

Određivanje parametara obrade i izrada CNC koda za obradu utora glodanjem aluminijeve legure EN AW 6082

Levanić, Adrian

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:122:715704>

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

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



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 407/PS/2023

**Određivanje parametara obrade i izrada CNC koda za
obradu utora glodanjem aluminijske legure EN AW 6082**

Adrian Levanić, 0016140711

Varaždin, kolovoz 2024. godine



Sveučilište Sjever

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 407/PS/2023

Određivanje parametara obrade i izrada CNC koda za obradu utora glodanjem aluminijske legure EN AW 6082

Student

Adrian Levanić, 0016140711

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 Adrian Levanić

MATIČNI BROJ 0016140711

DATUM 29.05.2023.

KOLEGIJ CNC obradni sustavi

NASLOV RADA
Određivanje parametara obrade i izrada CNC koda za obradu utora glodanjem
aluminijeve legure EN AW 6082

NASLOV RADA NA
ENGL. JEZIKU Determination of processing parameters and creation of CNC code for slot milling of
EN AW 6082 aluminium alloy

MENTOR dr.sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, predsjednik povjerenstva
2. doc.dr.sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
3. Marko Horvat dipl. ing. stroj., član povjerenstva
4. doc. dr. sc. Jasna Leder Horina, rezervni član povjerenstva
- 5.

Zadatak završnog rada

BROJ 407/PS/2023

OPIS

U završnom radu pristupnik treba na temelju literaturnih podataka proučiti i opisati način rada glodaćih alatnih strojeva. Posebno detaljno obraditi vrste i mogućnosti CNC glodalica. Usporediti i preporučiti odabir parametara obrade za obradu odvajanjem čestica aluminijevih legura. Proučiti način rada stolne CNC glodalice Haas Desktop Mill te opisati ugrađeno programsko sučelje.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je korištenjem programskog predloška izraditi program za izradu utora glodanjem prema zadanoj skici. Izabrati parametre obrade i odabrati alat za obradu ploče aluminijeve legure EN AW 6082. Usporediti unos programa korištenjem programskog predloška sa ručnim unosom programa. Izvesti obradu prema izrađenom programu te ocijeniti uspješnost obrade. Donijeti vlastiti zaključak o provedenom eksperimentu. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

05.07.2023.

POTPIS MENTORA

M. Bušić



Sveučilište
SjeverSVEUČILIŠTE
SIEVER

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, Adrian Levanić (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor ~~završnog/diplomskog/specijalističkog~~ (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Određivanje parametara obrade i izrada CNC koda za obradu utora glodanjem (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(*upisati ime i prezime*)

ADRIAN LEVANIĆ

(*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.

Predgovor

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Matiji Bušiću na izdvojenom vremenu, strpljenju i pruženoj pomoći tijekom izrade završnog rada. Također, hvala mojoj obitelji, prijateljima i kolegama koji su uvijek bili uz mene i podržavali me.

Sažetak

Ovaj rad istražuje važnost CNC upravljanja glodalicama i mogućnosti suvremenih CNC glodalica.

Prvi dio rada opisuje način rada glodaćih alatnih strojeva, alate, karakteristike ove vrste obrade odvajanjem čestica te sam proces glodanja. Navedene su značajke CNC upravljanja, mogućnosti pojedinih CNC glodalica i uspoređeni su parametri obrade. Nakon toga slijedi poglavlje o Haas Desktop Mill glodalici gdje je detaljno objašnjeno programsko sučelje navedene glodalice.

Drugi dio rada opisuje eksperimentalni postupak kreiranja programa za glodanje utora aluminijske legure na temelju tehničkog crteža. Objašnjeni su različiti aspekti izrade utora, postupak određivanja nul-točke, VPS predložak glodanja, ručno izrađen kod te cijeli proces strojne obrade. Slijedi analiza provedene obrade, a na kraju je donesen konačni zaključak ovog rada.

Ključne riječi: glodanje utora, aluminijska legura, CNC, Haas Desktop Mill, ručna izrada koda, VPS

Abstract

This thesis explores the importance of CNC control for milling machines and the capabilities of modern CNC mills.

The first part of the thesis describes the operation of milling machines, the tools, the characteristics of this type of machining involving material removal and the milling process. It outlines the features of CNC control, the capabilities of different CNC mills and compares processing parameters. This is followed by a chapter on the Haas Desktop Mill, where the programming interface of the specified mill is explained in detail.

The second part of the thesis describes the experimental procedure of creating a program for slot milling of aluminum alloy based on a technical drawing. It explains various aspects of pocket milling, the process of determining the zero point, the VPS milling template, manually created code and the entire machining process. An analysis of the conducted machining follows, and finally, the thesis offers the main conclusion.

Key words: pocket milling, aluminum alloy, CNC, Haas Desktop Mill, Manual Data Input, VPS

Popis korištenih kratica

VPS	Sustav za vizualno programiranje (<i>Visual Programming System</i>)
CNC	Numeričko računalno upravljanje (<i>Computer Numerical Control</i>)
SHIP	Sredstvo za hlađenje i podmazivanje
MDI	Ručni unos podataka (<i>Manual Dana Input</i>)

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Način rada glodaćih alatnih strojeva.....	2
2.1.	Podjela postupaka glodanja.....	2
2.2.	Opis postupka glodanja.....	3
2.3.	Vrste gibanja u procesu glodanja.....	4
2.4.	Vrste glodalica.....	4
2.5.	Vrste alata.....	5
3.	Vrste i mogućnosti CNC glodalica.....	7
3.1.	CNC vertikalne glodalice.....	7
3.2.	CNC horizontalne glodalice.....	8
3.3.	CNC glodalice s više osi.....	8
3.4.	CNC portalne glodalice.....	9
3.5.	CNC mikroglodalice.....	9
3.6.	CNC glodalice za specijalne primjene.....	10
4.	Usporedba i odabir parametara obrade aluminijskih legura.....	11
5.	Stolna CNC glodalica Haas Desktop Mill.....	13
5.1.	Upravljačka jedinica stroja.....	14
5.2.	Tipke za upravljanje.....	15
5.3.	Tipkovnica.....	16
5.4.	Zaslona.....	21
5.5.	VPS (Visual Programming System).....	22
6.	Eksperimentalni dio.....	23
6.1.	Stežanje obratka.....	24
6.2.	Određivanje nul-točke obratka.....	25
6.3.	VPS predložak za kvadratno glodanje utora.....	26
6.4.	Ručno kreiranje CNC programa.....	28
6.5.	Pokretanje programa za glodanje utora.....	31
6.6.	Analiza uspješnosti obrade.....	32
7.	Zaključak.....	33
8.	Literatura.....	34

1. Uvod

Postupci obrade odvajanjem čestica vrlo su bitan dio današnjice. Kako bi se proizveli izradci složenih geometrija postoje više različitih postupaka koji nam to omogućuju. Jedan od najbitnijih postupaka, o kojem će ovaj rad govoriti, je glodanje. Bitna karakteristika obrade glodanja je da glavno gibanje (rotacijsko) izvodi alat [3].

Razvojem računalne tehnologije, strojevi su se počeli upravljati pomoću računala. Takvi strojevi se zovu CNC strojevi. CNC upravljanje (*Computer Numerical Control*) je tehnologija koja omogućuje automatizirano upravljanje alatnim strojevima pomoću računala. Korištenjem CNC tehnologije ubrzava se proces obrade i smanjuje se mogućnost nastanka greške. Kod serijske proizvodnje neizostavan dio procesa su simulacije kojima se otkrivaju moguće greške u kodu čime se dodatno sprječava pojava pogrešaka, a samim time i minimiziraju troškovi proizvodnje.

Kako bi CNC stroj mogao izvršiti naredbe, potrebno je generirati program koji se pokreće putem upravljačke jedinice. Postupak ručne izrade programa biti će opisan u eksperimentalnom dijelu rada. Navedenim programom će se izvršiti obrada kojom se dobiva traženi izradak.

2. Način rada glodaćih alatnih strojeva

Glodaći alatni strojevi uklanjaju materijal s obratka pomoću rotirajućeg alata koji se zove glodalo. Glodalo se sastoji od više reznih oštrica koje služe za odstranjivanje čestica materijala. Odvajanje čestica materijala postiže se kombinacijom glavnog rotacijskog gibanja glodala i pomoćnog posmičnog gibanja. Posmičnim gibanjem alata ili obratka po zadanoj putanji na radnom stolu postiže se željeni oblik i dimenzija obratka.

Glodala mogu biti različitih oblika, što omogućuje obradu različitih površina poput ravnih, profilnih, zupčastih i zakrivljenih. Parametri poput broja okretaja, brzine rezanja i posmaka ključno utječu na kvalitetu obrade i trajnost alata te je zbog toga cijelo zasebno poglavlje ovog rada namijenjeno analizi i usporedbi parametara obrade.

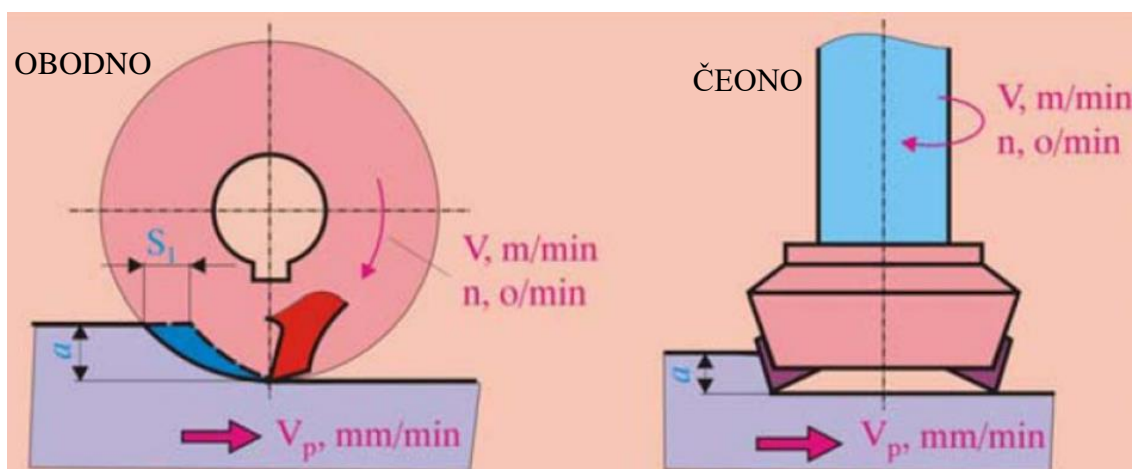
Glodanje se primjenjuje u širokom spektru industrija, uključujući strojogradnju, automobilsku industriju, zrakoplovnu industriju, proizvodnju alata, kao i mnoge druge sektore u kojima su potrebni precizno izrađeni dijelovi složenih geometrija. U ovom poglavlju detaljnije se razmatraju: postupak glodanja, vrste strojeva i glodala te tehnike koje se koriste kako bi se postigle različite vrste obrada glodanjem.

2.1. Podjela postupaka glodanja

Glodanje se može podijeliti prema različitim kriterijima koji su navedeni u nastavku [28].

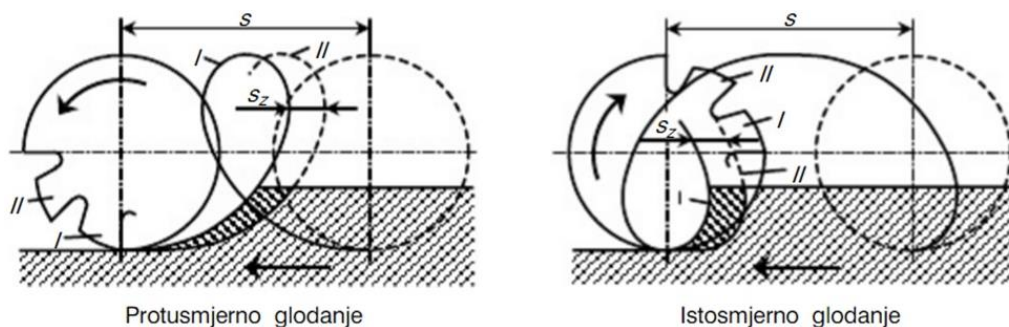
Podjela glodanja prema kvaliteti obrađene površine: završno, grubo te fino.

Zatim postoji podjela prema položaju reznih oštrica glodanja: obodno i čeono.



Slika 1. Glodanje prema položaju reznih oštrica [1]

Isto tako, glodanje se može razlikovati prema kinematici postupka: protusmjerno i istosmjerno glodanje.



Slika 2. Glodanje prema kinematici postupka [4]

Te naposljetku, glodanje se može podijeliti prema obliku obrađivane površine: okretno (okruglo ili ne okruglo), profilno (glodanje utora, modulno glodanje), ravno, oblikovno (CNC ili kopirno) te odvalno [28].

2.2. Opis postupka glodanja

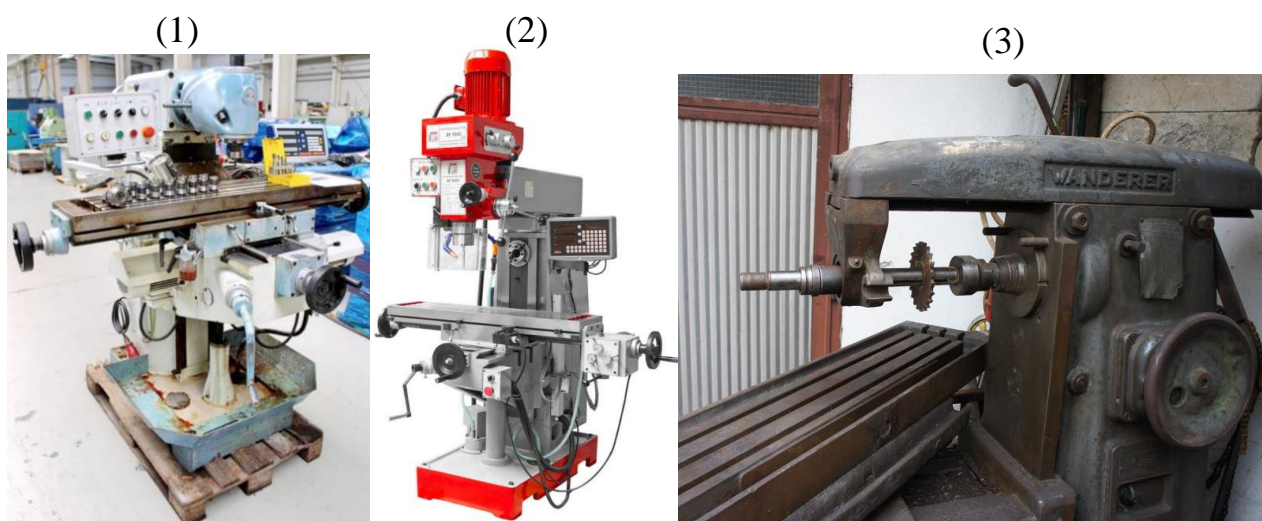
Postupak glodanja započinje stezanjem obratka i glodala. Obradak se postavlja na radni stol stroja te se zatim učvršćuje, a glodalo se priteže u vreteno. Zatim slijedi određivanje nul-točke i izrada CNC programa. Određivanje nul-točke je važno jer je to referentna točka prema kojoj se alat kasnije pozicionira tijekom obrade i prema toj točki se izrađuje CNC program. Nakon toga se uključuje vreteno i sredstvo za hlađenje i podmazivanje. Uključivanjem vretena započinje rotacija vretena visokom brzinom. Brzina ovisi o vrsti materijala, alatu i vrsti glodanja, a može iznositi nekoliko tisuća okretaja u minuti. U većini slučajeva vrlo je važno koristiti SHIP kako bi se smanjilo zagrijavanje alata i obratka, trenje te otklonile strugotine koje mogu oštetiti površinu obrade. Slijedi gibanje glodala po unaprijed zadanoj putanji koja je zadana programom čime započinje proces odvajanja čestica - glodanje. Tijekom obrade nužno je pripaziti na brzinu rotacije i gibanja alata. Ako se uoči da parametri nisu optimalno podešeni, važno je promijeniti ih kako ne bi došlo do oštećenja alata ili obratka. Nakon što je obrada glodanjem završena često se provodi dodatna završna obrada kako bi se postigla bolja kvaliteta površine.

2.3. Vrste gibanja u procesu glodanja

Prilikom procesa glodanja javljaju se dvije osnovne vrste gibanja, glavno i pomoćno, koje imaju različite uloge u odvajanju čestica materijala i oblikovanju obratka. Glavno gibanje je najvažnije jer omogućava stvaranje odvojene čestice materijala. Tijekom glavnog gibanja troši se najveći dio energije, a glavni parametar vezan uz ovu vrstu gibanja je brzina rezanja V_c . Pomoćno gibanje dijeli se na dvije vrste: posmično i dostavno. Posmično gibanje omogućava kontinuirano odvajanje čestica s obratka, pri čemu je ključan parametar posmična brzina V_f . Dostavno gibanje služi za primicanje i odmicanje alata i obratka, ne dolazi do stvaranja odvojene čestice jer je svrha ovog gibanja pozicioniranje za daljnji rad [3].

2.4. Vrste glodalica

Postoji nekoliko različitih vrsta glodalica koje se razlikuju po svojoj konstrukciji i primjeni. Neki od najčešćih tipova glodalica su: univerzalna glodalica, vertikalna glodalica, horizontalna glodalica, portalna glodalica, glodaći obradni centar te glodaća obradna ćelija. Univerzalna glodalica (1) je stroj namijenjen za različite vrste obrada, uključujući ravno i konturno glodanje. Vertikalna glodalica (2) ima vreteno postavljeno okomito te je pogodna za obradu ravnih površina i utora, dok horizontalna glodalica (3) s horizontalnim vretenom omogućuje glodanje velikih površina i dubokih utora. Portalna glodalica (4) posjeduje veliku stabilnost za obradu velikih i teških dijelova zbog svoje izdržljive platforme. Glodaći obradni centar (5) omogućuje automatsku izmjenu alata čime se postiže visoka produktivnost dok glodaća obradna ćelija (6) uključuje automatsku izmjenu obratka, što značajno smanjuje potrebu za ljudskim rukovanjem [3].



Slika 3. Univerzalna glodalica [15], vertikalna glodalica [16] i horizontalna glodalica [17]



Slika 4. Portalna glodalica [14], glodaći obradni centar [13] i glodaća obradna čelija [6]

2.5. Vrste alata

Alati koji se koriste u obradi glodanjem zovu se glodala te imaju oblik valjka. Na glodalu se nalaze simetrično raspoređeni zubi čija je uloga odvajanje čestica materijala. Glodalo se sastoji od više reznih oštrica s definiranom geometrijom. Oštrice mogu biti smještene na obodnoj ili čeonj plohi glodala [26]. Glodala se proizvode od vrlo tvrdih metala, legura te specijalnih čelika visoke kvalitete. Glodalo mora biti proizvedeno od materijala koji je tvrdi od materijala površine koja će biti obrađivana. Najčešći materijali za izradu glodala uključuju brzorezne čelike, tvrde metale, kermete, keramiku i kubni borov nitrid. [25].

Glodala mogu biti izrađena od jednog komada ili mogu imati izmjenjivu reznju oštricu. Zbog široke primjene glodala postoje različiti oblici glodala, a mogu se razlikovati prema načinu izrade, obliku zubi te obliku tijela. Prema načinu izrade, razlikujemo glodala sa glodanim zubima, glodala s brušenim i tokarenim zubima te glodala s izmjenjivim zubima. Što se tiče oblika zubi, glodala mogu imati ravne zube, zube u križ ili zube u spirali. Kada je riječ o obliku tijela, razlikujemo više vrsta glodala, poput valjkastih glodala, valjkastih glodala za ozubljenje, valjkastih glodala za navoje, profilnih glodala, modulnih glodala, vretenastih te konusnih glodala [27].



Slika 5. Prstasta glodala izrađena od jednog komada [1]



Slika 6. Čeono glodalo sa izmjenjivim pločicama [1]

3. Vrste i mogućnosti CNC glodalica

CNC glodalice su precizni strojevi koji služe za obradu metala, a koriste se za automatsku obradu različitih materijala prema uputama unesenim u računalo. Preciznost CNC glodalice karakterizira točnost pozicioniranja u rasponu od 0,01 mm do 0,03 mm te ponovljivost obrade s odstupanjem između 0,003 mm i 0,01 mm [24]. Navedena preciznost postiže se CNC upravljanjem. CNC upravljanje, poznato i kao računalno numeričko upravljanje, je upravljanje alatnim strojevima pomoću specijalnih kodiranih naredbi koje se učitavaju ili upisuju u upravljačko računalo. Mikroprocesor omogućava izmjenu računalnog programa direktno na stroju te omogućava izmjene tijekom obrade predmeta. Ova značajka pruža visoku fleksibilnost u radu, štedi vrijeme i značajno doprinosi širokoj primjeni CNC strojeva. [6]

Postoji mnogo vrsta CNC glodalica. U nastavku će biti navedene osnovne vrste CNC glodalica i njihove mogućnosti.

3.1. CNC vertikalne glodalice

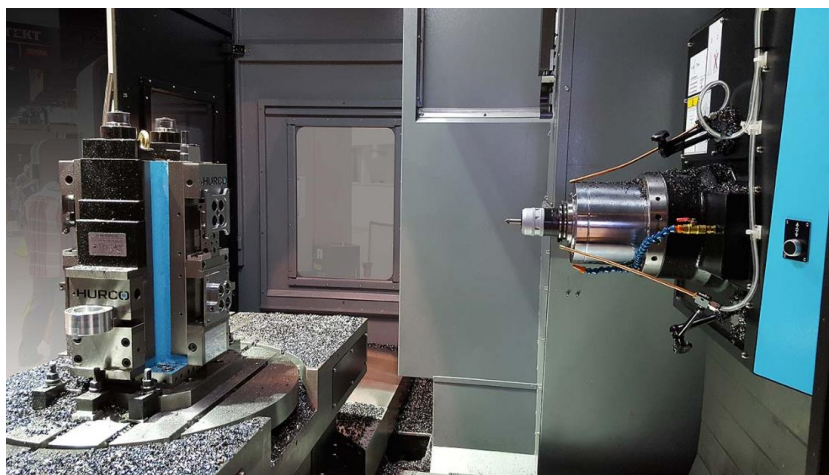
Ove glodalice imaju vreteno postavljeno okomito na radni stol. Najčešće se koriste zbog svoje svestrane upotrebe i jednostavnosti upravljanja. Koriste se za obradu ravnih površina, utora i provrta. Mogu obavljati širok raspon operacija, od grube obrade do preciznog glodanja.



Slika 7. CNC vertikalna glodalica [18]

3.2. CNC horizontalne glodalice

Horizontalne glodalice imaju vreteno postavljeno paralelno s radnim stolom. Horizontalne glodalice omogućuju učinkovitiju obradu većih komada materijala. Pogodne su za teže i masivnije obrade, poput obrade velikih površina i dubokih rezova. Također mogu obrađivati složenije oblike uz korištenje dodatnih alata.



Slika 8. CNC horizontalna glodalica [19]

3.3. CNC glodalice s više osi

Ove glodalice koriste rad s više osi (tri, četiri ili pet osi), a to omogućuje složeniju obradu i glodanje više različitih površina bez potrebe za ponovnim postavljanjem obratka. Moguće je obrađivati složene geometrije, što ih čini idealnim za industrije poput zrakoplovstva, automobilske industrije i izrade kalupa.



Slika 9. CNC glodalica s 5 osi [20]

3.4. CNC portalne glodalice

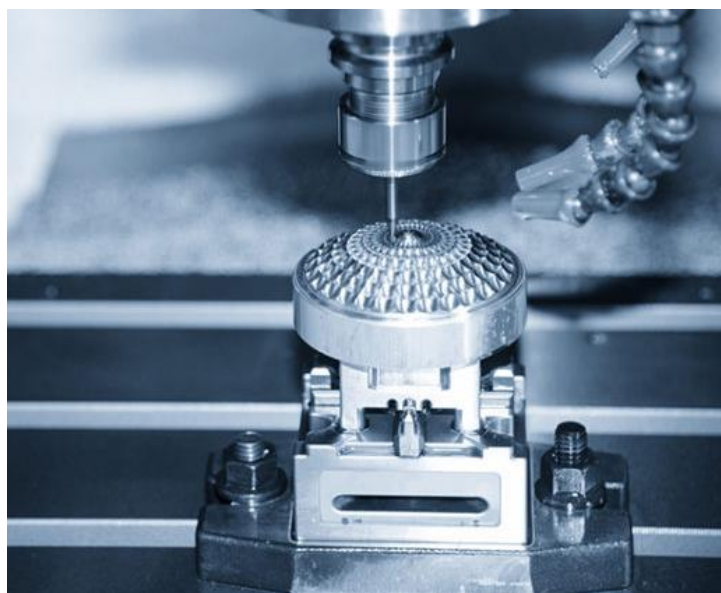
Ove glodalice sadrže platformu koja omogućuje obradu vrlo velikih obradaka. Najčešće se koriste u teškoj industriji. Pogodne su za obradu velikih obradaka poput dijelova za avione ili brodove. Omogućuju visoku preciznost.



Slika 10. CNC portalna glodalica [21]

3.5. CNC mikrogldalice

CNC mikrogldalice su manje glodalice koje se koriste za vrlo precizne operacije na obradcima manjih dimenzija. Koriste se za izradu preciznih dijelova u industrijama poput elektronike, medicinske opreme i izrade nakita.



Slika 11. CNC mikrogldalica [22]

3.6. CNC glodalice za specijalne primjene

Ova vrsta glodalica je posebno dizajnirana za specifične industrijske primjene, poput glodanja dentalnih implantata ili izrade optičkih dijelova. Mogu biti prilagođene određenim materijalima ili oblicima obrade koji nisu uobičajeni za standardne CNC glodalice.



Slika 12. CNC glodalica za specijalne primjene [23]

4. Usporedba i odabir parametara obrade aluminijevih legura

Parametri obrade glodanjem ovise o: vrsti i materijalu alata, materijalu obratka, zahtjevima obrade te tipu strojne obrade (gruba, fina, završna) [7].

Obradivost aluminijevih legura ovisi o mnogim utjecajima. Kvaliteta materijala značajno utječe na obradivost, a glavnu ulogu imaju čimbenici poput legirajućih elemenata, mikrostrukture, tvrdoće, granice tečenja i čvrstoće. Ključno je odabrati odgovarajuću aluminijevu leguru kako bi se postigla optimalna obradivost i kvaliteta konačnog proizvoda [2].

Kako bi bolje razumjeli odabir parametara za obradu aluminijevih legura važno je poznavati glavne karakteristike aluminijeve legure. Legiranjem aluminija postiže se vlačna čvrstoća koja je gotovo jednaka onoj čelika. Aluminij ima visoku toplinsku vodljivost koja olakšava strojnu obradu i omogućuje velike brzine rezanja [5].

Najvažniji parametri obrade su: brzina rezanja V_c , broj okretaja alata S , posmak F te dubina rezanja a_p [7].

Brzina rezanja definira se formulom:

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}, \quad (3.1)$$

gdje „D“ označava promjer alata, a „n“ broj okretaja. Iz formule se može zaključiti da je za alate manjeg promjera potreban veći broj okretaja, dok je za alate većeg promjera potreban manji broj okretaja da bi se postigla ista brzina rezanja. Najčešće se određuje prema preporukama proizvođača alata ovisno o vrsti alata te materijalu obratka. Što je veća brzina rezanja, veće je i zagrijavanje alata. Zbog toga je važna optimalna brzina rezanja jer previsoka temperatura omekšava materijal alata te dolazi do nekontroliranog trošenja. Za aluminijeve legure brzina rezanja je obično veća nego za čelike. Za meki aluminij brzine rezanja su obično između 100 i 500 m/min, dok za tvrdi iznose između 100 i 200 m/min [5].

Broj okretaja alata S definira se formulom:

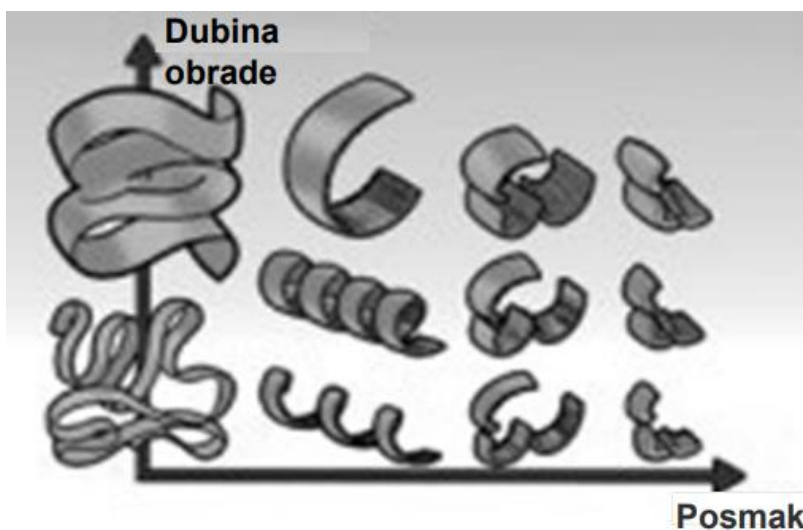
$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} \quad (3.2)$$

Oznaka S (*speed*) koristi se u G-kodu koji služi za davanje naredbi stroju. Povećanjem broja okretaja može se poboljšati kvaliteta površine, ali i povećati trošenje alata. Broj okretaja alata S ovisi o brzini rezanja i promjeru alata te se može izračunati ranije navedenom formulom.

Za posmak koristi se oznaka F (*feed*) u G-kodu i predstavlja brzinu kojom se alat ili obradak pomiču. Porastom posmaka povećava se hrapavost površine, sile na zubima alata i presjek odstranjenih čestica. Postoje nekoliko vrsta posmaka: posmak po minuti F , mm/min, posmak po okretaju f , mm/okr, posmak po zubu f_z , mm/zub. U slučaju obrade aluminija, za alat promjera 2-4 mm posmak f iznosi između 0,02 i 0,03 mm/okr, za alat promjera 5-8 mm posmak f iznosi 0,05 mm/okr, dok za alat promjera 9-12 mm posmak iznosi 0,10 mm/okr [5].

Dubina rezanja a_p je parametar koji određuje količinu materijala koja će se odstraniti u jednom prolazu alata te ovisi o materijalu obratka i alatu.

Oblik strugotine ovisno o dubini i posmaku obrade prikazan je na slici u nastavku.



Slika 13. Oblik strugotine ovisno o parametrima [8]

S obzirom na to da sila potrebna za obradu aluminija iznosi otprilike 1/3 sile potrebne za obradu čelika, procesi obrade aluminija poput glodanja, tokarenja, bušenja i narezivanja navoja ekonomičniji su u usporedbi s čelikom. Kako su sile rezanja kod obrade aluminijevskih legura manje nego kod obrade čelika, alat se slabije troši. Isto tako, važno je napomenuti da je moguće postići veće brzine rezanja nego kod čelika [2].

5. Stolna CNC glodalica Haas Desktop Mill

Haas Desktop Mill je glodalica manjih dimenzija koja primarno služi za obuku u školama i na fakultetima. Kao što i sam naziv govori, ovu glodalicu je moguće smjestiti na radni stol i lako se premješta na drugo mjesto. Iako je manjih dimenzija, posjeduje istu upravljačku jedinicu kao i veći Haas strojevi koji se koriste u proizvodnji. Moguća je obrada mekih materijala poput polimera, voska te aluminija. Glodalica ima tri osi: X, Y i Z. Glavno vreteno može postići do 15 000 okretaja u minuti ovisno o potrebama [9].



Slika 14. CNC glodalica Haas Desktop Mill [9]

5.1. Upravljačka jedinica stroja

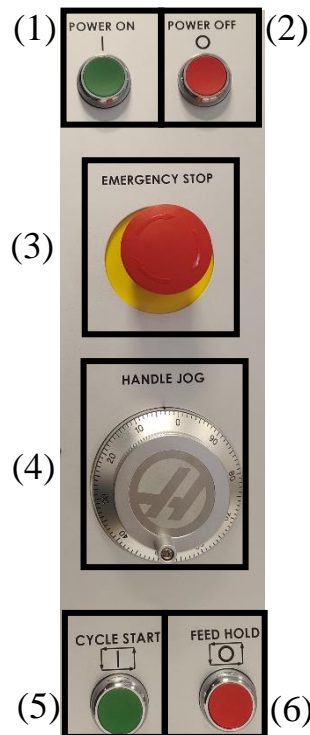
Upravljačka jedinica Haas Desktop Mill godalice predstavlja glavno sučelje koje omogućuje operateru kontrolu nad svim aspektima rada stroja. Sastoji se od glavnih tipki za upravljanje, tipkovnice te grafičkog zaslona. Na zaslonu upravljačke jedinice operater dobiva informacije o trenutnom statusu programa, postavkama, poziciji alata i obratka te pristup različitim izbornicima i opcijama za upravljanje. Tipkovnica omogućuje jednostavan unos i promjenu parametara obrade, dok fizičke tipke omogućuju brzu aktivaciju osnovnih funkcija poput uključivanja i isključivanja stroja.



Slika 15. Upravljačka jedinica stroja [10]

5.2. Tipke za upravljanje

Fizičke tipke za upravljanje omogućuju brzo i učinkovito upravljanje osnovnim funkcijama stroja. Ove tipke pružaju pristup ključnim operacijama kao što su pokretanje i zaustavljanje stroja, kontrola osi te hitno zaustavljanje u slučaju potrebe. Na slici 26. prikazane su glavne tipke za upravljanje: tipka za uključivanje stroja (1), tipka za isključivanje stroja (2), hitno zaustavljanje rada stroja (3), ručno micanje po osima (4), pokretanje programa (5) te zaustavljanje posmaka svih osi (6).

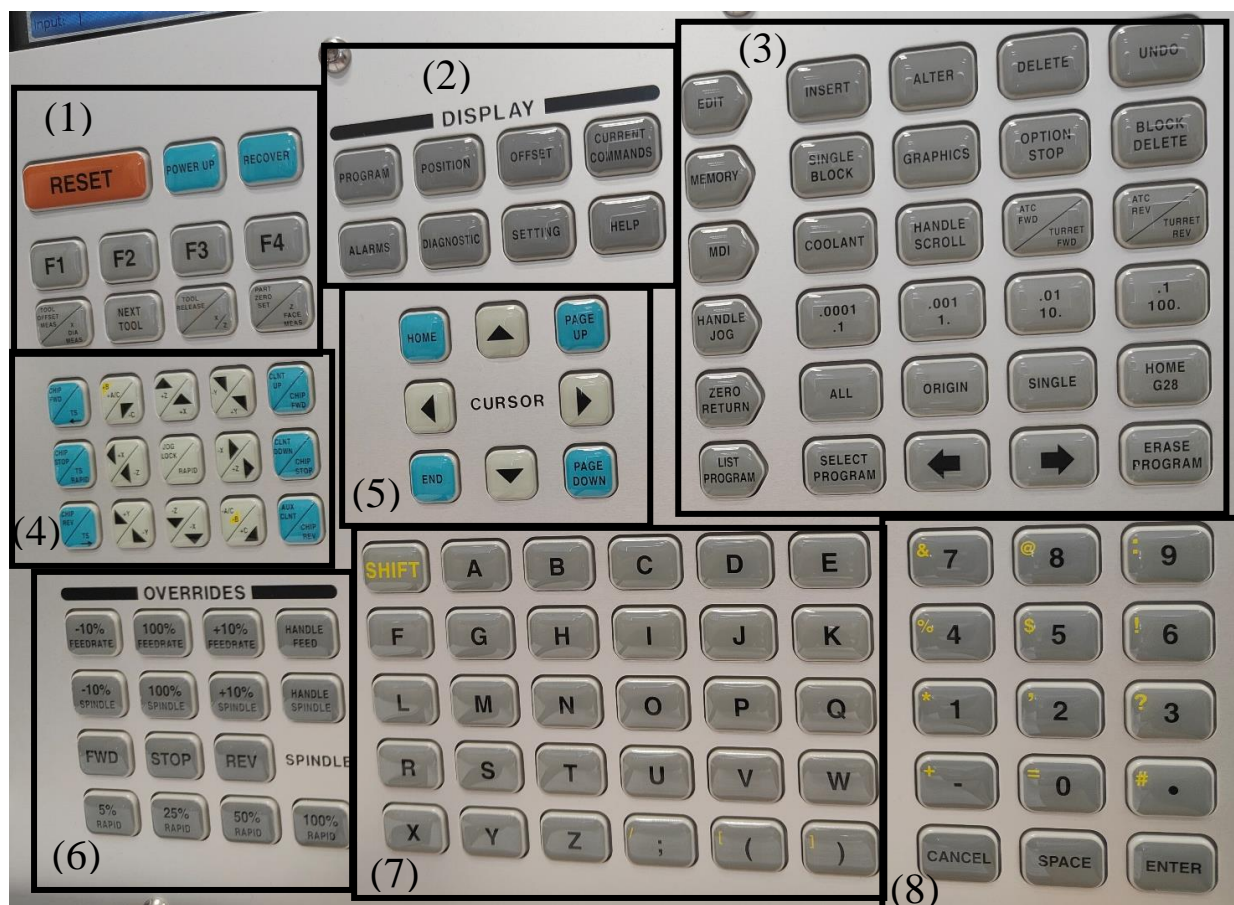


Slika 16. Tipke za upravljanje

5.3. Tipkovnica

Haas Desktop Mill glodalica opremljena je tipkovnicom koja omogućuje jednostavan i brz pristup ključnim funkcijama stroja. Tipkovnica je podijeljena na nekoliko sekcija koje omogućuju upravljanje različitim aspektima stroja, poput pregleda pozicija alata, unosa podataka i aktiviranja određenih funkcija obrade. Ova podjela tipki osigurava jednostavnije upravljanje strojem i prilagodbu parametara obrade čime se postiže veća učinkovitost u radu.

Tipkovnica se može podijeliti u nekoliko sekcija: funkcije (1), prikaz (2), način rada (3), micanje po osima (4), kretanje pokazivačem (5), ručna promjena parametara tokom rada (6), unos slova (7) te unos brojki (8).



Slika 17. Tipkovnica

5.3.1. Tipke za odabir prikaza

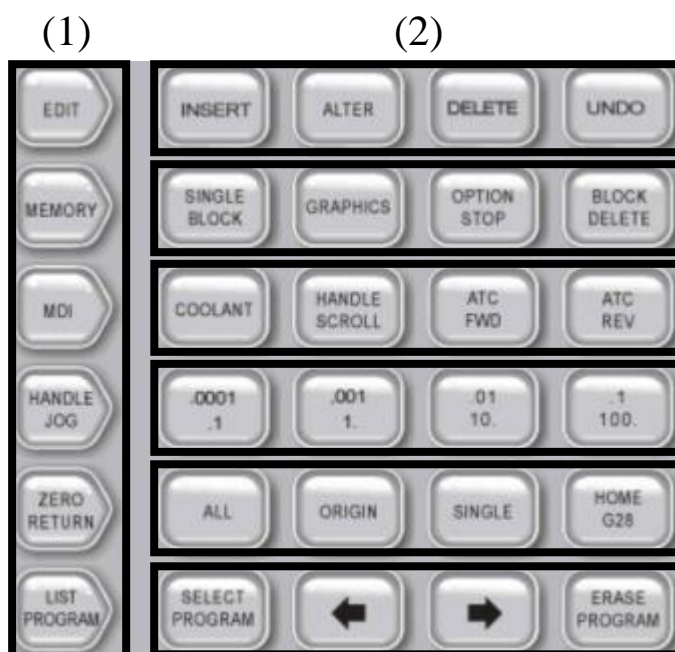
Ovaj set tipki služi za pregled podataka o obradi, mijenjanje postavki i prikaz pomoćnog izbornika. Među opcijama koje ovaj set tipki nudi nalazi se „program“ koja omogućuje pregled trenutnog programa obrade, dok opcija „position“ prikazuje trenutnu poziciju osi u odnosu na referentne točke. Tipka „offset“ služi za podešavanje koordinata za precizno pozicioniranje alata i obratka. Opcija „current commands“ pruža pregled trenutno aktivnih komandi, a odabirom tipke „alarms“ pristupa se informacijama o alarmima i upozorenjima tijekom rada stroja. Nadalje, tipka „diagnostic“ daje pregled informacija o statusu stroja i dijagnostičkih podataka, dok je putem tipke „setting“ moguće pregledavati i podešavati korisničke postavke. Posljednja opcija „help“ otvara pomoćni izbornik koji korisniku pruža dodatne informacije i pomoć u radu sa strojem.



Slika 18. Tipke za odabir prikaza [10]

5.3.2. Tipke za odabir načina rada

Ovaj set tipki služi za mijenjanje načina rada. U lijevom stupcu (1) nalaze se tipke pojedinog načina rada. Svaka tipka usmjerena je prema određenom retku tipki (2) koje služe za obavljanje radnji vezanih uz pojedini način rada. Svi načini rada su detaljno opisani u tablicama koje slijede u nastavku.



Slika 19. Tipke za odabir načina rada [10]

Tablica 1. Način rada „edit”

Način rada „edit“	
„edit“	Omogućuje uređivanje programa u editoru te pristupanje vizualnom programskom sustavu (VPS).
„insert“	Unos novih linija koda ili naredbi te drugih podataka.
„alter“	Izmjena postojećeg označenog koda.
„delete“	Brisanje unosa ili linija koda.
„undo“	Poništavanje posljednje radnje.

Tablica 2. Način rada „memory”

Način rada „memory“	
„memory“	Omogućuje pokretanje programa iz memorije.
„single block“	Izvršava se jedna po jedna linija koda.
„graphics“	Prikaz grafičke simulacije.
„option stop“	Zaustavljanje stroja kada dođe do linije koda koja sadrži naredbu „M01“.
„block delete“	Preskakanje linija koda koje sadrže kosu crtu „/“.

Tablica 3. Način rada „MDI”

Način rada „MDI“	
„MDI“	„MDI“ (<i>Manul Dana Input</i>) tipka omogućuje pokretanje programa direktnim unosom koda.
„coolant“	Uključivanje i isključivanje rashladne tekućine tijekom obrade.
„handle scroll“	Mogućnost kretanja kroz izbornik uz pomoć ručice za kretanje po osima.



Tablica 4. Način rada „handle jog”

Način rada „handle jog“	
„handle jog“	Omogućuje ručno kretanje po osima X, Y i Z korištenjem ručice.
„.0001/.1“ „.001/1“ „.01/10“ „.1/100“	Svaka od ove tipke omogućuje precizno podešavanje količine micanja po osima za svaki pomak ručice.

Tablica 5. Način rada „zero return”

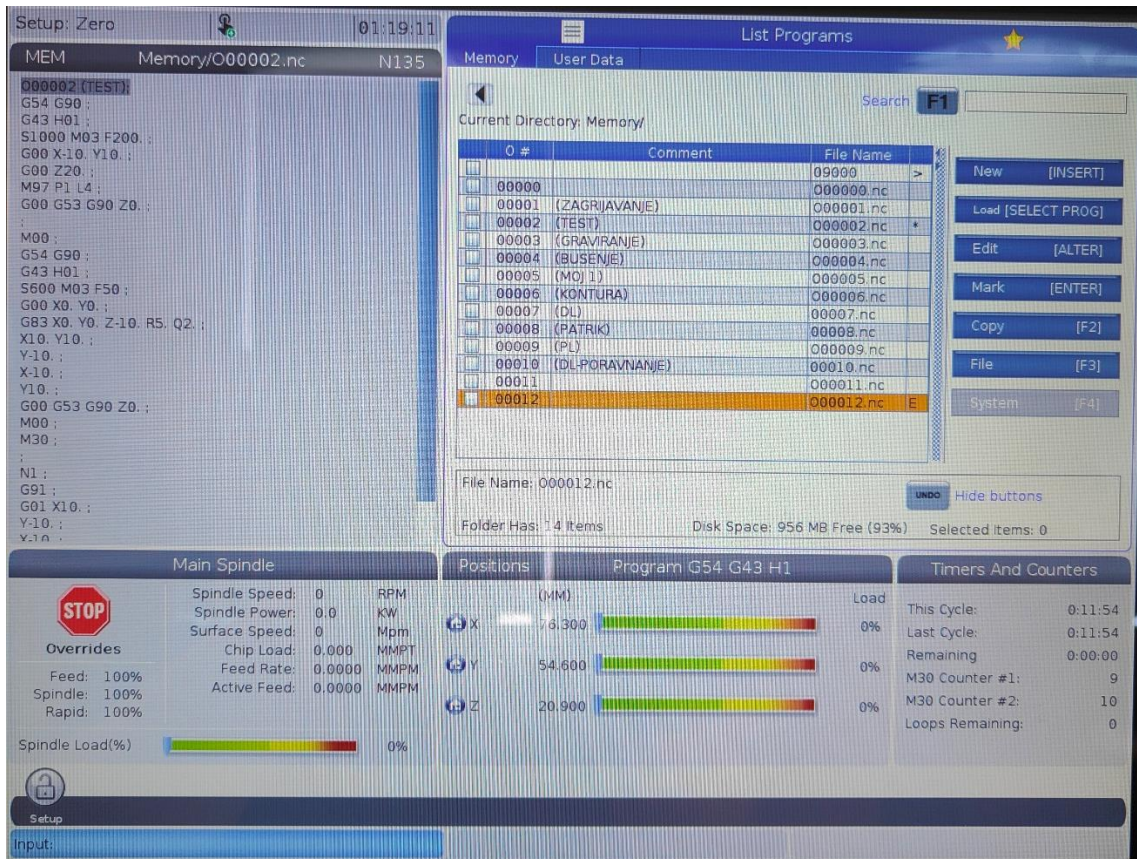
Način rada „zero return“	
„zero return“	Omogućuje vraćanje alata u nul-točku željene osi ili pak svih.
„all“	Vraćanje svih osi (X,Y,Z) u nul-točku stroja u jednom potezu.
„origin“	Vraćanje alat u nul-točku obratka.
„single“	Vraćanje samo jedne osi u nul-točku stroja.
„home G28“	Brzo vraćanje alata u referentnu točku koja služi kao početna pozicija ili sigurnosni položaj alata.

Tablica 6. Način rada „list programs”

Način rada „list programs“	
„list program“	Omogućuje pristup za pregledavanje i upravljanje listom programa.
„select program“	Odabir označenog programa i mogućnost izvršavanja istog.
	Kretanje na zaslonu unatrag.
	Kretanje na zaslonu unaprijed.
„erase program“	Mogućnost brisanja odabranog programa

5.4. Zaslón

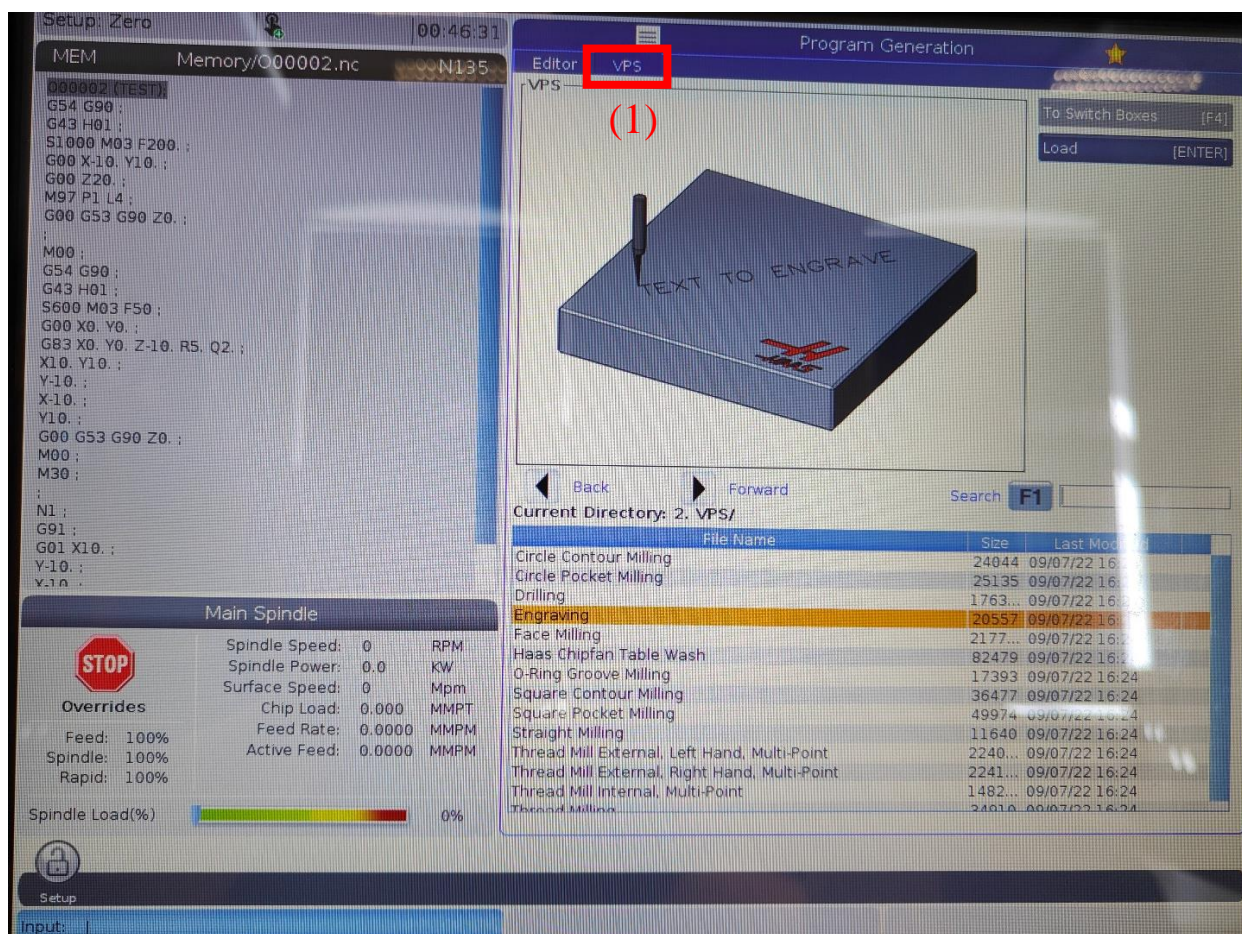
Na zaslonu je moguće prikazati više različitih izbornika ovisno o odabiru prikaza ili pojedinog načina rada. Pritiskom na neku od tipki iz sekcije prikaza ili načina rada koji su opisani u prethodnom poglavlju otvara se određeni izbornik. U nastavku je prikazana slika kontrolnog zaslona te liste programa.



Slika 20. Prikaz zaslona

5.5. VPS (Visual Programming System)

VPS je alat koji ima grafičko sučelje te omogućuje operaterima brzu i jednostavnu izradu CNC programa bez potrebe ručnog pisanja koda. Potrebni parametri poput dubine rezanja, broja okretaja vretena te brzine posmaka se unose u već postojeće predloške. Odabire se odgovarajući predložak pogodan za željenu obradu koja će se kasnije izvršiti. VPS sučelju se pristupa pritiskom tipke „edit“ te odabirom „VPS“ kartice (1). Kretanjem po izborniku odabire se željeni način obrade. Kada je željeni način obrade označen, pritiskom tipke „enter“ otvara se predložak za tu obradu. Zatim se odabire određena varijabla za koju je potrebno promijeniti vrijednost te se tipkom „enter“ mijenja vrijednost.

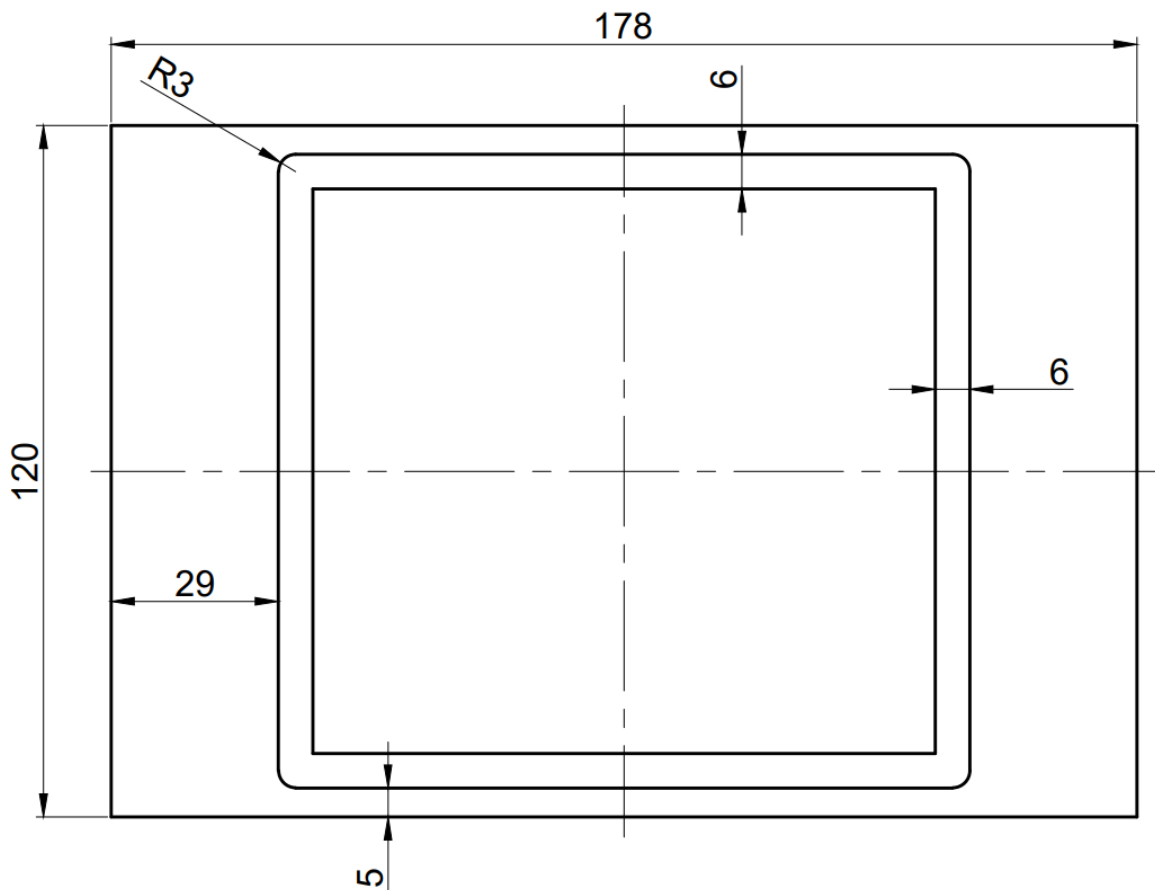


Slika 21. VPS (Visual Programming System)

Korištenjem VPS predloška moguće je postići različite vrste obrade, uključujući kružno konturno glodanje, kružno glodanje utora, bušenje, graviranje, čeno glodanje, čišćenje radnog prostora, glodanje utora za O-prsten, kvadratno konturno glodanje, kvadratno glodanje utora, ravno glodanje, izradu vanjskog lijevog viševojnog navoja, izradu vanjskog desnog viševojnog navoja, izradu unutarnjeg viševojnog navoja te izradu navoja.

6. Eksperimentalni dio

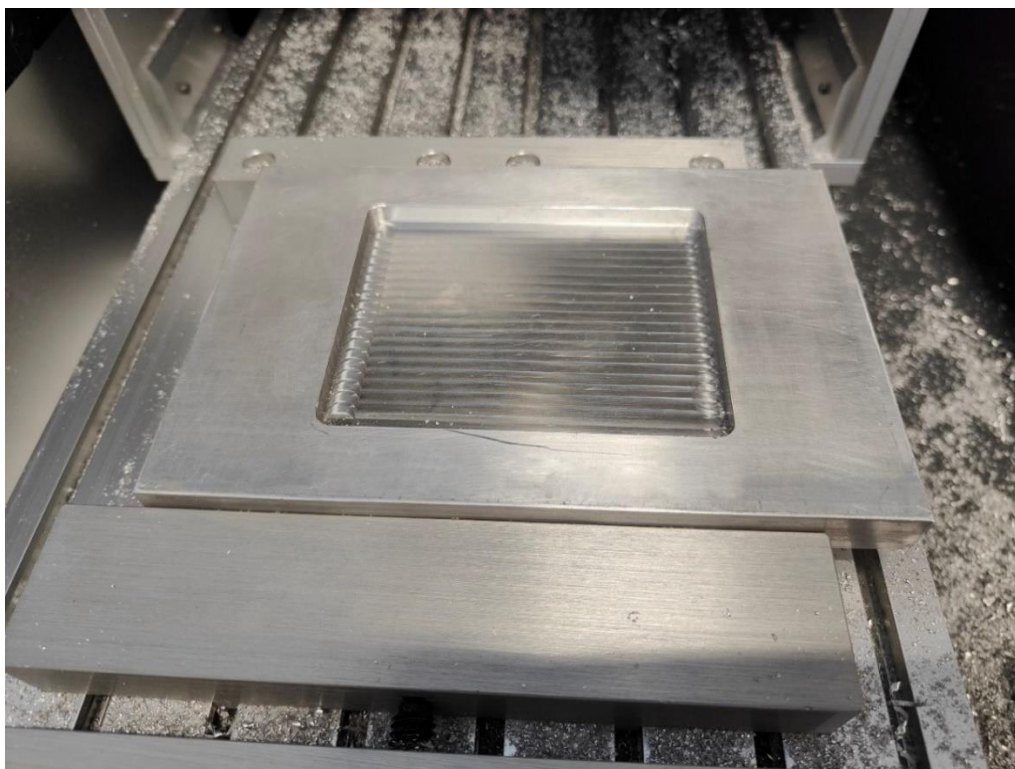
U eksperimentalnom dijelu ovog završnog rada bilo je potrebno na postojećem obratku izraditi utor dubine 1,4 mm. Prvobitna ideja bila je izrada programa korištenjem VPS predloška no tijekom proučavanja VPS mogućnosti uočeno je da za ovaj konkretni slučaj ručna izrada programa predstavlja najbolje rješenje. Kod je ručno unesen u program na temelju tehničkog crteža. Obrada se izvršila na Haas Desktop Mill glodalici u prostoriji Sveučilišta Sjever. U procesu glodanja korišteno je glodalo od tvrdog metala s tri rezne oštrice promjera 6 mm.



Slika 22. Tehnički crtež

6.1. Stezanje obratka

Proces glodanja utora je odrađen na obratku koji je već prošao kroz jednu obradu glodanja te je bilo potrebno izraditi još jedan utor. Obradak je stegnut steznom napravom uz pomoć alata kako bi ostao nepomičan tijekom obrade. Važno je dobro stegnuti predmet obrade kako ne bi došlo do pogreške prilikom obrade. Materijal obratka je aluminijska legura EN AW 6082.



Slika 23. Stezanje obratka steznom napravom

6.1.1. Aluminijska legura EN AW 6082

EN AW 6082 je aluminijska legura koja posjeduje odlična svojstva za strojnu obradu. Ova aluminijska legura se često koristi zbog kombinacije dobre obradivosti, čvrstoće i otpornosti na koroziju [11].

Kemijski sastav u postotku mase (preostali postotak čini aluminij) prema EN573-3 naveden je u tablici 7.

Tablica 7. Kemijski sastav EN AW 6082 legure [12]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0,7 - 1,3	Maks. 0,5	Maks. 0,1	0,4 - 1	0,6 - 1,2	Maks. 0,25	Maks. 0,2	Maks. 0,1

Mehanička i fizikalna svojstva ove aluminijske legure variraju ovisno o temperaturnom postupku. Granica tečenja materijala kreće se u rasponu od 110 MPa do 260 MPa, dok vlačna čvrstoća obično iznosi između 205 MPa i 310 MPa. Modul elastičnosti ove legure iznosi oko 70 GPa. Tvrdoća se kreće u rasponu od 70 HB do 95 HB, a gustoća obično iznosi 2700 kg/m³ [12].

6.2. Određivanje nul-točke obratka

Prije početka izrade programa bitno je definirati gdje će se nalaziti nul-točka obratka. Ovisno o toj točki će se izvršiti pozicioniranje alata tokom obrade. Kao pozicija nul-točke odabran je centar obratka. Kako bi se ta točka izračunala, alat je polako primican obratku po svakoj osi. Komadić papira pridržavao se uz obradak sve dok alat nije pritisnuo taj papir. Zabilježeni su sljedeći podaci pozicije: X = -149,31 mm, Y = -146,24 mm, Z = -36,74 mm. Međutim, proces nije gotov jer je potrebno uzeti u obzir polumjer alata i udaljenost od centra za osi X i Y. Ovaj dio je bitan kako bi se nul-točka pozicionirala u centar obratka.

Konačna pozicija nul-točke iznosi:

$$X = -149,31 + 3 + 89 = -57,31 \text{ mm}$$

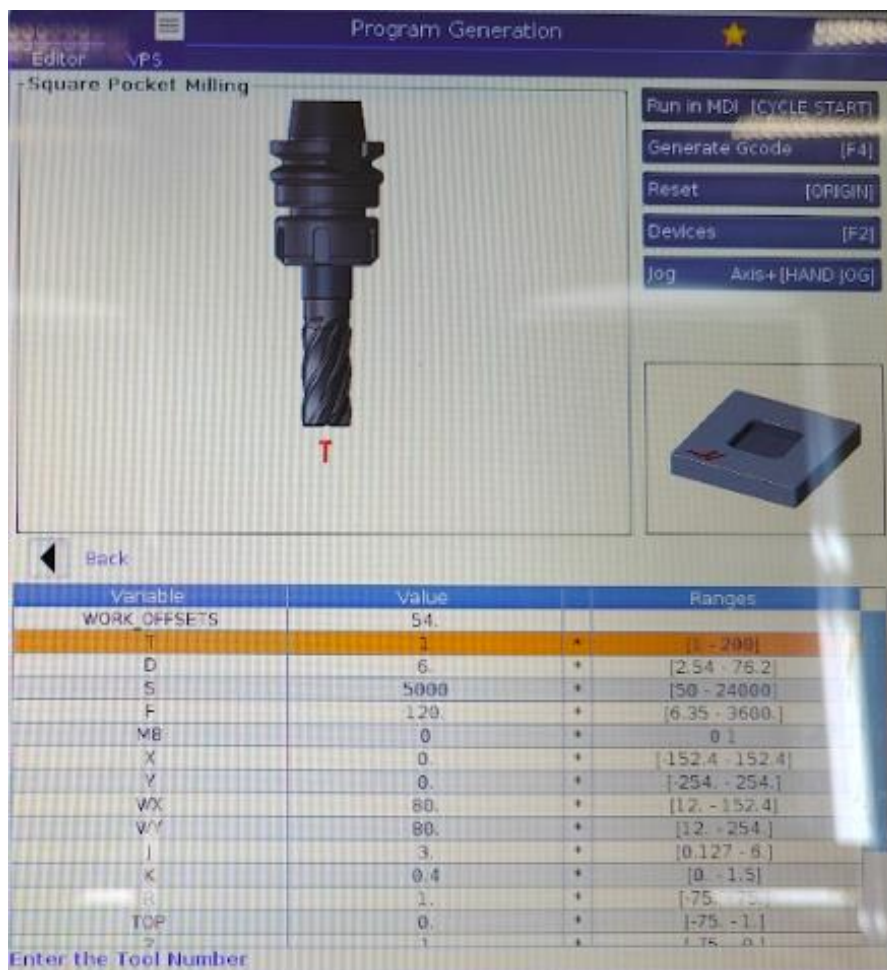
$$Y = -146,24 + 3 + 60 = -83,24 \text{ mm}$$

$$Z = -36,74 \text{ mm}$$

Navedeni podaci su uneseni za kod G55 putem upravljačke jedinice pritiskom tipke „offset“.

6.3. VPS predložak za kvadratno glodanje utora

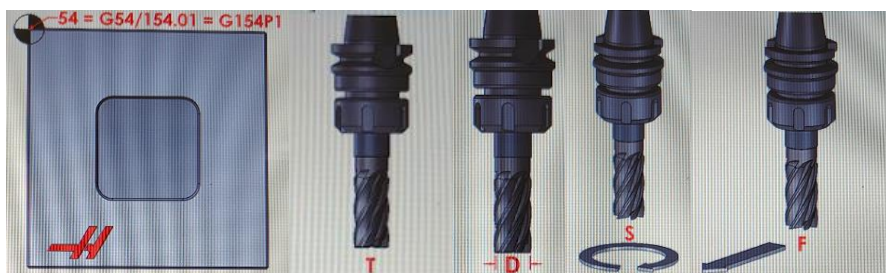
Iako ovaj predložak nije korišten za izradu programa, važno je spomenuti ga jer je vrlo koristan za mnoge druge obrade koje su slične traženoj obradi. Korištenje VPS predložka značajno ubrzava izradu koda za glodanje utora jer za razliku od ručnog unosa potrebno je samo izmijeniti potrebne parametre i program se automatski generira.



Slika 24. VPS predložak za kvadratno glodanje utora

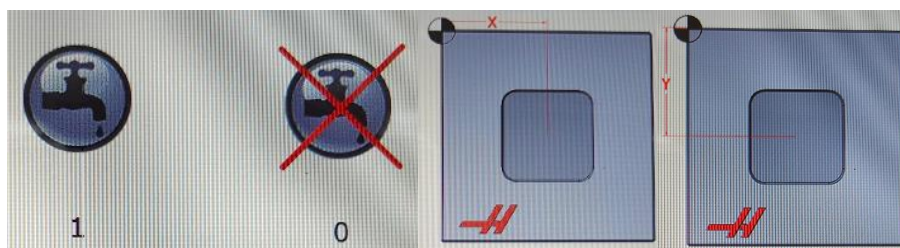
U nastavku će biti opisani parametri ovog VPS predložka.

Parametar „WORK_OFFSETS“ odnosi se na postavljanje nul-točke obrade kao što su G54 i G55, čime se definiraju referentne točke na obradnom stroju. Parametar „T“ označava odabir alata koji će se koristiti tijekom obrade dok parametar „D“ služi za unos promjera alata. Parametar „S“ predstavlja broj okretaja vretena, a parametar „F“ označava posmak alata, odnosno brzinu gibanja alata po putanji. Na slici 25. prikazan je grafički prikaz navedenih parametara.

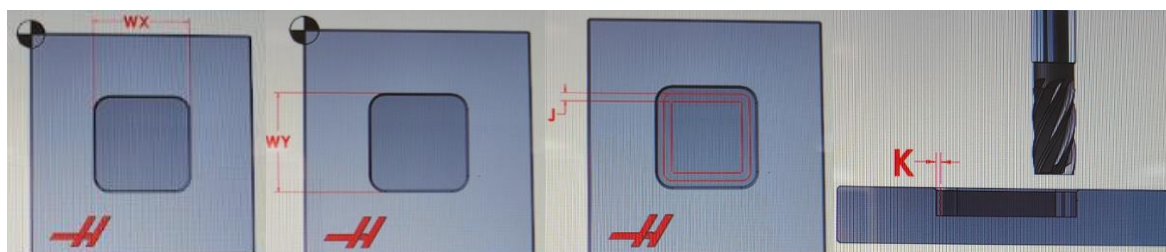


Slika 25. Grafički prikaz parametara „WORK_OFFSETS“, „T“, „D“, „S“ i „F“

Zatim slijedi parametar „M8“ kojim se aktivira sredstvo za hlađenje i podmazivanje. Parametri „X“ i „Y“ definiraju udaljenost od nul-točke do centra glodanog utora po osi X i Y. Širina glodanog utora u smjeru osi X i Y označava se parametrima „WX“ i „WY“ dok parametar „J“ označava širinu preklapanja s prethodnim prolazom programa. Parametar „K“ određuje širinu završne fine obrade, što je ključno za postizanje željene kvalitete površine. Na slici 26. i 27. prikazani su grafički prikazi spomenutih parametara.

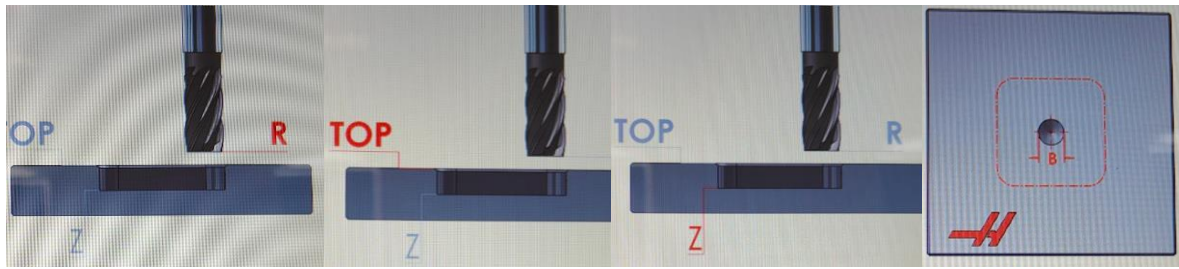


Slika 26. Grafički prikaz parametara „M8“, „X“ i „Y“



Slika 27. Grafički prikaz parametara „WX“, „WY“, „J“ i „K“

Nadalje, „R“ parametar predstavlja udaljenost od površine obrade nakon svakog ciklusa, dok „TOP“ parametar označava udaljenost od površine obratka na početku programa. Ukupna dubina glodanja utora definirana je parametrom „Z“, a parametar „B“ označava promjer početnog provrta prilikom ulaska alata u materijal. Broj prolaza po dubini određuje se parametrom „L“, dok „ZFIN“ parametar označava dubinu završne fine obrade. Parametrom „RAD“ definira se radijus rubova utora te posljednji parametar „END_M_CODE“ označava kraj programa. Na slici 28. i 29. prikazani su grafički prikazi spomenutih parametara.



Slika 28. Grafički prikaz parametara „R“, „TOP“, „Z“ i „B“

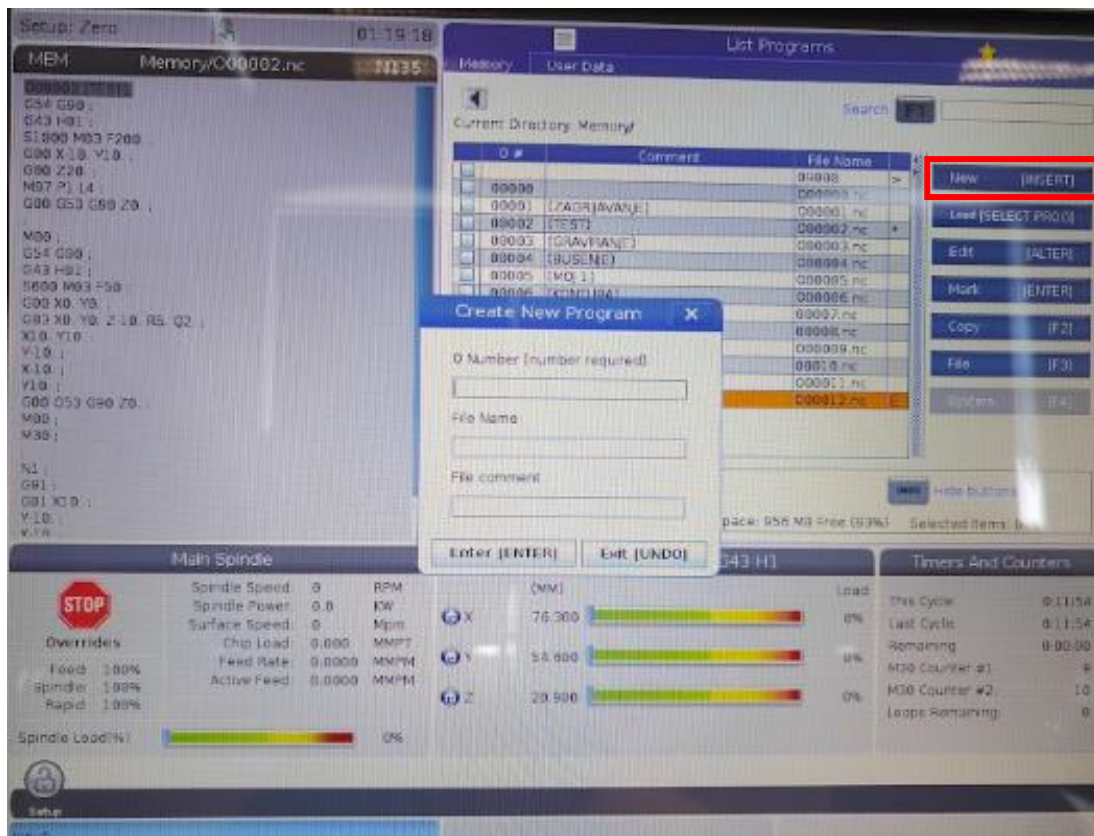


Slika 29. Grafički prikaz parametara „L“, „ZFIN“ i „RAD“

6.4. Ručno kreiranje CNC programa

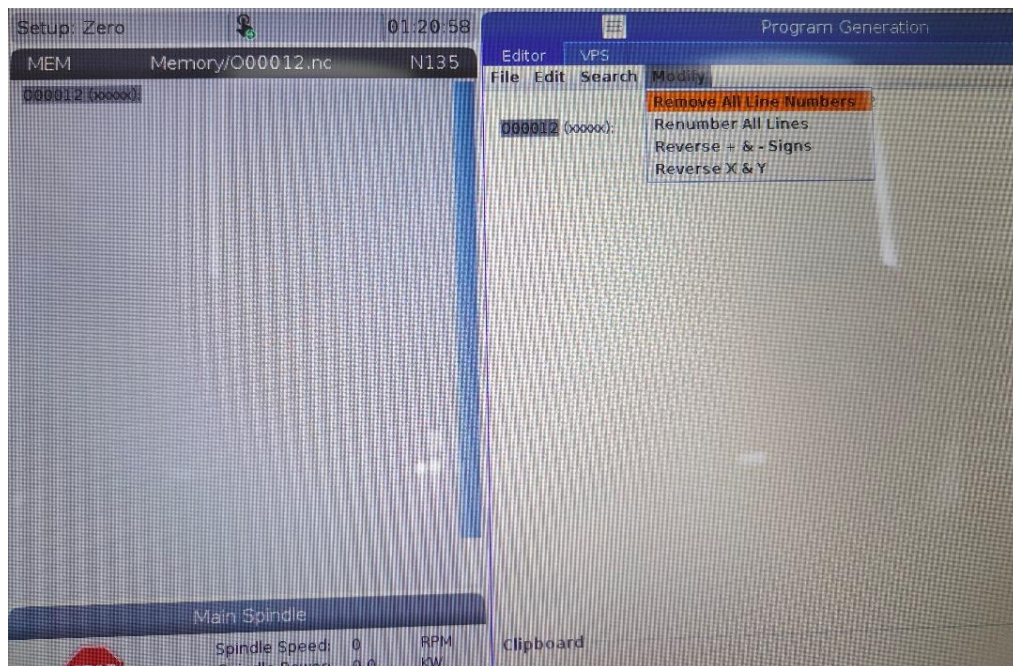
Za ručnu izradu CNC koda potrebno je poznavanje G-koda. G-kod je standardizirani jezik CNC strojeva koji se koristi za upravljanje kretanja alata, brzine, smjera i drugih funkcija obrade. Svaka linija koda sastoji se od naredbi koje stroj kasnije izvršava. G-kod upravlja svim aspektima strojne obrade poput kretanja po X, Y i Z osima, broja okretaja vretena, posmaka alata ili promjene alata. U ovom poglavlju će biti opisan ručni postupak kojim je izrađen program za eksperimentalno glodanje utora.

Postupak započinje odabirom načina rada „list programs“ čime se otvara izbornik za upravljanje i kreiranje novih programa. Pritiskom tipke na zaslonu „New“ te unosom potrebnih podataka kreira se novi program koji još ne sadrži informacije potrebne za obradu. U nastavku slijedi slika 30. koja prikazuje grafičko sučelje tijekom kreiranja novog programa.



Slika 30. Kreiranje novog programa

Zatim slijedi unos koda u kreirani program. Pritiskom tipke na zaslonu „Edit“ otvara se prazni tekstualni editor u koji se unose linije koda. Izgled praznog tekstualnog editora prikazan je na slici 31.



Slika 31. Tekstualni editor

U editor je ručno unesen kod koji je izrađen prema tehničkom crtežu. Navedeni kod i objašnjenje pojedine linije nalazi se u tablici 8.

Tablica 8. Ručno izrađen kod

Linija koda	Opis
O00016 (xxxxx)	Naziv programa.
G55 G90	Odabir ranije određene nul-točke G55 te uključivanje načina rada s apsolutnim dimenzija naredbom G90.
G43 H01 D01	Kompenzacija dužine i promjere alata.
S3800 M03 F42	Broj okretaja vretena postavljen na 3800 okr/min. Uključivanje rotacije vretena u smjeru kazaljke na satu. Posmak postavljen na 42 mm/min.
G00 X-60. Y52. Z20.	Pozicioniranje alata brzim hodom u početnu točku obrade na sigurnoj visini.
G01 Z1.	Linearno primicanje alata po osi Z na poziciju udaljenu 1 mm od površine.
G91	Uključivanje načina rada s inkrementalnim dimenzija.
G01 Y-52. Z-1.7	Početak glodanja „ramping“ metodom kojom se postepeno dolazi na željenu dubinu glodanja istovremenim kretanjem alata po Y i Z osi.
G01 Y-52.	Linearno glodanje po osi Y.
G01 X114.	Linearno glodanje po osi X.
G01 Y104.	Linearno glodanje po osi Y.
G01 X-114.	Linearno glodanje po osi X.
G01 Y-104	Linearno glodanje po osi Y.
G01 Z10.	Odmicanje alata iznad obradne površine po osi Z.
G00 Y104.	Gibanje alata brzim hodom u početnu točku iznad obratka.
G01 Z-10.	Primicanje alata do obradne površine po osi Z.
Z-0.7 Y-52.	Drugi prolaz „ramping“ metodom do dubine od 1,4 mm.
Y-52.	Linearno glodanje po osi Y.
X114.	Linearno glodanje po osi X.
Y104.	Linearno glodanje po osi Y.
X-114.	Linearno glodanje po osi X.
Y-104.	Linearno glodanje po osi Y.

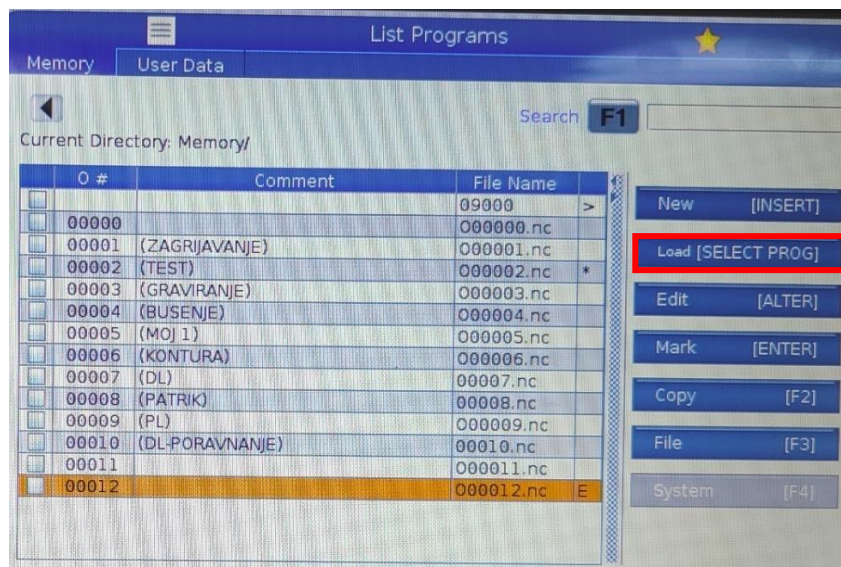
Z30.	Gibanje alata iznad obradne površine po osi Z.
M30	Kraj programa

6.5. Pokretanje programa za glodanje utora

Kako bi obrada započela potrebno je pokrenuti prethodno izrađen program. U nastavku je opisan cijeli postupak.

S obzirom da je glodalica duže vrijeme bila u stanju mirovanja, bilo je potrebno pokrenuti program za zagrijavanje koji postepeno zagrijava vreteno. Program za zagrijavanje vretena nužan je kako bi se stroj doveo na optimalnu radnu temperaturu čime se osigurava ispravan rad stroja i produžuje vijek trajanja stroja. Postupak zagrijavanja postavlja vreteno na niske brzine rotacije te ih postupno povećava u određenim vremenskim intervalima.

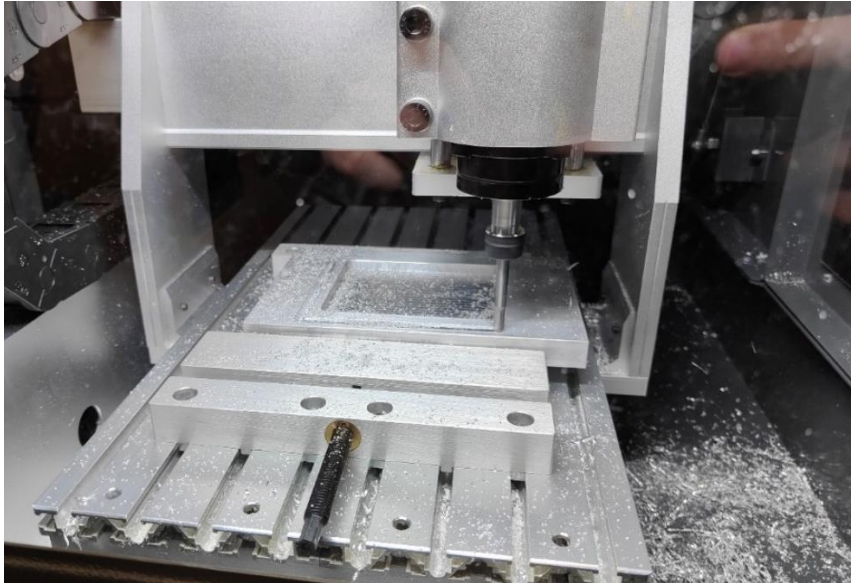
Slijedi učitavanje i pokretanje programa. Na zaslonu za odabir programa označen je izrađeni program te je pritisnuta tipka „Load“. Zatim je pritisnuta fizička tipka za pokretanje programa „CYCLE START“ čime započinje proces obrade.



Slika 32. Učitavanje programa



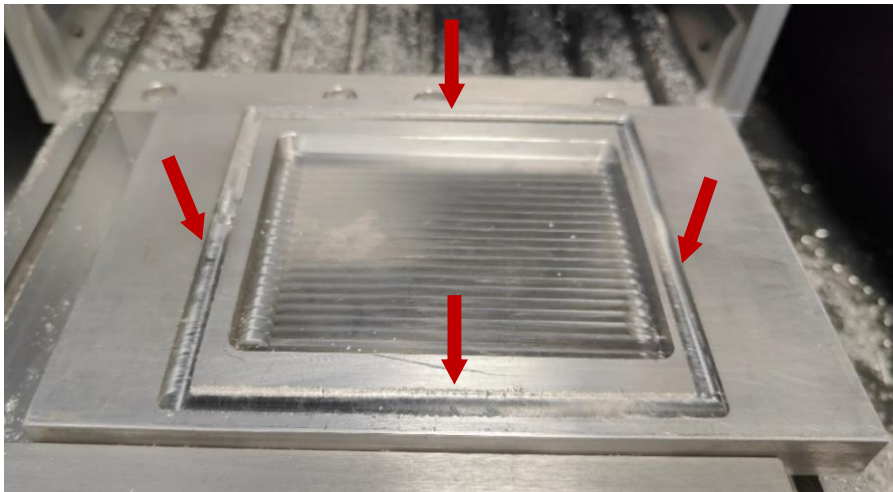
Slika 33. Tipka za pokretanje programa



Slika 34. Glodanje utora

6.6. Analiza uspješnosti obrade

Tijekom obrade nije došlo do grešaka što znači da su odabrani ispravni parametri glodanja. Kontrolom dobivenog izratka uočeno je da je kod točno izrađen jer su dimenzije sukladne onima na tehničkom crtežu. Kvaliteta površine utora je zadovoljavajuća s obzirom na namjenu ovog izratka.



Slika 35. Izradak dobiven glodanjem

7. Zaključak

Potražnja za izradcima složenih geometrija i visoke kvalitete površine svakim danom raste. Upravo radi toga je strojna obrada bez CNC upravljanja danas gotovo nezamisliva. Dakle, CNC upravljanje strojevima je ključan segment današnjih proizvodnih postrojenja. Korištenje takvih sustava smanjuje mogućnost nastanka greške ili povrede radnika te značajno ubrzava proces izrade.

Iako je korištenje računala znatno ubrzalo i olakšalo proces proizvodnje, važno je i dalje uzeti u obzir ulogu čovjeka. Svaka obrada materijala ima različite zahtjeve kvalitete ovisno o potrebama kupca. Kako bi se ostvarila što veća razina kvalitete izradaka, ključna je kvalitetna obuka operatera te poznavanje materijala koji se obrađuju. Svaki materijal posjeduje specifična svojstva koja uvelike utječu na kvalitetu obrade.

Kako bi budući operateri stekli praktično znanje, potrebno je omogućiti im rad na strojevima poput Haas Desktop Mill glodalice. Takvi strojevi su vrlo pristupačni za korištenje i savršeni su za uvođenje početnika u svijet strojne obrade. VPS predlošci omogućuju operateru brzu izradu programa jednostavnim unosom potrebnih parametara. Iako korištenje VPS predložaka ne zahtijeva detaljno znanje G-koda, poznavanje istog može olakšati rad s predlošcima, a ovisno o mogućnostima stroja, može biti potrebno za uređivanje ili ručnu izradu programa.

Ispravan odabir položaja nul-točke s obzirom na geometriju obratka ključan je za pojednostavljenje i ubrzavanje procesa izrade programa. Ručna izrada programa znatno je sporija od izrade programa korištenjem VPS predloška, no ponekad je to jedini način da se izvrši potrebna obrada. Važno je prilagoditi parametre obrade prema vrsti materijala obratka te detaljno proučiti optimalne parametre ili ih testirati na probnom materijalu. Također, ispravan odabir parametara obrade omogućuje postizanje tražene kvalitete površine ovisno o zahtjevima obratka.

8. Literatura

- [1] M. Bušić, Alati za alatne strojeve, pribor za stezanje alata, pribor za stezanje obratka, predavanje iz kolegija „Alatni strojevi“
- [2] <https://www.shapesbyhydro.com/en/material-properties/a-quick-guide-to-the-machinability-of-aluminium-alloys>, dostupno 03.08.2024.
- [3] M. Bušić, Strojevi za tokarenje, strojevi za glodanje, strojevi za bušenje, predavanje iz kolegija „Alatni strojevi“
- [4] https://titan.fsb.hr/~mklaic/ODOO_dio_obrada_odvajanjem/Predavanja/9.PREDAVANJE-ODIOO-w2.pdf, dostupno 03.08.2024.
- [5] <https://cuttingtools.ceratizit.com/gb/en/machining-know-how/milling/advisor/machining-aluminium.html>, dostupno 04.08.2024.
- [6] M. Bušić, CNC obradni sustavi, predavanje iz kolegija „Alatni strojevi“
- [7] <https://cnc.com.hr/parametri-kod-glodanja/>, dostupno 07.08.2024.
- [8] https://titan.fsb.hr/~mklaic/Tehnologija_odabrana_poglavlja_SIBENIK/2019_2020/Tehnologije-odabrana_poglavlja_2019-20_obrada_odvajanjem%201.pdf, dostupno 07.08.2024.
- [9] <https://www.haascnc.com/machines/desktop-machines/desktop-mill.html>, dostupno 12.08.2024.
- [10] https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english_mill_interactive_manual_print_version_2023.pdf, dostupno 12.08.2024.
- [11] <https://www.pentaprecision.co.uk/material-resources/aluminium-resources/6082-machining>, dostupno 13.08.2024.
- [12] https://www.alumerogroup.eu/fileadmin/user_upload/downloads/folder/technologien/ALUMERO_Legierungen_EN-AW-6082_EN.pdf, dostupno 13.08.2024.
- [13] <https://www.wojiecnc.com/milling-machin-3-axi/>, dostupno 15.08.2024.
- [14] https://www.gindumac.com/product/juaristi-ftf-1-cnc-cop_ES-MIL-JUA-1986-00001, dostupno 15.08.2024.
- [15] <https://www.exapro.com.hr/bernardo-uwf-110-p231110040/>, dostupno 15.08.2024.
- [16] <https://www.trgovina-ekstra.hr/hr/glodalica-za-metal-bf500d400v-holzmann-maschinen>, dostupno 15.08.2024.
- [17] <https://olx.ba/artikal/29603271>, dostupno 15.08.2024.
- [18] <https://kentcnc.com/high-speed-machining-2/>, dostupno 15.08.2024.
- [19] <https://www.tsinfa.com/blog/>, dostupno 15.08.2024.
- [20] <https://elimold.com/services/multi-axis-cnc-machining/>, dostupno 15.08.2024.

- [21] <https://www.simplex.hr/portal-milling>, dostupno 15.08.2024.
- [22] <https://www.kenenghardware.com/micro-and-nano-cnc-turning-everything-you-need-to-know/>, dostupno 15.08.2024.
- [23] <https://pmbmachineworks.com/>, dostupno 15.08.2024.
- [24] <https://metrom.com/the-benefits-of-using-a-cnc-milling-machine/>, dostupno 07.09.2024.
- [25] <https://cnc.com.hr/alati-za-glodanje/>, dostupno 07.09.2024.
- [26] Z. Ćakić, Alati za glodanje, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, 2016.
- [27] J. Kovčalića: Karakteristike obrade s odvajanjem čestica – glodanje, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, 2018.
- [28] <https://metal-kovis.hr/shop/metal/glodala-s-izmjenjivim-plocicama>, dostupno 07.09.2024.
- [29] Z. Botak, predavanje iz kolegija „Tehnologija I“
- [30] M. Franz: Mehanička svojstva materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1998.
- [31] Pavić, A.: Tehnologija obrada odvajanjem čestica, Karlovac, 2013.

Popis slika

Slika 1. Glodanje prema položaju reznih oštrica [1]	2
Slika 2. Glodanje prema kinematici postupka [4]	3
Slika 3 Univerzalna glodalica [15], vertikalna glodalica [16] i horizontalna glodalica [17]	4
Slika 4. Portalna glodalica [14], glodaći obradni centar [13] i glodaća obradna ćelija [6]	5
Slika 5. Prstenasta glodala izrađena od jednog komada [1]	6
Slika 6. Čeono glodalo sa izmjenjivim pločicama [1].....	6
Slika 7. CNC vertikalna glodalica [18]	7
Slika 8. CNC horizontalna glodalica [19]	8
Slika 9. CNC glodalica s 5 osi [20]	8
Slika 10. CNC portalna glodalica [21]	9
Slika 11. CNC mikroglodalica [22].....	9
Slika 12. CNC glodalica za specijalne primjene [23].....	10
Slika 13. Oblik strugotine ovisno o parametrima [8]	12
Slika 14. CNC glodalica Haas Desktop Mill [9]	13
Slika 15. Upravljačka jedinica stroja [10]	14
Slika 16. Tipke za upravljanje	15
Slika 17. Tipkovnica.....	16
Slika 18. Tipke za odabir prikaza [10]	17
Slika 19. Tipke za odabir načina rada [10].....	18
Slika 20. Prikaz zaslona.....	21
Slika 21. VPS (Visual Programming System).....	22
Slika 22. Tehnički crtež.....	23
Slika 23. Stezanje obratka steznom napravom	24
Slika 24. VPS predložak za kvadratno glodanje utora	26

Slika 25. Grafički prikaz parametara „WORK_OFFSETS“, „T“, „D“, „S“ i „F“	27
Slika 26. Grafički prikaz parametara „M8“, „X“ i „Y“	27
Slika 27. Grafički prikaz parametara „WX“, „WY“, „J“ i „K“	27
Slika 28. Grafički prikaz parametara „R“, „TOP“, „Z“ i „B“	28
Slika 29. Grafički prikaz parametara „L“, „ZFIN“ i „RAD“	28
Slika 30. Kreiranje novog programa.....	29
Slika 31. Tekstualni editor.....	29
Slika 32. Učitavanje programa	31
Slika 33. Tipka za pokretanje programa	31
Slika 34. Glodanje utora	32
Slika 35. Izradak dobiven glodanjem	32

Popis tablica

Tablica 1. Način rada „edit”	18
Tablica 2. Način rada „memory”	19
Tablica 3. Način rada „MDI”	19
Tablica 4. Način rada „handle jog”	19
Tablica 5. Način rada „zero return”	20
Tablica 6. Način rada „list programs”	20
Tablica 7. Kemijski sastav EN AW 6082 legure [12]	24
Tablica 8. Ručno izrađen kod	30