

**42. JUPITER KONFERENCIJA**

sa međunarodnim učešćem

**42<sup>nd</sup> JUPITER CONFERENCE**

with foreign participants

# **ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS**



**UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET**

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Beograd, oktobar 2020.



Živanović, S., Vorkapić, N., Slavković, N., Kokotović, B.<sup>1)</sup>

## ANALIZA PRIMENE NOVOG METODA PROGRAMIRANJA CNC STRUGOVA PRIMENOM STEP-NC PROTOKOLA <sup>2)</sup>

### Rezime

*U radu se analizira mogućnost primene nove metode programiranja na bazi STEP-NC protokola za CNC strugove. Metod programiranja je baziran na STEP-NC standardu ISO 10303 AP238. U cilju verifikacije metoda programiranja, konfigurisani su virtuelni CNC strugovi koji mogu interpretirati STEP-NC programe. Virtuelni strugovi su integrisani u softversko okruženje STEP-NC Machine. Predložen je metod za dobijanje STEP-NC programa, kao i mogućnost trenutne primene takvih programa na raspoloživim CNC strugovima, korišćenjem raspoloživih postprocesora softvera STEP-NC Machine. Verifikacija predloženog metoda za programiranje je izvršena prvo, kroz simulacije na konfigurisanim virtuelnim CNC strugovima, a potom i eksperimentalno obradom izabranog probnog dela.*

*Ključne reči: STEP-NC, programiranje, CNC stug, simulacija*

### 1. UVOD

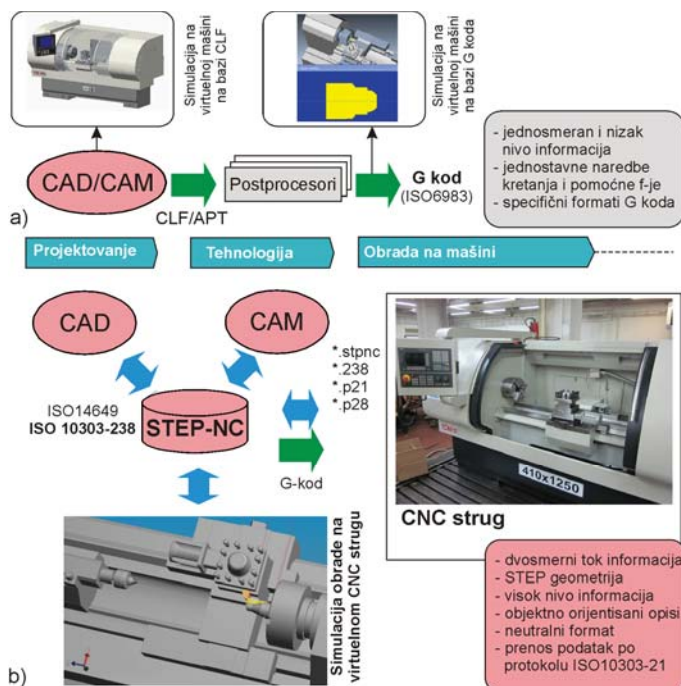
Već više od pola veka programiranje numerički upravljanih mašina alatki (NUMA) je zasnovano na G-kôdu, prema standardu ISO 6983. Ovaj standard definiše proces obrade preko jednostavnog kretanja alata u odnosu na obradak primenom linearne i kružne interpolacije (pomoću odgovarajućih pripremljenih, G funkcija, za definisanje tih vrsta kretanja alata) i raznih uključivanja i isključivanja u obradnom sistemu (korišćenjem pomoćnih, M funkcija). Programom ovakvog formata adresiraju se direktno pojedine ose mašine, pa je neophodno koristiti postprocesore za svaku upravljačku jedinicu i kinematiku mašine posebno. Prema tome, sadašnji upravljački programi u obliku G kôda ne uključuju sve potrebne informacije o proizvodu, kao što su podaci o geometrijskim primitivima modela, tolerancijama, osobinama materijala, baziranju, pomoćnom priboru i drugim informacijama nastalih tokom projektovanja i planiranja tehnologije procesa obrade [1-6]. Sve ove informacije su nestale prilikom postprocesiranja putanje alata u G kôd, pa je tok informacija u ovom slučaju jednosmeran, slika 1a.

Ako se pojedini tehnološki oblici i/ili tehnološki primitivi, na delu koji treba napraviti, nazovu objektima (Features) i ako se program za tu izradu kompletira pomoću tih objekata, ne pomoću alfanumeričkih tekstova, onda se takvo programiranje NUMA može nazvati objektno programiranje [1]. Ovaj novi metod programiranja NUMA bazira se na primeni grupe STEP standarda, ISO 14649 i ISO 10303-238, i poznat je kao STEP-NC (Standard for Product Model Data Exchange for Numerical Control) [7], slika 1b. Programiranje NUMA na bazi STEP-NC standarda omogućava vrlo visok nivo informacija, objektno orijentisane opise dela u neutralnom formatu, dvosmernu komunikaciju informacija, kao i povratne informacije iz procesa. Međutim, klasična programiranja u G kôdu su još uvek aktuelna i dominantno zastupljena, dok objektno programiranje do sada nije uvedeno u punom obimu, pa oba ova metoda programiranja egzistiraju uporedo [1,6], kako je i ilustrovano na slici 1.

Primenom klasičnih metoda programiranja NUMA potrebno je ostvariti mnogo konverzija podataka da bi se pokrenula jedna mašina, programima koji su formatirani po standardu ISO6983, što je poznati G kôd. Za moderne mašine alatke više nije dovoljno imati samo elementarne podatke o geometriji i tehnologiji dela, koji treba napraviti. Sada je došlo vreme kada treba jednu mašinu programirati pomoću projekta geometrije radnog predmeta (CAD), bez konverzija prilikom pripreme mašine za rad [1,3,6].

<sup>1)</sup> prof. dr Saša Živanović, ([szivanovic@mas.bg.ac.rs](mailto:szivanovic@mas.bg.ac.rs)), Nikola Vorkapić, ([nvorkapic@mas.bg.ac.rs](mailto:nvorkapic@mas.bg.ac.rs)), doc dr Nikola Slavković, ([nslavkovic@mas.bg.ac.rs](mailto:nslavkovic@mas.bg.ac.rs)), doc dr Branko Kokotović, ([bkokotovic@mas.bg.ac.rs](mailto:bkokotovic@mas.bg.ac.rs)), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

<sup>2)</sup> U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja su realizovana na projektu TR35022 „Razvoje nove generacije domaćih obradnih sistema“, koji finansijski podržava Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije.



**Slika 1.** Uporedni prikaz programiranja CNC strugova primenom G-kôda i primenom STEP-NC protokola

integrirani virtualni CNC strugovi koji rade po programu u STEP-NC formatu u okruženju softvera STEP-NC Machine.

## 2. PROGRAMIRANJE OBRADNE STRUGANJEM NA BAZI STEP-NC PROTOKOLA

Jedan od prvih sistema zasnovan na STEP standardu koji se odnosi na obradu struganjem je STEPTurn sistem [10-12]. STEPTurn su razvili istraživači na Univerzitetu u Štuttgartu (ISW), Nemačka. Ovaj sistem je CAPP sistem koji premošćuje jaz između CAD-a i CAM-a i čita podatke o geometriji prvo iz datoteke STEP AP203 Part21 i prikazuje geometriju dela i izvršava normalne zadatke za planiranje procesa kao što su prepoznavanje geometrijskih primitiva i NC sekvenci (Workingstep) radi generisanja STEP-NC fizičkog fajla [10]. Drugi takav sistem, TurnSTEP, razvijen je saradnjom istraživača iz Nacionalne istraživačke laboratorije za STEP-NC tehnologije POSTECH (Južna Koreja) i istraživača sa Univerziteta ISW u Štuttgartu. TurnSTEP mora biti u potpunosti usklađen sa ISO 14649 i pogodan za e-proizvodnju. Što se tiče obrade struganjem, TurnSTEP je jedan od najranijih sistema koji je razvijen u skladu sa STEP-NC i podržan XML formatom [10]. Sistem G2STEP dizajniran je na osnovu dizajnerskih i funkcionalnih razmatranja koje su razvili istraživači iz Nacionalne istraživačke laboratorije za STEP-NC POSTECH (Južna Koreja), zajedno sa istraživačima iz EPFL (Švajcarska) i zasnovan je na ISO 14649 modelu podataka, ARM modelu i shemi uputstava za G-kôd zasnovan na FANUC0 seriji. Osnovna ideja za razvoj sistema G2STEP je generisanje STEP-NC programa na bazi G-kôda sa dodatnim informacijama o stvarnoj obradi koje treba lako da generišu kvalifikovani operatori [10,13].

Objektno programiranje na bazi STEP-NC protokola nije još uvedeno u punom obimu. Probe sa ovim metodom programiranja kao i njegova promocija deo su aktuelnih istraživanja i za sada se obično vrše u hibridnim obradnim sistemima [1], koji se obično programiraju pomoću G kôda, ali imaju i neku mogućnost da preuzmu i izvrše program dobijen na bazi STEP-NC protokola. Ovo je moguće zahvaljujući postojanju konvertora koji STEP-NC program prevodi u format koji UJ mašine može da interpretira. Primer jednog takvog pristupa je proizvođač NU sistema SIEMENS, koji se sa svojim sistemom ShopTurn za programiranje strugarske obrade na samoj mašini, uključio u razvoj objektnog programiranja [1,14]. Detalji ovog razvoja se mogu opisati u nekoliko koraka: (i) modeliranje radnog predmeta u CAD okruženju Catia, sa izlazom u STEP AP203 formatu; (ii) planiranje procesa obrade izvršeno je pomoću skupa tehnoloških primitiva u izdvojenih pomoću STEP 10303 AP224; (iii) za uvođenje opštih podataka o procesima koristi se i ISO 14649-10, dok se za izdvajanje podataka o procesima obrade struganjem vrši se po ISO 14649-12; (iv)

U ovom radu se razmatra analiza primene novog metoda programiranja CNC strugova na bazi STEP-NC protokola, primenom standarda ISO 10303 AP238 i softvera STEP-NC Machine kod strugova čije upravljačke jedinice izvršavaju G-kôd.

Kod klasičnog metoda programiranja verifikacija programa obrade je moguća u okviru CAD/CAM sistema [8] ili nekog CNC simulatora. Ova verifikacija programa može biti bazirana na putanji alata CLF (Cutter Location File) i/ili na G kôdu, i može uključivati i virtualnu mašinu alatku, slika 1a.

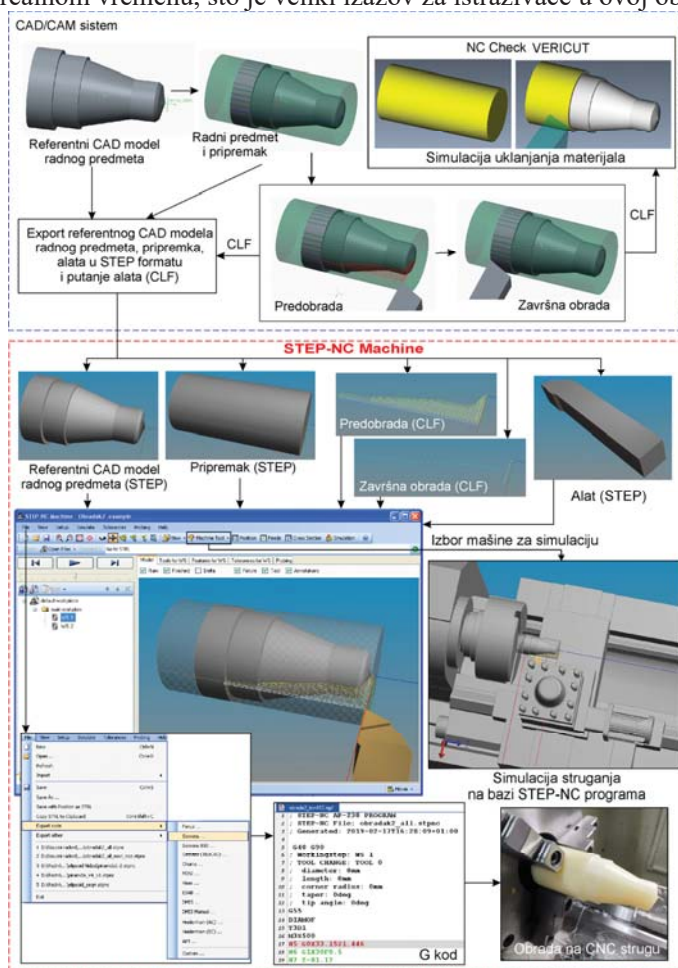
Novi metod programiranja baziran na STEP-NC protokolu AP238 (ISO 10303-238), takođe ima mogućnost konfigurisanja virtualne mašine alatke [9] i njihovu upotrebu za simulaciju rada mašine na bazi STEP-NC programa (\*.stpnc, \*.238, \*.p21, \*.p28), slika 1b. U cilju pripreme za analizu primene novog metoda programiranja primenom STEP-NC standarda, konfigurisani su i

konvertovanje dobijenog objektno orijentisanog programa (STEP-NC programa) u pogodan format, koji upravljačka jedinica te mašine može da čita i interpretira. Najjednostavniji slučaj je kada se konverzija vrši u G kôd [1,14].

Postoji puno rezultata za primenu STEP-NC standarda za operacije struganja [10-13,15,16] i svi se uglavnom zasnivaju na ISO14649 standardu. Ovaj rad ima za cilj da istraži primenu STEP-NC standarda ISO10303-AP238 za CNC strugove koji se programiraju primenom G kôda.

### 3. HIBRIDNI METOD PROGRAMIRANJA CNC STRUGOVA NA BAZI STEP-NC PROTOKOLA

Programiranje NUMA na bazi STEP-NC protokola je moguće ostvariti na tri nivoa [17]: (i) prvi nivo predstavlja indirektno ili hibridno STEP-NC programiranje koje podrazumeva korišćenje dobijenog STEP-NC programa njegovim prevođenjem na G kôd, da bi se mogla ostvariti obrada na postojećim mašinama sa upravljačkim jedinicama koje mogu da interpretiraju samo G kôd. Ovaj je metod je aktuelan jer može omogućiti primenu STEP-NC programiranja na većini postjećih NUMA i obično se naziva hibridni metod programiranja; (ii) drugi nivo predstavlja direktno STEP-NC programiranje koje podrazumeva korišćenje STEP-NC programa na NUMA sa upravljačkim jedinicama koje mogu ovakve programe direktno interpretirati. U industriji je broj ovakvih mašina zanemari i one se pretežno nalaze u naučno-istraživačkim institucijama, jer su još uvek u fazi razvoja; (iii) treći nivo predstavlja adaptivno STEP-NC programiranje, gde NUMA upravljačke jedinice on-line procesiraju podatke iz procesa i optimizuju parametre obrade u realnom vremenu, što je veliki izazov za istraživače u ovoj oblasti.



Slika 3. Hibridni metod programiranja CNC strugova na bazi STEP-NC protokola

softver, kao što je pokazano u [6,9]. U ovom poglavlju je pokazan predloženi metod, po kome se priprema sopstveni STEP-NC program korišćenjem pripreme tehnologije obrade u raspoloživom CAD/CAM sistemu, PTC Creo 2.0.

Tako generisani program se može simulirati u okviru STEP-NC Machine na konfigurisanom virtuelnom

Ovaj rad razmatra metod hibridnog programiranja, zasnovan na standardu ISO 10303-238 i softveru STEP-NC Machine, koji ima mogućnost za prevođenje STEP-NC fajla u formatu P21 na odgovarajući G-kôd.

Za izabrani obradak, potrebno je pripremiti tehnologiju obrade. Priprema STEP-NC programa za struganje podrazumeva prvo pripremu potrebnih geometrijskih informacija o obratku, pripremu, alatu, u STEP formatu. Zatim je potrebno pripremiti putanju alata u raspoloživom CAD/CAM sistemu. Na slici 3 pokazana je procedura sa osnovnim redosledom događaja u pripremi STEP-NC programa koja počinje u CAD/CAM sistemu, a završava u softveru STEP-NC Machine. Za razmatrani primer tehnologija obrade je pripremljena u CAD/CAM sistemu, odakle se preuzimaju modeli radnog predmeta, priprema, alata, u STEP formatu i putanje alata u CLF-u (za predobradu i završnu obradu) i učitavaju u softver STEP-NC Machine, gde se sve ove informacije integrišu u jedinstven STEP-NC program.

Za uvežbavanje novog metoda programiranja na primeru obrade struganjem, za sada nije moguće učitati mašinu iz baze softvera STEP-NC Machine, jer ne postoji, ali je zato moguće konfigurisati i integrisati svoju mašinu u

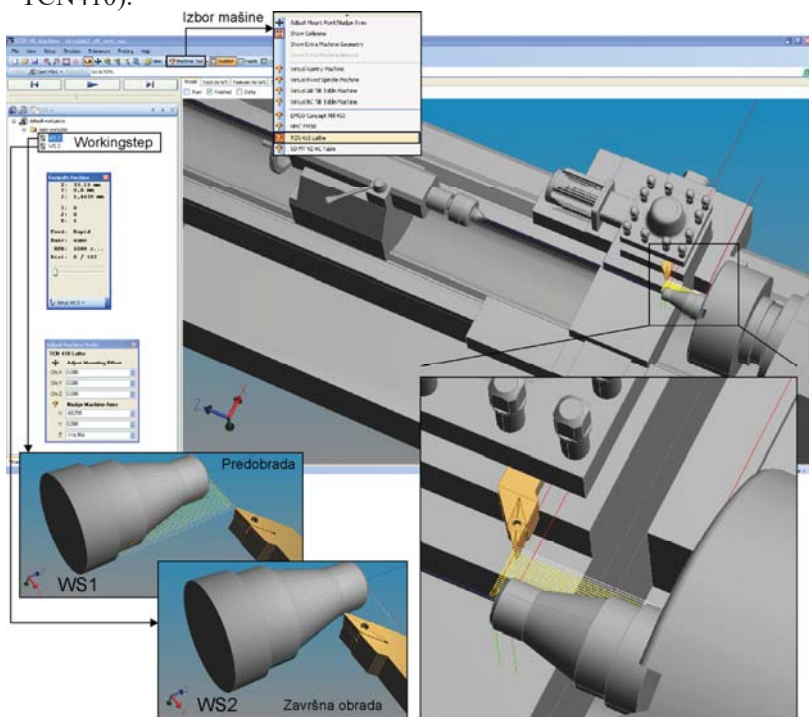


NU strugu, slika 3. Da bi radni predmet bilo moguće obraditi na većini raspoloživih NU strugova, koji se upravljaju pomoću G kôda, ovako dobijeni program se može korišćenjem Exopt opcije softvera STEP-NC Machine postprocesirati do G kôda na osnovu raspoložive baze postprocesora. Za sada ovo je tek priprema za novi metod programiranja, bez kompletne funkcionalnosti koju nudi STEP-NC, koja je primenljiva na postojeće CNC strugove.

#### 4. SIMULACIJA RADA VIRTUELNOG CNC STRUGA NA BAZI STEP-NC PROGRAMA

Danas mali broj mašina može direktno interpretirati STEP-NC program. S tim u vezi, za direktnu verifikaciju STEP-NC programa korisno je koristiti konfigurisane virtuelne mašine koje mogu raditi u okruženju STEP-NC Machine.

Konfigurisani virtuelni CNC strug može da interpretira STEP-NC programe u softverskom okruženju STEP-NC Machine. Primer ovakvog konfigurisanja strugova se može obuhvata sledeći niz aktivnosti [6,9]: (i) priprema CAD modela CNC struga u raspoloživom CAD/CAM sistemu u STEP formatu (AP203, AP214 or AP224); (ii) priprema opisa strukture mašine u XML formatu (algoritam upravljanja, baza mašine-nepokretni deo, definisanje koordinatnih osa na grani alata i na grani obratka, hodovi osa, postavljanje alata i obratka); (iii) prebaciti u folder .../ Machine, XML i STEP fajl mašine; (iv) pokrenuti STEP-NC Machine, učitati program i izabrati iz padajućeg menija Machine Tool konfigurisanu virtuelnu mašinu (npr. CNC strug – TCN410).



*Slika 4. Simulacija rada CNC struga TCN410 u STEP-NC Machine okruženju*

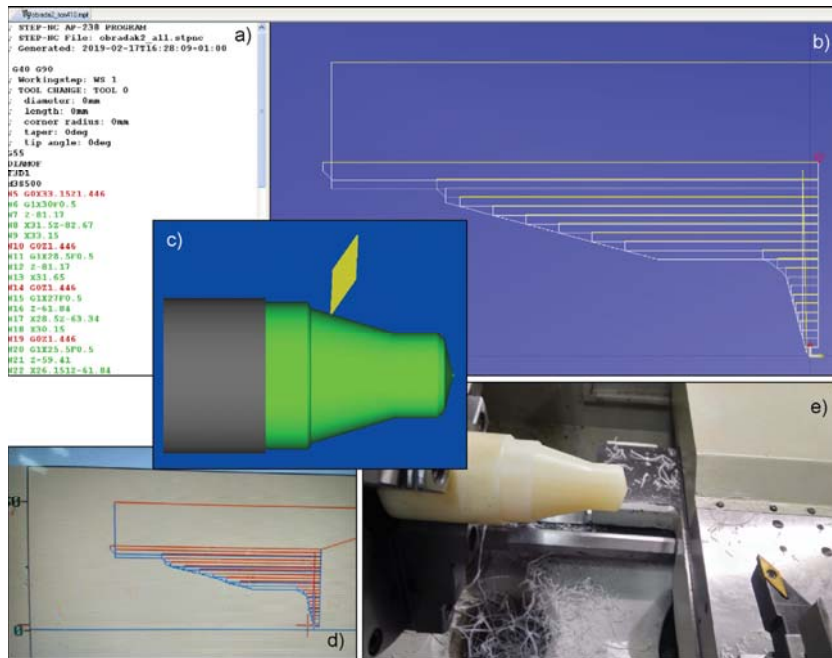
Za korektno kreiranje strukture XML fajla neophodno je učitavati komponente sklopa mašine pomoću odgovarajućih oznaka `shape_eid`, kao i oznaka za površine `face_eid` za šta je potrebno koristiti softver ST Viewer. U strukturi mašine se mogu razlikovati tri osnovne celine: nepokretni deo mašine, ose na grani alata i ose na grani obratka. Za primer CNC struga razmatranog u ovom radu, pokretni klizači su postavljeni na grani alata sa kretanjima po X i Z osama. Treća osa Y takođe mora biti definisana u strukturi mašine, bez obzira što po njoj nema pomeranja, jer se koristi algoritam za serijsku kinematiku „3-axis“. Zbog toga se, prilikom definisanja Y ose zadaje da je  $Y_{min} = 0$ ,  $Y_{max} = 0$ .

Model mašine u STEP formatu se izvozi u odnosu na referentni koordinatni sistem mašine, u odnosu na koji se postavlja i obradak, koji se može pomerati duž ose Z, što zavisi od položaja nulte tačke obratka. Prilikom pripreme modela ne moraju se učitati sve komponente originalnog modela, da bi model mašine bio što jednostavniji i da bi se brže učitavao. U ovom slučaju za CNC strug TCN410 u virtuelnu mašinu nije uključena kabina mašine, zbog bolje vidljivosti zone obrade tokom simulacije i jednostavnijeg modela.

Konfigurisani strug TCN410, se može izabrati iz padajućeg menija Machine Tool, slika 4, softvera STEP-NC Machine i ovo je jedan od prvih konfigurisanih CNC strugova u ovom softveru. Nakon pokretanja softvera STEP-NC Machine, i izbora mašine na njoj je moguće pokrenuti i testirati STEP-NC programe. Rad u virtuelnom okruženju je pogodan za obuku i obrazovanje u programiranju i pripremu za novi metod programiranja na bazi STEP-NC protokola.

## 5. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

Verifikacija razvijene metodologije programiranja primenom STEP-NC protokola, kroz obrade delova je izvršena na raspoloživim CNC strugovima u laboratoriji uz programiranje, simulaciju i prevođenje programa \*.p21 u G kôd korišćenjem razvijenog TurnSTEP-NC translatora. Pre izvođenja eksperimenata, prema metodu programiranja prikazanom u poglavlju 3, za svaki eksperiment je, korišćenjem softvera PTC Creo 2.0, pripremljena putanja alata, STEP fajlovi (AP203) pripremk, obratka i alata, dok je STEP-NC Machine softver iskorišćen za generisanje programa u formatu P21. Nakon simulacije na virtuelnim CNC strugovima u STEP-NC Machine softveru, izvršeno je prevođenje programa na G-kôd.



*Slika 5. Eksperimentalna verifikacija hibridnog metoda programiranja CNC strugova na bazi STEP-NC protokola*

okruženju programa CIMCO (slika 5b,c), kao i na samoj upravljačkoj jedinici mašine Siemens Sinumerik 808D, slika 5d, nakon čega je izvršena obrada radnog predmeta na mašini, Slika 5e.

Obradom izabranog probnog dela je potvrđena mogućnost primene novog metoda programiranja na bazi STEP-NC protokola, primenom hibridnog metoda programiranja koja se u ovoj fazi svodi na prevođenje STEP-NC programa na G kôd primenom Export opcije softvera STEP-NC Machine.

## 6. ZAKLJUČAK

Probe i promocija novog metoda programiranja na bazi STEP-NC standarda za sada se obično vrše na hibridnim obradnim sistemima, koji se uobičajeno programiraju G kôdom, ali imaju i neku mogućnost da preuzmu i izvrše program pripremljen objektnim programiranjem. Ovde se koristi mogućnost softvera STEP-NC Machine za konverziju STEP-NC programa direktno u G kôd.

Pokazani primeri predstavljaju pripremu za novi metod programiranja primenom STEP-NC standarda, koja uz konfigurisane i inegrirane virtuelne mašine, ovde virtuelne CNC strugove, koje rade po programu u STEP-NC formatu u okruženju softvera STEP-NC Machine, imaju za cilj uvežbavanje i pripremu za primenu novog metoda programiranja.

U okviru daljih istraživanja se planira i razvoj translatora za prevođenje STEP-NC programa na specifične formate G-kôdova za CNC strugove. Novi metod programiranja baziran na STEP-NC standardu je i osnova za razvoj nove generacije upravljačkih jedinica NUMA, koje će biti u stanju da direktno interpretiraju STEP-NC programe, bez potrebe za njihovom konverzijom prilikom pripreme mašine za rad.

## 7. LITERATURA

- [1] Glavonjić, M.: *AN5-Objektno programiranje mašina alatki*, Predavanja iz Mašina alatki M, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2010.
- [2] Zivanovic, S., Vasilic, G.: *A New CNC Programming Method using STEP-NC Protocol*, FME Transactions, Vol. 45, No. 1, pp. 149-158, 2017.
- [3] 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.
- [4] Živanović, S., Glavonjić, M.: *Methodology for implementation scenarios for applying protocol STEP-NC*, Journal of Production Engineering. Vol.17, No.1, pp 71-74, 2014.
- [5] Glavonjić M., Živanović S.: *Protokol STEP-NC za programiranje numerički upravljanih mašina alatki*, TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Broj 6, str 937-942, 2012.
- [6] Milan Zeljković, Slobodan Tabaković, Aleksandar Živković, Saša Živanović, Cvijetin Mladenović, Miloš Knežev, OSNOVE CAD/CAE/CAM TEHNOLOGIJA, udžbenik, ISBN 978-86-6022-120-1, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih nauka, 2018.
- [7] Step Tools, Inc., <https://www.steptools.com/>, 2020.
- [8] Živanović, S., Kokotović, B., Jakovljević, Ž.: *Turning machine simulation for program verification*, Proceedings of the 12th International Scientific Conference mma 2015, pp. 157-160, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, septembar 2015.
- [9] Živanović, S., Slavković, N.: *Application of the STEP-NC standard ISO 10303 AP238 for turning operations*, 13th International Scientific Conference mma 2018 – Flexible Technologies, Invited paper, Proceedings, pp. 49-52, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Production Engineering, Novi Sad, septembar 2018.
- [10] Yusof, Y.: *Review of STEP-compliant Manufacturing for Turning operation*, Asian Journal of Industrial Engineering, Vol.2, No.3, pp.77-88, 2010.
- [11] Heusinger, S.: *ISO 14649 STEP-NC; Data model and implementation for turning in Germany*, 2002.
- [12] Yusof Y., Case, K.: *Design of a STEP compliant system for turning operations*, Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 26, No.6, pp.753-758, 2010.
- [13] Shin, S. J. , Suh, S. H., Stroud, I.: *Reincarnation of G-code based part programs into STEP-NC for turning applications*, Computer Aided Design, Vol. 39, No. 1, pp.1-16, 2007.
- [14] STEP-NC Newsletter, Issue 5, September 2003, <http://www.step-nc.org/data/newsletter5.pdf>, 2020.
- [15] Sun, J., Zhang, X., Wang, J., Song, J.: *Research on CNC Turning System Based on STEP-NC*, Applied Mechanics and Materials Vols. 16-19, pp. 70-74, 2009.
- [16] Zhang, X., Liu, R., Nassehi, A., Newman, S.T.: *A STEP-compliant process planning system for CNC turning operations*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 27, pp.349–356, 2011.
- [17] Rauch, M., Laguionie, R., Hascoet, J.Y., Suh, S.H.: *An advanced STEP-NC controller for intelligent machining processes*, Rob. Comput. -Integr. Manuf., 28:375–384, 2012.

**Živanović, S., Vorkapić, Slavković, N., Kokotović, B.**

### **ANALYSIS OF THE APPLICATION OF A NEW PROGRAMMING METHOD OF CNC LATHES BY APPLICATION OF THE STEP-NC PROTOCOL**

*Abstract: The paper analyzes the possibility of applying a new programming method based on the STEP-NC protocol for CNC lathes. The programming method is based on the STEP-NC standard ISO 10303 AP238. In order to verify the programming method, virtual CNC lathes have been configured that can interpret STEP-NC programs. Virtual lathes are integrated into the STEP-NC Machine software environment. A method for obtaining STEP-NC programs is proposed, as well as the possibility of immediate application of such programs on the available CNC lathes, using the available post-processors of STEP-NC Machine software. Verification of the proposed programming method was performed first, through simulations on configured virtual CNC circuits, and then by experimentally machining the selected test piece.*

**Key words:** CNC lathe, turning, STEP-NC, programming, simulation.