

Parametarski programi grupne tehnologije za izradu delova alata za brizganje plastike na CNC glodalici

GORAN V. VASILIC, Lola institut d.o.o, Beograd

ORCID: 0000-0003-0465-192X

SAŠA T. ŽIVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0003-4950-8203

JULIJA Z. CRNOBRNJA MALETIĆ, Lola institut d.o.o, Beograd

ORCID: 0000-0002-4465-7552

LJUBOMIR M. NEŠOVANOVIĆ, Lola institut d.o.o, Beograd

ORCID: 0000-0002-7265-1596

Originalni naučni rad

UDC: 621.9-52:004.388

DOI: 10.5937/tehnika2601043V

Izrada G-kôd programa za CNC mašine, namenjene za bilo koji proces obrade, zahteva određene resurse, kao što je vreme ali i određeni nivo znanja i obučenosti programera i operatera na CNC mašinama. Sa ciljem da se postojeći resursi jednog proizvodnog pogona optimalno koriste, u okviru ovoga rada su analizirani parametarski programi namenjeni za CNC glodalice. Analizirani parametarski programi su sastavljeni tako da predstavljaju deo grupne tehnologije za izradu delova alata za brizganje plastike. Sami parametarski programi su generalizovani i samim tim su univerzalni i mogu se koristiti za realizaciju određenog zahvata i to bez obzira na vrednosti geometrijskih veličina kojima je opisan oblik i veličina mašinskog dela. Za svaki od prikazanih parametarskih programa data su odgovarajuća objašnjenja kroz skice, algoritme i izdvojene delove programa. Verifikacija analiziranih programa rađena je u LinuxCNC softverskom sistemu upravljanja CNC mašinama čime je i potvrđena njihova ispravnost.

Ključne reči: CNC glodalica, parametarski programi, tipski zahvati, LinuxCNC

1. UVOD

Jedan od značajnijih zahteva, koji utiču na cenu izrade mašinskih delova, je i vreme njihove izrade. U ukupno vreme izrade ulazi i vreme utrošeno na projektovanje tehnologije za izradu određenog dela. Ukoliko je projektovanom tehnologijom izrade predviđeno da se određeni deo izrađuje na nekoj od CNC mašina (strug, glodalica, erozimat itd.), vreme koje je potrebno za izradu G-kôd programa nije zanemarljivo. Bez obzira da li se programi generišu nekim CAD/CAM softverskim sistemom ili se pišu ručno, neophodna su određena znanja kako bi se izradili ispravni programi.

Upotreba predefinisanih ciklusa, koji se u najvećoj meri pozivaju G8x funkcijama (izrada džepa, bušenje

strugotine, proširivanje rupe/ otvora, urezivanje navoja...), kao i upotreba softverskih rešenja implementiranih u upravljački sistem CNC mašine (npr. HAAS VPS - Visual Programming System) [1], vreme neophodno za pripremu G-kôd programa se znatno skraćuje.

Međutim, i ako prethodno navedeni načini programiranja olakšavaju i ubrzavaju izradu G-kôd programa u određenim situacijama se ne mogu koristiti jer sam proizvođač ne može predvideti sve potrebe svakog pojedinačnog korisnika. Kao rešenje nameću se parametarski programi koji u stvari predstavljaju polaznu tačku za izradu predefinisanih ciklusa i već spomenutog VPS programiranja.

Izrada parametarskog programa, ili kako se još naziva programiranje makroa, zahteva nešto više vremena za pripremu kao i poznavanje računarskog programiranja. Samim time se nameće zaključak da opravdanost za pisanjem parametarskog programa postoji samo u slučajevima kada se određeni zahvati u većoj meri primenjuju prilikom proizvodnje delova

Adresa autora: Goran Vasilic, Lola institut d.o.o, Beograd, Kneza Višeslava 70A

e-mail: goran.vasilic@li.rs

Rad primljen: 20.01.2026.

Rad prihvaćen: 03.02.2026.

različitih oblika i dimenzija. Drugačije rečeno, parametarski program se koristi prilikom izrade bilo kog dela ukoliko se deo geometrije datog mašinskog dela može izraditi određenim zahvatom za koji je napisan određeni parametarski program. Tako, parametarski programi prikazani u naučnom radu [2] mogu se koristiti prilikom izrade mašinskog dela bilo kojih konačnih dimenzija i bilo kog oblika ukoliko deo njegova geometrije sadrži konus i/ili unutrašnji radijus i/ili spoljašnji radijus i/ili kružni žljeb. Kao što je i prikazano, priprema programa podrazumeva samo definisanje određenih parametara, koji se nalaze na samom početku već napisanog parametarskog programa što je znatno brže od ručnog pisanja programa ili generisanje programa pomoću dostupnih CAD/-CAM softverskih sistema. Za izradu parametarskih programa koriste se funkcije računarskog programiranja IF, THEN, AND, OR, WHILE, ENDWHILE, EQ, GT, GE, LE, LT, [2, 3]. Putanja alata nije definisana tačnim brojnim vrednostima koordinata tačaka, koje čine putanju alata, već je putanja alata određena uspostavljenim relacijama između prethodno definisanih parametara. Tako je u radu [3] pomoću parametara i matematičkih jednačina definisana putanja alata u obliku spirale. Na isti način u naučnom radu [4] prikazana je primena parametarskih programa na petoosnoj CNC glodalici, i to za zahvat bušenja rupe pod uglom na određenoj poziciji. Kako se prilikom izrade nekog dela realizuje više od jednog zahvata, pri čemu se za svaki pojedinačni zahvat koristi pripremljen parametarski program, autor je u naučnom radu [5] postupak izrade delova iz jedne familije delova nazvao grupnom tehnologijom. U naučnom radu [6] predložena je upotreba makroa (parametarskih programa) za realizaciju zahvata na osnovu automatski prepoznate geometrije dela.

U ovom radu autori prikazuju metodologiju po kojoj se izrađuju parametarski programi za CNC glodalice. Primenjujući opisanu metodologiju, u radu su dati primeri parametarskih programa koji se izuzetno često koriste prilikom izrade delova na CNC glodalicama. Prema naučnom radu [5], u zasebnom poglavlju opisana je grupna tehnologija za izradu delova koji po sličnosti svoje geometrije pripadaju jednoj familiji delova.

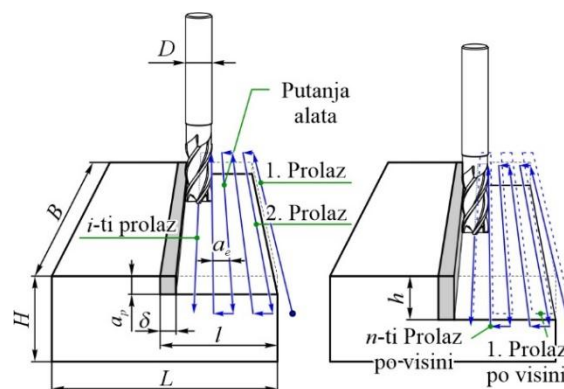
2. METODOLOGIJA IZRADE MAKROA - PARAMETARSKIH PROGRAMA

Kao što je rečeno, definisanjem odgovarajućih parametara u okviru parametarskog programa, upravljačka jedinica CNC glodalice na osnovu uspostavljenih relacija izračunava vrednosti koordinata tačaka kojima je određena putanja alata tokom procesa obrade. Tako prema slici 1 na kojoj je prikazan zahvat „Izrada stepenika“ na delu čiji je oblik definisan geometrijskim veličinama H -visina dela, L -dužina

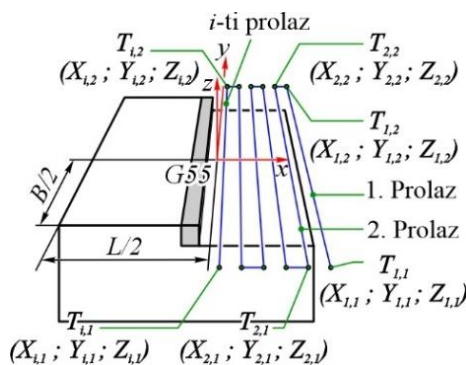
dela, B -širina dela, h -visina stepenika i l -širina stepenika, na osnovu prečnika glodala D , maksimalne aksijalne dubine rezanja a_p , maksimalne radijalne dubine rezanja a_e i dodatka za finu obradu δ , prema prethodno definisanim parametarskim jednačinama upravljačka jedinica CNC mašine izračunava koordinate svih tačaka putanje alata kao i broj ponavljanja iste putanje alata n (na različitim dubinama) dok se ne ostvari tražena visina stepenika h . Za usvojenu strategiju obrade, pre samog izračunavanja koordinata svih tačaka kojima je definisana putanja alata (slika 2), neophodno je izračunati broj prolaza i kao i broj ponavljanja putanje alata na različitim dubinama. Na osnovu slike 1 broj prolaza i i broj ponavljanja n putanje alata na različitim dubinama izračunava se prema jednačinama (1) i (2).

$$i = \text{roundup}[(l - \delta)/a_e] \quad (1)$$

$$n = \text{roundup}(h/a_p) \quad (2)$$



Slika 1 – Geometrijske veličine pri realizaciji zahvata „Izrada stepenika“



Slika 2 – Koordinate tačaka kojima je određena putanja alata pri realizaciji zahvata „Izrada stepenika“

Koordinate svih tačaka određuju se na osnovu koordinata tačaka kojima je određena putanja alata u poslednjem i -tom prolazu i to na konačnoj dubini h koja ostvaruje nakon n ponavljanja cele putanje alata na različitim dubinama. Prema usvojenom koordinatnom sistemu G55 (slika 2) i na osnovu geometrijskih

veličina prikazanih na slici 2, koordinate tačaka $T_{i,1}$ i $T_{i,2}$ određuju se grupom jednačina (3).

$$\begin{aligned} X_{i,1} &= X_{i,2} = L - l + \delta + \frac{D}{2} \\ Y_{i,1} &= -Y_{i,2} = B + 5 + \frac{D}{2} \\ Z_n &= -h \end{aligned} \quad (3)$$

Koordinate preostalih tačaka putanje alata $X_{j,1}$, $Y_{j,2}$ i Z_m ($j=1 \div i$ i $m=1 \div n$) i se određuju grupom jednačina (4)

$$\begin{aligned} X_{j,1} &= X_{j,2} = X_{i,1} + a_e \cdot (i - j) \\ Y_{j,1} &= Y_{i,1} ; Y_{j,2} = Y_{i,2} \\ Z_m &= -h + a_p \cdot (n - m) \end{aligned} \quad (4)$$

pri čemu je j - redni broj prolaza na jednoj dubini, m - redni broj ponavljanja cele putanje alata na dubini Z_m , i kao što je već spomenuto, i predstavlja ukupan broj prolaza na dubini Z_m dok n ukupan broj ponavljanja cele putanje alata do ostvarivanja visine stepenika h .

Prema slici 1 i slici 2 i na osnovu jednačina (1) do (4) usvojeni su parametri (tabela 1) koji su sastavni deo parametarskog programa za izradu stepenika na CNC glodalici, a na slici 3 je prikazan algoritam po kome je parametarski program napisan. Na slici 4 prikazana je putanja alata u LinuxCNC softverskom sistemu.

Table 1. Usvojeni parametri za izradu stepenika na CNC glodalici – gruba obrada

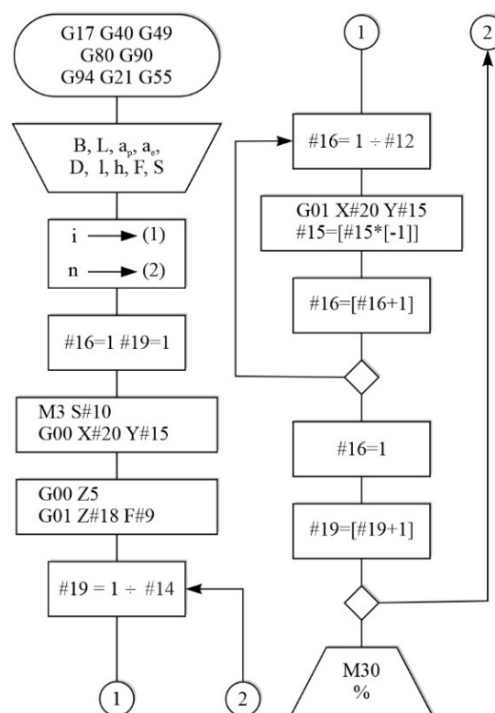
Parametar	Geometrijska veličina
#1	D
#2, #3, #4	L, B, H
#5, #6	l, δ
#7, #8	a_p, a_e
#9, #10	F, S
#11, #12	i ; roundup[i]
#13, #14	n ; roundup[n]
#15	$Y_{i,1}, Y_{i,2}$
#16, #19	Brojači prolaza
#17	$X_{i,1}, X_{i,2}$
#18	Z_m
#20	$\#17 + \#8 * [\#12 - \#16]$

Dodeljivanjem odgovarajućih brojnih vrednosti parametrima #1 do #10 i bez bilo kakve dodatne izmene, parametarskim programom se može izraditi stepenik bilo koje visine h i širine l i to sa glodalom bilo kog prečnika D . Parametarski program koji je razmatran, može se koristiti samo za izradu stepenika

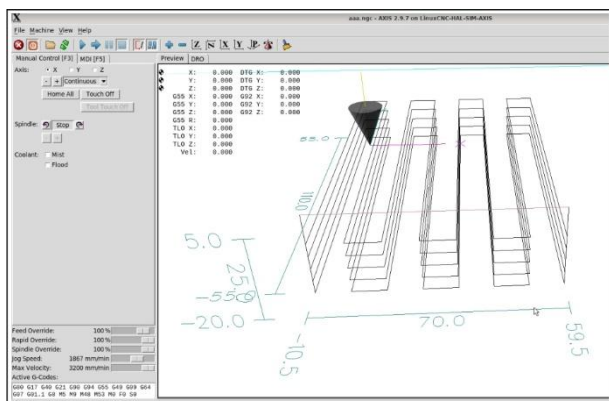
koji se nalaze sa desne strane gotovog dela. Za ostale tri varijante stepenika, koji se nalaze sa leve, prednje ili zadnje strane dela, neophodno je prilagoditi i proširiti opisan ili za svaku varijantu stepenika napisati zaseban parametarski program.

Na jednostavnom primeru izrade stepenika prikazana je metodologija po kojoj se definišu parametri parametarskog programa. Analizirajući sliku 1, sliku 2 i tabelu 1, može se reći da grupa parametara (parametri #1 do #5) opisuje određenu geometriju koja se izrađuje parametarskim programom. Grupa parametara (#6 do #10) su vezani za režime obrade. Parametri #1 do #10 predstavljaju polazne parametre i samo se oni smeju menjati prilikom pripreme programa. Preostali parametri (#11 do #20) predstavljaju relacije između polaznih parametara koji uključuju jednačine (1) do (4) i pomoću njih se definiše putanja alata tokom procesa obrade.

Pravilo je da se prilikom izrade parametarskog programa uoče ona kretanja alata koja se ponavljaju. Takva kretanja se opisuju generalizovanim jednačinama a realizuju se formiranjem *WHILE* petlje u okviru programa. U slučaju izrade stepenika, pozicioniranje alata, a potom i pravolinijsko kretanje duže ose X su kretanja koja se ponavljaju i ta kretanja se prema algoritmu prikazanom na slici 3 realizuje unutrašnjom *WHILE* petljom pomoću parametra #16. Cela putanja alata se ponavlja na različitim dubinama te se takvo ponavljanje kretanja alata realizuje spoljašnjom *WHILE* petljom pomoću parametra #19.



Slika 3 – Algoritam parametarskog programa za izradu stepenika na CNC glodalici



Slika 4 – Simulacija putanje alata prema sastavljenom parametarskom programu za izradu stepenika

Na slici 5 prikazan je deo parametarskog programa napisanog prema prethodno formiranom algoritmu koji je prikazan na slici 4. Kao što se vidi na delu parametarskog programa, *WHILE* petlja *O100* se odnosi na pravolinijsko kretanje alata duž ose *X*, a *WHILE* petlja *O300* se odnosi na ponavljanje cele putanje alata na različitim koordinatama *Z*.

```

O300 WHILE[#19 LE #14]
G01 Z#18 F#9
O100 WHILE[#16 LE #12]
#15=[#15*-1]
G01 X[#17+#8*[#12-#16]] Y[#15] F#9
#16=[#16+1]
O200 IF [#16 LE #12]
G01 X[#17+#8*[#12-#16]] Y[#15] F#9
O200 ENDIF
O100 ENDWHILE
#16=1
G01 Z#15=[-5-#1/2-#3/2]
G00 X[#17+#8*[#12-#16]] Y[#15]
#19=[#19+1]
#18=[-#4+#7*[#14-#19]]
O300 ENDWHILE

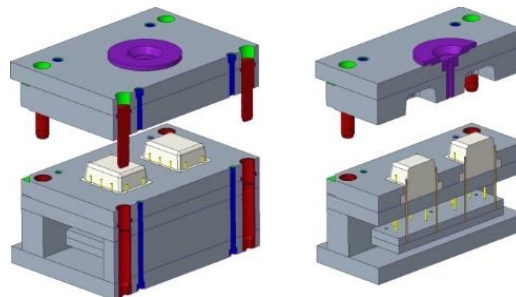
```

Slika 5 – Dupla *WHILE* petlja kojom se realizuje kretanje alata prilikom izrade stepenika

3. GRUPNA TEHNOLOGIJA ZA IZRADU DELOVA ALATA ZA BRIZGANJE PLASTIKE

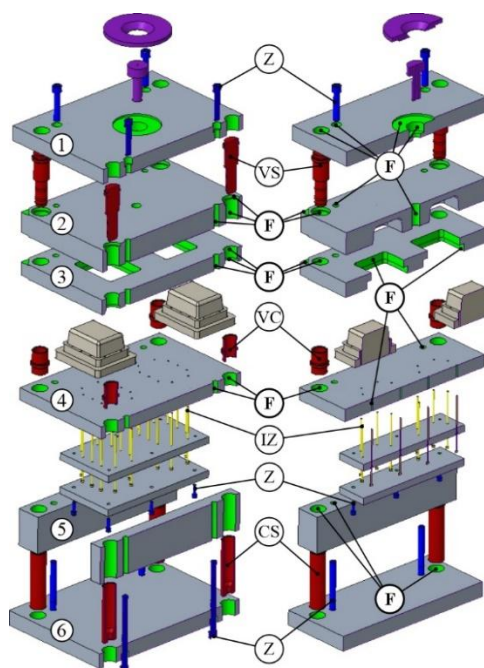
Alati namenjeni za izradu delova brizganjem plastike (slika 6) su u velikoj meri unificirani i prilikom njihovog pravljenja u određenoj meri se koriste standardni delovi kao što su vodeće čaure, vodeći stubovi i stubovi za centriranje (na slici 7 označeni sa VC, VS i CS, respektivno), zavrtnji (na slici 6 označeni sa Z), izbacivači (na slici 6 označeni sa IZ), itd. Bez obzira na gabaritne mere alata za brizganje plastike navedeni delovi alata su istog oblika ali različitih dimenzija. Parametarski programi prikazani u radu [2] mogu se koristiti za izradu delova na CNC strugu (na slici 6 označeni sa VC, VS i CS). Uz prateću tehničku dokumentaciju parametarski programi analizirani u naučnom radu [2] bi predstavljali deo grupne tehnologije za izradu navedenih delova.

Grupna tehnologija je od izuzetnog značaja prilikom integracije tehničkih, ljudskih i informacionih resursa primenom računara [7] te se u okviru ovoga rada parametarski programi za izradu delova alata za brizganje plastike razmatraju kao deo grupne tehnologije.



Slika 6 – Preseci alata za izradu delova brizganjem plastike

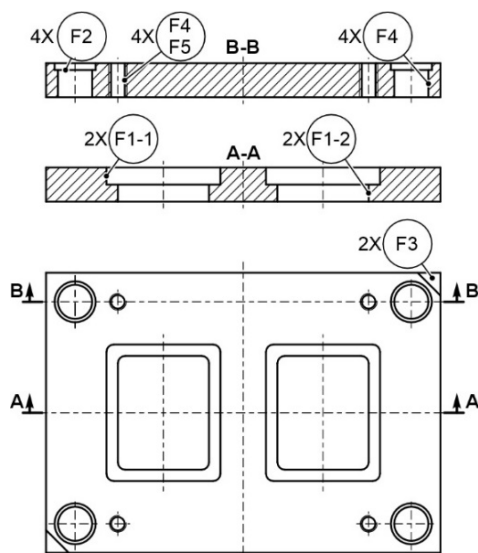
Na *EXPOLEDE VIEW* 3D modela sklopa alata za brizganje plastike (slika 7), oznakom *F* su označeni tipski geometrijski oblici (*Feature-i*) svih delova alata za koje se može definisati grupna tehnologija. Ako se na slici 7 posmatraju samo markirani *Feature-i*, može se konstatovati da su pločasti delovi alata međusobno slični. Takođe bez obzira na oblike i veličine proizvoda koji se izrađuju brizganjem plastike, konstrukcije alata su iste kao i konstrukcija alata prikazana na slikama 6 i 7 ali se međusobno razlikuju po dimenzijama. Čak i alati za brizganje plastike kojima se izrađuju proizvodi složene geometrije, pored dodatnih delova kao što su klizači i brave, u svojoj osnovi imaju pločaste delove čija geometrija odgovara *Feature-i*ima koji su na slici 7 označeni sa *F*.



Slika 7 – Alat za izradu delova brizganjem plastike - Explode view

Za svaki od pločastih delova alata za brizganje plastike prikazanih na slici 7 i koji su obeleženi oznakama 1÷7, po uzoru na [8-9], može se reći da je njihova geometrija opisana nekim od sledećih karakterističnih tipskih geometrijskih oblika (Feature-a): (i) Pravougaoni džep – F1; (ii) Okrugli džep – F2; (iii) Trouglasti ćošak – F3; Rupa/Otvor – F4; Unutrašnji navoj – F5.

Zbog doslednosti daljeg razmatranja pravougaoni džepovi, bez obzira da li imaju dno ili ne, sa stanovišta izrade se posmatraju kao isti Feature-i koji se izrađuju glodanjem. Isto važi i za okrugle džepove. Za prethodno navedene tipske geometrijske oblike važi da ako džepovi nemaju dno, mogu se izraditi prethodnim bušenjem cele ploče a potom proširivanjem otvora do konačnog oblika (pravougaonik ili krug) i dimenzije. U suprotnom, ukoliko džepovi imaju dno njihova geometrija se izrađuje isključivo glodanjem (bez prethodnog bušenja) uz posebnu strategiju obrade za ulazak alata (glodala) u materijal. Takođe, rupa i otvor se posmatraju kao jedan te isti tipski geometrijski oblik i izrađuju se bušenjem. Za svaki od delova 1 do 7 prikazanih na slici 7, može se definisati tehnologija izrade preko prethodno definisanih karakterističnih geometrijskih oblika. Na slici 8 su prikazani tipski geometrijski oblici ploče broj 3 alata za brizganje plastike, a svaki od njih se izrađuje zasebnim parametarskim programom koji sa odgovarajućim vrednostima parametara definišu putanju alata na način koji je prikazan u prethodnom poglavlju.



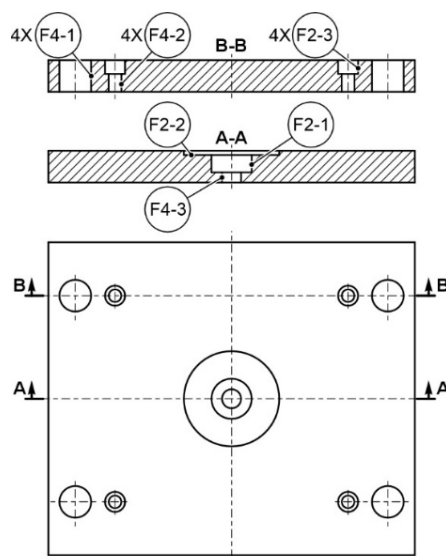
Slika 8 – Tipični geometrijski oblici ploče br.3 alata za brizganje plastike

Kao što se vidi na slici 8, svaki od tipskih geometrijskih oblika definiše deo geometrije ploče br. 3. Obzirom da se isti oblici nalaze na različitim pozicijama, geometrija ploče je u potpunosti definisana određenim Feature-om i njegovom pozicijom na ploči.

Geometrija ploče br. 3 je definisana tipskim oblicima F1 do F5. Tako, prema slici 8, geometrija ploče br. 3 opisana je tipskim oblicima F1-1 (prvi pravougaoni džep) i F1-2 (drugi pravougaoni džep) na dve različite pozicije, tipskim oblicima F2 (okrugli džep) F4 (otvor) F5 (navoj) na četiri različite pozicije i, tipskim oblikom F3 (trouglasti ćošak) na dve različite pozicije.

Na isti način kao u slučaju ploče br. 3, geometrija ploče br. 1 je opisana preko karakterističnih tipskih geometrijskih oblika. Kao što je prikazano na slici 9, F4-1 (otvor) se pojavljuje na devet različitih pozicija. Od toga, prva grupa od četiri otvora su po dimenzijama ista pa nose oznaku F4-1, druga grupa od četiri otvora ali sa drugim dimenzijama nosi oznaku F4-2 i preostali otvor nosi oznaku F4-3. Za izradu svih navedenih otvora koristiti isti parametarski program ali sa drugim vrednostima parametara koji definišu putanju alata. Ukoliko neke od tipskih geometrijskih oblika F4-1 do F4-3 nije moguće izraditi samo bušenjem tj. ako je otvore nakon bušenja potrebno proširiti kako bi se dobili traženi prečnici, onda je prilikom definisanja tehnologije izrade i prilikom pripreme program potrebno predvideti i tu mogućnost kako bi se parametarski programi mogli koristiti u svakoj a ne samo u pojedinim situacijama.

Geometrija svih preostalih ploča alata za brizganje plastike (slika 7) mogu se opisati preko uvedenih karakterističnih tipskih geometrijskih oblika na način kako je to pokazano na slikama 8 i 9, a krajnji cilj ovakog opisivanja geometrije je da se za svaki od tipskih oblika sastavi parametarski program kojim će biti izrađivana određene zadate geometrije na tačno određenoj poziciji a prema unapred zadatim parametrima čime bi se znatno skratilo vreme potrebno za pripremu G-kôd programa.



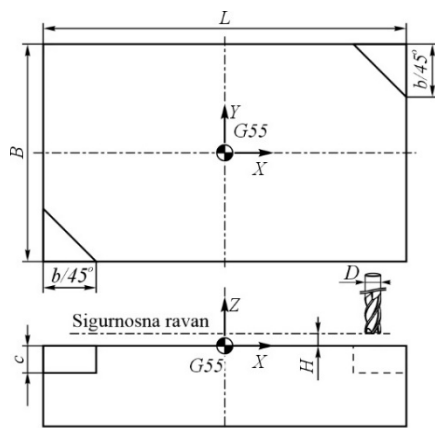
Slika 9 – Tipični geometrijski oblici ploče br.1 alata za brizganje plastike

4. PARAMETARSKI PROGRAMI ZA IZRADU KARAKTERISTIČNIH TIPSKIH GEOMETRIJSKIH OBLIKA

Parametarski programi omogućavaju da se određeni geometrijski oblici parametrizuju te da se, na osnovu parametrizovane geometrije i usvojene strategije obrade, upravljačkoj jedinici CNC mašine prepusti određivanje koordinata tačaka koje definišu putanju i to bez upotrebe bilo kakvog dodatnog softvera. Po ugledu na postupak izrade stepenika (poglavlje broj 2), u okviru ovoga poglavlja će biti prikazani parametarski programi za izradu tipskih geometrijskih oblika (Feature-a) koji su prikazani na slici 8 i slici 9.

4.1. Parametarski program za izradu trouglastih čoškova

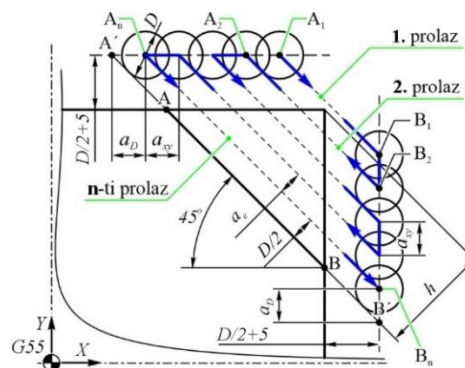
Radi lakše demontaže alata za brizganje plastike (slika 7), na čoškovima pojedinih ploča alata uklanja se materijal u obliku pravouglog jednokrakog trougla. Dimenzije b i c , kojima je definisana geometrija trougla, prikazane su na slici 10. Veličine b i c se definišu na osnovu dužine i širine ploče alata, tj. veće vrednosti veličina L i B zahtevaju veće vrednosti veličina b i c da bi demontaža alata za brizganje plastike bila olakšana. Vrednosti veličina b i c ne utiču na funkcionalnost alata, te nije potrebno ostvariti visoku tačnost mera. Iz tog razloga se prilikom izrade trouglova na čoškovima ploča alata radi samo gruba obrada u jednom ili više prolaza u ravni Oxy i sa jednim ili više ponavljanja cele putanje alata na različitim koordinatama Z .



Slika 10 – Geometrijske veličine kojima se definiše geometrija trougla na čoškovima pločastog priprema

Prilikom realizacije ovog i sličnih zahvata uobičajeno je da alat svoje kretanje započinje i završava izvan materijala, kako je i prikazano na slici 11. Prema usvojenoj strategiji obrade, parametarski program realizuje predviđenu putanju alata pri čemu upravljačka jedinica CNC glodalice, na osnovu polaznih parametara #1 do #9 (tabela 2) i na osnovu uspostavljenih

relacija između pojedinih parametara, izračunava koordinate tačaka A_i i B_i ($i=1 \div n$).



Slika 11 – Geometrijske veličine i putanja alata prilikom izrade trougla na čošku prizmatičnog obratka

Koordinate tačaka A_i i B_i se prema slici 11 određuju na osnovu koordinata tačaka A'_i i B'_i kao i na osnovu broja prolaza i_e u ravni Oxy kojima datog zahvata. Koordinate tačaka A'_i i B'_i se određuju na osnovu jednačina (5) koje su sastavni deo parametarskog programa za izradu pravouglavih jednakokrakih trouglova na čoškovima ploče alata za brizganje plastike.

$$X_{A,i} = X_A - (D/2 + 5) + a_D + a_{xy} \cdot (n - i)$$

$$Y_{A,i} = Y_A + 5$$

$$X_{B,i} = X_B + 5$$

$$Y_{B,i} = Y_B - (D/2 + 5) + a_D + a_{xy} \cdot (n - i) \quad (5)$$

Table 2. Usvojeni parametri za izradu stepenika na CNC glodalici – gruba obrada

Parametar	Geometrijska veličina
#1, #2, #3, #4, #5	L, B, b, c, D
#6, #7	a_p , a_e - zadato
#8, #9	F, S
#10	$h = \#3 \cdot 2^{1/2}$
#11	$i_e = \text{roundup}(h / a_e)$
#12, #13, #14, #15	X_A Y_A X_B Y_B
#16, #17, #18, #19	X'_A Y'_A X'_B Y'_B
#20, #26	a_p , a_e – realizovano
#21, #22	a_D , a_{xy}
#23, #27	Brojači prolaza
#25	$I_p = \text{roundup}(c / a_p)$

Kao i na primeru izrade stepenika program za realizaciju ovoga, ali i narednih zahvata koji se analiziraju, sadrže jednu WHILE petlju kojom se obezbeđuje kretanje alata prema usvojenoj strategiji u ravni Oxy i jednu WHILE petlju za ponavljanje putanje alata

na različitim Z koordinatama. Deo parametskog programa za izradu trouglastih čoškova (slika 12), napisan je kao potprogram O300 SUB koji se funkcijom O300 Call dva puta poziva. Prvim pozivom, potprograma se izrađuje trougao u gornjem desnom čošku obratka (kao što je prikazano na slici 11), a pre drugog pozivanja koordinatni sistem obratka G55 se funkcijom G10 L2 P2 R180 rotira oko ose Z za 180°. Na ovaj način, istim potprogramom O300 SUB se izrađuje trougao na donjem levom čošku obratka.

```

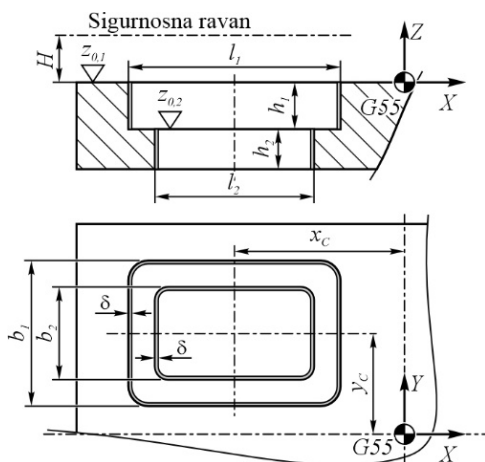
O300 SUB
O400 WHILE[#27 LE #25]
#27=[#27+1]
G01 Z[-#4+#26*[#25-#27]]
O100 WHILE [#23 LE #11]
G01 X[#16+#21+#22*[#11-#23]] Y#17
G01 X#18 Y[#19+#21+#22*[#11-#23]]
#23=[#23+1]
O200 IF [#23 LE #11]
G01 X#18 Y[#19+#21+#22*[#11-#23]]
G01 X[#16+#21+#22*[#11-#23]] Y#17
#23=[#23+1]
O200 ENDIF
O100 ENDWHILE
G00 Z5#23=0 (Reset)
O400 ENDWHILE
O300 ENDSUB
O300 CALL
G10 L2 P2 R180
O300 CALL

```

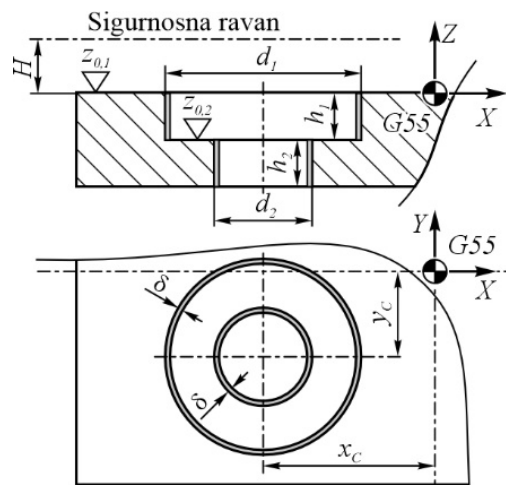
Slika 12 – Geometrijske veličine i putanja alata pri likom izrade trougla na čošku prizmatičnog obratka

4.2 Parametarski programi za izradu pravougaonog i okruglog džepa

Obzirom da se za Džep smatra onaj geometrijski oblik koji ima ravno dno, za takvu geometriju se u okviru ovoga potpoglavlja i razmatraju parametarski programi i to za izradu pravougaonog i okruglog džepa za koje su na slici 13 i slici 14 respektivno, prikazane geometrijske veličine neophodne za izradu parametarskih programa.



Slika 13 – Geometrijske veličine kojima se definiše geometrija pravougaonog džepa



Slika 14 – Geometrijske veličine kojima se definiše geometrija okruglog džepa

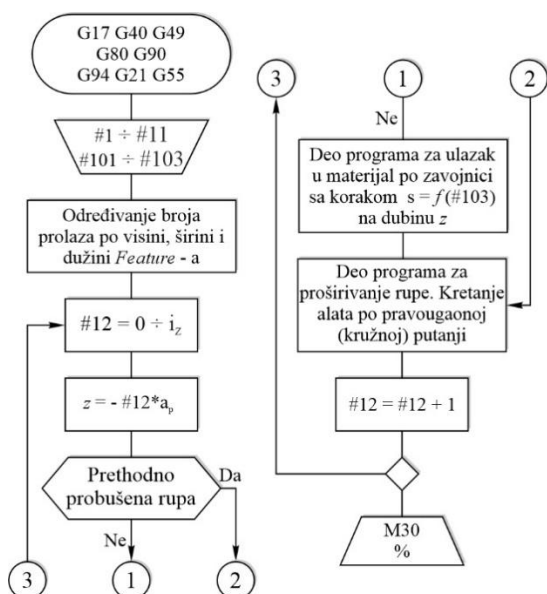
Na slikama 13 i 14 prikazane geometrijske veličine su definisane dimenzije i pozicije džepova na obratku. Kako je već nekoliko puta spomenuto, svaki parametarski program je napisan za realizaciju određenog zahvata, odnosno za izradu određene tipske geometrije. U ovim slučajevima parametarski programi moraju biti takvi da se sa njime može izraditi određen tipski geometrijski oblik, bez obzira na njegove dimenzije i poziciju na obratku. Kako je već objašnjeno u poglavlju broj 3, zahvati prikazani na slikama 13 i 14 se mogu izrađivati na dva načina.

Prvi način podrazumeva prethodno bušenje ploče na određenoj poziciji a drugi način podrazumeva izradu džepova bez prethodnog bušenja pripremla ali sa posebnom strategijom ulaska alata (glodala) u pun materijal do određene dubine. Kako je strategija za izradu obe vrste džepa (pravougaoni i okrugli) slična, i parametarski programi će u velikoj meri biti isti. Parametri neophodni za sastavljanje parametarskih programa kojima se izrađuje džep (pravougaoni ili okrugli), prikazani su u tabeli 3.

Table 3. Usvojeni parametri parametarskog programa za izradu pravougaonog i okruglog džepa – gruba obrada

Parametar	Geometrijska veličina džepa	
	Pravougaoni	Okrugli
#1, #2	X_c, Y_c	
#3	l	d
#4	b	-
#5	δ	
#6, #7, #8, #9	Z_0, h, H, D	
#10, #11	a_p, a_e	
#101, #102, #103	F, S, s_z	
#12, #114	Brojači prolaza	

Uprošteni algoritam sa odgovarajućim objašnjenjima po kome se sastavljaju parametarski programi za izradu depa prikazan je na slici 15.



Slika 15 – Algoritam parametarskih programa za izradu pravougaonog (okruglog) džepa

Kako je algoritmom prikazano, parametarski program sadrži grananje tj. u slučaju da je na pripreмку prethodno probušen otvor na određenoj poziciji preskače se deo programa kojim se realizuje ulazak alata (glodala) u pun materijal po zavojnici i prelazi se na deo programa kojim se vrši proširivanje prethodno probušenog otvora. U suprotnom kao što je već spomenuto, alat (glodalo) u materijal ulazi po zavojnici sa unapred zadatim korakom čime glodalo pravi rupu sa ravnim dnom do određene dubine a potom dobijenu rupu proširuje do traženog oblika i dimenzija uzimajući u obzir i dodatak za kasniju finu obradu džepa.

#201 = #1 - #3/2
#202 = #1 + #3/2
#203 = #2 + #4/2
#204 = #2 - #4/2
#205 = #5 + #9/2

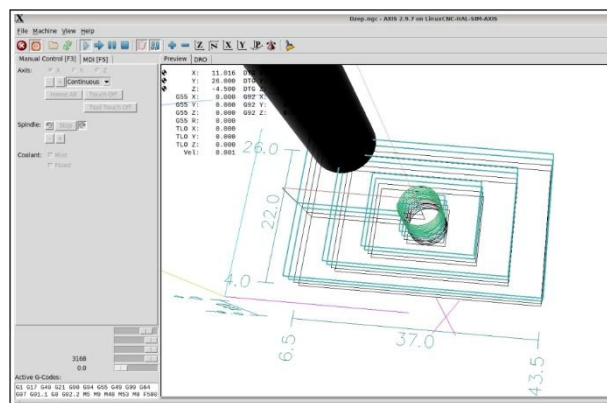
O300 WHILE [#114 Le #111]
#206 = [#111 - #114] * #112
#207 = [#111 - #114] * #113
G01 X[#201 + #205 + #206] Y[#204 + #205 + #207]
G01 X[#202 - #205 - #206] Y[#204 + #205 + #207]
G01 X[#202 - #205 - #206] Y[#203 - #205 - #207]
G01 X[#201 + #205 + #206] Y[#203 - #205 - #207]
G01 X[#201 + #205 + #206] Y#2
#114 = [#114 + 1]
O300 ENDWHILE

O300 WHILE [#114 Le #111]
#222 = [#1 - #3/2 + #5 + #9/2 + [#111 - #114] * #112]
G01 X#222
G03 X#222 Y#2 I[-#222 + #1]
#114 = [#114 + 1]
O300 ENDWHILE

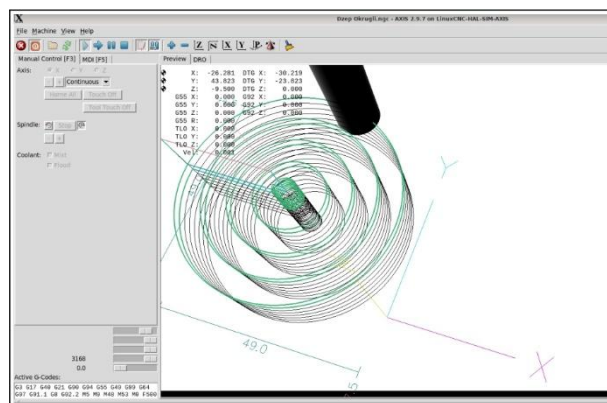
Slika 16 – Deo parametarskog programa za izradu: a) pravougaonog džepa; b) okruglog džepa

Na slici 16 prikazani su delovi parametarskih programa kojima se izrađuje džep proširivanjem prethodno probušenog ovora na pripreмку ili proširivanjem rupe sa ravnim dnom dobijene ulaskom alata u pun materijal kretanjem po zavojnici. Na slici 16, parametri #201 do #207 i parametar #222 uvedeni su kako bi sam zapis imao kraći oblik. Parametri #112 i #113 na slici 16.a predstavljaju širinu rezanja u svakom prolazu prilikom kretanja alata po pravoj liniji koja je paralelna osama X i Y, respektivno. Na slici 16.b parametar #112 predstavlja širinu rezanja u svakom prolazu prilikom kretanja alata po kružnici.

Putanje alata, kojima se izrađuju pravougaoni i okrugli džepovi, a realizuju se prethodno opisanim parametarskim programima, prikazane su na slici 17 i slici 18 respektivno. Kako je prikazano na slikama, džepovi se izrađuju bez prethodnog bušenja pripreмка i ulaskom alata (glodala) u pun materijal kretanjem po zavojnici.



Slika 17 – Putanja alata pri izradi pravougaonog džepa parametarskim programom



Slika 18 – Putanja alata pri izradi okruglog džepa parametarskim programom

Kretanjem alata po putanjama koje su prikazane na slikama 17 i 18, izrađuju se džepovi čiji se počeci nalaze na koordinati Z=0 koordinatnog sistema obratka G55 i čija je dubina definisana visinom h pa se samim time kraj (dno džepova) nalazi na koordinati

$Z=-h$. Prikazanim programima je predviđeno da se izrađuju i džepovi čiji se početci nalaze na određenoj dubini, a ta dubina je definisana koordinatom Z_0 (slike 13 i 14) odnosno parametrom #6 (tabela 3). U tom slučaju dno džepa se nalazi na koordinati $Z=Z_0-h$. Ovime su parametarski programi dodatno generalizovani kako bi se mogli primenjivati u svakom a ne samo u pojedinim slučajevima.

5. ZAKLJUČAK

U okviru ovoga rada prikazana je metodologija po kojoj se izrađuju parametarski programi namenjeni za CNC glodalice. Analizirajući mogućnosti praktične primene, došlo se do zaključka da bi parametarski programi bili veoma korisni u proizvodnim pogonima, radionicama i alatnicama u kojima se izrađuju delovi alata za brizganje plastike. Kako je na konkretnim primerima pokazano, parametarski programi su univerzalni i mogu se koristiti prilikom izrade delova alata za brizganje plastike bilo kojih dimenzija.

To praktično znači da se promenom vrednosti polaznih parametara kojima je definisana određena geometrija na mašinskom delu program automatski prilagođava i samostalno određuje i realizuje putanju alata. Ovim se vreme neophodno za pripremu programa za izradu određenog mašinskog dela znatno skraćuje, što i jeste jedan od ciljeva primene parametarskih programa. Isto tako, uz odgovarajuću kratkotrajnu obuku, operateri na CNC mašinama bi mogli preuzeti deo posla koji obavljaju programeri.

Drugačije rečeno, operateri na mašinama ne moraju imati znanja iz oblasti programiranja CNC mašina već je dovoljno da prema radioničkim crtežima i/ili uputstvima i instrukcijama izmene odgovarajuće parametre i G-kôd program će biti spreman za realizaciju.

Plan daljeg istraživanja i izučavanja je usmeren ka daljem unapređenju i razvoju metodologije po kojoj se parametarski programi izrađuju. Plan obuhvata izradu pojedinih potprograma koji se po potrebi mogu koristiti u različitim parametarskim programima kao što je na primer kretanja alata po zavojnici prilikom ulaska alata u pun materijal.

Takođe, plan je i izrada računarske aplikacije zasnovane na parametarskim programima kojom bi se generisali G-kôd programi koji u sebi sadrže isključivo osnovne G funkcije kao što su G00, G01, G02, G03 itd. Izrada računarske aplikacije ima za cilj da se izrada programa ubrza i za one mašine koje ne podržavaju parametarsko programiranje.

5. IZJAVA ZAHVALNOST

Rad predstavlja rezultat istraživanja na projektima koje finansijski podržava Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (ugovori: br. 451-03-136/2025-03/ 200066 i br. 451-03-137/2025-03/ 200105 od 04.02.2025. godine).

LITERATURA

- [1] HAAS Automation – Visual Programming System, [citirano 10.01.2026.]. Dostupno na: <https://www.haascnc.com/productivity/control/vps.html>
- [2] Vasilic G, Zivanovic S, Milutinovic M, Parametarsko programiranje CNC strugova, *Tehnika*, Vol. 79, No.6, pp. 699-706, DOI: 10.5937/tehnika2406699-V, 2025.
- [3] Joshi V, Desai K, Raval H, Machining Of Archimedean Spiral By Parametric Programming, *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, Vol. 8, No.2, pp.25-30, URL: modte-ch.ro/international-journal/vol8no-22016/04_-Vratraj_-Joshi.pdf, 2016.
- [4] Rodriguez O, Romero P, Guerrero G, Application of Custom Macro B high level CNC programming language in a five-axis milling machine for drilling holes distributed in axi-symmetric working planes, *Procedia Manufacturing*, Vol. 41, pp. 976-983, DOI: 10.1016/j.profg.2019.10.023, 2019.
- [5] Nguyen T. K, Phung L. X, Bui N. T, Novel Integration of CAPP in a G-Code Generation Module Using Macro Programming for CNC Application, *MDPI Machines*, Vol.8, No. 4, DOI: 10.3390/machines8040061, 2020.
- [6] Djassemi M. An efficient CNC programming approach based on group technology, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.19, No. 3, pp.213-217, DOI: 10.1016/S0278-6125(00)80013-8, 2000.
- [7] Spaić O, Tanasijević R, Grupna tehnologija u CIM okruženju, *Tehnika*, Vol. 66, No.2, pp. 241-246, 2011.
- [8] Razak M, Jusoh A, Zakaria A, Feature-Based Machining using Macro, *Journal of Mathematical and Computational*, Vol. 6, No.8, pp.1107-1111, DOI: 10.5281/ZENODO.1079849, 2012.
- [9] Razak M, Ibrahim M, Sulaiman S, Jusoh A, Zakaria A, Parametric Programming in Feature-Based Machining, *International Journal of Engineering & Technology Sciences (IJETS)*, Vol.1, No.4, pp.218-225, URL:https://jms.procedia.org/archive/IJETS_29/IJETTS_procedia_2013_1_4_5.pdf, 2013.

SUMMARY

PARAMETRIC PROGRAMS OF GROUP TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF TOOL PARTS FOR PLASTIC INJECTION MOLDING ON A CNC MILLING MACHINE

Creating G-code programs for CNC machines intended for any machining process requires certain resources such as time, but also a certain level of knowledge and training of programmers and operators of CNC machines. With the aim of optimally using the existing resources of a production facility, within this work, parametric programs intended for CNC milling machines were analyzed. The analyzed parametric programs were compiled so that they represent part of the group's technology for the production of plastic injection tool parts. The parametric programs themselves are generalized and therefore universal and can be used for the implementation of a specific operation, regardless of the values of the geometric quantities that describe the shape and size of the machine part. For each of the displayed parametric programs, appropriate explanations are given through sketches, algorithms and selected parts of the program. Verification of the analyzed programs was done in the LinuxCNC software system for programming and controlling CNC machines, which confirmed their correctness.

Key Words: CNC milling machine, parametric programs, typical operations, LinuxCNC