

Parametarsko programiranje CNC strugova

GORAN V. VASILIC, Akademija tehničkih strukovnih studija

Politehnika, Beograd

ORCID: 0000-0003-0465-192X

SAŠA T. ŽIVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0003-4950-8203

MILAN D. MILUTINOVIĆ, Akademija tehničkih strukovnih studija

Politehnika, Beograd

ORCID: 0000-0002-4199-4350

Originalni naučni rad

UDC: 004.42:621.9

DOI: 10.5937/tehnika2406699V

Parametarsko programiranje CNC mašina spada u napredne tehnike programiranja koje pruža niz prednosti u odnosu na do sada opšte prihvaćene načine izrade G-kod programa. Proizvođači CNC mašina i njihovih upravljačkih jedinica su u najvećoj meri koristili ovaj način programiranja za izradu fiksnih ciklusa obrade. I pored niza mogućnosti koje pruža, parametarsko programiranje nije dovoljno zastupljeno kod krajnjih korisnika CNC mašina. Programeri CNC mašina ne koriste ovaj način programiranja zbog nedovoljne obučenosti kao i zbog nedostatka literature za edukaciju. U okviru ovoga rada prikazane su osnove parametarskog programiranja CNC mašina. Prema datim objašnjenjima, može se napisati parametarski program za bilo koju CNC mašinu. U radu su prikazani primeri parametarskih programa napisani za tipske zahvate koji se realizuju na CNC strugu.

Ključne reči: CNC strug, napredno programiranje, tipski zahvati

1. UVOD

U proizvodnim pogonima, najzastupljeniji načini izrade G-kod programa za CNC mašine su manuelna izrada program i izrada programa pomoću računara primenom dostupnih CAD/CAM sistema. Prilikom izrade programa neretko se koriste predefinisani ciklusi koji se nalaze u memoriji same mašine. Predefinisani ciklusi su definisani od strane proizvođača mašine, a koriste se prilikom realizacije tipskih zahvata na određenoj mašini. Na CNC strugu predefinisani ciklusi mogu biti: izrada konusa, izrada spoljašnjeg ili unutrašnjeg radijusa, izrada navoja, izrada stepenastog prelaza sa jednog prečnika na drugi itd. Na CNC glodalici uobičajeni ciklusi su: bušenje rupe i otvora, proširivanje rupe ili otvora, izrada prizmatičnog ili kružnog džepa, izrada ostrva na prizmatičnom delu, izrada stepenika itd. Osim očiglednih prednosti, glavni nedostaci izrade G-kod programa primenom predefinisanih ciklusa su:

- predefinisani ciklusi nisu standardizovani te se njihova primena razlikuje od mašine do mašine,
- ni jedan proizvođač sa svojim predefinisanim ciklusima ne može predvideti sve potrebe budućih korisnika mašine,
- predefinisani ciklusi ne mogu u potpunosti odgovoriti svim potrebama korisnika,
- predefinisani ciklusi se ne mogu menjati.

Kao moguće rešenje, kojim se izbegavaju prethodno navedeni nedostaci izrade G-kod programa pomoću fiksnih ciklusa, nameće se parametarsko programiranje CNC mašina koje je i predstavljeno u ovom radu.

2. PRINCIP PARAMETARSKOG PROGRAMIRANJA

Parametarski izrađene programe mogu izvršiti CNC mašine alatke svih proizvođača. Od proizvođača do proizvođača parametarski programi imaju različite nazive. Princip programiranja je isti ali svaki od proizvođača iz marketniških razloga koristi svoj naziv za parametarski izrađene programe [1]. Nazivi koje proizvođači CNC mašine koriste su:

FANUC → Custom Macro

Adresa autora: Goran Vasilic, Akademija tehničkih strukovnih studija Politehnika, Beograd, Katarine Ambrozić 3

e-mail: goran.v.vasilic@gmail.com

Rad primljen: 08.10.2024.

Rad prihvaćen: 20.11.2021.

FADAL → Macro

OKUMA → User Task

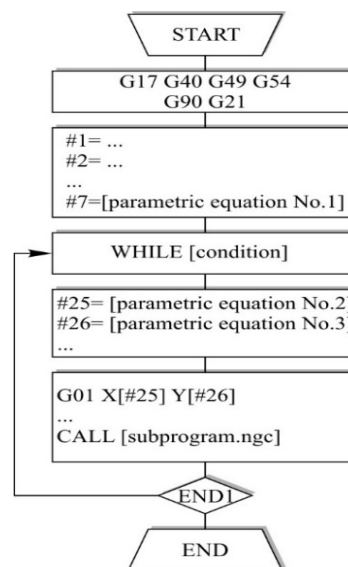
SODIK → Q-Routine

KERNEY & TRECKER → Advanced Programming Language (APL)

Bez obzira o kom proizvođaču se radi, parametarsko programiranje predstavlja kombinaciju računarskog programiranja i programiranja CNC mašina. Trenutno aktuelni, Macro-B ili UserTask-2 pruža napredne mogućnosti prilikom izrade G-kod programa. Tako, komandama računarskog programiranja kao što su IF_THEN, AND, OR, IF, WHILE, END-WHILE, DO, LE, LT, GT, GE, EQ i matematičkim funkcijama kao što su SIN, COS, ASIN, ACOS, EXP, TAN, ATAN, ABS, uz standardne G-kod funkcije mogu se izrađivati veoma kratki programi za određene tipske zahvate [2]. U parametarskom programiranju uz unapred definisane parametre i određene matematičke proračune upravljačka jedinica mašine izračunava koordinate vrha alata, a standardnim G-kod funkcijama dovodi vrh alata po određenoj putanji u željenu tačku.

Kao i kod računarskog programiranja pre izrade parametarskog programa, zbog lakšeg rada, koriste se algoritmi po kojima se sam parametarski G-kod program piše. Primer jednog algoritma je prikazan na slici 1. Kao što je prikazano, na samom početku programa se aktiviraju (deaktiviraju) određene G-kod funkcije. Uobičajeno je da parametri nose oznake #1, #2, #3 itd. Neki proizvođači CNC mašina koriste oznake P1, P2, P3 itd, ali i #Diameter, #Depth, #Xposition, #Yposition... Prema algoritmu sa slike 1, na samom početku programa definišu se vrednosti parametara koje svoju vrednost ne menjaju tokom izvršenja programa (slika 1-parameters #1 and #2). Prema algoritmu sa slike 1, vrednost parametra #7 se takođe ne menja tokom izvršenja programa, ali za razliku od prethodnih parametara, vrednost parametru ne zadaje korisnik već se vrednost izračunava prema zadatoj parametarskoj jednačini No.1.

U okviru WHILE petlje, koja je karakteristična za računarsko programiranje, za parametre #25 i #26 sa slike 1 takođe se izračunavaju vrednosti. U zavisnosti od formiranih parametarskih jednačina No.2 i No.3 i u zavisnosti od postavljenih uslova WHILE petlje, u svakom prolazu kroz petlju parametri #25 i #26 mogu imati različite vrednosti. Prema prikazanom algoritmu, vrh alata se pravolinijski dovodi u poziciju koja je određena koordinatama X i Y nakon čega se u zavisnosti od potreba može pozivati određeni potprogram. Vrednosti koordinata su određene izračunatim vrednostima parametara #25 i #26. Kada se ispuni postavljeni uslov, program napušta WHILE petlju i nastavlja izvršenje programa red po red.



Slika 1 – Primer algoritma za izradu parametarskog programa za CNC mašine

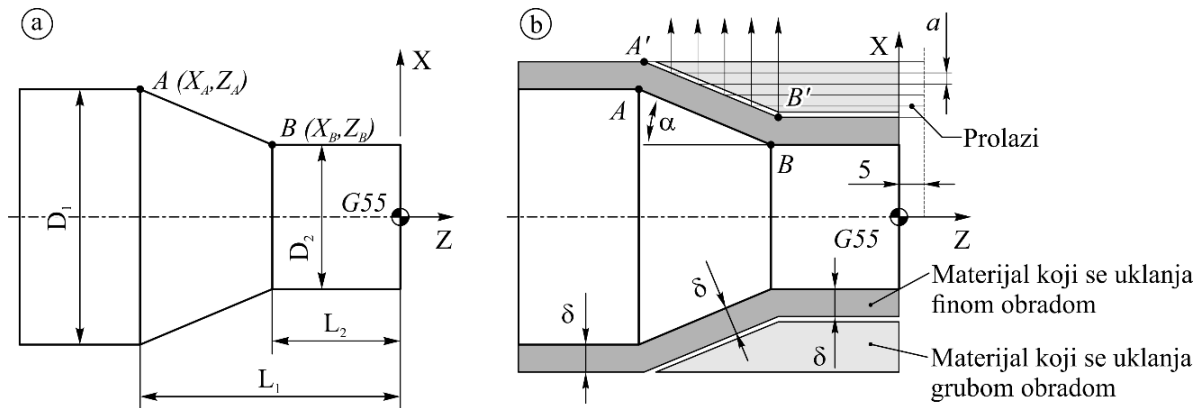
Opisana procedura se primenjuje za svaku mašinu bez obzira na njenu namenu, konfiguraciju i bez obzira na proizvođača. U naučnom radu [3] su prikazani parametarski programi koji su realizovani na dvoosnoj rekonfigurabilnoj mašini sa paralelnom kinematikom MOMA [4], dok su u radu [5] prikazani parametarski programi realizovani na višeosnoj kompleksnoj mašini alatki koja je namenjena za proces obrade sečenja žicom.

3. JEDNOSTAVNI PARAMETARSKI PROGRAMI ZA CNC STRUG

Tipski zahvati koji se najčešće koriste prilikom izrade delova na CNC strugu su izrada konusa, izrada spoljašnjeg radijusa i izrada unutrašnjeg radijusa. Realizacija navedenih zahvata se odnosi i na unutrašnju i na spoljašnju obradu. U nastavku je detaljno razmotren slučaj izrade konusa i način formiranja parametarske jednačine. Kao što će biti pokazano u nastavku teksta, izrada radijusa se radi na isti način kao i izrada konusa ali uz primenu drugih parametarskih jednačina. Iz tog razloga ovi slučajevi se ne analiziraju detaljno već su za njih data samo neophodna dodatna objašnjenja.

3.1. Izrada konusa na CNC strugu realizacijom parametarskog programa - gruba obrada

Na slici 2.a je prikazan jedan uobičajeni tehnički crtež dela koji se izrađuje na CNC strugu. Prema crtežu, dati su prečnici cilindričnih delova D_1 i D_2 , kao i dužine L_1 i L_2 . Navedenim veličinama u potpunosti je definisana geometrija konusa koji se izrađuje i njihove vrednosti će biti dodeljene određenim parametrima na početku parametarskog programa. Prema slici 2.a, usvojena je strategija obrade koja je prikazana na slici 2.b.



Slika 2 – Izrada konusa na CNC strugu: a) tehnički crtež, b) strategija obrade

Za realizaciju zahvata izrade konusa, neophodno je na osnovu geometrije dela sa slike 2.a, dodatka za obradu δ (slika 2.b) i zadate dubine rezanja a , najpre odrediti broj prolaza i a potom koordinate tačaka na osnovu kojih će svaki prolaz biti realizovan. Upravo, ovo je zadatak parametarskog programa. Prema slici 2, usvojeni su parametri koji su dati u tabeli 1.

Table 1. Usvojeni parametri parametarskog programa za izradu konusa – gruba obrada

Parametar	Geometrijska veličina
#1	D_1
#2	D_2
#3	L_1
#4	L_2
#5	δ
#6	a
#7	$X_A = D_1/2$
#8	$X_B = D_2/2$
#9	$Z_A = -\#3$
#10	$Z_B = -\#4$
#11	i
#12	α

U skladu sa usvojenim parametrima, broj prolaza se izračunava prema parametarskoj jednačini (1), dok se ugao α određuje parametarskom jednačinom (2).

$$\#11 = [FUP[(\#1 + \#5) - (\#2 + \#5)] / [2 * \#6]] \quad (1)$$

$$\#12 = ATAN[ABS[\#7 - \#8] / ABS[-\#3 + \#4]] \quad (2)$$

U jednačinama (1) i (2), korištene su matematičke funkcije koje imaju sledeća značenja FUP-Round up to integer, ATAN- Four quadrant inverse tangent i ABS-Absolute value. Sintakse su korištene u oblicima koje podržava LinuxCNC softverski upravljački sistem [6]. Koordinate tačaka A' i B' sa slike 2.b određene su grupom jednačina(3). Grupe jednačina (3) se koriste za određivanje koordinate tačaka u kojima se završava svaki prolaz u zahvatu grube obrade pri izradi konusa.

$$\begin{aligned} \#13 &= \#7 + \#5 * \cos \#12 \rightarrow X'_A \\ \#14 &= -\#3 + \#5 * \sin \#12 \rightarrow Z'_A \\ \#15 &= \#8 + \#5 * \cos \#12 \rightarrow X'_B \\ \#16 &= -\#4 + \#5 * \sin \#12 \rightarrow Z'_B \end{aligned} \quad (3)$$

Nakon svakog prolaza tokom procesa obrade, na delu se formira prečnik d_i koji je definisan jednačinom (4), a u parametarskom programu mu je dodeljen parameter #19. U jednačini (4) uveden je parameter #17 koji predstavlja redni broj prolaza u zahvatu i koristi se prilikom formiranja uslova *WHILE* petlje.

$$\#19 = [2 * (\#8 + \#5 + \#6 * [\#9 - \#15])] \rightarrow D_i \quad (4)$$

Parametar #19 se koristi pri definisanju kretanja alata u svakom prolazu, odnosno vrednost parametra predstavlja X koordinatu početne i krajnje tačke putanje vrha alata u određenom prolazu Z koordinate početnih tačaka svakog prolaza, prema slici 2.b, iznosi $Z=5$. Koordinate krajnjih tačaka svakog prolaza određuju se jednačinom (5).

$$\begin{aligned} \#20 &= [(\#19/2 - \#13) / (\#15 - \#13)] * \\ & * [\#16 - \#14] + \#14 \rightarrow Z_i \end{aligned} \quad (5)$$

Koristeći parametre date u tabeli 1 kao i jednačine (1) do (5), *WHILE* petlja kojom se realizuju kretanje alata u svakom prolazu ima oblik kao što je prikazano na slici 3.

```
O100 WHILE [#17 LE #11]
  #19=[2*[\#8+\#5+\#6*[\#11-\#17]]]
  #20=[[(\#19/2-\#13)/(\#15-\#13)]*[\#16-
    -\#14]+\#14]
  G01 X[2*\#19]
  G01 X[2*\#19] Z[\#20]
  G01 X[\#18]
  G00 Z5
  #17=[\#17+1]
O100 ENDWHILE
```

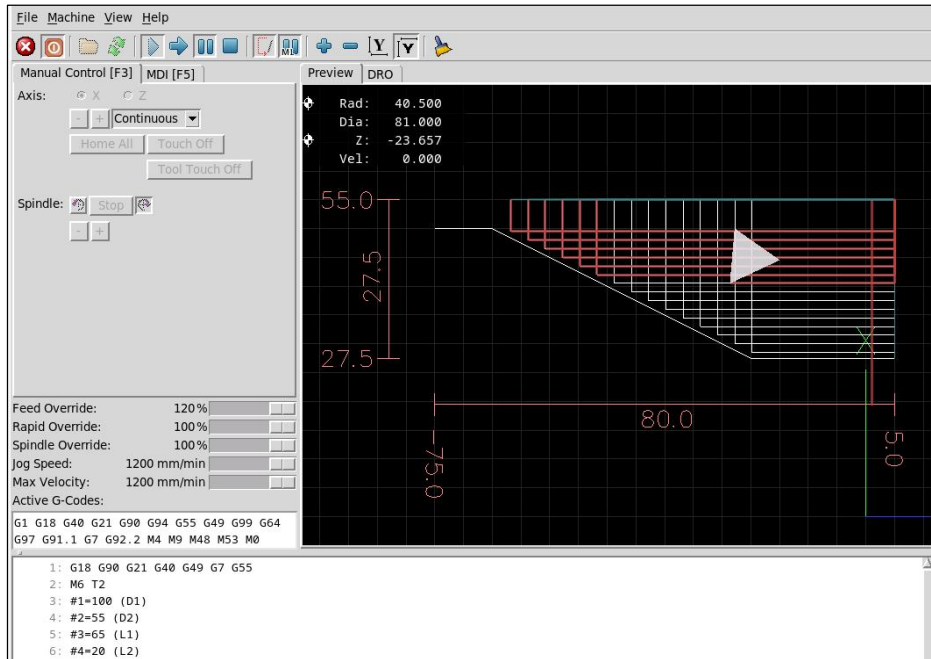
Slika 3 - *WHILE* petlja u okviru parametarskog programa za izradu konusa

Na slici 4 prikazana je putanja alata koja se realizuje izrađenim parametarskim programom za grubu obradu konuse. Za simulaciju kretanja alata korišten je softverski upravljački sistem otvorene arhitekture LinuxCNC koji se inače koristi za upravljanje mašinama alatkama i industrijskim robotima.

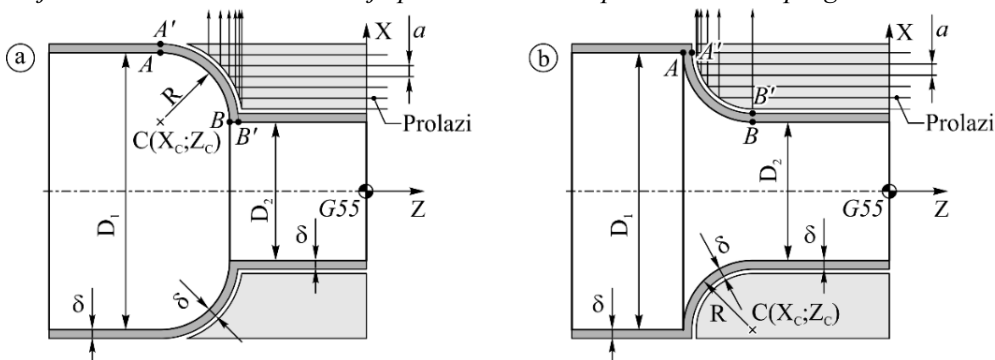
Promenom vrednosti parametara #1 do #6, parametarski program se automatski prilagođava geometriji novog dela. Samim time putanja alata kao i režimi obrade su prilagođeni novom delu.

3.2. Izrada radijusa na CNC strugu realizacijom parametarskog – gruba obrada

Za razliku od konusa čija je geometrija definisana preko dve tačke, geometrija radijusa je definisana pozicijom centra radijusa i vrednošću radijusa. Kako je prikazano na slici 5, koordinate centra radijusa su označeni koordinatama X_C i Z_C . Navedene geometrijske veličine kao i veličina δ koja predstavlja dodatak za finu obradu, su ujedno i parametri koji se koriste za izradu parametarskog programa.



Slika 4 - Putanja alata u LinuxCNC okruženju prema izrađenom parametarskom programu za izradu konusa



Slika 5 – Strategija obrade za grubu obradu i realizaciju tipskih zahvata na CNC strugu: a) Spoljašnji radijus, b) Unutrašnji radijus

Preostale geometrijske veličine kao što su D_1 , D_2 , X'_A , Z'_A , X'_B i Z'_B izračunavaju se preko već usvojenih parametara. Za spoljašnji radijus sa slike 4.a koristi se grupa jednačina (6)

$$\begin{aligned} D_1 &= 2 * (X_C + R) \\ D_2 &= 2 * X_C \\ X'_A &= X_C + R + \delta; Z'_A = Z_C \\ X'_B &= X_C; Z'_B = Z_C + R + \delta \end{aligned} \quad (6)$$

dok se za grubu obradu pri izradi unutrašnjeg radijusa sa slike 4.b koristi grupa jednačina (7).

$$\begin{aligned} D_1 &= 2 * X_C \\ D_2 &= 2 * (X_C - R) \\ X'_A &= X_C; Z'_A = Z_C - R + \delta \\ X'_B &= X_C - R + \delta; Z'_B = Z_C \end{aligned} \quad (7)$$

Usvojeni parametri za obradu radijusa su dati u tabeli 2, a broj prolaza i (parameter #12) uz pa-

parametarski zadatu dubinu rezanja a (parameter #11) broj prolaza prilikom grube obrade spoljašnjeg ili unutrašnjeg radijusa se određuje parametarskom jednačinom (8)

$$\#12 = [FUP [[\#5+\#4]-[\#6+\#4]]/[2*\#11]] \quad (8)$$

Tabela 2. Usvojeni parametri za izradu spoljašnjeg i unutrašnjeg radijusa parametarskim programom

Parametar	Geometrijska veličina
#1	X_C
#2	Z_C
#3	R
#4	δ
#5	D_1
#6	D_2
#7	X_A
#8	Z_A
#9	X_B
#10	Z_B
#11	a
#12	i

Prema slici 5 od početnog prečnika priprema, čija vrednost iznosi $D_1+\delta$, svakim prolazom se smanjuje prečnik obratka za vrednost $2*a$ dok se ne postigne krajnji prečnik $D_2+\delta$. Prečnik obrađenog dela u svakom prolazu se određuje parametarskom jednačinom (9) u kojoj figuriše parameter #13 koji predstavlja redni broj prolaza.

$$\#4 = [\#9+\#4 + [\#12-\#13] * \#11] \quad (9)$$

Svaki od prolaza započinje na koordinati $Z=5$, dok se kraj prolaza za slučaj grube određuje parametarskom jednačinom (10), a za slučaj unutrašnjeg radijusa određuje parametarskom jednačinom (11).

$$\#16 = \#2 + \text{SQRT} [[\#3+\#4] * [\#3+\#4] - [\#14-\#1] * [\#14-\#1]] \quad (10)$$

$$\#16 = \#2 - \text{SQRT} [[\#3-\#4] * [\#3-\#4] - [\#14-\#1] * [\#14-\#1]] \quad (11)$$

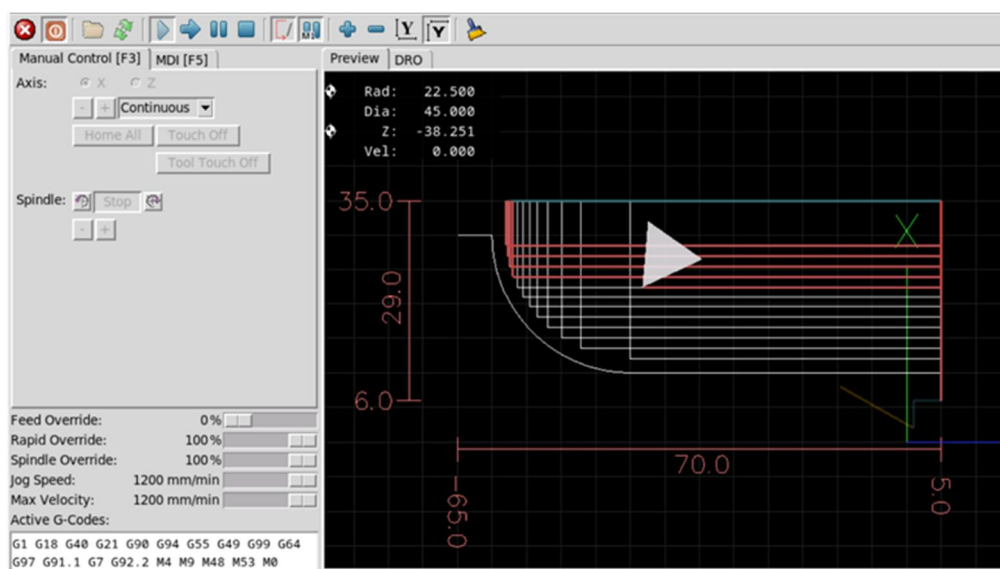
Uz definisane i izračunate parametre, putanja alata u svakom prolazu se realizuje izvršenjem *WHILE* petlje koja je data u nastavku.

```
O100 WHILE [#13 LE #12]
  #14 = [#9+#4 + [#12-#13] * #11]
  #16 = #2 ± SQRT [[#3±#4] * [#3±#4] -
    - [#14-#1] * [#14-#1]]
  G01 X[2*#14]
  G01 X[2*#14] Z[#16]
  G01 X[#18]
  G00 Z5
  #13=[#13+1]
O100 ENDWHILE
```

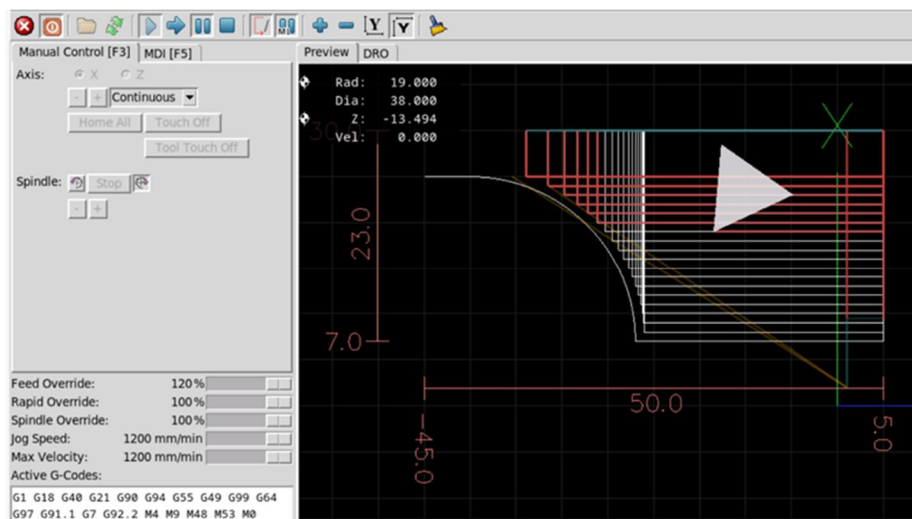
Slika 6 - *WHILE* petlja u okviru parametarskog programa za izradu radijusa

U prethodno prikazanoj *WHILE* petlji korišten je dvoznak $\pm$. Za slučaj grube obrade spoljašnjeg radijusa, u skladu sa parametarskim jednačinama (10) i (11), umesto dvoznaka $\pm$ koristi se znak $+$ dok se znak $-$ koristi prilikom grube obrade unutrašnjeg radijusa.

Simulacija kretanja alata prema sastavljenim parametarskim programima za grubu obradu pri izradi unutrašnjeg radijusa, prema usvojenoj strategiji kretanja alata, prikazana je na slici 7, dok je na slici 8 prikazano kretanje alata prema sastavljenom parametarskom programu za izradu spoljašnjeg radijusa.



Slika 7 - Putanja alata u LinuxCNC okruženju prema izrađenom parametarskom programu za izradu unutrašnjeg radijusa

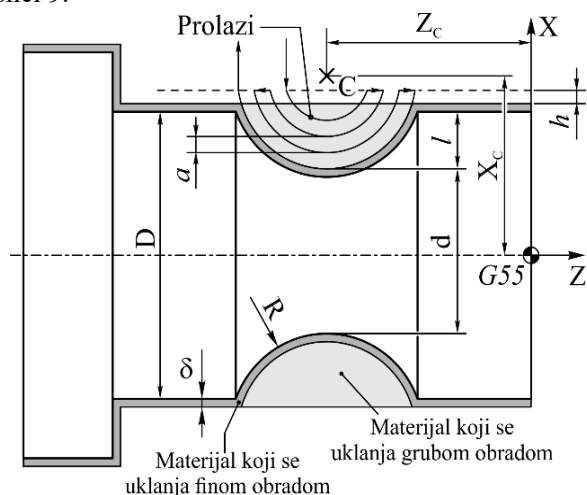


Slika 8 - Putanja alata u LinuxCNC okruženju prema izrađenom parametarskom programu za izradu spoljašnjeg radijusa

3.2. Izrada kružnog žljeba na CNC strugu realizacijom parametarskog – gruba obrada

Jedan od zahvata koji se često realizuje na CNC strugovima je izrada kružnog žljeba. Prilikom izrade žljeba malog radijusa mogu se koristiti strugarski noževi sa reznom ivicom odgovarajuće geometrije. U tom slučaju, žleb se izrađuje u jednom prolazu i to poprečnim kretanjem strugarskog noža i na odgovarajućoj poziciji prema tehničkom crtežu. Poprečno kretanje se vrši do odgovarajuće dubine koja je takođe definisana tehničkim crtežom dela koji se izrađuje.

U suprotnom ukoliko za izradu žljeba većeg radijusa za koji ne postoji strugarski nož odgovarajuće geometrije, neophodno je izraditi program kojime će žleb biti izrađen u više prolaza kako je i prikazano na slici 9.



Slika 9 - Kružni žleb, geometrijske veličine i strategija obrade za izradu parametarskog programa

Prema crtežu dela sa slike 9, geometrijske veličine na osnovu kojih se izrađuje parametarski program za izradu kružnog žljeba su prečnik cilindričnog dela – D,

prečnik dela na mestu žljeba – d, koordinate centra kružnice žljeba – XC i ZC, radijus žljeba – R, dubina rezanja – a, sigurnosno rastojanje – h, dodatak za finu obradu – δ , dubina žljeba – l i broj prolaza – i. Navedene geometrijske veličine predstavljaju parameter koji se koriste za izradu parametarskog programa, a njihove oznake su navedene u tabeli 3.

Tabela 3. Parametri koji se koriste za izradu parametarskog programa kojim se izrađuje kružni žleb

Parametar	Geometrijska veličina
#1	D
#2	d
#3	Zc
#4	R
#5	δ
#6	a
#7	h
#8	$l = D/2 - d/2$
#9	$Xc = d/2 + R$
#10	$i = l / 2a$

Na osnovu parametara #1 do #7 čija se vrednost definiše na početku parametarskog programa i parametara #8 do #10 koji se određuju na osnovu prethodno definisanih vrednosti parametara, izračunavaju se koordinate karakterističnih tačaka na osnovu kojih se realizuje putanja alata prema usvojenoj strategiji.

Koordinate karakterističnih tačaka X_i i Z_i , kao i dobijeni radijus u svakom prolazu alata R_i određuje se prema parametarskim jednačinama (12).

$$\#12 = \#4 - \#5 - \#6 * [\#10 - \#11]$$

$$\#13 = \#1/2 + \#5 + \#7$$

$$\#14 = \#3 \pm \text{SQRT} [\#12 * \#12 -$$

$$- [\#13 - \#9] * [\#13 - \#9]]$$

(12)

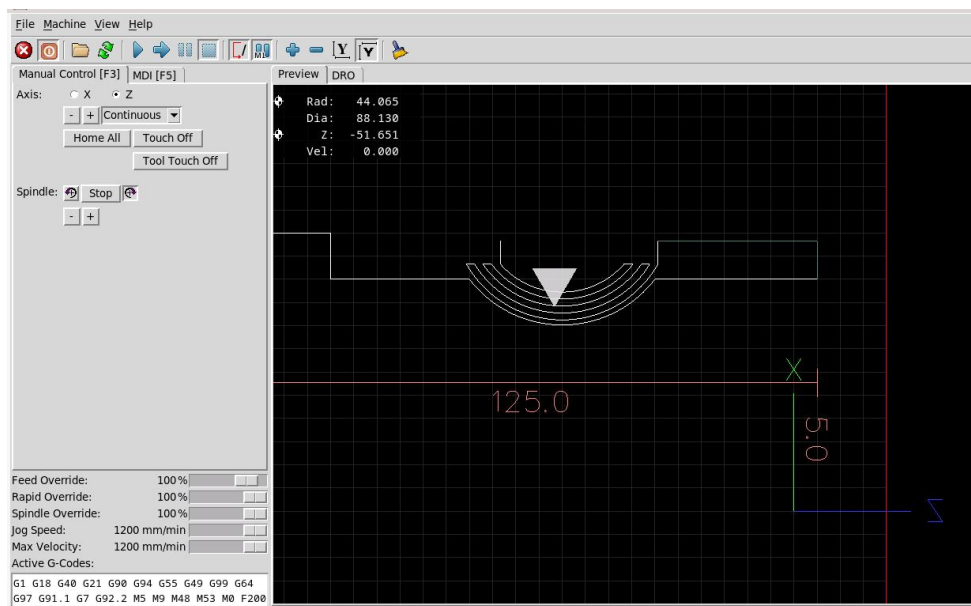
U jednačinama (12), parameter $\#11$ predstavlja redni broj prolaza, parameter $\#12$ predstavlja radijus žljeba koji se dobija u odgovarajućem prolazu, parameter $\#13$ predstavlja X kordinate karakterističnih tačaka, a parameter $\#14$ predstavlja Z koordinate karakterističnih tačaka. Za razliku od parametarskih programa za izradu radijusa u kojima se prilikom izračunavanja koordinata umesto dvoznaka $\pm$ koristi samo jedan od moguća dva znaka, u slučaju izrade kružnog žljeba koriste se oba znaka i to u zavisnosti od pozicije karakteristične tačke u odnosu na centar kružnice C .

Na slici 10 je prikazana *WHILE* petlja u okviru parametarskog programa za izradu kružnog žljeba. U okviru petlje korištene su funkcije *IF* i *ENDIF* koje su uobičajene kod računarskog programiranja. Funkcije *IF* i *ENDIF* su korištene iz tog razloga što je u okviru *WHILE* petlje, prema usvojenoj strategiji, kretanje alata određeno funkcijama za kružnu interpolaciju *G02* i *G03* te svako kretanje po kružnici predstavlja jedan prolaz. U slučaju da je geometrija dela takva, neophodno je realizovati neparan broj prolaza, bez funkcija *IF* i *ENDIF* da bi se uradio još jedan parni i suvišni prolaz.

```
O100 WHILE [#11 LE #10]
#14=[#3-SQRT[#12*#12-[#13-#9]*[#13-#9]]]
G01 Z#14
#12=[#4-#5-#6*[#10-#11]]
#14=[#3+SQRT[#12*#12-[#13-#9]*[#13-#9]]]
G03 Z#14 R#12#11=[#11+1]
O200 IF [#11 LT #10]
#12=[#4-#5-#6*[#10-#11]]
#14=[#3+SQRT[#12*#12-
-#[#13-#9]*[#13-#9]]]
G01 Z#14
#14=[#3-SQRT[#12*#12-
-#[#13-#9]*[#13-#9]]]
G02 Z#14 R#12 #11=[#11+1]
O200 ENDIF
#12=[#4-#5-#6*[#10-#11]]
#14=[#3-SQRT[#12*#12-
-#[#13-#9]*[#13-#9]]]
O100 ENDWHILE
```

Slika 10 - *WHILE* petlja u okviru parametarskog programa za izradu kružnog žljeba

Na slici 11 prikazano je kretanje alata u LinuxCNC okruženju a prema sastavljenom parametarskom programu za izradu kružnog žljeba. Parametarskim programom je definisano i kretanje alata kojim se realizuje fina obrada, čime se stiče uvid u geometriju dela, što se i može videti na slici 11.



Slika 11 – Putanja alata u LinuxCNC okruženju prema izrađenom parametarskom programu za kružnog žljeba

4. ZAKLJUČAK

U okviru rada je prikazana metodologija izrade parametarskih programa. Na tipskim zahvatima koji se izводе na CNC strugu pokazano je kako se parametarski programi na brz i efikasan način prilagođavaju geometriji dela koji se izrađuje.

Parametarskim programima, bez obzira na vrstu i konfiguraciju mašine, mogu se izrađivati bilo koje površine koje se mogu opisati matematičkim jednačinama. Izrada jednog parametarskog programa zahteva nešto više vremena u odnosu na ručno pisanje

programa ili generisanje programa pomoću CAD/CAM softverskih paketa. Za razliku od opšte prihvaćenih načina programiranja kod kojih se jedan program koristi za izradu konkretnog dela, parametarski program se uz brzu i laku promenu parametara koristi za izradu svih sličnih oblika što opravdava njegovu upotrebu.

U sklopu daljih istraživanja biće razmatrano i parametarsko programiranje za obradu glodanjem, takođe u okruženju vrlo zastupljenog softverskog upravljačkog sistema otvorene arhitekture LinuxCNC-a.

LITERATURA

- [1] Lynch M, *Parametric programming for Computer Numerical Control Machine Tools and Touch Probes*, Societe of Manufacturing Engineers One SME, Michigan, 1997.
- [2] Hasan M. A, Badhotiya, G. K, Sinha, S. K, Application of parametric programming in CNC machine tools, *AIP Conference Proceedings*, Dehradun, India. DOI: 10.1063/5.0113971, May 2023.
- [3] Vasilic G, Zivanovic S, Kokotovic B, Dimic Z, Configuring and analysis of a class of generalized reconfigurable 2-axis parallel kinematic machine, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol.33: pp. 3407–3421, 2019. DOI:10.1007/s12206-019-0636-z.
- [4] Vasilic G, Zivanovic S, Modelling and Analysis of 2-Axis Reconfigurable Parallel Mechanism MOMA with Translatory Actuated Joints, *Technics* - the magazine of the Union of engineers and Technicians of Serbia, Special edition: pp. 59–66, 2016. DOI:10.5937/tehnika1601057V.
- [5] Vasilic G, *Conceptual Design of One Class of Complex Machine Tools*, Doctoral Dissertation, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, URL: NaRDuS, 2023.
- [6] LinuxCNC G-code Overview, accessed in July 2024, URL: LinuxCNC

SUMMARY

PARAMETRIC PROGRAMMING OF CNC LATHES

Parametric programming of CNC machines belongs to advanced programming techniques that provide several advantages compared to the generally accepted ways of creating G-code programs. Until now, manufacturers of CNC machines and their control units have mostly used this way of programming to create fixed processing cycles. Despite the range of possibilities it provides, parametric programming is not sufficiently representative of the end users of CNC machines. CNC machine programmers do not use this way of programming due to insufficient training and a lack of literature for education. This paper presents the basics and principles of parametric programming of CNC machines. According to the explanations, a parametric program can be written for any CNC machine. The paper presents examples of parametric programs written for typical operations realized on a CNC lathe.

Key Words: CNC Lathe, Advanced programming, Typical Rough Machining