



Pjević, M., Mladenović, G., Puzović, R., Tanović, Lj.<sup>1)</sup>

## PRIMENA CAD/CAM SISTEMA U PROJEKTOVANJU I IZRADI PROFILNIH KRUŽNIH STRUGARSKIH NOŽEVA<sup>2)</sup>

### Rezime

U radu je prikazana razvijena programska podrška kojom se unapređuje postupak automatskog projektovanja i izrade kružnih profilnih strugarskih noževa primenom razvijenih CAD/CAM sistema. Razvijene metodologije projektovanja kružnih profilnih strugarskih noževa se zasnivaju na odnosu alata i obratka. Realizacija programske podrške je ostvarena na osnovu razvijenog algoritma prema metodologiji proračuna kružnih profilnih noževa datoj u [1], a čija je verifikacija pokazana na primeru zadatog 3D modela dela (izratka) koji je učitao u CAD sistem. Za zadate vrednosti grudnog  $\gamma$  i leđnog ugla  $\alpha$  (vrednost uglova zavisi od vrste materijala obratka) proračunat je i generisan 3D model kružnog profilnog strugarskog noža za spoljašnju i unutrašnju obradu. Na osnovu tako dobijenog 3D modela profilnog noža generisana je tehnička dokumentacija i projektovan tehnološki proces izrade.

**Ključne reči:** Automatsko projektovanje, CAD/CAM, kružni profilni strugarski nož

### 1. UVOD

Kako se zahtevi kupaca sve više pooštavaju u pogledu kvaliteta i vremena isporuke, kod velikoserijske i masovne proizvodnje rotacionih delova složene konfiguracije, važnu ulogu ima primena profilnih strugarskih noževa za njihovu obradu. Složena konfiguracija delova je rezultat funkcionalnih ili estetskih zahteva kupaca koja se preslikava i na geometriju profilnih noževa. Ovo po automatizmu zahteva da se da brz odgovor u pogledu projektovanja i izrade profilnih strugarskih noževa. U mnogim literaturnim izvorima između kojih izdajamo [1-4] profilni strugarski noževi se dele na: kružne (za spoljašnju i unutrašnju obradu) i prizmatične (radijalne i tangencijalne) samo za spoljašnju obradu. Takođe u nekim literaturnim izvorima [1-4] daju se procedure projektovanja sa razvijenom programskom podrškom u pogledu proračuna i izrade tehničke dokumentacije profilnih noževa na bazi unetih koordinata čvornih tačaka (tabelarno) skinutih sa crteža dela koji se obrađuje. Kako se u industrijskoj praksi sve više primenjuju CA (*Computer Aided*) alati to je neminovno nametnulo potrebu njihove primene i u projektovanju i izradi profilnih noževa. Tržište danas nudi više CAD/CAM sistema: Creo Elements/Pro (Pro/Engineer), Autodesk Inventor, NX (Unigraphics), SolidWorks i Catia [5,7]. U [6] je opisana metodologija projektovanja prizmatičnih profilnih strugarskih noževa uz delimičnu primenu CAD/CAM sistema Catia. Razvijeni komercijalni CAD/CAM sistemi, nemaju razvijene specijalizovane module za projektovanje profilnih strugarskih noževa i tehnologije za njihovu izradu. Kako su ovi CAD/CAM sistemi pogodni za 3D modeliranje delova i profilnih strugarskih noževa, postoji potreba za razvojem modula koji bi obezbedio da se na osnovu 3D modela dela (izratka) generiše 3D model profilnog strugarskog noža na bazi kog bi se u CAM sistemu projektovao tehnološki proces njegove izrade. U cilju davanja doprinosa u pravcu poboljšanja metodologije projektovanja profilnih strugarskih noževa u radu je dat opis programske podrške koja unapređuje metodologiju projektovanja kružnih profilnih strugarskih noževa (za spoljašnju i unutrašnju obradu). Programska podrška opisana u radu obuhvata:

- Razvijen program za automatsko učitavanje podataka sa profila dela (izratka) koji je modeliran (3D model) u SolidWorks ili uvezen iz drugog CAD sistema (STEP format);

<sup>1)</sup> Miloš Pjević, MSc.inž.maš., ([mpjevic@mas.bg.ac.rs](mailto:mpjevic@mas.bg.ac.rs)), Goran Mladenović, dipl.inž.maš., ([gmladenovic@mas.bg.ac.rs](mailto:gmladenovic@mas.bg.ac.rs)), Prof. dr Radovan Puzović, ([rpuzovic@mas.bg.ac.rs](mailto:rpuzovic@mas.bg.ac.rs)), Prof. dr Ljubodrag Tanović, ([ltanovic@mas.bg.ac.rs](mailto:ltanovic@mas.bg.ac.rs)) Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za Proizvodno mašinstvo, Centar za nove tehnologije, Kraljice Marije br.16. 11120 Beograd 35

<sup>2)</sup> U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja se sprovode na projektu TR-35022: „Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema“, koji finansijski podržava Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj R. Srbije.

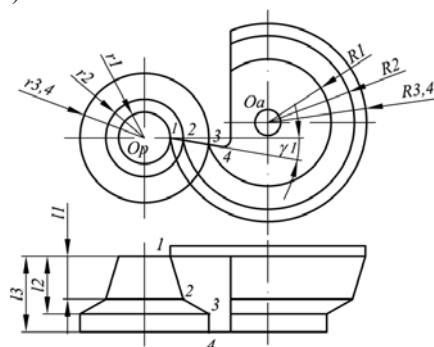
- Razvijen program za proračun parametara okruglih profilnih noževa na bazi učitanih tačaka sa profila dela (izratka) i ručno unetih vrednosti početnog grudnog i lednog ugla (čije vrednosti su u zavisnosti od materijala koji se obrađuje);
- Razvijen program koji omogućava kreiranje 3D modela okruglih profilnih noževa i uparivanje 3D modela dela i 3D modela profilnog noža radi upoređivanja profila.

Na jednom primeru je prikazana razvijena programska podrška za projektovanje i generisanje 3D modela kružnih profilnih noževa upotrebom softvera SolidWorks i deo NC sekvence za njegovu izradu primenom softvera Creo Elements/Pro (Pro/Engineer).

## 2. METODOLOGIJA PROJEKTOVANJA KRUŽNIH PROFILNIH STRUGARSKIH NOŽEVA

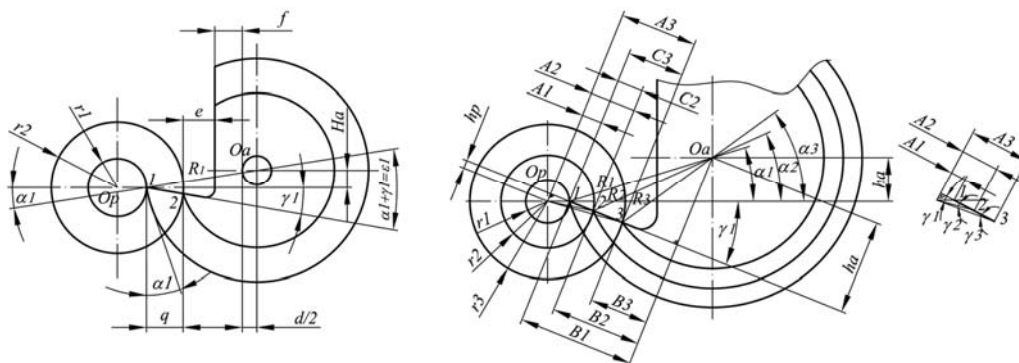
U opštem slučaju profilni strugarski noževi se mogu primenjivati za obradu delova složenog oblika (proizvoljne kinematske površine) u serijskoj i masovnoj proizvodnji. U praksi se sa profilnim strugarskim noževima najčešće obrađuju delovi ograničeni cilindričnim zavojnim i obrtnim površinama. Sečivo ovih noževa je složene konture (odgovara konturi površine obratka), a obrada se vrši prostim primicanjem noža obratku (slika 1) [1]. Profilni strugarski noževi se mogu podeliti prema [2]:

1. nameni na: noževe za spoljašnu i unutrašnju obradu;
2. obliku tela na: kružne (sa osom alata paralelnom osi obratka i sa osom alata pod uglom u odnosu na osu obratka) i prizmatične (prema položaju sečiva u odnosu na površinu obratka mogu biti: radijalni i tangencijalni);
3. položaju grudne površine (grudni ugao  $\gamma=0^\circ$  i ugao nagiba grudne površine  $\lambda=0^\circ$ ; grudni ugao  $\gamma>0^\circ$  i ugao nagiba grudne površine  $\lambda=0^\circ$ ; grudni ugao  $\gamma>0^\circ$  i ugao nagiba grudne površine  $\lambda>0^\circ$ );
4. obliku ledne površine (sa rotacionom površinom profila; sa zavojnom površinom profila; sa prizmatičnom površinom profila).



*Slika 1. Šema obrade sa kružnim profilnim strugarskim nožem za spoljašnju obradu*

U literaturi [1-4] su prikazane razvijene metodologije za proračun strugarskih profilnih noževa, na slici 2 su prikazane karakteristične veličine koje se koriste u proračunima. Za razvijeni algoritam prikazan na slici 3, u tački 4. dat je opis razvijenog softverskog rešenja za proračun profilnih kružnih noževa za spoljašnju i unutrašnju obradu prema metodologiji prikazanoj u literaturi [1].



$r_i$  - poluprečnici obratka

$R_1=R_{max}$  - maksimalni polupr. noža

$R_i$  - poluprečnici alata

$d$  - prečnik unutrašnjeg otvora

$q$  - maksimalna dubina profila obratka;  $e$  i  $f$  - preporučene veličine

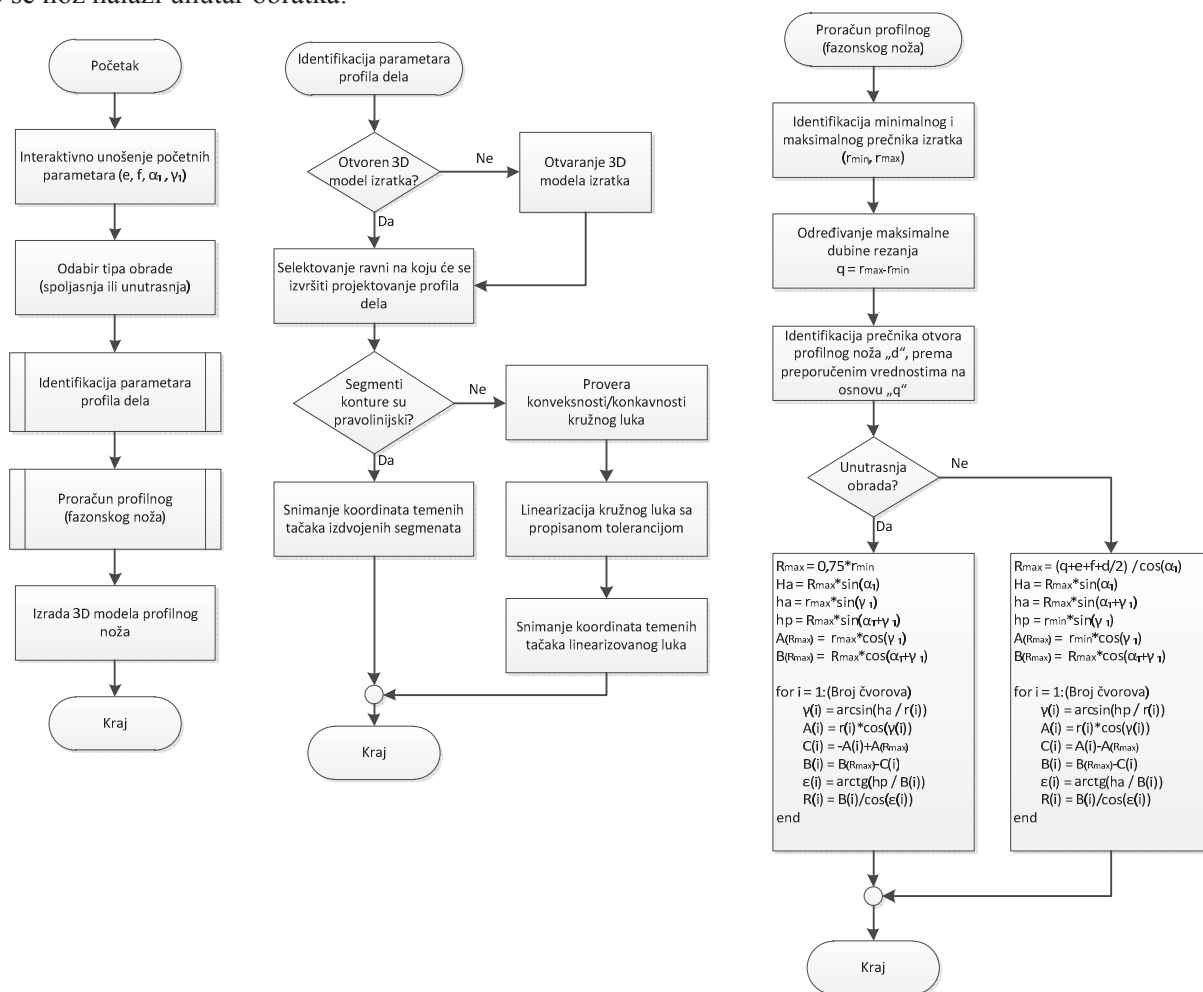
$\gamma$  - grudni ugao;  $\alpha$  - ledni uga;  $\lambda$  - ugao nagiba grudne površine

$H_a, h_a$  i  $h_p$  - velič. koje određuju položaj ose alata prema osi obratka

$A_i, B_i, C_i$  - pomoćne velič. koje služe za definisanje polupr. alata

*Slika 2. Prikaz parametara koji se koriste u proračunu profilnih kružnih noževa za spoljašnju obradu*

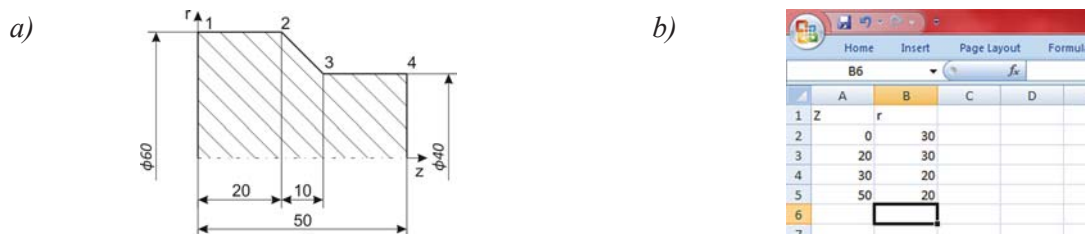
Kod kružnih profilnih noževa za unutrašnju obradu postupak određivanja karakterističnih prečnika je sličan, s tim što je maksimalni poluprečnik noža  $R_{max} \leq 0.75 \cdot r_0$  (gde je  $r_0$  poluprečnik polaznog otvora u obratku) i što se nož nalazi unutar obratka.



Slika 3. Prikaz algoritma za proračun profilnih kružnih noževa za spoljšasnu i unutrašnju obradu

#### 4. RAZVIJENO SOFTVERSKO REŠENJE ZA PROJEKTOVANJE PROFILNOG NOŽA

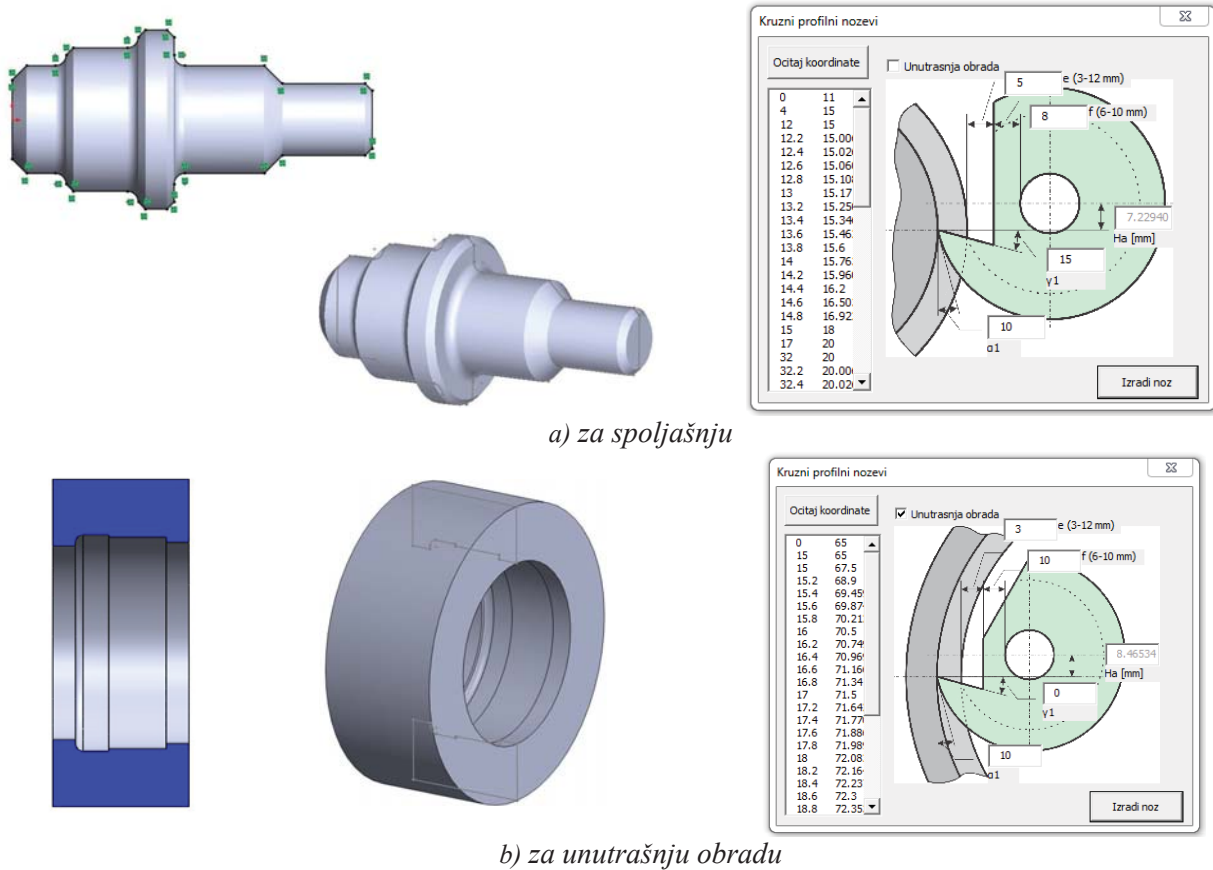
Prema dosadašnjoj praksi [6] proces automatskog generisanja profilnih noževa je podrazumevao ručno unošenje koordinata čvornih tačaka (slika 4a) u eksternu tabelu (slika 4b). Podaci iz te tabele bi se uvezli kao eksterni u CAD softver koji bi prema razvijenom algoritmu generisao 3D model profilnog noža. Ova procedura je sa sobom nosila izvesne nedostatke koji se najpre ogledaju u grešci prilikom unošenja koordinata tačaka u eksterni fajl, kao i nemogućnost definisanja kružnih segmenata.



Slika 4. Skica konture polovine dela (a), koordinate tačaka konture unešene u fajl (b)

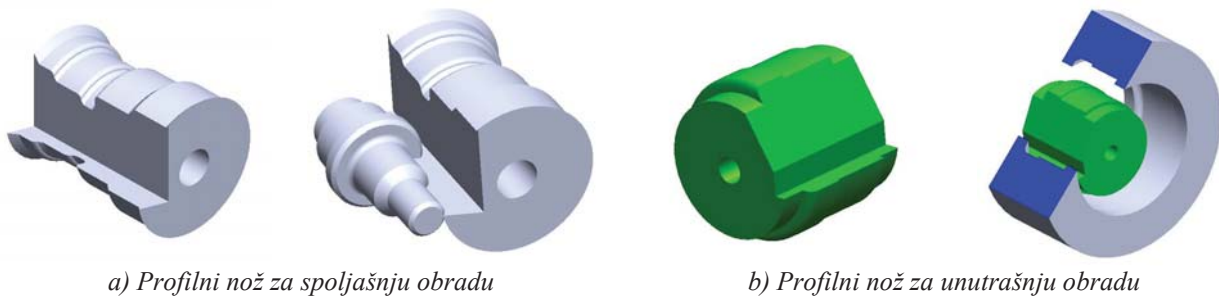
Razvoj softverske podrške za automatsko generisanje 3D modela profilnog noža u ovom slučaju podrazumeva da se na osnovu CAD modela gotovog dela automatski odrede čvorne tačke, izvrši proračun i generiše 3D model profilnog noža pri čemu bi se izbegla svaka mogućnost greške prouzrokovane od strane korisnika softvera.

Za razvoj softverskog rešenja je upotrebljen API (Application Programming Interface) softvera SolidWorks 2012. Programsko okruženje API-a sadrži stotine funkcija koje mogu da se pozovu iz Visual Basic for Applications (VBA), VB.NET, Visual C#, Visual C++ 6.0 ili Visual C++/CLI. Ove funkcije obezbeđuju direktan pristup SolidWorks funkcionalnosti, kao što je crtanje linije, ubacivanje gotovog dela u aktivni fajl ili provere parametara površine [9,10]. Proces izgradnje 3D modela profilnog noža započinje otvaranjem CAD modela gotovog dela za koji je potrebno generisati profilni nož. Nakon otvaranja željenog fajla potrebno je odabrati ravan na koju će se izvršiti projektovanje konture dela, a zatim aktivirati makro čime se otvara forma za unos parametara profilnog noža, slika 5.



**Slika 5.** Forma za unos parametara za proračun kružnih profilnih stugarskih noževa

Selektovanjem opcije “Očitaj koordinate” softver vrši generisanje tabele koja sadži koordinate čvornih tačaka uz mogućnost prepoznavanja tipa segmenta između čvornih tačaka, tj. ukoliko je neki segment kružni luk, vrši se aproksimacija datog luka pravolinijskim segmentima dovoljno male dužine uz zadovoljenje uslova da odstupanje od profila ne pređe maksimalno dozvoljenu vrednost. Prema osnovnim podešavanjima softver generiše profilni nož za spoljašnju obradu, a ukoliko je potrebno konstruisati profilni nož za unutrašnju obradu to se postiže čekiranjem označenog polja. Pored tipa noža potrebno je uneti još 4 parametara: ledni ugao ( $\alpha_1$ ), grudni ugao ( $\gamma_1$ ), kao i vrednosti parametara e i f. Selektovanjem opcije “Izradi nož”, nakon par sekundi se dobija kompletan 3D model profilnog noža, slika 6.



**Slika 6.** Prikaz 3D modela generisanih kružnih profilnih noževa pojedinačno i u kontaktu sa izratkom

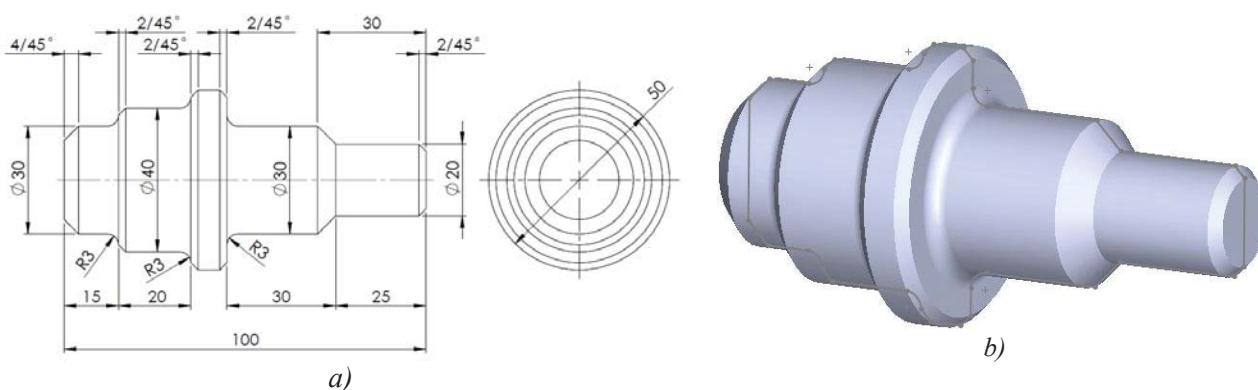


## 5. PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE KRUŽNOG PROFILNOG NOŽA

Imajući u vidu da se kružni profilni noževi najviše izrađuju od brzoreznog čelika (Č 6980, Č6981, Č6880, Č 6882 i dr.) mora se voditi računa o izboru metoda obrade i reznih alata sa kojima se oni obrađuju [2]. Prema [3] skraćeni postupak projektovanja tehnološkog procesa izrade kružnih profilnih noževa obuhvata operacije ka što su: sečenje pripremake, grubo struganje, fino struganje, glodanje čeonih zuba za pričvršćivanje na nosač alata, glodanje žleba koji formira sečivo, bušenje rupe, termička obrada, brušenje rupe za osovinu, oštrenje reznog dela, kontrola i konzervacija. Najveći deo obrade može da se izvede na NUMA-a, a prema NU programima generisanim od strane nekog od spomenutih CAD/CAM sistema. Pored korišćenja integrisanih CAD/CAM sistema za generisanje NU programa uspešno se mogu koristiti i posebni CAM sistemi: SurfCAM, Vericut, EdgeCAM, Mastercam i drugi [7].

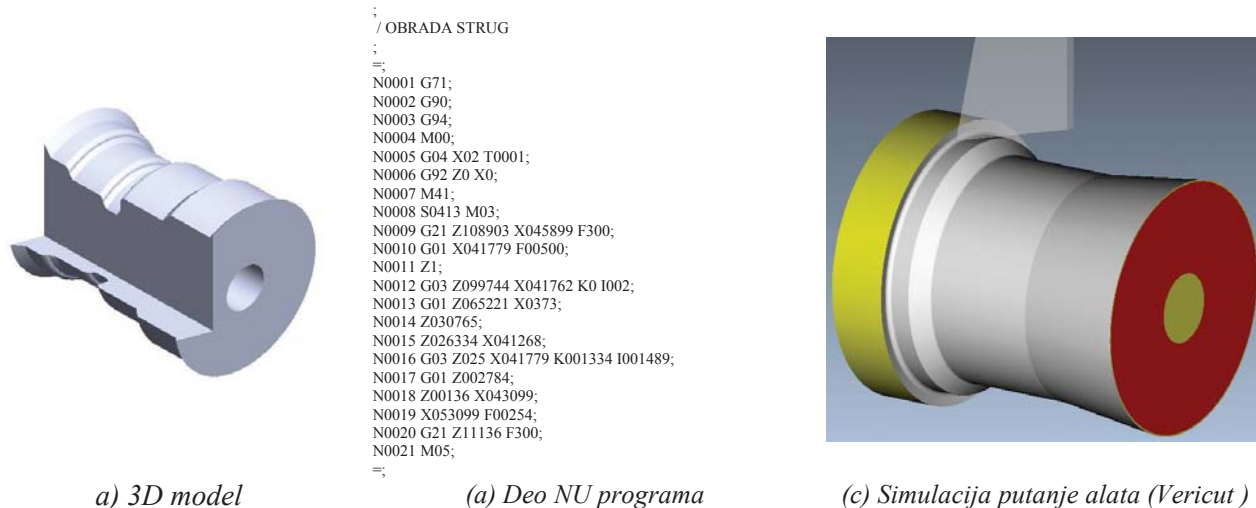
### 5.1 Primer projektovanja tehnologije izrade kružnog profilnog noža za spoljašnju obradu

Prema radioničkom crtežu dela sa slike 7a formiran je upotrebom softverkog paketa SolidWorks CAD model dela (izratka) prikazan na slici 7b, a prema njemu po proceduri opisanoj u poglavlju 4 kružni profilni nož za spoljašnju obradu (slika 8a). Kreirani CAD model noža uvezen je (inportovan) u modul *Pro/MFG* softverskog paketa Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 [8] u kome je projektovan tehnološki proces obrade na NUMA (obrada struganjem i glodanjem/elektroerozionom obradom sa žicom).



Slika 7. a) Radionički crtež dela, b) 3D model dela (izratka)

Za pripremak je uzet šipkasti polufabrikat prečnika 90 mm, materijala HSSE. Obrada struganjem podrazumeva izradu profila noža po obodu i unutrašnjeg otvora za postavljanje na nosač. Obrada na strugu se izvodi zahvatima grube i fine obrade (alati i režimi prema preporučenim vrednostima proizvođača alata). Nakon generisanja NU programa (NC koda) za obradu na strugu, izvršeno je generisanje NU programa za izradu reznog klina profilnog noža. Na slici 8b dat je prikaz dela NU programa za grubo struganje profila kružnog profilnog noža za spoljašnju obradu koji je generisan u modulu *Pro/MFG (Creo Elements)*, a simulacija procesa obrade prikazana je na slici 8c primenom softverkog paketa *Vericut*.



a) 3D model

(a) Deo NU programa

(c) Simulacija putanje alata (Vericut)

Slika 8. Prikaz obrade grubo struganje profila kružnog profilnog noža za spoljašnju obradu

## 5. ZAKLJUČAK

Istraživanja koja se izvode na Katedri za proizvodno mašinstvo i Centru za nove tehnologije imaju jedan od pravaca projektovanje i izrada reznih alata primenom razvijenih CAD/CAM sistema. Ova istraživanja su motivisana činjenicom da su zahtevi kupaca sve više pooštavaju u pogledu kvaliteta i skraćenja isporuke delova složene konfiguracije a da važnu ulogu za njihovu izradu ili obradu imaju alati složene geometrije, čije projektovanje i izrada zahtevaju primenu CAD/CAM sistema. A pri tome razvijeni CAD/CAM sistemi, nemaju razvijene specijalizovane module za projektovanje takvih reznih alata i tehnologije za njihovu izradu. Jedan deo rezultata tih istraživanja koji su prikazani u ovom radu se odnose na razvijene programe koji u znatnoj meri daju doprinos u pravcu poboljšanja metodologije automatskog projektovanja (kreiranja 3D modela) kružnih profilnih stugarskih noževa za spoljašnju i unutrašnju obradu. Ovi programi preko makroa mogu biti uključeni u rad nekog od komercijalnih CAD/CAM sistema. Primena realizovanog programa koji je pomoću makroa povezan sa CAD/CAM sistemom, omogućila je brzo i tačno projektovanje 3D modela kružnih profilnih stugarskih noževa na bazi 3D modela dela (izrataka), što predstavlja dobru osnovu za generisanje radioničkih crteža i kreiranje NC sekvenci za obradu na nekoj od CNC mašina. Dalja istraživanja biće usmerena na:

- Razvoju metodologije projektovanja profilnih noževa za obradu površina na delovima nastalim rotacijom segmenta splajnova;
- Razvoj modula za automatsko projektovanja tehnoloških procesa (NC sekvenci) za izradu profilnih stugarskih noževa.

## 7. LITERATURA

- [1] Kršljak, B., Čolović, M.: *Alati i pribori – Priručnik*, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
- [2] Sovilj, B.: *Profilni noževi*, Forum – OJ "Izdavačka delatnost", Novi Sad, 1995.
- [3] Rebac, B.: *Rezni alati*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [4] Kalpakjian, S.: *Manufacturing Engineering and Technology*, Addison Wesley Publishing Company, USA, 1995.
- [5] Koveljčić B., Ivanović R., Puzović R., Popović M.: *Stanje i perspektive primene CAD/CAM/CAE paketa u projekto. proizv. od plastike i odgovarajućih alata*, 29. JUPITER konfer., pp.2.47-2.50, Beograd, 2003.
- [6] Milutinović, M.: *Metodologija projektovanja prizmatičnih profilnih noževa*, 36. JUPITER konferencija, pp.2.51-2.57, Beograd, 2010.
- [7] Tanović, Lj., Bojanić, P., Puzović, R., Popović, M., Mladenović, G. : *Primena CAD/CAM/CAE programskog paketa pri projektovanju i izradu alata za livenje pod pritiskom delova od polimera*, 37. JUPITER konferencija, pp.2.22-2.29, Beograd 2011.
- [8] PTC® PRODUCT & SERVICE ADVANTAGE, <http://www.ptc.com>, 2014
- [9] 3D CAD Design Software SOLIDWORKS, <http://www.solidworks.com>, 2014
- [10] <http://help.solidworks.com/2014/English/api/sldworksapiproguide/Welcome.htm>, 2014

Pjević, M., Mladenović, G., Puzović, R., Tanović, Lj.

### APPLICATION OF CAD/CAM SYSTEM IN PROCESS OF DESIGN AND MANUFACTURING OF PROFILED CIRCULAR TURNING TOOLS

**Abstract:** *The paper presents a developed software support which improves the procedure of automated design and manufacturing of profiled circular turning tools using existing CAD/CAM systems. Current methodologies for design and manufacturing of profiled circular turning tools are based on a relation between the tool and the workpiece position and orientation. The suggested software support is based on an algorithm, developed according to the methodology for calculations of profiled circular turning tools given in [1], and the verification of which is shown on an example of a given 3D part model, which is loaded in the CAD system. For given values of side rake  $\gamma$  and end relief angle  $\alpha$  (angle values depend on the workpiece and the tool material) a 3D model of a profiled circular turning tool was calculated and generated for external and internal manufacturing. Based on such obtained 3D model of a profiled circular turning tool, technical documentation was generated and the manufacturing process was designed.*

**Key words:** *Automatic design, CAD/CAM, profiled circular turning tool*