



Živanović, S., Slavković, N., Milutinović, D.<sup>1)</sup>

## METODOLOGIJA PROGRAMIRANJA ROBOTA ZA OBRADU NA BAZI STEP-NC PROTOKOLA<sup>2)</sup>

### Rezime

*U radu je prikazana metodologija primene novog standarda za programiranje mašina alatki, ISO 10303-238, za programiranje industrijskih robota za obradu. Prikazana metodologija obuhvata programiranje i simulaciju industrijskih robota u zadacima obrade robotima. U okviru metodologije je razvijen i translator jezika koji prevodi STEP-NC program u odgovarajući jezik za programiranje industrijskih robota za slučaj 3-osne obrade. Verifikacija razvijene metodologije je izvršena prvo, kroz simulacije na virtuelnim robotima konfigurisanim u STEP-NC Machine softveru, a potom i eksperimentalno na raspoloživim robotima.*

*Ključne reči: industrijski roboti, STEP-NC, programiranje, simulacija, obrada robotima.*

### 1. UVOD

Industrijske robote, u poređenju sa 5-osnim mašinama alatkama odlikuje višestruko niža cena, veliki radni prostor i visoka fleksibilnost. Međutim, izuzetna kompleksnost programiranja zadataka obrade i mnogostruko niža krutost odnosno tačnost robota predstavljaju glavne ograničavajuće faktore za širu primenu robota u obradi. Složenost programiranja robota je posledica nedovoljne kooperativnosti proizvođača robota u poređenju sa proizvođačima mašina alatki koji su bili spremni da koriste CAD/CAM sisteme na bazi standarda ISO6983 (RS274), odnosno G-kod. Iz ovih razloga istraživači na institutima i univerzitetima kao i proizvođači robota i CAD/CAM softvera razvijaju svoja softverska rešenja s ciljem da programiranje robota za obradu približe programiranju mašina alatki [1-3].

Danas se novi standard, poznatiji kao STEP-NC (Standard for Product Model Data Exchange for Numerical Control) [4-7], koristi kao osnova za razvoj nove generacije upravljačkih jedinica mašina alatki. Novi standardi su ISO 14649 i ISO 10303-238, i oba se primenjuju paralelno. U literaturi postoji veći broj radova koji se odnose na primenu STEP-NC standarda u programiranju numerički upravljanih mašina alatki (NUMA) čije upravljačke jedinice koriste format G-koda (ISO 6983). Međutim, nema mnogo radova koji se odnose na primenu STEP-NC standarda za generisanje programa industrijskih robota, jer se pored velikog broja programskih jezika za robote oni značajno razlikuju po strukturi i mogućnostima [8]. Takođe, za primenu robota u višeosnoj obradi i brzoz izradi prototipova programiranje robota programskim jezicima je veoma složeno i dugotrajno. S obzirom da se industrijski roboti sve više i više uključuju u zadatke višeosne obrade određene klase delova, neophodno je njihovo programiranje prilagoditi STEP-NC standardu u cilju približavanja programiranja industrijskih robota programiranju višeosnih mašina alatki [9]. U ovom radu je prikazana jedna metodologija primene standarda ISO 10303-238 u zadacima obrade industrijskim robotima.

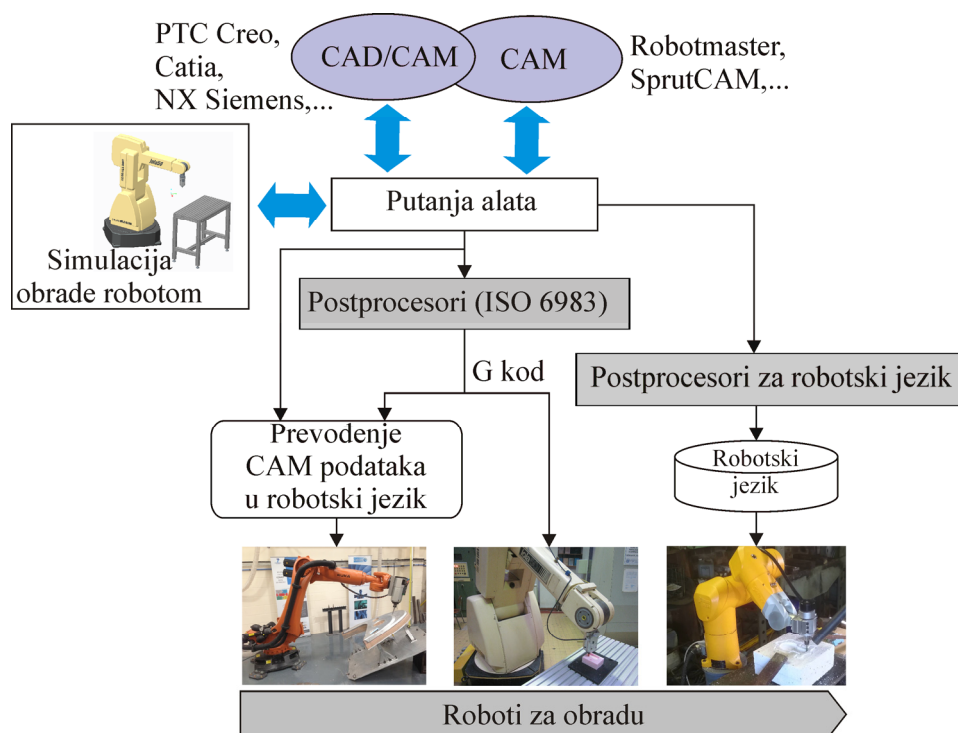
### 2. PROGRAMIRANJE ROBOTA ZA OBRADU

Kao što je rečeno, složenost programiranja industrijskih robota za zadatke višeosne obrade proističe iz činjenice da svaki proizvođač robota koristi uglavnom sopstveni programski jezik [2,3]. Na slici 1 su pokazane mogućnosti programiranja industrijskih robota za zadatke višeosne obrade, odnosno tri načina programiranja koja se danas koriste: (i) korišćenjem postojećih CAD/CAM sistema za programiranje

<sup>1)</sup> prof. dr Saša Živanović, ([szivanovic@mas.bg.ac.rs](mailto:szivanovic@mas.bg.ac.rs)), doc dr Nikola Slavković, ([nslavkovic@mas.bg.ac.rs](mailto:nslavkovic@mas.bg.ac.rs)), prof. dr Dragan Milutinović, ([dmilutinovic@mas.bg.ac.rs](mailto:dmilutinovic@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.

višeosnih mašina alatki uz korišćenje odgovarajućih translatora CL (Cutter Location) fajla ili G-koda na programski jezik robota, (ii) postprocesiranjem CL fajla, dobijen iz postojećih CAD/CAM sistema koji se koriste za programiranje višeosne obrade mašina alatki, na G-kod, ukoliko upravljačka jedinica robota može da interpretira G-kod, i (iii) upotrebom specijalizovanih CAM softvera za programiranje industrijskih robota koji generišu programski jezik robota koristeći odgovarajuće postprocesore za robote.



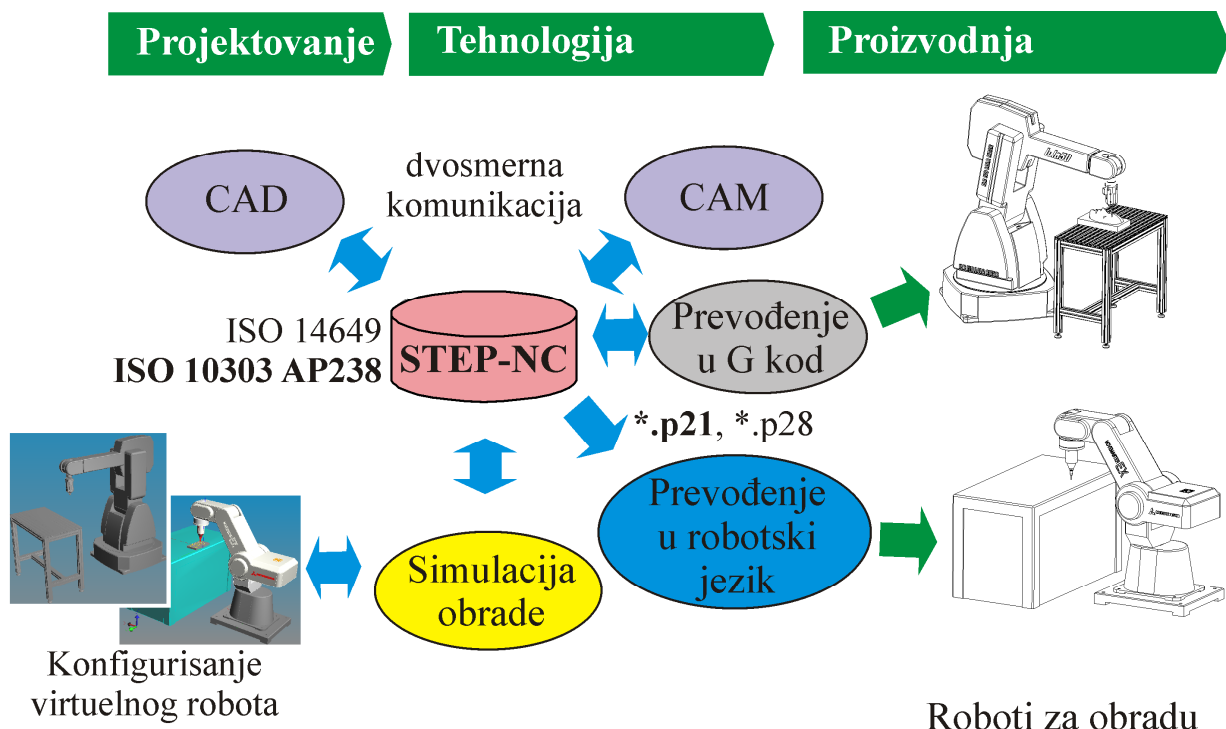
**Slika 1.** Programiranje robota za obradu primenom postojećih CAD/CAM sistema

Klasični metodi programiranja imaju mnogo prevođenja podataka da bi se pokrenula jedna mašina alatka ili robot za obradu. Sada je došlo vreme kada treba jednu mašinu alatku ili robot za obradu programirati pomoću projekta geometrije obratka (CAD), bez prevođenja prilikom pripreme mašine za rad. Velika grupa standarda ISO 10303 (STEP), među kojima je za programiranje najvažniji protokol AP238, predstavlja i dovoljan uslov za kompletiranje sistema za objektno programiranje mašina alatki, odnosno ovde robota za obradu. Kod STEP-NC protokola nude se objektno orijentisani opisi dela i to u neutralnom STEP formatu, dvosmerna komunikacija sistema za programiranje, uključujući i povratne informacija iz procesa obrade, na primer, o ostvarenoj tačnosti obrade itd.

Metod koji je predložen u radu [10] objašnjava tri nivoa programiranja primenom STEP-NC protokola za NUMA. Prvi nivo predstavlja indirektno STEP-NC programiranje koje podrazumijeva korišćenje STEP-NC standarda na postojećim NUMA upravljačkim jedinicama, koji mogu da interpretiraju samo G-kod. Ovaj metod je značajan jer može omogućiti primenu STEP-NC programiranja na većini postjećih NUMA. Drugi nivo predstavlja direktno STEP-NC programiranje koje podrazumeva korišćenje STEP-NC standarda na NUMA upravljačkim jedinicama, koje mogu da direktno interpretiraju STEP-NC programe. U industriji broj ovakvih mašina je zanemariv i one se pretežno nalaze u naučno-istraživačkim institucijama, jer su još uvek u fazi razvoja. Treći nivo predstavlja adaptivno STEP-NC programiranje, gde NUMA upravljačke jedinice on-line procesiraju podatke iz procesa i optimizuju parametre obrade u realnom vremenu. Ovako postavljeni nivoi programiranja NUMA se mogu na sličan način razmatrati i za programiranje industrijskih robota u zadacima obrade.

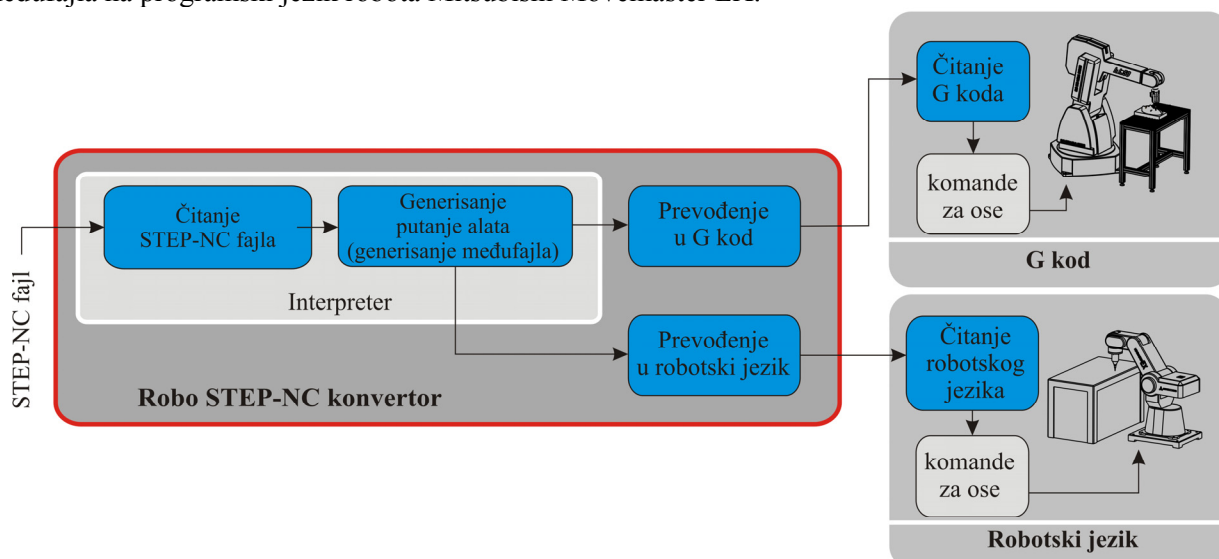
Primena STEP-NC protokola za programiranje omogućava podršku visokog nivoa informacija u lancu projektvanje – tehnologija – proizvodnja. Postoji dvosmerni tok informacija između CAD/CAM i NUMA ili robota za obradu bez gubitka informacija, Slika 2. U radu je pokazan primer primene standarda ISO 10303 AP238, i odgovarajućeg licenciranog softvera STEP-NC Machine, koji omogućava pripremu programa u STEP-NC formatu P21, za koji je moguće realizovati i simulaciju obrade na bazi ovog programa. Softver STEP-NC Machine omogućava i konfigurisanje virtuelnih robota za obradu za potrebe simulacije i rada robota na bazi STEP-NC programa. Program u STEP-NC formatu bi bilo moguće pokrenuti i na robotima za obradu samo uz uslov da robot ima upravljačku jedinicu koja podržava interpretiranje STEP-NC programa.

Kao što je prikazano na slici 2, drugi način je indirektni metod programiranja koji je baziran na STEP-NC programu. Ovo se može uraditi na dva načina: (i) korišćenjem opcije izvoza u softveru STEP-NC Machine za izvoz programa u G-kod ako kontroler robota može direktno interpretirati G-kod, ili (ii) pomoću odgovarajućeg translatora radi prevođenja STEP-NC programa na programski jezik robota.



*Slika 2. Programiranje robota za obradu primenom STEP-NC protokola*

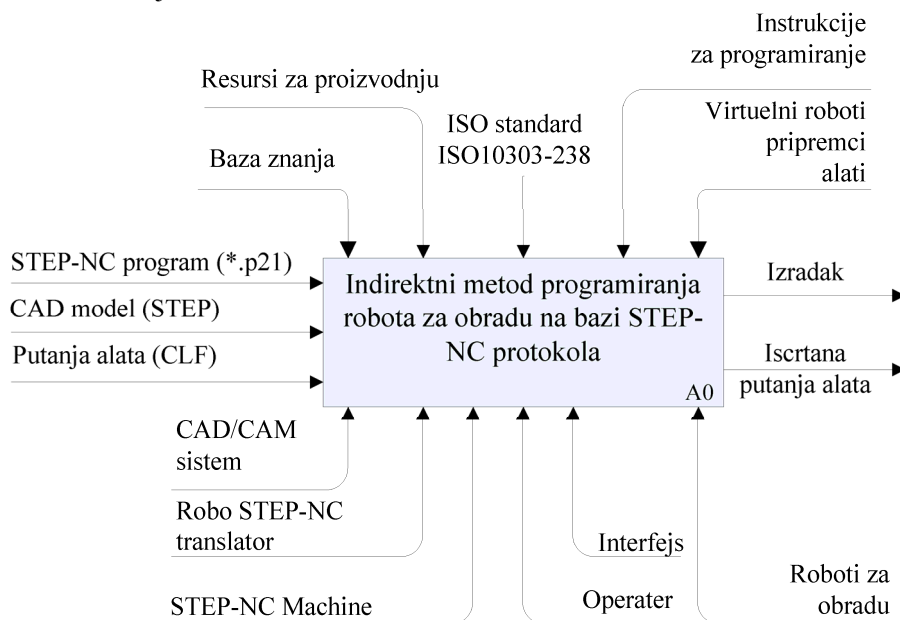
Ovaj rad razmatra metod indirektnog programiranja, zasnovan na standardu ISO 10303-238, koristeći razvijene translatore, Slika 3, koji se koristi za prevođenje STEP-NC fajla u formatu P21 na odgovarajući programski jezik robota. Kao što je prikazano na slici 3, translator jezika Robo STEP-NC, razmatran u ovom radu, sastoji se od tri osnovna dela koji se odnose na: (i) čitanje i analizu STEP-NC fajla, (ii) generisanje putanje alata (generisanje međufajla) i (iii) prevođenje međufajla na robotski jezik. Translator jezika je program koji čitanjem kompletnog P21 fajla generiše međufajl, koji sadrži sve informacije neophodne za generisanje programskog jezika robota. Tako generisan međufajl se može u opštem slučaju prevesti na odgovarajući programski jezik robota, uz poznavanje njegove sintakse. U ovom radu su razmatrana dva slučaja za raspoložive robote: (i) prevođenje međufajla na G kod (za robot LOLA 50), i (ii) prevođenje međufajla na programski jezik robota Mitsubishi Movemaster EX.



*Slika 3. Indirektni metod programiranja robota na bazi STEP-NC protokola*

### 3. METODOLOGIJA ZA PROGRAMIRANJE ROBOTA NA BAZI STEP-NC PROTOKOLA

Metodologija za programiranje robota za obradu na bazi STEP-NC protokola opisana je korišćenjem IDEF0 dijagrama [11,12]. IDEF0 dijagrami se ovde koriste da se formalizuje opis indirektnog metoda programiranja robota za obradu na bazi STEP-NC protokola. Opis metodologije pomoću IDEF0 dijagrama predstavlja strukturnu prezentaciju aktivnosti, koje se mogu posmatrati u nekoliko različitih nivoa, pri čemu se svaki nivo sastoji od skupa hijerarhijskih dijagrama sa odgovarajućim tekstualnim opisima, redosledom aktivnosti i vezama između njih.



**Slika 4.** Kontekсни IDEF0 dijagrama za indirektni metod programiranja robota na bazi STEP-NC protokola

Na početku se obično definiše kontekсни IDEF0 dijagram, slika 4, koji sadrži funkciju najvišeg nivoa (A0: Indirektni metod programiranja robota za obradu na bazi STEP-NC protokola). Ovaj dijagram sadrži potrebne ulazne informacije, kontrole koje upravljaju izvođenjem aktivnosti ili utiču na njihovu realizaciju, mehanizme i resurse kojima se izvode aktivnosti, eventualno i pozive drugim funkcionalnim aktivnostima. Na kraju se dobijaju izlazi, odnosno rezultati realizovanih aktivnosti. Osnovna funkcija predstavljena konteksnim dijagramom najvišeg nivoa može se raščalnuti u svoje podfunkcije stvaranjem podfunkcionalnih dijagrama u onoliko nivoa detaljisanja, koliko je to potrebno. Svaki podfunkcionalni dijagram pruža detaljniji opis i redosled osnovnih aktivnosti u okviru posmatrane podfunkcije.

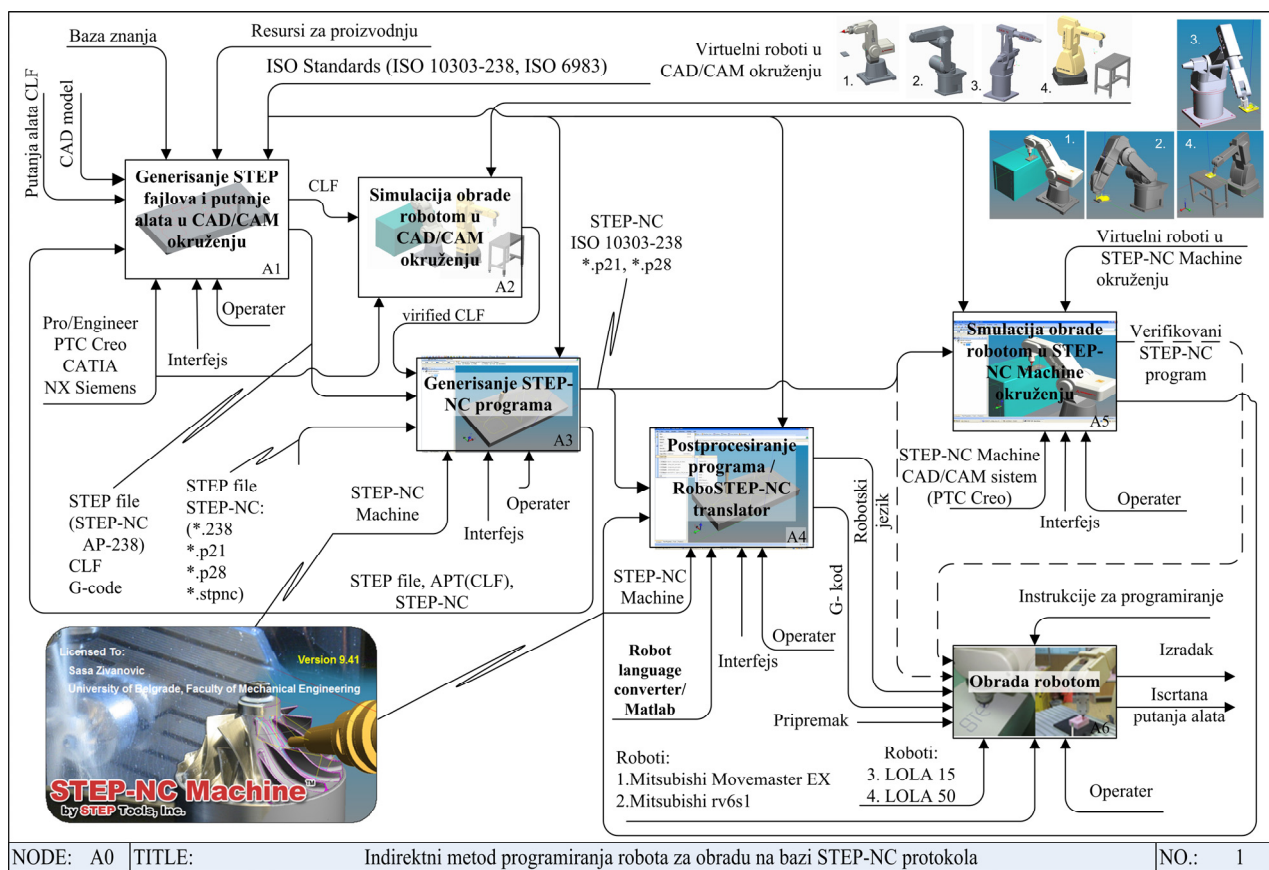
Ilustracija konteksnog dijagrama A0 najvišeg nivoa koja opisuje osnovni tok aktivnosti pokazana je na slici 5. Osnovni redosled aktivnosti za realizaciju indirektnog metoda programiranja robota za obradu na bazi STEP-NC protokola je: A1: Generisanje STEP fajlova i putanje alata u CAD/CAM okruženju, A2: Simulacija obrade robotom u CAD/CAM okruženju, A3: Generisanje STEP-NC programa, A4: Postprocesiranje programa/RoboSTEP-NC translator, A5: Simulacija obrade robotom u STEP-NC Machine okruženju i A6: Obrada robotom [13].

Za metod indirektnog programiranja robota za obradu na bazi STEP-NC protokola, potrebno je obezbediti CAD modele radnog predmeta, priprema, pomoćnog pribora, alata u STEP formatu, kao i putanju alata (Cutter Location File – CLF/APT) koji se pripremaju u aktivnosti A1 i predstavljaju ulaz za aktivnost A2 i A3. Aktivnost A2 obuhvata simulaciju obrade robotom u CAD/CAM okruženju, za verifikaciju putanja alata, koja ima mogućnost simulacije primenom konfigurisanih virtuelnih robota u ovom okruženju. U aktivnosti A3, se na osnovu prethodno pripremljenih ulaznih informacija, koje su rezultat aktivnosti A2 i A3, generiše STEP-NC program u formatu P21 u softveru STEP-NC Machine. Softver može i direktno učitati već gotove STEP-NC programe u formatima (\*.238, \*.p21, \*.p28, \*.stpnc). Pogodnost primene softvera STEP-NC Machine je i mogućnost kombinovanja putanja alata u CLF/APT formatu iz različitih CAD/CAM sistema (Pro/Engineer, Creo, CATIA, NX Siemens). U softveru STEP-NC Machine se može generisati jedinstveni program u P21 formatu, što je od velikog značaja ako se tokom programiranja nekog kompleksnog proizvoda koriste različita CAD/CAM okruženja.



Program generisan u aktivnosti A3 je ulaz za aktivnost A4 koja može generisati program na dva načina odnosno u dva formata. Prvi način, koristi izvoznu opciju softvera STEP-NC Machine za postprocesiranje direktno u G-kod, za izabranu raspoloživu upravljačku jedinicu, ako kontroler robota može direktno interpretirati G-kod. Drugi način, koristi razvijeni RoboSTEP-NC translator koji prevodi program u formatu P21 u G kod ili programski jezik robota, kao što je prikazano na slici 5. Ako bi se aktivnost A4, odnosno njen deo koji se odnosi na RoboSTEP-NC translator, dalje raščlanila na osnovne aktivnosti obuhvatala bi četiri osnovne aktivnosti A41 do A44. Potreban ulaz za ove aktivnosti se dobija iz aktivnosti A3 kao STEP-NC program u formatu P21. U aktivnosti A41 se čita i analizira program koji se generiše u STEP-NC Machine okruženju (fajl \*.p21) i iz njega se izvlače sve neophodne informacije potrebne za generisanje putanje alata i definisanje parametara obrade. U sledećoj aktivnosti A42 se na osnovu razvijenih pravila (za glavno kretanje, brzinu pomoćnog kretanja, putanju alata...) [13] generiše međufajl koji se u aktivnostima A43 prevodi na odgovarajući programski jezik robota. Aktivnost A44 predstavlja simulaciju putanje alata generisane u programskom jeziku robota.

Verifikacija dobijenih programa u STEP-NC P21 formatu, realizuje se u aktivnosti A5 na konfigurisanim virtuelnim robotima (1 do 4 na slici 5). Kao ulaz u aktivnost A6, u radu se koriste i G kod i programski jezik robota, koji su rezultat koji je dobijen iz aktivnosti A4 pomoću RoboSTEP-NC translatora. Ulaz u aktivnost A6, može biti i STEP-NC program za one robote koji će moći ovakve programe direktno da interpretiraju. Kao krajnji rezultat aktivnosti A6, možemo imati obrađeni radni predmet ili iscrtanu programiranu konturu koja odgovara putanji alata za neke zadatke konturne obrade.



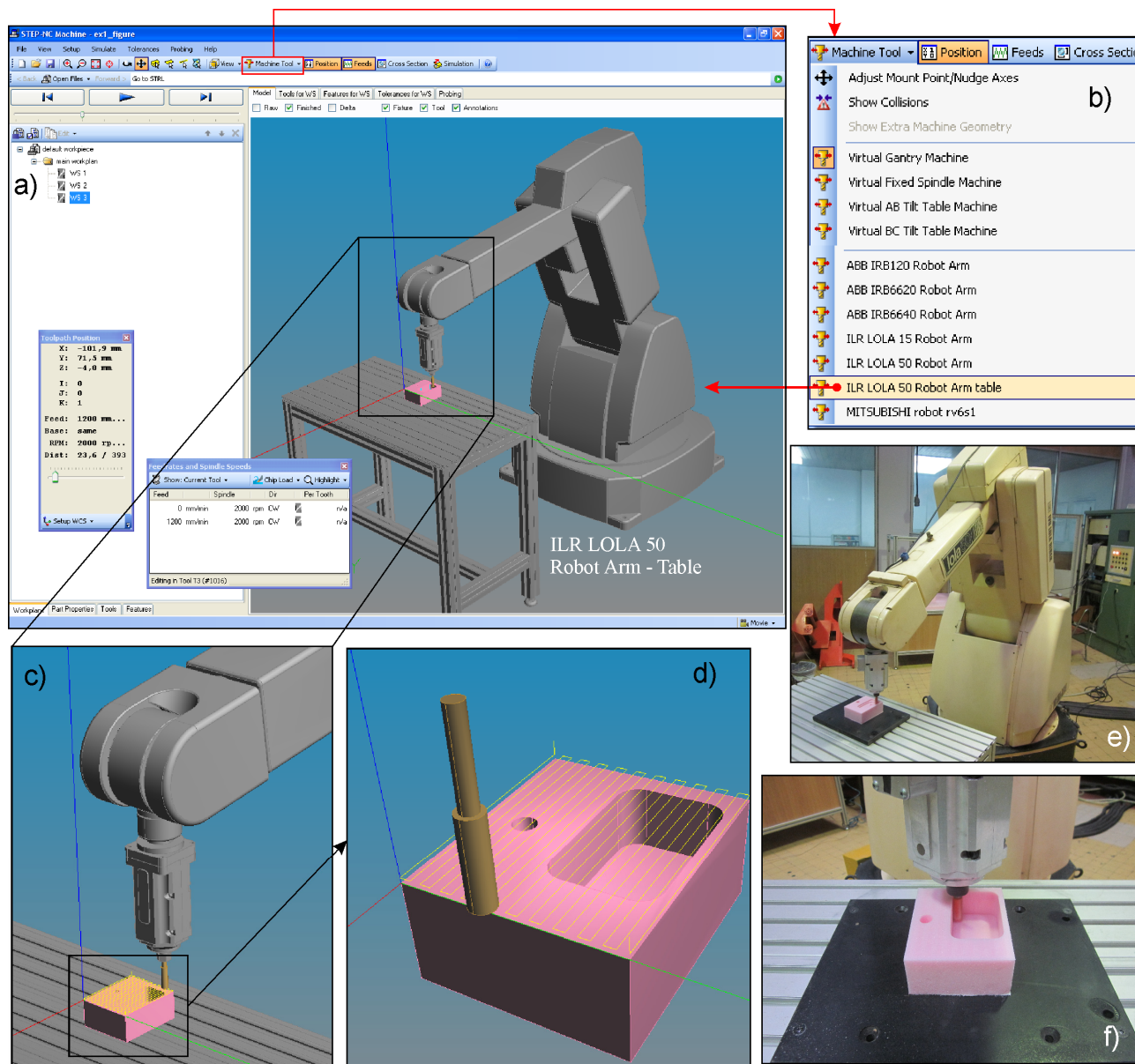
Slika 5. Metodologija indirektnog metoda programiranja robota na bazi STEP-NC protokola

#### 4. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

Verifikacija razvijene metodologije, kroz obrade delova (robot LOLA50) i iscrtavanja putanja alata (Mitsubishi Movemaster EX), je izvršena na raspoloživim robotima u laboratoriji uz programiranje, simulaciju i prevodenje programa \*.p21 u odgovarajući jezik za programiranje robota korišćenjem razvijenog Robo STEP-NC translatora. Pre izvođenja eksperimenata, prema metodologiji prikazanoj u poglavlju 3, za svaki eksperiment je, korišćenjem softvera PTC Creo 2.0, pripremljena putanja alata, STEP fajlovi priprema, obratka i alata, dok je STEP-NC Machine softver iskorišćen za pripremu programa u

formatu P21. Nakon simulacije na virtuelnom robotu u STEP-NC Machine softveru, izvršeno je prevođenje programa ili na G-kod (za robot LOLA50) ili na programski jezik robota Mitsubishi Movemaster EX.

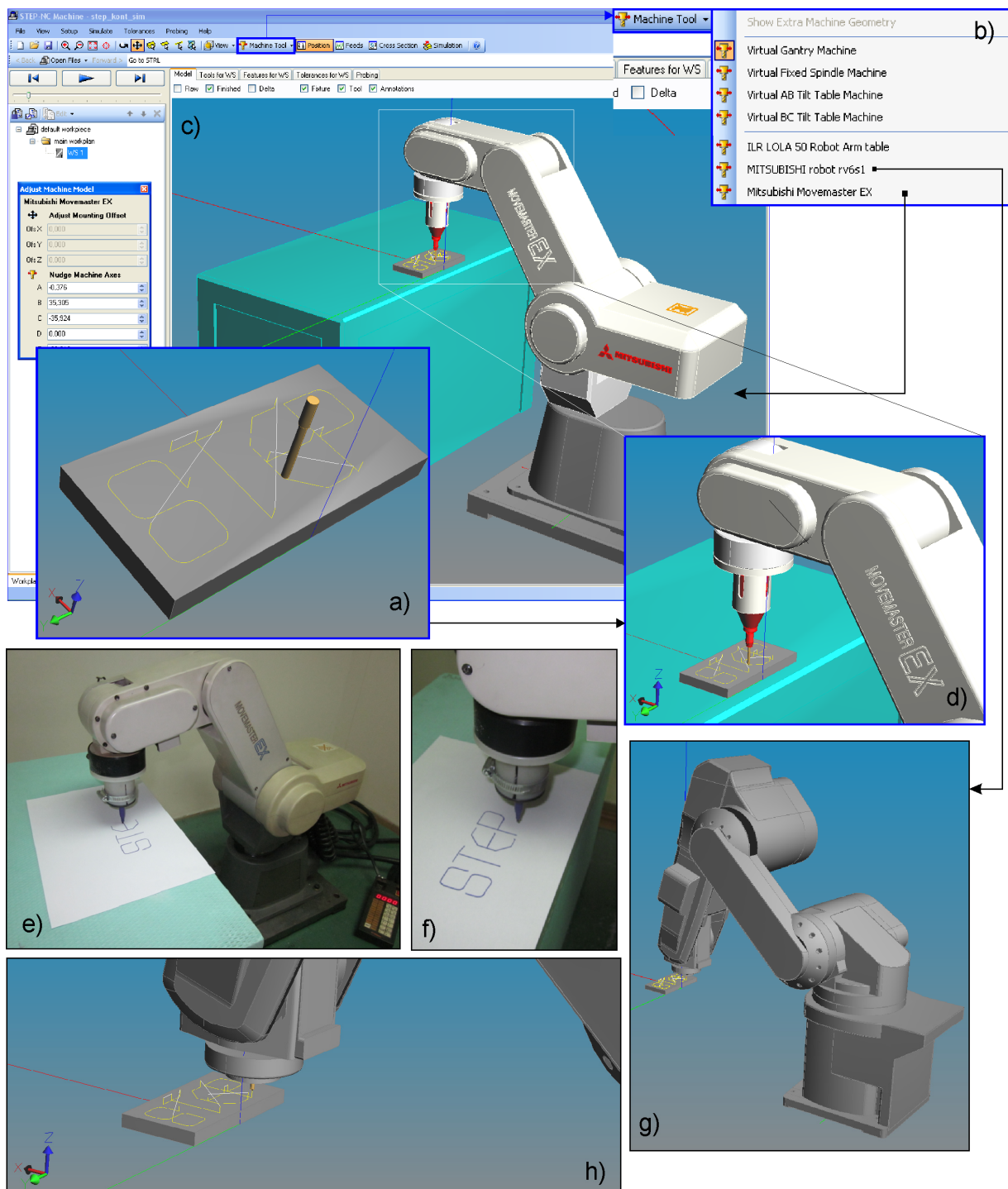
Prvi primer se odnosi na obradu tipičnog STEP-NC test dela, slika 6, na robotu LOLA50. Za obradu ovog dela korišćeno je čeono vretenasto glodalo prečnika 12mm i materijal obratka od stirodura. Pri obradi dela izvršena su tri zahvata: glodanje ravne površine, glodanje džepa i bušenje rupe. Na slikama 6a), 6c) i 6d) pokazana je simulacija obrade dela na robotu LOLA50, dok je izbor robota iz padajućeg menija raspoloživih mašina prikazan na slici 6b). Nakon simulacije na virtuelnom robotu u STEP-NC Machine softveru, izvršeno je prevođenje programa na G-kod i izvršena obrada dela, slike 6e) i 6f).



**Slika 6.** Eksperimentalna verifikacija razvijene metodoogije na robotu LOLA 50

Drugi primer se odnosi na iscrtavanje putanje alata, odnosno reči „STEP“, na robotu Mitsubishi Movemaster EX, slika 7. Na slikama 7a), 7c), 7d), 7g) i 7h) pokazana je simulacija iscrtavanja putanje alata na robotima. Izbor robota za potrebe simulacije se bira iz padajućeg menija, Machine Tool, slika 7b). Simulacija je ostvorena na dva konfigurisana virtuelna robota: Mitsubishi Movemaster EX (slike 7d) i 7c), na kome je izveden i eksperiment, i na Mitsubishi robotu rv6s1 (slike 7g) i 7h). Nakon ostvarenih simulacija na virtuelnim robotima u STEP-NC Machine softveru, izvršeno je prevođenje programa na jezik robota Mitsubishi Movemaster EX na kome je izvršeno iscrtavanje programirane putanje alata, slike 7e) i 7f).

Eksperimentima je potvrđena mogućnost primene novog metoda programiranja na bazi STEP-NC protokola, na indirektnan način, koji se svodi na prevođenje STEP-NC programa, ili na G kod ili na robotski programski jezik, primenom razvijenog Robo STEP-NC translatora.



*Slika 7. Eksperimentalna verifikacija razvijene metodologije na robotima Mitsubishi*

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan metod indirektnog programiranja robota za obradu baziranog na STEP-NC standardu. Razvijena metodologija, koja je verifikovana kroz nekoliko eksperimenata 3-osne obrade delova na robotu LOLA50 i isctavanja putanje alata na robotu Mitsubishi Movemaster EX, obuhvata programiranje robota bazirano na standardu ISO 10303-238, simulaciji obrade na virtuelnim robotima konfigurisanim u STEP-NC Machine softveru i prevođenju P21 fajla na programski jezik robota, primenom razvijenog translatora jezika Robo STEP-NC. Pri prevođenju programa P21 na robotski programski jezik generiše se međufajl, koji sadrži sve informacije potrebne za generisanje putanje alata, koji se takođe uz poznavanje sintakse programskog jezika za robote može prevesti na bilo koji robotski programski jezik. Dalje istraživanje će biti usmereno na razvoj translatora jezika koji će prevoditi P21 fajl u robotski programski jezik za zadatke 5-osne obrade.



## 6. LITERATURA

- [1] Chen, Y.H., Hu, Y.N.: *Implementation of a robot system for sculptured surface cutting. Part 1. Rough machining*, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 15(9):624–629, 1999.
- [2] Jeff DePree & Chris Gesswein, *Robotic Machining White Paper Project*, Halcyon Development, <http://www.robotics.org/robotic-content.cfm/Robotics/Halcyon-Development-RIA/id/43>, October 31, 2008.
- [3] Milutinovic, D., Glavonjic, M., Slavkovic, N., Dimic, Z., Zivanovic, S., Kokotovic, B., Tanovic, Lj.: *Reconfigurable robotic machining system controlled and programmed in a machine tool manner*, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 53(9-12):1217–1229, 2011.
- [4] *STEP-NC Newsletter, Issue 2*, <http://www.step-nc.org/data/newsletter2.pdf>, July 2000.
- [5] *STEP-NC Newsletter, Issue 3*, <http://www.step-nc.org/data/newsletter3.pdf>, November 2000..
- [6] *STEP-NC Newsletter, Issue 5*, September 2003. <http://www.step-nc.org/data/newsletter5.pdf>.
- [7] Xu, X.W., Newman, S.T.: *Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent-a review of the technologies*, Comput. Ind., 57(2):141–152, 2006.
- [8] Minango, S. N. R., Ferreira, J. C. E.: *Combining the STEP-NC standard and forward and inverse kinematics methods for generating manufacturing tool paths for serial and hybrid robots*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 30(11):1203-1223, 2017.
- [9] Solvang, B., Refsahl, L.K., Sziebig, G.: *STEP-NC based industrial robot CAM system*, in: The 9th International Symposium on Robot Control, SYROCO'09, The International Federation of Automatic Control Nagaragawa Convention Center, Gifu, Japan, pp. 361–366, 2009.
- [10] 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.
- [11] Sääski, J., Salonen, T., Paro, J.: *Integration of CAD, CAM and NC with Step-NC*, VVT Industrial systems, 2005, ISBN 951-38-6580-0.
- [12] Živanović, S., Glavonjić, M.: *Methodology for implementation scenarios for applying protocol STEP-NC*, Journal of Production Engineering, 17(1):71-74, 2014.
- [13] Zivanovic, S., Slavkovic, N., Milutinovic, D.: *An approach for applying STEP-NC in robot machining*, Robotics and Computer–Integrated Manufacturing, 49: 361–373, 2018.

Živanović, S., Slavković, N., Milutinović, D.

### METHODOLOGY OF PROGRAMMING ROBOTS BASED ON STEP-NC PROTOCOL

**Abstract:** *This paper presents an approach for applying new machining standard ISO 10303-238 in machining operations by using industrial robots. The methodology developed according to this standard is proposed for executing programming and simulation of machining robots. Within the framework of the methodology, a language translator has been developed, which translates the STEP-NC program into the appropriate programming language for industrial robots in the case of 3-axis machining. Verification of the developed methodology was done first, through simulations on virtual robots configured in the STEP-NC Machine software, and then experimentally on the available robots.*

**Key words:** *industrial robots, STEP-NC, programming, simulation, robot machining.*