

# Izrada CNC koda za obradu korištenjem CAM programskog alata u kombinaciji s ručnim unošenjem programa

---

**Novak, Fran Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:883035>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

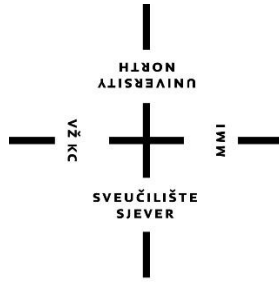
**Završni rad br. 432/PS/2024**

**Izrada CNC koda za obradu korištenjem CAM  
programskog alata u kombinaciji sa ručnim unošenjem  
programa**

**Fran Ivan Novak, 0336058318**

Varaždin, kolovoz 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 432/PS/2024

## Izrada CNC koda za obradu korištenjem CAM programskog alata u kombinaciji sa ručnim unošenjem programa

### Student

Fran Ivan Novak, 0336058318

### Mentor

Matija Bušić, doc. dr. sc.

Varaždin, kolovoz 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Fran Ivan Novak	JMBAG	0336058318
DATUM	27.08.2024.	KOLEGIJ	CNC obradni sustavi
NASLOV RADA	Izrada CNC koda za obradu korištenjem CAM programskog alata u kombinaciji s ručnim unošenjem programa		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Creation of CNC code for machining using a CAM software in combination with a manual programing		
MENTOR	dr. sc. Matija Bušić	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc dr. sc. Boris Jalušić, predsjednik povjerenstva 2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva 3. doc. dr. sc. Zlatko Botak, član povjerenstva 4. doc. dr.sc. Tomislav Veliki, zamjenski član 5.		

## Zadatak završnog rada

BRDJI 432/PS/2024

### OPIS

U završnom radu pristupnik treba na temelju literaturnih podataka proučiti i opisati način rada CNC glodaćih alatnih strojeva. Opisati upravljanje takvim strojevima i mogućnosti unosa programa za obradu. Potrebno je usporediti klasičan unos programa sa izradom programa u određenom CAM programskom alatu. Proučiti način rada stolne CNC glodalice Haas Desktop Mill te opisati ugrađeno programsko sučelje.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je izraditi programe za izradu pozicije prema zadanoj tehničkoj dokumentaciji. Programe je moguće izraditi klasičnim ručnim unosom u upravljačku napravu i pomoću CAM programskog alata po slobodnom izboru. Definirati parametre obrade i odabrati alat za obradu sirovca od polimera trgovačkog naziva KOTERM. Izvesti obradu prema izrađenim programima te ocijeniti uspješnost obrade. Donijeti vlastiti zaključak o provedenom eksperimentu. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

28.08.2024



POTPIS MENTORA

M. Bušić

## **Predgovor**

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Ovom prilikom se zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Matiji Bušiću na stručnim savjetima, strpljenju te uloženom vremenu tijekom izrade završnog rada.

Zahvaljujem se svim profesorima i djelatnicima sveučilišta na prenesenom znanju koje sam stekao za vrijeme studiranja i Sveučilištu Sjever na pruženom prostoru i stroju za rad.

Također se zahvaljujem i svojoj obitelji, prijateljima i svima koji su mi bili potpora tijekom preddiplomskog dijela studija.

## Sažetak

U ovom završnom radu obrađuje se izrada CNC koda za glodanje zadanih kontura predmeta korištenjem programskog predloška na Haas Desktop Mill glodalici i generiranjem koda preko Fusion programa. U prvom dijelu rada su kratko opisane operacije, alati, postupci i podjele glodanja te je u nastavku pojašnjeno korištenje Haas Desktop Mill glodalice. U eksperimentalnom dijelu završnog rada je prikazan odabir parametara obrađivanja, način stezanja sirovca i reznog alata, priprema stroja, postupak generiranja programa s pomoću VPS-a i postupak korištenja koda generiranim preko Fusion programa. Na kraju rada, u zaključku, je opisana važnost CNC glodanja u suvremenoj industriji te su uspoređene metode generiranja CNC koda.

Ključne riječi: glodanje, Haas Desktop Mill, VPS, Fusion

## **Summary**

In this thesis, the creation of CNC code for milling specified object contours using program templates on the Haas Desktop Mill, and code generation via Fusion is discussed. The first part of the work briefly describes the operations, tools, milling procedures and divisions of milling, followed by an explanation of using the Haas Desktop Mill. The experimental part of the thesis presents the selection of machining parameters, the method of clamping the workpiece and cutting tool, machine preparation, the process of generating programs using VPS and the procedure for using the code generated through the Fusion program. At the end of the work the importance of CNC milling in modern industry is described, along with a comparison of the methods for generating CNC code.

**Keywords:** milling, Haas Desktop Mill, VPS, Fusion



## Popis korištenih kratica

<b>AC</b>	hrv. naizmjenična struja eng. Alternating Current
<b>CAD</b>	hrv. Oblikovanje pomoću računala eng. Computer-Aided Design
<b>CAE</b>	hrv. Računalno potpomognuto inženjerstvo eng. Computer-Aided Engineering
<b>CAM</b>	hrv. Proizvodnja uz pomoć računala eng. Computer-Aided Manufacturing
<b>CBN</b>	hrv. Kubični bor nitrid eng. Cubic Boron Nitride
<b>CNC</b>	hrv. Računalno numeričko upravljanje eng. Computerized Numerical Control
<b>EM</b>	hrv. Elektromotor eng. Electromotor
<b>GOC</b>	hrv. Glodači obradni centar
<b>GOĆ</b>	hrv. Glodaća obradna ćelija
<b>HSS</b>	hrv. Brzorezni čelik eng. High speed steel
<b>NC</b>	hrv. Numeričko upravljanje eng. Numerical Control
<b>OOČ</b>	hrv. Obrada odvajanjem čestica
<b>SHIP</b>	hrv. Sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje eng. Cooling, rinsing and lubricating liquid
<b>USB</b>	hrv. Univerzalna serijska sabirnica eng. Universal Serial Bus
<b>VPS</b>	hrv. Sustav za vizualno programiranje eng. Visual programming system

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Glodanje.....	2
2.1.	Osnovni dijelovi glodalice .....	2
2.2.	Kinematska podjela glodanja .....	3
2.2.1.	<i>Istosmjerno glodanje</i> .....	3
2.2.2.	<i>Protusmjerno glodanje</i> .....	4
2.3.	Podjela prema položaju reznih oštrica na glodalu.....	5
2.3.1.	<i>Obodno glodanje</i> .....	5
2.3.2.	<i>Čeono glodanje</i> .....	5
2.4.	Podjela prema obliku obrađene površine .....	6
2.5.	Podjela glodalica .....	7
2.5.1.	<i>Klasični glodaći alatni stroj</i> .....	7
2.5.2.	<i>CNC glodaći alatni stroj</i> .....	8
2.5.3.	<i>Glodaći obradni centar</i> .....	9
2.5.4.	<i>Fleksibilne glodaće obradne ćelije</i> .....	10
2.5.5.	<i>Fleksibilni glodaći obradni sustavi</i> .....	11
2.5.6.	<i>Posebni glodaći strojevi</i> .....	12
2.5.7.	<i>Rotofer i transfer glodaće linije</i> .....	13
3.	Haas Desktop Mill .....	14
3.1.	Specifikacije stroja .....	15
3.2.	Upravljačka jedinica stroja.....	16
3.2.1.	<i>Prednji panel</i> .....	16
3.2.2.	<i>Zaslon</i> .....	17
3.2.3.	<i>Tipkovnica</i> .....	18
3.2.4.	<i>Bočni dodaci</i> .....	19
4.	Eksperimentalni dio .....	20
4.1.	Sirovac.....	21
4.1.1.	<i>Materijal sirovca</i> .....	21
4.2.	Stezanje glodala i sirovca.....	22
4.3.	Pokretanje stroja .....	24
4.4.	Određivanje nultočke obratka .....	26
4.5.	VPS.....	28
4.6.	Fusion .....	29
4.7.	Zagrijavanje glavnog vretena .....	30
4.8.	Redoslijed operacija .....	31
4.8.1.	<i>Prvo poravnanje</i> .....	32
4.8.2.	<i>Drugo poravnanje</i> .....	33
4.8.3.	<i>Skraćenje sa 25 na 20 mm</i> .....	34
4.8.4.	<i>Skraćenje sa 65 na 57 mm</i> .....	35
4.8.5.	<i>Izrada otoka</i> .....	36
4.8.6.	<i>Izrada džepa</i> .....	42
4.9.	Rezultat obrade.....	47

5.	Zaključak.....	48
6.	Literatura.....	49

## 1. Uvod

U današnjem svijetu postoji mnogo metoda za obradu materijala a jedna od najvažnijih je OOČ. Ova metoda obuhvaća različite tehnologije koje imaju cilj pretvoriti sirovac u gotov proizvod tj. izradak. OOČ igra ključnu ulogu u većini proizvodnih procesa zbog svoje sposobnosti da postigne izuzetno visoku kvalitetu obrađene površine i dimenzijsku točnost što je čini superiornom u odnosu na mnoge druge tehnologije. Ova skupina metoda uključuje različite procese kao što su glodanje, tokarenje, bušenje, brušenje, piljenje, lasersko rezanje, rezanje vodenim mlazom itd. [1]. Ove operacije mogu se izvoditi na konvencionalnim alatnim strojevima ili na CNC strojevima. Tradicionalni alatni strojevi se sve više zamjenjuju CNC strojevima zbog povećane učinkovitosti, preciznosti i mogućnosti automatizacije procesa obrade čime se znatno povećava produktivnost i smanjuje utjecaj operatera na rezultat. Za ispravan rad CNC strojeva potrebno je generirati program koji stroju daje upute za izvođenje operacija [2]. Ove programe moguće je napisati ručno ili uz pomoć različitih računalnih programa dostupnih na internetu. OOČ se koristi u raznim industrijama uključujući automobilsku, zrakoplovnu, medicinsku i elektroničku industriju. Kombinacija visoke preciznosti, automatizacije i fleksibilnosti omogućuje izradu proizvoda vrhunske kvalitete, uz povećanje produktivnosti i smanjenje utjecaja ljudskog faktora na proces obrade.

## 2. Glodanje

Glodanje je proces OOC koji se koristi za obradu ravnih i zakrivljenih ploha obratka. Ključna karakteristika glodanja je da glavno gibanje, koje je rotacijsko, obično izvodi alat dok pomoćno gibanje, koje je posmično, izvodi obradak koji je sigurno pričvršćen na radnom stolu [3]. Moguće je prilikom istovremenog pomicanja alata i obratka izrađivati predmete složenih oblika i struktura. Ovaj proces se izvodi na specijaliziranom alatnom stroju poznatim kao glodalica dok se alat koji se koristi naziva glodalo. Glodalo je specifično dizajnirano s definiranim geometrijskim karakteristikama reznog dijela što mu omogućava učinkovito odvajanje materijala s obratka. Rezne oštrice glodala izrađene su od materijala koji su znatno tvrdi od materijala obratka. Najčešće se koriste visokokvalitetni materijali kao što su HSS, tvrdi metali, keramika i CBN za izradu reznih oštrica koji omogućavaju glodalima dug vijek trajanja i sposobnost precizne obrade što je ključno za postizanje željenih rezultata u raznim industrijskim primjenama [4].

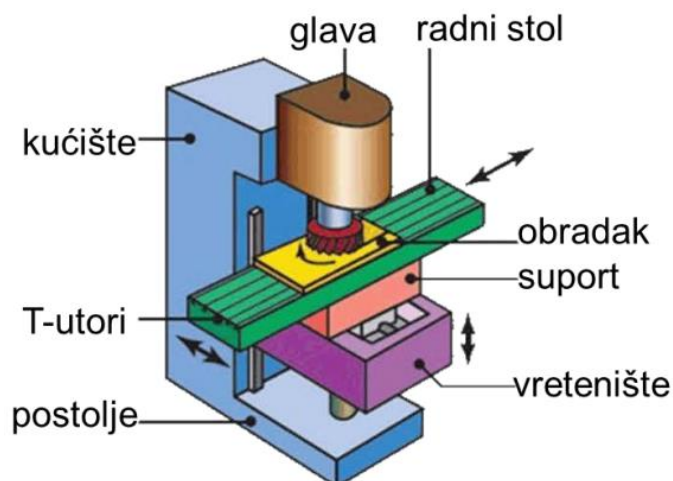


*Slika 1. Prikaz procesa glodanja [5]*

### 2.1. Osnovni dijelovi glodalice

Glodalica je složen stroj koji se koristi za obavljanje različitih operacija obrade materijala. Razumijevanje osnovnih dijelova ključno je za pravilno korištenje i održavanje ovog stroja. Glodalica se sastoji od postolja na kojem je montirana baza stroja. Na bazi se nalazi radni stol koji se može pomicati po X i Y osi. Iznad radnog stola postavljen je nosač glodala. Alat je pričvršćen na glavno vreteno koje se nalazi u nosaču glodala. Vreteno je povezano s EM, koji omogućava rotaciju glodala i na vrhu je upravljačka ploča koja služi za kontrolu rada glodalice [6]

Neki od dijelova glodalice uključuju još i prihvat alata, kućište, graničnike, pokretne mehanizme, razne naprave za stezanje, sustav za dobavu SHIP-a itd. Ovisno o modelu moguće su dodatne prilagodbe za specifične potrebe obrade materijala [7]



Slika 2. Osnovni dijelovi glodalice [7]

## 2.2. Kinematska podjela glodanja

Glodanje se prema kinematici dijeli na istosmjerno i protusmjerno glodanje što se razlikuje po smjeru kretanja glodala u odnosu na smjer pomaka obratka [7].

U modernim industrijskim okruženjima istosmjerna metoda glodanja se često preferira zbog svojih prednosti u pogledu kvalitete površine i trajanja alata, posebno kada su u pitanju CNC strojevi koji pružaju potrebnu stabilnost i preciznost. Međutim, u situacijama gdje stroj ili operacija ne mogu osigurati potrebnu krutost, koristi se protusmjerna metoda glodanja.

### 2.2.1. Istosmjerno glodanje

Kod istosmjernog glodanja, smjer okretanja glodala i smjer pomaka obratka su isti. Drugim riječima, zubi glodala ulaze u materijal u istom smjeru u kojem se obradak pomiče. To znači da zub glodala započinje rezanjem s pune debljine čestice, koja se smanjuje kako zub prolazi kroz materijal.

Prednosti istosmjernog glodanja je da glodalo lakše reže materijal kad zubi glodala ulaze u materijal u smjeru kretanja obratka što može smanjiti trošenje alata i poboljšati kvalitetu površine jer se smanjuje mogućnost kidanja materijala na kraju reza. Nedostatak je početni udar zuba glodala koji može uzrokovati vibracije i klizanje obratka ako nije pravilno stegnut.



*Slika 3. Prikaz istosmjernog glodanja [3]*

### **2.2.2. Protusmjerno glodanje**

Kod protusmjernog glodanja, smjer okretanja glodala i smjer pomaka obratka su suprotni. Zubi glodala ulaze u materijal s minimalnom debljinom čestice, koja se povećava kako zub prolazi kroz materijal.

Prednost protusmjernog glodanja je smanjeno opterećenje na početku reza što može smanjiti vibracije. Nedostaci protusmjernog glodanja su da glodalo može povećati silu kidanja materijala na izlazu iz reza što može smanjiti kvalitetu površine i povećat trošenje alata jer zubi glodala završavaju rezanje s punom debljinom čestice.



*Slika 4. Prikaz protusmjernog glodanja [3]*

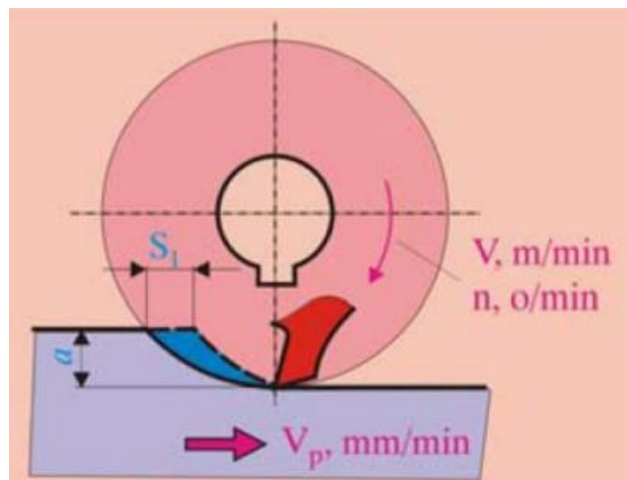
## 2.3. Podjela prema položaju reznih oštrica na glodalu

Obodno i čeono glodanje su dva osnovna načina obrade materijala glodalicom koji se koriste ovisno o potrebama za određenim tipom rezanja i oblikovanja materijala [7].

Obodno glodanje se obično koristi za brzo uklanjanje materijala i za grubu obradu dok se čeono glodanje koristi za postizanje veće preciznosti i glađe površine. Odabir između ova dva tipa glodanja ovisi o zahtjevima samog projekta, materijala koji se obrađuje, kao i željenim karakteristikama obrađenog komada. U mnogim slučajevima potrebno je kombinirati oba tipa glodanja kako bi se postigli optimalni rezultati.

### 2.3.1. Obodno glodanje

Obodno glodanje je tehnika obrade materijala gdje se materijal uklanja s vanjskog ruba reznih oštrica koje su postavljene duž oboda glodala. Glodalo se kreće paralelno s osovinom, a oštrice rotiraju oko svoje osi dok uklanjaju materijal s rubova. Ova tehnika je efikasna za izradu utora, oblikovanje rubova i općenito za obradu površina.

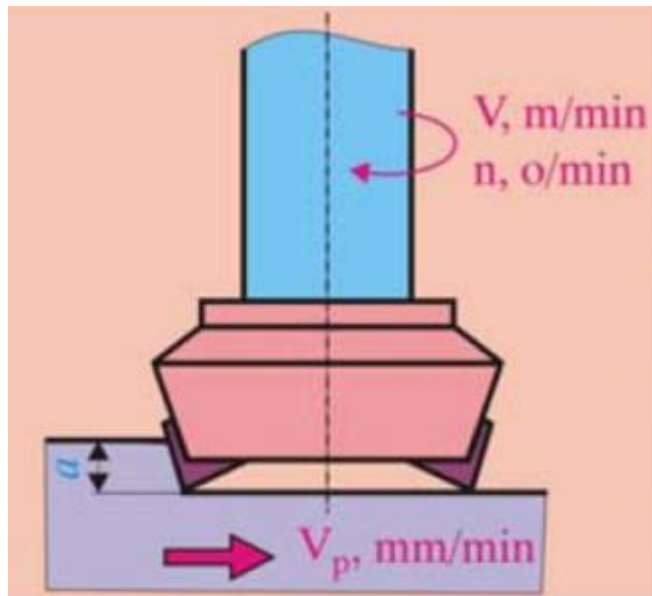


Slika 5. Prikaz obodnog glodanja [8]

### 2.3.2. Čeono glodanje

Čeono glodanje je proces u kojem glodalo uklanja materijal s površine materijala na koju djeluje. Glodalo se kreće okomito na osovinu, a oštrice se koriste za rezanje materijala s površine radnog komada. Koristi se za ravnjanje površina, izravnavanje, stvaranje ravnih površina ili obradu velikih površina, pružajući visoku preciznost i glatku površinu.

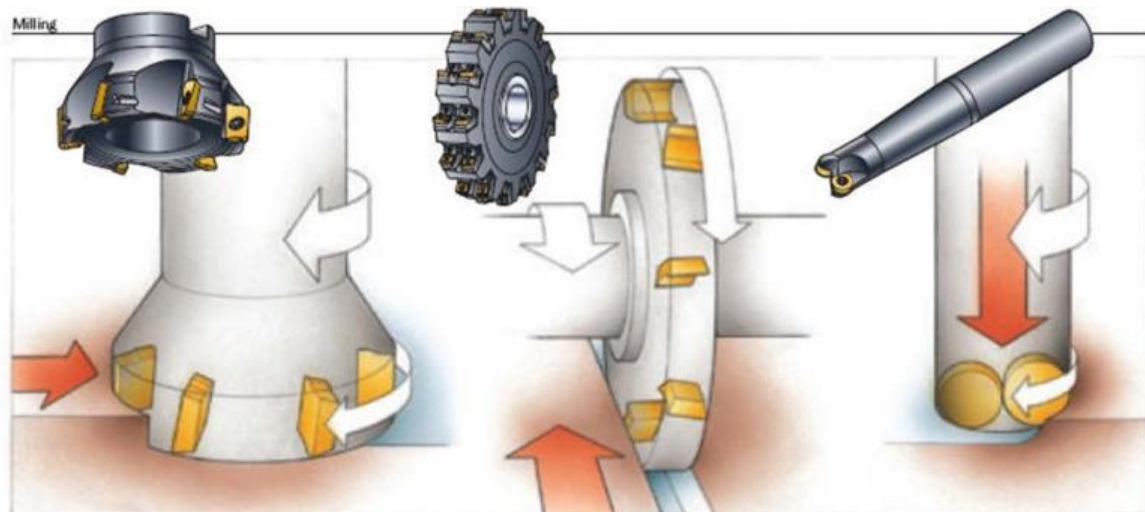




Slika 6. Prikaz čeonog glodanja [8]

## 2.4. Podjela prema obliku obrađene površine

Osim standardnog ravnog glodanja gdje se glodanje izvodi po ravnoj površini, postoje i različite tehnike kao što su profilno glodanje gdje se oblikuje zakrivljena površina te glodanje kanala, utora i drugih specifičnih oblika. Različiti alati i pristupi omogućavaju veliku fleksibilnost u primjeni glodanja čineći ga jednim od najvažnijih procesa obrade metala i drugih materijala u modernoj proizvodnji.



ČEONO (PLANSKO) GLODANJE

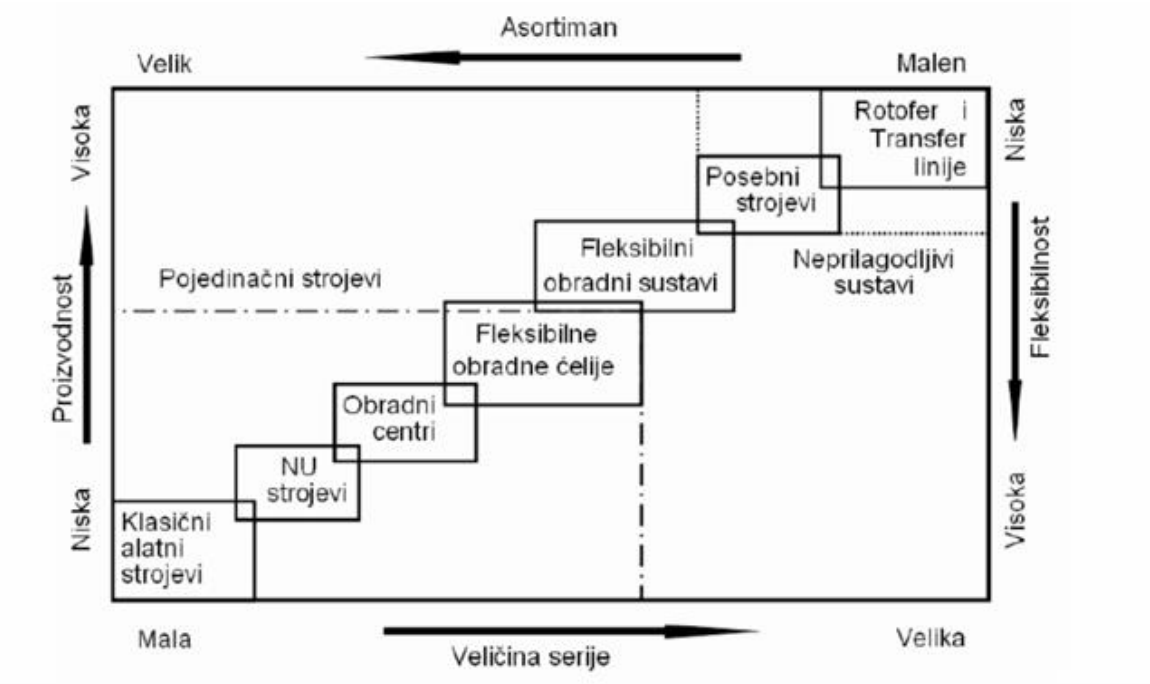
GLODANJE UTORA

PROFILNO GLODANJE

Slika 7. Prikaz nekih postupaka glodanja [8]

## 2.5. Podjela glodalica

Glodalice mogu biti različitih vrsta i veličina, od manjih stolnih modela do velikih industrijskih strojeva. Svaka glodalica ima svoje specifične karakteristike i mogućnosti što omogućava njihovu primjenu u raznim industrijskim sektorima, od proizvodnje malih dijelova za elektroniku do velikih konstrukcijskih komponenti.



Slika 8. Podjela alatnih strojeva prema tehnološkom prostoru [9]

### 2.5.1. Klasični glodaći alatni stroj

Klasična glodalica je alatni stroj koji se koristi za obradu metala, drveta i drugih materijala. Obično se koriste u manjim radionicama i za specifične zadatke gdje je potrebna veća ručna kontrola. Ovaj stroj omogućuje, osim glodanja, izvođenje različitih operacija poput bušenja, rezanja i oblikovanja.



*Slika 9. Prikaz klasične glodalice*

### **2.5.2. CNC glodaći alatni stroj**

CNC glodaći alatni stroj predstavlja naprednu verziju tradicionalne glodalice koja koristi računalno upravljanje za izvođenje preciznih i složenih operacija obrade materijala. Ovaj stroj kombinira mehaničke komponente s digitalnom tehnologijom što omogućuje visoku preciznost, ponovljivost i produktivnost u modernoj proizvodnji [2].



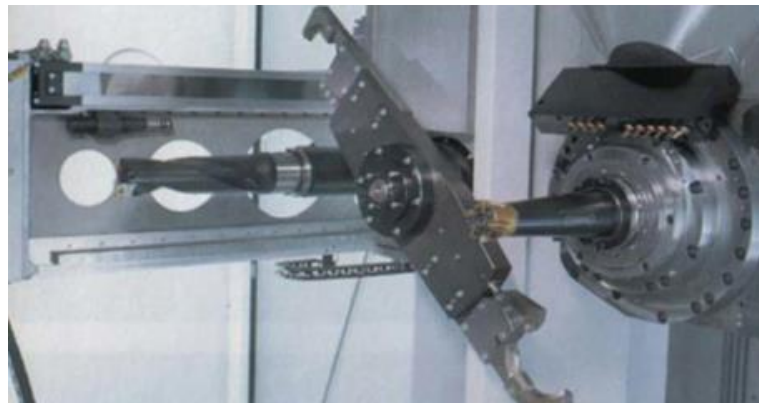
*Slika 10. Prikaz CNC glodalice [10]*

### 2.5.3. Glodaći obradni centar

Standardni centri imaju najmanje tri osi ali mogu imati i više za složenije operacije. Ključne karakteristike uključuju spremište alata, raznovrsne alate, automatizaciju i visoku preciznost pri obavljanju operacija u jednom stezanju. Moderni centri koriste računalno upravljanje za precizno vođenje alata i obratka te dolaze s automatskim izmjenama alata što omogućuje neprekidnu proizvodnju [11]. Nedostaci su visoki troškovi početne investicije i potreba za stručnim osobljem za upravljanje i održavanje stroja.



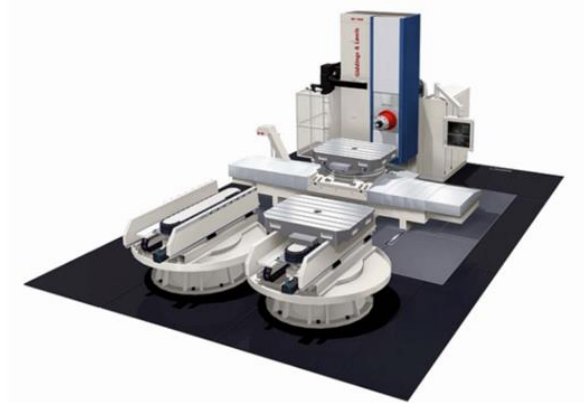
*Slika 11. Glodaći obradni centar [11]*



*Slika 12. Automatska izmjena alata [11]*

## 2.5.4. Fleksibilne glodaće obradne ćelije

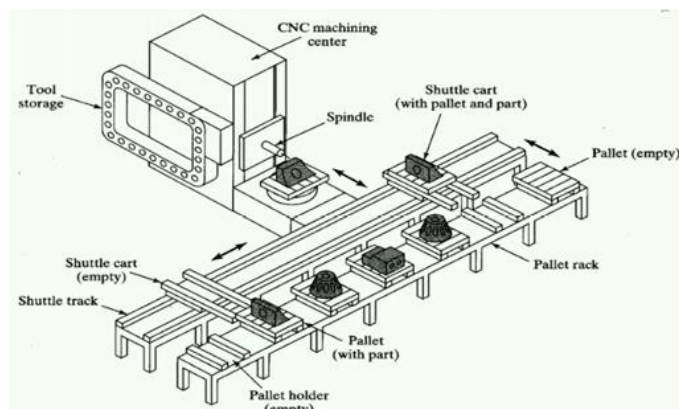
Fleksibilne glodaće obradne ćelije su napredni strojevi za obradu metala koji omogućuju automatiziranu, preciznu i brzu proizvodnju kompleksnih dijelova. Stroj je sličan GOC-u samo što ima još automatsku izmjenu obratka i spremište obratka, automatsko mjerenje, pranje, sušenje i hlađenje obratka. Prednosti uključuju smanjenje vremena proizvodnje i praćenje istrošenost alata, dok su glavni nedostaci visoki troškovi i potreba za stručnim osobljem [12].



Slika 13. Glodaća obradna ćelija [12]



Slika 14. Izmjena obratka pomoću robota [12]



Slika 15. Izmjena obratka pomoću paletnog sustava [12]

### 2.5.5. Fleksibilni glodači obradni sustavi

Fleksibilni glodači obradni sustavi omogućuju visoku razinu automatizacije, što smanjuje potrebu za ručnim radom i povećava konzistentnost proizvoda. Njihova sposobnost brze promjene sirovaca, obradaka i izradaka čini ih idealnima za proizvodnju malih serija ili prototipova, kao i za serijsku proizvodnju u ciklusima. Slični su GOĆ-u samo što se sastoji od 4 ili više CNC alatnih strojeva, osim toga, ovi sustavi često uključuju napredne senzore i softver za praćenje i optimizaciju procesa, što dodatno povećava učinkovitost i smanjuje otpad [13].



*Slika 16. Fleksibilni glodači obradni sustav [14]*

## 2.5.6. Posebni glodači strojevi

Posebni glodači strojevi su specijalizirani strojevi za obradu metala i drugih materijala, dizajnirani za specifične zadatke ili materijale. Ovi strojevi omogućuju visoku preciznost i učinkovitost u proizvodnji specifičnih dijelova kao što su npr. tvrde legure, kompoziti i polimeri.



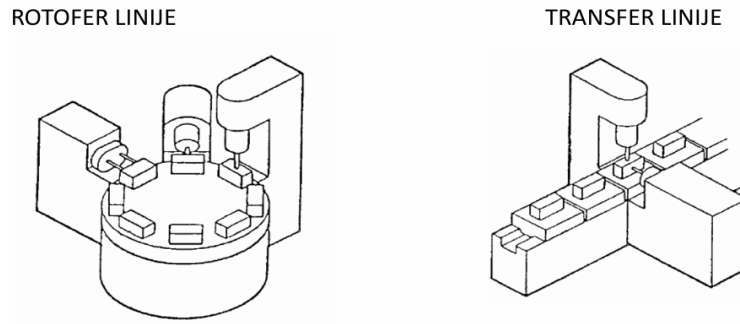
*Slika 17. Specijalna portalna glodalica [15]*



*Slika 18. Primjer ostalih specijalnih glodalica [16]*

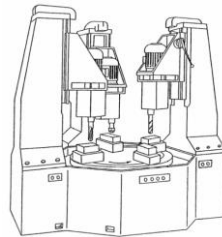
### 2.5.7. Rotofer i transfer glodaće linije

Rotofer i transfer linije su napredni proizvodni sustavi koji omogućuju brzu i učinkovitu obradu dijelova.



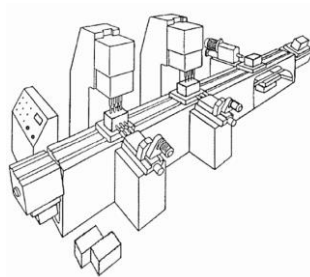
*Slika 19. Primjer rotofer i transfer glodaće linije [13]*

Rotofer linije koriste rotirajuće stolove ili bubnjeve za premještanje dijelova između različitih obradnih stanica [13]. Ovaj sustav omogućuje kontinuiranu proizvodnju i smanjuje vrijeme prijenosa između operacija te su idealni za velike serije identičnih dijelova gdje osiguravaju visoku produktivnost i preciznost.



*Slika 20. Rotofer glodaća linija [13]*

Transfer linije sastoje se od niza obradnih stanica povezanih transportnim sustavom koji premješta dijelove između stanica. Svaka stanica izvodi specifičnu operaciju, a cijeli proces je koordiniran za maksimalnu učinkovitost. Transfer linije su pogodne za masovnu proizvodnju složenih dijelova, omogućujući brzu i automatiziranu proizvodnju [13].



*Slika 21. Transfer glodaća linija [13]*



### 3. Haas Desktop Mill

Haas Desktop Mill je kompaktan CNC stroj dizajniran za edukaciju, izradu prototipa, graviranje i proizvodnju manjih dijelova. Ovaj stroj nudi preciznu obradu i prilagodljivost potrebnu za različite primjene u obrazovnim ustanovama, istraživačkim laboratorijima i malim radionicama [17].



*Slika 22. Haas Desktop Mill [17]*

### 3.1. Specifikacije stroja

Haas Desktop Mill je stroj s radnim prostorom koji omogućuje obradu malih i srednjih dijelova. Njegova X os je duga 152 mm, Y os je duga 254 mm a Z os je duga 76 mm. Maksimalna udaljenost između vretena i stola je 80 mm što pruža dovoljno prostora za različite vrste alata i materijala. Stroj ima dimenzije od 584 mm širine, 864 mm duljine i 619 mm visine kada su vrata zatvorena te 1117 mm visine kada su vrata otvorena. Napajanje zahtijeva napon od 120 V AC, frekvenciju od 50/60 Hz i maksimalnu struju od 15 A. Vreteno postiže maksimalnu brzinu od 15 000 okretaja u minuti, pogonski sustav je ostvaren preko integriranog motor vretena i ima snagu motora od 0,42 kW. U steznu glavu na glavnome vretenu se koriste čahure ER11 u kojima se mogu stezati alati do  $\varnothing 8$  mm [17].

Ove karakteristike čine Haas Desktop Mill praktičnim za postavljanje u manjim prostorima s ograničenim prostorom dok istovremeno pruža robusnost i pouzdanost u obradi materijala.



Slika 23. Prikaz specifikacija stroja na pločici



Slika 24. ER11 stezna glava [18]

## 3.2. Upravljačka jedinica stroja

Postoje različite upravljačke jedinice od poznatih proizvođača kao što su Haas Automation, Fanuc, Siemens Sinumerik, Okuma, i drugi. Svaka od ovih jedinica ima svoje karakteristike i specifičnosti koje omogućuju precizno upravljanje i izvođenje operacija na glodaćim strojevima. Ovisno o proizvođaču, CNC sustavi mogu nuditi različite funkcionalnosti kao što su brzina obrade, točnost, podrška za kompleksne operacije kao što su višeosno glodanje ili obrada različitih materijala. Ovi sustavi su ključni za optimizaciju proizvodnih procesa i osiguravaju visoku razinu učinkovitosti i pouzdanosti u industrijskim okruženjima.



Slika 25. Prikaz upravljačke jedinice stroja

### 3.2.1. Prednji panel

Na prednjem panelu nalaze se različiti prekidači i kontrole koje omogućuju operateru upravljanje strojem. Tu je prekidač za paljenje koji omogućava pokretanje stroja, prekidač za gašenje za sigurno isključivanje te sigurnosni prekidač za zaustavljanje koji pruža hitnu opciju zaustavljanja u slučaju nužde. Na panelu se nalazi ručica za pomicanje po osima koja omogućava precizno postavljanje radnog alata, prekidač za početak ciklusa kojim se pokreće unaprijed programirani radni ciklus i prekidač za zaustavljanje ciklusa koji omogućava zaustavljanje trenutnog radnog procesa. Ove kontrole su dizajnirane za jednostavno i učinkovito upravljanje strojem, osiguravajući sigurnost i preciznost u radu. [19]



*Slika 26. Prikaz prednjeg panela*

### **3.2.2. Zaslون**

Zaslون na upravljačkoj jedinici je ključan za upravljanje i nadzor nad procesima obrade. Grafička simulacija prikazana na zaslonu pomaže operaterima da provjere točnost programa prije nego što pokrenu stvarnu obradu, čime se smanjuje rizik od pogrešaka. Na početku je kretanje kroz sučelje bilo malo teže, no kasnije, redovitim korištenjem i upoznavanjem stroja postalo je puno lakše i intuitivnije. Tijekom rada zaslon omogućuje praćenje operacija u stvarnom vremenu uključujući prikaz trenutnih pozicija osi, brzine vretena i brzine pomaka. Svi alarmi i upozorenja prikazuju se na zaslonu, što omogućuje brzo reagiranje na probleme. [19]

Sve ove funkcije čine zaslon centralnim mjestom interakcije između operatera i stroja, osiguravajući potpunu kontrolu nad svim aspektima CNC obrade.

### 3.2.3. Tipkovnica

Tipkovnica na Haas upravljačkoj jedinici omogućuje operaterima interakciju sa CNC strojem kroz unos podataka i komandi. Korištenjem tipkovnice, operateri mogu unositi i uređivati G-kod programe, čime se definiraju strojne operacije koje će se izvršavati. Kroz tipkovnicu, operateri mogu navigirati kroz izbornike i opcije na zaslonu. Funkcijske tipke na tipkovnici omogućuju direktan pristup često korištenim komandama. Tipkovnica također ima specifične tipke za upravljanje koordinatnim sustavom stroja, omogućujući precizno pozicioniranje alata i obratka. Uz pomoć numeričke tipkovnice, operateri mogu unositi vrijednosti za postavke i parametre s velikom točnošću. [19]



Slika 27. Prikaz tipkovnice

### 3.2.4. Bočni dodaci

Utori za ključ i USB izlaz nalaze se na bočnoj strani stroja kako bi bili lako dostupni operateru. Ova pozicija također omogućava zaštitu od prašine, strugotina, i drugih zagađivača koji mogu biti prisutni tijekom obrade.

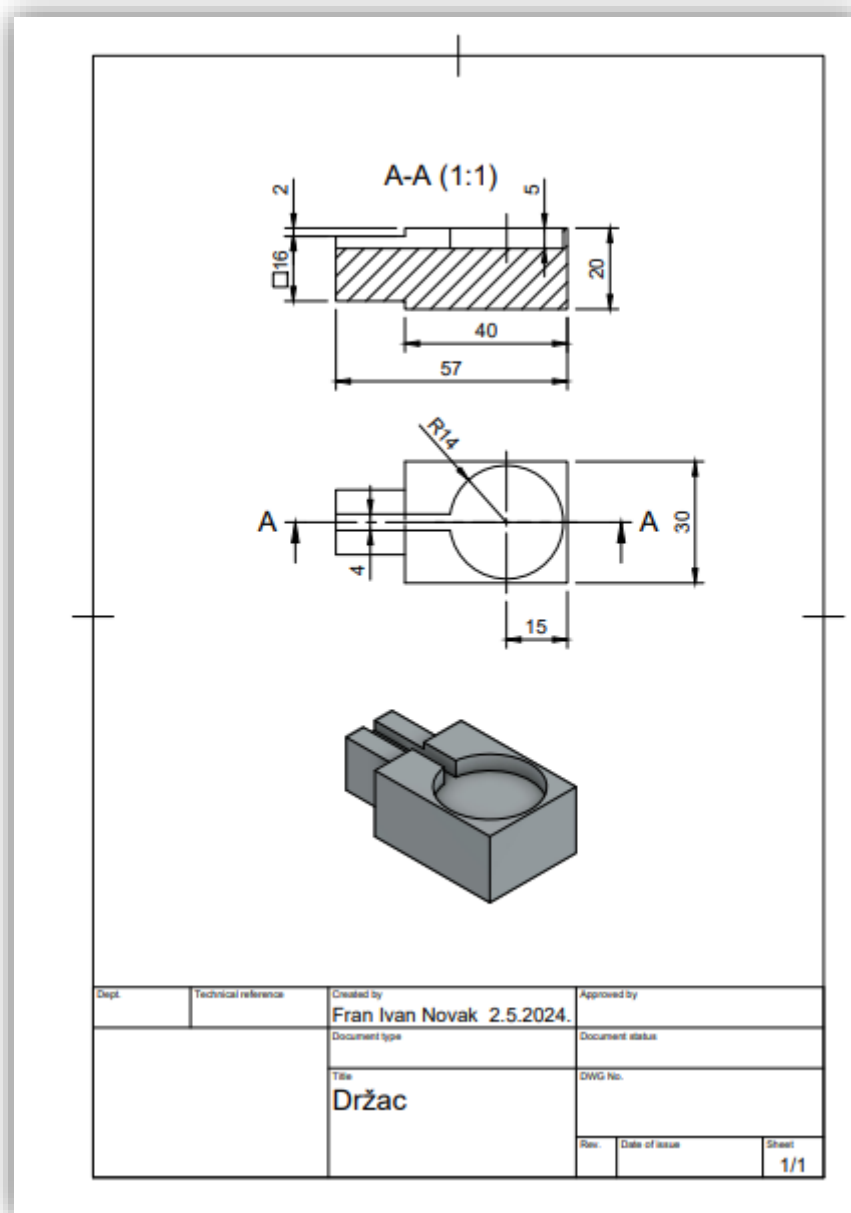
Utori za ključ na Haas Desktop Mill glodalici služe za kontrolu pristupa određenim funkcijama stroja, što omogućava operateru da zaključava ili otključava stroj kako bi se spriječilo neovlašteno korištenje. S druge strane, USB izlaz omogućava jednostavan prijenos podataka, kao što su G-kod programi, softverska ažuriranja, i sigurnosne kopije čime se olakšava upravljanje i održavanje stroja. [19]



*Slika 28. Prikaz bočnog dodataka*

## 4. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio završnog rada je proveden na CNC glodalici Haas Desktop Mill uz prisustvo mentora u laboratoriju Sveučilišta Sjever. Nakon par tjedana upoznavanja sa strojem i korisničkim sučeljem došao je red na samu izradu predmeta. Cilj eksperimentalnog dijela rada je bila izrada CNC koda za glodanje zadanih kontura predmeta, odrediti koji pristup izradi predmeta je najbolji i najefikasniji za takav proizvod te izvršiti obradu na sirovcu i napraviti izradak istih dimenzija kao što je prikazano na tehničkom crtežu u nastavku (Slika 29.).



Slika 29. Tehnički crtež izratka

## 4.1. Sirovac

Za obradu je korišten polimer trgovačkog naziva koterm. Dimenzije kvadra su 30 x 25 x 65 mm s tim da je bio nepravilno odrezan pa je bilo potrebno prije obrađivanja predmeta poravnati kose površine sirovca.

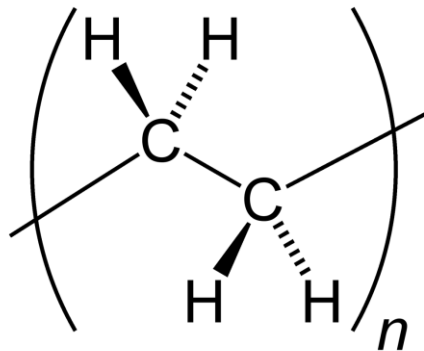


Slika 30. Prikaz sirovca

### 4.1.1. Materijal sirovca

Polimeri su prirodne i sintetske tvari koje se sastoje od makromolekula. Te makromolekule nastaju povezivanjem velikog broja manjih molekula, zvanih monomeri, putem kovalentnih kemijskih veza tijekom procesa poznatog kao polimerizacija. Stupanj polimerizacije ovisi o broju ponavljajućih jedinica unutar polimera. Kao tehnički materijali, polimeri se klasificiraju u četiri glavne kategorije: plastomeri, duromeri, elastomeri i elastoplastomeri. [20]

Plastomeri su polimeri koji su uglavnom kruti ili fleksibilni, ali nemaju elastičnost kao elastomeri. Polietilen je primer plastomera jer ima sposobnost da se oblikuje pri zagrijavanju i postaje čvrst kada se ohladi, bez značajnog gubitka mehaničkih svojstava.



Slika 31. Monomer polietilena [21]



Polietilen je industrijska plastika tzv. koterm koja ima visoku otpornost na kemikalije i vlagu te se koristi za izradu strojnih dijelova koji su izloženi trošenju. Gustoća  $0,94 \text{ g/cm}^3$  dok je modul elasticiteta 500 MPa [22]

## 4.2. Stezanje glodala i sirovca

Za izradu predmeta je korišteno glodalo  $\emptyset 6$  i  $\emptyset 3$  koja su se stezala u glavno vreteno stroja pomoću dvostrukih viličastih ključeva 13 i 17.



Slika 32. Dvostruki viličasti ključevi 13 i 17 [23]

Glodalo  $\emptyset 6$  je bilo stegnuto 30 mm izvan stezne glave kako bi moglo dosegnuti potrebnu dubinu obrade bez rizika od sudara stezne glave s obratkom. Ova postavka se može vidjeti na slici 33. jer je na tom mjestu crvenim markerom označena sigurna udaljenost.




Slika 33. Glodalo  $\emptyset 6$

Glodala, koja su se koristila za ovu obradu, su specijalizirana za obradu aluminijskih materijala i izrađena su od karbida radi otpornosti na trošenje i povećane dugotrajnosti. Geometrija glodala može varirati ovisno o specifičnim zahtjevima obrade, uključujući kut napada, oblik reznog ruba i broj zuba. Primjenjuju se u općoj strojarskoj industriji za preciznu i efikasnu obradu aluminijskih legura ali se mogu koristiti kod obrade polimernih materijala uz odgovarajuće prilagodbe parametara obrade u postavkama.

ALU - Square OSAWA

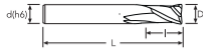
**MDCSA2**  
cylindrical shank, 2 flutes, polished

OSAWA NORM ALU HIG POLISHED 45° SQUARE ZZ



P  M  K  N  S  H  
 ★ 1st choice  suitable

SLOTTING  ONE FLUTE  DRILLING



D	D Tol.	C	C Tol.	d(h6)	l	l1	L	z	EDP No.	Stock
1	0/-0.015			4	3		40	2	MDCSA2010	●
1.5	0/-0.015			4	4.5		40	2	MDCSA2015	●
2	0/-0.015			4	6.5		40	2	MDCSA2020	●
2.5	0/-0.020			4	6.5		40	2	MDCSA2025	●
3	0/-0.030			6	8		57	2	MDCSA2030	●
4	0/-0.030			6	11		57	2	MDCSA2040	●

Slika 34. Informacije o glodalu Ø3 na stranici od proizvođača OSAWA [24]

Stežanje je bilo obavljeno koristeći jednostavnu steznu napravu koja se zatezala pomoću podesivog francuskog ključa.



Slika 35. Prikaz stege



Slika 36. Podesivi francuski ključ [25]

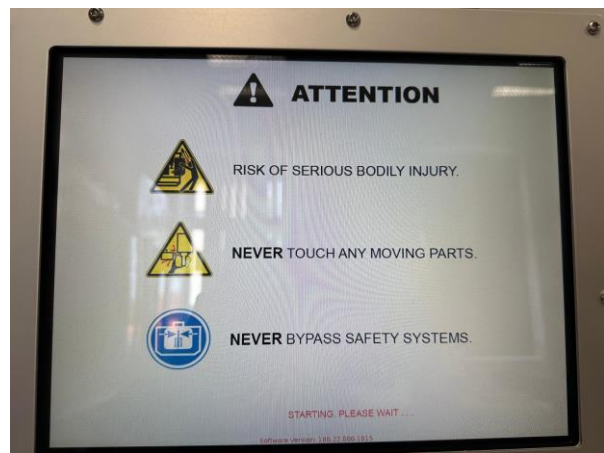
Kada se obradak stegne, obavljaju se sve operacije na toj strani koje su moguće te nakon toga radni komad okreće i ponovno steže. Ponekad se koriste više od 2 stezanja zbog složenosti obratka. Poželjno je izraditi komad sa što manje stezanja.

### 4.3. Pokretanje stroja

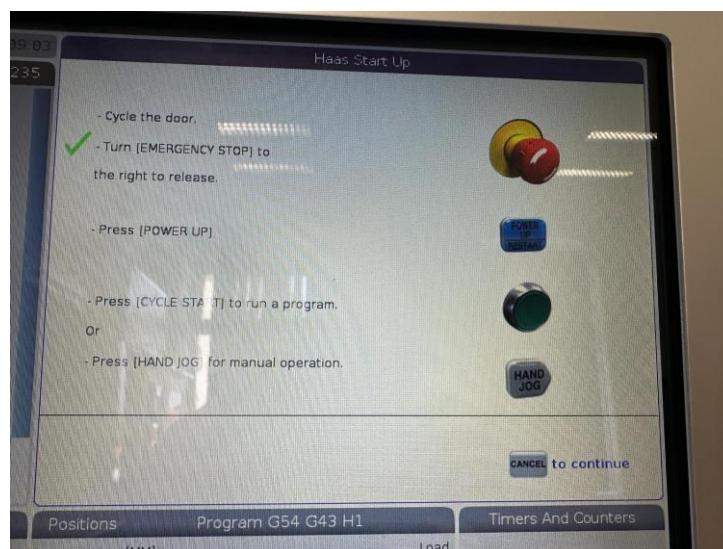
Prilikom svakog paljenja stroja potrebno je prvo pritisnuti tipku za uključivanje (Slika 37.), zatim okrenuti gljivu za prekid rada stroja udesno, te pritisnuti tipku za resetiranje kako bi se uklonila sva aktivna upozorenja. Nakon toga, potrebno je podignuti i spustiti vrata kućišta radnog prostora (Slika 39.). Posljednji korak uključuje pritiskanje tipke za napajanje, nakon čega će se vreteno vratiti u svoju nultočku poziciju (Slika 41.).



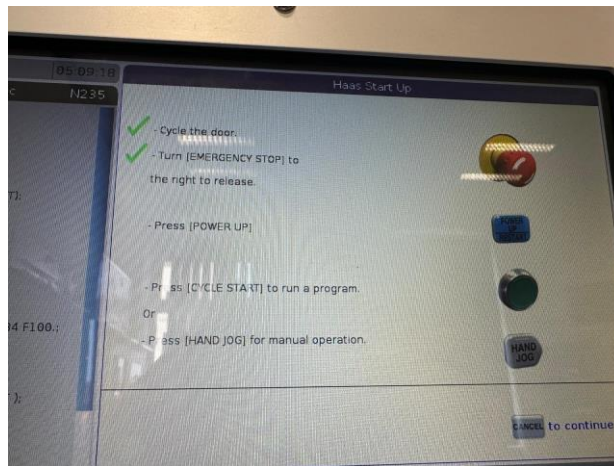
Slika 37. Tipka za uključivanje



Slika 38. Prikaz pokretanja zaslona



Slika 39. Prikaz Haas start up sučelja prije podizanja vrata kućišta

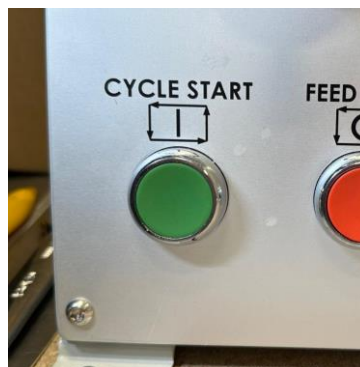


*Slika 40. Prikaz Haas start up sučelja nakon podizanja vrata kućišta*



*Slika 41. Tipka za napajanje*

Nakon izvršenja ovih koraka, moguće je pokrenuti program pritiskom na tipku za pokretanje ciklusa (Slika 42.), nastaviti rad na programu pritiskom na tipku za otkazivanje, ili ručno pomaknuti vreteno koristeći tipku za ručno upravljanje. Nakon pokretanja stroja sljedeći je korak bio određivanje nultočke obratka.



*Slika 42. Tipka za pokretanje ciklusa*

#### 4.4. Određivanje nultočke obratka

Nulta točka obratka u glodanju označava točku na alatu gdje se smjer rezanja materijala mijenja. Za preciznost i kvalitetu obrade važno je pravilno odrediti tu točku.

Proces se može provesti koristeći papir. Prilikom određivanja Z koordinate prvo se papir postavi na površinu materijala, a alat za glodanje se polako približava. Kada alat dotakne papir, papir će se pomaknuti ili će se na njemu pojaviti trag, što označava kontakt s materijalom. Ta pozicija alata se zabilježava kao referentna točka. Prilikom doticanja obratka sa boka, za X i Y koordinatu, treba obavezno uzeti u obzir radius alata te onda smanjiti dobivenu vrijednost za taj radius kako bi koordinata bila zapravo točna.

Na glodalici se alat ručno pomiče pomoću „jog kotačića“ ili tipkovnice na kontrolnoj ploči. Prvo se odabere os koja se želi pomicati zatim se bira brzina pomicanja što određuje koliko se alat pomiče po koraku. Nakon toga okretanjem jog kotačića alat se pomiče u željenom smjeru, ovisno o smjeru okretanja.



Slika 43. Tipka za ručno pomicanje



Slika 44. Tipke za pomicanje alata u određenom smjeru

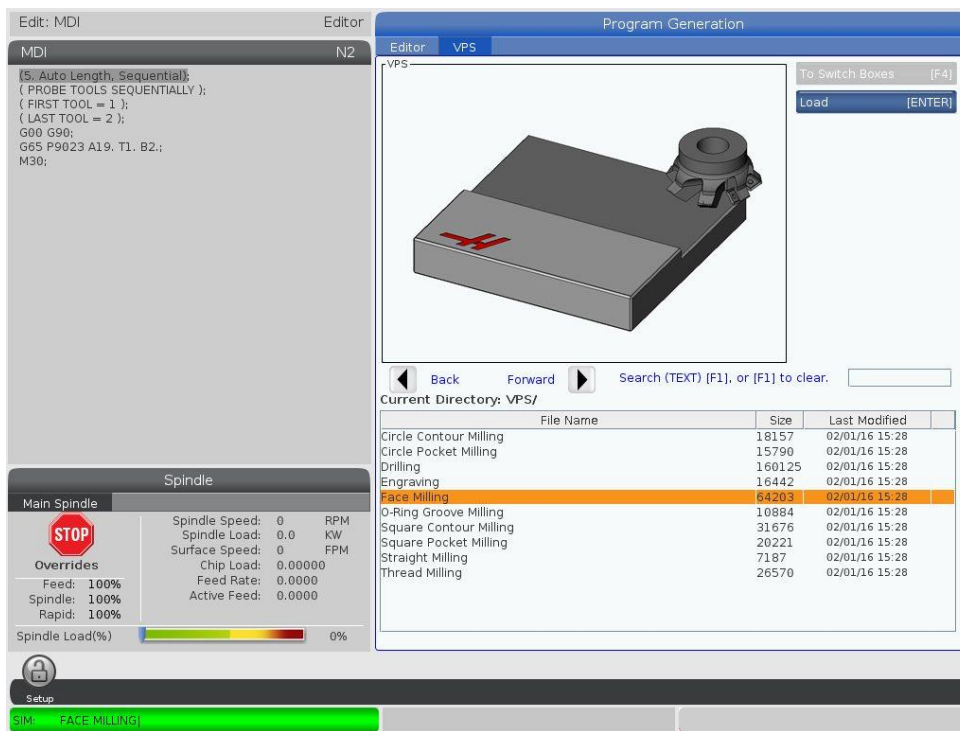


*Slika 45. Kotačić za ručno pomicanje*

## 4.5. VPS

VPS na Haas stolnoj glodalici je intuitivan sustav za programiranje koji omogućuje korisnicima jednostavno kreiranje programa za CNC stroj bez potrebe za naprednim znanjem G-koda. Umjesto ručnog pisanja koda, VPS koristi unaprijed definirane šablone i obrasce koji olakšavaju postupak programiranja [26].

Korisnik može odabrati određenu operaciju poput bušenja provrta, izrade džepova ili konturiranja, a VPS će ih voditi kroz niz jednostavnih koraka na zaslonu. Nakon što unese potrebne parametre, kao što su dimenzije, brzina rezanja i dubina, sustav automatski generira odgovarajući G-kod. Ova značajka je posebno korisna za manje iskusne operatere i u obrazovnim okruženjima jer pojednostavljuje proces programiranja i smanjuje mogućnost pogrešaka. VPS na Haas strojevima također omogućuje brzu prilagodbu i promjenu programa što je idealno za proizvodnju manjih serija ili prototipa.

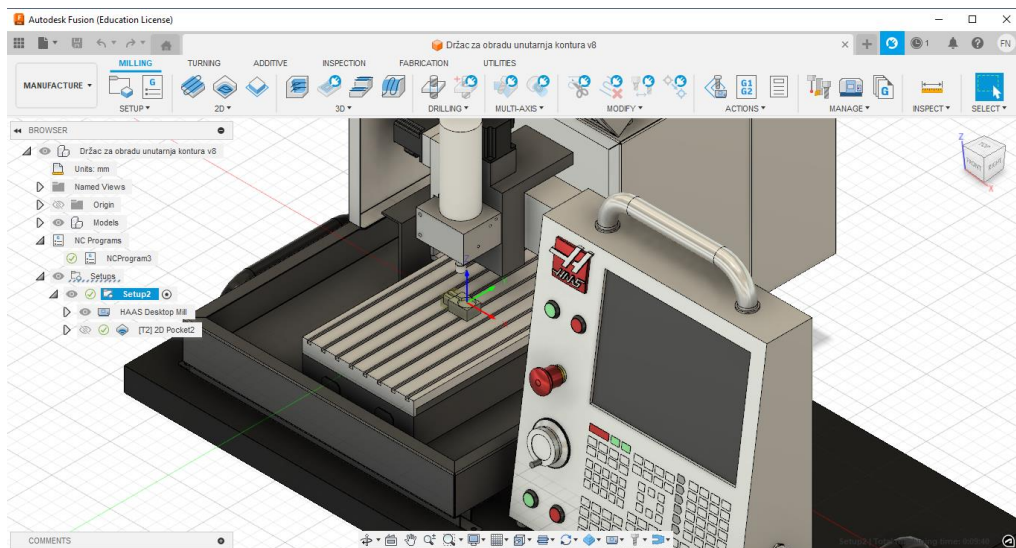


Slika 46. VPS sučelje [27]

## 4.6. Fusion

Za upravljanje CNC strojevima, neophodno je generirati program koji će stroju dati upute za kretanje alata. Programi se mogu pisati ručno, koristeći G-kod, ili automatski, koristeći različite CAM programe kao što je Fusion. Ovi programi omogućuju simulaciju obrade, optimizaciju putanja alata i postizanje optimalnih rezultata obrade.

Fusion je moćan alat za CAD, CAE, CAM i CNC način obrade. Razvijen od strane tvrtke Autodesk, Fusion omogućava dizajnerima, inženjerima i proizvodnim stručnjacima da surađuju na razvoju proizvoda u oblaku [28].



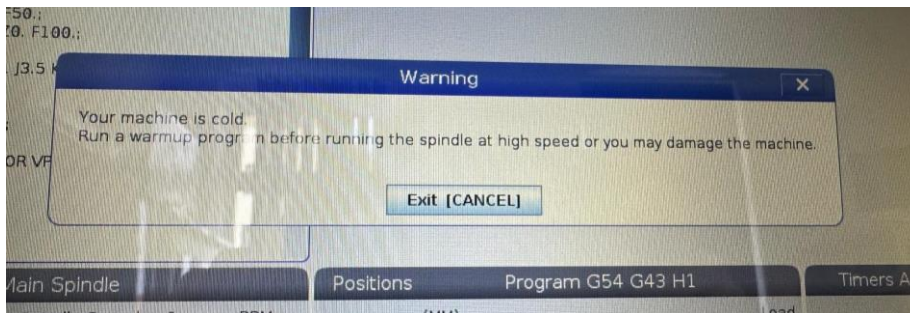
*Slika 47. Prikaz Fusion programa*

Fusion pojednostavljuje cijeli proces proizvodnje dijelova od početnog dizajna do konačne proizvodnje. Izabran je taj program zato što je jednostavan za korištenje i zato što nudi studentima besplatne verzije programa za korištenje tijekom studiranja.



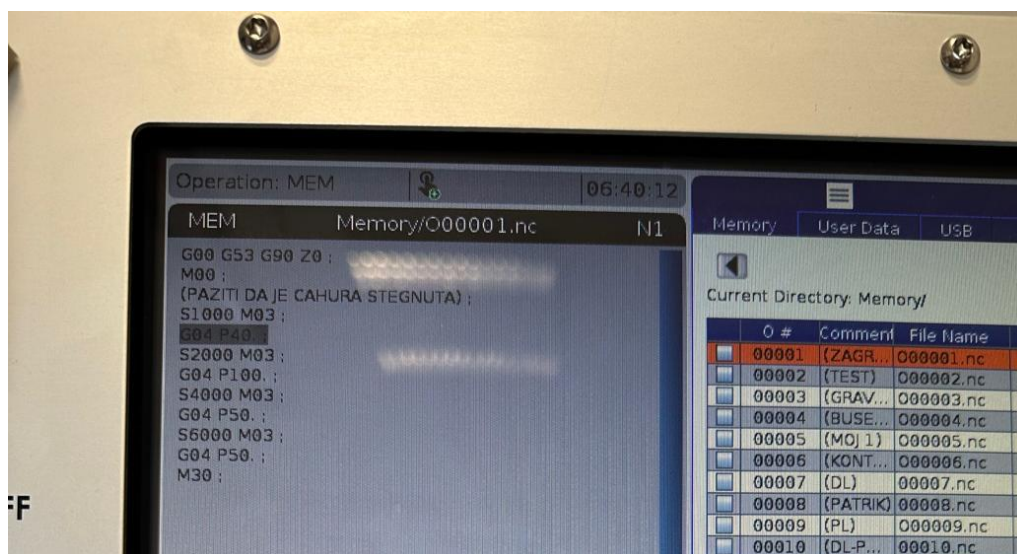
## 4.7. Zagrijavanje glavnog vretena

Prilikom početka obrade, glodalica je prikazala poruku koja upozorava da se glavno vreteno treba zagrijati prije nego što se nastavi s obradom. Ovo upozorenje znači da vreteno treba doseći optimalnu radnu temperaturu kako bi se osigurala preciznost dimenzija obratka, produžila trajnost ležajeva te smanjile vibracije i buka tijekom obrade. Proces zagrijavanja pomaže u stabilizaciji vretena i osigurava da stroj radi u svojim optimalnim uvjetima.



Slika 48. Prikaz upozorenja prije obrade

Ovo upozorenje se jednostavno može ukloniti tako da se pokrene program za zagrijavanje glavnog vretena. Ovaj program (Slika 49.) postepeno povećava brzinu vrtnje glavnog vretena kako bi se sredstvo za podmazivanje ravnomjerno rasporedio unutar ležajeva. Time se omogućuje vretenu da postigne svoju optimalnu radnu temperaturu prije početka obrade. Ovaj postupak pomaže u održavanju stabilnosti i preciznosti obrade dok istovremeno smanjuje rizik od prekomjernog trošenja i osigurava glađi rad stroja.



Slika 49. Prikaz G-koda za zagrijavanje

## **4.8. Redosljed operacija**

Pripremak je bio prethodno izrezan pilom, ali su dvije stranice zahtijevale dodatno poravnanje kako bi sve strane obratka bile savršeno paralelne. Nakon tog inicijalnog poravnavanja, obradak je skraćen kako bi se postigla točna visina od 20 mm, počevši s izvornom visinom od 25 mm. Nakon toga, duljina obratka smanjena je sa 65 mm na 57 mm kako bi se postigle željene dimenzije. Programe za poravnanje i skraćenje predmeta su se izradili koristeći VPS sustav na Haas stolnoj glodalici. Nakon što su programi za poravnanje i skraćivanje dovršeni, obradak je bio spreman za izradu otoka i džepa. Slijedilo je vanjsko konturno glodanje, s ciljem oblikovanja otoka dimenzija 16 x 16 mm na površini obratka i kao završna operacija, korišteno je glodalo promjera 3 mm za izradu džepa. Za te složenije operacije koristio se generirani G-kod dobiven preko Fusion programa.

#### 4.8.1. Prvo poravnanje

Kada se VPS pokrene, prikazuje se glavni izbornik gdje se odabire vrsta operacije, poput bušenja ili glodanja. Nakon odabira operacije, prikazuju se šablone za određene zadatke, kao što su izrada džepa ili čeono glodanje. Unose se potrebni podaci poput dimenzija obratka, dubine reza i brzine vretena. Nakon unosa svih podataka, sustav prikazuje sažetak za pregled i potvrdu. Zatim se generira G-kod, koji je spreman za izvođenje na stroju. Za ovu operaciju izabrano se čeono glodanje (Face milling)

*Tablica 1. Kod za prvo poravnanje*

%
O50000 (xxxxx)
(Face Milling)
( FACING, STARTING FROM BACK LEFT )
G00 G17 G40 G49 G80 G90
T1 M06
G00 G90 G54 X-3.6 Y0.4 S4000 M03
G43 H01 Z0.
G01 Z-0.25 F50.
M97 P51
...
Y-49.
G01 G91 Z-0.7 F50.
G90 X80.6 F100.
G00 Z0.
X-3.6 Y0.4
M99 ( END OF FACING PASSES )
N62 M09
G00 G90 G53 Z0 M05
M30 ( END VPS FACING )
%

## 4.8.2. Drugo poravnanje

Drugo poravnanje obratka je slično prijašnjem procesu samo što se izvodila na drugoj površini.

*Tablica 2. Kod za drugo poravnanje*

%
O05004 (xxxxx)
(Face Milling)
( FACING, STARTING FROM BACK LEFT )
G00 G17 G40 G49 G80 G90
T1 M06
G00 G90 G54 X-3.6 Y0.4 S4000 M03
G43 H01 Z0.
G01 Z-0.35 F70.
M97 P51
...
Y-23.
G01 G91 Z-0.7 F70.
G90 X80.6 F140.
G00 Z0.
X-3.6 Y0.4
M99 ( END OF FACING PASSES )
N62 M09
G00 G90 G53 Z0 M05
M30 ( END VPS FACING )
%

### 4.8.3. Skraćenje sa 25 na 20 mm

Skraćenje obratka s 25 mm na 20 mm se izvodilo kako bi se postigla točna dimenzija za konačni proizvod. Prvobitne dimenzije od 25 mm su bile ostavljene kao dodatak za obradu, što omogućuje uklanjanje materijala i postizanje željene visine od 20 mm. Ovo smanjenje osigurava da obradak bude izrađen prema zahtjevima na tehničkom crtežu.



Slika 50. Prikaz prvog skraćivanja



Slika 51. Prikaz ekrana prilikom obrade

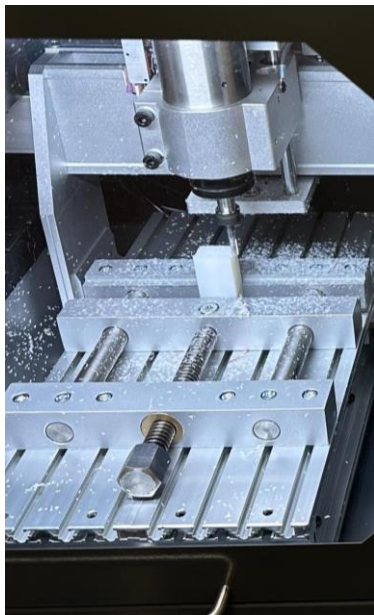
Tablica 3. Kod za skraćivanje

%
O05006 (xxxxx)
(Face Milling)
( FACING, STARTING FROM BACK LEFT )
G00 G17 G40 G49 G80 G90
T1 M06
G00 G90 G54 X-3.6 Y0.4 S4000 M03
G43 H01 Z0.
G01 Z-1. F70.
M97 P51
...
Y-23.

G01 G91 Z-2. F70.
G90 X80.6 F140.
G00 Z0.
X-3.6 Y0.4
M99 ( END OF FACING PASSES )
N62 M09
G00 G90 G53 Z0 M05
M30 ( END VPS FACING )
%

#### 4.8.4. Skraćenje sa 65 na 57 mm

Drugo skraćenje obratka je slično prijašnjem procesu samo što se izvodilo skraćivanje duljine predmeta. Radi tih operacija biti će jednostavnija izrada otoka i džepa predmeta.



Slika 52. Prikaz drugog skraćivanja

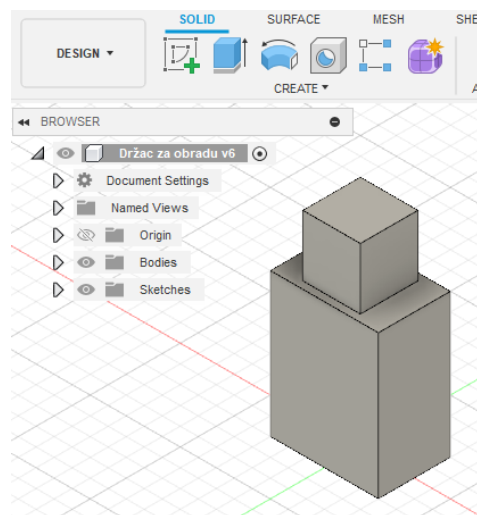


Slika 53. Prikaz ekrana prilikom obrade

#### 4.8.5. Izrada otoka

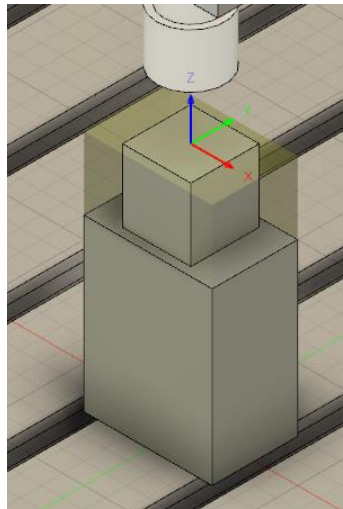
U kontekstu obrade otok se odnosi na područje na površini obratka koje ostaje izdignuto u odnosu na okolne dijelove nakon što se ukloni okolni materijal.

U procesu izrade otoka koristi se napredni program koji će pomoću CAM i CAD tehnologije izraditi G-kod. Ove tehnologije omogućuju detaljno projektiranje, simulaciju i proizvodnju s visokom preciznošću, čime se osigurava optimalna izvedba svakog koraka u izradi otoka te omogućuje postizanje precizno gibanje alata. Prije svega bilo je potrebno nacrtati obradak u programu Fusion. Skica je osnova za daljnje 3D modeliranje. Korištenjem skice, moguće je brzo i učinkovito kreirati trodimenzionalni oblik putem alata kao što je ekstrudiranje. Crtanje se odvija u izborniku Design.



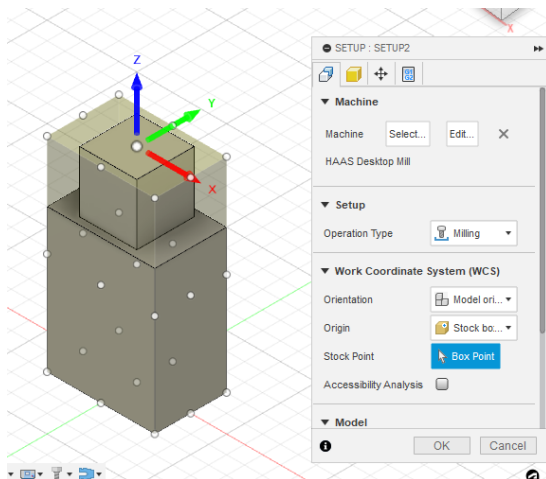
Slika 54. Prikaz 3D obratka

Priprema obrade je korak koji slijedi nakon crtanja predmeta i on se najčešće sastoji od međusobnog pozicioniranja obratka i priprema te ukoliko je potrebno i pozicioniranja stezne naprave i samog stroja. Slika 55. prikazuje kako to izgleda u programu. Pripremak ima prozirnu žutu boju dok je obradak prikazan sivom bojom.

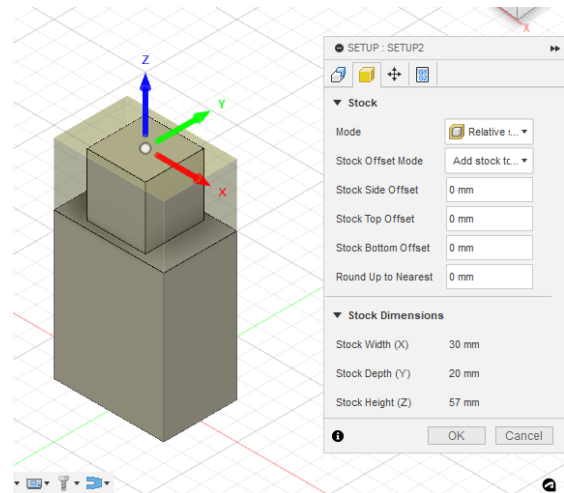


Slika 55. Prikaz obratka i priprema u programu Fusion

Unutar postavki u opcijama u izborniku zvan proizvodnja mogu se mijenjati mnogi ključni parametri kao npr. vrsta obrade, poput glodanja ili tokarenja, definirati koordinatni sustav, uključujući orijentaciju osi i nultu točku. Također može se odrediti poziciju modela unutar obratka, te definirati sigurnosne visine za kretanje alata. Može se dodati informacija o steznim napravama te pokrenuti simulaciju putanje alata kako bi se provjerila točnost i izbjegli kolizije.

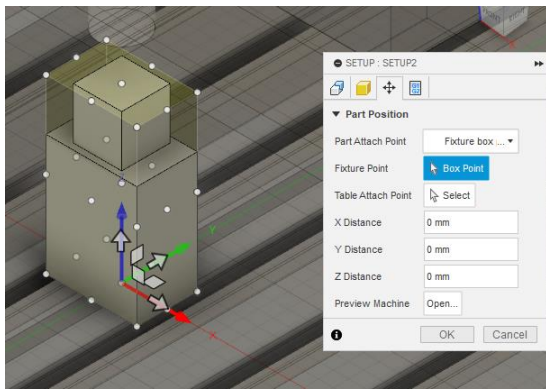


Slika 56. Prikaz odabira stroja, obrade i nultočke

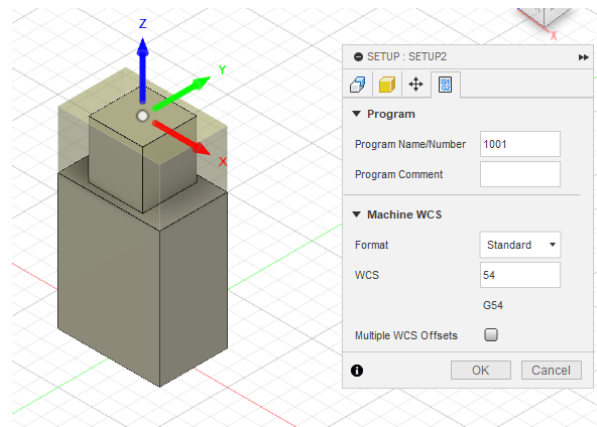


Slika 57. Prikaz opcija za pripremak

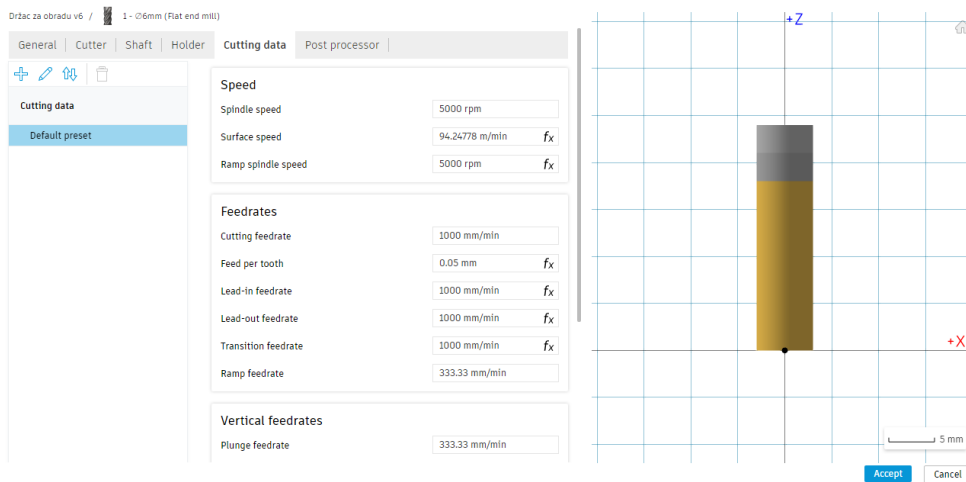




Slika 58. Prikaz pozicije obratka na stroju

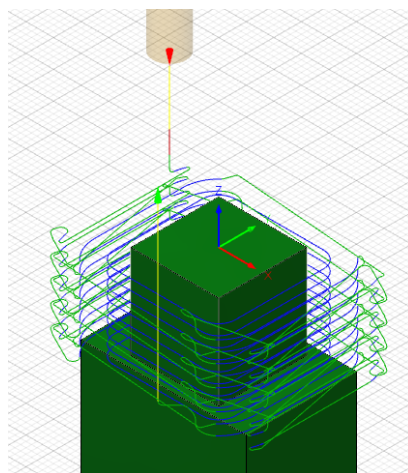


Slika 59. Prikaz informacija za G-kod



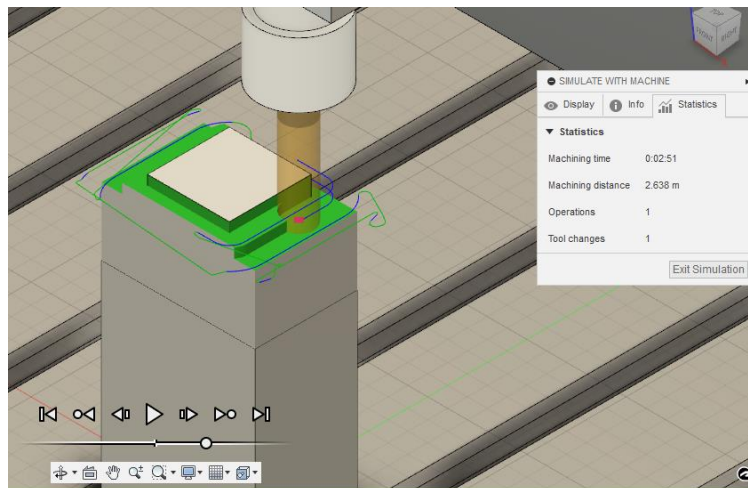
Slika 60. Prikaz preporučenih parametara za glodalo Ø6

Kada su ispunjene sve ključne postavke, prelazi se na opciju za generiranje putanje alata. Ova opcija omogućuje softveru da automatski izračuna optimalnu putanju alata, uzimajući u obzir sve definirane parametre.



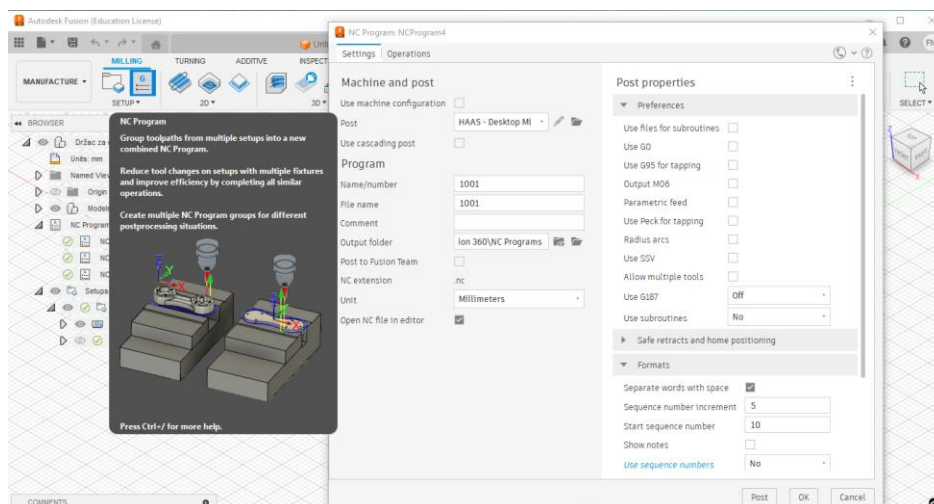
Slika 61. Prikaz putanje alata

Kada putanja alata zadovoljava određene potrebe prelazi se na simulaciju. Simulacija se pokreće kako bi se provjerila ispravnost programa prije nego što ga izvedemo na stvarnom stroju. Simulacija pomaže otkriti potencijalne greške poput kolizija alata s obratkom ili steznim napravama te provjeriti točnost putanje alata. Simulacija omogućuje procjenu vremena obrade, optimizaciju posmaka i brzine vretena te osigurava da će konačni proizvod ispuniti sve dimenzijske i kvalitativne zahtjeve. Time se smanjuje rizik od oštećenja stroja, alata i obratka, štedi materijal i vrijeme, te povećava ukupna efikasnost proizvodnog procesa.



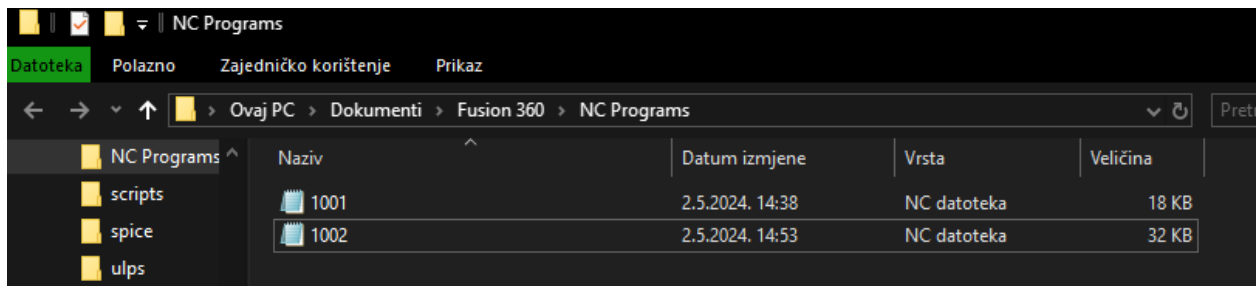
Slika 62. Prikaz simulacije

Kada simulacija obrade zadovoljava potrebe korisnika, sljedeći logičan korak je generiranje G-koda. G-kod je programski jezik koji se koristi za upravljanje CNC strojeva i omogućava stroju da izvrši precizne operacije obrade prema specifikacijama definiranim u simulaciji. Za generiranje G-koda se koristila opcija NC Program.



Slika 63. Prikaz generiranja G-koda

Prilikom generiranja koda potrebno je isto paziti koje opcije su uključene ili isključene. Za potrebe Haas stolne glodalice obavezno se morala isključiti opcija koja uklanja korištenje numeriranih redaka kako bi normalno radio program. Numeracija redaka inače olakšava praćenje i uređivanje redosljeda operacija u G-kodu ali radi nekog nepoznatog razloga G-kod ne bi normalno funkcionirao kada bi ta opcija ostala uključena. Treba također paziti da se za jedinicu mjere koriste milimetri a ne inč koja je predložena opcija jer je Fusion program više orijentiran američkom tržištu. Nakon generiranja G-koda preostaje samo pronaći dokument u NC Programs mapi.



Slika 64. Prikaz generiranog G-koda u mapi

Ako generirani G-kod baca grešku zbog pogrešnog redosljeda komandi, potrebno je ispravno ih poredati. Važno je prvo odabrati alat, zatim postaviti brzinu vretena, i na kraju brzinu posmaka. Ako je redosljed pogrešan, stroj može prijaviti grešku ili pogrešno obraditi komad. Bitno je provjeri redosljed komandi i simulaciju prije obrade. G-kod za otok ima 808 redova koda što je puno više nego prijašnja poravnanja i skraćivanja skupa i to obično znači da je operacija složenija i zahtijeva više koraka za postizanje željenog rezultata.

Tablica 4. Kod za izradu otoka

%
O01001
(Using high feed G1 F140. instead of G0.)
(Multiple tools disallowed. Please ensure the tool in the spindle is T1)
(Machine)
( vendor: HAAS)
( model: Desktop Mill)
( description: Haas Desktop Mill)
(T1 D=6. CR=0. - ZMIN=-17. - flat end mill)
G90 G94 G17
G21
G53 G0 Z0.
(2D Pocket1)
T1 M06
S5000 M3
G17 G90 G94
G54
M8
G1 X-18.013 Y9.081 F140.
G0 Z5.
G1 Z1. F333.33
...
X2.286 Y-13.318 Z-16.494
X2.281 Y-13.324 Z-16.4
G0 Z15.
M5
M9
G53 G0 Z0.
G53 G0 X0. Y0.
M30
%

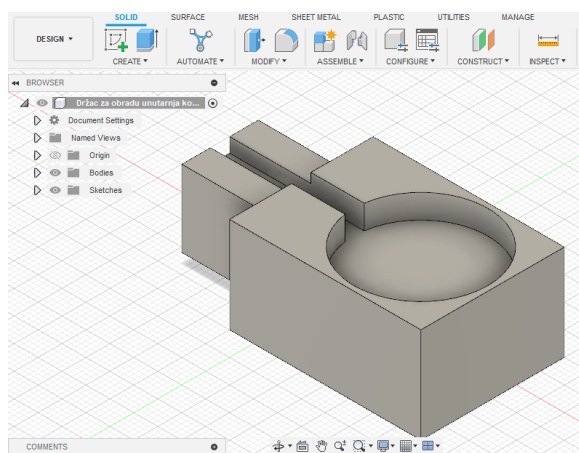


Slika 65. Prikaz obratka nakon glodanja otoka

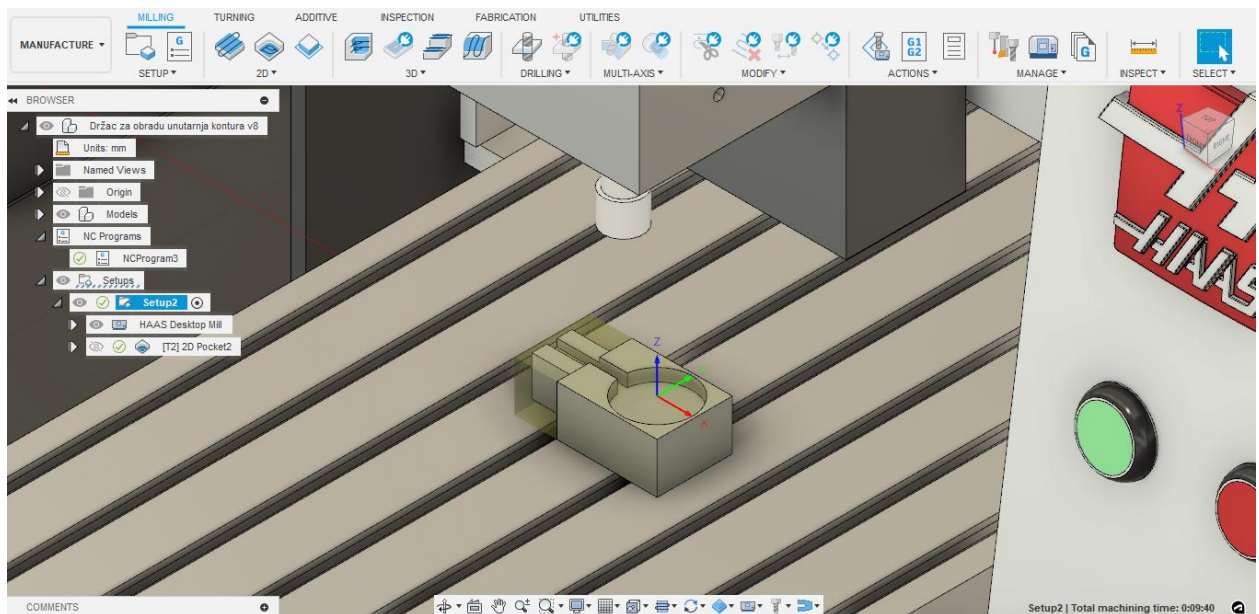
#### 4.8.6. Izrada džepa

Džep u kontekstu glodanja odnosi se na udubljenje ili izrez koji se obrađuje unutar površine obratka. Ovaj udubljeni prostor može imati različite dubine i oblike, a često se koristi za smještanje drugih dijelova.

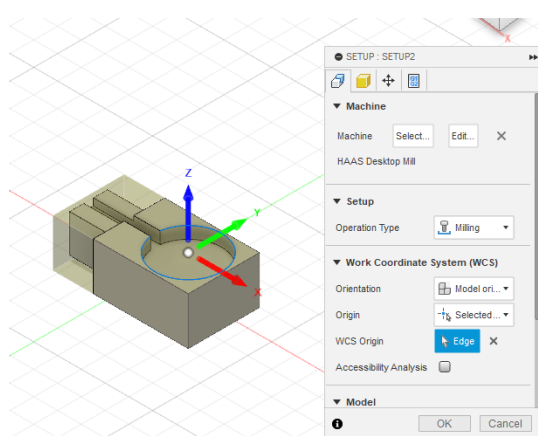
Postupak generiranja koda je isti kao i u prethodnom slučaju samo što je prilikom glodanja trebala izabrati opcija pocket milling koja se koristi za glodanje džepa i bilo je potrebno zamjeniti glodalo.



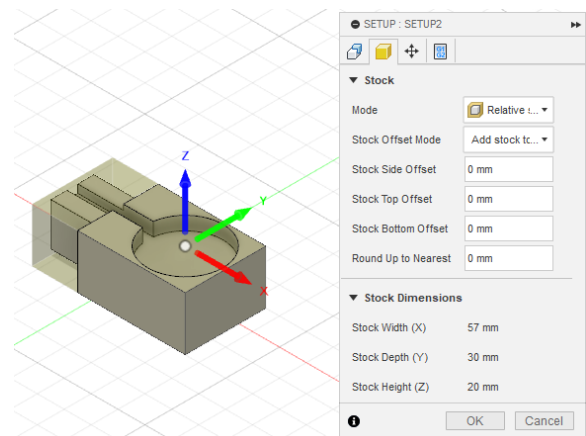
Slika 66. Prikaz 3D obratka



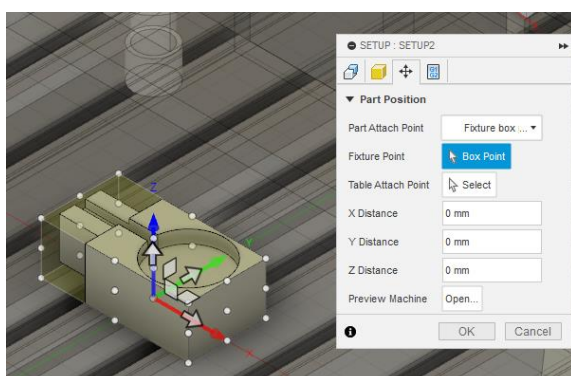
Slika 67. Prikaz obratka i priprema u programu Fusion



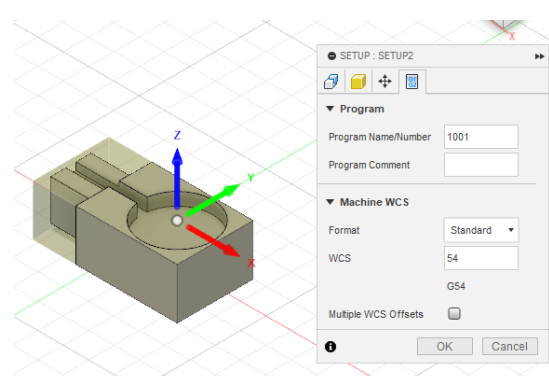
Slika 68. Prikaz odabira stroja, obrade i nultočke



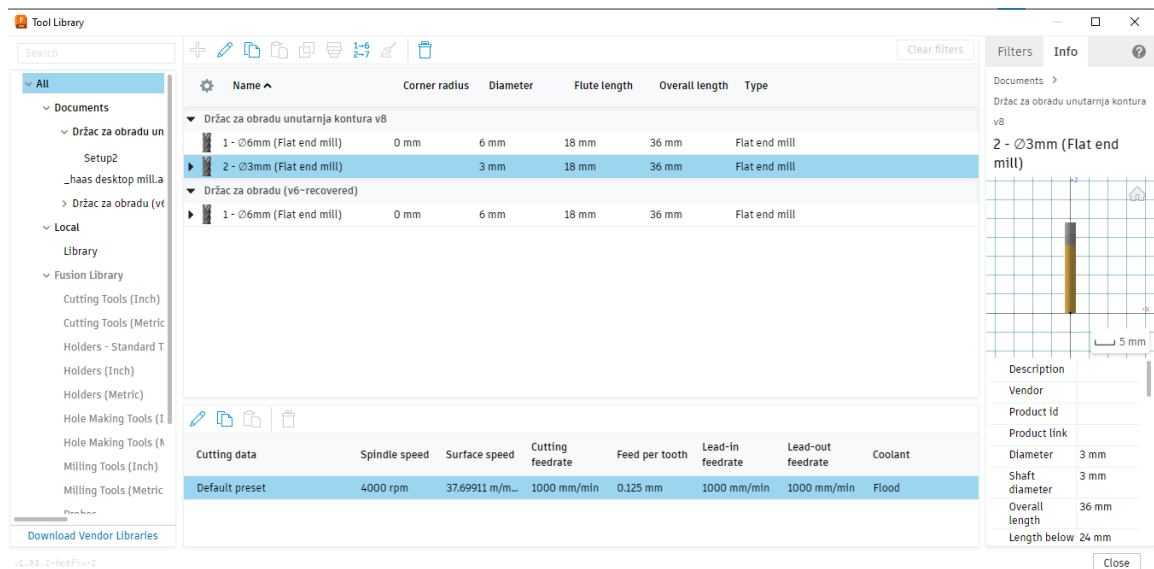
Slika 69. Prikaz opcija za pripremak



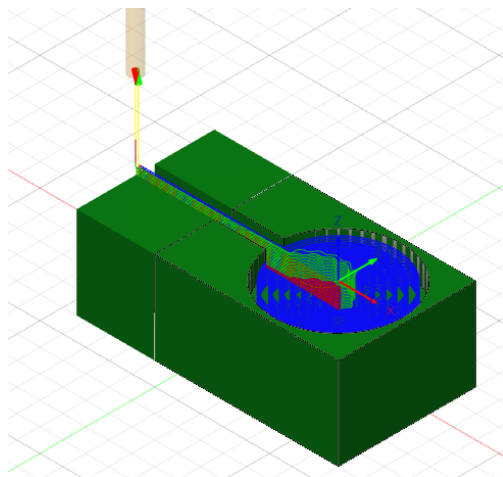
Slika 70. Prikaz pozicije obratka na stroju



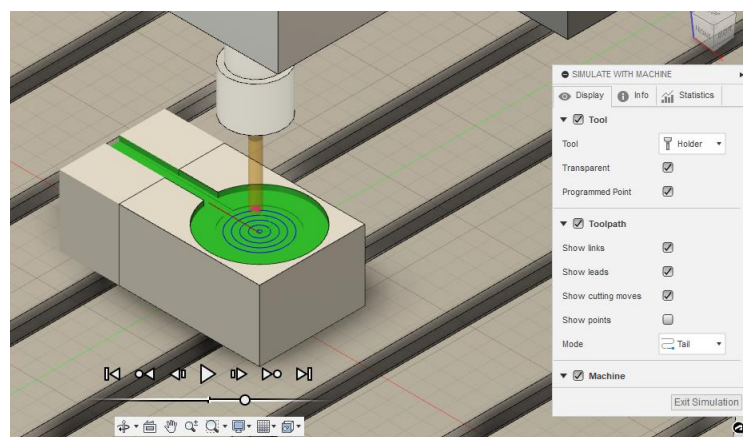
Slika 71. Prikaz informacija za G-kod



Slika 72. Prikaz preporučenih parametara za glodalo Ø3



Slika 73. Prikaz putanje alata



Slika 74. Prikaz simulacije

Tablica 5. Kod za izradu džepa

%
O01002
(Using high feed G1 F140. instead of G0.)
(Multiple tools disallowed. Please ensure the tool in the spindle is T2)
(Machine)
( vendor: HAAS)
( model: Desktop Mill)
( description: Haas Desktop Mill)
(T2 D=3. CR=0. - ZMIN=-5. - flat end mill)
G90 G94 G17
G21
G53 G0 Z0.
(2D Pocket2)
T1 M06
S4000 M3
G17 G90 G94
G54
M8
G1 X-43.706 Y-0.451 F140.
G0 Z5.
G1 Z0.6 F333.33
...
X-43.987 Y0.41 Z-4.767
X-43.995 Y0.409 Z-4.7
G0 Z15.
M5
M9
G53 G0 Z0.
G53 G0 X0. Y0.
M30
%





*Slika 75. Prikaz obratka tijekom izrade džepa*

## 4.9. Rezultat obrade

Kroz ovaj rad se pokazala sposobnost generiranja i prilagodbe NC kodova za preciznu obradu materijala,. Dimenzije izratka odgovaraju dimenzijama na tehničkom crtežu. Mjerenje je bilo obavljeno digitalnim pomičnim mjerilom.



Slika 76. Prikaz gotovog izratka

Tablica 6. Rezultati mjerenja

x	Dimenzije na crtežu	Izmjerene dimenzije
Vanjska duljina	57 mm	57,01 mm
Vanjska širina	30 mm	30,02 mm
Vanjska visina	20 mm	20,36 mm
Provrta džepa	28 mm	27,94 mm
Dubina džepa	5 mm	5,11 mm
Širina žljeba	4 mm	4,10 mm
Visina otoka	16 mm	16,01 mm
Širina otoka	16 mm	16,05 mm
Kraća duljina	40 mm	40,03 mm
Visinsko odstupanje otoka od gornje površine	2 mm	2,02 mm

## 5. Zaključak

CNC glodanje ima ključnu ulogu u suvremenoj industriji zbog brojnih važnih prednosti. Prvo, omogućuje izradu dijelova s vrlo visokim stupnjem preciznosti i točnosti, smanjujući mogućnost pogrešaka što rezultira proizvodima visoke kvalitete i uskih tolerancija. Jednom programiran CNC stroj može neprekidno ponavljati istu operaciju s dosljednom kvalitetom što je ključno za masovnu proizvodnju gdje svaki proizvedeni komad mora biti identičan prethodnom. U industrijama s raznolikom proizvodnjom je bitna jednostavna prilagodba različitim zadacima promjenom programa gdje se proizvodne linije mogu brzo preusmjeriti na izradu različitih dijelova. CNC-kod za operacije može biti ručno napisan ili generiran CAM softverom. Korištenje VPS-a za generiranje programa zahtijeva određeni stupanj tehničkog znanja i iskustva. Operater mora biti upoznat s različitim izbornicima i parametrima obrade kako bi precizno unio potrebne podatke i postavke za optimalno izvođenje procesa. Iako je VPS vrlo efikasan, od operatera traži pažljivo praćenje postupaka i dobro poznavanje tehnologije što može biti zahtjevno za manje iskusne korisnike. S druge strane, programiranje uz pomoć CAM softvera, poput Fusion-a, donosi brojne pogodnosti, osobito u smislu pojednostavljenja i automatizacije procesa. Fusion je osmišljen kako bi preuzeo većinu složenih zadataka a korisniku omogućuje intuitivno sučelje koje olakšava definiranje konačnih ciljeva. Program omogućava brzu izradu složenih programa za obradu, čime štedi vrijeme i smanjuje mogućnost pogrešaka. Ova fleksibilnost posebno je važna u modernom proizvodnom okruženju gdje je brzina ključna. Fusion također nudi napredne simulacije obrade što značajno pridonosi kvaliteti i preciznosti procesa izrade predmeta. Simulacija omogućava korisnicima da unaprijed vizualiziraju i provjere cjelokupni proces obrade, uključujući putanje alata, odabir reznih parametara i potencijalne probleme poput sudara alata.

Jedna od glavnih prednosti VPS-a je što je izravno integriran u sam stroj, eliminirajući potrebu za prijenosom podataka s računala na stroj. To ubrzava cijeli proces proizvodnje i osigurava neprekinuti tijek rada bez dodatnih koraka prijenosa podataka. Ovisno o specifičnim zahtjevima VPS je idealan za brzu i direktnu obradu dok Fusion pruža veću slobodu u modeliranju i pripremi kompleksnih projekata. Ova dva pristupa se međusobno nadopunjuju pružajući najbolje rezultate.

## 6. Literatura

- [1] M. Bušić; 1. predavanje – ALATNI STROJEVI, predavanje iz kolegija „Alatni strojevi“
- [2] M. Bušić; CNC obradni sustavi P1, predavanje iz kolegija „CNC obradni sustavi“
- [3] M. Bušić; 4. predavanje – SKLOPOVI ALATNIH STROJEVA: POSTOLJA, predavanje iz kolegija „Alatni strojevi“
- [4] Z. Botak; 02-Osnove-OOC, predavanje iz kolegija „Tehnologija 1“
- [5] <https://nabatech.eu/hr/usluge/3-osno-cnc-glodanje/>, dostupno 14.7.2024.
- [6] <https://testbook.com/mechanical-engineering/milling-machine-diagram-parts-and-types>, dostupno 14.7.2024.
- [7] Z. Botak; 05 - Glodanje, predavanje iz kolegija „Tehnologija 1“
- [8] M. Bušić; 6. predavanje – Alati za alatne strojeve, pribor za stezanje alata, pribor za stezanje obratka, predavanje iz kolegija „Alatni strojevi“
- [9] M. Bušić; 8. predavanje – CNC obradni sustavi, predavanje iz kolegija „Alatni strojevi“
- [10] <https://metal-kovis.hr/shop/cijena/cnc-glodalica-xk7121-siemens-808d-cnc-controller>, dostupno 14.7.2024.
- [11] M. Bušić; CNC obradni sustavi P7, predavanje iz kolegija „CNC obradni sustavi“
- [12] M. Bušić; CNC obradni sustavi P8, predavanje iz kolegija „CNC obradni sustavi“
- [13] M. Bušić; CNC obradni sustavi P9, predavanje iz kolegija „CNC obradni sustavi“
- [14] <https://esirobotics.com/en/cnc-machining-line-for-aluminum-parts/>, dostupno 26.7.2024.
- [15] <https://www.exapro.com/waldrich-coburg-20-10-fp-280-p211105151/>, dostupno 27.7.2024.
- [16] <https://tinyurl.com/2fd5peh3>, 9:44, dostupno 27.4.2024.
- [17] <https://www.haascnc.com/machines/desktop-machines/desktop-mill.html>, dostupno 28.7.2024.
- [18] <https://tinyurl.com/43786k6n>, dostupno 28.7.2024.

- [19] <https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english---mill-ngc---operator's-manual---2022.pdf>, dostupno 28.7.2024.
- [20] S. Šolić; Tehnologija prerade polimera - podloge za predavanja 2023-2024, predavanje iz kolegija „Tehnologija 2“
- [21] <https://tinyurl.com/ncutp278>, dostupno 29.7.2024.
- [22] <https://strojopromet.com/industrijska-plastika/>, dostupno 29.7.2024.
- [23] <https://tinyurl.com/43smv2tu>, dostupno 29.7.2024.
- [24] <https://www.osawa.it/>, dostupno 29.7.2024.
- [25] <https://tinyurl.com/53wzy8e2>, dostupno 29.7.2024.
- [26] <https://www.haascnc.com/hr/productivity/control/vps.html>, dostupno 30.7.2024.
- [27] <https://www.haascnc.com/hr/productivity/control.html>, dostupno 30.7.2024.
- [28] <https://www.autodesk.com/solutions/what-is-fusion-360>, dostupno 31.7.2024.
- [29] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>, dostupno 31.7.2024.

## Popis slika

Slika 1. Prikaz procesa glodanja [5] .....	2
Slika 2. Osnovni dijelovi glodalice [7] .....	3
Slika 3. Prikaz istosmjernog glodanja [3].....	4
Slika 4. Prikaz protusmjernog glodanja [3] .....	4
Slika 5. Prikaz obodnog glodanja [8] .....	5
Slika 6. Prikaz čeonog glodanja [8].....	6
Slika 7. Prikaz nekih postupaka glodanja [8] .....	6
Slika 8. Podjela alatnih strojeva prema tehnološkom prostoru [9].....	7
Slika 9. Prikaz klasične glodalice .....	8
Slika 10. Prikaz CNC glodalice [10] .....	8
Slika 11. Glodaći obradni centar [11].....	9
Slika 12. Automatska izmjena alata [11].....	9
Slika 13. Glodaća obradna ćelija [12] .....	10
Slika 14. Izmjena obratka pomoću robota [12] .....	10
Slika 15. Izmjena obratka pomoću paletnog sustava [12] .....	10
Slika 16. Fleksibilni glodaći obradni sustav [14] .....	11
Slika 17. Specijalna portalna glodalica [15] .....	12
Slika 18. Primjer ostalih specijalnih glodalica [16].....	12
Slika 19. Primjer rotofer i transfer glodaće linije [13] .....	13
Slika 20. Rotofer glodaća linija [13] .....	13
Slika 21. Transfer glodaća linija [13] .....	13
Slika 22. Haas Desktop Mill [17] .....	14
Slika 23. Prikaz specifikacija stroja na pločici .....	15
Slika 24. ER11 stezna glava [18].....	15
Slika 25. Prikaz upravljačke jedinice stroja.....	16
Slika 26. Prikaz prednjeg panela .....	17
Slika 27. Prikaz tipkovnice .....	18
Slika 28. Prikaz bočnog dodatka.....	19
Slika 29. Tehnički crtež izratka .....	20
Slika 30. Prikaz sirovca .....	21
Slika 31. Monomer polietilena [21].....	21
Slika 32. Dvostruki viličasti ključevi 13 i 17 [23].....	22
Slika 33. Glodalo Ø6.....	22

Slika 34. Informacije o glodalu Ø3 na stranici od proizvođača OSAWA [24] .....	23
Slika 35. Prikaz stege.....	23
Slika 36. Podesivi francuski ključ [25].....	23
Slika 37. Tipka za uključivanje .....	24
Slika 38. Prikaz pokretanja zaslona .....	24
Slika 39. Prikaz Haas start up sučelja prije podizanja vrata kućišta.....	24
Slika 40. Prikaz Haas start up sučelja nakon podizanja vrata kućišta .....	25
Slika 41. Tipka za napajanje.....	25
Slika 42. Tipka za pokretanje ciklusa .....	25
Slika 43. Tipka za ručno pomicanje .....	26
Slika 44. Tipke za pomicanje alata u određenom smjeru .....	26
Slika 45. Kotačić za ručno pomicanje .....	27
Slika 46. VPS sučelje [27].....	28
Slika 47. Prikaz Fusion programa.....	29
Slika 48. Prikaz upozorenja prije obrade .....	30
Slika 49. Prikaz G-koda za zagrijavanje.....	30
Slika 50. Prikaz prvog skraćivanja .....	34
Slika 51. Prikaz ekrana prilikom obrade .....	34
Slika 52. Prikaz drugog skraćivanja .....	35
Slika 53. Prikaz ekrana prilikom obrade .....	35
Slika 54. Prikaz 3D obratka.....	36
Slika 55. Prikaz obratka i priprema u programu Fusion.....	37
Slika 56. Prikaz odabira stroja, obrade i nultočke .....	37
Slika 57. Prikaz opcija za priprema .....	37
Slika 58. Prikaz pozicije obratka na stroju .....	38
Slika 59. Prikaz informacija za G-kod.....	38
Slika 60. Prikaz preporučenih parametara za glodalo Ø6.....	38
Slika 61. Prikaz putanje alata .....	38
Slika 62. Prikaz simulacije .....	39
Slika 63. Prikaz generiranja G-koda.....	39
Slika 64. Prikaz generiranog G-koda u mapi.....	40
Slika 65. Prikaz obratka nakon glodanja otoka .....	42
Slika 66. Prikaz 3D obratka.....	42
Slika 67. Prikaz obratka i priprema u programu Fusion.....	43
Slika 68. Prikaz odabira stroja, obrade i nultočke .....	43

Slika 69. Prikaz opcija za pripremak .....	43
Slika 70. Prikaz pozicije obratka na stroju .....	43
Slika 71. Prikaz informacija za G-kod.....	43
Slika 72. Prikaz preporučenih parametara za glodalo Ø3 .....	44
Slika 73. Prikaz putanje alata .....	44
Slika 74. Prikaz simulacije .....	44
Slika 75. Prikaz obratka tijekom izrade džepa .....	46
Slika 76. Prikaz gotovog izratka.....	47



## **Popis tablica**

Tablica 1. Kod za prvo poravnanje.....	32
Tablica 2. Kod za drugo poravnanje.....	33
Tablica 3. Kod za skraćivanje.....	34
Tablica 4. Kod za izradu otoka.....	41
Tablica 5. Kod za izradu džepa .....	45
Tablica 6. Rezultati mjerenja.....	47

## **Prilozi**

Priložena je tehnička dokumentacija predmeta



### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Fran Ivan Novak (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Izrada CNC koda za obradu koristejem CAM programom (upisati naslov) te da u ~~radu ili kopiranju u svrhu učenja, predavanja~~ navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

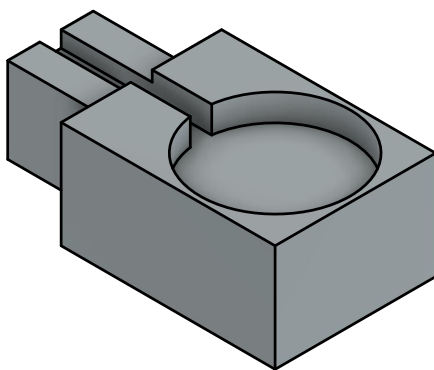
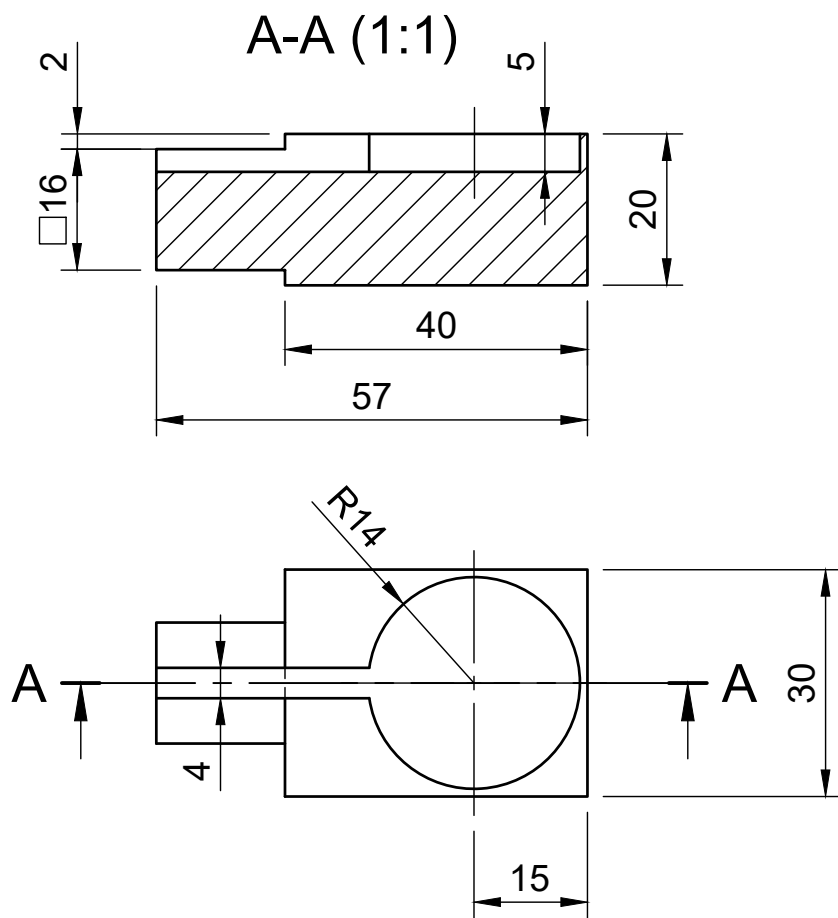
Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Fran Ivan Novak  
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.



Dept.	Technical reference	Created by <b>Fran Ivan Novak 2.5.2024.</b>	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Držac</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>1/1</b>