

NC programiranje obradnog centra primjenom mastercama

Šimić, Teo

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:980103>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**NC PROGRAMIRANJE OBRADNOG CENTRA PRIMJENOM
MASTERCAMA**

Rijeka, rujan 2024.

Teo Šimić
0069084621

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**NC PROGRAMIRANJE OBRADNOG CENTRA PRIMJENOM
MASTERCAMA**

Mentor: prof. dr. sc. Zoran Jurković

Komentor: Hana Vukotić; univ. mag. ing. mech.

Rijeka, rujan 2024.

Teo Šimić

0069084621

Rijeka, 14.03.2024.

Zavod: Zavod za industrijsko inženjerstvo i menadžment
Predmet: CNC/NC obradni strojevi

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Teo Šimić (0069084621)**
Studij: Sveučilišni diplomski studij strojarstva (1100)
Modul: Industrijsko i proizvodno inženjerstvo (1121)

Zadatak: **NC programiranje obradnog centra primjenom Mastercam-a / NC
programming of machining center using Mastercam**

Opis zadatka:

U radu je potrebno dati pregled osnovnih karakteristika i podjela alatnih strojeva s osvrtom na glodalice i obradne centre. Prikazati moguće tipove obrade, te navesti bitne značajke stroja za koji je potrebno izraditi NC program, temeljem definiranog izratka i upravljačke jedinice, primjenom Mastercam programa. Poseban osvrt u radu dati na upravljačku jedinicu, koordinatni i mjerni sustav stroja, te razraditi tehnološki postupak izrade. Na kraju je potrebno izraditi virtualnu provjeru dobivenog NC programa. U radu treba navesti korištenu literaturu, druge izvore informacija (internet, katalogi), kao i eventualno dobivenu pomoć.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanja diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20.03.2024.

Mentor:
prof. dr. sc. Zoran Jurković

Komentor:
Hana Vukotić

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:
izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

IZJAVA

Sukladno Pravilniku o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad u razdoblju od 04. ožujka do 1. srpnja 2024. pod nazivom “ NC programiranje obradnog centra primjenom Mastercam-a ”. Rad sam izradio prema zadatku Povjerenstva za diplomske ispite sveučilišnog diplomskog studija strojarstva, a pod vodstvom mentora prof.dr.sc. Zorana Jurkovića i komentorice univ. mag. ing. mech. Hane Vukotić.

Rijeka, rujan 2024

Teo Šimić

ZAHVALA

Želim izraziti iskrenu zahvalnost prof. dr. sc. Zoranu Jurkoviću na nesebičnoj podršci, stručnim savjetima i neprocjenjivom vodstvu tijekom izrade ovog diplomskog rada. Njegova stručnost i uvidi bili su od iznimne važnosti za uspješan završetak diplomskog rada. Također se zahvaljujem Hani Vukotić, univ. mag. ing. mech. na izdvojenom vremenu i prijedlozima prilikom izrade rada.

Zahvaljujem tvrtki Elcon Geraetebau d.o.o. na pruženoj podršci i savjetima tijekom izrade rada. Posebnu zahvalnost dugujem industrijskom mentoru Tadiji Šimiću.

Posebnu zahvalnost želim izraziti svojim roditeljima i bratu Alanu, čija su podrška i razumijevanje bili temelj tijekom cijelog mog obrazovanja. Hvala vam na svemu što ste učinili za mene na svakom savjetu, ohrabrenju i vjeri u moje sposobnosti.

Od srca zahvaljujem svojoj djevojci Sabini na strpljenju, ljubavi i neprekidnoj podršci kroz sve izazove i uspone tijekom studiranja. Hvala ti što si uvijek tu.

SADRŽAJ

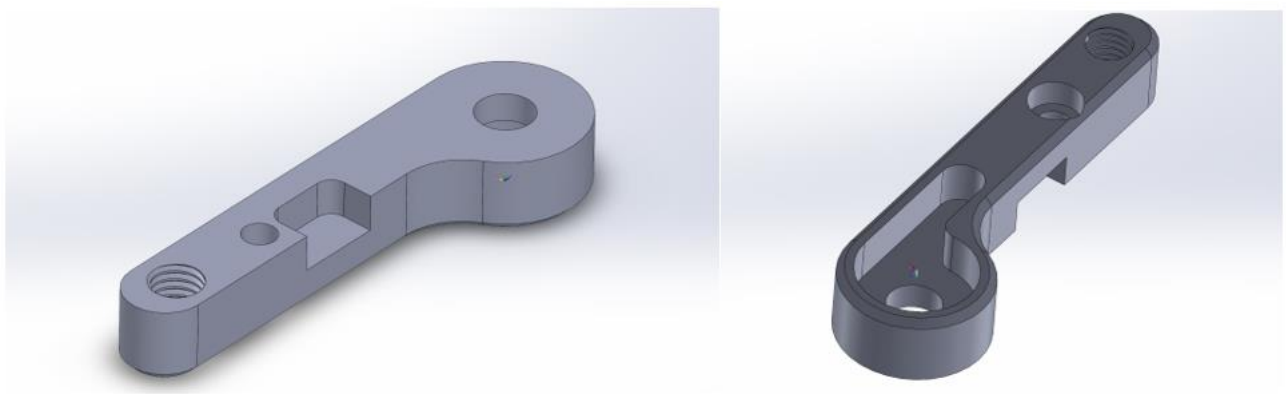
1. UVOD	1
2. POVIJEST I RAZVOJ CNC/NC	2
2.1 Općenito	2
2.2 Razvoj alatnih strojeva	5
2.3 Tipovi obrade	7
3. STRUKTURIRANJE TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE	9
4. OBRADNI SUSTAV	12
4.1. Ulazni materijal	12
4.2. Stezna naprava	13
4.3. Akira Seiki SV 1350	14
4.4. Alati	15
5. SIMULACIJA OBRADA POMOĆU PAKETA MASTERCAM	21
5.1. Simulacija glodanja steznih čeljusti za drugo stezanje	21
5.1.1. Definiranje koordinatnog sustava.....	21
5.1.2. Definiranje postprocesora	22
5.1.3. Definiranje sirovca	23
5.1.4. Operacija 10 (stezne čeljusti)	24
5.1.5. Operacija 20 (stezne čeljusti)	32
5.2. Simulacija operacije 10 (izradak)	34

5.2.1. Definiranje koordinatnog sustava, postprocesora i sirovca.....	34
5.2.2. Operacija 10 (izradak).....	35
5.3. Simulacija operacije 20 (izradak)	51
5.3.1. Definiranje koordinatnog sustava operacije 20.....	51
5.3.2. Operacija 20 (izradak).....	52
6. OBRADE POMOĆU CNC STROJA	58
6.1. Provjera i stavljanje alata u revolversku glavu.....	58
6.2. Umjeravanje alata i centriranje škripa	59
6.3. Glodanje steznih čeljusti.....	61
6.4 Umjeravanje alata i centriranje sirovca izratka	64
6.5. Izrada izratka (operacija 10).....	64
6.6. Izrada izratka (operacija 20).....	65
7. ZAVRŠNA KONTROLA PROIZVODA.....	66
7.1. Završna kontrola	66
8. ZAKLJUČAK.....	68
LITERATURA	69
POPIS TABLICA	70
POPIS SLIKA.....	71
SAŽETAK.....	78
SUMMARY.....	79
POPIS PRILOGA	80

1. UVOD

Industrijska revolucija i tehnološki napredak neodvojivo su povezani s razvojem alatnih strojeva koji su omogućili masovnu proizvodnju i preciznu obradu materijala. Jedna od najznačajnijih prekretnica u povijesti industrijske proizvodnje bio je razvoj numerički upravljanih (NC) strojeva koji su kasnije evoluirali u računalno numerički upravljane (CNC) strojeve. Ova evolucija otvorila je novo poglavlje u proizvodnji, omogućujući izradu složenih dijelova s visokom razinom preciznosti i ponovljivosti, dok su istovremeno smanjeni troškovi i vrijeme obrade.

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati i analizirati praktičnu primjenu CNC tehnologije u suvremenoj proizvodnji, s posebnim naglaskom na programiranje obradnih operacija korištenjem Mastercam softvera. U središtu istraživanja nalazi se proces izrade steznih čeljusti i izratka na CNC stroju Akira Seiki SV 1350. Ovaj rad detaljno obrađuje sve faze tehnološkog procesa od pripreme tehnološke dokumentacije, umjeravanja alata, centriranja sirovca i kontrole proizvoda. Kroz kombinaciju teorijskih osnova i praktične primjene rad pruža cjeloviti pregled mogućnosti koje CNC tehnologija nudi u suvremenoj industriji. Na slici 1.1. prikazan je 3D model proizvoda, a detaljan nacrt proizvoda nalazi se u prilogu 1.



Slika 1.1. 3D model proizvoda

2. POVIJEST I RAZVOJ CNC/NC

2.1 Općenito

CNC (engl. *Computer Numerical Control*) je sustav koji koristi programirane računalne softverske upute za upravljanje strojnom obradom materijala. Razvijen je kao nadogradnja tradicionalnih numerički kontroliranih NC (engl. *Numerical Control*) strojeva. Ključnu točku u povijesti automatizacije predstavlja prijelaz s NC strojeva na CNC strojeve. Ova evolucija nije samo tehničke prirode, već predstavlja promjenu u načinu razmišljanja o proizvodnji. CNC se koristi u širokom spektru industrija, uključujući automobilski, zrakoplovni i proizvodni sektor. Uz povećanu točnost, ponovljivost i produktivnost CNC tehnologija donijela je revoluciju u proizvodnji tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Radi se o jednoj od najvažnijih tehnologija u obradi materijala i proizvodnji proizvoda.

Koncept numeričkog upravljanja pojavio se tijekom Drugog svjetskog rata zbog potreba vojne industrije za povećanjem preciznosti i ponovljivosti dijelova. John T. Parsons i njegov tim su u MIT-jevom laboratoriju za instrumentalizaciju razvili prve strojeve gdje je Parsons prepoznao potrebu za preciznijom izradom kompleksnih dijelova, posebice za zrakoplovnu industriju. Projekt je službeno započeo nakon što je Parsons dobio podršku američke vojske i Air Forcea za razvoj tehnologije koja bi poboljšala proizvodnju rotora helikoptera.

Lakše upravljanje stroja omogućeno je korištenjem sistema bušenih kartica za pohranu uputa koje su upravljale kretanjima alata stroja. Ovaj sistem omogućavao je automatsku obradu bez potrebe za ručnim upravljanjem, što je značajno povećalo preciznost i efikasnost. Sposobnost stroja da izvodi operacije rezanja uzduž više osi simultano predstavljala revolucionarnu promjenu u obradi omogućujući izradu složenijih geometrija s visokom točnošću. Bušene kartice sadržavale su upute za kretanje alata, brzinu i dubinu rezanja. Bile su osnovni oblik programiranja te su omogućile operaterima da reproduciraju iste obrade više puta s visokom razinom dosljednosti. Prvi NC stroj prikazan je na slici 2.1.

Danas CNC tehnologija dominira modernom proizvodnjom. Umreženi i automatizirani CNC strojevi omogućuju praćenje i upravljanje procesima u stvarnom vremenu. Integracija umjetne inteligencije i strojnog učenja omogućuje CNC strojevima da automatski prilagode parametre obrade, dok tehnologija aditivne proizvodnje (3D printanje) otvara nove mogućnosti za bržu izradu prototipova. CNC tehnologija ima ključnu ulogu u industriji s razvojem novih tehnologija i automatizacije. Prikaz modernog CNC stroja s 5 osi prikazan je na slici 2.3.



Slika 2.3. CNC stroj s 5 osi [2]

Razvoj robotike i računalno upravljanih sustava stvorio je nove mogućnosti u proizvodnji. Osim klasičnih CNC strojeva, industrijski roboti sve se više koriste u proizvodnim procesima zbog svoje fleksibilnosti, točnosti i sposobnosti automatizacije ponavljajućih zadataka. U samoj obradi odvajanjem čestica nisu primjenjivi zbog male krutosti. Slika 2.4. prikazuje prednosti i nedostatke CNC strojeva u odnosu na robote.

CNC obradni stroj	Robot
Ograničen na strojnu obradu	Mogućnost obavljanja različitih zadataka (prihvrat komada, postavljanje komada na stroj, strojna obrada, preuzimanje gotovog komada...) → bolja prilagodljivost
3/4/5 osi	6+ osi
Zahtijeva ljudski unos podataka, postavljanje i kontrolu tijekom strojne obrade	Mogućnost rada bez čovjekovog prisutstva (prilagodba okolini) te uz čovjeka (kolaboracija)
Izrada istih proizvoda u velikim proizvodnim količinama; duža priprema stroja za promjenu proizvodnog asortimana	Izrada proizvoda različite geometrije uz brzu i jednostavnu prilagodbu robota na novu okolinu
Manji radni prostor	Veći radni prostor
Veća točnost i preciznost izrade proizvoda	Iako poboljšana, manja točnost i preciznost dimenzija proizvedenih komada (izuzev komada s kompleksnom geometrijom)
Materijali: aluminij, čelik, titan	Materijali: polistiren, drvo, plastika

Slika 2.4. Usporedba CNC-a i robota [3]

2.2 Razvoj alatnih strojeva

Razvoj alatnih strojeva predstavlja ključnu fazu u povijesti industrijske obrade materijala. Ovi strojevi evoluirali su kako bi zadovoljili rastuće potrebe za preciznom, brzom i učinkovitom obradom dijelova u različitim industrijama (automobilska, zrakoplovna i proizvodna industrija). Etape razvoja alatnih strojeva:

Tablica 2.1. Razvoj alatnih strojeva

	KARAKTERISTIKE	PREDNOSTI	NEDOSTACI
1. ETAPA Počeci alatnih strojeva	<ul style="list-style-type: none">- Mehanički pogonjeni strojevi za osnovne operacije bušenja, tokarenja i glodanja.- Ručno podešavanje parametara za svaki zadatak.- Osnovno upravljanje putem mehaničkih kontrola.	<ul style="list-style-type: none">- Omogućili su osnovnu obradu materijala i proizvodnju jednostavnih dijelova.- Relativno jednostavni za korištenje i održavanje.	<ul style="list-style-type: none">- Ograničena preciznost i ponovljivost.- Kompliciranije podešavanje i postavljanje.
2. ETAPA Numerička kontrola	<ul style="list-style-type: none">- Uvođenje numeričke kontrole omogućilo je programiranje strojeva putem bušenih kartica ili traka.- Ova tehnologija omogućila je automatizaciju	<ul style="list-style-type: none">- Povećana preciznost i ponovljivost u usporedbi s mehaničkim strojevima.- Skraćeno vrijeme potrebno za	<ul style="list-style-type: none">- Ograničena fleksibilnost programiranja.

(NC) strojeva	upravljanja strojevima bez potrebe za ručnim podešavanjem.	postavljanje i podešavanje strojeva.	
3. ETAPA Računalna numerička kontrola (CNC) strojeva	<ul style="list-style-type: none"> - Računalna tehnologija zamijenila je mehaničke i električne kontrolne sustave. - Digitalni računalni programi omogućili su složenije operacije i preciznije upravljanje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Veća fleksibilnost i kompleksnost u programiranju. - Poboļjšana preciznost i brzina obrade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Potreba za obukom operatera za rad s računalnom tehnologijom. - Povećana složenost održavanja i dijagnostike kvarova.
4. ETAPA Integracija CAD/CAM sustava	<ul style="list-style-type: none"> - Integracija CAD/CAM softvera omogućila je direktno generiranje CNC programa iz 3D modela. - Ova integracija povećala je brzinu i smanjila mogućnost ljudske greške. 	<ul style="list-style-type: none"> - Brže i preciznije programiranje. - Smanjena ovisnost o operaterima za postavljanje programa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visoki troškovi implementacije CAD/CAM sustava. - Potreba za obukom operatera za rad s novim softverom.

Kroz ove etape razvoj alatnih strojeva i tehnologije obrade materijala postigao je značajne napretke u smislu preciznosti, brzine i fleksibilnosti. Svaka faza donijela je svoje inovacije i izazove potičući daljnji razvoj i unapređenje tehnologije. U budućnosti se očekuje daljnji napredak u području alatnih strojeva s naglaskom na povećanje automatizacije, integraciju s umjetnom inteligencijom i

poboljšanje energetske učinkovitosti. To će omogućiti proizvodnju složenijih dijelova uz manju potrošnju resursa i veću fleksibilnost u proizvodnji.

2.3 Tipovi obrade

Kroz povijest, alatni strojevi su se koristili za različite vrste obrade materijala, ovisno o potrebama industrije i dostupnoj tehnologiji. Napredak tehnologije i inovacije nastavljaju proširivati mogućnosti obrade materijala otvarajući put novim tehnikama i metodama koje poboljšavaju preciznost, brzinu i efikasnost proizvodnje. Navedeni su neki od glavnih tipova obrade koji su se razvijali tijekom vremena:

1. Tokarenje je obradni proces uklanjanja materijala s rotirajućeg obratka pomoću reznih alata. Koristi se za izradu cilindričnih i koničnih oblika, provrta, navoja i drugih oblika na metalu ili plastici. Proces uključuje stezanje obratka u tokarski stroj koji se rotira dok alat pomiče duž obratka za uklanjanje materijala.
2. Glodanje je obradni proces uklanjanja materijala pomoću rotirajućih alata. Glodalice se koriste za stvaranje ravnih ili zakrivljenih površina te za izradu utora, žljebova i drugo.
3. Bušenje je vrsta strojne obrade odvajanjem čestica gdje se posebnim alatom, tj. svrdlom izrađuju cilindrične rupe u obratku. Alat obavlja glavno rotacijsko gibanje i pravocrtno posmično gibanje koje mora biti u smjeru osi rotacije.
4. Brušenje je oblikovanje materijala odvajanjem čestica kojim se postiže velika glatkoća i točnost površine. Brušenje se obavlja alatnim brusom.
5. Izrada navoja je vrsta strojne obrade odvajanjem česticama kojom se izrađuje željeni navoj na vanjskoj ili unutarnjoj površini materijala.
6. Savijanje je obradni proces kojim se mijenja oblik materijala primjenom sile kako bi se postigao željeni kut ili zakrivljenost. Ovaj proces se najčešće koristi za oblikovanje metala.

7. Elektroerozijska obrada (EDM) koristi električnu energiju za uklanjanje materijala. Koristi se u mikro-obradi (bušenje provrta promjera od 10 μm) i makro-obradi (izrada matrica za prešanje, teških i do nekoliko tona).[3]

3. STRUKTURIRANJE TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE

Prvi korak u procesu rada CNC strojeva je tehnička priprema i izrada tehnološke dokumentacije. Ova faza je ključna jer osigurava sve potrebne dokumente koji su potrebni za pripremu prije same proizvodnje proizvoda.

Tehnološka dokumentacija obuhvaća sljedeće:

Popis operacija koji pruža kronološki pregled svih koraka koje je potrebno poduzeti tijekom proizvodnog procesa od početne obrade do završne kontrole proizvoda. Popis operacija omogućuje operaterima da razumiju točan redoslijed koraka potrebnih za izradu proizvoda, osiguravajući dosljednost, preciznost i optimizaciju vremena obrade.

Operacijski listovi koji pružaju detaljne upute za svaku pojedinu operaciju obrade, uključujući opis operacije, potrebne alate, parametre obrade kao što su brzina vretena, posmak, vrijeme potrebno za operaciju, posebne napomene i dr.

Popis alata koji sadrži sve alate koji će se koristiti tijekom proizvodnog procesa, uključujući detalje o svakom alatu kao što su naziv, dimenzije, materijal, proizvođač i serijski broj. Popis alata omogućuje operaterima i inženjerima da identificiraju i pripreme sve potrebne alate prije početka proizvodnje osiguravajući tako dostupnost i ispravnost svih alata.

Tehnička dokumentacija uključuje i popis strojeva kako bi se osiguralo da svi potrebni resursi budu dostupni za proizvodni proces. U ovom radu to nije od značaja jer se za izradu zadanog proizvoda koristiti jedan specifičan CNC stroj Akira Seiki SV 1350. Stroj je opremljen svim potrebnim funkcijama i alatima koji omogućuju preciznu i učinkovitu izradu proizvoda prema zadanim specifikacijama.

Dobro strukturirana i detaljna tehnička dokumentacija ključna je za osiguranje učinkovite i precizne proizvodnje. Ona osigurava jasnoću, dosljednost i preciznost u svim fazama proizvodnje, smanjuje mogućnost pogrešaka i optimizira korištenje resursa. Pravilno izrađena dokumentacija omogućuje operaterima i inženjerima dosljedno postizanje visokih standarda kvalitete i učinkovitosti u

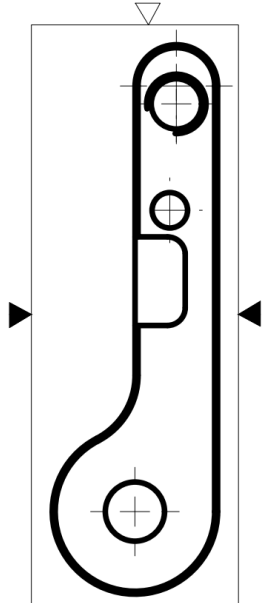
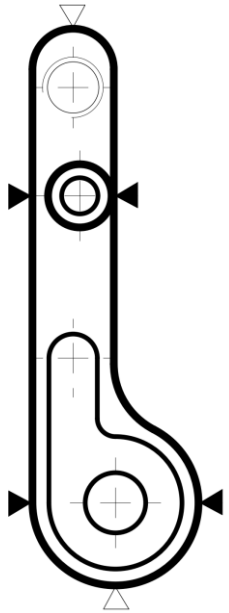
proizvodnji čime se osigurava ispunjavanje svih zadanih specifikacija i standarda kvalitete konačnog proizvoda.

Strukturiranjem tehnološkog procesa određuje se redoslijed i aktivnosti koje treba primijeniti pri izradi stezne čeljusti i izratka. Tehnološka dokumentacija stezne naprave tj. operacijski list nalazi se u prilogu 2, a operacijski list izratka u prilogu 3. Popis alata za izradu stezne naprave nalazi se u prilogu 4, a popis alata za izradu izratka u prilogu 5.

Tablica 3.1. Proces izrade stezne čeljusti

Broj operacije	Vrsta operacije	Skica operacije	Alat
10	Glodanje		Čeono glodalo Ø63, glodalo Ø10
20	Glodanje		Čeono glodalo Ø63,

Tablica 3.2. Proces izrade izratka

Broj operacije	Vrsta operacije	Skica operacije	Alat
10	<p>Glodanje (grubo, fino)</p> <p>Bušenje</p> <p>Izrada navoja</p> <p>Razvrtavanje</p> <p>Izrada skošenja</p>		<p>Čeono glodalo $\varnothing 63$, glodalo $\varnothing 10$ glodalo $\varnothing 6$</p> <p>Svrđlo $\varnothing 6$ Svrđlo $\varnothing 8,5$ Svrđlo $\varnothing 9,8$</p> <p>Ureznik M10</p> <p>Razvrtač $\varnothing 10 H7$</p>
20	<p>Glodanje (grubo, fino)</p>		<p>Čeono glodalo $\varnothing 63$</p> <p>Glodalo $\varnothing 10$ Glodalo $\varnothing 6$</p> <p>Trkač od 45°</p>

4. OBRADNI SUSTAV

Obradni sustav je skup povezanih komponenti koje zajedno omogućuju preciznu obradu materijala, uključujući stroj, alate, upravljačke sustave i tehnologije za kontrolu procesa. Izbor i priprema materijala izravno utječu na kvalitetu i učinkovitost konačnog proizvoda u proizvodnim procesima. Odabrani materijal za izradu je čelik. Čelik je jedan od najčešće korištenih materijala koji pruža širok raspon mogućnosti zbog svoje izvrsne čvrstoće, tvrdoće i pristupačnosti. Poznavanje svojstava čelika i pravilna priprema ulaznog materijala osigurava optimalnu strojnu obradu te smanjuju vrijeme i troškove proizvodnje.

4.1. Ulazni materijal

Definiranje dimenzija ulaznog materijala jedan je od prvih korak u procesu proizvodnje. Da bi se osigurala učinkovitost i preciznost obrade, potrebno je točno odrediti dimenzije dodataka za obradu. Dimenzije sirovca moraju omogućiti izradu proizvoda željenih dimenzija uz minimalnu količinu otpada i troškova.

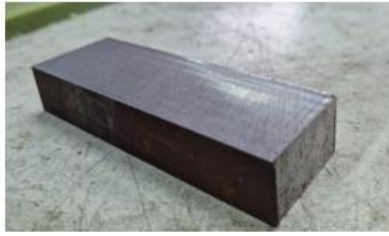
Dimenzije sirovca odabrane su prema nacrtu koji je dan u prilogu 6.

X = 98 mm

Y = 35 mm

Z = 18 mm

Izgled sirovca i približne dimenzije vidljive su na sljedećim slikama.



a)



b)

Slika 4.1. a) Izgled sirovca, b) X dimenzija sirovca



a)



b)

Slika 4.2. a) Y dimenzija sirovca, b) Z dimenzija sirovca

4.2. Stezna naprava

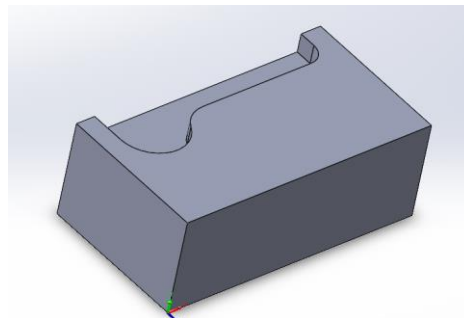
U sklopu tehnološkog procesa izrade zadanog proizvoda posebno se ističe operacija 20 koja zahtijeva pažljivu pripremu i izradu steznih čeljusti. Pravilna izrada stezne čeljusti osigurava stabilnost i preciznost tijekom obrade jer omogućuje sigurno pričvršćivanje izratka u stezni škrip.

Za izradu steznih čeljusti odabran je aluminij. Aluminij je poznat po svojoj laganosti, ali izdržljivoj strukturi, što ga čini idealnim izborom za primjene gdje je potreban materijal s visokim omjerom čvrstoće i težine. Osim toga, aluminij se lako obrađuje, omogućavajući precizno oblikovanje i prilagodbu dimenzijama potrebnim za izradu proizvoda.

Model steznih čeljusti izrađen je u SolidWorks, jednom od najnaprednijih alata za 3D modeliranje i dizajn. SolidWorks omogućuje stvaranje detaljnih i točnih modela, osiguravajući tako da svi aspekti dizajna budu precizno definirani prije fizičke proizvodnje.

Nakon što je model izrađen u SolidWorksu, slijedi faza fizičke proizvodnje. Stezne čeljusti se obrađuju prema tehničkoj dokumentaciji koja detaljno opisuje svaki korak procesa obrade.

Nakon izrade stezne čeljusti ona se postavlja u škripac koji služi za sigurno pričvršćivanje izratka za vrijeme operacije 20. Ovaj postupak osigurava zadovoljavanje svih zadanih specifikacija i standarda kvalitete konačnog proizvoda te demonstrira važnost pažljive pripreme i korištenja naprednih tehnologija u modernoj proizvodnji. Na slici 4.3. prikazan je 3D model stezne čeljusti. Nacrt stezne čeljusti dan je u prilogu 7.



Slika 4.3. 3D model stezne čeljusti

4.3. Akira Seiki SV 1350

Za izradu zadanog komada korišten je CNC stroj Akira Seiki SV 1350. Ovaj stroj predstavlja vrhunac suvremene tehnologije u obradi materijala i pruža širok spektar mogućnosti za preciznu i učinkovitu proizvodnju. Akira Seiki SV 1350 je poznat po svojoj robusnoj konstrukciji, visokoj preciznosti i fleksibilnosti što ga čini idealnim izborom za složene zadatke.

Akira Seiki SV 1350 opremljen je naprednim funkcijama koje omogućuju preciznu kontrolu i optimizaciju procesa obrade. Njegova glavna vretena imaju impresivnu brzinu okretaja omogućujući brzu i učinkovitu obradu različitih materijala. Maksimalna brzina vretena doseže 15,000 okretaja po minuti (engl. *Revolutions per minute*), što omogućuje brzu i preciznu obradu čak i najzahtjevnijih materijala.

Veličina radnog stola od 1500 mm x 600 mm pruža dovoljno prostora za obradu velikih komada, dok maksimalno opterećenje stola iznosi 1,200 kg, što omogućuje rad s teškim i masivnim dijelovima. Putanje po osima su: X os ima radni hod od 1350 mm, Y os od 600 mm, a Z os od 600 mm. Ove karakteristike omogućuju obradu velikih i složenih dijelova s visokom preciznošću. Preciznost stroja dodatno je poboljšana zahvaljujući naprednom sustavu za kontrolu položaja koji osigurava točnost pozicioniranja unutar nekoliko mikrona.

Upravljačka jedinica koja je standardno ugrađena u Akira Seiki SV 1350 je Mitsubishi. Ona omogućuje programiranje složenih operacija i jednostavno upravljanje strojem. Intuitivno sučelje kontrolera Mitsubishi pruža korisniku mogućnost brzog podešavanja parametara obrade i praćenja procesa u realnom vremenu. Ova razina kontrole omogućuje optimizaciju svakog koraka proizvodnje smanjujući vrijeme ciklusa i povećavajući kvalitetu završnog proizvoda.





Slika 4.4. Akira Seiki SV 1350




4.4. Alati


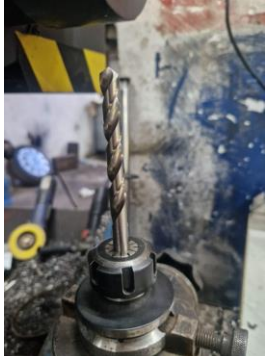


Alati predstavljaju srž svakog proizvodnog procesa. Na konačnu kvalitetu proizvoda direktno utječe kvaliteta alata, bez obzira na stupanj automatizacije. U tablici 4.1. su prikazani alati potrebni za obradu stezne čeljusti, a u tablici 4.2. alati za obradu izratka.




Tablica 4.1. Alati za obradu stezne čeljusti

N ^o	Pozicija alata u revolverskoj glavi	Naziv alata i namjena	Slika alata
1	N ^o 1	Čeono glodalo Ø63 poravnavanje čela	
2	N ^o 2	Glodalo Ø10 izrada konture	

Tablica 4.2. Alati za obradu izratka

N ^o	Pozicija alata u revolverskoj glavi	Naziv alata i namjena	Slika alata
1	N ^o 1	Čeono glodalo Ø63 poravnavanje čela	
2	N ^o 2	Glodalo Ø10 izrada konture	
3	N ^o 3	Glodalo Ø6 izrada otvorenog džepa	

4	N ^o 4	Zabušivač	
5	N ^o 5	Svrđlo Ø9.8	
6	N ^o 6	Svrđlo Ø8.5	
7	N ^o 7	Svrđlo Ø6	

8	N ^o 8	Trkač od 45° skošenje rubova	
9	N ^o 9	Razvrtač Ø10 H7	
10	N ^o 10	Ureznik M10	

11	N ^o 12	Pupitas	
12	N ^o 13	Glava Ø25 Izrada konture grubo	

5. SIMULACIJA OBRADA POMOĆU PAKETA MASTERCAM

Mastercam je jedan od najpoznatijih i najraširenijih softverskih paketa za CNC programiranje koji je postao nezaobilazan alat u suvremenoj industrijskoj proizvodnji. Jedna od glavnih prednosti Mastercama je sposobnost integriranja CAD (engl. *Computer-Aided Design*) i CAM (engl. *Computer-Aided Manufacturing*) funkcionalnosti u jedan sveobuhvatan sustav. To omogućuje kreiranje detaljnih 3D modela i njihovu neposrednu pripremu za proizvodnju.

Korištenjem Mastercama moguće je precizno definirati sve aspekte obradnog procesa, uključujući putanje alata, brzinu vretena, dubinu reza i druge ključne parametre. Ovaj softver podržava širok raspon obradnih operacija kao što su glodanje, tokarenje, bušenje i rezanje navoja. Njegova fleksibilnost i prilagodljivost omogućuju optimizaciju proizvodnih procesa smanjujući vrijeme ciklusa i poboljšavajući kvalitetu gotovih dijelova.

Jedna od značajki koja čini Mastercam posebno korisnim je mogućnost simulacije obradnih operacija prije same izvedbe na CNC stroju. Simulacija omogućuje identifikaciju i ispravljanje potencijalnih problema u programiranju što značajno smanjuje rizik od grešaka i oštećenja alata ili obradaka.

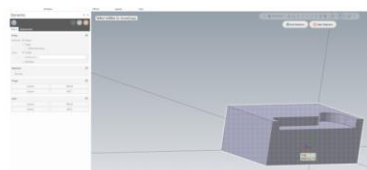
5.1. Simulacija glodanja steznih čeljusti za drugo stezanje

5.1.1. Definiranje koordinatnog sustava

Nakon što je učitani 3D model potrebno je definirati koordinatni sustav za odabrani 3D model (Slika 5.1.). Definiranje koordinatnog sustava prikazano je na slikama 5.2. i 5.3.

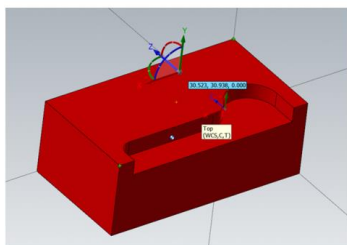


a)

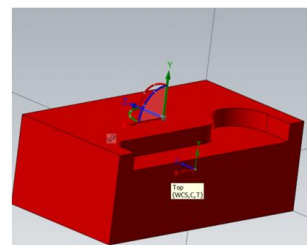


b)

Slika 5.1. a) Odabir opcije Dynamic, b) Odabir modela

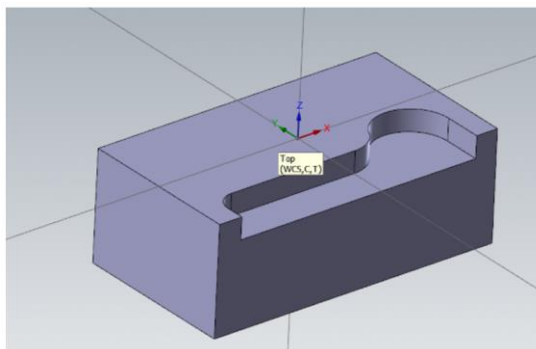


a)



b)

Slika 5.2. a) Traženje sredine izratka, b) Odabir pozicije koordinatnog sustava

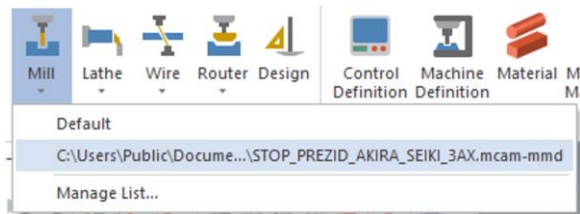


Slika 5.3. Definirani koordinatni sustav

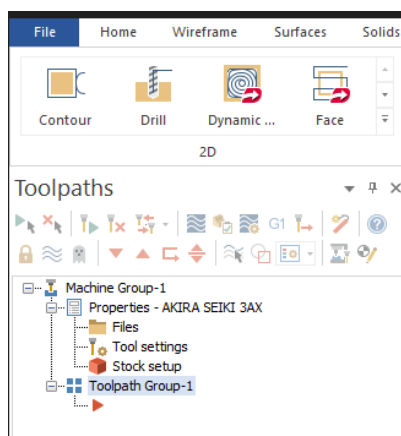
5.1.2. Definiranje postprocesora

Nakon definiranja koordinatnog sustava potrebno je odabrati postprocesor. Postprocesor omogućuje stroju čitanje NC programa koji se generira unutar Mastercam-a. Da bi se definirao, potrebno je

otvoriti karticu **Machine**, a zatim odabrati **Mill** (Slika 5.4.), pri čemu se otvara padajući izbornik u kojem se odabire postprocesor pod nazivom Akira Seiki 3AX (Slika 5.5.).



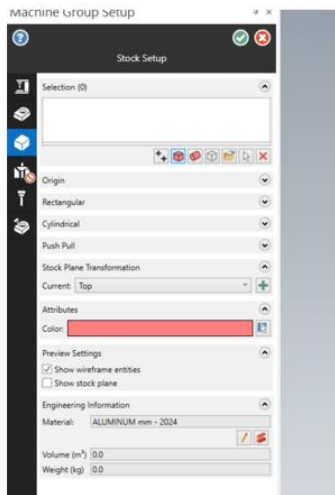
Slika 5.4. Definiranje postprocesora



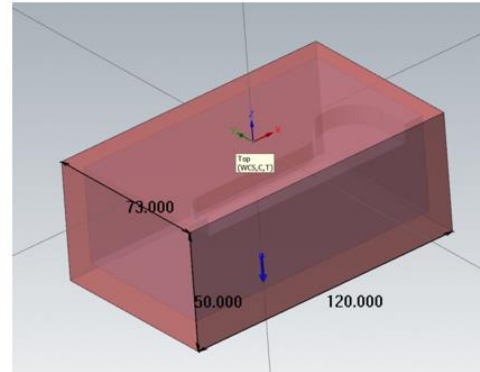
Slika 5.5. Definirani postprocesor

5.1.3. Definiranje sirovca

U stablu prikazanom na slici 5.5. nalazi se kartica **Stock setup** u kojoj se definira sirovac. Klikom na karticu otvara se prozor za definiranje sirovca koji je prikazan na slici 5.6. Sljedeći korak je odabir izgleda sirovca **Rectangular** te odabir modela i dimenzija sirovca (Slika 5.7.).



Slika 5.6 Definiranje sirovca

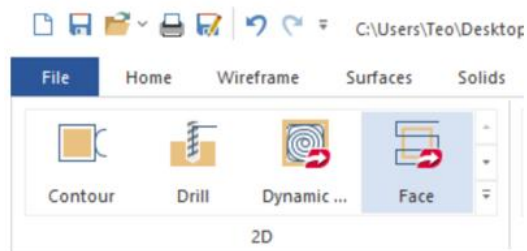


Slika 5.7. Dimenzije sirovca

5.1.4. Operacija 10 (stezne čeljusti)

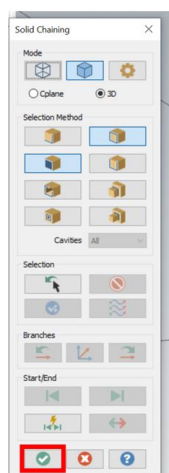
Zahvat 1: Čeono glodanje čela

Kod ovog zahvata potrebno je odabrati opciju **Face**, koja se nalazi pod karticom **Toolpaths** te prozor 2D kao što je prikazano na slici 5.8.



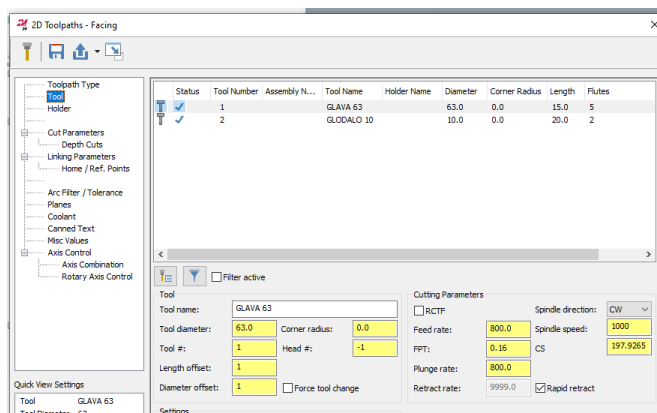
Slika 5.8. Opcija Face

Kod opcije **Face** nije potrebno odabrati površinu ili konturu nego se samo odabire zelena kvačica kao što je prikazano na slici 5.9.



Slika 5.9. Otvoreni izbornik naredbe Face

Nakon odabira geometrije pod karticom **Tools** definira se alat koji će se koristiti za poravnavanje čela. Za učitavanje alata potrebno je pritisnuti opciju **Select library tool** kako bi se prikazali svi alati koji se nalaze unutar knjižice alata. Odabir alata i njegovi režimi obrade prikazani su na slici 5.10.



Slika 5.10. Odabir alata (zahvat 1)

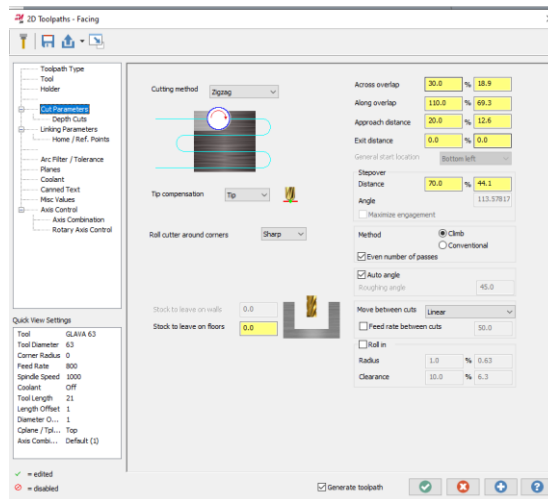
Nakon odabranog alata definira se strategija obrade. Pod karticom **Cut parameters** (Slika 5.11.) definira se metoda, tip kompenzacije alata i drugo. Odabire se čeono glodalo $\varnothing 63$ sa sljedećim režimima rada:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,16 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 800 mm/min

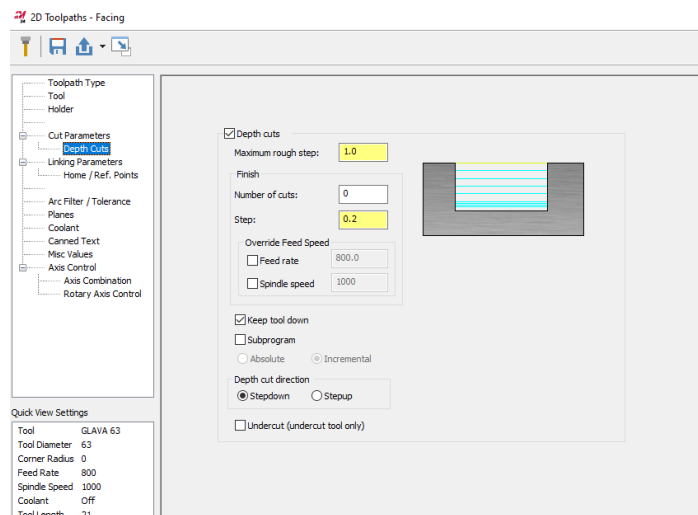
Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1000 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 197,92 m/min



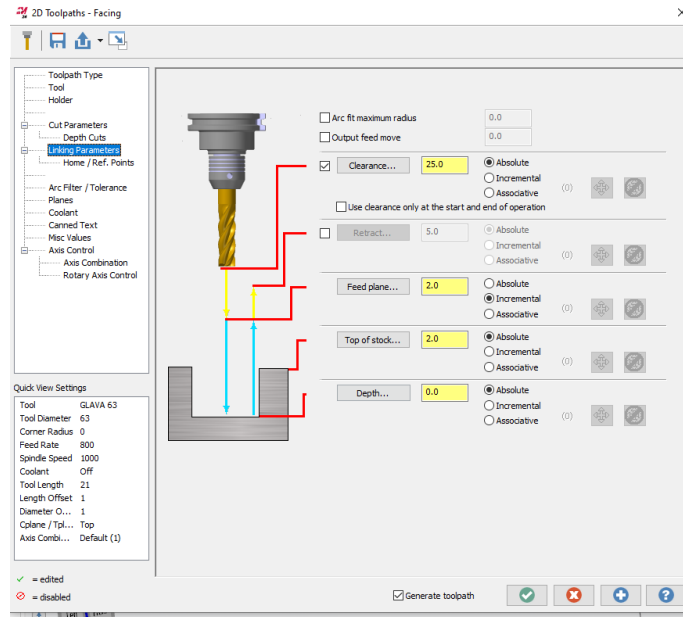
Slika 5.11. Definiranje cut parameters (zahvat 1)

Unutar kartice **Cut parameters** definira se dubina rezanja **Depth Cuts** (Slika 5.12.).



Slika 5.12. Definiranje dubine prolaza (zahvat 1)

Na kraju se još definira **Linking parameters** (Slika 5.13) odnosno definiraju se **Depth, Top of stock, Feed plane i Clearance**.



Slika 5.13. Definiranje dubine obrade (zahvat 2)

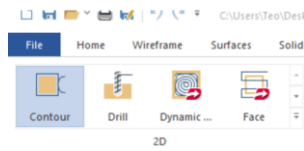
Ukupno vrijeme zahvata 1 prikazano je na sljedećoj slici.



Slika 5.14. Vrijeme obrade (zahvat 1)

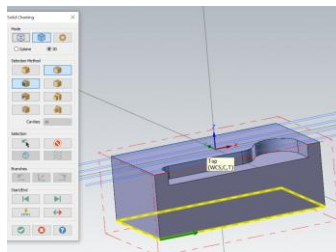
Zahvat 2: Izrada vanjske konture

Pod karticom Toolpaths odabire se opcija **Contour** (Slika 5.15.)



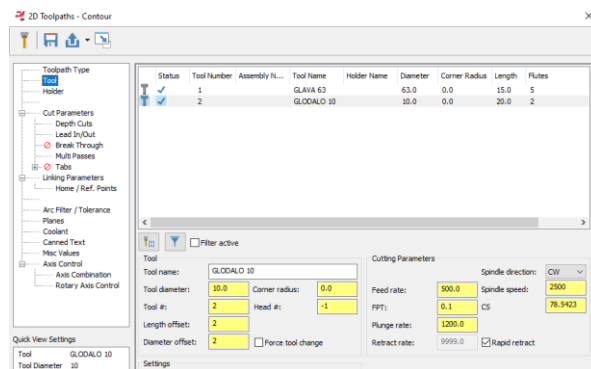
Slika 5.15. Odabir opcije Contour (zahvat 2)

Nakon otvaranja prozora odabire se kontura koju je potrebno izraditi (Slika 5.16.).



Slika 5.16. Odabir konture (zahvat 2)

Nakon odabira konture odabire se alat kojim se izrađuje kontura. Odabir alata prikazan je na slici 5.17.



Slika 5.17. Odabir alata (zahvat 2)

Odabire se glodalo $\varnothing 10$ sa sljedećim režimima rada:

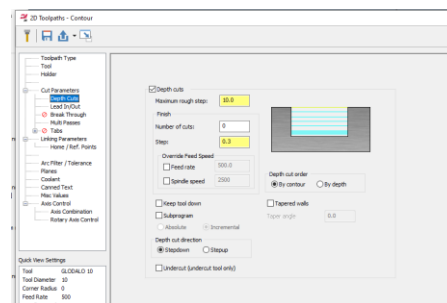
Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,1 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 500 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 2500 okr/min

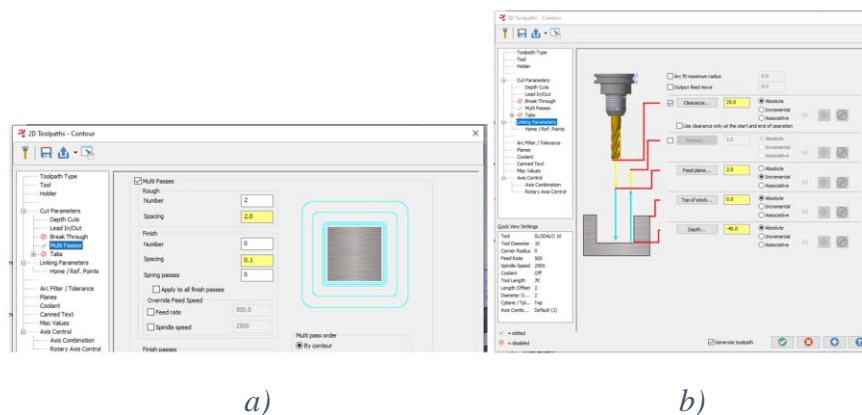
Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 78,54 m/min

Kartica **Cut parameters** je jednaka kao i kod prethodnog zahvata. **Depth cuts** postavke vidljive su na slici 5.18.








Slika 5.18. Definiranje dubine prolaza (zahvat 2)

Pod karticom **Multi passes** (Slika 5.19. a)) definira se broj prolaza po konturi, a na kraju se još definira dubina obrade (Slika 5.19 b)). Dubina rezanja je -40 mm.



Slika 5.19. a) Definiranje Multi passes-a (zahvat 2), b) Definiranje dubine rezanja (zahvat 2)

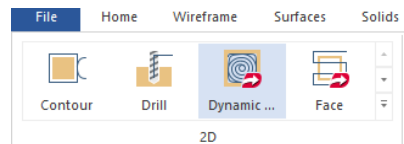
Ukupno vrijeme zahvata 2 prikazano je na sljedećoj slici:

Details		Information	
		Cycle Time	
Feed		 6m:41.56s	
Rapid		 3.85s	
Total		 6m:46.41s	
		Path Length	
Feed		 3402.32208	
Rapid		 802.99495	

Slika 5.20. Vrijeme obrade (zahvata 2)

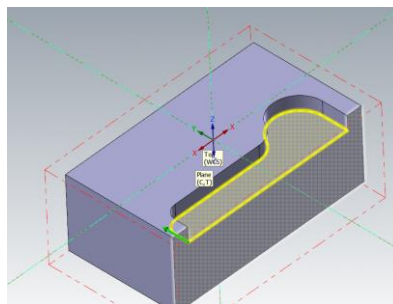
Zahvat 3: Glodanje otvorenog džepa

Pod karticom Toolpaths odabire se opcija **Dynamic mill** (Slika 5.21.)



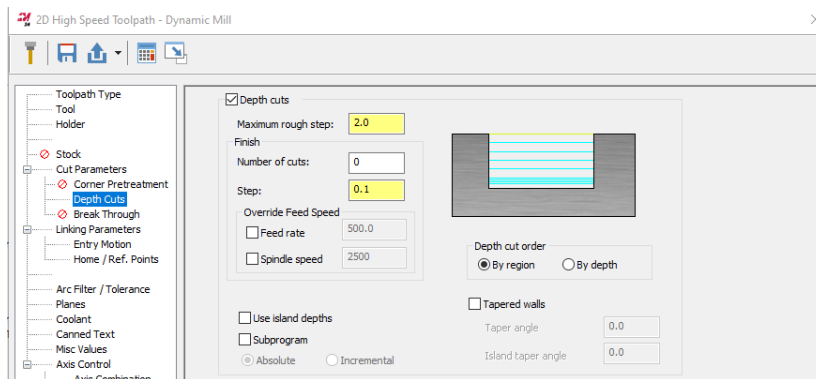
Slika 5.21. Odabir opcije Dynamic mill (zahvat 3)

Nakon otvaranja prozora odabire se površina otvorenog džepa koja je prikazana na slici 5.22.



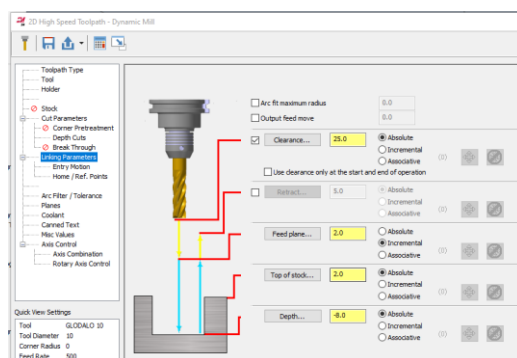
Slika 5.22. Odabir konture (zahvat 3)

Alat koji se odabire isti je kao kod zahvat 2 s istim režimima obrade. Dubina jednog prolaza prikazana je na slici 5.23. te iznosi 2 mm.



Slika 5.23. Definiranje dubine prolaza (zahvat 3)

Kartica **Linking** parametars prikazana je na slici 5.24.



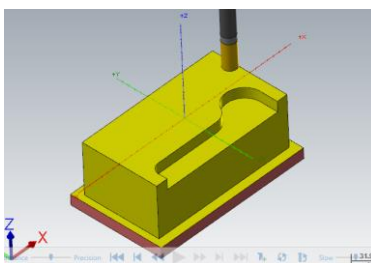
Slika 5.24. Definiranje dubine (zahvat 3)

Ukupno vrijeme zahvata 3 prikazano je slici 5.25.

Details		Information	
		Cycle Time	
Feed		10m:16.46s	
Rapid		1.82s	
Total		10m:19.28s	

Slika 5.25. Vrijeme obrade (zahvata 3)

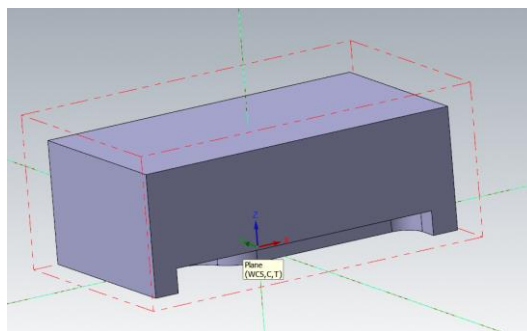
Simulacija operacije 10 prikazana je na slici 5.26.



Slika 5.26. Simulacija operacije 10 (stezna čeljust)

5.1.5. Operacija 20 (stezne čeljusti)

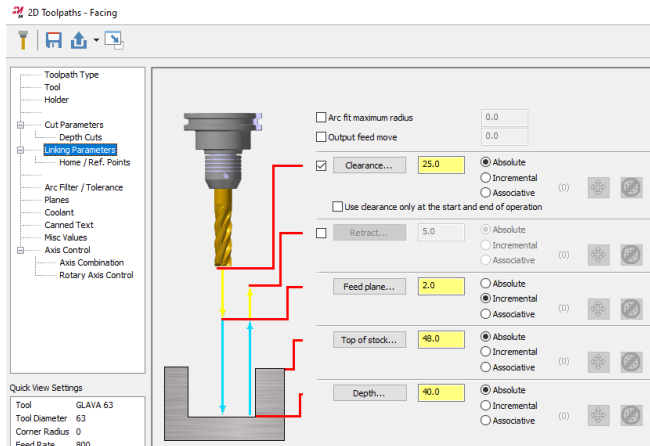
Kod operacije 20 potrebno je okrenuti komad. U Mastercam-u se stvara novi **Toolpath group** što označava drugo stezanje. Nakon toga definira se novi koordinatni sustav koji je prikazan na slici 5.27.



Slika 5.27. Definirani koordinatni sustav (operacija 20)

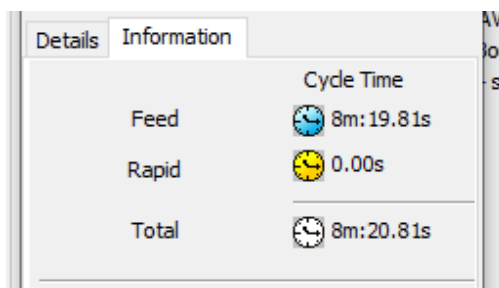
Zahvat 1: Čeono glodanje donje strane

Nakon odabira opcije **Face** definira se alat koji je isti kao i kod 1. zahvata operacije 10. Sljedeće što se definira je **Depth cuts** koji je također jednak kao i kod 1. zahvata operacije 10 dok se kartica **Linking parameters** (Slika 5.28.) razlikuje zbog različitog koordinatnog sustava.

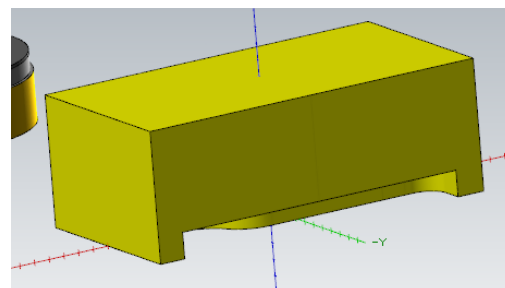


Slika 5.28. Definiranje dubine obrade




Ukupno vrijeme zahvata 1 prikazano je slici 5.29., simulacija obrade 20 prikazana je na slici 5.30., a ukupno vrijeme obrade operacije 10 i 20 prikazano je na slici 5.31. te iznosi 27 minuta i 32,66 sekundi.



Slika 5.29. Vrijeme obrade (zahvat 1)



Slika 5.30. Simulacija operacije 20 (stezna čeljust)

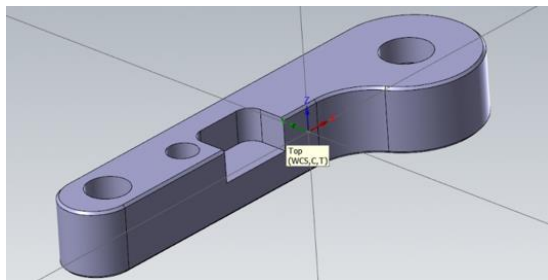
Details	Information	
		Cycle Time
Feed		27m:23.61s
Rapid		6.05s
Total		27m:32.66s

Slika 5.31. Ukupno vrijeme izrade stezne čeljusti

5.2. Simulacija operacije 10 (izradak)

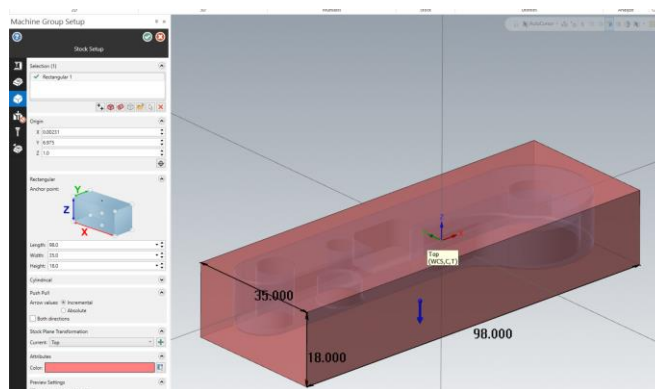
5.2.1. Definiranje koordinatnog sustava, postprocesora i sirovca

Potrebno je ponoviti postupak definiranja koordinatnog sustava i postprocesora kao kod simulacije stezne čeljusti. Na slici 5.32. prikazan je definirani koordinatni sustav za izradak.



Slika 5.32. Definirani koordinatni sustav za izradak

Nakon definiranja koordinatnog sustava definiraju se dimenzije sirovca koje su prikazane na slici 5.33.



Slika 5.33. Definiranje dimenzija sirovca

5.2.2. Operacija 10 (izradak)

Zahvat 1: Čeono glodanje čela izratka

Odabire se opcija **Face** koja se nalazi pod karticom **Toolpaths**, a prikazana je na slici 5.34. Za opciju **Face** nije potrebno odabrati geometriju već samo potvrditi opciju kao i kod simulacije stezne čeljusti. Nakon toga odabiru se alati potrebni za poravnavanje čela. Odabrano je čeono glodalo Ø63 sa sljedećim režimima obrade:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,16 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 800 mm/min

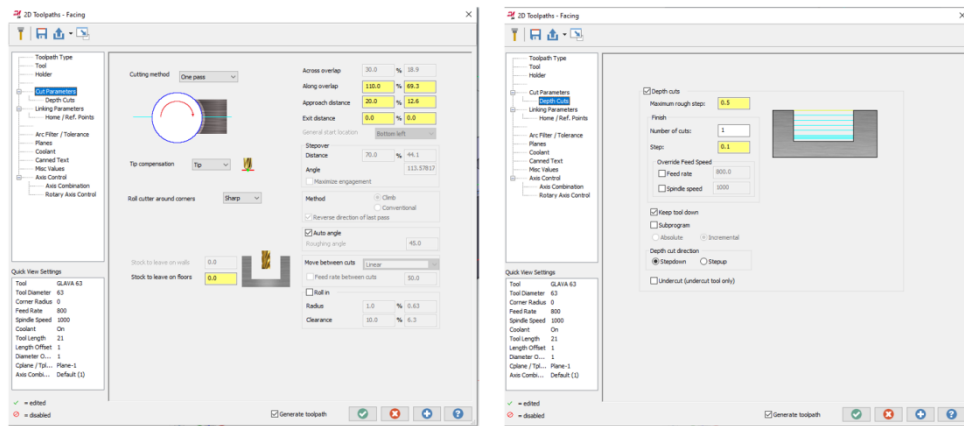
Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1000 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 197,92 m/min



Slika 5.34. Odabir opcije Face

Pod karticom **Cut parameters** (Slika 5.35. a)) odabire se metoda obrade, tip kompenzacije alata i drugo. Zatim slijedi definiranje **Depth Cuts** (Slika 5.35. b)) kojim se određuje dubina rezanja za jedan prolaz.

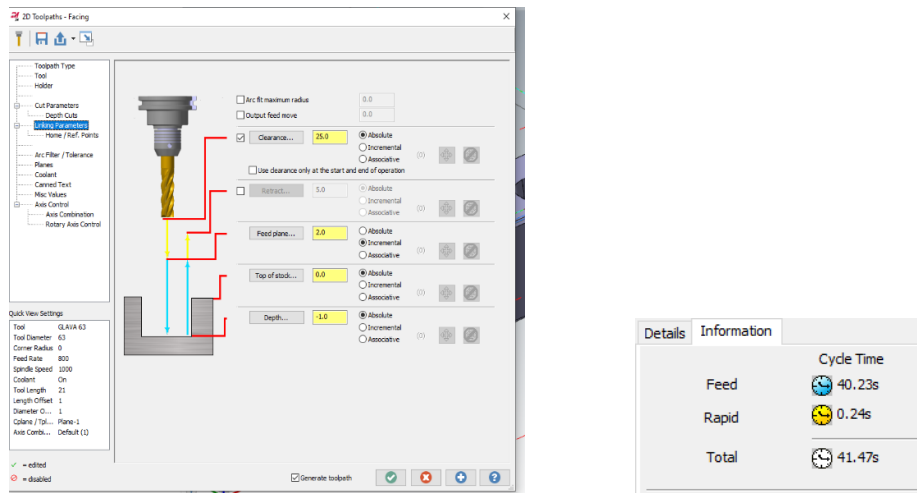


a)

b)

Slika 5.35. a) Cut parameters, b) Depth Cuts

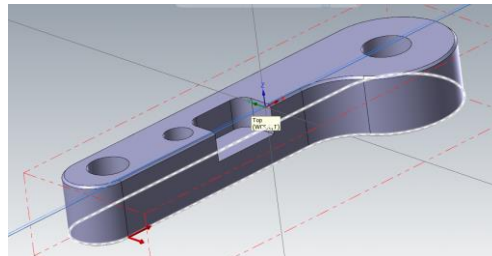
Karticom **Linking parameters** određuje se ukupna dubina rezanja koja je prikazana na slici 5.36. Ukupno vrijeme zahvata 1 za izradak prikazano je na slici 5.37. Dubina rezanja je -1 mm.



Slika 5.36. Definiranje dubine rezanja (zahvat 1) Slika 5.37. Vrijeme obrade (zahvat 1)

Zahvat 2: Glodanje vanjske konture – grubo

Odabire se opcija **Contour** te kontura koja je prikazana na slici 5.38.



Slika 5.38. Odabir konture (zahvat 2)

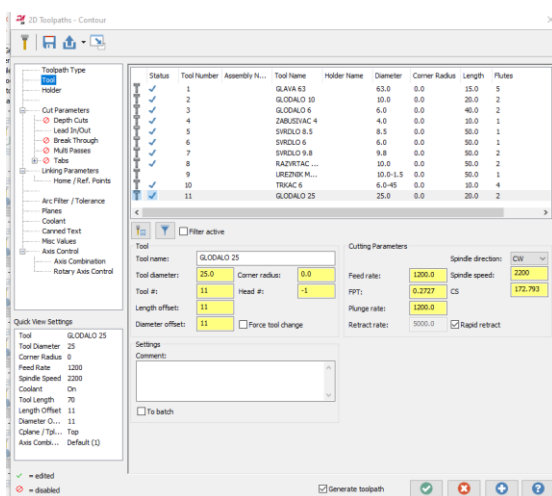
Alat koji se odabire za ovu obradu (Slika 5.39.) je glava Ø25 sa sljedećim režimima rada:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,2727 mm/zub

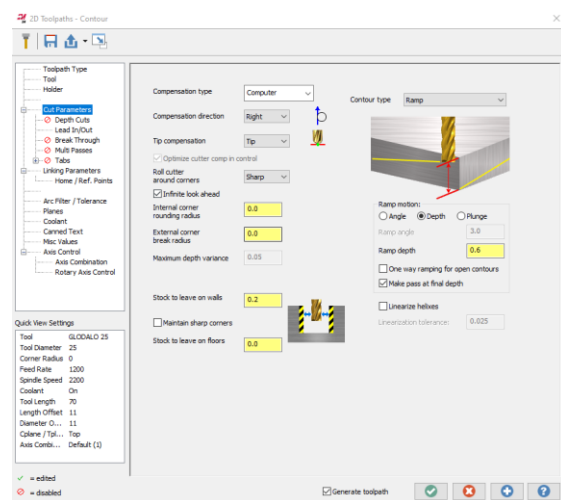
Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 1200 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 2200 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 172,92 m/min

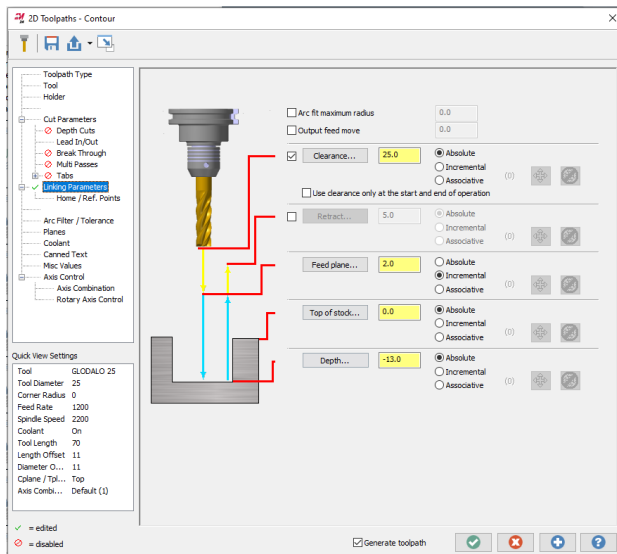


Slika 5.39. Odabir alata (zahvat 2)



Slika 5.40. Definiranje Cut parametar (zahvat 2)

Pod karticom **Cut parameters** definirano je da kontura ide po rampi u dubinu. Dubina po rampi je 0,6 mm uz dodatak na zidu od 0,2 mm kako bi se fino obradila kontura. Za ovu obradu definira se još dubina tj. **Linking parameters** (Slika 5.41.) koja iznosi -13 mm. Ukupno vrijeme zahvata 2 prikazano je na slici 5.42.



Slika 5.41. Definiranje dubine rezanja (zahvat 2)

Details	Information
	Cycle Time
Feed	6m:3.40s
Rapid	0.30s
Total	6m:4.70s

Slika 5.42. Vrijeme obrade (zahvat 2)

Zahvat 3: Glodanje vanjske konture – fino

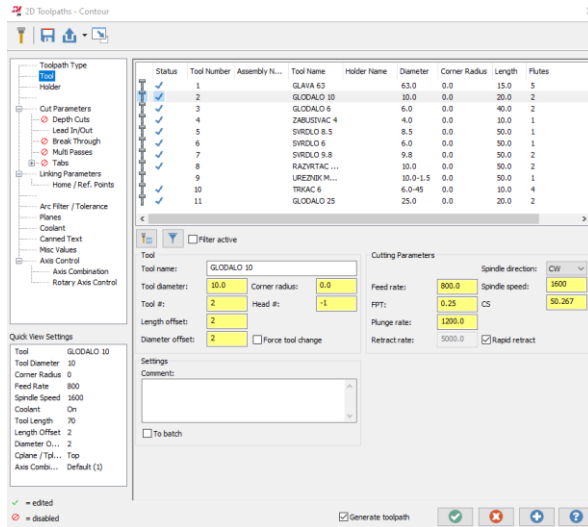
Odabrana je kontura prošlog zahvata te je promijenjen alat. Alat koji se koristi u ovom zahvatu je glodalo $\varnothing 10$ sa sljedećim režimima rada (odabir alata prikazan je na sljedećoj slici):

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,25 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 800 mm/min

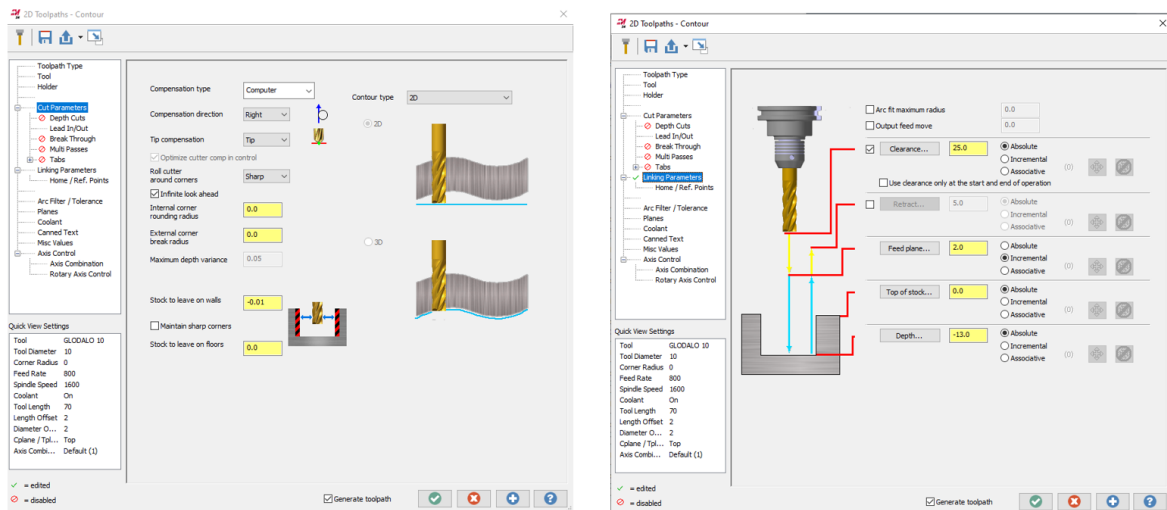
Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1600 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 50,267 m/min



Slika 5.43. Odabir alata (zahvat 3)

Pod karticom **Cut parameters** sve je ostavljeno kako je zadano na slici 5.43. a). Kartica **Depth Cuts** je ugašena jer se glodalom ide direktno na konačnu dubinu koja je prikazana pod karticom **Linking parameters** (Slika 5.43. b))



a)

b)

Slika 5.44. a) Cut parameters, b) Linking parameters

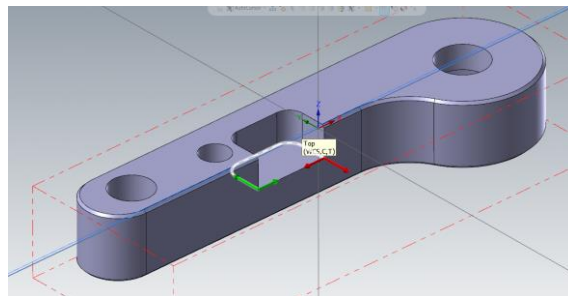
Ukupno vrijeme zahvata 3 prikazano je na sljedećoj slici:

	Cycle Time
Feed	19.74s
Rapid	0.30s
Total	21.04s

Slika 5.45. Vrijeme obrade (zahvat 3)

Zahvat 4: Glodanje otvorenog džepa

Ponovno je korištena opcija **Contour**. Na slici 5.46. je prikazana odabrana kontura.



Slika 5.46. Odabir konture (zahvat 4)

Zatim je odabrano glodalo $\varnothing 6$ (Slika 5.47.) sa sljedećim režimima obrade.

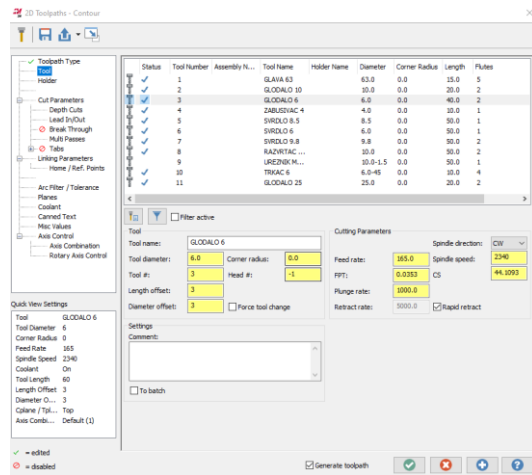
Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,0353 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 165 mm/min

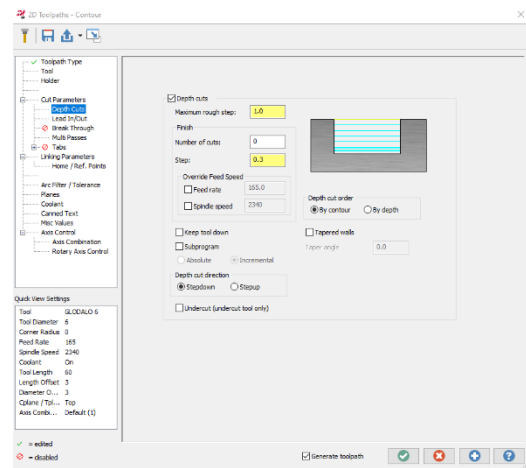
Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 2340 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 44,1 m/min

Pod karticom **Cut parameters** ne mijenja se ništa, a pod karticom **Depth Cuts** definira se dubina po prolazu koja iznosi 1 mm, a prikazana je na slici 5.48.

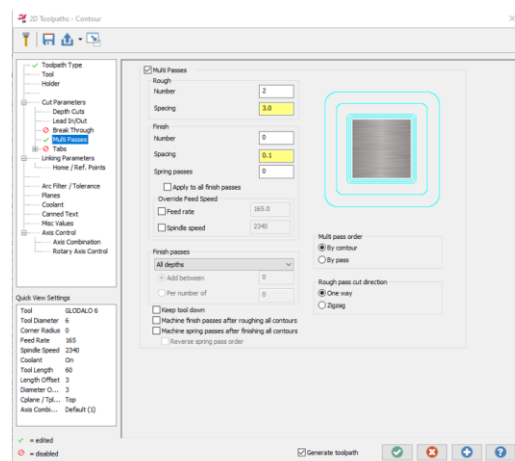


Slika 5.47. Odabir alat (zahvat 4)

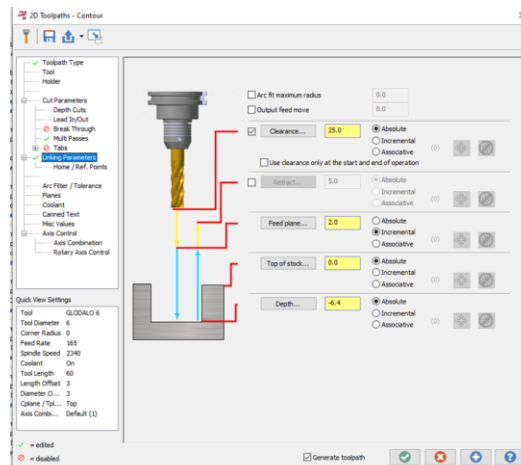


Slika 5.48. Definiranje Depth Cuts

Kod izrade ove konture potrebno je odabrati opciju **Multi passes** koja je prikazana na slici 5.49 a). Kartica **Linking parameters** prikazana je na slici 5.49. Dubina rezanja je -6,4 mm.



a)



b)

Slika 5.49. a) Multi passes, b) Linking parameters

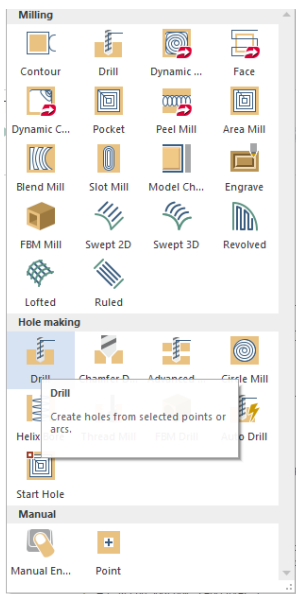
Ukupno vrijeme zahvata 4 prikazano je slici 5.50.

Details		Information	
		Cycle Time	
Feed		3m:3.40s	
Rapid		4.33s	
Total		3m:8.73s	

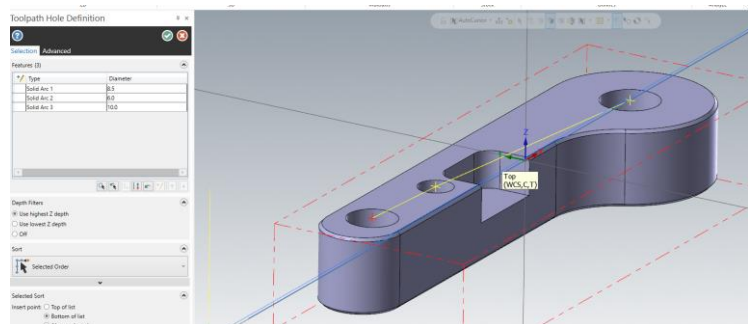
Slika 5.50. Vrijeme obrade (zahvata 4)

Zahvat 5: Zabušivanje za 3 provrta

Kod ovog zahvata odabire se opcija **Drill** koja se nalazi pod karticom **Toolpaths** te prozor **2D** kao što je prikazano na slici 5.51. Nakon toga odabiru se sve rupe koje će se bušiti kao što je prikazano na slici 5.52.

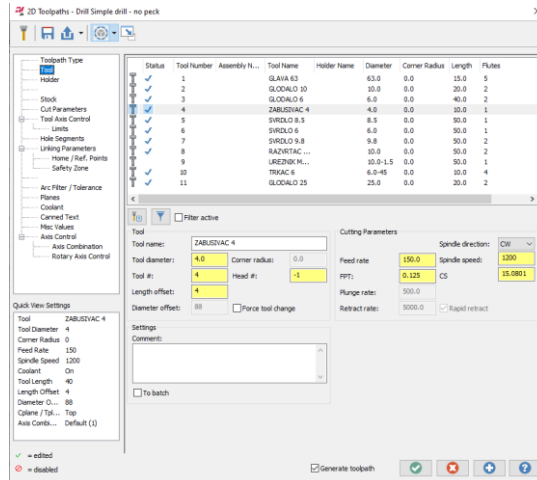


Slika 5.51. Opcija Drill



Slika 5.52. Odabir provrta

Nakon odabira geometrije potrebno je pod karticom **Tools** definirati alat koji će se koristiti kod zabušivanja. Odabir alata je prikazan na slici 5.53.



Slika 5.53. Odabir alata (zahvat 5)

Režimi rada su sljedeći:

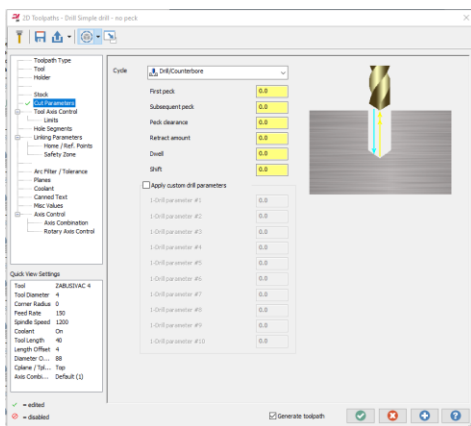
Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,125 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 150 mm/min

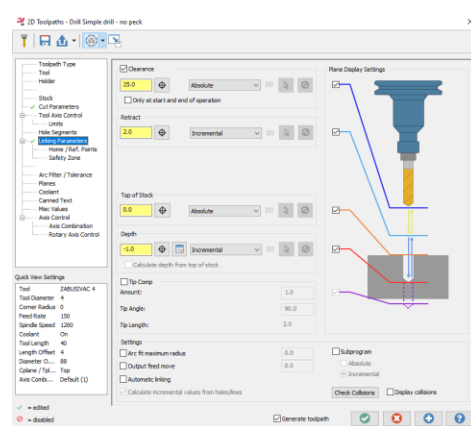
Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1200 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 15,1 m/min

Nakon odabira alata odabire se vrsta bušenja. Za ovaj zahvat odabrana je **Drill/Counterbore** kao što je prikazano na slici 5.54. Na kraju se definira **Linking parameters** tj. dubina rezanja koja iznosi -1 mm (Slika 5.55.).



Slika 5.54. Vrsta bušenja



Slika 5.55. Definiranje dubine rezanja (zahvat 5)

Ukupno vrijeme zahvata 5 prikazano je na slici 5.56.

Details		Information	
Cycle Time			
Feed		4.80s	
Rapid		1.05s	
Total		6.85s	

Slika 5.56. Vrijeme obrade (zahvat 5)

Zahvat 6: Bušenje rupe $\varnothing 8,5$ mm

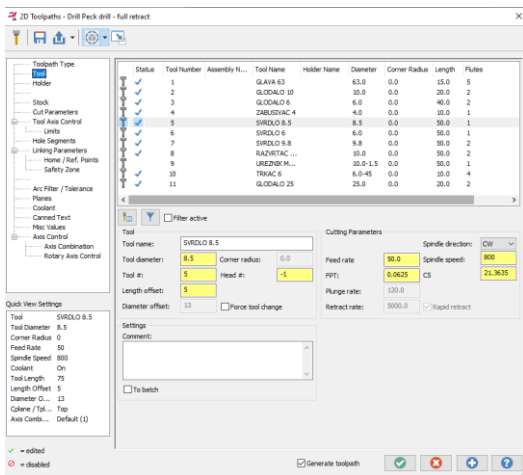
Odabire se ista opcija kao u prošlom zahvatu, a to je **Drill**. Potrebno je definirati novi alat na isti način, novi alat koji se odabire je svrdlo $\varnothing 8,5$ (Slika 5.57.). Pod karticom **Cut Parameters** mijenja se vrsta bušenja u **Peck Drill**. S **Peck Drill** definira se dubina koju zabušimo zatim se alat vraća kako bi osigurao izlaz strugotine. Kartica je prikazana na slici 5.58. Režimi obrade su sljedeći:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,125 mm/zub

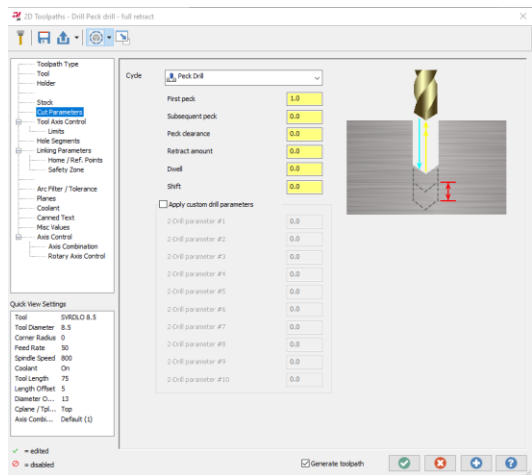
Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 150 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1200 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 15,1 m/min

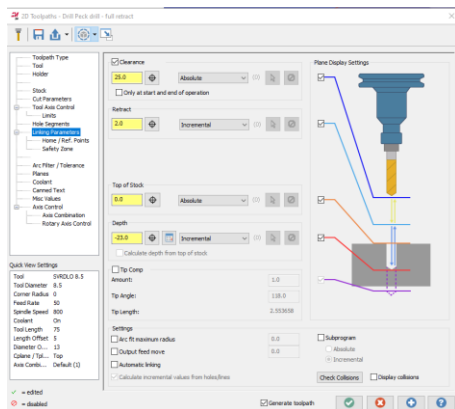


Slika 5.57. Odabir alata (zahvat 6)



Slika 5.58. Opcija Peck Drill

Potrebno je definirati **Linking parameters**. Dubina rezanja iznosi -23 mm zbog toga što se provrt proteže kroz cijeli izradak. Kartica je prikazana na slici. 5.59. Ukupno vrijeme zahvata 6 prikazano je na slici 5.60.

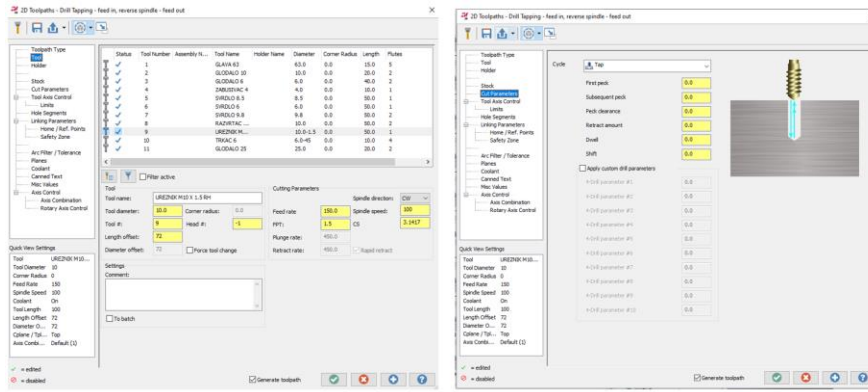


Details	Information
	Cycle Time
Feed	60.00s
Rapid	6.77s
Total	1m:7.77s

Slika 5.59. Definiranje dubine rezanja (zahvat 6) Slika 5.60. Vrijeme obrade (zahvat 6)

Zahvat 7: Izrada navoja M10

Radi se istom opcijom kao i na prošlom zahvatu te se odabire provrt $\varnothing 8,5$. Alat koji se koristi je ureznik M10. Odabir alata prikazan je na slici 5.60 a). Zatim se odabire **Cut Parameters** kod kojeg se mijenja vrsta bušenja u **Tap**. **Tap** je opcija za izradu navoja koja je prikazana na slici 5.60 b).



a)

b)

Slika 5.61. a) Odabir alata (zahvat 7), b) Definiranje Cut Parameters

Otvaranjem kartice **Linking parameters** definira se dubina rezanja koja iznosi -14 mm. Kartica je prikazana na slici 5.62. Ukupno vrijeme zahvata 7 prikazano je na slici 5.63.

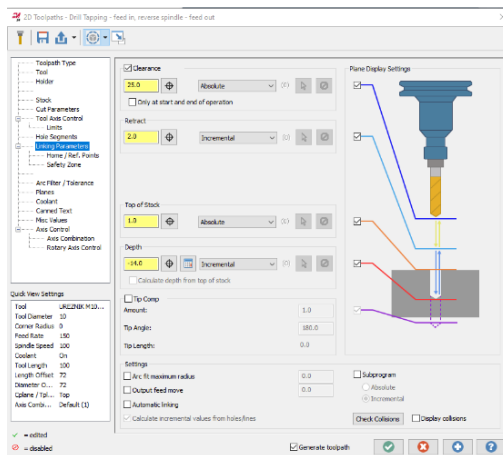
Režimi obrade su sljedeći:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 1,5 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 150 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 100 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 3,14 m/min



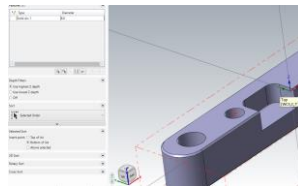
Slika 5.62. Definiranje dubine rezanja (zahvat 7)

Details		Information	
Cycle Time			
Feed		6.80s	
Rapid		0.29s	
Total		8.09s	

Slika 5.63. Vrijeme obrade (zahvat 7)

Zahvat 8: Bušenje provrta Ø6

Odabire se opcija **Drill**. Odabir provrta prikazan je na slici 5.64.



Slika 5.64. Odabir provrta (zahvat 8)

Alat koji je odabran je svrdlo Ø6. Odabir alata prikazan je na slici 5.65. a). Pod karticom **Cut Parameters** odabran je **Peck Drill** kao i kod zahvata 6. Na kraju se još definira kartica **Linking parameters** (Slika 5.65 b)).

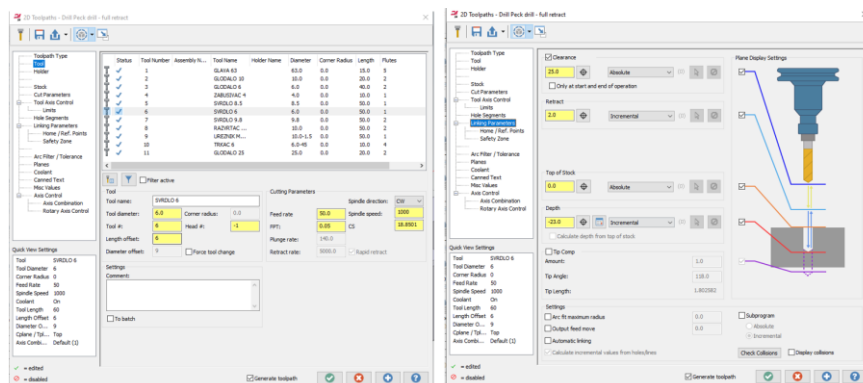
Režimi obrade su sljedeći:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,05 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 50 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1000 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 18,85 m/min






a)

b)

Slika 5.65. a) Odabir alata (zahvat 8), b) Definiranje dubine obrade (zahvat 8)

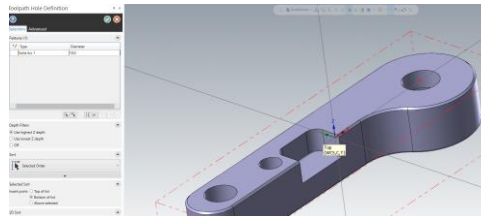
Ukupno vrijeme zahvata je prikazano na sljedećoj slici.

Details		Information	
		Cycle Time	
Feed		30.00s	
Rapid		3.22s	
Total		34.22s	

Slika 5.66. Vrijeme obrade (zahvat 8)

Zahvat 9: Bušenje provrta $\varnothing 9,8$ mm

Opcija koja se odabire je **Drill**. Geometrija koja je odabrana prikazana je na slici 5.67.



Slika 5.67. Odabir provrta (zahvat 9)

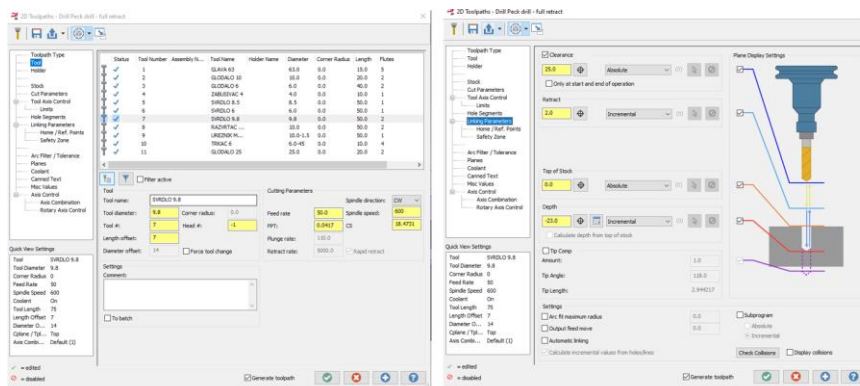
Alat koji je odabran za ovaj zahvat je svrdlo $\varnothing 9,8$ zbog toga što je ovaj provrt toleriran. U sljedećem zahvatu dolazi se do točnog provrta od $\varnothing 10$. Odabir alata prikazan je na slici 5.68. a), a kartica **Linking parameters** prikazana je na slici 5.68. b), a dubina rezanja i iznosi -23 mm. Režimi obrade su sljedeći:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,041 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 50 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 600 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 18,47 m/min



a)

b)

Slika 5.68. a) Odabir alata (zahvat 9), b) Definiranje dubine obrade (zahvat 9)

Ukupno vrijeme zahvata 9 prikazano je na sljedećoj slici.

Details		Information	
		Cycle Time	
Feed		30.00s	
Rapid		3.22s	
Total		34.22s	

Slika 5.69. Vrijeme obrade (zahvat 9)

Zahvat 10: Razvrtavanje provrta $\varnothing 10$ H7

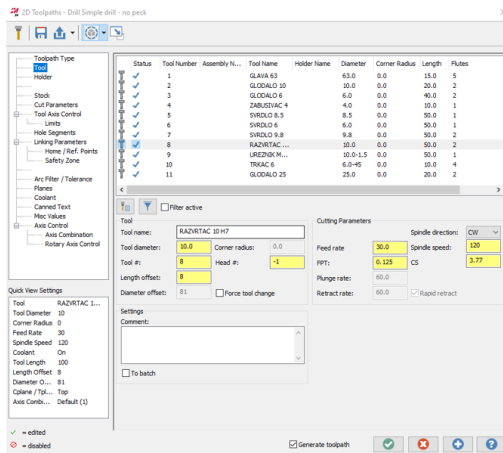
Kod ovog zahvata također je korištena opcija **Drill**, a alat koji je korišten je razvrtač $\varnothing 10$ H7. Odabir alata prikazan je na slici 5.70. a). Pod karticom **Cut Parameters** odabran je **Drill/Counterbore**. Parametri koji su odabrani za **Cut parameters** prikazani su na slici 5.70. b). Režimi obrade su sljedeći:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,125 mm/zub

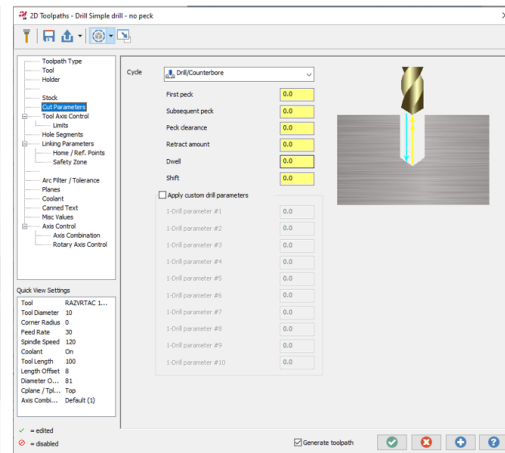
Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 30 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 120 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 3,77 m/min



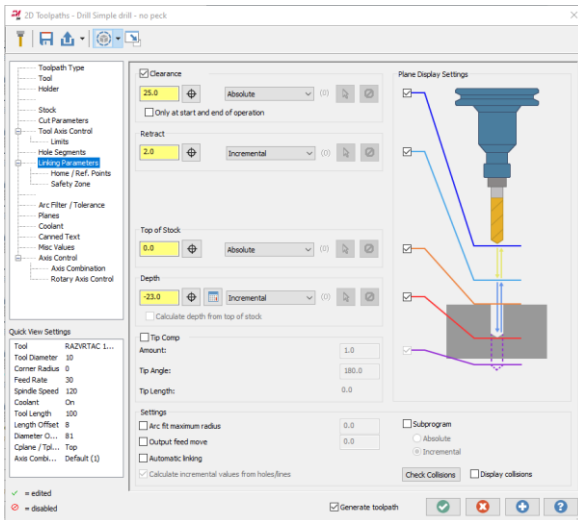
a)



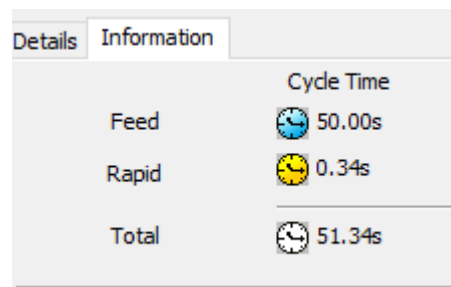
b)

Slika 5.70. a) Odabir alata (zahvat 10), b) Cut Parameters

Sljedeće što je potrebno definirati je **Linking Parameters** kod kojeg se definira dubina rezanja koja iznosi -23 mm. Kartica **Linking parameters** prikazana je na slici 5.71. Ukupno vrijeme zahvata 10 je prikazano na slici 5.72.

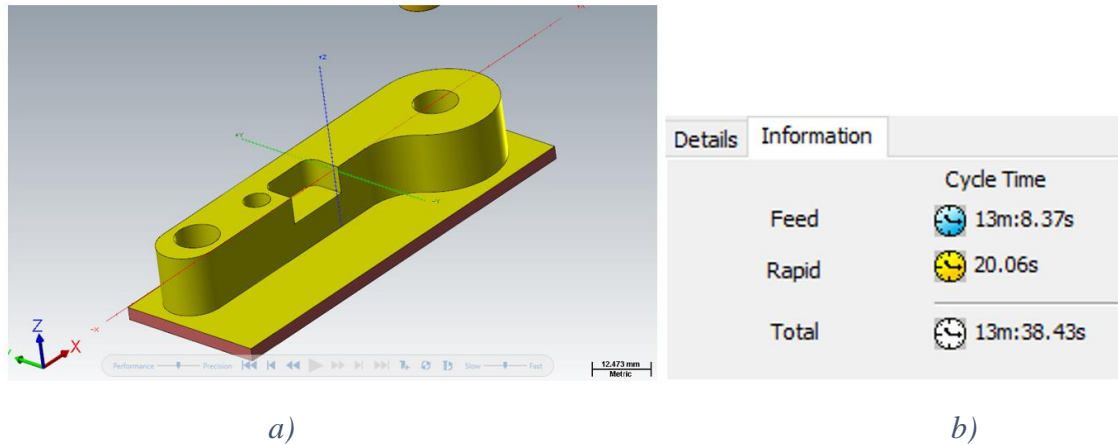


Slika 5.71. Definiranje dubine obrade (zahvat 10)



Slika 5.72. Vrijeme obrade (zahvat 10)

S ovim zahvatom završena je operacija 10. Na slici 5.73. a) prikazana je simulacija operacije 10. Ukupno vrijeme operacije 10 iznosi 13 minuta i 38.42 sekundi (Slika 5.73. b)).

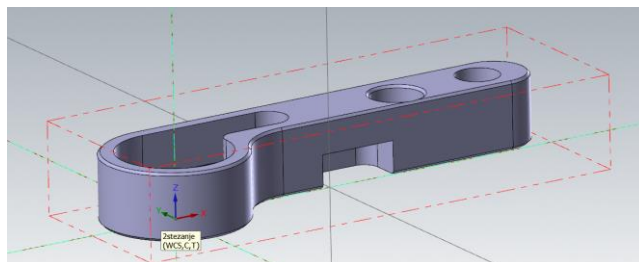


Slika 5.73. a) Simulacija operacije 10, b) Ukupno vrijeme operacije 10

5.3. Simulacija operacije 20 (izradak)

5.3.1. Definiranje koordinatnog sustava operacije 20

Za operaciju 20 potrebno je stvoriti novi koordinatni sustav. To se radi na isti način kao i kod izrade stezne čeljusti kod operacije 20. Slika 5.74 prikazuje novi koordinatni sustav.



Slika 5.74. Definiranje koordinatnog sustava operacije 20

5.3.2. Operacija 20 (izradak)

Zahvat 1: Čeono glodanje

Odabire se opcija **Face** za koju nije potrebno odabrati geometriju već samo potvrditi opciju kao i kod operacije 10. Zatim se odabire alat potreban za poravnavanje čela. Odabire se čeono glodalo $\varnothing 63$ sa sljedećim režimima obrade:

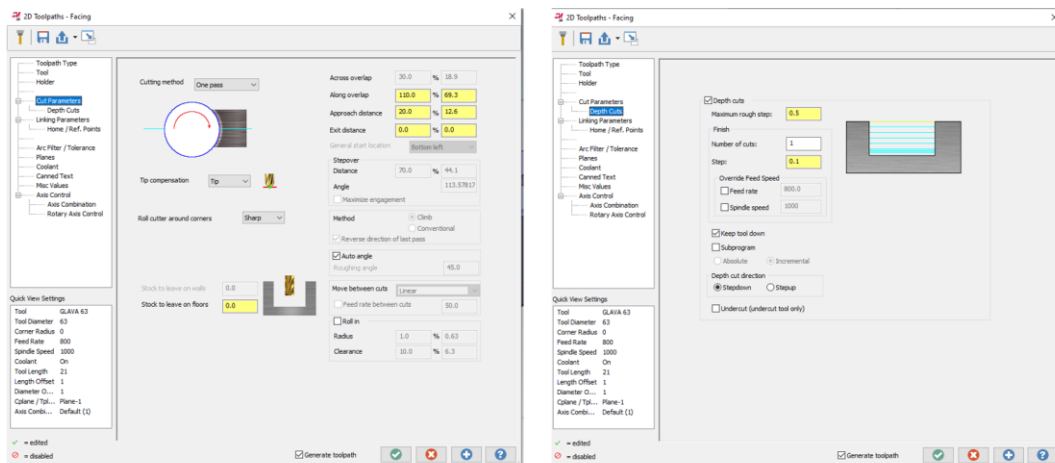
Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,16 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 800 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1000 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 197,92 m/min

Pod karticom **Cut parameters** (Slika 5.75. a) odabire se metoda obrade, tip kompenzacije alata i drugo. Zatim slijedi definiranje **Depth Cuts** (Slika 5.75. b)) čime se određuje dubina rezanja za jedan prolaz.

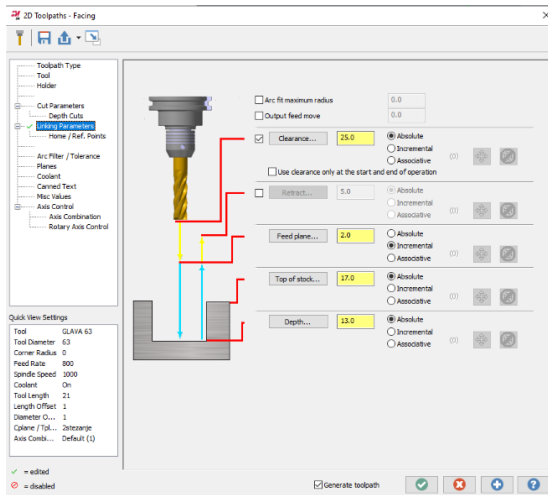


a)

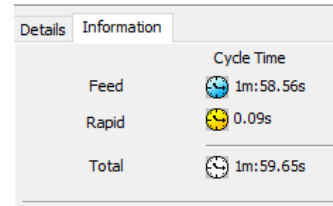
b)

Slika 5.75. a) Definiranje Cut parametars (zahvat 1), b) Definiranje Depth Cuts (zahvat 1)

Na kraju se još definira **Linkinig parameters**, kartica je prikazana na slici 5.76, a dubina rezanja je -5 mm. Ukupno vrijeme zahvata 1 je prikazano na slici 5.77.



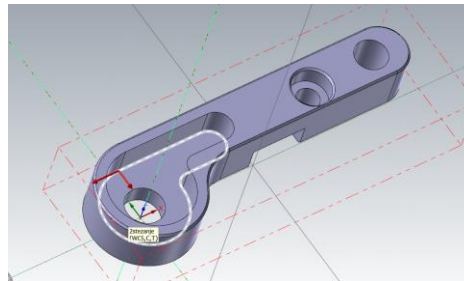
Slika 5.76. Definiranje dubine rezanja (zahvat 1)



Slika 5.77. Vrijeme obrade (zahvat 1)

Zahvat 2: Izrada unutanje konture

Za ovaj zahvat odabire se opcija **Contour**. Geometrija koja je izabrana prikazana je na slici 5.78.



Slika 5.78. Definiranje geometrije (zahvat 2)

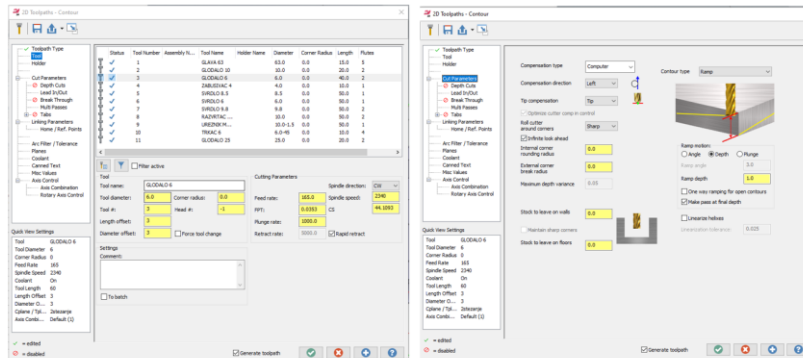
Alat koji je odabran za ovaj zahvat je glodalo $\varnothing 6$. Odabir alata prikazan je na slici 5.80. a). Pod karticom **Cut Parameters** definirano je da se kontura obrađuje po rampi kao što je vidljivo na slici 5.80. b). Dubina po kojoj se spušta po rampi je -1 mm. Režimi obrade su sljedeći:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,0353 mm/zub

Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 165 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 2340 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 44,1 m/min

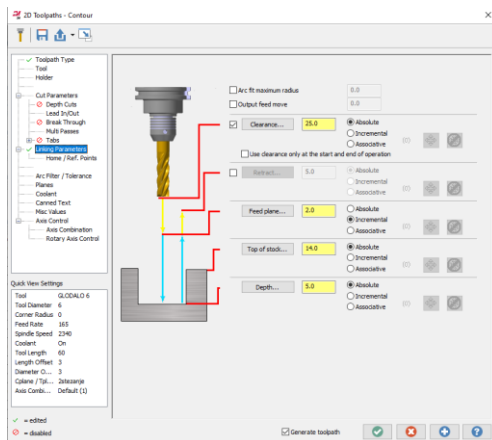


a)

b)

Slika 5.79. a) Odabir alata (zahvat 2), b) Definiranje Cut parametars

Dubina rezanja iznosi -8 mm. Dubina rezanja definira se pod karticom **Linking parameters**, kartica je prikazana na slici 5.80. Ukupno vrijeme zahvata 2 prikazano je na sljedećoj slici.



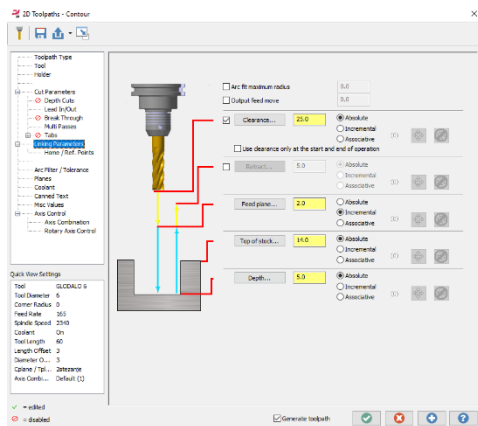
Slika 5.80. Definiranje dubine rezanja (zahvat 2)

Details	Information
	Cycle Time
Feed	7m:31.29s
Rapid	0.32s
Total	7m:32.60s

Slika 5.81. Vrijeme obrade (zahvat 2)

Zahvat 3: Glodanje utora Ø10

Koristi se ista opcija i alati kao u prošlom zahvatu jedino se dubina rezanja mijenja na vrijednost od 5 mm. Dubina rezanja definira se pod karticom **Linking parameters** koja je prikazana na slici 5.82. Ukupno vrijeme zahvata 3 prikazano je na slici 5.83.



Details		Information	
Cycle Time			
Feed		57.70s	
Rapid		0.12s	
Total		58.82s	

Slika 5.82. Definiranje dubine rezanja (zahvat 3) Slika 5.83. Vrijeme obrade (zahvat 3)

Zahvat 4: Izrada skošenja od 45°

Alat koji se koristi naziva se trkač. Odabir alata prikazan je na slici 5.84. a). Za izradu skošenja koristi se opcija **Contour**. U kartici **Cut parameters** vrsta konture namješta se na **2D chamfer** (Slika 5.84. b)).

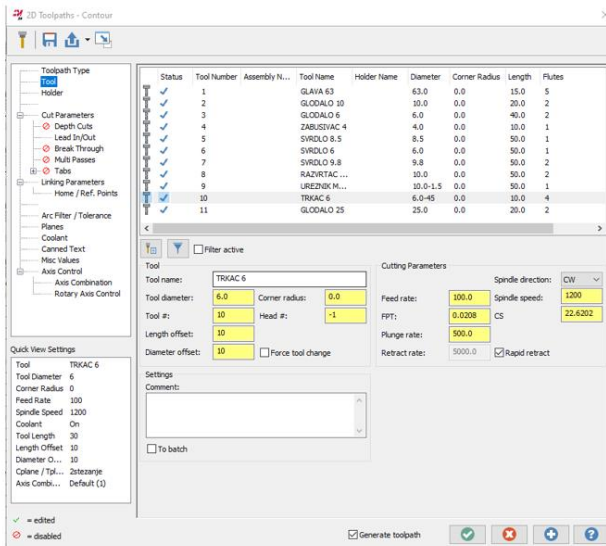
Režimi obrade su sljedeći:

Posmak po zubu (engl. *Feed per tooth*): 0,02 mm/zub

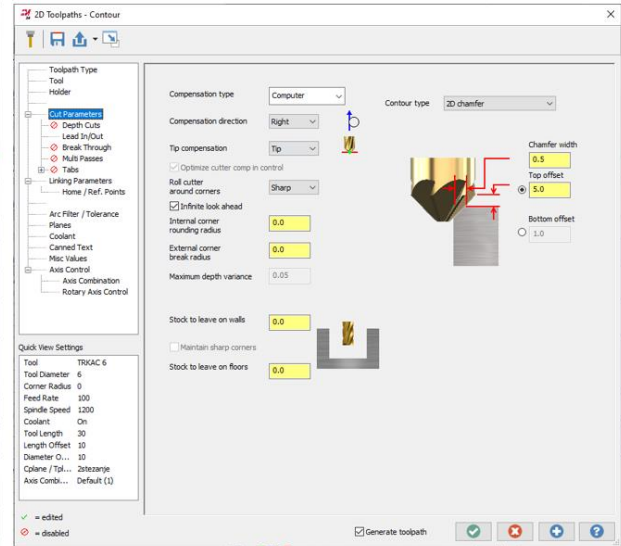
Posmična brzina (engl. *Feed rate*): 100 mm/min

Brzina vrtnje (engl. *Spindle speed*): 1200 okr/min

Brzina rezanja (engl. *Cutting speed*): 22,62 m/min



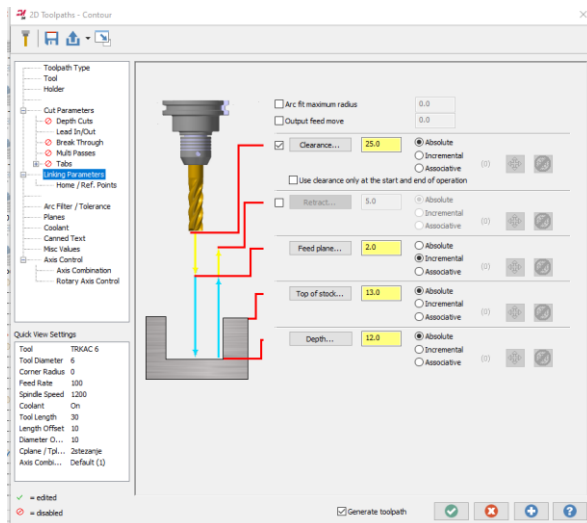
a)



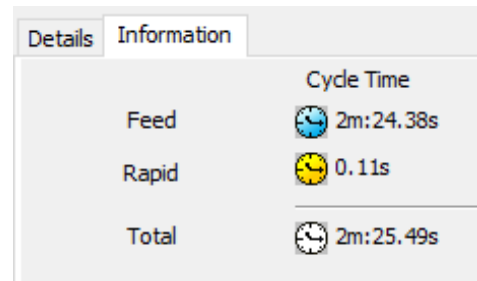
b)

Slika 5.84. a) Odabir alata (zahavt 4), b) Definiranje Cut parametars

Definiranje **Linking parameters** prikazano je na sljedećoj slici. Ukupno vrijeme zahvata 4 je prikazano na slici 5.86. Dubina rezanja iznosi -1 mm.

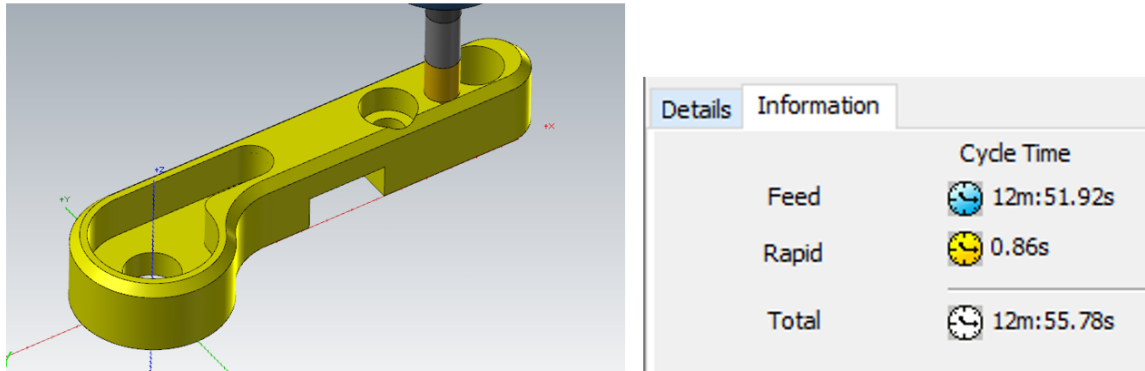


Slika 5.85. Definiranje dubine rezanja



Slika 5.86. Vrijeme obrade (zahvat 4)

Ovim zahvatom završena je operacija 20. Na slici 5.87. a) prikazana je simulacija operacije 20. Ukupno vrijeme operacije 20 iznosi 12 minuta i 55,78 sekundi (Slika 5.87. b)).



a)

b)

Slika 5.87. a) Simulacija operacije 20, b) Ukupno vrijeme operacije 20

6. OBRADE POMOĆU CNC STROJA

6.1. Provjera i stavljanje alata u revolversku glavu

Provjera alata prije stavljanja u revolversku glavu je od izuzetne važnosti. Ovaj postupak uključuje detaljan vizualni pregled alata kako bi se utvrdilo postoje li bilo kakva oštećenja ili znakovi habanja koji bi mogli utjecati na kvalitetu obrade. Alati moraju biti čisti i u savršenom stanju kako bi se osigurala njihova optimalna funkcionalnost. Provjera također uključuje potvrdu da su dimenzije i specifikacije alata usklađene s tehničkom dokumentacijom i zahtjevima za specifične operacije. Alati koji se koriste definirani su kod strukturiranja tehnološkog procesa. Na slici 6.1. prikazna je slika revolverske glave sa svim potrebnim alatima za izradu stezne čeljusti i proizvoda.



Slika 6.1. Revolverska glava

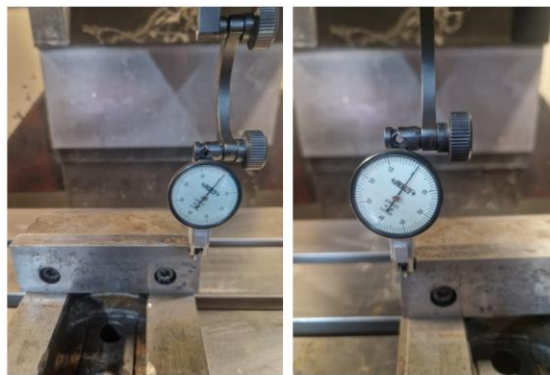
6.2. Umjeravanje alata i centriranje škripa

Nakon stavljanja alata u revolversku glavu potrebno je centrirati škrip. Škrip mora imati paralelnost za osima stroja da bi osigurali točnost. Paralelnost s osima osigurava se alatom koji se naziva papitus i prikazan je na slici 6.2.



Slika 6.2. Papitus

Centriranje škripa radi se na način da se stol pomiče po X osi i škrip se namješta tako da od jedne do druge strane škripa kazaljka papitusa ostane na nuli kao što je prikazano na sljedećim slikama.

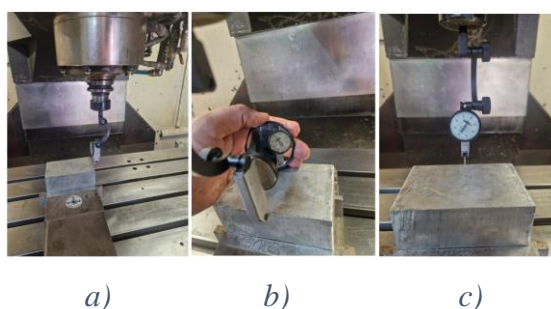


a)

b)

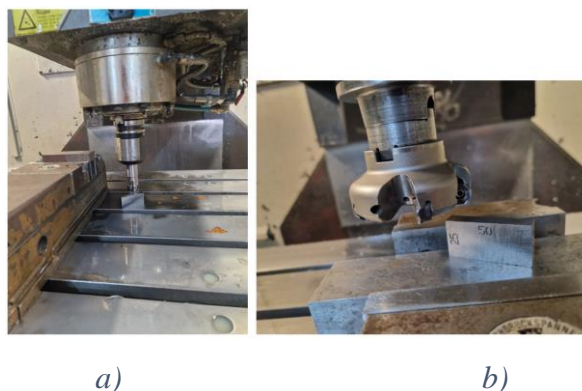
Slika 6.3. a) Desna strana škripa, b) Lijeva strana škripa

Sljedeća radnja je centriranje sirovca stezne čeljusti preko papitusa. Nulta točka je na sredini sirovca i to se definira u Mastercam-u. Centriranje se radi tako da se papitusom takne sirovac prvo po X osi s bilo koje strane te se nakon dodirivanja sirovca na upravljačkoj jedinici definira da mjeri udaljenosti do druge strane. Zatim se ta udaljenost podijeli s dva kako bi se dobila sredina i taj se broj upisuje kao nulu za X os. Takav postupak ponavlja se za Y os, a za Z os umjerava se visina najdužeg alata kako bi se dobila nulta točka alata. Svi drugi alati se na osnovu tog najdužeg alata automatski umjeravaju. Postupak umjeravanja sirovca je prikazan na sljedećim slikama.



Slika 6.4. a) Umjeravanje po X osi, b) Umjeravanje po Y osi prednja strana, c) Umjeravanje po Y osi zadnja strana

Za umjeravanje alata koristi se etalon kako bi se izbjeglo oštećenje rezne pločice. Prvo se umjerava najduži alat na radni stol kao što je prikazano na slici 6.5. a). Nakon što se definiraju visine svih alata provodi se umjeravanje na nultu točku komada kako je zadano u Mastercam-u. To je prikazano na slici 6.5. b).



Slika 6.5. a) Umjeravanje alata, b) Umjeravanje nul točke komada za Z os

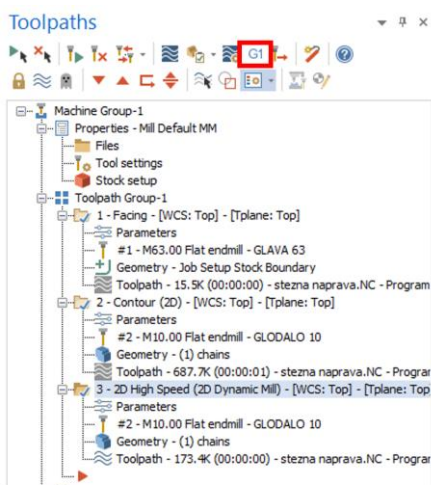
Na kraju se još provjerava točnost centriranja komada na način da se preko upravljačke jedinice zada pomak stroja u X0, Y0, Z25 kao što je prikazano na slici 6.6.



Slika 6.6. Pomicanje stroja u nultu točku

6.3. Glodanje steznih čeljusti

Nakon umjeravanja i centriranja sirovca stezne čeljusti, potrebno je učitati program iz Mastercam-a. Označe se svi zahvati za zadanu operaciju te se generira NC program kod kao što je prikazano na slici 6.7.



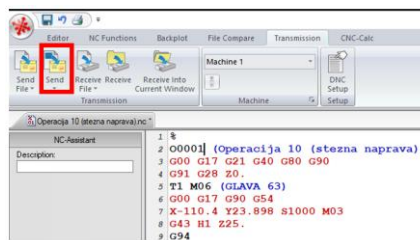
Slika 6.7. Generiranje NC programa stezne čeljusti operacija 10

Pritiskom na **G1** otvara se novi prozor koji je prikazan na sljedećoj slici. Prije slanja programa na stroj programu se daje naziv. Program je nazvan 0001 kao što je prikazano na slici 6.8.

```
1 %
2 O0001 (Operacija 10 (stezna naprava))
3 G00 G17 G21 G40 G80 G90
4 G91 G28 Z0.
5 T1 M06 (GLAVA 63)
6 G00 G17 G90 G54
7 X-110.4 Y23.898 S1000 M03
8 G43 H1 Z25.
9 G94
10 G05 P10000
11 Z5.
12 G01 Z-1. F800.
13 X97.8
14 Y7.966
15 X-97.8
16 Y-7.966
17 X97.8
18 Y-23.898
19 X-97.8
20 Z-2.
21 X97.8
22 Y-7.966
23 X-97.8
24 Y7.966
25 X97.8
26 Y23.898
--
```

Slika 6.8. Generiran NC programa kod operacije 10 za steznu čeljsut

Nakon spremanja NC programa on se šalje na stroj. Veza između računala i upravljačke jedinice CNC stroja je serijski port RS232. Pritiskom na tipku **Send G** kod se šalje na CNC stroj (Slika 6.9.).



Slika 6.9. Tipka Send

Nakon toga slijedi pozivanje programa u upravljačkoj jedinici CNC stroja. Pozivanje programa provodi se pritiskom tipke **Search** na upravljačkoj jedinici CNC stroja nakon čega se upiše broj programa te pritisne tipka **Input** kao što je vidljivo na slici.



Slika 6.10. Pozivanje programa

Nakon pozivanja programa CNC stroj se stavlja na **Auto** te se program pokreće. Nakon što operacija 10 završi potrebno je ponoviti postupak za operaciju 20. Na sljedećim slikama vidljive su faze izrade stezne čeljusti.



a)

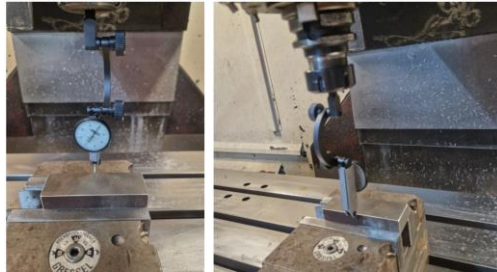


b)

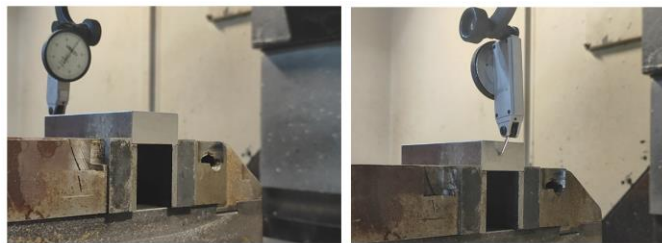
Slika 6.11. a) Operacija 10, b) Operacija 20

6.4 Umjeravanje alata i centriranje sirovca izratka

Ponavlja se isti postupak kao kod izrade stezne čeljusti. Na sljedećim slikama prikazano je centriranje sirovca izratka.



Slika 6.12. Centriranje po Y osi



Slika 6.13. Centriranje po X osi

6.5. Izrada izratka (operacija 10)

Nakon centriranja izratka ponovno se umjerava nulta točka alata kao kod izrade stezne čeljusti. Zatim slijedi učitavanje programa operacije 10. U Mastercam-u je potrebno označiti sve zahvate operacije 10. Generiranje NC programa provodi se na isti način kao i kod izrade stezne čeljusti te se na stroj učitava program pod brojem 0003. Na slici 6.14. prikazana je operacija 10. Nakon izrade operacije 10, potrebno je provjeriti bitne mjere koje se provjeravaju pomičnim mjerilom kao što je prikazano na slici 6.15.



Slika 6.14. Operacija 10



Slika 6.15. Provjeravanje točnosti izrade operacije 10

6.6. Izrada izratka (operacija 20)

Nakon izrade operacije 10 potrebno je ponovno postaviti novu nultu točku izratka. Centriranje se vrši na isti način. Kod operacije 20 koristi se stezna čeljust za stezanje izratka koja je prethodno izrađena. Izradak se centrira na tolerirani provrt $\varnothing 10$ H7 kao što je prikazano na slici 6.16. Nakon centriranja izratka ponovno se umjerava nulta točka alata u odnosu na izradak. Potebno je označiti sve zahvate operacije 20 te generirati ih u NC programa. Nakon generiranja potrebno je pozivanje programa kao i kod izrade stezne čeljusti. Na slici 6.17. prikazana je operacija 20 čime je izrada proizvoda završila.



Slika 6.16. Centriranje izratka (operacija 20)



Slika 6.17. Konačan proizvod

7. ZAVRŠNA KONTROLA PROIZVODA

Završna kontrola proizvoda ključna je faza u procesu proizvodnje koja osigurava da gotov proizvod ispunjava sve zadane specifikacije i standarde kvalitete. Kontrola proizvoda obavljena je u tvrtki Elcon Geraetebau d.o.o. Alati koji su korišteni kod kontrole proizvoda su sljedeći: mjerni etaloni, pomično mjerilo, glatki trn, navojni trn, dubinomjer i optika.

7.1. Završna kontrola

Završna kontrola kreće s pripremom nacрта što znači da se označe sve kote na nacrtu zbog lakšeg snalaženja kod mjerenja proizvoda. Prvo se pomičnim mjerilom mjere sve mjere koje se mogu izmjeriti, a zatim se mjernim etalonima provjerili utor. Mjerni etaloni su prikazani na sljedećoj slici.



Slika 7.1. Mjerni etaloni

Tolerirani provrt provjeri se tolerancijskim čepom $\varnothing 10$ H7 koji je prikazan na sljedećoj slici.



Slika 7.2. Tolerirani čep

Sve druge mjere provjere se optikom i dubinomjerom. Na slici 7.2. a) prikazana je optika, a na 7.2. b) dubinomjer.



a)



b)

Slika 7. 3. a) Mjerna optika, b) Dubinomjer

Kontrola proizvoda je zadovoljavajuća. Mjerni protokol dan je u prilogu 8.

8. ZAKLJUČAK

Kroz detaljno istraživanje i praktičnu primjenu CNC tehnologije jasno je pokazano koliko je važna integracija naprednih proizvodnih sustava u suvremenu industriju. CNC strojevi kao što je Akira Seiki SV 1350 omogućuju visoku razinu automatizacije i preciznosti koja je ključna za zadovoljavanje sve zahtjevnijih tržišnih standarda. Ovaj rad nije samo demonstrirao tehničke aspekte CNC obrade, već je istaknuo i strateške prednosti korištenja softverskih alata poput Mastercama u fazama planiranja i simulacije obrade.

Jedan od ključnih doprinosa rada je analiza cijelog tehnološkog procesa, od inicijalne pripreme do finalne obrade i kontrole proizvoda. Umjeravanje alata, centriranje sirovca kao i sama obrada steznih čeljusti prikazani su kao kritični koraci koji osiguravaju točnost i kvalitetu konačnog proizvoda. Korištenjem Mastercama omogućeno je precizno modeliranje i simuliranje obradnih operacija čime je smanjen rizik od pogrešaka i optimizirano vrijeme proizvodnje.

Rad također naglašava važnost kontinuiranog razvoja i prilagodbe uvođenjem novih tehnologija. Ubrzane promjene u industriji zahtijevaju od inženjera da stalno nadograđuju svoja znanja i vještine, posebno u području CNC programiranja i softverske simulacije. Ovaj rad pokazuje kako se takva znanja mogu primijeniti u stvarnom proizvodnom okruženju kako bi se postigli rezultati koji zadovoljavaju visoke standarde kvalitete.

Zaključno, ovaj diplomski rad ne samo da prikazuje praktičnu primjenu CNC tehnologije u izradi specifičnog proizvoda već i demonstrira širinu mogućnosti koje ovakvi sustavi pružaju modernoj industriji. S povećanjem složenosti i zahtjeva u proizvodnji, primjena naprednih tehnologija kao što su CNC strojevi i softverski alati za simulaciju postaje neophodna. Budući izazovi u industriji neće se moći rješavati bez sveobuhvatnog pristupa koji uključuje tehničku stručnost, softversku podršku i strateško planiranje, a ovaj rad predstavlja korak u tom smjeru.

LITERATURA

- [1] Farkeš, Valentin: „CNC strojevi“, Završni rad; s interneta, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:2067/preview>, 6.5.2024.
- [2] „HASS VF-2TR“; s interneta, <https://www.haascnc.com/hr/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2tr.html>, 7.5.2024.
- [3] Cukor, G.: Podloge s vježbi kolegija nekovencionalni i aditivni proizvodni postupci“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2024.
- [4] Jurković, Z.; Vukotić, H.: “Podloge s vježbi kolegija CNC/NC obradni strojevi“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2024.
- [5] „Akira Seiki. SV 1350 Specifications“; s interneta, <https://www.akiraseiki.com>, 4.6.2024.
- [6] „Mitsubishi CNC Control Systems“ s interneta, <https://www.mitsubishielectric.com/en/index.html>, 4.6.2024.

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Proces izrade stezne čeljusti	10
Tablica 3.2. Proces izrade izratka.....	11
Tablica 4.1. Alati za obradu stezne čeljusti.....	16
Tablica 4.2. Alati za obradu izratka	17

POPIS SLIKA

Slika 1.1. 3D model proizvoda.....	1
Slika 2.1. Prvi NC stroj [1].....	3
Slika 2.2. Prikaz programiranja u Mastercam-u.....	3
Slika 2.3. CNC stroj s 5 osi [2]	4
Slika 2.4. Usporedba CNC-a i robota [3]	4
Slika 4.1. a) Izgled sirovca, b) X dimenzija sirovca.....	13
Slika 4.2. a) Y dimenzija sirovca, b) Z dimenzija sirovca	13
Slika 4.3. 3D model stezne čeljusti	14
Slika 4.4. Akira Seiki SV 1350	15
Slika 5.1. a) Odabir opcije Dynamic, b) Odabir modela.....	22
Slika 5.2. a) Traženje sredine izratka, b) Odabir pozicije koordinatnog sustava	22
Slika 5.3. Definirani koordinatni sustav	22
Slika 5.4. Definiranje postprocesora	23
Slika 5.5. Definirani postprocesor	23
Slika 5.6 Definiranje sirovca.....	24
Slika 5.7. Dimenzije sirovca	24
Slika 5.8. Opcija Face	24
Slika 5.9. Otvoreni izbornik naredbe Face	25
Slika 5.10. Odabir alata (zahvat 1).....	25

Slika 5.11. Definiranje cut parameters (zahvat 1).....	26
Slika 5.12. Definiranje dubine prolaza (zahvat 1).....	26
Slika 5.13. Definiranje dubine obrade (zahvat 2).....	27
Slika 5.14. Vrijeme obrade (zahvat 1).....	27
Slika 5.15. Odabir opcije Contour (zahvat 2).....	28
Slika 5.16. Odabir konture (zahvat 2)	28
Slika 5.17. Odabir alata (zahvat 2).....	28
Slika 5.18. Definiranje dubine prolaza (zahvat 2).....	29
Slika 5.19. a) Definiranje Multi passes-a (zahvat 2), b) Definiranje dubine rezanja (zahvat 2).....	29
Slika 5.20. Vrijeme obrade (zahvata 2).....	30
Slika 5.21. Odabir opcije Dynamic mill (zahvat 3).....	30
Slika 5.22. Odabir konture (zahvat 3)	30
Slika 5.23. Definiranje dubine prolaza (zahvat 3).....	31
Slika 5.24. Definiranje dubine (zahvat 3)	31
Slika 5.25. Vrijeme obrade (zahvata 3).....	32
Slika 5.26. Simulacija operacije 10 (stezna čeljust).....	32
Slika 5.27. Definirani koordinatni sustav (operacija 20)	32
Slika 5.28. Definiranje dubine obrade.....	33
Slika 5.29. Vrijeme obrade (zahvat 1).....	33
Slika 5.30. Simulacija operacije 20.....	33

Slika 5.31. Ukupno vrijeme izrade stezne čeljusti	34
Slika 5.32. Definirani koordinatni sustav za izradak	34
Slika 5.33. Definiranje dimenzija sirovca	35
Slika 5.34. Odabir opcije Face	35
Slika 5.35. a) Cut parameters, b) Depth Cuts	36
Slika 5.36. Definiranje dubine rezanja (zahvat 1).....	36
Slika 5.37. Vrijeme obrade (zahvat 1).....	36
Slika 5.38. Odabir konture (zahvat 2)	37
Slika 5.39. Odabir alata (zahvat 2).....	37
Slika 5.40. Definiranje Cut parametar (zahvat 2).....	37
Slika 5.41. Definiranje dubine rezanja (zahvat 2).....	38
Slika 5.42. Vrijeme obrade (zahvat 2).....	38
Slika 5.43. Odabir alata (zahvat 3)	39
Slika 5.44. a) Cut parameters, b) Linking parameters.....	39
Slika 5.45. Vrijeme obrade (zahvat 3).....	40
Slika 5.46. Odabir konture (zahvat 4)	40
Slika 5.47. Odabir alat (zahvat 4).....	41
Slika 5.48. Definiranje Depth Cuts	41
Slika 5.49. a) Multi passes, b) Linking parameters	41

Slika 5.50. Vrijeme obrade (zahvata 4).....	42
Slika 5.51. Opcija Drill.....	42
Slika 5.52. Odabir provrta.....	42
Slika 5.53. Odabir alata (zahvat 5).....	43
Slika 5.54. Vrsta bušenja.....	43
Slika 5.55. Definiranje dubine rezanja (zahvat 5).....	44
Slika 5.56. Vrijeme obrade (zahvat 5).....	44
Slika 5.57. Odabir alata (zahvat 6).....	44
Slika 5.58. Opcija Peck Drill.....	45
Slika 5.59. Definiranje dubine rezanja (zahvat 6).....	45
Slika 5.60. Vrijeme obrade (zahvat 6).....	45
Slika 5.61. a) Odabir alata (zahvat 7), b) Definiranje Cut Parameters.....	46
Slika 5.62. Definiranje dubine rezanja (zahvat 7).....	46
Slika 5.63. Vrijeme obrade (zahvat 7).....	46
Slika 5.64. Odabir provrta (zahvat 8).....	47
Slika 5.65. a) Odabir alata (zahvat 8), b) Definiranje dubine obrade (zahvat 8).....	47
Slika 5.66. Vrijeme obrade (zahvat 8).....	48
Slika 5.67. Odabir provrta (zahvat 9).....	48
Slika 5.68. a) Odabir alata (zahvat 9), b) Definiranje dubine obrade (zahvat 9).....	49

Slika 5.69. Vrijeme obrade (zahvat 9).....	49
Slika 5.70. a) Odabir alata (zahvat 10), b) Cut Parameters	50
Slika 5.71. Definiranje dubine obrade (zahvat 10).....	50
Slika 5.72. Vrijeme obrade (zahvat 10).....	50
Slika 5.73. a) Simulacija operacije 10, b) Ukupno vrijeme operacije 10.....	51
Slika 5.74. Definiranje koordinatnog sustava operacije 20.....	51
Slika 5.75. a) Definiranje Cut parametars (zahvat 1), b) Definiranje Depth Cuts (zahvat 1)	52
Slika 5.76. Definiranje dubine rezanja (zahvat 1).....	52
Slika 5.77. Vrijeme obrade (zahvat 1).....	53
Slika 5.78. Definiranje geometrije (zahvat 2)	53
Slika 5.79. a) Odabir alata (zahvat 2), b) Definiranje Cut parametars	54
Slika 5.80. Definiranje dubine rezanja (zahvat 2).....	54
Slika 5.81. Vrijeme obrade (zahvat 2).....	54
Slika 5.82. Definiranje dubine rezanja (zahvat 3).....	54
Slika 5.83. Vrijeme obrade (zahvat 3).....	55
Slika 5.84. a) Odabir alata (zahavt 4), b) Definiranje Cut parametars	56
Slika 5.85. Definiranje dubine rezanja.....	56
Slika 5.86. Vrijeme obrade (zahvat 4).....	56
Slika 5.87. a) Simulacija operacije 20, b) Ukupno vrijeme operacije 20.....	57

Slika 6.1. Revolverska glava.....	58
Slika 6.2. Papitus.....	59
Slika 6.3. a) Desna strana škripa, b) Lijeva strana škripa	59
Slika 6.4. a) Umjeravanje po X osi, b) Umjeravanje po Y osi prednja strana, c) Umjeravanje po Y osi zadnja strana.....	60
Slika 6.5. a) Umjeravanje alata, b) Umjeravanje nul točke komada za Z os	60
Slika 6.6. Pomicanje stroja u nultu točku.....	61
Slika 6.7. Generiranje NC programa stezne čeljusti operacija 10.....	61
Slika 6.8. Generiran NC programa kod operacije 10 za steznu čeljsut.....	62
Slika 6.9. Tipka Send	62
Slika 6.10. Pozivanje programa.....	63
Slika 6.11. a) Operacija 10, b) Operacija 20	63
Slika 6.12. Centriranje po Y osi	64
Slika 6.13. Centriranje po X osi	64
Slika 6.14. Operacija 10	65
Slika 6.15. Provjeravanje točnosti izrade operacije 10	65
Slika 6.16. Centriranje izratka (operacija 20).....	64
Slika 6.17. Konačan proizvod	65
Slika 7.1. Mjerni etaloni.....	66
Slika 7.2. Tolerirani čep.....	67

Slika 7. 3. a) Mjerna optika, b) Dubinomjer 67

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad bavi se primjenom CNC tehnologije u proizvodnji s posebnim naglaskom na programiranje i simulaciju obradnih operacija pomoću Mastercam softvera. Rad je strukturiran tako da pruža cjeloviti prikaz tehnološkog procesa izrade steznih čeljusti i izratka na CNC stroju Akira Seiki SV 1350. U okviru rada detaljno su opisani koraci poput provjere i postavljanja alata, umjeravanja alata, centriranja sirovca, te samog procesa glodanja. Simulacije su izvedene u Mastercamu čime je omogućeno precizno planiranje obradnih operacija prije same proizvodnje. Završna kontrola izratka potvrđuje da je postignuta visoka razina kvalitete što svjedoči o uspjehu primijenjenih tehnologija i postupaka u ovom radu. Kroz analizu i praktičnu primjenu rad naglašava važnost integracije suvremenih tehnologija u industrijsku proizvodnju.

KLJUČNE RIJEČI

CNC tehnologija, Mastercam, stezna čeljust, Akira Seiki SV 1350, završna kontrola

SUMMARY

This Master's thesis focuses on the use of CNC technology in the manufacturing sector, specifically highlighting the programming and simulation of machining processes through Mastercam software. The document is organised to deliver an in-depth examination of the technological procedures involved in the fabrication of clamping jaws and targets on the Akira Seiki SV 1350 CNC machine. It encompasses a thorough explanation of various stages, including tool verification and setup, tool calibration, stock centring, and the milling operation itself. Simulations performed in Mastercam facilitated meticulous planning of machining tasks before the start of actual production. The final assessment of the workpiece demonstrates that a superior quality standard has been attained, underlining the effectiveness of the technologies and methodologies employed in this thesis. Through both analysis and practical implementation, this Master's thesis underscores the significance of incorporating modern technologies into industrial manufacturing processes.

KEYWORDS

CNC technology, Mastercam, clamping jaw, Akira Seiki SV 1350, final inspection

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Nacrt proizvoda

Prilog 2. Operacijski list stezne čeljusti

Prilog 3. Operacijski list izratka

Prilog 4. Popis alata za izradu stezne čeljusti

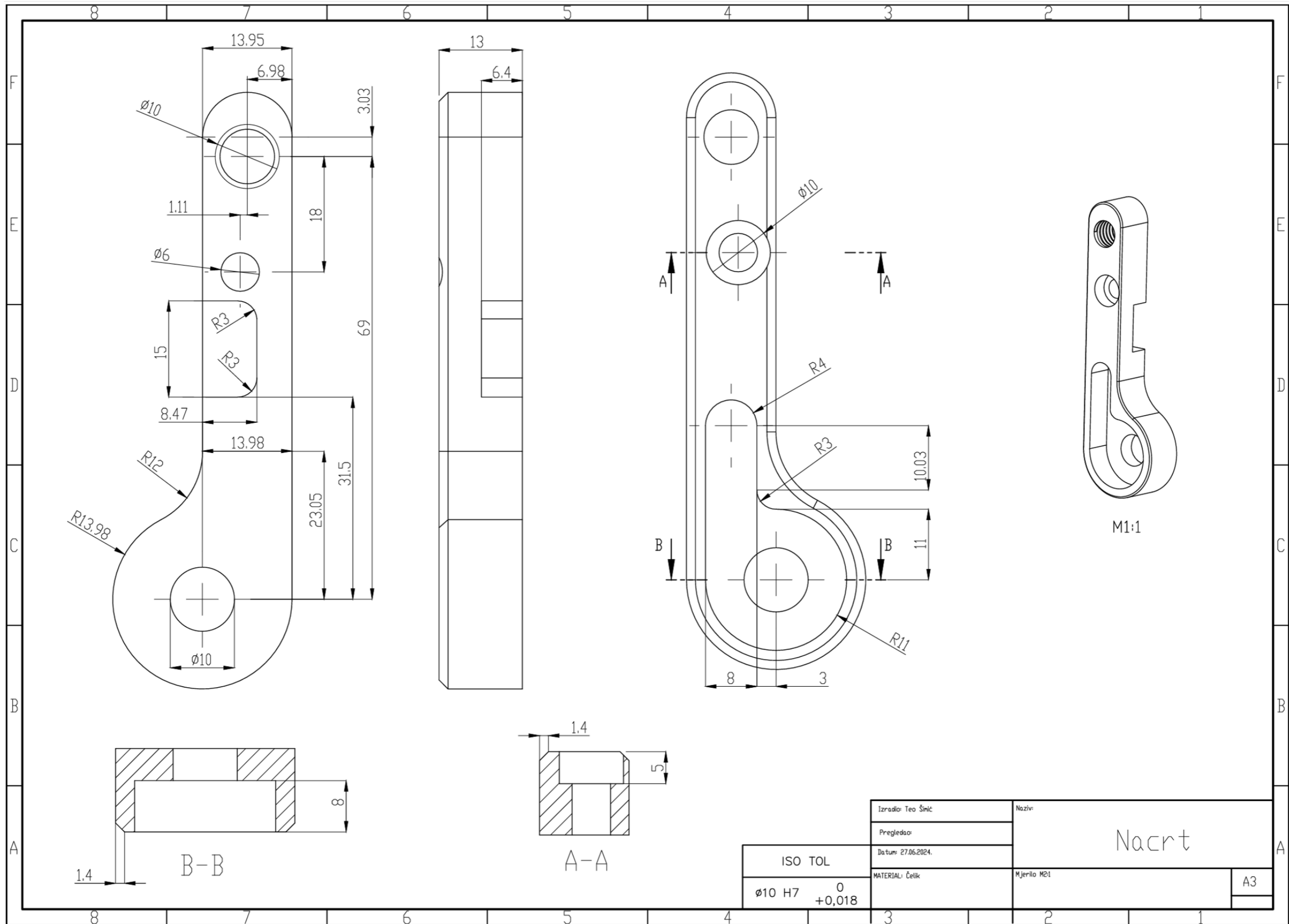
Prilog 5. Popis alata za izradu izratka

Prilog 6. Nacrt sirovca izratka

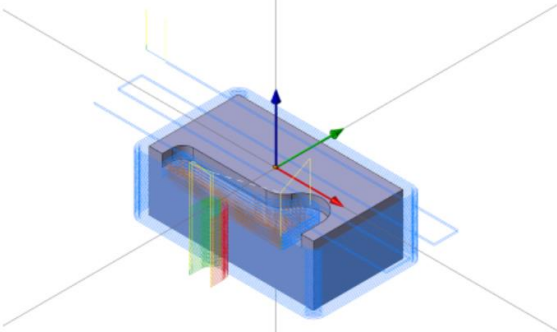
Prilog 7. Nacrt stezne naprave

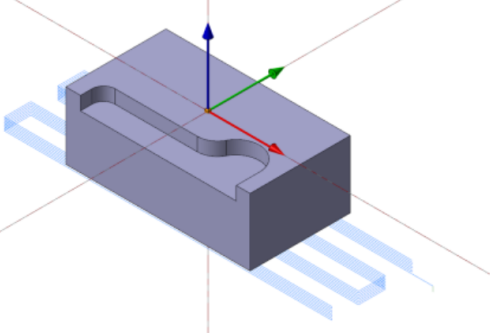
Prilog 8. Mjerni protokol

Prilog 1: Nacrt izratka


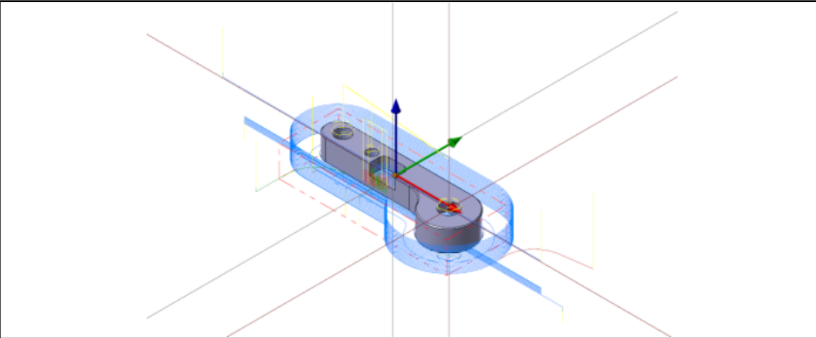


Prilog 2. Operacijski list stezne čeljusti

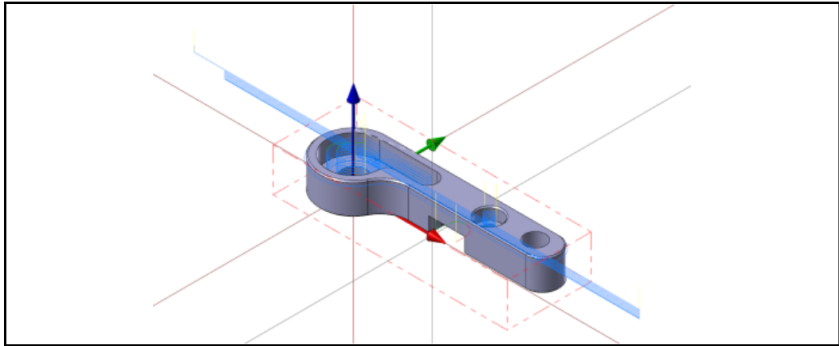
CAMtech Engineering		LISTA OPERACIJA		STRANICA 1 engine by: A-CAM d.o.o.
Datum izrade programa: 02. 09. 2024 Put do MCAM fajla: C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\STOP_PREZID\STEZNA NAPRAVA.MCX Put do NC programa: C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\MELTING\ANLASSERGEHAEUSE_EVO1_GEFRAEST_ST2-KUGLAD ONJIDIO.nc Stroj: NONE				
				
#1	T1	GLAVA 63 (IZP=21)		
	S=1000 F=800 hl: BEZ		DODATAK: XY = 0 Z = 0	
	POC. DUBINA: Z2		Kompenzacija: BEZ	
	KON. DUBINA: Z0		VRIJEME OBRADJE: 00h 02min 07sec	
#2	T2	GLODALO 10 (IZP=70)		
	S=2500 F=500 hl: BEZ		DODATAK: XY = 0 Z = 0	
	POC. DUBINA: Z0		Kompenzacija: BEZ	
	KON. DUBINA: Z-40		VRIJEME OBRADJE: 01h 07min 09sec	
#3	T2	GLODALO 10 (IZP=70)		
	S=2500 F=500 hl: BEZ		DODATAK: XY = 0 Z = 0	
	POC. DUBINA: Z2		Kompenzacija: BEZ	
	KON. DUBINA: Z-8		VRIJEME OBRADJE: 00h 10min 19sec	
KOMPLETNO VRIJEME OBRADJE: 01h 19min 50sec				

CAMtech Engineering		LISTA OPERACIJA		STRANICA 1 engine by: A-CAM d.o.o.
Datum izrade programa: 02. 09. 2024 Put do MCAM fajla: C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\STOP_PREZID\STEZNA NAPRAVA.MCX Put do NC programa: C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\MELTING\ANLASSERGEHAEUSE_EVO1_GEFRAEST_ST2-KUGLAD ONJIDIO.nc Stroj: NONE				
				
#4	T1	GLAVA 63 (IZP=21)		
	S=1000 F=800 hl: BEZ		DODATAK: XY = 0 Z = 0	
	POC. DUBINA: Z48		Kompenzacija: BEZ	
	KON. DUBINA: Z40		VRIJEME OBRADJE: 00h 08min 21sec	
KOMPLETNO VRIJEME OBRADJE: 00h 08min 21sec				

Prilog 3. Operacijski list izratka

		LISTA OPERACIJA	STRANICA 1 engine by: A-CAM d.o.o.
Datum izrade programa: 02. 09. 2024 Put do MCAM fajla: C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\STOP_PREZID\3D_MODEL_CNC.MCX Put do NC programa: C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\MELTING\ANLASSERGEHAEUSE_EVO1_GEFRAEST_ST2-KUGLAD ONJIDIO.nc Stroj: NONE			
			
#1	T1 S=1000 F=800 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-1	GLAVA 63 (IZP=21) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 00min 41sec	
#2	T11 S=2200 F=1200 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-14	GLODALO 25 (IZP=70) DODATAK: XY = 0.2 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 06min 05sec	
#3	T2 S=1600 F=800 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-14	GLODALO 10 (IZP=70) DODATAK: XY = -0.01 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 00min 21sec	
#4	T3 S=2340 F=165 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-6.4	GLODALO 6 (IZP=60) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 03min 09sec	
#5	T4 S=1200 F=150 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-2	ZABUSTIVAC 4 (IZP=40) Kompenzacija: Bušenje VRIJEME OBRADE: 00h 00min 05sec	
#6	T5 S=800 F=50 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-23	SVRDLO 8.5 (IZP=75) Kompenzacija: Bušenje VRIJEME OBRADE: 00h 01min 44sec	
STRANICA2			
#7	T9 S=100 F=150 hl: Voda POC. DUBINA: Z1 KON. DUBINA: Z-14	UREZNIK M10 X 1.5 RH (IZP=100) Kompenzacija: Bušenje VRIJEME OBRADE: 00h 00min 14sec	
#8	T6 S=1000 F=50 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-23	SVRDLO 6 (IZP=60) Kompenzacija: Bušenje VRIJEME OBRADE: 00h 00min 52sec	
#9	T7 S=600 F=50 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-23	SVRDLO 9.8 (IZP=75) Kompenzacija: Bušenje VRIJEME OBRADE: 00h 00min 52sec	
#10	T8 S=120 F=30 hl: Voda POC. DUBINA: Z0 KON. DUBINA: Z-23	RAZVRTAC 10 H7 (IZP=100) Kompenzacija: Bušenje VRIJEME OBRADE: 00h 00min 50sec	
#11	T1 S=1000 F=800 hl: Voda POC. DUBINA: Z17 KON. DUBINA: Z13.2	GLAVA 63 (IZP=21) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 01min 59sec	
#12	T3 S=2340 F=165 hl: Voda POC. DUBINA: Z14 KON. DUBINA: Z5	GLODALO 6 (IZP=60) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 07min 32sec	
#13	T3 S=2340 F=165 hl: Voda POC. DUBINA: Z14 KON. DUBINA: Z8.2	GLODALO 6 (IZP=60) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 00min 58sec	
#14	T10 S=1200 F=100 hl: Voda POC. DUBINA: Z13 KON. DUBINA: Z11.5	TRKAC 6 (IZP=30) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 02min 25sec	
KOMPLETNO VRIJEME OBRADE: 00h 29min 47sec			

Datum izrade programa: **02. 09. 2024**
 Put do MCAM fajla: **C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\STOP_PREZID\3D_MODEL_CNC.MCX**
 Put do NC programa:
C:\USERS\DAVOR\DESKTOP\SVASTA\MELTING\ANLASSERGEHAEUSE_EVO1_GEFRAEST_ST2-KUGLAD ONJIDIO.nc
 Stroj: **NONE**



#11	T1 S=1000 F=800 hl: Voda POC. DUBINA: Z17 KON. DUBINA: Z13.2	GLAVA 63 (IZP=21) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 01min 59sec
#12	T3 S=2340 F=165 hl: Voda POC. DUBINA: Z14 KON. DUBINA: Z5	GLODALO 6 (IZP=60) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 07min 32sec
#13	T3 S=2340 F=165 hl: Voda POC. DUBINA: Z14 KON. DUBINA: Z8.2	GLODALO 6 (IZP=60) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 00min 58sec
#14	T10 S=1200 F=100 hl: Voda POC. DUBINA: Z13 KON. DUBINA: Z11.5	TRKAC 6 (IZP=30) DODATAK: XY = 0 Z = 0 Kompenzacija: BEZ VRIJEME OBRADE: 00h 02min 25sec

KOMPLETNO VRIJEME OBRADE: 00h 13min 09sec

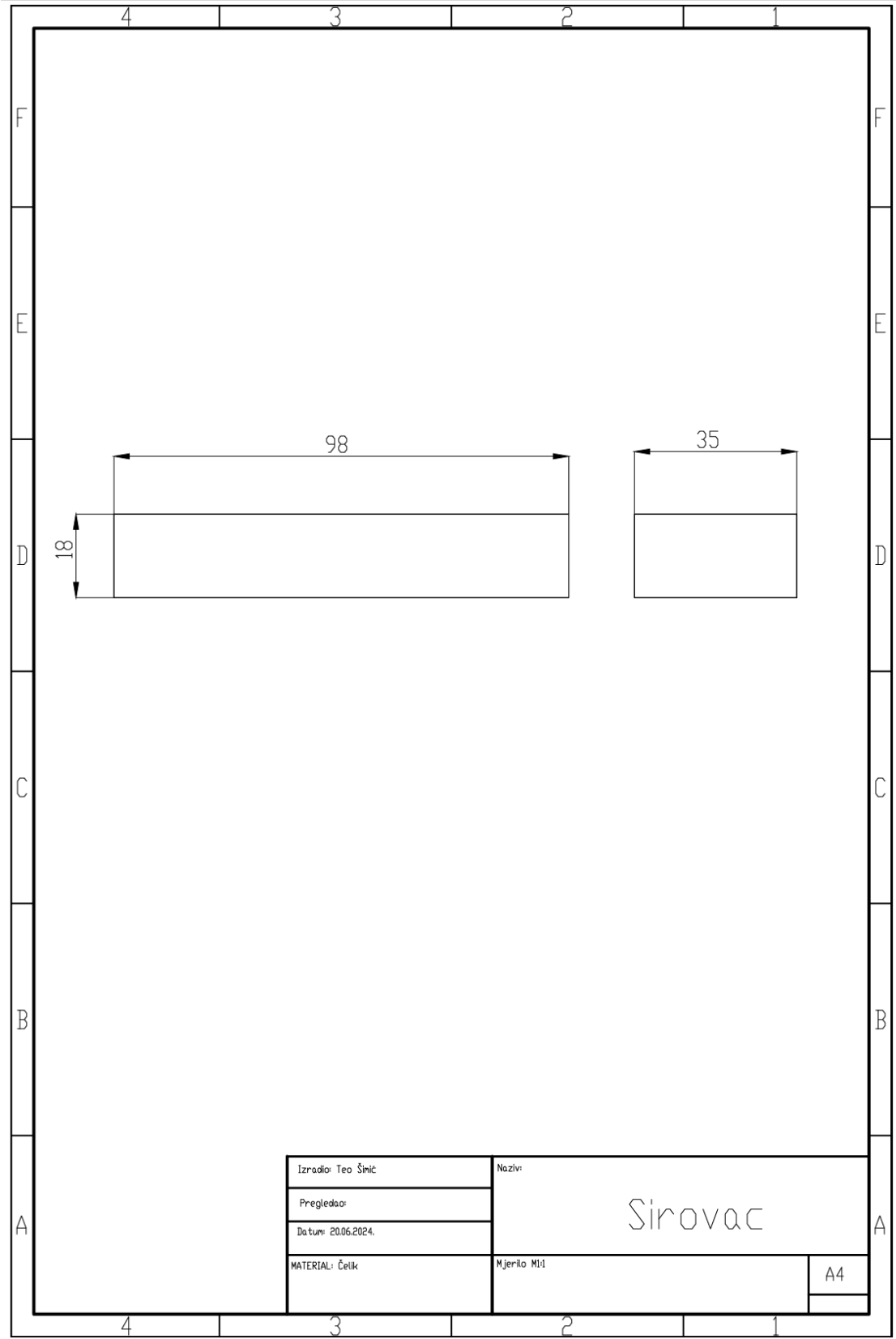
Prilog 4. Popis alata za izradu stezne čeljusti

TOOL LIST					4.9.2024.	21:49
<i>TOOLPATHS MANAGER</i>					FILTERED:	NO
#	Tool Name	Dia.	Rad.	Assembly	Holder	
1	GLAVA 63	63.0	0.0	NA	NA	
2	GLODALO 10	10.0	0.0	NA	NA	

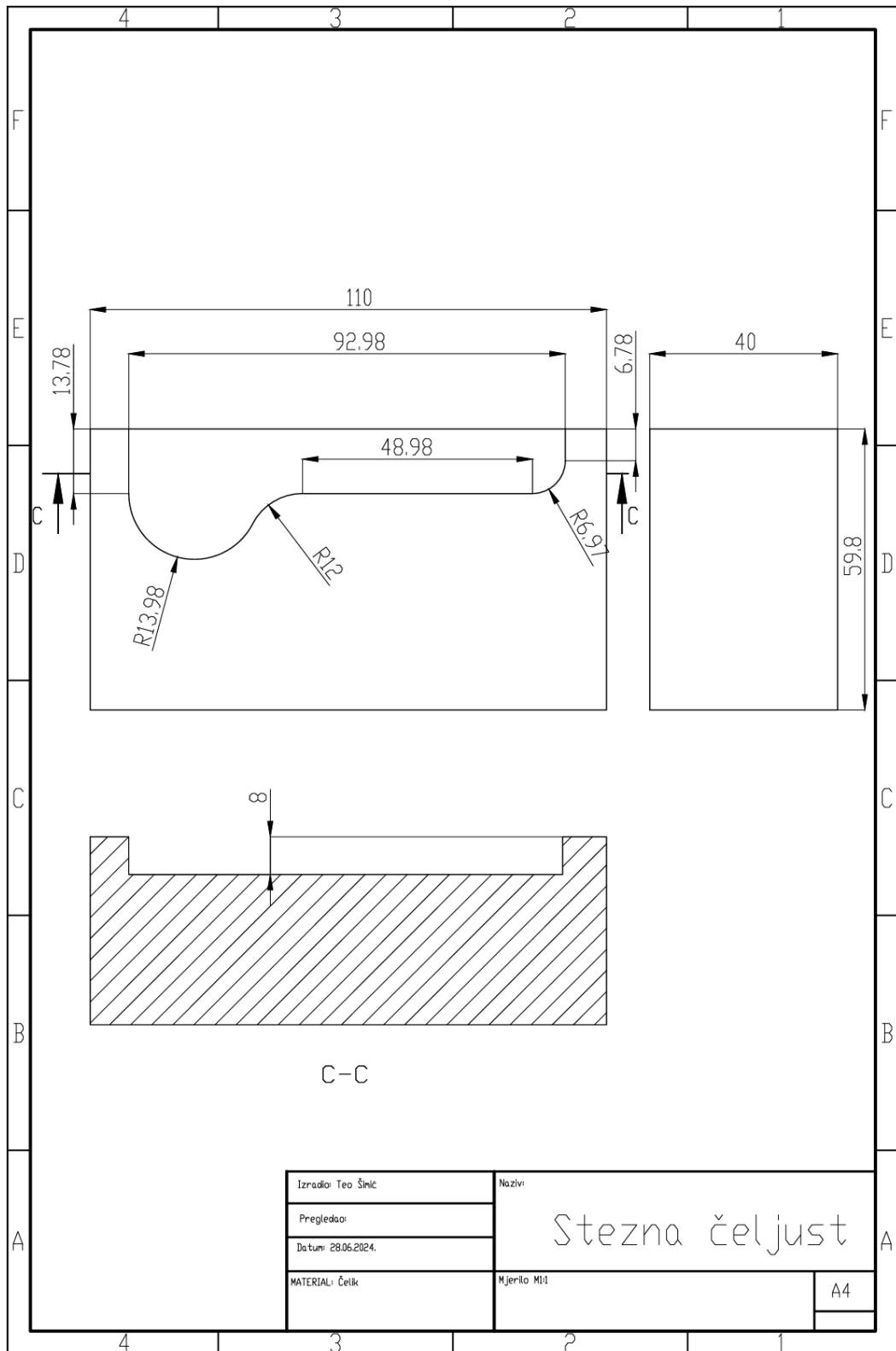
Prilog 5. Popis alata za izradu izratka

TOOL LIST					4.9.2024.	21:51
<i>TOOLPATHS MANAGER</i>					FILTERED:	NO
#	Tool Name	Dia.	Rad.	Assembly	Holder	
1	GLAVA 63	63.0	0.0	NA	NA	
11	GLODALO 25	25.0	0.0	NA	NA	
2	GLODALO 10	10.0	0.0	NA	NA	
3	GLODALO 6	6.0	0.0	NA	NA	
4	ZABUSIVAC 4	4.0	0.0	NA	NA	
5	SVRDLO 8.5	8.5	0.0	NA	NA	
9	UREZNIK M10 X 1.5 RH	10.0	0.0	NA	NA	
6	SVRDLO 6	6.0	0.0	NA	NA	
7	SVRDLO 9.8	9.8	0.0	NA	NA	
8	RAZVRTAC 10 H7	10.0	0.0	NA	NA	
10	TRKAC 6	6.0	0.0	NA	NA	

Prilog 6. Nacrt sirovca



Prilog 7. Nacrt stezne naprave



Prilog 8. Mjerni protokol



Mjerni Protokol / Erstmusterprüfbericht /
First Article Inspection

Nach dokumente:
DGR MP EUMS FAIR
- Draht: 10
Revisio / Datum:
v. 1.2 / 06.11.2017

Kunde/ Customer	RITEH	Artikel Nr./ Part No.	Teo Šimić
Bestellnummer/ P.O. Number		Zeichnungs Nr./ Drawing No.	
Teil / Part	1/1	Benennung/ Part name	

Pos.	Nominalwert / Nominal value	Toleranz / Tolerance	Ist-Wert / Actual (Elcon)	Ist-Wert / Actual (Kunde / Customer)	Messung Equipment/Messe- inrichtung	Bemerkung / Remark (Kunde / Customer)
1	M10	±	OK		Navign Im	
2	13.95	+0.2-0.2	14.04		PM	
3	6.96	+0.2-0.2	7.01		OPTIKA	
4	3.03	+0.1-0.1	2.98		OPTIKA	
5	18	+0.2-0.2	18.16		OPTIKA	
6	89	+0.3-0.3	89.01		OPTIKA	
7	31.5	+0.3-0.3	31.56		OPTIKA	
8	23.05	+0.2-0.2	23.14		OPTIKA	
9	Ø10H7	+0.018	OK		GLATKO TRN	
10	R13.98	±	14.053		OPTIKA	
11	R12	±	11.82		OPTIKA	
12	8.47	+0.2-0.2	8.56		PM	
13	15	+0.2-0.2	14.99		PM	
14	Ø6	+0.1-0.1	6.10		PM	
15	8.08	+0.2-0.2	8.09		OPTIKA	
16	R3	±	3.002		OPTIKA	
17	R3	±	2.96		OPTIKA	
18	13.98	+0.2-0.2	14.02		PM	
19	13	+0.2-0.2	12.95		PM	
20	6.4	+0.2-0.2	6.38		PM	
21	Ø10	+0.2-0.2	9.95		PM	
22	R4	±	3.94		OPTIKA	
23	R3	±	3.07		OPTIKA	
24	11	+0.2-0.2	10.88		OPTIKA	
25	R11	±	10.91		OPTIKA	
26	3	+0.1-0.1	2.92		OPTIKA	
27	8	+0.2-0.2	8.01		ETALONI	
28	24.03	+0.2-0.2	24.07		OPTIKA	
29	1.4/45°	±	1.32		OPTIKA	
30	5	+0.1-0.1	4.95		PM	



Mjerni Protokol / Erstmusterprüfbericht /
First Article Inspection

Način dokumentiranja
CER MP ENPD FAIR
Stranica: 2/2
Revizija / Datum:
v 1.2 / 06.11.2017

Kunde/ Customer	RITEH	Artikel Nr./ Part No.	Teo Šimić
Bestellnummer/ P.O. Number		Zeichnungs Nr./ Drawing No.	
Teil / Part	1/1	Benennung/ Part name	

Pos.	Nominalwert / Nominal value	Toleranz / Tolerance	Ist-Wert / Actual (Elcon)	Ist-Wert / Actual (Kunde / Customer)	Messung Equipment/Messe- inrichtung	Bemerkung / Remark (Kunde / Customer)
31	8	+0.2-0.2	7.95		PM	
32	1.4/45°	↔	1.32		OPTIKA	
33	Materijal: Čelik	↔	OK		certifikat materijala	
Datum / Date	21.06.2024.	Unterschrift / Signature (Elcon)				
Datum / Date		Unterschrift / Signature (Kunde / Customer)				