

4.13 Model završnog izveštaja

Univerzitet: Kragujevac
Fakultet: Mašinski fakultet u Kragujevcu

Školska godina: 2010/11



ZAVRŠNI IZVEŠTAJ o realizovanoj studentskoj praksi

Student: Ivan Mitrović

ID broj studenta: 79/2003

Godina studija: V

Modul: Proizvodno mašinstvo

Ime akademskog mentora: Prof. dr Vesna Mandić

Ime industrijskog mentora: ing. Marko Takovac

2011, Kragujevac

1. Opšte informacije

Student			
Ime studenta: Ivan Mitrović		Nivo studija:	
ID broj: 79/2003	E-mail: mitrovic.ivan23@gmail.com		Telefon: 064 9852573
Vremenski period prakse	Od: 03.06.2010 g.	Do: 30.06.2010 g.	Broj sati: +381 34 501 201
Akademska institucija			
Univerzitet: Kragujevac			
Fakultet: Mašinski fakultet u Kragujevcu			
Adresa: Sestre Janjić 6		Grad: Kragujevac	
Ime akademskog mentora: Prof. dr Vesna Mandić		Pozicija: Profesor	
E-mail: mandic@kg.ac.rs		Broj telefona:	
Institucija u kojoj se realizuje praksa (preduzeće/institucija)			
Ime: SCGM d.o.o.			
URL: www.scgm.com			
Adresa: 19.Oktobra 2		Grad: Kragujevac	
Ime industrijskog mentora: Marko Takovac		Pozicija:	
E-mail: office@scgm.com		Broj telefona: +381 34 304 560	

2. Zahvalnice

3. Uvod

Firma SCGM d.o.o. je osnovana 2004 g. i nastala je kao rezultat udruživanja iskustva u oblasti dizajna i projektovanja tehničkih proizvoda sa jedne strane i iskustva u projektovanju i izradi alata za brizganje plastike sa druge strane.

Po strukturi kapitala predstavlja mešovito nemačko-srpsko preduzeće i skoro celokupna delatnost projektovanja i proizvodnje okrenuta je nemačkom tržištu odnosno tržištu Evropske unije.

Biti u vrhu po kvalitetu i znanju – osnovna je filozofija poslovanja ove mlade, ali već dokazane firme. Danas SCGM d.o.o. predstavlja moderno preduzeće sa 50 zaposlenih.

Firma SCGM u svojoj delatnosti pokriva:

- oblast industrijskog dizajna i projektovanja proizvoda
- oblast izrade prototipova
- oblast izrade alata za prototipsku i serijsku proizvodnju
- proizvodnja artikala od plastike
- montaža sklopova

Dizajn i projektovanje

Oblast industrijskog dizajna i projektovanja proizvoda (sklopova) zasnovana je prevashodno putem saradnje sa partnerskom firmom HS CAD/CAE iz Nemačke (koja je ujedno i suosnivač firme).

Dugogodišnja iskustva u projektovanju pozicija i sklopova za najveće nemačke firme u domenu autoindustrije, medicinske industrije, farmaceutske industrije, optičarske industrije i dr. učinili su da SCGM može da bude pouzdan partner svakoj firmi koja želi da svoju poslovnu ideju realizuje na tržištu.

Projektovanje se vrši na modernim grafičkim stanicama (DELL).

Izrada prototipova

Mogućnosti izrade funkcionalnih prototipova za svaku ideju ili proizvod u razvoju pomoću:

- STL (stereolitografija)
- Livenjem pod vakumom
- Prototipskih alata
- 3D printera

Kvalitetni prototipovi predstavljaju polaznu osnovu za funkcionalno istraživanje. Oni su neophodni u pogledu bitnih odluka u dizajnu ili naknadnih neophodnih korekcija pre izrade alata

Izrada alata

U modernoj opremljenoj alatnici izradjuju se kvalitetni i precizni alati koji obezbeduju visok kvalitet proizvoda u procesu serijske proizvodnje.

Koristeći alatne mašine sa CNC upravljanjem, sa kadrom koji poseduje višegodišnja iskustva u alatničarstvu i koristeći savremene CAM tehnologije nastaju alati visokih performansi.

Mašinski park za izradu alata :

CNC glodalice:

Mikron VCP 1350 TNC 426

Mikron UM600 TNC 426

TOS FNG40 TNC 355

Konvencionalna glodalica:

MAHO 800

Erozimati:

Charmilles Roboform 20 CNC

Dieter Hansen 750C NC

Agie Agiematic C

Ostale:

BLOHM - brusilica

Jung HF50RD - brusilica

TOS SN40 B - strug



Prerada plastike

U pogonu za preradu plastike nalaze se savremene CNC mašine za preradu plastike inekcionim brizganjem i to delova od 1 do 450 gr.

U mogućnosti smo da preradjujemo veliki broj tehničkih plastomera (PA, PC, ABS, POM, PBT) kao i plastomera za široku potrošnju (PP, PE i dr).

Moderne mašine i korišćenje aktuelnih tehničkih baza svih renomiranih proizvođača plastomera omogućuju, uz kvalitetne alate, obezbeđivanje visokog kvaliteta tehnički složenih komponenti.

Masinski park inekcionog brizganja :

- Battenfeld Plus 350
- Battenfeld HM40/130
- Battenfeld TM 1000/350
- Battenfeld BK 1300/315
- Battenfeld BK 2500/800
- KM 160/180/55 CXZ (dvokomponentno brizganje).



4. Ciljevi PSP i metodologija

Razvoj računara i mikroprocesora u drugoj polovini prošlog veka doprineo je razvoju niza novih tehnika i tehnologija kojima je u znatnoj meri unapređena industrijska proizvodnja. Računarstvo i informacione tehnologije su uticali na automatizaciju procesa, postupaka i aktivnosti u svim oblastima proizvodnje.

Cilj ovog rada je da se na praktičnom primeru iskažu prednosti računarom podržane proizvodnje (CAM), odnosno projektovanja tehnologija izrade proizvoda pomoću računara (CAPP). Projektovanje tehnoloških postupaka pomoću računara podrazumeva automatsko prepoznavanje geometrijskih modela proizvoda, pre svega u tehnološkom smislu, odnosno automatsko generisanje tehnološkog postupka, sa svim neophodnim elementima, parametrima i vrednostima za izradu proizvoda. Postoji veliki broj softvera razvijenih za ovu namenu (*EXAPTPlus, MasterCAM, PowerMILL, SolidCAM, CATIA, EdgeCAM, ESPRIT SolidCAM, SmartCAM, FeatureCAM, ...*), kao i veliki broj CAD/CAM sistema u kojima se generišu i iz kojih se eksportuju geometrijski modeli proizvoda (*AutoCAD, Autodesk Inventor, Pro/Engineer, Unigraphics, Acis SAT, CATIA, SolidWorks, SolidEdge, Parasolid, Mechanical Desktop, 3D Studio, ...*).

Ovde će biti prikazane mogućnosti softvera *Delcam PowerMILL* i pomoću njega izvršeno definisanje strategije obrade i generisanje NC koda, odnosno biće izrađena tehnološka dokumentacija potrebna za obradu dela alata za livenje plastike. Inače alat je namenski rađen u firmi SCGM za izradu dela kućišta inhalatora koji proizvodi Prizma Kragujevac. Na ovakvom delu, zbog svoje složenosti i komplikovane geometrije, moguće je uočiti sve prednosti pomenutih tehnologija. Može se reći da bi njegoa izrada konvencionalnim tehnologijama bila nezamisliva.

Stalni zahtevi tržišta za novim proizvodima, skraćenje vremena isporuke, promenljiva veličina serije, a sa druge strane bolje ovladavanje proizvodnim i drugim procesima, povećanje kvaliteta izrade i smanjenje cene koštanja proizvoda, zahtevaju neophodnost postojanja proizvodnih sistema koji u kratkom roku mogu da odgovore na te potrebe. Da bi odgovorili na ove zahteve proizvodni sistemi moraju posedovati visok stepen fleksibilnosti i automatizacije u isto vreme.

Istovremeno povećanje nivoa automatizacije i fleksibilnosti proizvodnih procesa moguće je ostvariti primenom kompjuterskih tehnologija. Osnovu ovih sistema čine softverski alati koji se vezuju za pojedine faze razvojnog ciklusa proizvoda:

- CAD (*Computer Aided Design*) - projektovanje pomoću računara,
 - CAM (*Computer Aided Manufacturing*) - računarom podržana proizvodnja,
 - CAE (*Computer Aided Engineering*) - računarom podržan inženjering,
- ili skraćeno CAD/CAM/CAE alati.

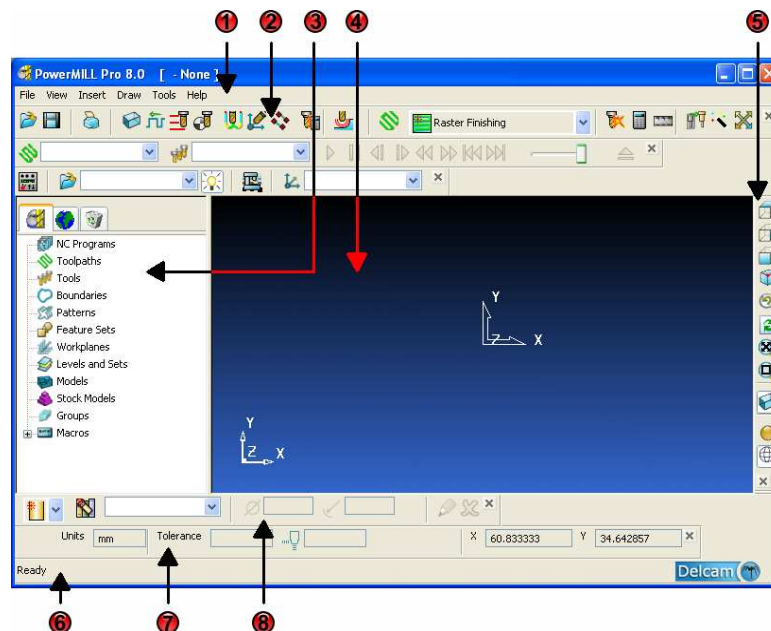
U okviru ove prakse posebna pažnja je posvećena razvoju novog proizvoda i primenama savremenih tehnologija virtuelnog inženjeringa, posebno u delu CAM tehnologija.

5. Opis posla

Cilj prakse je bio ovladati projektovanjem tehnološkog postupka izrade dela alata za injekciono brizganje plastike koji poseuje veoma komplikovanu geometriju, što podrazumeva definisanje strategije za njegovu obradu i simulaciju procesa, a zatim i generisanje NC koda i potrebne tehnološke dokumentacije. Da bi uspešno izvršili ove zadatke u PowerMILL-u predhodno je potrebno definisati bitne parametre koji obezbeđuju dobijanje zadovoljavajućih rezultata.

Korišćeni softverski sistem

PowerMILL je jedan od vodećih svetskih CAM softvera za izbor strategije obrade i generisanje NC koda pri obradi komplikovanih oblika i površina kakve se često sreću pri izradi alata za livenje plastike, ili u automobilskoj i avio industriji. Prvenstveno je namenjen za obradu metala glodanjem, međutim takođe se može koristiti pri izradi strategija bušenja. Ovaj softver poseduje veliki izbor strategija mašineranja, kako za grubu tako i za finu obradu. Podržava žičane, površinske i solid CAD modele kreirane u drugim Delcam-ovim softverima za modeliranje ili u nekom standardnom formatu kao što je IGES. Uz pomoć PS-Exchange prevodioca moguće je direktno uvesti i modele proizvoda kreirane u drugim softverima kao što je CATIA. Pored generisanja NC programa, PowerMILL omogućava i simulaciju procesa obrade kao i ispitivanje eventualne kolizije putanja alata sa modelom proizvoda, alatima za stezanje i nosačem alata. To u znatnoj meri olakšava sam proces izrade jer se eventualne greške ispravljaju još u fazi generisanja putanja alata.



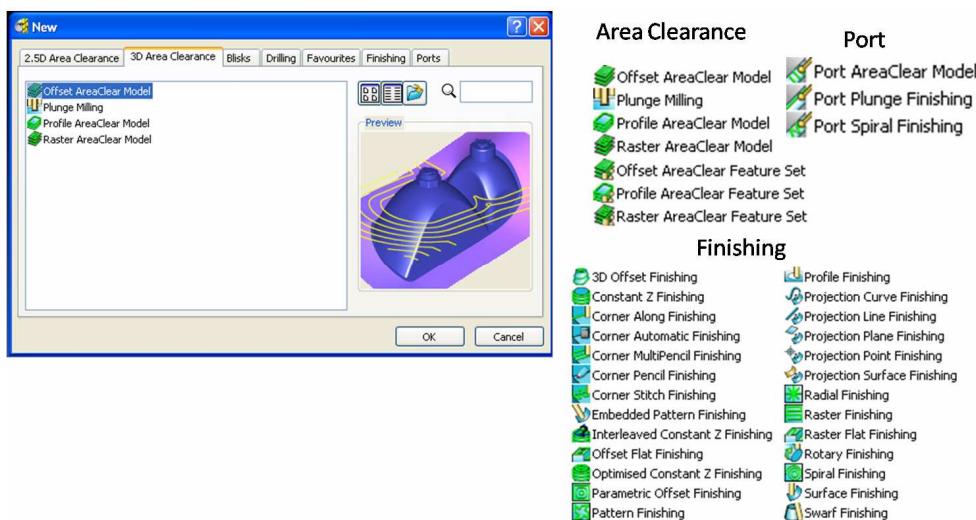
Slika 1. Prozor koji se otvara pokretanjem PowerMILL-a

Radno okruženje PowerMILL-a sastoji se iz sledećih celina (slika 1):

1. Menu bar – omogućava pristup velikom broju menija kao što su File, View, Insert, Draw, Tools i Help. Pokretanjem menija, kao što je na primer File otvara se lista komandi i pod-menija s njim u vezi.

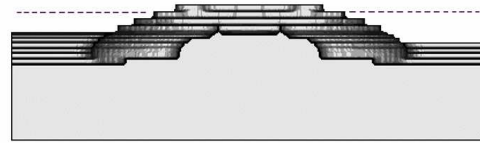
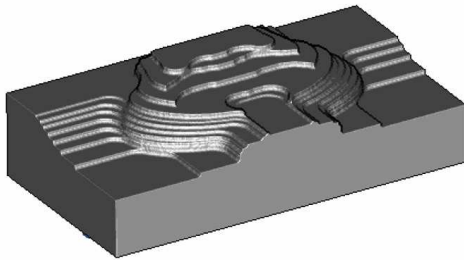
2. *Main toolbar – sadrži brz pristup najčešće upotrebljivanim komandama u PowerMILL-u.*
3. *Explorer – omogućava kontrolu nad svim entitetima PowerMILL-a. U ovom prozoru se nalazi stablo sa svim relevantnim podacima o generisanim putanjama, korišćenim alatima, NC programima i mnogim drugim parametrima koji se definišu tokom procesa maširanja.*
4. *Graphic window – predstavlja radnu površinu na ekranu. U njemu su vizuelno prikazani svi podaci koji se učitavaju ili generišu u postupku izrade strategije obrade (model, alati, putanje alata, koordinatni sistemi, simulacija procesa itd.).*
5. *View toolbar – omogućava brz pristup najčešće korišćenim pogledima u PowerMILL-u. Tu se mogu izdvojiti pogledi duž glavnih osa, izometrijski pogledi, kao i opcije za više načina vizuelizacije modela (prikaz žičanog modela, izražavanje livačkih nagiba, malih radijusa itd.).*
6. *Status bar – prikazuje informacije u vezi sa procesima koji su u toku. Na primer to može biti kratak opis detalja koji se nalazi ispod kursora, ili informacija o izračunavanju putanja alata koja je u toku.*
7. *Information toolbar – prikazuje neka od trenutnih podešavanja i služi prvenstveno kao podsetnik.*
8. *Tool toolbar – olakšava brzu izradu alata u PowerMILL-u.*

U zavisnosti od mogućnosti i konfiguracije mašine na kojoj se izvodi obrada, PowerMILL nudi mogućnost velikog izbora strategija za 2.5, 3 ili 5-osnu obradu (slika 2). Koja će strategija biti odabrana zavisi od konkretnih uslova obrade i složenosti dela koji se obrađuje.



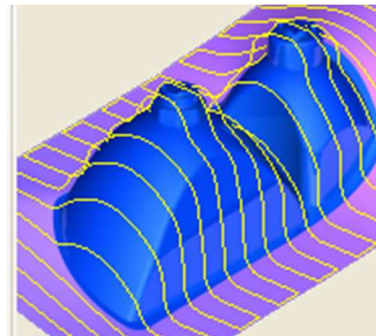
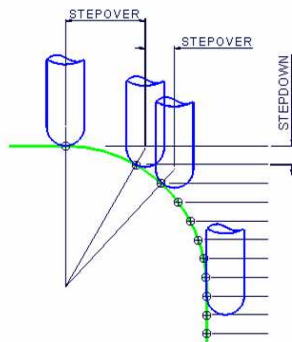
Slika 2. Strategije obrade u PowerMILL-u

Osnovne strategije za 3D grubu obradu (izrada dela, koji će ovde biti izložen, vrši se na 3-osnoj CNC glodalici) su takozvane 3D Area Clearance strategije. Ova vrsta obrade slična je 2.5D obradi i zasniva se na uklanjanju materijala po površini koja se nalazi na određenoj Z-visini. Nakon potpune obrade te površine alat se spusti za definisanu vrednost po Z-osi i nastavlja obradu naredne površine (slika 3). Navedeni proces se ponavlja dok se ne obradi poslednja površina.



Slika 3. Deo obrađen Area Clearance strategijom

Za finu obradu postoji veliki izbor različitih strategija, ali dve osnovne koje se najviše primenjuju su *Constant Z Finishing* i *Raster Finishing*. *Constant Z* se najviše koristi za finu obradu delova čije su površine za obradu bliže vertikalnom pravcu. To je iz razloga što se *Constant Z* strategijom, nakon jedne obrađene površine glodalo pomera na sledeću za definisanu vrednost sa *Stepdown* parametrom po Z-osi (slika 4). Kako glodalo prelazi na ravnije (horizontalne) površine povećava se razmak između putanja alata (*Stepover*) dok u jednom trenutku putanje ne postanu suviše razmaknute što prouzrokuje loše obrađenu površinu.



Slika 4. Princip Constant Z Finishing obrade i Raster Finishing strategija

Zbog toga se za finu obradu ravnih površina koriste *Raster Finishing* i *Flat Finishing* strategije. *Spiral Finishing* služi za obradu površina kružnog oblika, a postoji i više vrsta *Corner* strategija za obradu uglova.

Tehnološka analiza problema

Relativno kretanje sečiva alata po konturi obratka u obradnom procesu, izvodi se izvršavanjem *NC* programa od strane *CNC* upravljačkog sistema. *NC* program sadrži sve instrukcije za odvijanje procesa rezanja i kao takav on je nosilac tehnološkog znanja projektanta tehnologije.

Analiza modela proizvoda, odnosno radioničkog crteža je prva faza u izradi *NC* programa. Veoma detaljno se analiziraju sve karakteristike i podaci dati na radioničkom crtežu, koji mora da sadrži kompletne geometrijske i tehnološke podatke o materijalu obratka, vrsti priprema (odlivak, otkovak, zavareni pripremak), termičkoj obradi i površinskoj zaštiti. Pored toga, moraju biti definisane sve geometrijske mere sa tolerancijama, (sistem kotiranja – apsolutni, inkrementalni, kombinovani), tačnost oblika (paralelnost, cilindričnost, upravnost, ravnost), ponovljivost geometrijskih elemenata (simetričnost, elementi u razmeri, preslikavanje), definisan kvalitet obrađene površine i

eventualno dat tehnološki opis o montaži ili načinu izvođenja neke tehnološke operacije na obratku. Posle detaljne analize radioničkog crteža obratka, metodologija izrade NC programa odvija se kroz izradu plana stezanja, plana obrade, plana alata, plana pripreme alata, i automatskog generisanja NC-koda na osnovu geometrijskog modela obratka.

Planom stezanja se najpre odredi koliko je stezanja potrebno za kompletnu obradu, a zatim se za svako stezanje određuje međusobni položaj obratka i radnog stola mašine. Planom stezanja se uspostavljaju geometrijski odnosi između referentnih tačaka alata, obratka, nulte tačke CNC mašine, a istovremeno se određuje međusobni položaj koordinatnog sistema obratka i koordinatnog centra mašine.

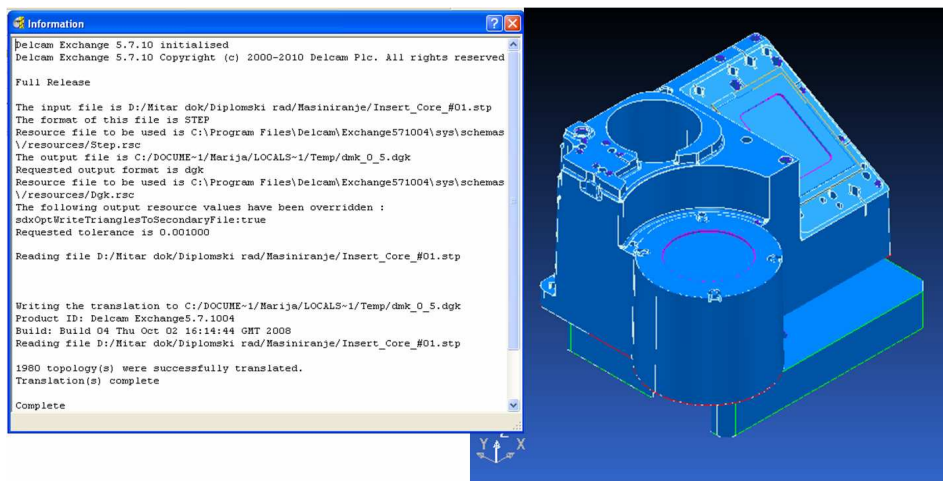
Plan obrade se definiše za svako stezanje posebno i u okviru njega se određuju strane i površine za obradu, redosled tehnoloških operacija i njihovi geometrijski elementi, elementi režima rezanja (brzina pomoćnog kretanja i brojevi obrtaja glavnog vretena za svaku tehnološku operaciju), uspostavljaju relacije tehnoloških operacija i alata, kao i uslovi pod kojima se odvija proces rezanja (npr. sa hlađenjem ili bez hlađenja). Svi ovi elementi treba da obezbede dobijanje završne geometrije obratka sa tehnološkim karakteristikama definisanim radioničkim crtežom. Tehnološke operacije se navode u planu obrade onim redosledom kojim CNC mašina alatka u realnom obradnom procesu treba da ih izvršava.

Plan alata sadrži sve podatke za potpuno dimenziono i tehnološko definisanje alata koji izvršavaju operacije sa tehnološkim atributima iz plana obrade. U planu alata postoji identifikacioni kod, naziv i specifikacija svih elemenata seta alata (nosač, nastavak, reducir, stezni pribor, rezni alat) koji ga sačinjavaju, sa geometrijskim merama pojedinačnih elemenata i seta alata kao celine.

U daljem toku rada biće definisani svi značajni tehnološki parametri koji prethode izradi NC programa za upravljanje procesom obrade, generisanje NC-koda i na kraju će biti prikazana simulacija obrade.

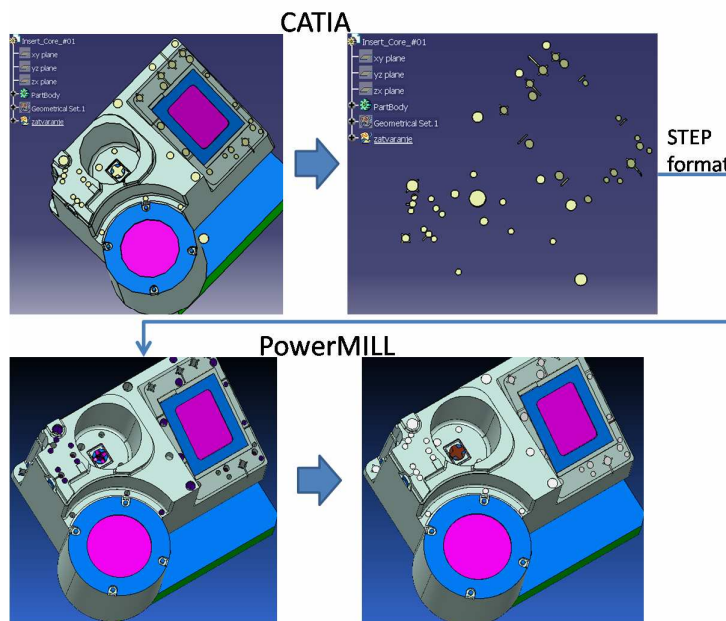
Geometrijski model predmeta obrade

Predmet koji se obrađuje je deo alata za livenje plastike, tzv. *Insert Core* ploča. Plastični odlivak, za čiju izradu je namenjen ovaj alat, je deo kućišta inhalatora, rađenog za Prizmu, koji ima veoma složenu geometriju što samim tim iziskuje i komplikovanu geometriju kalupnih šupljina alata. Geometrijski model *Insert Core* ploče je izrađen u CAD/CAM softveru *CATIA*. Uz pomoć *Exchange* softvera geometrijski model, koji je snimljen u *STEP* formatu, se prevodi u radno okruženje *PowerMILL*-a (slika 5).



Slika 5. Uvođenje i izgled geometrijskog modela u PowerMILL Program studentske prakse

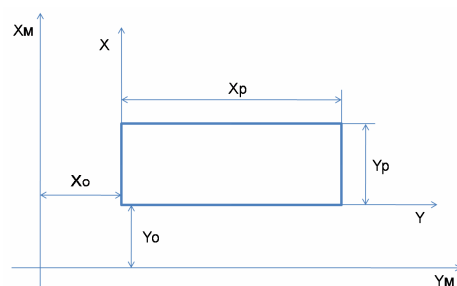
postupcima (bušenjem, elektroerozionom obradom i dr.). Korisno je, pre pristupanja generisanju putanja kreirati površine kojima će se ovakvi segmenti zatvoriti, da ih ne bi glodalo nepotrebno obrađivalo, što može izazvati oštećenja na predmetu obrade. Neke jednostavnije površine mogu se kreirati i u *PowerMILL*-u, ali pogodnije je to uraditi u nekom od softvera za *CAD* modeliranje i zatim takav skup površina uvesti sa geometrijskim modelom. U konkretnom slučaju površine su generisane u softveru *CATIA* i uvezene u *STEP* formatu u *PowerMILL* na isti način kao i geometrijski model (slika 8).



Slika 8. Uvoženje površina u geometrijski model

Koordinatni sistemi

Nakon uvoženja modela potrebno je definisati njegovu orijentaciju u prostoru, odnosno treba kreirati koordinatni sistem koji će najviše odgovarati datom problemu. Kod *CNC* mašina alatki se primenjuje u glavnom Dekartov pravougli koordinatni sistem za jedinstvenu orijentaciju kretanja alata i drugih pokretnih modula. Položaj i orijentacija koordinatnog sistema je vrlo bitna stavka prilikom generisanja putanja alata jer se u odnosu na njega definišu sva kretanja alata tokom obrade kao i plan stezanja priprema na radnom stolu mašine. Takođe u odnosu na koordinatni sistem se vrši i pomeranje nulte tačke. Pomeranjem nulte tačke ostvaruje se kompenzacija razlike koordinata nulte tačke mernog sistema mašine i programske nulte tačke. Na slici 9 dati su osnovni elementi za pomeranje nulte tačke.

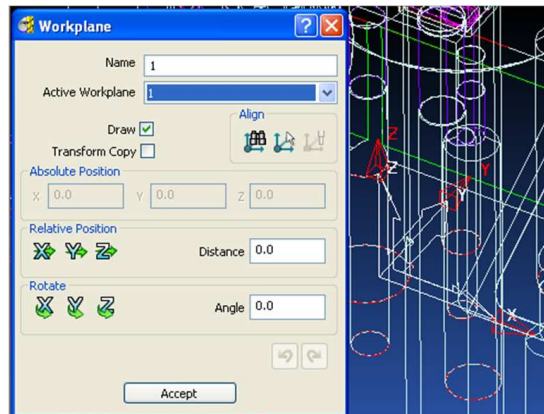


Zahtevana vrednost pomeranja u pravcu osa X i Y iznosi:

$$X_z = X_p + X_0 \quad Y_z = Y_p + Y_0$$

Slika 9. Pomeranje nulte tačke

Generalno, koordinatnih sistema možemo imati koliko i stezanja obratka, pošto je za svako stezanje potreban poseban program obrade, a time i koordinatni sistem. Postupak kreiranja koordinatnog sistema je sledeći. U *Explorer*-u DTM selektiramo *Workplane* pojavljuje se padajući meni u kome izaberemo opciju *Create Workplane* (slika 10). Nakon kreiranja, potrebno je aktivirati formirani koordinatni sistem, što se izražava njegovim prelaskom u crvenu boju.



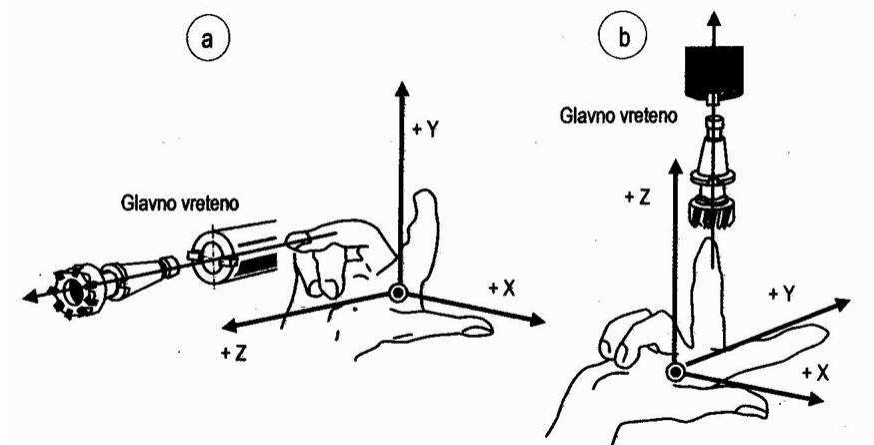
Slika 10. Formiranje koordinatnog sistema

Trenutni položaj koordinatnog sistema u odnosu na geometrijski model može se videti ako u *Explorer*-u DTM selektiramo *Models – Properties* (slika 11). Na osnovu ovih vrednosti mogu se odrediti željena pomeranja po odgovarajućim osama. Ona se unose u formirani koordinatni sistem tako što se upiše vrednost potrebnog pomeranja u okvir opcije *Distance* (slika 10) i odabere pomeranje po željenoj osi. U ovom slučaju nula koordinatnog sistema će biti postavljena u centru usadnog dela i na sredini maksimalne visine obrađivanog dela.

Model: Insert_Core_#01			
	X	Y	Z
Minimum:	-72.00000	-113.00000	-36.00000
Maximum:	144.00000	72.00000	129.00000
Components: 4			
Component	Level	Type	Colour
			Red Green Blue
st16911	0	Surface	255 0 0
st32234	0	Surface	207 241 232
st16911~2	0	Surface	255 0 0
st32234~2	0	Surface	207 241 232

Slika 11. Podaci o položaju modela u odnosu na formirani koordinatni sistem

Orientacija pojedinih osa se može podešavati tako što se u okvir opcije *Angle* upiše vrednost ugla za koju želimo da rotiramo koordinatni sistem i odabere se osa oko koje se vrši rotacija. Orientacija osa koordinatnog sistema se uspostavlja pravilom "prsta desne ruke" (slika 12). Srednji prst desne ruke uvek pokazuje osu glavnog vretena.



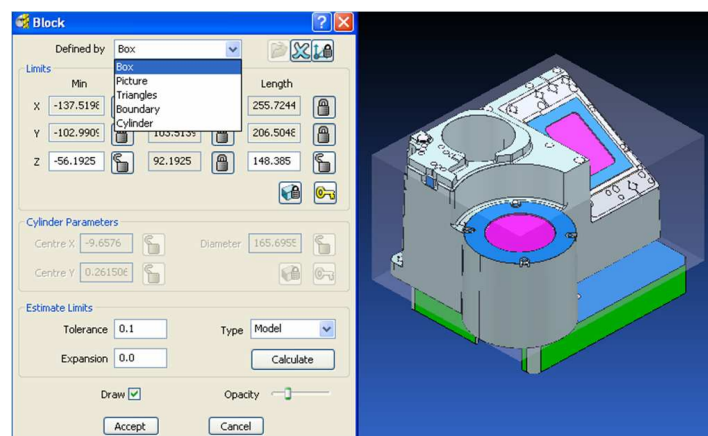
Slika 12. Orjentacija osa kod koordinatnog sistema

Postoji pravilo da se uvek z-osa poklapa sa osom glavnog vretena, odnosno sa osom alata, dok su ose x i y horizontalne. Duža stranica modela se, po pravilu, orijentiše duž x-ose, koja je usmerena s leva ka desnoj strani radnog stola mašine.

Prilikom formiranja ostalih koordinatnih sistema korišćen je isti položaj nulte tačke samo je menjana orijentacija koordinatnih osa u zavisnosti od konkretne obrade.

Definisanje pripremk

Pokretanjem komande *Block* iz *Main Toolbar*-a otvara se prozor u kome definišemo oblik i dimenzije pripremk od koga se dobija željeni deo (slika 13). U zavisnosti od oblika pripremk i oblasti koja se obrađuje postoji više načina za njegovo definisanje. Najčešće se kao pripremk koriste oblici paralelopipeda (*Box*) i cilindra (*Cylinder*). Ukoliko se obrađuje celokupna zapremina predmeta obrade, pripremk se može jednostavno definisati korišćenjem opcije *Calculate*. Pokretanjem ove opcije softver izračunava dimenzije pripremk u odnosu na gabaritne mere geometrijskog modela. Često je potrebno definisati pripremk sa više lokalizovanim ograničenjima da bi se omogućila izrada strategije obrade za neki specifičan segment obratka. Ukoliko je pripremk nepravilne geometrije (otkovak, odlivak i sl.) i ako posedujemo njegov 3D model (koji se može dobiti nekom od metoda reverznog inženjeringa), takav model se može uvesti kao pripremk u *PowerMILL* pomoću opcije *Triangles*. Prilikom definisanja pripremk koristimo i razna ograničenja (*Boundaries*) kojima se putanje alata ograničavaju na željenu oblast. Njihovo kreiranje biće pojašnjeno na konkretnim primerima.

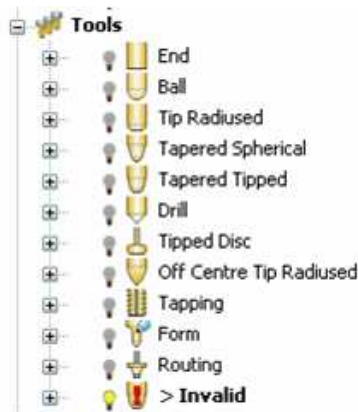


Slika 13. Generisanje pripremk

Izbor alata

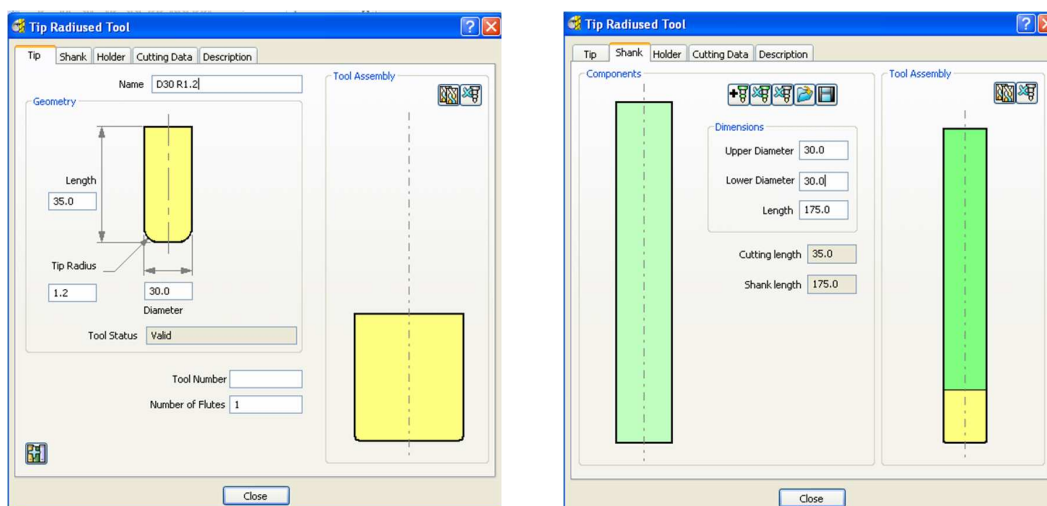
Jedan projekat može sadržati mnogo alata kojima se vrši obrada radnog komada. Koji će alat biti upotrebljen zavisi od vrste obrade (gruba ili fina), geometrije radnog komada, vrste materijala koji se obrađuje, ali i raspoloživih alata u magacinu. Određivanje alata u obradi glodanjem podrazumeva izbor standarda alata, dimenzija, tipa i materijala alata. Izbor standarda alata se vrši na osnovu dimenzija i karakteristika predmeta obrade i tipa mašine na kojoj se vrši obrada. Prečnik glodala ima višestruk uticaj na proces glodanja, sa povećanjem prečnika smanjuje se debljina strugotine i opterećenje sečiva, povećava se odvođenje toplote a sa time se povećava postojanost alata.

U *PowerMILL*-u alati su prikazani na stablu *Explorer* menija, na grani *Tools*. DTM na *Tools – Create Tool*, možemo izabrati tip glodala koj ćemo koristiti za obradu (slika14). Glodala koja su prikazana *Explorer*-u nisu vezana za konkretan program obrade već ona predstavljaju bazu iz koje se mogu pozvati za konkretnu strategiju.



Slika 14. Tipovi glodala

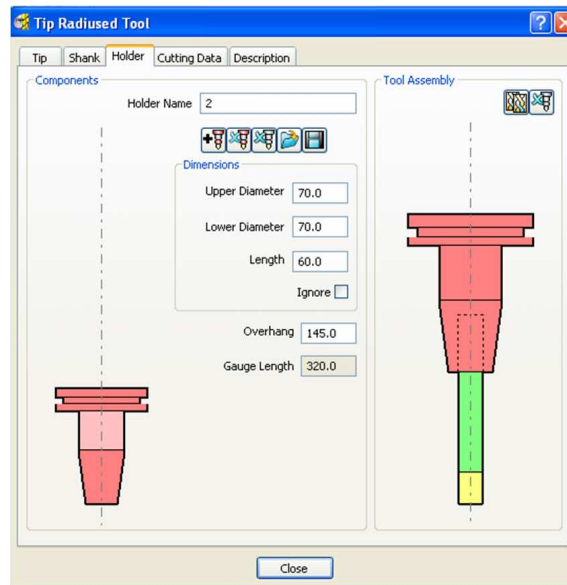
Kada se odabere tip glodala otvara se prozor u kome se definiše njegova geometrija. Na primer za izbor *Tip* glodala prozor izgleda kao na slici 15. Tu se definiše naziv glodala, njegov prečnik i dužina. Podaci koji su korišćeni za ovaj rad uzimati su iz kataloga proizvođača reznih alata *SANDVIK Coromant* i to za grubu obradu alati sa reznim pločicama *CoroMill 390*, a za finu jednodelni alati od tvrdog metala *CoroMill Plura*.



Slika 15. Definisavanje geometrije i tela glodala

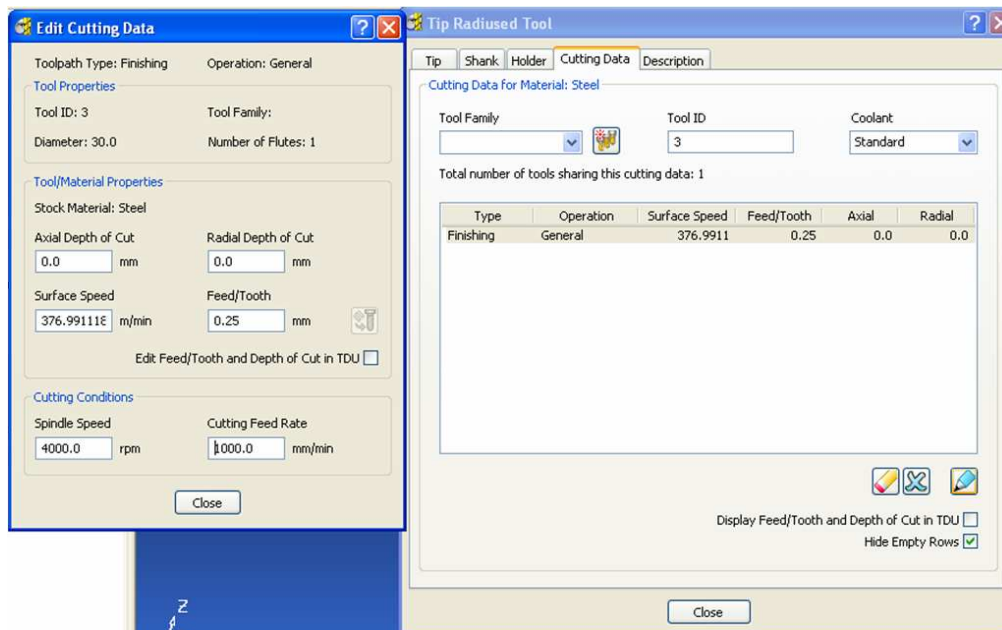
Nakon definisanja osnovne geometrije reznog dela alata, opcijom *Shank* može se definisati drška alata.

Ukoliko posedujemo podatke o nosaču alata, oni se takođe mogu definisati i to opcijom *Holder* (slika 16). Podaci o nosaču alata mogu biti od velike važnosti pri ispitivanju eventualne kolizije sa predmetom obrade.



Slika 16. Definisanje nosača alata

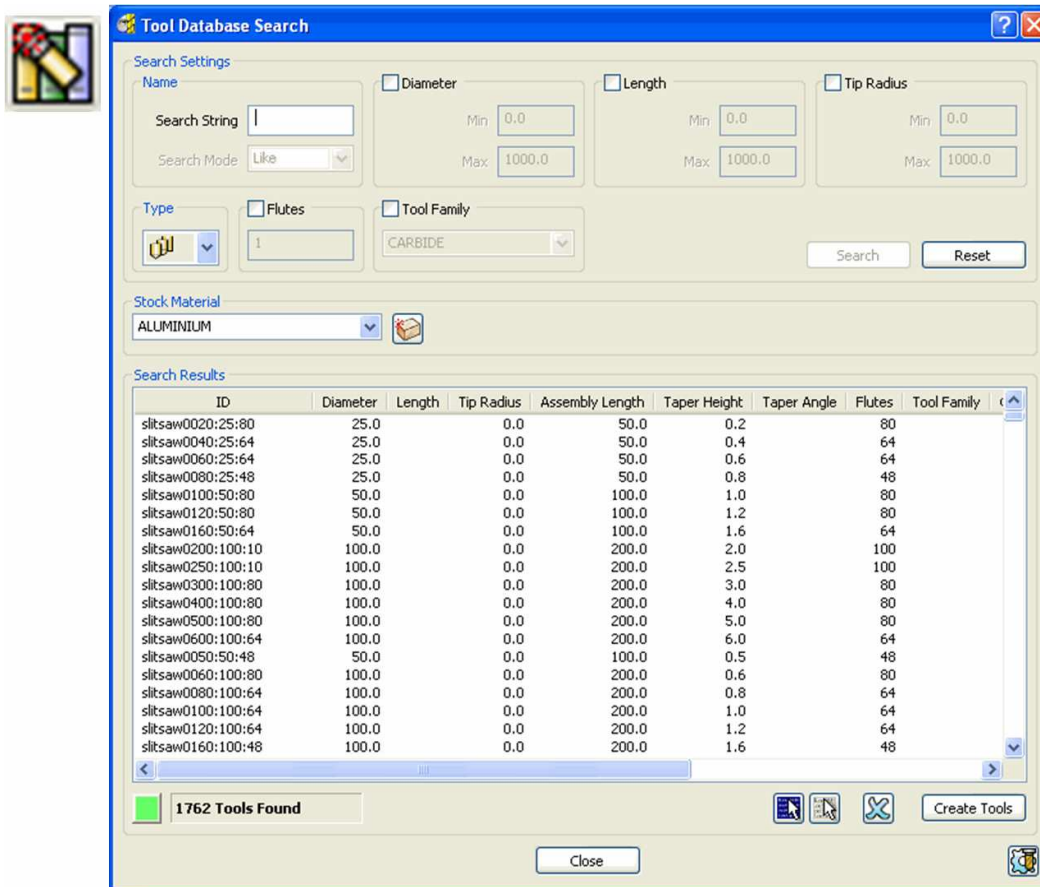
Prilikom definisanja parametara alata takođe se mogu definisati i režimi obrade za dato glodalo pomoću opcije *Cutting Data* (slika 17). Ovde se mogu definisati parametri kao što su broj obrtaja, brzina pomoćnog kretanja, dubina rezanja i sl.



Slika 17. Definisanje režima obrade za glodalo

Ovako definisane alate možemo ubaciti u jedinstvenu bazu podataka (slika 18) čime se znatno olakšava rad i skraćuje vreme izrade projekta jer se ne moraju iznova

definisati isti alati. Pokretanjem *Tool Database Serch* i unošenjem potrebnih parametara alata iščitavaju se raspoloživa glodala iz baze podataka.



Slika 18. Baza podataka alata

Alati imaju sopstveni *Toolbar* koji se nalazi u donjem delu ekrana (slika 19). U njemu se može ostvariti brz pristup kreiranju alata, bazi podataka sa alatima, a sadrži i osnovne podatke o trenutno aktivnom alatu.



Slika 19. Paleta alata za alate

Režimi obrade

Režimi obrade su bitna stavka pri projektovanju tehnologije za obradu metala glodanjem. Postoji više načina za njihovo definisanje. Njihove vrednosti se mogu dobiti proračunima po obrascima koji se mogu naći u odgovarajućim priručnicima, usavajanjem vrednosti brzine rezanja i koraka po zubu iz odgovarajućih tabela ili na osnovu iskustva tehnologa. Proizvođači reznih alata takođe daju svoje preporuke za režime obrade u zavisnosti od tvrdoće materijala koji se obrađuje i vrste reznih pločica. Tako na primer proizvođač reznih alata *SANDVIK Coromant* daje tablice reznih pločica sa preporučenim vrednostima brzine rezanja i koraka po zubu u zavisnosti od vrste obrađivanog materijala, njegove tvrdoće, i uslova obrade (slika 20).

ISO/ANSI

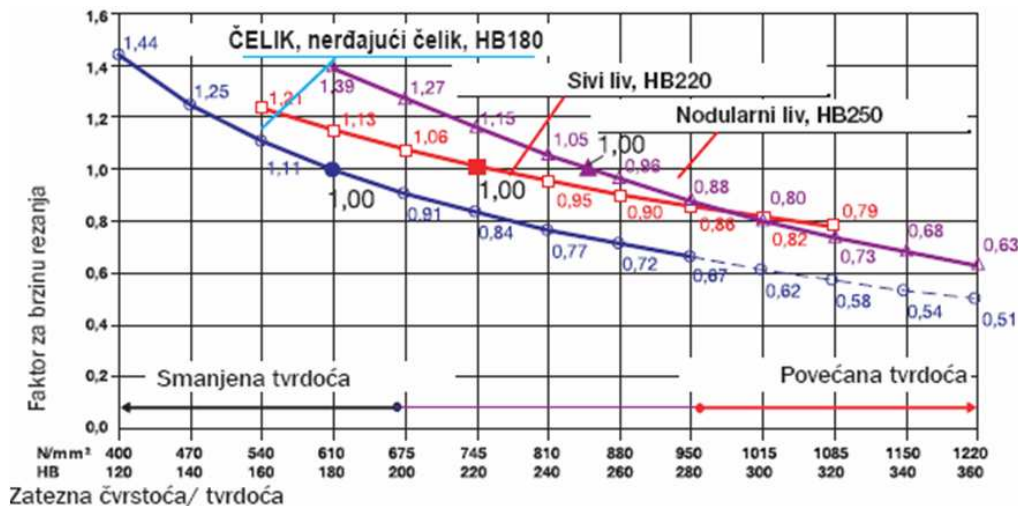
P	N	Ugaono glodanje – CoroMill® 390
M	S	Veličine pločica 11 i 17 mm.
K	H	Kvaliteti - preporuke režima rezanja - polazne vrednosti

GLODANJE

ISO/ANSI	L=Laka M=Srednja H=Teška	DOBRI USLOVI OBRABE			Prvi izbor SREDNJI USLOVI OBRABE			TEŠKI USLOVI OBRABE		
		Kataloška oznaka	V_c	f_z	Kataloška oznaka	V_c	f_z	Kataloška oznaka	V_c	f_z
P	L	R390-11T308M-PL 4230	320	0.08	R390-11T308M-PL 1030	275	0.08	R390-11T308M-PL 4240	270	0.10
		R390-11T308M-PM 4230	320	0.10	R390-11T308M-PM 1030	270	0.12	R390-11T308M-PM 4240	270	0.12
	M	R390-170408M-PM 4230	320	0.17	R390-170408M-PM 1030	265	0.15	R390-170408M-PM 4240	265	0.15
		R390-170408M-PH 4240	260	0.20	R390-170408M-PH 4240	260	0.20	R390-170408M-PH 4240	260	0.20
M	L	R390-11T308E-ML 2030	275	0.1	R390-11T308E-ML 2030	275	0.10	R390-11T308E-ML 2040	260	0.10
		R390-11T308M-PM 1030	290	0.12	R390-11T308M-MM 2030	270	0.13	R390-11T308M-MM 2040	260	0.13
	M/H	R390-170408M-PM 1030	285	0.15	R390-170408M-MM 2030	270	0.15	R390-170408M-MM 2040	255	0.15

Slika 20. Preporuke za režime obrade

Ukoliko za materijal koji obrađujemo ne postoje podaci, vrednosti iz tablice se mogu korigovati usvajanjem faktora iz odgovarajućeg dijagrama (slika 21). Na pimer podaci u tabeli su za čelik tvrdoće 180HB. Ako je tvrdoća obrađivanog materijala 250HB, kao što je tvrdoća alatnog čelika C4751 korišćenog u ovom slučaju, faktor za brzinu rezanja iznosi 0.75. Ta vrednost se pomnoži sa vrednošću brzine rezanja iz tablice $V_c=265\text{m/min}$ i dobije se brzina rezanja za dati materijal koja iznosi oko 200 m/min.



Slika 21. Korigovanje brzine rezanja

Broj obrtaja glodala i brzina pomoćnog kretanja se računaju prema sledećim obrascima:

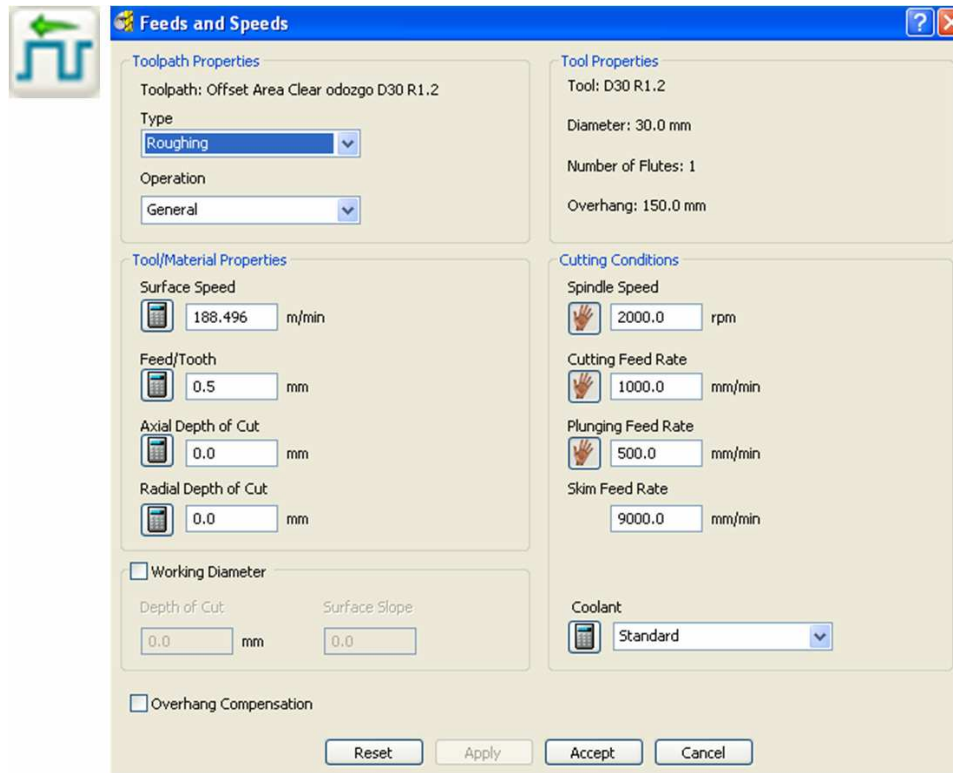
$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c}$$

$$V_f = Z_n \times n \times f_z$$

gde je V_c – brzina rezanja u m/min, n – broj obrtaja glodala, D_c – prečnik glodala u mm, Z_n – broj zuba glodala, a f_z – korak po zubu.

Tako da se za glodalo prečnika 30mm može usvojiti broj obrtaja $n=2000$ o/min, a brzina pomoćnog kretanja $V_f=1000$ mm/min.

U osnovnom meniju u *PowerMILL*-u izborom komande *Feeds and Speeds* otvara se prozor u kom definišemo vrednosti broja obrtaja vratila (*Spindle Speed*) i brzinu pomoćnog kretanja (*Cutting Feed Rate*), odnosno brzinu rezanja (*Surface Speed*) i korak po zubu (*Feed/Tooth*) (slika 22).

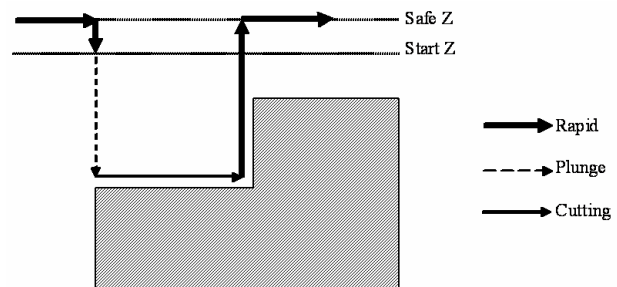


Slika 22. Režimi obrade

Takođe se definiše brzina prodiranja glodala u materijal (*Plunging Feed Rate*) kao i brzina brzih hodova (*Skim Feed Rate*). Kada se zada vrednost pomoćnog kretanja program automatski generiše vrednost brzine prodiranja alata u materijal umanjenu za vrednost faktora prodiranja (*Plunge Factor*), međutim korisnik može sam definisati ovu vrednost pa je ovde usvojena brzina od 500 mm/min. Za brze hodove se obično usvaja maksimalna vrednost koju mašina podržava zbog smanjenja ukupnog vremena obrade. U ovom slučaju je to 9000 mm/min. Ovde se nalaze i podaci o aktivnoj strategiji obrade i alatu kojim se vrši obrada.

Sigurnosne ravni

Selektovanjem opcije *Rapid Move Heights* otvara se prozor (slika 23) u kome definišemo oblasti u kojima se alat brzo kreće, da bi prešao rastojanje između dve tačke za što kraći period, bez kontakta sa delom koji se obrađuje ili elementima steznog alata.



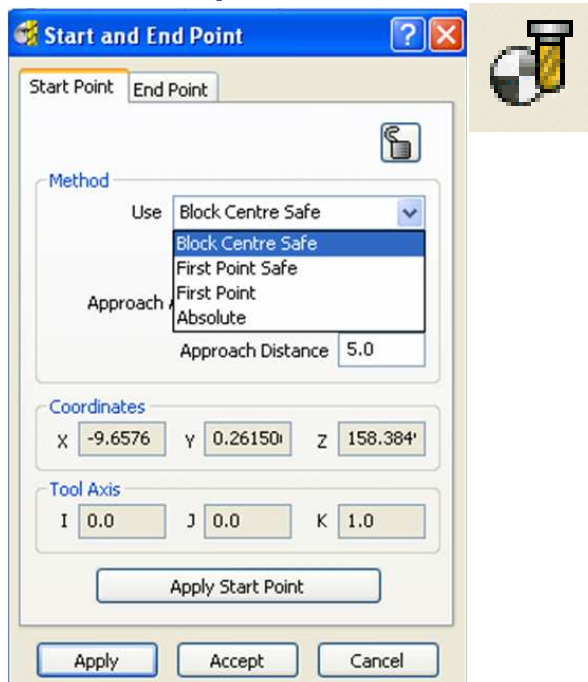
Slika 23. Sigurnosne ravni

Safe Z je visina kojom se alat vraća brzim hodom iznad dela koji se obrađuje. Start Z je visina na kojoj alat sa brzog hoda prelazi na brzinu prodiranja u materijal.

Ovo se odnosilo na apsolutni (*Absolute*) tip brzih hodova. Izborom opcije Skim brzi hodovi se izvode na visini koja se podešava inkrementalno iznad obrađene površine, a prodiranje u materijal počinje na inkrementalnoj Start Z.

Pozicioniranje alata

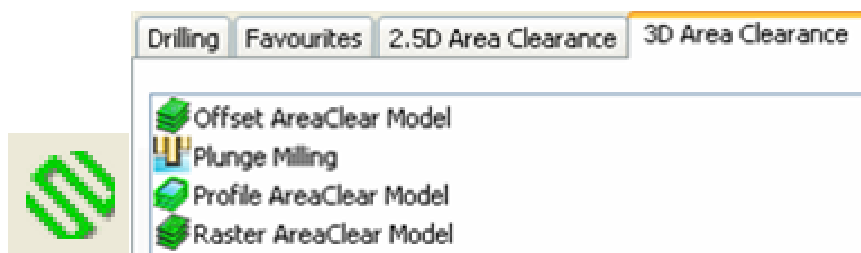
Komandom *Start and End Point* (slika 24) definišemo bezbednu poziciju u koju se alat postavlja pre i nakon zamene alata ili operacije obrade. Ovaj prozor omogućava korisniku potpunu kontrolu za definisanje bezbedne pozicije za alat na početku strategije obrade i na kraju prilikom zamene alata. Pozicija alata se automatski podešava na opciju *Block Centre Safe*. Osim ove mogu se podesiti i opcije *First Point*, *First Point Safe*, and *Absolute*. Krajnja pozicija alata (*End Point*) se definiše identično kao i početna (*Start Point*).



Slika 24. Početna i krajnja tačka položaja alata

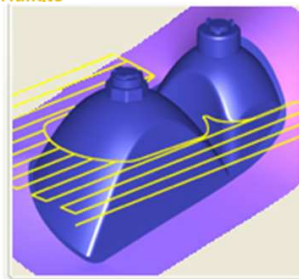
Strategija grube obrade

Cilj grube obrade je ukloniti što veću količinu materijala. Za grubu obradu prilikom 3D mašineranja koriste se *Area Clearance* strategije (slika 25). Ove strategije omogućavaju 2D uklanjanje materijala po površini, do konture obratka i nakon toga spuštanje po definisanoj Z-visini na narednu površinu za obradu. Pokretanjem komande *Toolpath Strategies* otvara se prozor u kome biramo željenu strategiju obrade. Za grubu obradu najčešće se koriste *Raster Area Clear* i *Offset Area Clear*.

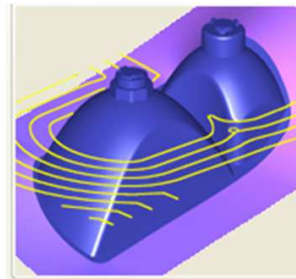


Slika 25. Strategije obrade

Osnovna razlika između ove dve strategije je u načinu generisanja putanje alata (slika 26). Kod *Raster Area Clear* strategije putanje se generišu pravolinijski, cik-cak, a nakon toga alat vrši profilisanje do konture obratka. *Offset Area Clear* strategija generiše putanje tako što prati konturu obratka i priprema i "ofsetuje" naredne putanje u neobrađeni materijal. Pri obradi delova komplikovanije geometrije u glavnom se koristi *Offset Area Clear* strategija, što će i u ovom slučaju biti ispoštovano.



Raster Area Clear



Offset Area Clear

Slika 26. Osnovne strategije grube obrade

Izborom ove strategije otvara se prozor u kome se definišu parametri za njeno uspešno izvođenje (slika 27).

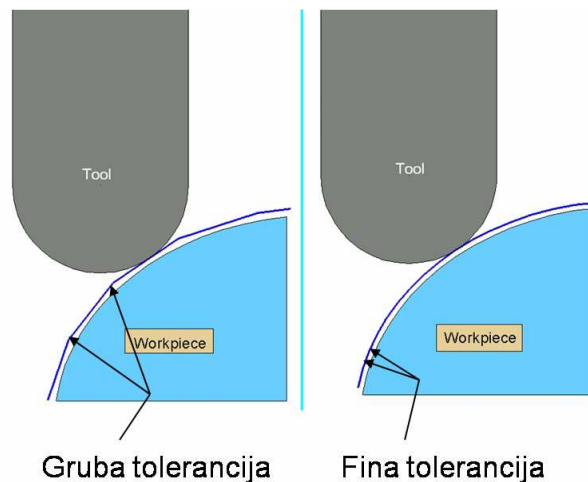
U odeljku Tool definiše se alat kojim se vrši obrada. Moguće je na licu mesta kreirati potreban alat kako je prethodno opisano ili izabrati već formirani. U ovom slučaju za grubu obradu koristi se glodalo prečnika $D=30$ mm i radijusa pločice $R=1.2$ mm.



Slika 27. Definisane Offset Area Clear strategije

U odeljku *Stepover* se definiše razmak između putanja alata i to je zapravo radijalna dubina rezanja. Pravilo je da to bude otprilike $2/3$ prečnika glodala i u ovom slučaju je definisana vrednost 20 mm. *Stepdown* predstavlja aksijalnu dubinu rezanja, odnosno razmak između površina na kojima se vrši obrada i u ovom slučaju je 0.5 mm. Moguće je koristiti i veće vrednosti aksijalne dubine rezanja od ovde usvojene ali radi uštede alata išlo se na manju vrednost, a kako se deo izrađuje u jednom primerku produktivnost nije toliko bitna stavka. Ovde se mogu izabrati dva načina spuštanja alata. Opcijom *Level* izvodi se obrada celokupne jedne površine nakon čega se prelazi na drugu, dok opcijom *Area* vrši se obrada jednog po jednog segmenta na komadu.

Polje *Tolerances* podrazumeva definisanje tolerancije, odnosno preciznost koliko alat tačno prati oblik radnog komada (slika 28). Kako je ovo gruba obrada nije potrebno zadavati visoku tačnost obrade da se ne bi bespotrebno opterećivala upravljačka jedinica mašine prilikom izvođenja obrade.

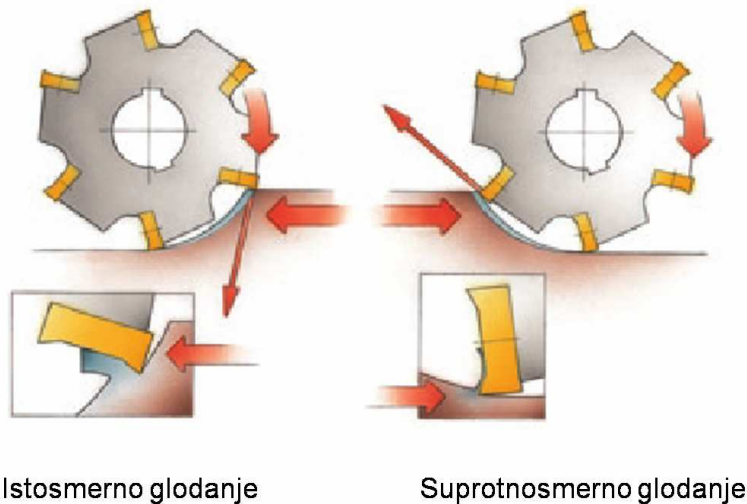


Slika 28. Gruba i fina tolerancija

Opcijom *Thickness* definiše se dodatni materijal koji ostaje na delu posle obrade. To može biti urađeno zadavanjem jedne vrednosti kao što je prikazano na slici 51 ili razdvajanjem aksijalne i radijalne debljine materijala koji ostaje kao što je urađeno u ovom slučaju. Za radijalnu debljinu uzeta je vrednost 1 mm, a aksijalnu 0.2 mm. Razlog ostavljanja viška materijala na komadu je zbog toga što posle grube obrade ide na termičku obradu – poboljšanje na 44-47HRC. Prilikom zagrevanja na visokim temperaturama, a u zavisnosti od postupka termičke obrade može doći do izvesnog bacanja dela što se može kompezovati tim dodatnim materijalom. Zbog otežanih uslova obrade nakon termičke obrade za aksijalnu debljinu materijala uzeta je vrednost od 0.2mm kako alat ne bi morao u finom prolazu da skida veliku aksijalnu debljinu materijala što može izazvati loš kvalitet obrađene površine ili defekte glodala.

U odeljku *Cut Directon* podešavamo smer međusobnih kretanja. Tokom procesa glodanja radni komad se kreće u istom smeru ili suprotno od smera obrtanja glodanja i to utiče na prirodu početka i kraja procesa rezanja. Kod istosmernog glodanja (engl. *Down milling* ili *Climb*) smer kretanja radnog komada je isti kao i smer obrtanja alata u oblasti rezanja. Debljina strugotine se smanjuje od početka rezanja, do nulte vrednosti na kraju procesa. Time se izbegava loše obrađena površina zbog manjeg zagrevanja i minimalne tendencije ka otvrdnjavanju. Velika debljina strugotine je prednost jer sile rezanja teže da povuku rezu pločicu ka radnom komadu. Kod suprotnosmernog glodanja (engl. *Up milling* ili *Conventional*) smer kretanja radnog komada je suprotan smeru rotacije glodala. Debljina

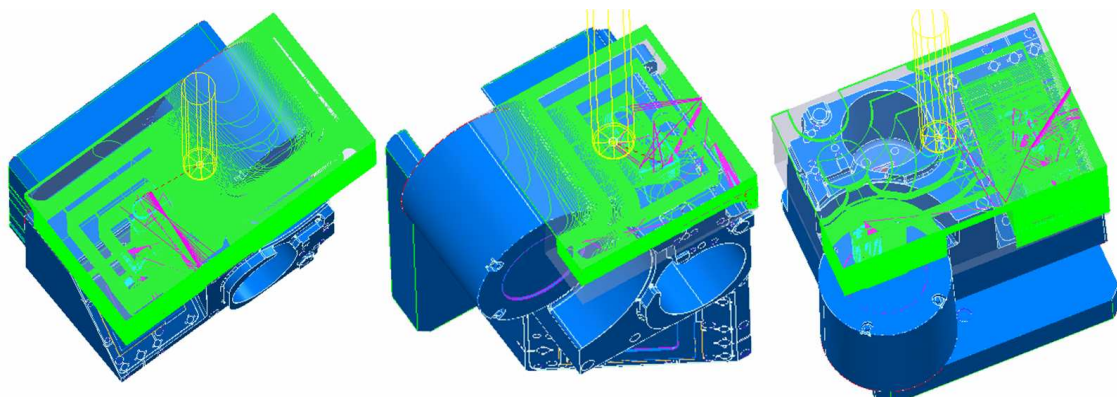
strugotine se povećava od nulte vrednosti i maksimalna je na kraju procesa rezanja (slika 29). Zbog toga se javljaju velike sile rezanja koje teže da razdvoje reznu pločicu i radni komad. Rezna pločica stvara loše obrađenu površinu uz veliko trenje, visoke temperature i otvrdnjavanje. Tokom glodanja, ponekad, dolazi do lepljenja ili zavarivanja strugotine za reznu ivicu. Kod suprotnosmernog glodanja strugotina se lako može zaglaviti između rezne pločice i radnog komada, što može dovesti do lomljenja rezne pločice. Kod istosmernog glodanja ista strugotina bi bila presečena na pola i ne bi došlo do oštećenja rezne ivice. Iz ovih razloga istosmerno glodanje treba primenjivati kad god to mašina, pribori i radni komad dozvoljavaju.



Slika 29. Istosmerno i suprotnosmerno glodanje

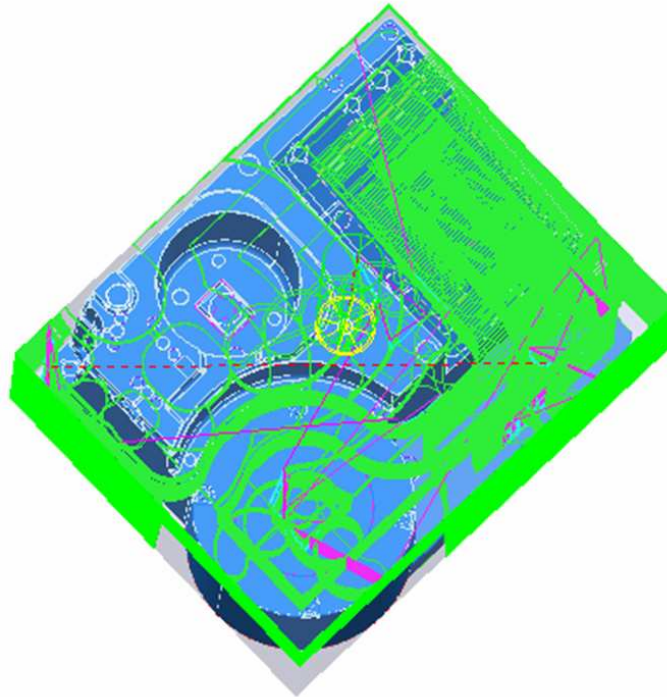
Način ulaska alata u materijal se definiše komandom *Lead in Moves*. Moguće je izabrati opciju *Plunging* kojom se alat direktno zarije u predmet obrade ili *Ramping* kojom se alat uvodi pod određenim uglom koji se unapred definiše. U ovom slučaju je izabrana opcija *Ramping* zbog toga što je uvođenje alata u materijal znatno povoljnije izvršiti pod određenim uglom nego direktno, što može prouzrokovati lom alata.

Nakon definisanja ovih osnovnih parametara klikom na *Apply* računar generiše automatski strategiju obrade za izabrani komad i pripremak. U zavisnosti od toga na koji način smo projektovali tehnologiju obrade moguće je na različite načine generisati strategije obrade. Na primer, u ovom slučaju, ako u magacinu ne raspolažemo sa alatom dovoljne dužine koji može obraditi celokupnu zapreminu, obradu moramo izvršiti iz više stezanja (slika 30).



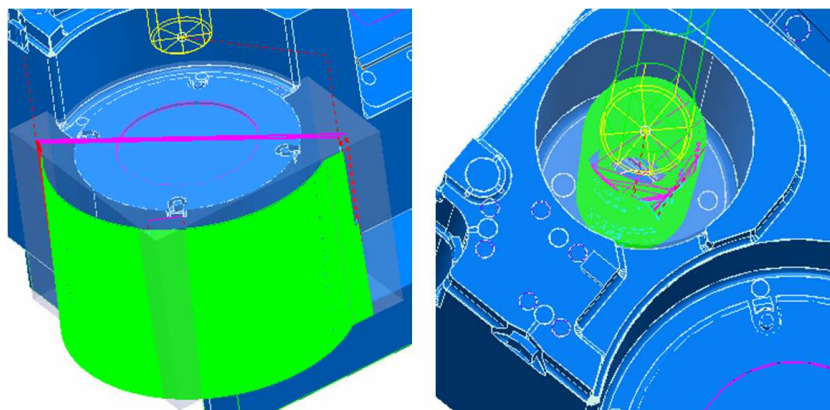
Slika 30. Gruba obrada sa tri stezanja

U ovom slučaju je izabrano glodalo dovoljne dužine pa je gruba obrada izvršena u jednom stezanju što smanjuje dodatno vreme za postavljanje i pozicioniranje radnog komada na mašinu (slika 31). Zelenom bojom su prikazane putanje vrha alata prilikom procesa obrade, crvenom prilazak alata do obratka, plavom ulazak alata u materijal, a ružičastom brzi hodovi. Posle primarnog skidanja materijala vrši se obrada onih delova koji nisu obuhvaćeni u ovom procesu.



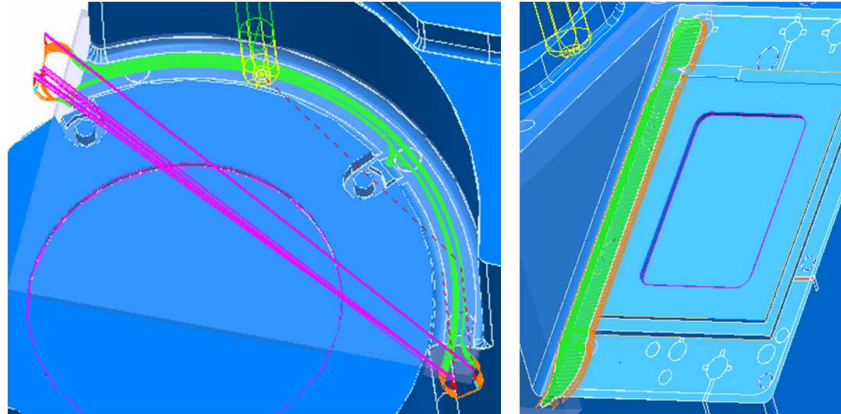
Slika 31. Strategija grube obrade

Prvo se generiše *Offset Area Clear* putanja za obradu bočne kružne površine. Pripremak se definiše tako da obuhvata samo ovu oblast. Uz prethodna podešavanja definiše se i opcija *Rest Machining* koja uzima u obzir prethodnu putanju i vrši obradu samo onih površina koje nisu njom obuhvaćene. Takođe štiklira se opcija *Allow Tool Outside Block* kojom se omogućava da putanje alata, ukoliko je neophodno izađu i izvan definisanog priprema. Istim glodalom vrši se i obrada rupe na radnom komadu, pritom je pripremak definisan u obliku cilindra koji odgovara prečniku rupe. Ova dva zahvata prikazana su na slici 32.



Slika 32. Gruba obrada boka i rupe

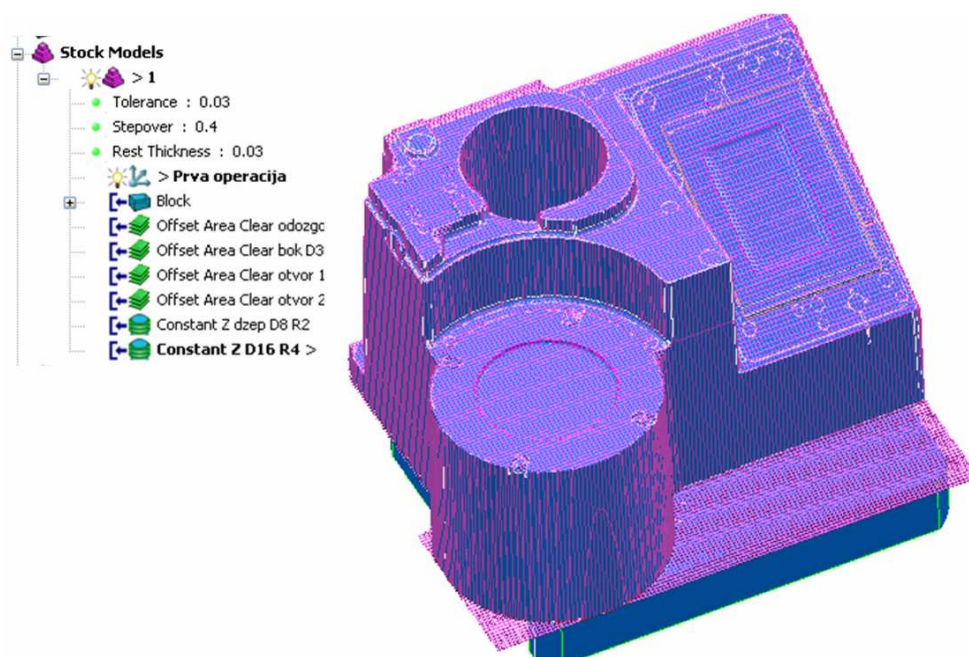
Kako se predmet obrade posle grube obrade termički obrađuje poželjno je izvršiti obradu što bliže stvarnom profilu predmeta jer je mnogo teže obrađivati termički obrađen materijal. Zato se generišu putanje koje imaju za cilj obradu svih mesta gde se nalaze veće naslage neobrađenog materijala sa glodalima manjeg prečnika (slika 33). Za prvu obradu korišćeno je glodalo D8 R2, a za drugu D16 R2. Inače u ova dva slučaja korišćene su *Constant Z* strategije čije generisanje biće objašnjeno prilikom opisa fine obrade.



Slika 33. Oslobađanje uglova

Kreiranje Stock modela

Stock model je model koji predstavlja neobrađenu zapreminu materijala u nekom trenutku procesa obrade. Ovo je veoma korisno na modelima komplikovane geometrije kada na osnovu *Stock modela* možemo planirati sledeće strategije obrade. U *Explorer*-u *PowerMILL*-a se nalazi opcija *Stock Models*, gde se DTM izabere opcija *Create Stock Model*. U kreiranom *Stock modelu* definiše se pripremak i zatim se u njega ubacuju novoformirane strategije na osnovu kojih možemo videti koje su površine ostale ne obrađene (slika 34). Takođe treba definisati i parametre kao što su *Tolerance* kojim se određuje tolerancija zatvorenih ploča od kojih se *Stock model* sastoji, a *Stepover* definiše razmak između pojedinih ploča.

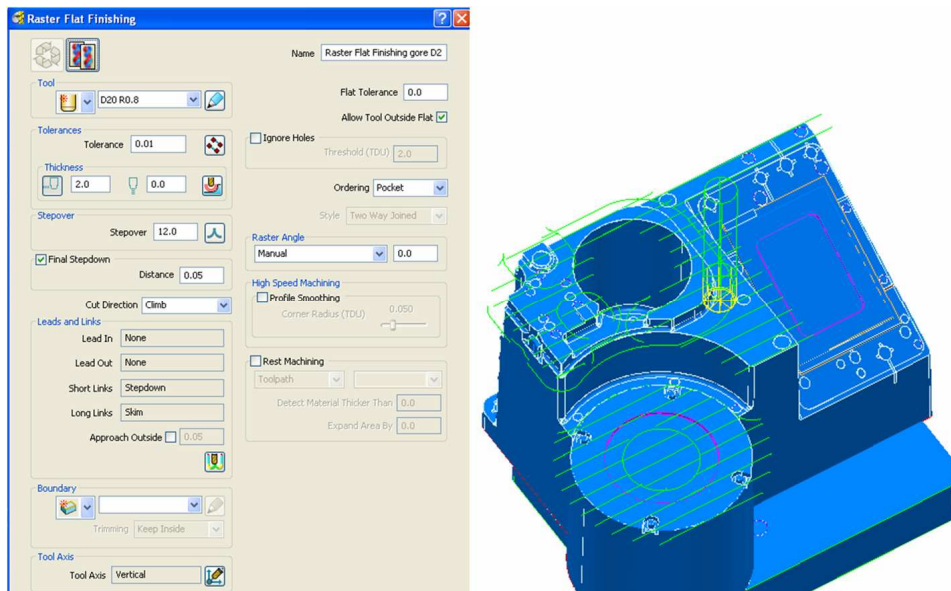


Slika 34. Stock model

Strategija fine obrade

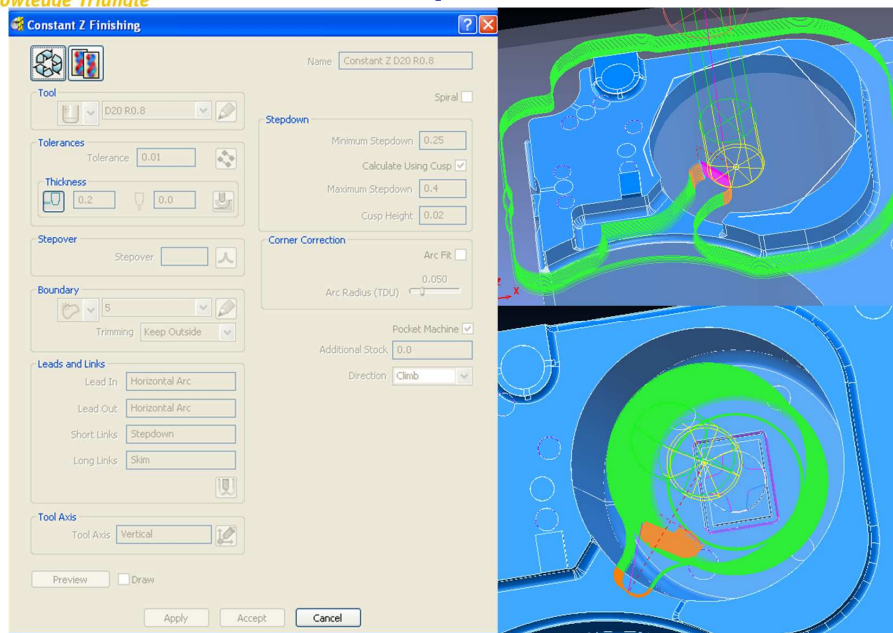
Nakon procesa termičke obrade potrebno je izvršiti finu obradu radnog komada na tačne dimenzije. Prilikom fine obrade koriste se veće brzine rezanja i manje vrednosti koraka po zubu i uglavnom jednodelna glodala zbog njihove veće stabilnosti u odnosu na ona sa reznim pločicama. Ovde će biti korišćeno nekoliko različitih strategija fine obrade za postizanje ovog cilja.

Za obradu ravnih površina koristi se strategija *Raster Flat Finishing* (slika 35). U prozoru za podešavanje parametara ove strategije biramo glodalo D20 R0.8. Usvaja se tolerancija 0.01mm. Opcijom *Thickness* se reguliše debljina materijala koji ostaje i u aksijalnom pravcu se usvaja vrednost nula zbog toga što se komad obrađuje na tačne dimenzije. Za vrednost radialne debljine usvaja se vrednost veća od nule da ne bi doslo do kontakta glodala sa neobrađenim materijalom na vertikalnim zidovima predmeta obrade.



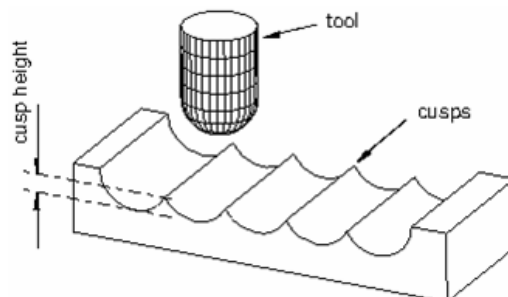
Slika 35. Fina obrada ravnih površina

Nakon obrade svih ravnih površina pristupa se obradi ostalih površina. Prvo se izvodi polufina obrada gornjeg dela obratka na 0.2 mm do mere, *Constant Z* strategijom. Razlog zašto se komad odmah ne obrađuje na tačnu meru je to što u ovom delu glodalo većeg prečnika nije moglo da lepo isprati geometriju obratka pa su na pojedinim mestima ostale veće naslage materijala. Za ovu obradu se takođe koristi glodalo D20 R0.8. Prilikom odabira *Constant Z* strategije koja se nalazi u *Finishing Toolpath Strategies*, otvara se prozor u kom definišemo slične parametre kao i za prethodno opisane strategije obrade (slika 36). Tom prilikom potrebno je podesiti *Block* tako da obuhvata samo oblast koju obrađujemo.



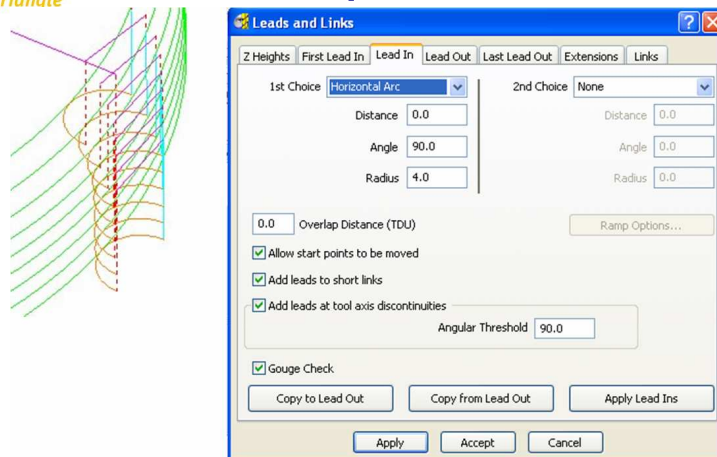
Slika 36. Constant Z strategija za obradu gornjeg dela i rupe

Definiše se fina tolerancija od 0.01 mm i kao što je rečeno radijalna debljina (*Thickness*) se ostavlja na 0.2 mm do mere. U odeljku *Stepdown* definiše se *Minimum Stepdown*, konstantna vrednost visine između pojedinih nivoa obrade. Ako se štiklira opcija *Calculate Using Cusp* potrebno je definisati i vrednost neravnina (*Cusp*) koje ostaju između dva prolaza glodala (slika 37). Kada je ova opcija štiklirana potrebno je definisati *Maximum Stepdown*, vrednost maksimalno dostupne visine između dva nivoa obrade. *Stepdown* se nalazi u ovoj oblasti i računa se na osnovu definisane vrednosti neravnina. U ovom slučaju je uzeto da je *Minimum Stepdown* 0.25, *Maximum Stepdown* 0.4, a *Cusp Height* je 0.02. Opcija *Boundaries* služi za definisanje različitih vrsta ograničenja koja se koriste za dodano definisanje oblasti koje glodalo treba ili ne treba da obrađuje. Ova opcija je dostupna u *Explorer-u PowerMILL-a*, ili se može pokrenuti direktno u prozoru za *Constant Z* obradu. U ovom slučaju je manuelno kreiran *User Defined Boundary* kojim se sprečava da glodalo ulazi u prostor rupe.



Slika 37. Visina neravnina na obrađenom materijalu

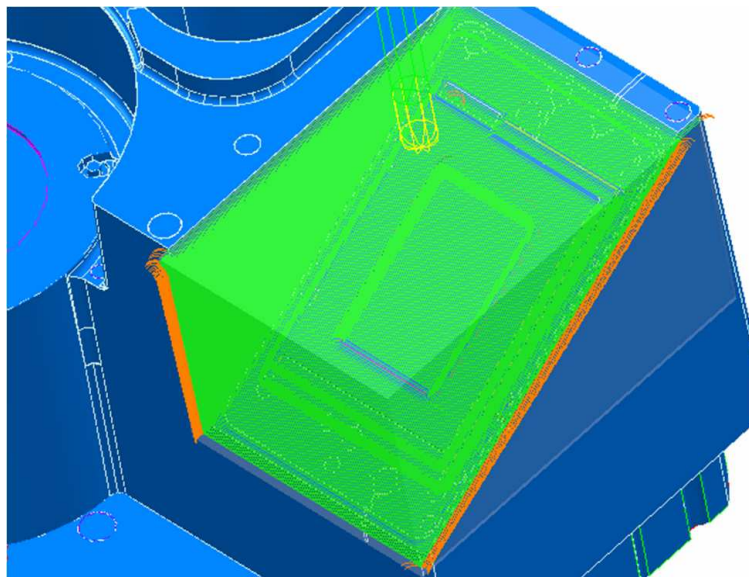
Lead and Links opcija omogućava definisanje parametara kao što su kratki i dugi linkovi za koje se usvaja da to budu *Stepdown* i *Skim* respektivno. Takođe se definiše i način ulaska alata u materijal, za šta je izabrana opcija *Horizontal Arc* što je prikazano na slici 38. Obrada rupe se takođe izvodi *Constant Z* strategijom uz slična podešavanja kao za prethodnu strategiju s tim što se ovde definiše poseban cilindrični *Block* koji odgovara ovoj rupi i obrada se vrši na nultu meru. *Minimal Stepdown* je 0.05 mm, *Maximum Stepdown* 0.1 mm, *Cusp Height* 0.02 mm.



Slika 38. Podešavanje načina ulaska u materijal

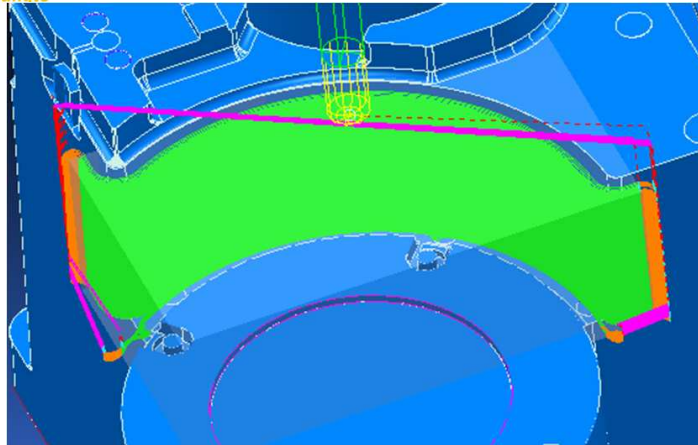
Dalje se obrađuje gornji deo koji je prethodno obrađivan na 0.2 mm do mere, na nultu meru sa glodalom D8. Parametri za ovu obradu se podešavaju na sličan način kao i za prethodnu.

Nakon ovoga vrši generisanje strategije za obradu kosine, a zatim preostalih verikalnih površina. Izgled *Constant Z* strategije za obradu kosine prikazan je na slici 39. Ona se izvodi loptastim glodalom poluprečnika 6 mm.



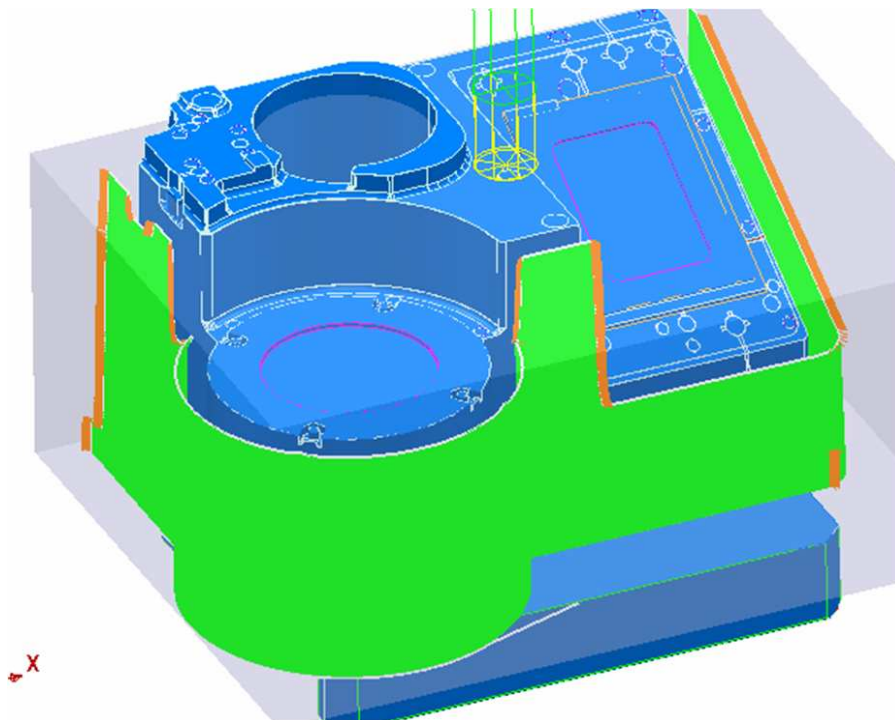
Slika 39. Strategija fine obrade kosine

Zatim se izvodi obrada lučne površine glodalom prečnika 10 mm sa radijusom pri vrhu od 2 mm (slika 40). Podešavanja za ovu obradu se definišu na sličan način kao i za prethodne *Constant Z* strategije uz definisanje posebnog *Block*-a i ograničenja koja usmeravaju generisanje strategije na odgovarajuće površine.



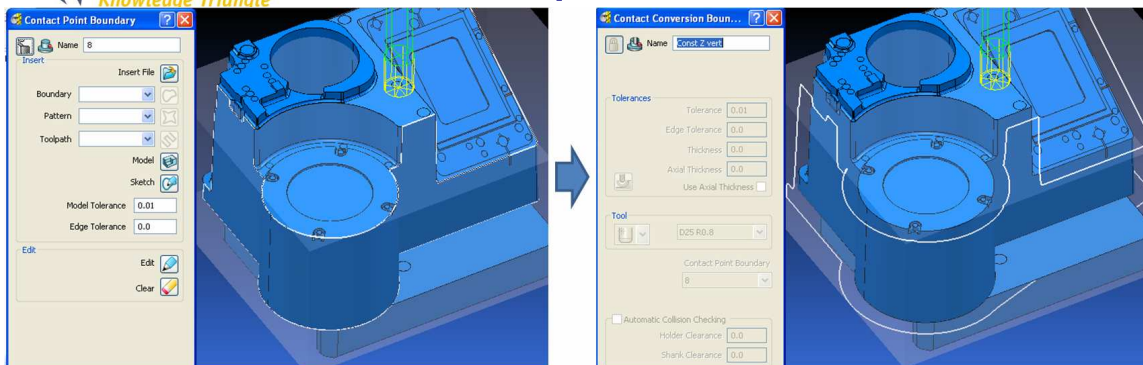
Slika 40. Strategija fine obrade lučne površine

Tako za generisanje *Constant Z* strategije kojom se obrađuju preostale površine (slika 41) koje su vertikalne potrebno je generisanje odgovarajućeg ograničenja kojim će biti omogućena obrada samo onih površina na kojima postoji višak materijala.



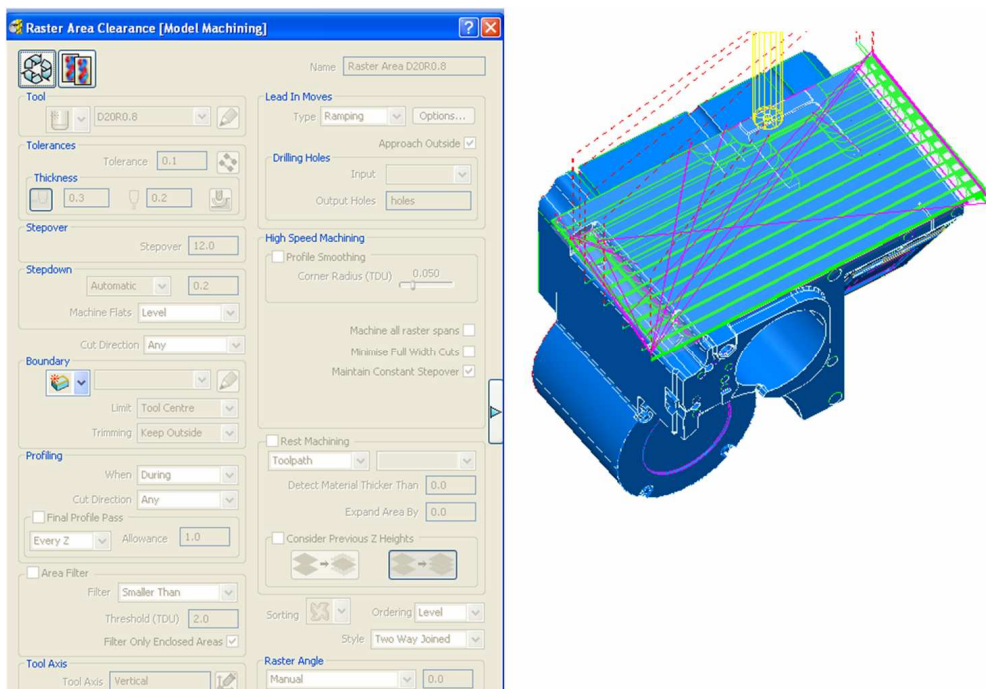
Slika 41. Obrada vertikalnih površina

U odeljku *Boundaries* kreira se *Contact Point Boundary* (slika 42). Selektuju se sve površine koje želimo da obradimo i oko njih se formira potrebno ograničenje. Kada je to urađeno formira se drugo ograničenje na osnovu prethodno formiranog i za to se koristi *Contact Conversion Boundary*. U prozoru za podešavanje ovog ograničenja potrebno je definisati tolerancije i alat kojim se vrši obrada, u ovom slučaju je to glodalo prečnika 30 mm i radijusa rezne pločice 0.8 mm. U odeljku *Contact Point Boundaries* potrebno je pronaći prethodno formirano ograničenje i na osnovu ovih parametara proračunava se novo ograničenje koje je odmaknuto od prethodnog tačno za vrednost glodala. Prilikom generisanja *Constant Z* strategije za obradu ovih površina izabere se formirani *Boundary* i štiklira se opcija *Keep Inside*, što ima za cilj zadržavanje glodala samo u okviru ovog ograničenja.



Slika 42. Kreiranje ograničenja za formiranje prethodne strategije

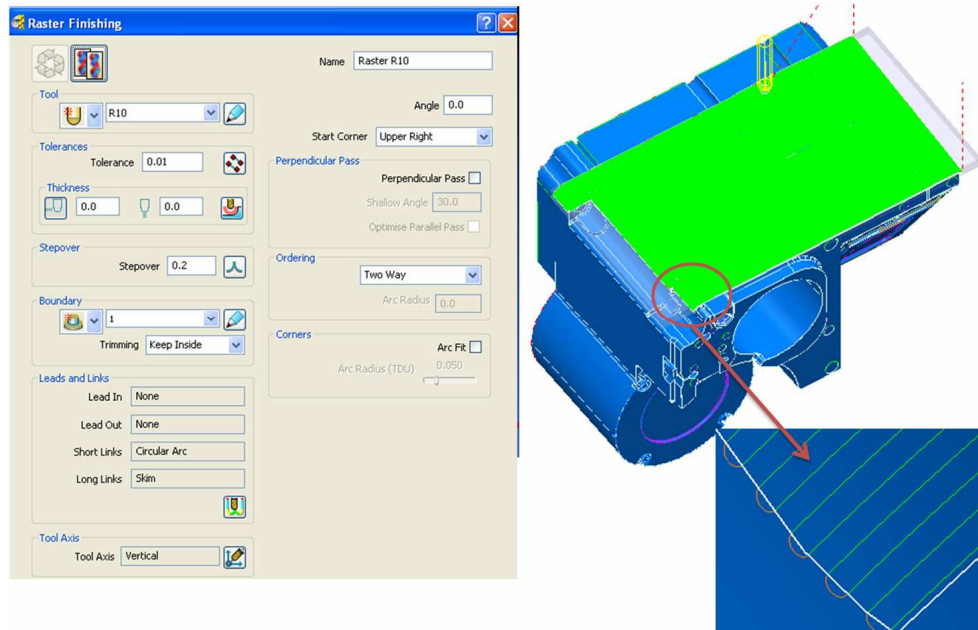
Za obradu zadnje strane radnog komada potrebno je, pre fine obrade, izvršiti poluzavršnu obradu zbog veće količine materijala koju treba ukloniti (slika 43). Za ovu operaciju radni komad se mora okrenuti tako da zadnja strana bude dostupna za obradu. U tu svrhu formira se novi koordinatni sistem koji se rotira u odnosu na prethodni tako da Z-osa bude normalna na površinu obrade. Bira se *Raster Area Clearance* strategija za koju se vrše podešavanja na sličan način kao i kod *Offset Area Clearance* strategije. U rubrici *Thickness* ostavlja se dodatak za finu obradu, tolerancija je kao za grubu obradu, a glodalo kojim se vrši obrada je D20 R0.8.



Slika 43. Poluzavršna obrada zadnje strane obratka

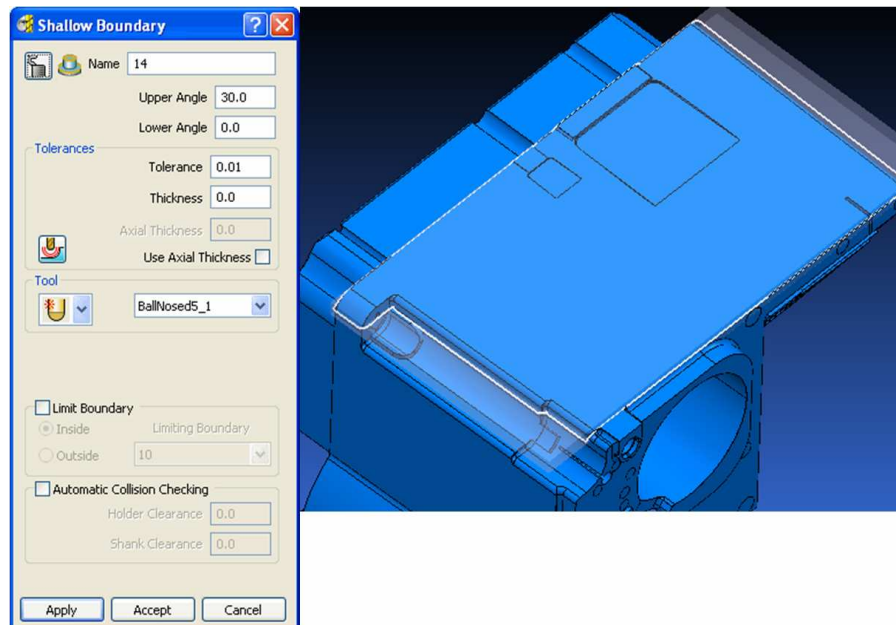
Za finu obradu se bira strategija *Raster Finishing* koja je pogodna za obradu ravnih površina. Obrada se vrši loptastim glodalom poluprečnika 10 mm. Tolerancija je 0.01 mm, a *Stepover* 0.2. U sektoru *Leads and Links* za veze između susednih putanja (*Short Links*) bira se *Circular Arc* što omogućava kružni prelaz sa jedne putanje na drugu što je znatno povoljnije nego da je taj prelaz pod pravim uglom (slika 44). Odeljak *Angle* služi za definisanje ugla pod kojim će putanje biti generisane. Može se izvršiti izbor ugla iz kog želimo da otpočnemo obradu (*Start Corner*), a komandom *Ordering* definiše se način

kreiranja putanja. U ovom slučaju je izabrana opcija *Two Way*, što znači da se obrada vrši u oba smera.



Slika 44. Raster Finishing strategija

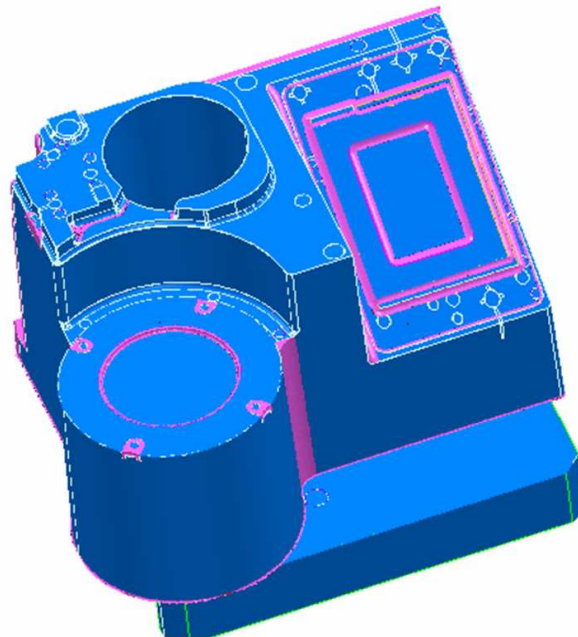
I za ovu obradu kreira se ograničenje koje ima za cilj da glodalo obrađuje samo ravne površine. Za ovu svrhu bira se *Shallow Boundary* koji uzima konture sa površina na modelu koje leže u određenim granicama nagnutosti prema horizontali (slika 45). U prozoru za definisanje ovog ograničenja definišu se vrednosti gornjeg i donjeg ugla nagnutosti površina koje želimo da obuhvatimo sa ograničenjem.



Slika 45. Shallow Boundary

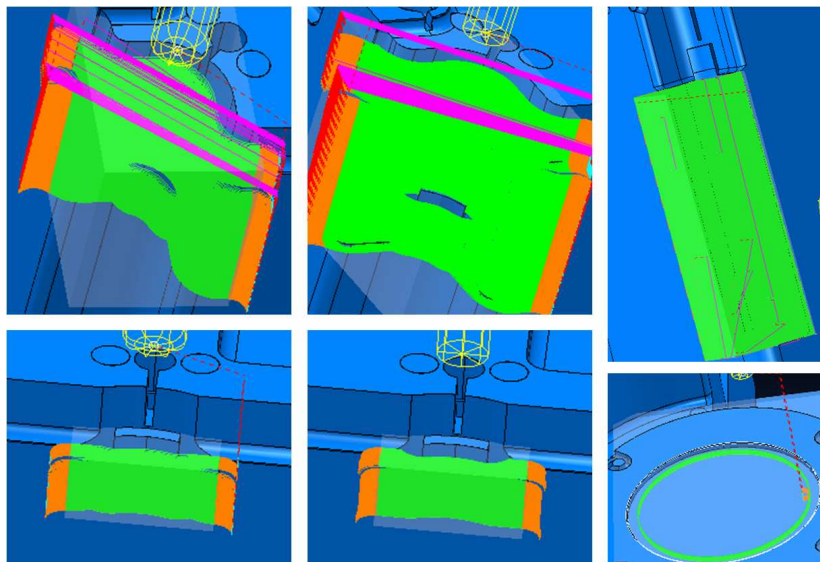
Novoformirane strategije se unose u *Stock* model i odabiranjem opcije *Show Rest Material* može se videti koje su površine ostale za obradu (slika 46). Takođe je potrebno

definisati vrednost *Rest Thickness* što znači da će biti prikazan materijal debljine veće od ove vrednosti. Ružičastom bojom je prikazan materijal koji treba ukloniti.



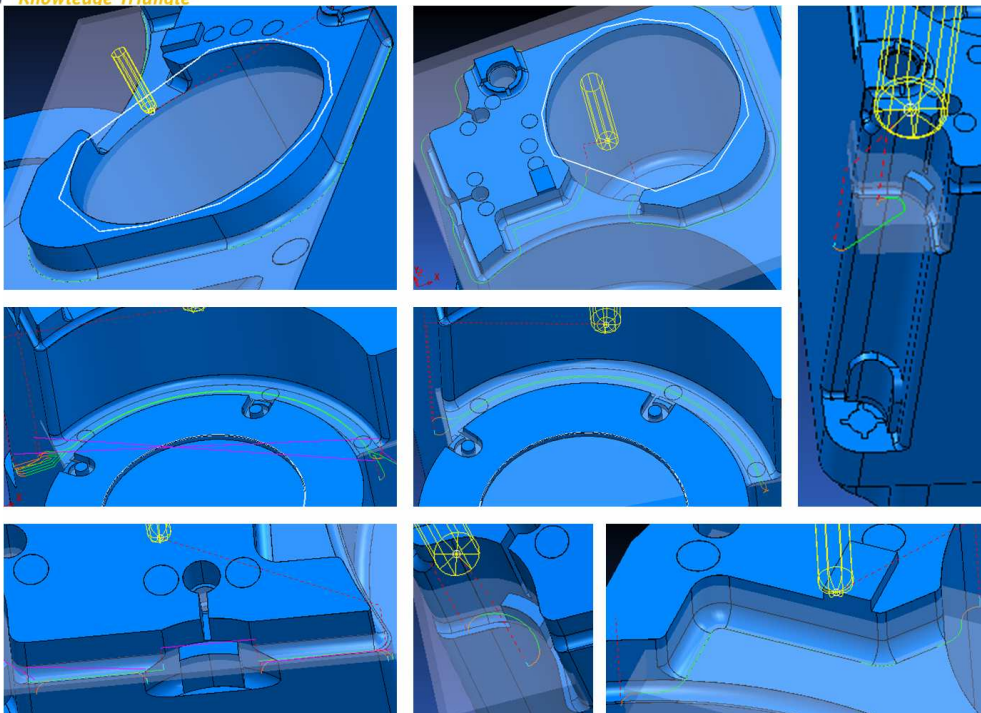
Slika 46. Stock model

Može se primetiti da i nakon ovih obrada na radnom komadu je ostalo još dosta mesta koja su ostala neobrađena. Na osnovu Stock modela generišemo strategije oko neobrađenih sekcija radnog komada. Površine koje se ne mogu obraditi glodanjem obrađuju se elektroerozionom obradom, za šta je potrebno izraditi specijalne elektrode. Na slici 47 prikazane su neke od strategija koje imaju za cilj obradu svih preostalih segmenata. Prve dve obrade se izvode kroz poluzavršnu i finu strategiju.



Slika 47. Strategije za obradu pojedinih neobrađenih segmenata

Potrebno je i generisati strategije za dodatnu finu obradu uglova (slika 48). Za tu svrhu postoji veći broj *Corner Finishing* strategija, a može se iskoristiti i *Constant Z* strategija tako što se generiše samo jedna putanja oko uglova koje želimo obraditi.



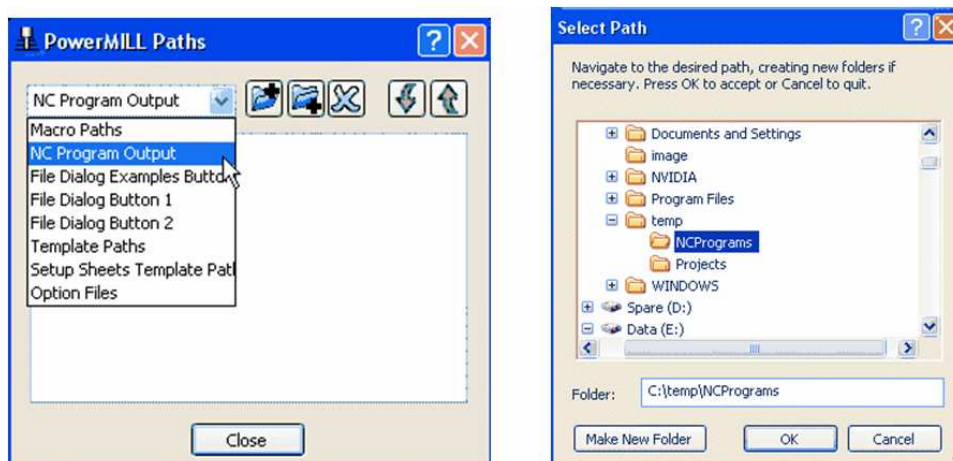
Slika 48. Strategije za obradu uglova

6. Rezultati

Generisanje NC koda

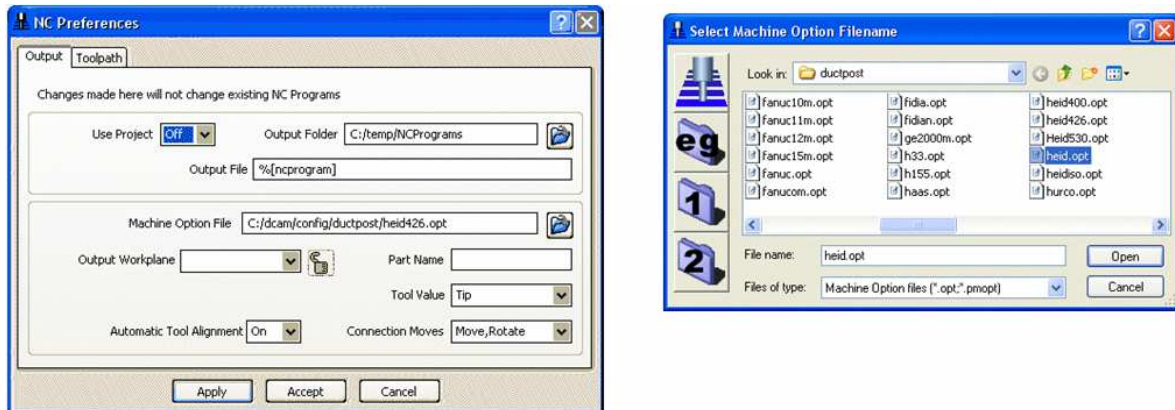
Kada se završi proces generisanja strategija obrade potrebno je kreirati *NC* programe koji će sadržati sve podatke i uputstva za obradu i koji će biti postprocesirani za odgovarajuću mašinu. U zavisnosti od konstrukcije mašine zavisi i način na koji se *NC* programi generišu. Tako, ako *NC* mašina poseduje izmenjivač alata, strategije obrade sa različitim dimenzijama alata mogu se smestiti u okviru jednog *NC* programa. Ukoliko to nije slučaj, samo strategije sa istim glodalima mogu biti sadržane u jednom *NC* programu.

Pre početka kreiranja *NC* programa potrebno je podesiti mesto gde će oni biti smešteni. U meniju, odabirom *Tools – Customise Path* otvara se prozor (slika 49) u kome izaberemo opciju *NC Program Output*. Onda klikom na folder ikonu izabrati folder u kome želimo da smestimo *NC* programe.



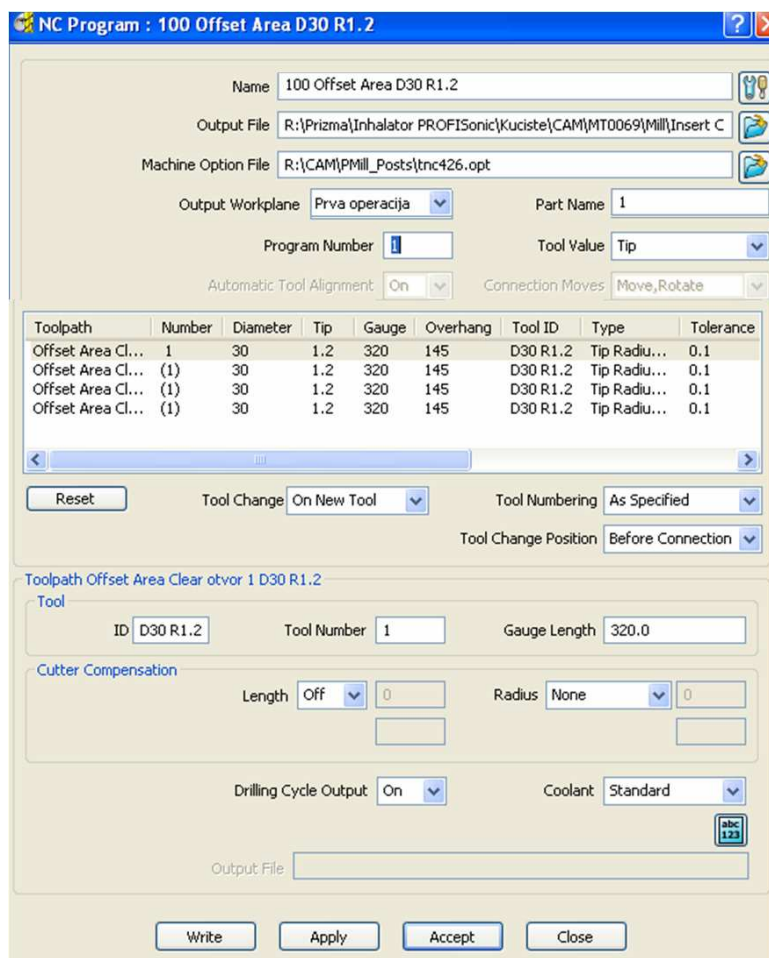
Slika 49. Izbor foldera za *NC* program

Nakon ovoga u *Explorer-u PowerMILL-a*, DTM na *NC Programs* pa na *Preferences* treba podesiti *Machine Option Filename* (slika 50). Ovom opcijom podešavamo u kom formatu će *NC* program biti postprocesiran.



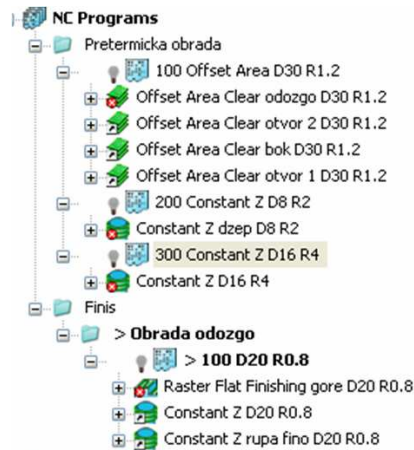
Slika 50. Podešavanje Machine Option Filename

Kada su ova podešavanja završena može se pristupiti kreiranju *NC* programa. Klikom DTM na *NC Programs – Create NC Programs* otvara se prozor za definisanje parametara programa (slika 51). U rubrici *Name* upisuje se naziv programa. Mogu se videti i podaci o prethodno definisanim parametrima za *Output File* i *Machine Option File*, *Output Workplane* i dr. Ako su sva podešavanja završena klik na *Accept*.



Slika 51. Definisanje parametara NC programa

Strategije obrade se unose u formirani NC program jednostavnim prevlačenjem ili DTM na strategiju koju želimo da smestimo u NC program izaberemo opciju *Add to NC Program*. Ovo izvodimo tako da strategije rađene istim glodalom budu u jednom NC programu, pritom treba voditi računa da se te strategije izvode po tačnom redosledu. Na slici 52 prikazan je način organizovanja formiranih NC programa.



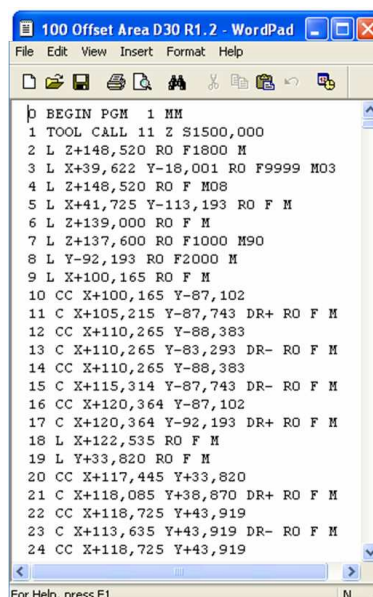
Slika 52. Stablo NC programa

Nakon ovoga potrebno je izvršiti postprocesiranje formiranih NC programa, odnosno treba generisati odgovarajuće NC kodove za konkretnu mašinu na kojoj se izvodi obrada. Za to je potrebno DTM selektirati NC program i izabrati opciju *Write*. Ukoliko je proces izveden pravilno program menja boju iz svetlo plave u zelenu, a ako se javila neka greška preko njega se pojavljuje znak uzvika (slika 53).



Slika 53. Izgled programa nakon postprocesiranja

Kada je program jednom postprocesiran i sačuvan može se jednostavno pregledati preko nekog od tekst editora (slika 54).

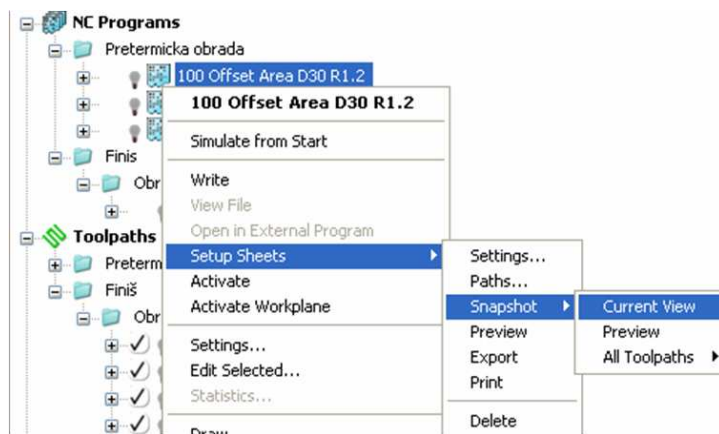


Slika 54. Izgled NC programa u WordPad-u

Generisanje tehnološke dokumentacije

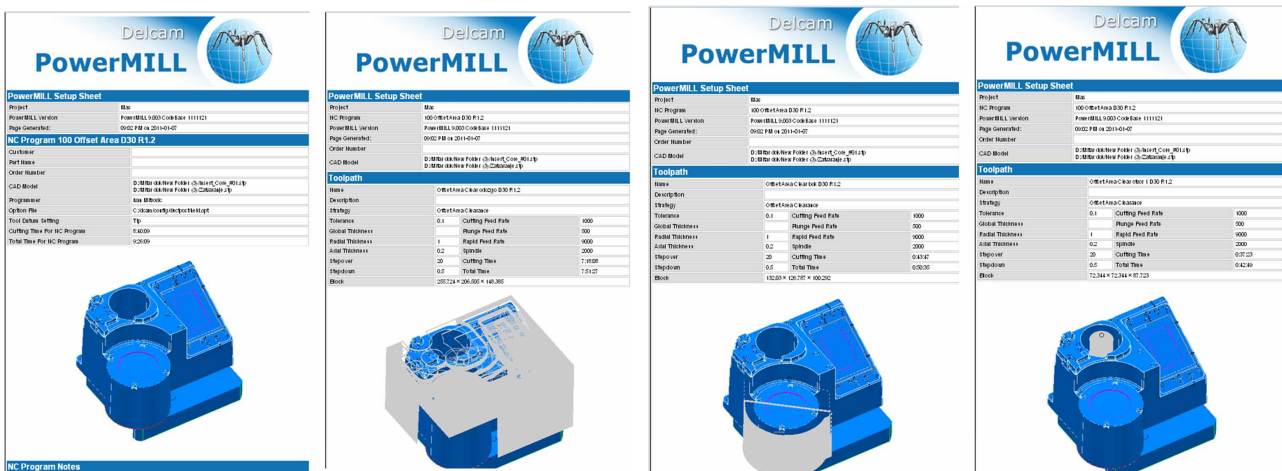
Svi podaci generisani u *PowerMILL*-u, kao što su podaci o glodalu, režimi obrade, izgledi putanja alata, vreme obrade i sl. mogu biti dokumentovani i po potrebi oštampani u vidu tehnološke dokumentacije. Ovo može biti naročito korisno za CNC operatera koji opslužuje mašinu.

Za ovu svrhu služi opcija *Setup Shits* do koje se dolazi DTM na NC program u *Explorer*-u *PowerMILL*-a za koji želimo da generišemo tehnološku dokumentaciju (slika 55). Opcijom *Snapshot – Current View* generiše se slika modela koja je trenutno aktivna na ekranu. Zato je potrebno prethodno podesiti najpovoljniji izgled modela. Ova slika se automatski generiše na pozadinu dokumentacije. Opcijom *Snapshot – All Toolpaths* se snima izgled svih putanja alata koje se nalaze u konkretnom NC programu i generišu se svi relevantni podaci za njihovo izvodjenje koji će se takođe naći u dokumentaciji. Komandom *Preview* može se u *PowerMILL*-u videti izgled generisane tehnološke dokumentacije. Izborom komande *Export* generisana dokumentacija se čuva u vidu *HTML* dokumenta i dalje se može po potrebi štampati ili editovati.



Slika 55. Kreiranje tehnološke dokumentacije

Izgled dela tehnološke dokumentacije (*Setup Shits*) je prikazan na slici 56.








Slika 56. Tehnološka dokumentacija

Simulacija procesa obrade

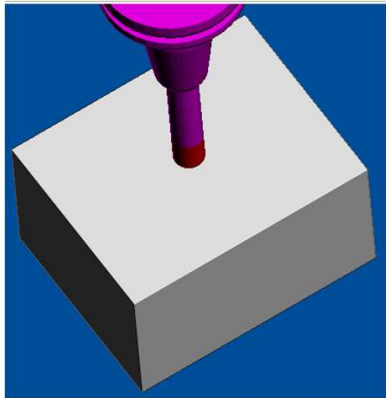
U okviru *PowerMILL*-a se nalazi modul *ViewMill* koji služi za 3D grafičku simulaciju procesa obrade koja omogućava da putanje alata budu proverene pre nego što se krene sa obradom na mašini. *View Mill* poseduje svoj sopstveni *Toolbar* (slika 57). Takođe za simulaciju je neophodan i *Simulation Toolbar* u kome se nalaze komande za uključivanje, isključivanje, stopiranje i podešavanje brzine simulacije.



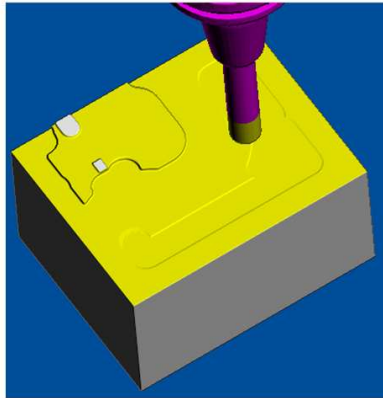
Slika 78. *View Mill* i *Simulation toolbar*

Potrebno je podesiti model u najpogodniji položaj kako bi se proces simulacije obrade prikazao na najbolji način. Takođe je potrebno podesiti putanju koju želimo da simuliramo u aktivan režim. Klikom na crveni kružić u ovom meniju uključuje se *ViewMill* što se manifestuje promenom njegove boje u zelenu. U ovoj paleti je dostupno više načina vizuelizacije procesa obrade. *Dynamic Image*  simulira objekte pomoću prikaza niske rezolucije, što omogućava manipulaciju modelom za vreme simulacije. *Plain Shade*  koristi prikaz visoke rezolucije i oslikava model u mat finiše varijanti. *Shiny*  takođe koristi prikaz visoke rezolucije ali u sjajnoj varijanti. *Rainbow*  za prikaz obrade koristi više različitih boja za različite površine obrade. *Cut Direction*  prikazuje model tako da koristi različite boje za istosmerno i suprotnosmerno glodanje. Za ovu simulaciju biće korišćen *Rainbow Shaded Image*.

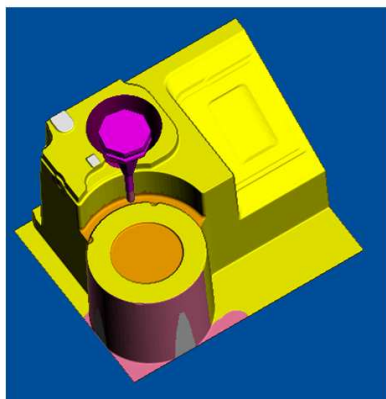
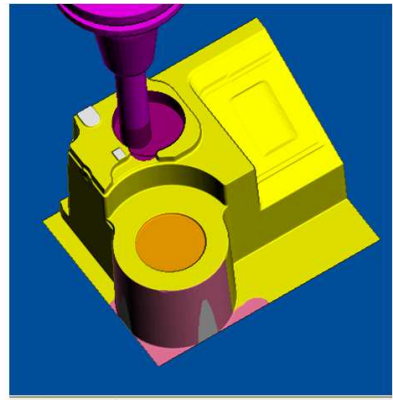
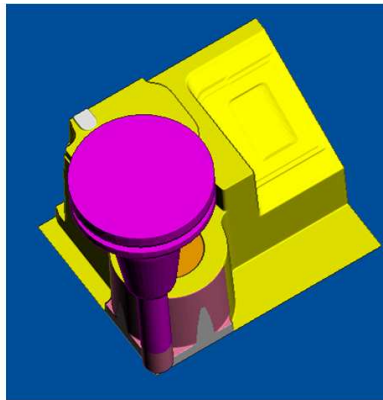
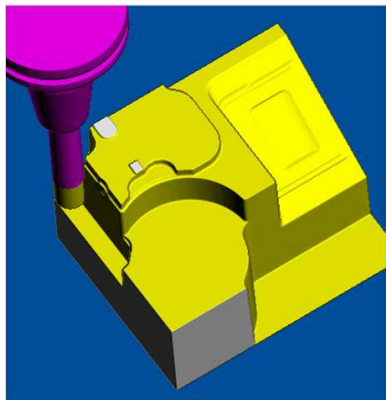
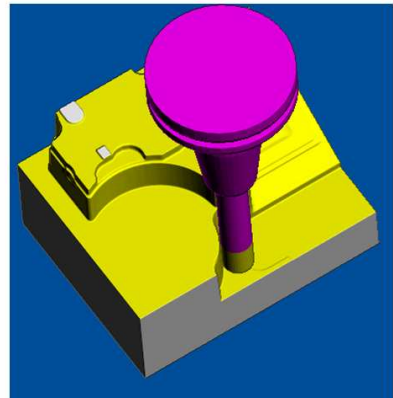
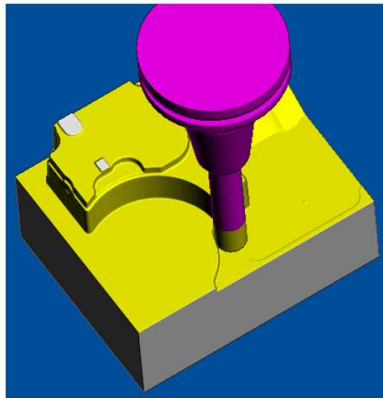
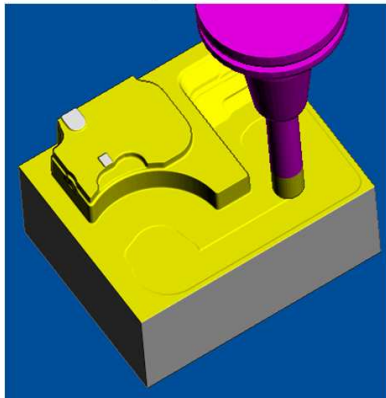
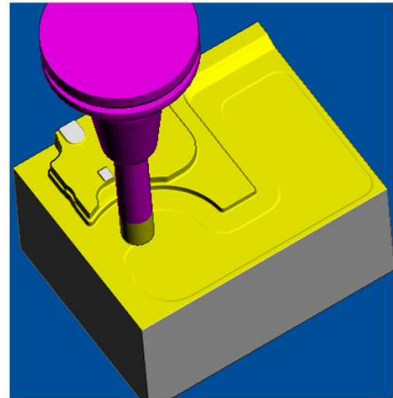
Pre početka simulacije potrebno je DTM selektirati željenu putanju ili NC program i izabrati opciju *Simulate from Start*. Nakon ovoga u *Simulation* meniju se pokrene simulacija procesa klikom na *Play*. Na sledećim slikama su prikazane pojedine faze u procesu simulacije.



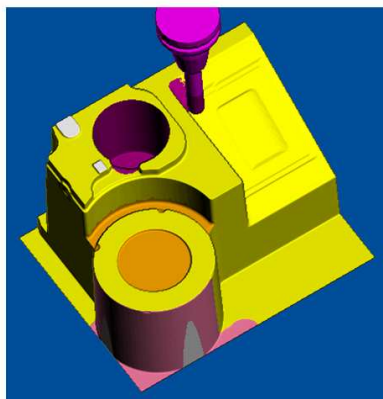
Pripremak



Offset Area Clear D30 R1.2

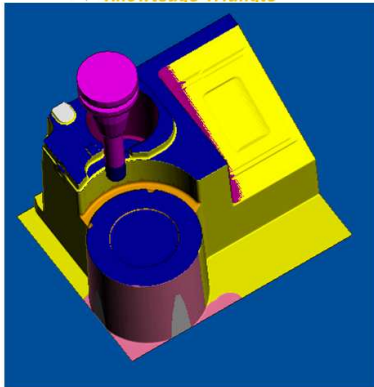


Constant Z D10 R2

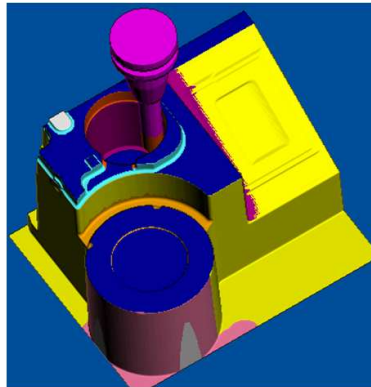


Constant Z D16 R2

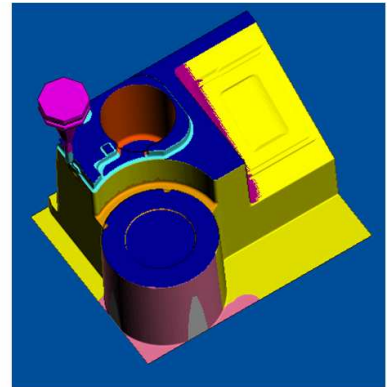
Slika 79. Simulacija grube obrade



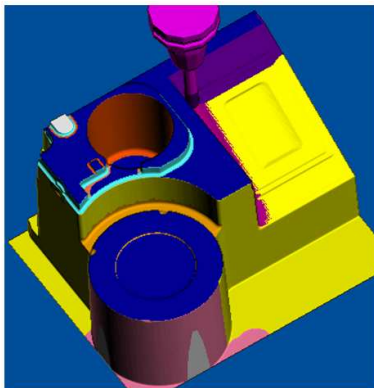
Raster Flat Finishing D20 R0.8



Constant Z Finish D20 R0.8



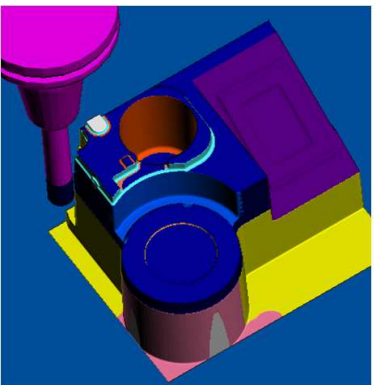
Constant Z D8



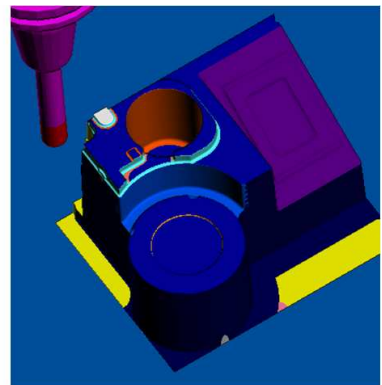
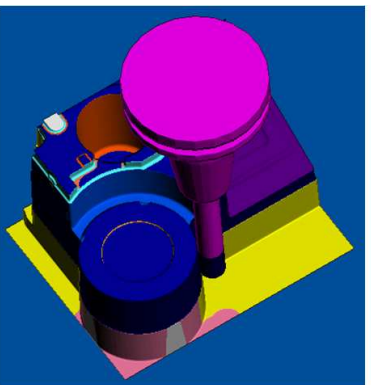
Constant Z R6



Constant Z D10 R2



Constant Z D25 R0.8



Slika 80. Simulacija fine obrade

7. Reference

- [1] Arsovski S., Perović M.: *Fleksibilna automatizacija*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.
- [2] Devedžić G.: *Softverska rešenja CAD/CAM sistema*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [3] Lukić Lj.: *Fleksibilni tehnološki sistemi*, Mašinski fakultet, Kraljevo, 2008.
- [4] Lazić M., Nedić B., Mitrović S.: *Tehnologija obrade metala rezanjem*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2002.
- [5] Mandić V.: *Virtuelni inženjering*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2007.
- [6] *PowerMILL 9.0 Product Page – Reference Manual*
- [7] *PowerMILL Training Course, Delcam plc*, Talbot Way, Small Heath Business Park, Birmingham, 2005.
- [8] *SANDVIK Coromant – Metalworking Products CoroPak 2006.1*

8. Zaključci

U okviru savremenih tržišnih uslova proizvodnje primena savremenih tehnologija prilikom izrade proizvoda je neminovnost u svim njegovim fazama, od ideje do konačne realizacije. U ovom radu je iskazan jedan segment izrade proizvoda koji se odnosi na proces njegove obrade na konkretnoj mašini. Njegovo izvođenje bilo bi gotovo nezamislivo bez upotrebe računara i informacionih tehnologija koje tu obradu podržavaju.

Pored generisanja same strategije obrade i NC koda za odgovarajuću mašinu, čime se znatno olakšava proces obrade, velika prednost ovih tehnologija je i mogućnost simulacije procesa. Time se sprečavaju greške koje se mogu javiti u toku same proizvodnje, jer se one uočavaju na virtuelnom modelu proizvoda. Optimizacija putanja alata se može izvesti odmah nakon njenog generisanja čime se ostvaruju znatne uštede u vremenu i eliminiše se potreba za naknadnim poboljšanjima.

Pored ovih prednosti koje donosi automatizacija procesa proizvodnje, konstruktor i dalje mora poznavati osnove tradicionalne izrade tehnologija jer se neki parametri i dalje moraju ručno ubacivati u program kao što su režimi obrade, vrste alata za obradu, izmene na geometrijskom modelu proizvoda i sl. Ovo znanje se ugrađuje u savremene CAM sisteme i predstavlja njihovu nadogradnju.

Kada se na ovakav način završi proces projektovanja tehnologije, proizvod se pušta u proizvodnju sa mnogo manje neizvesnosti nego prilikom tradicionalnog pristupa. Sve ovo predstavlja jasan pokazatelj višestranih prednosti računarom podržane proizvodnje.

Datum: _____

Mesto: _____

Potpis studenta:

Potpis industrijskog mentora:
