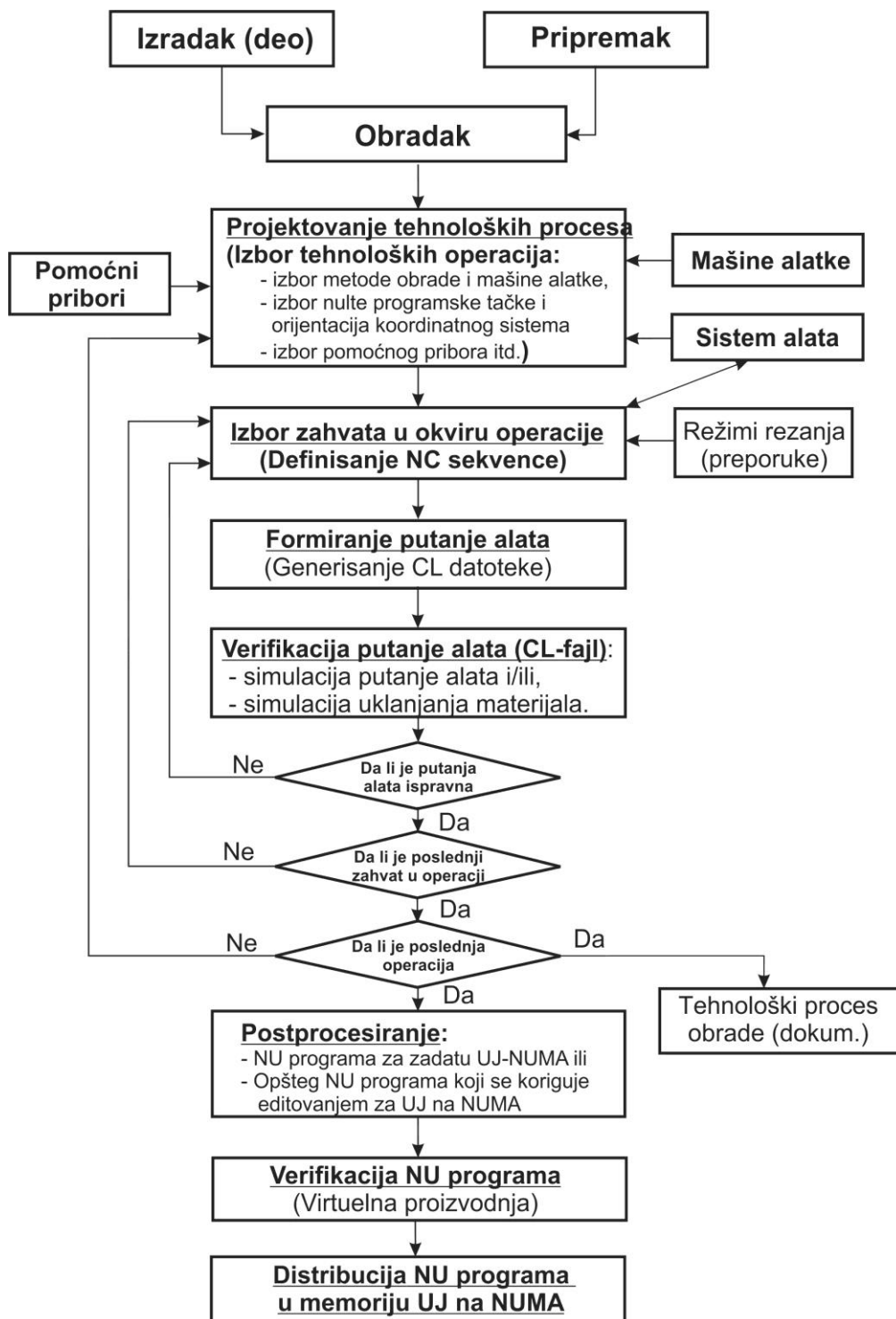


AT_9: PROGRAMIRANJE NUMA PRIMENOM CAD/CAM SISTEMA

Geometrija složenih delova na primer u avio, raketnoj, vojnoj i drugim industrijama, je vrlo kompleksna sa površinama drugog reda, koje zahtevaju višeosnu obradu (3-osna, 4-osna i 5-osna CNC obrada). NU (NC) programi za obradu ovakvih površina zahtevaju po nekoliko hiljada blokova (rečenica) čije ručno pisanje je vrlo naporno i vremenski dugo traje. Zbog toga je bila neophodna primena računara za tehnološku pripremu, tj. programiranje NUMA za obradu tih delova. Kao što je na prethodnim predavanjima spomenuto programiranje NUMA primenom računara se u zavisnosti od raspoložive podrške računara deli na: programiranje primenom programskih jezika, programiranje u pogonu i programiranje primenom CAD/CAM sistema (postoje: nezavisni CAD i CAM sistemi).

Integracija CAD i CAM dovela je do značajnog napretka u metodologiji NC programiranja. Na slici 1. dat je dijagram toka aktivnosti pri kreiranju NU programa primenom CAD/CAM sistema.



Slika 1. Prikaz dijagrama toka aktivnosti koje se sprovode pri kreiranju NC programa pomoću CAM softvera

Kod većine CAD/CAM sistema se definiše geometrija u NU programima dok se ostale tehnološke informacije kao što su: zahvati, baziranje i stezanje, rezni alati i režimi rezanja dodaju kroz interaktivni dijalog korisnika sa CAD/CAM sistemom. Ovo dodavanje ne predstavlja veliki problem kod složenih površina, zato što one obično ne zahtevaju mnogo tehnoloških informacija.

Međutim, kod tehnološki složenih delova (delovi koji sadrže veliki broj površina jednostavnog oblika koje se obrađuju različitim obradnim procesima, koji se realizuju sa različitim alatima i režimima rezanja) i druge funkcije projektovanja obradnih procesa postaju veoma važne. Ovo ukazuje da tehnološki složeni delovi zahtevaju integraciju CAD/CAM i CAPP (Computer Aided Process Planning) sistema čime se dobija integrisani CAD/CAPP/CAM sistem. Kod CAD/CAM sistema korišćenje podataka iz CAD baze za potrebe CAM sistema odvija se u nekoliko faza i to:

- prepoznavanje površina za obradu ili prepoznavanje tehnoloških tipskih formi;
- generisanje putanje alata;
- simulacija putanje alata (grafički prikaz i verifikacija); i
- otkrivanje mogućih kolizija (sudaranje alata sa elementima obradnog sistema).

Automatsko prepoznavanje tipskih tehnoloških formi je ključni korak u integraciji CAD/CAM sistema. Geometrijska informacija koja je potrebna za potrebe projektovanja tehnologije za NUMA (prepoznavanje površina za obradu ili tehnoloških tipskih formi i tolerancija) nije još uvek raspoloživ za čitanje iz CAD-baze podataka. U nedostatku specijalizovanih algoritama, ostavljena je kod većine komercijalnih CAD/CAM sistema mogućnost da korisnik u interaktivnom dijalogu sa sistemom izvrši potrebna prepoznavanja površina ili tipskih formi za obradu. CAD sistemi se ubrzano razvijaju u pravcu rešavanja ovog problema, kroz modeliranje pomoću tipskih tehnoloških formi (ili projektovanje za proizvodnju). Za punu integraciju CAD i CAM sistema treba da se ispune neki od zahteva kao što su: tačnost podataka o delovima, pravilno predstavljanje tolerancija i njihova usaglašenost sa tolerancijama izrade, geometrijske entitete treba dovesti u vezu bez njihovog preklapanja itd. Poznati pristupi u kreiranju NC programa se izvode pomoću solid modela ili površinskih modela. Podaci o delovima i pripremcima za njihovu izradu potrebnim za kreiranje programa mogu se dobiti iz datoteka zapisanih u formatima kao što su: SAT (ACIS solids), IGES, VDA, DXF, CADL, STL i ASCII pomoću odgovarajućih NC prevodilaca ili kod integrisanih CAD/CAM sistema direktno iz CAD-baze podataka.

Aktivnosti kreiranja NU programa primenom CAM softvera odvijaju se najčešće sledećim redosledom:

- Kreiranje 3D modela obratka na osnovu referentnog 3D modela izratka (dela) i izabranog (ili kreiranog) 3D modela priprema (pozicionira se 3D modela izratka (dela) unutar 3D modela priprema vodeći računa o dodacima za obradu). 3D model sklopa priprema i izradka formira se podsistemom za definisanje sklopa.
- Projektovanje tehnološkog procesa izrade dela – **Izbor tehnoloških operacija** (izbor mašine sa tehničkim karakteristikama (npr. broj osa, tačnost itd.), izbor položaja obratka na stolu mašine ili unutar pomoćnog pribora koji je za tu namenu prethodno postavljen na mašinu, izbor koordinatnog sistema na obratku koji treba da je usaglašen sa koordinatnim sistemom mašine, izbor ravni brzog hoda, izbor liste alata (reznog alata, adapter, osnovni nosač) i njeno preuzimanje za odgovarajuću operaciju ili rezni alati se mogu birati za vreme izbora zahvata). Izbor pomoćnih pribora vrši se za svako od predviđenih baziranja i stezanja. Za kompletnu obradu dela ponekad može biti potrebno i više od jednog baziranja i stezanja. Pomoćni pribori mogu da budu prikazani zajedno sa obratkom i treba da budu tako odabrani da obezbede postavljanje i stezanje obratka na radni sto mašine, a da pri tome njegovi elementi nisu na putu kojim je predviđeno kretanje reznog alata za vreme pozicioniranja i tokom procesa obrade. Standardni elementi pomoćnih pribora mogu da budu kreirani kao biblioteka delova i mogu brzo da se montiraju pre početka operacije.
- Izbor potrebnih tehnoloških zahvata u okviru operacija (definisanje NC sekvence) za obradu jedne celine dela (izbor reznih alata, izbor režima rezanja, izbor dodatnih elemenata procesa obrade u zavisnosti od tipa zahvata). Režimi rezanja kao što su: broj obrta vretena (brzina rezanja) i brzina pomoćnog kretanja (korak) mogu da se biraju iz baze podataka o obradljivosti za zadati materijal od kog se deo izrađuje i u zavisnosti od izabranog materijala reznog alata. Izbor zahvata (generisanje putanje alata) podrazumeva i generisanje podataka koji se zapisuju u CL datoteku (CL Data file).
- Simulacija kretanja alata po zadatoj putanji, odnosno analiza definisanih putanja, broja prolaza, pozicija izvlačenja alata i analiza ulazne i izlazne putanje iz zahvata. Postoji i simulacija putanje alata uz istovremeno uklanjanje materijala sa obratka. Kako se koji zahvat izvršava, tako se uklanja predviđeni materijal (strugotina) sa obratka i vrši simulacija procesa obrade. Ova simulacija obuhvata i prikaz putanje alata za svaki zahvat (ili operaciju). Nakon vizuelne provere o korektnosti procesa obrade može se po potrebi izvršiti modifikacija podataka editovanjem CL datoteke ili se podaci mogu menjati izmenom parametara u zahvatima.
- Generisanje CL datoteke za određeni zahvat ili za celu operaciju i kreiranje operacione liste za potrebe proizvodnje delova.

- Aktivnost postprocesiranja prethodno generisane CL datoteke i kreiranje NU programa (G-koda) za upravljačku jedinicu koja se nalazi na izabranoj mašini alatki (pri čemu se uvažavaju sve specifičnosti upravljačke jedinice i sva ograničenja koja postoje na izabranom tipu mašine alatke).
- U nekim CAM softverima postoji i mogućnost *grafičke verifikacije NU programa* (G-koda) što omogućava virtuelnu kontrolu putanje alata i otkrivanje eventualnih kolizija. Otkrivanje kolizija je aktuelno ukoliko postoji mogućnost da se alat sudara sa elementima obradnog sistema. Jedan od načina za otkrivanje mogućih kolizija je primena 3D modeliranja, tako što se računa zapremina generisana prilikom kretanja alata u prostoru i traži njen presek sa bilo kojim elementom obradnog sistema. Ako je presek različit od nule to znači da postoji kolizija i da elemente obradnog sistema treba prekomponovati u granicama koje su dozvoljene.

Osnovni cilj svakog proizvođača finalnih proizvoda je da izrađuje kvalitetne delove bez greške, na vreme i uz optimalno korišćenje raspoloživih resursa. Zbog toga je mogućnost simulacije obrade, kao i verifikacija tačnosti na virtuelnom proizvodu pre početka izrade realnog dela postala vrlo važna i značajna. Postojeća okružena CAD/CAM sistema koja se koriste za programiranje numerički upravljanih mašina alatki (NUMA) uobičajeno omogućavaju simulaciju:

- putanje alata na bazi podataka sadržanih u CL datoteci,
- putanje alata na bazi podataka u datoteci NU programa (G-koda),
- uklanjanja materijala, i
- rada virtuelne mašine alatke koja radi po zadatom programu.

Simulacija putanje alata je sastavni deo svakog CAM sistema i predstavlja grafičku prezentaciju koja prikazuje alat i obradak, pri čemu se alat pomera i iscrtava putanju alata definisanu generisanim upravljačkim programom u CLF formatu i/ili G kodu.

Simulacija uklanjanja materijala je vrlo značajna provera, koja omogućava dobijanje i prikaz virtuelnog obratka. Proces uklanjanja materijala sa obratka svodi se na oduzimanje modela alata i/ili omotača alata u procesu simulacije od modela obratka (VERICUT).

Za verifikaciju programa na bazi simulacije koja se izvodi na virtuelnoj mašini alatki, potrebno je njen CAD model pripremiti u odgovarajućem okruženju. Ovakav CAD model se obično kreira kao uprošćen model koji obuhvata sve osnovne elemente mašine alatke prema kinematičkoj strukturi realne mašine. CAD/CAM sistemi imaju mogućnost da u sklopu simulacije programirane putanje alata, prema izabranoj strategiji obrade, u simulaciju uključe i VMA, odnosno kompletan virtuelni model mašine sa definisanim kinematskim vezama i koordinatnim sistemima, obratka i alata. Ovu mogućnost ima većina CAD/CAM sistem.

Poslednju fazu pripreme proizvodnje predstavlja distribucija NU programa u upravljačku jedinicu i upravljanje sa NUMA pomoću NU programa. Konceptcija povezivanja NUMA sa korisničkim računskim sistemima značajno se menjala tokom vremena. Postoji nekoliko načina za distribuciju NU programa na UJ mašine alatke i to:

- ručno ukucavanje programa preko tastature na UJ NUMA,
- preko diskete, CD-a, fleš memorije itd,
- direktno pomoću DNC komunikacije iz računara u kom se vrši programiranje ili skladištenje NU programa u memoriju UJ NUMA.
- Program može biti distribuiran u UJ NUMA preko lokalne računarske mreže u pogonu (ethernet) ili preko internet komunikacije.

Postoji veliki broj nezavisnih CAM paketa ili integrisanih sa CAD sistemom koji su danas dostupni na tržištu kao što su: PTC Creo, Catia, Simens NX, SolidCAM, Master CAM, AlphaCAM, Cimatron, VeriCUT okruženja itd. Dalje u nastavku ce biti detaljnije opisane aktivnosti na razvoju NU programa (kreiranje NC programa) za obradu dela korišćenjem CAM softvera za obradu metala rezanjem.

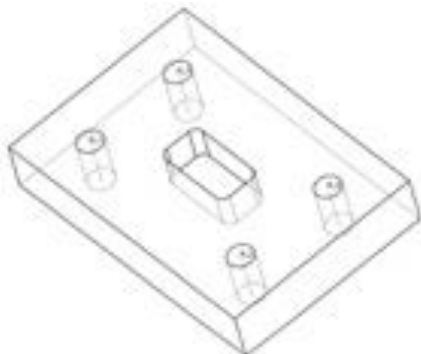
1. Prikaz aktivnosti kreiranja NC programa primenom CAM softvera

Gotov deo (njegov 3D model) koji je modeliran u CAD-u, koristi se kao osnova za definisanje ili određivanje tehnoloških operacija. Tehnološke tipske forme, površine i duži (linije) koje su izabrane na 3D modelu dela povezuju se sa nekim od tehnoloških zahvata. Povezivanje geometrije izratka (dela) parametarskom relacijom sa modelom priprema, omogućava da svaka izmena na modelu dela generiše izmene u svim povezanim tehnološkim zahvatima.

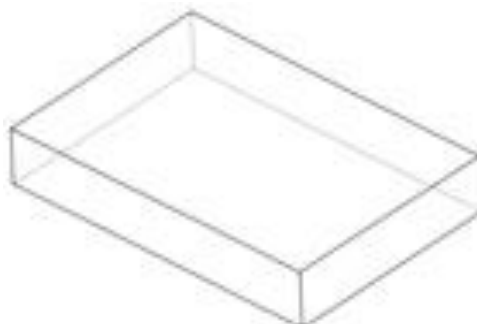
Pripremak je sirovina od koje se dobija izradak (gotov deo) nakon procesa mašinske obrade. Pripremak može da bude šipkasti polufabrikat, odlivak, otkovak itd. Oni se jednostavno kreiraju kopiranjem modela dela i potrebnim korekcijama mera, brisanjem ili dodavanjem novih oblika kreira realan pripremak.

Na primer, razmotrimo model dela prikazan na slici 2. Pripremak (sirovina) za ovaj deo je na primer odlivak. Neophodno je kreiranje koordinatne ravni na delu kao bazne ravni za lociranje u pomoćni pribor ili na radni sto mašine. Ova operacija se izvodi često posebno. U slučaju dela prikazanog na slici 2. donju površinu na koju se oslanja je zgodno uzeti kao osnovu. Gornja površina, kao i bočne površine dela su obrađene

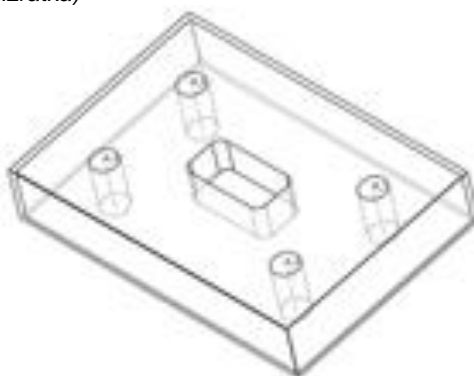
glodanjem. Dimenzije ovih površina moraju da budu uvećane za iznos dodatka za obradu koji treba ukloniti u toku procesa obrade. Takođe na delu postoji i određeni broj prolaznih otvora. Materijal koji se dodaje na ovim mestima odgovara dodatku za obradu. Kada je prečnik prolaznog otvora manji od 30 mm, uobičajena je praksa da se ne obezbeđuje jezgro prilikom pravljenja kalupa za livenje. Takvi otvori se dobijaju obradom u punom materijalu. Na delu postoje i četiri otvora koji nisu odliveni. Tako je od 3D modela dela evoluirao pripremak čiji je 3D model prikazan na slici 3. 3D model dela i 3D model pripremk nakon uspostavljanja relacije između njih u assembly modu zajedno formiraju model obratka prikazan na slici 4, gde spoljašnje linije prikazuju model pripremk a unutrašnje linije prikazuju model dela.



Slika 2. 3D model dela (izratka)



Slika 3. 3D Model pripremk



Slika 4. 3D model obratka (čine ga zajedno model pripremk i model dela)

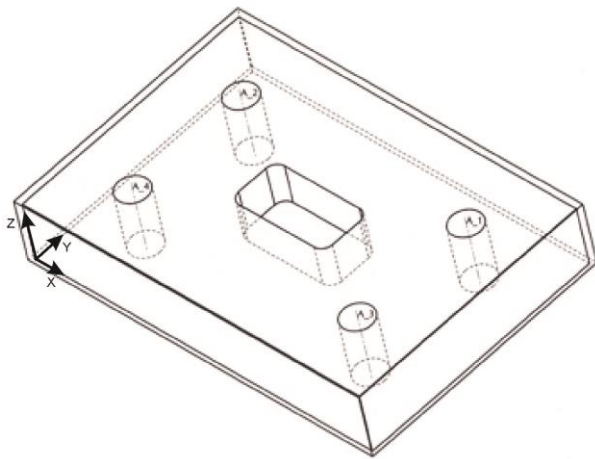
Za aluminijumske delove koji se koriste u avio industriji potrebno je pripremk uzimati u obliku blokova, gde su dodaci za obradu obuhvaćeni u modelu pripremk kroz dužinu, širinu i visinu bloka. U slučaju cilindričnih delova pripremk može da bude odlivak ili šipkast polufabrikat. U prethodnom slučaju je dodat dodatak za obradu. Takođe može biti neophodno da se dimenziono mali oblici poput kanala, žlebova, upusta, otvora itd, formiraju u procesu mašinske obrade. U slučaju šipkastog polufabrikata pripremk je obično cilindrični oblika.

1.1. Izbor koordinatnog sistema i sigurnosnih ravni

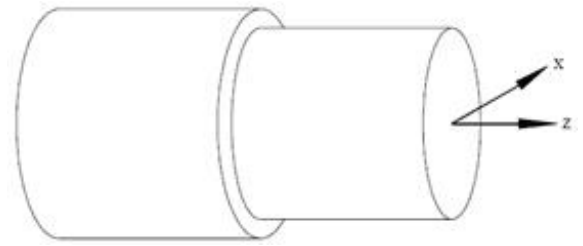
Izbor koordinatnog sistema je vrlo važan za realizaciju procesa mašinske obrade dela na NUMA. Koordinatni sistem definiše orijentaciju pripremk (obratka) na radnom stolu mašine i predstavljaju osnovu za generisanje putanje alata tj. predstavljaju osnovu za generisanje CL podataka koji se zapisuju u CL datoteku. Koordinatni sistem može da bude postavljen na model pripremk ili na model dela (izratka).

1.1.1. Orijentacija Z-ose

Koordinatni sistem treba birati tako da pozitivan smer Z-ose bude usmeren u pravcu nosača alata (glavnog vretena) tokom izvođenja zahvata. Na slici 5-a, je prikazan primer orijentacije Z-ose za zahvat glodanja gornje površine dela (izratka), a na slici 5-b pravac orijentacije z-ose za zahvat struganja duž ose pripremk (obratka).



a) orijentacija Z-ose kod obrade na obradnom centru



b) orijentacija Z-ose kod obrade na strugu (struganje)

Slika 5. Izbor koordinatnog sistema na obratku

1.1.2 Orijentacija X i Y osa

Orijentacija X i Y osa kod koordinatnog sistema će uticati na podatke koji se generišu u CL datoteci. Glavni pravac pomoćnog kretanja kod glodanja biće paralelan sa X-osom. Ove dve ose se biraju da formiraju desni koordinatni sistem.

1.2. Izbor pomoćnih pribora

Kao što je ranije spomenuto pomoćni pribori su delovi ili sklopovi koji omogućavaju baziranje i stezanje obradka na mašini tokom izvođenja tehnološke operacije (sekvence zahvata). Oni se po potrebi samo sklapaju ako ima dovoljan broj potrebnih standardnih elemenata.

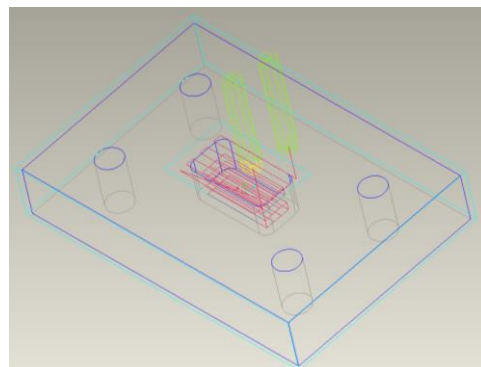
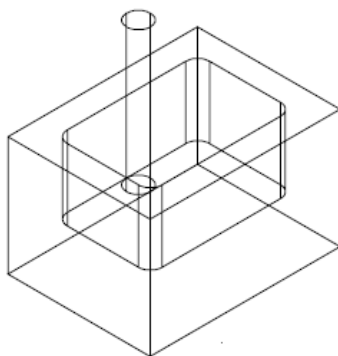
1.3. Izbor procesa obrade (tehnoloških operacija)

Ovde će biti razmotreni samo neke od procesa obrade (realizuju se kroz zahvate) koji se primenjuju u obradi rezanjem.

1.3.1. Glodanje

Operacije glodanja mogu se svrstati u nekoliko grupa.

Zapreminsko glodanje: U ovom slučaju definisana zapremina treba da se ukloni glodanjem. Ova operacija se koristi za grubo glodanje džepova. Specifičnost ovog načina glodanja je da se alat uvek nalazi unutar zapremine koja se obrađuje. Da bi definisali zapreminu za glodanje treba geometriju na modelu dela povezati sa ovom zapreminom skicirati (sketched) i ovu zapreminu formirati presecanjem sa modelom priprema. Primer obrade džepa glodanjem prikazan je na slici 6.



Slika 6. Prikaz uklanjanja zapremine glodanjem (glodanje džepa)

Glodanje površina: Površina dela može biti izabrana za obradu glodanjem. Primeri su 3 -, 4 - ili 5-osno glodanje površine, profila, dorada džepa itd. Postoje dva tipa operacija glodanja površina:

- Konvencionalno glodanje površina: ova operacija generiše putanju alata koja će potpuno obraditi izabranu površinu.
- Glodanje po trajektoriji: neke operacije glodanja mogu se obavljati preciziranjem putanje. Primeri su glodanje slotova, operacije čeonog glodanja i mnoge operacije glodanja čeonim vretenastim glodalima.

1.3.2. Stuganje

Pristup kreiranja NC programa kod struganja (uzdužno, poprečno struganje, profilno struganje, usecanje, rezanje navoja, bušenje otvora u osi itd.) je drugačiji od glodanja i ovde se ne razmatra detaljnije. Pogledati primere u literaturi: G. Mladenović, CAD/CAM Sistemi, Praktikum za CREO PARAMETRIC, Mašinski fakultet, Beograd, 2019.

1.3.3. Obrada rupa i otvora

Obrada rupa i otvora se izvodi preko kreiranih NC sekvenci koje obuhvataju: bušenje, razvrtanje, proširivanje, prostrugivanje, urezivanje navoja itd. Ovi zahvati se mogu izvoditi na strugovima i obradnim centrima. NC sekvence za obradu otvora ili rupa je kreirana izborom tipa ciklusa, specifikacijom otvora ili rupe za bušenje i definisanjem skupa otvora ili rupa. Skup otvora ili rupa sadrži jedan ili više otvora koji treba da budu obrađeni. Svaki skup otvora ili rupa treba da ima definisanu dubinu i prečnik. Sekvenca za obradu jednog otvora ili rupe može da obuhvata više od jednog skupa otvora što omogućava programeru da obrađuje rupe/otvore različitih dubina. Postoje različite metode izbora otvora ili rupa pri njihovom uključivanju u skup kao što su:

- Selektovanje (obeležavanje) ose svakog otvora ili rupe pojedinačno.
- Selektovanje površine na obratku i uključivanje svih otvora ili rupa koji se nalaze na toj površini.
- Selektovanjem otvora i uključivanjem koordinata centra.
- Selektovanje površine na obratku i uključivanjem koordinata centra svih otvora ili rupa na zadatoj površini.
- Zadavanje prečnika otvora ili rupa i uključivanje svih otvora ili rupa koji/e imaju taj prečnik.
- Selektovanje pojedinačno koordinata centara otvora ili rupa na selektovanoj površini itd.

CAM softver može da sadrži nekoliko načina definisanja obrade otvora i rupa kao što su:

- Drill** - Standardno bušenje i duboko bušenje ili bušenje sa pauzom za izbacivanje strugotine.
Face - Bušenje ravnom burgijom sa vremenom zadržavanja na dostignutoj dubini kako bi se osigurala čista površina na dnu otvora.
Bore - Prostrugivanje gde se zahteva veća preciznost otvora ili rupa.
Ream - Razvrtanje razvrtačem.
Countersink - Upuštanje konusa na ulazu u rupu/otvor.
Tap - Urezivanje navoja u rupi/otvoru.

1.4. Parametri za definisanje kretanja alata

Potrebno je uneti više parametara za kretanje alata (broj parametara zavisi od tipa alata) da bi se kreirao NC program. Neki od njih su:

FEED_RATE
CUTCOM (Tool compensation)
COOLANT
SPINDLE_SPEED
SPEED_SENSE
MAX_SPINDLE_RPM
SPINDLE_RANGE
CLEAR_DIST
PULL_OUT_DIST
LEAD_RADIUS
LEAD_STEP
APPROACH_DISTANCE
EXIT_DISTANCE

1.5. Pomoćne NC sekvence

One se koriste za kreiranje putanje alata tačka-tačka (point-to-point). One se mogu koristiti za specifikaciju povezivanja kretanja alata i promenu orijentacije ose alata. Neke tipične pomoćne sekvence su:

GOTO POINT
GO DELTA
GO HOME
FOLLOW SKETCH

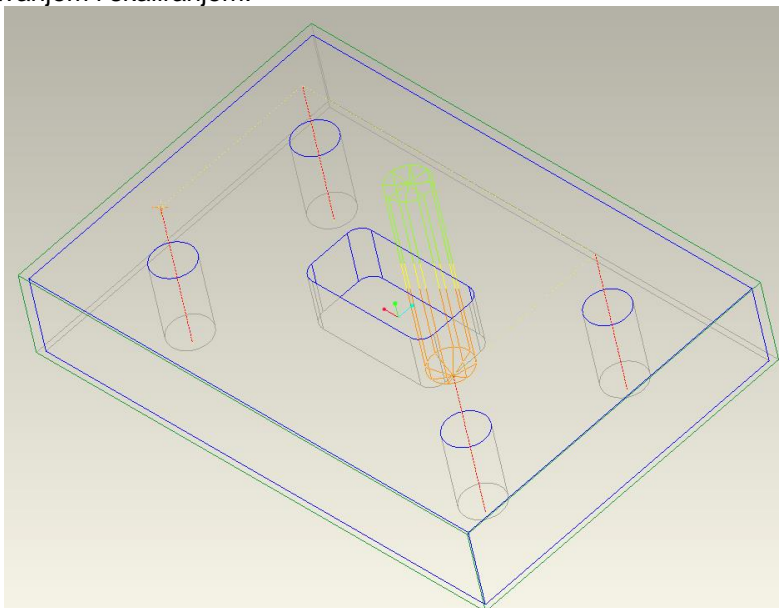
1.6. Datoteka CL-data

Podaci o lokacijama alata (CL data files) su generisani (u standardnom formatu) iz putanja alata definisanih unutar NC sekvenci. Svaka NC sekvenca generiše posebnu CL datoteku. One mogu biti međusobno

spojene u jednu datoteku za celu operaciju. Ovi podaci u CL datotekama mogu biti postprocesirani za konkretnu **mašinu** ili generički post-procesirani za kreiranje NC programa. Primer CL-datoteke je prikazan u nastavku:

```
$$*          Pro/CLfile  Version Wildfire 4.0 - M040
$$-> MFGNO / OBRADA
PARTNO / OBRADA
$$-> FEATNO / 489
MACHIN / UNCX01, 1
$$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUTPUT_ON_CENTER
UNITS / MM
LOADTL / 1
$$-> CUTTER / 15.000000
$$-> CSYS / 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000
SPINDL / RPM, 400.000000, CLW
RAPID
GOTO / 150.0000000000, 90.0000000000, 52.0000000000
CYCLE / DRILL, DEPTH, 36.506455, MMPM, 300.000000, CLEAR, 20.000000
GOTO / 150.0000000000, 90.0000000000, 32.0000000000
GOTO / 150.0000000000, 30.0000000000, 32.0000000000
GOTO / 30.0000000000, 30.0000000000, 32.0000000000
GOTO / 30.0000000000, 90.0000000000, 32.0000000000
CYCLE / OFF
SPINDL / OFF
$$-> END /
FINI
```

CL podaci mogu se koristiti za prikazivanje putanje alata (slika 7.). Grafičko prikazivanje putanje alata će pomoći u pronalazanju grešaka u programu. CL podaci se mogu menjati i modifikovati rotacijom, translacijom, preslikavanjem i skaliranjem.

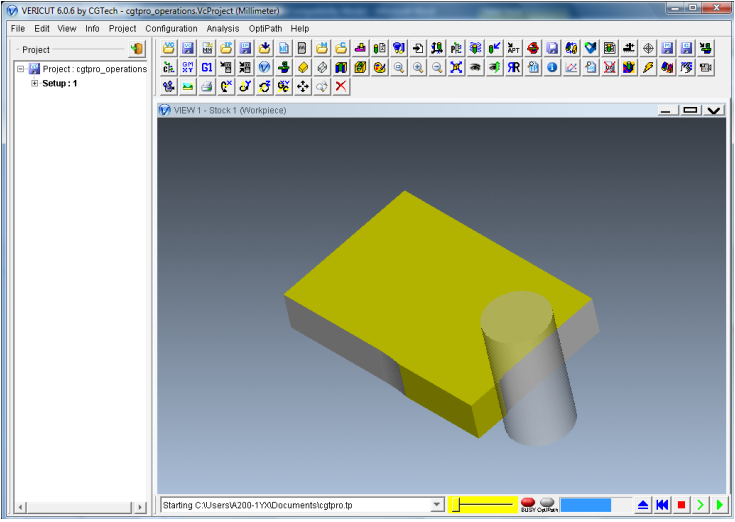


Slika 7. Prikaz putanje alata pri bušenju 4 otvora u pravougaonoj ploči na osnovu podataka u gore prikazanoj CL datoteci

1.7. Postprocesorska obrada

Specifikacije i mogućnosti CNC mašina alatki se razlikuju od jedne do druge. Postoji veliki broj proizvođača CNC upravljačkih sistema i svaki od njih ima više različitih verzija koje se međusobno razlikuju u pogledu njihovih karakteristika. To zahteva da se podaci sadržani u CL datoteci modifikuju prilikom generisanja NU (NC) programa za odgovarajuću upravljačku jedinicu na izabranoj mašini alatki. Ovaj postupak modifikacije podataka sadržanih u CL datoteci se naziva postprocesiranje. CAM softveri obično sadrže module koji se nazivaju post-procesori pomoću kojih se generišu NU programi (G-kodovi). CAM sistemi poseduju veliki broj postprocesora za najčešće korišćene upravljačke jedinice. S obzirom da danas postoji veliki broj upravljačkih jedinica CNC mašina alatki, a pri tome se nove stalno pojavljuju. Neki CAM sistemi poseduju i posebne module za generisanje postprocesora prema zadatim specifikacijama.

Obično se naredba MACHIN koristi za izbor postprocesora. Kreirani NC program (primer programa za obimno glodanje konture dat je na slici 8) može se memorisati, prikazati ili simulirati u editoru za uređivanje ili modifikaciju ako je potrebno, ili preneti na CNC mašinu koristeći na primer DNC. Primer provere NU programa (G-koda) u softveru VERICUT prikazan je na slici 9 (*provere putanje alata pri obimnom glodanju konture pravougaone ploče*).

<pre> N5 G71 N10 (/ OBRADA) N15 G0 G17 G99 N20 G90 G94 N25 G0 G49 N30 T1 M06 N35 S300 M03 N40 G0 G43 Z52. H1 N45 X-10. Y245. N50 G1 Z50. F2540. N55 Z0. F400. N60 G3 X90. Y145. I100. J0. N65 G1 X180. N70 G2 X205. Y120. I0. J-25. N75 G1 Y0. N80 G2 X180. Y-25. I-25. J0. N85 G1 X0. N90 G2 X-25. Y0. I0. J25. N95 G1 Y120. N100 G2 X0. Y145. I25. J0. N105 G1 X90. N110 G3 X190. Y245. I0. J100. N115 G1 Z52. N120 M30 %</pre>	
<p><i>Slika 8. Prikaz NU programa (G-kod) pri obimnom glodanju konture pravougaone ploče</i></p>	<p><i>Slika 9. Prikaz provere putanje alata pri obimnom glodanju konture pravougaone ploče (softver VERICUT)</i></p>

1.8. Virtuelna mašinska obrada

Generisanje NU programa pomoću CAM softverskih paketa je značajan napredak u domenu projektovanja tehnologije za obradu na NUMA. Ovaj metod je eliminisao naporno pisanje velikih programa, greške u programu su značajno smanjene, a samim tim su izbegnuti i vremenski i materijalni gubici. Međutim, još uvek postoji potreba za proverom programa i njihovom verifikacijom, jer postoji veoma mnogo faktora koji utiču na to da izradak (deo) bude prihvatljiv od strane onih koji vrše kontrolu. Na primer zahvatanje veće dubine nego što je predviđeno kod obrade složenih površina (takozvani ujedi) je i dalje realan problem sa kojim se susrećemo. Nepravilnim programiranjem može se ukloniti više materijala ili ostaviti višak materijala na obratku. Takođe u praksi se uočavju i veće dubine rezanja od zadatih. Greške u geometriji ili u naredbama za kretanje alata mogu dovesti do toga da dimenzije obradka nakon kontrole možda neće biti prihvatljive. Testiranje programa u praznom prostoru i njegova verifikacija na mašini su uvek dugotrajani i skupi. Stoga je poželjno da se izvrši simulacija procesa obrade predviđena NU programom na računaru kako bi se izvršila njegova verifikacija. Softveri za verifikaciju programa koji su sada dostupni kao moduli unutar CAM softverskih paketa su koristan alat za simulaciju obrade na računarskoj radnoj stanici.

Pošto se proces mašinske obrade izvodi u virtualnom okruženju on se zove virtuelni proces mašinske obrade. Ovo omogućava programerima vizuelizaciju i izmene programa sve dok u potpunosti ne budu zadovoljni njegovim radom. To pomaže da se otklone sva kretanja kojima se prave greške na obradku. Iskustvo korisnika virtuelne mašinske obrade ukazuje da je moguće da se odmah nastavi sa obradom u predviđenom materijalu (metalu) na CNC mašini i izbegnu uobičajeni problemi u obradi kao što su lom alata, kolizije i prekoračenje postojanosti alata pri dugotrajnim obradama. Baza podataka o alatima ugrađena u sistem omogućava programerima da izaberu alat istog oblika i dimenzija koji se koriste kod simulacije.

Primer primene CAD/CAM sistema za kreiranje NU programa

Deo dat na slici br. 10 dobijen je mašinskom obradom rezanjem iz punog materijala (polimer).

Rešenje

Ovaj primer je rešen korišćenjem CAM softver (PTC Creo - PRO/Manufacturing) i prikazana je skraćeno procedura kroz rešenje bez prikazivanja korisničkog interfejsa.

Zadati deo je dobijen mašinskom obradom (na obradnom centru) priprema (prikazan na slici 11) koja obuhvata:

- glodanje gornje površine: čeonno vretenasto glodalo prečnika 50 mm, broj obrtaja 300 o/min, brzina pomoćnog kretanja 400 mm/min);
- glodanje bočne konture: čeonno vretenasto glodalo prečnika 50 mm, broj obrtaja 300 o/min, brzina pomoćnog kretanja 400 mm/min);
- glodanje džepa (50x25x20 mm sa radiusom u uglovima 5 mm: čeonno vretenasto glodalo prečnika 10 mm, broj obrtaja 580 o/min, brzina pomoćnog kretanja 500 mm/min);
- Bušenje 4 otvora prečnika 15 mm: zavojna burgija prečnika 15 mm, broj obrtaja 500 o/min, brzina pomoćnog kretanja 400 mm/min);

Napomene:

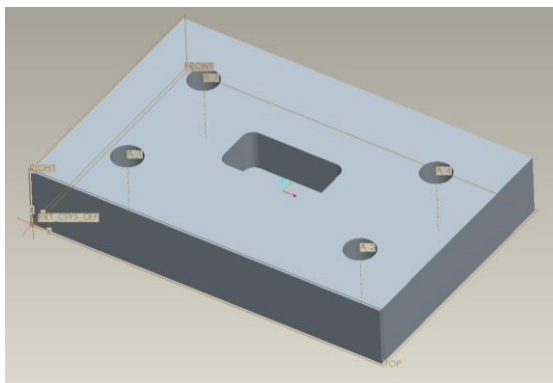
Pri generisanju putanje alata, treba voditi računa o izboru pomoćnih pribora (ovde nije razmatrano) i izboru mesta stezanja na obratku (koji su dobijeni međusobnim povezivanjem modela dela i modela priprema) slika 12. Kordinatni sistem (nulta tačka je uzeta u donjem levom uglu kako je prikazano na slici 10.

Na slici 13 je prikazan sadržaj CL fajla, grafički prikaz generisane putanje alata pri **obradi gornje površine** čeonim vretenastim glodalom i postprocesorski izlaz NU program (G-kod).

Na slici 14 je prikazan sadržaj CL fajla, grafički prikaz generisane putanje alata pri **obradi bočne konture** čeonim vretenastim glodalom i postprocesorski izlaz NU program (G-kod).

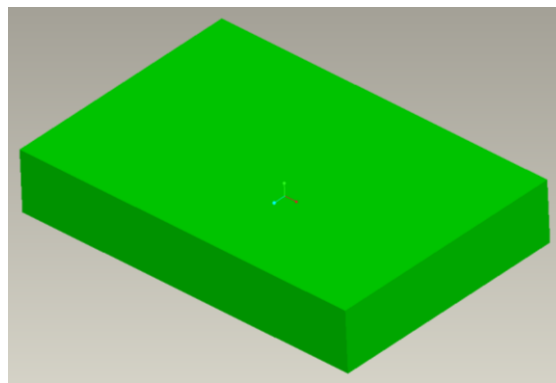
Na slici 15 je prikazan sadržaj CL fajla, grafički prikaz generisane putanje alata pri **obradi džepa** čeonim vretenastim glodalom i postprocesorski izlaz NU program (G-kod).

Na slici 16 je prikazan sadržaj CL fajla, grafički prikaz generisane putanje alata pri **bušenju 4 otvora** i postprocesorski izlaz NU program (G-kod). Pojedinačne CL datoteke se nakon provera (simulacija putanje alata) mogu se objediniti u jednom fajlu.



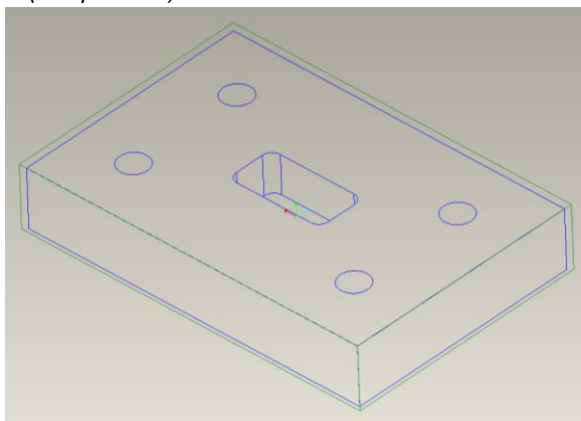
3D model dela (izradak)
Gabaritne mere dela (120x180x30 mm)
Džep u središtu sa merama 50x25x20, r=5 mm
4 otvora Ø15 (udaljena spoljašnjih stranica po 30 mm)

Slika 10. 3D model dela (komponente)



3D model priprema čije su gabaritne mere dobijene dodavanjem dodataka za obradu na gabaritne mere gotovog dela (izratka) (124x184x32) mm

Slika 11. 3D Model priprema



Slika 12. 3D model obratka (čine ga zajedno model priprema spoljašnje linije i model dela unutrašnje linije)

\$\$ SADRŽAJ CL DATOTEKE PRI OBRADI GORNJE RAVNE POVRŠINE (ovaj red je komentar koji nije generisan)

```

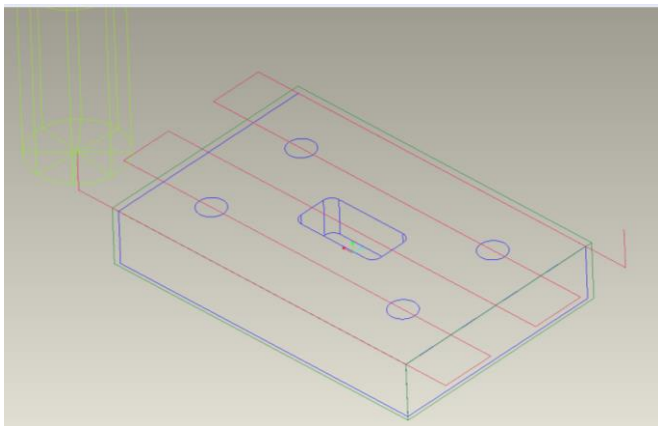
$$* Pro/CLfile Version Wildfire 4.0 - M040
$$-> MFGNO / OBRADA
PARTNO / OBRADA
$$-> FEATNO / 108
MACHIN / UNCX01, 1
$$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUTPUT_ON_CENTER
UNITS / MM
LOADTL / 1
$$-> CUTTER / 50.000000
$$-> CSYS / 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000
SPINDL / RPM, 300.000000, CLW
RAPID
GOTO / -25.0000000000, -0.0000000000, 52.0000000000
FEDRAT / 400.000000, MMPM
GOTO / -25.0000000000, -0.0000000000, 30.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 0.0000000000, 30.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 30.0000000000, 30.0000000000
GOTO / -25.0000000000, 30.0000000000, 30.0000000000
GOTO / -25.0000000000, 60.0000000000, 30.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 60.0000000000, 30.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 90.0000000000, 30.0000000000
GOTO / -25.0000000000, 90.0000000000, 30.0000000000
GOTO / -25.0000000000, 120.0000000000, 30.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 120.0000000000, 30.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 120.0000000000, 52.0000000000
SPINDL / OFF
$$-> END /
FINI
    
```

(NU program ili G-kod)

```

N5 G71
N10 ( / OBRADA)
N15 G0 G17 G99
N20 G90 G94
N25 G0 G49
N30 T1 M06
N35 S300 M03
N40 G0 G43 Z52. H1
N45 X-25. Y0.
N50 G1 Z30. F400.
N55 X205.
N60 Y30.
N65 X-25.
N70 Y60.
N75 X205.
N80 Y90.
N85 X-25.
N90 Y120.
N95 X205.
N100 Z52.
N105 M30
%
```

Generisana putanja alata pri obradi gornje ravne površine čeonim vretenastim glodalom



Slika 13. Prikaz generisanja putanje alata pri glodanju gornje površine: CL datoteka, grafički prikaz simulacije putanje alata i NU program (G-kod)

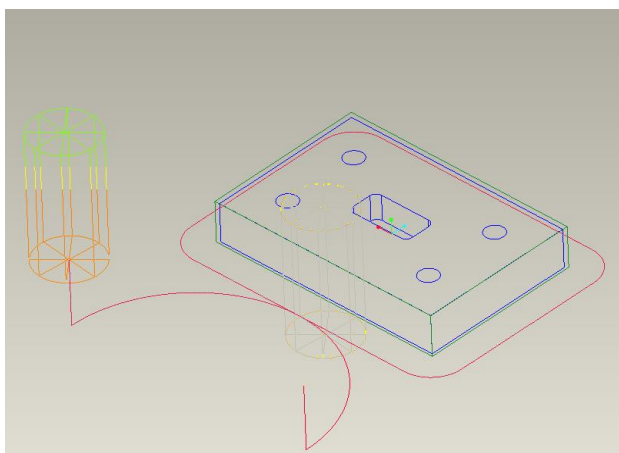
\$\$ SADRŽAJ CL DATOTEKE PRI OBRADI BOČNE KONTURE (ovaj red je komentar koji nije generisan)

```

$$* Pro/CLfile Version Wildfire 4.0 - M040
$$-> MFGNO / OBRADA
PARTNO / OBRADA
$$-> FEATNO / 491
MACHIN / UNCX01, 1
$$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUTPUT_ON_CENTER
UNITS / MM
LOADTL / 1
$$-> CUTTER / 50.000000
$$-> CSYS / 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000
SPINDL / RPM, 300.000000, CLW
RAPID
GOTO / -10.0000000000, 245.0000000000, 52.0000000000
RAPID
GOTO / -10.0000000000, 245.0000000000, 50.0000000000
FEDRAT / 400.000000, MMPM
GOTO / -10.0000000000, 245.0000000000, 0.0000000000
CIRCLE / 90.0000000000, 245.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 100.0000000000
GOTO / 90.0000000000, 145.0000000000, 0.0000000000
GOTO / 180.0000000000, 145.0000000000, 0.0000000000
CIRCLE / 180.0000000000, 120.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, -1.0000000000, 25.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 120.0000000000, 0.0000000000
GOTO / 205.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000
CIRCLE / 180.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, -1.0000000000, 25.0000000000
GOTO / 180.0000000000, -25.0000000000, 0.0000000000
GOTO / 0.0000000000, -25.0000000000, 0.0000000000
CIRCLE / 0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, -1.0000000000, 25.0000000000
GOTO / -25.0000000000, -0.0000000000, 0.0000000000
GOTO / -25.0000000000, 120.0000000000, 0.0000000000
CIRCLE / 0.0000000000, 120.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, -1.0000000000, 25.0000000000
GOTO / -0.0000000000, 145.0000000000, 0.0000000000
GOTO / 90.0000000000, 145.0000000000, 0.0000000000
CIRCLE / 90.0000000000, 245.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 100.0000000000
GOTO / 190.0000000000, 245.0000000000, 0.0000000000
GOTO / 190.0000000000, 245.0000000000, 52.0000000000
SPINDL / OFF
$$-> END /
FINI

```

Generisana putanja alata pri obradi bočne konture čeonim vretenastim glodalom



(NU program ili G-kod)

```

N5 G71
N10 ( / OBRADA)
N15 G0 G17 G99
N20 G90 G94
N25 G0 G49
N30 T1 M06
N35 S300 M03
N40 G0 G43 Z52. H1
N45 X-10. Y245.
N50 G1 Z50. F2540.
N55 Z0. F400.
N60 G3 X90. Y145. I100. J0.
N65 G1 X180.
N70 G2 X205. Y120. I0. J-25.
N75 G1 Y0.
N80 G2 X180. Y-25. I-25. J0.
N85 G1 X0.
N90 G2 X-25. Y0. I0. J25.
N95 G1 Y120.
N100 G2 X0. Y145. I25. J0.
N105 G1 X90.
N110 G3 X190. Y245. I0. J100.
N115 G1 Z52.
N120 M30
%
```

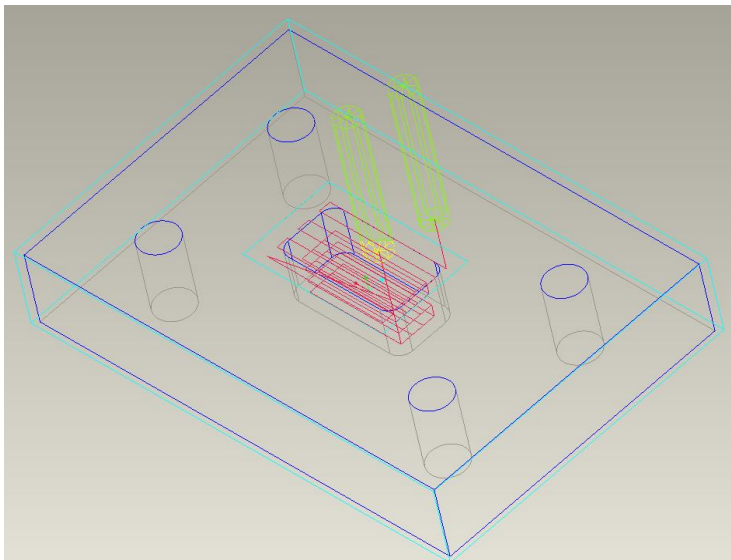
Slika 14. Prikaz generisanja putanje alata pri glodanju bočne konture: CL datoteka, grafički prikaz simulacije putanje alata i NU program (G-kod)

\$\$ SKRAČENI SADRŽAJ CL DATOTEKE PRI OBRADI DŽEPA GLODANJEM (ovaj red je komentar koji nije generisan)

```

$$* Pro/CLfile Version Wildfire 4.0 - M040
$$-> MFGNO / OBRADA
PARTNO / OBRADA
$$-> FEATNO / 494
MACHIN / UNCX01, 1
$$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUTPUT_ON_CENTER
UNITS / MM
LOADTL / 1
$$-> CUTTER / 10.000000
$$-> CSYS / 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000
SPINDL / RPM, 580.000000, CLW
RAPID
GOTO / 64.9198685286, 47.4834575769, 52.0000000000
FEDRAT / 500.000000, MMPM
GOTO / 64.9198685286, 47.4834575769, 30.0000000000
GOTO / 116.0465613982, 47.4834575769, 30.0000000000
GOTO / 116.0465613982, 52.2596571980, 30.0000000000
GOTO / 64.9198685286, 52.2596571980, 30.0000000000
....
GOTO / 116.0465613982, 71.3644550275, 30.0000000000
GOTO / 64.9198685286, 71.3644552458, 30.0000000000
GOTO / 64.9198685286, 76.1406546486, 30.0000000000
GOTO / 116.0465613982, 76.1406546486, 30.0000000000
GOTO / 70.0000000000, 67.5000000000, 30.0000000000
GOTO / 70.0000000000, 67.5000000000, 25.0000000000
....
GOTO / 70.0000000000, 67.5000000000, 20.0000000000
GOTO / 70.0000000000, 67.5000000000, 15.0000000000
....
GOTO / 70.0000000000, 52.5000000000, 10.0000000000
....
GOTO / 70.0000000000, 67.5000000000, 10.0000000000
GOTO / 70.0000000000, 67.5000000000, 52.0000000000
SPINDL / OFF
$$-> END /
FINI
    
```

Generisana putanja alata pri obradi džepa vretenastim glodalom



(NU program ili G-kod)

```

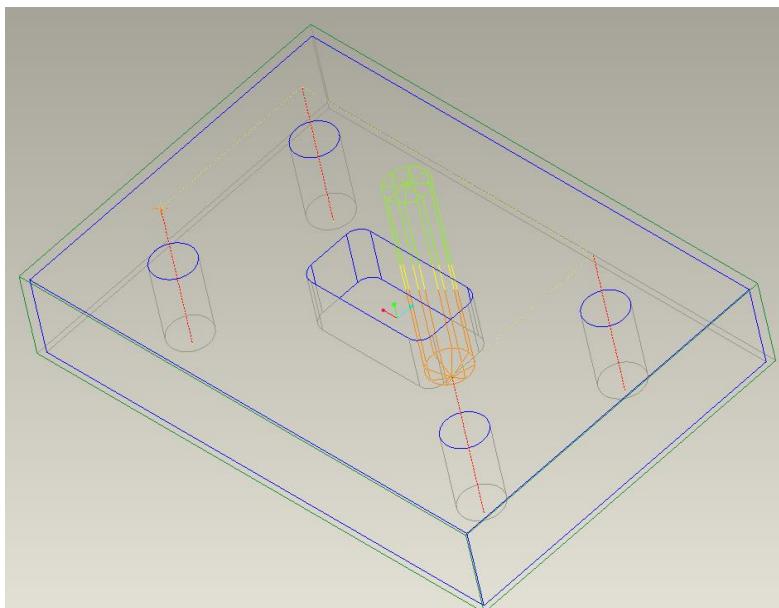
N5 G71
N10 ( / OBRADA)
N15 G0 G17 G99
N20 G90 G94
N25 G0 G49
N30 T1 M06
N35 S580 M03
N40 G0 G43 Z52. H1
N45 X64.92 Y47.483
N50 G1 Z30. F500.
N55 X116.047
N60 Y52.26
N65 X64.92
N70 Y57.036
N75 X116.047
N80 Y61.812
N85 X64.92
N90 Y66.588
N95 X116.047
N100 Y71.364
N105 X64.92
N110 Y76.141
N115 X116.047
N120 X70. Y67.5
N125 Z25.
.....
N185 Z20.
.....
N245 Z15.
.....
N305 Z10.
....
N365 Z52.
N370 M30
%
    
```

Slika 15. Prikaz generisanja putanje alata pri glodanju džepa: CL datoteka, grafički prikaz simulacije putanje alata i NU program (G-kod)

\$\$ SADRŽAJ CL DATOTEKE PRI BUŠENJU 4 OTVORA (ovaj red je komentar koji nije generisan)

```
$$* Pro/CLfile Version Wildfire 4.0 - M040
$$-> MFGNO / OBRADA
PARTNO / OBRADA
$$-> FEATNO / 489
MACHIN / UNCX01, 1
$$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUTPUT_ON_CENTER
UNITS / MM
LOADTL / 1
$$-> CUTTER / 15.000000
$$-> CSYS / 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
          0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000
SPINDL / RPM, 400.000000, CLW
RAPID
GOTO / 150.0000000000, 90.0000000000, 52.0000000000
CYCLE / DRILL, DEPTH, 36.506455, MMPM, 300.000000, CLEAR, 20.000000
GOTO / 150.0000000000, 90.0000000000, 32.0000000000
GOTO / 150.0000000000, 30.0000000000, 32.0000000000
GOTO / 30.0000000000, 30.0000000000, 32.0000000000
GOTO / 30.0000000000, 90.0000000000, 32.0000000000
CYCLE / OFF
SPINDL / OFF
$$-> END /
FINI
```

Generisana putanja alata pri **pri bušenju 4 otvora burgijom**



(NU program ili G-kod)

```
N5 G71
N10 ( / OBRADA)
N15 G0 G17 G99
N20 G90 G94
N25 G0 G49
N30 T1 M06
N35 S400 M03
N40 G0 G43 Z52. H1
N45 X150. Y90.
N50 G81 X150. Y90. Z-4.506
      R52. F300.
N55 Y30.
N60 X30.
N65 Y90.
N70 G80
N75 M30
%
```

Slika 16. Prikaz generisanja putanje alata pri bušenju 4 otvora burgijom:
CL datoteka, grafički prikaz simulacije putanje alata i NU program (G-kod)

Napomene:

1. Primeri primene CAD/CAM sistema (modul za projektovanje tehnologije) sa prikazima korisničkog interfejsa za interaktivni dijalog korisnika sa CAD/CAM sistemom dati su u literaturi: G. Mladenović, CAD/CAM Sistemi, **Praktikum za CREO PARAMETRIC**, Mašinski fakultet, Beograd, 2019. (Primeri su obuhvaćeni laboratorijskim vežbama od 5 do 10).
2. Pri obradi slobodnih krivih površina (skulptorske površine) jedan od problema koji se javlja su tačnost odmicanja alata (offset alata) i njegovo preklapanje sa izratkom (alat ide dublje). Obično se pri obradi ovih površina koristi loptasto glodalo (ili radijus zaobljenja) i proračunava se odmicanje alata u smeru normale na površinu koja se obrađuje. Nakon utvrđivanja pravca normale alat se za radijus odmiče u pravcu vektora normale na površinu. Više detalja o obradi skulptorskih površina biće na sledećim predavanjima (AT_10).