



# CNC Strojna obrada

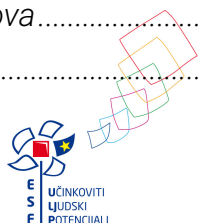
**Prof.dr.sc. Nedeljko Štefanić**  
Zagreb, 2023.





## Sadržaj

1. Osnove strojne obrade .....	3
1.1. Strojevi za obradu metala .....	7
2. CNC strojna obrada tokarenjem.....	10
2.1. Programiranje CNC tokarilica.....	10
2.2. 2-osna tokarilica HAAS ST-15 s dodavačem materijala i kolaborativnim robotom Fanuc EDU-5 14	
3. CNC strojna obrada glodanjem.....	17
3.1. Programiranje CNC strojeva za glodanje.....	17
3.2. HAAS UMC-500SS CNC stroj za 5-osno glodanje.....	22
4. CNC strojna obrada brušenjem.....	25
4.1. Programiranje CNC strojeva za brušenje.....	26
4.2. CNC planska brusilica GT 40.....	29
4.3. CNC alatna brusilica WHE.....	32
5. CNC strojna obrada erozijom .....	35
5.1. Strojna obrada elektroerozije korištenjem elektrode.....	36
5.1.1. CNC erozimat s elektrodom SG125.....	37
5.1.2. CNC erozimat sa žicom MV1200S.....	43
6. Uređaj za lasersko graviranje XT Laser XTL - FC50.....	47
7. Održavanje, sigurnost rada i zaštita pri CNC strojnoj obradi.....	51
7.1. Održavanje CNC strojeva .....	51
7.2. Sigurnost rada na CNC strojevima.....	54
8. Primjena tehnologija Industrije 4.0 u CNC strojnoj obradi.....	57
8.1. Automatizacija i industrija 4.0.....	57
8.2. Povezivanje CNC strojeva s pametnim sustavima .....	58
8.3. Budućnost i izazovi CNC strojne obrade.....	59
8.4. Izazovi i mogućnosti za stručnjake za CNC strojnu obradu .....	60
Literatura.....	62
Kazalo slika .....	63
Kazalo tablica .....	64
Kazalo grafova.....	65
Popis ključnih pojmova.....	66
Impressum .....	67



# 1. Osnove strojne obrade

Strojna obrada metala obuhvaća širok raspon postupaka i tehnika promjena oblika, dimenzija ili svojstava materijala kako bi se prilagodio daljnjoj upotrebi. Ključna je u proizvodnji raznih proizvoda, od jednostavnih svakodnevnih predmeta do složenih industrijskih komponenti. Strojna obrada metala može se podijeliti na strojnu obradu:

1. Obrada izvornog oblikovanja – iz bezobličnog stanja ( ruda, otpadni metal, strugotina,..) oblikuje se čvrsto tijelo određenog oblika ( najčešće lijevanjem )
2. Obrada bez skidanja čestice – način obrade materijala kada se sirovac mijenja u željeni oblik novih dimenzija ili svojstava bez promjene volumena i mase materijala (valjanje, kovanje, savijanje, sabijanje, ...)
3. Obrada odvajanjem čestice – način obrade materijala kada se sa sirovca odvaja višak materijala lomljenjem sitnih dijelova materijala (piljenje, bušenje, tokarenje, glodanje, ...)
4. Obrada spajanjem – način obrade kod kojeg se željeni proizvod dobije spajanjem dva ili više dijelova u jednu cjelinu ( zavarivanje, lijepljenje, lemljenje, spajanje vijcima, zakovicama, ... )
5. Obrada zaštite materijala – način obrade kod kojeg se na obradak nanosi materijal u svrhu povećanja kvalitete proizvoda ( antikorozivna zaštita, metalizacija, eloksiranje, bruniranje, kromiranje, bojenje, plastifikacija, ...)
6. Obrada promjenom svojstava – način obrade materijala kada se sirovcu mijenja struktura, a time i njegova svojstva ( kaljenje, normalizacija, cementiranje,...)

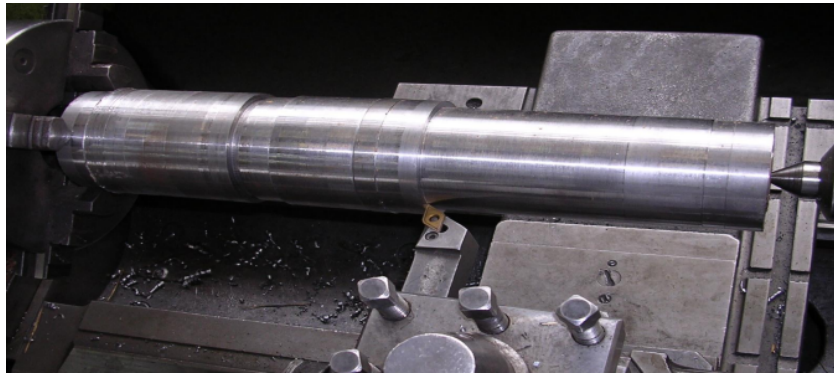
Strojna obrada odvajanjem čestica dijeli se na:

1. Obradu čvrstom oštricom
  - 1.1 Obrada definiranom oštricom
 

- Piljenje	- Tokarenje
- Glodanje	- Bušenje
- Upuštanje	- Razvrtanje
- Blanjanje	- Dubljenje
- Provlačenje	
  - 1.2 Obrada nedefiniranom oštricom
    - Brušenje
2. Obrada slobodnom oštricom
 

- Poliranje	- Honanje
- Lapanje	- Superfinaš
3. Obrada bez oštrice
  - Kemijska
  - Elektroerozija
  - Obrada mlazom
  - Elektro kemijska
  - Mehanička
  - Laserska

Tokarenje je postupak obrade odvajanjem čestica pretežno rotacijskih površina, koje mogu i ne moraju biti okrugle i simetrične. Izvodi se na tokarilicama, pri čemu se obradak rotira, a rezni alat se pomiče linijski. Alat za tokarenje naziva se tokarski nož, a postupak tokarenja prikazan je na Slici 1.



Slika 1 – Strojna obrada tokarenjem [1]

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica kojim se obrađuju različite vrste površina. Izvodi se na glodalicama, pri čemu se alat rotira, a obradak vrši posmično gibanje. Alat za glodanje naziva se glodalo, a postupak glodanja prikazan je na Slici 2.



Slika 2 – Strojna obrada glodanjem [2]

Bušenje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se upotrebljava za bušenje provrta manjih promjera ili proširivanje provrta većih promjera. Izvodi se na bušilicama, pri čemu se alat (svrdlo) rotira, a obradak najčešće miruje. Postupak bušenja prikazan je na Slici 3.



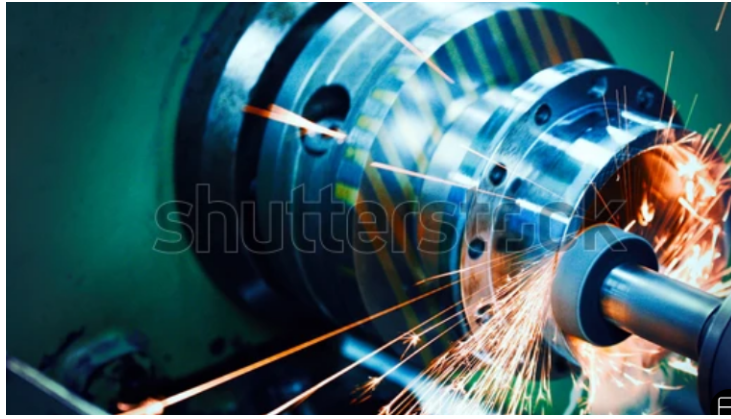
Slika 3 – Strojna obrada glodanjem [2]

Piljenje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se upotrebljava u svrhu dijeljenja obratka (šipke, profili, cijevi) na više komada (izradaka). Izvodi se na pilama, a rjeđe ručno. Alat - pila, ima više reznih oštrica, od kojih je samo nekoliko istovremeno u zahvatu. Rezne oštrice nalaze se na zubima koji su smješteni na obodu ili listu pile. Postupak piljenja prikazan je na Slici 4.



Slika 4 – Strojna obrada piljenjem (Stock Photo ID: 1171723873)

Brušenje je vrlo precizan postupak obrade odvajanjem čestica koji se upotrebljava za finu i pretežito završnu obradu, pretežito tvrdih površina ravnog, cilindričnog ili složenog oblika. Izvodi se na brusilicama, pri čemu se najčešće alat rotira, dok obradak vrši posmično gibanje. Alat za brušenje je brus. Slika 5 prikazuje postupak brušenja.



Slika 5 – Strojna obrada brušenjem (Stock Photo ID: 777279193)

Blanjanje je postupak obrade odvajanjem čestica pretežno ravnih površina. Izvodi se na blanjalicama, pri čemu se alat kreće linijski pravocrtno (radni hod i povratni hod), a obradak najčešće miruje (osigurava dodir s nožem). Alat za blanjanje je nož, a postupak blanjanja prikazan je na Slici 6.



Slika 6 – Strojna obrada blanjanjem

Dovedena energija u procesu obrade odvajanjem čestica gotovo u potpunosti prelazi u toplinsku energiju, pri čemu se događa neželjeno zagrijavanje alata i obratka. Pod utjecajem topline na obratku se stvaraju toplinske deformacije, a alat se brže troši te se povećava otpor rezanju i pojačavaju vibracije. Količina generirane topline u zoni obrade razmjerna je brzini rezanja i čistom vremenu obrade.

*Jedna od novih tehnologija obrade materijala koja ne podrazumijeva ni odvajanje čestica ni oblikovanje deformiranjem, naziva se aditivna proizvodnja. Aditivna proizvodnja oblikuje proizvod dodavanjem slojeva materijala, što se često naziva i 3D printanje.*

## 1.1. Strojevi za obradu metala

Obrada materijala provodi se korištenjem raznih alata i strojeva. Alati mogu biti ručni, poput ručnih bušilica, pila, blanjalica, i drugih. Ti se alati koriste za jednostavnije obrade i najčešće ih pronalazimo u kućnoj primjeni. Složenije obrade materijala obavljaju se na strojevima, a razlikujemo:

- Strojeve s ručnim upravljanjem
- Numerički upravljane alatne strojeve (CNC strojeve)
- Obradne centre

Strojevi s ručnim upravljanjem su alatni strojevi na kojima operater ručno upravlja gibanjem i parametrima alata te vrši obradu proizvoda, kao što je prikazano na Slici 7. Ove strojeve sve više zamjenjuju numerički upravljani strojevi.



Slika 7 – Ručno upravljani alatni stroj (Stock Photo ID: 2180286747)

CNC strojevi su računalom upravljani alatni strojevi koji vrše obradu materijala pomoću unaprijed definiranog programa. Program rada definira se na upravljačkoj jedinici stroja ili na računalu s kojeg se zatim prenosi na stroj. Programom su definirani alati i njihove putanje tijekom obrade, a operater ima zadaću postaviti obradak i alat u stroj, učitati i pokrenuti program te kontrolirati rad stroja. Ovi strojevi su brži i efikasniji od ručno upravljanih alatnih strojeva, a jedan takav stroj prikazan je na Slici 8. Koriste se u različitim industrijama, uključujući metaloprerađivačku, drvenu industriju, medicinsku industriju i druge, gdje se zahtijeva vrlo visoka preciznost i ponovljivost.



Slika 8 – CNC stroj (Stock Photo ID: 345985106)

Prednosti CNC strojeva su :

- **Preciznost**- CNC strojevi omogućuju visoku razinu preciznosti u izvođenju operacija, što rezultira visoko kvalitetnim proizvodima.
- **Automatizacija**- CNC strojevi rade automatizirano na temelju prethodno generiranih programiranih instrukcija, što smanjuje potrebu za ručnim radom, a čime se povećava učinkovitost proizvodnje.
- **Ponovljivost**- Jednom programiran, CNC stroj može beskonačno ponavljati iste zadatke s definiranom preciznošću
- **Fleksibilnost**- CNC strojevi mogu se programirati za izvođenje različitih operacija, što ih čini fleksibilnim i prilagodljivim u različitim proizvodnim potrebama.
- **Brzina proizvodnje**- U usporedbi s klasičnim alatnim strojevima, CNC strojevi omogućuju bržu proizvodnju, što rezultira kraćim vremenom trajanja ciklusa proizvodnje.

Složeni oblici: CNC strojevima izrađuju se vrlo složeni oblici i geometrija proizvoda

- **Smanjenje otpada**-Preciznost CNC strojeva smanjuje gubitak materijala i povećava iskoristivost materijala i sirovina.

Nedostaci CNC strojeva su:

- **Trošak**- Inicijalna investicija u CNC opremu može biti visoka, što može predstavljati izazov za manje tvrtke.
- **Održavanje i popravci**:-CNC strojevi zahtijevaju redovito održavanje kako bi održali svoju funkcionalnost, a popravci mogu biti skupi.
- **Potreba za stručnim operaterima**- Rad CNC strojeva zahtijeva stručno osoblje koje može programirati, postavljati i nadgledati stroj, što može povećati troškove radne snage.
- **Programiranje**-Programiranje CNC strojeva zahtijeva određene vještine i znanja, a pogreške u programiranju mogu dovesti do neispravnih proizvoda.
- **Nemogućnost prilagodbe u stvarnom vremenu**- Ako se zahtjevi proizvodnje iznenada promijene, prilagodba CNC strojeva može biti ograničena i zahtijevati dodatno vrijeme.

Unatoč navedenim nedostacima, CNC strojevi igraju ključnu ulogu u modernoj industriji zbog svoje visoke preciznosti, automatizacije i učinkovitosti u proizvodnim procesima.

Obradni centri su alatni strojevi koji imaju mogućnost provedbe više vrsta različitih strojnih obrada, a mogu biti u izvedbi sa ili bez automatske izmjene alata. To znači da se proizvod može obraditi na više načina bez premještanja sa stroja na stroj i bez ručne promjene alata, čime efikasnost rada znatno raste. Slika 9 prikazuje obradne centre u proizvodnom pogonu.





Slika 9 – Obradni centri (Stock Photo ID: 2066838548)

*Strojevi za obradu materijala mogu imati različit broj osi ovisno o njihovoj složenosti i namjeni pa tako razlikujemo 2-osne, 3-osne, 4-osne i 5-osne strojeve. U proizvodnje je jako važno pravilno odabrati stroj za izradu nekog proizvoda. Npr. proizvod koji se može izraditi na 3-osnom stroju nije isplativo izrađivati na 5-osnom.*

## 2. CNC strojna obrada tokarenjem

CNC tokarilice su posebna vrsta tokarskih strojeva kojima se postiže visoka preciznost i ponovljivost izrade složenih cilindričnih i konusnih predmeta koristeći unaprijed definirani program obrade, a čime se postiže automatizacija procesa tokarenja za cijelo vrijeme strojne obrade. Program rada definira se na upravljačkoj jedinici stroja ili na računalu s kojeg se zatim prenosi na CNC stroj. Programom CNC obrade definiraju se alati, njihove putanje tijekom obrade te režimi i redoslijed obrade, dok je zadatak operatera postaviti obradak i alat u stroj, učitati i pokrenuti program te kontrolirati rad stroja.

### 2.1. Programiranje CNC tokarilica

Programiranje CNC strojeva središnji je i najvažniji proces strojne obrade. Postoje različite vrste programiranja, ovisno o vrsti stroja i složenosti operacija koje se izvode. Od velikog broja vrsti programiranja CNC strojeva, navodimo sljedeće:

- **G-kod programiranje** - G-kodovi su osnovni programski jezici koji se koristi za upravljanje CNC strojevima. U ovom načinu programiranja koriste se različite G-naredbe (npr. G01, G02, G03 za linearno ili kružno kretanje), M-naredbe za upravljanje funkcijama stroja (npr. uključivanje hlađenja), kao i X, Y, Z koordinate za pozicioniranje alata (pogledati Sliku 10).



Slika 10 - CNC programski kod strojne obrade ( Stock ID: 2303355635)

- **CAD/CAM programiranje** - Koristi se CAD (Computer-Aided Design, Konstruiranje uz pomoć računala) softver za izradu trodimenzionalnih modela dijelova, a zatim CAM (Computer-Aided Manufacturing, Proizvodnja uz pomoć računala) softver za generiranje G-koda iz tih modela. CAD/CAM programiranje omogućuje složenije operacije, kao što su obrada složenih krivulja i površina.
- **Konverzacijsko programiranje** - Ova vrsta programiranja omogućuje operaterima da koriste grafičko sučelje i ekrane za unos parametara i operacija. Konverzacijsko programiranje se često koristi za jednostavnije operacije koje ne zahtijevaju duboko tehničko znanje (Slika 11).



Slika 11 - - Konverzacijsko programiranje CNC stroja  
<https://www.haascnc.com/hr/productivity/control/vps.html>

**G- kod naredbe za programiranje** CNC tokarilica sastojе se od jednog ili više slova (G, M, T, S, F, itd.) s brojevima koji određuju parametre obrade. Od velikog broja naredbi, dane su sljedeće:

- G0 – Linearni posmak u brzom hodu
- G1 – Linearni posmak u radnom hodu
- G2 – Kružno gibanje u smjeru kazaljke na satu
- G3 – Kružno gibanje u smjeru suprotnom od kazaljke na satu
- G4 – Vrijeme zastoja
- G17 – Izbor radne površine XY
- G18 – Izbor radne površine XZ
- G19 – Izbor radne površine YZ
- G28 – Povratak na početnu poziciju
- G30 – Povratak na sigurnu poziciju
- G33 – Narezivanje navoja s konstantnim korakom
- G33.1 – Urezivanje navoja
- G71 – Mjerni sustav u milimetrima
- G90 – Postavljanje apsolutnog koordinatnog sustava (mjeri se od nulte točke stroja)
- G91 – Postavljanje relativnog koordinatnog sustava (mjeri se od trenutne pozicije alata)
- M2 – Kraj programa
- M3 – Uključivanje obrtnog momenta (rotacija obratka u smjeru kazaljke sata)
- M5 – Isključivanje obrtnog momenta
- M8 – Uključenje rashladnog sredstva
- M9 – Isključenje rashladnog sredstva
- M25 – Otvaranje čeljusti škripca
- M26 – Zatvaranje čeljusti škripca
- T2 – Promjena na alat broj 2
- S1000 – Postavljanje brzine obrtnog momenta na 1000 okr/min (broj okretaja)
- F200 – Postavljanje posmaka na 0,1 mm/okr (kod tokarilica)



Slika 12 - CNC programiranje ( Stock ID: 439412113)

*G-kod je univerzalni jezik koji se koristi širom svijeta za programiranje CNC strojeva. Zanimljivost o programiranju CNC tokarilice u G-kodu je da, iako se G-kod može činiti složenim i tehnički izazovnim jezikom, mnogi CNC operateri i programeri postižu izvanredne rezultate učenjem ovog jezika i stvaranjem preciznih i složenih dijelova. Kada se nauči programirati u G-kodu, otvaraju se vrata CNC proizvodnje i mogu se programirati ne samo CNC tokarilice, već i CNC glodalice, CNC brusilice i drugi CNC strojevi. Vještina CNC programiranja je vrlo cijenjena u industriji i omogućuje operaterima CNC strojeva ostvarenje različitih, vrlo vrijednih karijera.*

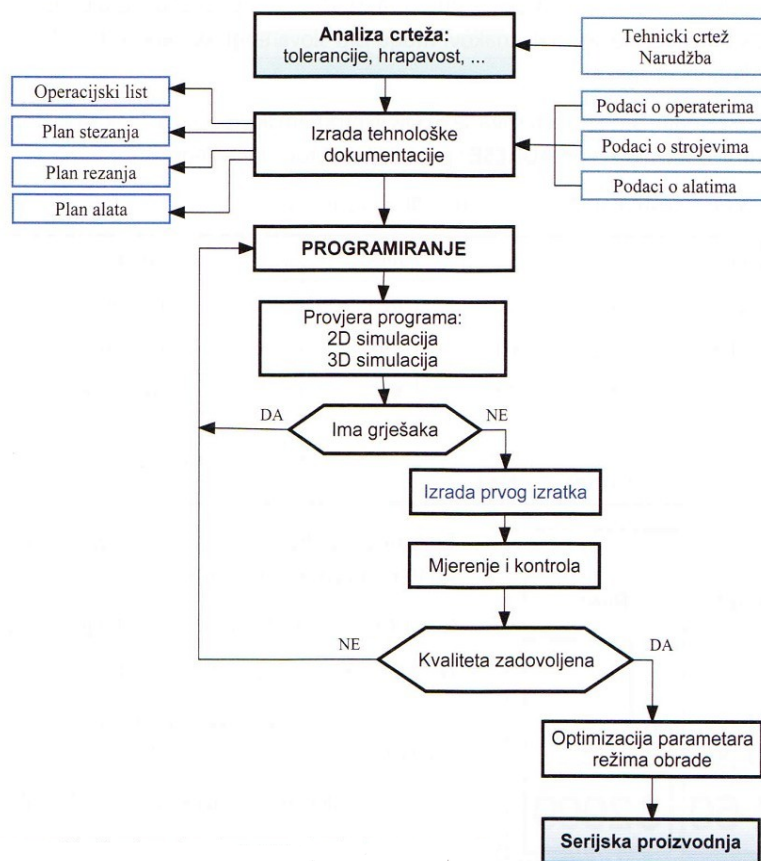
Prilikom obrade predmeta na CNC stroju, generira se tehničko – tehnološka dokumentacija koja predstavlja skup dokumenata koji sadrže sve podatke (geometrijske i tehnološke informacije) važne za izradu proizvoda te potrebne alate i druga sredstva. Neki od dokumenata su: tehnički crtež predmeta, operacijski list, plan potrebnih alata, plan stezanja, plan rezanja, programski list. Svaka nejasnoća u odnosu na pripremljenu dokumentaciju može rezultirati škartom, gubitkom vremena i povećanim troškovima proizvodnje.

Također, u slučaju potrebe izmjena na proizvodu, lakše će ih biti odraditi ako postoji dobro pripremljena i kompletirana dokumentacija. Izmjene će moći obaviti i tehnolog-programer koji nije izvorno sudjelovao u izradi dokumentacije. U slučaju većeg broja ljudi koji su uključeni u izradu nekog proizvoda, popratna dokumentacija treba biti detaljnija. U pojedinim slučajevima pojedine obrade se izvode u dvije ili tri smjene, a u slučaju nepostojanja valjane dokumentacije, velika je vjerojatnost da će svaki operater posao obaviti na drugačiji način.

Tri su bitna čimbenika koji određuju način i obujam dokumentiranja:

- opseg ponavljanja istog posla
- broj zaposlenika uključenih u izradu proizvoda
- složenost posla s obzirom na razinu osposobljenosti, znanja i vještina operatera

Dokumentacija treba biti prilagođena operaterima s najmanje znanja i vještina. Koraci programiranja CNC strojeva, pri izradi potrebne tehničko tehnološke dokumentacije te samog proizvoda, prikazani su na Slici 13.



Slika 13 - Shematski prikaz koraka kod programiranja (4)

**Zadatak 1:**

Zadan je sljedeći program obrade na CNC tokarskom stroju sa upravljačkom jedinicom Siemens 840D:

N10 G54; definiranje nul točke – početna pozicija

N20 T01 D01 ; Izabrati prvi alat T01 sa dimenzijama D01

N30 S1000 F0.1 M3 ; broj okretaja obratka S1000 o/min, posmak F0,1 mm/okr, smjer okretanja M3

M40 G00 X50 Z5 ; Brzi pomak na početnu točku

N50 G01 Z-10 F100 ; Sporim hodom spustiti se na dubinu rezanja Z=-10

N60 G01 X30 F200 ; Rezanje do točke X=30

Tijekom rada, primijećeno je da je alat istrošen i nije više u mogućnosti osigurati traženu kvalitetu obrade. Potrebno je postojeći alat zamijeniti novim te napisati novi program na CNC tokarskom stroju.

**Rješenje:**

U novom CNC programu je dodana naredba M06, koja označava automatsku izmjenu alata. Kada stroj dođe na tu naredbu, automatski će se zaustaviti, a CNC operater će izvršiti izmjenu alata. Nakon što je izvršena zamjena alata, CNC stroj će nastaviti s obradom s novim alatom, što će omogućiti održavanje tražene kvalitete obrade.

Nakon izmjene alata, novi CNC program će glasiti:

N10 G54; definiranje nul točke – početna pozicija

N20 M06 T02 D02 ; Izvrši automatsku izmjenu alata i izaberi drugi alat iz alatne postaje

*N30 S1000 F0.1 M3 ;broj okretaja obratka S1000 o/min, posmak F0,1 mm/okr, smjer okretanja M3  
 M40 G00 X50 Z5 ; Brzi pomak na početnu točku  
 N50 G01 Z-10 F100 ; Sporim hodom spustiti se na dubinu rezanja Z=-10  
 N60 G01 X30 F200 ; Rezanje do točke X=30*

## 2.2. 2-osna tokarilica HAAS ST-15 s dodavačem materijala i kolaborativnim robotom Fanuc EDU-5

U današnjoj eri industrijske automatizacije, gdje preciznost, učinkovitost i fleksibilnost igraju ključnu ulogu, sve se više istražuju i primjenjuju integrirana rješenja koja uključuju napredne tokarilice poput HAAS ST-15 i kolaborativne robote kao što je Fanuc EDU-5.

HAAS ST-15 je CNC tokarilica proizvedena je u renomiranoj tvrtki HAAS Automation. CNC (Computer Numerical Control) označava upravljanje strojevima pomoću računala, što omogućuje visoku preciznost i ponovljivost u procesima obrade materijala.



Slika 14 - HAAS CNC tokarilica ST 15

U nastavku su prikazane karakteristike 2-osne tokarilice HAAS ST-15:

- **CNC tehnologija**- HAAS ST-15 koristi CNC tehnologiju, što znači da je opremljena računalnim sustavom za kontrolu. To omogućuje visoku preciznost i automatizaciju u obradi materijala, povećavajući učinkovitost proizvodnje.
- **Konfiguracija s dvije osi** - Opremljena je s dvije osi pokreta (X i Z), omogućujući precizno oblikovanje materijala i rad s različitim geometrijskim oblicima. Dvije osi pružaju fleksibilnost u postizanju kompleksnih oblika.

- **Dodavač materijala** - Integrirani dodavač materijala olakšava automatsko punjenje sirovih komada, čime se smanjuje potreba za ručnim postavljanjem i povećava ukupna produktivnost proizvodnje.
- **Brza i precizna obrada** - Brze brzine obrade i visoka preciznost rezanja čine HAAS ST-15 pogodnom za zahtjevne proizvodne procese, doprinoseći smanjenju vremena obrade i povećanju kvalitete proizvoda.
- **G-kodovi za kontrolu rada** - Upotreba G kodova kao programskog jezika omogućuje precizno upravljanje radom tokarilice. G-kodovi definiraju putanje i parametre obrade, pružajući kontrolu nad svakim korakom procesa.
- **Automatski alatni revolver** - Automatskim alatnim revolverom, HAAS ST-15 omogućuje se brza i učinkovita zamjena alata tijekom procesa obrade, čime se minimizira vrijeme aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu, a povećava fleksibilnost tijekom proizvodnje.

Neki od primjera G,M i F kodova za HAAS ST-15:

G-kodovi	M-kodovi	F-kodovi
G00 - Linearni posmak u brzom hodu (Rapid Move)	M00 - Programirana pauza	F01 - Brzina pomaka
G01 - Linearni posmak u radnom hodu	M02 - Kraj programa	F02 - Brzina rezanja
G02 - Kružno gibanje (CW)	M03 - Uključivanje vretena u smjeru kazaljke na satu	F03 - Brzina rezanja u CW kružnom gibanju
G03 - Kružno gibanje (CCW)	M04 - Uključivanje vretena suprotno od smjera kazaljke na satu	F04 - Brzina rezanja u CCW kružnom gibanju
G04 - Pauza (Dwell)	M05 - Isključivanje vretena	
G28 - Povratak na početnu točku	M0 - Promjena alata	
G4 - Odbijanje kompenzacije promjera alata	M08 - Uključivanje rashladnog sustava	
G41 - Uključivanje kompenzacije promjera alata (lijevo)	M09 - Isključivanje rashladnog sustava	
G42 - Uključivanje kompenzacije promjera alata (desno)		
G54 - Postavljanje radnog koordinatnog sustava		
G90 - Apolutno pozicioniranje		
G91 - Relativno pozicioniranje		

Tablica 1: G,M,F-kodovi za CNC HAAS ST-15

Fanuc EDU-5 oznaka je za kolaborativni robot (cobot) proizvođača Fanuc. Kolaborativni roboti su dizajnirani za sigurnu interakciju s ljudima, čime se olakšava automatizacija radne okoline. Neke od karakteristike Fanuc EDU-5:

Kolaborativna robotika:

- Sigurnost i kolaboracija - EDU-5 je opremljen sensorima i sustavima koji omogućuju sigurnu interakciju s ljudima. Kolaborativna priroda ovog robota čini ga idealnim za rad u okruženju u kojem je potrebna bliska suradnja s operaterima.
- Programabilnost - Korisnici mogu programirati Fanuc EDU-5 kako bi obavljao različite zadatke. Ova programabilnost pruža fleksibilnost u prilagodbi rada robota za specifične zahtjeve proizvodnje.
- Edukativna komponenta- Oznaka "EDU" sugerira da je model namijenjen edukativnim svrhama. Ovaj robot omogućuje učenje i istraživanje za područja automatizacije i robotike u obrazovnim ustanovama.
- Senzorska tehnologija - EDU-5 koristi senzorsku tehnologiju za prepoznavanje okoline i objekata oko sebe. To doprinosi preciznosti i prilagodljivosti u izvršavanju različitih zadataka.
- Lakoća integracije: Mogućnost lakoće integracije s drugim sustavima automatizacije čini Fanuc EDU-5 praktičnim rješenjem za poboljšanje proizvodnih procesa i optimizaciju radnih procesa/tokova/.

U daljnjem dijelu priručnika tri su primjera za 2-osnu tokarilicu HAAS ST-15 s dodavačem materijala i kolaborativnim robotom Fanuc EDU-5:

### Primjer 1

#### Postavljanje alata i obrada materijala

**G90** Postavi na apsolutni sustav koordinata

**G54** Postavi radni koordinatni sustav

**M06 T01** Promjena na alat 1

**G00 X0.5 Z0.2** Brzi pomak alata na početnu poziciju

**G01 F0.05 X1.0 Z-0.5** Linearna obrada materijala

**M05** Isključi vreteno

### Primjer 2

#### Kružna obrada s kolaborativnim robotom

**G90** Postavi na apsolutni sustav koordinata

**G54** Postavi radni koordinatni sustav

**M08** Uključi rashladni sustav

**M06 T02** Promjena na alat 2

**G00 X0.5 Z0.2** Brzi pomak alata na početnu poziciju

**G01 F0.1 X1.0 Z-0.5** Linearna obrada materijala

**G02 X0.5 Z-1.0 R0.5** Kružna obrada u smjeru kazaljke na satu

**M05** Isključi vreteno

### Primjer 3

#### Automatsko punjenje materijala

**G90** Postavi na apsolutni sustav koordinata



**G54** Postavi radni koordinatni sustav  
**M06 T03** Promjena na alat 3  
**G00 X0.5 Z0.2** Brzi pomak alata na početnu poziciju  
**G01 F0.05 X1.0 Z-0.5** Linearna obrada materijala  
**G91 G28 Z0** Pomak na početnu poziciju duž Z osi  
**M08** Uključi rashladni sustav  
**M06 T04** Promjena na alat 4  
**G00 X0.5 Z0.2** Brzi pomak alata na početnu poziciju  
**G01 F0.05 X1.0 Z-0.5** Linearna obrada materijala  
**G90** Povratak na apsolutni sustav koordinata  
**M05** Isključi vreteno

### 3. CNC strojna obrada glodanjem

Glodanje je postupak obrade koji uključuje uklanjanje materijala s radnog komada (obrađenog dijela) pomoću alatnog stroja glodalice koja koristi rotirajući alat, glodalo, kako bi uklonio materijal s obrađivane površine te oblikovao željeni oblik ili profil. Postoje različite vrste strojeva za glodanje:

- **Univerzalna glodalica** - koristi se za različite operacije glodanja i može se postaviti pod različitim kutovima kako bi se postigla različiti oblici i profili
- **Vertikalna glodalica** - os rotacije glodalice okomita je na površinu rada , a koristi se za vertikalno glodanje i oblikovanje
- **Horizontalna glodalica** - os rotacije glodalice paralelna je s površinom rada , a koristi se za horizontalno glodanje i oblikovanje.
- **Cilindrična glodalica** - specijalizirana je za obradu cilindričnih površina, poput osovina, vratila i drugih
- **CNC glodalica** – računalom upravljani numerički stroj kojim se omogućuje automatizirana i precizna obrada korištenjem programskog koda

#### 3.1. Programiranje CNC strojeva za glodanje

CNC strojna obrada na glodalici koristi programski kod za izradu programa za odvijanje procesa glodanja, pri čemu se do programa za glodanje može doći ili preko samog CNC stroja ili putem CAM računalnog programa. Za generiranje G- koda potrebno je odraditi sljedeće aktivnosti:

- Generiran 2D ili 3D model obratka koji se želi izraditi na CNC glodalici za što se koriste CAD računalni programi poput AutoCAD-a, SolidWorks-a, CATIA-e, Fusion 360 ili neki drugi
- Odabran CAM računalni program u kojem će se generirati G-kod prema izrađenom 2D ili 3D modelu izratka kako bismo generirali putanje alata i naredbe G-koda.
- Odabrana CNC glodalica na kojoj će se vršiti strojna obrada sirovog predmeta

G-kod naredbe za programiranje CNC glodalice sastoji se od jednog ili više slova (G, M, T, S, F, itd.) s brojevima koji određuju parametre obrade. U nastavku su navedene neke od važnijih naredbi G-koda:

Glavne naredbe:

- G00 - Linearni posmak u brzom hodu
- G01 - Linearni posmak u radnom hodu
- G02 - Kružno gibanje alata u smjeru kazaljke na satu
- G03 - Kružno gibanje alata smjeru suprotnom od kazaljke na satu
- G17 - Izbor radne površine XY
- G18 - Izbor radne površine XZ
- G19 - Izbor radne površine YZ
- G20 - Mjerni sustav u milimetrima
- G21 - Mjerni sustav u inčima
- G40 - Isključivanje kompenzacije promjera alata
- G41 - Lijeva kompenzacija radijusa alata
- G42 - Desna kompenzacija radijusa alata
- G43 - Negativna kompenzacija dužine alata
- G54 - Strojna radna nulta točka koordinatnog sustava
- G73 - Ciklus brzog bušenja
- G74 - Ciklus urezivanja navoja
- G90 - Postavljanje apsolutnog koordinatnog sustava (mjeri se od nulte točke stroja)
- G91 - Postavljanje relativnog koordinatnog sustava (mjeri se od trenutne pozicije alata)

Pomoćne naredbe

- M00 - Zaustavljanje izvođenja programa
- M03 - Smjer vrtnje vretena u smjeru kazaljke na satu
- M04 - Smjer vrtnje vretena u smjeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu
- M05 - Zaustavljanje vrtnje vretena
- M06 - Automatska izmjena alata
- M07 - Uključivanje rashladnog sredstva (magla)
- M08 - Uključivanje rashladnog sredstva (mlaz)
- M09 - Isključivanje rashladnog sredstva
- M30 - Završetak i resetiranje programa

Ostale oznake

- N - Broj bloka
- X,Y,Z - Koordinate točke u smjeru koordinatnih osi
- I,J,K - Koordinate kod kružnih gibanja
- S - brzina vrtnje radnog vretena
- F – posmak-brzina glodanja
- T – broj alata
- D – korekcija promjera alata
- H – dužina alata
- O – naziv programa

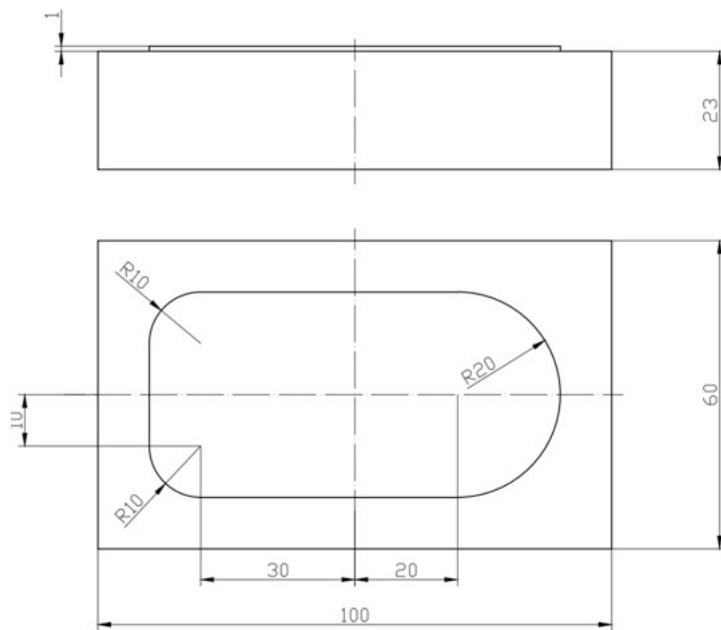
## Zadatak 2

Potrebno je napisati programski kod koristeći G naredbe za glodanje obratka prikazanog na slici 14. Obrada se vrši na EMCO Mill 105 stroju i upravljačkoj jedinici SINUMERIK 840 D. Potrebno je poravnati gornje površine pripremljena dimenzija 100 x 50 x 25 mm te obradom smanjiti visinu pripremljena za 1 mm. Materijal obratka je aluminij. Čeonim glodalom (T1) potrebno je obraditi i rub dubine 1mm. Potreban alat je čeono glodalo promjera 40 mm. U Tablici 2 navedeni su podatci o čeonom glodalu.

[1] D.Pezer: Programiranje CNC strojeva, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručni odjel, Split, 2022.

Napomena: Također je potrebno izraditi i:

- Nacrt

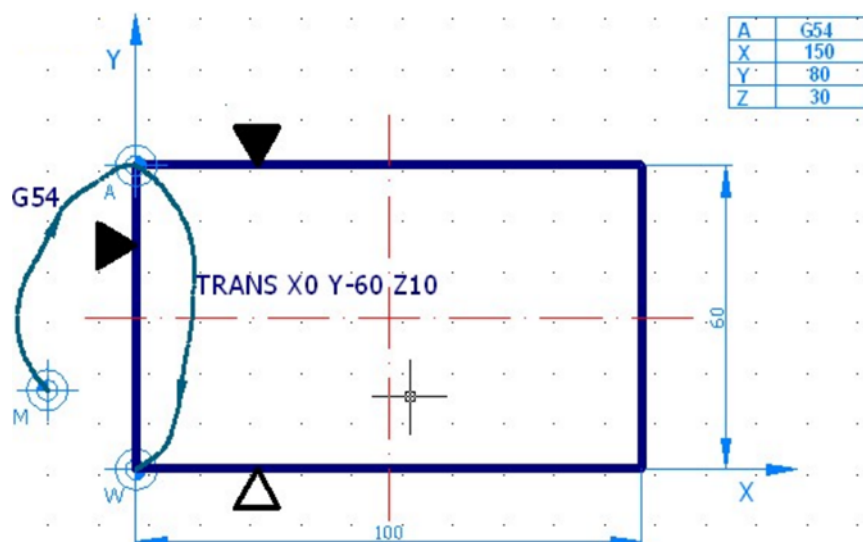


Slika 15 - Prikaz gotovog obratka nakon glodanja, Izvor:

<https://www.oss.unist.hr/Portals/0/adam/Contents/TnPnQrlyXEeYJna9tPx2wQ/Text/PROGRAMIRANJE%20CNC%20STROJEVA%20Sinumerik%20840D.pdf>

- Operacijski list

OPERACIJSKI LIST		Naziv:	Pozicija:	Dimenzije:	Materijal:	
EMCO Mill 105 Concept SINUMERIK 840D		ZADATAK 003	1	100 x 60 x 24	AlCu5PbBi	
		Pregledao:	Datum:		Napomena:	
R.br.	Operacija / Zahvat	Alat	Broj okretaja n (o/min)	Posmak S (mm/min)	Dubina reza a (mm)	Broj prolaza i (mm)
1	<b>GLODANJE</b>	<b>EMCO Mill 105</b>				
1.10	Čeono glodanje gornje površine	Čeono glodalo za aluminij Ø40 x 20	2000	250	1	1
1.20	Glodanje ruba obratka	Čeono glodalo za aluminij Ø40 x 20	2000	350	1	1

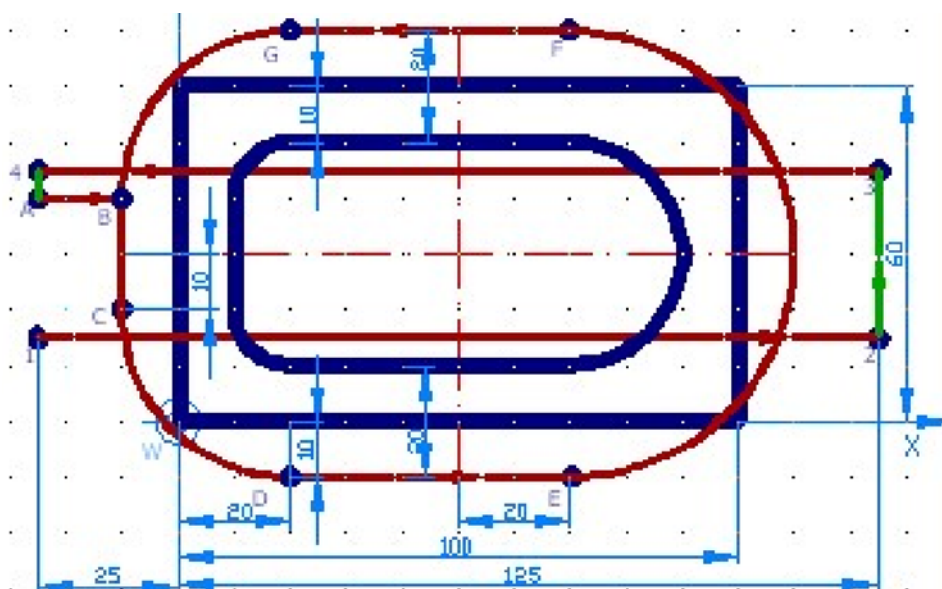


- Plan rezanja za alat T1 za sve obrade

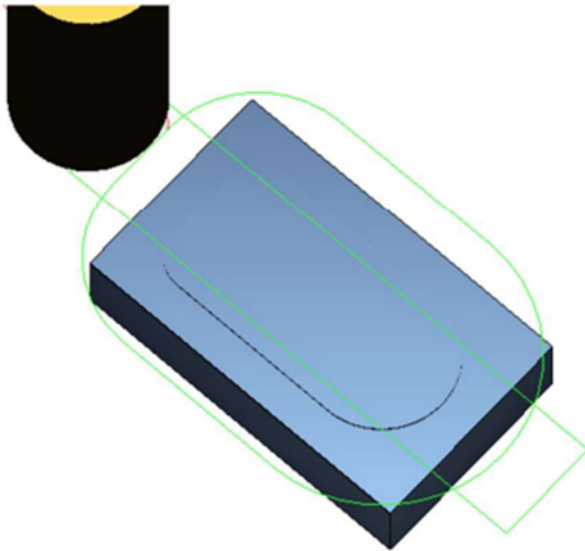
Alat br.	Naziv alata	Oznaka korekcije alata	Promjer alata (mm)	Broj okretaja $S$ (okr/min)	Posmična brzina $F$ (mm/min)	Smjer vrtnje glavnog vretena
T1	čeonno glodalo Ø40	D1	40	2000	250	M3

Tablica 2: Podatci o čeonom glodalu

- 2D plan rezanja za alat T1 za sve obrade



- 3D prikaz gotovog izratka

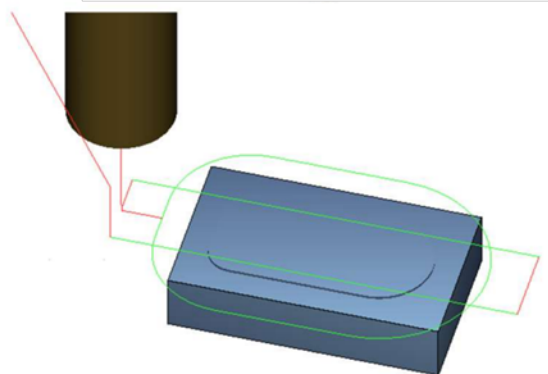
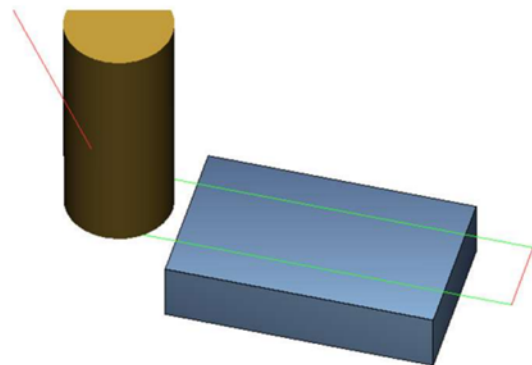


- Programski kod

```

; sirovac
N10 UORKPIECE(, "", "BOX", 0, 1, -24, -80, 0, 0, 100, 60)
; odabir alata i parametara obrade
N20 T="Ceono glodalo D=40mm" M6
N30 S2000 F250 M3
;
; pozicioniranje alata
N40 G0 X0 Y0 Z100
;
; glodanje gornje površine - poravnavanje
N50 G0 X-25 Y15 Z10
N60 G0 Z0
N70 G1 X125
N80 Y45
N90 X-25
;
; pozicioniranje za obradu ruba
N100 G0 Y40 Z-1 F500
N110 G1 X-10
N120 Y20
N130 G3 X20 Y-10 AR=90
N140 G1 X70
N150 G3 X70 Y70 I0 J40
N160 G1 X20
G3 X-10 Y40 CR=30
N170 G0 Z10
N180 M5
;
; odmicanje alata na početnu poziciju
N190 G0 X0 Y0 Z100
; kraj programa
N200 M30

```



## CAD CAM GLODANJE

Tehnološki postupak glodanja CAM programom uključuje korištenje CAM softvera za generiranje G-koda i upravljanje CNC glodalicom tijekom obrade. Odvija se kroz tri osnovna koraka:  
Pripremne aktivnosti za generiranje G- koda na CNC glodalici

Učitavanje 3D model obratka koji se želi obraditi u CAM softver. Model se može učitati iz CAD softvera ili izravno u CAM program.

Postavljanje koordinatnog sustava kako bi se definirala referentna točka za obradak, što omogućuje precizno pozicioniranje alata tijekom obrade.

Odabiranje alata iz CAM biblioteke alata koji će se koristiti tijekom obrade (tokarski noževi, rezne pločice i ostali alati).

Odabir strategije obrade glodanja, ovisno o vrsti obrade koja se želi primijeniti kao i odabir parametara obrade (brzina rezanja, brzina posmaka, dubina rezanja).

Generiranje putanje alata CAM softverom kako bi se postigli optimalni rezultati strojne obrade (vrijeme trajanja obrade, kolizija i drugo).

Prije nego što se generira G-kod, potrebno je provesti simulaciju obrade kako bi se provjerilo jesu li svi parametri i kretanja alata ili obratka dobro odabrani.

### Generiranje G-koda

Započinje se s generiranje G-koda u CAM softveru. Generirani G-kod sadržava sve naredbe koje su potrebne za upravljanje CNC glodalicom tijekom obrade kao i informacije o putanjama alata, brzinama rezanja, posmacima i drugim parametrima potrebnim za obradu.

Prebacivanje generiranog G-koda na CNC glodalicu i postavljanje stroja za obradu.

### Pokretanje obrade

Nakon što je CNC stroj postavljen, pokreće se obrada prema generiranom G-kodu. Alat će se kretati prema unaprijed određenim putanjama i obaviti željenu obradu.

Nakon završetka obrade, potrebno je provjeriti konačni proizvod kako bi se utvrdilo je li sve ispravno izvedeno.

## 3.2. HAAS UMC-500SS CNC stroj za 5-osno glodanje

Haas UMC-500SS je CNC (Computer Numerical Control) glodalica koja podržava obradu u pet osi. Ovaj stroj, koji proizvodi Haas Automation, omogućava složenu obradu dijelova u više dimenzija s većom preciznošću i fleksibilnošću. Osnovne informacije o CNC glodalici Haas UMC-500SS su:

### 1. Konstrukcija i osi:

- Haas UMC-500SS ima izuzetno robusnu konstrukciju koja pruža stabilnost i krutost pri obradi
- Ovaj stroj koristi pet osi, što uključuje tri linearne osi - X (horizontalna os), Y (vertikalna os) i Z (os dubine), te dvije rotirajuće osi - A (nagibna os) i C (rotacijska os)
- Rotirajuće osi omogućavaju postavljanje dijela za obradu pod željenim kutom i izvođenje obrade iz više perspektiva, što rezultira složenijim geometrijama i većom fleksibilnošću u izradi dijelova.

## 2. CNC sustav:

- Haas UMC-500SS koristi Haasovu vlastitu CNC kontrolu, koja je jednostavna za korištenje i intuitivna za programiranje i kontrolu obrade
- CNC sustav omogućuje programiranje putem G-koda, standardnog programskog jezika za CNC strojeve

## 3. Brza obrada:

- Haas UMC-500SS ima veliku brzinu kretanja osi, što smanjuje vrijeme obrade i povećava produktivnost
- Visoka brzina obrade, zajedno s preciznim kretanjem osi, omogućuje izradu složenih dijelova visoke kvalitete

## 4. Automatska promjena alata:

- Haas UMC-500SS je opremljen automatskim sustavom za promjenu alata koji podržava brzu i jednostavnu zamjenu alata tijekom obrade
- Automatska promjena alata omogućuje obradu različitih operacija bez potrebe za ručnim mijenjanjem alata, čime se smanjuje vrijeme zastoja i povećava učinkovitost proizvodnje

## 5. Napredne značajke:

- UMC-500SS ima napredne značajke i opcije kao što su visoki kapacitet hladnjaka alata, automatsko podmazivanje, visoka rezolucija mjernog sustava te brojne senzore za praćenje i kontinuirano nadziranje stanja stroja
- Zahvaljujući sofisticiranim značajkama, operator može postići visoku točnost, pouzdanost i ponovljivost obrade.

Tipični CNC program za strojnu obradu, sastoji se od tri dijela:

**1. Priprema** - Ovaj dio programa odabire rezni alat, uključuje rashladno sredstvo, zadaje brzinu vretena i odabire apsolutno ili koračno pozicioniranje za pomak osi

**2. Rezanje** - Ovaj dio programa definira putanju alata i brzinu kretanja prilikom rezanja (strojne obrade)

**3. Završetak** - Ovaj dio programa isključuje vreteno, isključuje rashladno sredstvo i pomiče stol u položaj na kojem se obradak može skinuti sa stroja i pregledati

**Primjer 1** - Potrebno je napisati CNC program za glodanje dva utora na 5-osnoj glodalici Haas UMC-500SS.

**Rješenje:**

*% Oznaka početka programa*

**G90 G54 G17 G21** -Postavljanje apsolutnog pozicioniranja, korisničkog koordinatnog sustava G54, ravnine obrade XY i mjernih jedinica u milimetrima

**M06 T1** - Promjena alata na alat s brojem 1 (prilagoditi broj alata prema vašem postavljanju)

**S1000 M03** - Postavljanje brzine vrtnje glavnog vretena na 1000 okretaja u minuti u smjeru kazaljke na satu

**G43 H01 Z25.4** - Aktivacija kompenzacije duljine alata za alat s brojem 1 i pomak u smjeru Z osi od 25.4 mm

*Primjer obrade utora na obratku*

*Pozicioniranje iznad obratka*

**G00 X25.4 Y50.8** - Brzi pomak 25.4 mm desno i 50.8 mm gore

*Spuštanje alata u materijal*

**G01 Z-5.08 F1270 M8** - Linearno pomicanje prema dolje za 5.08 mm pri brzini od 1270 mm/min

*Obrada prvog utora*

**G01 X76.2 Y50.8** - Linearno pomicanje 76.2 mm desno

**G01 Y76.2** - Linearno pomicanje 76.2 mm gore

**G01 X127** - Linearno pomicanje 50.8 mm desno

**G01 Y50.8** -Linearno pomicanje 50.8 mm dolje

*Obrada drugog utora*

**G01 X152.4 Y50.8** - Linearno pomicanje 152.4 mm desno

**G01 Y76.2** -Linearno pomicanje 76.2 mm gore

**G01 X203.2** - Linearno pomicanje 50.8 mm desno

**G01 Y50.8** - Linearno pomicanje 50.8 mm dolje

*Podizanje alata iznad materijala*

**G00 Z25.4** - Brzi pomak u Z osi na 25.4 mm



% Oznaka kraja programa

**M05 M09** - Isključivanje glavnog vretena, isključena rashladna tekućina

**M30** -Kraj programa i vraćanje na početak

## 4. CNC strojna obrada brušenjem

Strojna obrada brušenjem je postupak fine obrade s malim volumenom odvojenog materijala u jedinici vremena. Koristi se abrazivni alat, brusni alat, kako bi se uklonili suvišni materijali s radnog komada te postigle tražene dimenzije i kvaliteta obrade. Brušenje spada u postupke obrade skidanjem strugotine, a značajke su mu alat s brusnim zrnima, vrlo sitna strugotina, velike brzine obrade, te male dubine rezanja. Brzine brušenja kreću se od 30-50 m/s, dok se kvaliteta obrade može mjeriti u mikrometrima.

Točnost brušenih površina na manjim brusilicama kreće se u rasponu 2-3  $\mu\text{m}$ , a kod većih brusilica u rasponu 5-8  $\mu\text{m}$ . Glavno kretanje pri brušenju je kružno (brusna ploča), dok posmično kretanje vrši obradak (uzdužno). Osim standardnih postupaka brušenja, koriste se i specijalni postupci brušenja: brušenje alata (glodala, tokarski noževi, ureznice...), brušenje navoja, konusno brušenje i drugi postupci. Koristi se za postizanje visokih stupnjeva preciznosti i kvalitete površine u metaloprerađivačkoj industriji, obradi kamena, keramike, izradi medicinskih uređaja i implementata, za izradu kalupa za brizganje plastike, lijevanje metala i drugim srodnim industrijama.

Glavna obilježja strojne obrade brušenjem uključuje:

**Brusni alat** - Brusni alat obično ima abrazivne čestice koje su učvršćene na površini ili u obliku brusnih kola, brusnih traka, brušenih ploča itd. Za brusne ploče koriste se abrazivna zrna različitih oblika i orijentacije.

**Uklanjanje materijala** - Tijekom procesa brušenja, brusni alat koristi se za uklanjanje materijala s radnog komada kako bi se postigle tražene dimenzije ili kvaliteta površine.

- **Preciznost** - Brušenje se često koristi za postizanje vrlo visokih tolerancija i preciznosti u obradi radnih komada, često s tolerancijama od nekoliko mikrona.
- **Kvaliteta površine** - Ovaj proces također omogućava postizanje izuzetno glatkih i preciznih površina na radnim komadima
- **Povećanje trajnosti alata** - Brušenjem se može produžiti životni vijek alata i komponenata, jer se uklanjaju oštećenja i trošenje.

Strojna obrada brušenjem može se koristiti za različite primjene, uključujući izradu preciznih alata i komponenata, finu obradu površina, uklanjanje oštih rubova i drugo. Ovisno o zahtjevima obrade, različiti tipovi brusnih alata i postupaka brušenja, kao što su ravno brušenje, cilindrično brušenje, brušenje unutarnjih površina i druge vrste brušenja, mogu se primjenjivati kako bi se postigli željeni rezultati.

U ovisnosti o vrsti brušenja, koriste se različite vrste strojeva za brušenje:

1. **Ravne brusilice** - ovi strojevi koriste se za brušenje površina radnih komada kako bi se postigla visoka preciznost i glatka površina
2. **Cilindrične brusilice** - koriste se za brušenje cilindričnih radnih komada, poput osovina, valjaka i cijevi. Ovi strojevi imaju rotirajuću brusnu ploču te rotirajući radni komad.
3. **Cilindrične brusilice za obradu unutarnjih površina** – koristi se za brušenje unutrašnjosti prstenova i cijevi
4. **Centrifugalne brusilice** - koriste centrifugalnu silu kako bi se ubrzale brusne čestice u odnosu na obradak. Ovi strojevi često se koriste za uklanjanje materijala s velikim brzinama, ali može doći do promjena u dimenzijama radnog komada zbog centrifugalne sile.
5. **Specijalizirani strojevi za brušenje zupčanika** - koriste se za obradu zupčanika. Ovi strojevi uključuju brusilice za zupčanike i brusilice za zupčanike sa spiralnim zupčanicima.
6. **Brusilice za alate** - koriste se za izradu i održavanje alata kao što su svrdla, noževi, rezne ploče i drugi alati. Ovisno o vrsti alata, koriste se različiti tipovi brusnih ploča i posebne glave za brušenje.

## 4.1. Programiranje CNC strojeva za brušenje

CNC (Computer Numerical Control) strojevi za brušenje upravljaju se putem programskih naredbi koje se unose u računalnu kontrolu stroja. Ove naredbe određuju putanje alata, brzine i dubine obrade te druge parametre potrebne za izvođenje željenog brušenja. Evo nekoliko osnovnih naredbi koje se koriste za upravljanje CNC strojem za brušenje:

1. **G-kodovi (Geometrijski kodovi):** G-kodovi definiraju geometriju putanje alata i kretanja stroja. Primjeri G-kodova:
  - **G00:** Linearni pomak u brzom hodu alata na zadane koordinate
  - **G01:** Linearno kretanje u radnom hodu alata od trenutne pozicije do zadanog cilja
  - **G02:** Kružno kretanje alata u smjeru kazaljke na satu
  - **G03:** Kružno kretanje alata suprotno smjeru kazaljke na satu
  - **G28:** Povratak na početnu poziciju
2. **M-kodovi (strojni kodovi):** M-kodovi upravljaju funkcionalnostima stroja i alatima. Primjeri M-kodova:
  - **M03:** Uključivanje vretena (kretanje u smjeru kazaljke na satu).
  - **M04:** Uključivanje vretena (kretanje suprotno smjeru kazaljke na satu).
  - **M05:** Isključivanje rotacije vretena
  - **M08:** Uključivanje hladila.
  - **M09:** Isključivanje hladila
3. **F-kodovi (Brzinski kodovi):** F-kodovi određuju brzinu kretanja alata ili brzinu rezanja. Primjer:
  - **F100:** Postavljanje brzine na 100 jedinica po minuti
4. **X, Y, Z koordinate** - Koordinate definiraju poziciju alata u trodimenzionalnom prostoru. Primjeri:

- **X20.0:** Postavljanje X-koordinate na 20.0.
  - **Y10.0:** Postavljanje Y-koordinate na 10.0.
  - **Z-5.0:** Postavljanje Z-koordinate na -5.0.
5. **Naredbe za alate** - naredbe za izbor i postavljanje brusnih ploča, uključujući naredbe za promjenu brusnih ploča i njihovih parametara.
  6. **Naredbe za praćenje stanja alata** - naredbe se koriste za praćenje trošenja brusne ploče i automatsku kompenzaciju s ciljem održavanja tražene kvaliteta obrade.
  7. **Naredbe za hlađenje i mazanje** - naredbe za upravljanje uređajima i opremom za hlađenje i podmazivanje kako bi se osigurali optimalni uvjeti prilikom strojne obrade brušenjem.
  8. **Naredbe za postavljanje i pozicioniranje** - naredbe za inicijalno postavljanje pozicije alata i radnog komada prije obrade .

Operater ili programer CNC stroja za brušenje koristi ove naredbe kako bi kreirao program za obradu radnog komada. Ovi programi se unose u računalnu kontrolu stroja, koja potom izvršava obradu prema zadanim parametrima. CNC tehnologija omogućava visoku preciznost i ponovljivost u obradi materijala i dijelova.

Postupak brušenja na CNC strojevima obuhvaća niz koraka, od pripreme radnog komada do završetka strojne obrade, a što obuhvaća sljedeće korake .

#### 1. Priprema radnog komada:

- Radni komad se čisti od nečistoća, ulja i oksida kako bi se osigurala čista površina za obradu
- Postavlja se na CNC stroj i pravilno pričvršćuje za stol

#### 2. Programiranje CNC stroja:

- CNC programer stvara ili učitava odgovarajući CNC program u računalnu kontrolu stroja
- Program uključuje naredbe za brzinu rezanja, putanje alata, dubinu rezanja i ostale parametre obrade

#### 3. Postavljanje brusnih alatki:

- Odabir i postavljanje odgovarajućih brusnih alata ovisno o vrsti materijala i obradi
- Provjerava se oštrina brusnih alata prije nego što se program pokrene

#### 4. Postavljanje parametara obrade:

- CNC operater postavlja parametre obrade, uključujući brzinu rezanja, dubinu rezanja i parametre hlađenja
- Ovisno o vrsti obrade, mogu se postaviti različiti parametri

5. **Simulacija programa** - Prije nego što se obrada pokrene na stvarnom radnom komadu, program se može simulirati na računalu kako bi se provjerila ispravnost putanja alata

## 6. Postavljanje i kalibracija stroja:

- CNC stroj se postavlja i kalibrira kako bi odgovarao specifikacijama obrade
- Ovisno o zahtjevima obrade, CNC stroj se konfigurira za optimalne postavke

## 7. Izvođenje obrade:

- Nakon što su svi pripremni koraci izvedeni, obrada se pokreće prema programu
- Brusni alati se kreću duž putanja definiranih u CNC programu i postupno uklanjaju materijal s radnog komada

## 8. Kontrola i praćenje obrade:

- Tijekom obrade, CNC operater prati proces kako bi osigurao da se postižu željeni rezultati i da pri obradi ne dođe do problema

## 9. Podešavanje parametara obrade -Ako je potrebno, parametri obrade mogu se prilagoditi tijekom obrade kako bi se postigli optimalni rezultati

## 10. Završetak obrade:

- Nakon završetka obrade, CNC stroj zaustavlja rad
- Radni komad se pažljivo uklanja s CNC stroja

## 11. Provjeravanje kvalitete:

- Radni komad se provjerava kako bi se osigurala kvaliteta površine i dimenzionalna točnost
- Ako su potrebne dodatne obrade ili popravci, provode se u ovom trenutku

## 12. Završna obrada i čišćenje:

- Ako je potrebno, radni komad se dodatno obrađuje ili završava kako bi se postigao konačni izgled i specifikacije
- Nakon završne obrade, radni komad se čisti i priprema za daljnju upotrebu ili isporuku

## 13. Dokumentiranje i evidencija:

- Sve relevantne informacije o obradi, uključujući parametre, postupke i rezultate, dokumentiraju se za praćenje i kontrolu

Postupak pripreme, pokretanja obrade, izvođenje strojne obrade te završetak strojne obrade ovisi o vrsti CNC stroja, vrsti obrade i materijalu. Pravilno izvođenje svakog koraka ključno je za postizanje visoke preciznosti i kvalitete u CNC brušenju.

## 4.2. CNC planska brusilica GT 40

CNC planska brusilica GT 40 je precizni industrijski stroj koji se koristi za plansko brusenje površina na različitim materijalima. Evo detaljnog opisa osnovnih komponenti i karakteristika CNC planske brusilice GT 40:

- Radna površina - GT 40 ima široku i ravnu radnu površinu na kojoj se postavljaju predmeti koje treba obraditi. Radna površina je često opremljena ravnim stolom, koji se pomiče u odnosu na brusni alat .
- Brusna glava - To je središnja komponenta CNC planske brusilice GT 40. Brusna glava sastoji se od brusnog kotača koji se okreće velikom brzinom. Ovaj kotač ima abrazivnu površinu i koristi se za obradu i brušenje predmeta na radnoj površini .
- Brojač osi - GT 40 obično ima više osi kretanja (najčešće tri osi - X, Y i Z), koje se kontinuirano mjere pomoću brojača osi. Ove osi omogućuju precizno pozicioniranje brusne glave i radne površine u odnosu na predmet koji se obrađuje .
- CNC kontrola - GT 40 je opremljen CNC sustavom (Computer Numerical Control) koji upravlja kretanjem brusne glave i radne površine. CNC kontrola omogućuje programiranje i automatizaciju procesa obrade, što doprinosi preciznosti i ponovljivosti obrade .
- Hlađenje i usisavanje - Kod grubog brušenja ili obrađivanja materijala, GT 40 obično ima sustav hlađenja koji sprječava pregrijavanje predmeta i brusnog kotača. Osim toga, integrirani sustav usisavanja uklanja prašinu i čestice nastale tijekom procesa obrade, čime se održava čistoća radnog okruženja .
- Sigurnost -GT 40 je opremljen sigurnosnim značajkama kao što su zaštitni okviri, senzori za zaustavljanje u hitnim slučajevima i sustavi za zaštitu od preopterećenja. Ove značajke služe kako bi se osigurala sigurnost rada i zaštita operatera .



Slika 16 – CNC strojevi za brušenje



Slika 17 – CNC planska brusilica GT 40

G-kodovi	M-kodovi	F-kodovi
G00- Linearni posmak alata u brzom hodu	M03- Paljenje vretena u smjeru kazaljke na satu	F0- Zaustavljanje svih kretanja stroja
G01- Linearni posmak alata u radnom hodu	M04- Paljenje vretena u suprotnom smjeru od kazaljke na satu	F1- Spori hod
G02- Kružno kretanje alata u smjeru kazaljke na satu	M05- Gašenje vretena	F2- Brzi hod
G17- Odabir ravnine X-Y (ravnina za kretanje alata)	M08- Uključivanje rashladnog sredstva	F3- Dovod alata
G54-G59- Odabir radnog sustava / koordinatnog sustava	M09- Isključivanje rashladnog sredstva	F4: Dovod alata u inčima po okretaju
G90- Apsolutno pozicioniranje alata	M30- Kraj programa i povratak na početak	F5- Dovod alata u mm po okretaju
G91- Relativno pozicioniranje alata		F6- Usklađeno brušenje
G94- Brzina dovoda - brzina kretanja alata po minuti		F7- Ravno brušenje

G98 - Povratak na početnu točku nakon završetka izvođenja programa		F8- Uključivanje rashladnog sredstva
G99 - Povratak na "r" ravninu (posljednja unesena točka u G-kodu)		F9- Isključivanje rashladnog sredstva

Tablica 3: G,M,F-kodovi za CNC plansku brusilicu GT 40

U daljnjem dijelu priručnika navedena su tri primjera CNC programa za plansku brusilicu GT 40. Primjerima su dani programi koji prikazuju osnovne funkcije brusilice i jednostavne operacije brušenja:

### Primjer 1. Program za ravno brušenje

O100 Program za ravno brušenje  
**G90 G40 G21** Apsolutan način rada, bez kompenzacije alata, mjerenje u milimetrima  
**G80** Poništavanje ciklusa  
**G10 L2 P1 Z0** Postavljanje datuma  
**G54** Postavljanje koordinatnog sustava  
**M3 S1500** Uključivanje vretena brzine 1500 o/min u smjeru kazaljke na satu  
**F50** Postavljanje brzine posmaka  
**G0 X10.0 Y5.0** Pozicioniranje alata na željenu početnu točku  
**G1 Z-0.2** Polako spuštanje alata na radni komad  
**G1 X20.0** Brušenje ravno prema desno  
**G1 Y10.0** Brušenje ravno prema gore  
**G1 X10.0** Brušenje ravno prema lijevo  
**G1 Y5.0** Brušenje ravno prema dolje  
**G0 Z0.1** Podizanje alata iznad radnog komada  
**M5** Isključivanje vretena  
**M30** Kraj programa

### Primjer 2. Program za brušenje utora

O200 Program za brušenje utora  
**G90 G40 G21** Apsolutan način rada, bez kompenzacije alata, mjerenje u milimetrima  
**G80** Poništavanje ciklus  
**G10 L2 P1 Z0** Postavlja datumski položaj  
**G54** Postavljanje koordinatni sustav  
**M3 S2000** Uključivanje vretena brzine 2000 o/min u smjeru kazaljke na satu  
**F30** Postavljanje brzine posmaka  
**G0 X10.0 Y5.0** Pozicioniranje alata na željenu početnu točku  
**G1 Z-0.3** Polako spuštanje alat na radni komad  
**G1 Y7.5** Brušenje utora prema gore  
**G1 X15.0** Brušenje utora prema desno  
**G1 Y2.5** Brušenje utora prema dolje  
**G1 X10.0** Brušenje utora prema lijevo

G0 Z0.1 Podizanje alata iznad radnog komada  
 M5 Isključivanje vretena  
 M30 Kraj programa

### Primjer 3. Program za brušenje kruga radijusa 5 mm

O300 Program za brušenje kruga  
 G90 G40 G21 Apsolutan način rada, bez kompenzacije, mjerenje u milimetrima  
 G80 Poništavanje ciklusa  
 G10 L2 P1 Z0 Postavljanje datuma  
 G54 Postavljanje koordinatnog sustava  
 M3 S3000 Uključivanje vretena brzine 3000 o/min u smjeru kazaljke na satu  
 F40 Postavljanje brzine posmaka  
 G0 X10.0 Y5.0 Pozicioniranje alata na željenu početnu točku  
 G1 Z-0.1 Polako spuštanje alata na radni komad  
 G2 X10.0 Y5.0 I5.0 J0.0 Brušenje kruga s radijusom 5.0  
 G0 Z0.1 Podizanje alata iznad radnog komada  
 M5 Isključivanje vretena  
 M30 Kraj programa

## 4.3. CNC alatna brusilica WHE

Walter Helitronic Essential je CNC (WHE brusilica) alatna brusilica koja se koristi za precizno brušenje različitih alata, poput glodala, tokarskog noža, i mnogih drugih alata. Brusilica je opremljena snažnim i preciznim vretenom koje omogućuje brušenje alata različitih veličina i oblika. Ovo vreteno može obraditi različite materijale, uključujući čelik, karbid i keramiku. Brusilica ima mogućnost automatske zamjene alata, što omogućuje efikasnost i smanjuje potrebu za ručnom intervencijom. Ova funkcija postiže se integriranim sustavom za skladištenje alata i robotskom rukom koja obavlja zamjenu.

Također je opremljena sustavom za osiguranje visoke preciznosti koji omogućuje mjerenje i kontrolu dimenzija alata prije i poslije brušenja. Njome se postižu visoke brzine brušenja, što omogućuje brzu i učinkovitu obradu alata, a što je posebno važno u industrija gdje se zahtijeva visoka produktivnost. CNC tehnologija sastavni je dio WHE brusilice i sadrži naprednu jedinicu za kontrolu koja omogućuje programiranje i prilagodbu različitih brusnih operacija. Ova jedinica za kontrolu omogućuje operatoru da lako prilagodi brusnu putanju, brzinu brušenja, uvjete hlađenja i mnoge druge parametre.

Prednosti upotrebe Walter Helitronic Essential brusilice su:

- CNC tehnologija omogućuje vrlo precizno brušenje alata s minimalnom pogreškom čime se postiže visoka preciznost brušenja alata
- Automatska zamjena alata i visoke brzine brušenja omogućuju brzu raspoloživost alata na drugim CNC strojevima čime poboljšavaju produktivnost strojne obrade



- CNC tehnologija osigurava konzistentne rezultate i ponovljivost brušenja čime se postiže uvijek visoka kvaliteta alata
- Brusilica se može programirati za brušenje različitih oblika i veličina alata, pružajući fleksibilnost u proizvodnom procesu

Walter Helitronic Essential je napredni CNC stroj za brušenje koji pruža visoku preciznost, povećanu produktivnost i ponovljivost obrade. Ova brusilica je idealna za industrije koje zahtijevaju visokokvalitetne alate za svoje proizvode.



Slika 18 - Walter Helitronic Essential alatna brusilica

Walter Helitronic Essential je napredni CNC stroj za brušenje koji pruža visoku preciznost, povećanu produktivnost i ponovljivost obrade. Ova brusilica je idealna za industrije koje zahtijevaju visokokvalitetne alate za svoje proizvode.

Primjer 4:

Potrebno je izraditi čelični valjak promjera 50 mm i visine 100 mm strojnom obradom brušenja. Početni promjer valjka je 55 mm, a dopuštena tolerancija za promjer nakon brušenja iznosi  $\pm 0.05$  mm. Brzina brušenja je 100 mm/min, a dubina rezanja je 0.2 mm. Potrebno je izračunati:

1. Koliko vremena je potrebno za brušenje cijelog valjka?

2. Koliko će materijala biti uklonjeno tijekom brušenja?
3. Provjeriti promjer valjka nakon brušenja i utvrditi odgovara li zadanoj toleranciji

Rješenje:

1. Vrijeme obrade izračunava se podjelom visine valjka (100 mm) s brzinom brušenja (100 mm/min):

$$\text{Vrijeme obrade} = 100 \text{ mm} / 100 \text{ mm/min} = 1 \text{ min}$$

2. Količina materijala uklonjena tijekom brušenja ( $V$ ) izračunava se kao razlika između početnog i krajnjeg volumena valjka. Prvo će se izračunati volumen valjka prije brušenja ( $V_1$ ) a zatim volumen valjka nakon brušenja ( $V_2$ ) te pronaći razlika u volumenu:

$$V_1 = \pi * (d_1/2)^2 * \text{visina} = \pi * (55/2)^2 * 100 = 237915.8 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \pi * (d_2/2)^2 * \text{visina} = \pi * (50/2)^2 * 100 = 196349.5 \text{ mm}^3$$

$$V = V_1 - V_2 = 237915.8 - 196349.5 = 41566.3 \text{ mm}^3$$

3. Krajnji promjer valjka nakon brušenja iznosi 50 mm, što je unutar dopuštene tolerancije ( $\pm 0.05$  mm). Stoga, promjer valjka nakon brušenja odgovara specifikacijama.

## 5. CNC strojna obrada erozijom

Strojna obrada elektroerozijom (EDM - Electrical Discharge Machining) je tehnika obrade materijala koja koristi električne iskre za postizanje željenih oblika i dimenzija radnih komada. Ova metoda se posebno koristi u sljedeća tri slučaja:

- kada se traži visoka preciznost izrade,
- prisutni su složeni oblici obratka
- vrši se obrada tvrdih materijala

Detaljnije objašnjenje strojne obrade elektroerozijom slijedi:

### 1. Priprema materijala i alata :

- Prije početka strojne obrade elektroerozijom potrebno je odabrati materijal radnog komada koji se želi obraditi. Elektroerozija je pogodna za obradu metala poput čelika, aluminijske legure i naprednih legura .
- Pomoću CAD softvera izraditi 3D model komada koji želite proizvesti .

### 2. Postavljanje CNC stroja za elektroeroziju:

- Postaviti radni komad čvrsto na stol stroj kako bi se spriječila vibracija tijekom postupka
- Postaviti elektrodu na vreteno stroja. Izbor elektrode ovisi o vrsti materijala radnog komada te željenom obliku gotovog obratka

### 3. Izvođenje procesa elektroerozije:

- Proces elektroerozije započinje potapanjem radnog komada i elektrode u dielektrično sredstvo, obično destiliranu vodu. Dielektrično sredstvo služi za provođenje električnih iskri i hlađenje procesa.
- Stroj kontrolira kretanje elektrode i oslobađanje električnih iskri između elektrode i radnog komada. Prijenos električnih iskri topi i oštećuje materijal radnog komada
- Električne iskre stvaraju vrlo visoku temperaturu, što topi i odstranjuje materijal, postupno stvarajući željeni oblik ili detalj.

### 4. Kontrola parametara procesa elektroerozije:

- Brzina izrezivanja: određuje koliko se materijala uklanja u određenom vremenskom periodu
- Dubina prolaza: određuje koliko se materijala uklanja u svakom prolazu
- Vrijeme paljenja iskre: kontrolira koliko dugo traju iskre tijekom procesa
- Ovisno o specifičnosti komada i materijala, parametri se prilagođavaju kako bi se postigla željena preciznost i kvaliteta obrade

## 5. Završna obrada:

- Završna obrada može uključivati brušenje, poliranje, ravnanje ili drugi postupak, ovisno o zahtjevima konstruktora i specifičnosti materijala.

### 5.1. Strojna obrada elektroerozije korištenjem elektrode

Elektroerozija elektrodom (EDM—Electrical Discharge Machining) postupak je obrade materijala koji se temelji na stvaranju električnih iskri između elektrode i radnog komada kako bi se materijal obradio ili oblikovao. Ova tehnika često se koristi za obradu tvrdih materijala koji su teško obradivi konvencionalnim metodama, kao i za postizanje visoke preciznosti obrade.. Strojna obrada elektroerozije elektrodom sastoji se od sljedećih koraka:

#### 1. Priprema:

- Izaberite odgovarajuću elektrodu koja će se koristiti u procesu obrade. Elektrode mogu biti izrađene od mesinga, bakra ili grafita, ovisno o materijalu koji se obrađuje.
- Postavite elektrodu u CNC stroj i prilagoditi je kako bi bila u kontaktu s radnim komadom tijekom postupka obrade.
- Smjestite radni komad na stroj i osigurajte ga da bude nepomičan tijekom procesa obrade

#### 2. Izvođenje postupka elektroerozije elektrodom:

- Elektroda i radni komad postavljaju se u dielektričku tekućinu (često destiliranu vodu) koja služi kao izolator između elektrode i radnog komada.
- Primjenom visokonaponskog izvora energije stvara se električni potencijal između elektrode i radnog komada, a to stvara električne iskre, koje tope i uklanjaju materijal s radnog komada.
- Električne iskre stvaraju se između elektrode i radnog komada, a njihova energija topi i isparava materijal na površini radnog komada. Ovaj proces naziva se elektroerozija.
- Električna iskra koja prolazi kroz dielektričnu tekućinu stvara plazmu visoke temperature, a toplina iz plazme izaziva uklanjanje materijala s radnog komada. Čestice uklonjenog materijala ispiru se iz radnog prostora
- CNC upravljanje strojem omogućuje kontrolu brzine i putanje elektrode kako bi se postigao željeni oblik i tražene dimenzije materijala
- Proces se provodi iskrenjem, omogućavajući postupno uklanjanje materijala i oblikovanje radnog komada prema željenoj geometriji

#### 3. Kontrola parametara procesa elektroerozije elektrodom:

- Napetost:  
Odabir odgovarajućeg napona ovisi o materijalima koji se obrađuju i željenom učinku.
- Pulsiranje struje:

Promjena intenziteta električnih iskri kontrolira se pulsevima struje. To omogućuje precizniju obradu i kontrolu procesa obrade.

- Brzina rezanja:

Održavanje optimalne brzine rezanja pomaže u postizanju željenog oblika i površinske kvalitete.

Elektroda materijala:

Odabir prikladne elektrode igra važnu ulogu u postizanju tražene kvalitete obrade.

4. Završna obrada:

Nakon elektroerozije elektrodom, površina radnog komada može biti gruba pa se stoga često provode dodatni postupci pri završnoj obradi, poput brušenja, poliranja ili glačanja, a kako bi se postigla željena površinska tekstura i preciznost .

Elektroerozija elektrodom je posebno korisna za obradu tvrdih i složenih materijala poput kaljenog čelika, legura titana i tvrdih legura. Ova tehnika koristi se u raznim industrijskim sektorima kao što su: proizvodnja alata, automobilska industrija, zrakoplovstvo, medicinska industrija i drugdje, gdje je potrebna visoka preciznost i kvaliteta obrade.

### 5.1.1. CNC erozimat s elektrodom SG125

CNC erozimat elektrodom SG125 je stroj koji se koristi za elektroerozivnu strojnu obradu materijala. Ova vrsta erozimata koristi električnu iskra kako bi se postepeno uklonio materijal sa obratka.

Osnovna obilježja CNC stroja SG125 su:

- Koristi se proces elektroerozivne obrade elektrodom, što znači da se obradak obrađuje pomoću električne iskre koja se stvara između elektrode i obratka. Električna iskra topi i uklanja materijal s obratka, postepeno oblikujući željeni oblik.
- Stroj je opremljen CNC upravljanjem, koje omogućuje visoku preciznost i ponovljivost obrade. CNC upravljanje omogućuje programiranje korištenjem G-kodova, omogućavajući programeru definiranje putanje i parametre obrade.
- Visoka preciznost postiže se pažljivim kontroliranjem električne iskre kao i kalibracijom stroja.
- Stroj ima dodatne funkcionalnosti koje olakšavaju procese obrade, poput automatske promjene alata, mjerenja visine elektrode, potapanje obratka u dielektričnu tekućinu kao i automatsko podešavanje parametara obrade.
- CNC erozimat elektrodom SG125 se koristi za različite vrste materijala, kao što su čelik, aluminij, mesing, bakar i različite legure. Ovaj stroj se primjenjuje u industriji alata i matrica, u proizvodnji dijelova za automobilsku industriju, u proizvodnji medicinskih uređaja kao i u drugim industrijskim granama.

Strojna obrada elektroerozije elektrodom može se bolje pojasniti na sljedeća dva primjera .

**Primjer 1:** Obrada umetka od tvrdog metala

- Materijal rada: umetak od tvrdog metala (npr. karbid volframa)
- Elektroda: bakrena elektroda

- Dielektrična tekućina: destilirana voda
- Napon: 70 V
- Brzina rezanja: 10 mm/min
- Vrijeme obrade: 30 minuta

U ovom primjeru, električna iskra generirana između bakrene elektrode i umetka od tvrdog metala topi i otklanja materijal s površine umetka. Obrada traje 30 minuta pri brzini rezanja od 10 mm/min.

**Primjer 2:** Obrada kaljenog čelika za izradu umetka alata

- Materijal rada: kaljeni čelik
- Elektroda: mesing
- Dielektrična tekućina: mineralno ulje
- Napon: 100 V
- Brzina rezanja: 5 mm/min
- Vrijeme obrade: 1 sat

U ovom primjeru, električna iskra stvorena je između elektrode od mesinga i kaljenog čelika topi i otklanja materijal s površine čelika. Obrada traje 1 sat pri brzini rezanja od 5 mm/min.

Navedenim primjerima ilustrira se kako elektroerozija elektrodom omogućuje obradu tvrdih materijala koji su teško obradivi konvencionalnim metodama. Preciznost, kvaliteta i vrijeme obrade ovise o specifičnim parametrima obrade i materijalima koji se pri tome koriste.



Slika 19 - CNC erozimat s elektrodom SG125

Evo nekoliko primjera osnovnih programa za CNC erozimat elektrodom SG125:

**Primjer 1.** Program za izrezivanje pravokutnika:

N10 G90 G54 - Postavljanje apsolutnih koordinata  
 N20 S200 M3 - Postavljanje brzine i startanja vretena  
 N30 G1 X50 Y50 - Postavljanje početne točke izrezivanja  
 N40 Z-10 - Postavljanje dubine graviranja  
 N50 G1 X100 - Izrezivanje prve stranice pravokutnika  
 N60 G1 Y100 - Izrezivanje druge stranice pravokutnika  
 N70 G1 X50 - Izrezivanje treće stranice pravokutnika  
 N80 G1 Y50 - Izrezivanje četvrte stranice pravokutnika  
 N90 Z0 - Podizanje elektrode iznad materijala  
 N100 M5 - Zaustavljanje vretena  
 N110 M2 - Kraj programa

Program za izrezivanje pravokutnika može se strukturirati kroz šest cjelina:

**1. Primarna konfiguracija programa:**

- Programski jezik koji se koristi za CNC programiranje je G-kod
- Najprije se postavljaju osnovni parametri konfiguracije, kao što su koordinatni sistem, brzina vretena i početna točka
- Koristi se G90 za apsolutno pozicioniranje, G54 za postavljanje koordinatnog sistema, M3 za uključivanje vretena

**2. Definiranje dimenzija pravokutnika:**

- Definiranje dimenzije pravokutnika koji se želi izrezati
- Postaviti duljinu (X dimenzija) i širinu (Y dimenzija) pravokutnika u koordinatnom sistemu
- Vrijednosti dimenzija mogu biti izražene u milimetrima ili drugim mjernim jedinicama

**3. Pozicioniranje za izrezivanje:**

- Nakon određivanja dimenzija pravokutnika, postavlja se početna tačka za izrezivanje
- To se može postići navođenjem koordinata tačke u kojoj se želi da započeti proces izrezivanja pravokutnika
- G0 X10 Y10 predstavlja kod za pozicioniranje alata na koordinate X=10 mm, Y=10 mm na radnom stolu

**1. Kretanje alata:**

- Nakon postavljanja početnog položaja alata, koristi se G1 kod za linearno kretanje alata duž određene putanje
- U slučaju izrezivanja pravokutnika, treba navesti željenu točku do koje će se alat kretati
- G1 X100 Y10 je kod za kretanje alata do tačke X=100 mm, Y=10 mm.

**5. Izvršavanje izrezivanja:**

- Nakon postavljanja putanje kretanja alata duž oboda pravokutnika, koristi se G1 kod za nastavak izrezivanja duž sljedećeg ruba pravokutnika
- G1 X100 Y90 je kod za kretanje alata do tačke X=100 mm, Y=90 mm, čime se nastavlja izrezivanje pravokutnika

**6. Završetak programa:**

- Na kraju programa, koristi se kod G0 za brzo pozicioniranje alata na početnu tačku
- Obavezno je isključiti vreteno prije nego što se završi program koji se koristi kod M5

Primjer 2. Program za izrezivanje provrta



N10 G90 G54 -Postavljanje apsolutnih koordinata  
 N20 S300 M3 - Postavljanje brzine i pokretanje vretena  
 N30 G1 X50 Y50 - Postavljanje središta provrta  
 N40 Z-10 - Postavljanje dubine graviranja  
 N50 G82 R10 F100 -Izrezivanje provrta prema unaprijed određenoj tački  
 N60 G1 Z0 - Podizanje elektrode iznad materijala  
 N70 M5 - Zaustavljanje vretena  
 N80 M2 -Kraj programa

Ovaj program koristi G82 kod koji je specifičan za izrezivanje provrta. On uključuje parametre kao što su radijus provrta i brzinu kretanja alata. Prethodno su postavljeni koordinatni sustavi, brzina vretena i početna tačka iz koje se izrezuje provrt. Dubina graviranja postavlja se kroz Z koordinate, a zatim se koristi G82 kod pri izrezivanju provrta.

**Primjer 3.** Program za graviranje teksta:

N10 G90 G54 - Postavljanje apsolutnih koordinata  
 N20 S250 M3 - Postavljanje brzine i pokretanje vretena  
 N30 G1 X50 Y50 - Postavljanje početne tačke graviranja  
 N40 Z-2 -Postavljanje dubine graviranja  
 N50 G1 F30 - Postavljanje brzine graviranja  
 N60 G1 X80 Y50 -Graviranje teksta "Hello"  
 N70 G1 X100 Y50 -Graviranje teksta "CNC"  
 N80 G1 X120 Y50 -Graviranje teksta "World"  
 N90 G1 Z0 - Podizanje elektrode iznad materijala  
 N100 M5 - Zaustavljanje vretena  
 N110 M2 -Kraj programa

Ovaj program koristi G1 kod za graviranja i linearno kretanje alata. Koordinate su postavljene tako da početak graviranja bude na određenoj tački, a zatim se koristi G1 F30 za postavljanje brzine graviranja. Konkretno, ovdje je prikazano kako se gravira tekst "Hello CNC World", ali se program može prilagoditi za graviranje bilo kojeg teksta.

**Primjer 4.** Program za izrezivanje kruga:

N10 G90 G54 -Postavljanje apsolutnih koordinata  
 N20 S200 M3-Postavljanje brzine i pokretanje vretena  
 N30 G1 X50 Y50 -Postavljanje centra kruga  
 N40 Z-5 - Postavljanje dubine graviranja  
 N50 G2 X60 Y50 I10 J0 -Izrezivanje kruga promjera 20mm  
 N60 G1 Z0 -Podizanje elektrode iznad materijala  
 N70 M5 - Zaustavljanje vretena  
 N80 M2 - Kraj programa

Program za izrezivanje kruga može se strukturirati kroz pet cjelina:

**1. Primarna konfiguracija programa:**

- Programski jezik koji se koristi za CNC programiranje je G-kod
- Najprije se postavljaju osnovni parametri konfiguracije, kao što su koordinatni sistem, brzina vretena i početna točka
- Koristi se G90 za apsolutno pozicioniranje, G54 za postavljanje koordinatnog sustava, M3 za uključivanje vretena

## 2. Definiranje dimenzija kruga:

- Definiranje dimenzije kruga koji se želi izrezati
- Dimenzija kruga koja se definira je promjer kruga
- Vrijednosti dimenzija kruga, promjer D, može se biti izraziti u milimetrima ili drugim jedinicama

## 3. Pozicioniranje za izrezivanje:

- Nakon određivanja dimenzije kruga, postavlja se početna tačka za izrezivanje
- To se može postići navođenjem koordinata tačke u kojoj se želi započeti proces izrezivanja kruga, a to su koordinate središta kruga na radnoj površini
- G0 X50 Y50 predstavlja kod za pozicioniranje alata na koordinate X=50 mm, Y=50 mm na radnom stolu

## 4. Izvršavanje izrezivanja:

- Da bi se izrezao krug, koristi se G2 za kretanje u smjeru suprotnom od kazaljke na satu

## 5. Završetak programa:

- Na kraju programa, koristi se kod G0 za brzo pozicioniranje alata na početnu tačku
- Obavezno je isključiti vreteno prije nego što se završi program pri čemu se koristi kod M5

### Primjer 5.

Potrebno je izraditi metalnu ploču dimenzija 100 mm x 100 mm na CNC stroju SG 125. Tijekom procesa izrade, elektroda se pomakne za 0.2 mm prema ploči kako bi se postigla željena dubina. Potrebno je izračunati:

1. Koliko će vremena biti potrebno da bi se izradila cijela ploča?
2. Koliko će se promijeniti dubina erozije, ako se brzina elektrode poveća na 0.3 mm/s?
3. Provjeriti promjenu dimenzija ploče nakon obrade.

### Rješenje:

1. Vrijeme izrade ploče erozijom izračunava se tako da se podijeli površina ploče s brzinom erozije:

$$\text{Površina ploče} = 100 \times 100 = 10\,000 \text{ mm}^2$$

Vrijeme erozije = Površina ploče / Brzina erozije =  $10\ 000/0.2 = 50\ 000\text{ s}$

Ukupno trajanje obrade erozijom iznosit će 50 000 sekundi ili približno 13.9 sati

2. Dubina erozije promijenit će se ako se promijeni brzina elektrode. Kako bi se izračunalo novu dubinu erozije, koristi se omjer brzina:

Nova dubina erozije = Stara dubina erozije x (Stara brzina erozije / Nova brzina erozije)

Nova dubina erozije =  $0.2 \times (0.2 / 0.3) = 0.1333\text{ mm}$

3. Promjena dimenzija ploče bit će jednaka dubini erozije. Dakle, nova ploča bit će manja za 0.1333 mm u svakom smjeru.

### 5.1.2. CNC erozimat sa žicom MV1200S

MV1200S predstavlja model CNC erozimata žicom koji je razvila i proizvodi kompanija Makino. Namijenjen je preciznom rezanju materijala korištenjem elektronske erozije žicom. CNC tehnologijom koja je sastavni dio ovog stroja, omogućava se visoka automatizacija i kontrola procesa rezanja. Za erozimat žicom MV1200S navode se sljedeće značajke:

1. **Konstrukcija i stabilnost** - MV1200S ima robusnu konstrukciju koja osigurava stabilnost i preciznost tijekom procesa rezanja. Ovo je posebno važno za postizanje visokih tolerancija i kvalitete rezanih komada
2. **CNC kontrola** - Stroj koristi CNC kontrolu koja omogućava visoko precizno vođenje erozivne žice tijekom procesa rezanja. CNC tehnologija omogućava programiranje i kontrolu stroja posredstvom računala, što rezultira preciznim ponavljanjem rezanja i brзом promjenom konfiguracije
3. **Automatizacija** - MV1200S je opremljen automatskim sustavom za punjenje i vođenje erozivne žice čime se smanjuje potreba za ručnim intervencijama
4. **Visoka brzina rezanja** -Erozimat žicom može ostvariti visoke brzine rezanja, što rezultira povećanom produktivnošću i smanjenjem trajanja ciklusa rezanja
5. **Programiranje** - MV1200S omogućava programiranje parametara rezanja, uključujući brzinu žice, jačinu iskri, konusnost i druga podešavanja, što omogućuje korisnicima visoku razinu kontrole nad procesom rezanja te omogućava prilagođavanje parametara za različite vrste materijala i zahtjeve rezanja
6. **Visoka preciznost** - Erozimatom MV1200S postiže se visoka razina preciznosti rezanja, što je posebno važno za proizvodnju složenih predmeta

MV1200S je visoko precizan CNC erozimat žicom koji ima napredne karakteristike i funkcionalnost za precizno rezanje materijala. Njegova visoka automatizacija, brzina rezanja i preciznost čine ga popularnim izborom u industriji tamo gdje je potrebno visoko kvalitetno rezanje složenih dijelova.



Slika 20 - CNC erozimat sa žicom MV12006

Način programiranja i rada u primjeni CNC erozimata žicom MV1200S prikazan je na dva primjera obrade elektroerozijom: ravna rezna površina i okrugla rezna površina.

#### Primjer 1- Obrada elektroerozijom žicom ravne rezne površine

```
G90 G54
M05
M30
T1
G92 X0 Y0 Z0
G01 Z5.0 F200.0
G01 X10.0 Y10.0 F300.0
G01 X50.0 Y10.0 F300.0
G01 X50.0 Y50.0 F300.0
G01 X10.0 Y50.0 F300.0
G01 X10.0 Y10.0 F300.0
G01 Z0.0 F200.0
```

M05  
M30

Detaljno pojašnjenje stavki programa za obradu elektroerozijom žicom ravne rezne površine:

1. Primjer počinje postavljanjem apsolutnog koordinatnog sustava (G90) i odabranog koordinatnog sustava (G54) čime se osigurava da se svi pokreti alata izvode od tačke nultog položaja, u odnosu na koordinatni sustav G54.
2. M05 kod isključuje glavni izvor energije osovine erozimata, što znači da se erozivna žica neće koristiti i da je alat u stanju mirovanja.
3. M30 kod označava kraj programa i uzrokuje zaustavljanje izvršavanja programa.
4. T1 kod određuje alat koji će se koristiti za program. U ovom slučaju, koristi se alat broj 1.
5. G92 X0 Y0 Z0 se koristi za postavljanje nulte točke X, Y i Z koordinata na trenutnu poziciju alata. Ovaj korak definira početak koordinatnog sustava za programiranje.
6. G01 Z5.0 F200.0 postavlja kretanje žice ili glave erozimata u donju poziciju (Z) na visinu od 5.0 mm brzinom od 200.0 mm/min.
7. G01 X10.0 Y10.0 F300.0 je naredba koja postavlja početnu tačku kretanja alata u X-Y ravnini na koordinatama (10.0, 10.0). Brzina kretanja postavljena je na 300.0 mm/min.
8. Nakon toga izvršava se kretanje po tačkama duž vanjskog oboda četverokuta, krećući se u pozitivnom smjeru X i Y osi. Svaka točka definira se koordinatama (X, Y) i brzinom kretanja.
9. G01 Z0.0 F200.0 dovodi alat u gornji položaj (Z) na visini od 0.0 mm brzinom od 200.0 mm/min, čime se završava operacija rezanja.
10. M05 se koristi za isključivanje energije osovine erozimata, zaustavljajući proces rezanja
11. M30 označava kraj programa.

#### **Primjer 2-** Obrada elektroerozijom žicom okrugle rezne površine

G90 G54  
M05  
M30  
T1  
G92 X0 Y0 Z0  
G01 Z5.0 F200.0  
G02 X20.0 Y20.0 I10.0 J0.0 F300.0  
G01 X20.0 Y40.0 F300.0  
G01 X40.0 Y40.0 F300.0  
G01 X40.0 Y20.0 F300.0  
G01 X20.0 Y20.0 F300.0  
G01 Z0.0 F200.0  
M05  
M30

**Detaljno pojašnjenje stavki programa za obradu elektroerozijom žicom okrugle rezne površine:**

1. Program započinje postavljanjem apsolutnog koordinatnog sustava (G90) i odabranog koordinatnog sustava (G54), čime se osigurava da se svi pokreti alata izvršavaju relativno u odnosu na G54 nultu tačku.
2. M05 kod isključuje glavni izvor energije osovine erozimetata, što znači da se erozivna žica neće koristiti i da je alat u stanju mirovanja.
3. M30 kod označava kraj programa i izaziva zaustavljanje izvršavanja programa.
4. T1 kod određuje alat koji će se koristiti za program. U ovom slučaju koristi se alat broj 1.
5. G92 X0 Y0 Z0 koristi se za postavljanje nulte tačke X, Y i Z koordinata na trenutnu poziciju alata. Ovaj korak određuje početak koordinatnog sustava za programiranje.
6. G00 Z5.0 F200.0 postavlja brzo podizanje alata u gornju poziciju (Z) na visini od 5.0 mm brzinom od 200.0 mm/min.
7. G00 X10.0 Y10.0 F300.0 naredba postavlja početnu tačku kretanja alata u X-Y ravnini na koordinatama (10.0, 10.0), koristeći brzinu kretanja od 300.0 mm/min.
8. Nakon toga se izvode kutne putanje (G02), krećući se u smjeru kazaljke na satu oko zadanih točaka. Naredbe G02 X30.0 Y10.0 I10.0 J0.0 definiraju putanju okruglog rezanja između točaka (10.0, 10.0) i (30.0, 10.0), pri čemu I i J predstavljaju relativne koordinate središta kruga u odnosu na trenutnu poziciju alata.
9. Slično tome, naredba G02 definira putanje za preostale tačke kruga. Svaka putanja određuje I i J koordinate relativne na trenutnu poziciju alata.
10. G00 Z0.0 F200.0 dovodi alat u gornji položaj (Z) na visini od 0.0 mm brzinom od 200.0 mm/min, završavajući time operaciju rezanja.
11. M05 se koristi za isključivanje energije osovine erozimetata, zaustavljajući proces rezanja.
12. M30 označava kraj programa.

## 6. Uređaj za lasersko graviranje XT Laser XTL - FC50

XT Laser XTL-FC50 je laserski uređaj koji se obično koristi za graviranje ili rezanje različitih materijala. Evo detaljnog objašnjenja o značajkama i funkcionalnosti ovog lasera:

- Snaga lasera- XT Laser XTL-FC50 ima izlaznu snagu lasera od 50 Watta koja omogućava precizno rezanje ili graviranje velikog broja materijala, uključivo, akril, kožu, tkaninu, papir, plastiku i još mnogo toga.
- Radna površina- Trenutni model XTL-FC50 ima radnu površinu određene veličine, na primjer 600 mm x 400 mm. Ova površina predstavlja prostor na kojem se stavljaju materijali za obradu laserom. Važno je napomenuti da je radna površina moguće prilagoditi prema specifičnim zahtjevima korisnika.
- Preciznost- XT Laser XTL-FC50 je visokoprecizni laserski uređaj koji omogućava izuzetno precizno graviranje ili rezanje. Njegova preciznost ovisi o optičkoj rezoluciji i strojnoj preciznosti. Ovi parametri mogu varirati ovisno o proizvođaču i modelu.
- Kontrolni sustav- XTL-FC50 koristi digitalni kontrolni sustav koji omogućava korisnicima jednostavno upravljanje laserskim uređajem. Ovisno o modelu, kontrolni sustav može biti osnova, kao što je ručna kontrola ili sofisticirani softver koji se pokreće na računalu. Softverska rješenja često pružaju napredne funkcionalnosti, uključujući podršku za vektoriranje, obradu slika i mogućnost izrade vlastitog dizajna.
- Sigurnost- XT Laser XTL-FC50 dolazi s integriranim sigurnosnim značajkama koje osiguravaju zaštitu korisnika. Ove značajke mogu uključivati sustave za praćenje prometne svjetlosti, automatsko isključivanje u slučaju pogreške, zaštitu od pregrijavanja, kao i sustave za isključivanje lasera tijekom promjene materijala ili zamjene reznog alata.
- Aplikacije-Zahvaljujući svojoj svestranosti, XT Laser XTL-FC50 može se koristiti u različitim industrijama i aplikacijama. Ovisno o materijalima koji se obrađuju, ovaj laser može se koristiti za izradu oznaka, graviranje dizajna na različitim predmetima, rezanje složenih oblika, izrezivanje prototipa ili čak za izradu malih proizvodnih serija.



Slika 21 - Uređaj za lasersko graviranje XTL - FC50

G-kodovi	M-kodovi	F-kodovi
G00-Linearni posmak u brzom hodu	M03-Uključivanje lasera	F100-Brzina pokreta
G01-Linearni posmak u radnom hodu	M05-Isključivanje lasera	F200- Snaga lasera
G02- Kružno kretanje	M30: Završetak programa	F400- Protok zraka/vakuuma
G03-Kružno kretanje		F600- Frekvencija pulsa
G04- Vrijeme kašnjenja		F1000-Fokus
G28-Povratak na početnu točku		F2000-Temperatura hlađenja
		F3000-Dubina rezanja

Tablica 4: X: G – kodovi za programiranje XTL-FC50

XT Laser XTL-FC50 je laserski uređaj koji zahtijeva odgovarajuće održavanje kako bi se osigurala njegova optimalna učinkovitost i siguran rad. Evo nekoliko ključnih smjernica za održavanje i siguran rad tog laserskog sustava:

- Redovito čišćenje- Pravilno čišćenje laserskog uređaja ključno je za održavanje kvalitete snopa i produženje njegovog životnog vijeka. Koristite mekanu i neabrazivnu tkaninu kako biste obrisali vanjske površine uređaja, uklanjajući prašinu i ostale nečistoće.
- Provjera hlađenja- Pratite sistem hlađenja laserskog uređaja kako biste bili sigurni da je ispravno. Provjerite je li dovod svježeg zraka dovoljan i jesu li ventilacijski otvori čisti od



prepreka. Pravilno hlađenje može spriječiti pregrijavanje i dugotrajnu štetu.

- Održavanje optičke komponente-Provjerite optičke komponente kao što su ogledala i leće i pazite da su čiste i neoštećene. Ako primijetite bilo kakve nedostatke ili oštećenja, odmah se obratite ovlaštenom serviseru kako biste ih zamijenili.
- Pratite radne parametre- Pridržavajte se preporučenih radnih parametara koje je proizvođač naveo u korisničkom priručniku. Upotreba laserskog sustava izvan ovih parametara može uzrokovati oštećenja i smanjiti sigurnost pri radu.
- Pravilno rukujte laserom-Osigurajte da laserom rukuje samo kvalificirano osoblje s iskustvom. Upoznajte se s uputama za siguran rad i strogo ih slijedite. Koristite osobnu zaštitnu opremu (npr. zaštitne naočale) prema potrebi i slijedite sve smjernice vezane uz sigurnost.
- Zaštita od zračenja-Provjerite je li radno područje pravilno označeno i izolirano kako bi se spriječio pristup neovlaštenim osobama. Držite se zakonom propisanih smjernica o izlaganju ljudi laserskom zračenju ,a kako biste spriječili oštećenje vida ili druge ozljede.

Za rad na laserskom uređaju XT Laser XTL-FC50 važno je razumjeti i postaviti odgovarajuće parametre. Evo nekoliko bitnih parametara i kako se računaju:

- Snaga lasera (Power)- Snaga lasera izražava se u vatima (W) i određuje koliko energije lasera emitira. Prilikom rada s XTL-FC50 laserom, treba se pridržavati preporučenih postavki snage lasera koje navodi proizvođač, a to je ovisno o konkretnoj primjeni.
- Valna duljina (Wavelength)-Valna duljina laserskog snopa izražava se u nanometrima (nm) i određuje vrstu svjetlosti koju laser emitira. XT Laser XTL-FC50 omogućava odabir različitih valnih duljina, ovisno o aplikaciji. Valna duljina odabire se prema specifičnim zahtjevima primjene.
- Brzina optike (Optic Speed)- Brzina optike odnosi se na brzinu kojom se optika laserskog sustava kretala prilikom izvršavanja zadatka. Brzina optike može se postaviti prema potrebama rada i varira ovisno o materijalu koji se obrađuje, preciznosti koja je potrebna, kao i o drugim čimbenicima. Obično se izražava u mm/s (milimetara po sekundi) ili m/min (milimetara po minuti).
- Fokusna duljina leće (Lens Focal Length)- Fokusna duljina leće određuje koliko se laser fokusira na radnoj površini. Manje fokusne duljine pružaju manju širinu snopa, što može biti korisno za preciznije rezanje ili graviranje, dok veće fokusne duljine pružaju širi snop za brže rezanje. Izbor fokusne duljine leće ovisi o konkretnoj primjeni.

Postavke parametara laserskih sustava, uključujući XT Laser XTL-FC50, ovise o specifičnim zahtjevima primjene i materijalu koji se obrađuje. Stoga je važno proučiti priručnik proizvođača ili se posavjetovati s tehničkim stručnjakom kako biste postavili prave parametre za vaše potrebe.

Alat kod XT Laser XTL-FC50 je skup postavki i konfiguracija koje se koriste za oblikovanje laserskog snopa i izvođenje određenih radnji na radnoj površini. Taj alat može uključivati parametre poput brzine optike, snage lasera, valne duljine, fokusne duljine leće i drugih relevantnih postavki.

Definiranje putanje alata uključuje postavljanje točnih koordinata i kontura uzoraka koji će se izvesti laserskim snopom. Obično se koristi CAD (Computer-Aided Design) softver kako bi se stvorila željena geometrija ili putanja. CAD softver omogućava korisnicima crtanje ili uvoz gotovih crteža i definiranje točnih koordinata i kontura koje se žele obraditi.

Nakon što je putanja alata definirana u CAD softveru, ta se putanja se obično prenosi u odgovarajući format (npr. DXF, PLT) koji podržava laserski softver ili kontroler. Taj format se zatim učitava u laserski sustav, poput XT Laser XTL-FC50, putem softvera za upravljanje laserskim sustavom. Softver za upravljanje laserskim sustavom tada interpretira putanju alata i upravlja laserskim snopom da slijedi određeni put preko radne površine, a u skladu s definiranom putanjom.

Važno je naglasiti da je postupak definiranja putanje alata i korištenja alata specifičan za svaki laserski sustav i može se razlikovati ovisno o proizvođaču i softveru koji se pri tome koristi. Stoga je najbolje proučiti priručnik proizvođača i pridržavati se uputa kako biste pravilno definirali putanju alata i koristili alate za XT Laser XTL-FC50.

**Primjer 1-** Potrebno je napisati programski kod za graviranje riječi **Hello**. Za graviranje je na raspolaganju CNC stroj za lasersko graviranje XTL-FC50.

#### Rješenje:

G90 - Postavljanje apsolutnog pozicioniranja  
 G21 -Postavljanje mjernih jedinica na milimetre  
 M106 S200 - Uključivanje lasera (postavljanje snage lasera na 200 od 255)  
 G4 P1000 - Pauza od 1 sekunde (prilagoditi vremenski interval prema potrebama)  
 - Primjer graviranja slova "Hello"  
 G0 X10 Y10 - Brzi pomak na početnu poziciju graviranja slova "H"  
 G1 F150 -Postavljanje brzine graviranja na 150 mm/min  
 G1 X10 Y40 -Linija prema dolje za oblikovanje lijeve vertikalne slova "H"  
 G1 X20 Y30 - Linija prema desno za gornju poveznicu slova "H"  
 G1 X20 Y50 - Linija prema dolje za donju poveznicu slova "H"  
 G1 X10 Y40 - Linija prema gore za završetak povezivanja slova "H"  
 G0 X30 - Pomak na početnu poziciju graviranja slova "e"  
 G1 X40 Y50 - Linija prema dolje za donju polovicu slova "e"  
 G2 X65 Y50 I+12 J0 - Graviranje gornjeg dijela slova "e" pomoću kružne putanje  
 G1 X77 Y50 - Linija prema desno za kraj slova "e"  
 G1 X40 -Pomak za početak graviranja slova "l"  
 G1 Y10 -Linija prema gore za vertikalnu liniju slova "l"  
 G0 X50 - Pomak na početnu poziciju graviranja slova "o"  
 G2 X70 Y30 I+50 J0 -Graviranje slova "o" kao krug s središtem u (70, 30) i radijusom 50  
 G1 X50 - Linija natrag za zatvaranje kruga slova "o"  
 M107 -Isključivanje lasera (gašenje snage lasera)  
 M5 - Isključivanje lasera

Ovaj primjerom je prikazan postupak graviranje slova "Hello", pri čemu kod izbora brzine graviranja i parametra putanje treba uzeti u obzir materijal na kojem će se napisati tražena riječ.

**Primjer 2-** Potrebno je napisati programski kod za graviranje riječi **RCK 4.0**. Za graviranje je na raspolaganju CNC stroj za lasersko graviranje XTL-FC50.

## 7. Održavanje, sigurnost rada i zaštita pri CNC strojnoj obradi

### 7.1. Održavanje CNC strojeva

Redovno održavanje i zamjena dijelova ključni su za očuvanje i dugotrajnu učinkovitost CNC strojeva. Prilikom rada na CNC strojevima potrebno je redovito provoditi aktivnosti održavanja i praćenja stanja CNC strojeva, što uključuje:

#### 1. Planirano preventivno održavanje

- Potrebno je razraditi plan redovitog održavanja temeljen na specifikacijama proizvođača i preporukama. To uključuje čišćenje, podmazivanje, provjeru sigurnosnih sustava i druge preventivne korake

#### 2. Čišćenje i podmazivanje

- Potrebno je redovito čistiti stroj kako bi se uklonila prašina, čestice i druge nečistoće. Nakon čišćenja, potrebno je podmazati pokretne dijelove kako bi se smanjilo trenje i istrošenost

#### 3. Zamjena filtera

- Filteri u rashladnim i podmazivanim sustavima trebaju se redovito zamjenjivati kako bi se očuvala čistoća i kvaliteta rashladnih tekućina i maziva

#### 4. Zamjena alata

- Alati su potrošni dijelovi i trebaju se zamjenjivati kada se istroše ili izgube oštrinu. Pravilno odabrani i održavani alati važni su postizanje tražene kvalitete obrade

#### 5. Provjera geometrije

- Periodično se provjerava geometrija stroja kako bi se osiguralo da se strojna obrada odvija skladu s njegovim specifikacijama. Pravilna geometrija ključna je za preciznost obrade.

## 6. Zamjena vretena

- Vreteno je vitalni dio stroja, a ako postane istrošeno ili oštro, može utjecati na kvalitetu obrade. Potrebno je pratiti stanje vretena, pravilno ga održavati i zamijeniti prema potrebi.

## 7. Održavanje elektronike

- Potrebno je detaljno proučiti i poznavati elektroničke komponente CNC stroja kako bi se osiguralo da senzori, kontroleri, električni i elektronički sustavi rade ispravno. Ovaj dio stroja posebno je osjetljiv i u slučaju bilo kakve nepravilnosti, stroj se zaustavlja i javlja kodiranu poruku o nepravilnosti.

## 8. Kalibracija

- Periodično je potrebno kalibrirati CNC stroj kako bi se osigurala preciznost rada i strojna obrada. Kalibriraju se osi, senzori i druge ključne komponente.

## 9. Edukacija osoblja

- Operateri koji upravlja strojem trebaju biti obučeni za održavanje CNC stroja i njegovu sigurnu upotrebu. Edukacija osoblja važna je za rano prepoznavanje problema i korektivne radnje.

## 10. Planska zamjena komponenti

- Važno je izraditi plan zamjene ključnih komponenti stroja, uključujući ležajeve, senzore i ostale potrošne dijelove, kako bi se izbjegli iznenadni kvarove i produžio životni vijek CNC stroja.

Provođenjem redovitog održavanja i zamjene dijelova, osigurava se pouzdanost, kvaliteta obrade i sigurnost u radu CNC strojeva, pri čemu je potrebno pratiti upute proizvođača. Digitalizacija provedenih aktivnosti održavanja na CNC stroju obaveza je operatera kako bi se moglo po potrebi imati uvid u povijest održavanja.

U redovitom radu na CNC stroju, događaju se različiti izazovi i problemi. Jedan od čestih problema odnosi se na podmazivanje CNC strojeva koje je ključno za održavanje strojeva u dobrom stanju i produženju njihovog životnog vijeka. U nastavku su navedeni problemi koji se odnose na podmazivanje te načine kako ih riješiti.

### 1. Nedostatak podmazivanja

- a. **Problem** -Ako CNC stroj nije dovoljno podmazivan, to može dovesti do trenja, istrošenih dijelova i loše kvalitete obrade
- b. **Rješenje**-Provjeriti razinu podmazivanja na stroju i dodati mazivo kad god je to potrebno prema preporukama proizvođača

### 2. Onečišćenje sustava za podmazivanje

- a. **Problem-** Kontaminacija sustava za podmazivanje česticama prašine, metala ili drugim nečistoćama, može smanjiti učinkovitost podmazivanja
- b. **Rješenje-** Redovito čistiti i mijenjati filtere

### 3. Pretjerano podmazivanje

- a. **Problem-**Ako se stroj pretjerano podmazuje, to može dovesti do akumulacije maziva na dijelovima CNC stroja i onečistiti okolinu
- b. **Rješenje-** Pratiti preporuke proizvođača za potrebnu količinu maziva i učestalost podmazivanje ,a kako bi se izbjeglo pretjerano podmazivanje

### 4. Loša raspodjela podmazivanja

- a. **Problem-** Nepravilna raspodjela maziva na ključnim dijelovima može dovesti do neravnomjerne istrošenosti i nejednakog podmazivanja
- b. **Rješenje-**Podesiti sustav za podmazivanje kako biste osigurali ravnomjernu raspodjelu podmazivanja na svim relevantnim dijelovima stroja.

### 5. Zagušenje kanala za podmazivanje

- a. **Problem-**Kanali za podmazivanje mogu se začepiti naslagama prljavštine ili zakorjelog maziva
- b. **Rješenje-** Redovito čistiti i provjeravati kanale podmazivanje kako bi se spriječilo zagušenje kanala. Ako je kanal začepljen, očistiti ga ili zamijeniti.

### 6. Greška senzora podmazivanja

- a. **Problem-**Greške u sensorima podmazivanja mogu uzrokovati pogrešno doziranje podmazivanja.
- b. **Rješenje-** Provjeriti senzore i zamijenite ih ako su oštećeni. Pratite sustav za upozorenje na senzorske pogreške.

### 7. Loši podmazivači

- a. **Problem-** Korištenje niskokvalitetnih ili neodgovarajućih podmazivača može uzrokovati probleme u podmazivanju.
- b. **Rješenje-** Koristite visokokvalitetne podmazivače koji su kompatibilni s vašim strojem i uvjetima obrade.

### 8. Neispravan sustav za podmazivanje

- a. **Problem-** Neispravan sustav za podmazivanje može biti uzrok problema s podmazivanjem.
- b. **Rješenje-** Redovito provoditi održavanje sustava za podmazivanje i servisirajte ga prema preporukama proizvođača.

Pravilno održavanje i rješavanje problema s podmazivanjem ključno je za očuvanje CNC strojeva i osiguranje njihove pouzdanosti i učinkovitosti. Potrebno je slijediti preporuke proizvođača i educirati operatere kako bi prepoznali i riješili probleme vezane uz podmazivanje.

## 7.2. Sigurnost rada na CNC strojevima

Osiguravanje visoke razine sigurnosti rada na CNC strojevima ključno je za zaštitu zdravlja i integriteta osoblja koje na njima radi. Prilikom rada na CNC stroju potrebno je pridržavati se osnovnih pravila sigurnosti, a to su:

- **Oprez pri rukovanju**-Pristupajte CNC stroju s oprezom. Nemojte prilaziti stroju dok je u pogonu ili dok se alat još uvijek kreće
- **Obuka osoblja**-Osigurajte da svi koji rade na CNC stroju budu obučeni za njegovu sigurnu upotrebu i da razumiju osnovne postupke zaštite rada na CNC stroju
- **Nošenje zaštitne opreme** -Obavezno nositi odgovarajuću zaštitnu opremu, kao što su zaštitne naočale, rukavice, čepići za uši i zaštitna odjeća .
- **Zabrana nošenja široke i opuštene odjeće i nakita**-Nosite prikladnu odjeću koja neće moći biti povučena u stroj. Uklonite nakit i gumbe, a koji bi mogli zapeti pri radu na stroju .
- **Održavanje stroja** - Redovito održavanje i servisiranje stroja kako bi se osigurala njegova sigurna i pouzdana operacija .
- **Zabrana rada s otvorenim vratima** -Nikada ne radite s otvorenim vratima ili poklopcem CNC stroja. Vrata ili poklopci stroja trebaju biti obavezno zatvoreni tijekom njegova rada .
- **Prekidači za hitne situacije** - Obavezno je potrebno znati gdje se nalaze prekidači za hitne situacije i kako ih koristiti. U slučaju opasnosti, pritisnite hitni prekidač kako biste zaustavili stroj .
- **Nadzor rada** -Pratite rad stroja tijekom obrade i budite spremni reagirati na bilo kakve nepravilnosti ili opasnosti .
- **Pravilno postavljanje alata** -Pravilno postavite alate kako bi se izbjegle vibracije i pomicanje tijekom obrade .
- **Podešavanje brzine i hranjenja** - Postavite odgovarajuće brzine rezanja i brzine posmaka kako bi se izbjeglo prekomjerno opterećenje alata i stroja
- **Izolacija izvora energije** - Prije održavanja ili servisiranja stroja, osigurajte da su svi izvori energije isključeni i izolirani

- **Ograda i zaštita** - CNC stroj treba biti opremljen zaštitnim ogradama i zaštitnim uređajima kako bi se spriječilo slučajno dodirivanje opasnih dijelova stroja
- **Pratite upute proizvođača** -Slijedite upute proizvođača stroja i alatki u vezi s upotrebom i održavanjem
- **Obavještanje nadležnih** -Ako primijetite nepravilnosti ili oštećenja na stroju, obavijestite nadležne osobe kako bi se poduzeli odgovarajući koraci za rješavanje problema
- **Zabrana alkohola i droge** - Nipošto ne smijete biti pod utjecajem alkohola, droga ili drugih psihoaktivnih supstanci tijekom rada na CNC strojevima

Sigurnost je najvažnija aktivnost prilikom rada s CNC strojevima. Pridržavanje ovih osnovnih pravila sigurnosti pomaže u sprječavanju ozljeda i očuvanju zdravlja osoba koje rade na CNC, ali i klasičnim strojevima.

#### Primjer1:

Potrebno je razraditi pravila za održavanje CNC planske brusilice GT 40

*Odgovor:*

Održavanje CNC planskih brusilica GT 40 je ključno za osiguravanje dugotrajnosti i sigurnog rada. Predlaže se pridržavanje sljedećih pravila:

#### a) Održavanje CNC stroja GT40

1. **Redovito održavanje čistoće** -Na kraju smjene ili radnog dana, treba očistiti stoj od nakupljenih otpadaka ili piljevine. Treba pregledati i očistiti sve pokretne dijelove, vodilice, vijke i stezne mehanizme (Preporuka- Naučiti koristiti Lean 3S alat)
2. **Podmazivanje** - Provjerite upute proizvođača za preporuke o podmazivanju stroja. Redovito podmazivati pokretne dijelove stroja kako bi im se osigurao pravilan rad i smanjilo habanje (Preporuka- Koristiti Autonomno održavanje)
3. **Provjera električne i pneumatske infrastrukture** - Redovito pregledati električne i pneumatske sustave kako bi se osigurali da nema oštećenja, curenja ili labavih veza. Obavezno vizualno pregledati kablove kako bi se uočila moguća oštećenja
4. **Provjera alata** - Redovito provjeravati stanje alata koji se koristi na stroju. Oštećeni i nedovoljno funkcionalni alati mogu dovesti do loših rezultata obrade i oštećenja samog stroja
5. **Provjera sigurnosnih uređaja** - Provjeriti jesu li svi sigurnosni uređaji na stroju ispravni i pravilno postavljeni, uključujući zaštitu od širenje čestica u prostor, sigurnosne prekidače i sisteme za gašenje .

*Lean 3S alat je metodologija koja se koristi za unaprjeđenje procesa i povećanje efikasnosti na radnom mjestu. Koristi se u okviru principa Lean menadžmenta, koji se fokusira na*

*otklanjanje suvišnih koraka i aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, a kako bi se postigao maksimalan rezultat. Lean 3S je skraćenica koja označava tri ključne aktivnosti- Sortiraj, Stavi sve na svoje mjesto), Sjaj (očisti radno mjesto). Svaka od ovih aktivnosti ima svoj cilj i postupak, a zajedno čine osnovu za poboljšanje radnog okruženja.*

## b) Sigurnost rada na CNC GT40 planskoj brusilici

1. **Osposobljenost operatera za siguran rad** - Osigurati da su operateri osposobljeni i upoznati s uputama proizvođača za siguran rad, kao i postupcima rukovanja strojem te kako prevenirati moguće rizike .
2. **Korištenje osobne zaštitne opreme (OZO)** - Osigurati da svi operateri nose propisanu OZO, kao što su zaštitne naočale, radne rukavice, zaštitne cipele itd. što je ovisno o specifičnim rizicima radne okoline .
3. **Isključivanje stroja** -Stroj treba isključiti prije nego što se izvrši bilo kakvo održavanje, podešavanje ili zamjena alata. Isključiti napajanje i pričekati dok se svi pokretni dijelovi ne zaustave .
4. **Raditi na stroju s oprezom** - Paziti na ruke i tijelo prilikom rukovanja strojem. Ne približavati se pokretnim dijelovima dok stroj radi. Držati se na određenoj udaljenosti od stroja kako bi se izbjegle moguće ozljede .
5. **Upotreba zaštitnih sustava**- Upotrijebiti sve sigurnosne uređaje koji su sastavni dio CNC planske brusilice GT 40. Ne prekidati ni isključivati sigurnosne mehanizme jer su dizajnirani za zaštitu korisnika .
6. **Pravilno rukovati materijalom** - Pažljivo rukovati materijalom kako bi se spriječile ozljede izazvane oštrim rubovima ili teškim predmetima .

Pridržavanje navedenih pravila za održavanje i siguran rad na CNC planskoj brusilici GT 40, osigurat će optimalno stanje stroja i smanjiti rizik od nezgoda ili oštećenja. Predlaže se pažljivo proučiti upute proizvođača i po potrebi slijediti dodatne smjernice koje se odnose na specifični model stroja.



# 8. Primjena tehnologija Industrije 4.0 u CNC strojnoj obradi

## 8.1. Automatizacija i industrija 4.0

Automatizacija i Industrija 4.0 igraju važnu ulogu u unaprjeđenju CNC strojne obrade, poboljšavajući produktivnost, učinkovitost i konkurentne prednosti industrije u kojoj se primjenjuju. Slijede primjeri primjene tehnologija Industrije 4.0 u CNC industriji:

### 1. Automatizacija procesa

- **Automatizacija korištenjem robota** - Upotreba industrijskih robota za manipulaciju radnim komadima te premještanje dijelova između različitih faza obrade, smanjuje potrebu za ljudskom intervencijom i povećava kontinuiranu obradu.

### 2. CNC sustavi za upravljanje

- U Industriji 4.0, CNC sustavi postaju sve pametniji, omogućujući bolju kontrolu i optimizaciju parametara obrade u stvarnom vremenu.

### 3. Senzori i praćenje

- **Senzori stanja stroja** - Postavljanje senzora na strojevima za praćenje performansi i otkrivanje odstupanja u radu
- **Senzori kvalitete** - Senzori za praćenje kvalitete površine dijelova tijekom i nakon brušenja, omogućujući otkrivanje grešaka u stvarnom vremenu

### 4. Povezanost i komunikacija

- **Internet stvari (IoT)** - Integracija CNC strojeva s IoT tehnologijom omogućava praćenje rada stroja na daljinu, upravljanje i prikupljanje podataka o obradi
- **Povezanost u stvarnom vremenu** - CNC strojevi mogu biti povezani s drugim dijelovima proizvodnog procesa kako bi se postigla sinkronizirana proizvodnja

### 5. Analitika i umjetna inteligencija

- **Analitičke alati i aplikacije** - Korištenje analitičkih alatki, algoritama i aplikacija za optimizaciju parametara obrade i prepoznavanje problema u stvarnom vremenu.
- **Produktivno održavanje** - Primjena umjetne inteligencije za predviđanje kvarova i održavanje strojeva prije nego dođe do problema .

### 6. 3D modeliranje i simulacija

- **Virtualna simulacija** - Korištenje softverskih alata za simulaciju procesa strojne obrade omogućava poboljšanje planiranja i optimizaciju obrade .

## 7. Fleksibilna proizvodnja

- **Mogućnost prilagodbe** -Industrija 4.0 omogućava fleksibilniju proizvodnju tako da se CNC strojevi brže prilagode promjenama u zahtjevima tržišta.

## 8. Sigurnost i zaštita podataka

- **Sigurnost podataka** -Zaštita podataka o procesima, inovacijama i konstrukciji dijelova i proizvoda od konkurencije i cyber prijetnji od vitalne je važnosti

Primjena automatizacije i Industrije 4.0 u CNC strojnoj obradi omogućava veću preciznost, smanjenje troškova, optimizaciju procesa i povećanje produktivnosti. Sve navedeno bit će ključno za proizvodne sustave u budućnosti kako bi održala konkurentsku poziciju na tržištu i kao i prilagodba brzim promjenama u tržištu.

## 8.2. Povezivanje CNC strojeva s pametnim sustavima

Povezivanje CNC strojeva s pametnim sustavima, kao što su Industrija 4.0 i Internet stvari (IoT), može znatno poboljšati efikasnost, nadzor, i upravljanje procesima. Primjeri na koje se CNC strojevi mogu povezati s pametnim sustavima su sljedeći:

1. **Senzori i praćenje performansi** - Ugradnja senzora na CNC strojeve za praćenje različitih parametara kao što su temperatura, brzina rezanja, vibracije, i opterećenje može pomoći u praćenju performansi stroja. Ovi podaci mogu se prikupljati i analizirati kako bi se predvidjeli potencijalni problemi i omogućilo preventivno održavanje.
2. **Mrežno povezivanje** - Povezivanje CNC strojeva mrežnim povezivanjem kako bi se omogućilo daljinsko nadziranje i upravljanje, dodatna je mogućnost kojom se upotpunjuje i unaprjeđuju CNC sustavi. Ovo omogućuje operaterima i inženjerima pratiti i upravljati CNC strojevima izvan radnog mjesta.
3. **Automatizacija i robotika** - Integriranjem robotskih sustava u proizvodne procese ubrzava se manipulacija radnih komada i povećava učinkovitost. Ovi sustavi mogu komunicirati s CNC strojevima što omogućuje višu razinu automatizacije.
4. **Upravljanje zalihama i materijalima** - Pametni sustavi mogu pratiti stanje zaliha materijala i alata te automatski naručivati nove količine kada je to potrebno, čime se sprječava prekidanje proizvodnje.
5. **Napredna analitika i umjetna inteligencija (AI)** - Korištenje napredne analitike i AI može omogućiti optimizaciju postavki obrade, prepoznavanje nepravilnosti i predviđanjem potreba za održavanjem.
6. **Kvaliteta i kontrola procesa** - Integracija sustava za nadzor kvalitete omogućuje neprekidno praćenje i kontrolu kvalitete obrađenih komada. Ako se otkrije odstupanje od specifikacija, stroj se može automatski prilagoditi kako bi se smanjila količina neispravnih proizvoda.

7. **Povezivanje s ERP sustavima** - Povezivanje CNC strojeva sa sustavima za planiranje resursa (ERP) omogućuje bolje praćenje narudžbi, inventara i proizvodnih vremena.
8. **Sigurnost i praćenje operatera** - Upotrebom sustava praćenja i sigurnosnih kamera može se pratiti rad operatera kako bi se osigurala sigurnost i poštivanje postavljenih procedura.
9. **Daljinska dijagnostika i podrška** - Omogućuje daljinsku dijagnostiku i podršku proizvođača opreme ,kako bi se brže rješavali problemi i smanjilo vrijeme zastoja CNC stroja.
10. **Big Data analitika i produktivno održavanje** - Prikupljeni podatci mogu se koristiti za dublje razumijevanje procesa i otkrivanje uzoraka koji bi mogli poboljšati efikasnost i produktivnost.

Povezivanje CNC strojeva s pametnim (inteligentnim) sustavima može značajno poboljšati konkurentnost tvrtke, smanjiti troškove, povećati učinkovitost i poboljšati kvalitetu proizvoda. Ovo je posebno važno u današnjem izrazito digitaliziranom i automatiziranom okruženju.

### 8.3. Budućnost i izazovi CNC strojne obrade

CNC strojna obrada je ključni proces u proizvodnji koji igra važnu ulogu u različitim industrijama poput automobilske industrije, zrakoplovne industrije, medicinske industrije i mnogih drugih. Perspektiva strojne obrade u budućnosti obuhvaća nekoliko važnih aspekata i trendova:

1. **Ekološka održivost** - CNC strojna obrada postaje sve više usmjerena prema ekološkoj održivosti. Razvijaju se ekološki prihvatljivi hladni fluidi i metode za smanjenje otpada i energije.
2. **Napredni materijali** - Sa sve većom potrebom za obradom naprednih materijala kao što su kompoziti, keramika i superlegure, budućnost strojne obrade fokusirat će se na razvoj posebnih materijala i tehnika.
3. **Brži i efikasniji procesi** - Kontinuirani razvoj brzina rezanja, sustava hlađenja i materijala alata doprinijet će bržim i efikasnijim procesima CNC strojne obrade.
4. **Prilagodljiva proizvodnja** - CNC strojna obrada bit će sve više usmjerena na prilagodljivu proizvodnju, omogućujući tako brzu promjenu alata i postavki za različite vrste proizvoda.
5. **Pametni CNC strojevi** - Razvoj pametnih CNC strojeva koji koriste umjetnu inteligenciju za samopodešavanje i nadzor procesa, bit će ključni za budućnost razvoja strojne obrade.
6. **Globalna suradnja** - CNC strojna obrada sve više postaje globalna industrija, a suradnja između različitih regija i tvrtki postat će važna kako bi se iskoristila najbolje prakse i potaknuo tehnološki napredak.

Sve ove promjene i trendovi ukazuju na perspektivu CNC strojne obrade u budućnosti. Očekuje se da će se ovaj sektor neprestano razvijati kako bi udovoljio rastućim zahtjevima za preciznim i složenim dijelovima u mnogim industrijama.

## 8.4. Izazovi i mogućnosti za stručnjake za CNC strojnu obradu

Inženjeri, programeri, operateri koji rade u industriji CNC strojne obrade, suočavaju se s nizom izazova i imaju priliku razvijati svoju karijeru u dinamičnom i tehnološki naprednom okruženju. Izazovi i mogućnosti koje oni mogu prepoznati su sljedeći:

### Izazovi:

1. **Tehnološki napredak** - Konstantni tehnološki napredak zahtijeva da stručnjaci stalno prate razvoj najnovije tehnike i tehnologije CNC strojne obrade kako bi mogli koristiti ih u svakodnevnom radu.
2. **Povećana konkurencija** - Globalizacija je dovela do povećane konkurencije u industriji strojne obrade. Svi oni koji djeluju u ovoj industriji moraju biti inovativni i učinkoviti .
3. **Ekološka svijest** -Sve je veći fokus na održivosti i zaštiti okoliša što znači da stručnjaci moraju razmišljati o ekološkim aspektima procesa strojne orade i pronaći načine za smanjenje ekološkog otiska.
4. **Teško obradivi materijali**- S razvojem novih materijala, stručnjaci CNC strojne obrade se suočavaju s izazovima obrade teško obradivih materijala kao što su superlegure i keramika.
5. **Smanjenje troškova**- Naručitelji CNC strojne obrade često traže smanjenje troškova proizvodnje, što znači da stručnjaci moraju tražiti načine za povećanje učinkovitosti procesa brušenja.

### Mogućnosti

1. **Napredak karijere** - Stručnjaci u CNC strojnoj obradi mogu razviti svoje karijere kao inženjeri CNC strojne obrade, voditelji proizvodnje, menadžeri kontrole kvalitete, CNC operateri, CNC programeri...
2. **Napredno obrazovanje** - Postoji mogućnost za stjecanje diploma i certifikacija u području CNC strojne obrade, što može pomoći u upravljanju karijerom.
3. **Inovacija** - Industrija strojne obrade je mjesto gdje se inovacije traže i poželjne su. Oni koji rade u ovom području mogu razvijati nove tehnike i tehnologije koje mogu poboljšati učinkovitost i kvalitetu procesa.

4. **Pametna proizvodnja** - Integracija pametnih sustava i automatizacije otvara nove mogućnosti za stručnjake u nadzoru, upravljanju i optimizaciji proizvodnje.
5. **Globalna suradnja** - Industrija CNC strojne obrade postaje globalna, što znači da stručnjaci imaju priliku surađivati s tvrtkama i kolegama iz različitih dijelova svijeta.
6. **Kvaliteta i sigurnost** - Stručnjaci za kontrolu kvalitete i sigurnost imaju priliku osigurati da proizvodi budu visoke kvalitete i da se stalno povećavaju preduvjeti za siguran rad.
7. **Napredak materijala i alata** - Razvoj novih materijala i alata otvara nove mogućnosti u optimizaciji procesa

Zahvaljujući brzom tehnološkom napretku i rastućom globalnom potražnjom za preciznim komponentama, ova industrija u budućnosti i dalje nudi brojne mogućnosti za stručnjake CNC strojne obrade .

## Literatura

- [1.] [http://titan.fsb.hr/~mklaic/ODOO\\_dio\\_obrada\\_odvajanjem/Predavanja/7.PREDAVANJE-ODIIO-w2.pdf](http://titan.fsb.hr/~mklaic/ODOO_dio_obrada_odvajanjem/Predavanja/7.PREDAVANJE-ODIIO-w2.pdf)
- [2.] Kovčalića, J., Karakteristike obrade s odvajanjem čestica – glodanje, 2018., Završni rad, Filozofski fakultet u Rijeci, Rijeka
- [3.] <https://www.haascnc.com/hr/productivity/control/vps.html>
- [4.] Mladen Bošnjaković: Numerički upravljani alatni strojevi, Školska knjiga Zagreb, 2009.

## Kazalo slika

Slika 1 – Strojna obrada tokarenjem [1] .....	4
Slika 2 – Strojna obrada glodanjem [2] .....	4
Slika 3 – Strojna obrada glodanjem [2] .....	5
Slika 4 – Strojna obrada piljenjem (Stock Photo ID: 1171723873).....	5
Slika 5 – Strojna obrada brušenjem (Stock Photo ID: 777279193).....	6
Slika 6 – Strojna obrada blanjanjem.....	6
Slika 7 – Ručno upravljani alatni stroj (Stock Photo ID: 2180286747) .....	7
Slika 8 – CNC stroj (Stock Photo ID: 345985106).....	7
Slika 9 – Obradni centri (Stock Photo ID: 2066838548) .....	9
Slika 10 - CNC programski kod strojne obrade ( Stock ID: 2303355635).....	10
Slika 11 - - Konverzacijsko programiranje CNC stroja <a href="https://www.haascnc.com/hr/productivity/control/vps.html">https://www.haascnc.com/hr/productivity/control/vps.html</a> .....	11
Slika 12 - CNC programiranje ( Stock ID: 439412113) .....	12
Slika 13 - Shematski prikaz koraka kod programiranja (4).....	13
Slika 14 - HAAS CNC tokarilica ST 15.....	14
Slika 15 - Prikaz gotovog obratka nakon glodanja, Izvor: <a href="https://www.oss.unist.hr/Portals/0/adam/Contents/TnPnQrlyXEeYJna9tPx2wQ/Text/PROGRAMIRANJE%20CNC%20STROJEVA%20Sinumerik%20840D.pdf">https://www.oss.unist.hr/Portals/0/adam/Contents/TnPnQrlyXEeYJna9tPx2wQ/Text/PROGRAMIRANJE%20CNC%20STROJEVA%20Sinumerik%20840D.pdf</a> .....	19
Slika 16 – CNC strojevi za brušenje.....	29
Slika 17 – CNC planska brusilica GT 40.....	30
Slika 18 - Walter Helitronic Essential alatna brusilica.....	33
Slika 19 - CNC erozimat s elektrodom SG125 .....	39
Slika 20 - CNC erozimat sa žicom MV12006 .....	44
Slika 21 - Uređaj za lasersko graviranje XTL - FC50 .....	48

## Kazalo tablica

Tablica 1: G,M,F-kodovi za CNC HAAS ST-15 .....	15
Tablica 2: Podatci o čeonom glodalu .....	20
Tablica 3: G,M,F-kodovi za CNC plansku brusilicu GT 40 .....	31
Tablica 4: X: G – kodovi za programiranje XTL-FC50.....	48



## Kazalo grafova

...

## Popis ključnih pojmova

**CNC** – Computer Numerical Control – Računalom upravljani strojevi

**CAD** – Computer-Aided Design - Konstruiranje uz pomoć računala

**CAM** – Computer-Aided Manufacturing - Proizvodnja uz pomoć računala

## **Impressum**

**Autori:** Prof.dr.sc. Nedeljko Štefanić

**Lektor:** Mirjana Sekulić Abramović, prof.

**Recenzent:** Ivan Slade, dipl. ing.