciju, (iii) kompletirati upravljanje otvorene arhitekture, (iv) mašinu programirati pomoću G-kôda ili primenom STEP-NC programa, (v) pripremiti adekvatna okruženja za programiranje na bazi G-kôda i STEP-NC standarda, (vi) pripremiti virtuelne prototipove mašina za potrebe simulacija kada mašina radi po zadatom programu u oba pomenuta okruženja (CAD/CAM i STEP-NC).



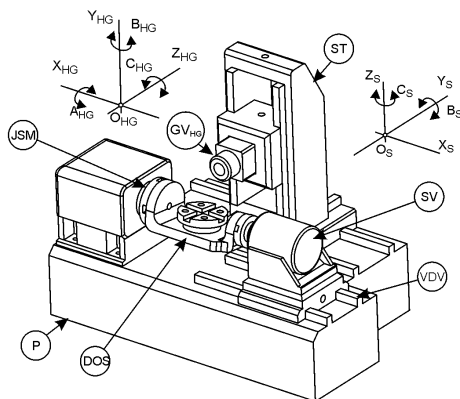
a) Mašina tipa "Box in Box", S1



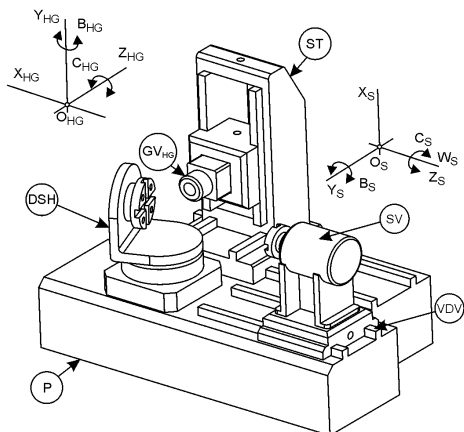
b) Mašina tipa struga sa obradom glodanjem, S2



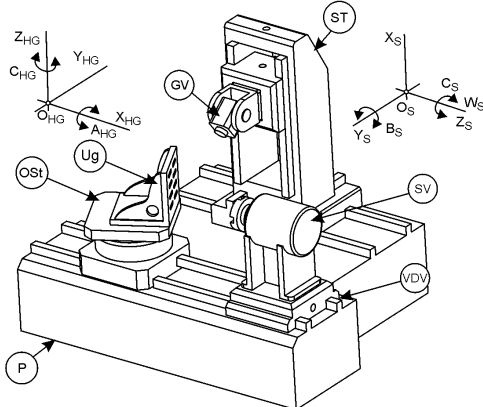
c) Mašina tipa vertikalne glodalice sa obradom struganjem, S3



d) Mašina tipa horizontalne glodalice sa obradom struganja, S4



e) Horizontalna multifunkcionalna glodalica, S5



f) Multifunkcionalna glodalica, S6

Legenda: P: postolje; DOS: dvostruki obrtni sto; DSH: dvostruki obrtni sto horizontalne; GV: glodačko vreteno; SV: strugarsko vreteno; BB: postolje „Box in Box”; ST: stub; JSM: jednostruki sto multifunkcionalne; Ost: obrtni sto, Ug: ugaonik, (O_{VG}, O_{HG}, O_{MF}, O_S): koordinatni sistemi vertikalne i horizontalne glodalice, multifunkcionalne i strugarske mašine; GV_{HG}: glavno vreteno horizontalne; VDV: vođice drugog vretena; A,B,C: rotacije

Slika 2. Konceptije rekonfigurabilnih petoosnih mašina alatki

U Tabeli 1 navedeni su karakteristični primeri rekonfigurabilnih petoosnih mašina, pozivajući se na koncepcije date na slici 2.

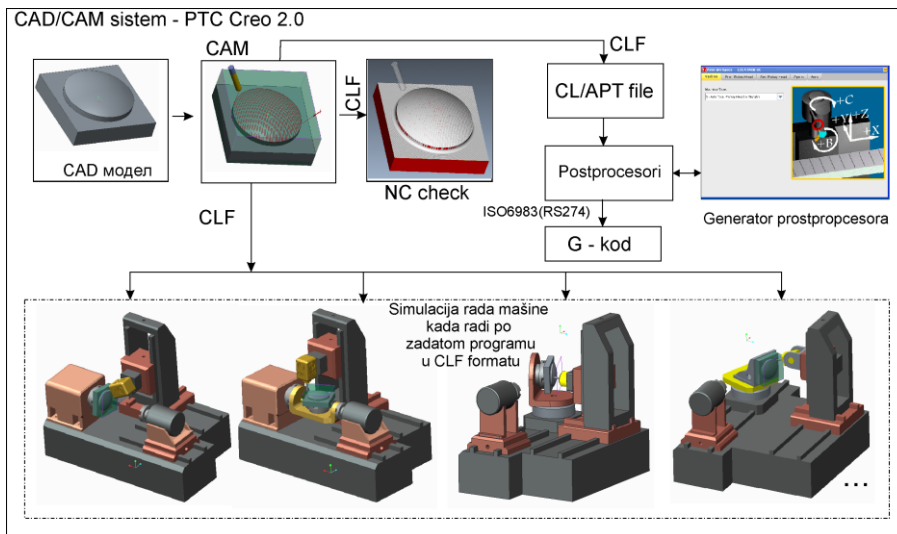
Tabela 1. Tipične koncepcije rekonfigurabilnih i multifunkcionalnih mašina alatki sa sl.2

R B	Opis koncepcije	Osobine	Tipične namene
1	Vertikalna (Sl. 2a) sa nagibnim GV, osa B na alatu, osa A na obratku, GM3 sa slike 1	Dobar prilaz alata obratku. Mala površina osnove mašine. Krutost.	Mali delovi. Lopatice i slični delovi.
2	Vertikalna (Sl. 2b) sa nagibnim GV, osa B na alatu, osa A na obratku, GM3 sa slike 1	Dobar prilaz alata obratku. Mala površina osnove mašine.	Mali delovi. Lopatice i slični delovi.
3	Vertikalna (Sl. 2c) sa GV_{VG} , ose B i C na obratku (DOS), GM1 sa slike 1	Dobar prilaz alata obratku. Mala površina osnove mašine.	Mali delovi. Raznovrsni. U malim serijama.
4	Horizontalna (Sl.2d) sa GV_{HG} i zadržanim DOS, GM1 sa slike 1	Dovoljan radni prostor za prihvat većih delova i višestranu obradu. Krutost.	Veći impeleri. Delovi sa obradom sa pet strana.
5	Horizontalna (Sl.2e) sa DSH i GV_{HG} , sto na stolu, GM1 sa slike 1	Brzohodne. Manja opasnost od kolizija u radu mašine.	Impeleri. Rotori turbina. Razni rezni alati.
6	Horizontalna (Sl.2f), sa osom A na alatu i osom C na obratku, sa ili bez ugonika, GM3 sa slike 1	Veći i teži delovi. Dobre baze za obradak.	Delovi većih gabarita. Delovi sa tankim zidovima.

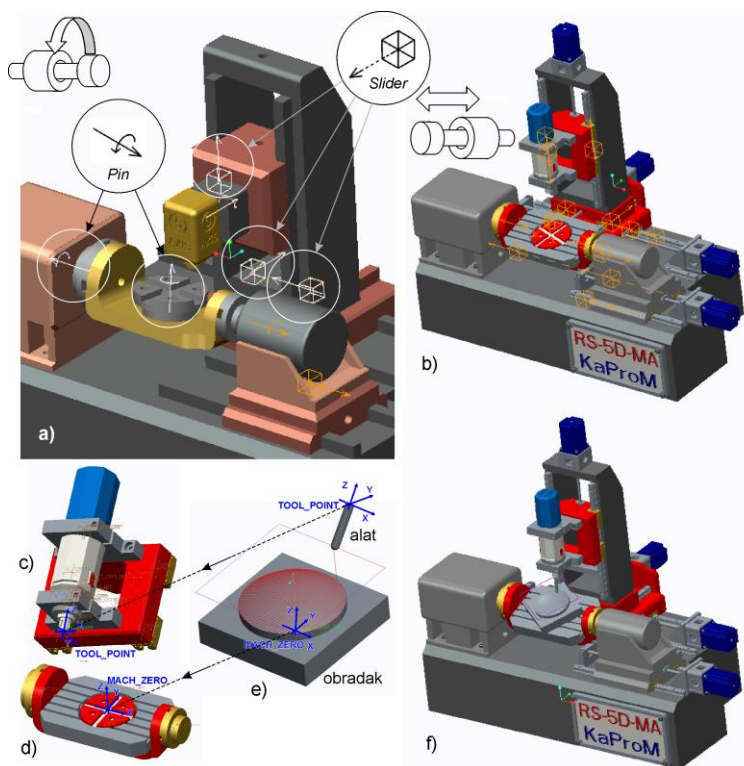
3. SIMULACIJA RADA MAŠINE U CAD/CAM OKRUŽENJU

Simulacija rada mašine primenom virtualne mašine je najbezbedniji i najisplativiji način verifikacije programa za višeosnu obradu. U ovom poglavlju je pokazano izabrano okruženje za programiranje sa četiri izabrana virtualna prototipa na konkretnim primerima simulacije rada mašine prema zadatom programu za obradu jednog probnog dela, oblika ispučene kalote, slika 3. Sistem za programiranje je uobičajeni i koristi CAD/CAM sistem PTC Creo [9]. U zavisnosti od izabrane konfiguracije mašine mogu se pripremiti i odgovarajući postprocesori za svaku od njih korišćenjem konfiguratora postprocesora, čime se G-kôd prilagođava formatu konkretne izabrane mašine.

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 u CLF formatu [6-10]. Na slici 4 je pokazana koncepcija S3, sa vertikalnim položajem glavnog vretena sa dve rotacije na obratku. Za pripremu modela za simulaciju se koriste odgovarajuće kinematičke veze tipa klizača (*Slider*) za translatorna pomeranja po X,Y i Z osi za pomeranja osnovne mašine (OM) prema slici 1, dok se za rotacije obratka A i C, koriste obrtne kinematičke veze (*Pin*), slika 4a. Za uprošćeni koncepcijski model sa slike 4a, pripremljen je virtualni prototip sa izabranim komponentama za gradnju mašine sa svim kinematičkim vezama, slika 4b. Koordinatni sistemi obratka MACH_ZERO i alata TOOL_POINT su pokazani na slikama 4c,d,e, na čelu glavnog vretena, na radnom stolu mašine, obratku i alatu. Pokretanjem simulacije rada mašine opcijom *Machine Play*, zahvaljući prethodno definisanim koordinatnim sistemima i njihovim poklapanjem, obradak se postavlja na radni sto, a alat u glavno vreteno mašine. Simulacija obrade za mašinu sa slike 4b je pokazana na slici 4f, za probni deo oblika kalote.



Slika 3. Sistem za programiranje sa simulacijom rada rekonfigurabilnih petosnih mašina na bazi CLF-a u CAD/CAM okruženju



Slika 4. Kinematičke veze, koordinatni sistemi i prikaz simulacije rada mašine za jednu varijantu mašine

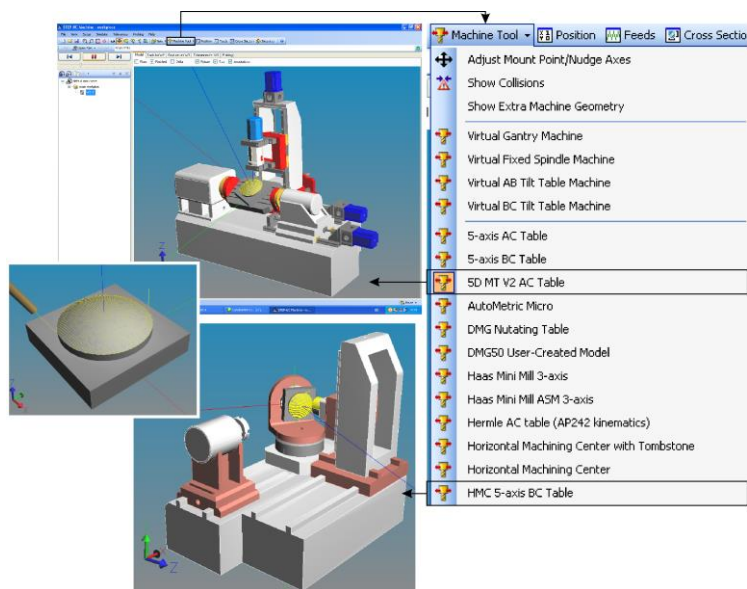
Primenjeni metodi za verifikaciju programa su: simulacija putanje alata, simulacija uklanjanja materijala (NC Check) i simulacija rada mašine po zadatom

programu na bazi putanje alata (CLF). Ova vrsta simulacije je vrlo interesantna kako prilikom razvoja novih koncepcija mašine i uvida u njen rad i eventualne kolizije, kada ne postoji fizički prototip, tako i za verifikaciju programa obrade u CAD/CAM okruženju.

4. SIMULACIJA RADA MAŠINE U STEP-NC MACHINE OKRUŽENJU

Simulacija rada razmatranih rekonfigurabilnih petoosnih mašina je razmatrana i u okruženju STEP-NC machine [10], koje podržava programiranje mašina alatki na bazi STEP-NC standarda, kao novog metoda programiranja, koji možemo nazvati i objektnim. Kod ovog metoda programiranja pojedini tehnološki primitivi, na delu koji treba napraviti, predstavljaju objekte (Features) i ako se program za tu izradu kompletira pomoću tih objekata, ne pomoću alfanumeričkih tekstova, onda je takvo programiranje nazvano objektnim. Međutim, klasična programiranja postoje još uvek, a i objektno programiranje do sada nije uvedeno u punom obimu [12]. Ta dva metoda egzistiraju uporedo.

Za pripremu uvođenja novog metoda programiranja primenom STEP-NC standarda, takođe su konfigurisane i inegrirane virtualne mašine koje rade po programu u STEP-NC formatu u okruženju softvera STEP-NC Machine. Za primer mašina S3 i S5 sa slike 2, pripremljeni su virtelni prototipovi koji mogu da rade u okruženju STEP-NC Machine na osnovu STEP-NC programa, slika 5.



Slika 5. Rekonfigurabilne petoosne mašine alatke u STEP-NC Machine okruženju

5. ZAKLJUČCI

U radu je prikazan koncept razvoja jedne klase rekonfigurabilnih petoosnih mašina alatki, koja uključuje analizu konfigurisanih virtualnih prototipova pri simulaciji njihovog rada u okruženjima za programiranje. Razmatrana su dva takva okruženja i to CAD/CAM i STEP-NC Machine.

U radu je dat formalizam za opis konfiguracija razmatranih mašina pomoću strukturnih formula. Za izabrane predstavnike razmatranih rekonfigurabilnih petoosnih

mašina alatki, realizovana je simulacija rada mašina po zadatom programu za verifikaciju programa obrade i uočavanje eventualnih kolizija u toku obrade, kada se mašina programira na uobičajeni način u CAD/CAM okruženju i kada se mašina programira novim metodom programiranja u okruženju STEP-NC Machine.

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

ZAHVALNOST

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu „TR35022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema”, koji je podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S. (2005). Virtual machine tool, *CIRP Annals - manufacturing technology*, 54/2, p. 115-138.
- [2] Ko, J. H., Yun, W. S., Kang, S. J., Cho, D. W., Ahn, K. G., Yun, S. H. (2003). Development of a Virtual Machine Tool - Part 2: Dynamic Cutting Force Model, Thermal Behavior Model, Feed Drive System Model, and Comprehensive Software Environment, *International Journal of the KSPE*, 4/3, p. 42-47.
- [3] Kadir, A. A., Xu, X., Hämmerle, E. (2011). Virtual machine tools and virtual machining - A technological review, *Robotics and Computer - Integrated Manufacturing*, 27, p. 494-508.
- [4] Zivanovic, S., Glavonjic, M., Milutinovic, D. (2015). Configuring A Mini-Laboratory and Desktop 3-Axis Parallel Kinematic Milling Machine, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 61/1, p. 33-42.
- [5] Zivanovic, S., Puzovic, R. (2015). Off-line Programming and Simulation for 2-axis Wire EDM, *FME Transactions*, 43/2, p. 138-143.
- [6] Živanović, S., Kokotović, B., Jakovljević, Ž. (2015). Turning machine simulation for program verification, *Proceedings of the 12th International Scientific Conference mma 2015 - Advanced Production Technologies*, p. 157-160.
- [7] Zivanovic, S., Kokotovic, B. (2015). Configuring a virtual desktop 5-axis machine tool for machine simulation, *Proceedings of the 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2015*, p. 255-262.
- [8] Glavonjić M., Živanović S., Kokotović B. (2013). Konfigurisanje stonih petoosnih mašina alatki, *TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije*, 62/5, str 857-863.
- [9] PTC Creo, <http://www.ptc.com/cad/creo>, pristupljeno 11.4.2016.
- [10] STEP-NC Machine for CAM/CNC, <http://www.steptools.com/products/stepncmachine/>, pristupljeno 11.4.2016.
- [11] Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Brussel H.V. (1999). Reconfigurable Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 48/2, p. 527-540.
- [12] Glavonjić M., Živanović S. (2012). Protokol STEP-NC za programiranje numerički upravljanih mašina alatki, *TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije*, 61/6 str. 937-942.