

42. JUPITER KONFERENCIJA

sa međunarodnim učešćem

42nd JUPITER CONFERENCE

with foreign participants

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Beograd, oktobar 2020.



Vorkapić, N., Živanović, S., Kokotović, B., Slavković, N., Dimić, Z.¹⁾

PROGRAMIRANJE TROOSNIH NU GLODALICA SA DVE TRANSLATORNE I JEDNOM OBRTNOM OSOM²⁾

Rezime

U radu se analizira programiranje troosnih NU glodalica koje imaju dve translatorne i jednu obrtnu osu. Obično su to desktop mašine za brzu izradu prototipova obrtnih simetričnih i/ili nesimetričnih delova. U radu je izvršena analiza raspoloživog softvera za programiranje koji može biti neki od standardnih CAD/CAM sistema ili neki specijalizovani CAM sistem. Pored analize i prikaza procedure metoda programiranja, razmatrana je i verifikacija programa simulacijom uklanjanja materijala i simulacijom rada virtuelne mašine po zadatom programu. Verifikacija metoda programiranja je realizovana obradom nekoliko karakterističnih delova, tipa geometrije i reljefa, primenom softvera Deskproto i Vericut.

Ključne reči: programiranje, simulacija, verifikacija, obrada sa obrtnom osom

1. UVOD

Brza izrada prototipova se pojavila kao jedna od ključnih tehnologija, sa sposobnošću da skрати dizajn i vreme razvoja proizvoda. Koristi se za brzu izradu fizičkih modela, prototipova i malih serija delova na bazi CAD modela [1]. Kada se govori o brzom izradi prototipova pre svega se misli na tehnologije dodavanja materijala, mada to mogu biti i tehnologije oduzimanja materijala, kombinovane tehnologije (dodavanja i oduzimanja), kao i formativne koje omogućavaju izradu delova livenjem.

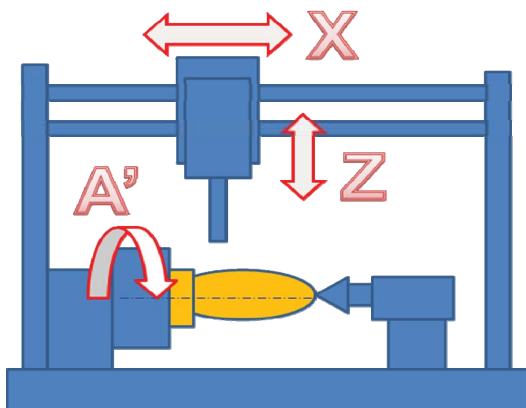
Trenutna generacija mašina za dodavanje materijala je ostvarila značajan uticaj, mada i ovi metodi imaju neka ograničenja, kada je u pitanju funkcionalnost tako napravljenih delova kao i materijal od čega je napravljen deo [2]. Predmet ovog rada je programiranje mašina za brzu izradu prototipova oduzimanjem materijala, poznat kao *Desktop milling*. Ova obrada može biti od troosne do petoosne. U radu se razmatra programiranje sa dodatnom obrtnom osom A, koja predstavlja rotaciju oko X ose. Takva obrada je poznata kao četvooroosna. Međutim, obrada može biti i troosna, sa jednom obrtnom osom i dve translatorne. Konkretno u radu se priprema adekvatno okruženje za programiranje i verifikaciju programa jedne takve mašine. U ovoj konfiguraciji obradak se steže u steznu glavu na obrtnoj osi i kompletna obrada se izvodi u jednom stezanju, sa mogućnošću ostvarivanja povoljne orijentacije obratka prema alatu, za obradu kompleksnih obrtnih delova [3].

2. OPIS KONCEPTA MAŠINE

Tip mašine čije se programiranje razmatra u ovom radu pripada klasi mašina za brzu izradu prototipova rezanjem, pri čemu se u obradi koristi jedna obrtna osa. Ove mašine mogu biti troosne, sa dve translatorne i jednom obrtnom osom ili četvooroosne sa tri translatorne i jednom obrtnom osom. Struktura mašine je A'OXZ, sa horizontalnom obrtnom osom A' u koju se postavlja obradak, i alatom koji nose dve translatorne ose Z i X, slika 2.1. Ova mašina je predmet razvoja, kao jedne edukacione mašine i u ovom radu se razmatra adekvatan sistem za njeno programiranje.

¹⁾ Nikola Vorkapić, (nvorkapic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Saša Živanović, (szivanovic@mas.bg.ac.rs), doc dr Branko Kokotović, (bkokotovic@mas.bg.ac.rs), doc dr Nikola Slavković (nslavkovic@mas.bg.ac.rs), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, dr Zoran Dimić, (zoran.dimic@li.rs), LOLA Institut, Beograd

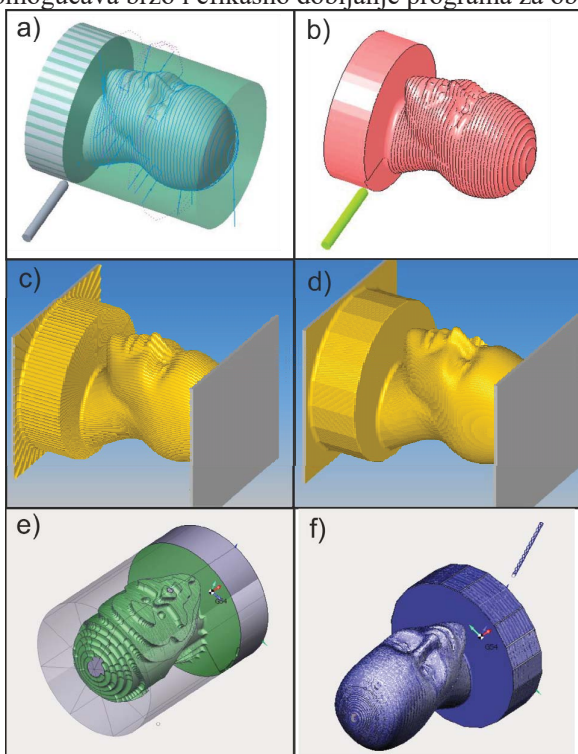
²⁾ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja su realizovana u okviru projekta "Integrirana istraživanja u oblasti makro, mikro i nano mašinskog inženjerstva" i podprojekta TR35022 „Razvoje nove generacije domaćih obradnih sistema“, koji finansijski podržava Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije po Ugovoru 451-03-68/2020-14/200105, od 24.01.2020. godine.



Slika 2.1 Koncept mini CNC mašine strukture A'OXZ

softvera zavisi i od tipa modela koji treba obraditi. Ako je u pitanju već gotov model u STL formatu, onda se uobičajeno koriste specijalizovani softveri za brzu izradu prototipova, koji imaju mogućnost programiranja obrade sa obrtnom osom (Rotary Machining) kao što je na primer DeskProto [4], koji će biti detaljnije pokazan u poglavlju 4.0.

Verzija softvera DeskProto, pogodna za programiranje sa obrtnom osom je višeosna edicija (Multi-Axis) sa opcijama programiranja troosne, četvorosone i petoosne obrade. U ovom radu se razmatra opcija programiranja troosne obrade, ali sa jednom obrtnom i dve translatorne ose. Ovakvu obradu je moguće ostvariti na dva načina i to kontinualnom i/ili indesnom rotacijom obrtne ose. Na raspolaganju su i različite strategije za obradu (paralelna, poprečna, block, itd.). Primena ovakvih softvera je vrlo intuitivna i omogućava brzo i efikasno dobijanje programa za obradu.



Slika 3.1 Primer obrade izabranog modela glave u različitim CAD/CAM softverima

predobrade koja bi prethodila završnoj obradi delova sa obrtnom osom i moguće je vršiti programiranje samo završne obrade, što se može videti na slici 3.1.a i 3.1.b. Slika 3.1.a predstavlja simulaciju putanje alata,

Mašine ovakvog tipa su obično stone glodalice, koje mogu da rade u laboratorijskim ili kancelarijskim uslovima. Obrada na mašini se ostvaruje glodanjem po slojevima, na bazi STL fajla, koji se uobičajeno koristi za brzu izradu prototipova. Ovakve mašine se javljaju kao uspešna alternativa mašinama za aditivnu gradnju zbog niske cene, za kompleksne delove sa dominantnom obrtnom osom, koji nisu simetrični i ne mogu se obraditi na troosnim glodalicama u jednom baziranju.

3. ANALIZA SOFTVERA ZA PROGRAMIRANJE

Softver koji se može koristiti za programiranje mašina alatki sa dve translatorne i jednom obrtnom osom može biti neki od standardnih CAD/CAM sistema ili neki specijalizovani CAM sistem. Izbor

Pored softvera DeskProto, razmatrani su neki od univerzalnih CAD/CAM ili specijalizovanih CAM softvera za programiranje stone edukacione glodalice sa dve translatorne i jednom obrtnom osom. Izabrani primer za obradu je model glave koja se može videti na slici 3.1 na kojoj je prikazana obrada izabranog modela glave u tri različita softvera.

Kao primer univerzalnog CAD/CAM sistema, za analizu programiranja obrade CAD modela sa slike 3.1. izabran je softver Creo Parametric 6.0 [5]. Obzirom da je izabrani model glave u STL formatu, prethodno je potrebno izvršiti solidifikaciju, da bi se omogućio izbor površina za obradu, raspoloživim strategijama. Deo je obrađen strategijom Surface Milling, prema preporučenim režimima. Što se tiče pravca kretanja alata, on se uvek definiše uglom u odnosu na pozitivan smer X ose. Obzirom da se radi o specifičnoj obradi, koja zahteva obradu sa dve translatorne i jednom obrtnom osom, u softveru Creo Parametric 6.0, izabran je tip četvorosone obrade. Obrada je specifična po tome što je kod ove četvorosone obrade Y osa nepomična, tj. koordinate Y ose su jednake nuli. Pri programiranju ovakvog tipa obrade, važno je definisati ravan kojoj je alat paralelan, kao i osu obrtanja obratka u odnosu na alat. Ovde ne postoji mogućnost adekvatne

odnosno CLF-a, dok slika 3.1.b. predstavlja simulaciju uklanjanja materijala prema generisanom CLF-u. Na slikama se može videti da je simulacija korektno izvršena, jer se dobija željeni oblik konture. Ova obrada se može realizovati na mašini, samo kada je već prethodno izvršena predobrada sa minimalnim dodacima za završnu obradu, ili je obradak od mekih materijala, pa su moguće i veće dubine rezanja. Kako softver Creo Parametric u sebi sadrži i generator postprocesora za mašine odgovarajuće konfiguracije, postoji mogućnost za njegovo generisanje.

Drugi primer softvera, koji je analiziran za programiranje primera sa slike 3.1 je AlphaCAM [6]. On predstavlja specijalizovan CAM softver, koji se koristi za programiranje NUMA (numerički upravljanih mašina alatki). Primer sa slike 3.1.c i 3.1.d. obradjen je u okviru modula Advanced Mill, koji odgovara modulu za programiranje višeosnih mašina alatki. Pogodnost koju ovaj modul nudi jeste očitavanje različitih formata modela, odnosno crteža. Za programiranje rotacionih simetričnih i asimetričnih delova glodanjem, odnosno sa dve translatorne i jednom obrtnom osom, moguće je koristiti dve strategije obrade. Prva strategija, prikazana na slici 3.1.c, naziva se Cylindrical Parallel, kod koje obrtna osa A' vrši inkrementalno pomeranje za odgovarajući stepen, dok se alat kreće duž X ose. Druga strategija, koja je prikazana na slici 3.1.d, naziva se Cylindrical Profiling. Kod ove strategije, alat vrši inkrementalno pomeranje duž X ose, a obradak vrši obrtanje oko ose A'. U oba slučaja, Z osa služi za zauzimanje dubine rezanja, zavisno od oblika konture koja se obrađuje. Kao i u prethodnom primeru softvera, ne postoji mogućnost programiranja predobrade po cilindričnoj površini, već se na ovaj način može programirati samo završna obrada.

Treći primer programa kroz koji je izvršena analiza mogućnosti programiranja mašina alatki sa dve translatorne i jednom obrtnom osom je SprutCAM [7]. Ovaj softver je takođe specijalizovan za programiranje NUMA, ali i za programiranje robota za obradu. Za razliku od prethodna dva primera, kod kojih se dobijeni program za obradu generiše u nekoliko koraka, kod softvera SprutCAM 11 je taj postupak dugotrajniji. Deo za obradu se može učitati u program u različitim formatima, što predstavlja još jednu od pogodnosti ovog softvera. Potrebno je popuniti odgovarajuće upite i uneti režime obrade za odgovarajuće zahvate. SprutCAM poseduje mogućnost programiranja predobrade po cilindričnoj površini. Ovaj zahvat se u okviru softvera naziva Rotary roughing, koji je prikazan na slici 3.1.e. Za završnu obradu, koja je prikazana na slici 3.1.f, na identičan način, potrebno je uneti režime i izabrati odgovarajuću strategiju obrade za zahvat koji se naziva Rotary Machining. U delu predviđenom za simulaciju, moguće je učitati odgovarajući model virtuelne mašine i pomoćnog pribora, čime se na vreme mogu sprčiti greške nastale u programiranju procesa obrade za odgovarajući deo i time sprečiti moguće kolizije između elemenata obradnog sistema. SprutCAM sadrži generator postprocesora koji se programira u C programskom jeziku.

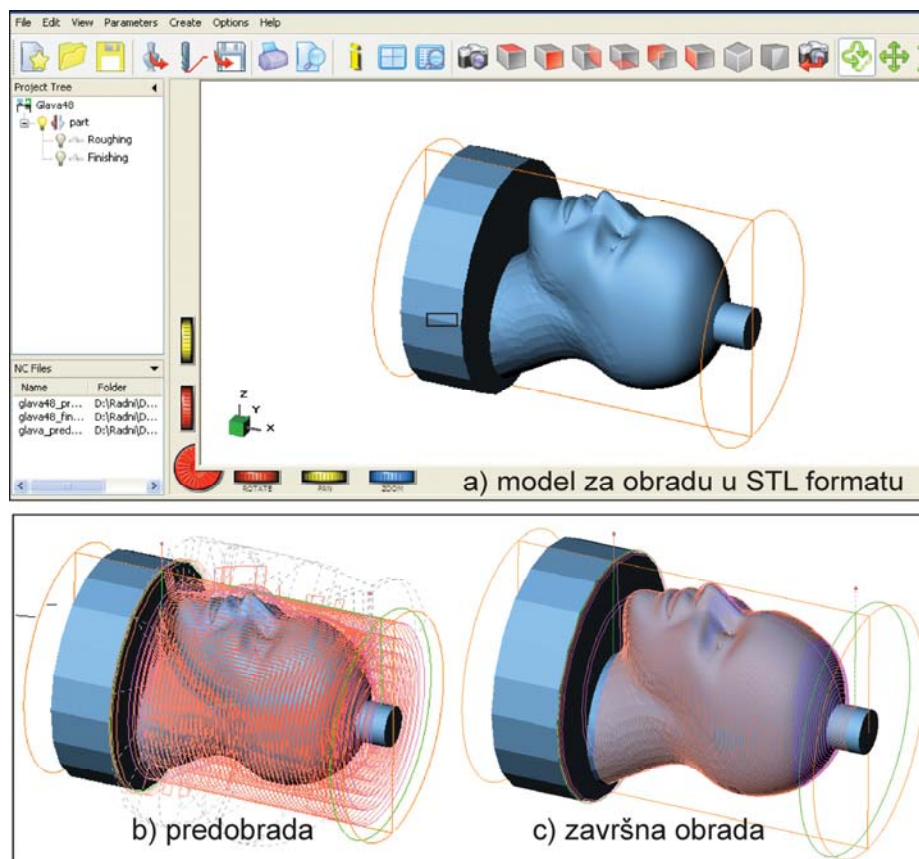
Sve simulacije analiziranih softvera su izvršene na bazi CL file-a. Simulacija programa za obradu koji je programiran u softveru DeskProto, prikazan je u okviru poglavlja 5.

4. PROGRAMIRANJE OBRADE SA JEDNOM OBRTNOM OSOM PRIMENOM SOFTVERA DESKPROTO

U ovom poglavlju je predstavljeno programiranje brze izrade prototipova na desktop glodalicama, koje imaju tri ose, pri čemu su dve ose translatorne, a jedna obrtna. Jedan od vrlo pogodnih softvera za programiranje je DeskProto [4]. Ovaj softver se može kombinovati sa raspoloživim CAD programima za pripremu modela za obradu, a mogu se koristiti i već gotovi modeli u STL formatu. Jedna od značajnih opcija ovog softvera je mogućnost programiranja obrade sa obrtnom osom, koja može biti sa kontinualanom rotacijom ili sa indeksnom rotacijom, uz primenu različitih strategija obrade.

Procedura programiranja obrade sa jednom obrtnom osom se odvija u nekoliko koraka: (1) izbor mašine i tipa glodanja (ovde mašina sa obrtnom osom i obrada sa obrtnom osom – Rotary machining); (2) učitavanje geometrijskog modela za obradu u STL formatu, eventualno skaliranje i orijentacija modela i definisanje centra rotacije; (3) izbor alata, režima obrade i strategije, dubine po prolazu za predobradu i dodatka za završnu obradu; (4) generisanje putanje za predobradu i završnu obradu; (5) prikaz putanje alata i (6) generisanje G koda za mašinu. Prikaz osnovnog ekrana softvera DeskProto je pokazan na slici 4.1a, sa učitanim modelom glave u STL formatu. Model glave je prethodno pripremljen i sačuvan u STL formatu u CAD/CAM sistemu PTC Creo 2.0. Prikaz generisanih putanja alata, po prethodno opisanoj proceduri za predobradu i završnu obradu pokazani su na slikama 4.1b i 4.1c.

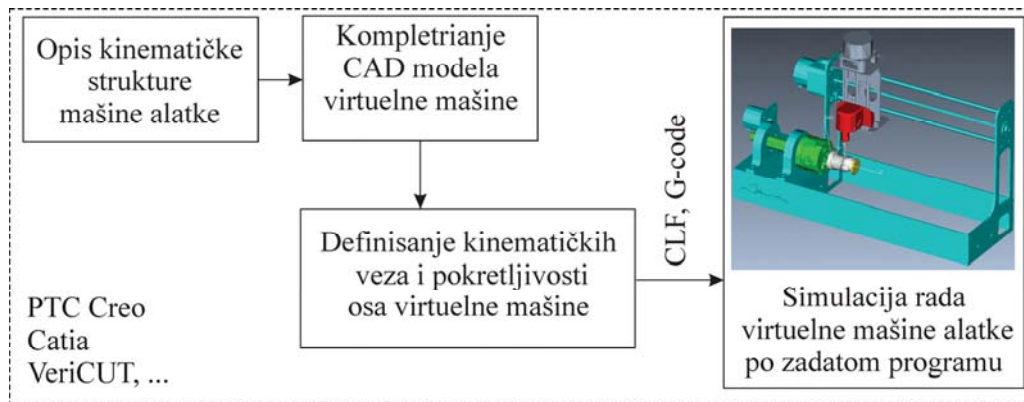
Uz sve pogodnosti koje nudi softver DeskProto za sada nema simulaciju putanje alata i uklanjanja materijala, radi verifikacije programa za obradu pre same obrade. U tom cilju je pripremljeno okruženje za verifikaciju dobijenih programa u Vericutu, sa konfigurisanom virtuelnom mašinom, koja izvršava program u G kodu i pri tome ostvaruje simulaciju uklanjanja materijala tokom virtuelne obrade, što je pokazano u poglavlju 5.



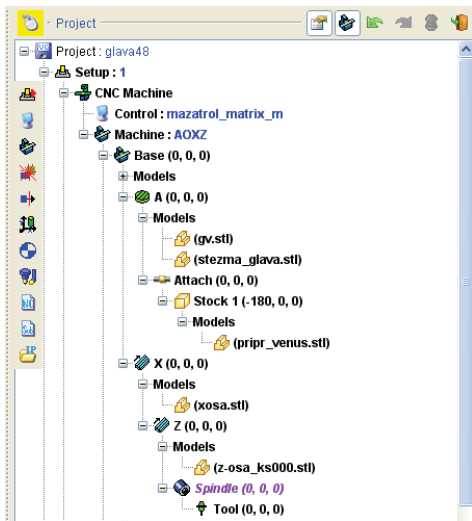
Slika 4.1 Primer programiranja modela glave u softveru DeskProto

5. VERIFIKACIJA PROGRAMA ZA OBRADU PRIMENOM SOFTVERA VERICUT

Verifikacija programa za obradu koji je dobijen u prethodnom poglavlju izvedena je u okruženju softvera Vericut [8]. Za kompletnu verifikaciju iskorišćena je mogućnost konfigurisanja virtuelne mašine alatke u Vericut okruženju prema zadatom programu, koja omogućava simulaciju rada mašine na bazi G kôda, uz simulaciju uklanjanja materijala i mogućnošću dobijanja virtuelnog obratka u STL formatu [9,10]. Za primer razmatrane 3-osne stone CNC mašine alatke sa dve translatorne i jednom obrtnom osom, strukture A`OXZ konfigurisana je njena virtuelna mašina. Uopštena procedura konfigurisanja virtuelne mašine u Vericut okruženju je pokazana na slici 5.1.



Slika 5.1 Konfigurisanje virtuelne mašine za verifikaciju programa



Slika 5.2 Hijerarhijsko stablo strukture mašine A'OXZ u Vericutu

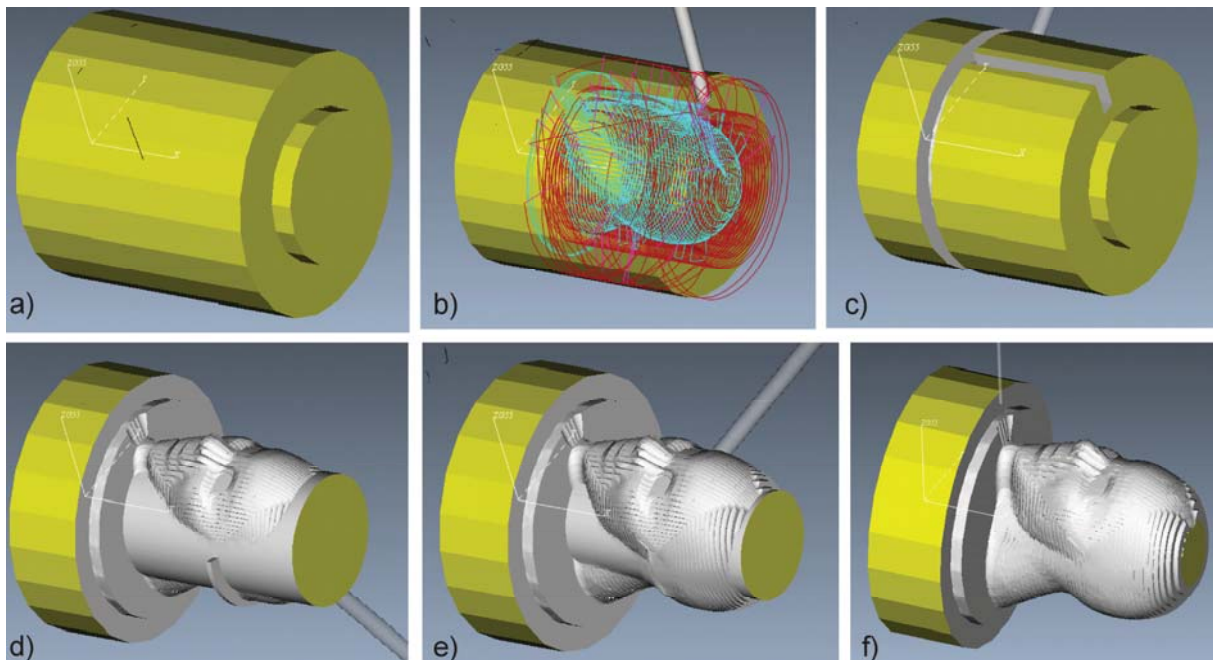
Kinematička struktura troosne CNC mašine alatke (A'OXZ) opisuje raspored i vrstu veza između baze i pokretnih komponenata mašine. Potrebno je definisati način i redosled vezivanja komponenata baze, grane alata i grane priprema, odnosno *BASE*, *TOOL* i *STOCK*. Nepokretni deo mašine je baza (Base), na koju treba dodati komponente grane alata (X i Z) i komponente grane priprema (A'), slika 5.2. Karakteristično za ovu mašinu je da nema pomeranja po Y osi.

Za konfigurisanje virtuelne mašine u Vericutu za NUMA strukture A'OXZ, polazimo od baze kao prve nepokretne komponente, na koju se dodaje obrtna osa A', kao deo grane obratka. Na ovoj osi se nalazi i stezna glava u koju se postavlja i bazira (Attach) pripremak (Stock) i obradak. Sa druge strane nepokretna baza je povezana sa preostale dve ose X i Z. Na bazu je po redosledu prvo dodata horizontalna translatorsna osa X (X Linear), na kojoj je dodata i vertikalna translatorsna osa Z (Z Linear). Na osu Z je povezano glavno vreteno (Spindle) i alat (Tool), čime je kompletirana kinematička struktura mašine. Hijerarhijsko stablo strukture

mašine A'OXZ je pokazano na slici 5.2. Nakon završenog konfigurisanja virtuelne mašine, treba je sačuvati i dodati je u bazu postojećih virtuelnih mašina alatki u Vericutu.

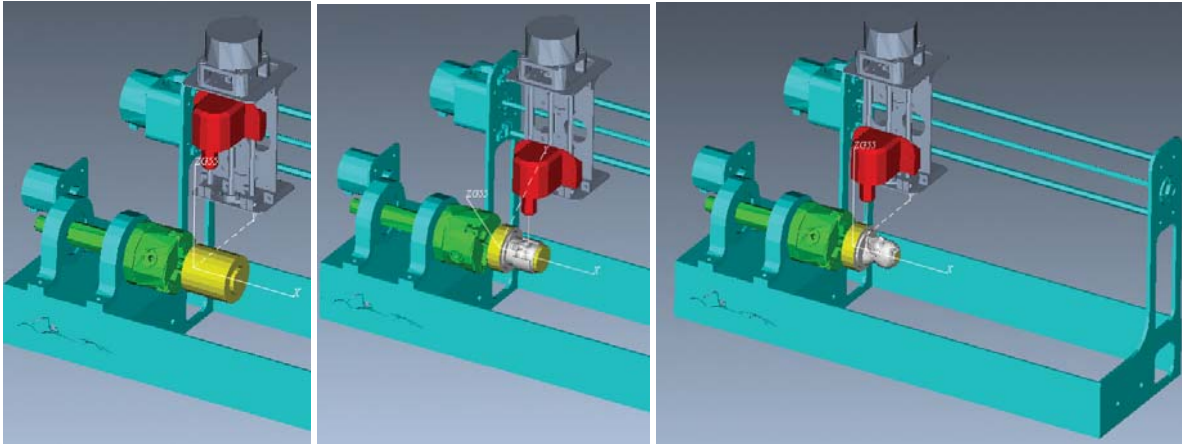
Za realizaciju projekta simulacije obrade potrebno je definisati [9,10]: (i) pripremak (Stock), (ii) radni predmet, koordinatni sistem (Nultu tačku programa), (iii) podešavanje položaja nulte tačke na virtuelnoj mašini (G code Offsets), (iv) alate koji se koriste u obradi i (v) NC programe i eventualno i potprograme. Primer jedne izvršene simulacije obrade za primer obrade modela glave u VeriCUT okruženju pokazan je na slikama 5.3 i 5.4.

Na slici 5.3 prikazana je simulacija putanje alata sa uklanjanjem materijala po etapama obrade, za primer predobrade modela glave. Pripremak može biti definisan u samom okruženju Vericut-a, ili može biti učitana kao STL fajl, slika 5.3a. Na slici 5.3b je pokazana putanja alata za predobradu na bazi postprocesiranog G koda, zajedno sa pripremkom, dok je na preostalim slikama 5.3c, d, e, f, pokazana simulacija uklanjanja materijala.



Slika 5.3 Primer simulacije uklanjanja materijala u Vericut-u

Pokazana simulacija uklanjanja materijala na bazi učitanoG koda, je okruženju Vericut-a, pokazana u dva prozora, od kojih je prvi pokazan na slici 5.3, a drugi sa virtuelnom mašinom na slici 5.4. Na ovaj način je proveren korišćeni postprocesor i tako dobijeni G kod, za specifičnu strukturu mašine koje nema Y osu, već dve translatorne X i Z i jednu obrtnu osu A', oko horizontalne ose X.



Slika 5.4 Verifikacija programa na virtuelnoj mašini u Vericut-u

6. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

Eksperimentalna verifikacija je izvršena na realizovanoj stonjoj troosnoj CNC mašini alatki sa dve translatorne i jednom obrtnom osom, strukture A'OXZ, za koju je i pripremano adekvatno okruženje za programiranje. S obzirom da je sistem za programiranje pripreman i pre kompletnog završetka hardvera mašine kao i njenog upravljanja, postoje male razlike u konfigurisanoj virtuelnoj mašini za potrebe verifikacije programa obrade. Ova razlika se odnosi na konstrukciono rešenje glavnog vretena i dodati nosač zadnjeg šiljka.

Obrada pokazana u ovom poglavlju je u stvari probni rad razmatrane mašine, koji je sa uspehom realizovan, posle kompletiranja upravljanja za mašinu na bazi LinuxCNC sistema. Kompletno radno okruženje mašine kao i obrađeni deo modela glave pokazani su na slici 6.1



Slika 6.1 Obrada na stonjoj troosnoj mašini strukture A'OXZ

Neki od detalja prilikom probnog rada mašine su sledeći: (i) izgled obrađenog modela glave potvrđuju ostvareni koncept upravljanja i programiranja, kao i korektnost postprocesiranog G koda, (ii) pozicioniranje u granicama radnog prostora je bilo dobro, (iii) ostvarivanje poklapanja pozicije vrha alata sa nultom tačkom pokazalo je dobro pozicioniranje i određivanje nulte tačke, (iv) izgled obrađenog dela, potvrđuje ispravnost postavki referentnih tačaka na pogonskim osama i uspešan rad jedne realizovane 3-osne CNC mašine alatke sa dve translatorne i jednom obrtnom osom.

7. ZAKLJUČAK

Rezultati predstavljeni u ovom radu, obuhvataju analizu programiranja mašina alatki sa dve translatorne i jednom obrtnom osom. Analizirani su postojeći CAD/CAM sistemi, kao i specijalizovani CAM softveri i u okviru ovog rada predstavljene njihove mogućnosti. Na osnovu toga, stvorena je polazna baza znanja u ovoj oblasti, koja se može primeniti u edukaciji i vežbanjima, kao i laboratorijskim uslovima ispitivanja i istraživanja.

Analiziran je i primenjen jedan specijalizovan softver za programiranje ovakvog tipa mašine, kakav je DeskProto. S obzirom da DeskProto nema mogućnost simulacije rada virtualne mašine i simulacije obrade uklanjanjem materijala, verifikacija putanje alata po zadatom programu izvršena je u VeriCUT softverskom okruženju. Time je stvorena sigurnost rukovaoca mašine i smanjena mogućnost pojave kolizija i grešaka u obradi.

Prikazana mašina za brzu izradu prototipova rezanjem, njeno programiranje i verifikacija programirane putanje alata je samo prva faza ovih istraživanja i dokaz koncepta jedne ovakve mašine. Istraživanja se planiraju proširiti i na konfigurisanje odgovarajućih postprocesora i programiranja u polarno cilindričnim koordinatama.

8. LITERATURA

- [1] Zivanovic S., Popovic, M., Vorkapic, N., Pjevic, M., Slavkovic N.: *An Overview of Rapid Prototyping Technologies using Subtractive, Additive and Formative Processes*, FME Transactions, Vol. 48, No. 1, pp. 246-253, 2020.
- [2] Frank, M. C., Wysk, R. A., Joshi, S. B.: *Rapid Prototyping Using CNC Machining*, 8th Design for Manufacturing Conference, Proceedings of DETC03 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Chicago, Volume 3a, pp.1-10, Illinois, USA, September 2-6, 2003.
- [3] Joshi, A. M.: *Computer aided process planning for multi-axis CNC machining using feature free polygonal CAD models*, Graduate Theses and Dissertations, 2015. <https://lib.dr.iastate.edu/etd/14844>
- [4] The DeskProto Multi-Axis edition, for rotary machining and more, <https://www.deskproto.com/products/multi-ax-ed.php>, jul 2020.
- [5] Creo Parametric, <https://www.ptc.com/en/products/creo/parametric>, jul 2020.
- [6] AlphaCAM, <https://www.alphacam.com/Alphacam>, jul 2020.
- [7] SprutCAM, <https://sprutcam.com/sprutcam/4-axis-milling-programming/>, jul 2020.
- [8] CGTech Vericut, <https://www.cgtech.com/products/about-vericut.html>, jul 2020.
- [9] Zeljković, M., Tabaković, S., Živković, A., Živanović, S., Mladenović, C., Knežev, M.: *Osnove CAD/CAE/CAM Tehnologija*, udžbenik, ISBN 978-86-6022-120-1, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2018.
- [10] Živanović, S., Vorkapić N., Dimić, Z., Konfigurisanje sistema za programiranje i upravljanje 3-osneminim CNC mašine alatke na Raspberry Pi platformi, TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Tehnika-Mašinstvo 68, Broj 6/2019, str. 823-831, ISSN0040-2176, UDC: 621.92/.98-519:004.4, doi: 10.5937/tehnika1906823Z

Vorkapić, N., Živanović, S., Kokotović, B., Slavković, N., Dimić, Z.

PROGRAMMING OF 3-AXIS CNC MILLING MACHINES WITH TWO TRANSLATORY AND ONE ROTARY AXES

Abstract: *The paper analyzes the programming of three-axis NU milling machines that have two translational and one rotary axis. These are usually desktop machines for rapid prototyping of rotating symmetrical and/or asymmetrical parts. The paper analyzes the available programming software, which can be one of the standard CAD / CAM systems or a specialized CAM system. In addition to the analysis and presentation of the programming method procedure, the verification of the program by simulating the removal of materials and simulating the operation of a virtual machine according to a given program was also considered. Verification of programming methods was realized by processing several characteristic parts, such as geometry and relief, using Deskproto and Vericut software.*

Key words: programming, simulation, verification, rotary machining