

# Konstrukcija naprave za sublimacijski tisak na tipkala tipkovnica

---

**Bogdan, Dominik**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:786720>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**KONSTRUKCIJA NAPRAVE ZA SUBLIMACIJSKI TISAK NA  
TIPKALA TIPKOVNICA**

Rijeka, rujan 2024.

Dominik Bogdan

0069089771

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**KONSTRUKCIJA NAPRAVE ZA SUBLIMACIJSKI TISAK NA**  
**TIPKALA TIPKOVNICA**

Mentor: prof. dr. sc. Zoran Jurković

Komentor: univ. mag. ing. mech. Hana Vukotić

Rijeka, rujan 2024.

Dominik Bogdan

0069089771

Rijeka, 07.03.2024.

Zavod:                   Zavod za industrijsko inženjerstvo i menadžment  
Predmet:                Proizvodni strojevi, alati i naprave

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik:            **Domink Bogdan (0069089771)**  
Studij:                Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva (1010)

Zadatak:               **Konstrukcija naprave za sublimacijski tisak na tipkala tipkovnica / Designing  
a device for keycap dye-sublimation printing**

### Opis zadatka:

U radu potrebno je konstruirati 3D model naprave (donji dio, matrica i gornji dio) za sublimaciju tiska na površinu tipkala ergonomske tipkovnice. Također potrebno je razraditi tehničku dokumentaciju za izradu navedenih dijelova naprave. Primjeniti dostupno CAM rješenje za simulaciju strojne obrade na odgovarajućem alatnom stroju. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu, druge izvore informacija (internet, katalozi), kao i eventualno dobivenu pomoć. Završni rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanja diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku:    20.03.2024.

Mentor:  
prof. dr. sc. Zoran Jurković

Komentor:  
Hana Vukotić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:  
izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## IZJAVA

Ovim putem izjavljujem da sam kompletno samostalno napisao završni rad „Konstrukcija naprave za sublimacijski tisak na tipkala tipkovnica“. Tijekom izrade završnog rada koristio sam stečeno znanje iz kolegija „Proizvodni strojevi, alati i naprave“ te literaturu koja je navedena na kraju pismenog dijela završnog rada.

Dominik Bogdan

U Rijeci, rujan 2024.

---

## ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Zoranu Jurkoviću i komentorici univ. mag. ing. mech. Hani Vukotić na ustupljenom vremenu, materijalima i savjetima koji su mi pomogli pri realizaciji završnog rada.

Zahvaljujem se i firmi ELCON GERAETEBAU d.o.o., gospodinu Tadiji Šimiću, a posebno gospodinu Jasminu Spahiću, koji se pobrinuo da se sama izrada završnog rada realizira besprijekorno.

Također, zahvaljujem se prijatelju Matiji Golubu, koji je predložio ideju završnog rada i pomogao pri finalnoj montaži i testiranju naprave.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	8
2. OPIS ZADATKA.....	9
3. SUBLIMACIJSKI TISAK.....	10
4. IDEJA I RAZVOJ NAPRAVE .....	11
4.1. Ideja – potreba za boljim rješenjem .....	11
4.2. Razvoj nove naprave za sublimacijski tisak.....	13
5. KONSTRUIRANJE NAPRAVE .....	19
5.1. Sastavni dijelovi naprave .....	19
5.2. 3D modeliranje glavnih dijelova naprave – CAD.....	21
5.2.1. Pozicija 1 - Donji dio naprave.....	22
5.2.2. Pozicija 2 – Poklopac naprave .....	24
5.2.3. Pozicija 3 – Matrica.....	24
5.2.4. Pozicija 4 – Nosač poklopca tipkala tipkovnice.....	25
5.3. 3D model finalnog sklopa naprave – CAD .....	26
5.4. Odabir materijala O-ring brtve .....	27
5.5. Princip rada naprave.....	28
6. STROJNA OBRADA - CAM.....	30
6.1. Razrada tehnologije postupka izrade pozicija po operacijama – Mastercam 2024.....	32
6.1.1. Pozicija 1 – Donji dio naprave .....	32
6.1.2. Pozicija 2 – Poklopac naprave .....	47
6.1.3. Pozicija 3 – Matrica.....	54
6.2. Kratki osvrt na korištene alate.....	59
7. IZRADA POZICIJA NAPRAVE NA STROJU .....	60
7.1. Prikaz tijeka izrade pozicija na stroju .....	62
8. ZAVRŠNA MONTAŽA NAPRAVE.....	71

9. KONAČNI PROIZVOD .....	77
10. ZAKLJUČAK .....	78
LITERATURA.....	79
POPIS SLIKA .....	80
POPIS TABLICA .....	83
SAŽETAK .....	84
SUMMARY .....	85
POPIS PRILOGA .....	86



## 1. UVOD

U suvremenoj proizvodnji tipkovnica, kvalitetan i efikasan tisak tipkala predstavlja ključni aspekt postizanja konkurentnosti na tržištu. Tipkala, kao osnovni elementi tipkovnica, zahtijevaju precizan i trajni tisak koji osigurava dugotrajnost i otpornost na habanje.

Sublimacijski tisak, kao metoda koja omogućuje visoku rezoluciju i trajnost tiska, pokazuje se kao idealno rješenje za ovu primjenu. Međutim, klasične metode sublimacijskog tiska često su sporije i manje efikasne, što predstavlja izazov za masovnu proizvodnju.

Cilj završnog rada je konstrukcija i implementacija naprave izrađene pomoću CNC glodalice, koja će značajno ubrzati proces sublimacijskog tiska na tipkala tipkovnica. Kroz istraživanje i razvoj ove naprave, ideja je bila smanjiti vrijeme ciklusa tiska te povećati ukupnu produktivnost. Uvođenjem ove naprave u proizvodni proces, očekujemo značajno poboljšanje efikasnosti i smanjenje troškova, čime se otvara mogućnost za postizanje bolje konkurentnosti na globalnom tržištu.

## 2. OPIS ZADATKA

U daljnjem tekstu završnog rada detaljno će biti objašnjen postupak izrade naprave za sublimacijski tisak. U konkretnom slučaju radi se o napravi za sublimacijski tisak na tipkala tipkovnica.

Potrebno je konstruirati i izraditi funkcionalnu napravu koja će omogućiti sublimacijski tisak na površinu plastičnih poklopaca tipkala tipkovnica. Uvjetovano je da naprava bude veličine A4 formata papira, jer se u nju umeće film folija A4 formata. Detaljan opis dijelova i samog postupka sublimacijskog tiska biti će objašnjen u sljedećim poglavljima.

Konstruiranje i 3D modeliranje naprave izvedeno je pomoću CAD (*engl. Computer-Aided Design*) softvera, Autodesk Fusion 360. Za izradu radioničkih i sklopnog crteža korišteni su alati Fusion 360 te AutoCAD. CAM strojna obrada (*engl. Computer-Aided Manufacturing*) simulirana je pomoću softvera Mastercam 2024.

Sama izrada finalnog proizvoda realizirana je upotrebom CNC (*engl. Computer Numerical Control*) glodalice u vlasništvu firme ELCON d.o.o. Finalna naprava koristiti će se u privatne svrhe, pri proizvodnji ergonomskih tipkovnica, rađenih po narudžbi. Prikaz jednog tipa ergonomske tipkovnice nalazi se na slici 2.1.



*Slika 2.1. Prikaz ergonomske tipkovnice [1]*

### 3. SUBLIMACIJSKI TISAK

Sublimacijski tisak je proces tiska koji koristi toplinu za prijenos tinte na tkanine ili druge materijale. Postupak zagrijavanja boje ili tinte omogućava da se boja pod utjecajem topline, pretvara iz čvrstog stanja direktno u plinovito, bez prolaska kroz tekuću fazu. Plinovita boja tada prodire u površinski sloj materijala (u našem slučaju plastični poklopac tipkala), stvarajući trajni i izdržljivi otisak koji je otporan na habanje i blijeđenje.

Najprikladniji materijali za primjenu sublimacijskog tiska su polimeri. Njihova površina omekšava zagrijavanjem, pa je samim time znatno kvalitetnija difuzija ili prijenos boje. U našem slučaju, boja se na obrađivanu površinu nanosi pomoću poliesterske film folije, na koju je slika već prethodno otisnuta zrcalno.

Postoje dva tipa prijenosa boje na obrađivanu površinu. Direktni prijenos i prijenos pomoću medija. Direktni prijenos vrši se pomoću industrijskog pisača, a pogodan je za tekstil. Prijenos pomoću medija podrazumijeva tisak koji najčešće koristi poliestersku film foliju kao medij. Film folija omogućuje prijenos boje na obrađivanu površinu uz pritisak i povišenu temperaturu. Prijenos pomoću medija je prikladan za tisak na manje proizvode.

#### Prednosti sublimacijskog tiska:

- permanentan i kvalitetan otisak
- serijski moguće tiskati velikim brzinama
- u industrijskim uvjetima moguće su brzine tiskanja do 220 m<sup>2</sup>/h
- moguće tiskanje na više obrađivanih površina istovremeno
- prikladan je širok spektar materijala korištenih kao medij za prijenos boje

#### Nedostaci sublimacijskog tiska:

- u industrijskim uvjetima postrojenja za tisak zauzimaju relativno puno prostora
- industrijski pisači (*engl. Industrial printers*) se prodaju od 20 000 €, pa nadalje
- ako se radi o prijenosu pomoću medija potrebna je dodatna oprema (grijači, medij, itd.)
- proces se sastoji od nekoliko uzastopnih koraka

## 4. IDEJA I RAZVOJ NAPRAVE

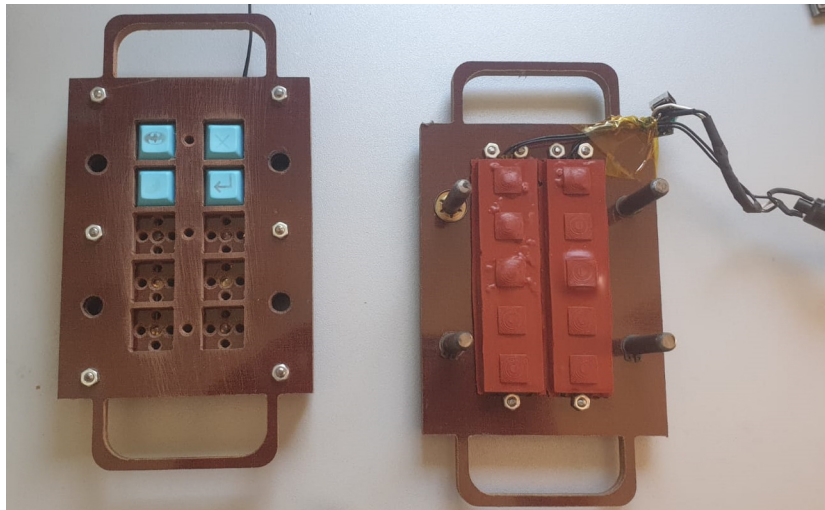
U sljedećim potpoglavljima biti će prikazan izgled prvobitne naprave koja se koristila za potrebe sublimacijskog tiska. Korištena naprava nije zadovoljavala razinom postignute kvalitete tiska, pa se iskazala potreba za boljim rješenjem. Novo rješenje je naprava koja će se izraditi od aluminijeve legure, korištenjem CAM tehnologije. Biti će opisani svi početni uvjeti koji su odredili gabarite i karakteristike nove naprave, a samim time i potrebne komponente koje omogućuju funkcionalnost naprave.

### 4.1. Ideja – potreba za boljim rješenjem

Sama ideja teme završnog rada proizašla je iz već postojeće improvizirane naprave kojom se vršio sublimacijski tisak. Prvobitno korištena naprava bila je izrađena od drva, pomoću kućne CNC glodalice. Na slikama 4.1. i 4.2. prikazan je izgled prvobitne naprave koja se koristila u svrhe sublimacijskog tiska.

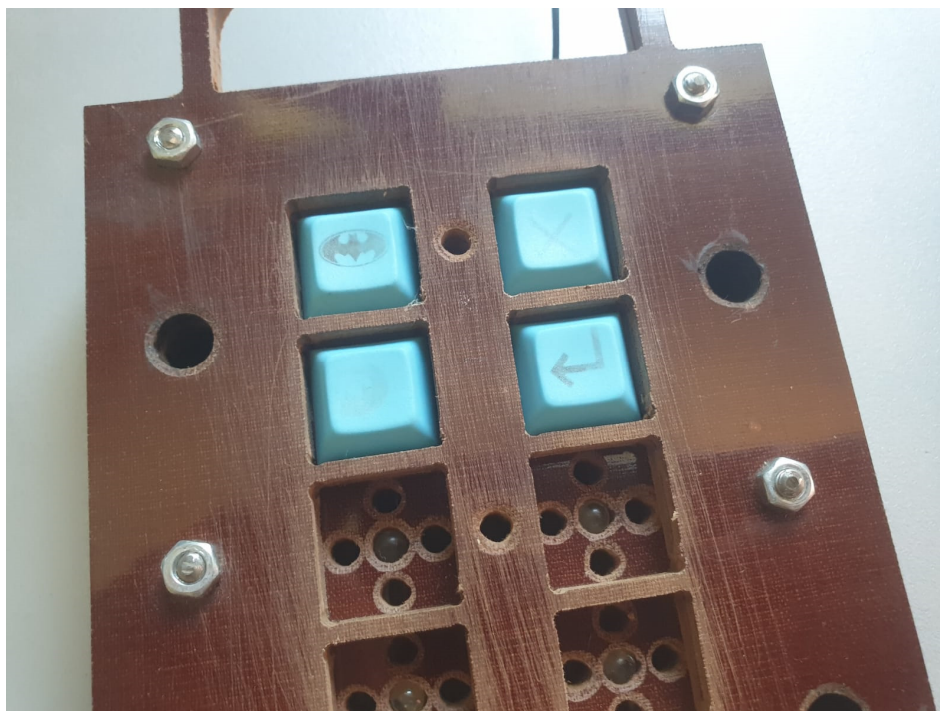


*Slika 4.1.1. Prvobitno korištena naprava za sublimacijski tisak - izvana*



*Slika 4.1.2. Prvobitno korištena naprava za sublimacijski tisak – iznutra*

Prvobitna naprava imala je kapacitet od svega deset tipki po ciklusu, a pritisak je trebalo vršiti vlastitom ručnom silom. Glavni nedostatak bila je sama konstrukcija naprave, koja je uzrokovala prevelike gubitke u toplini. Posljedica velikih gubitaka topline pri procesu sublimacijskog tiska je nepotpuni i nekvalitetni tisak. Izgled postignutog otiska korištenjem prvobitne naprave prikazan je na slici 4.1.3.



*Slika 4.1.3. Prikaz nekvalitetnog otiska*

Temperatura pri kojoj se vrši sublimacijski tisak može varirati, a ovisna je o vremenu pritiska film folije na površinu na koju se tisak vrši. Pri temperaturi od 205-230 °C potrebno vrijeme pritiska film folije iznosi 2-4 minute.

#### **4.2. Razvoj nove naprave za sublimacijski tisak**

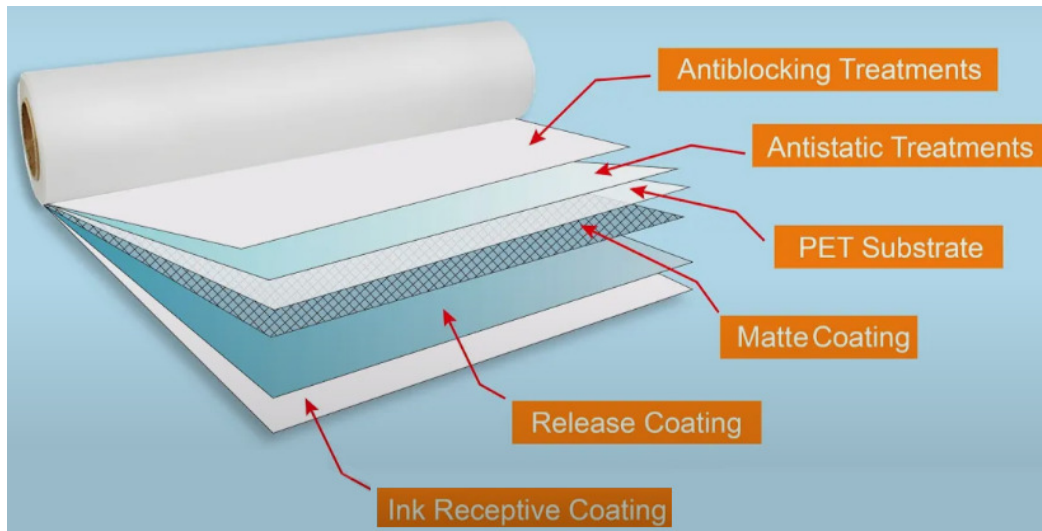
Kako je već ranije rečeno, prethodno korištena naprava imala je kapacitet od svega deset tipki po ciklusu. Nova naprava će imati veći kapacitet tipki po ciklusu tiskanja od prethodno korištene. Sam kapacitet će se moći odrediti tek kada se odrede gabariti ostalih segmenata nove naprave. Povećanje kapaciteta tipki po ciklusu tiska rezultirati će smanjivanjem vremena potrebnog za proizvodnju, a samim time povećati će se ukupna produktivnost finalnog proizvoda.

Kao medij sublimacijskog tiska, koristiti će se specijalna film folija koja podnosi visoke temperature. Film folija proizvedena je od strane proizvođača Sublistar, koji je vodeći proizvođač opreme za široku primjenu u tiskarskoj industriji. Navedenu foliju moguće je nabaviti u raznim veličinama, a najjeftinija varijanta je veličine A4 formata papira. Jedan komad A4 formata film folije moguće je naručiti po cijeni od 1,5 €.

Neke od karakteristika Sublistar-ove film folije su sljedeće:

- glatka i čista površina,
- otporna na visoke temperature,
- debljina folije od 90 µm,
- pogodno za pigment-boju,
- otporna je na ogrebotine,
- ne blijedi,
- moguće pranje vodom,
- nema elektriciteta,
- snažna sposobnost apsorpcije bojila,
- izvrsna fizička i mehanička svojstva (moguće rastezanje),
- slabo skupljanje pri zagrijavanju,
- dobro otpuštanje bojila.

Na slici 4.2.1. prikazana je struktura prethodno spomenute folije, a preuzeta je sa stranice proizvođača.

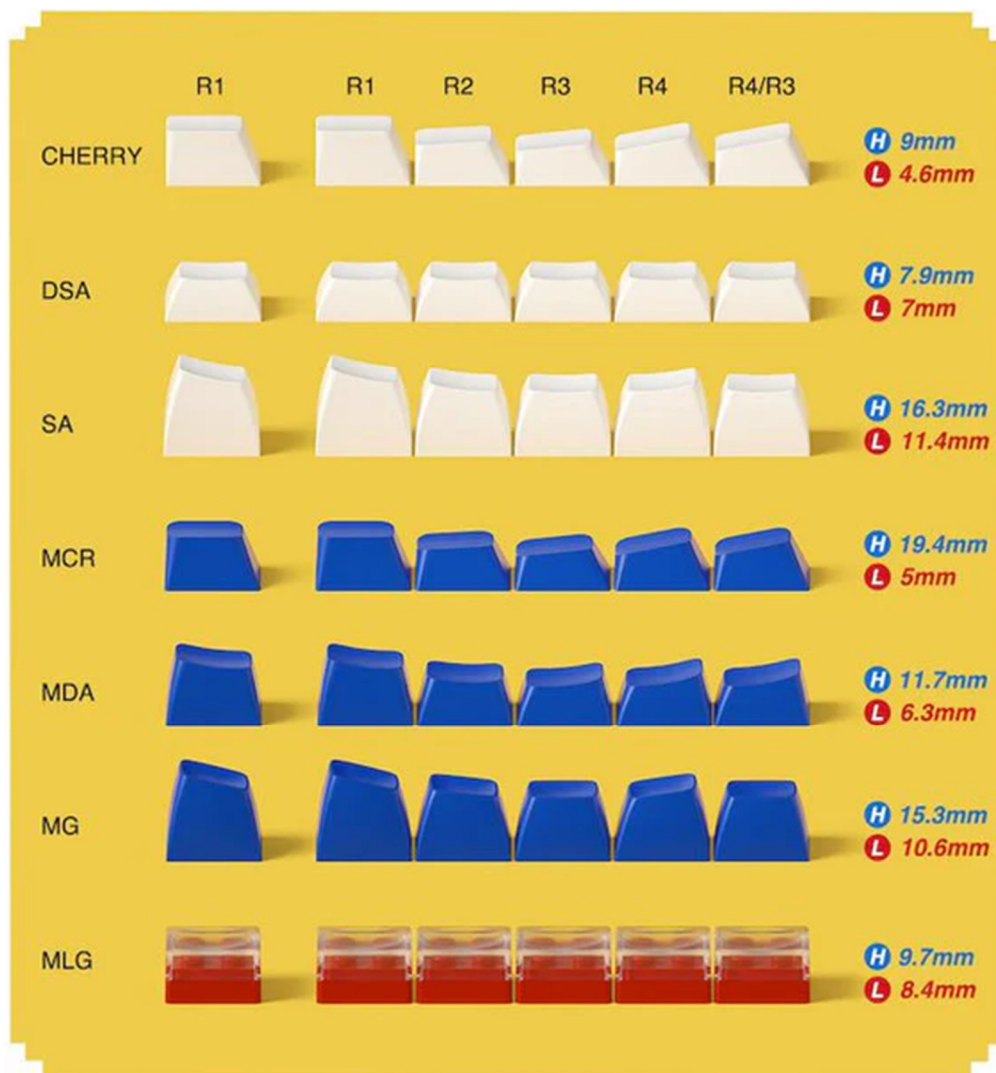


*Slika 4.2.1. Prikaz strukture film folije proizvođača Sublistar [2]*

Kako je prethodno definirano, koristiti će se film folija A4 formata iz razloga što se pokazala kao najisplativije rješenje. Veličina film folije je ulazni podatak, tj. početni uvjet s kojim je moguće odrediti okvirne gabarite ili dimenzije naprave. Minimalni teoretski gabariti (tlocrt) naprave trebali bi biti nešto veći od formata A4 papira (210 x 297 mm). Gabariti konačne naprave također ovise i o položaju i veličini drugih elemenata od kojih se naprava sastoji.

Da bismo izbjegli korištenje vlastite ručne sile za postizanje potrebnog pritiska film folije na površinu poklopca tipkala, koristiti će se vanjska vakuum-pumpa. Sama naprava funkcionirati će na principu stvaranja vakuuma između film folije i poklopca tipkala na koji se tisak vrši. Za postizanje vakuuma potrebno je voditi računa o načinu brtvljenja. Brtva treba biti izrađena od materijala koji podnosi temperature u rangu od 20 – 230 °C. Odabir brtvenog materijala i tipa same brtve biti će detaljnije objašnjen u daljnjim poglavljima. Za priključivanje naprave na vakuum pumpu koristiti će se pneumatski „samozakačivi“ priključak, cijevnog navoja G1/2. U napravi će se umetati „ženski“ dio priključka koji je namijenjen za pneumatsko crijevo promjera D12. Bitno je odrediti poziciju samog priključka kako bi se pritisak film folije ostvaren vakuumom čim ravnomjernije rasporedio po cijeloj površini folije. Određivanje pozicije priključka za zrak će također biti opisano u daljnjim poglavljima.

Za postizanje jednake kvalitete otiska na svakom pojedinom poklopcu tipkala potrebno je osigurati da svi poklopci tipkala budu na istoj visini. Svi poklopci tipkala biti će istog tipa i dimenzija. Poklopci tipkala su standardni dijelovi. Tržište nudi širok izbor različitih tipova poklopaca tipkala, a najkorišteniji su tzv. DSA, MDA i Cherry tip. Na slici 4.2.2. prikazani su najpoznatiji tipovi poklopaca tipkala tipkovnica. Na desnoj strani slike prikazane su pripadne vrijednosti visine ( $H$ ) i duljine ( $L$ ) svakog pojedinog tipa poklopca tipkala.

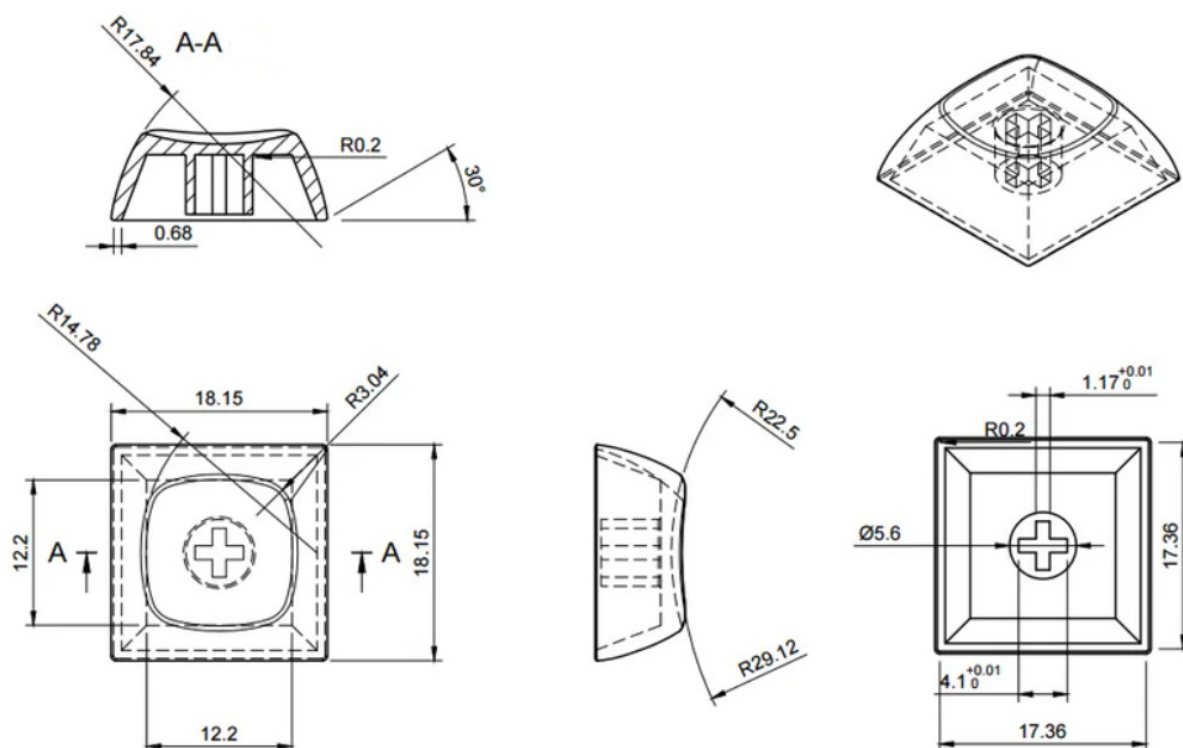


Slika 4.2.2. Prikaz najpoznatijih tipova poklopaca tipkala [3]

U našem slučaju koristiti će se DSA tip poklopca tipkala. Gornja površina DSA poklopca tipkala je najmanje izobličena, pa je cijela situacija s pritiskom film folije znatno jednostavnija. MLG tip djeluje kao naizgled prihvatljiv, no gornja površina izrađena je od mekanog silikona.



Na slici 4.2.3. prikazane su dimenzije DSA tipa poklopca tipkala.



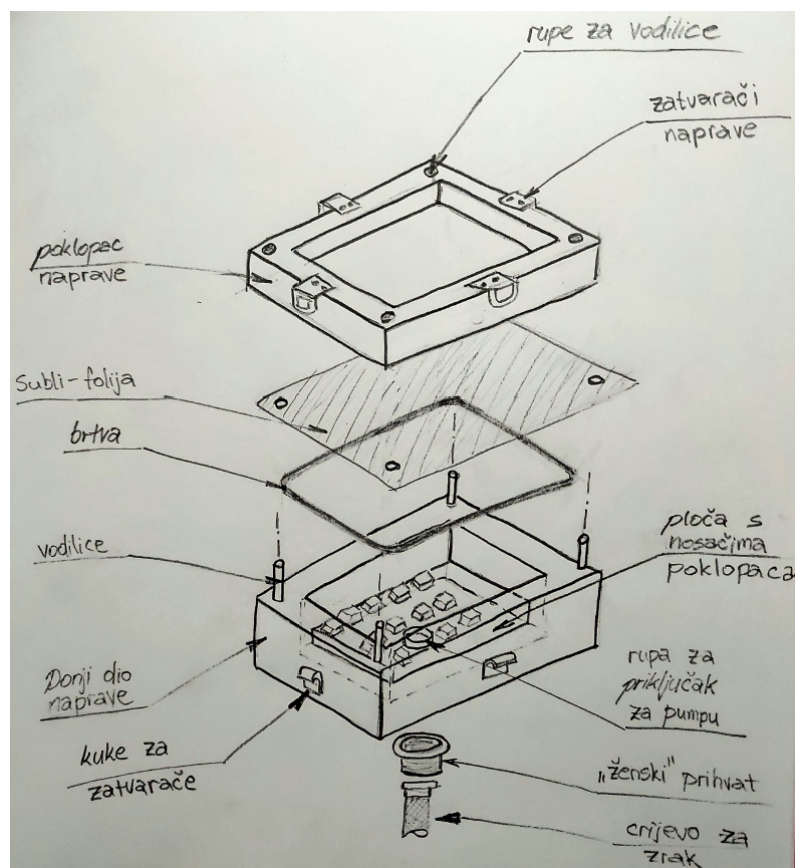
Slika 4.2.3. Prikaz dimenzija DSA poklopca tipkala

Nakon odabira preferiranog tipa poklopca tipkala potrebno je osmisliti način prihvata, tj. njegov nosač. Za uspješne rezultate tiska bitno je da poklopac tipkala na koji se vrši tisak bude nepomičan. Poklopci tipkala umetati će se na za njih predviđene nosače, koji će omogućiti da poklopci uvijek „sjednu“ na točnu visinu i da bude onemogućena njihova rotacija pri istiskivanju zraka iz naprave. Detaljniji opis dizajniranja nosača za poklopce tipkala (*engl. key holders*) biti će objašnjen u poglavlju 6. Nosači poklopaca tipkala trebaju biti konstruirani na način da imaju mogućnost zamjenjivosti. U slučaju da se želi tiskati na neki drugi tip poklopca tipkala, trebalo bi konstruirati novi nosač za pripadajući tip.

Pri dizajniranju nove naprave nastoji se ostvariti maksimalni mogući kapacitet po ciklusu tiska, pritom uzimajući u obzir uvjet A4 formata film folije. Zbog većeg broja poklopaca tipkala, a samim time i njihovih nosača, potrebno je dizajnirati ploču na koju će se nosači moći fiksirati pod uvjetom da budu rastavljivi. Za postizanje rastavljivog spoja koristiti će se vijčani spoj. Ploču bi drugim riječima bilo moguće opisati kao „matricu“ koja omogućava da sa svakim skidanjem

nosača poklopaca i njihovim ponovnim fiksiranjem na ploču postignemo njihovu točnu poziciju na kojoj se trebaju nalaziti.

Sublimacijska film folija se također mora nalaziti na istoj poziciji pri svakom novom ciklusu tiska. Drugim riječima, treba voditi računa da se onemogući njeno „iskakanje“ iz točne pozicije. Za točno pozicioniranje folije u napravu će se implementirati metalne šipke koje će imati ulogu vodicica. Vodicice će biti pričvršćene za donji dio naprave i prolaziti će kroz cijelu visinu naprave, uključujući poklopac naprave i film foliju. Sublimacijska folija će u sebi imati već unaprijed pripremljene rupe kroz koje će se umetati na vodicice. Sa idejne skice prikazane na slici 4.2.4. moguće je vidjeti princip točnog pozicioniranja sublimacijske film folije pomoću vodicica.



Slika 4.2.4. Idejna skica nove naprave za sublimacijski tisak

Za potrebe vakuuma konstruirati će se poklopac naprave. Funkcija poklopca je da pritisne sublimacijsku foliju na brtvu. Samim time je omogućeno istiskivanje zraka u slobodnom prostoru između sublimacijske folije i dna donjeg djela naprave na kojem će se nalaziti pneumatski

priključak za odvod zraka. Na poklopac treba integrirati tzv. zatvarače stranica, čija je zadaća osigurati da poklopac vrši pritisak na cijelu dužinu brtve. Vrsta i tip zatvarača stranice je u početnoj fazi nepoznata te će se razrađivati u kasnijim poglavljima.

Pri konstrukciji glavnih dijelova naprave vrlo je bitno da se vodi računa o smjeru strujanju zraka prilikom njegovog istiskivanja pumpom. Zrak će prolaziti kroz kanale koji će biti integrirani unutar samih glavnih dijelova naprave.

Zaključno sa prethodno navedenim, naprava će se izraditi od četiri glavna dijela. Donji dio naprave, poklopac naprave, matrica na koju se montiraju nosači poklopaca tipkala i sami nosači poklopaca tipkala. Osim nosača poklopaca tipkala, svi glavni dijelovi naprave izrađivati će se iz aluminijske legure, korištenjem postupka CNC glodanja. Aluminijski i njegove legure lako su obradivi, imaju dobru toplinsku vodljivost i masa im je relativno mala. Samim time, aluminijska legura pokazala se kao najprikladniji materijal za izradu finalne naprave. Sirovi materijal biti će u obliku lima, a njegove karakteristike će biti detaljnije opisane u potpoglavlju 7.2. Nosači poklopaca tipkala biti će izrađeni pomoću 3D Resin pisača. Resin pisači koriste plastiku koja je otporna na temperature i do 238 °C [5]. Ostali dijelovi naprave se ne proizvode, nego se kupuju kao standardni dijelovi. Postizanje temperature potrebne za tisak biti će riješeno „vanjskim“ putem. Nakon izrade naprave obuhvaćene ovim završnim radom konstruirati će se grijana komora u koju će se naprava umetati. Rad neće obuhvatiti konstrukciju grijane komore zbog svoje kompleksnosti i vremenskog ograničenja.

## 5. KONSTRUIRANJE NAPRAVE

U sljedećim potpoglavljima opisivati će se proces konstruiranja naprave s posebnim naglaskom na njezine glavne dijelove. U početku će biti definirani svi sastavni dijelovi naprave, uz popratna objašnjenja njihovih funkcija. Nakon definicije svih sastavnih dijelova naprave slijedi 3D modeliranje glavnih dijelova. Svaki od glavnih dijelova biti će prikazan zasebno kako bi se istaknuli njegovi tehnički i funkcionalni aspekti. Na samom kraju poglavlja prikazati će se 3D model finalnog sklopa naprave. U svrhe 3D modeliranja korišten je CAD/CAM softver Autodesk Fusion 360.

### 5.1. Sastavni dijelovi naprave

Cjelokupna naprava sastoji se od 8 pozicija, ne uključujući zatvarače stranica. Pozicije su navedene redom, uz kratki opis njihovih zadaća:

- Pozicija 1 – Donji dio naprave
  - Donji dio je baza cijele naprave i služi kao osnovna struktura na kojoj se nalaze svi ostali dijelovi. Također, donji dio naprave omogućuje spajanje na vakuumsku pumpu kojom se postiže potreban vakuum unutar prostora u kojem se obavlja sublimacija.
  
- Pozicija 2 – Poklopac naprave
  - Glavna zadaća poklopca je da pritisne sublimacijsku foliju na brtvu i da održava stabilnost sustava. Pritisak na film foliju vršiti će se pomoću zatvarača stranica.

- Pozicija 3 – Matrica
  - Matrica je drugi naziv za ploču koja u sebi ima navojne rupe predviđene za fiksaciju nosača poklopca tipkala. Uz navojne rupe, također ima i prolazne rupe kroz koje struji zrak prema izlazu iz naprave (u vakuum-pumpu).
  
- Pozicija 4 – Nosač poklopca tipkala tipkovnice
  - Nosači poklopca tipkala osiguravaju stabilno i točno pozicioniranje poklopca tipkala tijekom procesa tiska. Dizajnirani su prema obliku unutrašnjosti DSA poklopca tipkala. Nosač ima bočne kanale koji omogućavaju pravilno prijanjanje i obavijanje sublimacijske film folije oko poklopca. Zrak se kroz navedene kanale usmjerava prema izlazu iz naprave u vakuum-pumpu.
  
- Pozicija 5 – O-ring traka 3 mm
  - Za potrebe brtvljenja koristi se O-ring traka. Zadaća brtve je osiguranje nepropusnosti u vakuuomskom prostoru. Vakuuomski prostor podrazumijeva prostor između sublimacijske film folije i dna unutrašnjosti donjeg dijela naprave. Odabir brtve detaljnije je opisan u potpoglavlju 5.4.
  
- Pozicija 6 – Vijak sa imbus glavom M3 x 10 mm
  - Vijci M3 koriste se za pričvršćivanje nosača poklopca tipkala na matricu, tj. za međusobno spajanje pozicija 3 i 4.
  
- Pozicija 7 – Vijak sa imbus glavom M6 x 10 mm
  - Vijci M6 koriste se za pričvršćivanje matrice na donji dio naprave, tj. za međusobno spajanje pozicija 3 i 1.

- Pozicija 8 – Čelična šipka  $\Phi 4$  x 35 mm
  - Čelične šipke služe kao vodilice naprave. Vodilice omogućavaju umetanje sublimacijske film folije na točnu poziciju i pravilno pozicioniranje poklopca naprave, pri svakom ciklusu tiska.

Zatvarači stranica neće se 3D modelirati, a u napravu će se implementirati tek u fazi montaže. Tržište nudi širok asortiman zatvarača stranica, poznatih i pod nazivima „pant za sanduk/prikolicu“ te „kopča stranice“. Mogu se nabaviti u raznim veličinama, a samu veličinu definirati će konačne dimenzije cjelokupne naprave. Uloga zatvarača stranice je da pritisne poklopac naprave na sublimacijsku film foliju. Prikaz zatvarača stranica korištenih na auto-prikolicama nalazi se na slici 5.1.1.



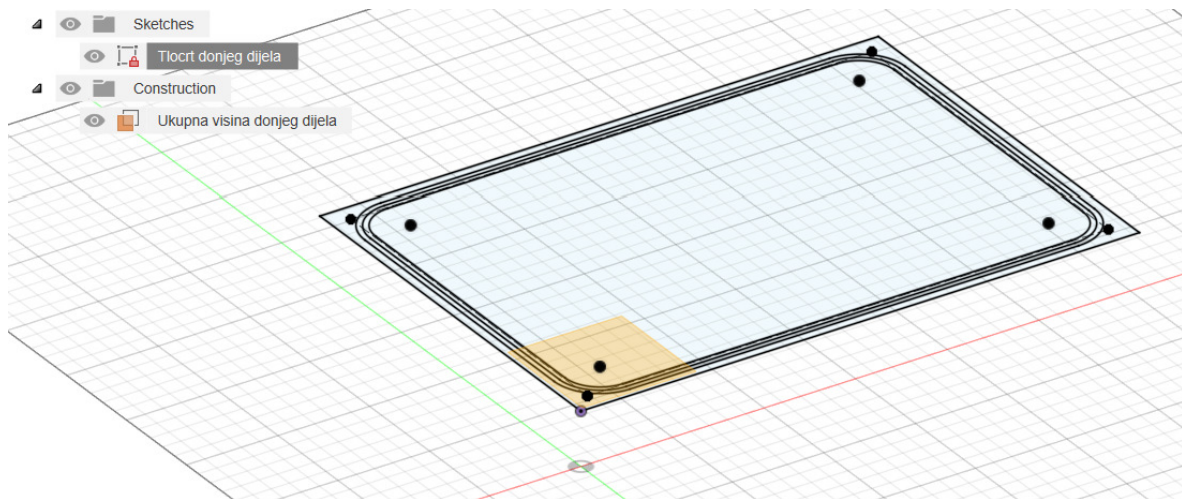
*Slika 5.1.1. Prikaz potencijalnog tipa zatvarača stranice [4]*

## **5.2. 3D modeliranje glavnih dijelova naprave – CAD**

U ovom potpoglavlju biti će opisano modeliranje ključnih komponenti naprave, njihove značajke, te funkcionalne karakteristike. Za izradu digitalnih prikaza svakog elementa naprave, a shodno tome i izradu tehničke dokumentacije, koristiti će se CAD tehnologija. Osim što uvelike pomaže u pravovremenom prepoznavanju potencijalnih problema pri konstruiranju 3D modela naprave, CAD omogućuje i kasniju pretvorbu u STEP (*engl. Sustainable Technology Environments Program*) oblik datoteke. STEP datoteke koriste CAM softveri koji se kasnije koriste za simuliranje izrade pozicija na CNC stroju te generiranje konačnog G-koda.

### 5.2.1. Pozicija 1 - Donji dio naprave

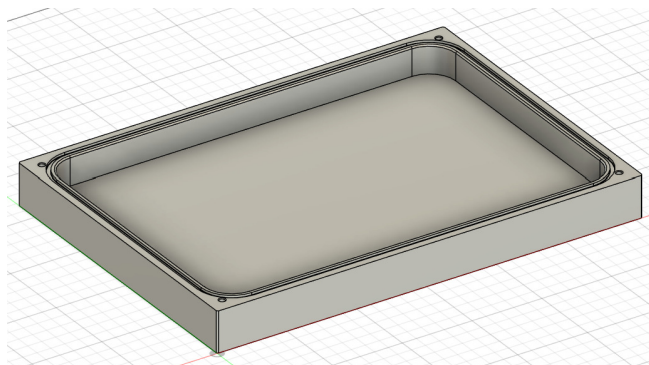
Donji dio naprave predstavlja najkompleksniju poziciju koja će se izrađivati. Ovaj dio, dimenzioniran prema dimenzijama A4 formata sublimacijske film folije, služi kao baza u koju se umeću sve preostale pozicije naprave. Konstruiranje donjeg dijela započelo je sa izradom skice tlocrta koja se kasnije smješta na pomičnu ravninu (po Z-osi). Pomična ravnina po Z-osi omogućuje izmjene dimenzija donjeg djela naprave, a potrebna je jer još nisu poznate sve dimenzije preostalih pozicija. Paralelno sa modeliranjem preostalih pozicija, moguće su izmjene dubina/visina, npr. dubine utora za brtvu, dubinu upuštenog dijela u koji se kasnije montira matrica, itd. Prikaz prve faze modeliranja donjeg dijela naprave prikazan je na slici 5.2.1.



*Slika 5.2.1. Prikaz prve faze konstruiranja donjeg dijela naprave – Fusion 360*

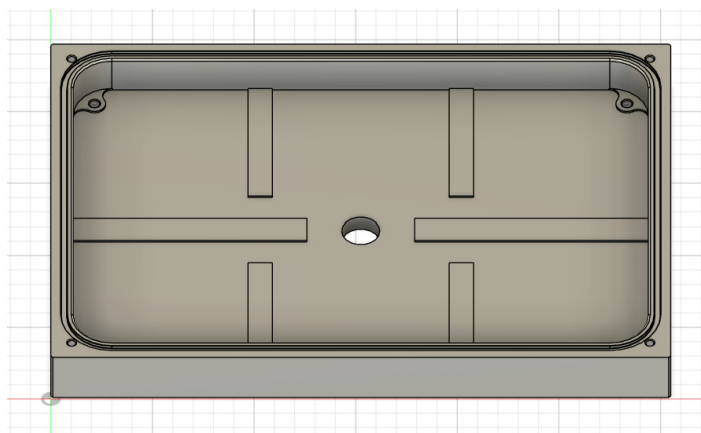
Naredbom „Extrude/Cut Extrude“ moguće je konstruirati utor za brtvu i sam „vakuumski prostor“ u koji će se umetati sve preostale pozicije. Na skici tlocrta moguće je vidjeti točke u kojima će se nalaziti vodilice cijele naprave, a točke se nalaze u krajnjim uglovima naprave. Kako je već ranije spomenuto, vodilice će biti promjera 4 mm pa je potrebno bušenje rupa istog promjera. Dubina rupa za vodilice iznosi 20 mm. Naprava se pri radu neće okretati pa ispadanje vodilica nije moguće. Vodilice će se umetati u donji dio naprave i biti će spojene labavim dosjedom s vrlo malom zračnosti.

Na slici 5.2.2. prikazane su rupe za vodilice, utor za brtvu i sama unutrašnjost donjeg dijela naprave. Za O-ring brtvu promjera 3 mm predviđena dubina utora iznosi 1,8 mm.



*Slika 5.2.2. Prikaz druge faze konstruiranja donjeg dijela naprave – Fusion 360*

Za potrebe spajanja matrice (pozicije 3) na donji dio naprave urezati će se četiri navojne rupe M6. Dubina navoja iznosi 5 mm. Također potrebno je konstruirati navojnu rupu koja će služiti za prihvat vakuum pumpe. Najčešće su svi priključci za kompresor ili pumpu izvedeni sa cilindričnim cijevnim navojem G1/2. Osim priključka za odvod zraka iz naprave, potrebno je predvidjeti kanale koji će omogućavati pravilno strujanje zraka iz naprave. Kanali će biti plitki jer je poželjno da je vakuumski prostor čim manji. Uloga navedenih kanala nije samo da pravilno vode zrak iz naprave, nego i da omoguće čim točnije pozicioniranje matrice pri sklapanju. Dubina kanala, tj. visina izdanaka iznosi 1 mm. Finalni prikaz pozicije 1 nalazi se na sljedećoj strani, na slici 5.2.3.

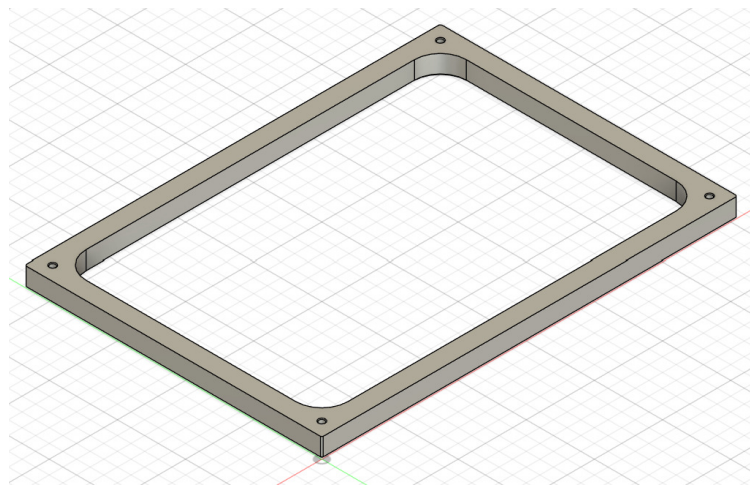


*Slika 5.2.3. Finalni prikaz donjeg dijela naprave – Fusion 360*



### 5.2.2. Pozicija 2 – Poklopac naprave

Zadaća poklopca naprave je da pritisne sublimacijsku foliju na brtvu po cijelom obodu. Vrlo je bitno da površina bude ravna kako bi pritisak bio kontinuiran duž cijele brtve. Poklopac u sebi sadrži prolazne rupe promjera 4,2 mm, koje su predviđene za umetanje poklopca na vodilice. Samim time osigurano je točno umetanje poklopca na napravu prilikom svakog ciklusa tiska. U sredini poklopca nalazi se izrez koji omogućuje da toplina iz grijača prenosi direktno na sublimacijsku foliju. Izgled poklopca naprave nalazi se na slici 5.2.4.



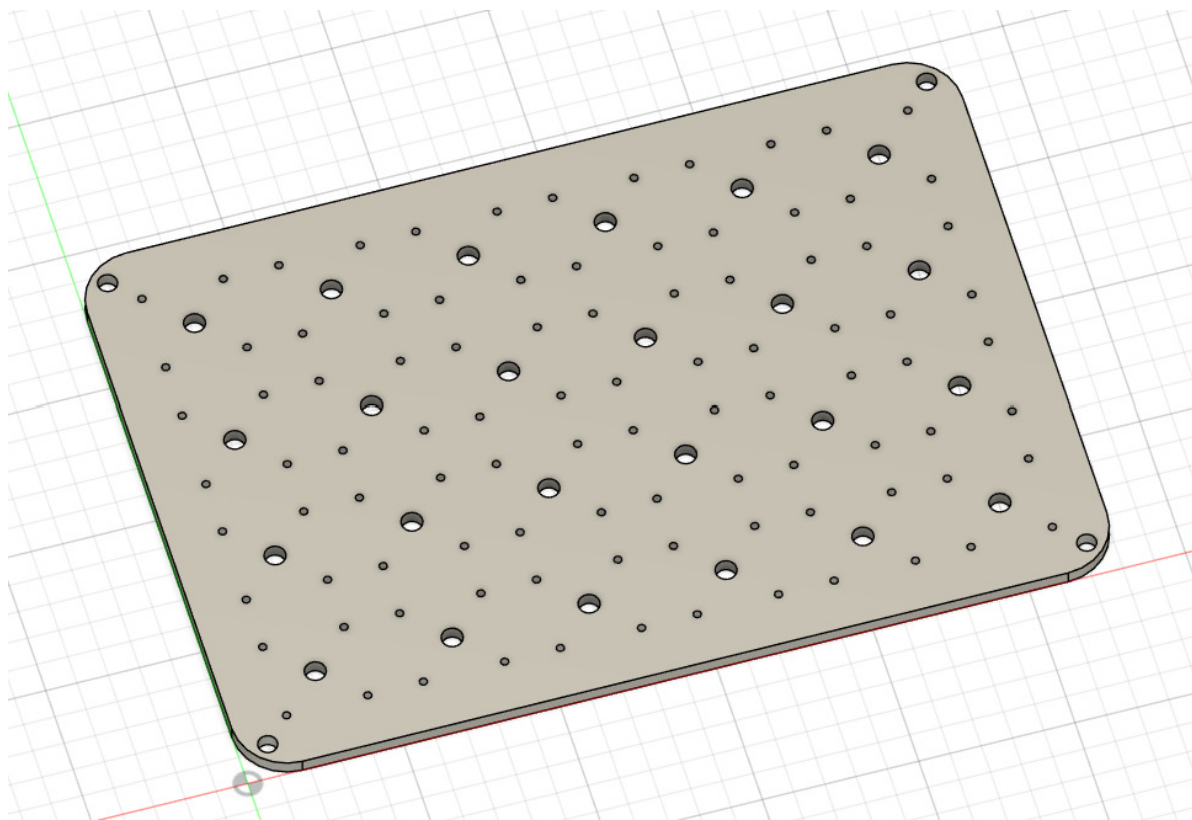
*Slika 5.2.4. Prikaz finalnog izgleda poklopca naprave – Fusion 360*

### 5.2.3. Pozicija 3 – Matrica

Matrica ima ulogu ploče na koju se fiksiraju nosači poklopca tipkala (pozicija 4). Spajati će se vijcima M3 pa se konstruiraju prolazne navojne rupe. Svaki nosač poklopca tipkala biti će spojen pomoću četiri vijka. Matrica se spaja na donji dio naprave koja u sebi već ima urezan navoj pa se na matrici konstruiraju prolazne rupe za M6 vijak, promjera 6,2 mm [5]. Osim rupa za pričvršćivanje na matrici se nalaze prolazne rupe promjera 6,8 mm (promjer HSS svrdla). One služe za prolaz zraka kroz matricu, a potrebne su ispod svakog nosača poklopca tipkala. Ukupna debljina matrice iznosi 5 mm.

Samim dimenzijama matrice odredili smo ukupni mogući kapacitet naprave, koji iznosi ukupnih dvadeset i četiri tipke po ciklusu tiska.

Finalni prikaz pozicije 3 dan je na slici 5.2.5.

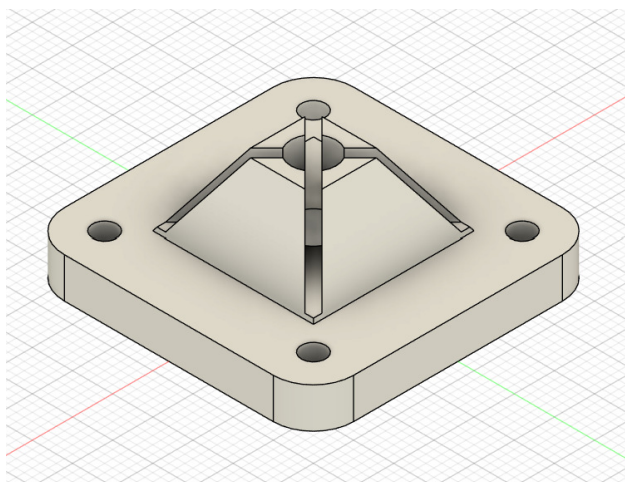


*Slika 5.2.5. Prikaz finalnog izgleda pozicije 3 – Fusion 360*

#### 5.2.4. Pozicija 4 – Nosač poklopca tipkala tipkovnice

Nosači poklopaca tipkala dizajnirani su prema dimenzijama DSA tipa poklopca tipkala. Dimenzije DSA tipa poklopca dane su na slici 4.2.3. u poglavlju 4. Nosači će se izrađivati korištenjem Resin 3D pisača, pa kompleksne geometrije ne predstavljaju izazov. Nosači u sebi sadrže bočne kanale za zrak koji omogućuju da sublimacijska folija sa svih strana „oblijepi“ poklopac tipkala. Na matricu (pozicija 3) se fiksiraju pomoću vijaka M3 pa u sebi sadrže prolazne rupe.

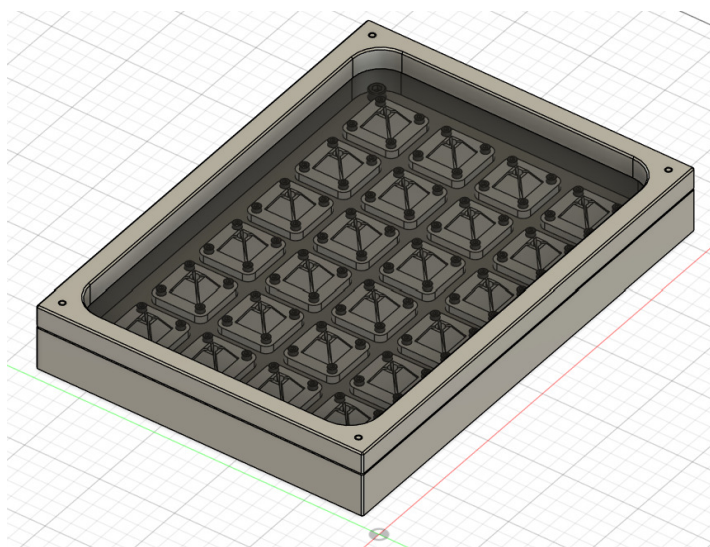
Prikaz finalnog izgleda nosača poklopca tipkala dan je na slici 5.2.6.



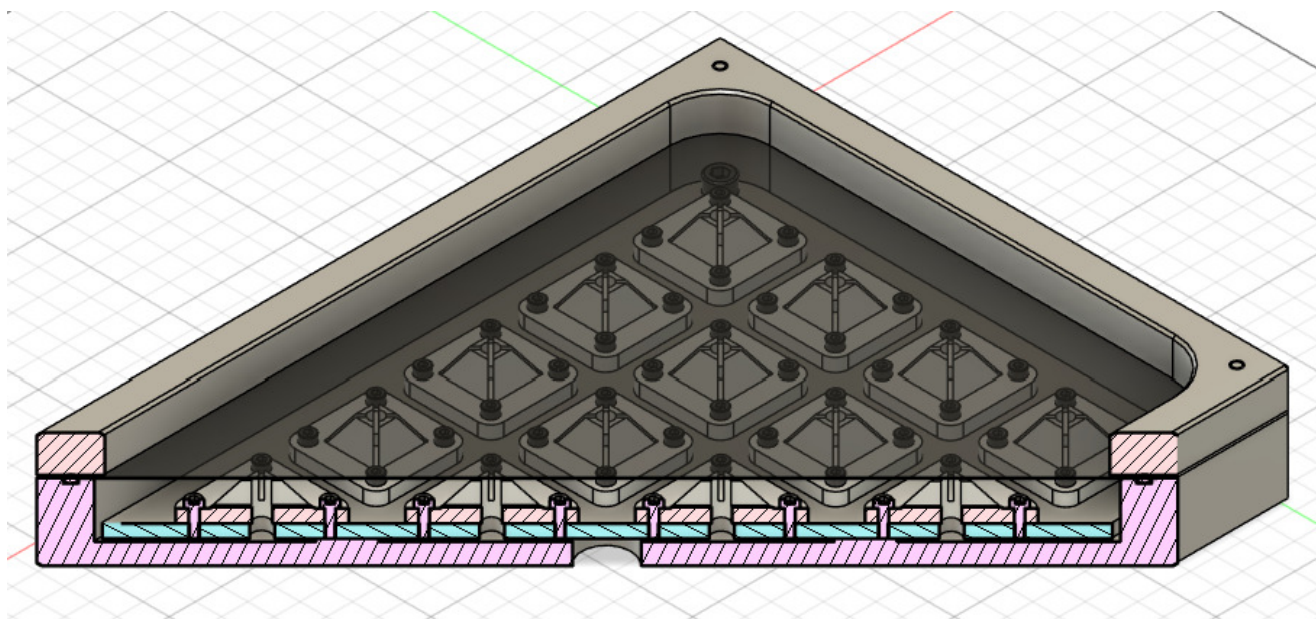
*Slika 5.2.6. Prikaz finalnog izgleda nosača poklopca tipkala – Fusion 360*

### **5.3. 3D model finalnog sklopa naprave – CAD**

Na sljedećim slikama prikazan je izgled finalne naprave za sublimacijski tisak, ne uključujući zatvarače stranica. Ukupni vanjski gabariti naprave iznose 305 × 218 × 44 mm.



*Slika 5.3.1. Prikaz finalnog izgleda naprave – Fusion 360*



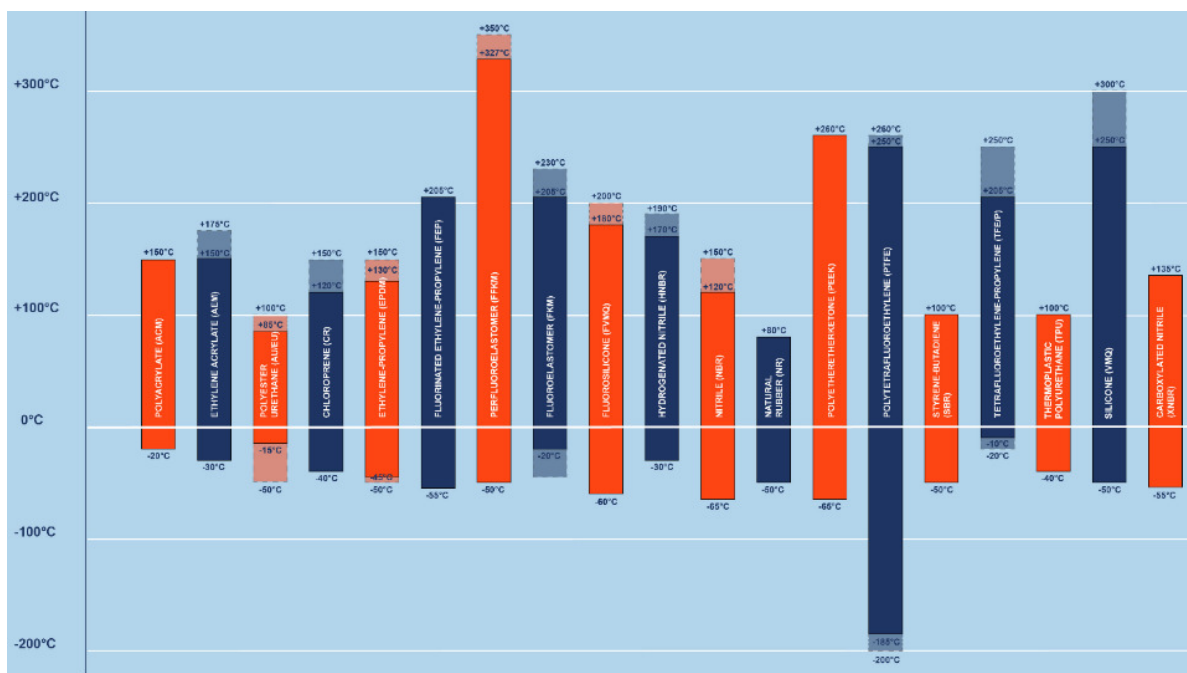
*Slika 5.3.2. Prikaz presjeka naprave – Fusion 360*

#### **5.4. Odabir materijala O-ring brtve**

S vremenom, prekomjerna toplina fizički i/ili kemijski uzrokuje degradaciju materijala brtvi, što može prouzročiti njihovu nefunkcionalnost. Poznato je da prekomjerna toplina uzrokuje širenje materijala, što može dovesti do trajne deformacije oblika brtve. Za optimalne uvjete brtvljenja potrebno je držati se preporuka o materijalu, dobivenih od proizvođača [6]. Brtva će biti izložena temperaturama do 220 °C pa je potrebno da bude otporna na visoke temperature.

Koristiti će se O-ring brtva u traci, promjera 3 mm. Materijal brtve odabran je prema preporuci sa stranice proizvođača Barnwell. Dijagram temperaturnog ranga materijala brtvi prikazan je na sljedećoj stranici, na slici 5.4.1.

Prema preporuci proizvođača, odabran je materijal FKM (fluoroelastomer) koji je pogodan za temperature do maksimalnih 230 °C. Navedeni materijal može se pronaći i pod nazivom „viton“. Mogli su se odabrati i materijali izdržljivi na veće temperature, ali za potrebe rada to nije potrebno. Bitno je da brtva nije izrađena od teflona (PTFE) jer on nije prikladan za rad u vakuumu [6].



Slika 5.4.1. Dijagram preporučenih materijala za pojedine radne temperature [7]

## 5.5. Princip rada naprave

Princip rada naprave temelji se na sublimacijskom procesu, koji omogućuje prijenos bojila iz čvrstog stanja direktno u plinovito, bez prelaska u tekuće stanje. Proces započinje postavljanjem poklopaca tipkala tipkovnica na nosače predviđene za točno pozicioniranje poklopaca.

Poklopci tipkala postavljaju se na za njih predviđeno mjesto i preko njih se nanosi sublimacijska film folija koja na sebi sadrži željeni uzorak ili oznaku. Poklopac naprave se zatim stavlja na vodilice i uređaj se zatvara, stvarajući hermetički zatvoren prostor. Poklopac naprave pričvršćuje se pomoću zatvarača stranica. U sljedećoj fazi aktivira se vakuumska pumpa koja iz vakuumnog prostora naprave izvlači zrak, stvarajući vakuum. Vakuum omogućuje da se filmska folija čvrsto priljubi uz površinu poklopaca tipkala.

Nakon što je vakuum postignut započinje faza zagrijavanja. Naprava se umeće u zagrijanu komoru te se temperatura unutar naprave postupno povećava na vrijednosti između 190 i 225 °C. Kada temperatura dosegne željenu vrijednost, bojilo iz sublimacijske film folije počinje difundirati u površinski sloj DSA poklopaca tipkala tipkovnice, pritom tvoreći željeni uzorak ili oznaku. Cijeli proces se odvija pod stalnim nadzorom temperature i pritiska kako bi se osigurala visoka kvaliteta i postojanost otiska.

Nakon završetka procesa sublimacije, naprava se hladi, vakuum se otpušta, a poklopac naprave se podiže. Poklopci tipkala tipkovnica s trajno nanesenim oznakama ili uzorcima se uklanjaju iz naprave, pa je samim time ciklus tiska završen. Izgled poklopaca tipkala s otisnutim oznakama prikazan je na slici 5.5.1.



*Slika 5.5.1. Prikaz poklopaca tipkala s otiskom [1]*

## 6. STROJNA OBRADA - CAM

U ovom poglavlju detaljnije će biti opisan tehnološki proces strojne obrade glavnih komponenti naprave, korištenjem CAM tehnologije. Pozicije koje će se izrađivati primjenom postupka CNC glodanja su donji dio naprave, poklopac naprave i matrica. Materijal iz kojeg će se izrađivati je aluminijeva legura AlMg3. Aluminij i njegove legure imaju relativno malu gustoću i lako su obradivi što ih čini idealnim materijalima za obradu na CNC strojevima.

Korištenjem CAD/CAM softvera Mastercam 2024 opisati će se sve operacije sadržane unutar tehnološkog procesa izrade pozicija. Iako će Mastercam služiti za kasniju simulaciju i vizualizaciju strojne obrade, u fazi stvarne izrade biti će korišteno ručno programiranje G-koda, zbog jednostavnosti koju omogućava upravljačka jedinica Heidenhain TNC 640. Upravljačka jedinica u sebi ima već prethodno definirane cikluse koji omogućuju jednostavno ručno programiranje operacija.

Pozicije će se izrađivati iz legure AlMg3 u obliku hladno valjanog lima. Dimenzije sirovog materijala za svaku pojedinu poziciju dane su u tablici 6.1.

*Tablica 6.1. Dimenzije sirovog materijala AlMg3 prema pozicijama*

NAZIV POZICIJE	DIMENZIJE SIROVOG MATERIJALA
Pozicija 1 – Donji dio naprave	320 × 230 × 35 mm
Pozicija 2 – Poklopac naprave	320 × 230 × 20 mm
Pozicija 3 – Matrica	290 × 210 × 5 mm

### Napomena:

Sav sirovi materijal već je prethodno naručen u navedenim dimenzijama pa nije potrebno dodatno piljenje na željene dimenzije.

Mehanička svojstva materijala AlMg3 dana su u tablici 6.2., a kemijski sastav legure AlMg3 dan je u tablici 6.3. Tablice se nalaze na sljedećoj stranici.

Tablica 6.2. Mehanička svojstva legure AlMg3 [8]

SVOJSTVO	VRIJEDNOST
Gustoća	2660 kg/cm <sup>3</sup>
Talište	600 - 645 °C
Koef. toplinske dilatacije	24 · 10 <sup>-6</sup> /K
Toplinska provodljivost	140 – 160 W/mK
Električna vodljivost	> 19 m/Ωmm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti	70 GPa
Vlačna čvrstoća	190 – 230 N/mm <sup>2</sup>
Granica elastičnosti	≥ 80 N/mm <sup>2</sup>
Tvrdoća (Brinell)	50 HB

Tablica 6.3. Kemijski sastav legure AlMg3 [9]

KEMIJSKI ELEMENT	VOLUMNI UDJEL [%]
Aluminij (Al)	94,2 % min
Magnezij (Mg)	2,60 – 3,60 %
Mangan (Mn)	0,5 % max
Željezo (Fe)	0,4 % max
Silicij (Si)	0,4 % max
Krom (Cr)	0,3 % max
Cink (Zn)	0,2 % max
Titanij (Ti)	0,15 % max
Bakar (Cu)	0,1 % max
Ostali elementi	0,15 % max

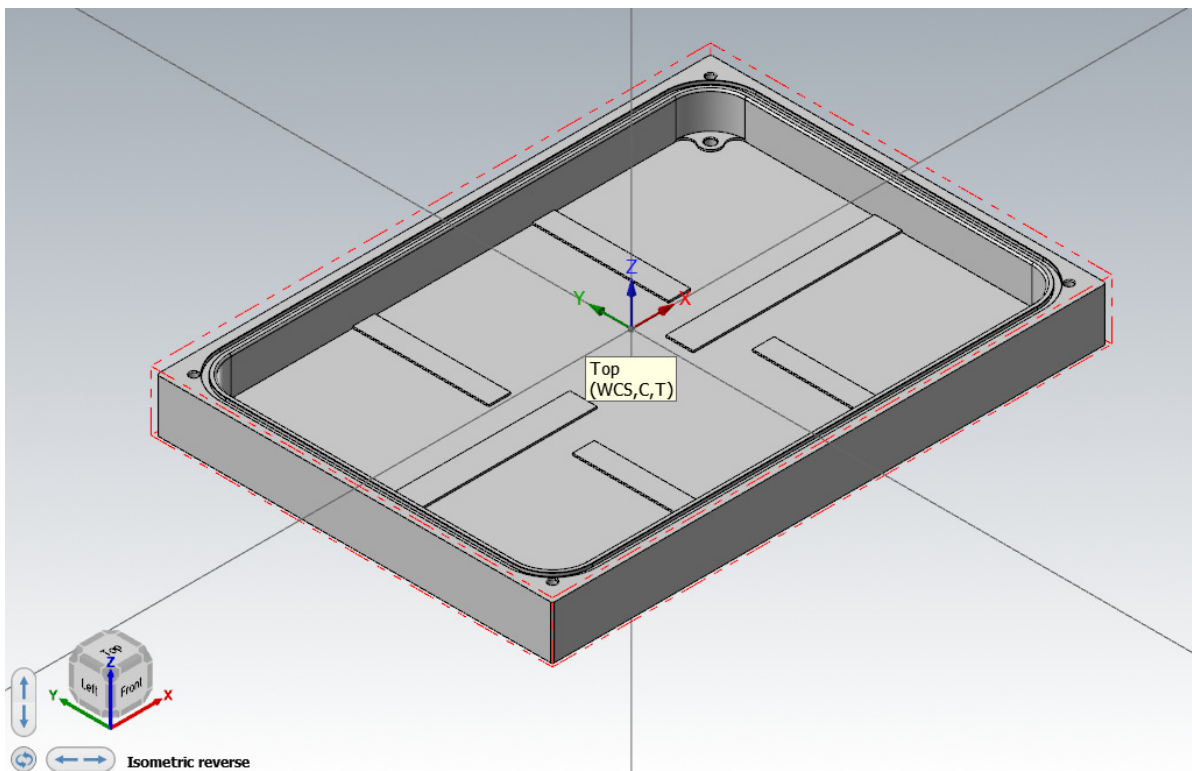


## 6.1. Razrada tehnologije postupka izrade pozicija po operacijama – Mastercam 2024

Mastercam 2024 predstavlja CAD/CAM programski paket koji garantira brzu i efikasnu CNC obradu pozicija, a koristiti će se za simuliranje operacija unutar tehnološkog procesa. U sljedećim potpoglavljima biti će opisan sam redoslijed operacija pri izradi pojedinih pozicija, uz informacije o korištenim alatima. Finalan popis alata korišten pri izradi svake zasebne pozicije biti će priložen uz završni rad.

### 6.1.1. Pozicija 1 – Donji dio naprave

Prikaz referentne točke komada (WCS, engl. *Work Coordinate System*) nalazi se na slici 6.1.1. Poziciju će biti potrebno izrađivati u dva stezanja.

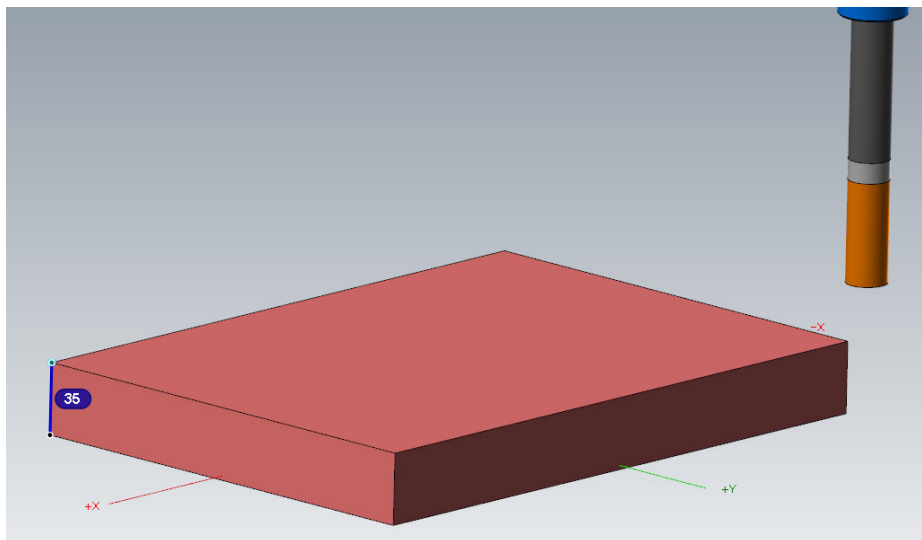


Slika 6.1.1. Prikaz referentne točke komada (WCS) – Pozicija 1

Redosljed operacija pri izradi pozicije 1 je sljedeći:

STEZANJE 1 – Stezanje ploče dimenzija 320×230×35 mm u steznu napravu na CNC stroju.  
Ploča se steže na dubinu od 2 mm u stezne čeljusti.

Izgled sirovca prije početka obrade prikazan je na slici 6.1.2.



*Slika 6.1.2. Prikaz sirovog materijala pozicije 1 prije početka glodanja*

OPERACIJA 1 – Čeono grubo glodanje gornje površine na visinu 33 mm uz ostavljeni višak materijala za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

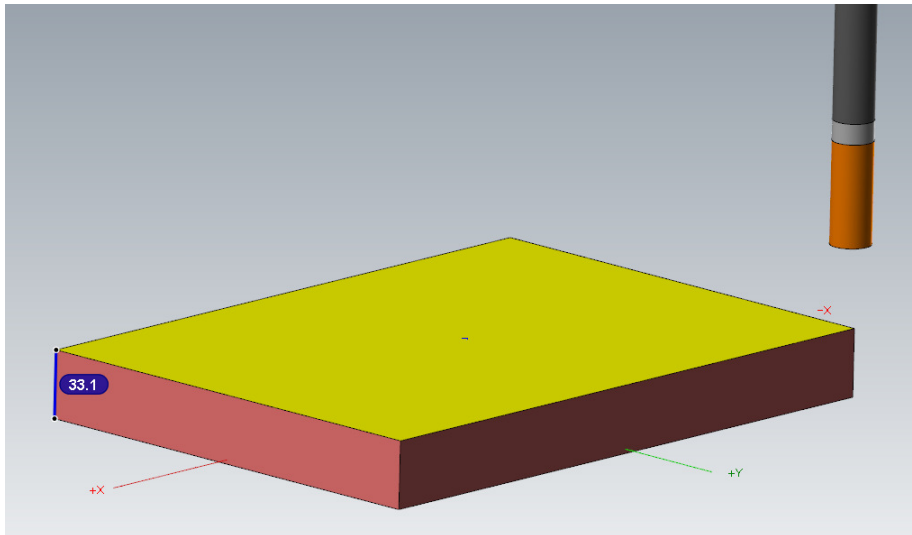
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\text{max}} = 1 \text{ mm}$

Prikaz obratka nakon operacije 1 prikazan je na slici 6.1.3. na sljedećoj stranici.



Slika 6.1.3. Operacija 1 – Čeono grubo glodanje gornje površine

**OPERACIJA 2** – Obodno grubo glodanje bočnih površina na finalnu dimenziju, uz ostavljeni višak materijala za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

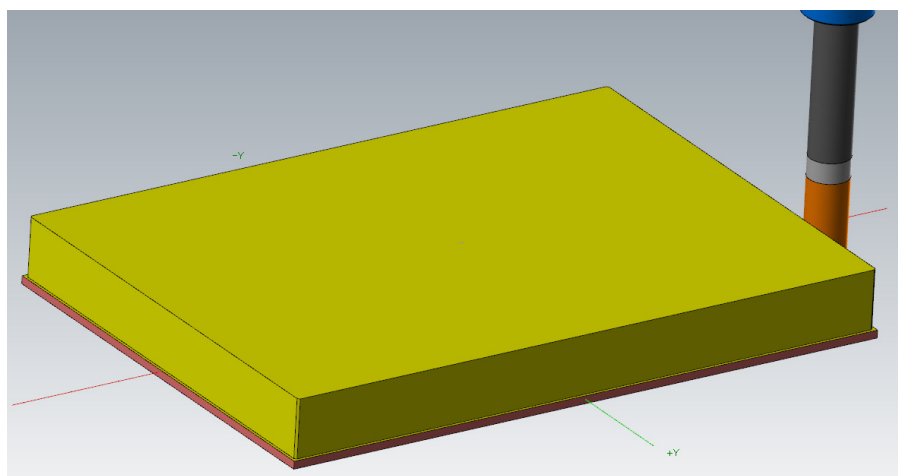
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

Prikaz obratka nakon operacije 2 prikazan je na slici 6.1.4.



Slika 6.1.4. Operacija 2 – Obodno grubo glodanje bočnih površina

OPERACIJA 3 – Obodno fino glodanje bočnih površina na finalnu dimenziju, skidanje dodatka od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D20 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 314 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

OPERACIJA 4 – Grubo glodanje slijepe rupe  $\Phi 19 \times 12 \text{ mm}$  u koju će se urezivati navoj G1/2", uz ostavljeni dodatak za finu obradu 0,1 mm sa svih strana.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D8 (Al)

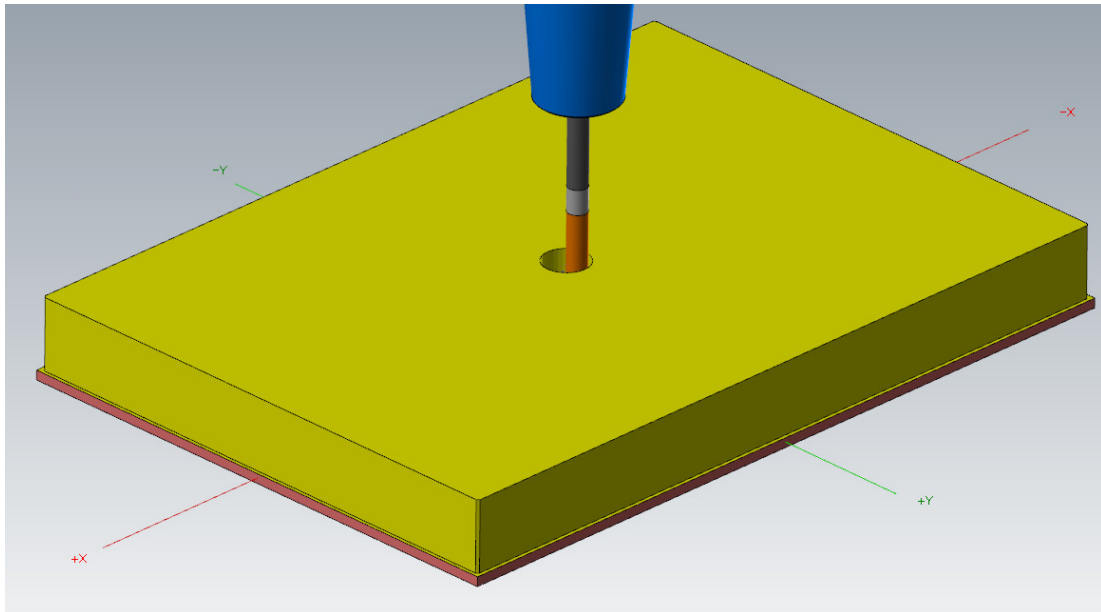
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 4800 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 120 \text{ mm/min}$   
- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\max} = 1 \text{ mm}$

OPERACIJA 5 – Fino glodanje slijepe rupe  $\Phi 19 \times 12 \text{ mm}$  u koju će se urezivati navoj G1/2", skidanje ostavljenog dodatka od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D8 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 10000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 750 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 251 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

Prikaz obratka nakon operacije 5 dan je na slici 6.1.5. na sljedećoj stranici.



*Slika 6.1.5. Operacija 5 – Glodanje rupe za navoj G1/2"*

Urezivanje navoja G1/2" biti će izvedeno ručno, pomoću G1/2 ureznika. Dimenzija prolazne rupe za navoj G1/2" odabrana je iz strojarskog priručnika [5].

**OPERACIJA 6** – Fino čeono glodanje gornje površine na finalnu dimenziju (33 mm), skidanje ostavljenog dodatka od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Glodača glava D100 (Al)

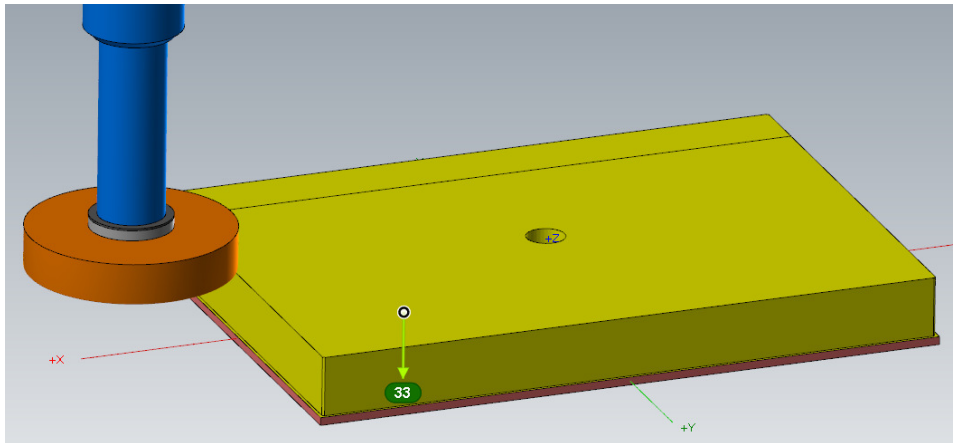
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1000 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 1570 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

Prikaz čeonog poravnavanja gornje površine dan je na sljedećoj stranici, na slici 6.1.6.



Slika 6.1.6. Operacija 6 – Čeono poravnanje gornje površine

**OPERACIJA 7** – Skidanje oštrog rubova  $1 \times 45^\circ$

**Korišteni alat:** Trkač – skidač srha D6 V90

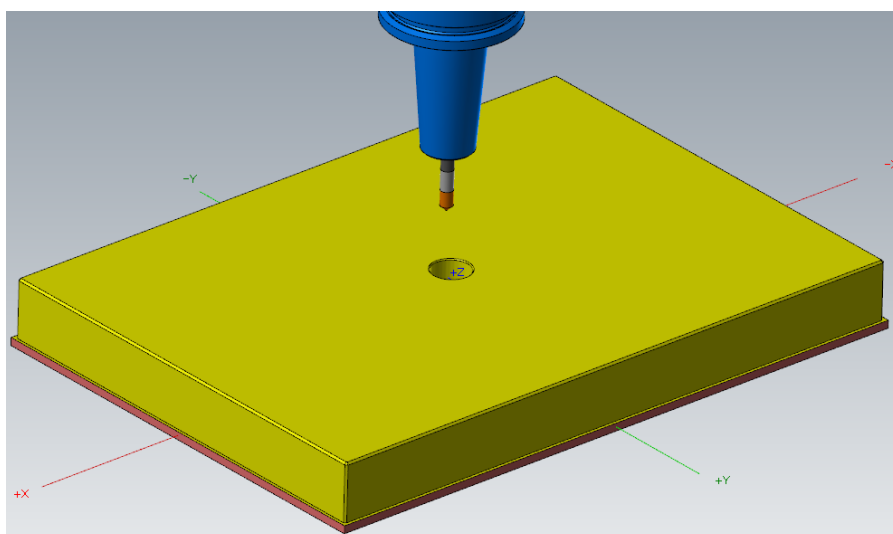
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 226 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow a = 1 \text{ mm}$

Prikaz obratka nakon posljednje operacije u prvom stezanju dan je na slici 6.1.7.

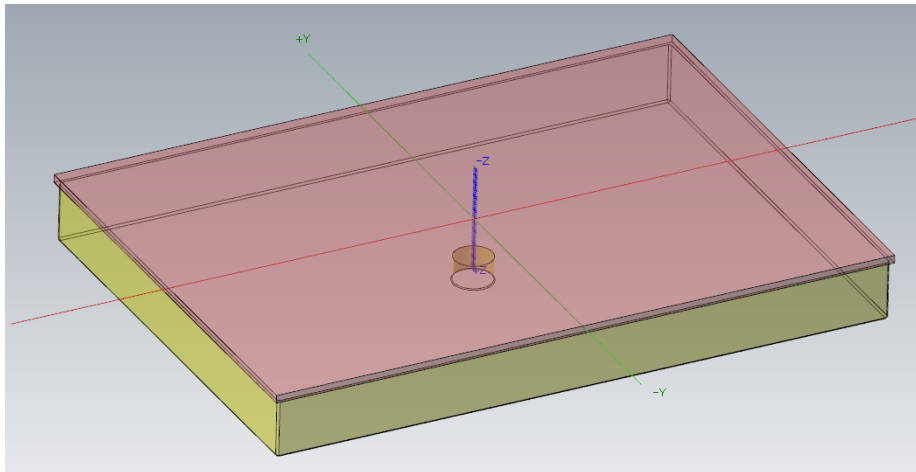


Slika 6.1.7. Operacija 7 – Skidanje oštrog rubova  $1 \times 45^\circ$

STEZANJE 2 – Okretanje izratka iz prvog stezanja te ponovno stezanje u steznu napravu

Izradak se steže na dubinu od 3,5 mm u stezne čeljusti.

Realan izgled okrenutog izratka nakon drugog stezanja prikazan je na slici 6.1.8.



Slika 6.1.8. Prikaz pozicioniranja izratka nakon drugog stezanja

OPERACIJA 8 – Čeono glodanje gornje površine na finalnu visinu 29 mm

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

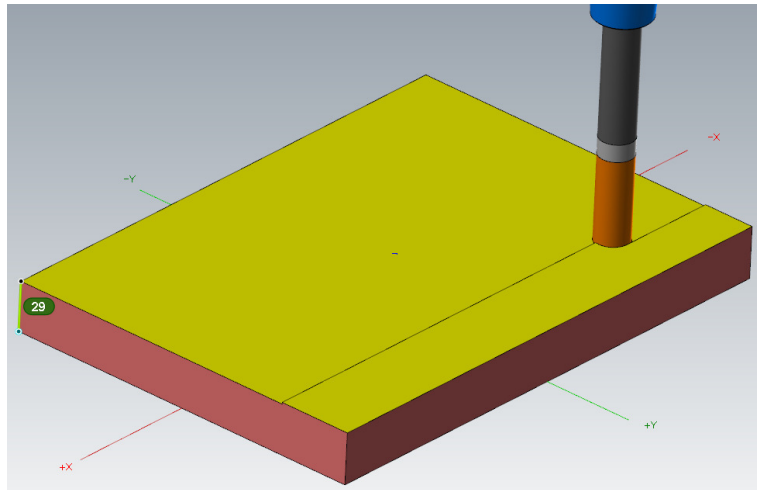
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\text{max}} = 1 \text{ mm}$

Prikaz obratka nakon operacije 8 prikazan je na sljedećoj stranici, na slici 6.1.9.



Slika 6.1.9. Operacija 8 – Čeono glodanje gornje površine

**OPERACIJA 9** – Grubo glodanje „džepa“ na dubinu 20 mm, uz ostavljeni bočni dodatak za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

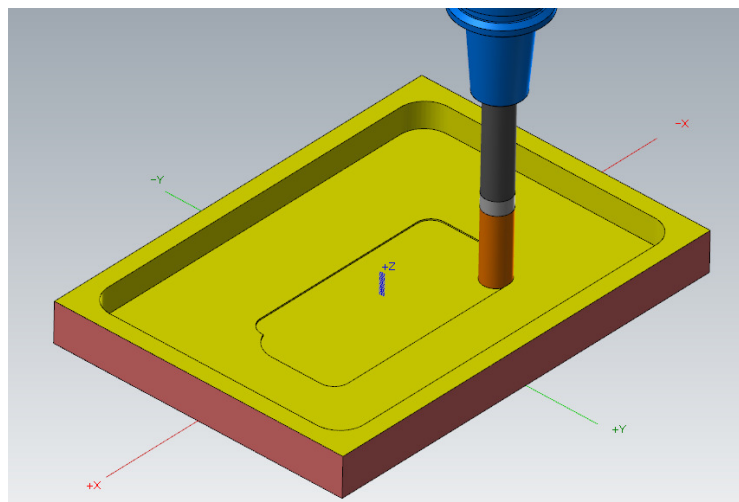
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\text{max}} = 1 \text{ mm}$

Prikaz glodanja „džepa“ dan je na slici 6.1.10.



Slika 6.1.10. Operacija 9 – Grubo glodanje „džepa“



**OPERACIJA 10** – Zabušivanje središta u kojima će se bušiti slijepe rupe  $\Phi 4 \times 20$  mm. Podešavanjem dubine zabušivanja ujedno je moguće napraviti i skošenja za slijepe rupe koje će kasnije biti izbušene. Npr. ako se želi postići skošenje od  $0,5 \times 45^\circ$  mm za rupu  $\Phi 4$  mm, dubina zabušivanja iznosi inkrementalno  $Z = - 2,5$  mm.

**Korišteni alat:** Trkač D6 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 94 \text{ mm/min}$

- Dubina zabušivanja  $\rightarrow a = 2,5 \text{ mm}$

**OPERACIJA 11** – Zabušivanje središta u kojima će se bušiti slijepe rupe  $\Phi 5 \times 6,5$  mm, u koje će se kasnije urezivati navoj M6.

**Korišteni alat:** Trkač D6 V90

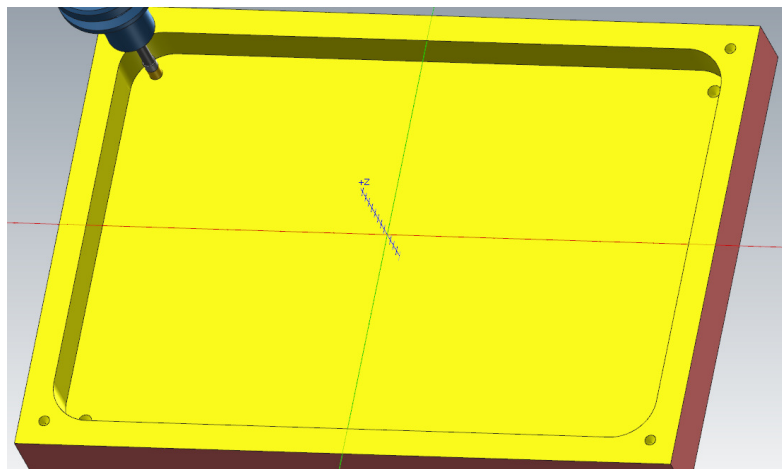
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 94 \text{ mm/min}$

- Dubina zabušivanja  $\rightarrow a = 3 \text{ mm}$

Prikaz izratka nakon zabušivanja rupa dan je na slici 6.1.11.



Slika 6.1.11. Operacija 11 – Zabušivanje središta za rupe

OPERACIJA 12 – Bušenje slijepih rupa  $\Phi 4 \times 20$  mm u koje će se umetati vodilice.

**Korišteni alat:** Svrđlo D4 HSS

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 62 \text{ mm/min}$

- Dubina bušenja  $\rightarrow a = 20,8 \text{ mm}$

OPERACIJA 13 – Bušenje slijepih rupa  $\Phi 5 \times 6,5$  mm, u koje će se kasnije urezivati navoj M6.

**Korišteni alat:** Svrđlo D5 HSS

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 6000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 94 \text{ mm/min}$

- Dubina bušenja  $\rightarrow a = 7,5 \text{ mm}$

OPERACIJA 14 – Urezivanje metričkog navoja M6. Ureznik je potrebno spustiti niže za dubinu 0,5 mm, jer na samom vrhu alata nema reznih oštrica.

**Korišteni alat:** Strojni ureznik M6 za slijepi provrt.

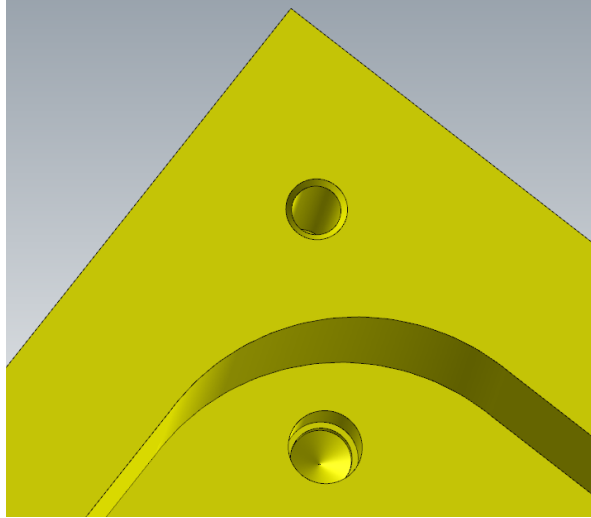
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 350 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 350 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 7 \text{ mm/min}$

- Dubina bušenja  $\rightarrow a = 5,5 \text{ mm}$

Izgled rupa prikazan je na sljedećoj stranici, na slici 6.1.12. Korak navoja nije prikazan realno, nego je virtualno prikazana samo njegova dubina.



Slika 6.1.12. Operacija 4 – Urezivanje navoja M6

OPERACIJA 15 – Obodno grubo glodanje vanjskih bočnih površina na finalnu dimenziju, uz ostavljeni višak materijala za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

OPERACIJA 16 – Obodno fino glodanje vanjskih bočnih površina na finalnu dimenziju, skidanje dodatka od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D20 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 10000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 628 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

**OPERACIJA 17** – Obodno fino glodanje unutarnjih bočnih površina „džepa“ na finalnu dimenziju. Skidanje dodatka od 0,1 mm koji je ostavljen pri operaciji 9.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D20 (Al)

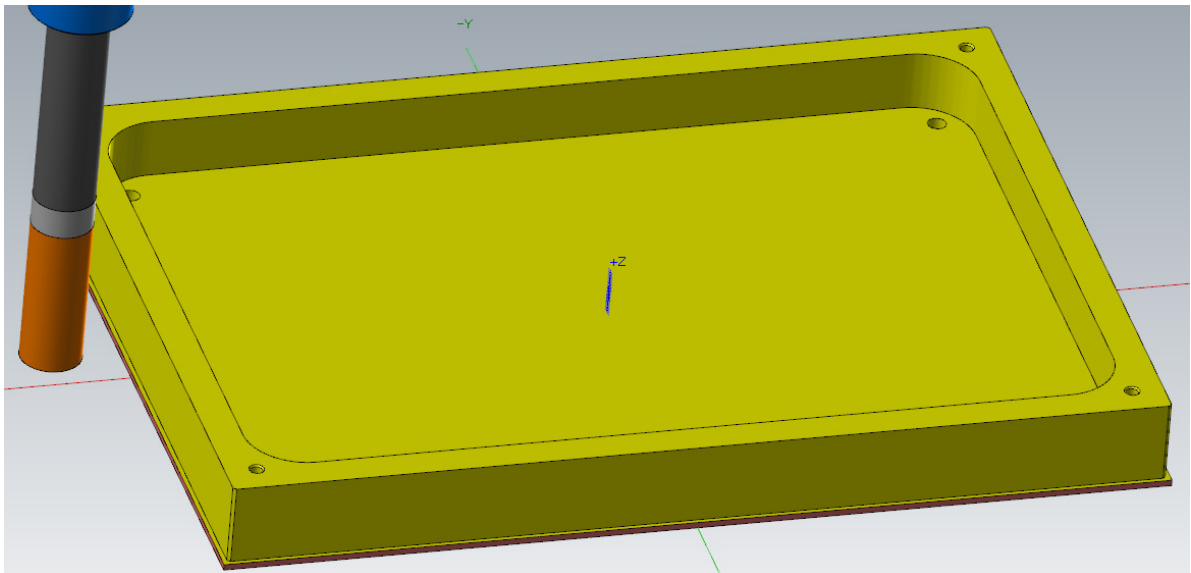
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 10000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 628 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

Nakon izvršenja prethodnih triju operacija, moguće je prikazati promjene na slici 6.1.13.



*Slika 6.1.13. Operacija 17 – Obodno fino glodanje bočnih strana*

**OPERACIJA 18** – Glodanje utora dubine 1 mm, uz ostavljeni bočni dodatak za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D8 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 301 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\max} = 1 \text{ mm}$

OPERACIJA 19 – Fino obodno glodanje utora dubine 1 mm, skidanje dodatka 0,1 mm ostavljenog u operaciji 18.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D8 (Al)

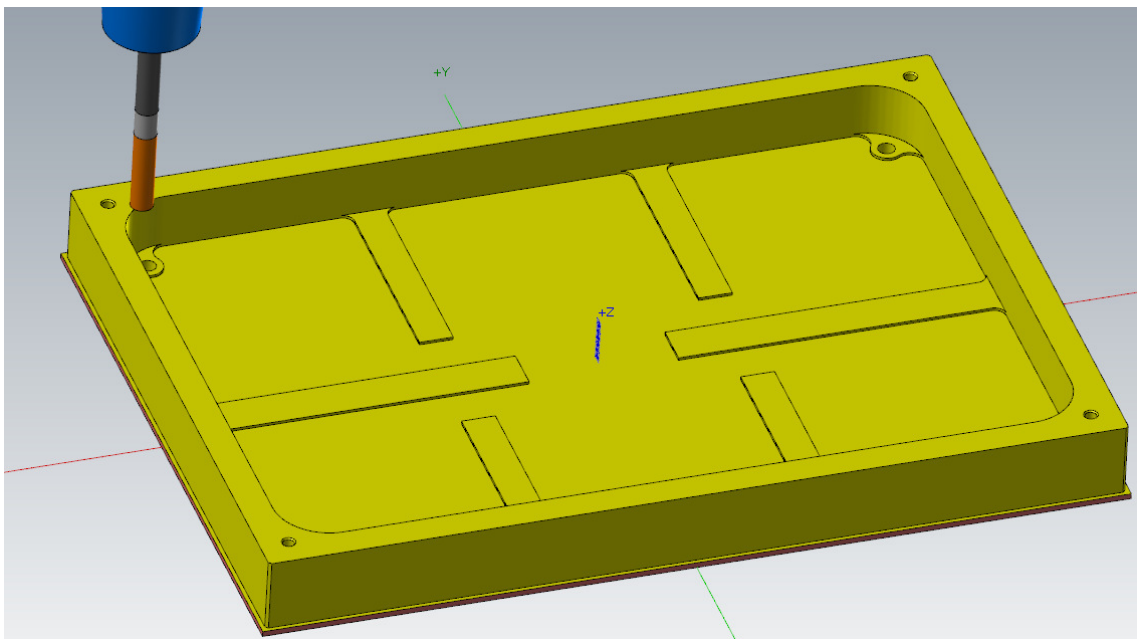
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 301 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\max} = 1 \text{ mm}$

Glodanjem utora u operacijama 18 i 19 kreirani su izdanci koji služe za pozicioniranje matrice i za pravilno strujanje zraka prema izlazu iz naprave (rupa  $\Phi 19 \text{ mm}$  nije vidljiva, jer je dio druge .emcam datoteke u kojoj su se razrađivale operacije iz prvog stezanja). Trenutni izgled pozicije prikazan je na slici 6.1.14.



*Slika 6.1.14. Operacija 19 – Obodno fino glodanje utora dubine 1 mm*

OPERACIJA 20 – Grubo „high speed“ glodanje utora za O-ring brtvu dubine 1,8 mm i širine 3 mm, uz ostavljeni bočni dodatak za finu obradu od 0,1 mm.

Gruba obrada također može koristiti fino glodalo s većim brojem okretaja i većim posmakom, ali po jednom prolazu skida svega nekoliko desetinki milimetra [10].

**Korišteni alat:** Fino glodalo D2,5 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 8000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 62 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\text{max}} = 0,15 \text{ mm}$

OPERACIJA 21 – Fino glodanje utora za O-ring brtvu dubine 1,8 mm i širine 3 mm, skidanje dodatka od 0,1 mm ostavljenog pri operaciji 20.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D2,5 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 8000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 62 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\text{max}} = 0,15 \text{ mm}$

OPERACIJA 22 – Skidanje oštarih rubova na utoru za brtvu  $0,2 \times 45^\circ$ .

**Korišteni alat:** Trkač – skidač srha D6 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 226 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow a = 0,2 \text{ mm}$

OPERACIJA 23 – Skidanje oštih rubova  $1 \times 45^\circ$  na ostatku donjeg dijela naprave.

**Korišteni alat:** Trkač – skidač srha D6 V90

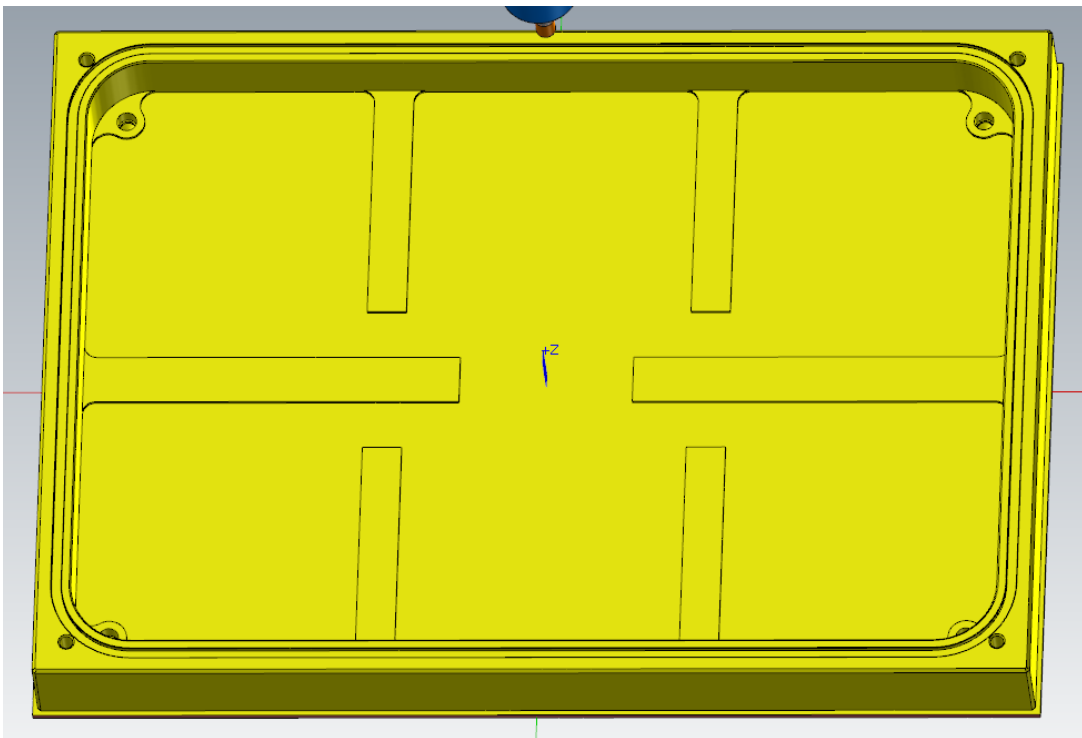
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 226 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow a = 1 \text{ mm}$

Na slici 6.1.15. prikazan je izgled pozicije 1 nakon izvršenja zadnje operacije obuhvaćene drugim stezanjem.

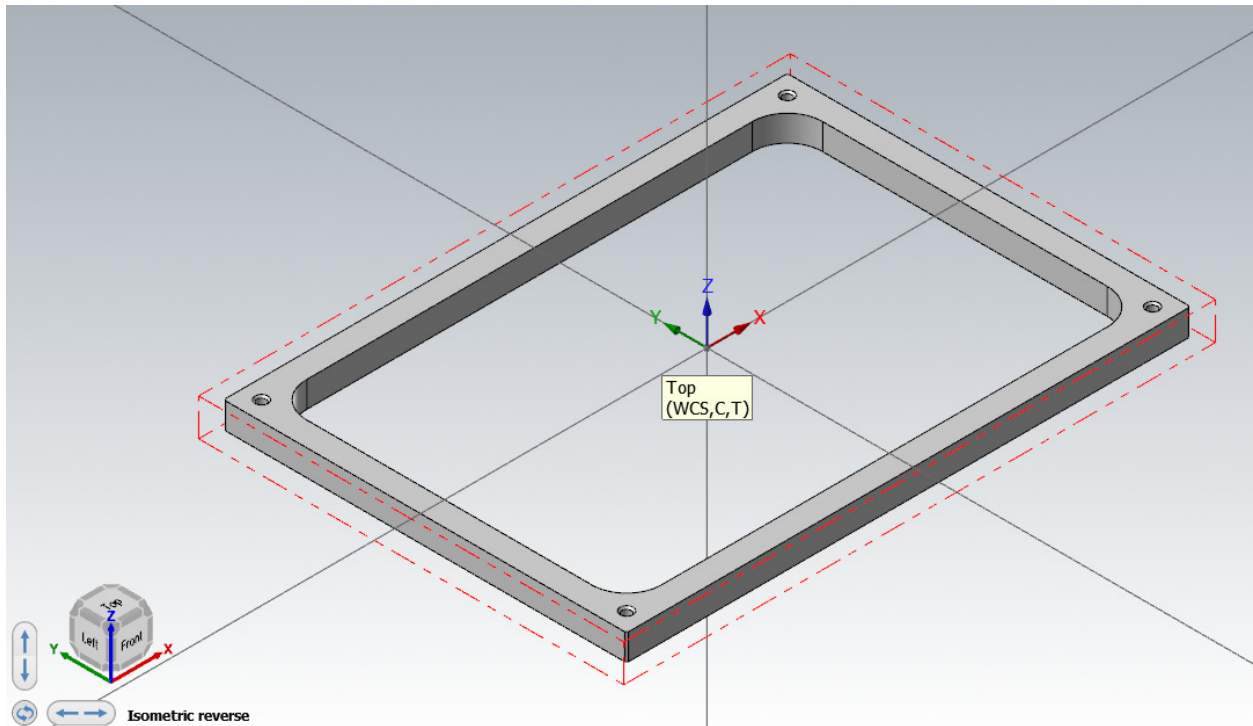


*Slika 6.1.15. Finalni izgled pozicije 1 u drugom stezanju*

Za izradu pozicije 1 potrebna su dva stezanja, a tehnološki postupak sačinjen je od dvadeset i tri operacije. Simulacija putanja alata i .MP4 datoteka CAM prikaza cjelokupne izrade pozicije 1 priložena je uz završni rad u digitalnom obliku.

### 6.1.2. Pozicija 2 – Poklopac naprave

Prikaz referentne točke komada (WCS) nalazi se na slici 6.1.16. Poziciju će biti potrebno izrađivati u dva stezanja.



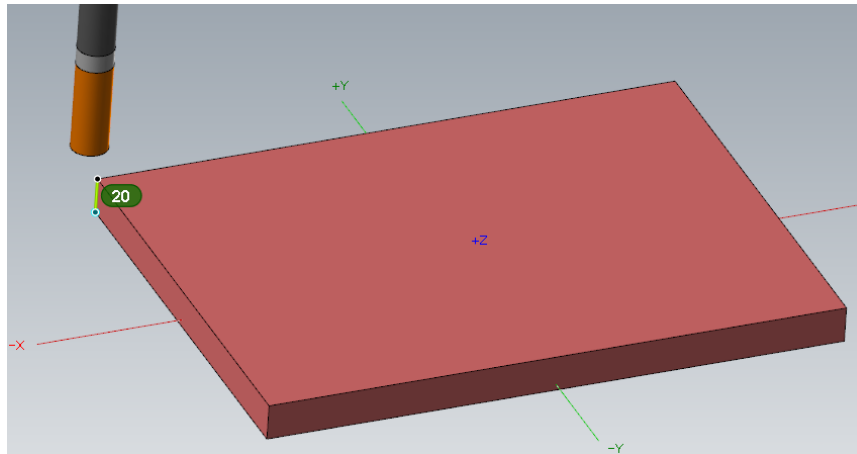
Slika 6.1.16. Prikaz referentne točke komada (WCS) – Pozicija 2

Redoslijed operacija pri izradi pozicije 2 je sljedeći:

**STEZANJE 1** – Stezanje ploče dimenzija 320×230×20 mm u steznu napravu na CNC stroju. Ploča se steže na dubinu od 2 mm u stezne čeljusti.

Izgled sirovca prije početka obrade prikazan je na sljedećoj stranici, na slici 6.1.17.





Slika 6.1.17. Prikaz sirovog materijala pozicije 2 prije početka obrade

**OPERACIJA 1** – Čeono grubo glodanje gornje površine na visinu 17,5 mm uz ostavljeni višak materijala za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

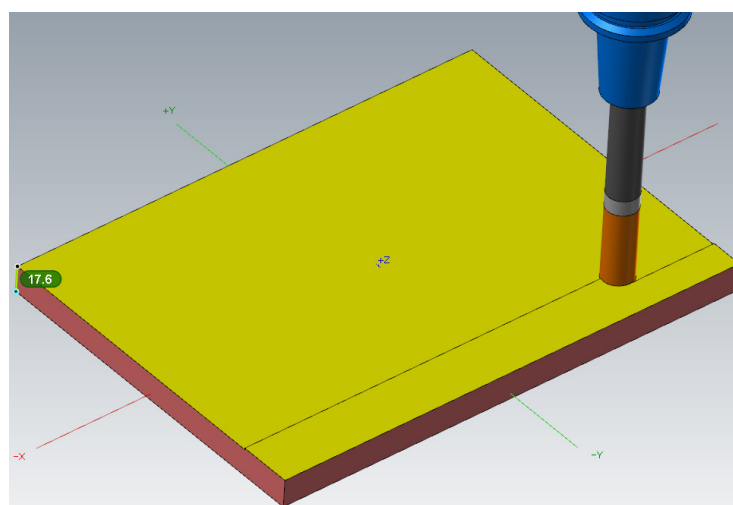
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\text{max}} = 1 \text{ mm}$

Prikaz obratka pri kraju operacije 1 prikazan je na slici 6.1.18.



Slika 6.1.18. Operacija 1 – Čeono grubo glodanje gornje površine

OPERACIJA 2 – Obodno grubo glodanje bočnih površina na finalnu dimenziju, uz ostavljeni višak materijala za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

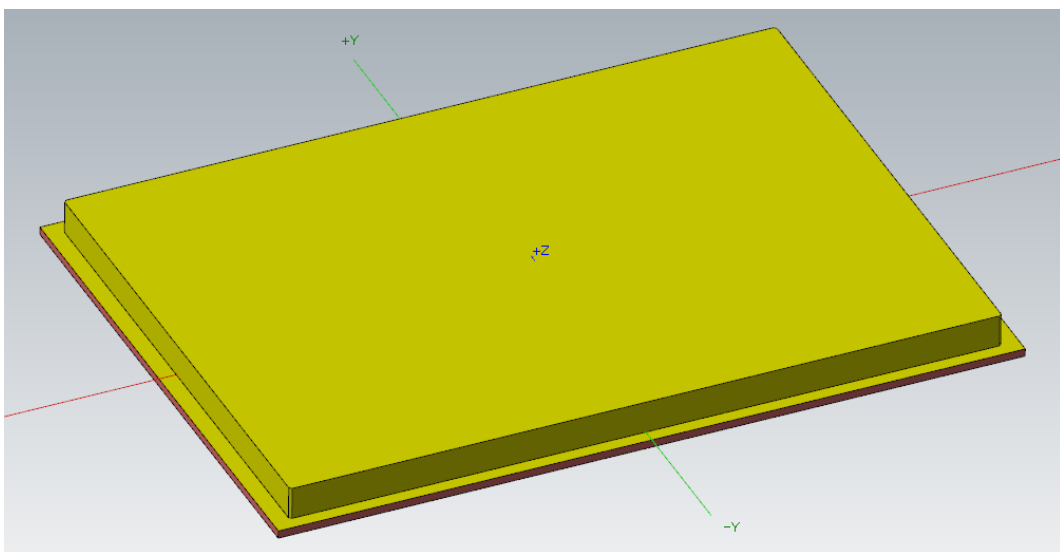
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

Prikaz obratka nakon operacije 2 prikazan je na slici 6.1.19.



*Slika 6.1.19. Operacija 2 – Obodno grubo glodanje bočnih površina*

OPERACIJA 3 – Grubo glodanje „džepa“ na dubinu 14,1 mm, uz ostavljeni bočni dodatak za finu obradu od 0,1 mm.

Dubina je namjerno postavljena na 14,1 mm, kako bi glodalo sigurno izglovalo cijelu visinu poklopca (zbog malog radijusa zakrivljenosti glodala).

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

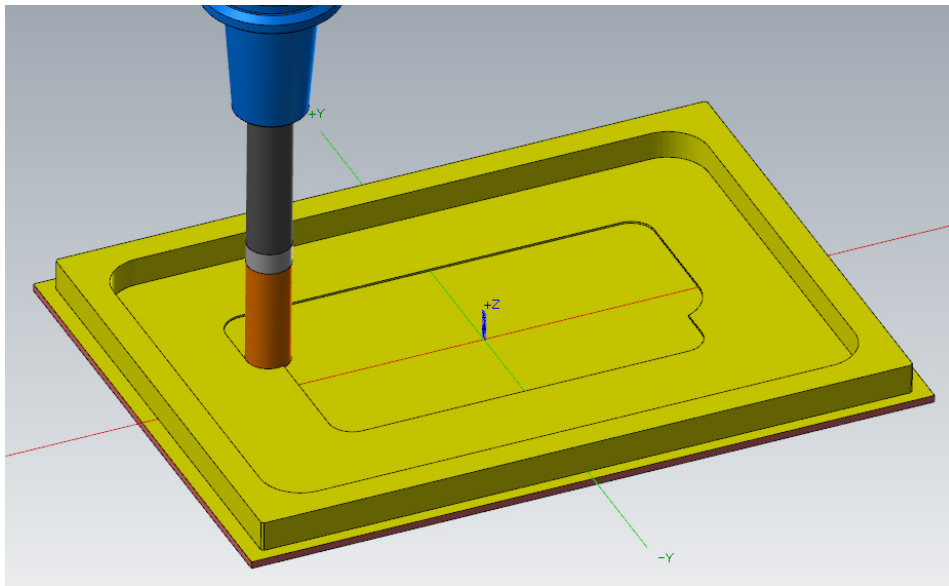
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$

- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\max} = 1 \text{ mm}$

Prikaz glodanja „džepa“ dan je na slici 6.1.20.



Slika 6.1.20. Operacija 3 – Grubo glodanje „džepa“

**OPERACIJA 4** – Zabušivanje središta u kojima će se bušiti prolazne rupe  $\Phi 4,2$  mm. Podešavanjem dubine zabušivanja ujedno je moguće napraviti i skošenja za slijepe rupe koje će kasnije biti izbušene. Npr. ako se želi postići skošenje od  $1 \times 45^\circ$  mm za rupu  $\Phi 4,2$  mm, dubina zabušivanja iznosi inkrementalno  $Z = - 3,1$  mm.

**Korišteni alat:** Zabušivač D12 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 2000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 200 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 75 \text{ mm/min}$

- Dubina zabušivanja  $\rightarrow a = 3,1 \text{ mm}$

**OPERACIJA 5** – Bušenje prolaznih rupa  $\Phi 4,2$  mm u koje će se umetati vodilice.

**Korišteni alat:** Svrđlo D4,2 HSS

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 66 \text{ mm/min}$

- Dubina bušenja  $\rightarrow a = 15 \text{ mm}$

OPERACIJA 6 – Obodno fino glodanje svih bočnih površina na finalnu dimenziju, skidanje dodatka od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D20 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 10000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1000 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 628 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

OPERACIJA 7 – Fino čeono glodanje gornje površine na visinu 17,5 mm, skidanje ostavljenog dodatka od 0,1 mm.

Ovom operacijom postiže se hrapavost površine stupnja N5.

**Korišteni alat:** Glodača glava D100 (Al)

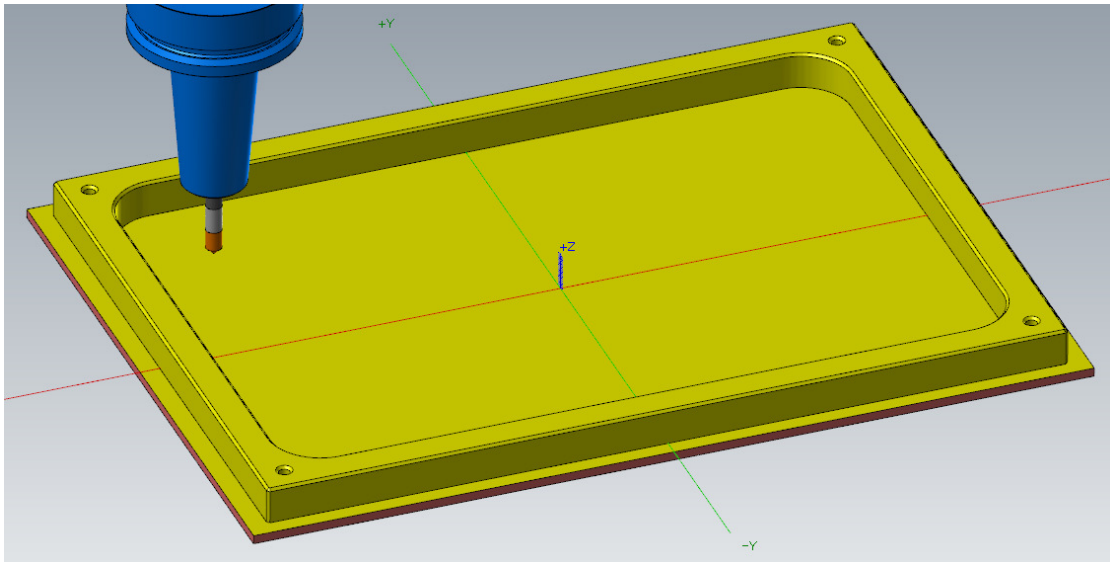
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 1570 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

OPERACIJA 8 – Skidanje oštih rubova  $1 \times 45^\circ$

**Korišteni alat:** Trkač – skidač srha D6 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 226 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow a = 1 \text{ mm}$

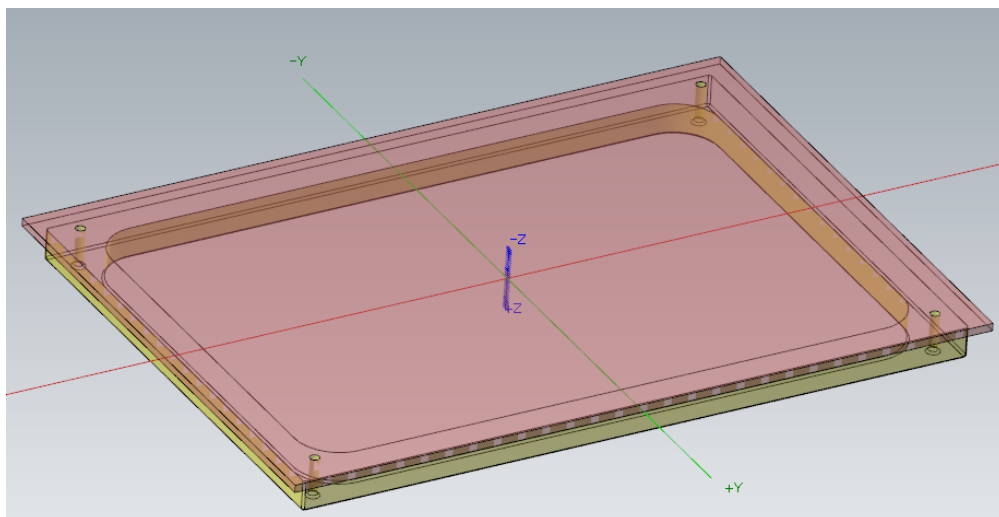
Prikaz obratka nakon posljednje operacije u prvom stezanju dan je na slici 6.1.21.



*Slika 6.1.21. Operacija 8 – Skidanje oštih rubova  $1 \times 45^\circ$*

**STEZANJE 2** – Okretanje izratka iz prvog stezanja te ponovno stezanje u steznu napravu  
Izradak se steže na dubinu od 3,5 mm u stezne čeljusti.

Realan izgled okrenutog izratka nakon drugog stezanja prikazan je na slici 6.1.22.



*Slika 6.1.22. Prikaz pozicioniranja izratka nakon drugog stezanja*

OPERACIJA 9 – Grubo čeono glodanje gornje površine na finalnu visinu 14 mm, uz ostavljanje viška od 0,1 mm za finu obradu.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$   
- Max. dubina rezanja  $\rightarrow a_{\max} = 1 \text{ mm}$

OPERACIJA 10 – Fino čeono glodanje gornje površine na finalnu visinu 14 mm, skidanje ostavljenog dodatka od 0,1 mm.

Ovom operacijom postiže se hrapavost površine stupnja N5.

**Korišteni alat:** Glodača glava D100 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 1570 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

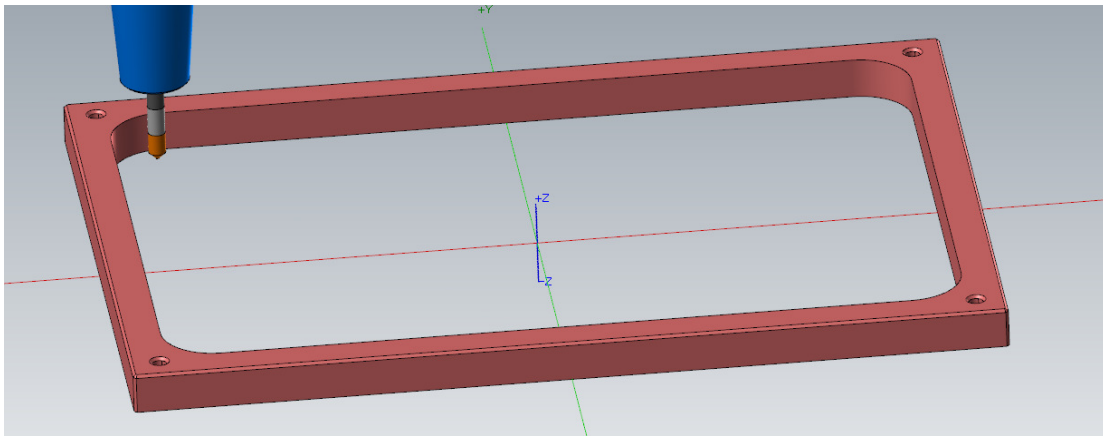
OPERACIJA 11 – Skidanje oštarih rubova  $1 \times 45^\circ$ .

**Korišteni alat:** Trkač – skidač srha D6 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 226 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow a = 1 \text{ mm}$

Za izradu pozicije 2, također su potrebna dva stezanja, a tehnološki postupak sačinjen je od jedanaest operacija. Simulacija putanja alata i .MP4 datoteka CAM prikaza cjelokupne izrade pozicije 2 priložena je uz završni rad u digitalnom obliku.

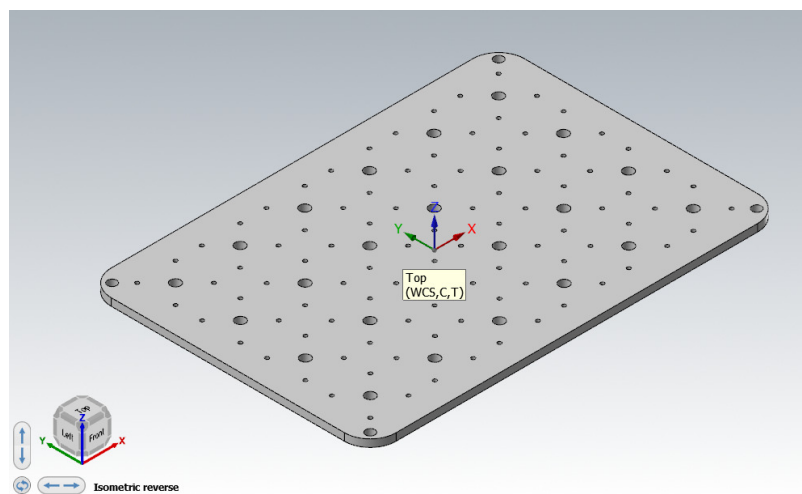
Na slici 6.1.23. prikazan je izgled pozicije 2 na kraju tehnološkog procesa.



*Slika 6.1.23. Izgled pozicije 2 nakon završetka tehnološkog procesa*

### 6.1.3. Pozicija 3 – Matrica

Poziciju 3 moguće je izraditi u dva stezanja. Za potrebe CAM simulacije koristiti će se jedno stezanje. Pozicija je izrađena od hladno valjanog lima za koji proizvođač garantira ravnost površine od 98%. Samim time, čeonu poravnanje površina neće biti potrebno. Prikaz referentne točke komada (WCS) nalazi se na slici 6.1.24.



*Slika 6.1.24. Prikaz referentne točke komada (WCS) – Pozicija 3*

Redoslijed operacija pri izradi pozicije 3 je sljedeći:

STEZANJE 1 – Stezanje ploče dimenzija 290×210×5 mm.

Ploča se steže na već unaprijed pripremljenu ploču s tehničkim rupama pomoću tzv. šapa za stezanje. Šape za stezanje koristiti će se sve dok se ne izbuše sve rupe na poziciji. Nakon bušenja rupa, poziciju je moguće stegnuti pomoću četiri vijka M6 i četiri podloške.

OPERACIJA 1 – Zabušivanje središta u kojima će se bušiti prolazne rupe  $\Phi 6,2$  mm.

**Korišteni alat:** Zabušivač D12 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 2500 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 94 \text{ mm/min}$

- Dubina zabušivanja  $\rightarrow a = 3,2 \text{ mm}$

OPERACIJA 2 – Zabušivanje središta u kojima će se bušiti prolazne rupe  $\Phi 6,8$  mm.

**Korišteni alat:** Zabušivač D12 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 2500 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 94 \text{ mm/min}$

- Dubina zabušivanja  $\rightarrow a = 3,45 \text{ mm}$

OPERACIJA 3 – Zabušivanje središta u kojima će se bušiti prolazne rupe za strojni ureznik M3. Spuštanjem alata na dubinu 1,6 mm ujedno se postiže i željeno skošenje za navoj M3.

**Korišteni alat:** Zabušivač D12 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 2500 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$



- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 94 \text{ mm/min}$
- Dubina zabušivanja  $\rightarrow a = 1,6 \text{ mm}$

OPERACIJA 4 – Bušenje prolazne rupe  $\Phi 6,8 \text{ mm}$ .

Rupe promjera 6,8 mm ujedno imaju i ulogu tzv. tehničkih rupa, koje služe za pritezanje pozicije vijcima M6 i podloškom.

**Korišteni alat:** Svrđlo D6,8 HSS

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 5000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 106 \text{ mm/min}$
- Dubina bušenja  $\rightarrow a = 13 \text{ mm}$

OPERACIJA 5 – Bušenje prolazne rupe  $\Phi 6,2 \text{ mm}$ .

Rupe promjera 6,2 mm namijenjene su za kasnije pričvršćivanje matrice s pozicijom 1, pomoću četiri M6 vijka.

**Korišteni alat:** Svrđlo D6,2 HSS

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 10000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 195 \text{ mm/min}$
- Dubina bušenja  $\rightarrow a = 13 \text{ mm}$

OPERACIJA 6 – Bušenje prolazne rupe  $\Phi 2,5 \text{ mm}$  za kasnije urezivanje navoja M3 [5].

**Korišteni alat:** Svrđlo D2,5 HSS

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 10000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 78 \text{ mm/min}$
- Dubina bušenja  $\rightarrow a = 10 \text{ mm}$

OPERACIJA 7 – Urezivanje navoja M3 u prolazne rupe  $\Phi 2,5$  mm.

**Korišteni alat:** Strojni ureznik M3 za prolaznu rupu

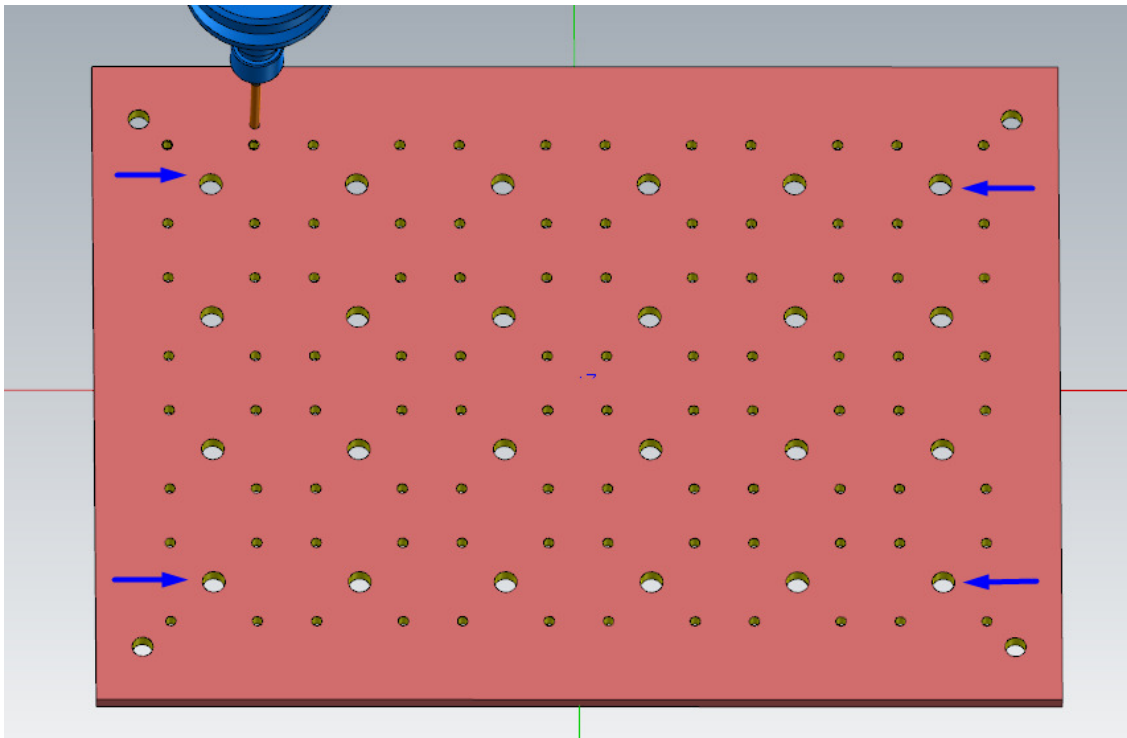
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 2000 \text{ n}^{-1}$

- Posmična brzina  $\rightarrow f = 250 \text{ mm/min}$

- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 19 \text{ mm/min}$

- Dubina rezanja  $\rightarrow a = 9 \text{ mm}$

Na slici 6.1.25. dan je prikaz obratka nakon izvršenih prvih sedam operacija. Plavim strelicama označene su rupe koje će poslužiti kao tehničke rupe za daljnje stezanje.



*Slika 6.1.25. Prikaz tehničkih rupa za stezanje pozicije 3*

STEZANJE 2 – Stezanje ploče dimenzija 290×210×5 mm kroz tehničke rupe, pomoću vijaka M6 i podloške. Stezanje kroz tehničke rupe omogućuje obodno glodanje konture pozicije.

OPERACIJA 8 – Obodno grubo glodanje vanjske konture na finalnu dimenziju, uz ostavljeni višak materijala za finu obradu od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Grubo glodalo D20 (Al)

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1000 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 754 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

OPERACIJA 9 – Obodno fino glodanje vanjske konture na finalnu dimenziju, skidanje dodatka od 0,1 mm.

**Korišteni alat:** Fino glodalo D20 (Al)

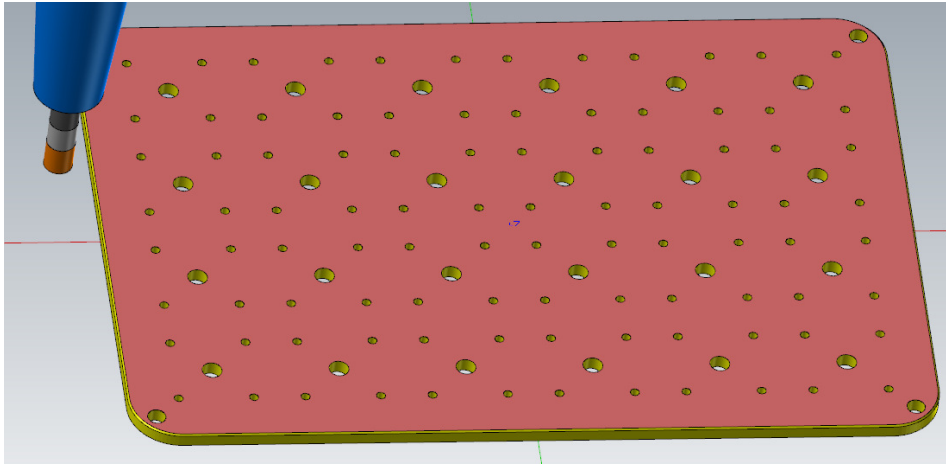
**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 10000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 500 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 628 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow$  jedan prolaz ( $i = 1$ )

OPERACIJA 10 – Skidanje oštrog ruba  $1 \times 45^\circ$

**Korišteni alat:** Trkač – skidač srha D6 V90

**Parametri obrade:** - Brzina vrtnje glavnog vretena  $\rightarrow S = 12000 \text{ n}^{-1}$   
- Posmična brzina  $\rightarrow f = 1200 \text{ mm/min}$   
- Brzina rezanja  $\rightarrow v_c = 226 \text{ mm/min}$   
- Dubina rezanja  $\rightarrow a = 1 \text{ mm}$

Finalni prikaz pozicije 3 nalazi se na slici 6.1.26. koja se nalazi na sljedećoj stranici.



*Slika 6.1.26. Izgled pozicije 3 nakon završetka tehnološkog procesa*

## **6.2. Kratki osvrt na korištene alate**

U svrhe realizacije ovog završnog rada koristiti će se širok spektar alata, kako bi se postigla precizna i uspješna izrada glavnih komponenti naprave. Gruba glodala koristiti će se za brzo uklanjanje većih količina materijala i oblikovanje osnovnih kontura, dok će fina glodala omogućiti postizanje preciznih dimenzija i glatke površine završnog izratka. Glodače glave omogućuju obradu većih površina, čime će se postići ravne i precizne završne obrade na određenim plohama. Zabušivači će biti ključni za točno pozicioniranje rupa prije bušenja, dok će se trkači koristiti za skidanje srha, tj. oštih rubova. Trkači će se također koristiti i za izradu skošenja na provrtima. Za potrebe izrade navoja koristiti će se strojni ureznici za bržu i točniju izradu navoja, dok će ručni ureznik služiti za urezivanje navoja G1/2". Svaki od ovih alata igrati će ključnu ulogu u različitim fazama strojne obrade, osiguravajući kvalitetu i točnost izrađenih pozicija.

Popis svih korištenih alata biti će priložen uz završni rad, na samom kraju rada.

## 7. IZRADA POZICIJA NAPRAVE NA STROJU

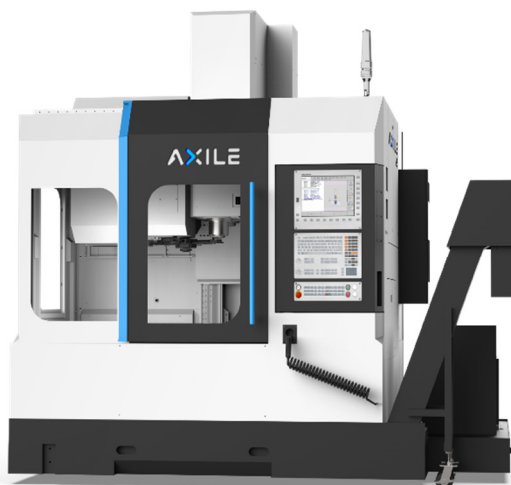
U ovom poglavlju biti će prikazan proces izrade glavnih pozicija naprave na CNC stroju. Pozicije će biti izrađene korištenjem CNC glodalice AXILE V5, u vlasništvu poduzeća ELCON GERAETEBAU d.o.o. Programiranje operacija od kojih se tehnološki procesi sastoje biti će izvedeno ručno, korištenjem upravljačke jedinice Heidenhain TNC 640. Upravljačka jedinica na sebi sadrži ekran pomoću kojeg se mogu simulirati željene operacije. Heidenhain TNC 640 integriran je unutar CNC stroja, a na slici 7.1. prikazan je izgled sučelja.



Slika 7.1. Ručno programiranje na upravljačkoj jedinici Heidenhain TNC 640

Za glodanje kompleksnog „džepa“ u donjem dijelu naprave, kao i za glodanje utora za O-ring, koristit će se dio programa izrađenog unutar programskog paketa Mastercam 2024. Program će se post-procesirati te će se dijelovi programa manualno kopirati u ručno programirani kod. Postprocesiranje je proces u kojem post-procesor (alat koji prevodi izlaz iz CAM softvera u specifičan G-kod) uzima generički put alata i pretvara ga u kod koji upravljačka jedinica može razumjeti i koristiti.

Korištena CNC glodalica može obrađivati komade mase i do 600 kg, a dimenzije radnog stola korištene glodalice iznose 900×520 mm. Maksimalni pomak po X, Y i Z-osi redom iznosi 800, 500 i 500 mm. Korištena CNC glodalica AXILE V5 prikazana je na slici 7.2.



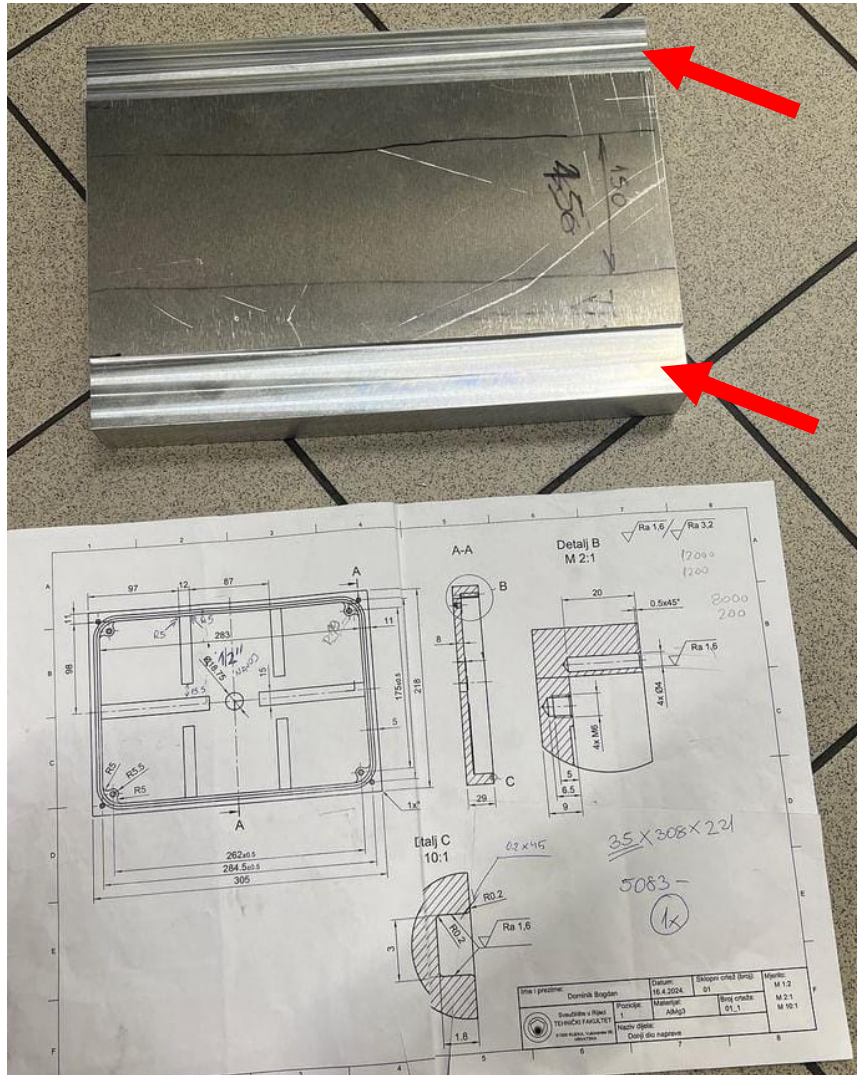
*Slika 7.2. Prikaz korištene CNC glodalice AXILE V5 [11]*

Na AXILE V5, alati se postavljaju u automatski izmjenjivač alata (ATC, *engl. Automatic Tool Changer*) koji je već unaprijed integriran u stroj. ATC omogućuje brzu izmjenu alata na revolverskom principu.

Načini stezanja pojedinih pozicija, korišteni pri izradi samih pozicija, prikazani su na slikama u sljedećem potpoglavlju.

## 7.1. Prikaz tijeka izrade pozicija na stroju

Izrada pozicije 1 započela je sa pripremanjem utora za koje će se pričvrstiti stezne čeljusti stezne naprave. Urezani utori namijenjeni za stezanje označeni su crvenim strelicama, na slici 7.1.1.



Slika 7.1.1. Prikaz utora urezanih za stezanje pomoću steznih čeljusti

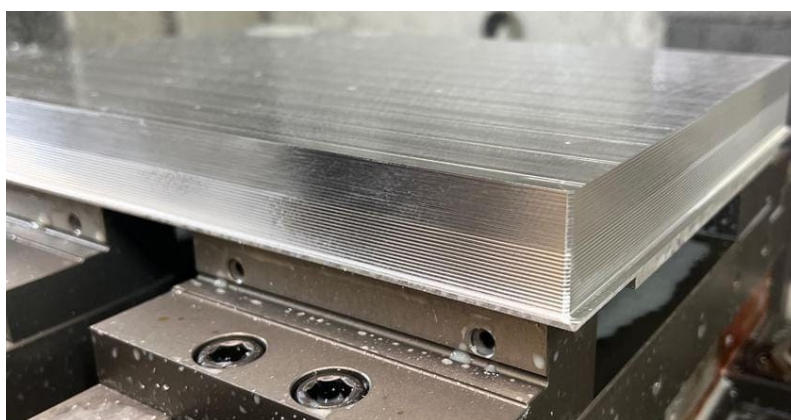
Prikaz već unaprijed stegnutog sirovog materijala u steznoj napravi, dan je na sljedećoj stranici, na slici 7.1.2. Nakon stezanja na radni stol stroja potrebno je umjeriti alat. Pod pojmom umjeravanje misli se na definiranje referentne točke alata. Umjeravanje se vrši pomoću

Heidenhainovog touch setter-a TT 160. Njegova glavna zadaća je automatsko umjeravanje na principu detekcije točke kontakta.



*Slika 7.1.2. Umjeravanje alata prije početka tehnološkog postupka glodanja*

Gruba glodala razlikuju se od finih najviše po izgledu oštrice. Prikaz postignute površine grubim obodnim glodanjem prikazan je na slici 7.1.3.



*Slika 7.1.3. Izgled površine glodane grubim glodalom*

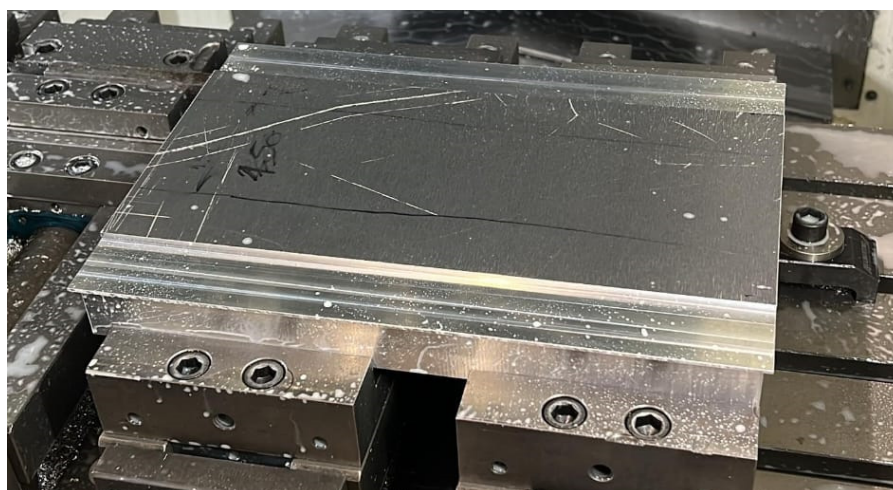


Za usporedbu s površinom nastalom pri procesu grubog glodanja, slijedi prikaz pozicije 1 nakon izvršenih operacija finog glodanja. Na slici 7.1.4. nalazi se prikaz pozicije 1, netom prije drugog stezanja.



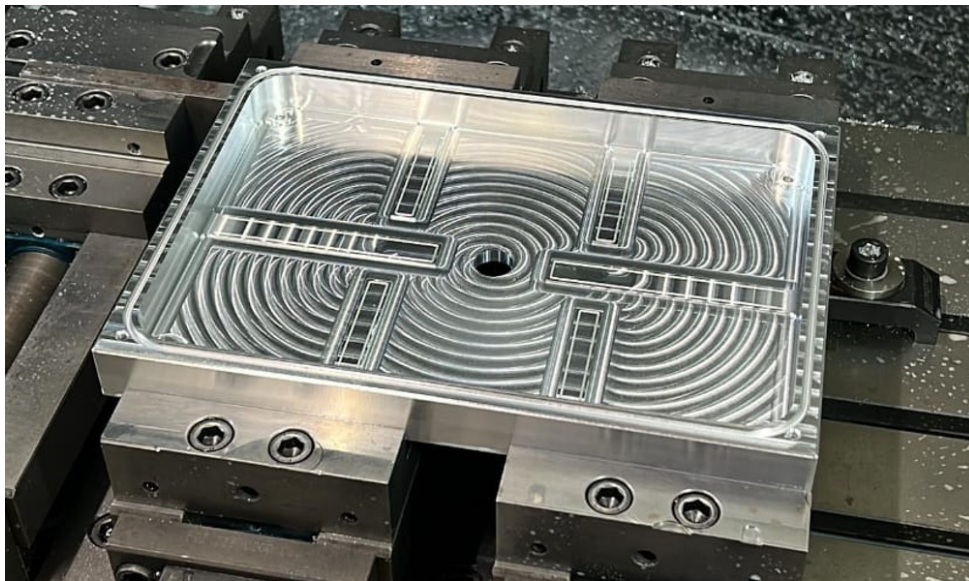
*Slika 7.1.4. Izgled površine nakon operacija finog glodanja*

Izgled pozicije 1 nakon drugog stezanja nalazi se na sljedećoj slici, slici 7.1.5.



*Slika 7.1.5. Prikaz drugog stezanja pozicije 1*

Izgled pozicije 1 nakon glodanja unutarnjeg „džepa“ i utora za brtvu, prikazan je na slici 7.1.6.



*Slika 7.1.6. Prikaz izglodanog „džepa“*

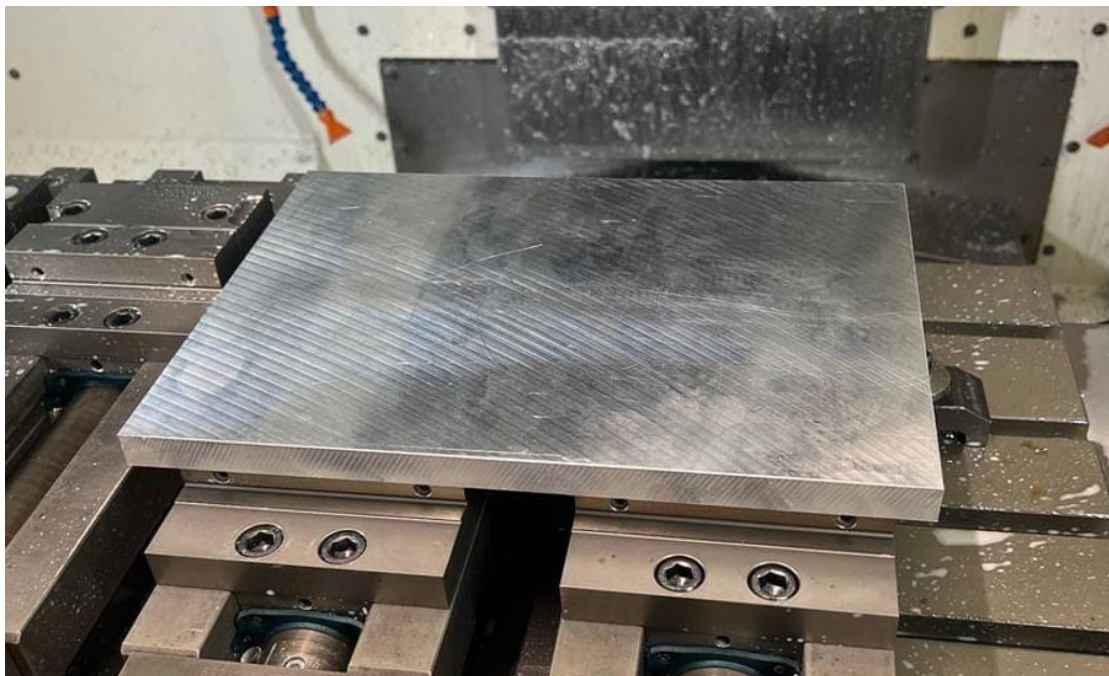
Kako utorno glodanje za sobom ostavlja trag putanje alata, unaprijed se vodilo računa da finalni izgled pozicije bude „oku ugodan“. Glodanje „džepa“ izvedeno je metodom vođenja alata nazvanom „High Speed“. Navedena metoda rezultira spiralnim putanjama alata.

Finalni izgled pozicije 1 dan je na slici 7.1.7.



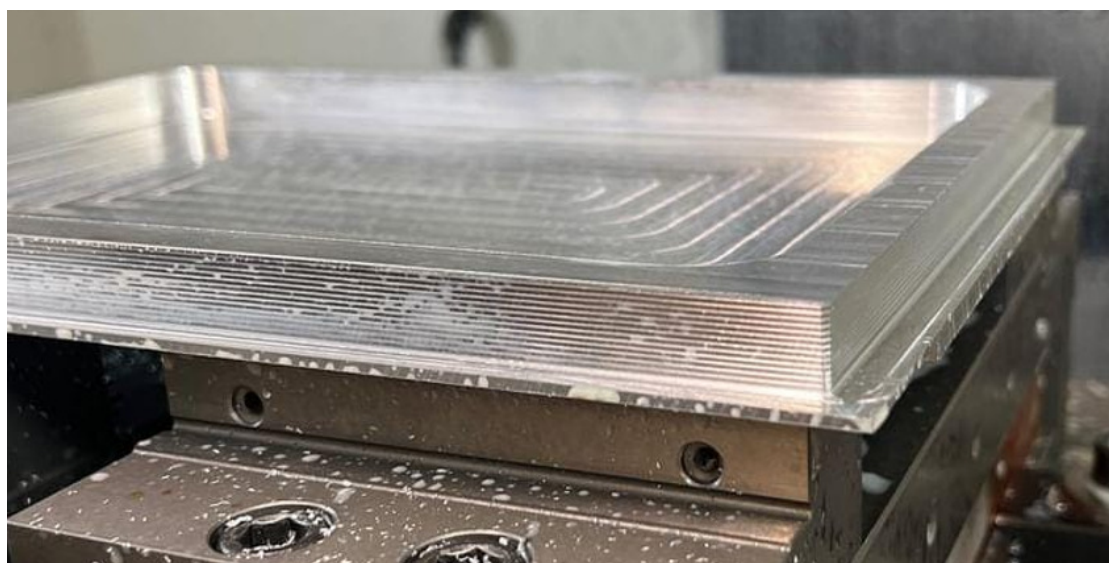
*Slika 7.1.7. Finalni prikaz donjeg dijela naprave – Pozicija 1*

Izrada pozicije 2 također je započela s postupkom urezivanja utora za koje će se pričvrstiti stezne čeljusti stezne naprave. Izgled sirovog materijala nakon prvog stezanja dan je na slici 7.1.8.



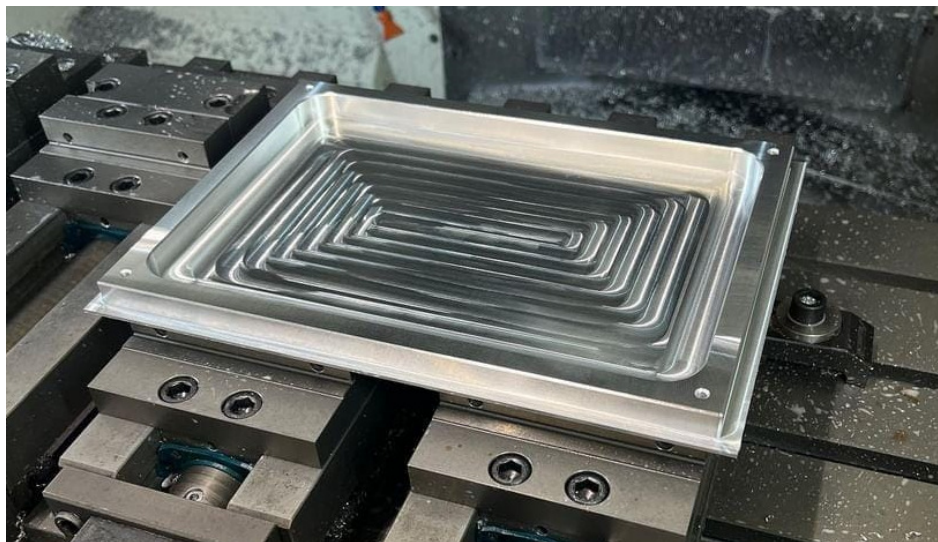
*Slika 7.1.8. Izgled stegnutog sirovca za izradu pozicije 2*

Površina nastala grubim glodanjem pri prvom stezanju, prikazana je na slici 7.1.9.



*Slika 7.1.9. Prikaz pozicije 2 nakon grubih obrada glodanja*

Prikaz „zaglađenih“ površina završnom finom obradom dan je na slici 7.1.10. Slika ujedno prikazuje i izgled pozicije 2 prije drugog stezanja.



*Slika 7.1.10. Prikaz pozicije 2 nakon operacija sadržanih u prvom stezanju*

Drugo stezanje pozicije 2 podrazumijeva čeono glodanje ostatka materijala koji nije skinut prethodnim stezanjem. Izgled pozicije nakon drugog stezanja prikazan je na slici 7.1.11.



*Slika 7.1.11. Prikaz drugog stezanja pozicije 2*

Finalni izgled pozicije 2 prikazan je na slici 7.1.12.



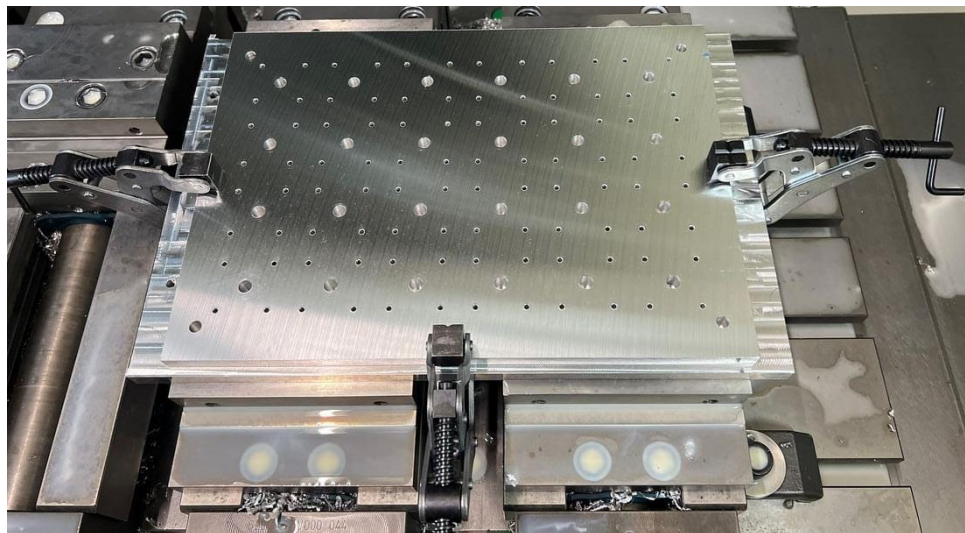
*Slika 7.1.12. Finalni prikaz poklopca naprave – Pozicija 2*

Za izradu pozicije 3, prvotno je bilo potrebno izraditi tehničke rupe na ploči koja će poslužiti kao pomoć pri stezanju matrice. Prikaz ploče s tehničkim rupama dan je na slici 7.1.13.



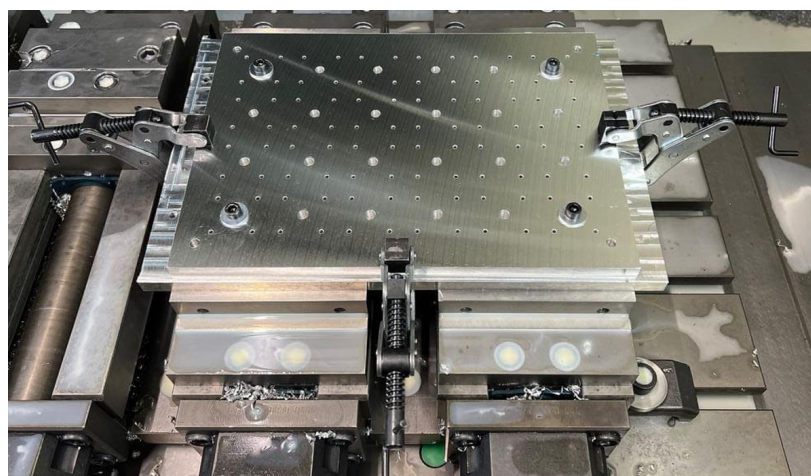
*Slika 7.1.13. Prikaz tehničkih rupa za stezanje pozicije 3*

Nakon smještanja sirovog materijala na ploču s unaprijed pripremljenim tehničkim rupama, moguće je krenuti s tehnološkim procesom izrade pozicije 3. Sirovi materijal se stegne pomoću steznih šapa te se odrade sve rupe koje su prisutne na poziciji 3. Prikaz završetka bušenja rupa dan je na slici 7.1.14.



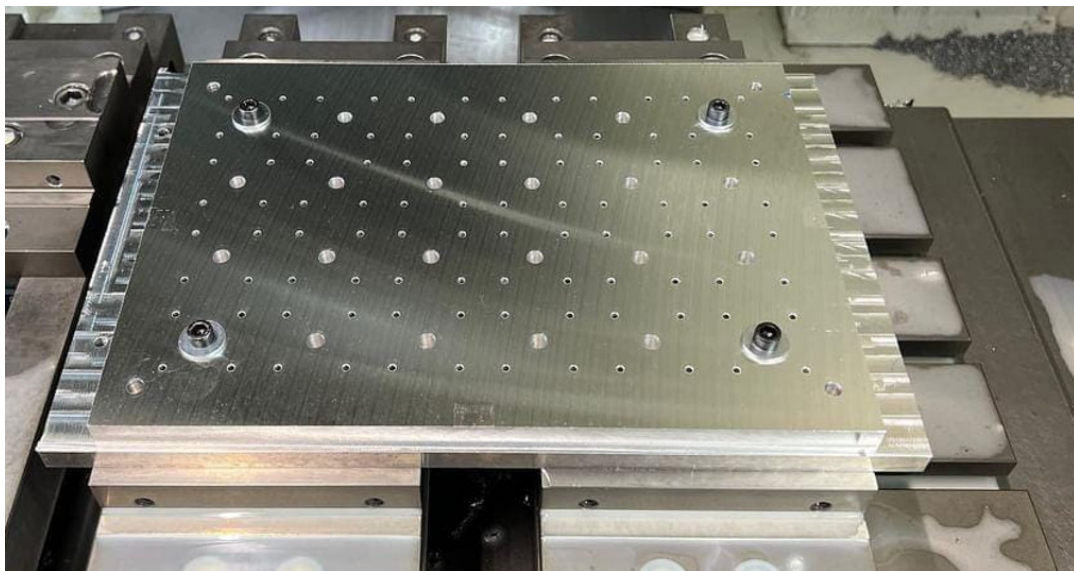
*Slika 7.1.14. Prikaz stezanja pozicije 3 pomoću steznih šapa*

Nakon bušenja rupa, kroz tehničke rupe umeću se imbus vijci M6 s podloškom. Prikaz stezanja vijcima dan je na slici 7.1.15.



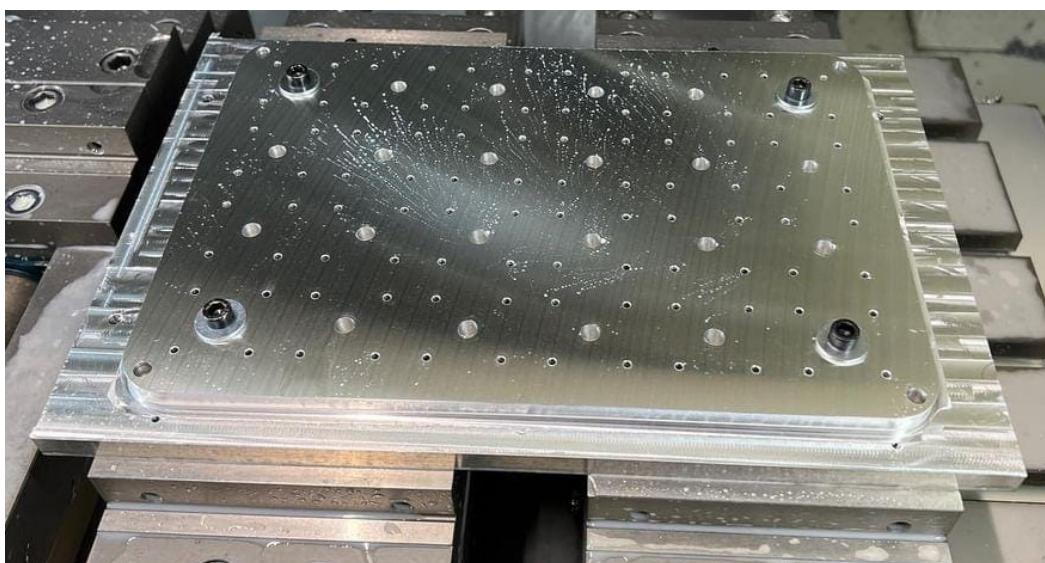
*Slika 7.1.15. Stezanje matrice M6 vijcima kroz tehničke rupe za stezanje*

Nakon što je ploča stegnuta pomoću četiri M6 vijaka moguće je odstranjivanje steznih šapa. Prikaz pozicije 3 stegnute samo vijcima dan je na slici 7.1.16.



*Slika 7.1.16. Prikaz pozicije 3 stegnute vijcima M6*

Odstranjivanje steznih šapa omogućuje glodanje vanjske konture ploče. Završena pozicija 3 prikazana je na slici 7.1.17.



*Slika 7.1.17. Finalni prikaz matrice prije skidanja sa stroja*

## 8. ZAVRŠNA MONTAŽA NAPRAVE

U ovom poglavlju ukratko će biti opisan postupak sklapanja svih komponenti naprave. Montaža se izvodi na način da se osigura točnost, stabilnost i pravilnost rada svih komponenti naprave. Završna montaža naprave predstavlja ključni korak u pripremi uređaja za praktičnu primjenu u sublimacijskom tisku.

Nakon 3D printanja nosača poklopaca tipkala, moguće ih je spojiti na matricu. Spajanje će biti izvršeno pomoću imbus M3 vijaka. Za spajanje potreban je imbus ključ. Prikaz međusobnog sklapanja pozicije 3 i 4 dan je na slici 8.1.



*Slika 8.1. Sklapanje pozicija 3 i 4*

Pozicija 5, tj. brtva O-ring debljine 3 mm reže se na potrebnu duljinu. Također, potrebno je pripremiti čelične šipke  $\Phi 4$  (pozicija 8) koje će imati ulogu vodilica. Čelične šipke režu se na duljinu od 35 mm. Izgled već unaprijed pripremljenih vodilica prikazan je na slici 8.2.



*Slika 8.2. Pozicija 8 – Vodilice izrađene od čelične šipke*



Nakon što su pozicije 5 i 8 spremne, mogu se montirati u poziciju 1. Prikaz donjeg dijela naprave s umetnutim vodilicama i brtvom prikazan je na slici 8.3.



*Slika 8.3. Prikaz brtve i vodilica umetnutih u poziciju 1*

Nakon umetanja brtve i vodilica, na vodilice se umeće poklopac naprave. Na poklopac je potrebno implementirati zatvarače stranica. Zatvarači su kupljeni od lokalnog dobavljača mješovite robe. Dimenzije i materijal zatvarača odgovaraju uvjetima naprave, pa će se kao takvi koristiti. Prikaz kupljenih zatvarača stranice prikazan je na slici 8.4.



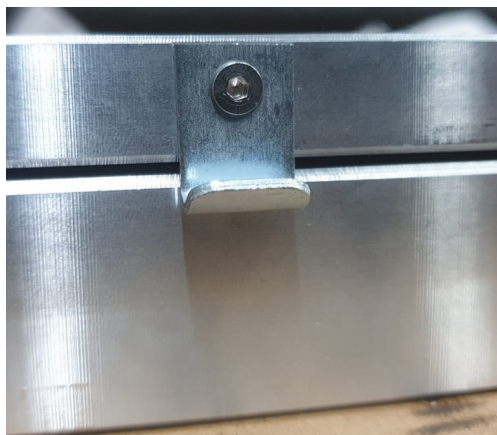
*Slika 8.4. Prikaz kupljenih zatvarača stranica*

Na poklopcu naprave potrebno je izbušiti rupe i urezati navoj, kako bi bilo moguće sklapanje zatvarača stranica. Prema dimenzijama rupa na kupljenim zatvaračima stranica, moguće je zaključiti da će se za sklapanje koristiti M3 imbus vijci. Za M3 navoj potrebno je izbušiti rupu promjera 2,5 mm. Prvotno se na poklopcu naprave sa svake strane na sredini izmjeri pozicija buduće rupe te se označi točkalom. Točkalo omogućava točno centriranje i bušenje rupa, a rupe se buše uz pomoć klasične stupne bušilice. Nakon što su rupe izbušene moguće je urezati navoj M3. Navoj se urezuje ručnim ureznikom M3. Prikaz navojne rupe urezane u poklopcu naprave dan je na slici 8.5.



*Slika 8.5. Urezivanje rupa M3 potrebnih za sklapanje zatvarača stranica*

Nakon što su sve četiri navojne rupe urezane, moguće je pričvrstiti kukice za koje se kasnije zakači zatvarač stranice. Prikaz implementiranih kukica dan je na slici 8.6.



*Slika 8.6. Implementacija kukica za zatvaranje naprave*

Za potrebe implementacije zatvarača stranica na donji dio naprave potrebno je ponoviti postupak. Prikaz mjerenja i označavanja središta u kojem će se bušiti rupa na donjem dijelu naprave dan je na slici 8.7.



*Slika 8.7. Označavanje pozicije navojnih rupa na poziciji 1*

Nakon što su rupe označene i izbušene, moguće je u njih urezati navoj. Proces urezivanja navoja prikazan je na slici 8.8.



*Slika 8.8. Urezivanje navoja u poziciju 1*

Izgled zatvarača stranice montiranog u donji dio naprave prikazan je na slici 8.9.



*Slika 8.9. Zatvarač stranice spojen u donji dio naprave*

Implementacijom zatvarača stranica moguće je postići hermetičko zatvoren prostor u sublimacijskom dijelu naprave.

Na posljetku, u donji dio naprave potrebno je umetnuti pneumatski priključak za odvod zraka. Izgled naprave nakon spajanja priključka prikazan je na slici 8.10.



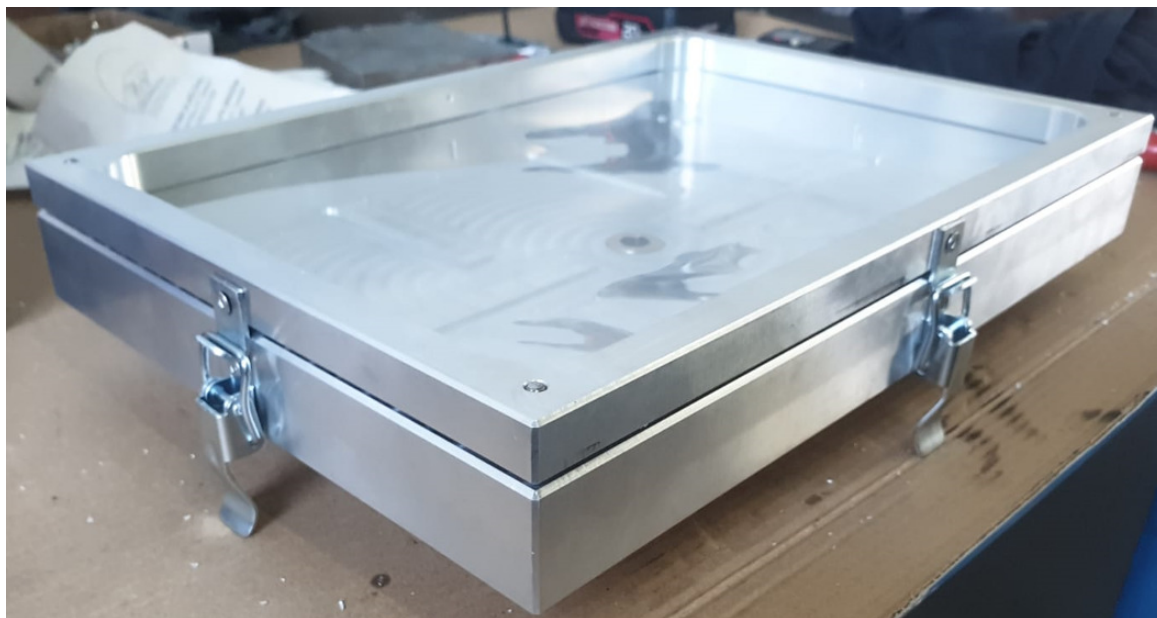
*Slika 8.10. Montaža pneumatskog priključka za vakuum pumpu*

Izgled priključka za vakuum pumpu s donje strane naprave prikazan je na slici 8.11.



*Slika 8.11. Izgled pneumatskog priključka - izvana*

Prikaz hermetički zatvorene naprave dan je na slici 8.12.



*Slika 8.12. Prikaz hermetički zatvorene naprave*

Zadnji korak montaže je umetanje matrice i spajanje vijcima M6.

## 9. KONAČNI PROIZVOD

Spajanjem naprave na vakuum pumpu i odvođenjem zraka testirana je nepropusnost naprave. Nakon postizanja vakuuma, folija se čvrsto priljubila uz površinu poklopaca tipkala, pa se može zaključiti da naprava za sublimacijski tisak funkcioniра. Na slici 9.1. prikazan je izgled finalne naprave pri testiranju.



*Slika 9.1. Isječak iz videa testa finalne naprave*

Video uradak testiranja naprave biti će priložen uz završni rad u digitalnom obliku.

## 10. ZAKLJUČAK

Kroz istraživanje i razvoj naprave za sublimacijski tisak pokazalo se da povećanje kapaciteta tipki po ciklusu tiska rezultira smanjenjem vremena potrebnog za proizvodnju, a samim time i povećava ukupnu produktivnost finalnog proizvoda. To je bio dovoljan motiv da se krene u realizaciju izrade finalne naprave.

Proces konstruiranja naprave započeo je 3D modeliranjem glavnih dijelova, korištenjem softvera Autodesk Fusion 360. Nakon izrade modela svake pojedine pozicije započelo je sastavljanje 3D modela sklopa. Nakon utvrđivanja da su sve komponente međusobno kompatibilne za spajanje, započeo je proces izrade radioničkih nacрта, a potom i sklopnog nacрта.

Spremanjem 3D modela u .step oblik datoteke omogućena je vizualizacija strojne obrade uz pomoć softvera Mastercam 2024. Pomoću navedenog CAD/CAM softvera kreirani su NC-kodovi, čiji su se segmenti kasnije koristili za izradu pozicija na CNC stroju. Heidenhain TNC 640 upravljačka jedinica omogućila je jednostavno ručno programiranje putanja alata. Tijekom same izrade pozicija, CNC stroj AXILE V5 pokazao se kao izuzetno pouzdan i precizan alat, što je bilo ključno za uspjeh ovog završnog rada.

Kombinacijom dostupnih alata, znanja i tehnologija razvijena je funkcionalna naprava koja u potpunosti zadovoljava sve početno postavljene tehničke zahtjeve i ciljeve. Ovaj rad pruža solidnu osnovu za daljnji razvoj sličnih uređaja u industriji.

## LITERATURA

- [1] Matija Golub: <https://k33b.com/gallery/>, s interneta, 24. travnja 2024.
- [2] Nepoznati autor: <https://www.subli-star.com/dtf-printer/dtf-film/>, s interneta, 28. srpnja 2024.
- [3] Nepoznati autor: <https://www.melgeek.com/blogs/guide/the-type-of-keycaps-profiles>, interneta, 25. srpnja 2024.
- [4] Nepoznati autor: <https://www.svezakucuidom.com/zatvarac-stranice-prikolice-113mm.html>, s interneta, 26. kolovoza 2024.
- [5] B. Kraut, Strojarski Priručnik, Zagreb: Tehnička knjiga, 1987.
- [6] Nepoznati autor: <https://pkl.hr/proizvod/d23-00-mm-o-ring-traka-3-00-f70-viton/>, s interneta, 23. travnja 2024.
- [7] Nepoznati autor: <https://www.barnwell.co.uk/o-ring-material-selection-overview/>, s interneta, 23. travnja 2024.
- [8] Nepoznati autor: <https://www.haba.ch/en/cuts/aluminium/haba-g-almg3>, s interneta, 24. travnja 2024.
- [9] Nepoznati autor: <https://www.robertlaminage.com/en/node/516>, s interneta, 13. svibnja 2024.
- [10] Krešimir: „Alati za glodanje – svrha i opis alata za strojnu obradu metala” , 20. prosinca 2021., <https://cnc.com.hr/alati-za-glodanje/>, s interneta, 25. kolovoza 2024.
- [11] Nepoznati autor: <https://www.axilemachine.com/>, s interneta, 30. kolovoza 2024.
- [12] Perinić M., Ištoković D.,: „Osnove Mastercama“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2018.
- [13] Jurković Z., „Tema 2 s predavanja kolegija Proizvodni strojevi alati i naprave“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2022.



## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Prikaz ergonomske tipkovnice [1] .....	9
Slika 4.1.1. Prvobitno korištena naprava za sublimacijski tisak - izvana .....	11
Slika 4.1.2. Prvobitno korištena naprava za sublimacijski tisak – iznutra .....	12
Slika 4.1.3. Prikaz nekvalitetnog otiska .....	12
Slika 4.2.1. Prikaz strukture film folije proizvođača Sublistar [2].....	14
Slika 4.2.2. Prikaz najpoznatijih tipova poklopca tipkala [3].....	15
Slika 4.2.3. Prikaz dimenzija DSA poklopca tipkala .....	16
Slika 4.2.4. Idejna skica nove naprave za sublimacijski tisak.....	17
Slika 5.1.1. Prikaz potencijalnog tipa zatvarača stranice [4] .....	21
Slika 5.2.1. Prikaz prve faze konstruiranja donjeg dijela naprave – Fusion 360 .....	22
Slika 5.2.2. Prikaz druge faze konstruiranja donjeg dijela naprave – Fusion 360 .....	23
Slika 5.2.3. Finalni prikaz donjeg dijela naprave – Fusion 360 .....	23
Slika 5.2.4. Prikaz finalnog izgleda poklopca naprave – Fusion 360 .....	24
Slika 5.2.5. Prikaz finalnog izgleda pozicije 3 – Fusion 360 .....	25
Slika 5.2.6. Prikaz finalnog izgleda nosača poklopca tipkala – Fusion 360 .....	26
Slika 5.3.1. Prikaz finalnog izgleda naprave – Fusion 360 .....	26
Slika 5.3.2. Prikaz presjeka naprave – Fusion 360.....	27
Slika 5.4.1. Dijagram preporučenih materijala za pojedine radne temperature [7] .....	28
Slika 5.5.1. Prikaz poklopca tipkala s otiskom [1] .....	29
Slika 6.1.1. Prikaz referentne točke komada (WCS) – Pozicija 1 .....	32
Slika 6.1.2. Prikaz sirovog materijala pozicije 1 prije početka glodanja .....	33
Slika 6.1.3. Operacija 1 – Čeono grubo glodanje gornje površine.....	34
Slika 6.1.4. Operacija 2 – Obodno grubo glodanje bočnih površina .....	34
Slika 6.1.5. Operacija 5 – Glodanje rupe za navoj G1/2" .....	36
Slika 6.1.6. Operacija 6 – Čeono poravnanje gornje površine .....	37

Slika 6.1.7. Operacija 7 – Skidanje oštih rubova $1 \times 45^\circ$ .....	37
Slika 6.1.8. Prikaz pozicioniranja izratka nakon drugog stezanja.....	38
Slika 6.1.9. Operacija 8 – Čeono glodanje gornje površine.....	39
Slika 6.1.10. Operacija 9 – Grubo glodanje „džepa“ .....	39
Slika 6.1.11. Operacija 11 – Zabušivanje središta za rupe.....	40
Slika 6.1.12. Operacija 4 – Urezivanje navoja M6 .....	42
Slika 6.1.13. Operacija 17 – Obodno fino glodanje bočnih strana.....	43
Slika 6.1.14. Operacija 19 – Obodno fino glodanje utora dubine 1 mm.....	44
Slika 6.1.15. Finalni izgled pozicije 1 u drugom stezanju .....	46
Slika 6.1.16. Prikaz referentne točke komada (WCS) – Pozicija 2.....	47
Slika 6.1.17. Prikaz sirovog materijala pozicije 2 prije početka obrade .....	48
Slika 6.1.18. Operacija 1 – Čeono grubo glodanje gornje površine.....	48
Slika 6.1.19. Operacija 2 – Obodno grubo glodanje bočnih površina .....	49
Slika 6.1.20. Operacija 3 – Grubo glodanje „džepa“ .....	50
Slika 6.1.21. Operacija 8 – Skidanje oštih rubova $1 \times 45^\circ$ .....	52
Slika 6.1.22. Prikaz pozicioniranja izratka nakon drugog stezanja.....	52
Slika 6.1.23. Izgled pozicije 2 nakon završetka tehnološkog procesa .....	54
Slika 6.1.24. Prikaz referentne točke komada (WCS) – Pozicija 3.....	54
Slika 6.1.25. Prikaz tehničkih rupa za stezanje pozicije 3 .....	57
Slika 6.1.26. Izgled pozicije 3 nakon završetka tehnološkog procesa .....	59
Slika 7.1. Ručno programiranje na upravljačkoj jedinici Heindenhein TNC 640 .....	60
Slika 7.2. Prikaz korištene CNC glodalice AXILE V5 [11] .....	61
Slika 7.1.1. Prikaz utora urezanih za stezanje pomoću steznih čeljusti .....	62
Slika 7.1.2. Umjeravanje alata prije početka tehnološkog postupka glodanja.....	63
Slika 7.1.3. Izgled površine glodane grubim glodalom.....	63
Slika 7.1.4. Izgled površine nakon operacija finog glodanja .....	64
Slika 7.1.5. Prikaz drugog stezanja pozicije 1.....	64

Slika 7.1.6. Prikaz izglovanog „džepa“ .....	65
Slika 7.1.7. Finalni prikaz donjeg dijela naprave – Pozicija 1 .....	65
Slika 7.1.8. Izgled stegnutog sirovca za izradu pozicije 2 .....	66
Slika 7.1.9. Prikaz pozicije 2 nakon grubih obrada glodanja.....	66
Slika 7.1.10. Prikaz pozicije 2 nakon operacija sadržanih u prvom stezanju .....	67
Slika 7.1.11. Prikaz drugog stezanja pozicije 2.....	67
Slika 7.1.12. Finalni prikaz poklopca naprave – Pozicija 2 .....	68
Slika 7.1.13. Prikaz tehničkih rupa za stezanje pozicije 3 .....	68
Slika 7.1.14. Prikaz stezanja pozicije 3 pomoću steznih šapa.....	69
Slika 7.1.15. Stezanje matrice M6 vijcima kroz tehničke rupe za stezanje .....	69
Slika 7.1.16. Prikaz pozicije 3 stegnute vijcima M6.....	70
Slika 7.1.17. Finalni prikaz matrice prije skidanja sa stroja .....	70
Slika 8.1. Sklapanje pozicija 3 i 4 .....	71
Slika 8.2. Pozicija 8 – Vodilice izrađene od čelične šipke.....	71
Slika 8.3. Prikaz brtve i vodilica umetnutih u poziciju 1 .....	72
Slika 8.4. Prikaz kupljenih zatvarača stranica.....	72
Slika 8.5. Urezivanje rupa M3 potrebnih za sklapanje zatvarača stranica.....	73
Slika 8.6. Implementacija kukica za zatvaranje naprave .....	73
Slika 8.7. Označavanje pozicije navojnih rupa na poziciji 1 .....	74
Slika 8.8. Urezivanje navoja u poziciju 1.....	74
Slika 8.9. Zatvarač stranice spojen u donji dio naprave.....	75
Slika 8.10. Montaža pneumatskog priključka za vakuum pumpu.....	75
Slika 8.11. Izgled pneumatskog priključka - izvana .....	76
Slika 8.12. Prikaz hermetički zatvorene naprave .....	76
Slika 9.1. Isječak iz videa testa finalne naprave.....	77

## POPIS TABLICA

Tablica 6.1. Dimenzije sirovog materijala AlMg3 prema pozicijama.....	30
Tablica 6.2. Mehanička svojstva legure AlMg3 [8].....	31
Tablica 6.3. Kemijski sastav legure AlMg3 [9].....	31

## **SAŽETAK**

Za potrebe ovog završnog rada detaljno je opisan postupak izrade naprave za sublimacijski tisak na poklopce tipkala, korištenih pri proizvodnji ergonomskih tipkovnica. Rad obuhvaća sve faze od početne ideje i razvoja do finalne izrade i testiranja naprave. Ključna područja uključuju izradu 3D modela i njihove pripadne tehničke dokumentacije, simulacije putanja alata pri strojnoj obradi, te samu izradu finalne naprave na CNC stroju.

Ključne riječi: CAD/CAM, CNC glodanje, tipkovnica, sublimacijski tisak, poklopac tipkala.

## **SUMMARY**

For this thesis, a detailed description of the process of creating a device for sublimation printing on keycaps used in the production of ergonomic keyboards has been provided. The work covers all phases from the initial concept and development to the final fabrication and testing of the device. Key areas include the creation of 3D models and their associated technical documentation, simulation of tool paths during the machining process, and the final production of the device using a CNC machine.

Key words: CAD/CAM, CNC milling, keyboard, dye-sublimation printing, keycap.

## **POPIS PRILOGA**

Prilog 1 - Popis alata

Prilog 2 - Radionički crtež donjeg dijela naprave

Prilog 3 - Radionički crtež poklopca naprave

Prilog 4 - Radionički crtež matrice

Prilog 5 - Radionički crtež nosača poklopca tipkala

Prilog 6 - Sklopni crtež naprave

Prilog 7 - Simulacije strojne obrade

Prilog 8 - NC kod

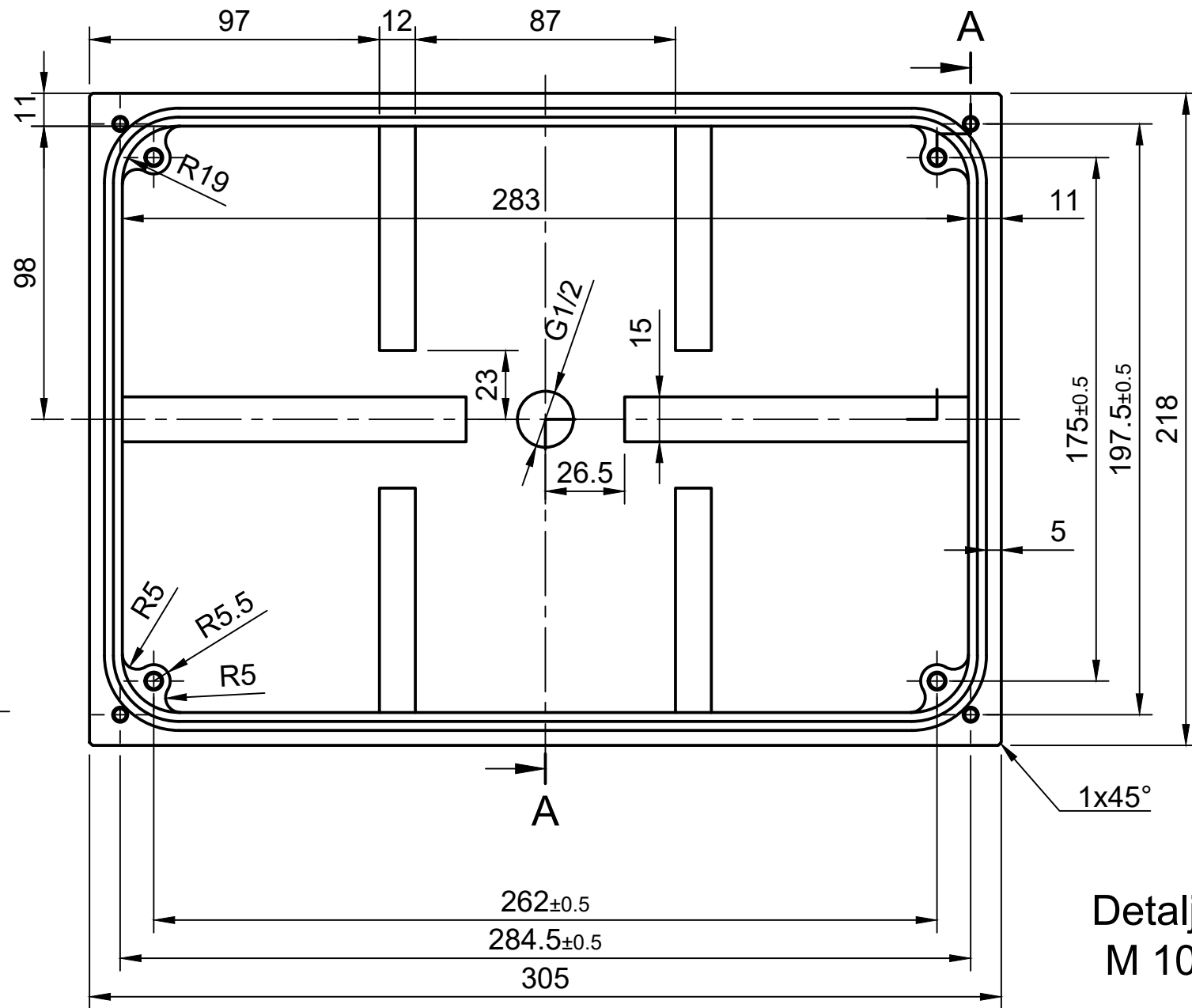
Prilog 9 - Video testiranja naprave

## Prilog 1.

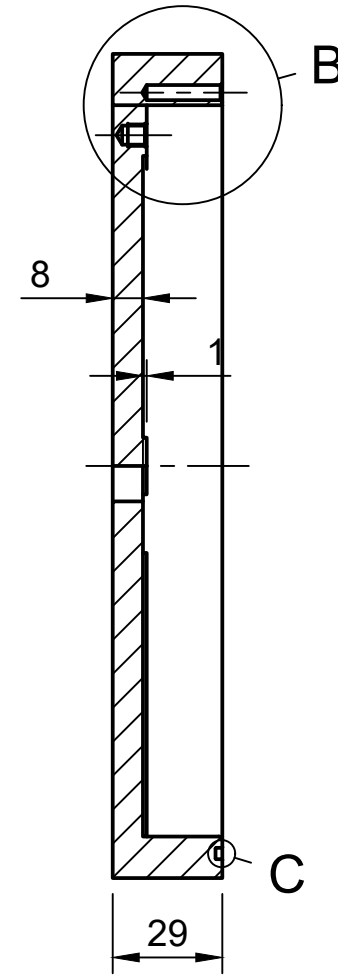
<b>POPIS ALATA</b>	
<b>TEHNIČKI FAKULTET U RIJECI</b>	<b>NAZIV SKLOPA: NAPRAVA</b>
<b>VRSTA ALATA:</b>	<b>NAZIV:</b>
REZNI ALATI:	GRUBO GLODALO D20 (Al)
	FINO GLODALO D20 (Al)
	GRUBO GLODALO D8 (Al)
	FINO GLODALO D8 (Al)
	FINO GLODALO D2,5 (Al)
	GLODAČA GLAVA D100 (Al)
	SVRDLO D2,5 HSS
	SVRDLO D4 HSS
	SVRDLO D4,2 HSS
	SVRDLO D5 HSS
	SVRDLO D6,2 HSS
	SVRDLO D6,8 HSS
	ZABUŠIVAČ D12 V90
	TRKAČ D6 V90
	STROJNI UREZNIK M6 ZA SLIJEPI PROVRT
	STROJNI UREZNIK M3 ZA PROLAZNU RUPU
	UREZNIK ZA CIJEVNI NAVOJ G1/2"
	UREZNIK M3
MJERNI ALATI:	Touch setter TT 160
	Pomično mjerilo
STEZNI ALATI:	Stezna naprava Allmatic TC 125
	Aluminijska ploča s tehničkim rupama
	Vijci M6 i podloške, moment ključ
OBRADNI ALATI:	Strugalica



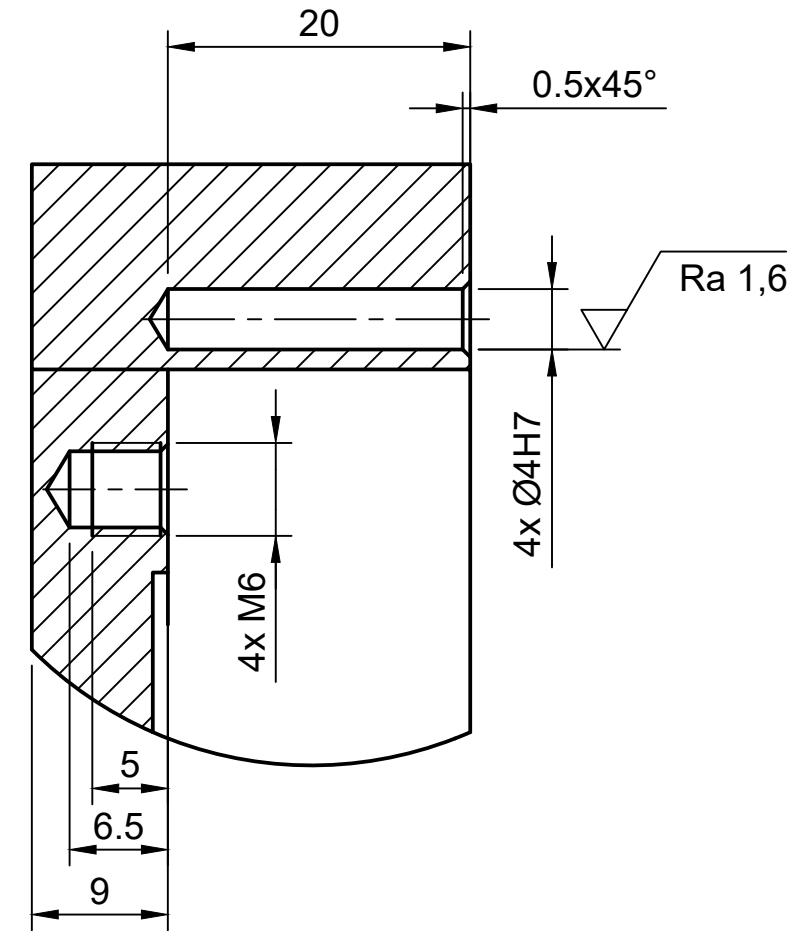
Prilog 2.



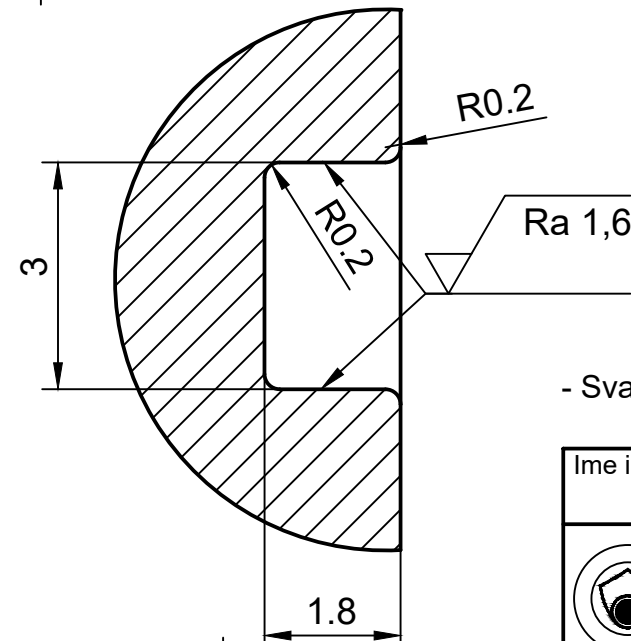
A-A



Detalj B  
M 2:1



Detalj C  
M 10:1

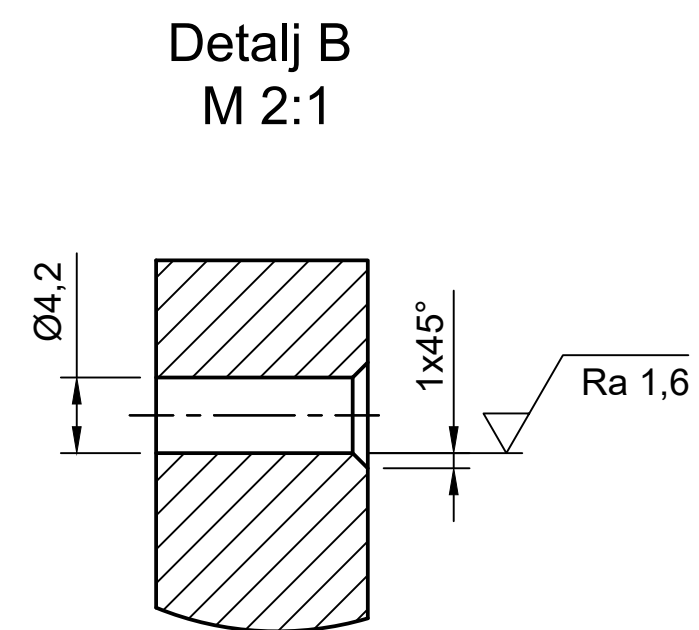
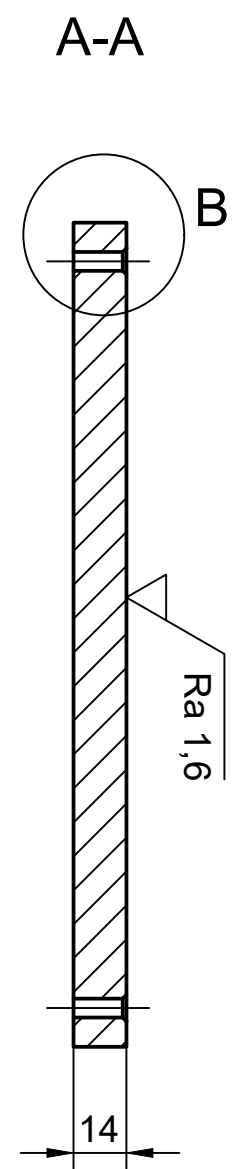
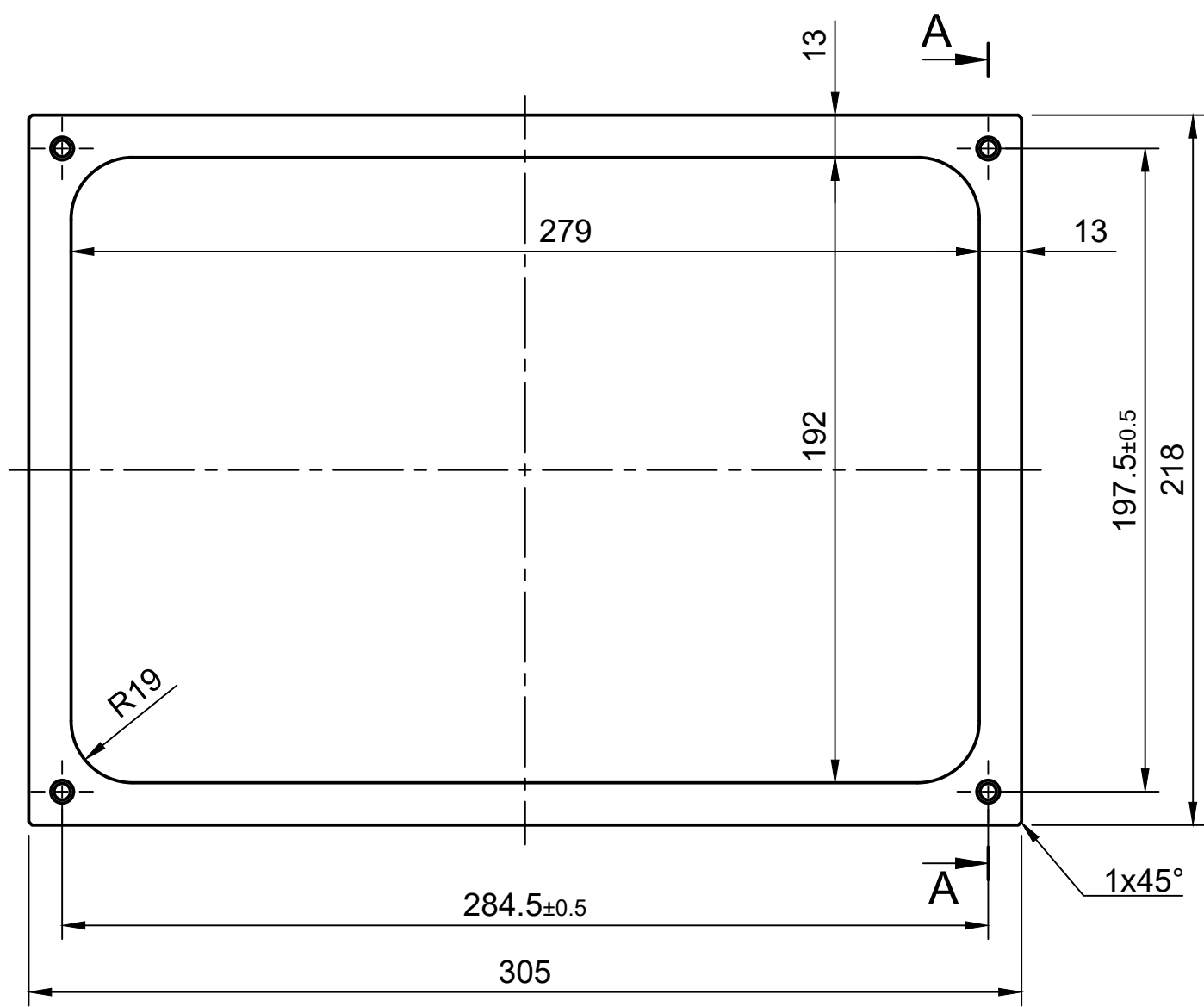



- Sva nekotirana skošenja izvesti s 1x45°

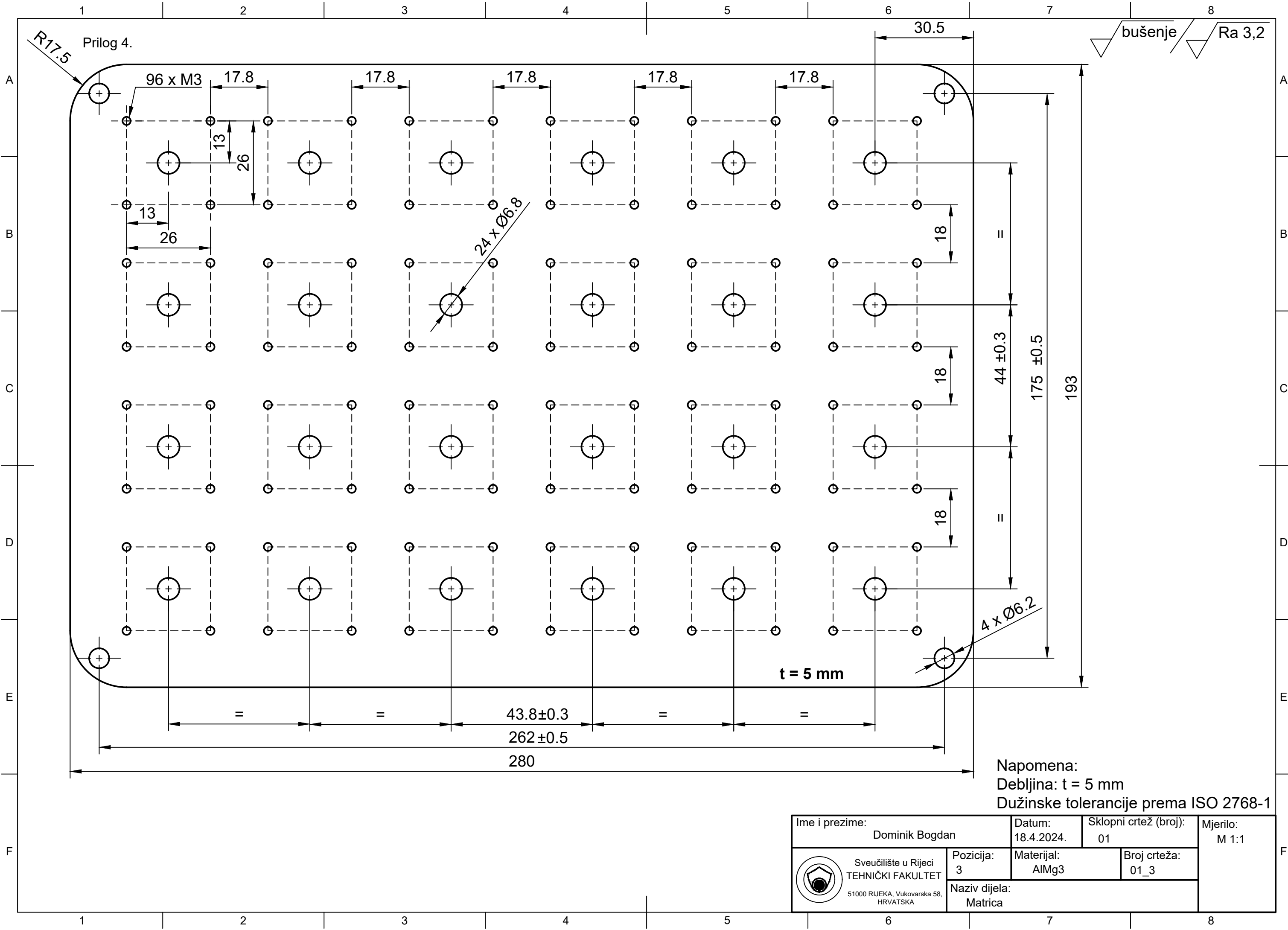
ISO-TOL	
Ø4 H7	0,012
	0
Ime i prezime: Dominik Bogdan	Datum: 16.4.2024.
Sveučilište u Rijeci TEHNIČKI FAKULTET 51000 RIJEKA, Vukovarska 58, HRVATSKA	Sklopni crtež (broj): 01
Pozicija: 1	Materijal: AlMg3
Naziv dijela: Donji dio naprave	
Broj crteža: 01_1	Mjerilo: M 1:2 M 2:1 M 10:1


Prilog 3.

Ra 1,6 / Ra 3,2

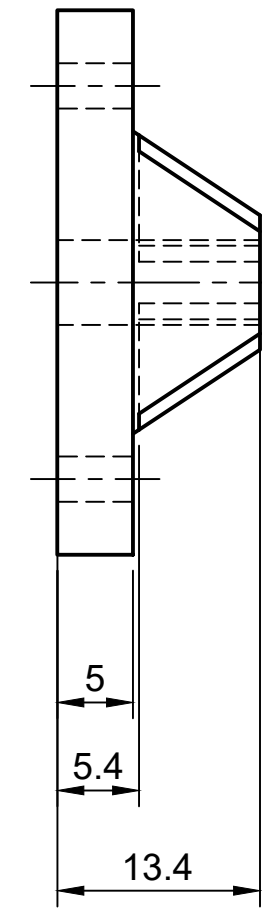
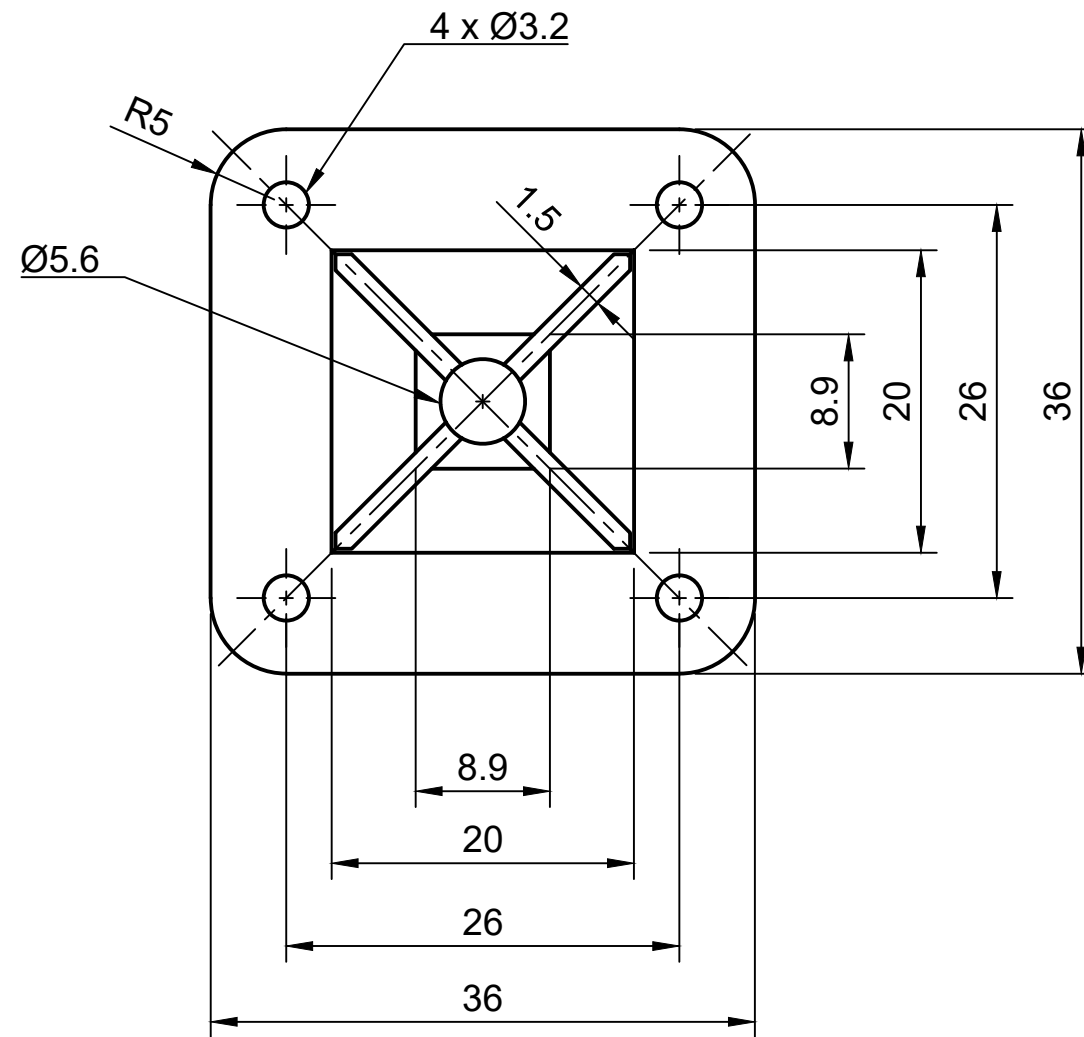



Ime i prezime: Dominik Bogdan		Datum: 16.4.2024.	Sklopni crtež (broj): 01	Mjerilo: M 1:2
 Sveučilište u Rijeci TEHNIČKI FAKULTET 51000 RIJEKA, Vukovarska 58, HRVATSKA	Pozicija: 2	Materijal: AlMg3	Broj crteža: 01_2	M 2:1
	Naziv dijela: Poklopac naprave			

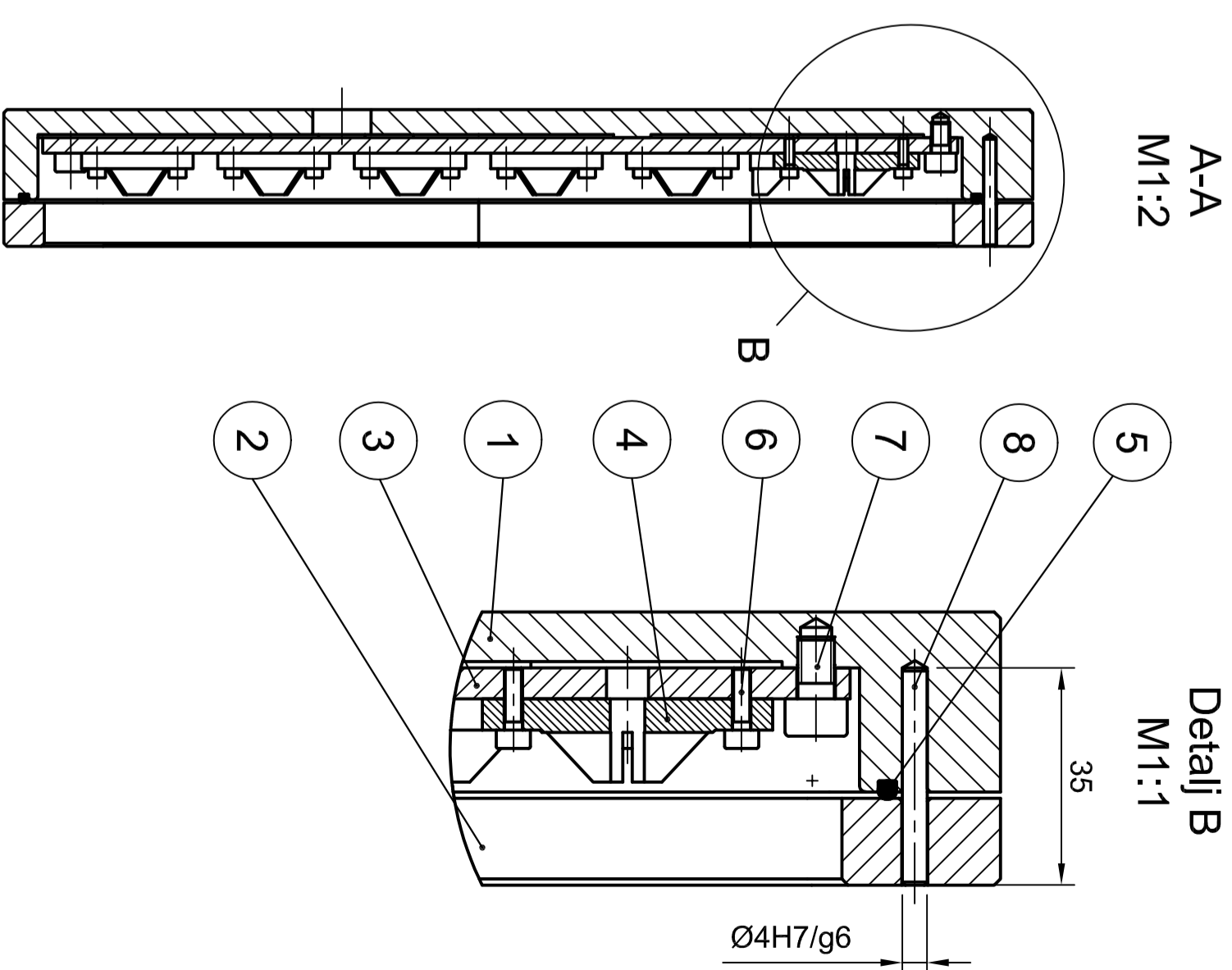
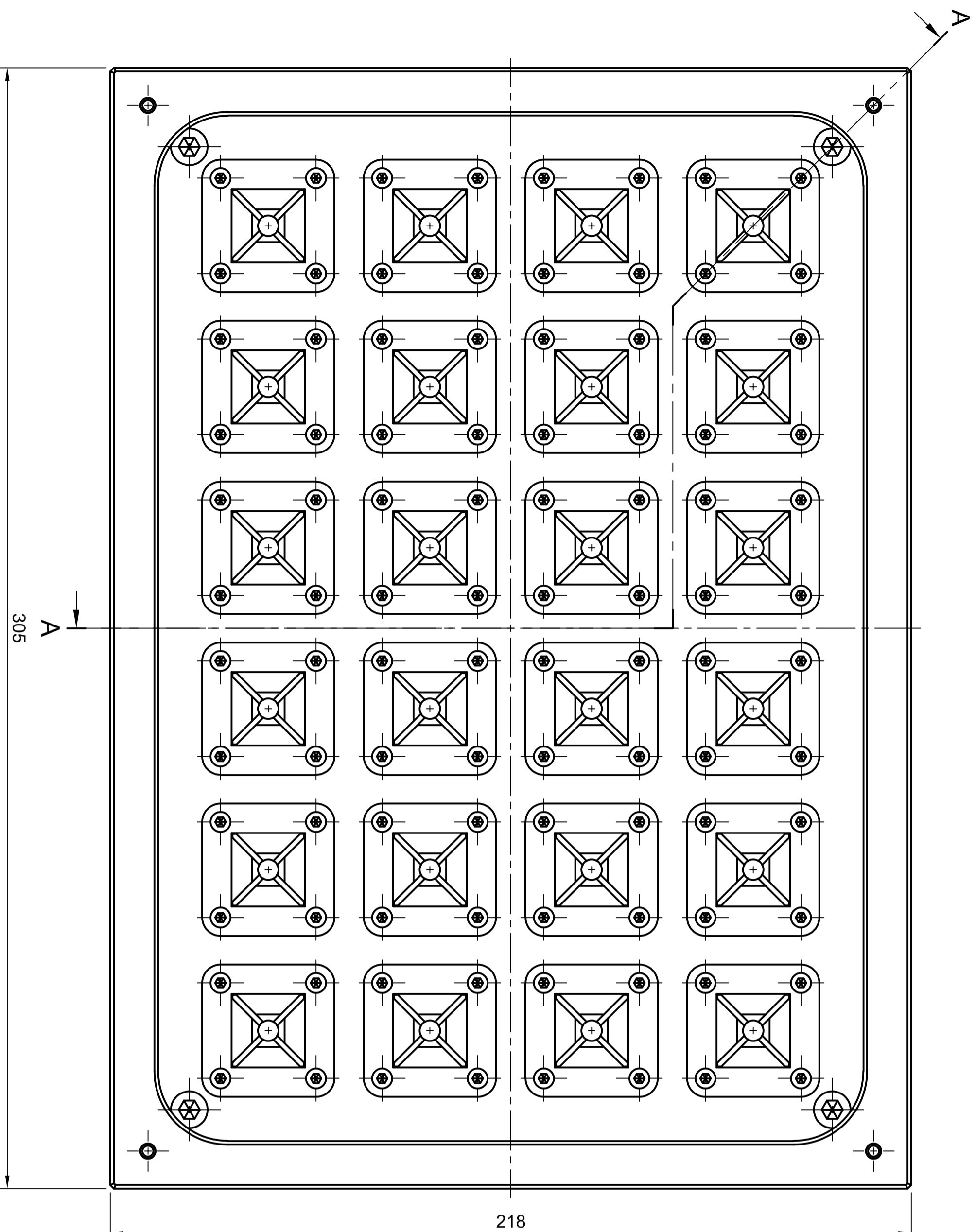
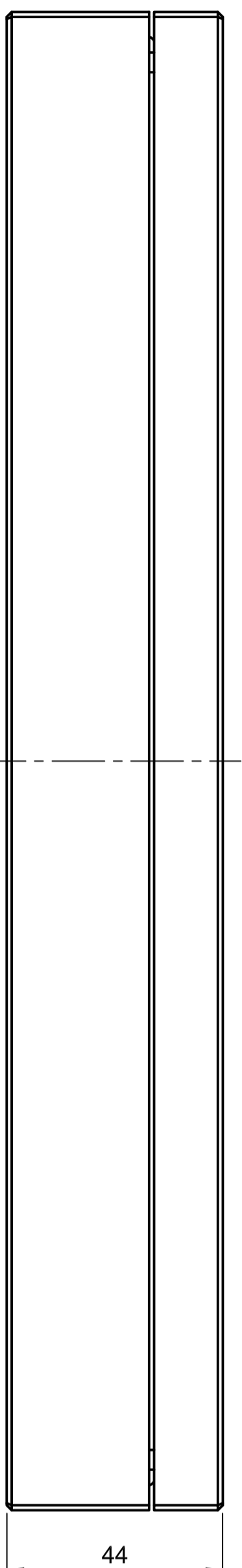


Ime i prezime: Dominik Bogdan		Datum: 18.4.2024.	Sklopni crtež (broj): 01	Mjerilo: M 1:1
 Sveučilište u Rijeci TEHNIČKI FAKULTET 51000 RIJEKA, Vukovarska 58, HRVATSKA	Pozicija: 3	Materijal: AlMg3	Broj crteža: 01_3	
	Naziv dijela: Matrica			

Prilog 5.



Ime i prezime: Dominik Bogdan		Datum: 18.4.2024.	Sklopni crtež (broj): 01	Mjerilo: M 2:1
 Sveučilište u Rijeci TEHNIČKI FAKULTET 51000 RIJEKA, Vukovarska 58, HRVATSKA	Pozicija: 4	Materijal: Rigid 10K Resin	Broj crteža: 01_4	M 2:1
	Naziv dijela: Noslač poklopca tipkala tipkovnice			



8	4	Čelična šipka Ø4 x 35 mm		ISO 4762	S235JR
7	4	Vijak sa imbus glavom M6 x 10 mm		Inox A2	
6	96	Vijak sa imbus glavom M3 x 10 mm		ISO 7380-1	Inox A2
5	1	O-ring traka 3 mm		FKM (Viton)	
4	24	Nosač poklopca tipkala tipkovnice		Rigid 10K Resin	
3	1	Matrica		AlMg3	
2	1	Poklopac naprave		AlMg3	
1	1	Donji dio naprave		AlMg3	

Poz.	Kom.	Naziv dijela			Standard/normni broj/broj nacrt	Materijal
Br. re.	Datum	Inicijali	Datum	Ime i prezime	Popis	Mjerilo:
			Nacrtao: 20.4.2024.	Domnik Bogdan		M 1:1
			Provjerio: 19.8.2024.	Domnik Bogdan		M 1:2
		Odobrio:				

Označavanje zavara:		Površinska hrapavost:	
			Akad. god.: 23./24.

Sveučilište u Rijeci		Broj sklopa:		Površinska hrapavost:	
TEHNIČKI FAKULTET		Naziv sklopa:		Akad. god.: 23./24.	
51000 RULJEVA, Vukovarska 88		Naprava za sublimacijski tisak		Lisfilištor:	
HRANJSKA		na poklopce tipkala		1/1	
				Revizija:	
				A2	

ISO-DOS		Ø4 H7/g6	
		0,024	
		0,004	

Prilozi 7, 8 i 9 predani su u digitalnom obliku u sklopu završnog rada.