

# Utjecaj parametara obrade na točnost dimenzija pri glodanju polimera PA 6

---

Sakač, Marija

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:122:375930>

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

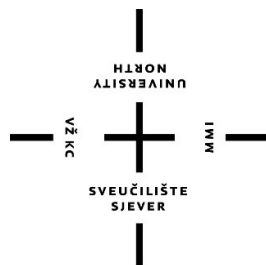
Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

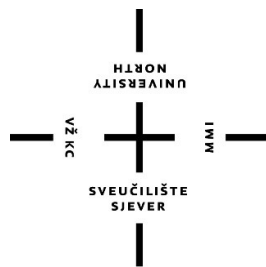
**Završni rad br. 436/PS/2024**

**Utjecaj parametara obrade na točnost dimenzija pri  
glodanju polimera PA 6**

**Marija Sakač, 0336052912**

Varaždin, rujan 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za strojarstvo

Završni rad br. 436/PS/2024

## Utjecaj parametara obrade na točnost dimenzija pri glodanju polimera PA6

**Student**

Marija Sakač, 0336052912

**Mentor**

doc. dr. sc. Matija Bušić, dipl.ing.stroj.

Varaždin, rujan 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Marija Sakač

JMBAG 0336052912

DATUM 11.09.2024.

KOLEGIJ CNC obradni sustavi

NASLOV RADA Utjecaj parametara obrade na točnost dimenzija pri glodanju polimera PA 6

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Influence of processing parameters on dimensional accuracy in milling of PA 6 polymer

MENTOR dr. sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

- doc. dr. sc. Tomislav Veliki, predsjednik povjerenstva
- doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
- Marko Horvat, dipl. ing., član povjerenstva
- doc. dr. sc. Tomislav Veliki, zamjenski član
- 

## Zadatak završnog rada

BROJ 436/PS/2024

OPIS

U završnom radu pristupnica treba na temelju literaturnih podataka proučiti i opisati način rada i mogućnosti CNC glodaćih alatnih strojeva. Posebno detaljno obraditi preciznosti u pozicioniranju i točnost u obradi ovakvih strojeva. Proučiti način rada stolne CNC glodalice Haas Desktop Mill te opisati ugrađeno programsko sučelje.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je korištenjem programskog predloška (VPS - Visual Programming System) izraditi program za izradu kružnog utora u polimeru PA6. Provesti obradu na više uzoraka uz promjenu parametara obrade. Ručnim pomičnim mjerilom provesti mjerenje dimenzija na obrađenim površinama te ocijeniti točnost obrade. Donijeti vlastiti zaključak o rezultatima provedenog eksperimenta. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

12.09.2024.



POTPIS MENTORA

M. Bušić

## **Predgovor**

Izjavljujem da sam ovaj rad napisala samostalno koristeći navedenu literaturu i znanje stečeno tijekom studija.

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Matiji Bušiću na savjetima i strpljenju pruženim tijekom izrade završnog rada.

Zahvaljujem i svojoj obitelji na pruženoj podršci tokom cijelog studija.

## **Sažetak**

Ovaj rad govori o postupku odvajanja čestica koji se naziva glodanje, silama koje se javljaju i utjecajnim parametrima za glodanje. Govori se o alatima za glodanje, o podjeli glodalica te pobliže opisuje svaku od glodalica. Spominju se i načini automatizacije izmjene obradaka na radnom stolu glodalice. Rad opisuje način rada enkodera, uređaja koji su glavni element mjernih sustava NC strojeva te navodi najčešću podjelu mjernih sustava. Opisana je CNC glodalica Haas Desktop Mill i Haas upravljačka jedinica. Opisano je i programiranje pomoću VPS-a. Predstavljani su polimeri i opisana su svojstva poliamida 6. U eksperimentalnom dijelu se pomoću VPS-a programira kod za obradu i obrađuju se četiri komada s različitom brzinom posmaka. Analizira se utjecaj posmaka na točnost izrade.

Ključne riječi: Glodanje, mjerni sustavi, Haas Desktop Mill, VPS, PA-6, posmak

## Summary

This paper discusses the particle separation process known as milling, the forces that occur, and the influential parameters for milling. It covers milling tools, the classification of milling machines, and provides a detailed description of each type of milling machine. The methods of automating the change of workpieces on the milling machine table are also mentioned. The paper describes the operation of encoders, which are the main element of measurement systems in CNC machines, and lists the most common classifications of measurement systems. The CNC milling machine Haas Desktop Mill and the Haas control unit are described. Programming using VPS is also explained. Polymers are presented, with a focus on the properties of polyamide 6. In the experimental part, code for machining is programmed using VPS, and four pieces are machined at different feed rates. The impact of feed rate on manufacturing accuracy is analyzed.

Keywords: Milling, measurement systems, Haas Desktop Mill, VPS, PA-6, feed rate.



## **Popis korištenih kratica**

|             |   |
|-------------|---|
| <b>NC</b>   | Numeričko upravljanje<br>Numerical control                    |
| <b>GOC</b>  | Glodači obradni centar<br>Milling machining center            |
| <b>CNC</b>  | Računalno numeričko upravljanje<br>Computer numerical control |
| <b>VPS</b>  | Sustav za vizualno upravljanje<br>Visual programming system   |
| <b>PA-6</b> | Poliamid 6<br>Polyamide 6                                     |

## Popis oznaka

| OZNAKA            | OPIS OZNAKE                     | MJERNA JEDINICA      |
|-------------------|---------------------------------|----------------------|
| $v_c$             | brzina glavnog gibanja          | m/min                |
| $D$               | promjer                         | mm                   |
| $n$               | broj okretaja                   | okr/min              |
| $v_f$             | posmična brzina                 | m/min                |
| $f$               | posmak                          | mm                   |
| $f_z$             | posmak po zubu                  | mm                   |
| $z$               | broj zubi                       |                      |
| $F_{g,sr}$        | glavna sila rezanja             | N                    |
| $z_z$             | broj zubi u zahvatu             |                      |
| $F_{gz,sr}$       | glavna sila rezanja po zubu     | N                    |
| $A_{sr}$          | površina odrezane strugotine    | mm <sup>2</sup>      |
| $f_{s,sr}$        | srednja specifična sila rezanja | N/mm <sup>2</sup>    |
| $\varphi_o$       | kut zahvata glodala             | °                    |
| $b_o$             | širina komada, odnosno glodala  | mm                   |
| $h_{sr}$          | srednja debljina strugotine     | mm                   |
| $b$               | širina strugotine               | mm                   |
| $V$               | volumen skinute strugotine      | mm <sup>3</sup> /min |
| $a_p$             | dubina rezanja                  | mm                   |
| $f_{s,1\times 1}$ | specifična sila rezanja         | N/mm <sup>2</sup>    |
| $z_1$             | eksponent strugotine            |                      |



# Sadržaj

|        |                                   |    |
|--------|-----------------------------------|----|
| 1.     | Uvod .....                        | 1  |
| 2.     | Glodanje.....                     | 2  |
| 2.1.   | Sile rezanja .....                | 3  |
| 2.2.   | Alati za glodanje .....           | 4  |
| 2.3.   | Glodalice .....                   | 5  |
| 2.3.1. | <i>Vrste glodalica</i> .....      | 5  |
| 3.     | Preciznost alatnih strojeva ..... | 10 |
| 3.1.   | Mjerni sustavi .....              | 10 |
| 4.     | Haas .....                        | 13 |
| 4.1.   | Haas Desktop Mill .....           | 13 |
| 4.1.1. | <i>Upravljačka jedinica</i> ..... | 13 |
| 4.1.2. | <i>Zaslona</i> .....              | 14 |
| 4.1.3. | <i>VPS</i> .....                  | 15 |
| 5.     | Eksperimentalni dio.....          | 17 |
| 5.1.   | Sirovac.....                      | 17 |
| 5.2.   | Unos parametara obrade.....       | 18 |
| 5.3.   | Obrada .....                      | 28 |
| 5.4.   | Mjerenje.....                     | 29 |
| 5.5.   | Analiza rezultata .....           | 30 |
| 6.     | Zaključak.....                    | 32 |
| 7.     | Literatura.....                   | 33 |

## 1. Uvod

Glodanje je jedna od najzastupljenijih vrsta obrade odvajanjem čestica sadašnjice. To omogućavaju glodalice, strojevi za glodanje, i njihova visoka prilagodljivost vrsti obrade. Njihova mogućnost izrade raznih oblika, bušenja, izrade utora, mogućnost obrade metalnih i nemetalnih materijala te ponovljivost izrade točnih i uniformnih predmeta. Svestranost glodanja ga čini upotrebljivim u mnogim industrijama. Koriti se u zrakoplovnoj industriji, metalo i drvo prerađivačkoj industriji, u medicini za izradu kirurških alata i implantata. Prikladnost materijala za obradu glodanjem ovisi o tvrdoći materijala, obradivosti materijala i o načinu obrade. Materijali koji se obrađuju su razni metali, polimeri, drvo, keramika, kompozitni materijali i staklo. Što je započelo sa ručnim turpijanjem i pojedinačnom proizvodnjom, danas su visoko automatizirani, velikoserijski strojevi. Glodalice imaju veliki raspon izvedba, od jednostavnih, ručno upravljanih glodalica do CNC strojeva koji mogu vršiti obradu danonoćno bez potrebe za prisustvom operatera [1].

## 2. Glodanje

Glodanje je proces obrade odvajanjem čestica rotacijom alata ravnih i zakrivljenih površina. Glavno gibanje je rotacijsko i izvodi ga alat. Postiže se pomoću izmjeničnog motora i glavnog vretena ili pomoću motorvretena. Brzina glavnog gibanja ili brzina rezanja,  $v_c$ , se računa preko formule (1).

$$v_c = D \cdot \pi \cdot n, \text{ m/min} \quad (1)$$

$D$  predstavlja promjer alata u milimetrima, mm, a  $n$  predstavlja broj okretaja alata u minuti,  $\text{min}^{-1}$ . Posmično gibanje, koje može izvoditi alat ili obradak, je pravocrtno. Postiže se trapeznim navojnim vretenom i dvodijelnom maticom, zupčanikom i zupčanom letvom, kugličnim navojnim vretenom i dvodijelnom maticom ili linearnim motorom. Iznos posmične brzine,  $v_f$ , se dobiva po formuli (2).

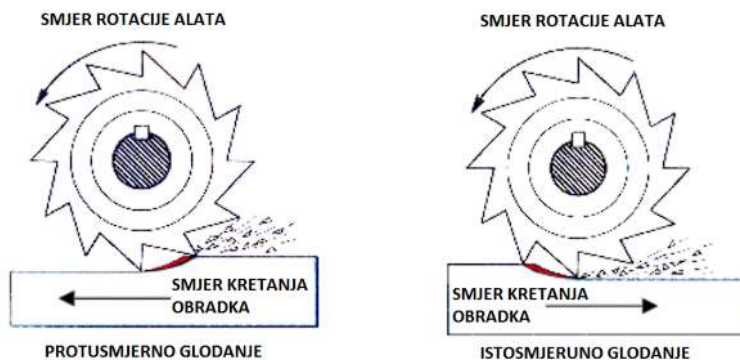
$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n, \text{ mm/min} \quad (2)$$

U formuli (2)  $f_z$  predstavlja posmak po zubu, mm, a  $z$  predstavlja broj zubi.

Glodanjem se mogu izraditi razni utori, džepovi, kosine, rupe, navoji, ravne površine itd[1].

Podjela glodanja može biti:

- Prema kvaliteti obrađene površine
  - grubo
  - završno
- Prema kinematici postupka
  - protusmjerno - podrazumijeva da se alat rotira u suprotnom smjeru od gibanja obratka (Slika 1.).
  - istosmjerno - alat i obradak kreću se u istom smjeru (Slika 2.1).



Slika 1. Protusmjerno i istosmjerno glodanje [3]

- Prema položaju reznih oštrica na glodalu
  - obodno
  - čeonu [2]

## 2.1. Sile rezanja

Na alatu za glodanje se nalazi broj zuba koji zahvaćaju obradak i odvajaju čestice s njega. Sila rezanja potrebna se računa prema formuli (3).

$$F_{g, sr} = z_z \cdot F_{gz, sr} = A_{sr} \cdot f_{s, sr} \quad (3)$$

U formuli  $F_{g, sr}$  predstavlja glavnu silu rezanja u njutnima, N,  $z_z$  je broj zubi u zahvatu, računa se po formuli (4),  $F_{gz, sr}$  je srednja glavna sila rezanja po zubu glodala, N i računa se po formuli (5) ako je riječ o obodnom plošnom glodanju i po formuli (6) ako se radi o čeonom plošnom glodanju.

$$z_z = \left( \varphi_o \cdot \frac{z}{360^\circ} \right) \quad (4)$$

U formuli (4)  $\varphi_o$  predstavlja kut zahvata glodala u stupnjevima, °.

$$F_{gz, sr} = b_o \cdot h_{sr} \cdot f_{s, sr} \quad (5)$$

U formuli (5)  $b_o$  predstavlja širinu komada odnosno glodala, mm.

$$F_{gz, sr} = b \cdot h_{sr} \cdot f_{s, sr} \quad (6)$$

U formuli (6)  $b$  predstavlja širinu strugotine, mm.

Drugi dio formule sastoji se od  $A_{sr}$  što je površina odrezane strugotine u kvadratnim milimetrima, mm<sup>2</sup> i dobije se preko formule (7) i od  $f_{s, sr}$ , srednje specifične sile rezanja u njutnima po kvadratnom milimetru, N/mm<sup>2</sup>, i dobiva se po formuli (9).

$$A_{sr} = \frac{V}{1000 \cdot v_c} \quad (7)$$

U formuli (7)  $V$  predstavlja volumen skinute strugotine u milimetrima kubnim po minuti, mm<sup>3</sup>/min, i računa se po formuli (8), a  $v_c$  predstavlja brzinu rezanja po formuli (1).

$$V = a_p \cdot b_o \cdot v_f \quad (8)$$

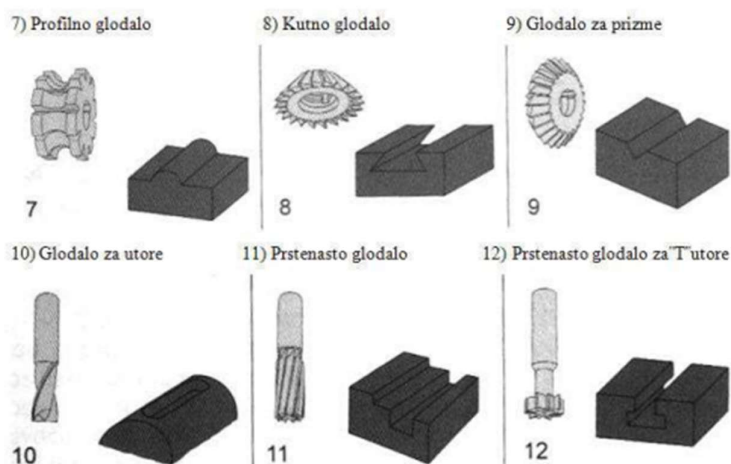
U formuli (8)  $a_p$  predstavlja dubinu rezanja, mm,  $b_o$  predstavlja širinu obrade, mm, a  $v_f$  posmičnu brzinu po formuli (2).

$$f_{s, sr} = \frac{f_{s1 \times 1}}{h_{sr}^{z_1}} \quad (9)$$

U formuli (9)  $f_{s1 \times 1}$  predstavlja specifičnu silu rezanja, N/mm<sup>2</sup>, i vadi se iz tablica tokarenja,  $h_{sr}$  predstavlja srednju debljinu strugotine, mm,  $z_1$  predstavlja eksponent strugotine koji je ovisan o materijalu obratka i dobiva se iz tablica tokarenja [1].

## 2.2. Alati za glodanje

Alati za glodanje dolaze u različitim oblicima koji ovise o potrebnom profilu nakon obrade. Prema profilu glodalo može biti profilno, kutno, glodalo za prizme, glodalo za utore, prstasto glodalo, prstasto za „T“ utore. Primjeri tih glodala se mogu vidjeti na slici 2. Na slici 3. se nalaze još nekoliko primjera glodala, to su profilno glodalo za skošenja (1), prstasto glodalo s tri zuba (2) i prstasto glodalo sa sedam zuba (3).



Slika 2. Vrste glodala [4]

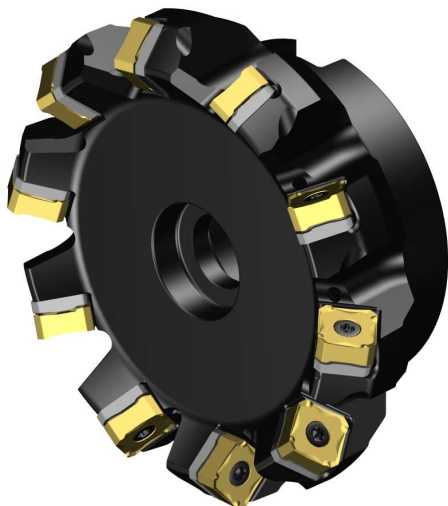


Slika 3. Profilno glodalo, prstasto glodalo s tri zuba [5] i prstasto glodalo sa sedam zuba [6]

Materijali iz kojih se izrađuju rezni dijelovi glodala uvijek moraju biti tvrdi od materijala koji se obrađuje. Materijali obradaka se u katalozima označuju sa slovima; P – čelik; M – nehrđajući čelik; K – lijevano željezo; N – metali koji nisu željezo; S – superlegure i titanij; H – tvrdi materijali; O – ostali materijali [5]. Pri odabiru materijala alate se gleda njihova cijena, tvrdoća, temperature rada. Glodala mogu biti cijela izrađena od jednog materijala ili sa izmjenjivim



oštricama. Na slici 4. se nalazi čeono glodalo s izmjenjivim oštricama, a na slici 5. se nalazi nekoliko primjera izmjenjivih oštrica. Materijali za izradu reznih dijelova glodala su brzorezni čelik, tvrdi metal, cermet, keramika i kubni bor nitrid, a cijelo glodalo izrađuje se od brzoreznih čelika [3].



Slika 4. Čeono glodalo s izmjenjivim oštricama [5]



Slika 5. Izmjenjive oštrice [5]

## 2.3. Glodalice

S razvojem industrije došlo je do potrebe za izradom predmeta koji su identični, tako su nastale glodalice. Glodalice su mogle postići rezultate koje majstori ručno nisu mogli replicirati. Upotrebom numeričkog upravljanja (NC) proces obrade se je ubrzao, postao precizniji i učinkovitiji od ručnog upravljanja strojem [1].

### 2.3.1. Vrste glodalica

Ovisno o obliku, dimenzijama i geometriji predmeta koji se obrađuje su se razvile glodalice koje imaju veliki raspon mogućnosti. Glodalice se mogu dijeliti po broju radnih osi i prema konstrukciji.

Prema konstrukciji glodalice mogu biti:

- Univerzalna glodalica (Slika 6.)  
Glavno vreteno kod univerzalne glodalice može biti u horizontalnom smjeru ili u vertikalnom smjeru što omogućuje promjenu smjera obrade.



*Slika 6. Univerzalna glodalica [7]*

- Horizontalna glodalica (Slika 7.)  
Glavno vreteno je postavljeno u horizontalnom smjeru.



*Slika 7. Horizontalna glodalica [8]*

- Vertikalna glodalica (slika 8.)  
Kod vertikalnih glodalica glavno vreteno je postavljeno u vertikalnom smjeru.



*Slika 8. Vertikalna glodalica [9]*

- Portalna glodalica (Slika 9.)

Portalne glodalice služe za obradu elemenata velikih dimenzija, a ime su dobile po obliku konstrukcije. Mogu biti izvedene sa pomičnim stolom i sa pomičnim portalom.



*Slika 9. Portalna glodalica [10]*

- Glodaći obradni centri (Slika 10.)

Glodaći obradni centri namijenjeni su za obradu uglavnom prizmatičnih obradaka. Zbog pokretne osi glavnog vretena i okretnog radnog stola moguće je u jednom stezanju obraditi sve slobodne površine. Kod GOC se podrazumijeva i automatska izmjena alata [12].



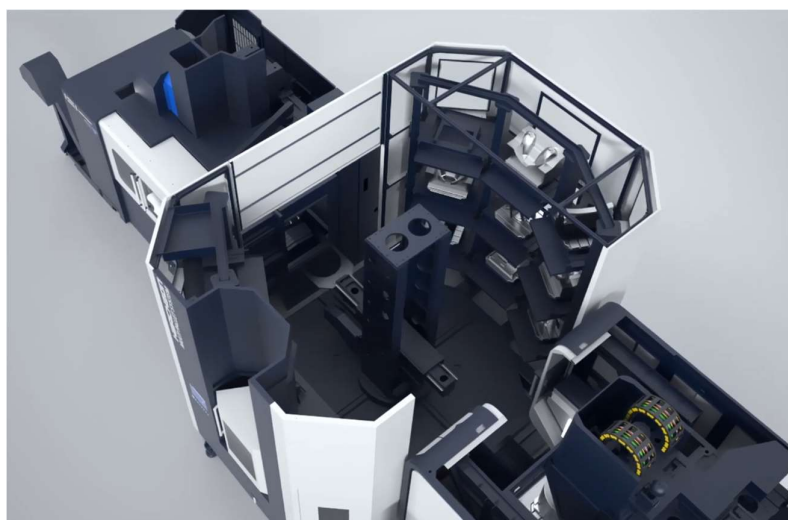
*Slika 10. Glodači obradni centar [11]*

- Glodača obradna ćelija

Glodaće obradne ćelije su numerički upravljani strojevi namijenjeni za srednje serijsku proizvodnju. Odlikuju se automatskom izmjenom alata i spremištem alata te automatskom izmjenom obradaka i spremištem obradaka koji omogućuju autonoman rad. Automatska izmjena obradaka se može izvesti pomoću manipulatora, robota, paleta, spremišta ili pomoću okretnog manipulacijskog dvopaletnog stola [13]. Na slici 11. se nalazi robotska ruka sa spremištem obradaka u ladicama. Slika 12. prikazuje višepaletni sustav koji ima mogućnost posluživanja dva stroja od jednom, a slika 13. prikazuje kako spremište paleta izgleda izvana.



*Slika 11. Robotska ruka i ladicama DMG MORI [14]*



*Slika 12. Višepaletni sustav Hwacheon [15]*



*Slika 13. Vanjski izgled višepaletnog sustava Matsuura [16]*

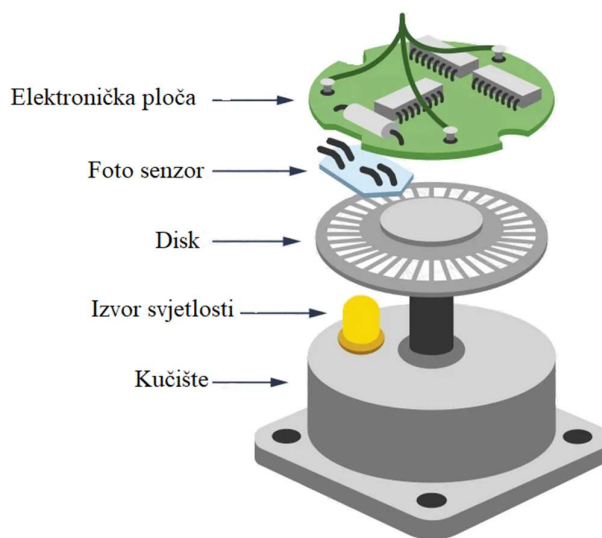
### 3. Preciznost alatnih strojeva

Na preciznost i točnost alatnih strojeva utjecaj može imati nekoliko elemenata:

- Pogrešno stegnuti sirovac
- Oštećenja na alatu
- Pogrešno pozicioniranje alata
- Zagrijavanje alata koje mijenja njegovu geometriju

#### 3.1. Mjerni sustavi

Da bi se konzistentno dobivali točni rezultati obrade točnosti i do tisućinke milimetra, potrebni su sustavi koji s pouzdanjem to mogu ostvariti. Za točno pozicioniranje se koriste enkoderi i senzori. Enkoderi su uređaji za praćenje položaja koji koriste foto senzore za primanje svjetlosnih zraka koje prolaze kroz otvore na rotirajućem disku ili letvi. Foto senzor generira električni puls svaki put kad svjetlo prođe kroz proreze. Zasebni upravljački uređaj može pratiti trenutni položaj motora, brzinu i broj okretaja brojeći električne pulsove. To daje preciznu povratnu informaciju koja se zatim koristi za kontrolu motora zaslužnog za pomicanje glavnog vretena [17]. Slika 14. osnovnu konstrukciju rotacijskog enkodera koja se sastoji od kućišta, izvora svjetlosti, diska, foto senzora i električne ploče.

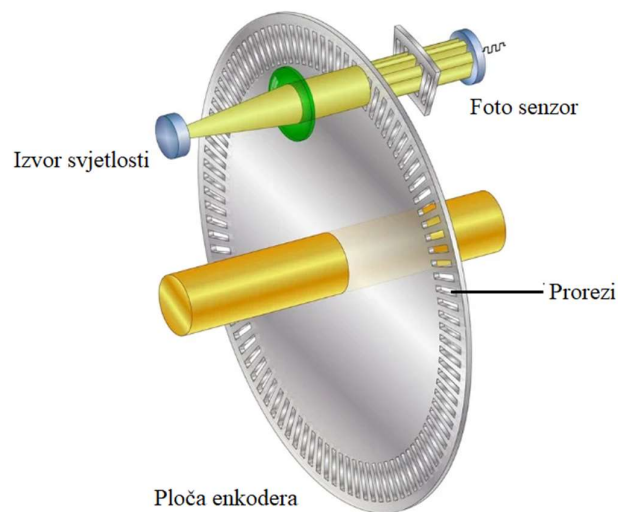


Slika 14. Osnovna konstrukcija enkodera [18]

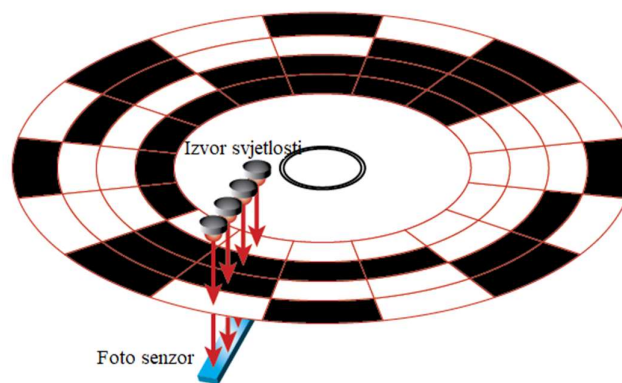
Mjerni sustavi NC strojeva se najčešće dijele [20]:

- Prema principu rada
  - Digitalni

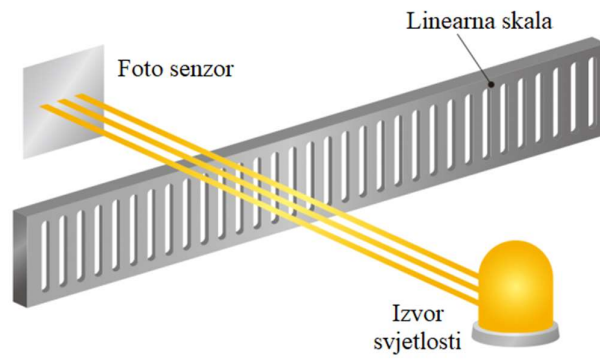
- Analogni
- Prema načinu mjerenja
  - Apsolutni (Slika 16.) – nema ovisnosti o ishodištu
  - Inkrementalni (slika 15., slika 17.) – potrebno je ishodište da bi se znala pozicija
- Prema mjestu ugradnje
  - Izravni
  - Posredni
- Prema izvedbi
  - Pravocrtni (Slika 17.)
  - Rotacijski (Slika 15.)



*Slika 15. Rotacijski, inkrementalni enkoder [17]*



*Slika 16. Rotacijski, apsolutni enkoder [21]*



*Slika 17. Pravocrtni, inkrementalni enkoder [19]*



## 4. Haas

Haas Automation je jedan od najvećih proizvođača CNC strojeva na svijetu sa sjedištem u Kaliforniji. Osnovao ju je Gene Haas 1983. godine. Ova tvrtka proizvodi CNC vertikalne obradne centre, horizontalne obradne centre, tokarske centre, 5-osne strojne centre i raznolike proizvode za automatizaciju proizvodnje [22].

### 4.1. Haas Desktop Mill

Haas Desktop Mill je stolna glodalica koja najčešće služi za obuku u školama i fakultetima. (slika 18.)



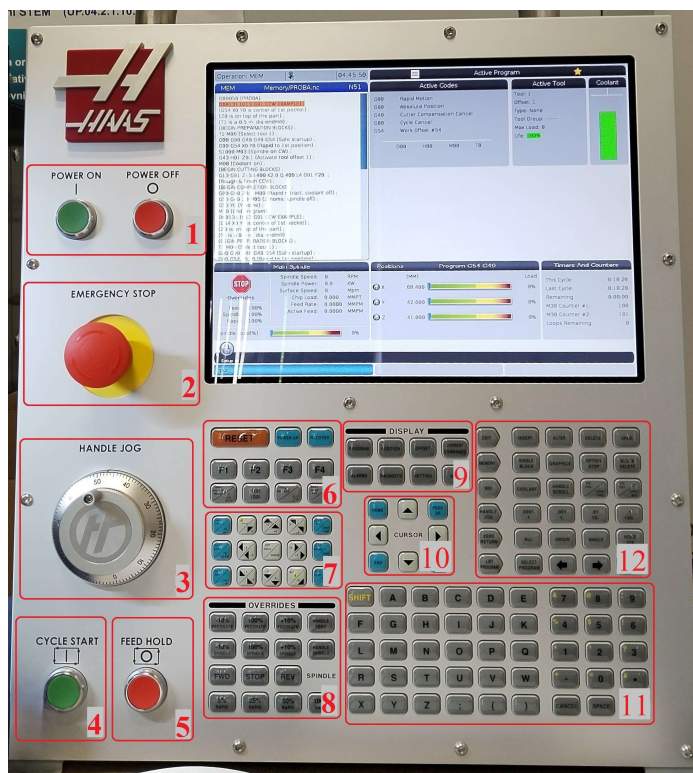
*Slika 18. Haas Desktop Mill [22]*

Ima potpuno funkcionalni sustav upravljanja Haas i sučelje koje isto na svim Haas strojevima. Alat se u X smjeru može micati 152 mm, u Y smjeru 254 mm, a u Z smjeru 76 mm. Maksimalna brzina okretanja vretena je 15000 okr/min, a maksimalni posmak je 3600 mm/min. Škripac na stolu ima jednu pomičnu čeljust koja se može pomicati uzduž Y osi [22].

#### 4.1.1. Upravljačka jedinica

Upravljačka jedinica (slika 19.) se može upravljati preko tipkovnice ili preko dodirnog zaslona, a na sebi ima još i tipke za uključivanje i isključivanje stroja (1), gumb za hitno zaustavljanje (2), ručicu za pomicanje vretena po osima (3), tipku za početak ciklusa (4) i tipku koja zaustavlja gibane alata u dok je program u tijeku (5). Tipkovnica se sastoji od funkcijskih tipaka (6), tipaka za pomicanje vretena (7), „overrides“ tipaka koje mijenjaju parametre tokom obrade (8), „display“

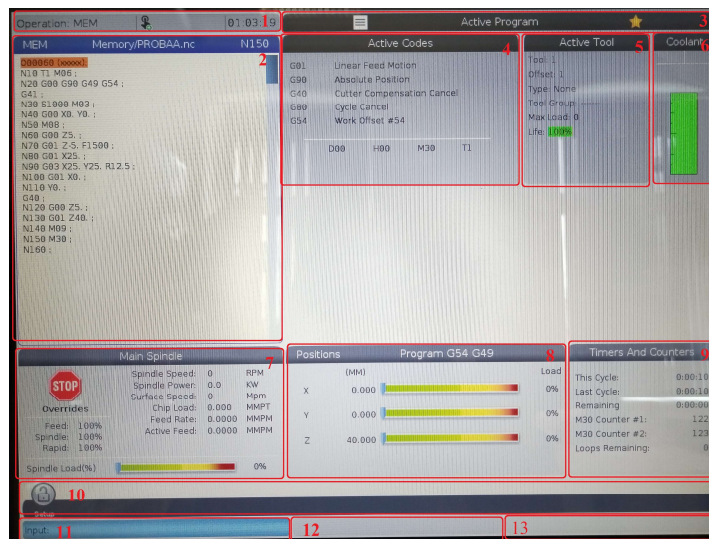
tipaka koje služe za odabir izbornika (9), „cursor“ tipaka za pomicanje po ekranu (10), tipaka za slova i brojeve (11) i tipaka za odabir način rada (12).



Slika 19. Upravljačka jedinica [25]

#### 4.1.2. Zaslom

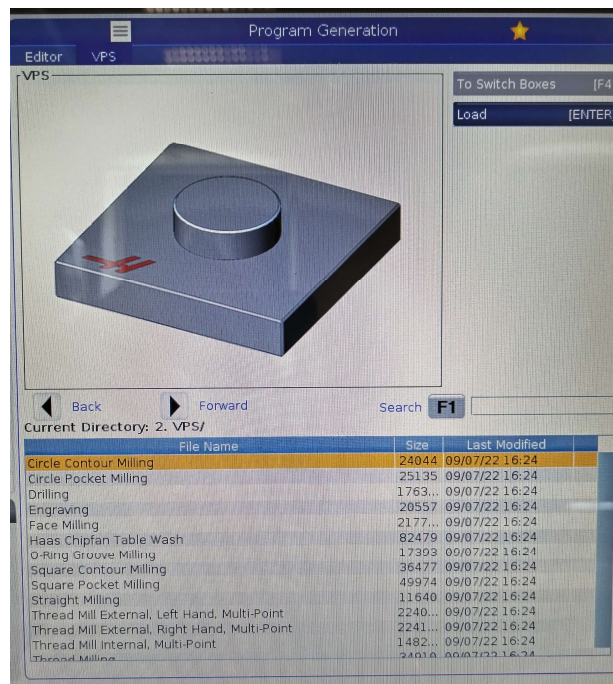
Sam zaslon je podijeljen na 13 dijelova (slika 20.). Način rada, mreža i vrijeme (1), program (2), Glavni zaslon koji se mijenja s obzirom na način rada (3), aktivni kod (4), aktivni alat (5), rashladno sredstvo (6), stanje vretena (7), prikaz položaja/opterećenje osi (8), tajmeri, brojači/upravljanje alatima (9), traka ikona (10), traka za unos (11), traka stanja sustava (12), alarm (13).



Slika 20. Zaslou [25]

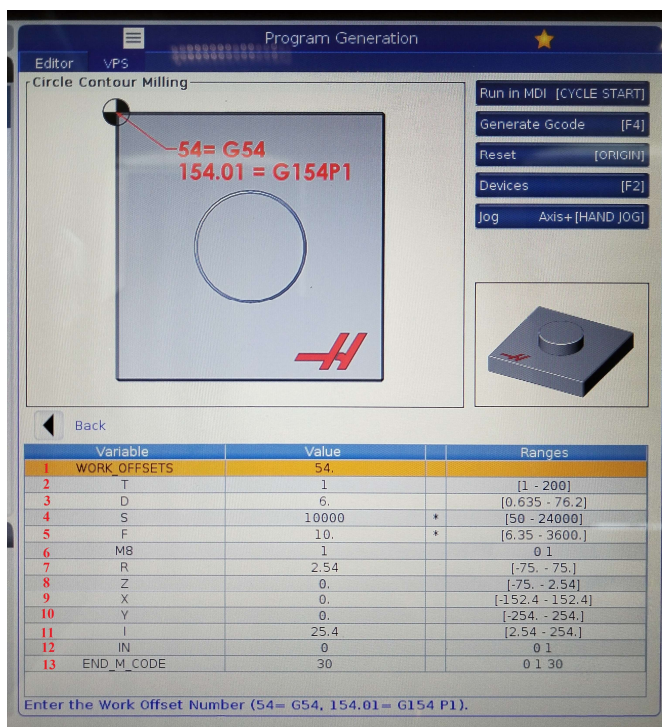
#### 4.1.3. VPS

VPS (Visual Programming System) ili vizualni sustav programiranja omogućava brzo programiranje pomoću predložaka. Postoje predlošci za kružno konturno glodanje, glodanje okruglog džepa, bušenje, graviranje, čeno glodanje, čišćenje stola, glodanje prstenastog utora, kvadratno konturno glodanje, glodanje kvadratnog džepa, glodanje utora, urezivanje vanjskog lijevojnog i desnog navoja i urezivanje unutarnjeg navoja (slika 21.).



Slika 21. VPS predlošci [25]

U predlošku se podešavaju razni parametri ovisno o kojem predlošku je riječ. Za kružno konturno glodanje, prema slici 22., ti parametri su: nultočka obratka (1), redni broj alata (2), dubina obrade (3), broj okretaja vretena (4), posmak (5), rashladno sredstvo (6), sigurnosna udaljenost alata (7), položaj nultočke po Z osi (8), udaljenost središta od središta do nultočke obratka po X osi (9), udaljenost središta od središta do nultočke obratka po Y osi (10), promjer (11), unutarnja ili vanjska kontura (12), kraj programa (13). U stupcu u sredini se nalaze odabrane vrijednosti parametar i to su jedina polja kojima se može mijenjati vrijednost. Na sasvim desnoj strani je stupac u kojem su prikazani raspon vrijednosti za pojedini parametar.



Slika 22. Parametri kružnog konturnog glodanja [25]

## 5. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu zadatak je bio obraditi četiri identična predmeta s različitom brzinom posmaka i utvrditi postoji li razlika u točnosti dimenzija. Zadatak se je provodio na Haas Desktop Mill-u, a program za obradu je izrađen pomoću VPS-a.

### 5.1. Sirovac

Za obradu su korištena četiri identična sirovca dimenzija  $\text{Ø}61,2 \text{ mm} \times 42,3 \text{ mm}$ , jedan od kojih je prikazan na slici 23.



*Slika 23. Sirovac [25]*

Materijal sirovca je poliamid (PA-6). Poliamid spada u skupinu polimera. Polimeri su s čelikom i keramikom među najvažnijim materijalima modernog doba. Polimeri su visokomolekulni spojevi nastali spajanjem monomera kovalentnim kemijskim vezama u makromolekule. Taj proces spajanja se naziva polimerizacija. Polimeri mogu nastati i procesom polikondenzacije, to je i proces kojim nastaje poliamid. Kod polikondenzacije osim makromolekula dolazi i do stvaranja nusprodukta kao vode, amonijaka ili klorovodik. Postupci prerade polimera se dijele na:

- Kontinuirane postupke: kalandriranje, kontinuirano prevlačenje i ekstrudiranje
- Cikličke postupke: lijevanje, srašćivanje i prešanje
- Postupke oblikovanja: toplo oblikovanje, hladno oblikovanje i istezanje
- Postupke puhanja šupljih tijela: ekstruzijsko puhanje i injekcijsko puhanje

Naknadno se polimeri mogu rezati spajati i prevlačiti. Ako je riječ o obradi odvajanjem čestica, polimeri se mogu obrađivati alatima i strojevima za obradu drva i metala uz neke posebnosti: rezni alat mora imati veliki prednji kut i biti vrlo oštar, a materijal oštrice bi trebao biti tvrdi metal ili tvrdi metal s prevlakom [23].

Svojstva poliamida su prikazana u tablici 1.

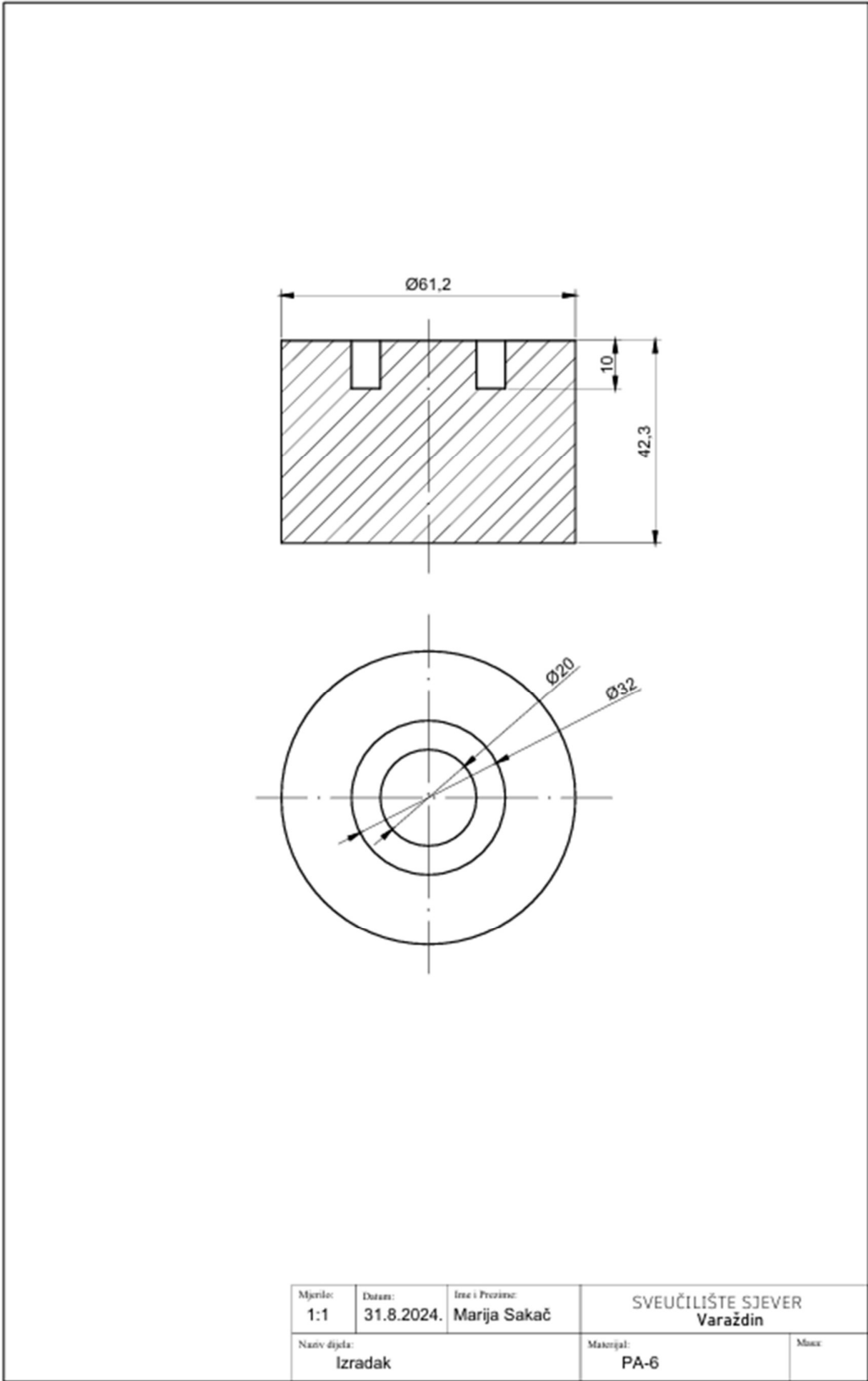
*Tablica 1. Svojstva poliamida*

| Svojstvo                           | Iznos za PA 6 |
|------------------------------------|---------------|
| Gustoća, g/cm <sup>3</sup>         | 1.08-1.14     |
| Vlačna čvrstoća, MPa               | 50-80         |
| Produljenje pri lomu, %            | 50-300        |
| Temperatura taljenja, °C           | 215-225       |
| Udarna žilavost (Izod metoda), J/m | 60-120        |

Svojstva kao mehanička čvrstoća, otpornost na trošenje i elastičnost čine poliamid čestim izborom za izradu raznih proizvoda. Poliamid se koristi za ležajeve i zupčanike, sportsku opremu, češljeve, vezice za kablove, konektore i kućišta za razne električne komponente, koristi se za proizvodnju najlonskih vlakana za odjeću [24].

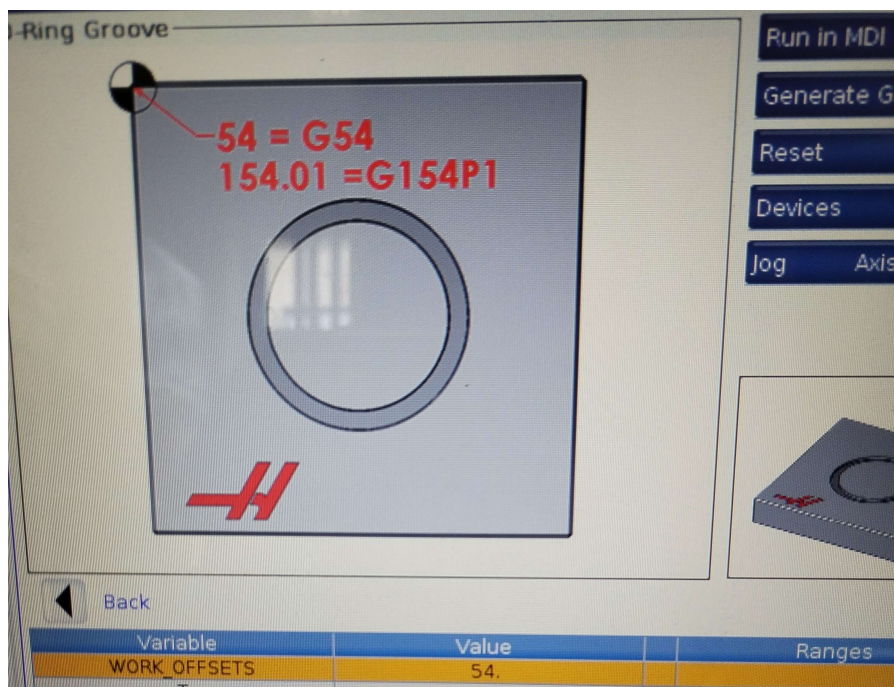
## 5.2. Unos parametara obrade

Program za obradu svih ispitnih komada je izrađen pomoću VPS predloška za prstenasti utor. Tehnički crtež izratka se nalazi na slici 24.



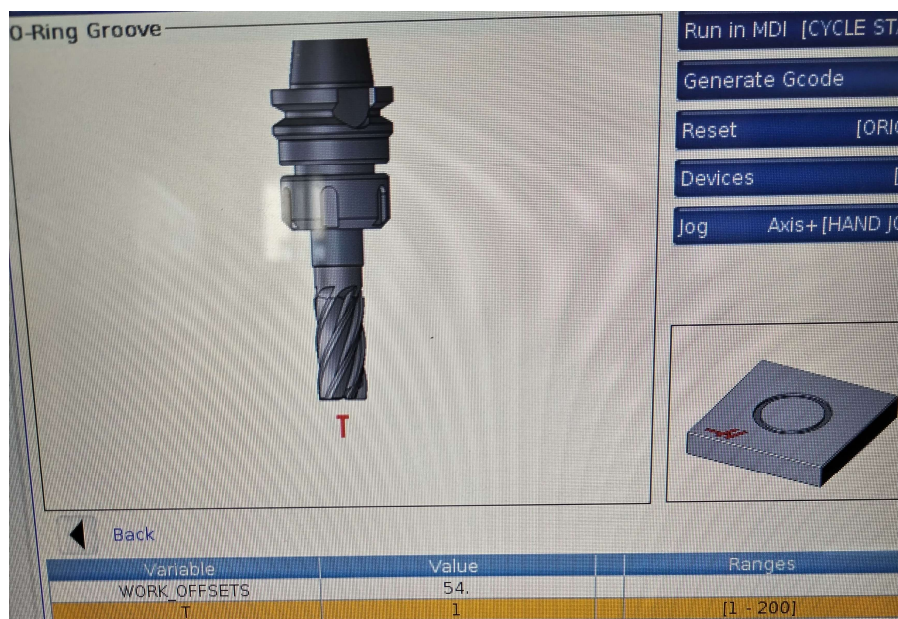
Slika 24. Tehnički crtež izratka [25]

Prvi parametar koji se traži je nultočka obratka (WORK\_OFFSETS), u ovom slučaju je to G54 i nalazi se na gornjoj površini predmeta, u središtu. Unesena vrijednost je „54.“ (Slika 25.)



Slika 25. Nultočka obratka [25]

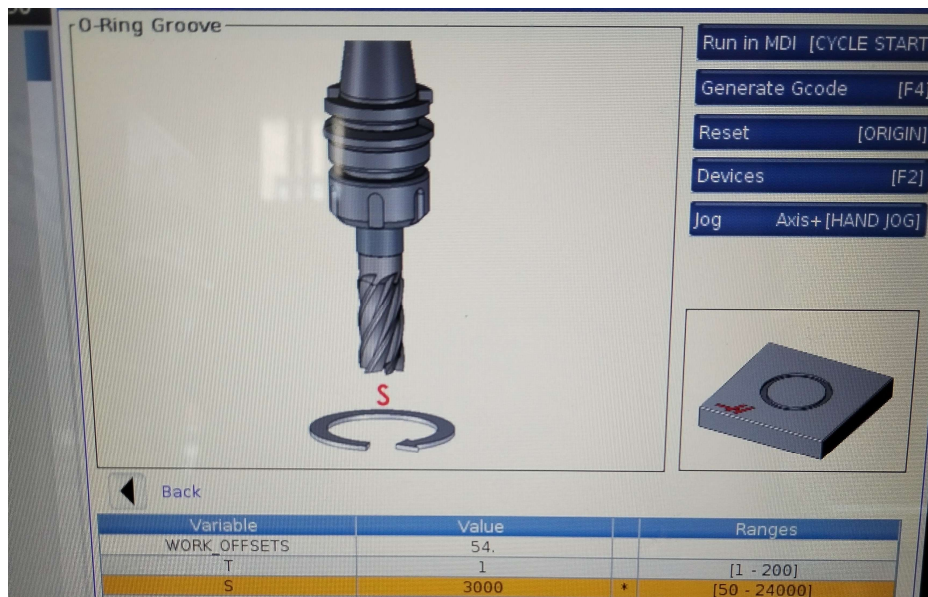
Drugi parametar je vezan uz odabir alata (T), pošto glodalica nema spremište alata, nema potrebe za mijenjanjem vrijednosti. (Slika 26.)



Slika 26. Alat [25]

Treći parametar je broj okretaja glavnog vretena (S). Maksimalni broj okretaja je 15000 okr/min, a odabrana vrijednost je 3000 okr/min. (Slika 27.)



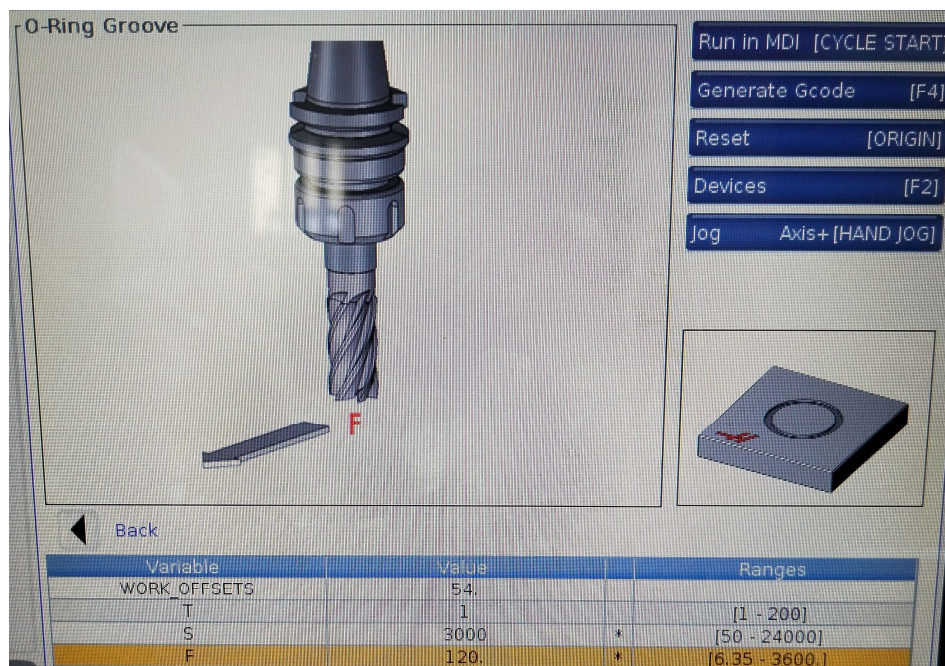


Slika 27. Broj okretaja glavnog vretena [25]

Četvrti po redu parametar je posmak (F). U četiri programa posmak je bio jedini parametar koji se je mijenjao. Korištene vrijednosti za svaki uzorak se nalaze u tablici 1. (Slika 28.)

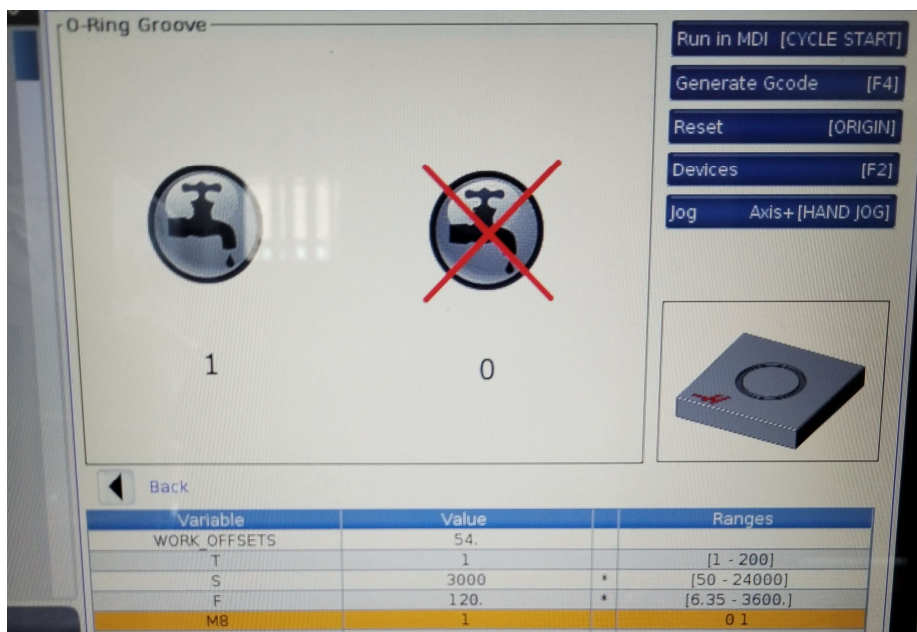
Tablica 2. Iznosi posmaka za pojedini uzorak

|                        | 1. uzorak | 2. uzorak | 3. uzorak | 4. uzorak |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Posmak [mm/min]</b> | 90        | 100       | 110       | 120       |



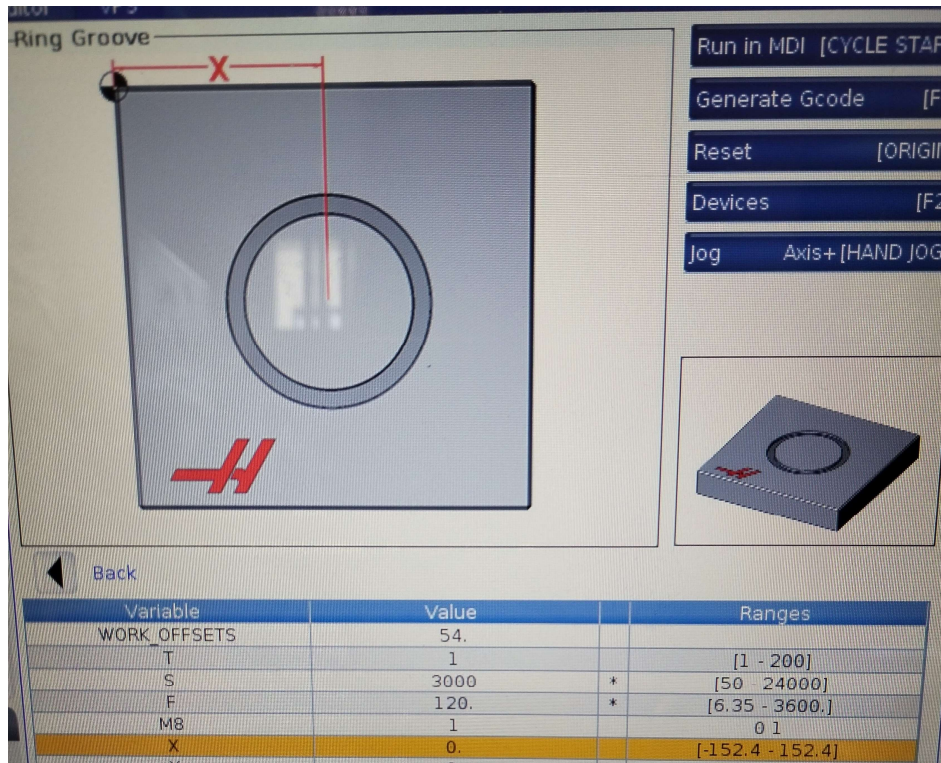
Slika 28. Posmak iznosa 120 mm/min [25]

Peti parametar se odnosi na rashladno sredstvo (M8). Glodalica nema dovod rashladnog sredstva pa vrijednost ovog parametra ne utječe na obradu. (Slika 29.)



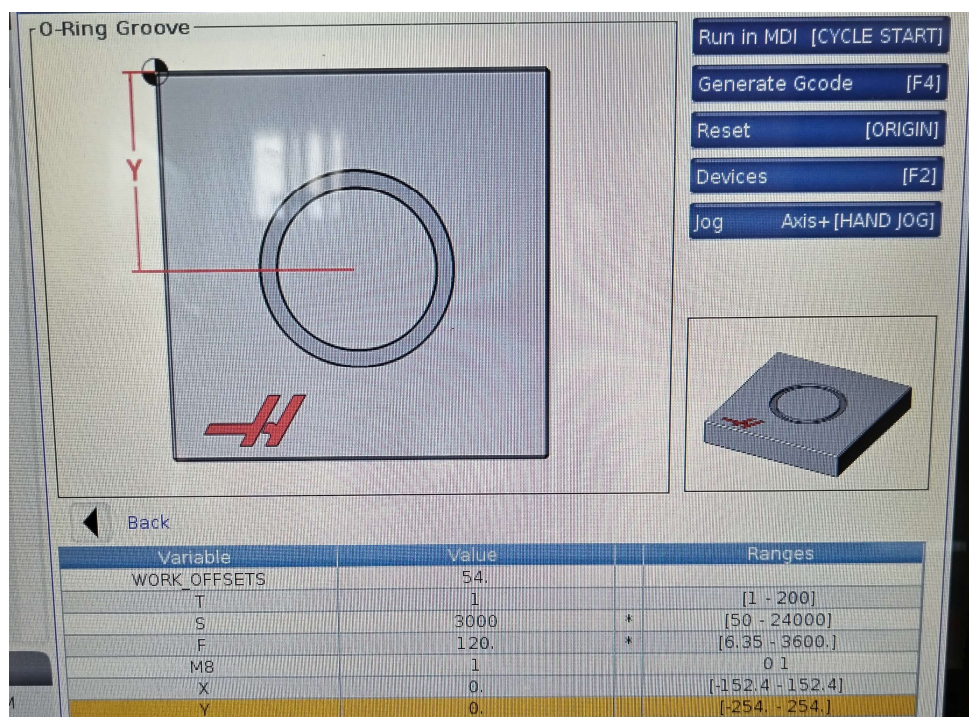
Slika 29. Rashladno sredstvo [25]

Šesti parametar koji se traži je udaljenost središta prstenastog utora od nultočke obratka po X osi (X). Pošto je nultočka obratka u središtu sirovca ova vrijednost iznosi 0 mm. (Slika 30.)



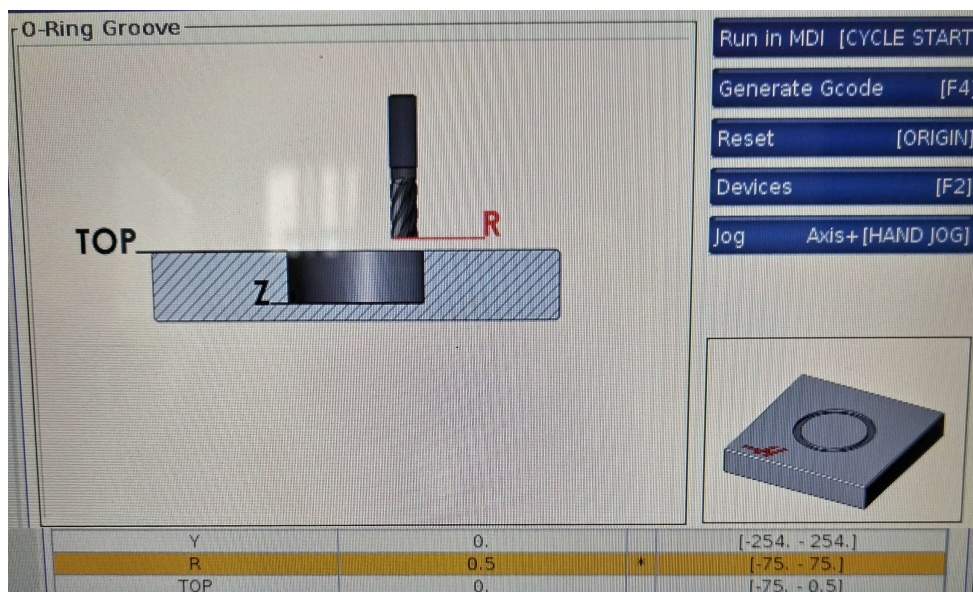
Slika 30. Položaj središta po X osi [25]

Sedmi parametar koji se traži je udaljenost središta prstenastog utora od nultočke obratka po Y osi (Y). Vrijednost i za ovaj parametar iznosi 0 mm. (Slika 31.)



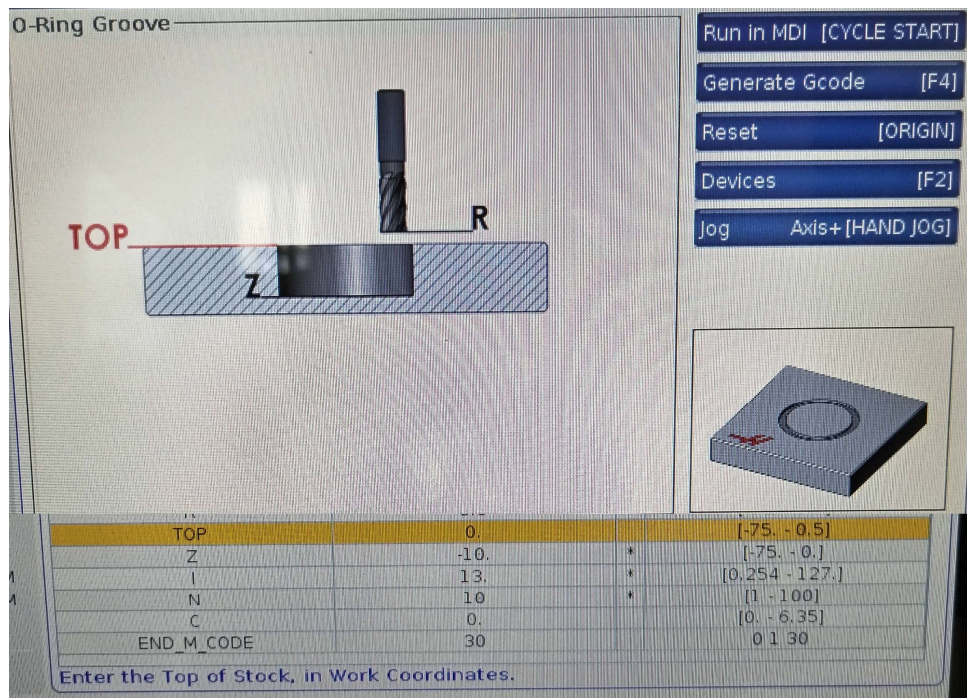
Slika 31. Položaj središta po Y osi [25]

Osmi parametar traži sigurnosnu udaljenost vrha alata od površine obratka (R), vrijednost ovog parametra je postavljena na 0,5 mm. (Slika 32.)



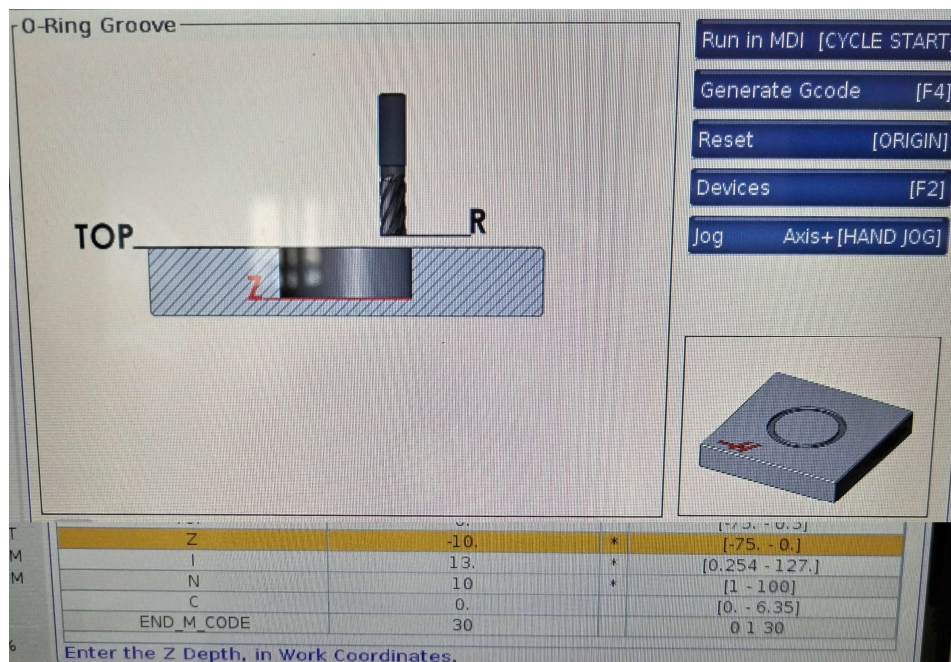
Slika 32. Udaljenost vrha alata od površine obratka [25]

Deveti parametar je udaljenost od vrha obratka do nultočke obratka po Z osi (TOP). Iznos ovog parametra je 0 mm jer se nultočka obratka nalazi na površini sirovcu. (Slika 33.)



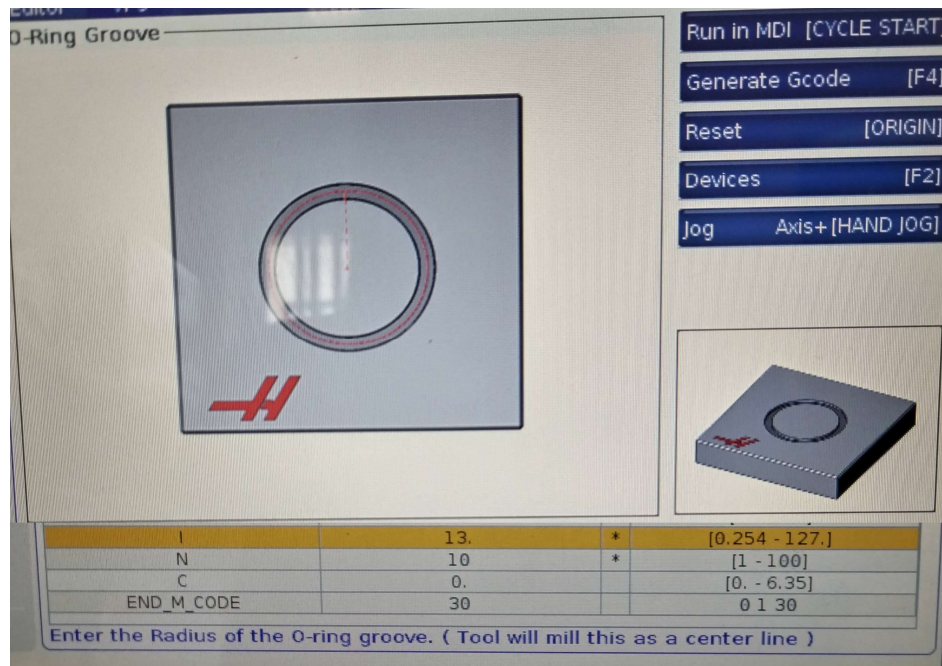
Slika 33. Vrh obratka [25]

Deseta vrijednost koja se unosi je dubina rezanja (Z). Unosi se negativan broj, u ovom slučaju je -10 mm. (Slika 34.)



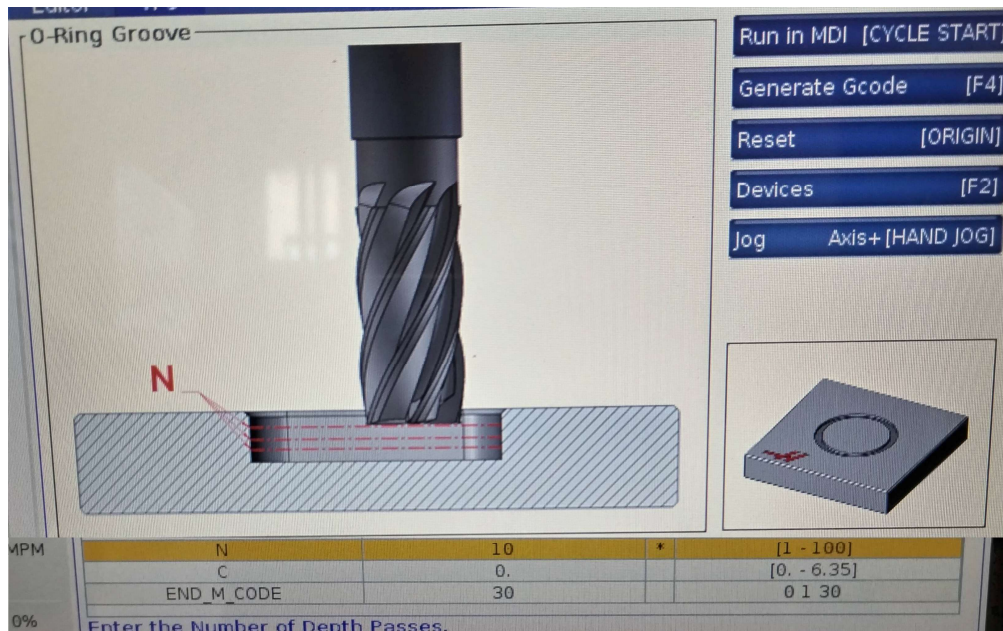
Slika 34. Dubina rezanja [25]

Za jedanaesti parametar se traži središnji polumjer prstenastog utora (I). Po toj liniji se kreće središte alata. Ovaj parametar je postavljen na 13 mm. (Slika 35.)



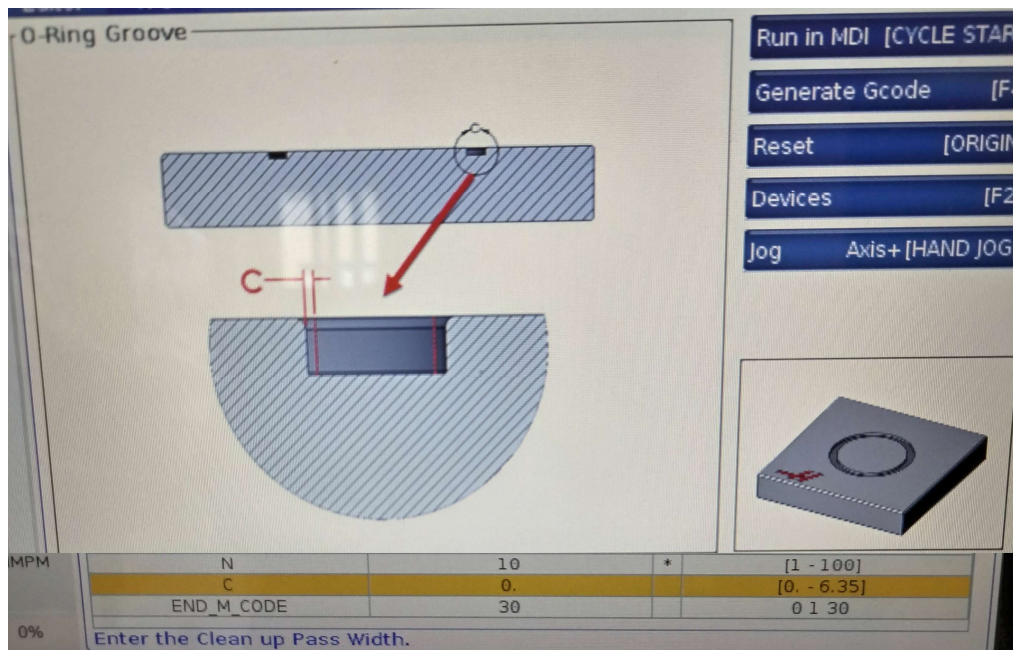
Slika 35. Središnji polumjer prstenastog utora [25]

Dvanaesti parametar se odnosi na broj prolaza prilikom glodanja (N). Odabrani broj prolaza je 10. (Slika 36.)



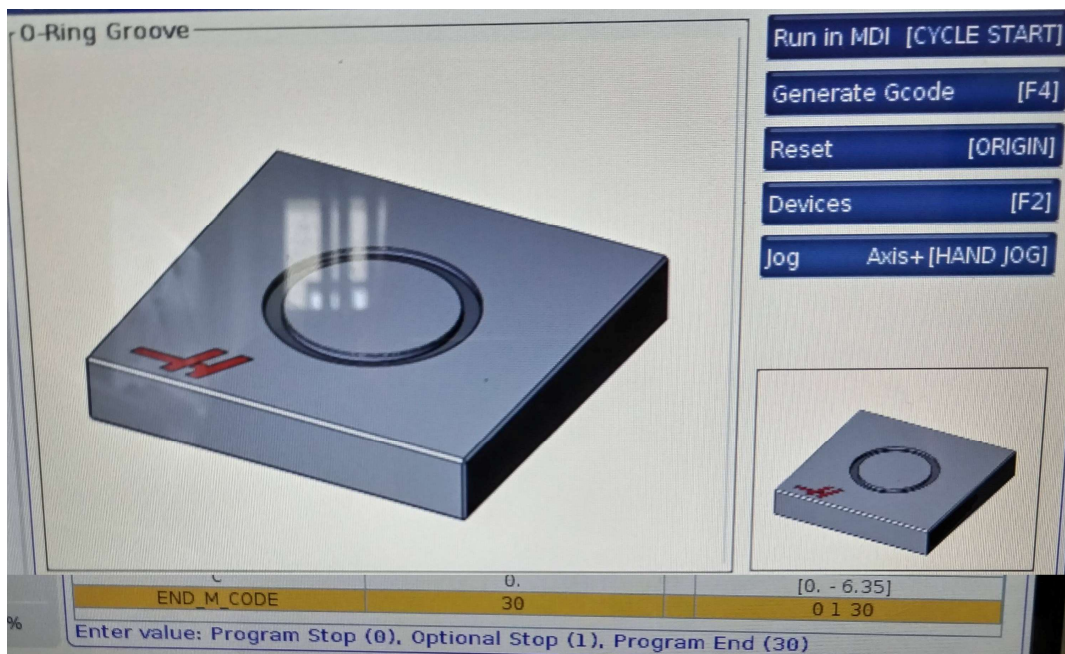
Slika 36. Broj prolaza [25]

Sljedeći parametar je tražio širinu prolaza za čišćenje ruba (C). Za ovaj parametar odabrala se je vrijednost 0. (Slika 37.)



Slika 37. Prolaz za čišćenje ruba [25]

Zadnji parametar koji se traži je o kraju programa (END\_M\_CODE). Odabire se vrijednost 30. (Slika 38.)



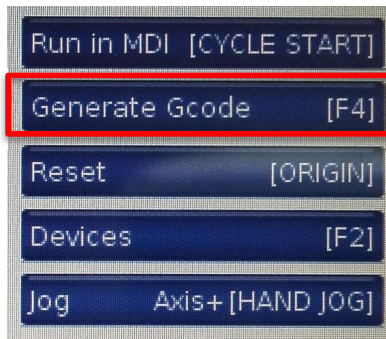
Slika 38. Kraj programa [25]

Širina prstenastog utora se ne određuje preko parametra, nego je određena promjerom alata. U ovom slučaju je to glodalo  $\varnothing 6$  mm. (slika 39.)



Slika 39. Glodalo [25]

Nakon što se namjeste svi parametri generira se G-kod. To se postiže pritiskom tipke F4 (slika 40.), tada se javlja manji prozor kod kojeg se odabire treća opcija koja stvara novi program „Create New Program“ (slika 41.). Zatim se odabire mjesto spremanja programa „Memory“. Nakon toga se pojavljuje skočni prozor u kojem se programu daje broj, ime i komentar (slika 42.)



Slika 40. Generiranje G-koda [25]



Slika 41. Izrada novog programa [22]



Slika 42. Imenovanje programa [22]

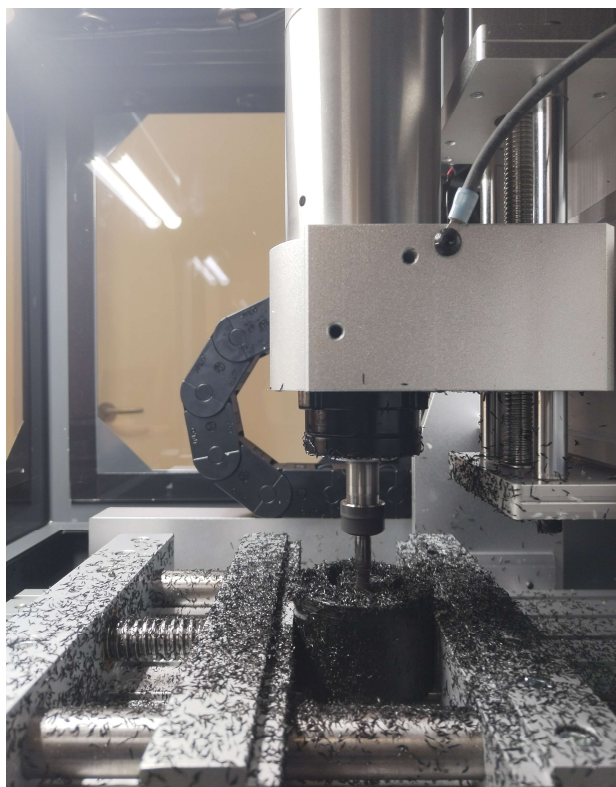
U nastavku se nalazi generirani kod za posmak od 110 mm/min.

```
0070624 (xxxxx);  
(O-Ring Groove);  
( TOOL 1 );  
( SPINDLE 3000 RPM / FEED 110. MM/M );  
( TOP 0. / DEPTH -10. );  
G00 G17 G40 G49 G80 G90;  
T1 M06;  
G00 G90 G54 X13. Y0.;  
S3000 M03;  
G43 H01 Z0.5 M08;  
G01 Z0. F55.;  
( RAMP TO DEPTH );  
G03 G91 I-13. Z-1. F110. L10;  
G03 G91 I-13. F110.;  
G01 G90 Z0.5 F55. M09;  
G00 G90 G53 Z0 M05;  
M30 ( END VPS O-RING GROOVE );
```

### 5.3. Obrada

Prije početka obrade provodi se zagrijavanje jer se mazivo u vretenu može staložiti nakon perioda nekorisćenja. Zagrijavanjem se pridonosi točnosti obrade i dužini životnog vijeka vretena. To se radi tako da se pokrene program za zagrijavanje koji dolazi sa svim Haas strojevima nalazi se u listi programa [22]. Nakon što se je stroj zagrijao u prihvat alate se je stavilo glodalo. U stezni uređaj se je zatim stegnuo jedan od sirovca i odredila se je nultočka obratka u njegovo središte. Nakon generiranja programa, on se pokreće i započinje obrada. (Slika 43.)





*Slika 43. Obrada [25]*

Kada je obrada završila sa radnog stola se je uklonio otpadni materijal i u škripac se je postavio drugi komad na isto mjesto kao i prvi. Taj proces se ponovio za preostale obratke. Nakon obrade se je sa ruba utora uklonio srh. (Slika 44.)



*Slika 44. Izradci [25]*

#### **5.4. Mjerenje**

Mjerenje se je odradilo pomoću digitalnog pomičnog mjerila, a mjerio se je vanjski rub utora. (Slika 45.)



Slika 45. Mjerenje [25]

U tablici 2. su prikazani dobiveni rezultati mjerenja izraženi u milimetrima. Svaki izradak se je mjerio 10 puta.

Tablica 3. Rezultati mjerenja

| Mjerenje promjera Ø32 [mm] |                      |                       |                       |                       |
|----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Redni broj mjerena         | Izradak br.          |                       |                       |                       |
|                            | 1<br>(F = 90 mm/min) | 2<br>(F = 100 mm/min) | 3<br>(F = 110 mm/min) | 4<br>(F = 120 mm/min) |
| 1.                         | 31,73                | 31,81                 | 31,78                 | 31,88                 |
| 2.                         | 31,93                | 31,59                 | 31,76                 | 31,80                 |
| 3.                         | 31,89                | 31,70                 | 31,81                 | 31,89                 |
| 4.                         | 31,86                | 31,63                 | 31,39                 | 31,81                 |
| 5.                         | 31,83                | 31,71                 | 31,51                 | 31,76                 |
| 6.                         | 32,01                | 31,77                 | 31,53                 | 31,79                 |
| 7.                         | 31,89                | 31,83                 | 31,78                 | 31,90                 |
| 8.                         | 31,97                | 31,85                 | 31,56                 | 31,85                 |
| 9.                         | 31,94                | 31,79                 | 31,46                 | 31,89                 |
| 10.                        | 31,79                | 31,93                 | 31,73                 | 31,76                 |

## 5.5. Analiza rezultata

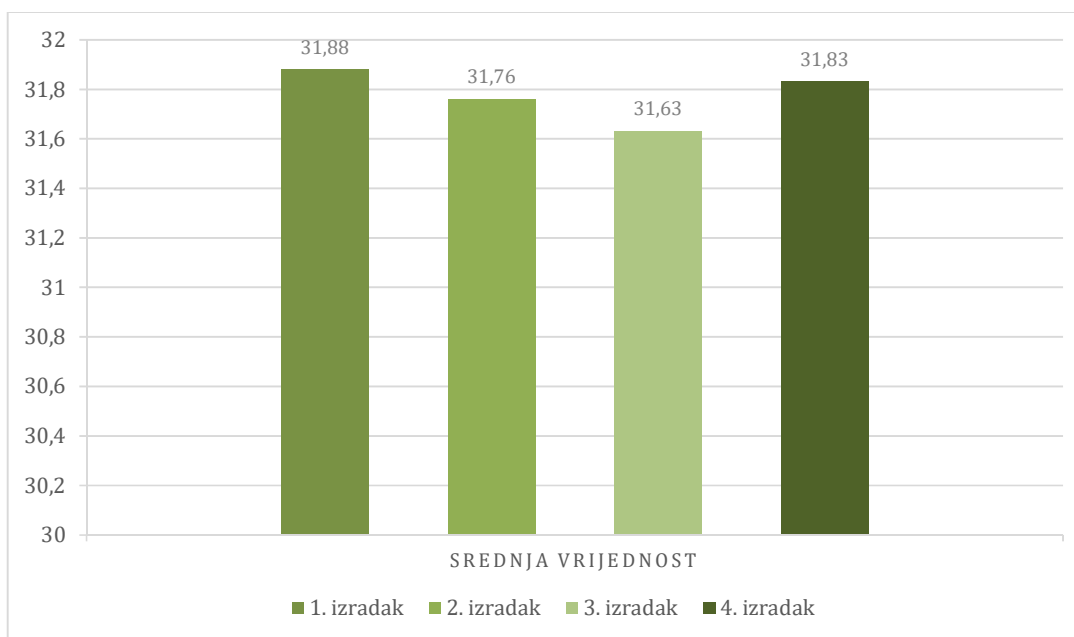
U tablici 3. se nalaze srednja vrijednost, medijan, mod, maksimum i minimum za svaki izradak. Izračun je napravljen u Excelu. Na svakom izratku je mjereni promjer ispao manji od

programiranog. Svi rezultati mjerenja, osim jednog, su bili ispod zadanog promjera i kretali su se u rasponu od 31,39 mm do 32,01 mm. Na rezultate mjerenja je utjecaj je moglo imati i mjesto ulaska alata u materijal jer je tamo bila vidljiva razlika od ostatak ruba. Da nema zadnjeg izratka moglo bi se reći da se povećanjem posmaka točnost izrade smanjuje. No iz rezultata maksimuma i minimuma za pojedini izradak se vidi da rezultati dosta variraju. Najmanja razlika između maksimuma i minimuma je kod četvrtog izratka, pa se može reći da je najtočnije izrađen. Prema rezultatima srednje vrijednosti i medijana, najtočniji su oni izradci s najnižom i najvišom brzinom posmaka. Iz šarenih rezultata se provizorno može zaključiti da nema razlike u točnosti obrade ako se mijenja iznos posmaka.

Tablica 4. Analiza rezultata

|                               | 1. izradak | 2. izradak | 3. izradak | 4. izradak |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Srednja vrijednost, mm</b> | 31,88      | 31,76      | 31,63      | 31,83      |
| <b>Medijan, mm</b>            | 31,89      | 31,78      | 31,65      | 31,83      |
| <b>Maksimum, mm</b>           | 32,01      | 31,93      | 31,81      | 31,90      |
| <b>Minimum, mm</b>            | 31,73      | 31,59      | 31,39      | 31,76      |

Dijagram 1. Srednja vrijednost



## 6. Zaključak

Teorijski dio ovog rada govori o glodanju. Izbor idealnih režima rad, alata i njihovog materijala i stroja za može uvelike olakšati put od sirovca do izratka. Mjerni sustavi koji se koriste za pozicioniranje u alatnim strojevima imaju veliki utjecaj na točnost izradaka. Rješenja za točno praćenje pozicioniranja su enkoderi koji pouzdano daju povratnu informaciju o kretanju vretena. Pisanje G-koda je za program obrade je uvelike olakšano uz pomoć VPS-a. VPS omogućuje brzo i jednostavno podešavanje parametara. Četiri programa potrebna za odrađivanje obrade su bili izrađeni pomoću VPS-a bez problema.

Iz eksperimentalnog dijela je zaključeno da posmak nema veliki utjecaj na točnost obrade glodalice Haas Desktop Mill pri obrade materijala poliamid 6. Rezultati mjerenja stvarnog promjera su manji od zadanog promjera. Prema analizi rezultata mjerenja nema nikakvih pokazatelja da brzina posmaka utječe na točnost.

## 7. Literatura

- [1] <https://www.xometry.com/resources/machining/what-is-milling-in-machining/>, dostupno 26.8.2024.
- [2] M. Bušić, Alatni strojevi, 4. predavanje, UNIN, Varaždin 2023.
- [3] <https://cnc.com.hr/>, dostupno 26.8.2024.
- [4] Z. Botak, Tehnologija 1, 5. predavanje – Glodanje, UNIN, Varaždin 2023.
- [5] <https://www.sandvik.coromant.com/> dostupno 13.9.2024.
- [6] <https://cdn.walter-tools.com/files/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/en-gb/catalog-milling-2023-en.pdf> dostupno 13.9.2024.
- [7] <https://www.ajax-mach.co.uk/milling-machines/milling-machines-horizontal/>, dostupno 28.8.2024.
- [8] <https://www.yashmachine.com/blog/category/turret-milling-machine/horizontal-milling-machine/>, dostupno 28.8.2024.
- [9] <https://www.yashmachine.com/blog/category/turret-milling-machine/horizontal-milling-machine/>, dostupno 28.8.2024.
- [10] <https://www.mattec.de/en/blog/portfolios/portal-milling-machines/>, dostupno 28.8.2024.
- [11] <https://www.haas.co.uk/machines/vf-5-40tr/>, dostupno 28.8.2024.
- [12] M. Bušić, CNC obradni sustavi, 7. predavanje, UNIN, Varaždin 2024.
- [13] M. Bušić, Alatni strojevi, 8. predavanje, UNN, Varaždin 2023.
- [14] <https://en.dmgmori.com/products/automation/workpiece-handling/robot/robo2go-milling> dostupno 14.9.2024.
- [15] <https://www.hwacheon-europe.com/en/Automation/HMP-Hwacheon-Multi-Pallet-System> dostupno 16.9.2024.
- [16] <https://www.matsuura.co.jp/english/products/h-plus-series/h-plus-300> dostupno 16.9.2024.
- [17] <https://www.progressiveautomations.com/blogs/news/comparing-technologies-optical-encoders-vs-hall-effect-sensors> dostupno 17.9.2024.
- [18] <https://www.encoder.com/article-what-is-an-optical-encoder> dostupno 18.9.2024.
- [19] <https://etching-meltec.com/optical-encoder/> dostupno 17.9.2024.
- [20] M. Bušić, CNC obradni sustavi, 9. predavanje, UNIN, Varaždin 2024.
- [21] <https://www.usdigital.com/blog/encoders-013-absolute-encoders-intro/> dostupno 17.9.2024.
- [22] <https://www.haascnc.com/>, dostupno 28.8.2024.
- [23] S. Šolić, Tehnologija 2, Tehnologija prerade polimera, UNIN, Varaždin 2024.
- [24] <https://polysynthesis.au/resources/tds/thermoset-polymers/pa6/>, dostupno 17.9.2024.
- [25] Marija Sakač – osobna arhiva fotografija

## Popis slika

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Slika 1.  | Protusmjerno i istosmjerno glodanje [3] .....  | 2  |
| Slika 2.  | Vrste glodala [4] .....  | 4  |
| Slika 3.  | Profilno glodalo, prstenasto glodalo s tri [5] i prstenasto glodalo sa sedam zuba [6] .. | 4  |
| Slika 4.  | Čeono glodalo s izmjenjivim oštricama [5].....   | 5  |
| Slika 5.  | Izmjenjive oštrice [5] .....   | 5  |
| Slika 6.  | Univerzalna glodalica [7] .....  | 6  |
| Slika 7.  | Horizontalna glodalica [8].....  | 6  |
| Slika 8.  | Vertikalna glodalica [9].....  | 7  |
| Slika 9.  | Portalna glodalica [10] .....  | 7  |
| Slika 10. | Glodaći obradni centar [11].....   | 8  |
| Slika 11. | Robotska ruka i ladicama DMG MORI [14].....  | 8  |
| Slika 12. | Višepaletni sustav Hwacheon [15].....  | 9  |
| Slika 13. | Vanjski izgled višepaletnog sustava Matsuura [16].....                                   | 9  |
| Slika 14. | Osnovna konstrukcija enkodera.....   | 10 |
| Slika 15. | Rotacijski, inkrementalni enkoder [17].....  | 11 |
| Slika 16. | Rotacijski, apsolutni enkoder [21] .....   | 11 |
| Slika 17. | Pravocrtni, inkrementalni enkoder [19] .....   | 12 |
| Slika 18. | Haas Desktop Mill [21] .....   | 13 |
| Slika 19. | Upravljačka jedinica.....  | 14 |
| Slika 20. | Zaslون.....  | 15 |
| Slika 21. | VPS predlošci .....  | 15 |
| Slika 22. | Parametri kružnog konturnog glodanja.....  | 16 |
| Slika 23. | Sirovac.....   | 17 |
| Slika 24. | Tehnički crtež izratka.....  | 19 |
| Slika 25. | Nultočka obratka.....  | 20 |
| Slika 26. | Alat.....  | 20 |
| Slika 27. | Broj okretaja glavnog vretena.....   | 21 |
| Slika 28. | Posmak iznosa 120 mm/min.....  | 21 |
| Slika 29. | Rashladno sredstvo .....   | 22 |
| Slika 30. | Položaj središta po X osi .....  | 22 |
| Slika 31. | Položaj središta po Y osi .....  | 23 |
| Slika 32. | Udaljenost vrha alata od površine obratka .....  | 23 |
| Slika 33. | Vrh obratka .....  | 24 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Slika 34. | Dubina rezanja .....                      | 24 |
| Slika 35. | Središnji polumjer prstenastog utora..... | 25 |
| Slika 36. | Broj prolaza .....                        | 25 |
| Slika 37. | Prolaz za čišćenje ruba .....             | 26 |
| Slika 38. | Kraj programa.....                        | 26 |
| Slika 39. | Glodalo .....                             | 27 |
| Slika 40. | Generiranje G-koda.....                   | 27 |
| Slika 41. | Izrada novog programa [21] .....          | 27 |
| Slika 42. | Imenovanje programa [21] .....            | 27 |
| Slika 43. | Obrada .....                              | 29 |
| Slika 44. | Izradci.....                              | 29 |
| Slika 45. | Mjerenje.....                             | 30 |

## Popis tablica

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Svojstva poliamida.....                | 18 |
| Tablica 2. Iznosi posmaka za pojedini uzorak..... | 21 |
| Tablica 3. Rezultati mjerenja.....                | 30 |
| Tablica 4. Analiza rezultata.....                 | 31 |



## Popis dijagrama

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Dijagram 1. Srednja vrijednost ..... | 31 |
|--------------------------------------|----|



### 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, MARIJA SAKAČ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Utjecaj parametra obrade na tačnost dimenzija (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Marija Sakač  
(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.