



**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK  
U TRAVNIKU  
FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA TRAVNIK  
U TRAVNIKU**

**ZAVRŠNI RAD**

**PRIMJENA CAD/CAM TEHNOLOGIJA U  
PROIZVODNJI DIJELOVA TRANSPORTNIH  
SREDSTAVA**

**Mentor:**

**Doc.dr. Muhamed Sarvan**

**Student:**

**Mevludin Hodžić**

**Travnik, 2019.**

# **SADRŽAJ**

1. UVOD .....	1
2. ZNAČAJ AUTOMATIZACIJE PRI PROJEKTOVANJU PROIZVODA .....	2
3. INTEGRACIJA CAD/CAM SISTEMA .....	3
3.1. CAD sistemi .....	4
3.2. CAM sistemi.....	5
3.3. Zadatak završnog rada.....	6
4. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE DIJELA .....	7
4.1. Analiza crteža izratka .....	7
4.2. Radionički crtež dijela.....	8
4.3. ANALIZA TOLERANCIJA I MATERIJALA DIJELA .....	9
4.3.1. Tolerancije izrade .....	9
4.3.2. Izbor materijala.....	9
5. DEFINISANJE POSTUPKA OBRADE .....	10
5.1. Parametri u obradi glodanjem .....	10
5.2. Definisanje operacija obrade .....	11
5.3. Operacijski list.....	12
6. IZBOR MAŠINE, ALATA I PRIBORA .....	13
6.1.Izbor mašine .....	13
7. IZBOR ALATA .....	15
7.1 Tabela alata koji se koriste pri izradi.....	16
7.2. Plan stezanja i pribor za stezanje.....	17
7.2.1. Prvo stezanje.....	17
7.2.2 Drugo stezanje .....	17
8. PRIMJENA CAM MODELIRANJA U INDUSTRIJI PROIZVODNJE DIJELOVA TRANSPORTNIH SREDSTAVA.....	19
8.1. Projektovanje tehnologije u SolidCAM-u .....	20
8.2. Projektovanje novog dokumenta .....	20
9. PODEŠAVANJE ALATA, NAČINA STEZANJA I OPERACIJA .....	23
10. IZRADA TEHNOLOŠKOG LISTA.....	25
10.1. Obrada glodanjem .....	26
10.2. Režim i tehnologija obrade.....	27
10.3. Tehnologija obrade .....	27
10.4. Simulacija u SolidCAM-u .....	28
10.5. Generisanje „G“ KODA .....	29

11. ZAKLJUČAK .....	30
LITERATURA.....	31
PRILOZI.....	32

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Veza između CAD/CAM sistema .....	3
Slika 2. CAD sistem .....	4
Slika 3. CAM sistemi .....	5
Slika 4. Proces transformacije modela iz elektronske forme ka fizičkoj formi gotovog proizvoda .....	6
Slika 5. Radionički crtež .....	8
Slika 6. Polazni materijal .....	10
Slika 7. Mašina EMCO Concept MILL 450 .....	13
Slika 8. Elementi alata za obradu .....	15
Slika 9. Slika prvog stezanja .....	17
Slika 10. Drugo stezanje.....	18
Slika 11. Izrada pribora za stezanje.....	18
Slika 12. Prikaz operacija u SolidCAM-u.....	19
Slika 13. Projektovanje novog dokumenta.....	20
Slika 14. Postavke CAM modela .....	20
Slika 15. Definisanje postupka.....	21
Slika 16. Definisanje parametara.....	22
Slika 17. Definisanje alata i stezanja.....	23
Slika 18. Način glodanja .....	23
Slika 19. Tehnološki parametri .....	24
Slika 20. „Simple Boss“ .....	26
Slika 21. Definisanje tehnologije obrade .....	27
Slika 22. Simulacija.....	28
Slika 23. Dio G - koda.....	29

## ***POPIS TABLICA***

Tabela 1. Tolerancije izrade .....	9
Tabela 2. Izbor materijala.....	9
Tabela 3. Lista operacija .....	12
Tabela 4. Alati za izradu .....	16
Tabela 5. Tehnološki list .....	25
Tabela 6. Režim obrade.....	27

## **SAŽETAK**

Za uspješno projektovanje i konstrukciju dijelova transportnih uređaja potrebno je poznavati izvedbe i mogućnost istih te pripadajuće dijelove koji zajedno čine funkcionalnu mašinu. U projektovanju i proizvodnji dijelova transportnih uređaja postavljaju se visoki zahtjevi za kvalitetom obrade, točnosti i pouzdanosti. Dijelovi koji najviše utječu na kvalitetu i tačnost obrade je glavni pogon mašine alatke, koji osigurava glavno kretanje. Ako modul za stezanje rezognog alata na obradni sistem nije adekvatno izведен, može doći do poremećaja procesa obrade i izrade dijela, a shodno tome i do pojave vibracija pa čak i do loma oštice alata. Zbog toga cijeli sistem za stezanje rezognog alata mora imati visoku krutost jer jedino tako kvaliteta i učinkovitost alata mogu doći do izražaja.

U prvom dijelu rada opisano je ukratko o CAD i CAM sistemima i njihovo primjeni u industriji proizvodnje dijelova transportnih sredstava. Izvršeno je projektovanje modela ručice kočnice transportnog motocikla, te izrađen i radionički crtež. Opisana je mašina na kojoj je planirana proizvodnja ručice kočnice transportnog motocikla. Ukratko su opisane mogućnosti mašine za izradu, njene prednosti i nedostaci. Prikazana je fotografija mašine, te opisani najvažniji pripadajući elementi iste.

U završnom dijelu rada opisan je i slikovito prikazan postupak izrade ručice kočnice transportnog motocikla putem softverskog paketa SolidCAM. S obzirom na ulazne parametre i zahtjeve obrade izvršena je usporedba više različitih alata koji su prikazani u ovom radu.

Također zbog složenosti dijela i nemogućnosti stezanja obratka napravljen je specifičan element za stezanje koji se može koristiti samo u slučaju ponovne proizvodnje istog dijela odnosno ručice. Na kraju je izvršeno generisanje i G-koda.

## **1. UVOD**

Velika konkurenčija, slični ili identični proizvodi, male razlike u cijenama i sl. su razlozi koji podstiču proizvođače da se na neki drugi način izdvoje od konkurenčije. Potrebno je da se implementacijom novih sistema poboljša i ubrza razvoj proizvoda odnosno skrati vremenski period od ideje do izrade gotovog komada. Pri tome se nikako ne smije ugroziti kvalitet i funkcionalnost proizvoda.

U tom smislu posljednjih decenija razvijaju se i praktikuju mnogi sistemi, pristupi, strategije, koncepti i filozofije usmjereni ka različitim proizvodnim efektima.

Prvi pojam koji će biti analiziran jest "CAD/CAM sistemi". CAD je skraćenica od engleskog pojma Computer Aided Design. Taj pojam predstavlja sisteme koji omogućuju računaru potpomognuto konstruiranje, a tu se podrazumijeva jednostavnija izrada dijelova i sklopova, kao i cijelih zgrada kod npr. Projektovanja proizvodnih sistema. To uključuje i jednostavniju izradu tehničkih crteža dijelova te sklopova. Crteži mogu biti izrađeni u dvije dimenzije (2D) i tri dimenzije (3D). Trodimenzionalni objekti u dvodimenzionalnim crtežima mogu biti predstavljeni trima projiciranim pogledima, a to su nacrt, tlocrt i bokocrt.

Današnji CAD programski paketi razvrstavaju se od 2D paketa baziranih na vektorskoj grafici do 3D paketa temeljenih na krutim i površinskim modelima. Moderni CAD paketi omogućuju rotaciju modela u tri dimenzije, kao i poglede na model iz bilo kojega ugla. Njihova upotreba je za izradu alata i mehanizama u proizvodnji pojedinih komponenata, a isto tako se mogu upotrebljavati i za konstrukcije svih tipova zgrada. CAD paketi se osim toga upotrebljavaju i pri raznim kinematičkim i dinamičkim analizama. Glavne karakteristike ovakvih paketa jesu niski troškovi proizvodnje dijelova i znatno kraći ciklusi konstruisanja.

Nadalje, CAM je skraćenica od engleskog pojma Computer Aided Manufacturing. Ovaj pojam predstavlja programske pakete koji omogućuju inženjerima i operaterima u proizvodnji izradu prototipa komponenata proizvoda, a i samih komponenata proizvoda. Kako bi se to uspjelo, ovdje se primjenjuju modeli izrađeni u CAD paketima. CAM paketi prvi puta su upotrebljeni 1971. godine za konstruiranje automobila te mašinsku obradu. U ovom pojmu može se definisati još jedan jako bitan pojam, koji nije važan samo za mašinstvo, već općenito za sve što se nalazi oko čovjeka, a to je pojam proizvodnja. Proizvodnja predstavlja osnovno područje ljudskog rada. Pojam proizvodnja dolazi od engleske riječi "manufacturing" koja ima latinski korijen: Manu – ruka (rukom) Facere – izrađivati (proizvoditi).

## **2. ZNAČAJ AUTOMATIZACIJE PRI PROJEKTOVANJU PROIZVODA**

Automatizacija projektovanja proizvoda u mašinstvu omogućila je prevodenje svih aktivnosti iz tradicionalnih u tzv. „elektronske“ pristupe.

Automatizacija je dakle, teorija i tehnika koja proces čini automatskim, samokrečućim ili samoupravlјivim. Automatizacija je proces kojim se nešto pravi automatskim, a također je stanje koje je rezultat tog istog procesa. Automatizacija je nastavak procesa mehanizacije, zato jer se automatskim može učiniti samo onaj proces koji je u dovoljnoj mjeri mehaniziran. Automatizacija u širem smislu obuhvaća sve mjere i procese kojima se smanjuje udio ljudskog rada, opažanja i odlučivanja.

Elektronske pristupe odlikuje široka primjena računara i odgovarajućih programskih alata. Danas se ovakvi pristupi razvoja proizvoda i proces gotovo podrazumjevaju. Štaviše, ostvarivanje savremenih koncepata industrijske prakse nezamislivo je bez automatizacije svih segmenata razvoja, od ideje do plasiranja proizvoda na tržištu, pa sve do kraja njegovog vijeka.

Da bi se bolje razumjela suština automatizacije projektovanja i ovih programskih sistema za projektovanje tehnologije, u nastavku je napravljen kratak osvrt na CAD/CAM sisteme i njihovu integraciju.

Primjena automatizacije kod transportnih sredstava:

- Upravljanje radom motora (Powers, Ford – u 20 g. Automobili su 10 x čišći i 2 x učinkovitiji zahvaljujući ponajviše “distributed microprocessor based control system”)
- Pogoni (4x4, automatski mjenjači, dual clutch mjenjači, AD i TVD )
- Tempomat, adaptivni tempomat
- TCS, ESP
- Pomoć držanja vozne trake
- Vožnja u koloni
- Poluaktivni i aktivni ovjesi

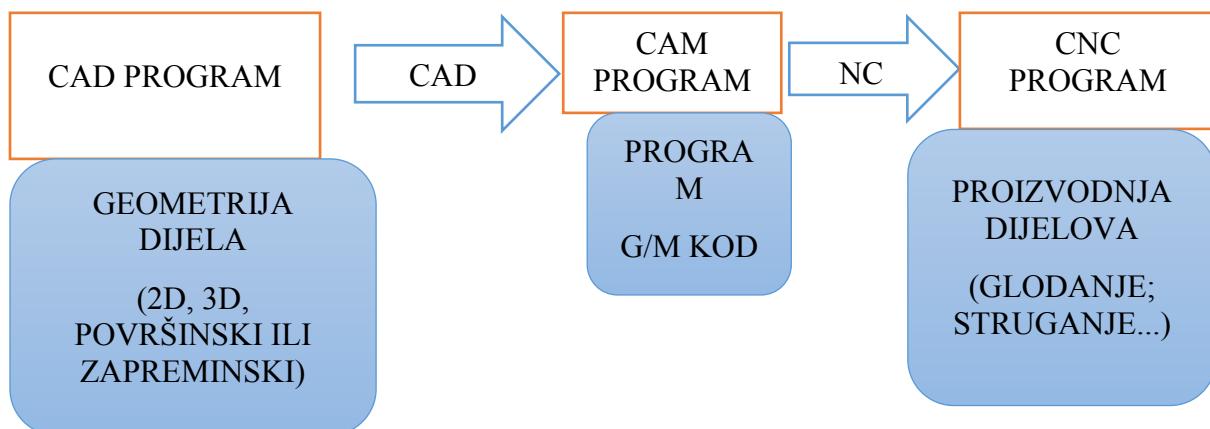
### **3. INTEGRACIJA CAD/CAM SISTEMA**

Tehnologija koja obuhvata upotrebu računarskih sistema za analizu CAD geometrije i simulaciju omogućava da se uoči kako će se proizvod ponašati, tako da se model može redefinisati i optimizovati. Za tehnologiju obrade rezanjem i obradne sisteme:

- statičku analizu (struktura, masa, moment inercije),
- dinamičku analizu (linearnu i nelinearnu),
- metodu konačnih elemenata MKE analizu - optimizaciju strukture u skladu sa funkcijom cilja.

Između CAD/CAM sistema postoji veliki broj veza. CAD sistem obezbeđuje informacije o proizvodu i konstrukciji, što predstavlja ulaz za CAM sistem. Sama veza između CAD i CAM sistema može se ostvariti na više načina.

1. Prvi način je ostvarivanje veza CAD i CAM sistema korištenjem dokumentacije,
2. drugi način je povezivanje CAD/CAM sistema stalnom vezom preko odgovarajućih interfejsa i
3. treći način integracijom CAD/CAM sistema kroz bazu podataka.



*Slika 1. Veza između CAD/CAM sistema*

### 3.1. CAD sistemi

CAD - Computer Aided Design (Računalom podržano konstruiranje) je korištenje računalnih programa kako bi se pomoglo u kreiranju, modifikaciji, analizi i optimizaciji dizajna.

CAD programi upotrebljavaju se pri izradi ili poboljšanju konstrukcije proizvoda od koncipiranja do dokumentacije.

CAD programi su podrška procesu konstruiranja u kreiranju geometrijske prezentacije onoga što se konstruira, dimenzioniranju i tolerancijama, upravljanju izmjenama konstrukcije, arhiviranju i razmjeni informacija o dijelovima i sklopovima.

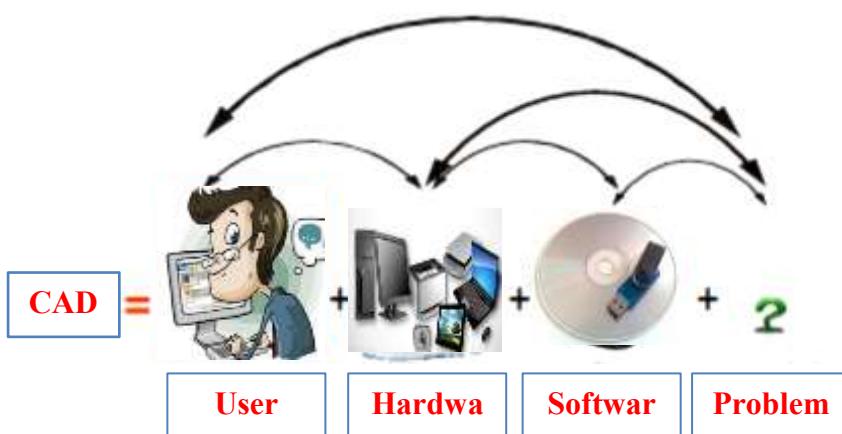
Sistemi za projektovanje pomoću računara Computer – Aided Desing (CAD) se bave primjenom kumpjuterskih sistema u izradi, modifikaciji, analizi i optimizaciji projekta.

Ovi sistemi se razvijaju još od 60-tih godina prošlog vijeka. Veliku ekspanziju doživjeli su pojavom personalnih računara. Od tada pa sve do danas CAD sistemi se neprestano razvijaju i dporinose automatizaciji postupka projektovanja.

Koristi od upotrebe CAD sistema su višestruke: povećava se produktivnost projektovanja, poboljšava se kvalitet projektovanih dijelova i tačnost, omogućene su lahke izmjene na modelima, kao i njihova razmjena u elektronskom obliku itd.

Eventualni problemi vezani za upotrebu CAD sistema su:

- potreba dodatne buke za zaposlene,
- cijena
- heterogenost razvojnih platformi,
- pitanje kompatibilnosti verzija i platformi i dr.



Slika 2. CAD sistem

### **3.2. CAM sistemi**

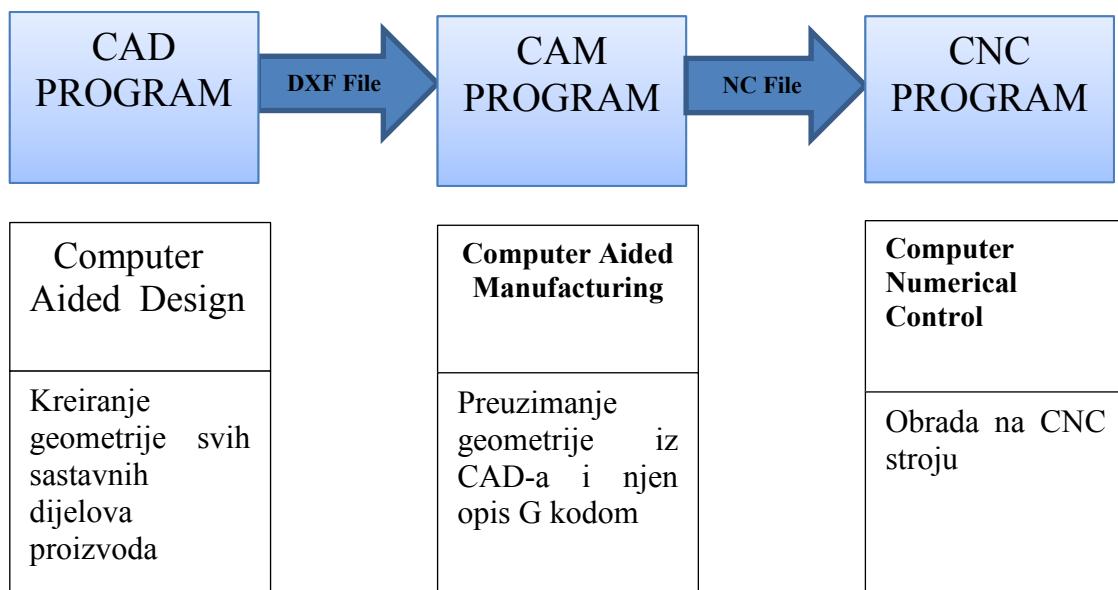
CAM sistemi predstavljaju programske alate koji podržavaju intenzivnu upotrebu računara za planiranje i projektovanje proizvodnih i tehnoloških procesa, operacija i upravljanja proizvodnjom, odnosno proizvodnim procesima.

CAM sistemi u automatizaciji projektovnja i izrade proizvoda čine važan faktor, jer uspostavljaju vezu između CAD modela i numerički upravljenih mašina (NUMA).

Osnovne funkcije CAM sistema vezane su za planiranje prizvodno-tehnoloških procesa.

Među njima su:

- generisanje poluproizvoda,
- generisanje i optimizacija putanje alata,
- kreiranje i korištenje baza podataka i kataloga režima alata,
- proračun vremena izrade,
- generisanje NC programa,
- simulacija i vizualizacija procesa izrade,
- generisanje proizvodne dokumentacije,
- brza izrada prototipa „Rapid Prototyping“,
- ugrađivanje i korištenje znanja „Knowledeware“,
- upravljanje proizvodnim procesima.

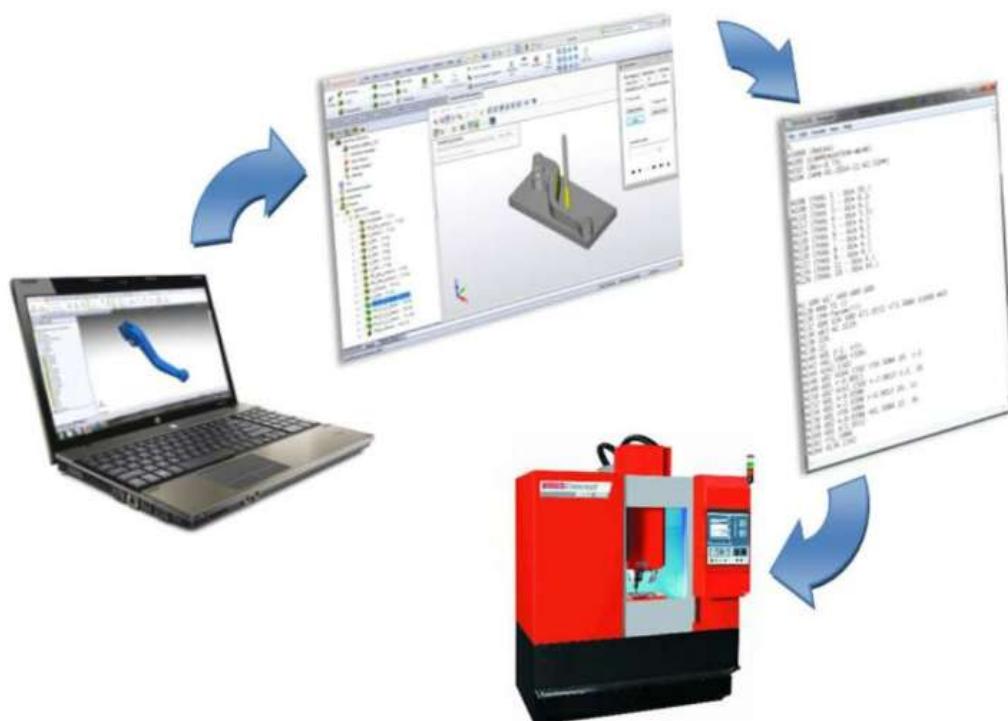


*Slika 3. CAM sistemi*

### **3.3. Zadatak završnog rada**

Zadatak završnog rada je objasniti postupak projektovanja i tehnologiju izrade ručice kočnice transportnog motocikla prema definisanom radioničkom crtežu. Izrada ovog rada biće zasnovana na sedam osnovnih dijelova koji su neophodni za njegov završetak:

1. Izvršiti analizu geometrijskog oblika dijela,
2. Analizirati materijal dijela,
3. Definisati operacije obrade,
4. Izvršiti izbor mašine,
5. Definisati plan alata i plan stezanja,
6. Projektovati tehnologiju u SolidCAM-u
7. Izvršiti generisanje G koda



*Slika 4. Proces transformacije modela iz elektronske forme ka fizičkoj formi gotovog proizvoda*

## **4. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE DIJELA**

### *4.1. Analiza crteža izratka*

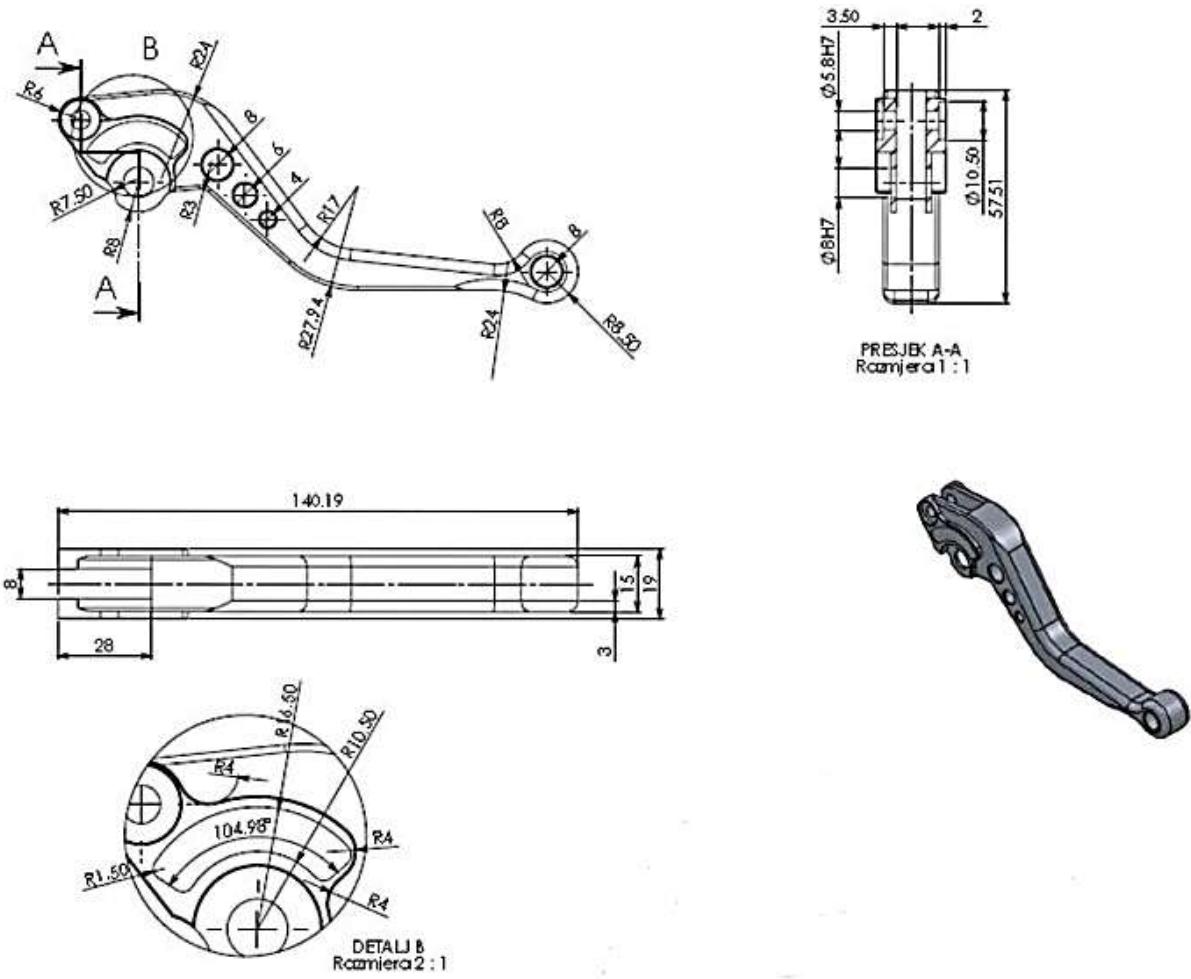
Osnovna namjena crteža je opisati geometriju tj. oblik proizvoda. Zato je prvo potrebno analizirati oblik predmeta sa svim njegovim detaljima. Ovo podrazumijeva detaljno analiziranje podataka na crtežu, zaglavlju, sastavnici te ostalim tabelama i napomenama.

S tim u vezi posebno pažnju treba obratiti na sljedeće:

- mjerne jedinice,
- način kotiranja,
- tolerancije
- materijal poluproizvoda ili pripremka, dimenzije i stanje isporuke,
- hrapavost površina,
- navoje,
- termičku obradu i
- uklanjanje oštih ivica

Nakon analize crteža pristupa se izradi tehničke dokumentacije.

## *4.2. Radionički crtež dijela*



Slika 5. Radionički crtež

Radionički crteži predstavljaju najvažniji dio tehničke dokumentacije. U različite svrhe njima se koristi velik broj tehničkog osoblja različitog stepena obrazovanja. Zbog toga oni moraju na jasan jednostavan i razumljiv način definirati prikazani objekt ili sistem. Pri tome je važna primjena utvrđenih normi i pravila, odnosno standarda. Propisi kojima se utvrđuju pravila izrade radioničkih crteža obuhvaćeni su nacionalnim normama npr. *DIN (Deutsche Industrie Norm)*, *ISO (International Organization for Standardization)* ili *ANSI (American National Standard Institute)*.

## **4.3. ANALIZA TOLERANCIJA I MATERIJALA DIJELA**

### *4.3.1. Tolerancije izrade*

Nijednu dimenziju nije moguće izraditi savršeno tačno, bez ikakvih odstupanja. Stoga, kada je važno ostvariti određenu tačnost, treba propisati dozvoljenu grešku. Odstupanje dimenzija od absolutno zadanih vrijednosti nazivaju se tolerancije.<sup>1</sup>

Pri izradi ručice postavljeni su sljedeći uslovi s obzirom na tačnost dimenzija i kvalitetu izrade.

*Tabela 1. Tolerancije izrade*

ISO TOLERANCIJE	
5.8 H7	+ 0,012
	-0
8 H7	+0,0115
	-0

### *4.3.2. Izbor materijala*

Sam tok i složenost izbora materijala određen je prvenstveno vrstom i tipom proizvoda (razina zahtjeva funkcionalnosti, nosivosti, trajnosti, pouzdanosti, cijene i dr.). Ekstremni uvjeti rada uvjetuju i visoke zahtjeve na svojstva materijala.<sup>2</sup>

Materijal za izradu ručice je aluminijkska legura ENA W-AlMg4,5Mn0,7 i definisan je crtežom dijela, odnosno zadatkom.

*Tabela 2. Izbor materijala*

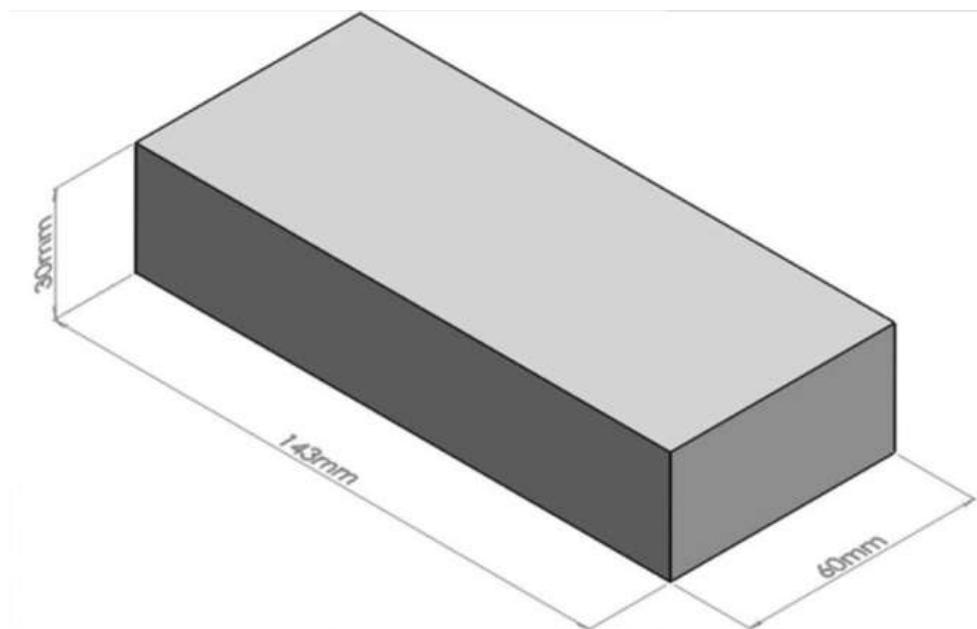
Oznaka materijala	Dimenzijske vrijednosti	A	Rm	Rp0,2
Oznaka	Broj	E	%	
EN W-AlMg4,5Mn0,7	ENA W-5083	mm	min.	min.
		KN/mm <sup>2</sup>		
		143x60x30	11	257 125 70

<sup>1</sup> [https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/os\\_7\\_tolerancije.pdf](https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/os_7_tolerancije.pdf)

<sup>2</sup> [http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/metode\\_im rijeka.pdf](http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/metode_im rijeka.pdf)

## 5. DEFINISANJE POSTUPKA OBRADE

Polazni materijal – pripremnik ima dimenzije (143x60x30) mm. Dimenzije pripremka su određene tako što su na dimenzije gotovog dijela dodati dodaci za grubu i finu obradu.



Slika 6. Polazni materijal

### 5.1. Parametri u obradi glodanjem

Režim obrade u obradi glodanjem je određen brzinom rezanja:

$$V = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \approx \frac{D \cdot n}{320}, m/min$$

odnosno brojem obrtaja alata:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{D \cdot \pi} \approx \frac{320 \cdot V}{D}, o/min$$

i brzinom pomoćnog kretanja:

$$V_p = n \cdot S = n \cdot S_1 \cdot z, \frac{mm}{min}$$

Izbor brzine rezanja kao i ostalih režima obrade vrši se na dva načina i to na bazi:

- preporuka ili
- proračunom.

## **5.2. Definisanje operacija obrade**

Osnovne ulazne informacije ovu fazu projektovanja tehnologije izrade dijela predstavlja crtež izratka (radni predmet poslije obrade), crtež pripremka i osnovni tehnološki zadatak (kojim su navedeni: količina radnih predmeta, posebni zahtjevi i sl.).

Tehnološki list je dokument koji definiše:

- redoslijed svih operacija i zahvata u skladu sa zahtjevima na crtežu (geometrijske tolerancije, linearne tolerancije, hrapavost, termička obrada),
- potrebne stezne, rezne i mjerne alate za pojedine operacije,
- pripremno-završno, pomoćno i glavno vrijeme obrade.

Kod glodanja redoslijed operacija, tj. zahvata može biti sljedeći:

1. Pripremne operacije:

- pripremiti mašinu,
- izmjeriti i postaviti alate,
- izmjeriti i stegnuti pripremak, i
- postaviti nultu tačku obratka.

2. Operacije obrade:

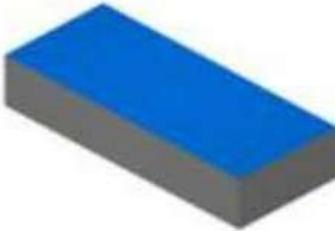
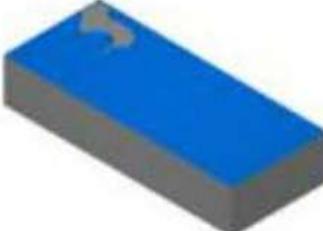
- Obrada prve strane obratka,
- Obrada čela,
- Obrada konture dijela,
- Obrada džepova,
- Zabušivanje,
- Bušenje otvora,
- Obrada žljebova,
- Obrada radijusa i skošenja

3. Završne operacije:

- Otpustiti obradak,
- Očistiti obradak i
- Provjera ostvarenih dimenzija i kvaliteta površine.

### 5.3. Operacijski list

Tabela 3. Lista operacija

Naziv operacije i zahvata	Alat	Prikaz operacije zahvata u izometriji
Prva strana		
1. Stezanje pripremka u pneumatsku stegu i umjeravanje nulte tačke pripremka		
2. Grubo i fino čeono glodanje	Vretenasto glodalo T1-D25	
3. Glodanje konture	Vretenasto glodalo T2-D6	
Druga strana		
16. Drugo stezanje sa priborom za stezanje i umjeravanje nulte tačke		
1. Čeono glodanje druge strane obratka	Vretenasto glodalo T1-D25	
2. Glodanje konture	Vretenasto glodalo T2-D26	

## **6. IZBOR MAŠINE, ALATA I PRIBORA**

### **6.1. Izbor mašine**

Sljedeća faza projektovanja tehnologije ručice kočnice transportnog motocikla jeste izbor mašine, potrebnih alata za izvođenje definisanih operacija i zahvata, kao i izbor odgovarajućih steznih pribora.

Za izradu dijela odabrana je mašina EMCO Concept MILL 450, koja se nalazi u postrojenju fabrike u kojoj je planirana izrada ovog dijela.



*Slika 7. Mašina EMCO Concept MILL 450*

Troosni obradni centar ima mogućnost izmjene upravljačkih panela i programa na upravljačkoj jedinici (Sinumerik, Heidehain i Fanuc), pa predstavlja i vrhunski opremljenu edukacionu mašinu.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>[http://mfbl.com/upload/documents/laboratorije/laboratorijska%20za%20tehnologiju%20obrade%20rezanjem%20i%20obradne%20sisteme/Oprema\\_decembar\\_2013.pdf](http://mfbl.com/upload/documents/laboratorije/laboratorijska%20za%20tehnologiju%20obrade%20rezanjem%20i%20obradne%20sisteme/Oprema_decembar_2013.pdf)

Osnovne karakteristike:

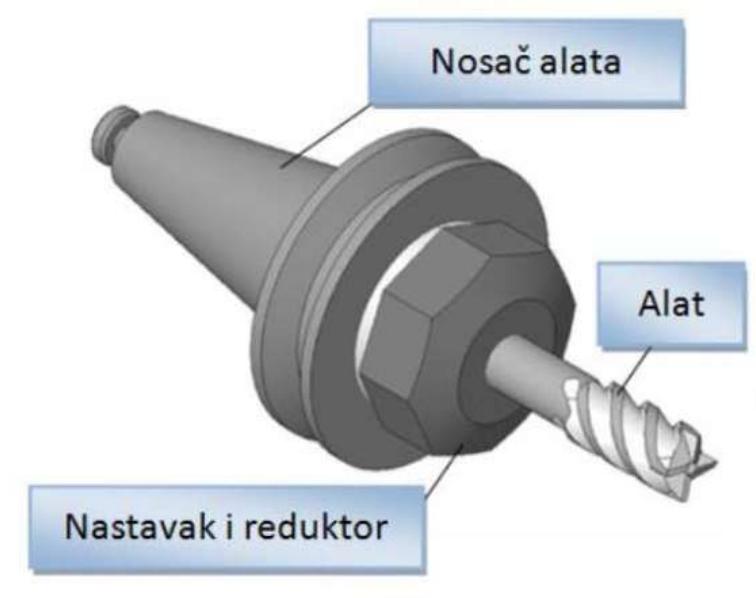
- tri sihronizovane ose X, Y, Z
- prihvati vretena ISO 40
- maksimalni broj obrtaja 12000 o/min
- maksimalni posmak 10000 mm/min
- snaga vretena (Direct drive) 11 kW
- obrtni moment vretena 70 kN
- radni prostor 600 x 500 x 500
- magacin sa 20 alata
- automatska izmjena alata
- automatska vrata
- pneumatsko stezanje radnih komada
- mogućnost dogradnje 4. i 5. ose
- omogućen DNS robotski interfejs

## 7. IZBOR ALATA

Utjecaj alata na ukupno vrijeme izrade, a s tim i na troškove proizvodnje, veoma je značajan. Zbog toga, pored ispravno riješenog tehnološkog procesa izrade treba posebnu pažnju posvetiti pravilnom odabiru alata za obradu.

Pri odabiru alata treba voditi računa o sljedećim parametrima:

- cijeni alata,
- vrsti i tvrdoći materijala koji se obrađuje,
- stanju materijala,
- površinskoj hrapavosti materijala,
- dimenziji alata s obzirom na dimenzije i tolerancije koje je potrebno ostvariti obradom,
- vrsti i obliku alata s obzirom na geometrijski oblik površine koja se obrađuje i
- potrebe korištenja SHP-a



Slika 8. Elementi alata za obradu

Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala i mogu biti smještene ili na obodnoj (rjeđe) ili na obodnoj i čeonoj plohi glodala. Postoji više kriterija podjele glodalaca, a najčešće se dijele po obliku i namjeni: valjkasta, čiona, vretenasta s ravnom ili loptastom čelnom plohom, pločasta s pravougaonim ili profilnim poprečnim presjekom, pilasta glodala, odvalna glodala, te glodala posebnih oblika.

## 7.1 Tabela alata koji se koriste pri izradi

Tabela 4. Alati za izradu

Vretenasto glodalo	T1-D25	D=25 AD=25 OHL=60  SL=50 CL=45 TL=121
Vretenasto glodalo	T2-D6	D=6 AD=6 OHL=20  SL=10 CL=8 TL=52
Zabušivač	T3-D10	D=10 AD=10 A=90 OHL=1.5 78  SL=1.181 CL=0.196 TL=3.937
Spiralna burgija	T4-D5.8	D=5.8 AD=5.8 OHL=60  SL=30 CL=24 TL=150

Rezni dio glodala izrađuje se od materijala znatno veće tvrdoće od obrađivanog materijala, a najčešće se koriste brzorezni čelici, tvrdi metali, cermet, keramika te kubni nitrid bora. Od brzoreznog čelika izrađuje se cijelo glodalo.

## **7.2. Plan stezanja i pribor za stezanje**

Pri obradi glodanjem na obradak djeluju sile rezanja čija veličina i smjer zavisi od vrste operacije, režima obrade i materijala obratka. U nekim slučajevima te sile mogu imati značajan uticaj pa je obradak potrebno sigurno učvrstiti na radni sto.

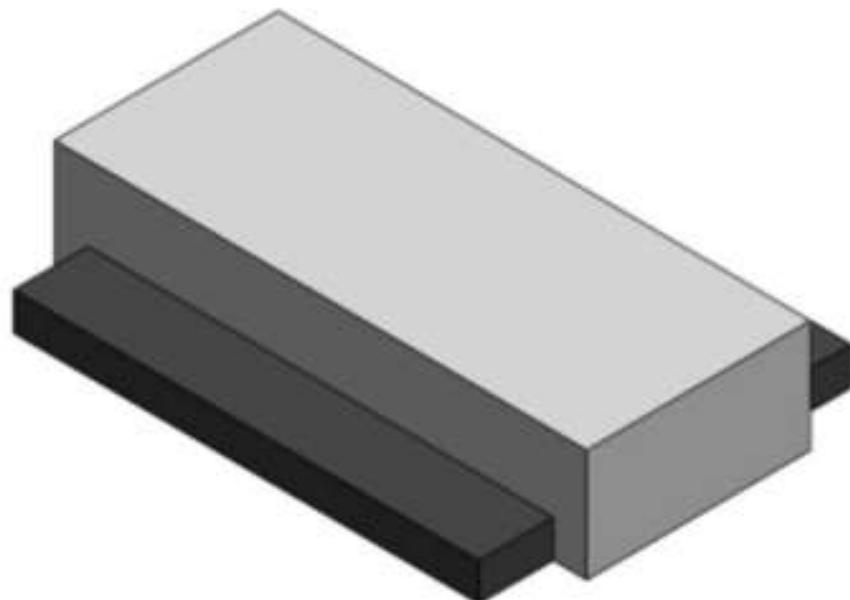
Stezanje može biti izvršeno na više načina i to:

- mehaničko,
- hidrauličko,
- pneumatsko i
- elektrmagnetsko.

Izrada ovog dijela se vrši na dva stezanja na troosnoj mašini EMCO ConceptMILL 450.

### **7.2.1. Prvo stezanje**

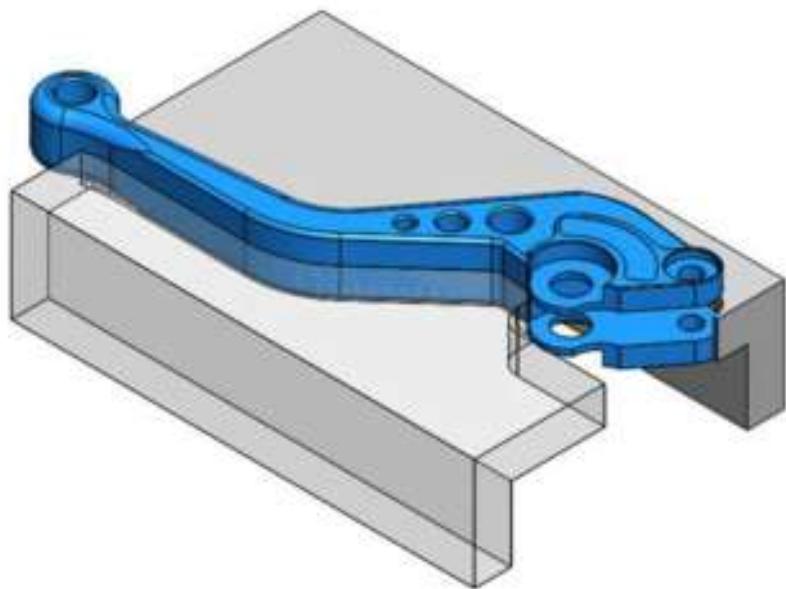
Pripremnik, odnosno početni komad je prizmatičnog oblika i zbog toga se prvo stezanje vrši pomoću pneumatske stege.



*Slika 9. Slika prvog stezanja*

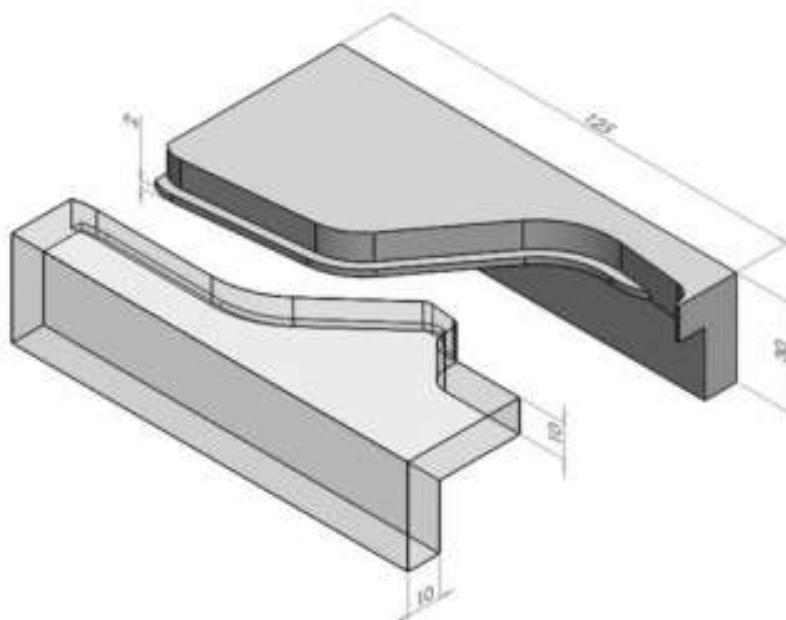
### **7.2.2 Drugo stezanje**

Zbog složene konture obratka i nemogućnosti da se stegne na radni sto maštine nekim od standardnih pribora za stezanje koji se takođe postavlja u pneumatsku stegu, koja je učvršćena na postolju maštine.



*Slika 10. Drugo stezanje*

Izrada pribora je izvršena pomoću CAD/CA softvera SolidWorks i SolidCAM. U softver je također ugrađen i sklop pribora sa dijelom koji se izrađuje tako da su sve moguće greške na priboru otklonjene prije same izrade pribora na mašini.



*Slika 11. Izrada pribora za stezanje*

## **8. PRIMJENA CAM MODELIRANJA U INDUSTRIJI PROIZVODNJE DIJELOVA TRANSPORTNIH SREDSTAVA**

Za izradu CAM tehnologije odabran je programski paket SolidCAM jer je on jedan od vodećih programa u oblasti kompjuterski podržane proizvodnje, odnosno CAM-a. SolidCAM je jednostavan i moćan CAM sistem, koji je potpuno integriran u SolidWorks.

Najprodavaniji SlidCAM model je 2.5D milling, koji sadrži najnoviju tehnologiju obrada za vrlo jednostavanu primjenu i izradu 2.5D putanja alata. Dizajniran je za napredne korisnike, a jednostavan je i za početnike.

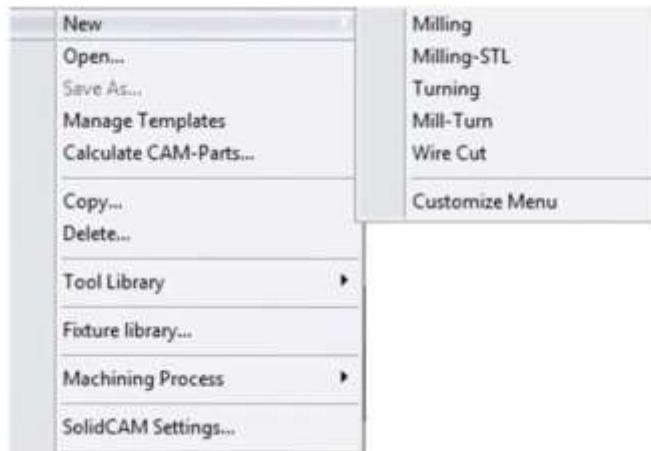


*Slika 12. Prikaz operacija u SolidCAM-u*

## **8.1. Projektovanje tehnologije u SolidCAM-u**

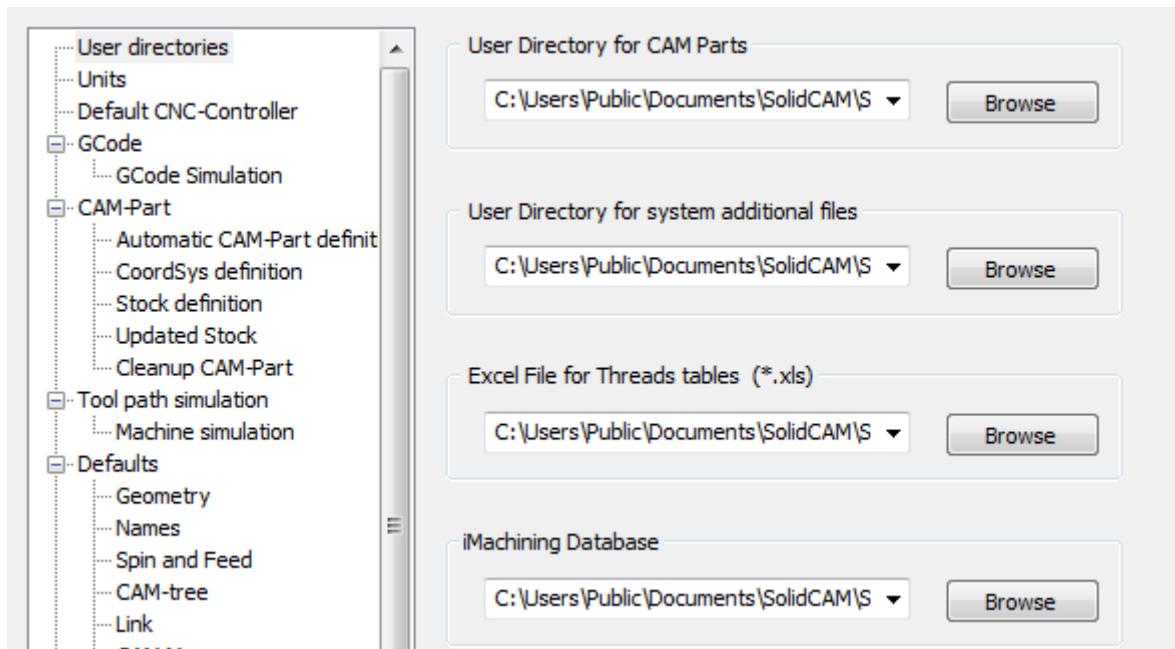
SolidCAM podržava sve ekstenzije i formate SolidWorks-a tako da je nivo komunikacije između CAD i CAM sistema na veoma visokom nivou.

### **8.2. Projektovanje novog dokumenta**



*Slika 13. Projektovanje novog dokumenta*

Nakon što je odabrana operacija, pojavljuje se novi dijalog-prozor u koji treba unijeti naziv modela, mjesto gdje se na računaru nalazi CAD model, mjesto čuvanja CAM modela i mjerni sistem koji se koristi ( u našem slučaju koristimo metrički mjerni sistem).



*Slika 14. Postavke CAM modela*

Nakon što je odabran CAD model za koji se projektuje tehnologija izrade, u okviru SolidCAM-a pojavljuje se novi dijalog okvir u kojem treba izvršiti sljedeće:

- Izbor mašine za obradu
- Definisanje koordinatnog sistema
- Definisanje preiprmka
- Definisanje gotovog dijela
- Definisanje materijala obrade
- Definisanje tolerancije i dr.



Slika 15. Definisanje postupka

Od mašine se zahtjeva sve veća tačnost obrade, veća brzina obrade (HSC), kraća pomoćna vremena kao i kraća vremena praznog hoda što na pogone postavlja zahtjeve za:

- visokom dinamikom,
- preciznom sinhronizacijom više kretanja,
- zadržavanje geometrije položaja,
- šire područje broja obrtaja,
- većim momentima,
- većim ubrzanjima,
- kraćim praznim hodom,
- manje ili bez održavanja,
- manje zagrijavanja.

Nakon generisanja geometrije potrebne za CAM modeliranje i nakon izbora postprocesora, definisanja koordinatnog sistema, definisanja pripremnika i gotovog dijela potrebno je u tehničkom stablu definisati preostale parametre.



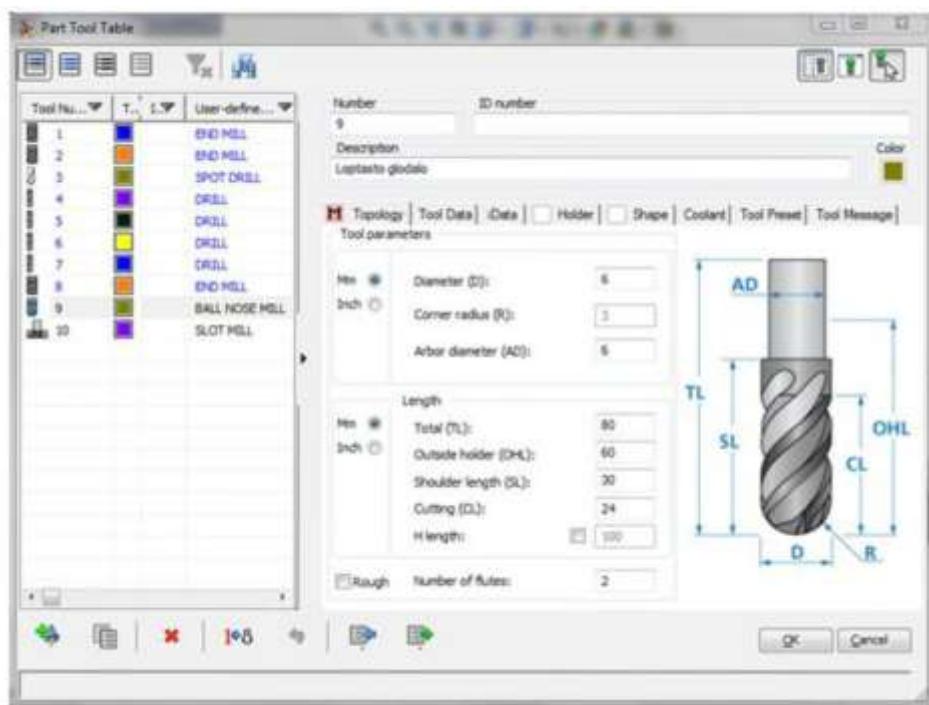
Slika 16. Definisanje parametara

Tokom obrade, obradak u stegi mora biti jednako stegnut. Ukoliko je previše stengut moglo bi doći do deformacija obratka. Ukoliko je obradak premalo stegnut, došlo bi do pomicanja ili eventualnog izljetanja uslijed velikih sila. Sila stezanja ne smije biti jednaka ili manja od sile rezanja i mora obuhvatiti sve smjerove sile obrade, tako da se obradak ne može pomaknuti, prevrnuti ili izletjeti.

Osnovna podjela alata za stezanje je:

- prema konstrukciji,
- prema vrsti izrade,
- prema namjeni i
- prema broju operacija

## 9. PODEŠAVANJE ALATA, NAČINA STEZANJA I OPERACIJA



Slika 17. Definisanje alata i stezanja

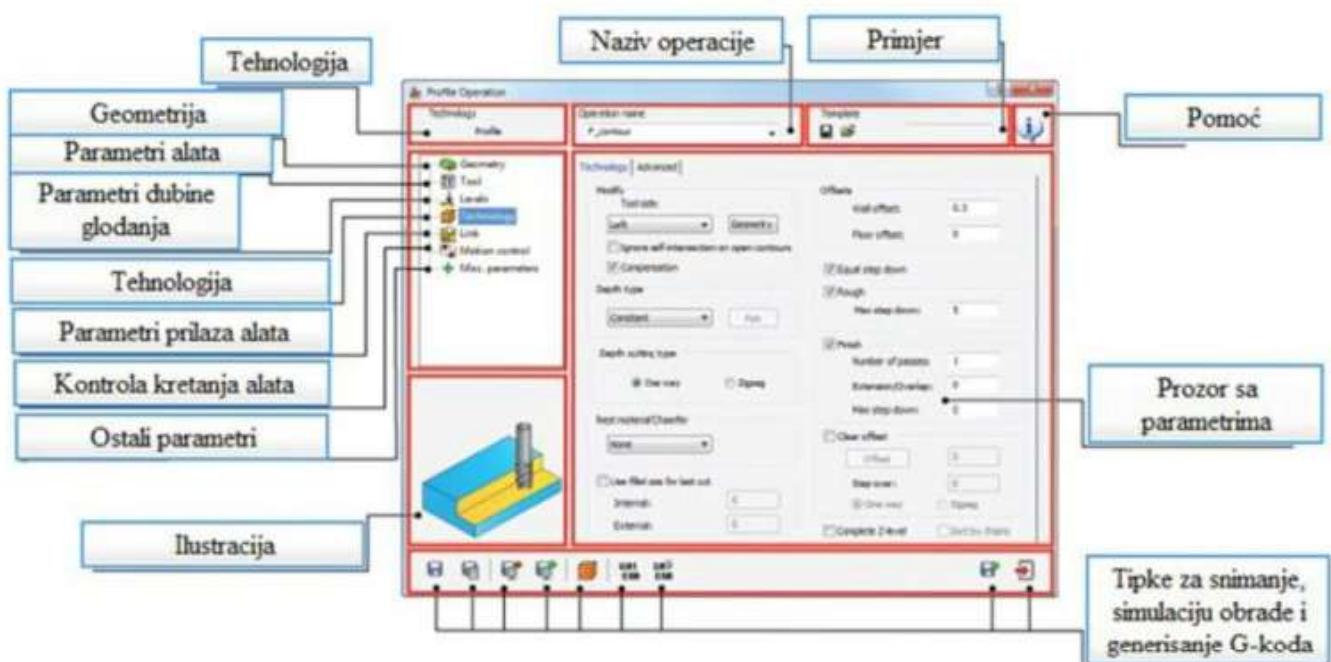
Operacije se biraju tako što se sa Modulske palete „SolidCAM Operations“ bira potrebna operacija glodanja.



Slika 18. Način glodanja

Izborom željene operacije javlja se novi prozor u kojem treba definisati sljedeće tehnološke parametre:

- ciljanu geometiju na obratku,
- alat,
- tehnološke parametre,
- organizacija vezana za alat.



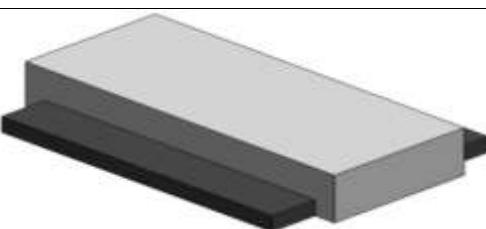
Slika 19. Tehnološki parametri

Računanje sile rezanja kod glodanja komplikiraniji je postupak nego li kod bilo kojeg drugog postupka odvajanja čestica materijala. To je prvenstveno iz razloga što se presjek odvojene čestice neprestano mijenja (od ulaska u zahvat, pa do izlaska oštice alata iz zahvata). U slučaju kada se istovremeno nalaze dvije ili više reznih oštice u zahvatu, sile rezanja na svakoj od tih oštice su različitog iznosa i smjera.

Sile rezanja posmatramo u dva koordinatna sistema: jedan sistem vezan je za alat (reznu oštricu), a drugi je vezan za obradak. Sile najviše ovise o vrsti alata (ravni ili kosi zubi), te o metodi glodanja (istosmjerno ili suprotnosmjerno glodanje).

## 10. IZRADA TEHNOLOŠKOG LISTA

Tabela 5. Tehnološki list

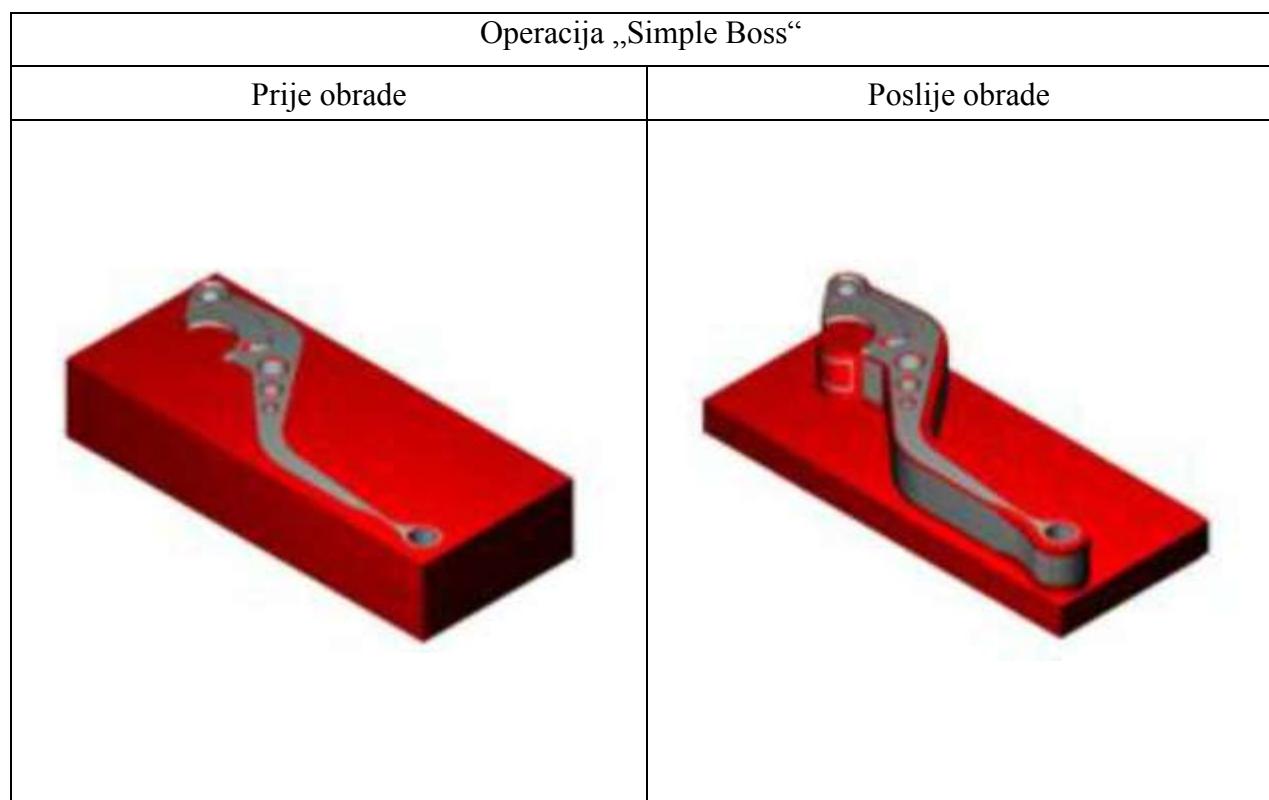
RUČICA KOČNICE MOTOCIKLA	
Sistem jedinica	mm
Mašina	EMCO Concept MILL 450
Tip maštine	Glodalica
Upravljačka jedinica	Sinumetrik 8100
Br. programiranih osa	3 ose
Stezanje alata	Pomoću stezne čahure
Materijal pripremka	ENA W-AlMg45SMn0,7
Broj operacija/zahvata	25
Broj izmjena alata	19
Ukupno vrijeme izrade	1h 34min 35sec
Mašina	
	
Pripremio	Mevludin Hodžić PT-81/15-I
Dimenzije početnog komada	X: 143 Y60 Z30
	

## **10.1. Obrada glodanjem**

Glodanje je postupak obrade skidanjem strugotine (rezanjem) obradnih površina proizvoljnih oblika. Izvodi se na alatnim mašinama, glodalicama, pri čemu je glavno (rezno) kretanje kružno kontinuirano i ostvaruje ga alat stegnut u radno vreteno. Posmično kretanje je kontinuirano, proizvoljnog oblika i smjera i pridruženo je (najčešće) obratku.

Osa obrtanja glavnog kretanja zadržava svoj položaj prema alatu bez obzira na smjer brzine posmičnog kretanja. Pomoćna kretanja ostvaruje obradak i/ili alat (ovisno o konstrukciji) i ona su translacijska (klasične glodalice) i rotacijska (stolovi). Zbog toga je i obrada glodanjem složenija (geometrija alata) i zahtjevnija (upravljanje).

Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala. Rezne oštrice periodično ulaze u zahvat s obratkom i izlaze iz njega tako da im je dinamičko opterećenje jedno od osnovnih obilježja. Istovremeno je u zahvatu s obratkom samo nekoliko reznih oštrica. Na sljedećoj fotografiji je prikazana operacija u kojoj nastaje gotov proizvod.

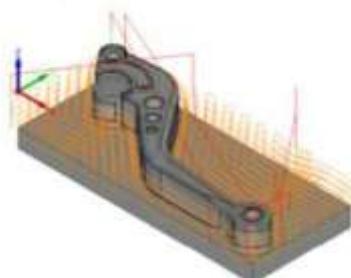


*Slika 20. „Simple Boss“*

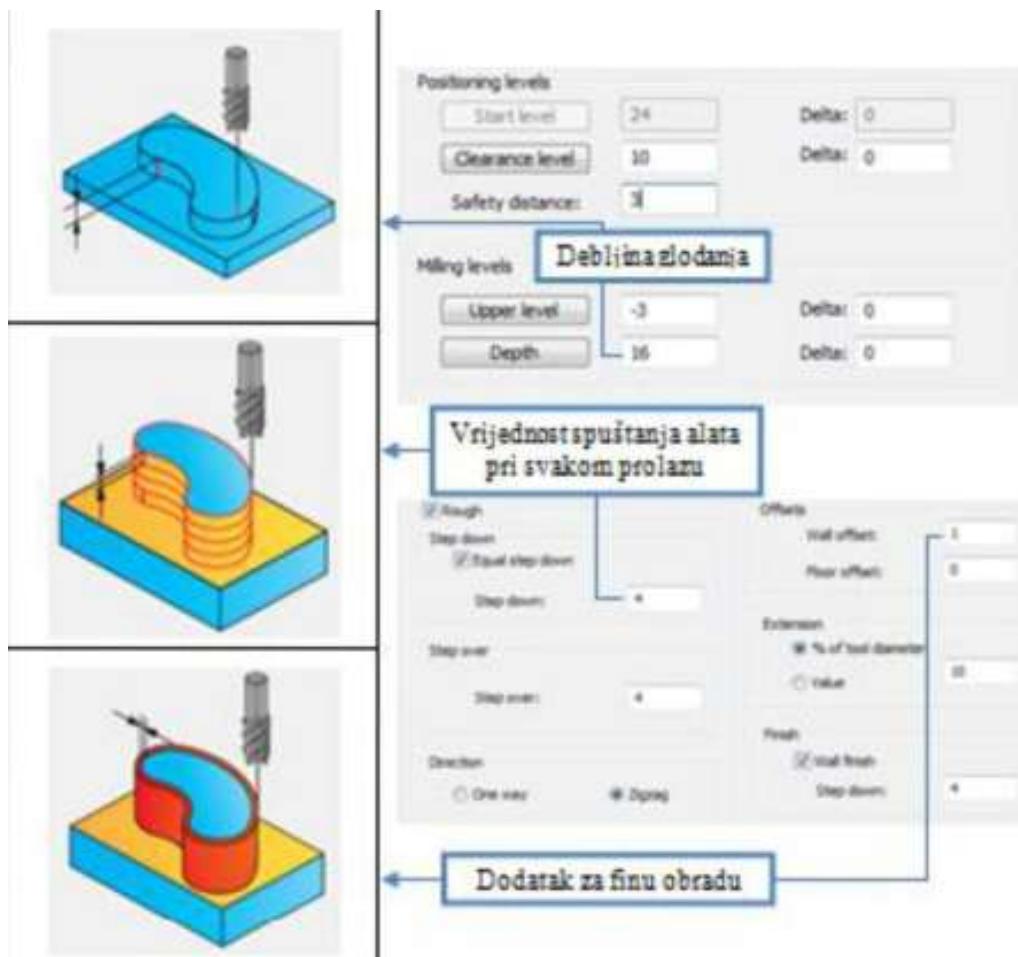
## 10.2. Režim i tehnologija obrade

Tabela 6. Režim obrade

Režim obrade:	
Brzina pomoćnog kretanja: F=382 mm/min	
Korak po zubu: Fz=0,040 mm/zubu	
Broj obrtaja glavnog vretena: S=4774 min	
Brzina rezanja: V=80,087 m/min	



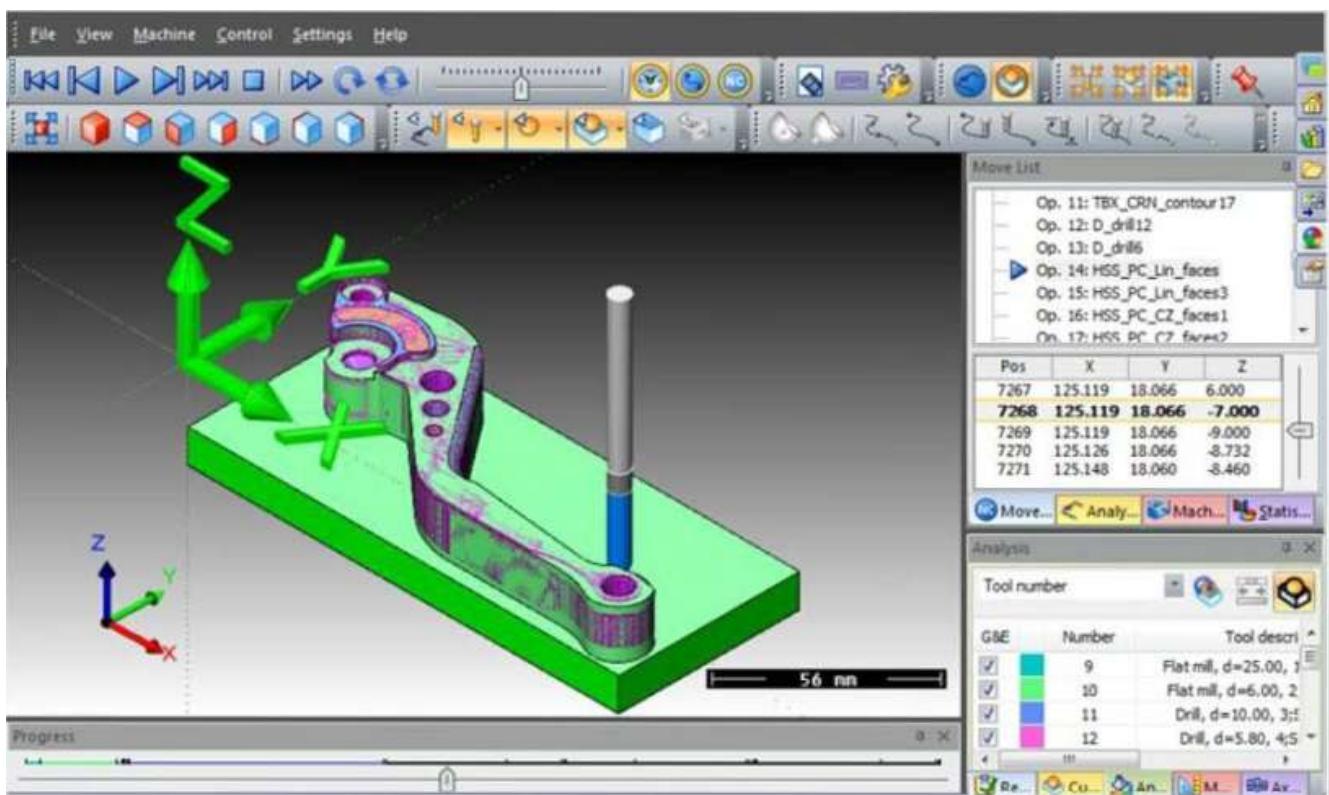
## 10.3. Tehnologija obrade



Slika 21. Definisanje tehnologije obrade

## 10.4. Simulacija u SolidCAM-u

Simulacija je tehnika oponašanja nekih situacija ili sistema promatranjem analognih situacija, modela ili uređaja. Cilj simulacije je dobijanje informacija koje se mogu primijeniti u analizi ponašanja stvarnih situacija sistema. Nakon što su definisane sve potrebne operacije za projektovani dio, slijedi simulacija procesa obrade da bi se provjerio redoslijed izvođenja operacija, putanje alata te detektovala eventualna korozija alata, obratka i pribora.



Slika 22. Simulacija

Simulacija se može vršiti za čitav proces obrade ili pojedinačno za određenu operaciju. Nakon što se simulacija pokrene javlja se novi prozor u kojem se bira jedna od ponuđenih opcija simulacije.

Simulacija je u širem smislu postupak koji objedinjuje:

- snimanje podataka i eksperimentisanje na realnom modelu
- formuliranje teorije
- eksperimentisanje s programom na računaru
- analiziranje rezultata eksperimentisanja

## **10.5. Generisanje „G“ KODA**

Uspostavljanje veze između SolidCAM programa i upravljačke jedinice maštine ostvaruje se sa slanjem fajla sa G kodom na upravljačku jedinicu maštine. Generisanje koda se može izvesti za sve operacije obrade skupa ili pojedinačno za određene operacije obrade. U nastavku će prikazati samo jedan dio G koda.

```
File Edit Format View Help
;%_N_RUCKA_MPFF
;$_PATH=/_N_WKS_DIR/_N_SHOPMILL_WPD
N1 ; TEIL-NAME : RUCKA
N2 ; PROGRAMM-NR : 1000
N3 ; DATUM - ZEIT : 4-JUL-2019 - 10:34:42
N4 ; VERWENDETE WERKZEUGE :
N5 ; - T1 END MILL D25
N6 ; - T2 END MILL D6
N7 ; - T3 SPOT DRILL D10 R90
N8 ; - T4 DRILL D5.8 R118
N9 ; - T5 DRILL D4 R118
N10 ; - T6 DRILL D6 R118
N11 ; - T7 DRULL D8 R118
N12 ; - T8 END MILL D4
N13 ; - T9 BALL NOSE MILL D6 R3
N14 ; - T10 SLOT MILL D123.5
N15 G17
N16 TRANS
N17 G54
N18 T="END MILL D6"
N19 M6
N20 G0 Z100
N21 S4774 M3
N22 MSG("TBX-BSS-CONTOUR1 - TOOL -BOX")
N23 G0 X146.156 Y5.992
N24 G0 Z24
```

Slika 23. Dio G – koda

G-kod se može napraviti i ručno, ali je to mukotrpan posao. Međutim softver to uradi na brži i dosta jednostavniji način. Dakle da bi se napravio G-kod, prvo mora postojati model datog prototipa u SolidWorksu.

## **11. ZAKLJUČAK**

Prilikom izrade ovog rada pojavili su se mnogi izazovi i prepreke koje je trebalo savladati da bi se na kraju dobio gotov proizvod koji ispunjava postavljene kriterijume i zahtjeve definisane crtežom i zadatkom rada.

Jedna od prvih važnih odluka je odabrati odgovarajuće CAD/CAM softvere. Takođe, vrlo važan segment je imati na raspolaganju odgovarajući potprocesor, jer treba biti oprezan prilikom instaliranja i korištenja potprocesora koji nisu dobijeni od isporučioca maštine ili CAM programa.

Stezanje početnog komada je sljedeći izazov koji je trebalo savladati. Zbog složene konture obratka i nemogućnosti da se stegne standardnim priborom za stezanje izrađen je pribor za stezanje. Izbor maštine i alata je ograničen na mašinu i alat koji posjeduje proizvođač. Smatram da je mašina sa tri ose dosta sporije izradila komad od maštine sa na primjer četiri ili pet osa. Na mašini da četiri ili pet osa ne bi bilo potrebno za izradom pribora za stezanje i okretanje komada.

Dakle, pred firme koje se u današnjici dominantno bave obradom rezanjem postavljeni su visoki zahtjevi sa aspekta kvaliteta i tačnosti obrade, skraćenog vremena obrade, niskih troškova proizvodnje, kratkih rokova isporuke, uz racionalno upravljanje materijalom i informacionim tokovima u proizvodnom okruženju. Ispunjavanje svih gore navedenih zahtjeva gotovo je nemoguće bez novih i boljih pristupa u postupcima obrade rezanjem CNC tehnologija.

## **LITERATURA**

1. Tufekčić, Dž.; Brdarević, S: Obrada rezanjem i alatne mašine, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet u Zenici, 1995.
2. R.Cebalo : Alatni strojevi (odabrana poglavlja), Zagreb 2000
3. Cebalo, R., Ciglar, D., Stoić, A.; „Obradni sustavi“, vlastito izdanje, Zagreb 2005
4. Blažević, Z.; CNC – skripta
5. <http://wuerth.com.hr/hr-HR/Page/katalozi/katalog-proizvoda> ; dostupno 25.06.2019
6. [www.solidcam.de](http://www.solidcam.de)
7. <https://www.hermle.de/de/home>
8. [https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/os\\_7\\_tolerancije.pdf](https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/os_7_tolerancije.pdf) ;  
dostupno 28.06.2019
9. [http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/metode\\_im rijeka.pdf](http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/metode_im rijeka.pdf) ; dostupno 30.06.2019
10. [http://mfbl.com/upload/documents/laboratorije/laboratorijska%20za%20tehnologiju%20obrade%20rezanjem%20i%20obradne%20sisteme/Oprema\\_decembar\\_2013.pdf](http://mfbl.com/upload/documents/laboratorije/laboratorijska%20za%20tehnologiju%20obrade%20rezanjem%20i%20obradne%20sisteme/Oprema_decembar_2013.pdf) ;  
dostupno 01.07.2019
11. [https://bs.wikipedia.org/wiki/Industrijska\\_proizvodnja](https://bs.wikipedia.org/wiki/Industrijska_proizvodnja) ; dostupno 02.07.2019
12. <https://www.scribd.com/doc/35502869/Solidcam-Gptool> ; dostupno 02.07.2019
13. <https://www.scribd.com/doc/35582337/Secrets-of-5-Axis-Machining> ; dostupno  
04.07.2019
14. <https://www.iscar.com/index.aspx/countryid/1> ; dostupno 05.07.2019
15. [https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design) ; dostupno 05.07.2019
16. [https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing) ; dostupno 05.07.2019

## ***PRILOZI***

1. Radionički crtež dijela