

Živanović, S., Glavonjić, M., Kokotović, B.¹⁾VERIFIKACIJA POSTPROCESORSKOG RAČUNA JEDNE KONCEPCIJE STONE
REKONFIGURABILNE PETOOSNE MAŠINE ALATKE²⁾*Rezime*

U radu su pokazane koncepcije stone rekonfigurabilne petoosne mašine alatke, strukture WCBVXYZT. Predstavljen je formalizam postprocesorskog računa za petoosne mašine tipa WCBVXYZT. Verifikacija virtuelnog prototipa jedne koncepcije stone petoosne mašine je izvršena simulacijom obrade na virtuelnoj mašini u CAD/CAM okruženju. Sam formalizam postprocesorskog računa je verifikovan poređenjem dobijenih rezultata u Matlabu sa rezultatima konfigurisanog postprocesora u CAM okruženju i eksperimentom obrade na raspoloživoj mašini.

Ključne reči: CAD/CAM, petoosna mašina alatka, postprocesor

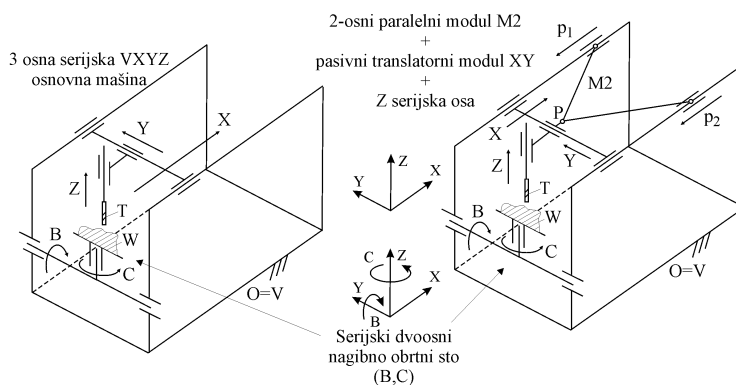
1. UVOD

Istraživanja rekonfigurabilnih i petoosnih mašina alatki su intenzivna i imaju dosta kompletiranih rezultata [1-5]. Predmet ovog rada je razvoj jedne rekonfigurabilne stone petoosne mašine alatke sa serijskom i sa hibridnom kinematikom. Pod koncepcijom rekonfigurabilne mašine alatke ovde se podrazumeva sistem sastavnih elemenata pomoću kojeg se može konfigurisati više mašina. Svaka od tih mašina je sa novom kinematičkom strukturom. U prethodnim radovima [6-8] detaljno je razmatran sistem sastavnih elemenata pomoću kojeg se može konfigurisati više različitih mašina, od kojih neke troosne i/ili četvorosone. U ovom radu se razmatraju samo petoosne konfiguracije i to sa serijskom i hibridnom kinematikom [7,8]. Programiranje petoosnih mašina alatki i dobijanje korektnog postprocesora je osnovni predmet analize. Pripremljen je adekvatan model mašine radi opisa formalizma postprocesorskog računa [5], kao i priprema postprocesora pomoću konfiguratora postprocesora u CAD/CAM Creo okruženju. Verifikacija postprocesora je ostvarena na virtuelnom prototipu u CAD/CAM okruženju i eksperimentalno na jednoj raspoloživoj troosnoj mašini, sa dodatim dvoosnim priborom [8].

Za stonu rekonfigurabilnu petoosnu mašinu, čija je osnovna koncepcija opisana u poglavlju 2, u poglavlju 3 je pokazan postprocesorski račun za kompletnu petoosnu mašinu. Prikazana je i provera postprocesorskog računa u Matlab okruženju. Verifikacija postprocesorskog računa i konfigurisanog postprocesora za mašinu urađeni su na primeru obrade nepravilne trostrane piramide na raspoloživoj mašini, što je pokazano u poglavlju 4.

**2. KONCEPCIJE STONE PETOOSNE
MAŠINE ALATKE**

Za ovaj rad je izabrana koncepcija mašine pokazane na Sl.1. Osnovna mašina je

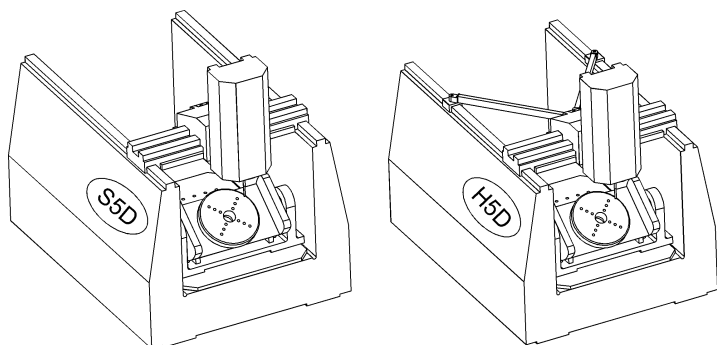


Slika 1. Koncepcijski model mašine

¹⁾ doc dr Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (szivanovic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Miloš Glavonjić, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (mglavonjic@mas.bg.ac.rs), doc dr Branko Kokotović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (bkokotovic@mas.bg.ac.rs)

²⁾ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja su realizovana na projektu TR035022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema, koji finansijski podržava Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

troosna stona portalna glodalica strukture VXYZ. Dodavanjem dvoosnog nagibno obrtnog stola (B,C) ispred osnovne mašine, ova mašina postaje petoosna (S5D), strukture WCBVXYZT. Fiksiranjem ose $B=0^\circ$ ili $B=90^\circ$, uz zadržavanje ose C, mašina postaje četveroosna na kojoj je moguća i obrada struganjem. Četvrta moguća koncepcija podrazumeva osnovnu mašinu sa hibridnom kinematikom i to: dvoosni paralelni modul M2, koji ostvaruje pomernje tačke P u ravni (X,Y) preko pasivnog translatorskog modula (X,Y), dok je Z osa serijska. Na ovakvoj osnovnoj mašini ostaje i dvoosno obrtni nagibni sto, čime je dobijena i petoosna mašina sa hibridnom kinematikom (H5D). Predmet ovog rada su petoosne mašine S5D i H5D, pokazane na Sl. 2.



Slika 2. Plan uzoraka stonih petoosnih mašina alatki

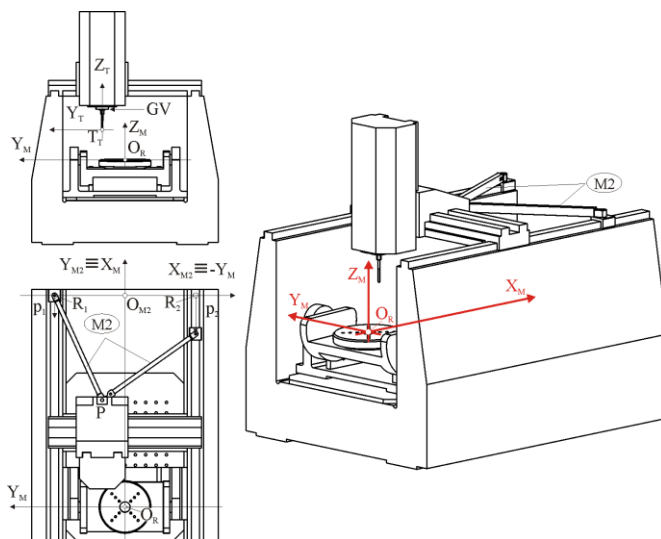
- Zbog osnovne troosne portalne mašine dvoosni sto je postavljen poprečno, pa je za ove mašine osnovna strukturna formula WCBVXYZT.

Plan uzoraka stonih petoosnih mašina alatki, sa Sl. 2, ima ova svojstva:

- Uzajamno su ekvivalentne, jer se konfigurišu iz iste grupe modula i po istom programu gradnje, odnosno, po zajedničkom konfiguratoru.
- Za slučajevne obrada kraćih delova i korišćenjem obrtnih stolova dobra je mašina H5D: nisu potrebni dugi hodovi nosača alata, dok brzine pomoćnih kretanja alata treba da budu dovoljne da mogu da prate obrtanja stolova i to u paru i pojedinačno.

3. FORMALIZAM POSTPROCESORSKOG RAČUNA ZA PETOOSNE MAŠINE STRUKTURE WCBVXYZT

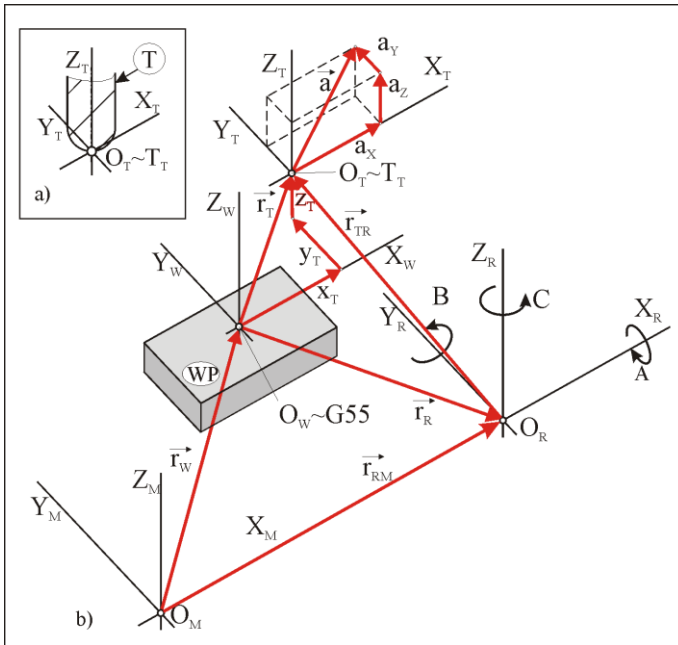
Programiranje mašina sa serijskom kinematikom strukture WCBVXYZT u nekom CAD/CAM okruženju je rutinsko, kada se pripremi dobar postprocesor. Zbog toga nije potrebno ponavljati postprocesorski račun, koji se sprovodi u takvim postprocesorima, nego ga treba formalizovati i koristiti za naknadnu formalnu proveru programa (G kôdova) koje treba izvršavati na mašinama. Razlog: ako se koristi mašina H5D, onda se u sistemu za upravljanje sprovodi naknadni postprocesorski račun za njenu hibridnu kinematiku, da bi se interpretirani G kod, koji je pravljen za mašinu tipa WCBVXYZT, mogao izvršavati i na mašinama S5D i H5D. Zbog toga rekonfigurisanje hardvera sa Sl. 2 treba da bude praćeno i rekonfigurisanjem softvera (sistema za upravljanje), da bi se imao pravi rekonfigurabilni petoosni obradni sistem, ilustrovan na Sl. 2. U nastavku sledi prikaz formalizma postprocesorskog računa za petoosne mašine sa Sl. 2 i opis provera ispravnosti tog računa.



Slika 3. Koncepcija rekonfigurabilne stonice petoosne mašine alatke tipa H5D, sa strukturom WCBVXYZT

Potrebno je pripremiti model za ovaj račun [7,8]. Na Sl. 3 pokazana je osnovna priprema, u kojoj su prikazani osnovni koordinatni sistem mašine (O_R), alata (T_T) i podsistema sa paralelnom kinematikom (O_{M2}).

U ovom odeljku se opisuje postprocesorski račun za podsistem sa serijskom kinematikom, u osnovnom sistemu O_R . Kinematički model je dat na Sl. 4, zajedno sa važnijim oznakama. U ovom modelu je dodat koordinatni sistem mašine (O_M), u kojem je osnovni sistem, O_R , postavljen u centar obrtanja stolova. Koordinatni sistem programa je O_W , vezan za obradak (WP). Posmatra se slučaj u kojem je sistem programa paralelan sa sistemima mašine, pa je za nultu tačku (na primer, G55, Sl.4), potrebna samo translacija da bi mašina radila po interpretiranom programu i pripremom sa tako postavljenim priborom i pripremkom na stolu. Sistem obratka (O_W) se ne poklapa sa osnovnim sistemom mašine, što je opisano vektorom \vec{r}_R i to u sistemu O_W , u kojem važi i dobijeni program obrade. Sistem alata (T) ima početak u O_T .



Slika 4. Prvi kinematički model rekonfigurabilne stone petoosne mašine alatke tipa H5D [8]

Programiranjem ovakve petoosne mašine u CAD/CAM sistemu formira se putanja alata u odnosu na obradak i upisuje u CLF (*Cutter Location File*), kao šestorka podataka: tri za vektor položaja vrha alata u sistemu programa (\vec{r}_T u O_W) i tri za orijentaciju ose alata (\vec{a} u O_W), za svaku pozu mašine na putanji, opisanu kao naredba

GOTO/ \vec{r}_T , \vec{a} , odnosno

GOTO/ $x_T, y_T, z_T, a_x, a_y, a_z$, koja je svojstvena dobro poznatom APT formatu.

Koordinatni sistemi u ovom računu su: koordinatni sistem mašine $O_M(X_M, Y_M, Z_M)$, osnovni koordinatni sistem mašine $O_R(X_R, Y_R, Z_R)$, koordinatni sistem obratka $O_W(X_W, Y_W, Z_W)$ i koordinatni sistem alata $O_T(X_T, Y_T, Z_T)$. Koordinate korišćenih vektora za orijentaciju alata (\vec{a}_0, \vec{a}) i vektora ($\vec{r}_{T0}, \vec{r}_T, \vec{r}_R, \vec{p}, \vec{x}$) su:

$$\vec{a}_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}; \quad \vec{a} = \begin{Bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \\ 0 \end{Bmatrix}; \quad \vec{r}_{T0} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad \vec{r}_T = \begin{Bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad \vec{r}_R = \begin{Bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad \vec{p} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad \vec{x} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{Bmatrix}.$$

Ostalo: $\vec{v} = \{v_x, v_y, v_z\}^T$ je neki dati vektor, T je alat, W, ili WP je obradak.

Sledi postprocesorski račun, koji se može ovako opisati, za svaku od tih poza posebno: iz svoje referentne pozicije mašina obrtanjem stolova usmerava programirani ort ose alata \vec{a} na \vec{a}_0 , kakav mašina jedino i ima, a onda translatorskim osama navodi vrh alata (T_T) na njegovu zaokrenutu programiranu poziciju zbog već sprovedenih obrtanja stolova. Stolovi se obrću za $-C$, pa za $-B$. Neka je sa $Tr(\vec{v})$ označena translacija za vektor \vec{v} , a sa $Rot(\vec{o}, \varphi)$ obrtanje za ugao φ oko orta \vec{o} , u pozitivnom smeru, gde je \vec{o} ort \vec{i} osa $X_M \sim X_R$ mašine, ili ort \vec{j} osa $Y_M \sim Y_R$, ili ort \vec{k} osa $Z_M \sim Z_R$. Na H5D su ose obrtanja stolova paralelne sa osama Z i Y u koordinatnim sistemima ove mašine. Ugao obrtanja ima negativni predznak ako se obrće obradak (sa stolom). Po standardu je obrtanje oko orta \vec{i} ugao A, oko orta \vec{j} ugao B i oko orta \vec{k} ugao C. Ovako opisana obrtanja stolova, pa translacije alata, mogu se formalizovati kao direktna geometrija mašine, pomoću sledeće dve jednačine, respektivno:

$$Tr(\vec{r}_R) \cdot Rot(\vec{k}, -C) \cdot Rot(\vec{j}, -B) \cdot Tr(\vec{p}) \cdot \vec{a}_0 = \vec{a} \quad (1.1) \quad \text{i} \quad Tr(\vec{r}_R) \cdot Rot(\vec{k}, -C) \cdot Rot(\vec{j}, -B) \cdot Tr(\vec{p}) \cdot \vec{r}_{T0} = \vec{r}_T \quad (1.2) \quad (1)$$

Izgled matrice translacije $Tr(\vec{v})$ za neki vektor \vec{v} i matrice rotacija oko osa koordinatnih sistema mašine imaju uobičajeni oblik [3,8], svojstven homogenim koordinatama i to:

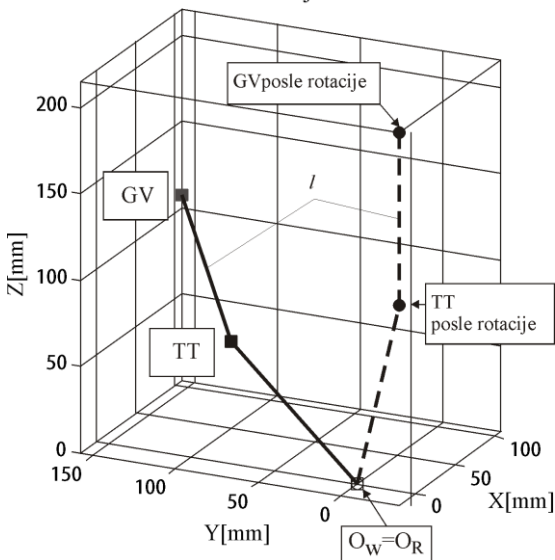
$$[T_r(\vec{v})] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & v_x \\ 0 & 1 & 0 & v_y \\ 0 & 0 & 1 & v_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad Rot(k, -C) = \begin{bmatrix} cC & sC & 0 & 0 \\ -sC & cC & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad Rot(j, -B) = \begin{bmatrix} cB & 0 & -sB & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ sB & 0 & cB & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

U jednačini (1) je \vec{p} potrebno kretanje alata u odnosu na obradak u sistemu O_R mašine, dok se stvarna potrebna kretanja osa mašine, koja se unose u program, mogu opisati vektorom $\vec{g} = \{X \ Y \ Z \ 1\}^T$. Drugo rešenje je par uglova obrtnih osa. U ovom slučaju su to uglovi C i B. Rešenja jednačina (1) traže se odvojeno. Tako se dobija rešenje za inverzni geometrijski problem, koje se ugrađuje u postprocesor.

Međutim, u ovom slučaju se taj formalizam koristi za proveru upravo interpretiranog G koda u sistemu otvorene arhitekture, konfigurisanom za posmatranu mašinu, jednu od onih sa Sl. 2. Sa uvedenim smenama sC za $\sin(C)$, cC za $\cos(C)$, sB za $\sin(B)$, cB za $\cos(B)$, posle odvojenog rešavanja obe jednačine (1) mogu se kompaktno napisati rešenja inverznog geometrijskog problema. Prvi deo rešenja se odnosi na potrebne uglove orijentacije B i C , dok se drugi deo rešenja odnosi na pozicije translatorskih osa mašine (X, Y, Z) .

$B = \arccos(a_z)$, gde je $B \in (0, \pi \wedge B \neq 0)$	(2)
$C = a \tan 2\left(\frac{a_y/sB}{-a_x/sB}\right)$, gde je $C \in [-\pi, \pi]$.	(3)
$X = x_R + p_x$	$p_x = (x_T - x_R) \cdot cB \cdot cC - (y_T - y_R) \cdot cB \cdot sC + (z_T - z_R) \cdot sB$
$Y = y_R + p_y$	$p_y = (x_T - x_R) \cdot sC + (y_T - y_R) \cdot cC$
$Z = z_R + p_z$	$p_z = -(x_T - x_R) \cdot sB \cdot cC + (y_T - y_R) \cdot sB \cdot sC + (z_T - z_R) \cdot cB$

Prva i druga provera za mašinu WCBVXYZT.
Dužina alata je 100mm.



Slika 5. Provera računa po prvom kinematičkom modelu rekonfigurabilne stone petoosne mašine alatke tipa H5D

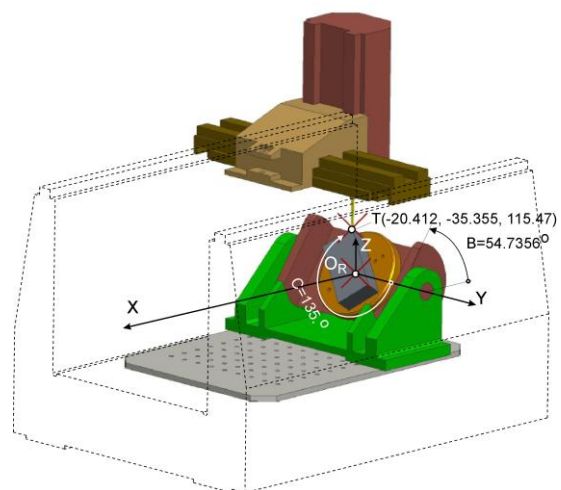
Poklapanje X, Y, Z sa p_x, p_y, p_z , respektivno, posledica je poklopljenih koordinatnih sistema O_W i O_R .

Postprocesorski račun u sistemu za upravljanje se sprovodi u dva dela. U prvom se vrši provera prikazana na Sl. 5: da se programirani ort ose alata (\vec{a}_T) rotacijama za C , pa za B iz (2) i (3) zaista poklapa sa \vec{a}_0 i da translatorske ose mašine treba da budu u pozicijama $[X \ Y \ Z \ 1]^T$, propisanim jednakostima (4). Ta provera se vrši i kinematički pomoću virtualne mašine, Sl.6. Provera je urađena i na virtualnom prototipu mašine, u CAD/CAM okruženju, zauzimanjem pozicija po izračunatim koordinatama X, Y, Z, B i C , pri čemu alat prema obratku zauzima korektnu pozu, kao što se može videti na Sl.6.

U drugom delu se izračunavaju potrebne pozicije pogonskih osa p_1 i p_2 mašine M_2 sa paralelnom kinematikom, što nije predmet ovog rada i detaljno je pokazano u [8]. To je drugi kinematički model mašine tipa H5D. Po njemu je nađeno rešenje inverzne i direktne

Provera računa. Provera postprocesorskog računa je pokazana na Sl. 5. GV (glavno vreteno) je oznaka za centar nosača alata. Rastojanje od GV do TT je dužina alata, ovde $l=100$ mm. Ovde se razmatra slučaj kada je $\vec{r}_R = \vec{0}$, odnosno kada je O_W postavljeno tačno u O_R . Punom linijom je prikazana programirana poza mašine u sistemu $O_R = O_W$, na osnovu podataka iz programa, u sistemu O_W . Isprekidanom linijom je nacrtana poza mašine posle izvršavanja kretanja po rešenjima (2)-(4), za specijalni slučaj: $\vec{r}_R = [0, 0, 0]^T$, $\vec{r}_T = [50, 100, 50, 1]^T$ i $\vec{a}_T = [3^{0.5}/3, 3^{0.5}/3, 3^{0.5}/3, 1]^T$. Pozicija alata se nalazi u temenu kvadra definisanog vektorom \vec{r}_T , dok je orijentacija definisana vektorom \vec{a}_T . Posle proračuna prema jednačinama (2) do (4) u Matlabu, dobijeni rezultati su:

Rotacije obrtnih stolova radi zauzimanja zadate orijentacije su: $B = 54.7356^\circ$, $C = 135.0000^\circ$, dok su potrebna translatorska pomeranja alata radi dostizanja zadate pozicije $X = -20.4124$, $Y = -35.3553$, $Z = 115.4701$, odnosno $p_x = -20.4124$, $p_y = -35.3553$, $p_z = 115.4701$.



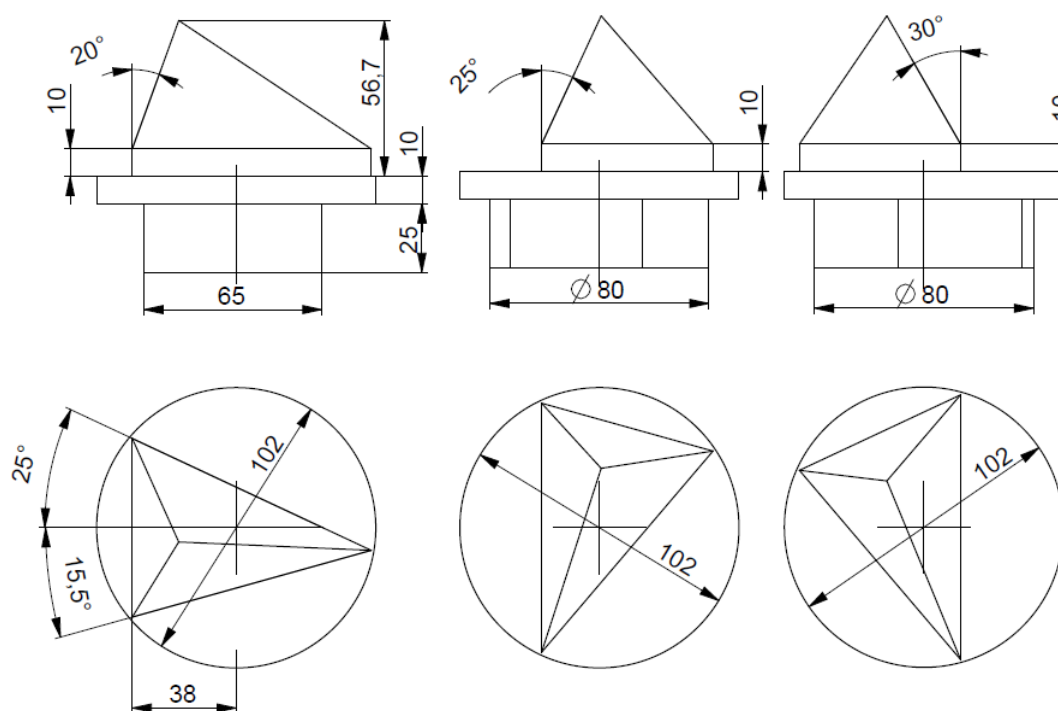
Slika 6. Provera postprocesorskog računa na CAD virtualnom prototipu za mašinu S5D

geometrije podsistema sa paralelnom kinematikom i to rešenje je uspešno implementirano u interpretirani G kod, da bi se u njemu izvršile korekcije, koje su posledica kinematike mašine. Posle toga su već moguća planiranja putanje alata, pa interpolacije u realnom vremenu, itd.

4. VERIFIKACIJA POSTPROCESORSKOG RAČUNA OBRADOM TROSTRANE PIRAMIDE

Prve probe postprocesorskog računa su vršene na pravilnoj četvorostranoj piramida koja je za osnovu imala kvadrat [8]. U ovom radu je izabran probni deo oblika nepravilne trostrane piramide, koja je pokazana na Sl.7 i koristi se za verifikaciju postprocesorskog računa u višeosnoj obradi. Program za obradu se priprema za sve tri nagnute strane piramide pod uglovima od 20° , 25° i 30° . Predobrada za kompletan deo ostvaruje se troosnom obradom, a završna obrada svake od strana piramida 3+2 obradom.

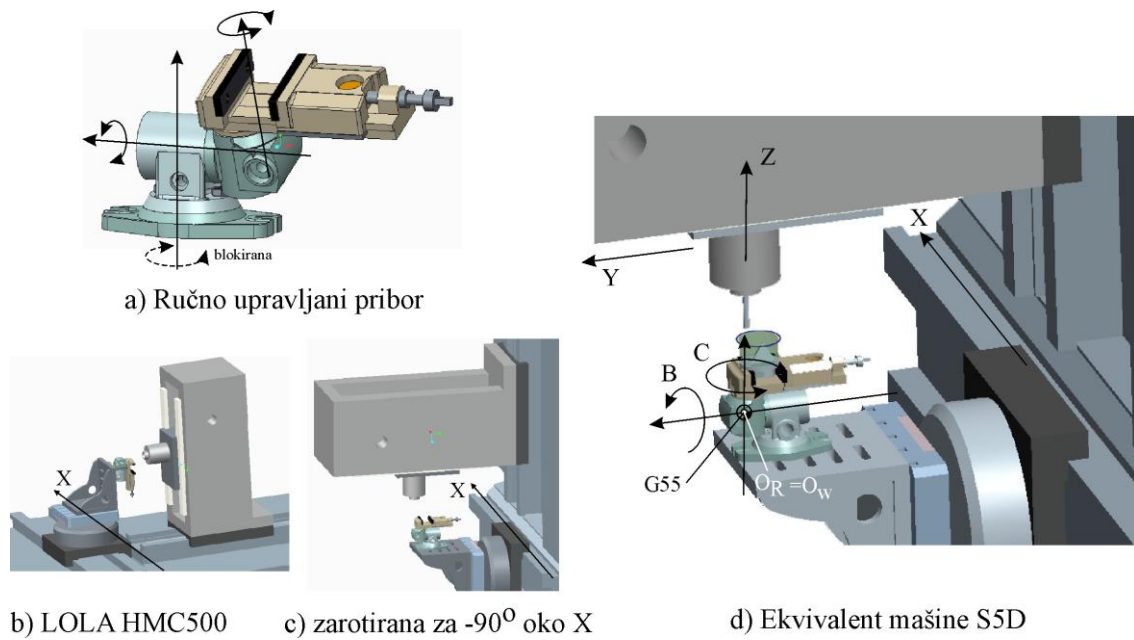
Pri obradi probnog dela sa Sl.7, oblika trostrane piramide, pozicije stolova, ose B i C su konstantne tokom završne obrade svake od strana trostrane piramide. Delovi programa za te pozicije izvršavani su odvojeno, u režimu troosne obrade, na horizontalnom obradnom centru LOLA HMC500, sa dodate dve ručno upravljane obrtne ose, Sl.8. Pozicioniranje po dve ručno upravljane obrtne ose ostvaruje se pomoću pribora, na kome je prva osa blokirana (Sl.8a), dok su preostale dve iskorišćene da se njima ostvaruju ose orijentacije obratka B i C. Ako se izabrana mašina (Sl.8b), posmatra kao da je zarotirana za -90° oko ose X (Sl.8c), konceptijski se dobija mašina koja odgovara mašini S5D (Sl.8d). To je ovde iskorišćeno za proveru konfigurisanog postprocesora za vertikalnu petoosnu mašinu strukture WXYZBCT.



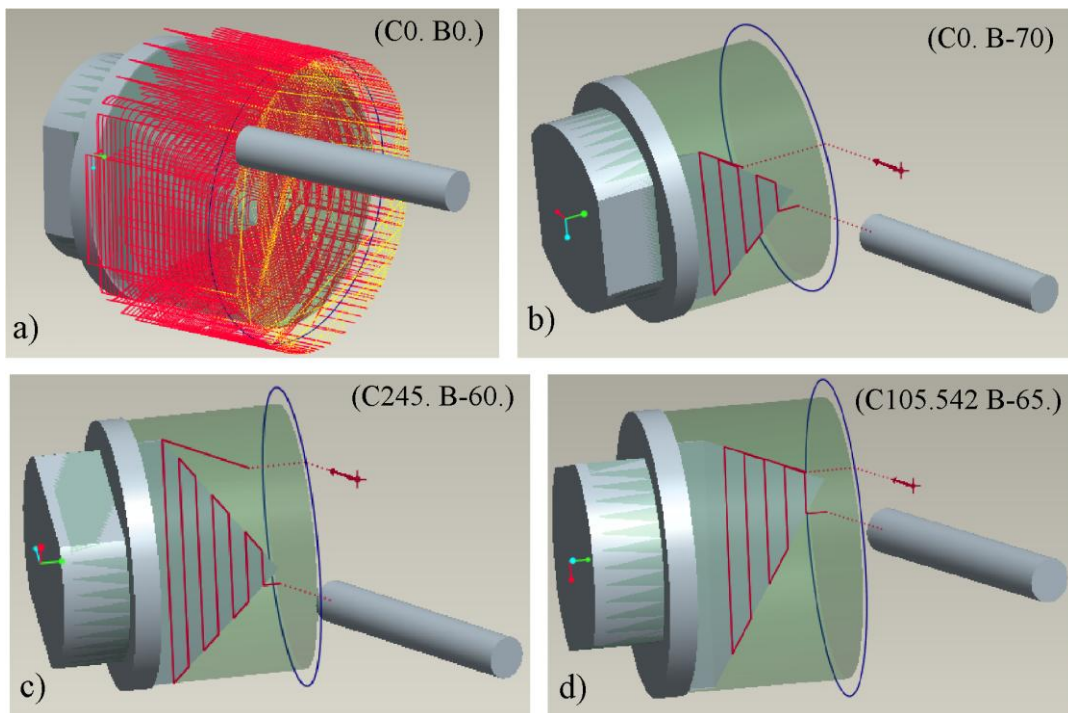
Slika 7. Probni deo oblika trostrane piramide za verifikaciju postprocesorskog računa

Program za obradu je pripremljen primenom CAD/CAM sistema i generisanjem G koda pomoću konfigurisanog postprocesora. Pošto je reč o trostranoj piramidi, orijentacija alata se ostvaruje pomoću tri odvojena nagnjanja obratka za uglove B i C, koji su dobijeni u G kodu, posle postprocesiranja putanje alata na osnovu CLF-a.

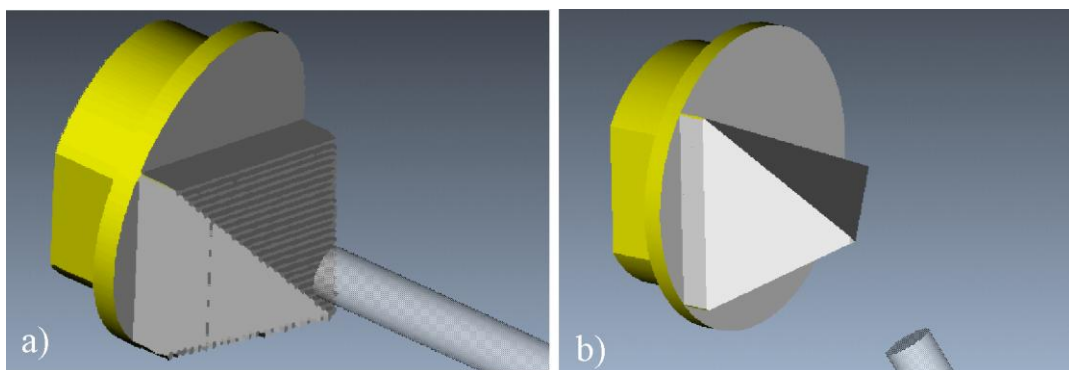
Nulta tačka za obradu je G55 i nalazi se u preseku obrtnih osa B i C, slika 8d [4]. Razmatran je slučaj kada se poklapaju osnovni koordinatni sistem mašine O_R i koordinatni sistem obratka O_W . Prvo je pripremljen program za stepenastu troosnu predobradu, kada je orijentacija stolova $B=0$ i $C=0$. Primer generisane putanje alata za predobradu pokazan je na Sl.9a, dok je simulacija uklanjanja materijala za istu obradu pokazana na Sl.10a. Posle predobrade, sledi obrada svake od tri strane piramide, za koje su generisane putanje alata prikazane na slikama Sl.9b,c i d, a simulacija kompletno obrađene piramide pokazana je na Sl.10b.



Slika 8. LOLA HMC500 sa postavljenim priborom za orijentaciju obratka

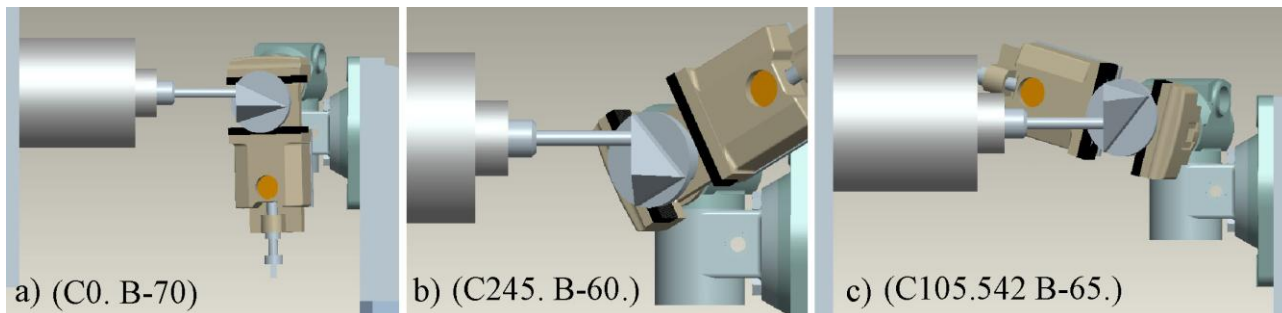


Slika 9. Simulacija putanje alata

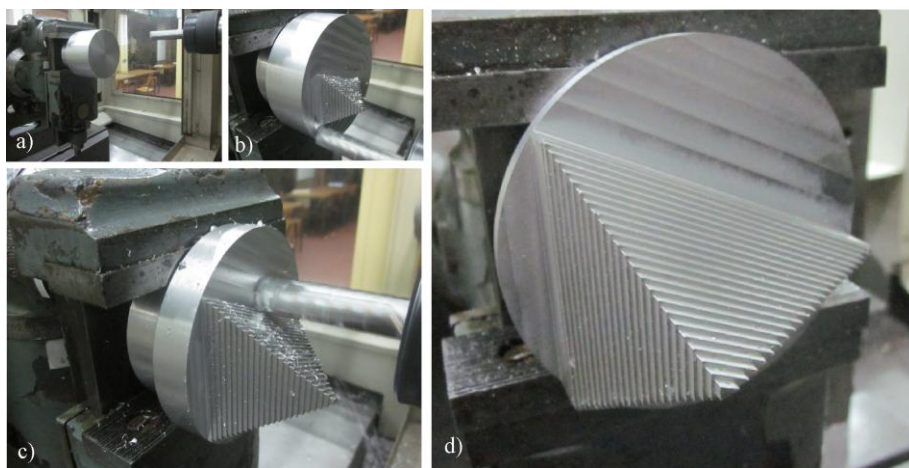


Slika 10. Simulacija uklanjanja materijala

Po završenoj predobradi zazima se orijentacija alata naginjanjem stolova za odgovarajuće uglove B i C. Za obradu prve strane piramide zauzima se (C0. B-70.), kao što je pokazano na Sl.11a. Posle završene obrade svake od strana piramide izvršenje programa obrade se zaustavlja sa M0 i zauzima nova orijentacija alata u odnosu na obradak naginjanjem pribora za odgovarajuće uglove B i C. Za obradu druge strane piramide zauzima se (C245. B-60.), Sl.11b i za obradu treće strane piramide zauzima se (C105.542 B-65.), Sl.11c, čime su pokazane zamrznute 3 poze iz postprocesora, koje je trebalo proveriti pre obrade u CAD/CAM okruženju.



Slika 11. Provera tri poze iz postprocesorskog računa na primeru obrade trostrane piramide



Slika 12. Troosna predobrada trostrane piramide na mašini LOLA HMC500, B=0 i C=0

Sama obrada piramide na mašini LOLAHMC500 pokazana je na slikama Sl.12 i 13. Na početku je izvršena troosna stepenasta predobrada cilindričnog priprema, kao što je pokazano na Sl.12, sa ostavljanjem dodatka za završnu obradu. Na kraju predobrade dobijena je stepenasta površina trostrane piramide. Završnom obradom se skidaju ovi dodaci i dobija završno obrađena trostrana piramida.

Obrada prve strane piramide, sa naginjanjem samo B ose za -70, dok je osa C=0, pokazana je na Sl.13a i b. Obrada poslednje strane piramide, sa zauzetim orijentacijama C=105.5 B=- 65, pokazana je na Sl.13c i d. Na ovaj način je primenom raspoložive mašine, troosnog obradnog centra i pomoćnog pribora za pozicioniranje po dve ručno upravljane obrtne ose verifikovan postprocesorski račun pojedinačnim proverama i obradom dela za tri programirane orijentacije.

9. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane dve koncepcije stone petoosne mašine alatke kao i formalizam postprocesorskog računa za mašine tipa WCBVXYZT, sa proverom računa na virtuelnom prototipu i



Slika 13. Završna obrada trostrane piramide na mašini LOLA HMC500

eksperimentom obrade na raspoloživoj troosnoj mašini, sa dodatim dvoosnim priborom za naginjanja obratka.

Primena ove mašine 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. U sklopu daljih istraživanja razmatraće se i realizacija virtuelne petoosne mašine integrisane u sistem upravljanja i u sistem programiranja.

10. LITERATURA

- [1] Moriwaki T.: *Multi-functional machine tool*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 57, p.736-749, 2008.
- [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] Lee, R.S., She C.H., *Developing a postprocessor for three types of five-axis machine tools*, Int J Adv Manuf Technol, Vol. 13, No. 9, p. 658–665, 1997.
- [4] Apro, K., *Secrets of 5-axis machining*, Industrial Press Inc., ISBN 978-0-8311-3375-7, Printed by Thomson Press India Limited, 2008.
- [5] She, C-H. ,Lee, R-S.: *A Postprocessor Based on the Kinematics Model for General Five-Axis Machine Tools*, Journal of Manufacturing Processes, Vol. 2, No. 2, p.131-141, 2000.
- [6] Glavonjić, M., Živanović, S., Kokotović B.: *Konfigurisanje stonih petoosnih mašina alatki*, TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Tehnika-Mašinstvo 62, Broj 5, str 857-863, Godina LXVIII 2013.
- [7] Glavonjić, M., Živanović, S., Kokotović, B.: *Koncepcije multifunkcionalnih i rekonfigurabilnih stonih petoosnih mašina alatki*, Infotech 2014, Zbornik radova, str. 857-863, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, Jahorina, 2014.
- [8] Živanović, S., Glavonjić, M., Kokotović, B.: *Jedna stona rekonfigurabilna mašina alatka sa hibridnom kinematikom*, TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Tehnika-Mašinstvo (u pripremi za štampu)

Zivanovic, S., Glavonjic, M., Kokotovic, B.

VERIFICATION OF POSTPROCESSING FOR ONE CONCEPT OF DESKTOP RECONFIGURABLE 5-AXIS MACHINE TOOL

Abstract: *This paper presents conceptions of desktop reconfigurable five axis machine tools with WCBVXYZT structure. The formalism for post processing of a 5- axis machine with WCBVXYZT configuration is presented. The verification of virtual prototype of a concept of desktop 5- axis machine tool is carried out using simulation of machining on virtual machine in CAD/CAM environment. Postprocessing formalism is verified by comparison of results obtained in Matlab with the results of configured postprocessor in CAM environment, as well as with the machining experiments conducted on the available machine.*

Key words: *CAD/CAM, 5-axis machine tool, postprocessor*