

# Proizvodne tehnologije primijenjene u izradi steznog uređaja za CNC obradni centar

---

**Mužic, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:672858>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**

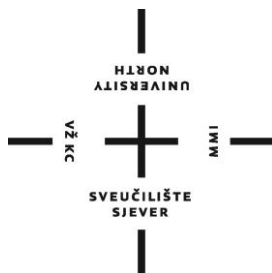


*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 121/STR/2024

**Proizvodne tehnologije primijenjene u izradi steznog  
uređaja za CNC obradni centar**

Dominik Mužic

Varaždin, rujan, 2024. godina



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Diplomski sveučilišni studij Strojstvo**



DIPLOMSKI RAD br. 121/STR/2024

**Proizvodne tehnologije primijenjene u izradi steznog  
uređaja za CNC obradni centar**

Student:

Dominik Mužic 3250/336

Mentor:

doc. dr. sc. Matija Bušić

Varaždin, rujan, 2024. godina

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Dominik Mužić

MATIČNI BROJ 0336031950

DATUM 13.09.2024.

KOLEGIJ Suvremene proizvodne tehnologije

NASLOV RADA Proizvodne tehnologije primijenjene u izradi steznog uređaja za CNC obradni centar

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Production technologies applied in the production of a clamping device for a CNC machining center

MENTOR dr.sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc. dr. sc. Tomislav Veliki, predsjednik povjerenstva

2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva

3. doc. dr. sc. Boris Jalušić, član povjerenstva

4. doc. dr. sc. Tanja Tomić, zamjenska članica povjerenstva

5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 121/STR/2024

OPIS

U diplomskom radu potrebno je na praktičnom primjeru steznog uređaja za obradu glodanjem prikazati sve proizvodne tehnologije koje se koriste u proizvodnji. U uvodu je potrebno na temelju dostupnih literaturnih podataka prikazati primjenu stezih uređaja na CNC glodalicama i CNC obradnim centrima. Opisati odabir materijala, izradu idejne skice i tehničke dokumentacije. Na temelju dostupne literature opisati sve proizvodne tehnologije koje će se koristiti u pripremi materijala, obradi odvajanjem čestica i mjerenju konačnog proizvoda.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je definirati proizvodne tehnologije sa opisom strojeva i uređaja te alatima i parametrima koje su korištene u izradi steznog uređaja za CNC obradni centar. Posebnu pozornost posvetiti izradi numeričkog koda u CAM programu, odabiru režima obrade i alata. Prikazati sve operacije i sve rezne alate korištene u obradi. Nakon obrade odvajanjem čestica provesti kontrolu dimenzija i hrapavosti na vitalnim dijelovima steznog uređaja. Donijeti zaključak o korištenim tehnologijama, funkcionalnosti steznog uređaja te mogućim potrebnim promjenama. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

16.09.2024.

OTPIS MENTORA

M. B. 516





Sveučilište  
SjeverIZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, \_\_\_\_\_ Dominik Mužic \_\_\_\_\_ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica ~~završnog~~/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Proizvodne tehnologije primijenjene u izradi steznog uređaja za CNC obradni centar (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, \_\_\_\_\_ Dominik Mužic \_\_\_\_\_ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom ~~završnog~~/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Proizvodne tehnologije primijenjene u izradi (upisati naslov) čiji sam autor/ica. steznog uređaja za CNC obradni centar

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

**ZAHVALA:**

*Zahvaljujem se obitelji i prijateljima na strpljenju i podršci tijekom studiranja.*

*Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Matiji Bušiću koji mi je pružio savijete i pomoć kroz pisanje ovog rada i svo vrijeme studiranja.*

*Također, zahvaljujem se svim profesorima i asistentima koji su mi prenosili svoje znanje.*





---

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	2
POPIS TABLICA .....	4
POPIS KRATICA .....	5
POPIS KORIŠTENIH FIZIKALNIH VELIČINA PRIPADAJUĆIH MJERNIH JEDINICA .....	6
SAŽETAK .....	8
SUMMARY .....	9
1. UVOD .....	10
1.1. Strojni škripac .....	12
2. RAČUNALNI PROSTORNI CAD MODEL ŠKRIPCA .....	14
2.1. Dokumentacija .....	16
2.2. CAM.....	17
3. MATERIJAL ZA IZRADU .....	19
4. TEHNOLOGIJA STROJNE OBRADU .....	21
4.1. Strojna obrada .....	22
4.2. Glodanje .....	22
4.3. Alati za glodanje.....	29
4.4. Osnove CNC glodanja.....	30
4.5. Parametri glodanja čelika C45 .....	31
4.6. Strojno plansko brušenje materijala C45 .....	33
5. MJERENJA.....	36
5.1. Mjerenje obratka pomičnim mjerilom.....	38
5.2. Hrapavost .....	40
5.3. Metode mjerenja površinske hrapavosti.....	45
5.4. Utjecaj površinske hrapavosti na funkcionalnost.....	45
5.5. Primjena kontrole površinske hrapavosti u proizvodnim procesima .....	46
6. EKSPERIMENTALNI DIO .....	47
6.1. Rezanje sirovca tračnom pilom .....	47
6.2. CNC glodalica Haas Super Mini Mill .....	48
6.3. Plan obrade .....	50
6.4. Izrada programa.....	54
6.5. Kronološki pregled strojne obrade .....	57
6.6. Kontrola dimenzija nakon glodanja .....	60
6.7. Brušenje.....	65
6.8. Kontrola dimenzija nakon brušenja.....	68
6.9. Mjerenje hrapavosti.....	70
6.10. Završni izgled.....	73
7. ZAKLJUČAK .....	74
LITERATURA .....	76
PRILOZI .....	78

## POPIS SLIKA

Slika 1. Modularni škripac [9] .....	12
Slika 2. Hidraulični škripac [9] .....	13
Slika 3. Pneumatsko-hidraulični škripac [9] .....	13
Slika 4: Dijelovi strojnog škripca [osobne slike] .....	14
Slika 5: Klizni mehanizam[osobne slike] .....	15
Slika 6: Izgled CAM programa[osobne slike] .....	17
Slika 7: Primjer simetričnog i nesimetričnog glodanja[osobne slike] .....	24
Slika 8. Protusmjerno i istosmjerno glodanje [13].....	24
Slika 9. Sile rezanja kod protusmjernog obodnog glodanja [5].....	25
Slika 10. Sile rezanja kod čeonog glodanja [5].....	26
Slika 11. Parametri obrade [4] .....	28
Slika 12. Izvedbe glodala [osobne slike] .....	30
Slika 13: Brusni disk [osobne slike] .....	33
Slika 14: Proces brušenja[osobne slike] .....	34
Slika 15: Mjerni instrumenti[osobne slike].....	36
Slika 16: Mjerenje sa pomičnim mjerilom[osobne slike] .....	39
Slika 17. Određivanje srednje linije hrapavosti oblika [8] .....	42
Slika 18. Određivanje srednjeg prosječnog odstupanja Ra [8] .....	42
Slika 19. Određivanje maksimalne visine neravnina Rz [8].....	42
Slika 20: Rezanje sa tračnom pilom [osobne slike] .....	47
Slika 21: Glodalica koja se koristila za strojnu obradu dijelova u ovom radu[osobne slike] ..	48
Slika 22:Upravljačka jedinica[osobne slike] .....	49
Slika 24: Obradak stegnut na magnetnoj stezaljki[osobne slike] .....	50
Slika 23: Obradak stegnut u mehanički škripac tijekom glodanja [osobne slike] .....	50
Slika 25: Generirani G-kod za čeonog glodanje [osobne slike] .....	54
Slika 26: Putanje alata i simulacija kod čeonog glodanja (grubo i završno) .....	55
Slika 27: Putanje alata i simulacija kod čeonog glodanja (grubo i završno) .....	55
- 2. stezanje [osobne slike].....	55
Slika 28: Putanje alata i simulacija obodnog glodanja .....	55
- 2. stezanje [osobne slike].....	55
Slika 29: Putanje alata i simulacija kod glodanja srednjeg utora - 2. stezanje [osobne slike]	56
Slika 30: Putanje alata i simulacija kod glodanja T utora- 2. stezanje [osobne slike] .....	56
Slika 31: Čeonog glodanje (grubo i završno) - 1. stezanje [osobne slike].....	57
Slika 32: Glodanje srednjeg utora - 2. stezanje [osobne slike] .....	57
Slika 33: Glodanje sa T glodalom - 2. stezanje [osobne slike] .....	58
Slika 34: Glodanje utora na obratku sa mehanizmom[osobne slike].....	58
Slika 35: Glodanje šesterokuta na trapeznom navoju[osobne slike] .....	59
Slika 36: Mjerenje odstupanja visine[osobne slike] .....	60
Slika 37: Skica mjernih točaka te redosljed mjerenja[osobne slike] .....	61
Slika 38: Mreža mjernih točaka [osobne slike].....	62
Slika 39: 3D prikaz odstupanja površine[osobne slike].....	63
Slika 40: Vizualna kontrola poslije glodanja[osobne slike] .....	64
Slika 41: Brušenje donjeg dijela pomične čeljusti[osobne slike] .....	66
Slika 42: Brušenje baze škripca[osobne slike].....	67
Slika 43: Baza škripca nakon brušenja[osobne slike].....	67
Slika 44: Mjerenje brušene površine sa komparatorom[osobne slike] .....	68

---

Slika 45: 3D prikaz izmjerenih vrijednosti[osobne slike].....	69
Slika 46: Vizualna kontrola površine nakon brušenja[osobne slike].....	69
Slika 47: Mjerenje hrapavosti na bočnoj površini baze[osobne slike] .....	70
Slika 48: Ovisnost brzine vrtnje vretena i hrapavosti površine[osobne slike].....	72
Slika 49: Mjerenje površinske hrapavosti brušene površine[osobne slike] .....	72
Slika 50: Strojni škripac[osobne slike] .....	73
Slika 51: Strojni škripac CAD prikaz[osobne slike].....	73

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Kemijski sastav čelika C45 [1] .....	19
Tablica 2. Svojstva materijala C45 [1] .....	19
Tablica 3. Odnos stupnja tolerancije (IT) i parametra hrapavosti $R_a$ u ovisnosti o dimenzijama izratka [8].....	43
Tablica 4. Uobičajena područja primjene veličine hrapavosti [8] .....	43
Tablica 5. Postupak obrade u ovisnosti od stupnja hrapavosti [8].....	44
Tablica 6. Karakteristike stroja .....	49
Tablica 7. Popis alata za prvo stezanje .....	52
Tablica 8. Popis alata za drugo stezanje .....	53
Tablica 9: Rezultati mjerenja površinske hrapavosti .....	71

## POPIS KRATICA

CAD – Računalom podržano konstruiranje (eng. Computer Aided Design)

3D – 3 dimenzijski prikaz (3 Dimensional)

SW – SolidWorks

SHIP – Sustav hlađenja i podmazivanja

CAM – Proizvodnja pomoću računala (eng. Computer Aided Manufacturing)

CNC - Računalna numerička kontrola (Computer Numerical Control)

HRC - Rockwell tvrdoća C skala (Rockwell Hardness C scale)

NC - Numeričko upravljanje (Numerical Control)

HB - Brinellova tvrdoća (Brinell Hardness)

ISO - Međunarodna organizacija za standardizaciju (International Organization for Standardization)

AISI - Američki institut za željezo i čelik (American Iron and Steel Institute)

DIN - Njemački institut za normizaciju (Deutsches Institut für Normung)

JIS - Japanski industrijski standard (Japanese Industrial Standard)

HSS - Brzorezni čelik (High-Speed Steel)

C - Ugljik (Carbon)

Si - Silikon (Silicon)

Mn - Mangan (Manganese)

Ni - Nikal (Nickel)

P - Fosfor (Phosphorus)

S - Sumpor (Sulfur)

Cr - Krom (Chromium)

Mo - Molibden (Molybdenum)

## POPIS KORIŠTENIH FIZIKALNIH VELIČINA PRIPADAJUĆIH MJERNIH JEDINICA

Oznaka	Opis	Mjerna jedinica
$\rho$	Gustoća	kg/m <sup>3</sup>
$R_m$	Vlačna čvrstoća	MPa
$R_e$	Granica razvlačenja	MPa
$E$	Modul elastičnosti	GPa
$R$	Otpornost	$\Omega$ (ohm)
$T_m$	Temperatura tališta	°C ili K
$\lambda$	Toplinska vodljivost (pri 20°C)	W/m·K
$\rho$	Električni otpor	$\Omega \cdot m$
$F_{az}$	Aktivna sila rezanja po jednom zubu	N
$F_{cz}$	Glavna sila rezanja (tangencijalna sila)	N
$F_{czN}$	Sila normalna na glavnu silu rezanja	N
$F_{fz}$	Posmična sila rezanja	N
$F_{fzN}$	Sila normalna na posmičnu silu rezanja	N
$F_{cz}$	Glavna sila rezanja po jednom zubu	N
$F_{czN}$	Sila normalna na glavnu silu rezanja	N
$F_{az}$	Aksijalna sila	N
$V_c$	Brzina rezanja	m/min
$D_g$	Promjer glodala	mm
$n_g$	Frekvencija vrtnje glodala	min <sup>-1</sup>
$f$	Posmak	mm
$f_z$	Posmak po zubu glodala	mm
$v_f$	Ukupna posmična brzina	m
$a_p$	Dubina rezanja	mm
$h$	Debljina rezanja	mm
$b$	Širina rezanja	mm
$S$	Brzina vrtnje vretena	okr/min
$F$	Posmak po minuti	mm/min
$R_a$	Srednje odstupanje profila hrapavosti	$\mu m$
$R_z$	Maksimalna visina neravnina	$\mu m$

$Z_p$	Najveća visina vrha profila	$\mu\text{m}$
$Z_v$	Najveća dubina dna profila	$\mu\text{m}$



## SAŽETAK

Strojni stezni uređaj je ključan alat u strojnoj obradi koji omogućuje precizno stezanje obratka tijekom različitih operacija. U ovom radu istražuju se vrste steznih uređaja i karakteristike. Konstruiran je i 3D modeliran modularni stezni uređaj. Također, analizirani su postupci konstruiranja CAD modela, objašnjena je CAM tehnologija generiranja G-koda. Detaljno je opisana strojna obrada glodanjem te vrste alata za glodanje kao i parametri strojne obrade. Opisan je postupak strojnog brušenja i parametri brušenja. Opisane su vrste mjerenja i važnost mjerenja u strojarstvu. Analiziran je i utjecaj hrapavosti površine na funkcionalnost, otpornost na trošenje i ukupnu dugovječnost strojnih dijelova.

U eksperimentalnom dijelu najveći naglasak stavljen je na tehnologiju strojne obrade glodanjem uz detaljan opis cijelog postupka planom obrade planom alata i izrade programa. Nakon toga izvršena su mjerenja površina pomoću komparatora i granitnog mjernog stola te se još dodatno vizualno provjerava kako bi se obradak mogao pripremiti za brušenje. Opisan je proces planskog brušenja sa korištenim parametrima. Nakon brušenja obradak je još jednom izmjereno kako bi se provjerio da li ispunjava zahtjeve tolerancije. Nakon toga izvršeno je mjerenje površinske hrapavosti i analizirani su dobiveni rezultati.

### **Ključne riječi:**

Stezni uređaj, Škripac, Strojni škripac, Strojna obrada, Glodanje, CAD, CAM, Plansko strojno brušenje, mjerenje hrapavosti

## SUMMARY

A machine clamping device is a key tool in machining that enables precise clamping of the workpiece during various operations. This paper investigates the types of clamping devices and their characteristics. A modular clamping device was constructed and modeled in 3D. Also, the CAD model construction procedures were analyzed, the CAM technology of G-code generation was explained. Machining by milling and types of milling tools as well as machining parameters are described in detail. The machine grinding procedure and grinding parameters are described. The types of measurements and the importance of measurements in mechanical engineering are described. The impact of surface roughness on functionality, wear resistance and overall longevity of machine parts was also analyzed.

In the experimental part, the greatest emphasis is placed on the technology of machining by milling with a detailed description of the entire process with the plan of processing, the plan of the tool and the creation of the program. After that, surface measurements were made using a comparator and a granite measuring table, and an additional visual check was carried out so that the workpiece could be prepared for grinding. The plan grinding process is described with the parameters used. After grinding, the workpiece was measured once more to check whether it meets the tolerance requirements. After that, the surface roughness was measured and the results were analyzed.

### Keywords:

Clamping device, Vise, Machine vise, Machining, Milling, CAD, CAM, Planar machine grinding, Roughness measurement

## 1. UVOD

Strojni stezni uređaji predstavljaju jedan od najvažnijih alata u suvremenoj obradi metala, posebno u procesima koji zahtijevaju visoku preciznost i ponovljivost. Oni osiguravaju stabilno i sigurno stezanje obratka, što je ključno za postizanje točnih dimenzijskih i geometrijskih tolerancija u industrijskoj proizvodnji. Točnost obrade ne samo da osigurava ispunjenje tehničkih specifikacija, već značajno utječe na kvalitetu gotovog proizvoda, njegovu funkcionalnost i dugovječnost. Upravo zbog toga, izbor odgovarajućeg steznog uređaja, njegov dizajn i postupak izrade igraju ključnu ulogu u procesu proizvodnje.

Osnovne komponente strojnog škripca, poput nepomične i pomične čeljusti, omogućuju stezanje obratka različitih dimenzija i oblika. Nepokretna čeljust pruža stabilnu osnovu, dok pomična čeljust, koja se obično kreće putem navojnog vretena ili hidrauličkog sustava, omogućuje prilagodbu obratka. Ova fleksibilnost omogućuje obradu širokog spektra materijala i oblika, čineći škripce univerzalnim alatom u proizvodnji, od jednostavnih bravarskih radova do složenih preciznih operacija.

Škripci se, ovisno o mehanizmu stezanja, dijele na mehaničke, hidraulične, pneumatsko-hidraulične i pneumatske. Mehanički škripci koriste snagu operatera, dok hidraulični i pneumatsko-hidraulični škripci koriste tekućinu ili zrak pod pritiskom za postizanje većih sila stezanja. Hidraulični i pneumatski škripci osobito su korisni u industrijskim uvjetima gdje je potrebno često stezanje i otpuštanje obratka u serijskoj proizvodnji. Oni pružaju veću kontrolu nad silama stezanja, što smanjuje mogućnost deformacije obratka, osobito kod osjetljivih materijala.

Posebna kategorija unutar strojnog stezanja su modularni strojni škripci. Modularni dizajn omogućuje fleksibilnu konfiguraciju škripca prema specifičnim zahtjevima obrade. Na primjer, instalacija dodatnih čeljusti ili graničnika omogućava proširenje mogućnosti stezanja za obradu većih ili složenijih obratka. Također, različiti moduli omogućuju korištenje škripca za specifične zadatke, kao što je obrada cilindričnih dijelova ili precizno bočno pozicioniranje. Time modularni škripci pružaju ne samo fleksibilnost, već i značajno poboljšavaju učinkovitost u industrijskim okruženjima.

Precizni strojni škripci igraju ključnu ulogu u CNC strojnoj obradi, gdje se zahtijeva vrlo visoka razina točnosti. Takvi škripci se izrađuju korištenjem tehnologije CNC glodanja, kojom se postiže osnovna dimenzijska točnost, a nakon toga se klizni dijelovi škripca dodatno obrađuju brušenjem kako bi se osigurala optimalna površinska kvaliteta. Brušenje je iznimno važno za dijelove škripca koji klize jedan po drugom jer osigurava niska trenja i visoku ponovljivost stezanja. S obzirom na zahtjeve suvremene proizvodnje, cilj preciznih strojnih škripaca je postići odstupanja manja od 0,02 mm, što je ujedno i standard točnosti koji će se pratiti u ovom radu.

U ovom radu, poseban naglasak stavljen je na konstrukciju i izradu preciznog modularnog strojnog škripca, uz detaljnu analizu svakog koraka procesa proizvodnje. Cilj je konstruirati škripac koji ne samo da zadovoljava visoke standarde industrijske točnosti, već i omogućuje fleksibilnu prilagodbu različitim zadacima obrade. Eksperimentalni dio obuhvatit će detaljan prikaz tehnoloških procesa izrade, od početne faze dizajna i izrade CAD modela do završnih koraka strojne obrade i mjerenja. Naglasak će biti na postizanju visokih standarda preciznosti u procesu obrade, posebice kod mjerenja površinske hrapavosti i dimenzijskih odstupanja, što su ključni parametri u osiguravanju kvalitete škripca.

Kao sastavni dio analize, proučit će se i različite metode mjerenja, uključujući mjerenje dimenzija, površinske hrapavosti i ravnosti dodirnih površina. Naglasak je stavljen na važnost preciznih mjerenja u kontroliranju i održavanju standarda kvalitete. Na kraju, eksperimentalni rezultati omogućit će uvid u cjelokupni proces izrade i postizanje preciznosti koja zadovoljava industrijske zahtjeve za izradom preciznog modularnog škripca.

## 1.1. Strojni škripac

Škripci su naprave za čvrsto stezanje obratka prilikom obrade. Obično imaju dvije čeljusti od kojih je jedna nepokretna, a druga pokretna, ili su obadvije pomične.

U pravilu su podijeljeni na:

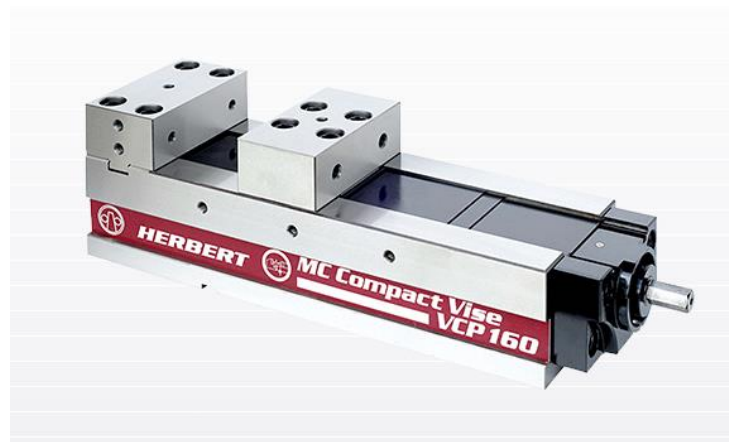
- Mehaničke
- Hidraulične
- Pneumatsko-hidraulične škripce
- Pneumatske

Mehanički škripci dijele se na:

- Klasične mehaničke škripce koji se upotrebljavaju za bravarske svrhe, izrađeni su od sivog lijeva tehnologijom lijevanja, sa strojno obrađenim dodirnim površinama.
- Strojni škripci izrađeni su od kvalitetnih čelika, sa toplinski obrađenim pozicijama, cementirani i kaljeni ( 60-62 HRC ), vodilice su obrađene tehnologijom brušenja kako bi zadovoljili ponovljivost i uske tolerancije koje su zahtijevane prilikom strojne obrade

Modularni strojni škripci (slika 1) imaju različite mogućnosti nadogradnje, ovisno od potrebe stezanja radnog komada kao što su:

- Produljeno stezanje koje se postiže ugradnjom vanjskih čeljusti
- Kose čeljusti koje omogućuju stezanje cilindričnih dijelova
- Graničnik koji služi za bočno pozicioniranje radnog komada



Slika 1. Modularni škripac [9]

Hidraulični škripci imaju dodatni hidraulični klip koji povećava snagu stezanja uz primjenu hidrauličkog pojačala ili agregata.



*Slika 2. Hidraulični škripac [9]*

Pneumatsko-hidraulični škripci su škripci koji se jedino razlikuju po ulaznoj jedinici koja je komprimirani zrak, za njihovu primjenu koristi se pneumatsko-hidraulično pojačalo.



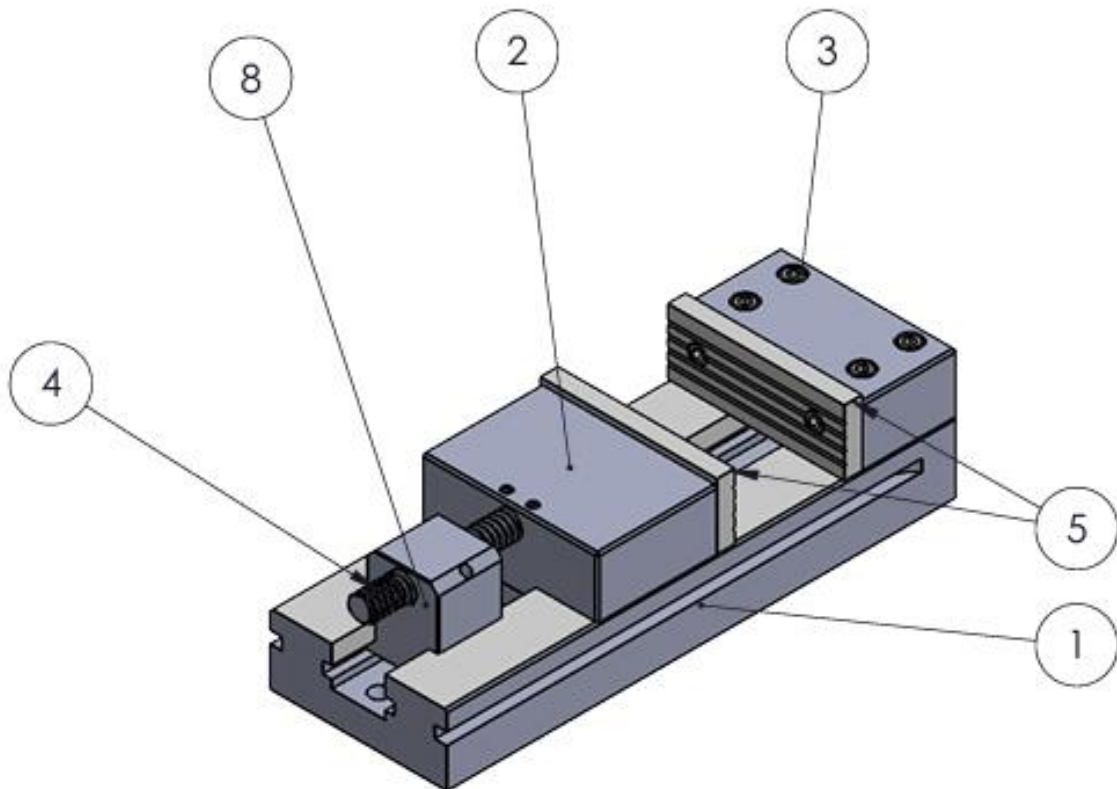
*Slika 3. Pneumatsko-hidraulični škripac [9]*

Pneumatski škripci ostvaruju silu pomoću zraka kao ulaznog medija za stezanje. Gore navedeni škripci koriste se zbog svoje fleksibilnosti i povećane produktivnosti, kao i ponovljivosti pozicioniranja.

Elementi za stezanje služe za uklještenje izratka s napravom, kako bi se spriječilo njegovo pomicanje uslijed obrade zbog djelovanja sila. Zadatak navedenih elemenata je točnost izratka u serijskoj proizvodnji.

## 2. RAČUNALNI PROSTORNI CAD MODEL ŠKRIPCA

U procesu izrade računalnog prostornog CAD modela škripca, naglasak je stavljen na jednostavnost konstrukcije, funkcionalnost i točnost. Koristeći suvremene CAD alate, razvijen je model koji optimizira proces izrade škripca, smanjujući broj potrebnih operacija obrade i skraćujući vrijeme proizvodnje. Glavni cilj je jednostavnost i funkcionalnost konstrukcijskih elemenata, uz osiguranje preciznosti u stezanju, čvrstoći i dugovječnosti. Model je konstruiran s modularnim pristupom, što omogućuje jednostavniju montažu i eventualne prilagodbe tijekom proizvodnje ili korištenja. Dizajniran je na način da pojednostavi proizvodnju, s minimalnim brojem kompleksnih dijelova, uz maksimalno korištenje standardnih dijelova i alata, čime se smanjuju troškovi proizvodnje i povećava ukupna učinkovitost.

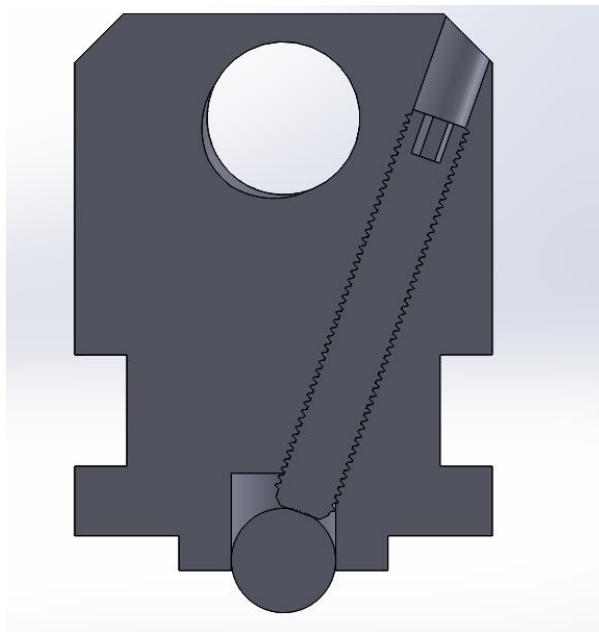


Slika 4: Dijelovi strojnog škripca [osobne slike]



Glavni dijelovi modularnog škripca uključuju:

1. **Baza:** Čvrsti osnovni dio škripca koji se pričvršćuje na radni stol. Baza pruža stabilnost cijelom sklopu i glavni je element u točnosti škripca.
2. **Pokretna čeljust:** Ova čeljust se može pomicati naprijed-nazad kako bi se prilagodila veličini obratka. Obično je pričvršćena na navojno vreteno.
3. **Nepokretna čeljust:** Nepokretna čeljust koja je pričvršćena na bazu škripca. Obradak se steže između pokretne i nepokretne čeljusti.
4. **Trapezno navojno vreteno:** Trapezno navojno vreteno koje se okreće kako bi se pokretna čeljust približila ili udaljila od nepokretne čeljusti.
5. **Pakne za stezanje:** pričvršćuju se na pokretne i nepokretne čeljusti i direktno dodiruju obradak. Pakne mogu biti raznih oblika i materijala ovisno o namjeni
6. **Modularni nastavci:** Različiti nastavci ili dodaci koji se mogu dodati na osnovni škripac kako bi se prilagodili specifičnim oblicima ili vrstama obratka.
7. **Ručka za stezanje:** Služi za okretanje trapeznog navojnog vretena i tako omogućava stezanje ili otpuštanje obratka.
8. **Klizni mehanizam:** Dijelovi koji omogućuju pokretanje čeljusti duž baze kako bi se lako prilagodilo različitim dimenzijama obratka. Mehanizam se sastoji od kuglice i vijka koji uklješti kuglicu kada je mehanizam na određenoj poziciji.



*Slika 5: Klizni mehanizam[osobne slike]*

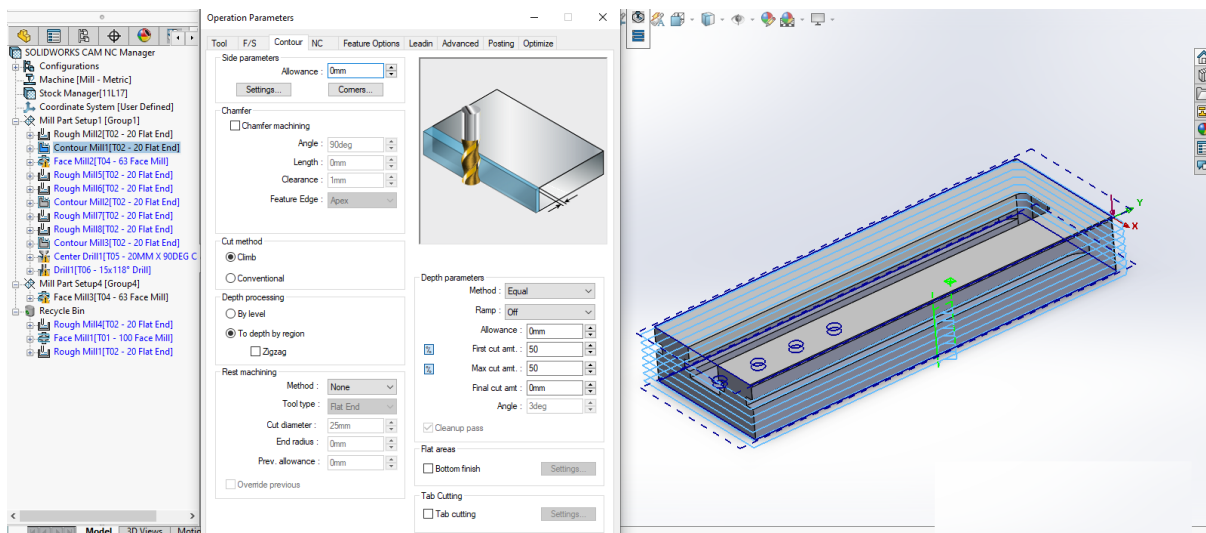
## 2.1. Dokumentacija

Tehnička dokumentacija izrađena je korištenjem modula Drawing u programu SolidWorks. Ovaj pristup omogućuje izradu tehničkih crteža različitih pogleda, presjeka i detalja za prethodno kreirane pojedinačne dijelove ili sklopove. Ključna značajka modula Drawing je mogućnost dodavanja dimenzijskih oznaka, uključujući tolerancije, oznake kvalitete površine i zavara, kao i geometrijskih tolerancija na generirane prikaze. Osim toga, modul omogućuje automatsko popunjavanje sastavnice informacijama poput broja crteža, naziva dijela, materijala, mase, autora i datuma.

Za sklopne crteže, Drawing modul nudi generiranje tablica s popisom pozicija i relevantnim podacima. Prednosti korištenja ovog alata u odnosu na tradicionalne metode bez 3D modela uključuju smanjenu mogućnost pogrešaka, kraće vrijeme izrade crteža, jednostavniju vizualizaciju pogleda i presjeka, mogućnost automatskog generiranja tehničkih podataka te jednostavno prilagođavanje formata papira i sastavnice.

## 2.2. CAM

CAM programiranje modularnog škripca na CNC stroju obuhvaća niz kritičnih koraka koji zahtijevaju precizno planiranje i pažljivu izvedbu kako bi se postigla optimalna kvaliteta obrade. Proces započinje pripremom CAD modela, gdje se izrađuje točan 3D model obratka i modularnog škripca. Ovi modeli služe kao temelj za planiranje obrade, pri čemu je od presudne važnosti pravilno definiranje točaka i površina kontakta između škripca i obratka kako bi se izbjegli eventualni sudari tijekom obrade.



Slika 6: Izgled CAM programa [osobne slike]

Sljedeća faza uključuje postavljanje obratka unutar škripca u CAD modelu i fiksiranje obratka na stol glodalice, pri čemu je važno pažljivo odabrati orijentaciju koja omogućuje stabilnost obratka tijekom obrade i osigurava optimalan pristup alata.

Odabir strategije obrade slijedi nakon postavljanja obratka. Prvo se definiraju putanje alata za grubo glodanje, s posebnim naglaskom na izbjegavanje kontakta alata s dijelovima škripca. Nakon grube obrade, slijedi završno glodanje, gdje se preciziraju putanje alata kako bi se postigla željena geometrija i kvaliteta površine.

Simulacija obrade u CAM softveru je ključna za provjeru ispravnosti putanja alata i identificiranje mogućih problema, poput sudara ili nepravilnosti u obradnim procesima. Tijekom simulacije također se provjerava usklađenost s tehničkim zahtjevima i tolerancijama konačnog proizvoda.

Generiranje NC koda je završna faza u kojoj se definirane putanje alata pretvaraju u strojni kod prilagođen specifičnom CNC stroju i kontroleru. Ukoliko su potrebne dodatne operacije, poput bušenja ili rezanja navoja, one se također uključuju u planiranje i generiranje koda.

Nakon generiranja NC koda, slijedi testiranje programa na CNC stroju. Tijekom prvog pokretanja programa potrebno je pratiti sve aspekte obrade kako bi se osigurala stabilnost obratka i ispravnost programiranih parametara. U slučaju pojave problema, potrebno je izvršiti prilagodbe u CAM softveru i ponovno generirati NC kod.

Na kraju, proces završava dokumentacijom svih ključnih postavki, uključujući poziciju obratka, korištene modularne komponente, strategije obrade i alate. Ova dokumentacija je važna za olakšavanje buduće obrade istih ili sličnih obratka.

CAM programiranje nudi visoku razinu fleksibilnosti i preciznosti u obradi složenih dijelova. Pažljivo planiranje, simulacija i testiranje neizostavni su elementi za uspješan ishod obrade.

### 3. MATERIJAL ZA IZRADU

Za izradu škripca odabran je materijal ISO C45, poznat je pod različitim nazivima u okviru različitih standarda: AISI 1045, DIN 1.1191, JIS S45C

Materijal C45 (ISO) izabran je zbog svojih dobrih svojstava, cijene i dostupnosti. Čelik C45 je oznaka srednje ugljičnog čelika koja se dodjeljuje čelicima koji imaju udio ugljika između 0,42 i 0,50 %. Dok se srednje ugljični čelici koriste u raznim primjenama, posebno su pogodni za dijelove koji zahtijevaju visoku otpornost na trošenje i čvrstoću kao što su zupčanici, vratila, i ležajevi. Ovaj materijal ima nisku toplinsku vodljivost i nisku duktilnost. Može se i toplinski obraditi kaljenjem i popuštanjem.

Tablica 1. Kemijski sastav čelika C45 [1]

Kemijski sastav % materijala C45 (1.0503): EN 10277-2-2008							
Cr + Mo + Ni = < 0.63							
C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo
0.43 - 0.5	< 0.4	0.5 - 0.8	< 0.4	< 0.045	< 0.045	< 0.4	< 0.1

Tablica 2. Svojstva materijala C45 [1]

Svojstva materijala		
Gustoća		7,8 g/cm <sup>3</sup>
Vlačna čvrstoća	ISO 6892	650 MPa
Granica razvlačenja	ISO 6892	460 MPa
Modul elastičnosti	ISO 6892	210 GPa
Otpornost	ISO 148	17,5 kJ/m <sup>2</sup>
Tvrdoća	ISO 6508	175-230 HB
Temperatura tališta		1550 °C
Toplinska vodljivost (20°C)		40-45 W/mK
Električni otpor		0,02 Ωmm <sup>2</sup> /m

## **Toplinska obrada čelika C45 poboljšavanje**

Poboljšavanje je proces toplinske obrade koji uključuje faze kaljenja i popuštanja na povišenim temperaturama. Ova obrada omogućava postizanje optimalnog balansa između čvrstoće, tvrdoće i žilavosti čelika. Najveći efekti poboljšavanja ostvaruju se kod čelika s udjelom ugljika između 0,3% i 0,6%, pri čemu se čelici dijele na ugljične i legirane.[15]

Nakon procesa kaljenja, čelik postiže visoku čvrstoću, ali postaje izrazito krhak. Popuštanjem se povećava žilavost, a čvrstoća se smanjuje. Popuštanje, kao toplinska obrada koja najčešće slijedi nakon kaljenja, osigurava čeliku željena svojstva poput povećane žilavosti i duktilnosti. Proces se sastoji od zagrijavanja na specifičnu temperaturu (ispod točke Ac1), zadržavanja na toj temperaturi određeno vrijeme, te naknadnog hlađenja odgovarajućom brzinom. Ovaj postupak može se ponoviti kako bi se dodatno poboljšala svojstva čelika.[15]

## **Prednosti i nedostaci**

Čelik C45 ima nekoliko prednosti i nedostataka koje je važno razmotriti prilikom njegove primjene. S jedne strane, ovaj čelik je lako dostupan i relativno jeftin, što ga čini privlačnim izborom za različite industrijske primjene. Osim toga, može se obrađivati različitim metodama, uključujući rezanje, bušenje, tokarenje, kaljenje i popuštanje, što mu daje svestranost u primjeni. Međutim, čelik C45 ima i svoje nedostatke. Zbog visokog sadržaja ugljika, sklon je pucanju pri zavarivanju, što može predstavljati izazov u procesima gdje je zavarivanje nužno. Također, nije otporan na koroziju, pa je potrebno provesti odgovarajuću površinsku obradu ili zaštitu ako se koristi u korozivnim okruženjima, kako bi se osigurala dugotrajnost materijala.

## 4. TEHNOLOGIJA STROJNE OBRADJE

Modularni strojni škripac predstavlja ključni element u strojnoj obradi, posebno u operacijama koje zahtijevaju visoku preciznost i fleksibilnost. Ovaj alat je dizajniran kako bi omogućio sigurno stezanje obratka tijekom različitih postupaka obrade, poput glodanja i bušenja. Škripac je izrađen od čelika C45, poznatog po svojoj otpornosti na habanje i dugotrajnosti u industrijskim uvjetima. U proizvodnji komponenti škripca korišteno je CNC glodanje, što omogućava postizanje visokih razina točnosti i ponovljivosti, neophodnih u serijskoj proizvodnji.

Dizajn škripca je modularan, što omogućava jednostavnu prilagodbu različitim veličinama i oblicima obratka. Glavne komponente škripca, baza, pokretna i nepokretna čeljust, te mehanizam za prilagodbu steznog opsega, izrađene su s brušenim vodilicama koje osiguravaju precizno i ravnomjerno stezanje obratka, brušene vodilice osiguravaju dovoljno niska trenja i visoku preciznost,



## 4.1. Strojna obrada

Tehnologija strojne obrade sastoji se od niza postupaka obrade. Njima se oblik radnog predmeta dobiva odvajanjem materijala, za razliku od drugih tehnologija kod kojih se obrada ostvaruje samo preoblikovanjem. Ova tehnologija polazi od sirovine ili od obratka dobivenog drugim tehnologijama poput lijevanja, zavarivanja ili kovanja. Zatim se projektiraju operacije ili faze kroz koje obrada treba proći da bi se dobio gotov strojni dio zadane geometrije, točnosti i kvalitete obrađene površine. [2]

Postupci obrade odvajanjem čestica uglavnom se dijele na konvencionalne i nekonvencionalne. Pod konvencionalnim postupcima podrazumijevaju se oni postupci koji koriste mehaničko razdvajanje i rezanje (bušenje, brušenje, tokarenje, glodanje, rezanje, provlačenje, izrada navoja, honanje, lepanje, superfiniš), dok su nekonvencionalni postupci oni kod kojih se ne primjenjuje rezna oštrica (rezanje mlazom vode, rezanje abrazivnim mlazom, ultrazvučna obrada odvajanjem čestica, obrada odvajanjem čestica laserom, elektro-erozija, obrada plazmom, elektrokemijska obrada). [3]

## 4.2. Glodanje

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica (rezanjem) obradnih površina proizvoljnih oblika. Izvodi se na alatnim strojevima, glodalicama pri čemu je glavno (režno) gibanje kružno kontinuirano i pridruženo je alatu. Posmično gibanje je kontinuirano, proizvoljnog oblika i smjera, pridruženo (najčešće) obratku. Kod nekih novijih strojeva dostavno kretanje često obavlja alat, koji ponekad izvršava posmično kretanje. Os okretanja glavnog gibanja zadržava svoj položaj prema alatu bez obzira na smjer brzine posmičnog gibanja. Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala. Rezne oštrice periodično ulaze u zahvat s obratkom i izlaze iz njega tako da im je dinamičko opterećenje jedno od osnovnih obilježja. Istodobno je u zahvatu s obratkom samo nekoliko reznih oštrica. Glodanje je složenija operacija od tokarenja i bušenja, ne samo zbog većeg broja oštrica, već i zbog promjenjivog presjeka „strugotine“ za vrijeme dok jedan zub izvodi obradu. Prema načinu sastavljanja radnog i posmičnog kretanja, glodanje možemo podijeliti na obodno i čeono. [4]

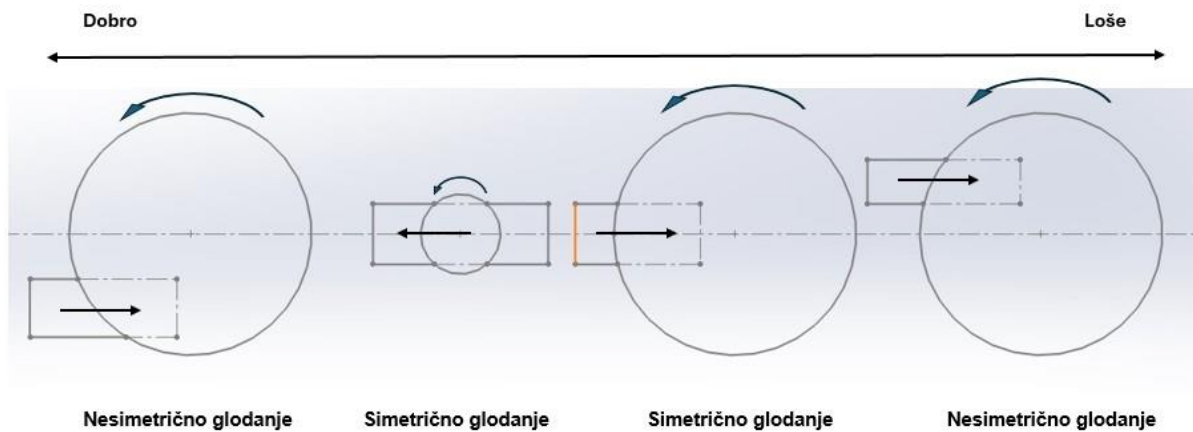
### 4.2.1. Podjela postupaka glodanja

Postupci obrade odvajanjem čestica glodanjem mogu se podijeliti prema nekoliko različitih kriterija kao što su podjele:

1. Prema proizvedenoj kvaliteti obrade
  - grubo glodanje
  - završno glodanje
  
2. Prema kinetici postupaka
  - istosmjerno glodanje
  - protusmjerno glodanje
  
3. Prema položaju reznih oštrica na alatu
  - obodno glodanje
  - čeono glodanje
  
4. Prema obliku obrađene površine
  - ravno glodanje
  - okretno glodanje (okruglo i neokruglo)
  - profilno glodanje (glodanje utora i profila)
  - odvalno glodanje (zupčanici)
  - oblikovno glodanje (kopirno)

### 4.2.2. Čeono glodanje

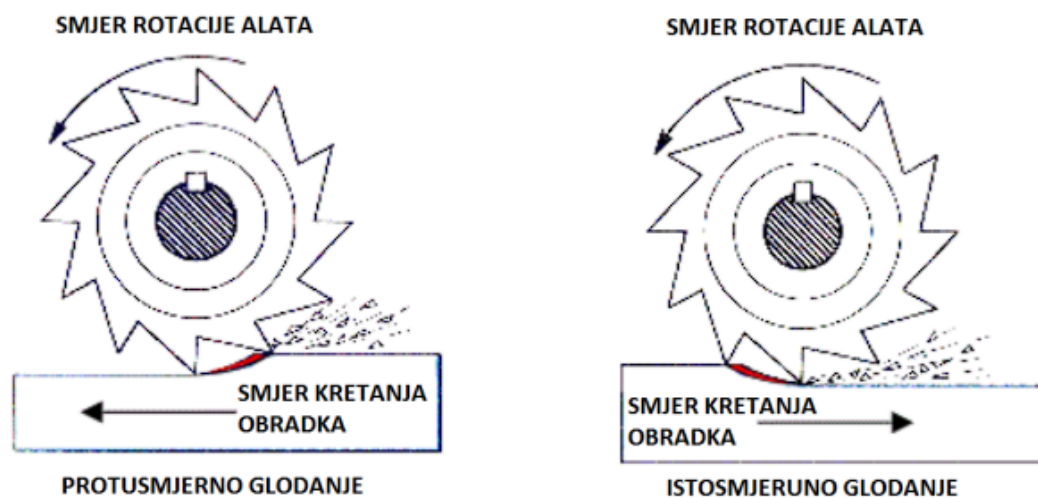
- simetrično - postoje dva slučaja simetričnog glodanja, a to su:
  1. ako je promjer alata manji od obrađivanog komada alat ulazi u zahvat cijelim promjerom te je prolaz jednak promjeru alata
  2. ako je promjer alata veći od obrađivanog komada glodanje je simetrično jedino ako se os obratka poklapa sa osi glodala te je prolaz jednak dimenzijama obrađivanog komada
  
- nesimetrično - nesimetrično glodanje ima trag alata manji od promjera glodala



Slika 7: Primjer simetričnog i nesimetričnog glodanja [osobne slike]

#### 4.2.3. Obodno glodanje

- istosmjerno – rotacija alata (glavno gibanje) je u istom smjeru kao smjer posmaka u točki dodira
- protusmjerno – rotacija alata (glavno gibanje) je u obrnutom smjeru od smjera posmaka



Slika 8. Protusmjerno i istosmjerno glodanje [13]

#### 4.2.4. Sile rezanja kod glodanja

Izračunavanje sile rezanja kod glodanja kompliciraniji je postupak nego kod bilo kojeg drugog postupka odvajanjem čestica materijala. U slučaju kada se istovremeno nalaze dvije ili više reznih oštrica u zahvatu, sile rezanja na svakoj od tih oštrica su različitog iznosa i smjera. Sile rezanja promatramo u dva koordinatna sustava: jedan sustav vezan je za alat (reznu oštricu), a drugi je vezan za obradak. Sile najviše ovise o vrsti alata (ravni ili kosi zubi) te o metodi glodanja (istosmjerno ili protusmjerno glodanje). Osim navedenog, sile rezanja još ovise o režimima obrade (brzina vrtnje, posmična brzina, dubina rezanja), materijalu obratka, itd. [5]

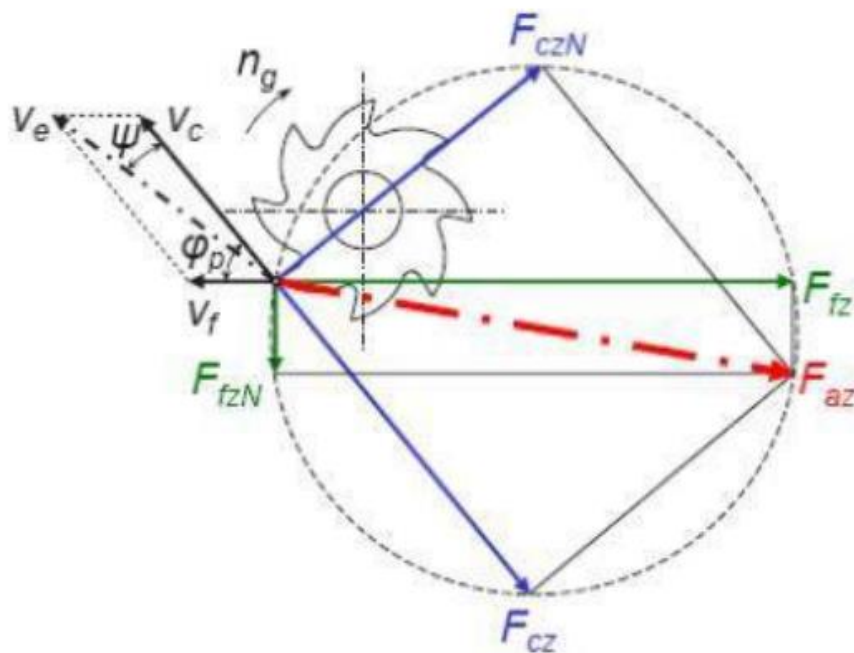
$F_{az}$  - aktivna sila rezanja po jednom zubu

$F_{cz}$  - glavna sila rezanja (tangencijalna sila)

$F_{czN}$  - sila normalna na glavnu silu rezanja (radijalna sila)

$F_{fz}$  - posmična sila rezanja

$F_{fzN}$  - sila normalna na posmičnu silu rezanja

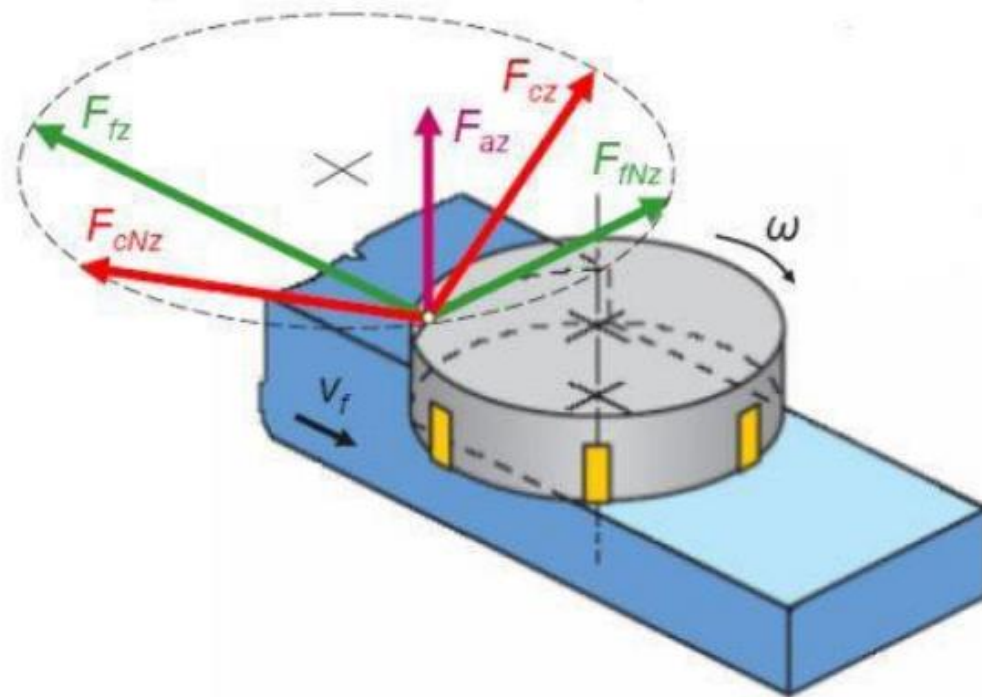


Slika 9. Sile rezanja kod protusmjernog obodnog glodanja [5]

$F_{cz}$  - glavna sila rezanja po jednom zubu

$F_{czN}$  - sila normalna na glavnu silu rezanja (radijalna sila)

$F_{az}$  - aksijalna sila



Slika 10. Sile rezanja kod čeonog glodanja [5]

#### 4.2.5. Parametri obrade

Parametri obrade kod glodanja su brzina rezanja, dubina rezanja te posmak. Određuju se u odnosu na alat i materijal obratka, postojanost oštrice, kvalitetu površine koja je obrađena, okretaje stroja (broj i snaga okretaja). Kod fine obrade koriste se veće brzine, a manje dubine rezanja i posmaci, dok je kod grube obrade obrnuta situacija [6].

Brzina rezanja  $V_c$  označava put koji glavna oštrica prijeđe u odnosu na obrađivanu površini u određenoj jedinici vremena. Kod glodanja brzina rezanja jednaka je obodnoj brzini glodala te se izračunava po jednadžbi [6]:

$$v_c = \frac{D_g \cdot \pi \cdot n_g}{1000}, [m/min]$$

Gdje je:

$V_c$  – brzina rezanja [m/min]

$D_g$  – promjer glodala [mm]

$n_g$  – frekvencija vrtnje glodala [min<sup>-1</sup>]

Posmak  $f$  označava veličinu puta, u smjeru posmičnog gibanja, alata odnosno glavne oštrice [6].

Postoje različite vrste određivanja posmaka:

- po jednom okretaju glodala  $f$  [mm/okr]
- po zubu glodala  $f_z$  [mm/zub]
- po jedinici vremena (minuti)  $v_f$  [mm/min]

Dužina koja treba glodalu da se pomakne za vrijeme određenog okretaja naziva se vrijednost posmaka  $f$ . Hrapavost površine, sile na zubima te presjek odvojenih čestica povećavaju se porastom posmaka. [6]

Posmaci su povezani međusobno određenim relacijama:

$$f = z_g \cdot f_z, [\text{okr/min}]$$

$$vf = ng \cdot f = ng \cdot z_g \cdot f_z, [\text{mm/min}]$$

Gdje je:

$f$  – posmak [mm]

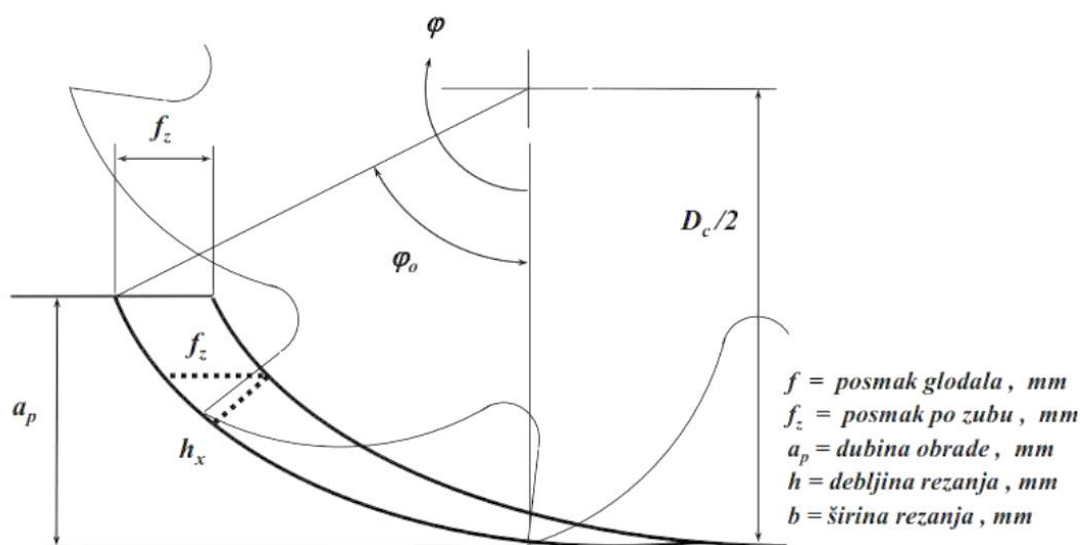
$z_g$  – broj zubi glodala

$f_z$  – posmak po zubu glodala [mm]

$vf$  – ukupna posmična brzina [m]

Dubina rezanja  $a_p$  [mm] definiramo kao veličinu sloja odvojenog od materijala, određenog razmaka između površina. Osnovna zadaća je odvojiti što je moguće veću količinu čestica, ali uz prihvatljivu točnost i kvalitetu površine koja se obrađuje, što se uglavnom ostvaruje pomoću višestrukih prolaza te se samim time za završnu obradu izabire konačni rez sa malom dubinom [4]. Treba spomenuti i ostale bitne veličine obrade [6]:

- debljina rezanja – udaljenost između uzastopnog položaja određenih površina putem jednog okretaja ili jednog prolaza alata ili obradka. Oznaka je  $h$ .
- širina rezanja – udaljenost između površine koja se obrađuje i površine koja je obrađena. Oznaka je  $b$ .



Slika 11. Parametri obrade [4]

### 4.3. Alati za glodanje

Alati za glodanje predstavljaju ključnu komponentu u procesu obrade materijala, posebno u kontekstu CNC tehnologije, koja omogućuje visoku preciznost i automatizaciju. Glodala su alati s definiranim geometrijskim oblikom reznog dijela, opremljeni s više glavnih reznih oštrica smještenih na zubima, koji se mogu nalaziti na obodnoj ili na obodnoj i čeonoj plohi glodala. Ova raznolikost u dizajnu omogućava njihovu primjenu u širokom spektru operacija obrade materijala. U obradnom procesu glodanje igra ključnu ulogu, omogućujući uklanjanje materijala odvajanjem čestica, čime se postiže željena geometrija obratka.

Kategorizacija glodala temelji se na nekoliko kriterija, uključujući način izrade, oblik zuba i tijela alata. Prema načinu izrade, razlikujemo glodala s glodanim zubima, glodala s natražno tokarenim i brušenim zubima, te glodala ili glave s umetnutim zubima. S obzirom na oblik zubi, razlikuju se glodala sa ravnim, spiralnim i križnim zubima. Nadalje, prema obliku tijela, glodala se dijele na valjkasta, pločasta, pilasta, profilna, modulna (prstasta), vretenasta i konusna glodala, među ostalima. Ova raznovrsnost omogućava prilagodbu specifičnim zadacima obrade i različitim vrstama materijala.[4]

• Prema obliku tijela glodala razlikujemo:

- valjkasta glodala
- valjkasto glodalo za ozubljenje
- valjkasto glodalo za navoje
- pločasta (plosnata) glodala
- pilasta glodala
- profilna glodala
- modulna (prstasta) glodala
- vretenasta glodala
- konusna glodala [7]





*Slika 12. Izvedbe glodala [osobne slike]*

#### **4.4. Osnove CNC glodanja**

CNC glodanje predstavlja suvremeni postupak obrade materijala koji omogućava visoku preciznost i ponovljivost u izradi složenih geometrijskih oblika. Ovaj proces obrade temelji se na automatizaciji kretanja alata putem računala, koje upravlja kretanjem u tri ili više osi na temelju unaprijed definiranih programa. U osnovi, CNC glodanje koristi rotirajući alat, poznat kao glodalo, koji uklanja materijal s radnog komada kako bi postigao željeni oblik i dimenzije.

Glodalice se razlikuju prema broju osi i vrsti kontrole koju pružaju, a mogu biti troosne, četveroosne ili petoosne, ovisno o složenosti zahtjeva obrade. Proces započinje izradom CAD modela, nakon čega slijedi izrada CAM programa, koji generira putanje alata. CNC stroj zatim koristi ove podatke za preciznu kontrolu kretanja alata i obrade materijala.

Prednosti CNC glodanja uključuju visoku točnost, smanjenje ljudske pogreške, mogućnost ponavljanja proizvodnje s minimalnim odstupanjima, te smanjenje vremena obrade za složene komponente. S druge strane, jedan od izazova predstavlja potreba za visokim početnim ulaganjima u opremu i obuku operatera, kao i zahtjev za stalnim održavanjem sustava kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i preciznost obrade.

## 4.5. Parametri glodanja čelika C45

Glodanje čelika C45 (konstrukcijski čelik s 0,45% ugljika) zahtjeva pažljivo odabrane parametre strojne obrade kako bi se postigla optimalna produktivnost, kvaliteta površine i trajnost alata. Sljedeći parametri su ključni za uspješnu obradu:

### Brzina rezanja ( $V_c$ )

- Brzina rezanja ovisi od alata (karbidni ili HSS) i premaza. Tipična brzina rezanja za čelik C45 je:
  - Karbidni alati: 150-250 m/min
  - HSS (brzorezni čelik) alati: 50-80 m/min [16]

### Brzina rotacije alata ( $n$ )

- Brzina vretena se može izračunati pomoću sljedeće formule:

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}, [okr/min]$$

- $V_c$  - brzina rezanja u m/min
- $D$  - promjer glodala u mm

### Posmak po zubu ( $f_z$ )

- Posmak po zubu također ovisi od promjera glodala i broja zuba. Tipične vrijednosti su:
  - Karbidni alati: 0,05-0,25 mm/zub
  - HSS alati: 0,03-0,15 mm/zub[16]

### Dubina rezanja ( $a_p$ )

- Grubo glodanje: 2-6 mm ovisno od krutosti stroja i alata.
- Završno glodanje: 0,5-2 mm. [16]

## Širina rezanja (b)

- Širina rezanja često ovisi od vrste glodanja:
  - Grubo glodanje: 50-100% promjera glodala.
  - Završno glodanje: 10-50% promjera glodala. [16]

## Hlađenje

- Preporučuje se upotreba SHIP-a pri obradi čelika C45, posebno kod korištenja HSS alata, kako bi se smanjila temperatura i povećala trajnost alata. [16]

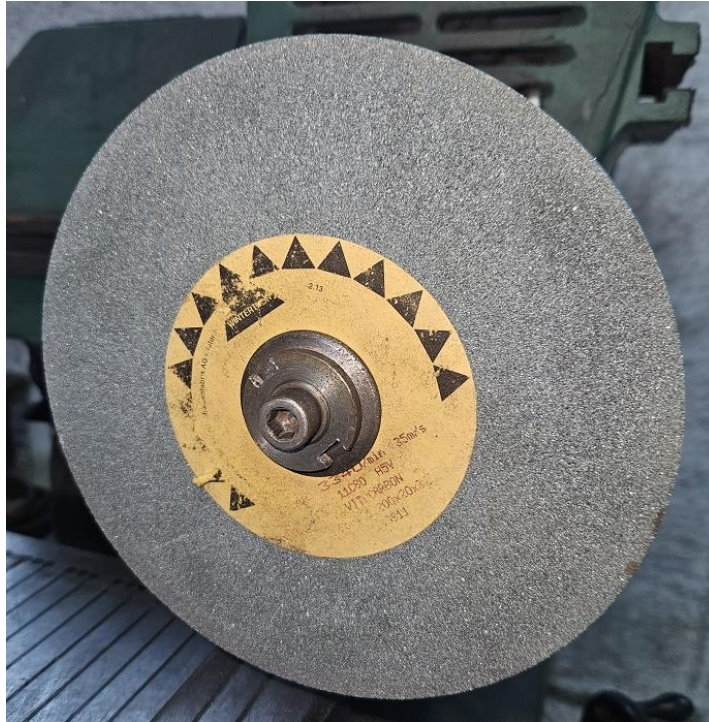
## Vrste alata

- Karbidni alati: Preporučuju se za veće brzine i veće operacije.
- HSS alati: Koriste se za manje operacije i kada su potrebni precizniji završni radovi.

Ovi parametri se mogu prilagoditi ovisno od specifičnih načina obrade, stanja stroja, krutosti obratka i potrebne završne obrade. Uvijek je preporučljivo testirati male promjene u parametrima kako bi se optimizirala produktivnost i trajnost alata.

#### 4.6. Strojno plansko brušenje materijala C45

Strojno plansko brušenje predstavlja važnu operaciju u završnoj obradi materijala C45, koji je poznat po svojoj visokoj čvrstoći i otpornosti na trošenje. Brušenje se provodi na planskoj brusilici, pri čemu je cilj postići glatku površinu uz minimalne odstupanja u dimenzijama. Parametri brušenja, poput brzine vrtnje brusnog alata, posmaka, te vrste i granulacije brusnog materijala, igraju važnu ulogu u postizanju željene kvalitete površine.



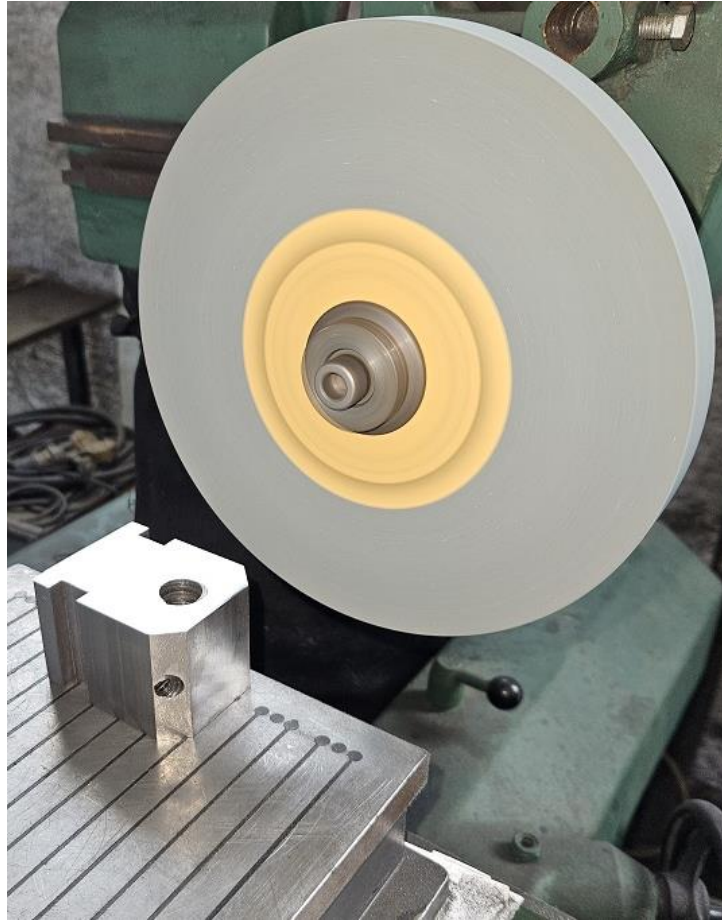
*Slika 13: Brusni disk [osobne slike]*

Kod brušenja čelika C45, preporučuje se korištenje aluminijskog oksida kao brusnog materijala zbog njegove sposobnosti da efikasno odstrani materijal uz zadržavanje oštine alata. Tipična brzina rezanja kreće se između 30 i 60 m/s, dok posmak ovisi o potrebnoj preciznosti obrade. Dubina rezanja kod brušenja obično se održava na niskim vrijednostima, između 0,005 i 0,02 mm, kako bi se smanjilo zagrijavanje i spriječilo pojavljivanje površinskih oštećenja poput mikropukotina.

Brzina rezanja ( $V_c$ ) je važan parametar u brušenju i definira se kao tangencijalna brzina vanjskog oboda brusnog kamena. Izračunava se pomoću sljedeće formule:

Za brusni disk promjera 220 mm i brzinu vrtnje od 2400 okr/min, brzina rezanja je:

$$v_c = \frac{220 \cdot \pi \cdot 2400}{1000}, = 1657,44 [m/min] = 27,62 [m/s]$$



*Slika 14: Proces brušenja[osobne slike]*

Primjena hlađenja tijekom brušenja materijala C45 je od izuzetne važnosti. Hlađenje ne samo da sprječava pregrijavanje obratka i brusne ploče, već također pomaže u održavanju kvalitete obrađene površine. Učinkovito hlađenje omogućava postizanje boljih rezultata u pogledu hrapavosti površine ( $R_a$ ), koja se za ovu vrstu obrade može održavati u rasponu od 0,2 do 1,6  $\mu\text{m}$ . Zaključno, pravilno podešeni parametri brušenja ključ su za postizanje visoke kvalitete obrade materijala C45. Brušenje na planskoj brusilici omogućava visoku preciznost, ali zahtijeva pažljivo praćenje i kontrolu parametara kako bi se izbjegla oštećenja i osigurala dosljednost u kvaliteti konačnog proizvoda.

#### 4.6.1. Brušenje dodirnih kliznih površina

Dodirne klizne površine škripca uključuju:

- **Gornju bazu škripca**, koja služi kao stabilna podloga za klizanje i kretanje pomične čeljusti.
- **Donji dio pomične čeljusti**, koji se kreće preko baze škripca tijekom zatezanja i otpuštanja materijala.

Kvaliteta ovih površina izravno utječe na radni vijek škripca i preciznost zatezanja. Svaka nepravilnost, poput neravnina ili oštećenja, može uzrokovati neujednačeni pritisak na materijal, što dovodi do smanjenja efikasnosti rada i mogućih oštećenja obratka ili alata.

**Važnost brušenja:** Brušenje gornje baze škripca i donjeg dijela pomične čeljusti ima nekoliko ključnih prednosti:

- **Povećana preciznost:** Brušenjem se uklanjaju sve nepravilnosti na dodirnim površinama, čime se osigurava ujednačen kontakt između komponenata.
- **Poboljšano klizanje:** Glatke površine smanjuju trenje između dijelova, čime se olakšava rad s škripcem te omogućuje precizno podešavanje zateznog momenta.
- **Dugotrajnost:** Brušene površine smanjuju mogućnost prijevremenog trošenja i habanja, čime se produžuje radni vijek škripca.



## 5. MJERENJA

Mjerenja su temeljna komponenta inženjerskih procesa jer omogućuju preciznu procjenu dimenzija, oblika, položaja, površinske hrapavosti i drugih svojstava tehničkih proizvoda. Bez točnih mjerenja, kvaliteta izrade i funkcionalnost proizvoda mogu biti ugroženi. Mjerenja u strojarstvu podijeljena su u nekoliko kategorija, ovisno o svrsi i tipu mjerne veličine.

### Linearna mjerenja

Linearna mjerenja odnose se na duljinu, širinu i visinu komponenti, a provode se koristeći razne mjerne alate poput kljunastih pomičnih mjerila, mikrometara i mjerila pomaka. Precizna linearna mjerenja ključna su za kontrolu tolerancija unutar dozvoljenih granica, posebno u procesima obrade kao što su tokarenje, glodanje i brušenje.



*Slika 15: Mjerni instrumenti[osobne slike]*

### Kutna mjerenja

Kutna mjerenja koriste se za određivanje točnih kutova na obradcima, posebno kod alata i dijelova koji zahtijevaju specifične nagibe ili položaje. Za ova mjerenja koriste se kutomjeri, univerzalni mjerni instrumenti i koordinatni mjerni uređaji. Kutna točnost igra važnu ulogu u montaži komponenti, kao i u dinamičkom ponašanju sklopova.

## **Mjerenja oblika**

Mjerenja oblika odnose se na procjenu geometrijske točnosti obratka, uključujući odstupanja u obliku kao što su ovalnost, konusnost i cilindričnost. Ove karakteristike često se mjere koristeći specijalizirane uređaje kao što su profilometri i koordinatni mjerni uređaji (CMM). Preciznost oblika je ključna za funkcionalnost sklopova gdje su zahtjevi za kompatibilnost i dinamiku kretanja kritični.

## **Mjerenje površinske hrapavosti**

Površinska hrapavost izravno utječe na performanse dijelova, osobito u pogledu trenja, trošenja i prijenosa topline. Hrapavost se mjeri pomoću profilografa i ostalih instrumenata za analizu površina. Osiguravanje odgovarajuće površinske kvalitete presudno je za komponente u dodiru, poput ležajeva, zupčanika i brtvi.

Mjerenja se koriste u svim fazama proizvodnog procesa, od dizajna i prototipiranja do masovne proizvodnje i kontrole kvalitete. Precizna mjerenja omogućuju inženjerima da provjere usklađenost komponenti s tehničkim nacrtima i osiguraju ispunjenje funkcionalnih zahtjeva.



## 5.1. Mjerenje obratka pomičnim mjerilom

Digitalna pomična mjerila su precizni alati koji se široko koriste u industriji i za mjerenje duljina, promjera, debljina i drugih linearnih dimenzija. Njihova primjena u kontroli pozicija omogućava visoku preciznost i ponovljivost, čineći ih idealnim za korištenje u kontrolama kvalitete, i montažnim procesima.

### Princip rada digitalnog pomičnog mjerila

Digitalno pomično mjerilo radi na principu elektroničkog očitavanja linearnog pomaka čeljusti, koji se pretvara u digitalni signal i prikazuje na ekranu. Standardna rezolucija od 0,01 mm omogućuje precizno očitavanje malih pomaka, što je važno za preciznu kontrolu pozicija u mehaničkim sustavima. Mjerilo se sastoji od pokretnog dijela (pokretna čeljust) i fiksne čeljusti, a mjerenje se vrši zatvaranjem ili otvaranjem čeljusti dok se ne postigne kontakt s objektom koji se mjeri.

### Metodologija mjerenja

Prilikom kontrole pozicija digitalnim pomičnim mjerilom, važno je osigurati ispravnu pripremu mjernog instrumenta i mjerne površine. Proces započinje kalibracijom mjerila, kako bi se osiguralo da instrument pokazuje točne nulte vrijednosti prije mjerenja. Nuliranje se može izvršiti postavljanjem čeljusti u potpuno zatvoreni položaj i provjerom očitavanja, koje mora iznositi 0,00 mm.

Mjerenje dimenzijske točnosti obratka provodi se na sljedeći način:

- Objekt čija se dimenzijska točnost kontrolira postavlja se između čeljusti mjerila, pri čemu je važno osigurati da je objekt čvrsto postavljen, bez mogućnosti pomaka.
- Nakon postavljanja objekta, čeljusti se pažljivo zatvaraju sve dok ne dođu u kontakt s objektom. Vrijednost očitane dimenzije pojavljuje se na digitalnom ekranu, s rezolucijom od 0,01 mm.
- Za osiguranje ponovljivosti, mjerenje se vrši više puta, a zabilježene vrijednosti se analiziraju. Time se osigurava eliminacija grešaka uzrokovanih eventualnim nepravilnostima u postavljanju objekta ili rukovanju instrumentom.



*Slika 16: Mjerenje sa pomičnim mjerilom[osobne slike]*

### **Analiza rezultata**

Rezultati dobiveni digitalnim pomičnim mjerilom se analiziraju kako bi se utvrdila točnost i preciznost kontrolirane pozicije. Statistička analiza ponovljenih mjerenja omogućava procjenu varijabilnosti unutar seta mjerenja, čime se ocjenjuje pouzdanost korištenog instrumenta. Također, moguće je usporediti izmjerene vrijednosti s nominalnim dimenzijama objekta kako bi se procijenila odstupanja.

Za industrijske primjene, preciznost digitalnog mjerila od 0,01 mm često je dovoljno visoka za većinu standardnih aplikacija. Međutim, za aplikacije koje zahtijevaju još višu razinu preciznosti, potrebno je koristiti mikrometre sa rezolucijom 0,001 mm.

## 5.2. Hrapavost

### 5.2.1. Mjerenje hrapavosti površine i važnost hrapavosti

Hrapavost površine jedan je od ključnih parametara u ocjeni kvalitete strojno obrađenih komada. Mjerenje hrapavosti provodi se standardiziranim metodama, poput ISO 4287, gdje se koriste parametri poput  $R_a$  (aritmetička sredina apsolutnih vrijednosti profila) i  $R_z$  (prosječna visina hrapavosti). U slučaju strojnog škripca, preciznost obrade, uključujući brušenje vodilica, značajno utječe na hrapavost površine i na funkcionalnost škripca.[14]

Hrapavosti površine direktno utječe na kontaktne karakteristike, otpornost na trošenje i estetski izgled obratka. Niska hrapavost često je poželjna jer smanjuje trenje, poboljšava otpornost na koroziju i produžava vijek trajanja komponente. U kontekstu strojnog škripca, niska hrapavost vodilica osigurava ravnomjerno stezanje i minimalizira trošenje, što je ključno za održavanje točnosti i dugovječnosti alata.

Prilikom konstruiranja i izrade strojnog škripca, posebna pažnja posvećuje se kontroliranju parametara obrade kako bi se postigla minimalna hrapavost površine, osiguravajući visoku kvalitetu površine.

### 5.2.2. Površinska hrapavost

Površinska hrapavost se definira kao sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini predmeta koje su prouzrokovane postupkom obrade ili nekim drugim utjecajima „prema normi ISO 4287“ , a mnogo puta su manje od dimenzija promatranog djela površine. Pod pojam hrapavosti ne svrstavamo makrogeometrijske nepravilnosti površine kod kojih se dimenzije približavaju duljinskoj mjeri promatrane površine ili je premašuju.[8]

Osnovne vrste deformacija površine mogu se sažeti u slijedeće kupine:

- makroneravnine
  - neparelelnost površine
  - valovitost
- mikroneravnine
  - izbrazdanost
  - hrapavost
- nanoneravnine
- rezultanta deformacije

Tehničke površine nisu idealno glatke geometrijske plohe, nego su to, mikroskopski gledano, hrapave plohe karakterizirane nizom neravnina raznih veličina, oblika i rasporeda.

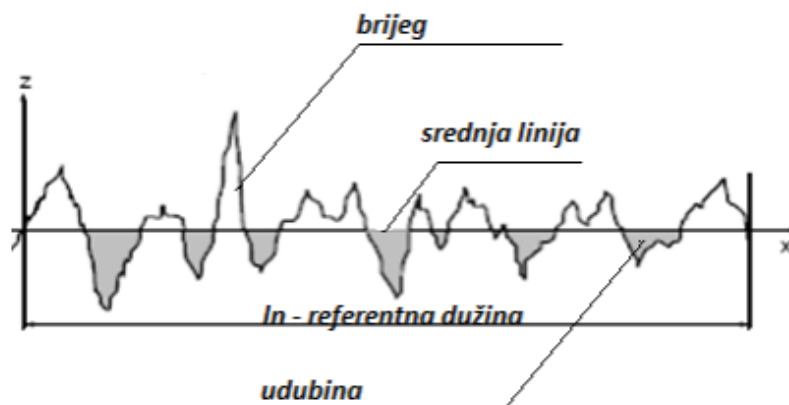
Bitne veličine koje opisuju hrapavost površine jesu:

- $R_a$  – srednje odstupanje profila hrapavosti
- $R_z$  – maksimalna visina neravnina

Srednje odstupanje profila hrapavosti  $R_a$  je srednja aritmetička udaljenost profila od srednje linije, te je teoretski iskazano formulom:

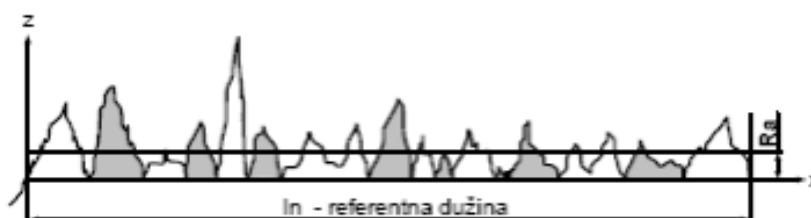
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

Kod izračunavanja srednjeg aritmetičkog odstupanja profila  $R_a$  kao prvo je potrebno snimiti najveće visine vrha profila  $Z_p$  i najveće dubine dna profila  $Z_v$  i potom odrediti i nacrtati srednju liniju hrapavosti profila kao što je pokazano slikom 17.



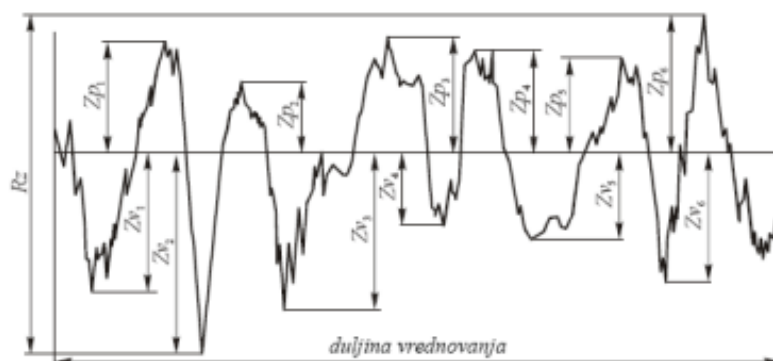
Slika 17. Određivanje srednje linije hrapavosti oblika [8]

Potom se određuje srednje aritmetičko odstupanje  $R_a$  koje predstavlja ravninu koja najbolje aproksimira površine koje se nalaze iznad i ispod linije  $R_a$ , (slika 18).



Slika 18. Određivanje srednjeg prosječnog odstupanja  $R_a$  [8]

Maksimalna visina neravnina  $R_z$  je zbroj duljine najveće visine vrha profila  $Z_p$  i najveće dubine dna profila  $Z_v$  na dužini mjerenja. Određivanje maksimalne visine profila  $R_z$  prikazano je na slici 19.



Slika 19. Određivanje maksimalne visine neravnina  $R_z$  [8]

Postizanje određene tolerancije povezano je s hrapavošću tehničkih površina koje se toleriraju.

Tablica 3. Odnos stupnja tolerancije (IT) i parametra hrapavosti  $R_a$  u ovisnosti o dimenzijama izratka [8]

Stupanj tolerancije	... 3mm	3 ... 18	18 ... 80	80 ... 250	250 ...
IT5	0,1	0,2	0,4	0,4	0,8
IT6	0,2	0,4	0,4	0,8	0,8
IT7	0,4	0,4	0,8	1,6	1,6
IT8	0,4	0,8	1,6	1,6	3,2
IT9	0,8	0,8	1,6	3,2	6,3
IT10	1,6	1,6	3,2	6,3	6,3
IT11	1,6	3,2	6,3	6,3	12,5
IT12	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5
IT13	6,3	6,3	12,5	12,5	12,5
IT14	12,5	12,5	12,5	12,5	25

U tablici 4 dana je veza između kvaliteta tolerancija dužinskih izmjera i odgovarajućih najgrubljih površinskih obrada. Navedene hrapavosti mogu se koristiti uvijek kada drugi uvjeti ne zahtijevaju finiju kvalitetu obrade.

Tablica 4. Uobičajena područja primjene veličine hrapavosti [8]

Srednje aritmetičko odstupanje profila $R_a$ , $\mu\text{m}$	Primjena
0,025 0,05 0,1	Kontrolna mjerila, najstrožiji zahtjevi
0,2 0,4 0,8	Brtvne i vrlo precizne klizne površine
1,6 3,2 6,3	Klizne površine i prisni dosjedi
12,5 25	Prisni dosjedi
50	Nefunkcijske površine

Najčešći postupci strojne obrade sa podacima o veličini hrapavosti koja se uobičajeno može s njima postići, dati su na pregled u tablici 5.

Tablica 5. Postupak obrade u ovisnosti od stupnja hrapavosti [8]

Postupak obrade	Stupanj površinske hrapavosti															
	$R_a, \mu\text{m}$															
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400	800
Pjeskarenje																
Sačmarenje																
Plinsko rezanje																
Tokarenje																
- grubo																
- fino																
Blanjanje																
- grubo																
- fino																
Glodanje																
- grubo																
- fino																
Bušenje svrdlom																
Razvrtavanje																
Brušenje																
- grubo																
- fino																
Poliranje																
- mehaničko																
- električno																
Honanje, lepanje																
Superfinaš																
Obrada navoja																
- rezanje																
- brušenje, valjanje																
Obrada zubaca																
- blanjanje																
- glodanje																
- brušenje																

### 5.3. Metode mjerenja površinske hrapavosti

Mjerenje površinske hrapavosti provodi se pomoću različitih metoda, uključujući kontaktne i beskontaktne tehnike.

#### **Kontaktne metode**

Najčešće korištena kontaktna metoda je profilometrija, gdje sonda fizički prelazi preko površine i bilježi mikroskopske nepravilnosti. Profilometri su precizni instrumenti koji omogućuju mjerenje parametara poput  $R_a$  i  $R_z$  s visokom točnošću. Međutim, kontaktne metode mogu oštetiti vrlo osjetljive površine, pa su u takvim slučajevima beskontaktne metode preferirane.

#### **Beskontaktne metode**

Beskontaktne metode, poput laserske profilometrije ili optičke mikroskopije, koriste svjetlosne zrake ili optičke senzore za mjerenje hrapavosti bez fizičkog kontakta s površinom. Ove metode omogućuju brza i precizna mjerenja, osobito na osjetljivim ili teško dostupnim površinama.[10]

### 5.4. Utjecaj površinske hrapavosti na funkcionalnost

Površinska hrapavost značajno utječe na funkcionalnost strojnih dijelova, ovisno o primjeni i radnim uvjetima. Neki od ključnih utjecaja uključuju:

- **Trošenje i habanje**

Grube površine imaju veće trenje, što može ubrzati proces trošenja i habanja dijelova. U aplikacijama gdje dijelovi dolaze u kontakt pod visokim opterećenjem, hrapavost mora biti minimalna kako bi se smanjio koeficijent trenja i produžila radna vijeka dijelova.



- **Brtvljenje i prijanjanje**

U slučajevima kada dijelovi moraju osigurati hermetičko brtvljenje, poput brtvi u hidrauličkim sustavima, površinska hrapavost mora biti niska kako bi se osigurala čvrsta i pouzdana veza bez propuštanja.

- **Utjecaj na umor materijala**

Visoka površinska hrapavost može uzrokovati koncentracije naprezanja koje dovode do zamora materijala, posebno u komponentama koje su podvrgnute cikličkim opterećenjima. Kontrola hrapavosti je stoga ključna u industrijama poput zrakoplovne i automobilske, gdje sigurnost i pouzdanost imaju prioritet.

- **Otpornost na koroziju**

Grube površine s visokim vrhovima i dubokim dolinama mogu zadržavati vlagu i korozivne agense, što povećava rizik od korozije. U agresivnim radnim uvjetima, smanjenje hrapavosti može značajno povećati otpornost na koroziju.[11]

## **5.5. Primjena kontrole površinske hrapavosti u proizvodnim procesima**

U modernim proizvodnim procesima, kontrola površinske hrapavosti ključna je za osiguranje kvalitete i funkcionalnosti proizvoda. To uključuje precizno podešavanje parametara obrade, poput brzine rezanja, dubine rezanja i vrste alata. Upotreba naprednih mjernih tehnika omogućuje kontinuirano praćenje i korekciju procesa kako bi se postigla optimalna hrapavost.

Površinska hrapavost predstavlja važan parametar u strojarstvu, koji utječe na performanse i dugovječnost strojnih dijelova. Kroz razumijevanje i kontrolu hrapavosti moguće je poboljšati kvalitetu proizvoda, smanjiti rizik od kvarova i povećati učinkovitost proizvodnih procesa. [12]

## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

Kod izrade bilo kakvih strojnih dijelova potrebno je kod projektiranja uzeti u obzir s kojim alatima i strojevima tvrtka raspolaže. Većina radnih operacija izvodi se na CNC glodalici zatim brušenje na univerzalnoj brusilici neke od sporednih operacija su rezanje sirovog komada na tračnoj pili, bušenje provrta na stupnoj bušilici i tokarenje navoja na univerzalnoj tokarilici.

### 6.1. Rezanje sirovca tračnom pilom

Za izradu škripca korišten je plosnati čelik C45 dimenzija 150 mm x 60 mm. Svi sirovci rezani su sa dodatkom od dva milimetra za strojnu obradu. Kod rezanja korištena je najmanja vrijednost pritiska pile na materijal i obilno polijevanje sa SHIP.



*Slika 20: Rezanje sa tračnom pilom [osobne slike]*

## 6.2. CNC glodalica Haas Super Mini Mill

Haas Super Mini Mill (slika 21) je 3-osna CNC glodalica konstruirana je za brzo i precizno obrađivanje manjih dijelova. Stroj je opremljen sa sustavom izmjene alata koji omogućuje pohranu i izmjenu do 10 alata, što osigurava fleksibilnost u procesima obrade. Njegova kompaktna veličina i visoka produktivnost čine ga pogodnim za rad u manjim radnim prostorima, uz visoku razinu preciznosti i ponovljivosti. U nastavku se nalazi tablica 6 sa karakteristikama stroja i izgled upravljačke ploče (slika 22).[17]



Slika 21: Glodalica koja se koristila za strojnu obradu dijelova u ovom radu[osobne slike]



Tablica 6. Karakteristike stroja

Karakteristika	Vrijednost
Proizvođač	Haas automation
Model	Super Mini Mill
Broj alata	10
Maksimalna brzina vretena	10.000 o/min
Snaga vretena	7,5 kW
Radni volumen (X, Y, Z osi)	406 x 305 x 254 mm
Maksimalna brzina posmičnih gibanja (X, Y, Z osi)	12,7 m/min
Brzina ubrzanja osi (X, Y, Z)	4,6 m/s <sup>2</sup>
Vrsta izmjenjivača alata	Automatski, sa sustavom zvijezde
Vrsta upravljanja	Haas CNC kontroler
Težina stroja	1.600 kg
Maksimalna nosivost stola	227 kg
Broj osi	3
Sustav hlađenja	Emulzija



Slika 22: Upravljačka jedinica [osobne slike]

## 6.3. Plan obrade

### 6.3.1. Plan stezanja

Plan stezanja prikazuje kako stegnuti komad za pojedine operacije obrade. Stezanje može biti mehaničko, hidraulično, pneumatsko i elektromagnetsko.

#### Načela stezanja:

- Obratku onemogućiti pomicanje u smjeru sve tri osi
- Omogućiti slobodan prilaz alata i odvođenje strugotine
- Stezanje i otpuštanje što jednostavnije i brže
- U jednom stezanju izvršiti što je moguće više operacija obrada
- Sile stezanja trebaju osigurati obradak bez oštećenja njegovih površina

Za potrebe izrade škripca koristilo se mehaničko stezanje u škripcu tijekom glodanja (slika 23) i direktno stezanje na stol stroja. Tijekom brušenja koristio se većinom magnet za stezanje i stezanje direktno za stol brusilice (slika 24).



*Slika 23: Obradak stegnut u mehanički škripac tijekom glodanja [osobne slike]*



*Slika 24: Obradak stegnut na magnetnoj stezaljki [osobne slike]*

### 6.3.2. Operacijska lista

Operacija je temeljni element, tj. temeljna pojedinačna cjelina strojnog procesa. Općenito, izrada svakog proizvoda sastoji se od niza poslova (operacija) koje se izvode na pojedinom stroju. Svaka takva grupa poslova smatra se fazom u pretvorbi materijala izrade (ulaznog stanja) u gotov proizvod (izlazno stanje).

Najčešće nije moguće u samo jednoj fazi izvršiti obradu, tj. postići konačne karakteristike proizvoda. Prema tome, operacija je segment strojnog procesa u kojoj se izvrši dio transformacije materijala izrade u gotov proizvod. U tom smislu se može reći da se strojni proces raščlanjuje u operacije, odnosno strojni proces je sastavljen od operacija. Ovisno o geometriji samog proizvoda definira se broj stezanje prema kojem će operacije biti raspoređene.

#### **Glodanje baze škripca:**

##### **Plan operacija za prvo stezanje:**

1. Čeono glodanje (grubo)
2. Čeono glodanje (završno)


##### **Plan operacija za drugo stezanje:**

1. Čeono glodanje (grubo)
2. Čeono glodanje (završno)
3. Glodanje bočnih kontura prstastim glodalom
4. Glodanje srednjeg utora
5. Glodanje unutarnjih utora T glodalom
6. Glodanje vanjskih utora T glodalom



### 6.3.3. Plan alata

Pri odabiru alata treba voditi računa o materijalu izratka, vrsti i zahtjevima (kvaliteti) obrade te dimenzijama, tolerancijama i geometrijskom obliku obrađivane površine kao i o cijeni alata i potrebi korištenja rashladnog sredstva. Tablica 7. Popis alata za prvo stezanje.

Tablica 7. Popis alata za prvo stezanje

1. Plansko glodalno Ø 100 mm		
Oznaka:	BAP400R 100-32-6T	
Pločica:	APMT1604-M2 AP18	
Režimi:	$S=950$ okr/min	$F=500$ mm/min
Dubina rezanja ( $a_p$ )	Grubo glodanje: 2 mm	Završno glodanje: 0,5 mm

Tablica 8. Popis alata za drugo stezanje

1. Plansko glodalo $\varnothing$ 100 mm		
Oznaka:	BAP400R 100-32-6T	
Pločica:	APMT1604-M2 AP18	
Režimi:	$S=950$ okr/min	$F=500$ mm/min
Dubina rezanja ( $a_p$ )	Grubo glodanje: 2 mm	Završno glodanje: 0,5 mm
3. Prstasto glodalo $\varnothing$ 20 mm		
Oznaka:	4LEMG200600S20	
Režimi:	$S=1500$ okr/min	$F=100$ mm/min
Dubina rezanja ( $a_p$ )	Grubo glodanje: 5 mm	Završno glodanje: 0,5 mm
4. Glodalo za T- utor $\varnothing$ 20 m		
Oznaka:	ATSM90-CC06-D45X10	
Pločica:	CCMT 060204E-PB1 AC250P	
Režimi:	$S=400$ okr/min	$F=200$ mm/min
Dubina rezanja ( $a_p$ )	Grubo glodanje: 2 mm	Završno glodanje: 0,5 mm

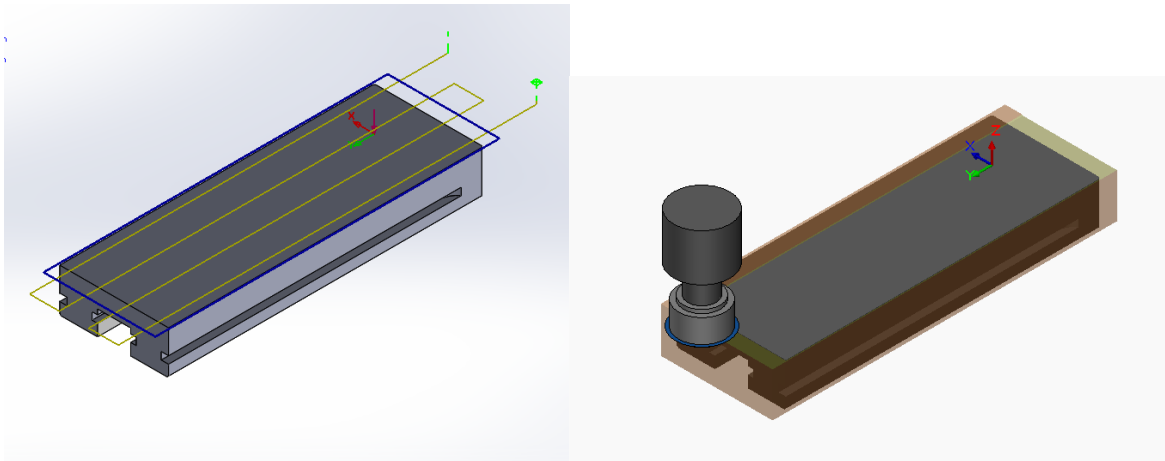


## 6.4. Izrada programa

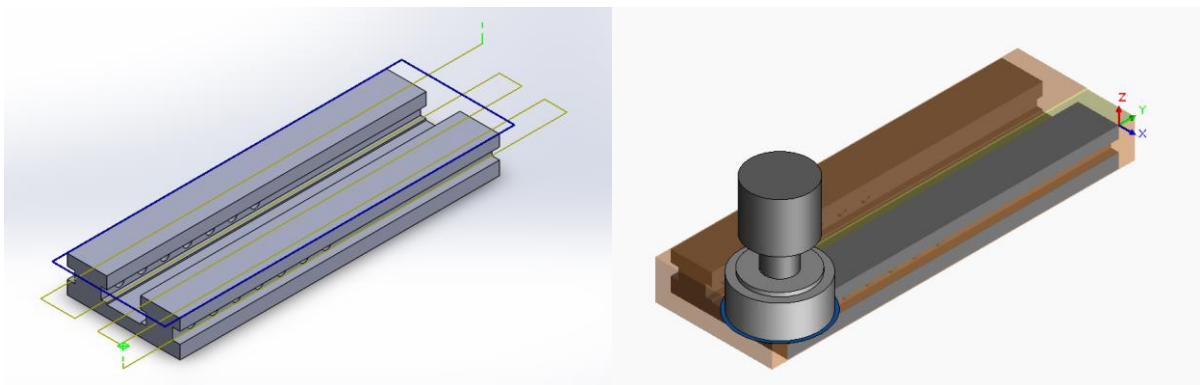
Za izradu CNC programa koristio se programski paket SolidWorks koji ima implementiran dodatak za izradu CAM programa „SolidWorks CAM“. Prije pokretanja koda na stroju, preporučuje se pažljivo pregledati i analizirati generirani kod. Temeljita revizija može pomoći u otkrivanju potencijalnih grešaka ili nelogičnosti koje bi mogle izazvati probleme tijekom obrade. Ovakav pregled omogućava uočavanje pogrešaka, i bolju optimizaciju, što može rezultirati boljom učinkovitošću prilikom izvršavanja na stroju. Time se smanjuje rizik od problema tijekom samog pokretanja koda.

```
%  
O0001  
(ceono_glodanje)  
N1 G00 G17 G21 G90 G49 G80  
N2 G91 G28 Z0.0  
N3 (100MM 9FL FACE MILL)  
N4 T01 M06  
N5 G00 G90 G54 X21.6 Y-523.4 S200 M03  
N6 G43 H01 Z6.  
N7 M08  
N8 G01 Z0 F2.  
N9 Y-448.  
N10 Y20. F500.  
N11 Y70.  
N12 X-8.8 F127.  
N13 Y1.038 F500.  
N14 Y-429.038  
N15 Y-497.804  
N16 X-39.2 F127.  
N17 Y-447.22 F500.  
N18 Y19.22  
N19 Y70.  
N20 X-69.6 F127.  
N21 Y20. F500.  
N22 Y-448.  
N23 Y-498.  
N24 X-115. F127.  
N25 Y-445.697 F500.  
N26 Y17.697  
N27 Y93.097 F2.  
N28 G00 Z6.  
N29 Z26.  
N30 M05  
N31 G91 G28 Z0. M09  
N32 M30  
%
```

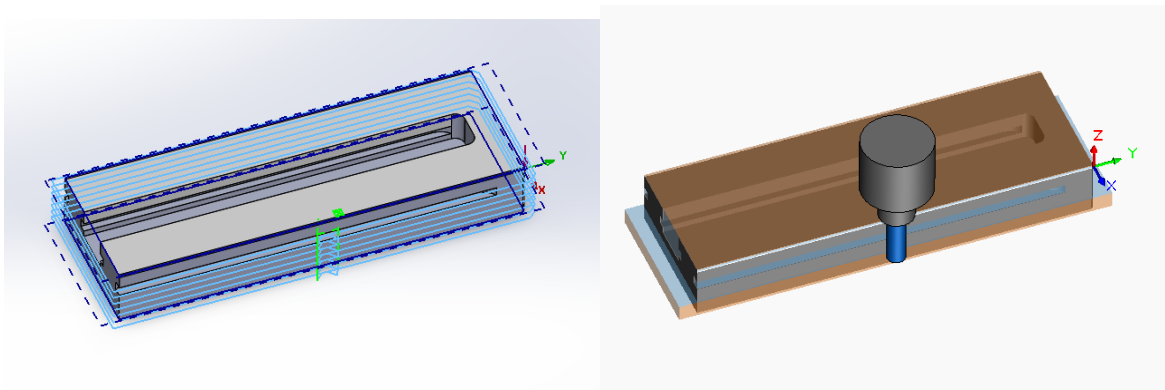
Slika 25: Generirani G-kod za ceono glodanje [osobne slike]

**CAM operacije glodanja baze škripca**

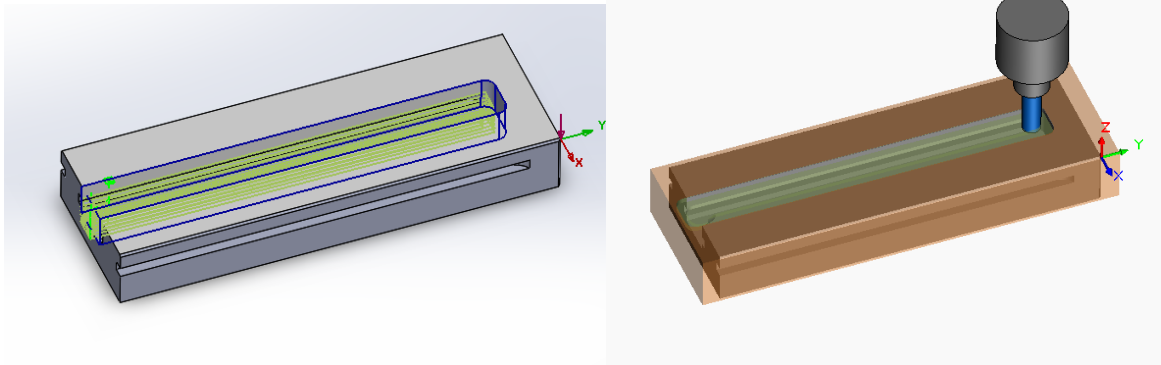
*Slika 26: Putanje alata i simulacija kod čeonog glodanja (grubo i završno)  
- 1. stezanje [osobne slike]*



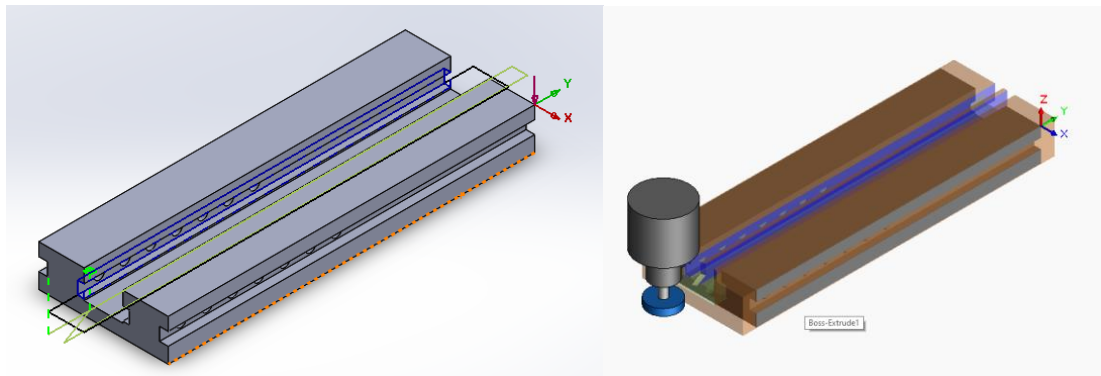
*Slika 27: Putanje alata i simulacija kod čeonog glodanja (grubo i završno)  
- 2. stezanje [osobne slike]*



*Slika 28: Putanje alata i simulacija obodnog glodanja  
- 2. stezanje [osobne slike]*



Slika 29: Putanje alata i simulacija kod glodanja srednjeg utora - 2. stezanje [osobne slike]

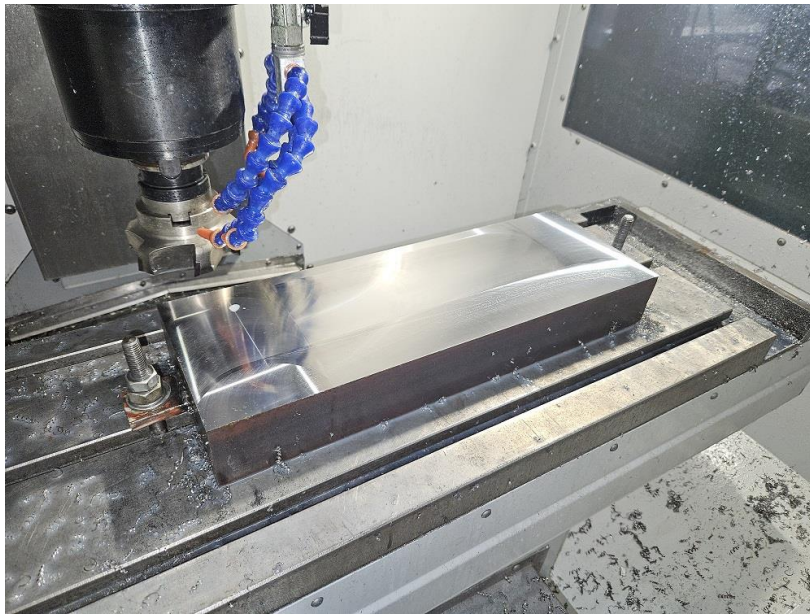


Slika 30: Putanje alata i simulacija kod glodanja T utora- 2. stezanje [osobne slike]

## 6.5. Kronološki pregled strojne obrade

Strojna obrada baze škripca, kao glavnog elementa alata za stezanje, zahtijeva preciznost i metodičan pristup kako bi se postigla potrebna dimenzijska točnost. U nastavku je kronološki prikaz različitih faza strojne obrade, popraćen slikama koje ilustriraju svaki korak u postupku.

### 6.5.1. Glodanje baze škripca



*Slika 31: Čeono glodanje (grubo i završno) - 1. stezanje [osobne slike]*



*Slika 32: Glodanje srednjeg utora - 2. stezanje [osobne slike]*





*Slika 33: Glodanje sa T glodalom - 2. stezanje [osobne slike]*

### **6.5.2. Strojna obrada ostalih pozicija**



*Slika 34: Glodanje utora na obratku sa mehanizmom [osobne slike]*

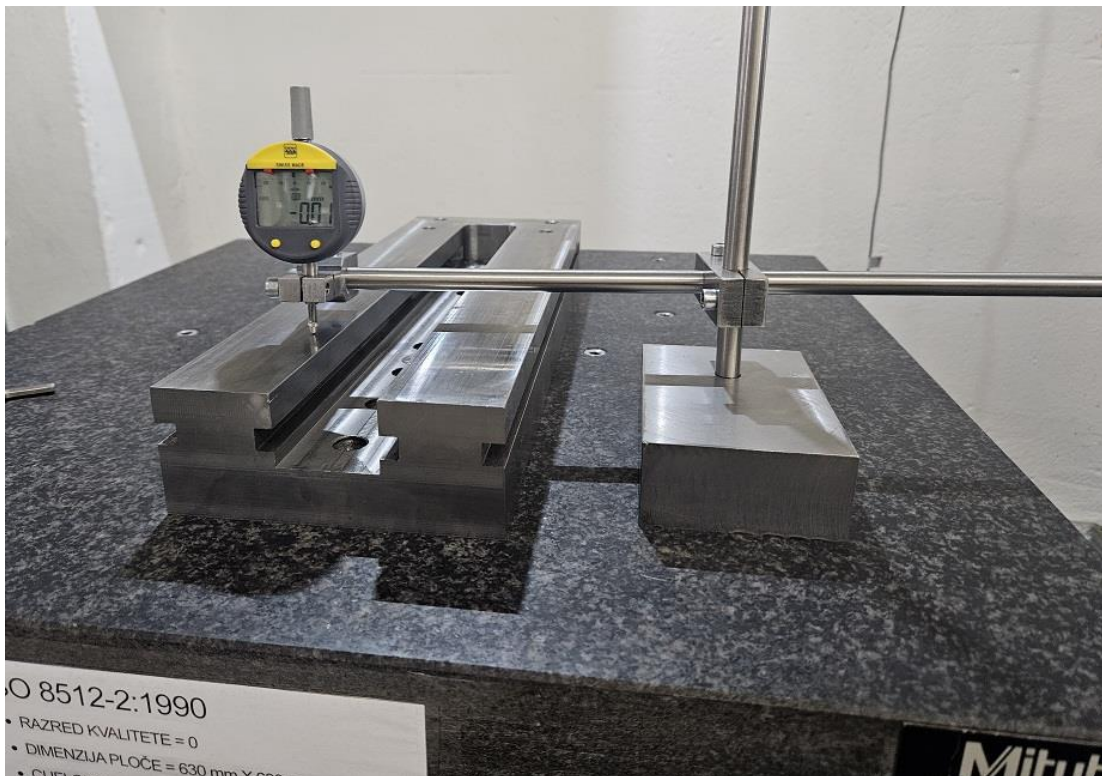


*Slika 35: Glodanje šesterokuta na trapeznom navoju[osobne slike]*



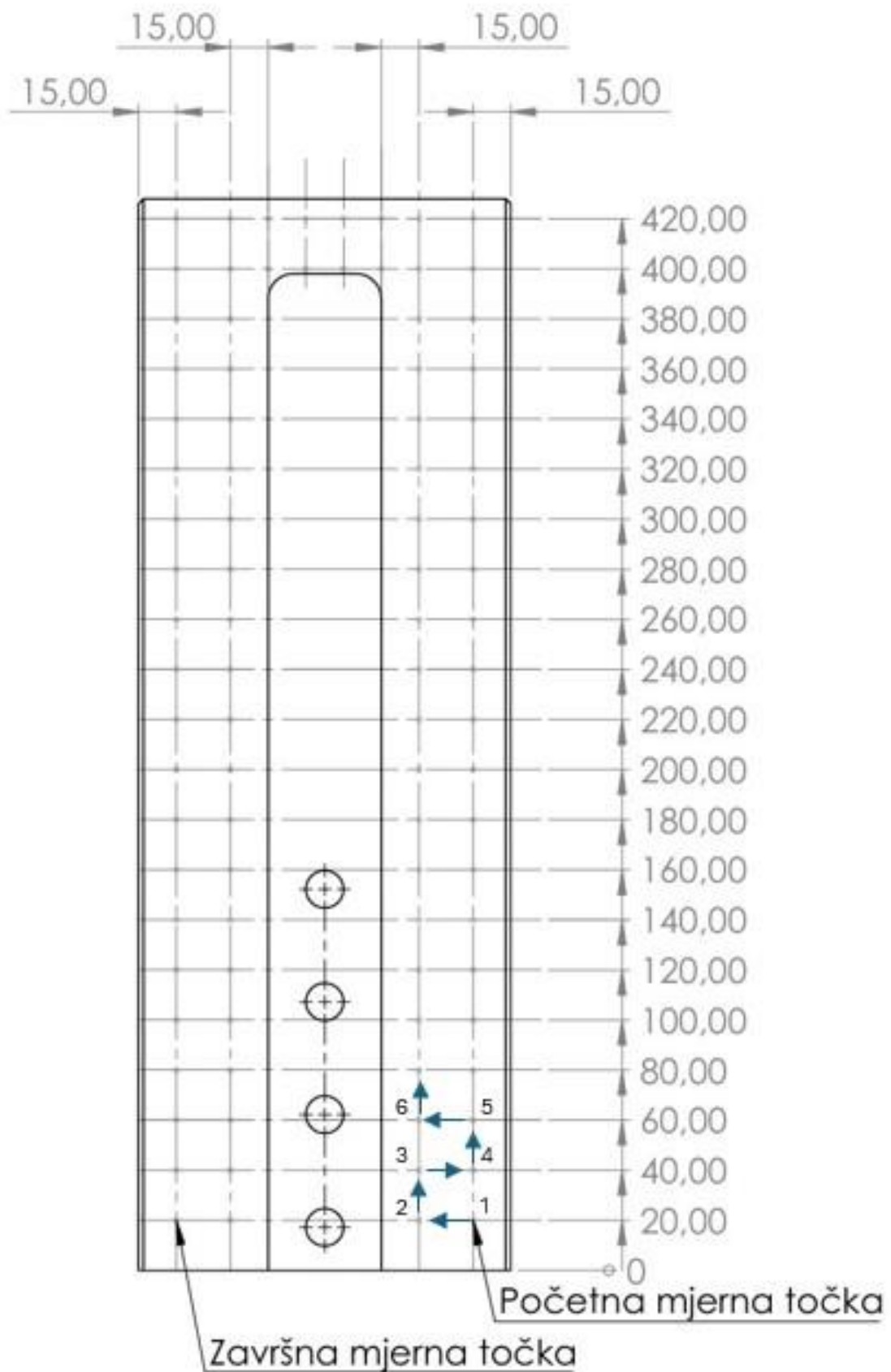
## 6.6. Kontrola dimenzija nakon glodanja

Mjerenje odstupanja površine nakon procesa glodanja izvedeno je korištenjem granitnog mjernog stola i komparatora s točnošću od 0,01 mm. Granitni mjerni stol služi kao referentna ravna površina zbog svojih mehaničkih svojstava, koja uključuju otpornost na deformacije nisku toplinsku ekspanziju. Komparator s točnošću od 0,01 mm omogućuje precizno mjerenje odstupanja obrađene površine, čime se osigurava točnost i ponovljivost rezultata. Tijekom mjerenja, komparator je korišten za detekciju varijacija u ravnini površine, što omogućuje analizu kvalitete obrade i nesavršenosti koje su rezultat procesa glodanja. Ova metoda osigurava visoku razinu kontrole dimenzije.



Slika 36: Mjerenje odstupanja visine [osobne slike]

Površina obrađena glodanjem podijeljena je u mrežu dimenzija 20 mm x 15 mm radi preciznog mjerenja odstupanja. Svaka točka mreže predstavljala je referentnu poziciju za mjerenje odstupanja visine površine korištenjem komparatora s preciznošću od 0,01 mm. Komparator se pomiče tako da se baza na kojoj je pričvršćen klizno pomiče po stolu. Baza sa komparatorom se pomiče sporo i pravocrtno od točke mjerenja do točke mjerenja. Izmjerene vrijednosti ukazuju na odstupanje površine od 0,03 mm, što je unutar dopuštenih tolerancija za ovu vrstu obrade.



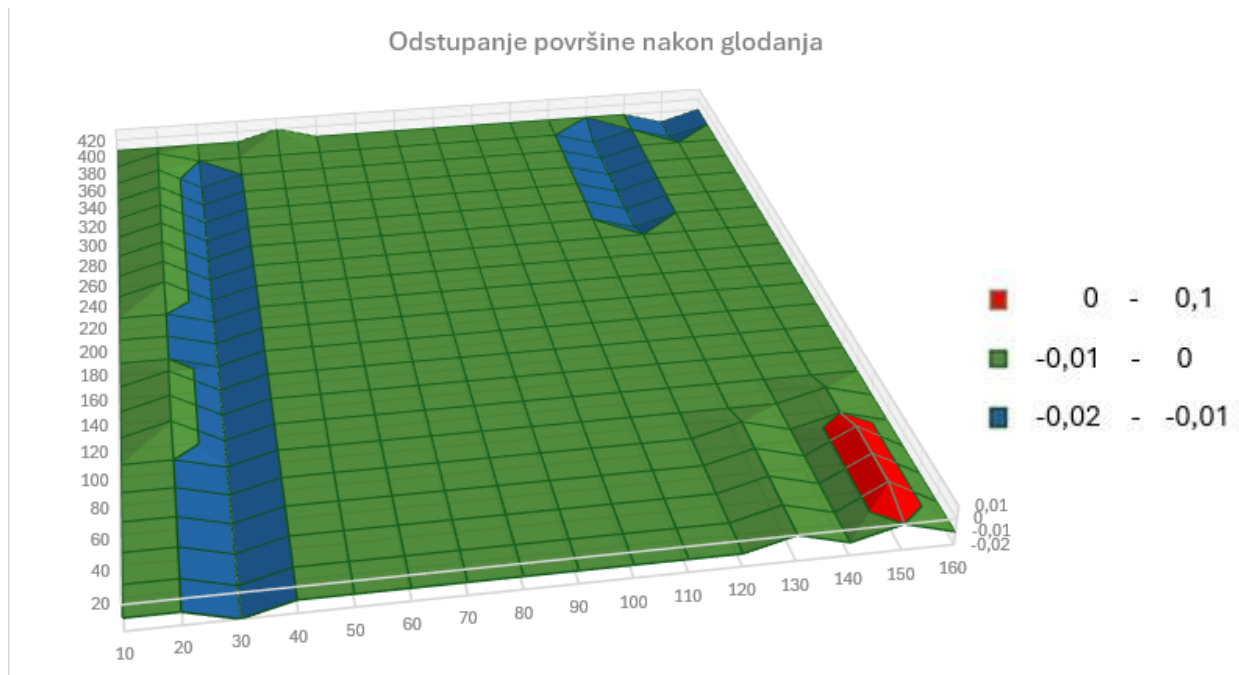
Slika 37: Skica mjernih točaka te redosljed mjerenja[osobne slike]





*Slika 38: Mreža mjernih točaka [osobne slike]*

Dobiveni podaci uneseni su u tablicu, a na temelju tih podataka generirana je 3D površinska karta koja vizualno prikazuje varijacije u ravni obrađene površine. Crvena područja predstavljaju izbočenja a plava područja udubljenja. Ova 3D vizualizacija omogućila je detaljnu analizu raspodjele odstupanja, čime je omogućeno lakše identificiranje eventualnih nepravilnosti i pružila jasan uvid u kvalitetu obrade površine. Dobiveni podaci potvrđuju visoku točnost procesa glodanja i njegovu dosljednost u cijeloj mreži mjernih točaka.



Slika 39: 3D prikaz odstupanja površine[osobne slike]

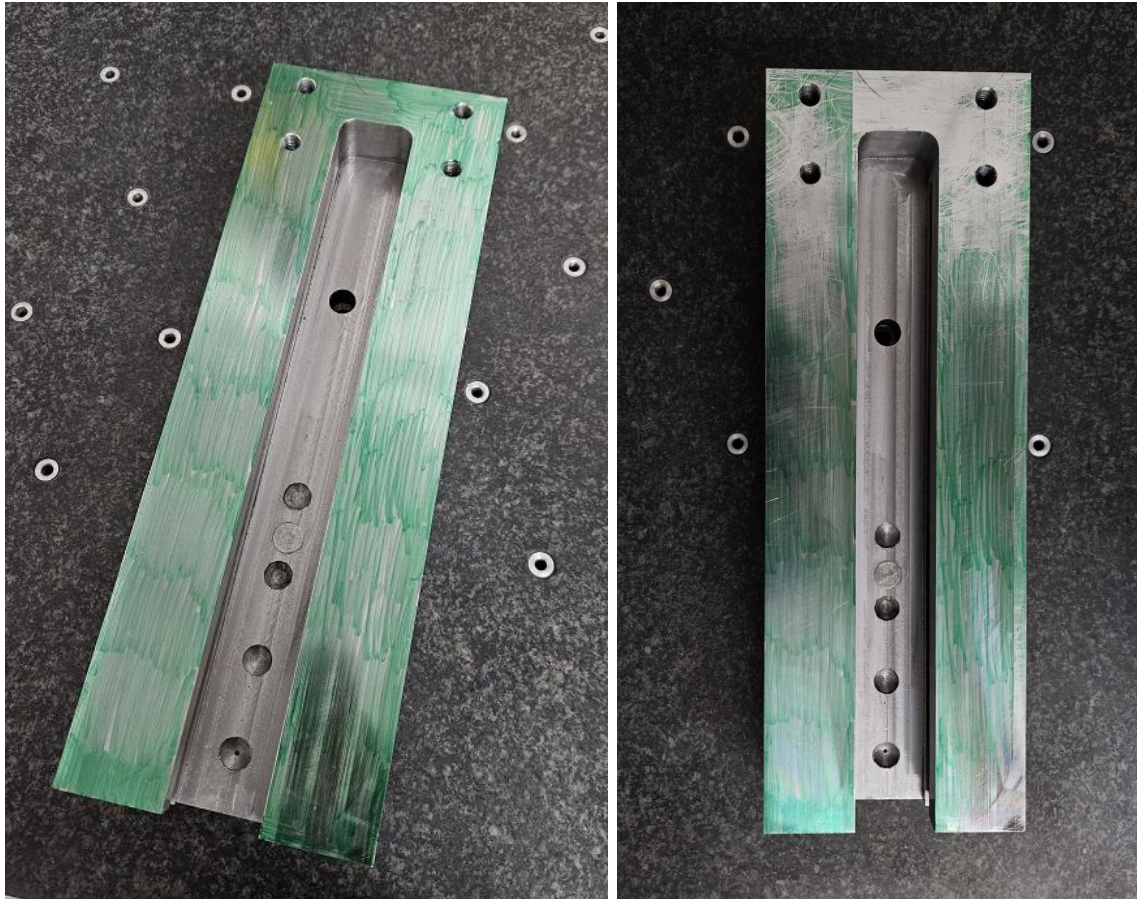
### 3D analiza u optimizaciji obrade brušenja

Primjena 3D vizualizacije površinskih odstupanja pruža značajne prednosti u smislu točnosti i kontrole procesa brušenja. 3D karta omogućuje brzu i intuitivnu identifikaciju kritičnih područja na površini koja zahtijevaju dodatnu obradu, čime se smanjuje mogućnost pogrešaka i nejednolikosti tijekom brušenja. Ova metoda također omogućuje prilagođavanje parametara brušenja, kao što su brzina vrtnje, pritisak i dubina rezanja, na temelju preciznih podataka o površinskoj ravnosti.

### Vizualna kontrola ravnosti pomoću tinte

Ova tehnika koristi se za vizualnu inspekciju ravnosti obrađene površine. Postupak uključuje nanošenje tankog ravnomjernog sloja tinte na kontrolnu ravninu odnosno obrađeni komad, a zatim prijenos te površine na granitni stol. Na mjestima gdje postoji kontakt, tinta će se odvojiti te nam to ukazuje na izbočenja, a površine na kojima je ostala tinta su površine koje nisu bile u kontaktu odnosno udubine. Ova metoda posebno je korisna za prepoznavanje neravnina i grešaka na površini, te se često koristi u preciznoj mehaničkoj obradi ili u kontroli kvalitete.

Na priloženoj slici 40 vidi se mjesto kontakta površina koja se poklapaju i sa prethodno obavljenim mjerenjima.



*Slika 40: Vizualna kontrola poslije glodanja[osobne slike]*

## 6.7. Brušenje

Brušenje je postupak obrade metala u završnim fazama proizvodnje kada se zahtijevaju visoka preciznost i kvaliteta površine. Cilj je ostvariti ravnost i paralelnost baze škripca od 0,02 mm. Čelik C45 je jedan od često korištenih materijala u industriji zbog svoje dobre mehaničke čvrstoće i mogućnosti toplinske obrade. Brusni disk izrađen od aluminijevog oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) koristi se zbog svoje tvrdoće i otpornosti na trošenje, što ga čini idealnim za brušenje tvrdih materijala poput čelika.

### 6.7.1. Parametri strojnog brušenja:

- **Materijal obrade:** Čelik C45
- **Vrsta brusnog diska:** Aluminijev oksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- **Promjer brusnog kamena:** 220 mm
- **Granulacija brusnog kamena:** 80
- **Brzina vrtnje brusnog kamena:** 2400 okr/min
- **Dubina grubog brušenja:** 0,01 mm
- **Dubina završnog brušenja:** 0,005 mm
- **Brzina rezanja:** 27,62 [m/s]



### 6.7.2. Brušenje donjeg dijela pomične čeljusti

Brušenje donjeg dijela pomične čeljusti, koja je pričvršćena na magnetski stol, izvedeno je u dvije faze. U prvoj fazi provedeno je grubo brušenje s uklanjanjem materijala u slojevima od 0,01 mm, dok je u završnoj fazi primijenjeno precizno brušenje s dubinom skidanja od 0,005 mm.



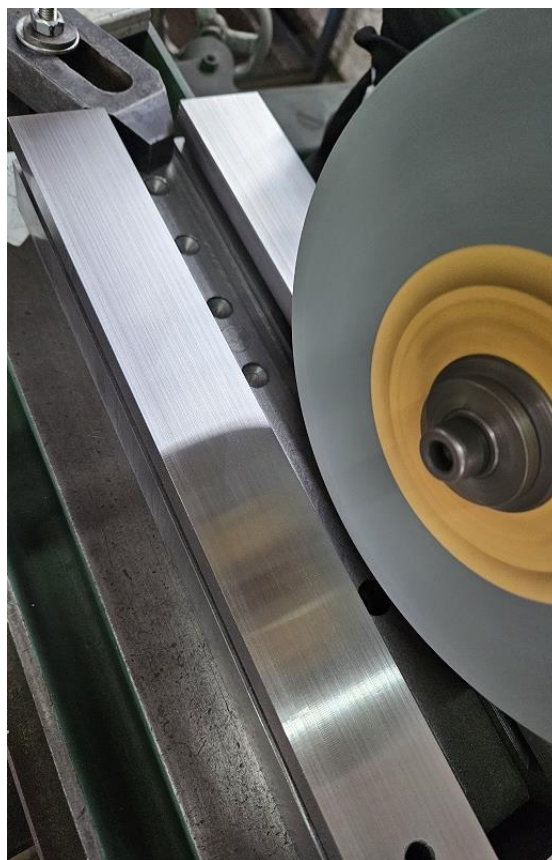
*Slika 41: Brušenje donjeg dijela pomične čeljusti[osobne slike]*

### 6.7.3. Brušenje baze škripca

Brušenje baze škripca, koja je izravno pričvršćena na stol brusilice, provedeno je u dvije faze. U prvoj fazi izvršeno je grubo brušenje s dubinom brušenja od 0,01 mm, sve do postizanja ravne površine. Nakon toga uslijedilo je završno brušenje uz smanjeni posmak i dubinu brušenja od 0,005 mm, s ciljem postizanja male hrapavosti površine.



*Slika 42: Brušenje baze škripca[osobne slike]*

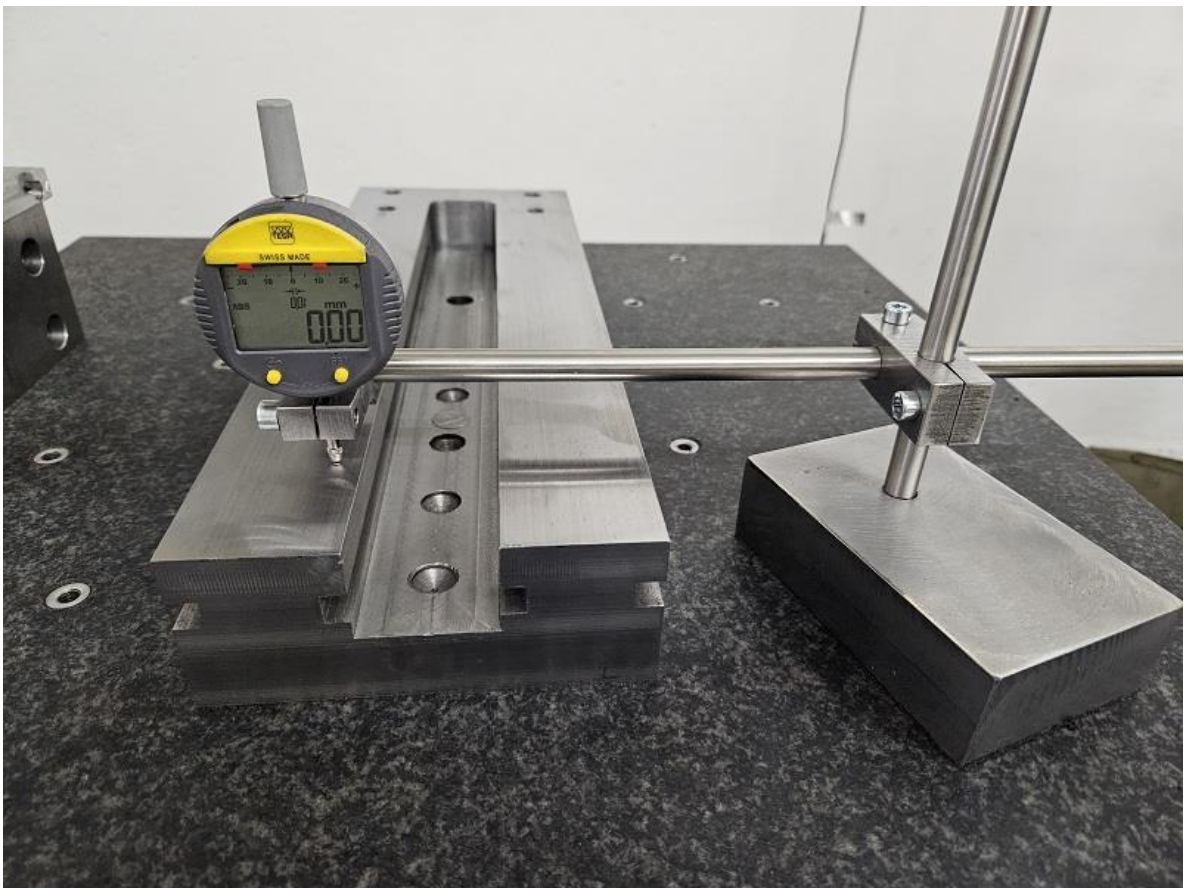


*Slika 43: Baza škripca nakon brušenja[osobne slike]*

## 6.8. Kontrola dimenzija nakon brušenja

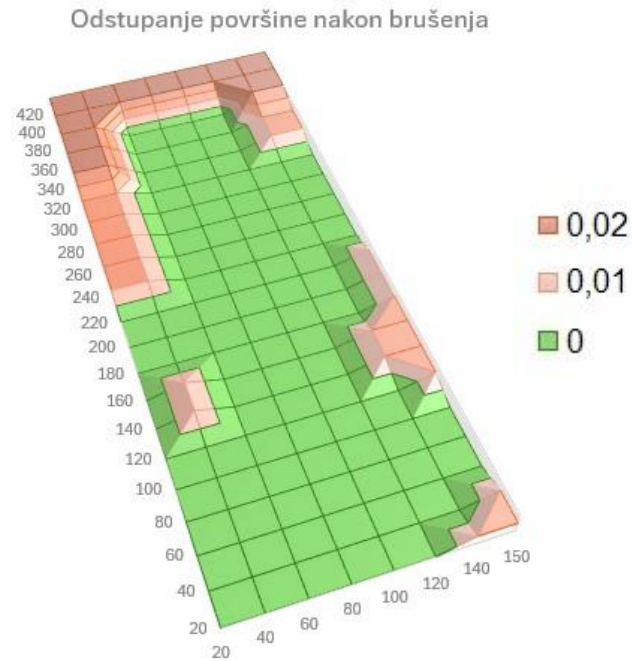
Mjerenje odstupanja površine nakon procesa brušenja izvedeno je korištenjem granitnog mjernog stola i komparatora s točnošću od 0,01 mm.

Površina je podijeljena u mrežu dimenzija 20 mm x 15 mm radi preciznog mjerenja odstupanja kao i u prijašnjem mjerenju. Svaka točka mreže predstavljala je referentnu poziciju za mjerenje odstupanja visine površine. Izmjerene vrijednosti ukazuju na odstupanje površine od 0,02 mm. Odstupanje od 0,02 mm unutar je prihvatljivih tolerancijskih vrijednosti i zadovoljava zahtjeve.



*Slika 44: Mjerenje brušene površine sa komparatorom[osobne slike]*

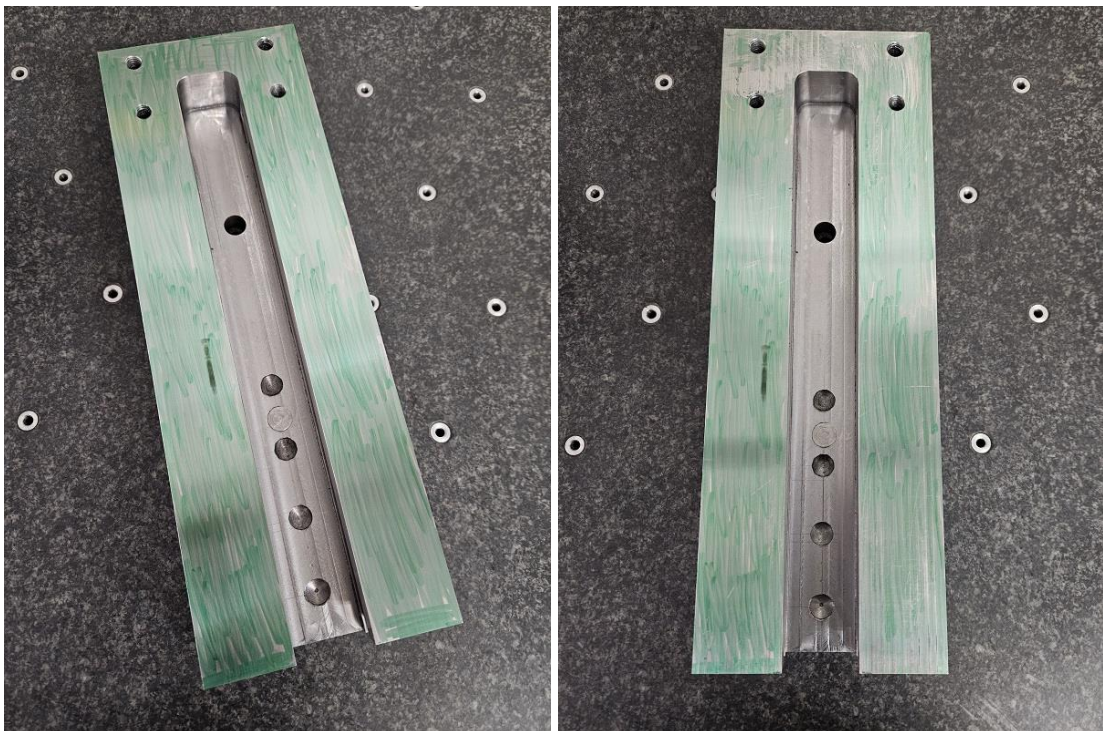




Slika 45: 3D prikaz izmjerenih vrijednosti[osobne slike]

### Vizualna kontrola ravnosti pomoću tinte

Na priloženoj slici 46 vidi se mjesto kontakta površina koja se poklapaju i sa prethodno obavljenim mjerenjima.



Slika 46: Vizualna kontrola površine nakon brušenja[osobne slike]



## 6.9. Mjerenje hrapavosti

Tijekom strojne obrade baze steznog uređaja, sve planski glodane površine obrađene su primjenom različitih brzina vrtnje vretena, dok je brzina posmaka ostala konstantna. Cilj ovog postupka bio je analizirati utjecaj promjene brzine vrtnje na hrapavost površine, kako bi se dobio uvid u odnos između parametara obrade i postignute kvalitete površinske obrade.

Mjerenje površinske hrapavosti odrađeno je u laboratoriju odjela za strojarstvo Sveučilišta Sjever sa uređajem AMETEK Taylor Hobson Surtronic S-100 Series.



*Slika 47: Mjerenje hrapavosti na bočnoj površini baze[osobne slike]*

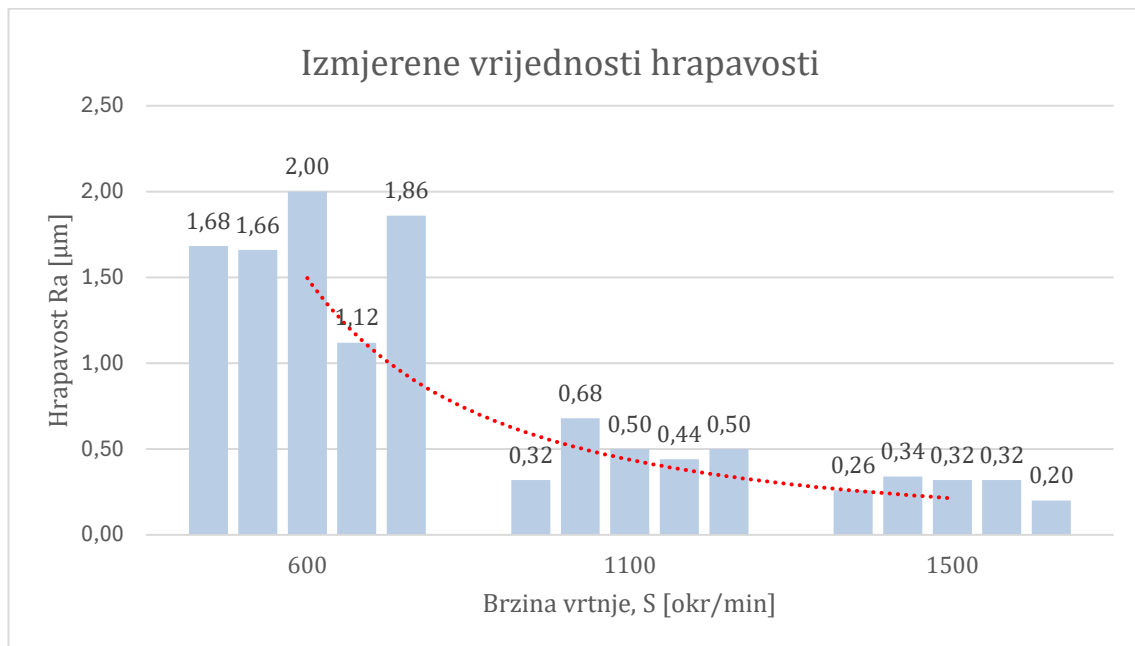
Provedena su mjerenja na tri različite strane baze, pri čemu je postupak mjerenja na svakoj strani ponovljen pet puta kako bi se povećala preciznost rezultata. Nakon prikupljanja podataka, izračunate su srednje vrijednosti za svaku stranu. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 9.

Tablica 9: Rezultati mjerenja površinske hrapavosti

S [okr/min]		600	1100	1500
f [mm/min]		200	200	200
Površina		1.	2.	3.
Mjerenje Ra [ $\mu\text{m}$ ]	1	1,68	0,32	0,26
	2	1,66	0,68	0,34
	3	2,00	0,50	0,32
	4	1,12	0,44	0,32
	5	1,86	0,50	0,20
Srednja vrijednost površine		<b>1,66</b>	<b>0,49</b>	<b>0,29</b>

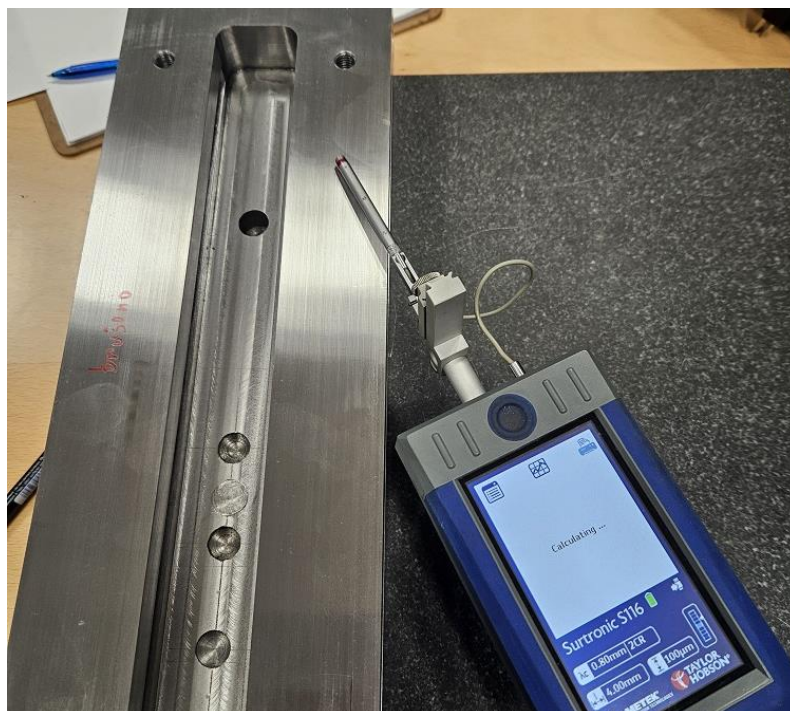
Raspon površinske hrapavosti za završno glodanje kreće se između 0,4 i 3,2  $\mu\text{m}$ , pri čemu su sve naše izmjerene vrijednosti unutar ovog raspona. Jedna od izmjerenih vrijednosti (0,29  $\mu\text{m}$ ) pokazuje čak i nižu hrapavost, koja je usporediva s rezultatima koji se dobivaju brušenjem. Međutim, ta vrijednost je postignuta pri parametrima brzine rezanja izvan preporučenih za glodanje, što nije poželjno zbog značajnog povećanja trošenja alata.

Na grafu prikazanom na slici 48 prikazane su sve izmjerene vrijednosti, čime je ilustrirana ovisnost površinske hrapavosti o brzini vrtnje vretena. Vidljivo je da se hrapavost površine smanjuje s povećanjem brzine vrtnje vretena



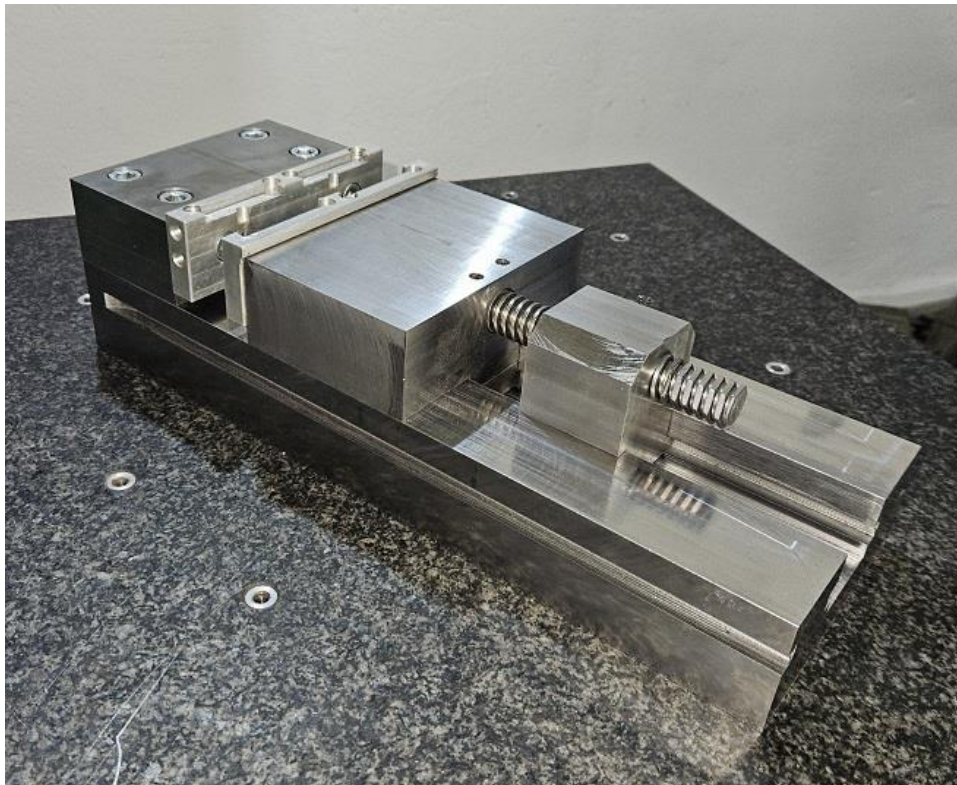
*Slika 48: Ovisnost brzine vrtnje vretena i hrapavosti površine[osobne slike]*

Također smo izvršili mjerenje hrapavosti na gornjoj kliznoj površini koja je obrađena brušenjem. Dobivena vrijednost iznosi  $0,63 \mu\text{m}$ , što se nalazi unutar raspona završnog brušenja, koji obuhvaća vrijednosti od  $0,2$  do  $1,6 \mu\text{m}$ .

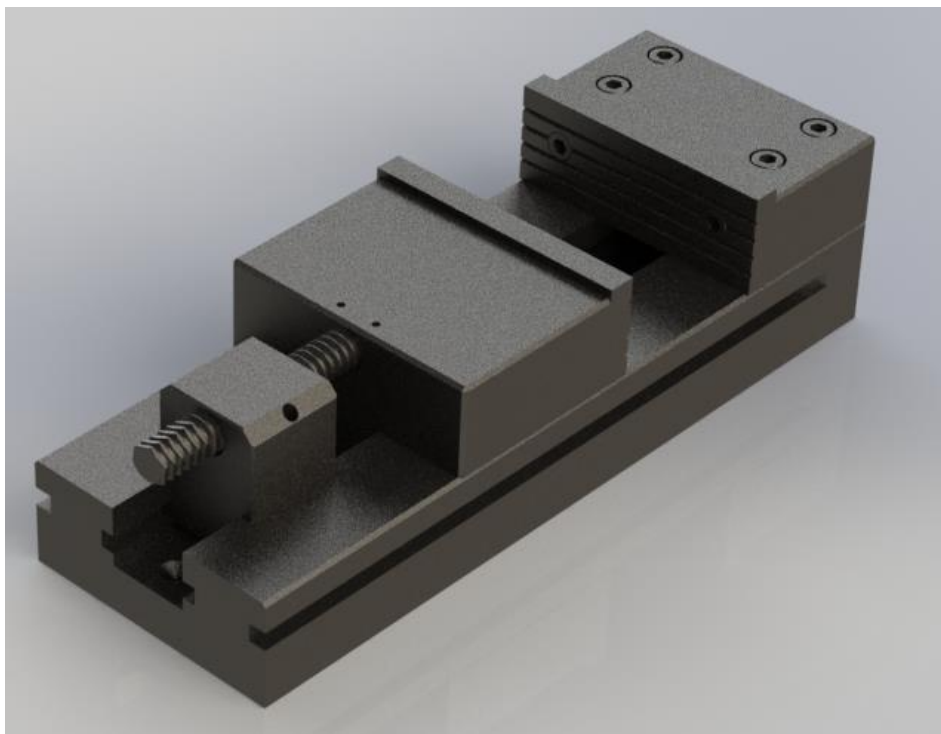


*Slika 49: Mjerenje površinske hrapavosti brušene površine[osobne slike]*

## 6.10. Završni izgled



*Slika 50: Strojni škripac [osobne slike]*



*Slika 51: Strojni škripac CAD prikaz [osobne slike]*

## 7. ZAKLJUČAK

Tijekom izrade ovog rada temeljito je utvrđena važnost cjelokupnog pristupa izradi preciznog strojnog škripca, počevši od početne faze konstrukcije, preko detaljnog planiranja strojeva, alata i procesa obrade, sve do završnih koraka kontrole kvalitete. Konstrukcija preciznog alata zahtijeva pažljivo razmatranje svakog aspekta dizajna kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i trajnost škripca. Proces planiranja uključuje odabir odgovarajućih strojeva, poput CNC glodalica, i alata za obradu, kao što su glodala i brusne ploče. Svaka komponenta u procesu izrade, od konstrukcije do završne obrade, mora biti pažljivo planirana kako bi se postigla maksimalna točnost i ponovljivost obrade.

Jedan od ključnih elemenata u postizanju visoke kvalitete strojne obrade je istraživanje parametara obrade, uključujući brzinu vrtnje, dubinu rezanja, vrstu alata, te posmak. Svaki od ovih parametara izravno utječe na kvalitetu obrađene površine i vijek trajanja alata, što čini njihovu optimizaciju nužnom za postizanje visoke produktivnosti i kvalitete. Također, planiranje stezanja obratka prije strojne obrade igra ključnu ulogu u osiguravanju stabilnosti i preciznosti obrade. Precizno postavljanje obratka u škripac osigurava ravnomjeran prijenos sila tijekom obrade, smanjujući rizik od deformacija ili pogrešaka u dimenzijama.

Tijekom strojne obrade potrebno je neprestano pratiti ključne pokazatelje kvalitete, kao što su zvukovi i vibracije alata, jer oni mogu ukazivati na nepravilnosti u postavkama obrade. Ako se prepoznaju problemi s vibracijama ili neujednačenim zvukovima, važno je prilagoditi parametre poput broja okretaja vretena i brzine posmaka kako bi se optimizirala kvaliteta obrade i spriječilo prekomjerno trošenje alata. Osim toga, izrada detaljne dokumentacije o parametrima obrade, uključujući brzine i posmake, važno je za buduće procese, jer omogućuje ponovljivost rezultata i učinkovitiju proizvodnju.

Jednako važan aspekt izrade preciznog škripca jest planiranje i provedba mjerenja. Ključni parametri, poput paralelnosti, hrapavosti i ravnosti, moraju biti pažljivo kontrolirani tijekom cijelog procesa. Korištenje preciznih mjernih instrumenata, kao što su komparatori i granitni stolovi, omogućuje identifikaciju odstupanja u vrlo ranim fazama, čime se smanjuje potreba za naknadnim korekcijama. Interpretacija mjernih podataka i njihovo pravilno razumijevanje ključno je za osiguravanje da gotov proizvod zadovoljava sve tehničke specifikacije.



Brušenje, kao završna faza obrade, zahtijeva posebnu pažnju. Parametri poput dubine rezanja, brzine posmaka i brzine vrtnje brusne ploče moraju biti optimalno podešeni kako bi se postigla željena kvaliteta površine. Pri brušenju materijal se često zagrijava, što može dovesti do termičkih deformacija, pa je potrebno osigurati odgovarajuće hlađenje i pažljivo kontrolirati temperature kako bi se izbjegla odstupanja kada se materijal ponovno ohladi. Precizno planiranje brušenja, uključujući kontrolu svih parametara, osigurava dosljednost u završnoj kvaliteti i pridonosi dugovječnosti škripca.

Rezultati ovog istraživanja jasno su pokazali da je brušenje i precizna obrada dodirnih kliznih površina, poput gornje baze škripca i donjeg dijela pomične čeljusti, ključno za postizanje visokih standarda točnosti i dugovječnosti škripca. Primjena pravilno podešenih parametara strojne obrade, kao što su brzina vrtnje, dubina rezanja i vrsta alata, osigurava kvalitetnu završnu obradu i optimalnu funkcionalnost alata. Pravilna kombinacija svih ovih faktora rezultira izradom škripca koji može zadovoljiti industrijske standarde.

Modularni dizajn škripca dodatno omogućuje prilagodbu specifičnim potrebama, čime se povećava njegova fleksibilnost u različitim proizvodnim okruženjima. Kontrola dimenzija, paralelnosti, hrapavosti i ravnosti kroz pažljivo planirane i provedene mjere omogućuje osiguranje visokih standarda kvalitete.

Zaključno, strojni škripci su neizostavan alat u industriji, gdje je preciznost ključna za uspješnost proizvodnih procesa. Dobro planiranje svih faza izrade, uključujući konstrukciju, strojnu obradu, mjerenje i kontrolu kvalitete, osigurava postizanje visokih standarda točnosti i ponovljivosti, što u konačnici pridonosi učinkovitosti i kvaliteti proizvodnog procesa. Ovaj rad pokazuje kako pravilna primjena tehnologije, precizno mjerenje i kontinuirano praćenje parametara obrade mogu rezultirati izradom kvalitetnog alata koji zadovoljava industrijske standarde.

---

## LITERATURA

- [1] Čelik C45  
URL:[https://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=152](https://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=152),  
dostupno 10.09.2024.
- [2] Grizelj, B.: Alati i naprave, Slavonski Brod, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2004.
- [3] Ekinović, S.: Obrada rezanjem, Zenica, Dom štampe, 2001.
- [4] Škorić, S.: Glodanje, Zagreb, 2016.  
URL: <https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/Glodanje%20ooc.pdf>, dostupno 10.09.2024.
- [5] Botak, Z.: Glodanje, Varaždin, 2010.  
URL: <https://moodle.vz.unin.hr/moodle/file.php/178/Predavanja/04-Glodanje.pdf>,  
dostupno 11.09.2024.
- [6] Glodanje  
URL: <https://www.scribd.com/doc/64821380/GLODANJE>, dostupno 10.09.2024.
- [7] Slade, I.: Obrada materijala II, Zagreb, 2018.
- [8] Osnove strojarskih konstrukcija  
URL: [https://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/design/2007/hrapavost\\_tehnickih\\_povrsina.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/design/2007/hrapavost_tehnickih_povrsina.pdf),  
dostupno 10.09.2024.
- [9] Herbert Škripci  
URL: <https://www.her-bert.com/en-US/>, dostupno 10.09.2024.
- [10] Whitehouse, D. J. Handbook of Surface and Nanometrology. CRC Press, 2010.
- [11] Thomas, T. R. Rough Surfaces. Imperial College Press, 1999.
- [12] Jiang, X. Q., & Whitehouse, D. J. Surface and Nanometrology: Principles and Applications. Springer, 2016.
- [13] Protusmjerno istosmjerno glodanje  
URL: <https://cnc.com.hr>, dostupno 10.09.2024.
- [14] Geometrijske specifikacije proizvoda (GSP) -- Tekstura površine: Metoda snimanja profila -- Nazivlje, definicije i parametri tekture površine (ISO 4287:1997+Cor 1:1998+Cor 2:2005; EN ISO 4287:1998+AC:2008)  
URL: <https://repositorij.hzn.hr/>, dostupno 10.09.2024.
- [15] Tomislav Filetin, Franjo, Kovačićek, Janez Indof: Svojstva i primjena materijala, Zagreb, 2011.

- [16] Sandvik Coromant  
URL: <https://www.sandvik.coromant.com/>, dostupno 10.09.2024.
- [17] Bušić, M. (2009). Motori za posmične pogone numerički upravljanih alatnih strojeva (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.



## **PRILOZI**

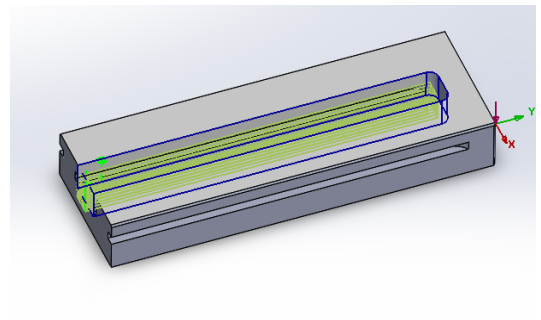
Kao prilog ovom radu prilaže se dio G koda i dio tehničke dokumentacije za izradu:

- prilog 1 - Dio G koda generiranog CAM programom
- prilog 2 - Sklopni nacrt i gabaritne dimenzije škripca
- prilog 3 – Strojni nacrt baze škripca

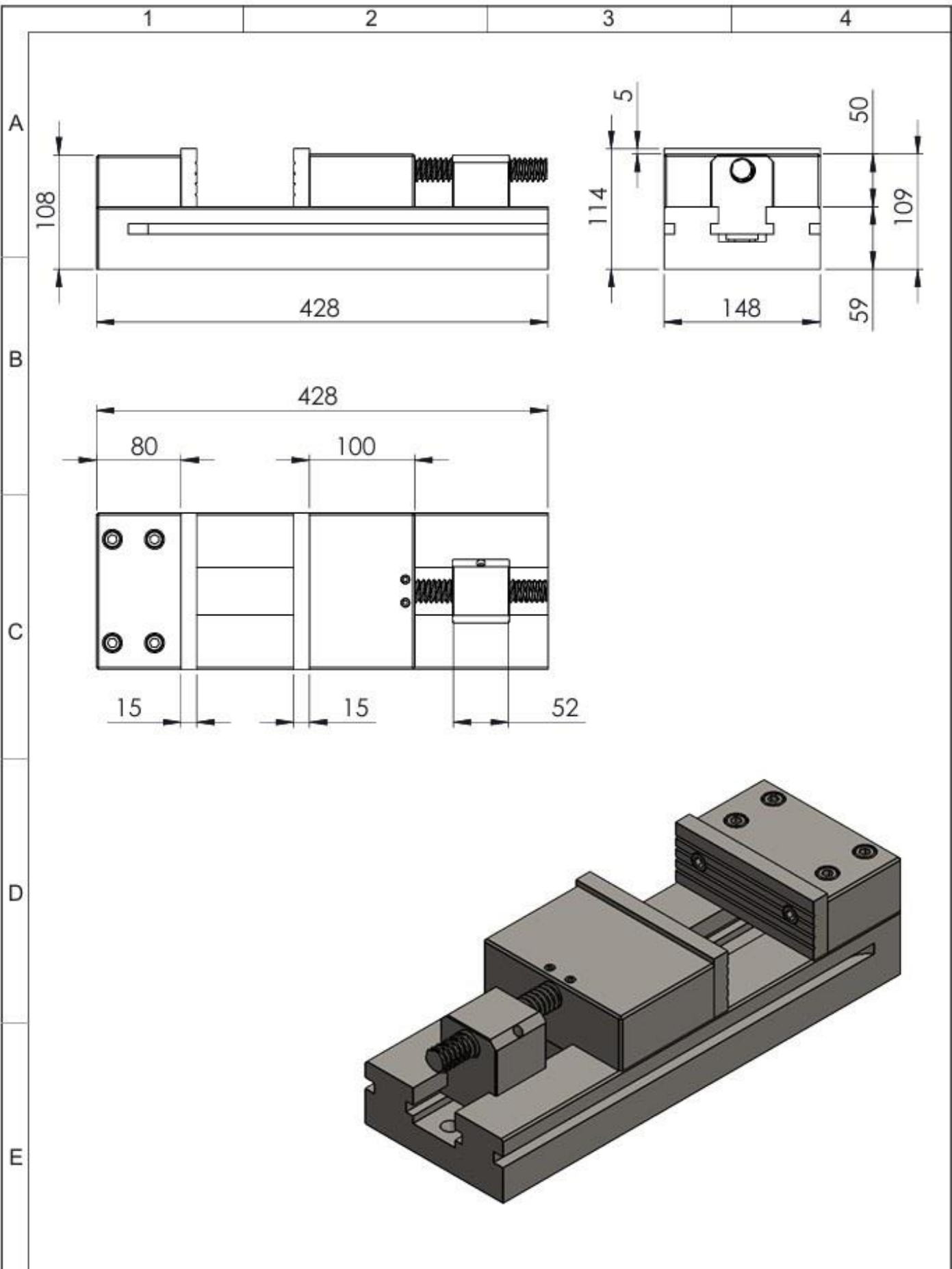
**O0001**  
**N1 G21**  
**N2 (20MM CRB 4FL 38 LOC)**  
**N3 G91 G28 X0 Y0 Z0**  
**N4 T02 M06**  
**N5 S1518 M03**  
  
**N6 ( Rough Mill2 )**  
**N7 G90 G54 G00 X-69 Y-412.01**  
**N8 G43 Z2.5 M08**  
**N9 G17 G01 Y-425 Z-5. F254.54**  
**N10 X-78.5 F509.081**  
**N11 Y-48.**  
**N12 X-69.5**  
**N13 Y-425.**  
**N14 X-61.5 Y-433.**  
**N15 X-86.5**  
**N16 Y-428.**  
**N17 Y-40.**  
**N18 X-61.5**  
**N19 Y-428.**  
**N20 Y-433.**  
**N21 G00 Z2.5**  
**N22 X-69.5 Y-412.587**  
**N23 Z-2.5**  
**N24 G01 Y-425. Z-9.66 F254.54**  
**N25 X-78.5 F509.081**  
**N26 Y-48.**  
**N27 X-69.5**  
**N28 Y-425.**  
**N29 X-61.5 Y-433.**  
**N30 X-86.5**  
**N31 Y-428.**  
**N32 Y-40.**  
**N33 X-61.5**  
**N34 Y-428.**  
**N35 Y-433.**  
**N36 G00 Z2.5**  
**N37 X-69.5 Y-412.587**  
**N38 Z-7.167**  
**N39 G01 Y-425. Z-14.3 F254.54**  
**N40 X-78.5 F509.081**  
**N41 Y-48.**  
**N42 X-69.5**  
**N43 Y-425.**  
**N44 X-61.5 Y-433.**  
**N45 X-86.5**  
**N46 Y-428.**  
**N47 Y-40.**  
**N48 X-61.5**  
**N49 Y-428.**

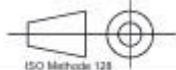
**N50 Y-433.**  
**N51 G00 Z2.5**  
**N52 X-69.5 Y-412.587**  
**N53 Z-11.833**  
**N54 G01 Y-425. Z-19. F254.541**  
**N55 X-78.5 F509.081**  
**N56 Y-48.**  
**N57 X-69.5**  
**N58 Y-425.**  
**N59 X-61.5 Y-433.**  
**N60 X-86.5**  
**N61 Y-428.**  
**N62 Y-40.**  
**N63 X-61.5**  
**N64 Y-428.**  
**N65 Y-433.**  
**N66 G00 Z2.5**  
**N67 X-69.5 Y-412.587**  
**N68 Z-16.5**  
**N69 G01 Y-425 Z-23.6 F254.541**  
**N70 X-78.5 F509.081**  
**N71 Y-48.**  
**N72 X-69.5**  
**N73 Y-425.**  
**N74 X-61.5 Y-433.**  
**N75 X-86.5**  
**N76 Y-428.**  
**N77 Y-40.**  
**N78 X-61.5**  
**N79 Y-428.**  
**N80 Y-433.**  
**N81 G00 Z2.5**  
**N82 X-69.5 Y-412.587**  
**N83 Z-21.167**  
**N84 G01 Y-425. Z-28.33 F254.5**  
**N85 X-78.5 F509.081**  
**N86 Y-48.**  
**N87 X-69.5**  
**N88 Y-425.**  
**N89 X-61.5 Y-433.**  
**N90 X-86.5**  
**N91 Y-428.**  
**N92 Y-40.**  
**N93 X-61.5**  
**N94 Y-428.**  
**N95 Y-433.**  
**N96 G00 Z2.5**  
**N97 X-69.5 Y-412.587**  
**N98 Z-25.833**  
**N99 G01 Y-425. Z-33. F254.541**  
**N100 X-78.5 F509.081**  
**N101 Y-48.**  
**N102 X-69.5**

**N103 Y-425.**  
**N104 X-61.5 Y-433.**  
**N105 X-86.5**  
**N106 Y-428.**  
**N107 Y-40.**  
**N108 X-61.5**  
**N109 Y-428.**  
**N110 Y-433.**  
**N111 G00 Z2.5**  
**N112 Z26. M09**  
**N113 G91 G28 Z0**  
**N114 G28 X0 Y0**  
**N115 M30**

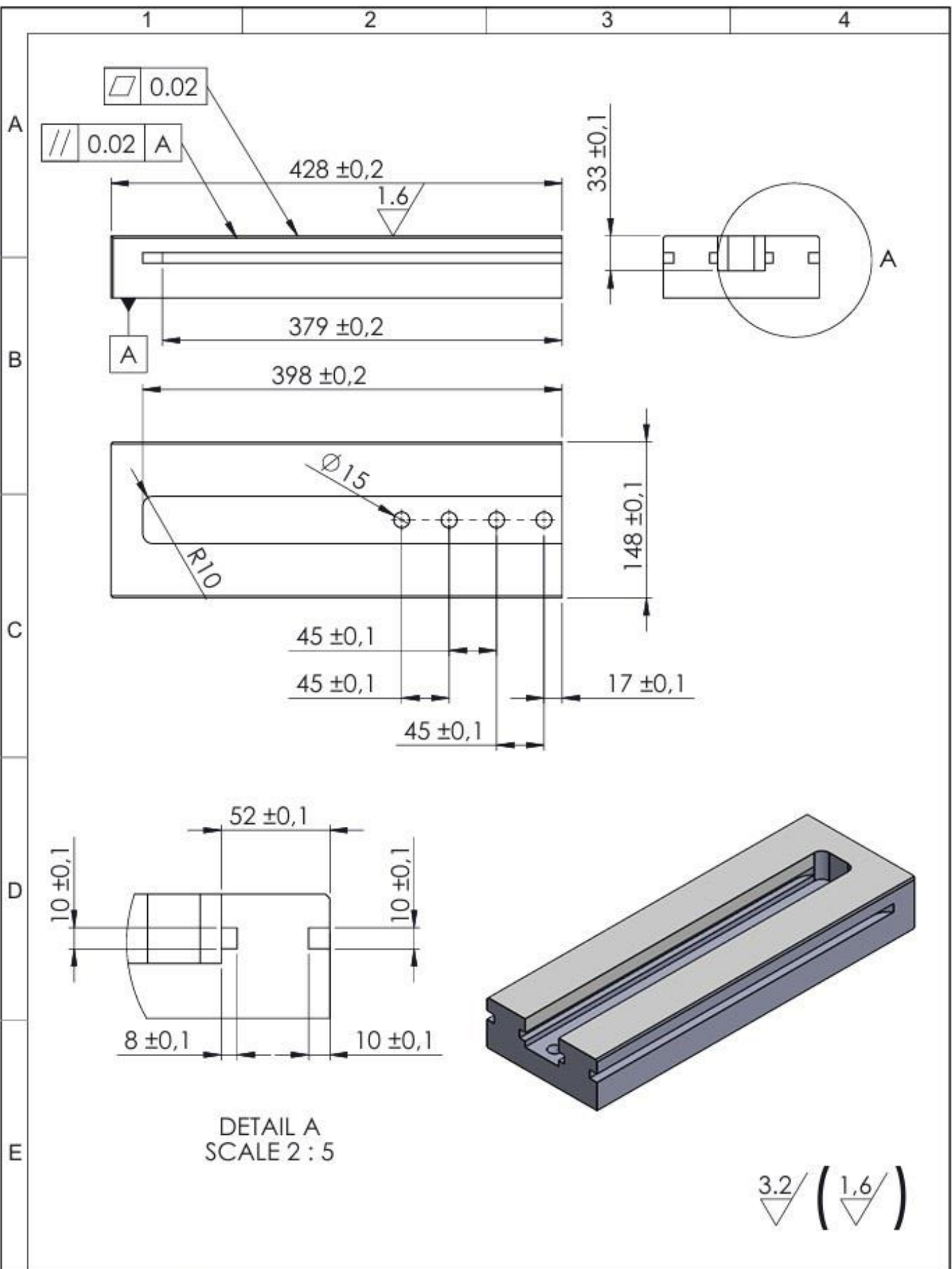



Kopiranje ovog dokumenta, izdavanje istog drugima te korištenje njegovog sadržaja izvan kruga tvrtke strogo su zabranjeni bez odgovarajućeg ovlaštenja



Kreirao - datum: Dominik Mužić 11.09.2024.	Razradio - datum:	Odobrio - datum:	Materijal:	
Naziv: <b>Strojni modularni škripac</b>			Masa: <b>5.1 Kg</b>	Mjerilo: <b>1:5</b>
Opis			Crtež broj: Index IC Datum: Format: List: <b>A4 1/2</b>	

Kopiranje ovog dokumenta, izdavanje istog drugima te korištenje njegovog sadržaja izvan kruga tvrtke strogo su zabranjeni bez odgovarajućeg ovlaštenja



Kreirao - datum: Dominik Mužić 11.09.2024.		Razradio - datum:		Odobrio - datum:		Materijal:		 ISO Method 128	
Naziv: <b>Strojni modularni škripac</b>				Masa:kg		Mjerilo: <b>1:5</b>			
				Crtež broj:					
Opis				Index IC Datum:		Format: <b>A4</b>		List: <b>2/2</b>	