

# 3D oblikovanje naprave za kutno savijanje profila

---

Dvorski, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:736229>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 402/PS/2022

## **3D oblikovanje naprave za kutno savijanje profila**

**Student**

Matija Dvorski, 2783/336

**Mentor**

Siniša Švoger, mag.ing.mech.

Varaždin, 2022.

## **Predgovor**

*Izjavljujem da sam završni rad na temu "3D oblikovanje naprave za kutno savijanje" izradio samostalno, uz pomoć mentora, navedene literature te koristeći znanja i vještine stečene tijekom studija.*

*Zahvaljujem obitelji i prijateljima koji su mi pružili podršku i savjete tijekom studija, te pridonijeli uspješnom završetku ovog studija. Također zahvaljujem svim profesorima Sveučilišta Sjever na prenesenom znanju, a posebice mentoru na pomoći i savjetima tijekom izrade završnog rada.*

*Matija Dvorski*

## Sažetak

U završnom radu na temu "3D oblikovanje naprave za kutno savijanje profila" opisan je postupak konstruiranja, razrade i izrade 3D modela svih elemenata naprave, sklopa i potrebne tehničke dokumentacije.

Iako na tržištu postoje slične naprave, kada govorimo o specifičnoj namjeni nekog stroja, alata ili naprave, uvijek su moguća poboljšanja koja se tiču sigurnosti na radu, povećane proizvodnosti, smanjenja troškova i sličnih parametara.

Izrada 3D modela i potrebne tehničke dokumentacije danas se lako izvodi pomoću moćnih softvera za 3D modeliranje. Razvoj novog proizvoda bez takvih softvera u današnjem svijetu je nezamisliv. Za izradu modela naprave za kutno savijanje korišten je softver "Solidworks" koji se bazira na parametarskom modeliranju, te je jedan od najkorištenijih softvera za tu primjenu u svijetu.

Ključne riječi:

Naprava za kutno savijanje profila

Konstruiranje

3D Modeliranje

Solidworks

## **Summary**

The final paper on the topic "3D modelling of the device for angle bending of profiles" describes the process of constructing, working out and making a 3D model of all device elements, the assembly and the necessary technical documentation.

Although similar devices exist on the market, when we talk about a specific purpose of a machine, tool or device, improvements are always possible regarding safety at work, increased productivity, cost reduction and similar parameters.

The creation of 3D models and the necessary technical documentation is easily performed today using powerful 3D modeling software. New product development without such software is unthinkable in today's world. The software "Solidworks", which is based on parametric 3D modeling, was used to create the model of the angle bending device and it is one of the most used software in the world for this application.

Keywords:

Profile angle bending device

Designing

3D modeling

Solidworks

Sveučilište Sjever  
Sveučilišni centar Varaždin  
104. brigade 3, HR-42000 Varaždin



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	prediplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Matija Dvorski	JMBAG	0336026777
DATUM		KOLEGIJ	3D oblikovanje
NASLOV RADA	3D oblikovanje naprave za kutno savijanje profila		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	3D modeling of the profile angle-bending device		
MENTOR	Siniša Švogor	ZVANJE	mag.ing.mech.
ČLANOVI POVJERENSTVA	<ol style="list-style-type: none"> <li>doc.dr.sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva</li> <li>Zoran Busija, mag.ing.mech., član</li> <li>Siniša Švogor, mag.ing.mech., mentor, član</li> <li>Mario Pintarić, mag.ing.mech., rezervni član</li> <li></li> </ol>		

## Zadatak završnog rada

BROJ	402/PS/2022
OPIS	<p>U završnom radu potrebno je osmisлити i predložiti tehničku realizaciju naprave za kutno savijanje profila.</p> <p>U tom smislu potrebno je:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizirati dostupne postojeće teoretske, praktične spoznaje i tehnička dostignuća o konstrukcijama naprava</li> <li>- Prema vlastitoj ideji, a na temelju postojećih spoznaja i naprava dostupnih na tržištu, potrebno je osmisлити napravu za kutno savijanje profila</li> <li>- Opisati i konstruirati napravu unutar SolidWorks programskog sustava</li> <li>- Izraditi tehničke crteže pojedinih dijelova i sklopava te izvršiti fotorealističan prikaz sklopa</li> <li>- Predložiti daljnja poboljšanja naprave u svrhu primjene za industrijske potrebe</li> </ul>

ZADATAK URUČEN

27. 09. 2022.



POTPIS MENTORA

Siniša Švogor

## **Popis korištenih kratica**

**CNC** – Computerized Numerical Control – numerički upravljani stroj

**PLC** – Programmable Logic Controller – programibilni logički kontroler

**AC** – izmjenična struja

**ISO** – International Organization for Standardization – internacionalna organizacija za standardizaciju

**DIN** - Deutsches Institut für Normung – Njemački institut za normizaciju

## Sadržaj

1. Uvod .....	9
2. Konstruktori i njihove zadaće.....	10
3. Projektiranje i konstruiranje naprava .....	11
3.1. Određivanje tolerancija .....	11
3.1.1 Upotreba tolerancija u izradi završnog rada.....	12
3.2 Tehnologije izrade elemenata naprave .....	14
3.2.1 Proizvodne tehnologije u završnom radu .....	16
3.3 Umetanje i vađenje izradaka iz naprave .....	16
3.3.1 Umetanje i vađenje izratka u napravi za kutno savijanje .....	18
3.4 Materijali za izradu i sastavljanje .....	20
3.4.1 Izbor materijala kod izrade naprave za kutno savijanje .....	21
3.5 Sigurnost prilikom korištenja naprave .....	22
3.5.1 Sigurnost tijekom korištenja naprave za savijanje .....	23
3.6 Načini stezanja elemenata naprave.....	25
3.6.1 Vrste steznih spojeva na napravi za kutno savijanje .....	25
3.7 Kotiranje radioničkih crteža .....	28
3.7.1 Kotiranje kod konstruiranja naprave za savijanje .....	29
4. Problematika kod kutnog savijanja profila.....	30
4.1 Materijali pogodni za hladno deformiranje .....	30
4.2 Toplinska obrada nakon hladne deformacije .....	31
4.3 Tehnički problemi kod kutnog savijanja .....	32
4.3.1 Elastični povrat.....	32
4.3.2 Pukotine kod savijanja .....	33
4.3.3 Površinska oštećenja nastala od alata .....	34
5. Općenito o napravama za kutno savijanje.....	35
5.1 Princip rada.....	35
5.2 Vrsta pogona.....	39
5.3 Dimenzije naprave .....	39
5.4 Vrste upravljanja.....	40
5.5 Maksimalne dimenzije izratka .....	41
5.6 Vrste dodatnih alata .....	42
6. Solidworks.....	43
6.1 Značajke i funkcije .....	44



---

7.	Kronologija konstruiranja naprave za kutno savijanje .....	44
7.1	Izbor elektromotora i prijenosnika temeljen na proračunatom momentu .....	45
7.1.1	Proračun međuosovinskog razmaka zupčanika.....	48
7.2	Izrada 3D modela .....	49
7.3	Tehnička dokumentacija.....	71
8.	Moguća poboljšanja naprave.....	80
9.	Zaključak.....	80
10.	Izvori .....	81
11.	Popis slika .....	82
12.	Prilozi .....	84

## 1. Uvod

Porastom kvantitativnih i kvalitativnih zahtjeva industrije tijekom povijesti, javila se potreba za razvoj naprava, strojeva i alata koji daju bolju kvalitetu proizvoda uz manju cijenu i u manjem vremenskom roku. Razvoj tehnologije omogućio je široku upotrebu, a pritom i dostupnost, elemenata koji su potrebni za poboljšavanje nekog tehnološkog procesa. Strojarsstvo ima ulogu konstruiranja, proračunavanja, izrade i poboljšanja naprava i alata koji su potrebni za izvođenje tehnološkog procesa. Specifičnosti proizvoda koji se izrađuju dodatno kompliciraju upotrebu univerzalnih strojeva, naprava i alata, stoga je bitno razviti naprave koje najbolje rješavaju problematiku kod proizvodnje tog specifičnog proizvoda, naravno, na što ekonomičniji način.

Za razvoj i izradu naprave potrebno je detaljno poznavanje zahtjeva na kvalitetu proizvoda, tolerancija izratka, zahtjeva na količinu, te još mnogih drugih varijabla. Kao što se može zaključiti, razvoj novog alata, naprave ili stroja je često zahtjevan pothvat, što ekonomski, što strojarski i stoga zahtjeva iskustvo, teorijsko i praktično znanje, te mnogo uloženog vremena za pronalazak optimalnih rješenja kod konstruiranja.

Uz upotrebu programskih paketa i softvera za 3D oblikovanje pomoću računala, danas se strojarske naprave i alati mogu razviti u cijelosti, sa svim točnim dimenzijama i značajkama, u virtualnom svijetu. To uvelike štedi novac i vrijeme kod razvoja. Moguća je izrada vrlo kompleksnih i zahtjevnih elemenata i tehničkih sustava bez troškova bacanja testnih primjeraka, bez opasnosti zbog loše konstrukcije, bez višestruke izrade istih elemenata, itd. Prednosti razvoja i konstruiranja pomoću računala su nemjerljive u usporedbi sa zastarjelim i sporim metodama konstruiranja.

## 2. Konstruktori i njihove zadaće

Konstruktori imaju zadaću projektirati i konstruirati naprave koje su najčešće pomoćni ili izvršni tehnički sustavi u proizvodnji. Svaka konstruirana naprava mora zadovoljavati sve tehničke zadaće za koje je namijenjena, ali također i ekonomske te estetičke zahtjeve [1]. Konstruktori stoga, uz opširno znanje iz područja strojarstva, moraju imati široka znanja i vještine poput timskog rada, organizacijskih sposobnosti, kreativnosti i slično.

Kada se ukaže potreba za poboljšavanje izvođenja nekog tehnološkog procesa, tada konstruktori počinju s radom. Prvi korak je detaljno razmatranje proizvoda koji je potrebno izraditi, i to tako da se odredi materijal izratka, potrebne operacije kod izrade, redoslijed operacija, način stezanja i ostale bitne stavke koje ovise o vrsti proizvoda. Nakon definiranja postupka izrade proizvoda, može se odrediti i koncept stroja, alata ili naprave koju je potrebno konstruirati. Proučavanjem sličnih konstrukcijskih i tehničkih rješenja koja već postoje u proizvodnji i na tržištu, konstruktori lakše dolaze do novih ideja tijekom konstruiranja. Sljedeći korak je razrada i proračunavanje elemenata konstrukcije i izrada 3D modela svih elemenata, podsklopova, glavnog sklopa i izrada pripadnih tehničkih crteža. Izradu tehničkih crteža i 3D modela često izvršava tim konstruktora, ovisno o kompleksnosti zadatka. Tijekom razvoja se, uz obraćanje pažnje na cijenu, mora odrediti i vrsta materijala svakog pojedinog elementa. Nakon završetka modeliranja i razvoja alata, naprave ili stroja, te potvrde glavnog konstruktora, počinje se s izradom elemenata. Konstruktor koji je zadužen za razvoj konstrukcije mora biti prisutan od početne faze definiranja izratka pa sve do posljednje faze kada se naprava pušta u rad.

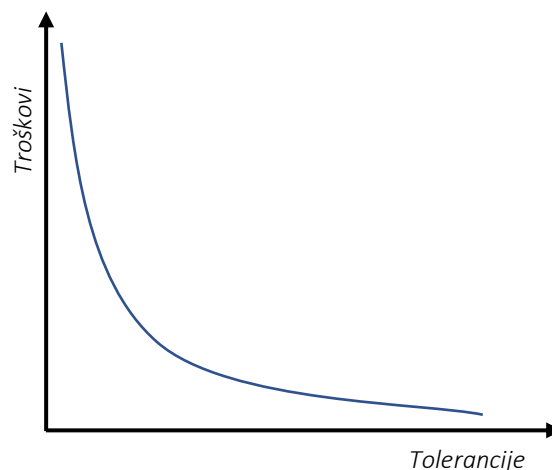
### 3. Projektiranje i konstruiranje naprava

U ovom poglavlju navedene su neke od najbitnijih metoda koje se koriste kod određenih faza konstruiranja i projektiranja, te upotreba istih u izradi završnog rada. U prethodnom poglavlju već su navedeni primjeri nekih metoda, ali je bitno detaljnije ih obraditi i opisati kako bi se lakše mogli pratiti koraci u procesu izrade završnog rada.

#### 3.1. Određivanje tolerancija

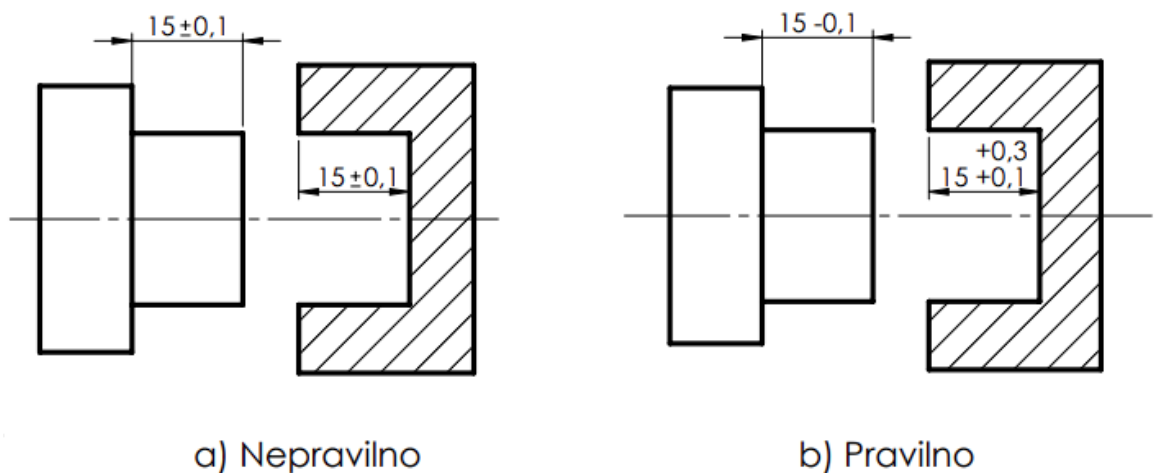
Prije početka konstruiranja najbitnije je odrediti tolerancije i dimenzije polaznog materijala od kojeg će se, pomoću konstruirane naprave, izraditi potreban proizvod. Takve informacije moraju se tražiti od proizvođača polaznog materijala i bitne su za dimenzioniranje, krutost i robusnost naprave, te i za način stezanja komada (ako je potrebno).

Sljedeće tolerancije o kojima treba voditi računa su tolerancije gotovog proizvoda koje su najčešće zadane na tehničkom crtežu. Kako bismo izradili napravu, stroj ili alat koji nam daje ponovljive, točne i precizne gotove proizvode, moramo odrediti granične vrijednosti tolerancija koje propisuje kupac ili su zadane pomoću standardiziranih vrijednosti u tablicama. Tijekom konstrukcije naprave treba paziti na zračnost između elemenata, "mrtvi hod" zupčanika, krutost naprave, materijale od kojih su izrađeni elementi, tehnologiju proizvodnje elemenata i ostale faktore koji utječu na dimenzijsku i geometrijsku točnost gotovog proizvoda. Viši zahtjevi na točnost i kvalitetu obrade neminovno donose i više troškove konstruiranja i izrade naprave, što posljedično rezultira većom cijenom gotovog proizvoda koji se proizvodi pomoću konstruirane naprave [1]. Ovisnost troškova u odnosu na tolerancije može se vidjeti na slici 3.1.



Slika 3.1: Ovisnost troškova o tolerancijama [1]

Da bi se osigurala potrebna kvaliteta izrađene naprave, a i točnost i ponovljivost naprave tijekom njenog rada, konstruktori imaju zadatak određivanja svih tolerancija, na svakom pojedinom elementu, koje su potrebne za što bolju funkcionalnost naprave. Stoga prilikom izrade tehničkih crteža treba voditi računa o pravilnom kotiranju elementa uvažavajući pravila tehničkog crtanja. Na slici 3.2 se može vidjeti primjer nepravilnog (a) i pravilnog (b) kotiranja čepa u odnosu na provrt [1].

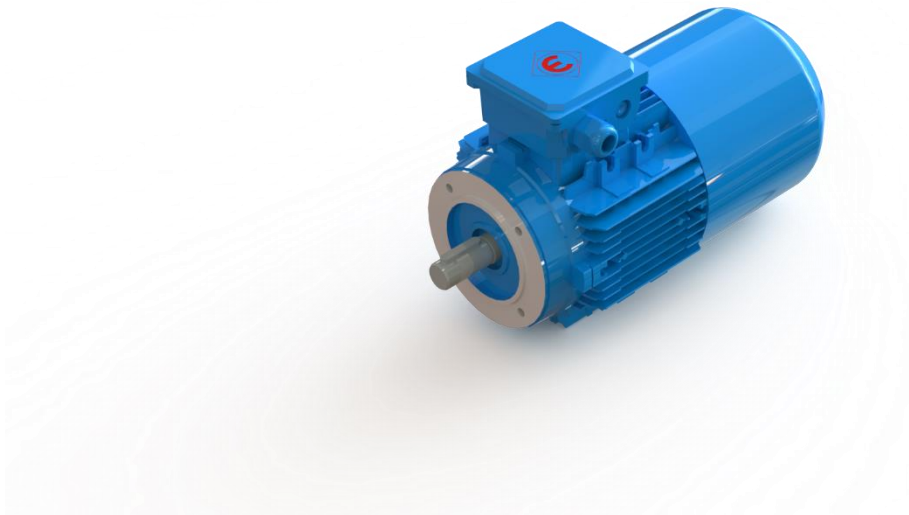


Slika 3.2: Primjer pravilnog i nepravilnog toleriranja čepa

### 3.1.1 Upotreba tolerancija u izradi završnog rada

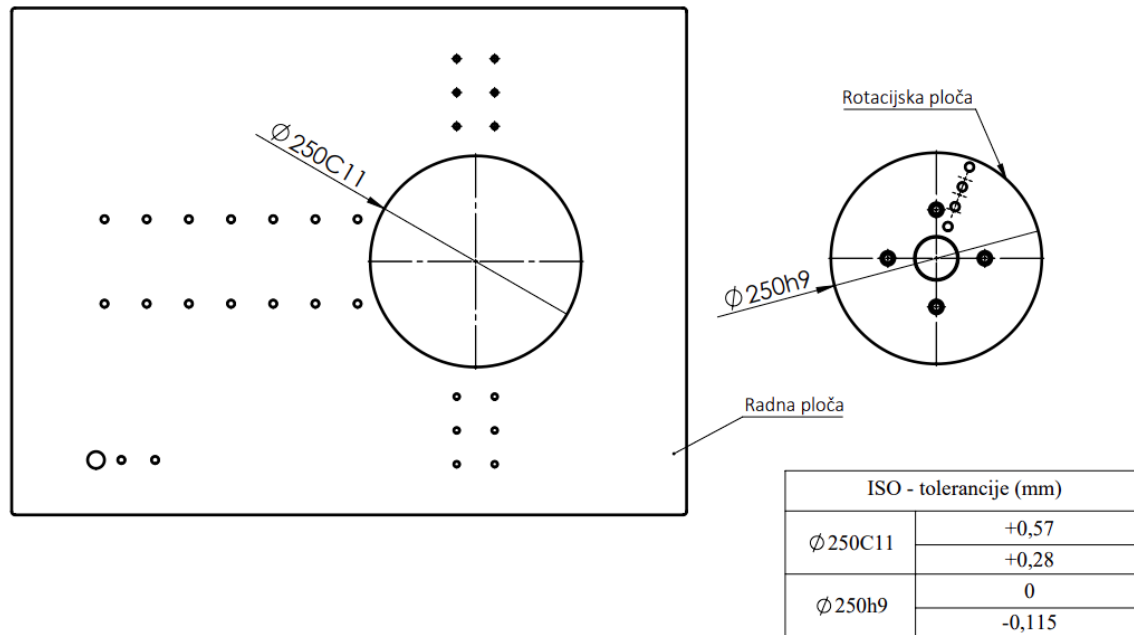
Naprava konstruirana u završnom radu namijenjena je savijanju okrugle žice, pravokutnih punih profila, kvadratnih punih profila i slično. Takvi poluproizvodi se najčešće proizvode hladnim provlačenjem i dolaze u šipkastom obliku. Dimenzije profila su standardizirane i imaju visoku dimenzijsku točnost, stoga su razlike u dimenzijama gotovo nepostojeće.

Međutim, tolerancijski zahtjevi na izratke izrađene kutnim savijanjem su često vrlo visoki. S tom činjenicom na umu, naprava je konstruirana tako da može zadovoljiti te uvjete. Zbog tog razloga kod konstruiranja je upotrijebljen elektromotor s enkoderom upravljani PLC (Programmable Logic controller) upravljačkim modulom za točno i ponovljivo kutno pozicioniranje. Takav pogonski sustav je bitno potkrijepiti s jednako kvalitetnim prijenosnim sustavom. Na elektromotor je montiran planetarni prijenosnik koji, uz velik prijenosni omjer za veći okretni moment, daje i visoku točnost kutnog pozicioniranja.



*Slika 3.3: AC Elektromotor [5]*

Kod izrade tehničkih crteža bitno je korektno odrediti tolerancije elemenata konstrukcije za što lakšu montažu, ali još bitnije, za što bolju funkcionalnost naprave. Primjer upotrebe tolerancija kod konstruiranja može se vidjeti na slici 3.4. Desni element (rotacijska ploča) na slici se u konstrukciji nalazi u provrtu lijevog elementa (radna ploča), ali između njih je potrebna zračnost kako radna ploča ne bi ometala rotaciju rotacijske ploče. Upotrebom standardiziranih ISO (International Organization for Standardization) tolerancija dosjeda u sustavu jedinstvene osovine, osigurava se minimalna zračnost od 0,28 mm, a maksimalna od 0,685 mm [3]. Takav dosjed se zove labavi dosjed, a tolerancije dosjeda za promjer  $\Phi 250$  su C11/h9 čije se vrijednosti nalaze u tablici na tehničkom crtežu [4].



Slika 3.4: Primjer upotrebe tolerancija kod konstruiranja naprave

### 3.2 Tehnologije izrade elemenata naprave

Naprave, strojevi ili alati se mogu sastojati od mnogo elemenata. Bitno je koristiti što više standardiziranih elemenata kako bi smanjili cijenu i vrijeme izrade naprave. Tijekom modeliranja se koriste razne tablice i katalogi takvih standardiziranih dijelova koji daju neka dimenzijska i mehanička ograničenja koja treba poštovati. Podaci koje bi u protivnom trebalo proračunavati, poput maksimalnog opterećenja na ležaju, lako se mogu pronaći u katalogima kada se koriste standardni elementi. Standardni elementi primjerice mogu biti zupčanici, ležajevi, O – prsteni, pera, uskočnici i drugi.

Uz standardizirane dijelove, naprava sadrži i dijelove koji imaju jedinstvenu ili specifičnu namjenu i potrebno ih je pojedinačno izrađivati. Najčešće se koriste tehnologije obrade odvajanjem čestica, zavarivanje i lijevanje u kalupe, a rjeđe, ali u porastu, aditivne tehnologije proizvodnje. Budući da svaki stroj na kojem će se izrađivati elementi ima svoja ograničenja, konstruktori tijekom modeliranja moraju imati na umu i postupak proizvodnje pojedinog elementa. Moraju znati kakve strojeve za obradu posjeduje poduzeće, te da li se element može izraditi u poduzeću u kojem se vrši konstrukcija ili će ga izrađivati vanjski suradnici.

Daleko najzastupljeniji strojevi kod izrade specifičnih elemenata (cilindričnog, pravokutnog, višekutnog oblika, iz cijevi ili punih profila) su CNC (Computerized Numerical Control) glodači i tokarski strojevi (slika 3.5 i 3.6). Razvoj CNC tehnologije je rezultirao izrazito visokom proizvodnosti i fleksibilnosti takvih strojeva. Usprkos tome, elementi kompleksne geometrije, velikih dimenzija ili pak uskih tolerantnih polja uvijek će biti znatno skuplji od onih jednostavnijih, manjih i s manjim zahtjevima na točnost. Uz kompleksnu geometriju često se dolazi i do problema stezanja elementa u napravi za stezanje na stroju za obradu [1]. Tijekom konstruiranja konstruktor mora predvidjeti takve ili slične probleme koji se javljaju kod izrade pojedinog elementa i primijeniti pravilna konstrukcijska rješenja koja sprječavaju dodatne troškove. Možemo zaključiti da je, za uspješnu izradu naprave, ključno da konstruktor poznaje tehnološke operacije i postupke proizvodnje elemenata koje konstruira.



Slika 3.5: CNC glodalica [2]





Slika 3.6: CNC tokarski stroj [2]

### 3.2.1 Proizvodne tehnologije u završnom radu

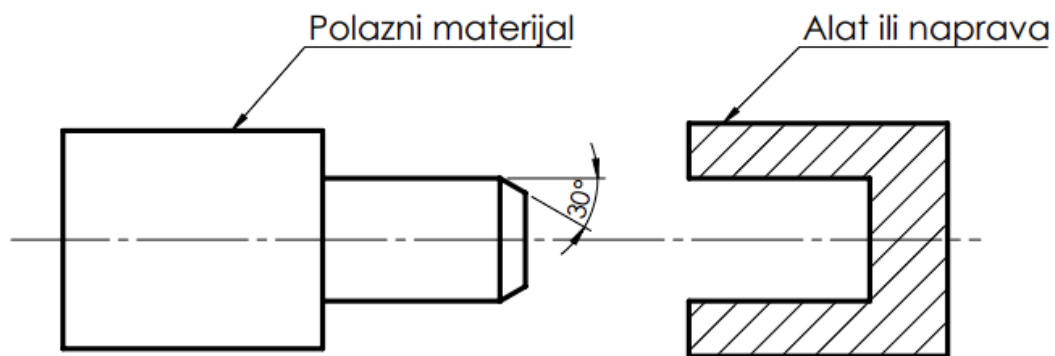
Kod konstruiranja naprave za kutno savijanje profila treba obratiti pažnju na postizanje što bolje kvalitete izrade uz geometrijski što jednostavnije elemente. Cilj je koristiti široko dostupne i jeftine proizvodne tehnologije. Kako bi se to ostvarilo treba težiti konstruiranju osno simetričnih elemenata koji se mogu obraditi u što manje zahvata. Dimenzije elemenata treba određivati obrađujući pažnju na što manje otpadnog materijala što također rezultira manjim trošenjem alata za obradu, te boljom ekonomskom isplativosti. Tehnologije koje se koriste za izradu naprave za kutno savijanje su zavarivanje, obrade na CNC glodačem stroju, obrade na CNC tokarskom stroju, savijanje i lasersko rezanje. Ostali elementi su standardizirani prema ISO i DIN (Deutsches Institut für Normung) standardima i nije ih potrebno izrađivati.

### 3.3 Umetanje i vađenje izradaka iz naprave

Uz sve iznad navedene stavke o kojima treba voditi računa kod konstruiranja i projektiranja, također je bitno razraditi konstrukcijska rješenja koja se tiču umetanja i vađenja izradaka iz naprave i izravno utječu na proizvodnost, pouzdanost i najbitnije, sigurnost u radu. Umetanje polaznog materijala u napravu mora biti odrađeno što jednostavnije. Ako umetanje vrši zaposlenik, bitno je imati na umu neponovljivost umetanja i u tom smislu pronaći najbolje rješenje koje osigurava precizno, ponovljivo, sigurno i brzo umetanje materijala. Kod

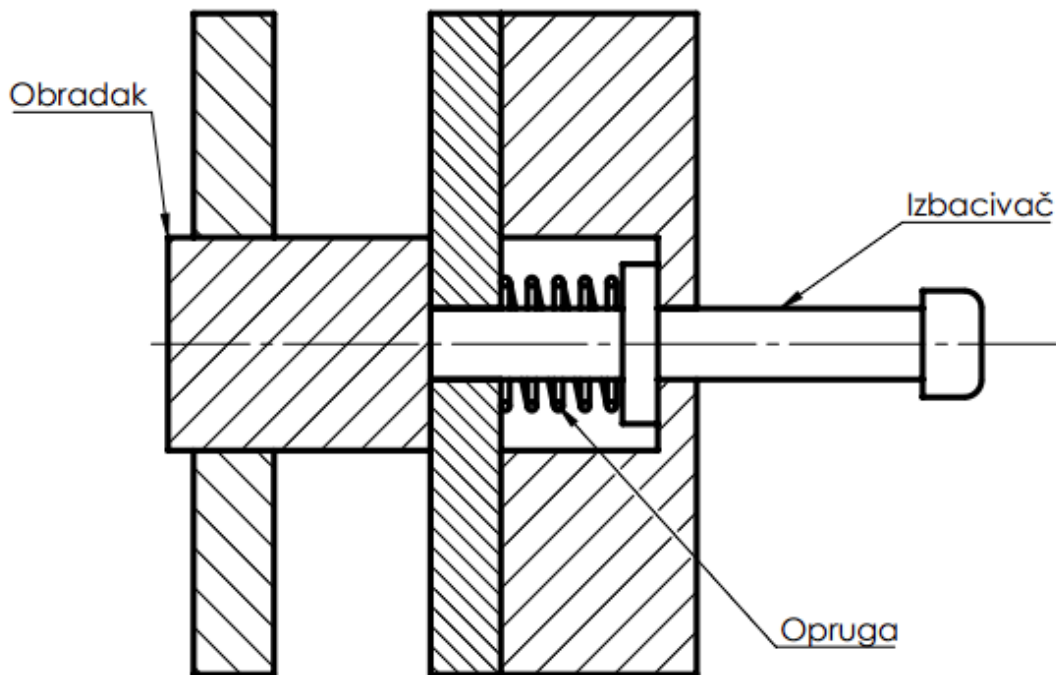
suvremenih tehničkih sustava često se može vidjeti točno pozicioniranje u napravu pomoću robota. Takav način umetanja i vađenja daje najbolju ponovljivost i sigurnost bez trošenja ljudskih resursa, ali je isplativ samo za velikoserijsku proizvodnju.

Budući da je kod naprava bitno točno pozicioniranje obrađivanog komada, koriste se fiksirani graničnici, platforme, utori, vodilice, provrti i slično kako bi se fizički onemogućilo pogrešno umetanje. Međutim, uska tolerantna polja izratka zahtijevaju i uske tolerancije takvih fizičkih barijera što rezultira odličnom ponovljivošću i točnošću, ali također sporim i otežanim umetanjem. Jedan od načina za olakšavanje postupka umetanja kod takvih slučajeva je izrada skošenja na alatima ili napravama u koje se umeće polazni materijal (slika 3.7) [1].



Slika 3.7: Skošenje za lakše umetanje u alat

Vađenje izradaka iz naprave je u nekim slučajevima teže nego umetanje zbog plastične ili elastične deformacije koja je izvršena na izratku, te zbog raznih drugih razloga, ovisno o vrsti tehnološkog postupka. Ako se naprava koristi u tehnološkom postupku kod kojeg je otežano vađenje izratka tada je potrebno konstruirati elemente na način koji olakšava vađenje ili pak koristiti izbacivače izratka (slika 3.8) [1].

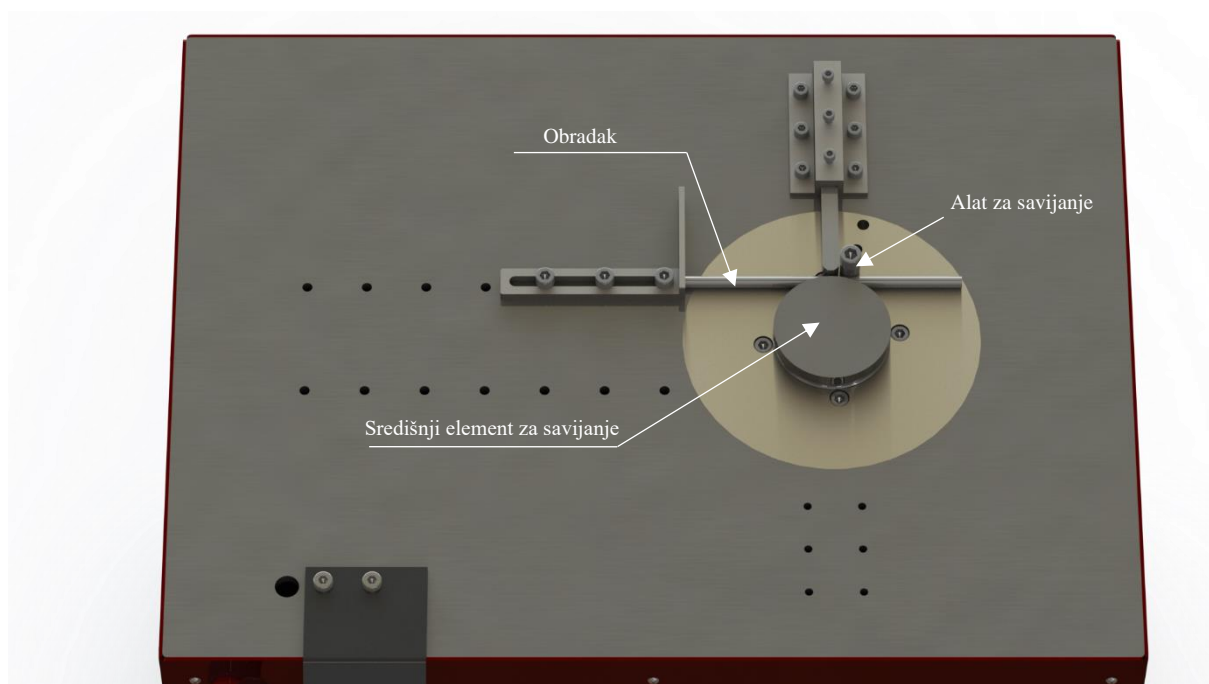


Slika 3.8: Sistem izbacivača s oprugom

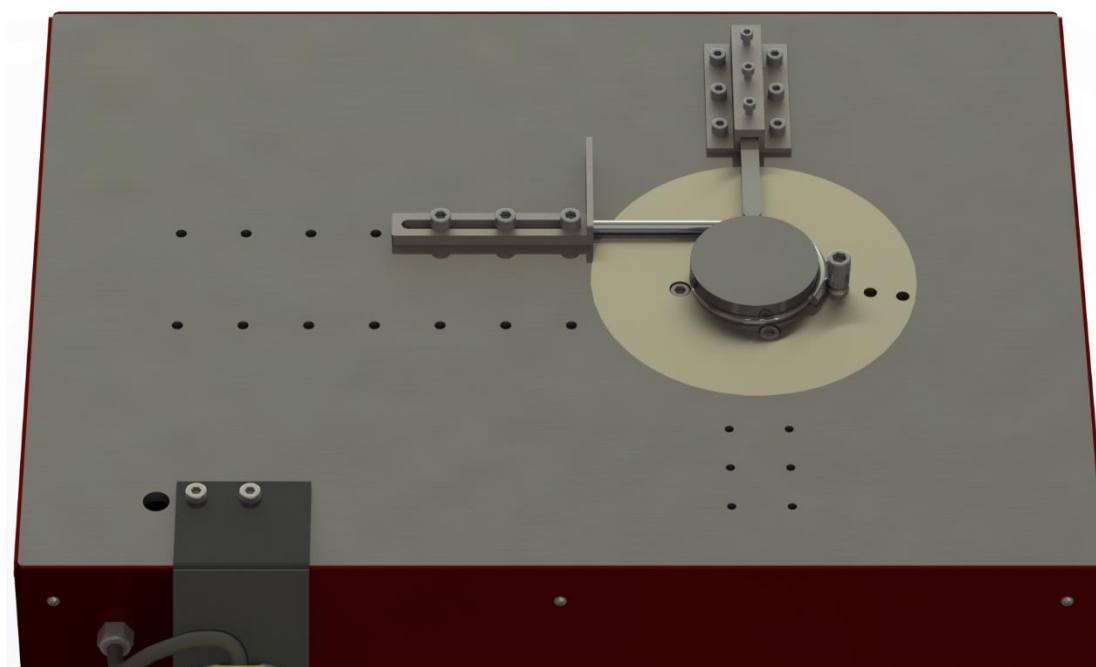
### 3.3.1 Umetanje i vađenje izratka u napravi za kutno savijanje

Konstruirana naprava za kutno savijanje profila ima ručno posluživanje. Takva vrsta posluživanja se koristi za malo do srednje serijsku proizvodnju. Ako se naprava koristi za savijanje jednostavnijih pozicija tada je vađenje izratka brzo i efikasno, dok je kod kompleksnijih pozicija sporije. Od raznih konstrukcijskih rješenja za točno i ponovljivo pozicioniranje početnog materijala u napravu, odabran je fizički graničnik. Graničnik je na radnu ploču pričvršćen s 3 vijka, te je nakon otpuštanja vijaka lako pomičan za razne potrebne dimenzije izratka. Također se može premjestiti na suprotnu stranu radne ploče, što omogućuje savijanje i u smjeru suprotnom od kazaljke na satu.

Uz savijani obradak se nalazi uporni alat, a jedna od njegovih zadaća je sprječavanje pomicanja izratka tijekom savijanja. Uporni alat je također pomičan kako bi se mogao koristiti za različite radijuse savijanja i različite vrste materijala. Početni materijal se umeće između središnjeg umetka oko kojeg se vrši savijanje i između upornog alata, sve dok kraj materijala ne dotakne graničnik. Na slici 3.9 mogu se vidjeti svi nabrojani elementi uz primjer ispravnog pozicioniranja žice promjera 10 mm u napravu. Na slikama u nastavku se može vidjeti obradak prije početka savijanja i na drugoj slici nakon savijanja.



*Slika 3.9: Prikaz izratka u napravi za savijanje*



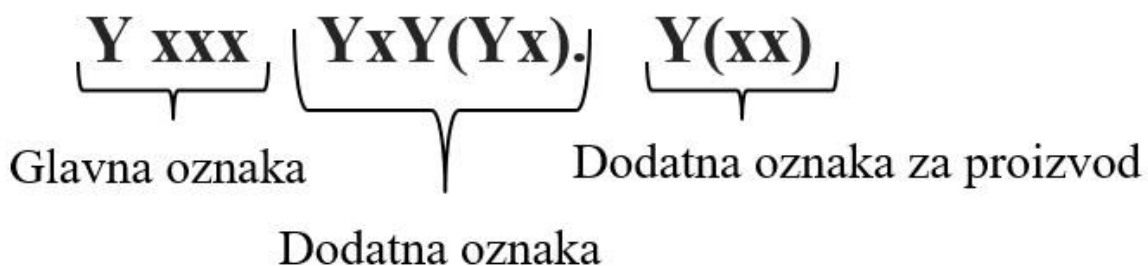
*Slika 3.10: Savijeni obradak*

### 3.4 Materijali za izradu i sastavljanje

Odabir optimalnog materijala za izradu elemenata konstrukcije je od ključne važnosti za sigurnost u radu, funkcionalnost naprave i ekonomsku prihvatljivost. Danas na tržištu postoji široki spektar materijala koji najčešće mogu zadovoljiti sve tražene mehaničke, kemijske, tehnološke i druge zahtjeve. U strojarstvu se za izradu naprava, alata i strojeva najviše koriste metalni i polimerni materijali. Izbor materijala se vrši po standardnim tablicama koje propisuju organizacije za standardiziranje i u kojima svaki materijal ima svoj naziv. Preko naziva materijala se mogu naći njegova svojstva i kemijski sastav.

Kod konstruiranja strojeva, alata i naprava za primjenu u strojarstvu, daleko najrašireniji materijal je čelik. Postoje razne vrste čelika za razne primjene. Široka upotreba čelika i sve veća potreba za njihovim raznim svojstvima dovela je do razvoja raznih tehnologija proizvodnje čelika, tehnologija toplinske obrade čelika, te do mnogobrojnih tehnologija obrade i prerade čelika i usto ostalih metala. Označavanje čelika vrši se prema normi EN 10027 (slika 3.11) [6]. Čelici se najčešće klasificiraju prema primjeni kako slijedi:

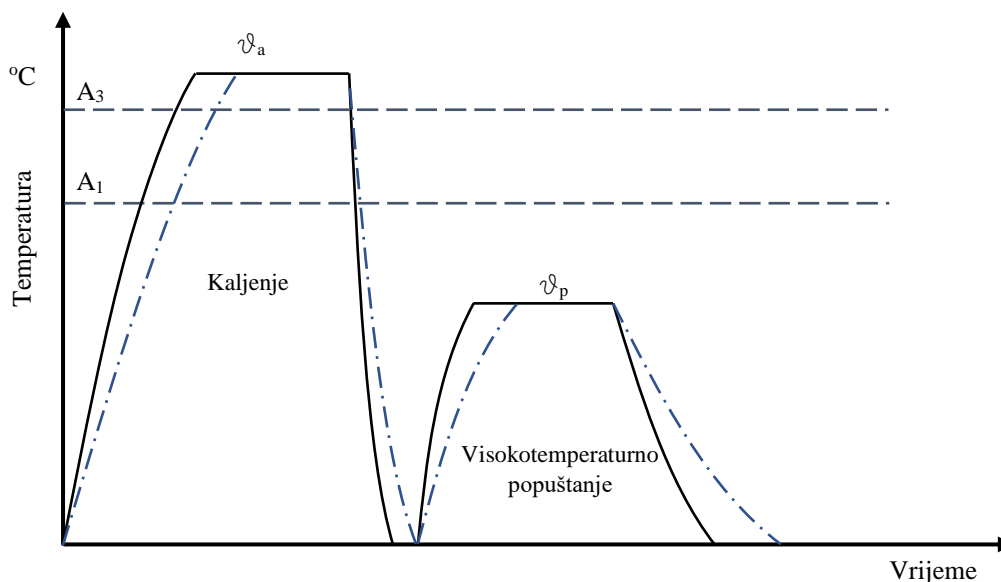
- **Konstruktivski čelici** – primjenjuju se za konstrukcijske dijelove strojeva i uređaja koji obavljaju neku funkciju, zahtijevana svojstva ovih čelika su mehanička svojstva, otpornost na trošenje, otpornost na koroziju i tehnološka svojstva poput zavarljivosti, rezljivosti i oblikovljivosti
- **Alatni čelici** – primjenjuju se primjerice za izradu alata za obradu odvajanjem čestica, alata za rezanje i hladno oblikovanje, alata za toplo oblikovanje, mjernih alata i slično, od njih se zahtijevaju posebna svojstva poput visoke tvrdoće, otpornosti na trošenje, postojanosti tvrdoće na povišenim temperaturama, toplinska obradljivost i druga svojstva



Slika 3.11: Označavanje čelika prema EN normi [6]

### 3.4.1 Izbor materijala kod izrade naprave za kutno savijanje

Kod odabira materijala za razne elemente u konstrukciji naprave, potrebno je obratiti pažnju na svojstva obradivosti, tvrdoću, čvrstoću i cijenu materijala. Čelične cijevi od kojih se sastoji konstrukcija su od DIN ST37-2 (S235JR) čelika koji se koristi zbog svoje visoke granice razvlačenja te primarno zbog dobre zavarljivosti. Taj čelik spada u skupinu konstrukcijskih čelika. Vratilo i osovina na kojima se nalaze uležištenja su izrađeni od čelika DIN 1.0501 (C35) koji pruža dobru obradivost na strojevima, ali je elemente potrebno toplinski obraditi poboljšavanjem (slika 3.12). Nakon poboljšavanja se dobiju elementi više tvrdoće i time veće otpornosti na trošenje. Čelik 1.0501 spada u skupinu alatnih čelika koji su namijenjeni poboljšavanju. Takav čelik se često koristi za osovine, vratila, zatike i slične elemente zbog svojih dobrih svojstava čvrstoće i tvrdoće, te zavarljivosti uz predgrijavanje i niske cijene. Zupčanici su izrađeni od čelika DIN 1.0503 (C45) koji je vrlo sličan čeliku 1.0501, ali ima viši postotak ugljika i time mogućnost postizanja veće tvrdoće nakon poboljšavanja.



Slika 3.12: Toplinska obrada poboljšavanja

Uporni alat je izrađen od čelika DIN 1.2379 (X153CrMoV12) koji ima visoku otpornost na trošenje, a to je najbitnija karakteristika tog strojnog dijela. Radi jednostavnosti izrade, za uporni alat je odabran kvadratni profil koji se kupuje sa standardnim dimenzijama 14x14 mm, dužine 200 mm, a moguće ga je izraditi i iz alatnog čelika. Čahura koja se umeće na vijak i služi za savijanje izratka je izrađena od čelika 1.0503, te obrađena toplinskom obradom

poboljšavanja u svrhu postizanja visoke otpornosti na trošenje koja je potrebna jer je u direktnom kliznom doticaju s izratkom prilikom savijanja. Treba napomenuti da navedena čahura može biti izrađena i od materijala s nižom tvrdoćom, čak i od nekih vrsta polimera ako se žele izbjeći površinska oštećenja na obratku. Ostali elementi i ploče na napravi za kutno savijanje profila izrađeni su od DIN ST37-2 čelika zbog jeftine cijene i odlične obradivosti.

Naprava je dizajnirana za savijanje čelika raznih dimenzija i kemijskih sastava. Preporuka je koristiti napravu za savijanje konstrukcijskih čelika ili čelika za opruge do dimenzija koje će biti navedene u daljnjim poglavljima.

### 3.5 Sigurnost prilikom korištenja naprave

Prilikom konstruiranja bilo kakve naprave koju koristi čovjek najbitnije je pitanje sigurnosti prilikom korištenja. Određeni sigurnosni zahtjevi su propisani zakonom. Svaka naprava koja ima neku vrstu motornog pogona mora imati sposobnost potpunog zaustavljanja procesa pritiskom na samo jednu sklopku koja je najčešće velika crvena "gljiva" (slika 3.13). Izrazito veliku opasnost ozlijede predstavlja korištenje otvorenih alata kod raznih preša i štanca. Najčešće se javljaju ozlijede priklještenja prstiju ili ruke, stoga je sustav upravljanja realiziran tako da gornji alat ne može početi sa spuštanjem ako operater ne pritisne dva tipkala istovremeno, što osigurava da su ruke operatera na tipkalima, a ne u blizini alata. Veliku opasnost u strojarskim pogonima predstavljaju i ručno upravljani tokarski i glodači strojevi, te bušilice. Jedini način osiguranja prilikom korištenja takvih strojeva, budući da su ruke potrebne za upravljanje strojem, jest oprez i detaljno pridržavanje uputa sigurnosti na radu. Oprema koja se koristi za zaštitu zdravlja zaposlenika ovisi o vrsti stroja i vrsti obrade, a propisana je pravilnikom o zaštiti na radu.



Slika 3.13: Prekidač za zaustavljanje rada stroja [9]

Kada su svi sigurnosni zahtjevi zadovoljeni, tek tada se pažnja može usmjeriti na ergonomiju prilikom korištenja naprave. Budući da operater naprave često provodi cijelo radno vrijeme, 8 sati, upravljanjem naprave ili alata, ergonomija radnog mjesta postaje vrlo bitna kod sprječavanja ozljeda koje se mogu pojaviti tek nakon dužeg vremenskog perioda (ako govorimo o ručno upravljanoj postupku). Neki od faktora koji utječu na ergonomiju mogu biti npr. položaj sjedenja, visina radnog stola, način umetanja i vađenja izratka, položaj ruku i nogu tijekom rada i slično.

### 3.5.1 Sigurnost tijekom korištenja naprave za savijanje

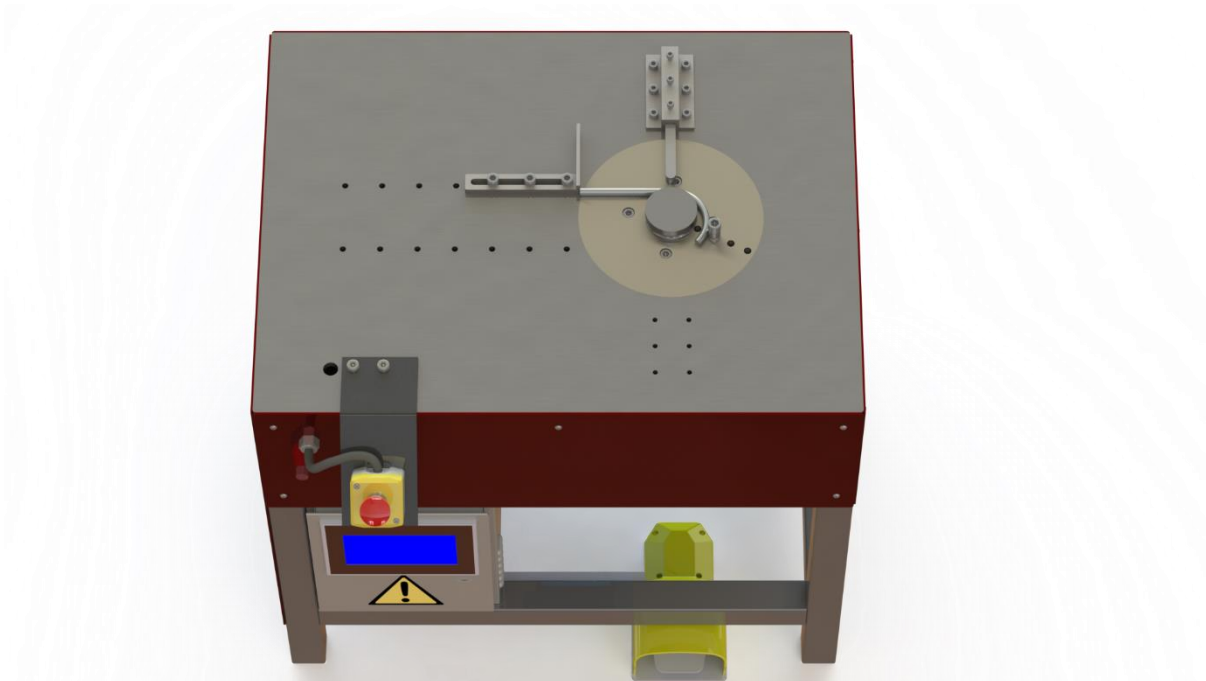
Kod konstruiranja i izrade naprave za kutno savijanje mora se obratiti pažnja na položaj rotacijskih elemenata kod kojih se javlja veliki okretni moment i lako može doći do ozljede ako elementi dođu u doticaj s odjećom ili nekim dijelom tijela. Iz tog razloga pristup pogonu i prijenosnicima pogona onemogućen je zaštitnim stranicama. Stranice se radi održavanja pogonskog sustava mogu lako ukloniti odvijanjem nekoliko vijaka, ali uz obavezno prethodno isključivanje stroja iz naponske mreže. Tako su svi elementi prijenosa izvan dohvata operatera. Elektro ormar je također postavljen ispod radne ploče i zaštićen metalnim stranicama. Specifičnost ove naprave zahtjeva korištenje ruku i prstiju tijekom postavljanja polaznog materijala, te za pridržavanje obratka tijekom savijanja. Stoga nije moguće postaviti tipkalo kojim bi pokrenuli proces savijanja, već proces mora započeti pritiskom noge na nožnu sklopku.

Unatoč konstrukcijskim rješenjima kojima je cilj što bolje osigurati operatera od mogućih ozljeda, kada govorimo o ručnom upravljanju, ne postoji naprava, alat ili stroj koji su potpuno sigurni za rad pa tako i naprava za kutno savijanje također nosi rizik od ozljeda tijekom korištenja. Ozljede se npr. mogu dogoditi ako je operater pogrešno postavio polazni materijal, ako je naprava preopterećena, tj. koristi se za savijanje profila većih dimenzija od dozvoljenih, te ako operater neodgovorno upravlja napravom. Može doći do priklještenja prstiju ili ruke, ubodnih rana i slično. Takve ozljede mogu biti vrlo opasne i jedini način za njihovo sprječavanje je odgovorno upravljanje napravom, upravljanje prema propisanim pravilima i pravilima zaštite na radu, te korištenje sigurnosne opreme.

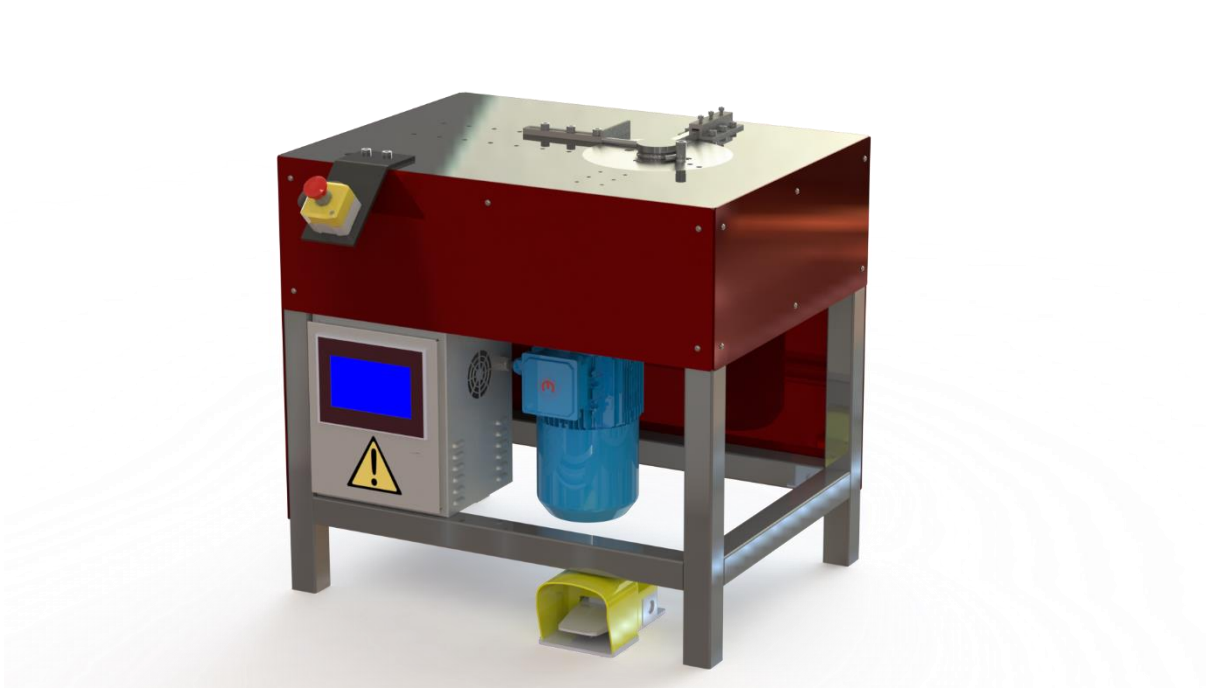
Na slici 3.14 i 3.15 se mogu vidjeti zaštitne stranice u crvenoj boji, prekidač za brzo zaustavljanje stroja, te nožna sklopka za početak savijanja. Prekidač za brzo zaustavljanje stroja je montiran tako da ne ometa rad stroja, ali je opet lako dostupan i omogućava brzu aktivaciju u slučaju nezgode. Nožna sklopka nije fiksirana na konstrukciju, te se, radi bolje ergonomije može pomicati po želji operatera. Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu



propisuje dokument pod nazivom "Smjernice o uređivanju radnih mjesta na kojima se dugotrajno sjedi" [10] u kojem se nalaze odredbe i preporuke o uređivanju radnog mjesta s obzirom na ergonomiju. Smjernice propisuju visinu radnog stola od 600 do 1000 mm. Poštujući navedene smjernice, uz određivanje optimalnog položaja za upravljanje napravom, dođe se do optimalne visine radnog stola od 750 mm.



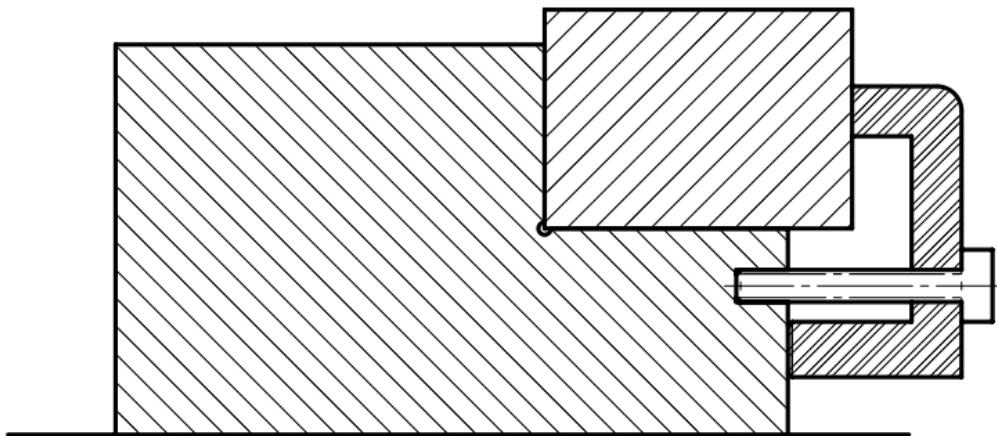
*Slika 3.14: Prekidač za brzo isključivanje i nožna sklopka na napravi za savijanje*



*Slika 3.15: Zaštitne stranice na napravi za savijanje*

### 3.6 Načini stezanja elemenata naprave

Kada govorimo o stezanju bitno je točno definirati značenje stezanja. Stezanje se može odnositi na stezanje obratka na radni stol ili u alat, ali i na stezanje funkcionalnih elemenata naprave poput zupčanika, remenica, alata, držača i slično. Općenito govoreći, stezanje obratka na alatnim strojevima se najčešće vrši pomoću steznih glava, škripaca, ekscentara ili posebno konstruiranih steznih alata (slika 3.16). Danas se u proizvodnji također mogu pronaći elektromagnetski držači obradaka. U nekim slučajevima, primjerice kod ručno upravljanih naprava, alata i strojeva za savijanje, nije potrebno stezanje obratka, već samo umetanje obratka u napravu i izvršavanje operacije savijanja. [1]



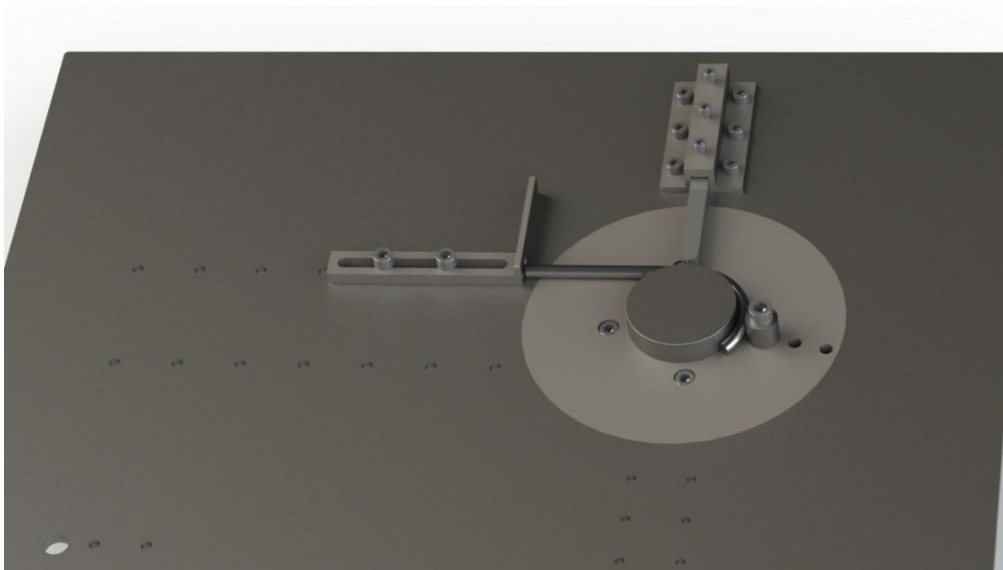
*Slika 3.16: Stezanje obratka pomoću vijka i steznog elementa*

Stezanje funkcionalnih elemenata se može podijeliti na pokretne i nepokretne elemente. Pokretni su najčešće razni klizni elementi ili vratila koja prenose moment. Takvi elementi se fiksiraju pomoću klinova, vijčanih spojeva, spojeva oblikom, čvrstim dosjedima, konusima i sličnim konstrukcijskim rješenjima.

#### 3.6.1 Vrste steznih spojeva na napravi za kutno savijanje

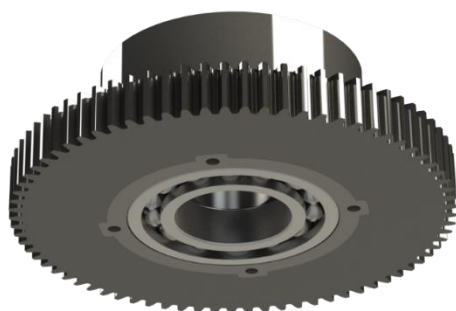
Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, kod naprave za kutno savijanje profila obradak se ručno umeće do fiksiranih graničnika, te se prilikom savijanja pridržava. Zbog specifičnosti tehnološkog postupka savijanja, te sa svrhom postizanja veće proizvodnosti, nije potrebno stezanje obratka tijekom izvršavanja operacije. Obradak se tijekom savijanja upire u

uporni alat što rezultira radijalnom silom na obradak, od strane upornog alata, koja je dovoljno velika da obradak tijekom savijanja drži u nepomičnom položaju (slika 3.17). Uporni alat služi za pridržavanje obratka tijekom savijanja pa ga je potrebno čvrsto fiksirati kako bi se osigurala dimenzijska ponovljivost i točnost izradaka. Za bolju fleksibilnost naprave bitno je da se uporni alat može pomicati ovisno o radijusu savijanja i debljini savijanog materijala. Da bi se zadovoljili svi navedeni kriteriji, odlučeno je da je najbolji način stezanja tog elementa pomoću triju M8 vijaka koji omogućavaju brzo i točno pomicanje uz čvrsto fiksiranje tijekom obrade (slika 3.17) i zadovoljavaju uvjet od dužine navoja od minimalno 1,5 x promjer vijka koji se koristi za pritezanje elemenata koji su opterećeni većim silama [1]. Stezanje fiksnog graničnika koji također mora biti pomičan da bi se osigurala određena fleksibilnost naprave za savijanje, stegnut je pomoću dva vijka s M10 navojem.



*Slika 3.17: Prikaz stegnutog obratka u procesu savijanja*

Kod konstruiranja naprave za kutno savijanje korišten je prijenos momenta pomoću zupčanika. Ovakvi prijenosnici većih momenata moraju biti optimalno učvršćeni na vratilo pomoću kojeg se prenosi moment. Iz tog razloga za spoj vratila sa zupčanicom korišten je spoj oblikom, te stezanje prirubnicom (slika 3.18 i 3.19). Izbor takvog konstrukcijskog rješenja osigurava mogućnost prijenosa velikog okretnog momenta, te nepomičnost i točnost tijekom rotacije.



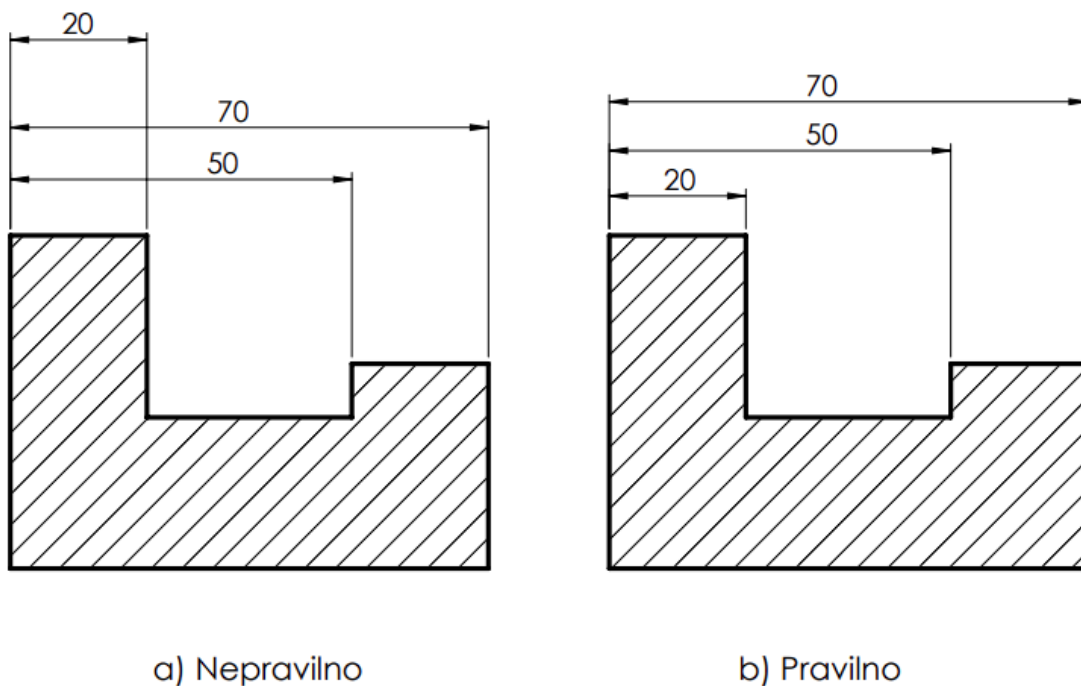
*Slika 3.18: Prikaz spoja vratila i zupčanika oblikom (bez prirubnice)*



*Slika 3.19: Stezanje zupčanika pomoću prirubnice*

### 3.7 Kotiranje radioničkih crteža

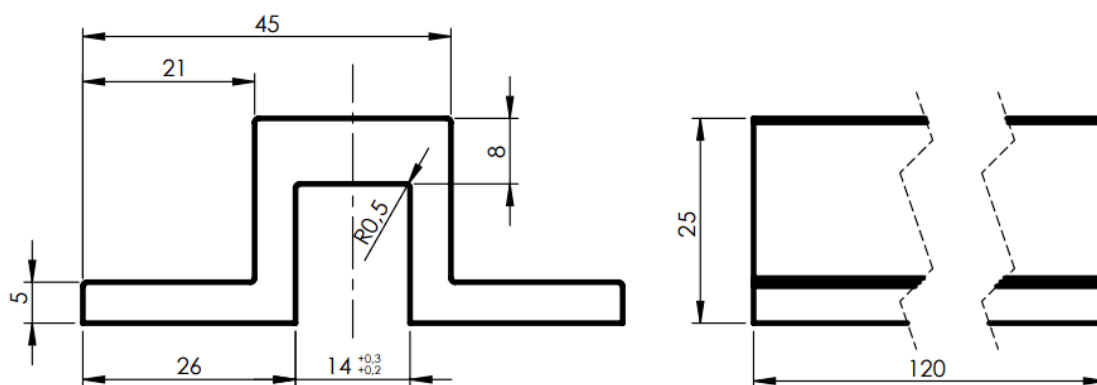
Kote na tehničkim crtežima označuju početak i kraj dimenzije, iznos dimenzije u milimetrima, te prema potrebi i tolerancije dimenzionirane značajke na elementu. Prilikom kotiranja radioničkih crteža potrebno je voditi računa o osnovnim pravilima tehničkog crtanja. Pojedina značajka se smije kotirati samo jednom, bez ponavljanja istih kota, tako se poboljšava čitljivost i razumljivost tehničkog crteža. Kod kotiranja također treba, što je više moguće, izravno kotirati sve dimenzije koje su potrebne za izradu elementa kako bi se spriječilo izračunavanje određenih dimenzija prilikom izrade elementa i time eliminirala mogućnost pogreške u izračunu. Prema pravilima kotiranja treba izbjegavati i križanje kota i kotnih linija. Kotiranje se mora vršiti prema pravilima i sa znakovima koji su standardizirani kako bi izrađeni tehnički crtež bio upotrebljiv i jasan širom svijeta [1]. Konstruktor stoga mora poznavati i vrste proizvodnih tehnologija kojima će se izrađivati konstruirani element kako bi korektno odredio geometriju, dimenzije, tolerantna polja i vrstu obrade izrađivanog elementa. Kote moraju biti razumljive i mjerljive. Izrađivanje crteža koji nije kotiran prema pravilima može rezultirati zastojem proizvodnje ili mnogo većim posljedicama, što financijskim, što sigurnosnim, radi pogrešno izrađenog elementa. Na slici 3.20 može se vidjeti nepravilno i pravilno kotirani crtež, na nepravilnom primjeru se kotne linije sijeku, dok je kod pravilnog primjera kotiranje izvršeno uredno bez sječenja kota.



Slika 3.20: Primjer nepravilnog i pravilnog kotiranja

### 3.7.1 Kotiranje kod konstruiranja naprave za savijanje

Naprava za kutno savijanje se sastoji od devedesetak komponenata. Prilikom konstruiranja potrebno je koristiti što više standardiziranih elemenata za koje nije potrebno izrađivati tehničke crteže. Kod elemenata poput nosača za sklopku za zaustavljanje ("gljiva"), zahtjevi na dimenzijsku točnost nisu visoki pa stoga nije potrebno odrediti tolerancije za takve elemente. Međutim, glavno vratilo preko kojeg se prenosi moment do alata za savijanje, središnji element koji je nosivi dio cijelog sklopa za prijenos momenta, umetak za savijanje, radna ploča, sve prirubnice i alati zahtijevaju visoku dimenzijsku točnost izrade radi funkcionalnosti cijele naprave. Kako bi se takva obrada postigla, tijekom izrade tehničkih crteža treba odrediti tolerancije uz poštivanje pravila tehničkog crtanja. Na slici 3.21 se nalazi kotirani crtež elementa za stezanje upornog alata, a to je jedan od elemenata naprave za kutno savijanje profila. Zbog jednostavnosti prikazani su samo pogled sprijeda i pogled s boka. Na slici je moguće vidjeti da nema ponavljajućih kota i nema kota koje se sijeku. Sve dimenzije elementa koje su potrebne za izradu su kotirane, a na dimenziji s nazivnom mjerom 14 se nalazi i tolerancija. Tolerancija ove mjere je potrebna kako bi se između upornog alata i elementa za stezanje upornog alata osigurala zračnost koja dopušta pomicanje upornog alata s obzirom na potrebne parametre savijanja. Simetrala na sredini elementa označava da je element simetričan, te da mjere kotirane na lijevoj strani simetrale elementa vrijede i na desnoj strani simetrale.



Slika 3.21: Crtež elementa za stezanje upornog alata

## 4. Problematika kod kutnog savijanja profila

Savijanje spada u tehnologiju oblikovanja deformiranjem. Promjena oblika izratka događa se zbog djelovanja vanjske sile koja uzrokuje naprezanje i plastično deformira izradak. Deformiranje se može vršiti u hladnom ili toplom stanju. Toplo stanje se koristi samo za izratke velikih poprečnih presjeka. U ovome završnom radu piše se isključivo o hladnoj deformaciji savijanjem budući da se konstruirana naprava može koristiti samo za hladno deformiranje metalnih profila. Savijanje se u današnjoj metaloprerađivačkoj industriji vrlo često koristi zbog jednostavnosti i brzine. Može se usporediti sa zavarivanjem budući da savijeni profili mogu zamijeniti neke zavarene spojeve i obrnuto. Prednost takve zamjene je manji utjecaj na mehanička svojstva savijanog elementa zbog niske temperature obrade, dok kod zavarivanja postoji znatan utjecaj na mehanička svojstva i mikrostrukturu zavarenog spoja kod određenih metala.

Ako govorimo općenito o tehnologiji savijanja, postoji kružno savijanje i kutno savijanje. Kružno savijanje se koristi za serije od nekoliko komada jer je vrlo sporo, glavna karakteristika je mogućnost savijanja vrlo velikih radijusa, čak do nekoliko metara. Kutno savijanje se koristi za manje radijuse, od 0,2 mm pa do nekoliko stotina milimetara, i često za srednje serijsku proizvodnju dimenzijski manjih elemenata. Postoji nekoliko izvedba za obje vrste savijanja.

### 4.1 Materijali pogodni za hladno deformiranje

Da bi materijal mogli savijati u hladnom stanju on mora imati dobru deformabilnost. Deformabilnost je sposobnost materijala da se plastično deformira bez pojave pukotina ili loma. Plastična deformacija dovodi do trajne promjene oblika i dimenzija izratka, ali bez promjene volumena. Materijali koji se koriste za oblikovanje savijanjem u hladnom stanju su najčešće konstrukcijski čelici, točnije čelici za opruge, nehrđajući čelici i slični, aluminij, aluminijske legure, te bakar i njegove legure. Najčešće se savijaju razni profili, cijevi, trake, limovi i žice. Proizvodi savijanja mogu biti raznih oblika i dimenzija, od plašteva za kotlove, spremnika pod tlakom, pa do savijenih žica, armature, cijevi za razne primjene, itd. Kod savijanja materijala većih dimenzija, ponekad je potrebno koristiti maziva sredstva za smanjenje trenja tijekom savijanja, te za smanjenje oštećenja površine izratka. Nakon proizvodnje proizvodi podliježu kontroli kvalitete čija je zadaća otkrivanje grešaka koje se javljaju kod savijanja. Na slici 3.22 i 3.23 se nalaze neki proizvodi koji su nastali kutnim savijanjem u hladnom stanju.



Slika 3.22: Savijeni pravokutni profil [11]



Slika 3.23: Savijeni kružni profil [12]

## 4.2 Toplinska obrada nakon hladne deformacije

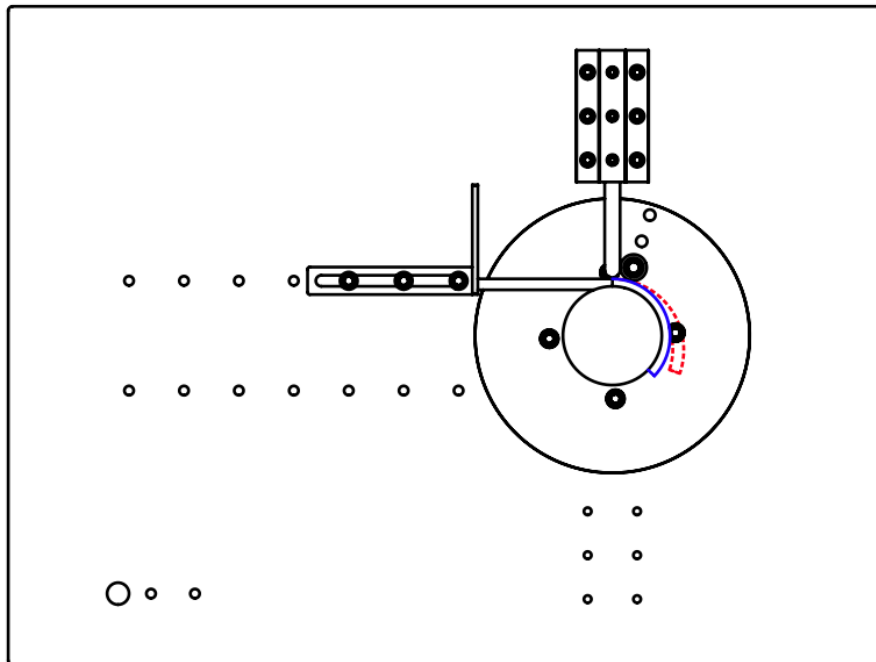
Kada neki materijal hladno plastično deformiramo tada dolazi do povećanja broja dislokacija u metalu. Rezultat dislokacija je promjena oblika zrna u mikrostrukturi i povećanje tvrdoće, vlačne čvrstoće i granice razvlačenja, a smanjenje istežljivosti i otpornosti na koroziju. Promjene svojstava i mikrostrukture su to veće što je stupanj deformacije veći. S ciljem da se mikrostruktura i mehanička svojstva materijala vrata u stanje u kakvom su bila prije hladne deformacije, provodi se toplinska obrada rekristalizacijskog žarenja. Rekristalizacijom se postiže ponovni poligonalni oblik kristalnih zrna i tako se čeliku vraća duktilnost koja se smanjila tijekom hladne deformacije. Temperatura rekristalizacije ovisi o stupnju deformacije i vrsti metala, a za čelike se kreće od 500 °C do 650 °C. Kod tople deformacije zrno se vraća u prvobitni oblik tijekom hlađenja zagrijanog materijala nakon obrade, stoga nije potrebno rekristalizacijsko žarenje.



## 4.3 Tehnički problemi kod kutnog savijanja

### 4.3.1 Elastični povrat

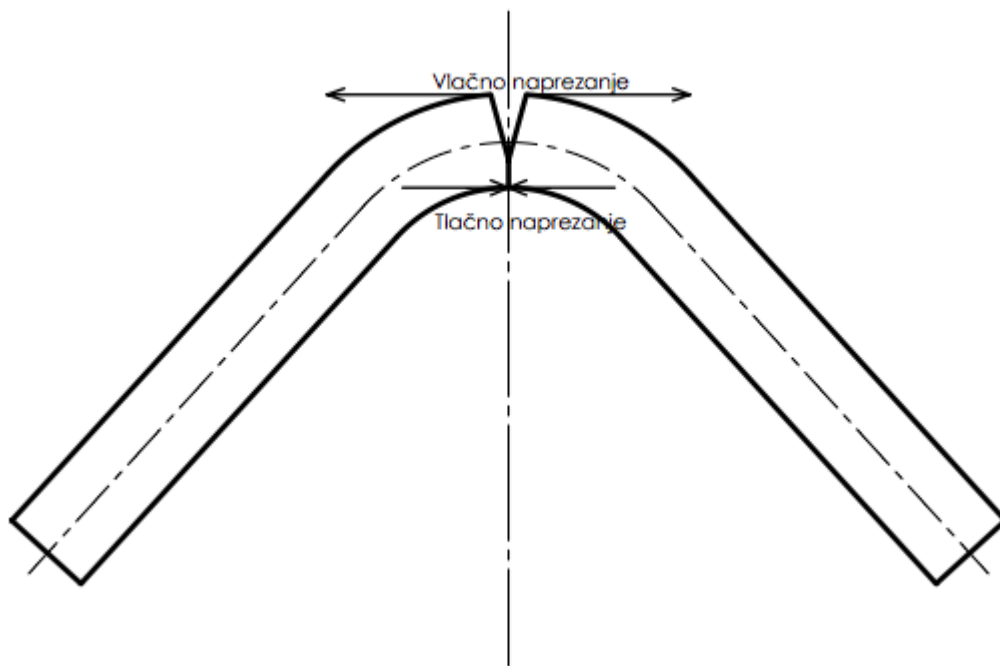
Elastični povrat je posljedica elastične deformacije materijala. Budući da za plastičnu deformaciju moramo prijeći granicu elastične deformacije, na kraju savijanja se očekuje elastično vraćanje, "odvijanje", materijala kao oporavak elastične deformacije u vrijednostima do nekoliko stupnjeva, ovisno o vrsti materijala. Takvo ponašanje materijala kod savijanja stvara probleme kod točnosti gotovog proizvoda i svaka šarža materijala se mora ispitati, čak i ako su dimenzije, sastav, proizvođač početnog materijala i stroj na kojem se vrši obrada ostali nepromijenjeni. Tijekom savijanja valjanih limova i profila treba obratiti pažnju i na smjer valjanja tijekom izrade početnog materijala jer nehomogenost strukture valjanih limova može rezultirati različitim elastičnim povratom ako se početni materijal savija u smjeru valjanja ili u smjeru okomitom na smjer valjanja. Elastični povrat se korigira kako bi se na kraju dobila tražena dimenzijska točnost proizvoda. Ova pojava javlja se kod gotovo svih metalnih materijala, a iznos povrata ovisi o svojstvima elastičnosti materijala. Posebno je izražena kod čelika za opruge. Slika 4.1 prikazuje pojavu elastičnog povrata izratka izrađenog od žice promjera 10 mm. Crvene isprekidane linije prikazuju izradak nakon pojave elastičnog povrata, dok plave pune linije prikazuju obradak prije pojave elastičnog povrata.



Slika 4.1: Elastični povrat žice u napravi za savijanje

### 4.3.2 Pukotine kod savijanja

Prilikom savijanja mogu se javiti i pukotine na vanjskom radijusu savijenog elementa. Pukotine se javljaju zbog premale duktilnosti materijala, pogreške u izboru alata ili debljine materijala. Najčešći razlog pojave pukotina je kada je unutarnji radijus savijanja premali u odnosu na debljinu savijanog profila. Da bi se spriječile pukotine, postoje različiti standardizirani alati koji imaju propisani radijus savijanja za određenu debljinu materijala. Na pojavu pukotina, osim navedenih razloga, utječu i smjer valjanja i savijanja materijala (ako se savija materijal izrađen valjanjem), iznos vlačnog naprezanja, stanje ruba i slično [7]. Pukotine se mogu spriječiti upotrebom odgovarajućeg alata tijekom savijanja i pazeći na smjer valjanja tijekom umetanja u napravu za savijanje (kao i za elastični povrat). Pukotine se uvijek pojavljuju na vanjskom radijusu savijanog elementa jer je taj radijus izložen najvećem vlačnom naprezanju tijekom savijanja, kao što se može vidjeti na slici 4.2.



Slika 4.2: Pukotine na vanjskom radijusu savijene žice

### 4.3.3 Površinska oštećenja nastala od alata

Za izradu alata za savijanje se koriste alatni čelici koji imaju visoku tvrdoću u odnosu na savijani materijal kako bi se smanjilo trošenje alata tijekom savijanja i tako osigurala ponovljivost dimenzija izradaka. Kao rezultat kontakta tvrdog metala i mekšeg metala tijekom savijanja, na mekšem metalu se vrlo često mogu pojaviti ogrebotine ili otisci koje ostavlja alat. Osim problema estetike, još veći problem predstavljaju površinska oštećenja kod savijanja nehrđajućeg čelika, aluminija i obojenih metala koja umanjuju otpornost na koroziju [7]. Oštećenja se najčešće pojavljuju na manjim radijusima savijanja, stoga je preporučljivo koristiti veće radijuse kada je to moguće. Za zaštitu od oštećenja se također mogu koristiti premazi ili prevlake koje vrlo efektivno smanjuju pojavu ogrebotina.



*Slika 4.3: Otisak od alata na unutarnjem radijusu savijene žice*

## 5. Općenito o napravama za kutno savijanje

Naprave, alati i strojevi za savijanje se koriste za savijanje raznih profila (kružnih, pravokutnih, kvadratnih), cijevi i žica, te limova manje širine. U proizvodnji se često za savijanje koriste hidrauličke preše, međutim one su pogodne samo za savijanje limova. Za savijanje žica i cijevi najčešće se koriste razne izvedbe CNC (computer numerical control) strojeva koji imaju velike proizvodne kapacitete, ali nisu pogodni za savijanje manjih serija. Za tu primjenu postoje naprave za kutno savijanje. Neke prednosti u usporedbi s CNC strojevima su jeftinija cijena, jednostavnije upravljanje i veća fleksibilnost, dok su nedostaci manji proizvodni kapaciteti, potreba za ručnim umetanjem i upravljanjem, duže vrijeme obrade i slično. Postoje mnoge izvedbe naprava i strojeva za kutno savijanje, a neki od kriterija prema kojima se razlikuju su sljedeći [13]:

- Princip rada
- Vrsta pogona
- Dimenzije naprave
- Vrsta upravljanja
- Moment savijanja / maksimalne dimenzije izratka
- Vrste dodatnih alata

### 5.1 Princip rada

Princip ili način rada se odabire prema funkciji za koju je naprava namijenjena, tj. prema funkciji za koju se naprava konstruira. Svaka izvedba ima svoje prednosti i nedostatke. U proizvodnim pogonima se najčešće mogu pronaći vertikalne naprave za savijanje profila koje su upravljanje hidrauličkim izvršnim elementima. Takve naprave su izvedene s tri profilirana valjka od kojih može biti pomičan središnji valjak ili su pomična dva vanjska valjka. Kroz profilirane valjke se propušta profil, središnji valjak (ili dva vanjska valjka) se pomiče u susret dvama vanjskim valjcima, te se tako profil savija u željeni radijus. Različiti radijus savijanja se dobiva većim ili manjim primicanjem valjaka. Takva izvedba se može vidjeti na slici 5.1 [13].



*Slika 5.1: Izvedba naprave za savijanje profila s 3 valjka [13]*

Međutim, nama interesantniji princip rada, onakav kakav je korišten u izradi završnog rada, se bazira na savijanju u horizontalnoj ravnini i elektromotornom pogonu. Na horizontalnom radnom stolu se nalazi fiksni središnji element, a oko njega se rotira cilindrični element sa zatikom (ili sličnim elementom) koji zaokreće krak obratka oko središnjeg elementa. Radijus savijanja se mijenja korištenjem središnjih elemenata različitih promjera, dok zatik mora biti pomičan kako bi se osigurala zračnost koja je potrebna za umetanje obratka. Ova vrsta izvedbe omogućava veću brzinu obrade, veću proizvodnost, te dimenzijski točnije i ponovljive izratke. Glavni nedostatak u usporedbi s napravom za savijanje s 3 valjka je ograničenje u parametru radijusa savijanja koji je ograničen promjerom središnjeg i rotacijskog elementa. Široko se upotrebljava za srednje serijsku proizvodnju kod naprava za savijanje armature, naprava za savijanje profila i cijevi, te kod CNC strojeva za savijanje uparena s CNC upravljanjem. Slika 5.2 prikazuje izvedbu sa središnjim elementom.



*Slika 5.2: Izvedba sa središnjim elementom [14]*

Postoji još jedna vrsta izvedbe stroja za savijanje koja je spomenuta i ranije, a to je CNC upravljani stroj za savijanje. Takvi strojevi također postoje u raznim konfiguracijama ali najinteresantnija je konfiguracija s okretnim radnim stolom. Koriste se za velikoserijsku proizvodnju i potpuno su automatizirani i samostalni u radu. Strojevi se često koriste za izradu raznih izradaka ali od specifične vrste materijala s obzirom na poprečni presjek. Iz tog razloga postoje zasebni strojevi za savijanje primjerice žice ili cijevi. U završnom radu se govori o savijanju žica kružnih profila pa stoga slijedi opis CNC stroja za savijanje žice proizvođača BLM group [23].

Stroj koji je prema primjeni najbližiji konstruiranoj napravi za savijanje je BLM group E-FLEX [23]. Navedeni stroj posjeduje 5 osi koje omogućuju veliku fleksibilnost kod izrade pozicija. Proces obrade izratka se odvija na sljedeći način:

1. Postavljanje žice potrebnog promjera na vitlo kapaciteta 1500 kg
2. Pomoću valjaka za dobavu žica se provlači kroz podesive valjke koji imaju zadaću ravnjanja žice
3. Prolaskom žice kroz valjke za dobavu žica dolazi do mjesta savijanja
4. Alati za savijanje vrše savijanje prema unaprijed programiranom redoslijedu i načinu

5. Nakon savijanja stroj automatski siječe žicu i gotov, savijeni komad pada u kutiju

Glavna karakteristika koja ovaj stroj čini izrazito fleksibilnim, pored CNC upravljanja, jest okretni radni stol, tj. alati koji se mogu rotirati oko žice i tako savijati žicu u 3 dimenzije.

Osnovne specifikacije stroja [23]:

- Broj osi: 5
- Maksimalni promjer žice:  $\Phi 8$  mm vlačne čvrstoće  $900 \text{ N/mm}^2$  ili  $\Phi 10$  mm vlačne čvrstoće  $500 \text{ N/mm}^2$
- Kut savijanja:  $0,1^\circ - 240^\circ$
- Radijus savijanja: 0,5 mm do beskonačnosti
- Maksimalna instalirana snaga: 22 kW



Slika 5.3: BLM group E-FLEX CNC stroj za savijanje žice [23]

## 5.2 Vrsta pogona

Pogon naprave ovisi ponajprije o izvedbi, tj. primjeni. Može biti hidraulički ili elektromotorni. Hidraulički pogon se koristi samo za primicanje ili odmicanje valjaka koji su opet pokretani elektromotorom. Takva izvedba koristi se kada su potrebne velike sile za ostvarivanje savijanja, ali posljedica korištenja hidraulike je dugo vrijeme obrade zbog sporog pomicanja klipa. Elektromotorni pogon se najčešće izvodi pomoću izmjeničnih elektromotora nazivne snage od nekoliko stotina  $W$  pa do nekoliko  $kW$ . U izvedbi sa središnjim elementom se koristi samo elektromotorni pogon čije su prednosti veća brzina savijanja, različite mogućnosti upravljanja, itd. Kod konstruiranja naprave za kutno savijanje prvi izbor je bio isključivo elektromotorni pogon zbog primjene naprave i brzine obrade.

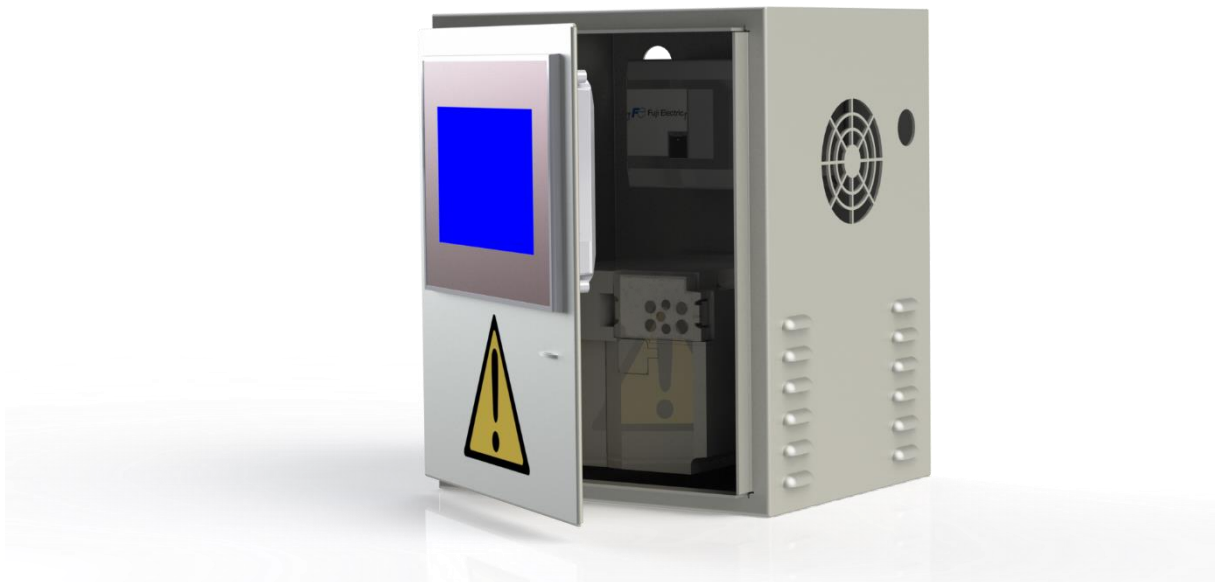
## 5.3 Dimenzije naprave

Dimenzije naprave su veće ako je naprava namijenjena za savijanje profila većih poprečnih presjeka. Budući da se kod savijanja takvih presjeka javljaju velika opterećenja, robusnost naprave je od presudne važnosti za dugotrajnost. Naprave se striktno moraju koristiti za savijanje poprečnih presjeka za koje su namijenjene i maksimalne dimenzije obratka, propisane od proizvođača naprave, se ne smiju premašiti. Naprave za kutno savijanje izrađuju se u velikom rasponu dimenzija, od malih stolnih naprava pa sve do naprava od nekoliko tona [13].



## 5.4 Vrste upravljanja

Upravljanje naprava za kutno savijanje ovisi o vrsti pogona, te o primjeni naprave. Najčešći način upravljanja je preko tipkala ili nožne sklopke. Takva vrsta upravljanja izvodi se pomoću sklopnika, relativno je jednostavna i jeftina. Može se koristiti i kod naprava s hidrauličkim pomicanjem valjaka. Kod skupljih strojeva za savijanje koji se koriste za velikoserijsku proizvodnju koristi se CNC upravljanje sa servomotorima [13]. Za izradu naprave za kutno savijanje profila odabrano je upravljanje pomoću PLC kontrolera (Programmable logic controller), elektromotora s enkoderom i frekventnog pretvarača kako bi se naprava mogla koristiti za što više raznih izradaka. Takvo upravljanje daje vrlo veliku fleksibilnost naprave i razne mogućnosti podešavanja.




*Slika 5.4: Elektro-ormar s PLC kontrolerom i frekventnim pretvaračem*

## 5.5 Maksimalne dimenzije izratka

Kod konstruiranja naprave za kutno savijanje prvi korak najčešće je određivanje ograničenja i dimenzija obradaka koji će se moći savijati pomoću naprave. Glavna ograničavajuća dimenzija je poprečni presjek obratka. Na temelju te dimenzije izračunava se okretni moment koji je potreban za savijanje izratka s maksimalnim zadanim dimenzijama. Pomoću izračunatog momenta određuje se snaga elektromotora, vrsta i prijenosni omjer prijenosnika, te ostale dimenzije poput promjera vratila koje prenosi moment. Na tržištu se nalaze naprave za savijanje profila raznih dimenzija. Neki tipovi naprava, uz neke prilagodbe (izrađivanje raznih alata), mogu se koristiti i za savijanje profila manjih dimenzija nego što je to propisao proizvođač, ali nikako profila većih dimenzija od propisanih. Na slici 5.5 se nalazi naprava za kutno savijanje profila u izvedbi s tri valjka (opisana u poglavlju "Princip rada") s tablicom maksimalnih dimenzija određenih profila koji se smiju savijati pomoću naprave [13].

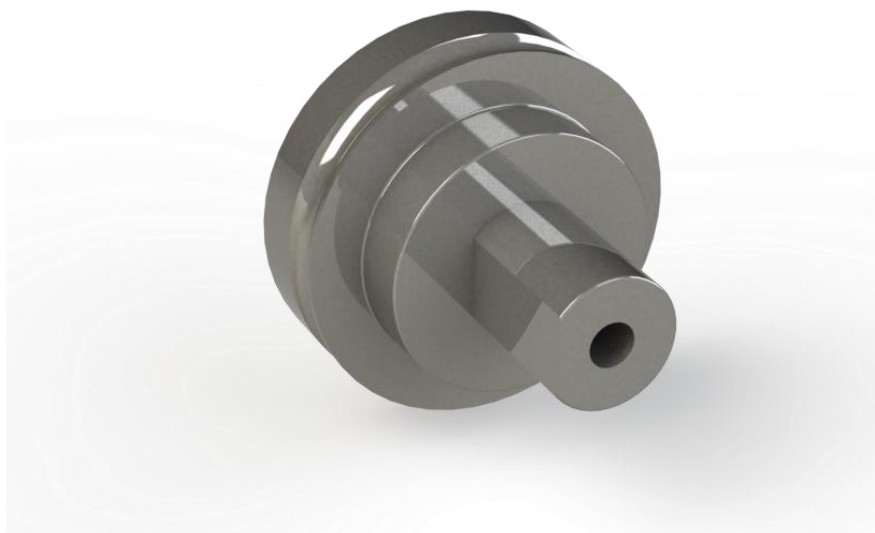


PROFILE	UP TO [mm]	TO ID [mm]
	50 x 8	500
	80 x 15	400
	30 x 30	600
	30	600
	60 x 1,5	1000
	42,1 x 3,6	500
	50 x 30 x 3	
	40 x 3	
	40 x 4	500
	50 x 50 x 6	500
	50 x 50 x 6	800
	50 x 50 x 6	500
	50 x 25	400
	50 x 25	600

Slika 5.5: Naprava za savijanje s tri valjka i tablica maksimalnih dimenzija profila [13]

## 5.6 Vrste dodatnih alata

Kako bi se povećale mogućnosti naprava za kutno savijanje, naprave se sastoje od izmjenjivih alata. Alati mogu biti valjci koji su profilirani prema obliku i dimenzijama savijanog profila, a kod horizontalne izvedbe naprave alati su središnji elementi različitih promjera, te zatici za savijanje različitih promjera. Geometrija alata mora biti izvedena tako da omogućava brzu izmjenu uz optimalno fiksiranje. Alatima se mogu nazivati i graničnici. Slika 5.6 prikazuje geometriju izmjenjivog središnjeg elementa u napravi za kutno savijanje koja je konstruirana tijekom izrade završnog rada. Na dijelu koji se umeće u napravu nalazi se ravni dio koji odgovara ravnom dijelu u provrtu drugog središnjeg elementa koji je fiksiran u napravi. Tako se izmjenjivi središnji dio osigurava od rotacije tijekom savijanja. U središtu tog elementa se također nalazi provrt s navojem M10 za dodatno osiguranje.

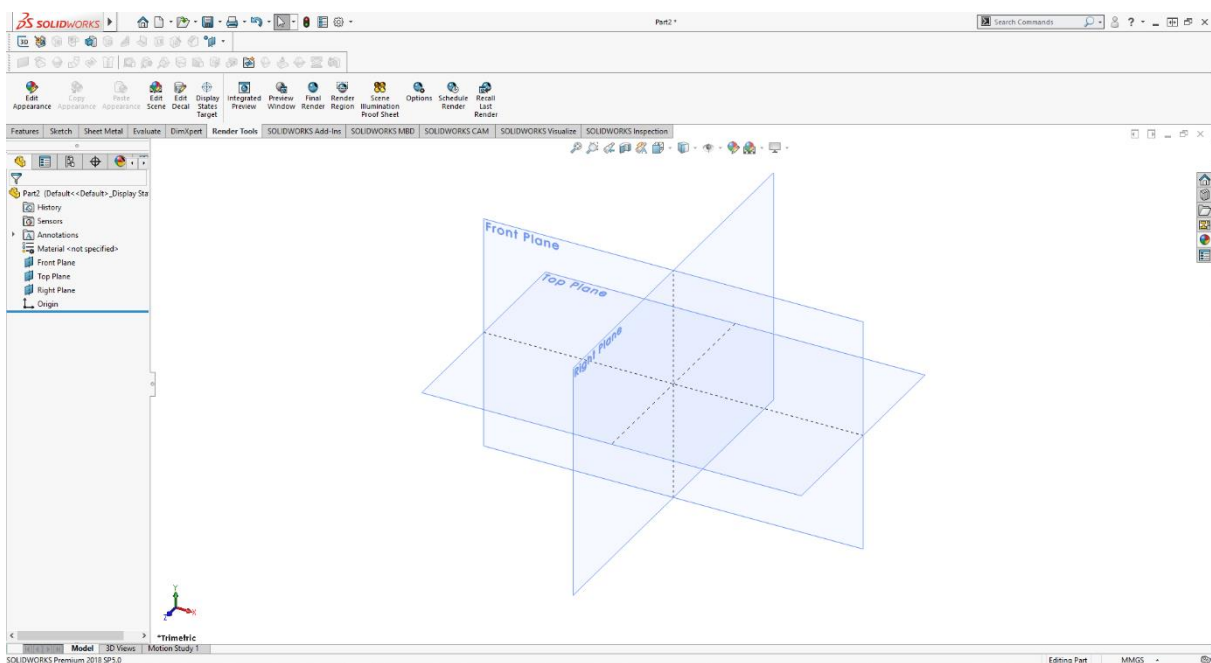


*Slika 5.6: Izmjenjivi središnji element*

## 6. Solidworks

Solidworks je program razvijen za 3D modeliranje mehaničkih komponenti, dijelova i sklopova, te 3D dizajn. Također nudi mogućnost izrade tehničkih crteža. Koncept programa i prva verzija razvijena je u Americi 1993. godine. 1997. godine tvrtka Solidworks je kupljena od strane Francuske tvrtke Dassault koja je poznata po svom programu za 3D modeliranje Catia [15]. Tvrtka Dassault je nastavila s razvojem programskog paketa Solidworks, te svake godine postupno unaprjeđuje program i usavršava njegove već postojeće mogućnosti. Uz konstantno unaprjeđenje Solidworks je postao paket koji nudi mnogo alata koji se vežu uz dodatke poput simulacije, vizualizacije modela, programiranja puteva alata kod obrade odvajanjem čestica (CAM), izrade tehničkih crteža, spajanja elektroničkih komponenti, kompatibilnosti s drugim programima, itd. Danas je Solidworks jedan od najčešće korištenih CAD (Computer aided design) programa u svijetu. Može se reći da je postao vodeći program u svojoj kategoriji.

Jedan od glavnih prodajnih faktora, i razlog uspješnosti Solidworksa, je jednostavnost korištenja. Sučelje Solidworksa tijekom korištenja je lako pamtljivo, alati su lako dostupni, postavke su razumljive i vrlo prilagodljive. Alati koji se nalaze u sučelju se mijenjaju ovisno o vrsti otvorenog predloška. Prije početka korištenja Solidworksa moramo odabrati predložak u kojem želimo raditi. Postoje tri predloška, Part (dio), Assembly (sklop) i Drawing (tehnički crtež). Na slici 6.1 se može vidjeti sučelje koje se nalazi u predlošku Part.



Slika 6.1: Solidworks sučelje u "Part" predlošku

## 6.1 Značajke i funkcije

Solidworks je temeljen na parametarskom modeliranju. Parametarsko modeliranje je modeliranje pomoću geometrijskih i dimenzijskih podataka. Tako je kod programa zapravo napravljen da se pomoću matematičkih jednadžbi i funkcija definiraju potrebne relacije, dimenzije i geometrija kako bi se dobio 3D model. Parametarsko modeliranje korisniku omogućava da se fokusira na funkcionalne aspekte modela. Promjenom dimenzija, geometrije ili ostalih značajki modela, promjene se također automatski izvršavaju i u svim dokumentima koji sadrže taj model (sklop i tehnički crtež) [16].

Neki od dodataka kojima se uvelike povećava funkcionalnost primjene Solidworks se baziraju na sljedećim funkcijama [15]:

- Rendering – dodatak koji dolazi uz Solidworks Premium licencu, omogućuje vizualizaciju modela, tj. prezentaciju izgleda modela pomoću renderinga
- Simulacije – Korisnik odabire uvjete naprezanja kojima je model podvrgnut, a program izračunava i prikazuje ponašanje modela tijekom tih naprezanja
- Evaluacija – nakon završetka modeliranja, iz modela se lako može izraditi 2D tehnički crtež sa željenim projekcijama i prikazanim dimenzijama
- Proizvodnja – nakon provjere modela, pomoću Solidworks CAM dodatka generira se G - kod koji se može direktno poslati na određene CNC strojeve

## 7. Kronologija konstruiranja naprave za kutno savijanje

Prije početka konstruiranja bilo koje naprave, presudno je odrediti pravilan redoslijed kako bi se postigla potrebna funkcionalnost, sigurnost i dugotrajnost naprave. Konstruiranje najčešće započinje određivanjem potrebnih parametara naprave, tj. određivanjem funkcija koje će naprava izvršavati, te određivanjem graničnih dimenzija obratka. Određivanjem tih parametara zadaju se glavne smjernice za izradu konstrukcije poput potrebnog okretnog momenta, dimenzije naprave, način pokretanja procesa i slično.

## 7.1 Izbor elektromotora i prijenosnika temeljen na proračunatom momentu

Glavni parametri kod naprave za kutno savijanje su maksimalni i minimalni radijus savijanja, maksimalni poprečni presjek obratka, najveća i najmanja dužina savijanog obratka, oblici savijanih profila, te materijali pogodni za savijanje pomoću naprave. Navedene parametre je najbolje odrediti prema napravama koje već postoje na tržištu i koje su navedene u prethodnim poglavljima, te proizvoljno. Budući da je naprava primarno namijenjena savijanju žice od čelika za opruge ili konstrukcijskih čelika, parametar maksimalnog poprečnog presjeka određen prema kružnom profilu  $\phi 16$  mm od čelika DIN S235 i  $\phi 8$  mm od čelika za opruge EN 10270 - 1. Pomoću tog parametra okvirno je izračunat okretni moment koji je potreban za savijanje navedenog materijala. Proračun se nalazi u nastavku.

- Slovne oznake i njihovo značenje:

$M$  – moment savijanja [Nm]

$I$  – polarni moment inercije [ $\text{m}^4$ ]

$y$  – radijus žice [mm]

$f$  – faktor sigurnosti

$P$  – snaga [W]

$R_m$  – vlačna čvrstoća materijala [MPa]

$R_{ms}$  – savojna čvrstoća materijala [MPa]

$\sigma_s$  – naprezanje kod savijanja [MPa]

$M_m$  – okretni moment elektromotora [MPa]

$N$  – broj okretaja elektromotora [rpm, okretaji po minuti]

$i$  – prijenosni omjer

$z_1$  – broj zubi većeg zupčanika

$z_2$  – broj zubi manjeg zupčanika

Krećemo od izraza za izračun naprezanja na savijanje:

$$\sigma_s = \frac{M \times y}{I} \quad [3]$$

Naprezanje  $\sigma_s$  se može zamijeniti svojom čvrstoćom materijala  $R_{ms}$ , množenjem jednadžbe s polarnim momentom inercije  $I$  i dijeljenjem s radijusom žice  $y$  dobiva se sljedeća jednadžba za izračun momenta savijanja:

$$M = \frac{I \times R_{ms}}{y}$$

Za daljnji proračun potrebne su vrijednosti za  $y$ ,  $R_{ms}$  i  $I$ . U nastavku su vrijednosti i proračun za kružni profil od čelika S235  $\Phi 16$  mm:

$$y = \frac{d}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$R_{ms} = 235 \text{ MPa} = 235000000 \text{ Pa} \quad [3]$$

$$I = \frac{d^4 \times \pi}{64} = \frac{0,016^4 \times \pi}{64} = 3,217 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad [3]$$

$$M = \frac{I \times R_{ms}}{y} = \frac{3,217 \times 10^{-9} \times 235000000}{0,008} = 94,5 \text{ Nm}$$

$$M_{ik} = M \times f = 94,5 \times 2 = 189 \text{ Nm}$$

Iz proračuna je dobiveno da je za savijanje navedenog materijala, navedenih dimenzija, potreban okretni moment od 189 Nm. U nastavku slijedi isti proračun, ali za žicu  $\Phi 8$  mm od čelika za opruge EN 10270 – 1.

$$y = \frac{d}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$$

$$R_{ms} = 0,9 \times R_m = 0,9 \times 2000 = 1800 \text{ MPa} = 1800000000 \text{ Pa} \quad [17]$$

$$I = \frac{d^4 \times \pi}{64} = \frac{0,008^4 \times \pi}{64} = 2,0106 \times 10^{-10} \text{ m}^4 \quad [3]$$

$$M = \frac{I \times R_{ms}}{y} = \frac{2,0106 \times 10^{-10} \times 1800000000}{0,004} = 90,5 \text{ Nm}$$

$$M_{uk} = M \times f = 90,5 \times 2 = 180,95 \text{ Nm}$$

Od dobivenih momenata za obje vrste materijala odabran je veći kako bi naprava mogla savijati obje vrste materijala. Nakon dobivenog momenta savijanja bilo je potrebno izračunati glavni podatak, iznos snage elektromotora koja je potrebna da bi naprava izvršavala zadanu funkciju.

U nastavku slijedi proračun snage elektromotora:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{80}{12} = 1:6 \rightarrow \text{prijenosni omjer između zupčanika}$$

$$i_2 = 1:10 \rightarrow \text{prijenosni omjer planetarnog reduktora}$$

$$i_{uk} = 1:60 \rightarrow \text{ukupni prijenosni omjer od elektromotora do savijanog obratka}$$

$$N = 1500 \text{ rpm}$$

$$M_m = \frac{M_{uk}}{i_{uk}} = \frac{189}{60} = 3,15 \text{ Nm} \rightarrow \text{potreban okretni moment elektromotora}$$

$$P = \frac{M_m \times N}{9,5488} = \frac{3,15 \times 1500}{9,5488} = 494,83 \text{ W} \rightarrow \text{potrebna snaga elektromotora [18]}$$

Izračunata snaga elektromotora je minimalna potrebna snaga za savijanje, bez uzimanja u obzir gubitaka koji su neminovni, iz tog razloga najbolje je uzeti elektromotor veće nazivne snage, pa je stoga odabran elektromotor snage 1000 W. Iz gore navedenih podataka i formula može se izračunati i broj okretaja na izlaznom vratilu koje se koristi za savijanje.

$$n = \frac{N}{i_{uk}} = \frac{1500}{60} = 25 \text{ rpm} \rightarrow \text{broj okretaja izlaznog vratila}$$

Iznosi dobiveni u ovim proračunima su od presudne važnosti za točno određivanje dimenzija elemenata naprave i izbor odgovarajućih prijenosnika i elektromotora te za odabir korektnog upravljačkog sustava za odabrani elektromotor.

Kao konačan rezultat odabran je elektromotor snage 1000 W, upravljani PLC kontrolerom i frekventnim pretvaračem. Frekventni pretvarač daje mogućnost promjene broja okretaja elektromotora, a PLC daje visoku točnost, ponovljivost i veliku fleksibilnost u smislu promjene kuta savijanja. Kao prijenosne elemente odabrao sam planetarni reduktor koji dolazi



montiran na elektromotor, te par zupčanika, jedan manji zupčanik koji se nalazi na izlaznom vratilu planetarnog reduktora, a jedan veći koji se nalazi na vratilu koje vrši savijanje.

### 7.1.1 Proračun međuosovinskog razmaka zupčanika

Kako bi se osigurala dugotrajnost i zahtijevana funkcionalnost zupčanih prijenosnika bitno je odrediti razmak između njihovih središnjih osi. Budući da na napravi za kutno savijanje postoji samo jedan zupčani par, tj. samo dva zupčanika, potrebno je proračunati samo jednu dimenziju osnovog razmaka. Određivanje razmaka je također potrebno i kako bi se pravilno odredilo točno mjesto montaže elektromotora s obzirom na rotacijski element do kojeg se prenosi okretni moment. Proračun međuosovinskog razmaka je relativno jednostavan kada poznajemo diobene promjere zupčanika. Proračunom za omjer zupčanog prijenosa koji je naveden u prethodnom poglavlju određene su vrste zupčanika, a proračun osnovog razmaka nalazi se u nastavku:

- Slovnice oznake i njihovo značenje:  
 $D_{p1}$  – Diobeni promjer većeg zupčanika  
 $D_{p2}$  – Diobeni promjer manjeg zupčanika  
 $a$  – međuosovinski razmak
- Proračun:

$$a = \frac{D_{p1} + D_{p2}}{2}$$

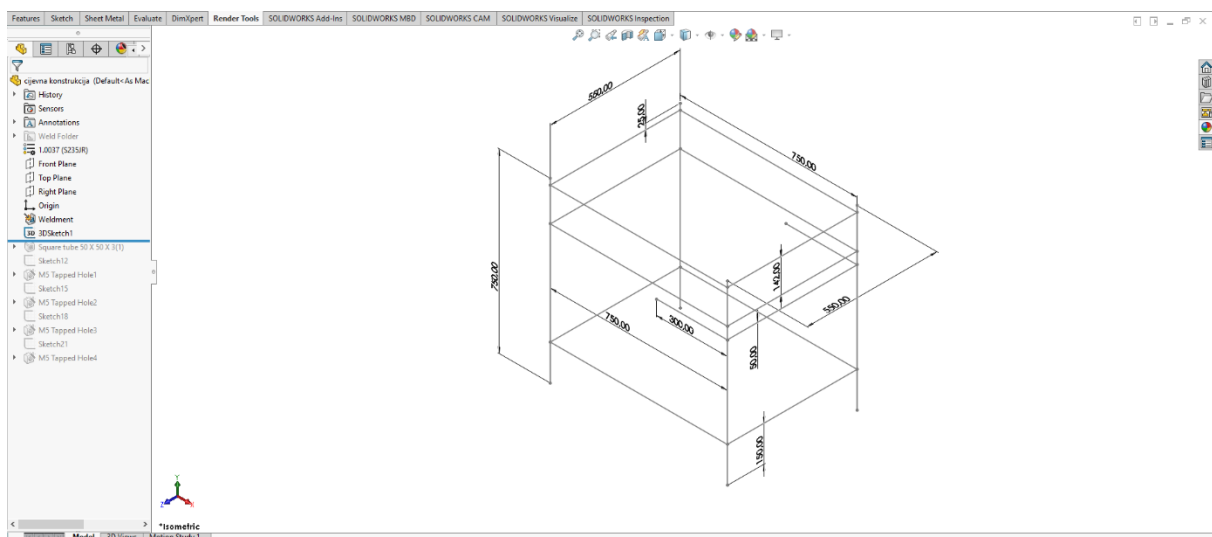
$$a = \frac{225 + 42}{2} = 133,5 \text{ mm}$$

Ovim proračunom dobivena je vrijednost međuosovinskog razmaka koja je potrebna kako bi se u daljnjim koracima moglo započeti s izradom 3D modela naprave.

## 7.2 Izrada 3D modela

Izrada 3D modela naprave za kutno savijanje započeta je određivanjem okvirnih dimenzija radnog stola. Na radnom stolu mora biti dovoljno mjesta za manipulaciju tijekom vađenja i umetanja obratka, te dovoljno mjesta za pomicanje graničnika i alata. Uz to, radni stol mora biti dobro ergonomski izveden kako bi operater napravom upravljao u što ugodnijem i ergonomičnijem položaju. Visina radnog stola određena je prema smjernicama iz zaštite na radu.

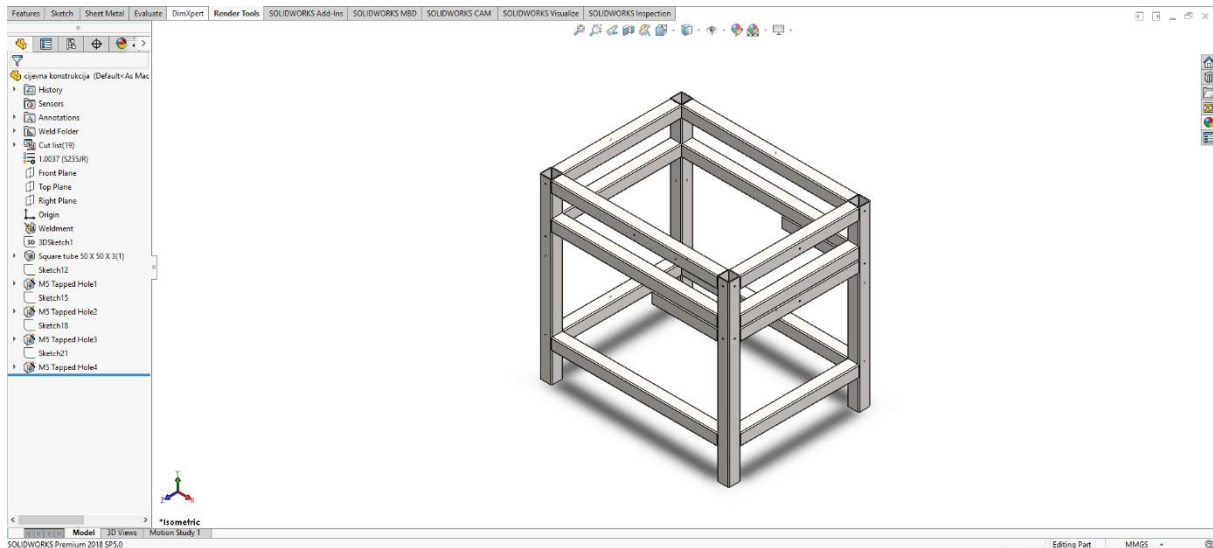
Modeliranje je započeto izrađivanjem modela cijevne konstrukcije u programu Solidworks. Cijevna konstrukcija je takozvani "kostur" naprave za kutno savijanje i nosivi je dio svih elemenata naprave. Zbog njene funkcije bitno je odrediti optimalan materijal izrade, geometriju, te tehnologiju proizvodnje. Modeliranje je započeto izrađivanjem "3D skice" s dimenzijama dužine, širine i visine. Na cijevnoj konstrukciji se također nalaze poprečne cijevi koje povezuju cjelokupnu konstrukciju, povećavaju krutost i nosivost, te su ujedno i nosivi element za čelične ploče na koje se montiraju ostali elementi naprave. 3D skica cijevne konstrukcije se nalazi u nastavku (slika 7.1).



Slika 7.1: 3D skica cijevne konstrukcije

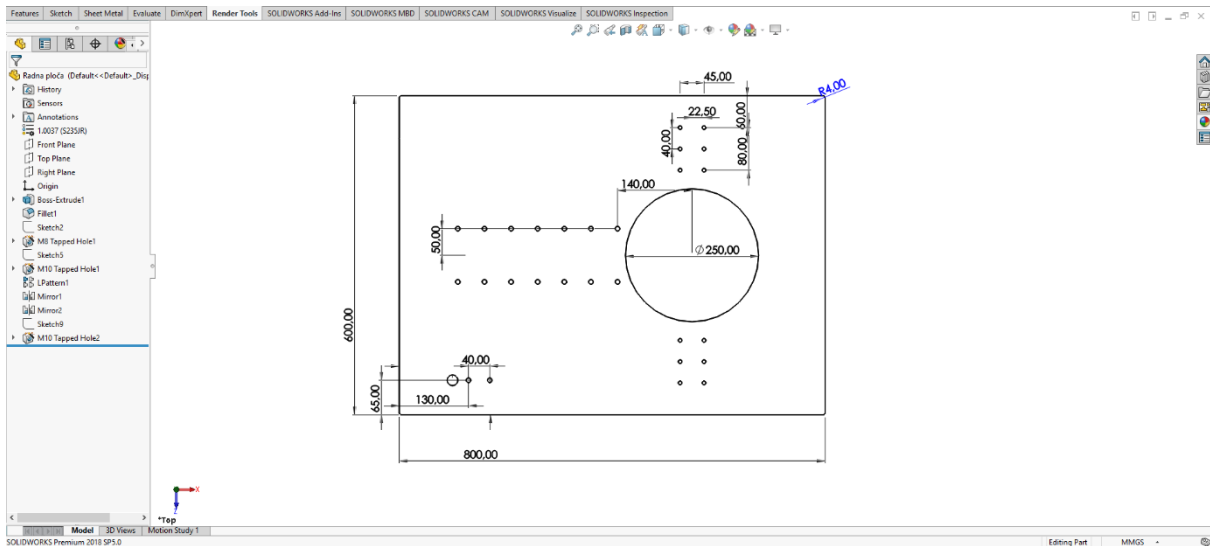
Nakon izrade 3D skice, pomoću alata "Structural member" u programu Solidworks izrađeni su modeli cijevi. Kako bi program mogao izraditi model cijevi, mora postojati skica presjeka cijevi u mapi na računalu iz koje Solidworks "izvlači" podatke. U većini slučajeva potrebne skice dolaze s instalacijom programa, međutim za neke presjeke cijevi skice ne postoje. Iz tog razloga, prije upotrebe alata "Structural member" bilo je potrebno izraditi skicu

presjeka cijevi od kojih će se izraditi konstrukcija i zatim odabrati tu skicu u padajućem izborniku kod korištenja navedenog alata za izradu modela cijevi. Nadalje, kao optimalan materijal za cijevi odabran je S235 zbog dobre zavarljivosti i ekonomske isplativosti. Cijevi su kvadratnog presjeka 50x50x3 mm. Sljedeći zahvat na cijevnoj konstrukciji je izrada provrta s navojem za stranice koje se montiraju na vanjski dio konstrukcije. Provrti su izrađeni pomoću alata "Hole wizard". Završeni model cijevne konstrukcije se može vidjeti na slici 7.2.

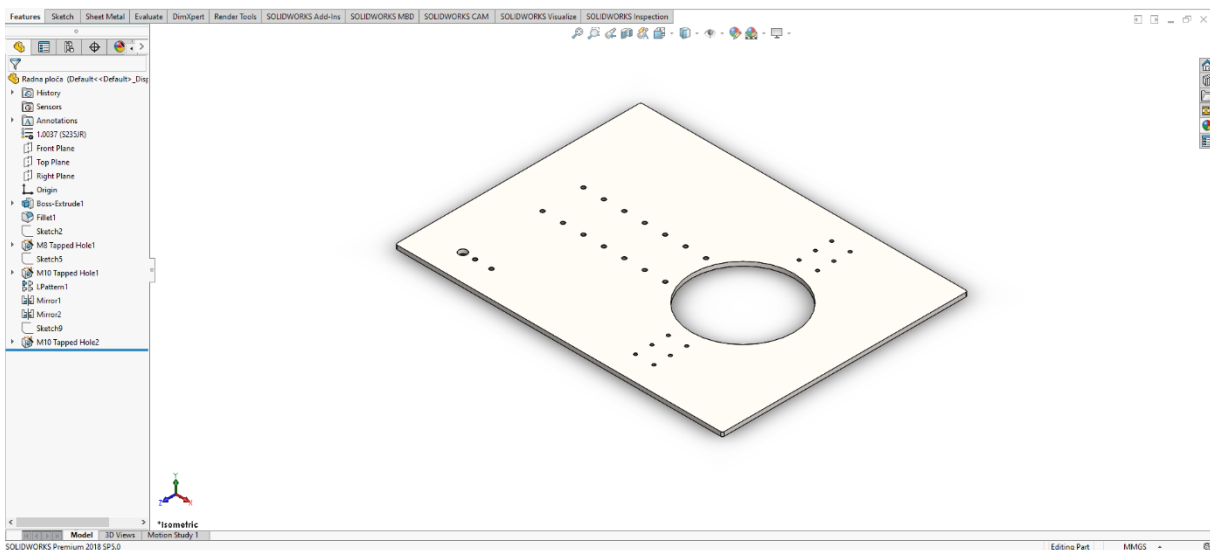


Slika 7.2: Završeni model cijevne konstrukcije

Izradom modela cijevne konstrukcije dobivaju se potrebne dimenzije i može se započeti s modeliranjem radne ploče. Radna ploča je ploča koja se zavaruje na gornju stranu cijevne konstrukcije i na njoj se vrši savijanje, manipulacija obratka, graničenje duljine obratka, te se nalazi uporni alat. Model radne ploče započet je odabirom materijala. Budući da se ploča zavaruje i potrebna je dobra obradivost, odabran je čelik S235 debljine 10 mm. Radna ploča je pravokutnog oblika dimenzija 800 x 600 mm i na njoj se nalazi provrt promjera 250 mm unutar kojeg će kasnije doći sklop za savijanje. Na ploči se također nalaze provrti s navojima za dužinski graničnik, za uporni alat i za element na koji se montira sigurnosna sklopka. Kako bi se povećala fleksibilnost naprave i omogućilo savijanje s desne, ali i s lijeve strane središnjeg elementa (ako se izrađuju pozicije s više operacija savijanja i nije moguće proizvoljno okrenuti obradak), na ploči su izrađeni provrti za uporni alat i dužinski graničnik na obje strane, tj. provrti su izrađeni zrcaljenjem preko simetrale radne ploče.



Slika 7.3: Skica radne ploče



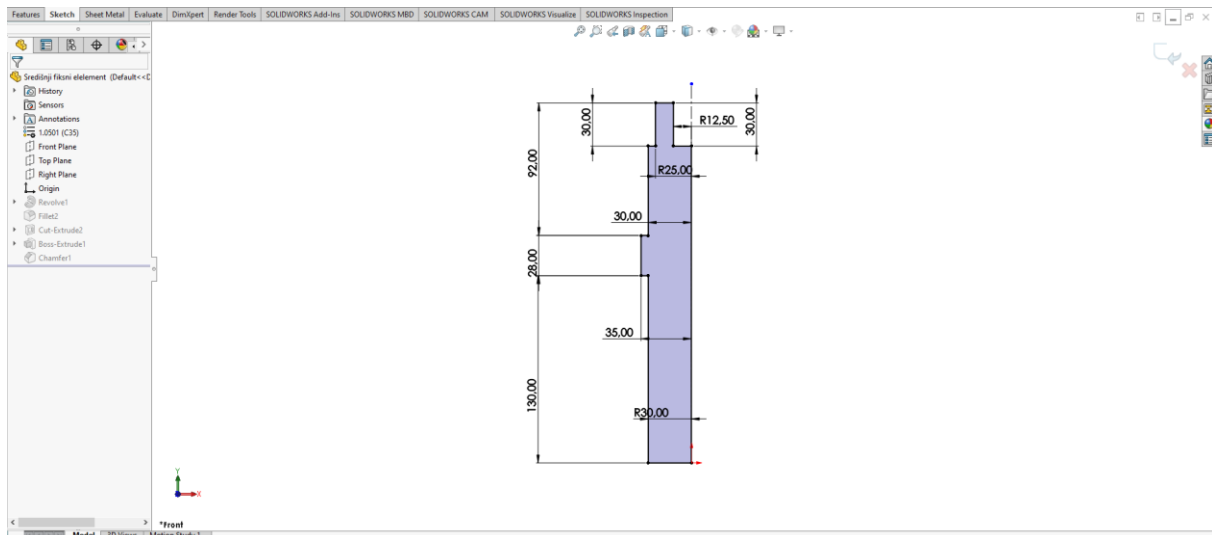
Slika 7.4: Završeni model radne ploče

Kako bi se lakše izmjerile potrebne dimenzije, sljedeći korak u izradi 3D modela je sastaviti cijevnu konstrukciju i radnu ploču. Oba modela otvore se u predlošku "Assembly" u programu Solidworks, te se definiranju odnosi koji povezuju cijevnu konstrukciju i radnu ploču pomoću alata "Mate".

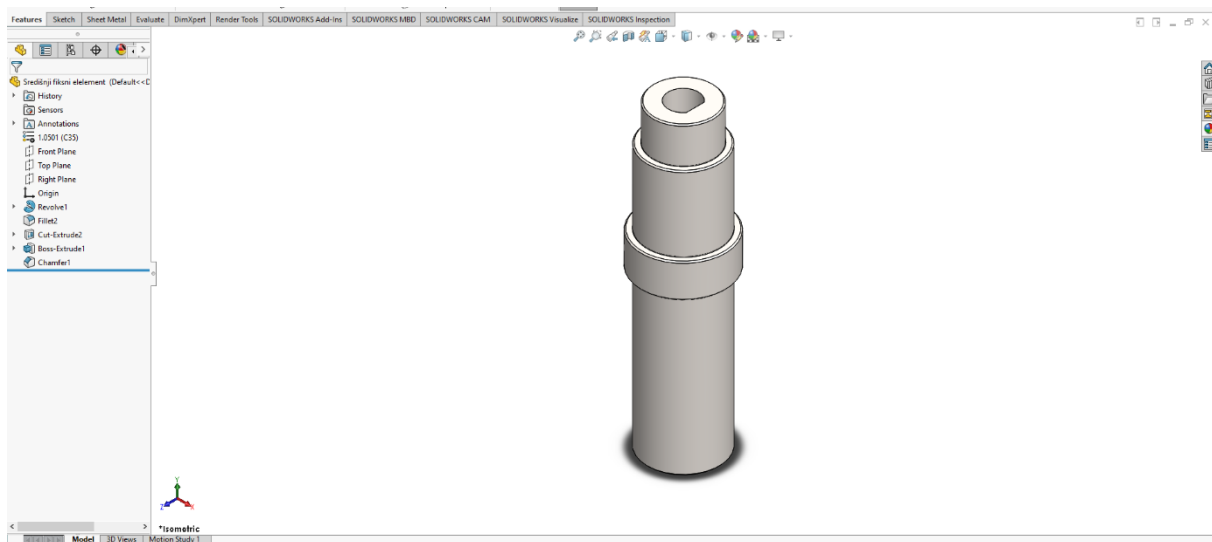
Najzahtjevniji dio kod izrade završnog rada je ujedno i najbitniji dio naprave za kutno savijanje. Za izvršavanje funkcije pouzdano i dugoročno, kod naprave za kutno savijanje, sklop za savijanje koji prenosi okretni moment mora biti izrađen što preciznije, jednostavnije i mora posjedovati određenu krutost. Sklop za savijanje se sastoji od nekoliko elemenata koji su navedeni u nastavku:

- Središnji fiksni element – osovina koja služi za fiksiranje cjelokupnog sklopa za savijanje, te za uležištenja
- Rotacijski element – element preko kojeg se prenosi okretni moment do mjesta savijanja
- Rotacijska ploča – ploča koja je montirana na gornju stranu rotacijskog elementa i služi za savijanje
- Ležaj SKF 6210 – kuglični radijalni ležaj koji se nalazi na gornjem uležištenju sklopa
- Ležaj SKF 6212 – kuglični radijalni ležaj koji se nalazi na donjem uležištenju, većeg promjera od gornjeg ležaja
- Zupčanik sa 75 zuba – zupčanik modula 3 sa 75 zuba, montiran na rotacijski element
- Zupčanik s 14 zuba – zupčanik koji je u dodiru s većim zupčanikom pa ima isti modul, montiran je na izlazno vratilo reduktora
- Prirubnica za fiksiranje ležaja i zupčanika – prirubnica montirana na donji dio rotacijskog elementa koja osigurava veći zupčanik i donji ležaj

Izrada ovog podsklopa počinje modeliranjem središnje fiksne osovine kako bi se ujedno odredio i potreban unutarnji promjer ležaja. Središnja osovina zamišljena je za izradu od materijala DIN 1.0501 (C35) promjera 70 mm i na stroju za tokarenje. Osovina je izrađena u tri stupnja, tj. ima tri različita promjera od kojih su dva namijenjena za uležištenje. Kroz središte osovine prolazi provrt promjera 10,5 mm koji služi za pritezanje središnjeg alata za savijanje preko navojne šipke M10. Model je izrađen pomoću značajke "Revolve" programa Solidworks. Kako bi alat "Revolve" imao potrebne parametre za izradu modela prvo je izrađena skica polovice središnje osovine, budući da navedenim alatom model nastaje rotiranjem skice oko središnje osi (slika 7.5). Najveći promjer osovine je na središnjem dijelu i iznosi 70 mm, dok uležištenja iznose 60 mm veće i 50 mm manje. Na gornjoj strani osovine nalazi se kružni utor s jednom ravnom stranom koji služi za umetanje središnjeg alata za savijanje, a ravna strana na utoru odgovara ravnoj strani na središnjem alatu i tako onemogućava njegovo zakretanje tijekom savijanja. Utor je izrađen alatom "Revolve" i alatom "Extruded Boss". Provrt koji prolazi kroz središte cijele osovine izrađen je alatom "Extruded cut". Dodavanjem potrebnih skošenja završena je izrada modela. Slika modela središnje osovine nalazi se u nastavku (slika 7.6).

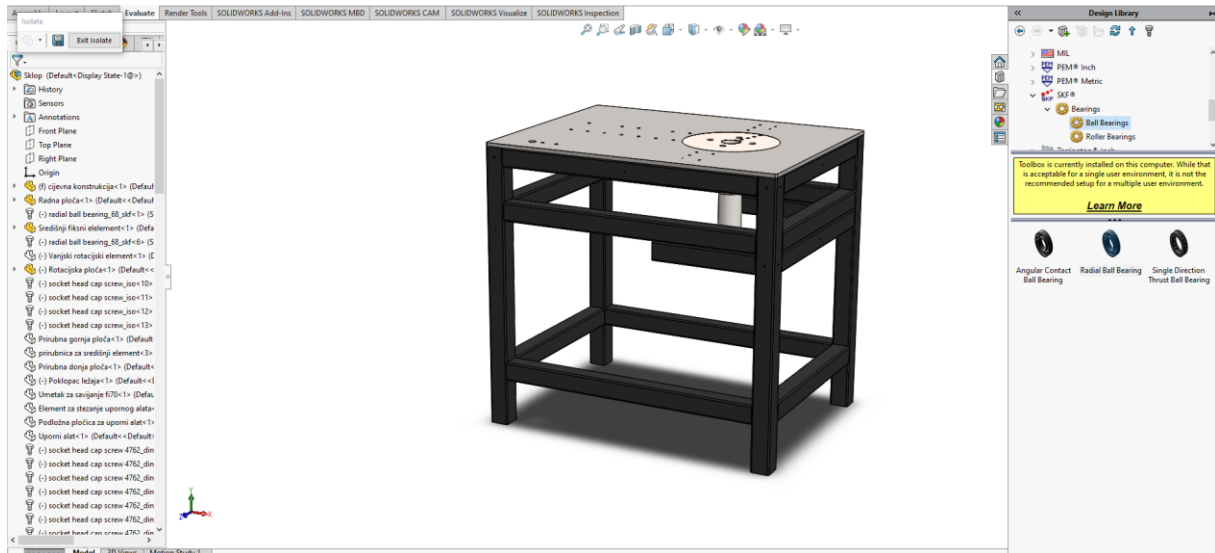


Slika 7.5: Skica modela središnje osovine



Slika 7.6: Model središnje fiksirane osovine

Kako bi se nastavilo s modeliranjem ostalih elemenata, prvo je potrebno odabrati ležajeve koji će se ugraditi u sklop za savijanje kako bi dobili potrebne dimenzije. Unutarnji promjer ležaja definiran je modelom središnje osovine pa je to prva veličina koja je korištena za odabir ležajeva. Budući da su sile koje djeluju na ležaj poznate prema tome je odabrana vrsta ležaja [19]. Na temelju navedenih parametara odabrani su radijalni kuglični ležajevi. Modeli ovih ležajeva se nalaze u Solidworks Toolbox dodatku pa se lako dodaju u sklop. Na slici 7.7 na desnoj strani se može vidjeti izbornik u dodatku Toolbox s raznim vrstama ležajeva. Nakon odabira vrste ležaja odabire se točna veličina ležaja. Odabrani su ležajevi proizvođača SKF kodnog imena 6210 NR i 6212 NR. U tablici na slici 7.8 mogu se vidjeti dimenzije vanjskog i unutarnjeg promjera i širine odabranih ležajeva koji su označeni crvenim okvirom [19].



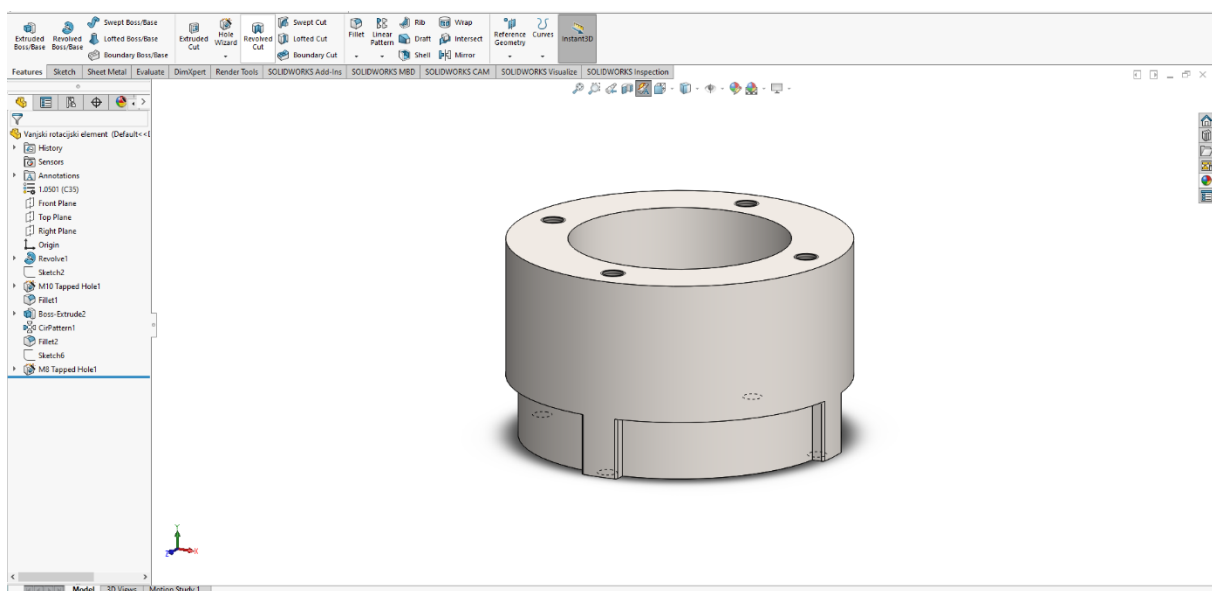
Slika 7.7: Primjer dodatka Toolbox s raznim standardiziranim elementima

Designation	Principal dimensions		
	d [mm]	D [mm]	B [mm]
6210 NR	50	90	20
6211 NR	55	100	21
6212 NR	60	110	22
6213 NR	65	120	23
6214 NR	70	125	24
6215 NR	75	130	25

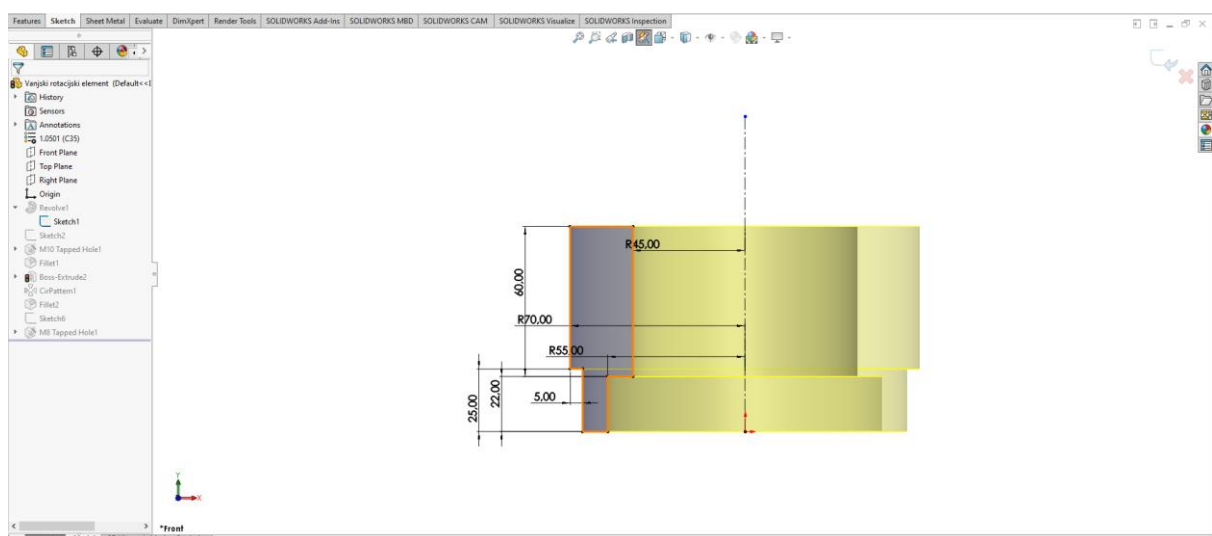
Slika 7.8: Karakteristike odabranih ležaja [19]

Završetkom odabira ležaja započinje modeliranje rotacijskog elementa. Rotacijski element mora biti manje visine od središnje osovine kako bi se središnja osovina mogla fiksirati na prirubne ploče koje se nalaze ispod oba elementa, a rotacijski element nesmetano rotirati oko središnje osovine. Materijal predviđen za izradu rotacijskog elementa je čelik DIN 1.0501 (C35) promjera 140 mm zbog visoke čvrstoće, dobre obradivosti i pristupačnosti. Budući da se na rotacijski element montira zupčanik kako bi se okretni moment prenosio od pogona do rotacijske ploče koja vrši savijanje, na elementu su izrađena četiri pravokutna profila koja odgovaraju profiliranom provrtu na zupčaniku. S unutarnje strane se nalaze dva promjera različitih dimenzija koja odgovaraju vanjskim prstenima ležajeva. Na gornjoj ravni rotacijskog elementa izrađena su četiri provrta s M10 navojima koja služe za montažu rotacijske ploče, dok se na donjoj strani nalaze četiri M8 navoja za pritezanje prirubnice čija je uloga

fiksiranje zupčanika i ležaja. Izrada modela rotacijskog elementa započeta je izradom skice koja se definira visinom rotacijskog elementa, uležištenjem vanjskog prstena manjeg ležaja promjera 90 mm, uležištenjem vanjskog prstena većeg ležaja promjera 110 mm, visinom tokarenog dijela s unutarnje i vanjske strane, te vanjskim promjerom cijelog elementa koji iznosi 140 mm. Izrađena skica se pomoću alata "Revolve" rotira oko svoje osi i tako nastaje model. Oblikovanje modela nastavlja se izradom provrta M10 na gornjoj strani modela pomoću alata "Hole Wizard", a zatim se alatom "Extruded Boss" izrađuje pravokutni profil na donjoj strani elementa, te alatom "Circular pattern" kružno kopira profil kako bi dobili 4 pravokutna profila istih dimenzija. S donje strane se također nalaze provrti s navojem M8 na koje se montira prirubnica. Model koji prikazuje slika 7.9 završen je zaobljenjem rubova pomoću alata "Fillet".



Slika 7.9: Model rotacijskog elementa



Slika 7.10: Početna skica modela rotacijskog elementa



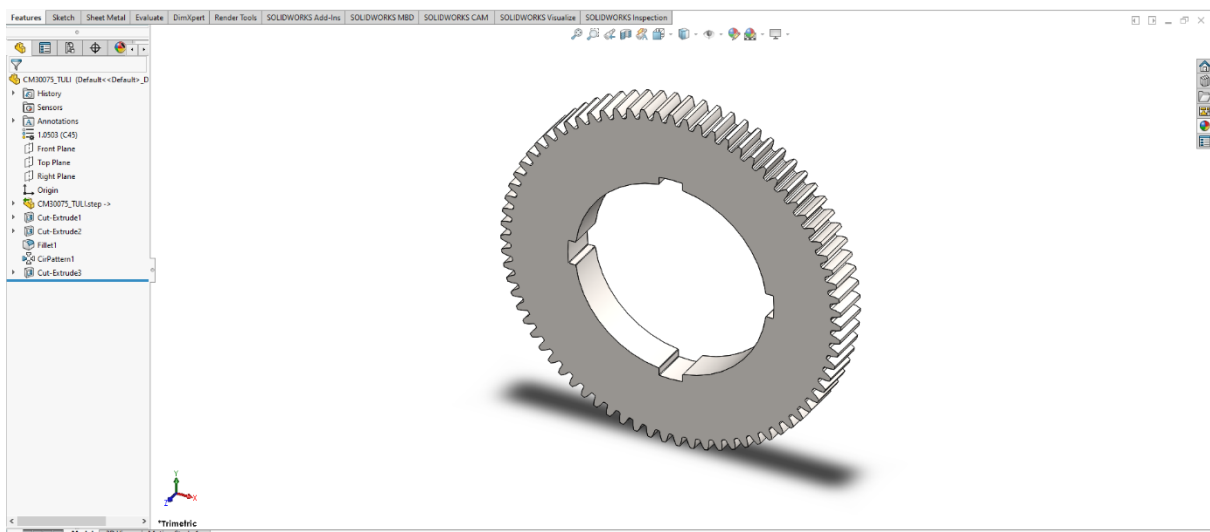
Sljedeći elementi sklopa za savijanje koji je modeliran su zupčanici. Zupčanici su standardnih dimenzija i modul im iznosi 3, međutim kako bi odgovarali na pogonski sustav konstruirane naprave potrebno ih je prilagoditi. Broj zubi i dimenzije zupčanika odabrane su iz kataloga zupčanika s ravnim zubima koji se može naći na web stranici tuli.hr [22] (slika 7.11). Veći zupčanik standardno dolazi s provrtom od 25 mm, a promjer profiliranog vratila kod sklopa za savijanje je 140 mm. Stoga je na čelu 3D modela zupčanika napravljena skica odgovarajućeg promjera i odgovarajućih pravokutnih profila pomoću koje se alatom "Extruded cut" izreže višak materijala. Odabran je standardni materijal od kojeg se izrađuju zupčanici, DIN 1.0501 (C45), i dobiven je model čija se slika nalazi u nastavku (slika 7.12).

Ime	Modul	Broj zubi	D [mm]
Zupčanik Mod.3 Z=75 CM30075	3	75 (Dp=225 mm)	25

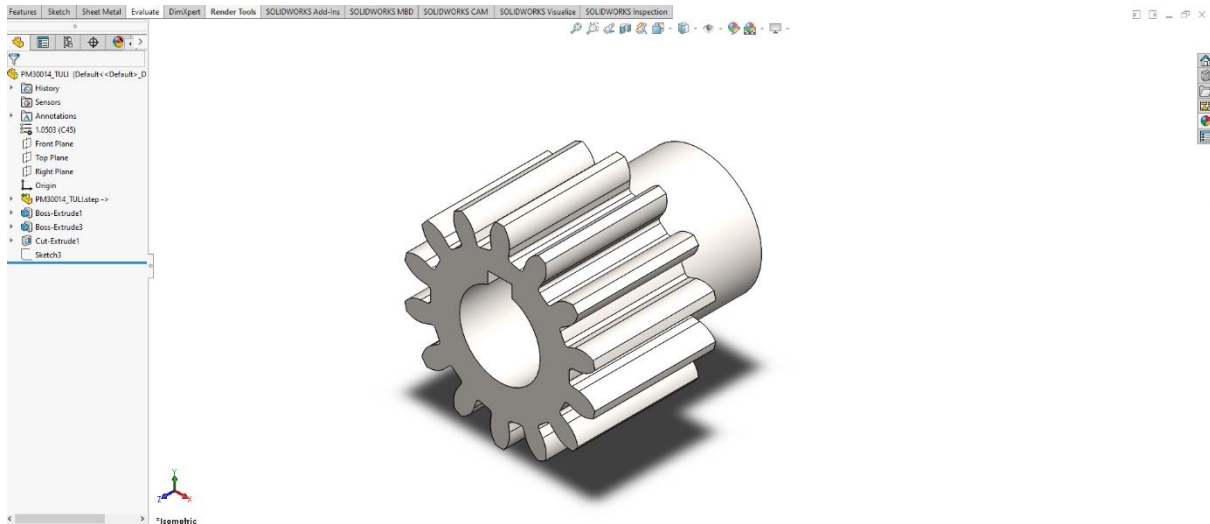
Ime	Modul	Broj zubi	D [mm]
Zupčanik s glavčinom Mod.3 Z=14 PM30014	3	14 (Dp=42 mm)	12

Slika 7.11: Odabrani zupčanici [22]



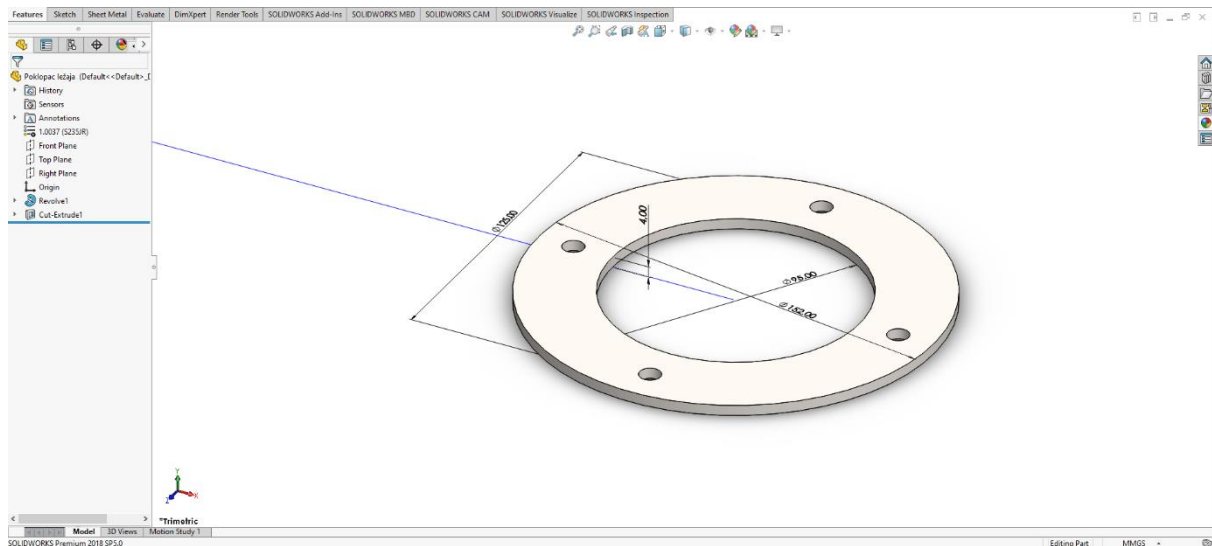
Slika 7.12: Model modificiranog većeg zupčanika

Kod manjeg zupčanika koji je također izrađen prema standardu bilo je potrebno modificirati prirubnicu. Prirubnica se modificira tako da se poveća njen promjer, te izradi skica za utor za pero i provrt koji odgovaraju vratilu reduktora. Kako bi se skica prenijela na 3D model korišten je alat "Extruded cut" i izrezan je višak materijala. Time je završen i model manjeg zupčanika od 14 zuba.



Slika 7.13: Model modificiranog manjeg zupčanika

Veći zupčanik se postavlja na rotacijski element, međutim zupčanik se u uzdužnom smjeru po vratilu može slobodno kretati pa bi lako moglo doći do njegovog ispadanja s vratila. Iz tog razloga izrađen je model poklopca za zupčanik koji ujedno služi i kao poklopac donjeg ležaja te ga tako dodatno osigurava od ispadanja pa se iz tog razloga navedeni element naziva poklopac ležaja. Poklopac ležaja je jednostavan model s vanjskim promjerom 152 mm, a unutarnjim 95 mm koji su modelirani pomoću alata "Revolve". Na modelu se također nalaze četiri provrta promjera 8 mm kako bi se u njih mogli umetnuti vijci za stezanje. Slika tog jednostavnog elementa se nalazi u nastavku.

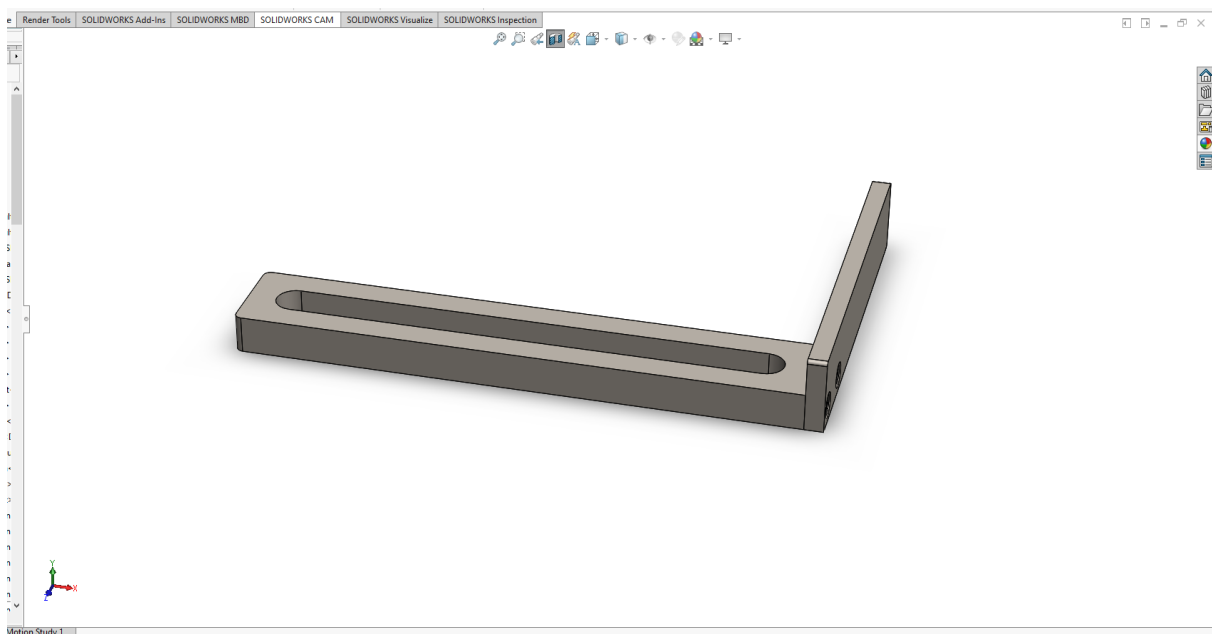


Slika 7.14: Poklopac ležaja

Samo savijanje, tj. zahvaćanje jednog kraka obratka ne može izvršavati rotacijski element. On nije pogodan za tu ulogu jer je ponajprije prijenosnik momenta i jedan od najbitnijih elemenata sklopa za savijanje. Iz tog razloga kao najbolje rješenje proizlazi upotreba izmjenjive rotacijske ploče koja se vijcima učvršćuje na rotacijski element pa je to sljedeći opisani model. Rotacijska ploča je predviđena za izradu iz materijala DIN 1.0501 (C35). Modeliranje počinje izradom skice ploče vanjskog promjera 250 mm (koji odgovara promjeru na radnoj ploči) i unutarnjeg promjera 50 mm (koji odgovara promjeru središnje osovine). Skica se obradi alatom "Extruded Boss", zada se visina od 22 mm i tako se dobije početna faza modela. U sljedećoj fazi izrađuju se 4 provrta za M10 vijke s upuštenom glavom vijka pomoću alata "Extruded Cut" pomoću kojih se rotacijska ploča pričvršćuje za rotacijski element. Alat "Hole wizard" se upotrebljava za izradu 4 provrta s M12 navojem koji služe za umetanje zatika za savijanje. Kako bi rotacijska ploča došla u doticaj samo s vanjskim prstenom gornjeg kugličnog ležaja mora se izraditi kružni utor s donje strane ploče. Utor je promjera 70 mm i izrađen je pomoću alata "Extruded cut". Dodavanjem nekoliko zaobljenja oštih rubova alatom "Fillet" završava se izrada modela rotacijske ploče koji se može vidjeti na slici 7.15.

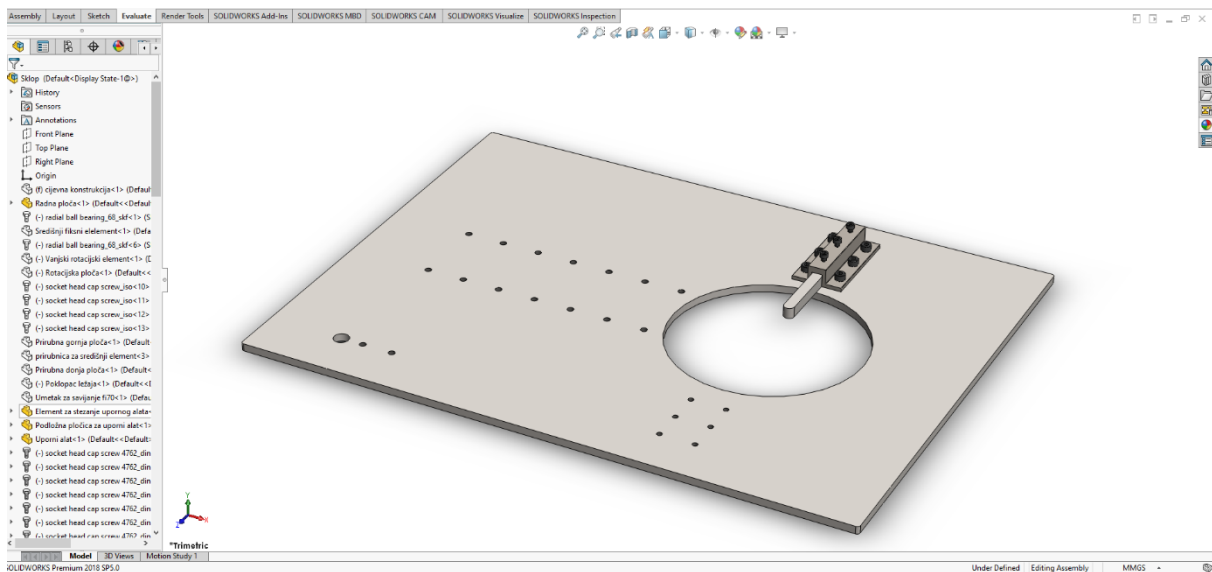


Kako bi se upotpunila zadaća radne ploče konstruiran je graničnik za dužinu koji je pomičan. Graničnik služi za postavljanje polaznog materijala na isto mjesto prilikom svakog savijanja kod serijske proizvodnje. Dužine je 150 mm i po cijeloj dužini ima utor koji omogućuje fino podešavanje. Na radnu ploču graničnik je pričvršćen s tri M10 vijka. Osim utora na graničniku, na radnoj ploči se nalazi sedam provrta s navojem kako bi graničnik bio još više podesiv. Ovaj element se može premjestiti na suprotnu stranu radne ploče i tako omogućiti graničenje s druge strane središnjeg alata za savijanje. Model je izrađen izradom skice i korištenjem alata "Extruded boss" , "Extruded cut" i "Fillet". Prikaz modela je na slici 7.17.



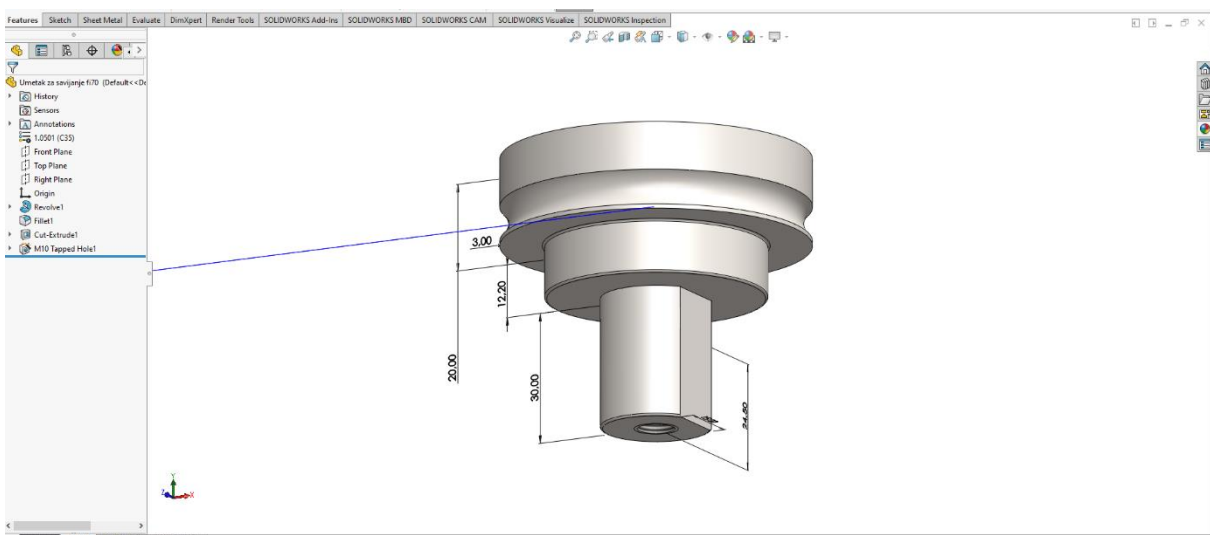
Slika 7.17: Model graničnika

Kako je naprava namijenjena za savijanje raznih vrsta profila i dimenzija, konstruirana je tako da se kod savijanja koriste alati raznih dimenzija za razne dimenzije izradaka. Kod konstrukcije alata treba paziti kako bi izmjena i podešavanje bilo što brže i jednostavnije. Prvi takav modelirani alat jest uporni alat koji služi za zadržavanje jednog kraka savijanog elementa dok se drugi krak rotira oko središnjeg alata. Zbog raznih dimenzija obratka, te raznih promjera savijanja, uporni alat mora biti pomičan okomito na os obratka postavljenog u napravu. Iz tih razloga je konstruiran element za stezanje upornog alata. Uporni alat je umetnut u element za stezanje i steže se trima M6 vijcima, te tako onemogućava pomicanje upornog alata tijekom savijanja. Uporni alat ranije navedenih dimenzija se kupuje u standardnoj veličini, a može se izraditi i glodanjem, njegov je model geometrijski jednostavan i oblikovan je izradom skice i alatima "Extruded boss" i "Fillet". Za pričvršćenje upornog alata mora se modelirati element za stezanje upornog alata. Taj model započinje se izradom skice koja se kasnije ekstrudira alatom "Extruded boss" i tako se dobiva prva faza u izradi modela. Model je potrebno pričvrstiti na radnu ploču pa zato na modelu postoji 6 provrta za M8 vijke preko kojih se element priteže na ploču. Provrta s navojima na gornjoj strani elementa za stezanje izrađeni su pomoću alata "Hole wizard". Kao završni dio modela zaoble se rubovi alatom "Fillet" i dobije se završeni model. Kako bi se bolje prikazala oba elementa koja spadaju pod uporni alat u nastavku se nalazi slika modela radne ploče na koju je već vijcima pričvršćen element za stezanje upornog alata, te sam uporni alat (slika 7.18).



Slika 7.18: Uporni alat stegnut na radnu ploču

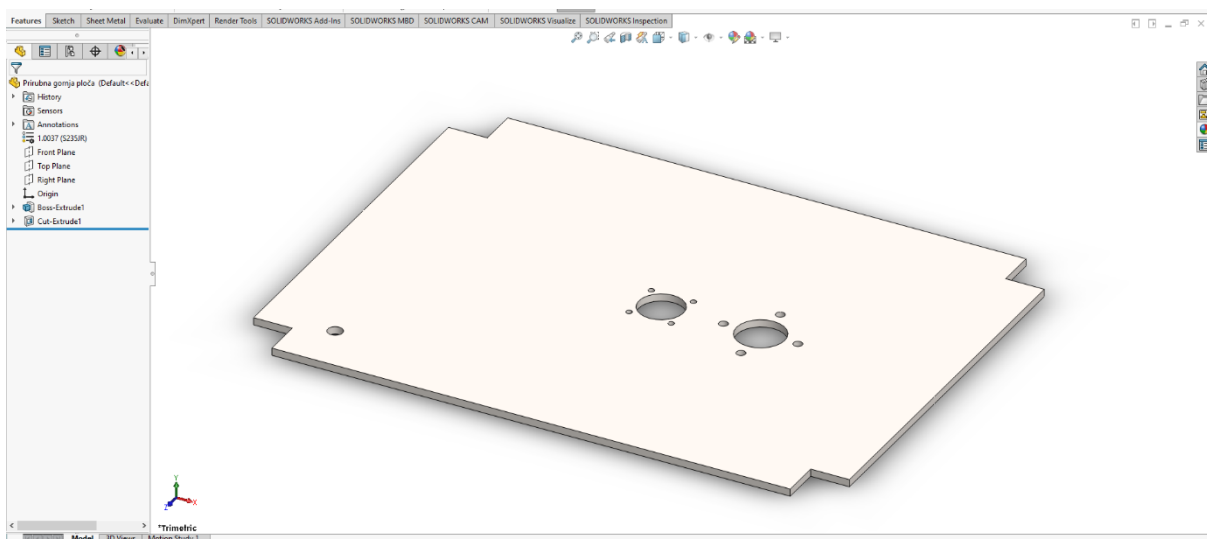
Sljedeći konstruirani element jest središnji izmjenjivi alat ili središnji izmjenjivi element. On služi za definiranje promjera savijanja. Za izradak drugačijeg promjera potrebno je izraditi i središnji element drugačijeg promjera ili modificirati element kako bi se dobio potreban promjer. Središnji alat se može izvesti tako da je rastavljiv što bi omogućilo lakšu izmjenu promjera savijanja, tj. mijenjao bi se samo gornji dio alata koji dolazi u doticaj s obratkom. Model navedenog elementa izrađuje se preko skice koja prezentira polovicu elementa, a kasnije se samo zarotira oko središnje osi pomoću alata "Revolve" i time se dobiva početni model. Skica se sastoji od 3 različita promjera. Prvi i najveći promjer je dio alata na kojem se vrši savijanje i on definira radijus savijenog izratka, u ovom slučaju iznosi 85 mm. Sljedeći promjer je manji i odgovara unutarnjem promjeru rotacijske ploče iznosa 50 mm. Posljednji i najmanji promjer središnjeg alata iznosi 25 mm i umeće se u središnju fiksiranu osovinu. Sljedeći korak u izradi modela je izrada ravnog dijela na najmanjem promjeru koji odgovara ravnom dijelu u središnjoj osovini. Ravni dio izrađen je pomoću skice i alata "Extruded cut". Kako bi središnji alat bio dodatno osiguran pomoću navojne šipke na donjem dijelu alata izrađen je provrt s navojem M10. Na kraju se zaoble rubovi alatom "Fillet" kako bi element bio sigurniji za rukovanje i estetski ljepši. Na slici 7.19 je završeni model središnjeg alata.



Slika 7.19: Središnji izmjenjivi alat

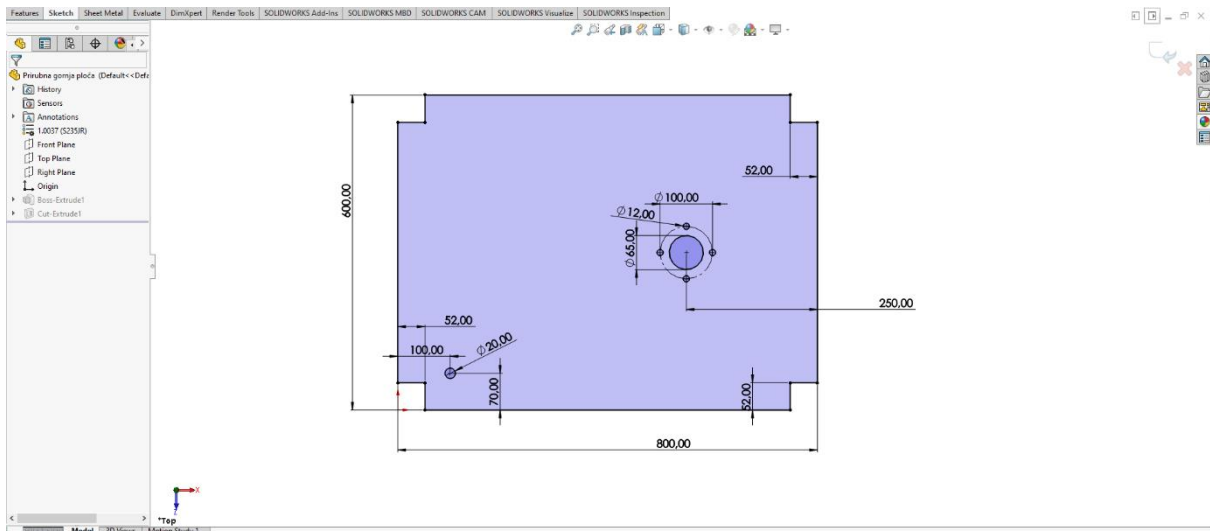
Za fiksiranje središnje osovine, te za povećanje krutosti naprave, izrađen je model dviju metalnih ploča na koje se ujedno montiraju i elektromotor s reduktorom. Na donjoj ploči se nalazi veliki provrt za središnju osovinu, te četiri manja provrta kroz koja prolaze vijci za stezanje središnje osovine. Gornja ploča koja služi za dodatno osiguranje središnje osovine na sebi ima identične provrte kao i donja ploča, ali s dodatkom provrta za montažu elektromotora s reduktorom. Gornja ploča je ujedno i duža od donje pa se proteže po cijeloj dužini naprave. Ploče su debljine 10 mm od materijala DIN S235.

Prva ploča čiji se model izrađuje je gornja ploča koja se nalazi 132 mm ispod radne ploče. Model ove ploče se tijekom modeliranja cijele naprave dosta promijeni od početnog zbog dodavanja različitih komponenata. Izradu konačne verzije modela ploče započinje se izradom skice s dva provrta od kojih veći ima promjer 65 mm i kroz njega u sklopu prolazi središnja osovina. Manji provrt iznosi 60 mm i služi za prolaz vratila reduktora. Model ploče dobiva se korištenjem izrađene skice u alatu "Extruded boss". Nakon izrade velikih provrta može se početi sa skiciranjem manjih provrta koji se koriste za montažu prirubnice kod središnje osovine, a provrti oko manjeg od dvaju provrta se koriste za montažu reduktora. Izrađuju se pomoću alata "Extruded cut". Kako bi ploča korektno odgovarala cijevnoj konstrukciji prilikom montaže, izrađuju se i četiri kvadratna izreska na sva četiri ruba ploče koji odgovaraju cijevima cijevne konstrukcije, također pomoću skice i alata "Extruded cut". Slika gornje ploče nalazi se u nastavku pod brojem 7.20.



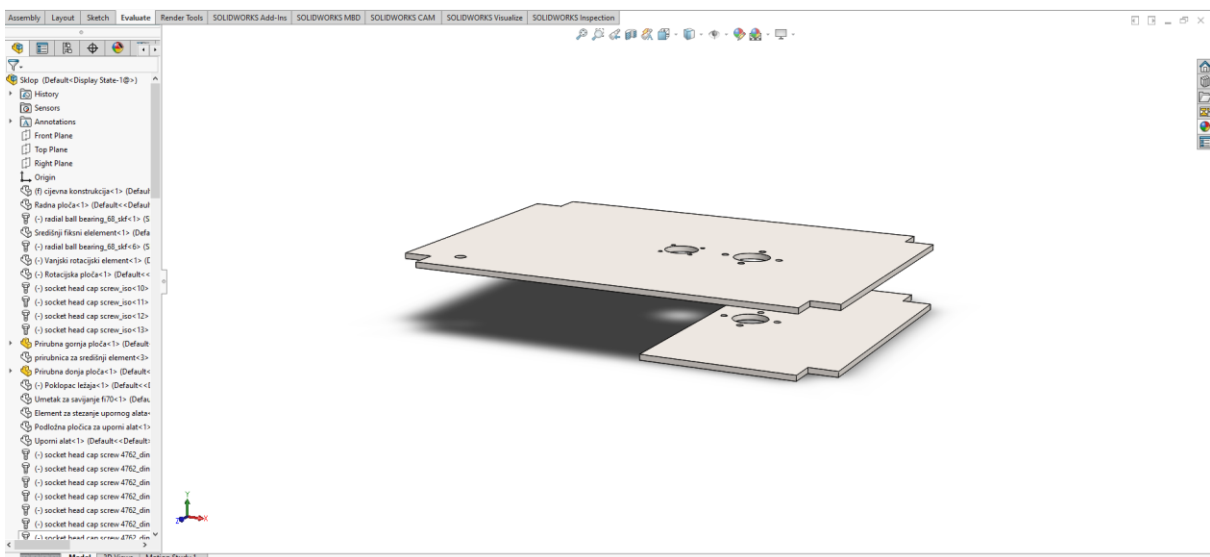
Slika 7.20: Model gornje montažne ploče





Slika 7.21: Početna skica gornje montažne ploče

Izrada modela donje ploče započinje izradom skice većeg promjera od 65 mm, te četiri manja promjera od 12 mm. Donja ploča je dužine 325 mm. Uz zadane dimenzije skice pomoću alata "Extruded boss" izradi se ploča debljine 10 mm. Na rubovima ploče također se nalaze izresci za cijevi, ali umjesto četiri kao na gornjoj ploči, postoje samo dva jer donja ploča ne dolazi do druge strane cijevne konstrukcije. Veći provrt služi za prolazak središnje osovine, dok manji provrti služe za vijke kojima se priteže prirubnica središnje osovine. Na slici ispod nalaze se obje ploče u položaju u kojem su postavljene u sklop cijele naprave.

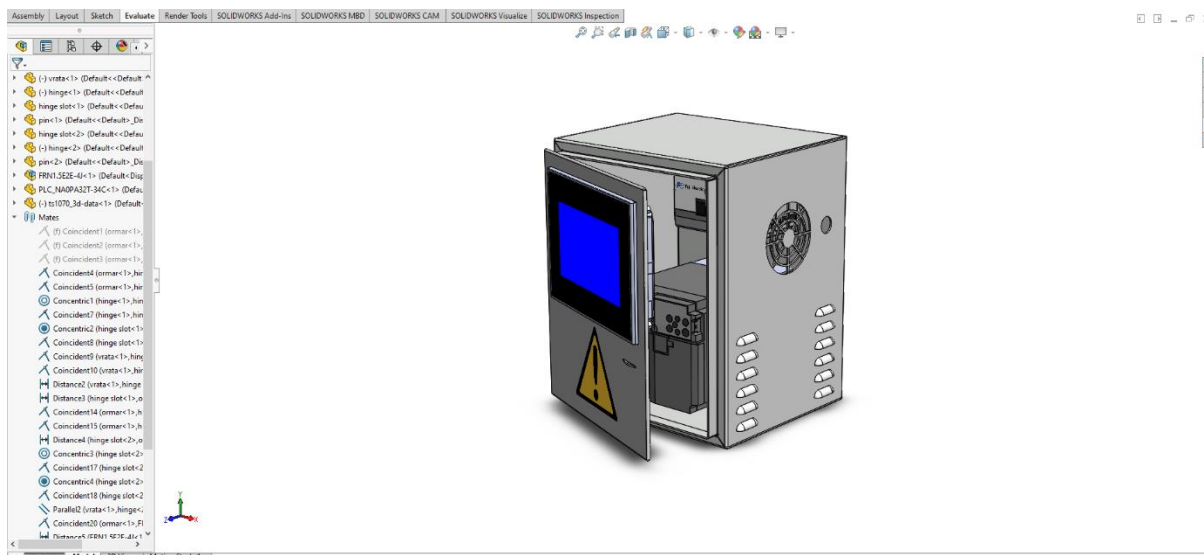


Slika 7.22: Metalne ploče za povećanje krutosti naprave i montažu elemenata

Nakon izrade modela svih mehaničkih komponenata i spajanja istih u model sklopa, potrebno je prikupiti modele elektroničkih komponenti. Modeli tih komponenata mogu se pronaći na web stranicama proizvođača upravo kako bi olakšali konstruiranje strojeva i naprava, te kako bi te komponente bile dimenzijski točne. Odabir elemenata bazirao se na proračunu koji je ranije detaljno opisan, tj. početni parametri su snaga elektromotora, prijenosni omjer, način upravljanja i željene funkcije. Elektroničke komponente, njihove funkcije, te oznake izvora su navedene nastavku:

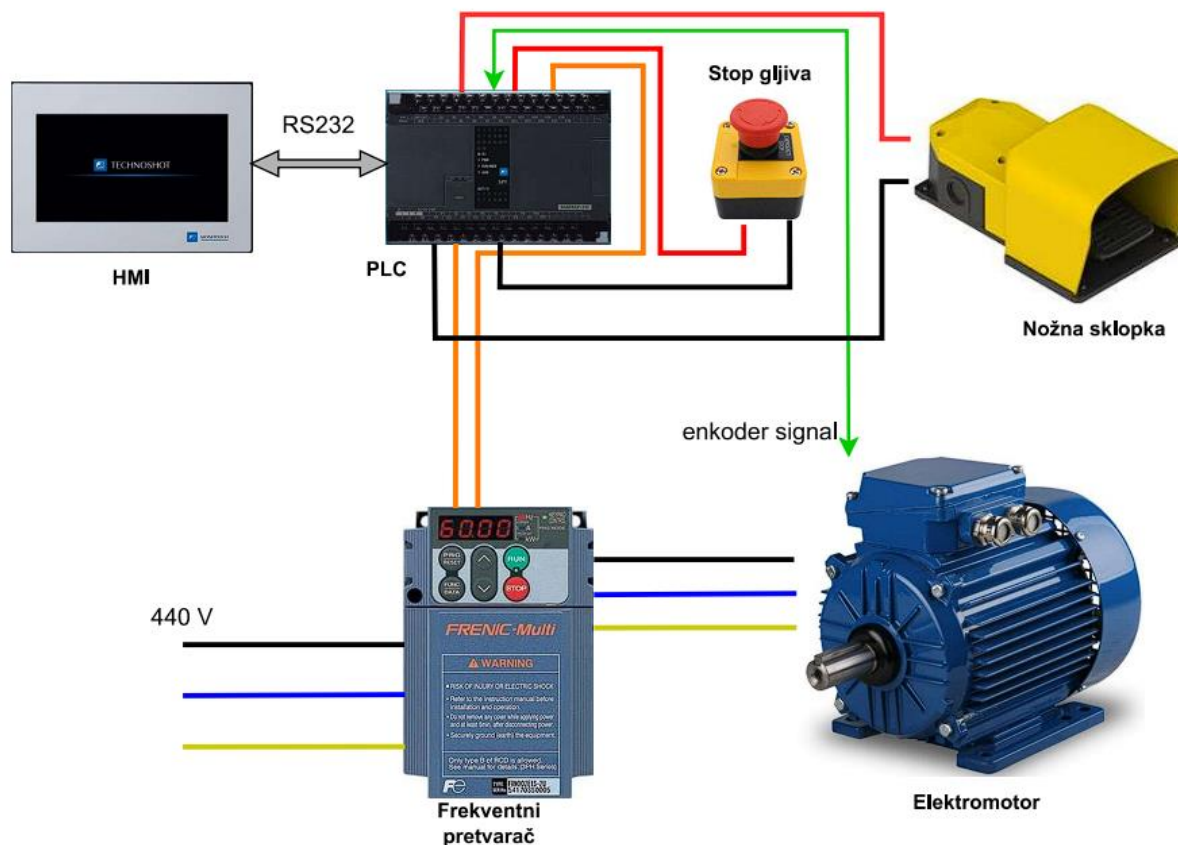
- Elektromotor – Služi za pokretanje cjelokupne naprave, posjeduje elektromotornu kočnicu i ugrađeni enkoder [5]
- Reduktor – na ulazno vratilo se montira elektromotor, a na izlaznom daje potrebni broj okretaja i okretni moment, sastoji se od zupčanika i kućišta [20]
- PLC kontroler – programibilni logički kontroler koji služi za upravljanje elektromotora i praćenje položaja elektromotora, te se može programirati pomoću računala [21]
- Frekventni pretvarač – može povećati ili smanjiti frekvenciju izmjenične struje i time povećati ili smanjiti broj okretaja i okretni moment elektromotora [21]
- HMI (Human - Machine Interface) – sučelje sa zaslonom na dodir preko kojeg se određuje kut zakreta rotacijskog elementa [21]

Zbog jednostavnosti spojeva i praktičnosti, većina elektroničkih elemenata postavljena je u elektro-ormar. Ti elementi su PLC kontroler, frekventni pretvarač i HMI sučelje. Sklop elemenata postavljenih u elektro-ormar izrađen je kao podsklop glavnog sklopa cjelokupne naprave. Na vrhu elektro-ormara nalazi se PLC kontroler jer je laganiji i zauzima manje mjesta nego veći frekventni pretvarač i tako omogućuje lakšu montažu HMI zaslona, te bolji protok zraka kroz ormar. Frekventni pretvarač je vijcima pričvršćen na donjoj strani ormara.



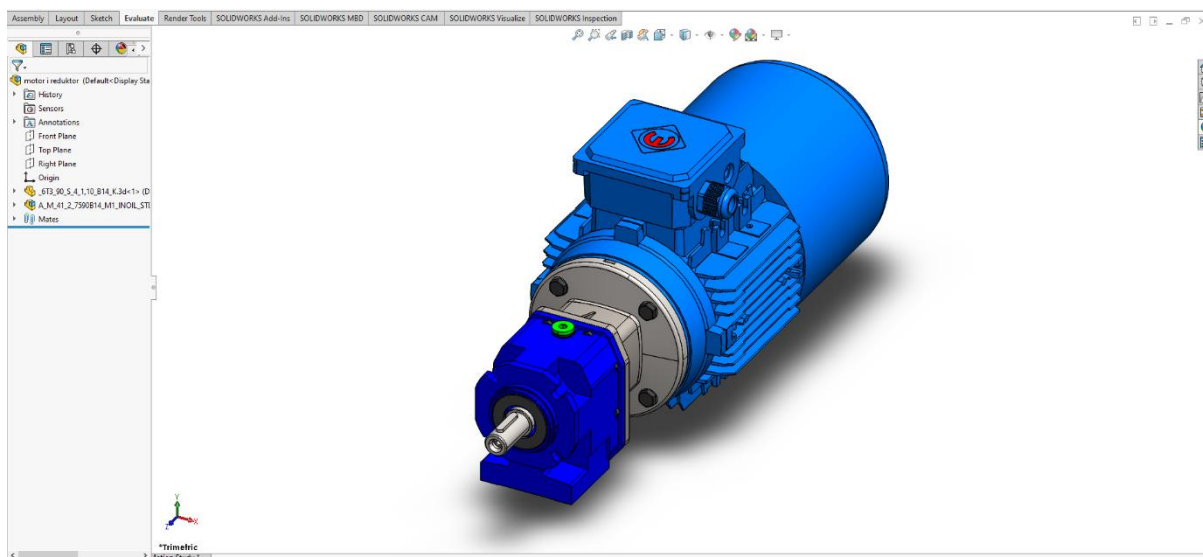
Slika 7.23: Podsklop elektro-ormar

Za korektno spajanje elektroničkih komponenti mora postojati shema spajanja koja prikazuje sve elektroničke elemente i način njihovog spajanja. Iz tog razloga napravljena je pojednostavljena shema spajanja koja se nalazi na slici u nastavku (slika 7.24).



Slika 7.24: Shema spajanja elektroničkih komponenti

Nakon izrade elektro-ormara i definiranja položaja svih elemenata u tom podsklopu, izrađuje se podsklop elektromotora s reduktorom. Elektromotor i reduktor dolaze sa standardnim i kompatibilnim pribudnicama koje definiraju i promjer ulaznog/izlaznog vratila. Korištenjem ovakvih standardiziranih elemenata uvelike se olakšava montaža svih elemenata i smanjuje se ukupna cijena proizvodnje. Oba elementa, i elektromotor i reduktor, dolaze kao potpuno gotovi modeli i stoga nije potrebno raditi preinake na modelima. Za početak se u podsklop doda elektromotor te pomoću alata "Mate" definira njegov položaj u radnom prostoru Solidworks. Modeliranje se nastavlja dodavanjem reduktora čiji se položaj također definira, ali u odnosu na elektromotor. U sklop se postavljaju vijci potrebni za stezanje elektromotora i reduktora zajedno i tako se upotpuni model pogonskog sustava. Kako bi prijenos do većeg zupčanika bio pouzdan potrebno je izraditi pribudnicu za stezanje manjeg zupčanika koji je postavljen na izlazno vratilo elektromotora. Pribudnica je jednostavnog izgleda, s vanjskim promjerom od 30 mm i unutarnjim od 6 mm. Zadaća ovog elementa je stezanje zupčanika na vratilo reduktora i osiguranje od ispadanja. Time se model podsklopa elektromotora i reduktora privodi kraju. Prikaz modela se nalazi u nastavku.



Slika 7.25: Podsklop elektromotora i reduktora

U nastavku se nalaze neke glavne karakteristike odabranog reduktora i elektromotora:

Elektromotor:

- Naziv: ELVEM 6T3 90S 1,1 B14K ENC [5]
- Nazivna snaga: 1,1 kW
- Tip pribudnice: B14
- Tip: Trofazni elektromotor s kočnicom i enkoderom

Reduktor:

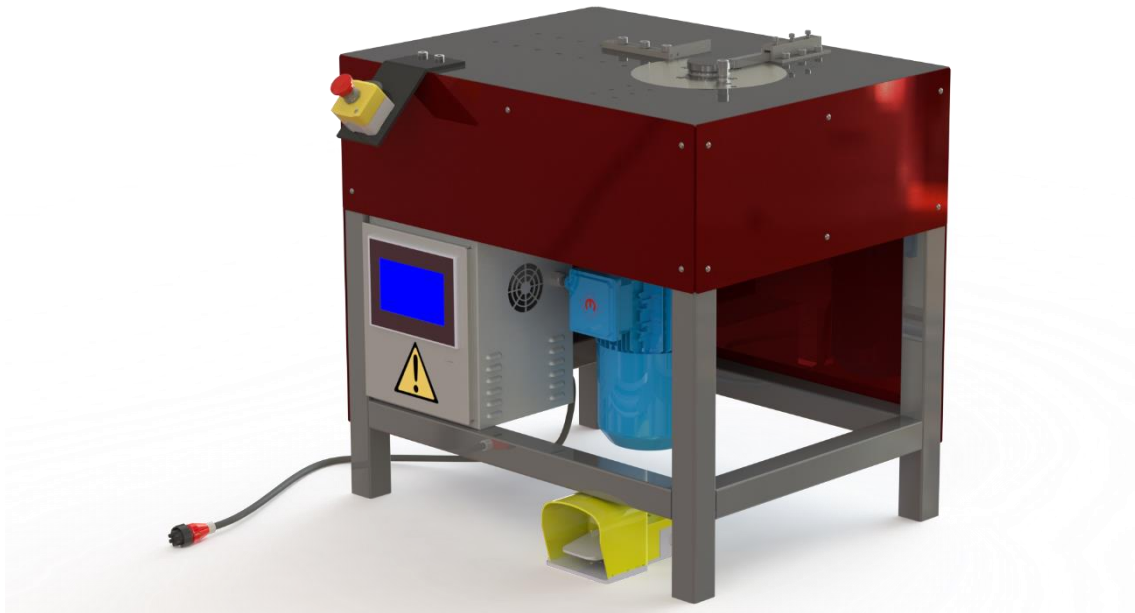
- Naziv: STM AM F1412-10.5-63B14-M1
- Prijenosni omjer: 1:10.5
- Tip prirubnice: 63B14

Iznad opisanim redosljedom izrađeni su svi modeli potrebni za napravu za kutno savijanje profila. Većina elemenata je najbolje u glavni model sklopa ubaciti odmah po završetku izrade kako bi se alatom "Measure", koji se nalazi u alatnoj traci "Evaluate" u Solidworks grafičkom sučelju, mogle izmjeriti potrebne dimenzije za modeliranje ostalih elemenata. Proces izrade modela sklopa opisan je u nastavku.

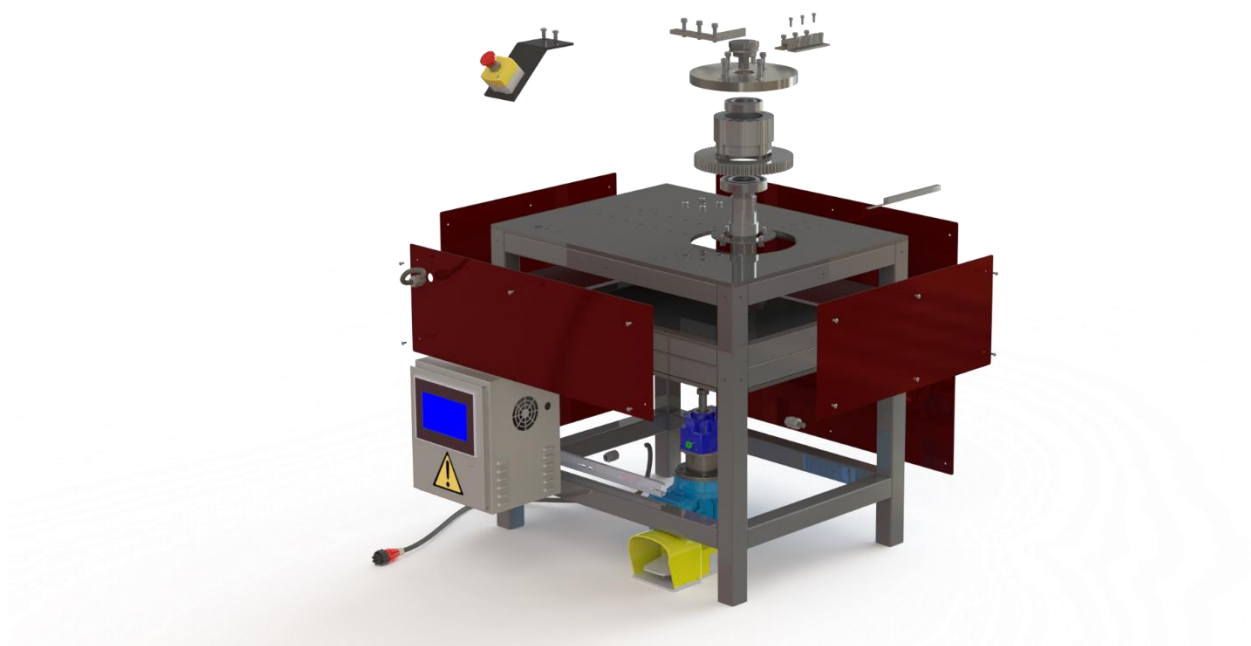
Prvi model koji se postavlja u glavni sklop je cijevna konstrukcija. Cijevna konstrukcija se u radnom prostoru Solidworks Assembly-a definira tako da su tri ravnine (gornja, desna i prednja) cijevne konstrukcije koincidentne s tri ravnine radnog prostora sklopa. Nakon cijevne konstrukcije postavlja se radna ploča koja sjeda na gornju stranu cijevne konstrukcije. Sve potrebne relacije također se definiraju alatom "Mate". Glavni elementi za funkciju naprave su elementi sklopa za savijanje. Njih se postavlja u sklop odmah nakon postavljanja radne ploče. Prvo se postavlja središnja osovina, zatim rotacijska ploča i rotacijski element, ležajevi i na kraju zupčanik s prirubnicom. Položaj ovih elemenata u sklopu određen je mnogim relacijama od kojih su najčešće odnosi koncentričnosti i koincidentnosti. Izrada modela sklopa nastavlja se dodavanjem elemenata poput graničnika, središnjeg alata, upornog alata i nosača za sigurnosnu sklopku. Posljednji dodani elementi se montiraju na radnu ploču pomoću vijaka pa su njihove relacije određene odnosima koincidentnosti s radnom pločom i koncentričnosti provrta s provrtima na radnoj ploči. Sljedeći korak je dodavanje gornje i donje prirubne ploče te dodavanje zaštitnih stranica. Relacije ploča određene su pomoću relacija razmaka bočne plohe ploče i cijevne konstrukcije, pomoću relacije koincidentnosti i relacijama koncentričnosti s elementima sklopa za savijanje. Stranice se pomoću vijaka montiraju na vanjske plohe cijevne konstrukcije pa su tako geometrijski odnosi cijevne konstrukcije i zaštitnih stranica određeni tako da se plohe stranica podudaraju s plohamo cijevne konstrukcije, tj. elementi su koincidentni. Posljednji elementi kojima se upotpunjuje model sklopa su elektromotor s reduktorom i elektro-ormar. Elektromotor s reduktorom se montira na gornju prirubnu ploču pomoću vijaka i njegove relacije u odnosu na gornju prirubnu ploču su određene koncentričnosti i koincidentnosti, dok je elektro-ormar montiran direktno na cijevnu

konstrukciju. Plohe elektro-ormara su podudarne s plohama nekih cijevi od cijevne konstrukcije.

Posljednja izvršena operacija u modelu sklopa je izrada pogleda naprave u rastavljenom prikazu kako bi se vidjeli svi elementi ili, prema Solidworks sučelju, "Exploded view". Slike naprave, u rastavljenom i sastavljenom prikazu, izrađene dodatkom "Solidworks Visualize", se nalaze u nastavku (slika 7.26 i slika 7.27).



*Slika 7.26: Render modela sastavljene naprave za kutno savijanje*



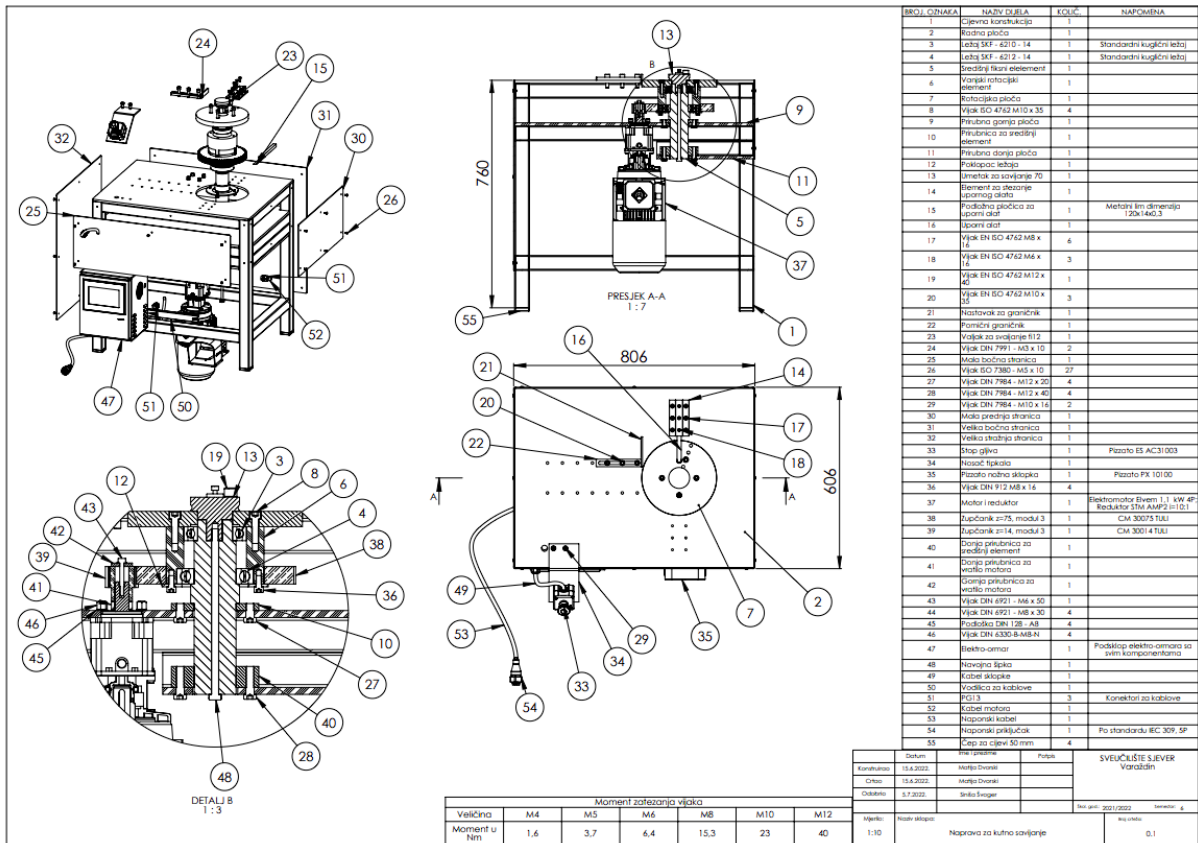
*Slika 7.27: Prikaz modela naprave u rastavljenom stanju*

### 7.3 Tehnička dokumentacija

Svaki model naprave je namijenjen za izradu nekom vrstom tehnološkog procesa. Kako bi elementi mogli biti izrađeni potrebno je izraditi tehničku dokumentaciju za svaki pojedini element koji nije standardiziran. Stoga je to sljedeći i posljednji korak kod modeliranja naprave za kutno savijanje profila. U nastavku su ukratko opisani svi izrađeni tehnički crteži prema redoslijedu izrade.

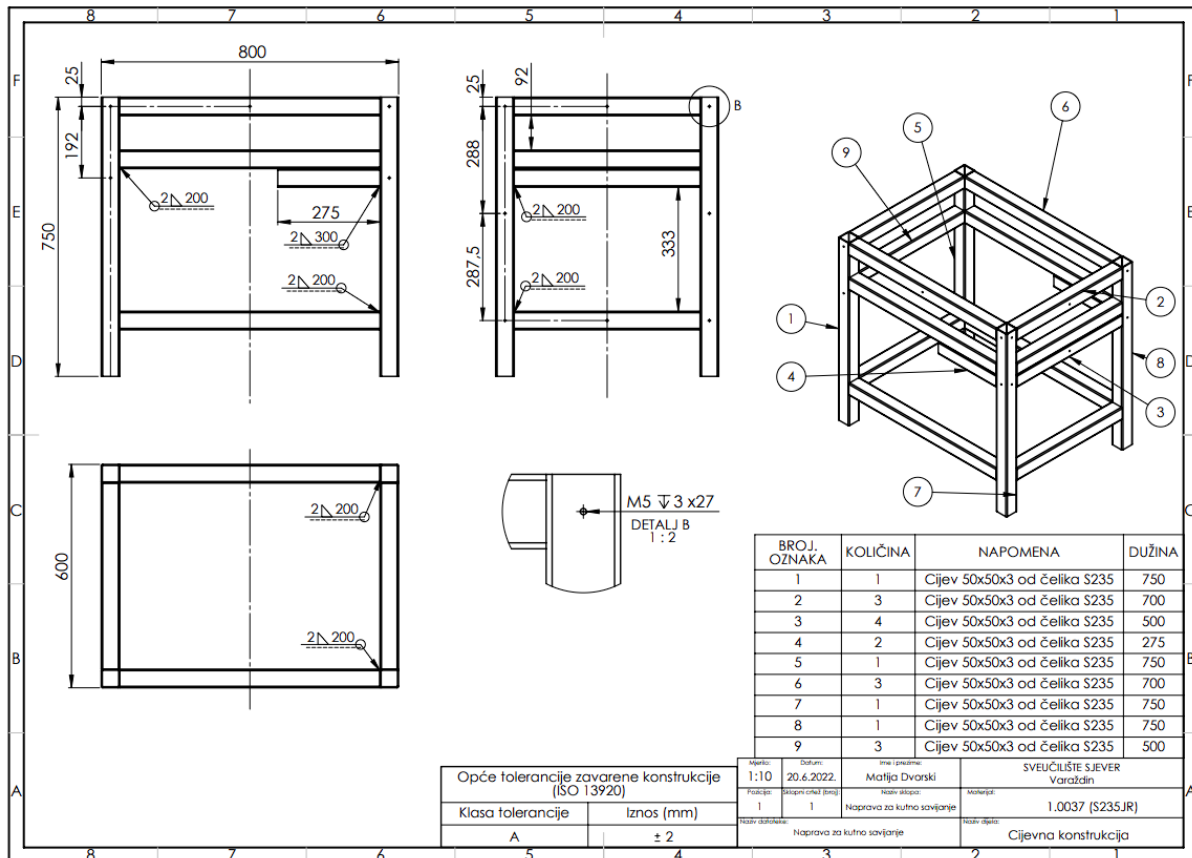
Prvi dokument tehničke dokumentacije svakako mora biti sklopni crtež, tj. pogled naprave u rastavljenom prikazu s numeriranim dijelovima i tablicom elemenata. Takav prikaz potreban je kako bi se izradio popis elemenata prema kojem se mogu kontrolirati izrađeni tehnički crteži. Sklopni crtež je također potreban tijekom sastavljanja naprave. Kako bi se izradio sklopni crtež potrebno je otvoriti predložak Solidworks drawing na A2 dimenziji papira s potrebnom sastavnicom i u taj predložak ubaciti sklop naprave za kutno savijanje. Tijekom postavljanja sklopa na papir, kod odabira konfiguracije modela sklopa, treba odabrati "Exploded view" kako bi se naprava prikazala u rastavljenom prikazu. Zatim u alatnoj traci "Annotations" treba odabrati alat "Auto balloon" koji automatski numerira dijelove naprave i podsklopove. Kao posljednji korak generira se tablica elemenata ("Bill of materials") s brojčanim oznakama koje odgovaraju brojčanim oznakama na rastavljenom prikazu. U nastavku se nalazi slika koja prikazuje sklopni crtež (slika 7.28), a isti dokumenti sa sastavnicom se nalaze i u prilogu završnog rada.





Slika 7.28: Sklopni crtež

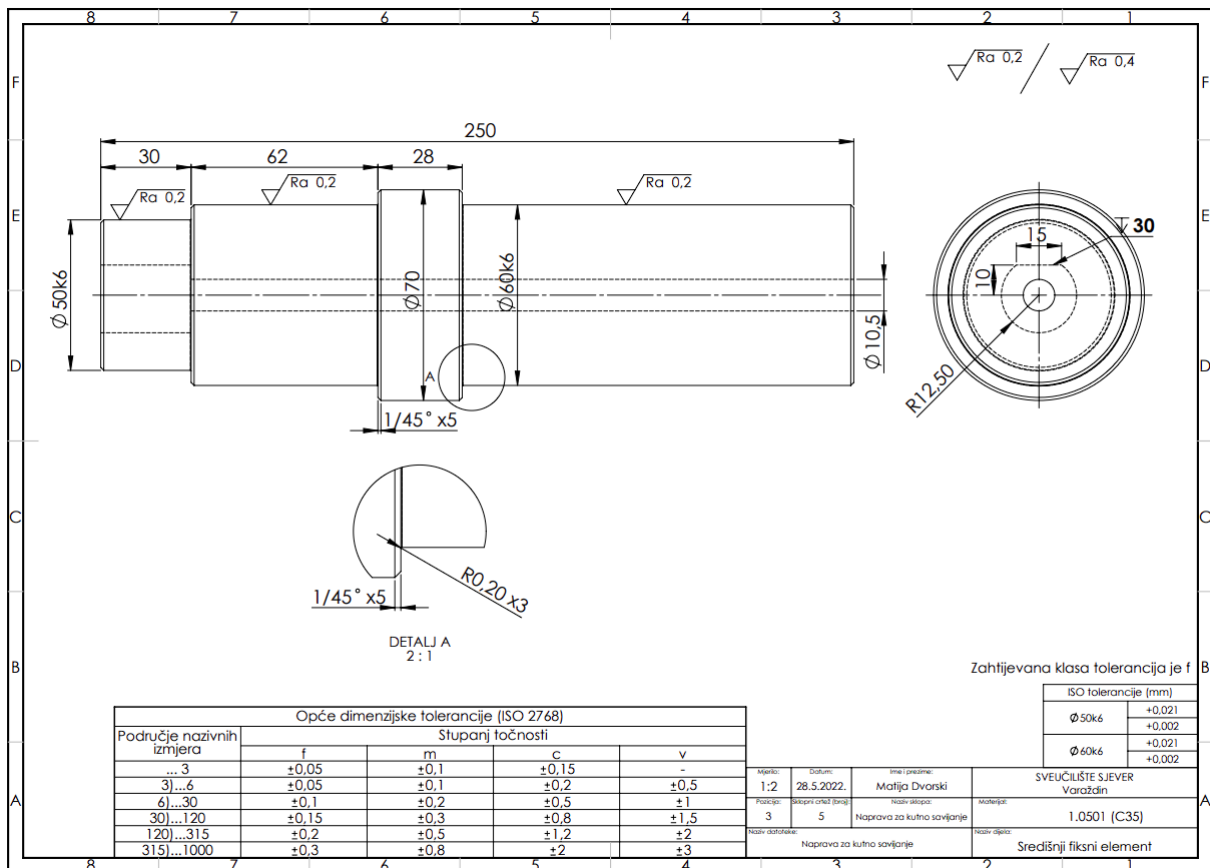
Nakon izrade sklopnog crteža započinje izrada tehničkih crteža za sve ostale elemente naprave koji nisu standardizirani. Prvi takav element je cijevna konstrukcija. Izrađena od kvadratnih cijevi 50x50 mm i stijenke debljine 3 mm, cijevna konstrukcija se izrađuje tehnološkim postupkom zavarivanja. Tehnički crtež zavarene konstrukcije osim potrebnih kota mora sadržavati i tablicu elemenata od kojih se sastoji. Tablica mora sadržavati dužinu svake pojedine cijevi i broj komada cijevi istih dimenzija, u Solidworksu je poznata po imenu "Cut list". Prvi korak kod izrade tehničkog crteža je definiranje svih potrebnih dimenzija konstrukcije. Zatim se umeće tablica cijevi i popuni sastavnica. Slika tehničkog crteža cijevne konstrukcije, zajedno s tablicom cijevi nalazi se pod brojem 7.29, dok se dokument može pronaći u prilogu završnog rada.



Slika 7.29: Crtež cijevne konstrukcije s tablicom dužine cijevi



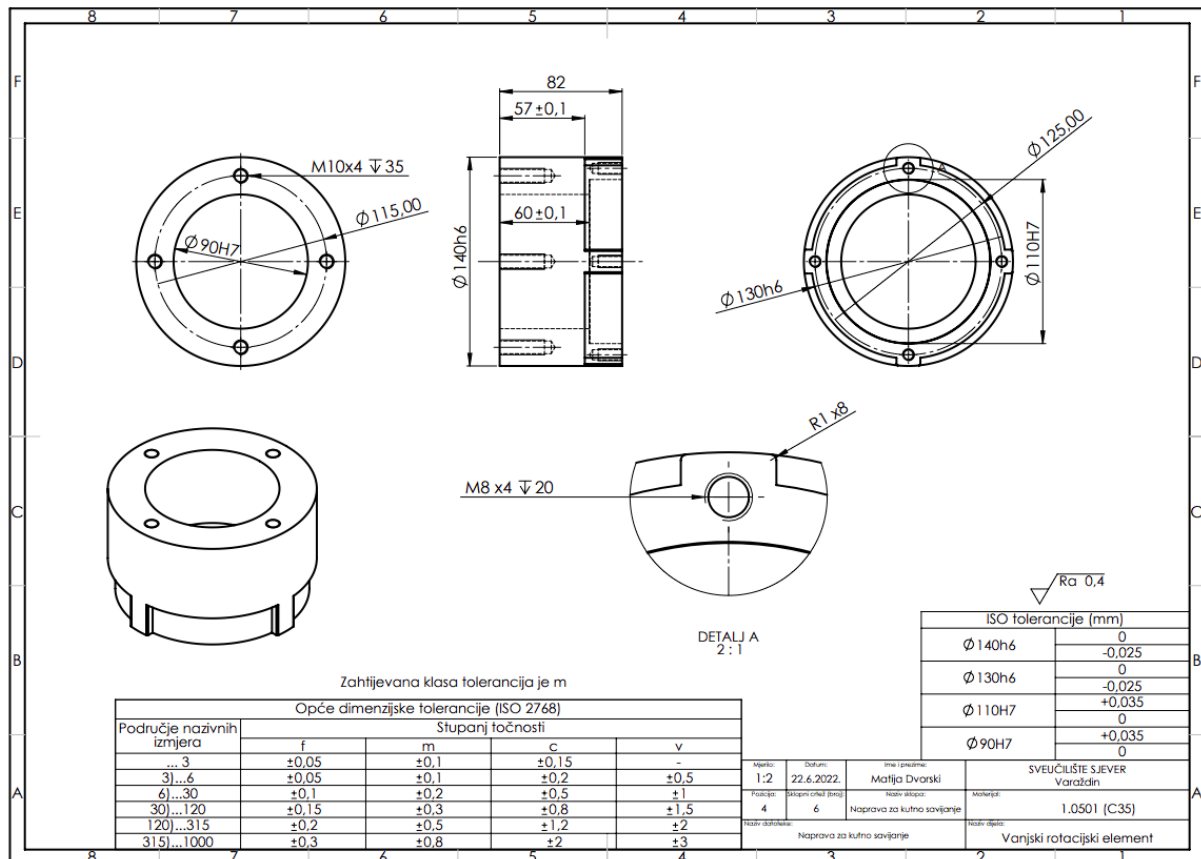
tehnički crtež na kojem se nalaze tolerancije mora biti priložena tablica tolerancija koje su zadane na elementu. Iz tog razloga sljedeći korak kod izrade tehničkog crteža je izraditi tablicu sa zadanim tolerancijama koja se prilaže uz sastavnicu tehničkog crteža. Time se završava crtež ovog elementa čija slika se može vidjeti ispod (slika 7.31), dok je tehnički crtež priložen u prilogima.



Slika 7.31: Tehnički crtež središnje osovine s tablicom tolerancija

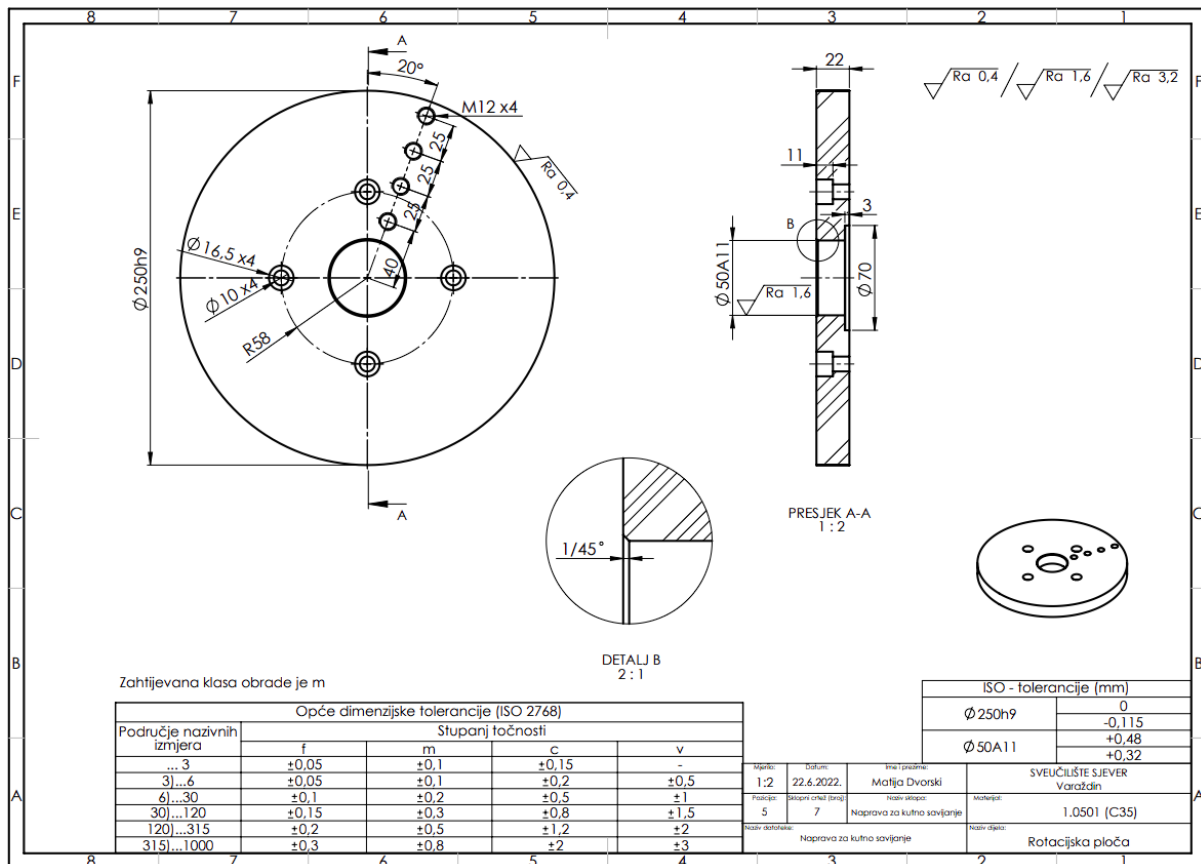
Prema tablici elemenata sljedeći element je rotacijski element. Budući da se na rotacijskom elementu nalaze dva uležištenja, te mjesto za montažu zupčanika, element je potrebno tolerirati s nekoliko tolerancija kako bi se osigurala potrebna dimenzijska točnost. Izrada tehničkog crteža počinje umetanjem elementa u predložak Solidworks drawing veličine A3 i s potrebnom sastavnicom. Zatim se kotiraju sve dimenzije na koje nema posebnih zahtjeva u smislu tolerancija. Kada se radi o uležištenjima i o montaži sličnih elemenata kružnih presjeka najbitnije je korektno odabrati vrstu dosjeda. Iz tog razloga sljedeći korak je odabir dosjeda na mjestu gdje se zupčanik montira na rotacijski element. Nakon odabira kotiraju se i ostale dimenzije te se tolerancije upišu na kotne linije. Kako tijekom procesa proizvodnje elementa operater koji izrađuje element ne bi tražio tolerancijska polja u raznim priručnicima, na tehnički

crtež se postavlja i tablica s tolerancijskim poljima. Time je završena izrada tehničkog crteža rotacijskog elementa čija se slika nalazi u nastavku, a dokument u prilogu.



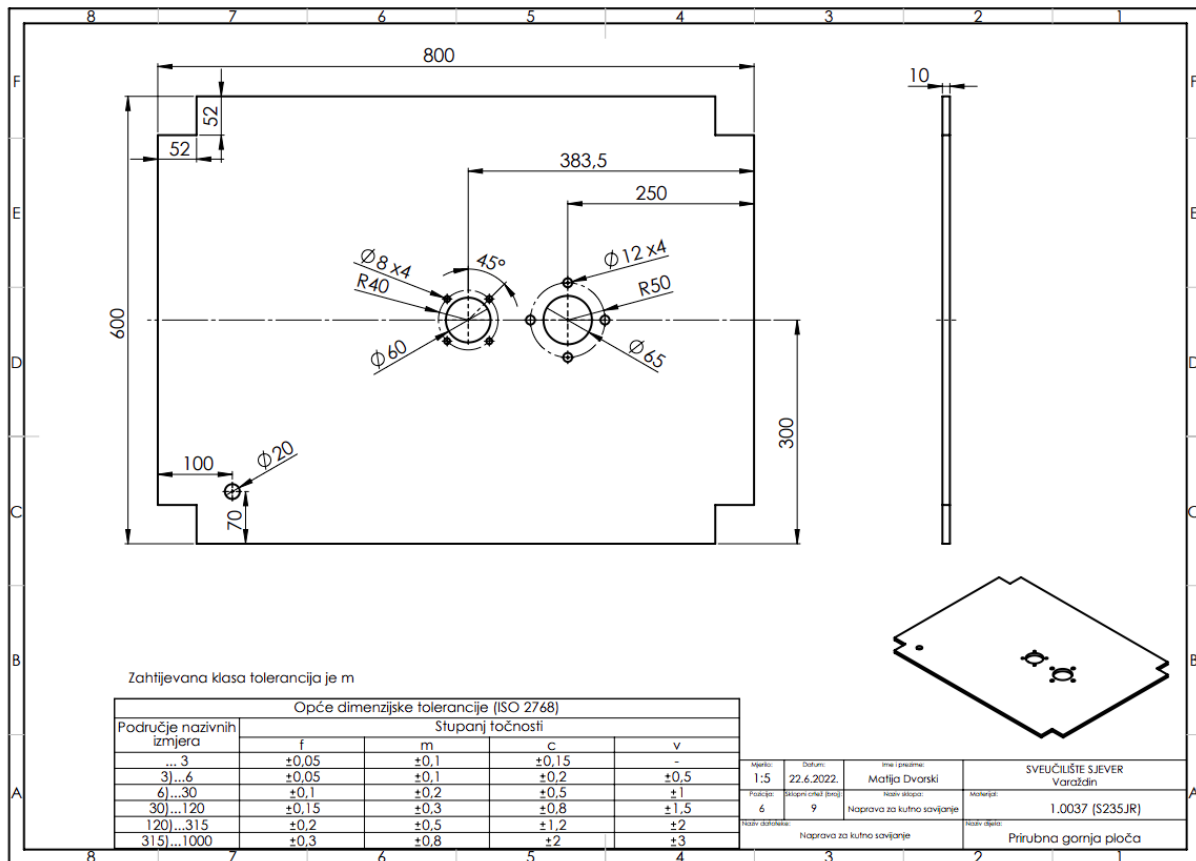
Slika 7.32: Tehnički crtež rotacijskog elementa

Nakon izrade crteža rotacijskog elementa prema tablici elemenata dolazi rotacijska ploča s rednim brojem 7. Rotacijska ploča se montira direktno na rotacijski element pa stoga ima provrte na istim mjestima kao i rotacijski element, ali bez navoja. Budući da u napravi za kutno savijanje dolazi unutar provrta radne ploče, za rotacijsku ploču je potrebno odrediti tolerancijsko polje prema ranije određenom dosjedu. Odabrani dosjed je labavi, što znači da će između radne ploče i rotacijskog elementa nakon njihove izrade sigurno postojati određena zračnost i elementi će se nesmetano kretati jedan u odnosu na drugog. Na tehničkom crtežu rotacijske ploče postoji još jedno tolerantno polje koje osigurava zračnost s obzirom na umetak za savijanje (središnji alat) koji je izmjenjiv i stacionarni, dok se rotacijska ploča okreće. Kao i kod prethodnog elementa izradi se i tablica s veličinama tolerancija koje se nalaze na crtežu. Slika tehničkog crteža se nalazi pod brojem 7.33.



Slika 7.33: Tehnički crtež rotacijske ploče

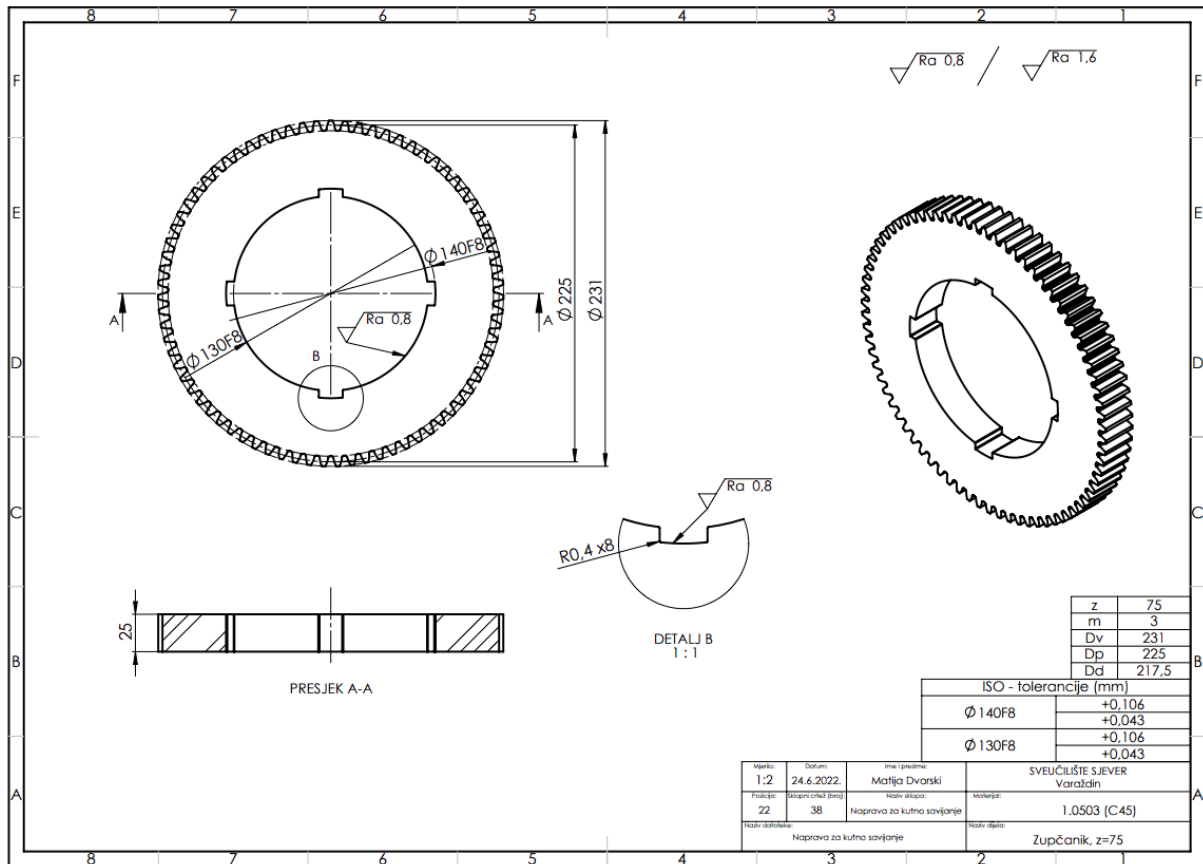
Gornja prirubna ploča je ploča koja služi za montažu elektromotora i reduktora, te fiksiranje središnjeg elementa (osovine). Glavna karakteristika ovog elementa je da se njime definira međuosovinski razmak zupčanog para. Model se sastoji od kvadratnih izreza na sva četiri ruba ploče, dva veća provrta kroz koje prolazi reduktor i središnji element, te od manjih provrta koji su potrebni za korektno fiksiranje ostalih elemenata. Na tehničkom crtežu nema tolerancija jer nisu potrebne, slika se nalazi u nastavku.



Slika 7.34: Crtež gornje prirubne ploče

Prema tablici elemenata slijedi još nekoliko elemenata koji su slični prethodnim pa stoga nije zasebno opisan proces njihove izrade. Ukupno se tehnička dokumentacija sastoji od 27 tehničkih crteža bez sklopnog crteža. Svi tehnički crteži rađeni su pomoću Solidworks softvera u predlošku "Drawing". Tolerancije elemenata su određivane i ispisivane pomoću tablica iz Strojarskog priručnika autora B. Kraut čiji se izvor može naći u podnaslovu "Izvori", a svi tehnički crteži priloženi su kao prilog ovom završnom radu. U nastavku se spominje još jedan tehnički crtež koji smatram zanimljivijim, a to je crtež zupčanika.

Zupčanik sa 75 zubi, montiran je izravno na rotacijski element. Moment se prenosi pomoću žljebova koji se mogu vidjeti na rotacijskom elementu i na zupčaniku. Za laku montažu te zbog ispunjavanja zahtjeva na funkcionalnost i dugotrajnost određene su mjere dopuštenih tolerancija. U nastavku se nalazi slika tehničkog crteža.



Slika 7.35: Tehnički crtež većeg zupčanika



## 8. Moguća poboljšanja naprave

Svaku konstruiranu napravu, alat ili stroj moguće je unaprijediti ili više specijalizirati za specifičnu primjenu. Međutim, bitno je obratiti pažnju na ekonomsku isplativost tih poboljšanja budući da svaki dodatni element koji se ugrađuje ima određenu cijenu. Napravu je moguće poboljšati u smislu funkcionalnosti, proizvodnosti, ali i ekonomske isplativosti.

Najbitnije poboljšanje u novoj verziji konstruirane naprave je potrebno kod upornog alata. Trenutna konstrukcija može loše utjecati na funkcionalnost naprave jer bi se krak savijanog obratka mogao pomicati tijekom savijanja zbog lošeg fiksiranja. To se može izbjeći korištenjem šireg upornog alata kod mjesta dodira obratka i alata (izvedba L profila). To poboljšanje nam omogućuje bolje fiksiranje obratka i nemogućnost zakretanja kraka obratka tijekom savijanja. Uporni alat bi tada bio izrađen glodanjem i od alatnog čelika.

Kao primjer nekih manje potrebnih poboljšanja proizvodnosti naveo bih dodavanje laserskog mjerača za kontrolu konačnog kuta savijanja, te dodavanje valjaka za automatsko dodavanje materijala do mjesta savijanja. Kontrola konačnog kuta zahtjeva dodavanje laserskog mjerača i povratne veze programibilnom kontroleru. Takav dodatak rezultirao bi eliminacijom potrebe za korekciju elastičnog povrata koji bi se korigirao automatski. Automatsko dodavanje materijala pak zahtjeva dodavanje još jednog elektromotora, tj. još jedne osi. Time bi se eliminirala potreba za ručnim umetanjem materijala u napravu, što bi rezultiralo povećanom proizvodnosti i sigurnosti operatera.

## 9. Zaključak

Konstruirana naprava za kutno savijanje profila je specijalizirane namjene za srednje serijsku proizvodnju izradaka. Podešavanje naprave za različite obratke je brzo i jednostavno što omogućuje dobru fleksibilnost. Od naprava na tržištu se najviše razlikuje s parametrom brzine i točnosti obrade. Naime, naprave na tržištu su najčešće namijenjene za savijanje pojedinačnih komada većih dimenzija, dok je konstruirana naprava pogodna za izradu većeg broja dimenzijski ponovljivih izradaka.

Tijekom izrade završnog rada suočavao sam se s raznim konstrukcijskim problemima i problemima koji se tiču 3D modeliranja u programu Solidworks. Uspješnim rješavanjem problematike unaprijedio sam znanja koja sam stekao tijekom studiranja na Sveučilištu Sjever u gotovo svakom polju.

## 10. Izvori

- [1] B. Rebec - Naprave (konstrukcija, izrada i eksploatacije), Zagreb 1974.
- [2] <https://www.haascnc.com/index.html> , dostupno 15.3.2022.
- [3] B. Kraut - Krautov strojarski priručnik, Sajema, Zagreb 2011.
- [4] [https://elemstroj.fsb.hr/pdf/design/2007/dosjedi\\_i\\_tolerance\\_oblika.pdf](https://elemstroj.fsb.hr/pdf/design/2007/dosjedi_i_tolerance_oblika.pdf) , dostupno 22.3.2022.
- [5] <https://tetraservice.com/configurator-ui/?c=ELVEM&p=NCS#/> , dostupno 2.6.2022.
- [6] <https://www.laser-ing.hr/blog/oznacavanje-celika-prema-en-normi/> , dostupno 2.4.2022.
- [7] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka:1725/datastream/PDF/view> , dostupno 18.4.2022.
- [8] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:6888> , dostupno 22.4.2022.
- [9] <https://www.amazon.de/uxcell-pilzrast-notaus-taster-schalter-22mm-rot-5pcs/dp/B07FRZ117M> , dostupno 22.4.2022.
- [10] [http://www.hzzzsr.hr/wpcontent/uploads/2016/11/Smjernica\\_o\\_uredivanju\\_radnih\\_mjesta\\_na\\_kojima\\_se\\_dugotrajno\\_sjedi.pdf](http://www.hzzzsr.hr/wpcontent/uploads/2016/11/Smjernica_o_uredivanju_radnih_mjesta_na_kojima_se_dugotrajno_sjedi.pdf) , dostupno 25.4.2022.
- [11] <https://www.indiamart.com/piyuentp/steel-rod-bending.html> , dostupno 2.5.2022.
- [12] <https://www.cmrp.com/bar-bending-services> , dostupno 2.5.2022.
- [13] [https://www.comac-italy.com/gb/profile\\_bending\\_machines.aspx](https://www.comac-italy.com/gb/profile_bending_machines.aspx) , dostupno 5.5.2022.
- [14] [https://www.lorencic.hr/rezacica-i-savijacica-armiranog-zeljeza-seim-by-tecmor-pgt3225\\_111366\\_3.htm](https://www.lorencic.hr/rezacica-i-savijacica-armiranog-zeljeza-seim-by-tecmor-pgt3225_111366_3.htm) , dostupno 6.5.2022.
- [15] <https://www.scan2cad.com/blog/cad/solidworks-history/> , dostupno 10.5.2022.
- [16] <https://people.etf.unsa.ba/~asalihbegovic/Arhitektura/LECTURE%20-9.pdf> , dostupno 10.5.2022.
- [17] <https://blog.federnshop.com/en/spring-steel-wires-and-their-properties/> , 19.5.2022.
- [18] [http://wentec.com/unipower/calculators/power\\_torque.asp](http://wentec.com/unipower/calculators/power_torque.asp) , dostupno 2.4.2022.
- [19] <https://www.skf.com/group/support/engineering-tools/bearing-select> , dostupno 2.4.2022.
- [20] <https://www.stmstar.com/en/selections/index/3> , dostupno 1.6.2022.
- [21] <https://felib.fujielectric.co.jp/download/searchcad.htm?site=global&lang=en> , dostupno 1.6.2022.
- [22] [Zupčaste letve i zupčanici \(tuli.hr\)](http://Zupčaste letve i zupčanici (tuli.hr)) , dostupno 11.5.2022.
- [23] [CNC electric wire bending machines - BLM GROUP](http://CNC electric wire bending machines - BLM GROUP) , dostupno 12.6.2022.

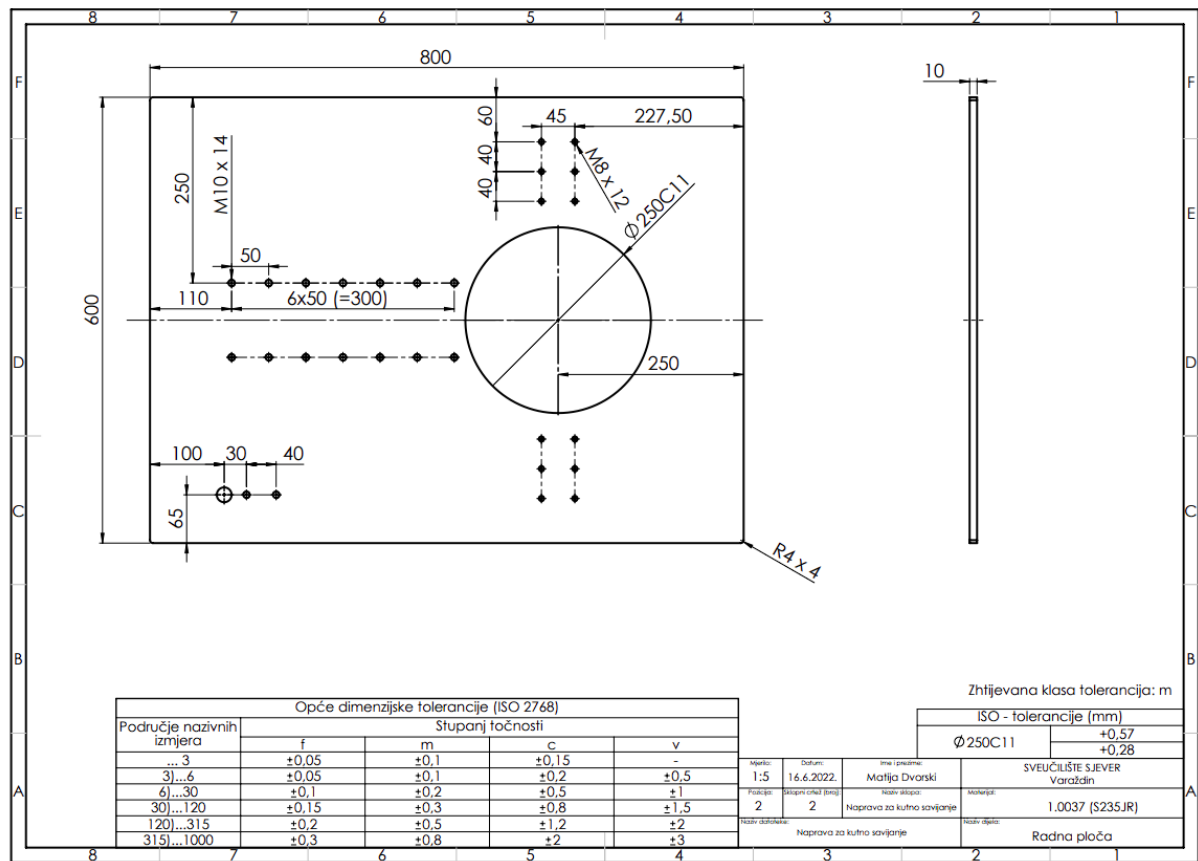
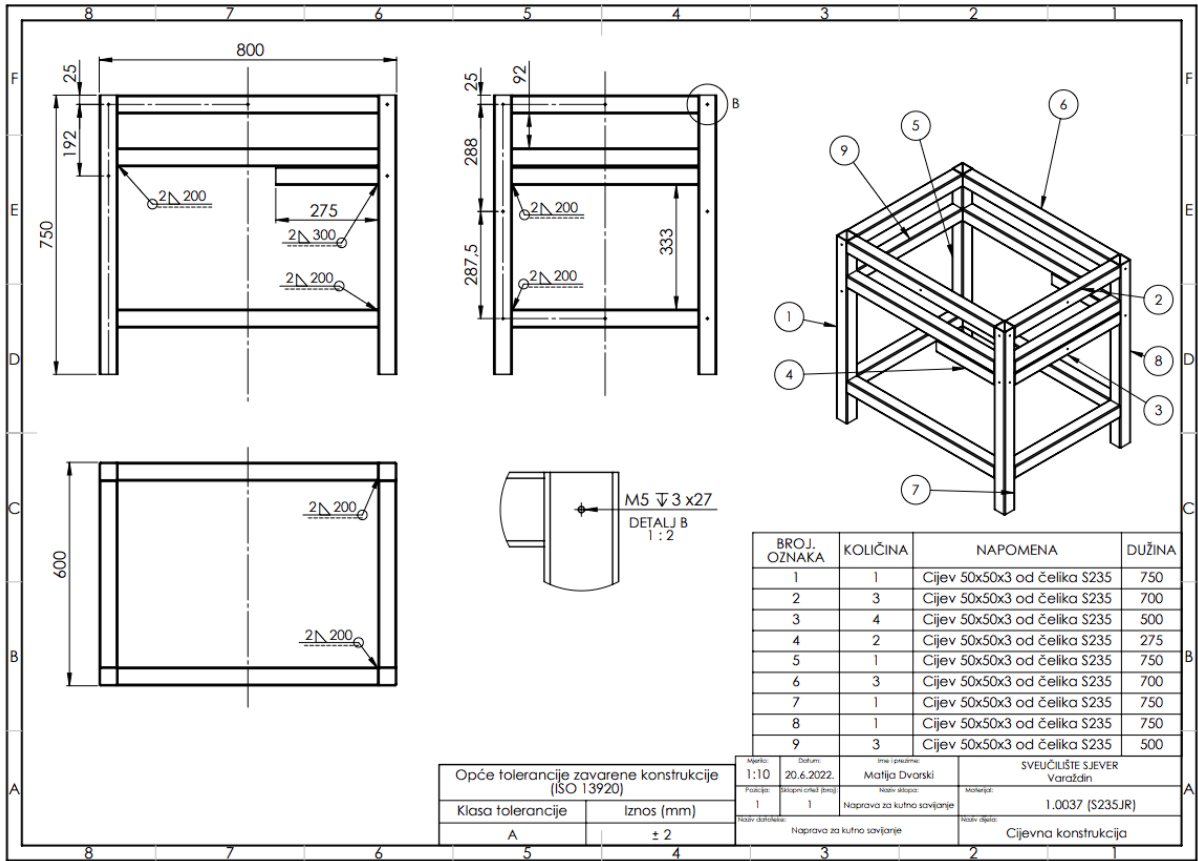
## 11. Popis slika

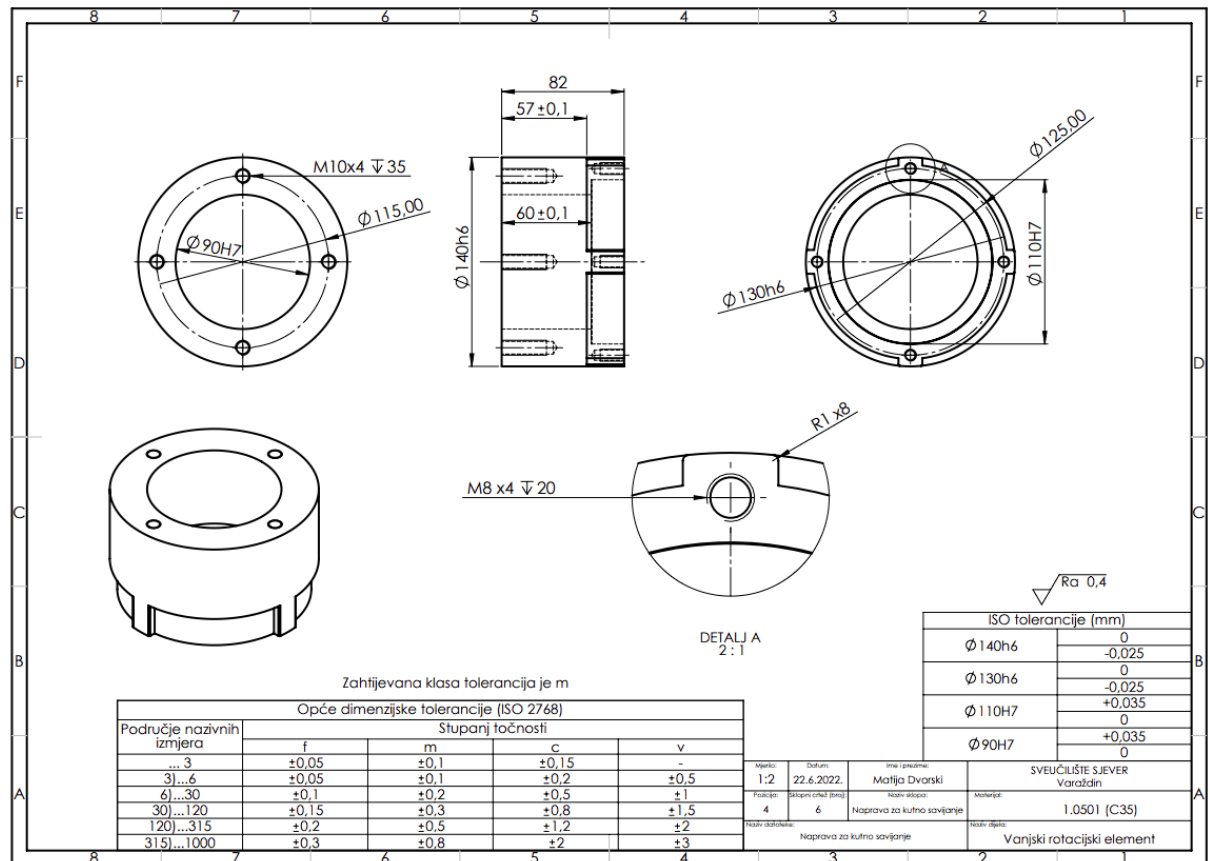
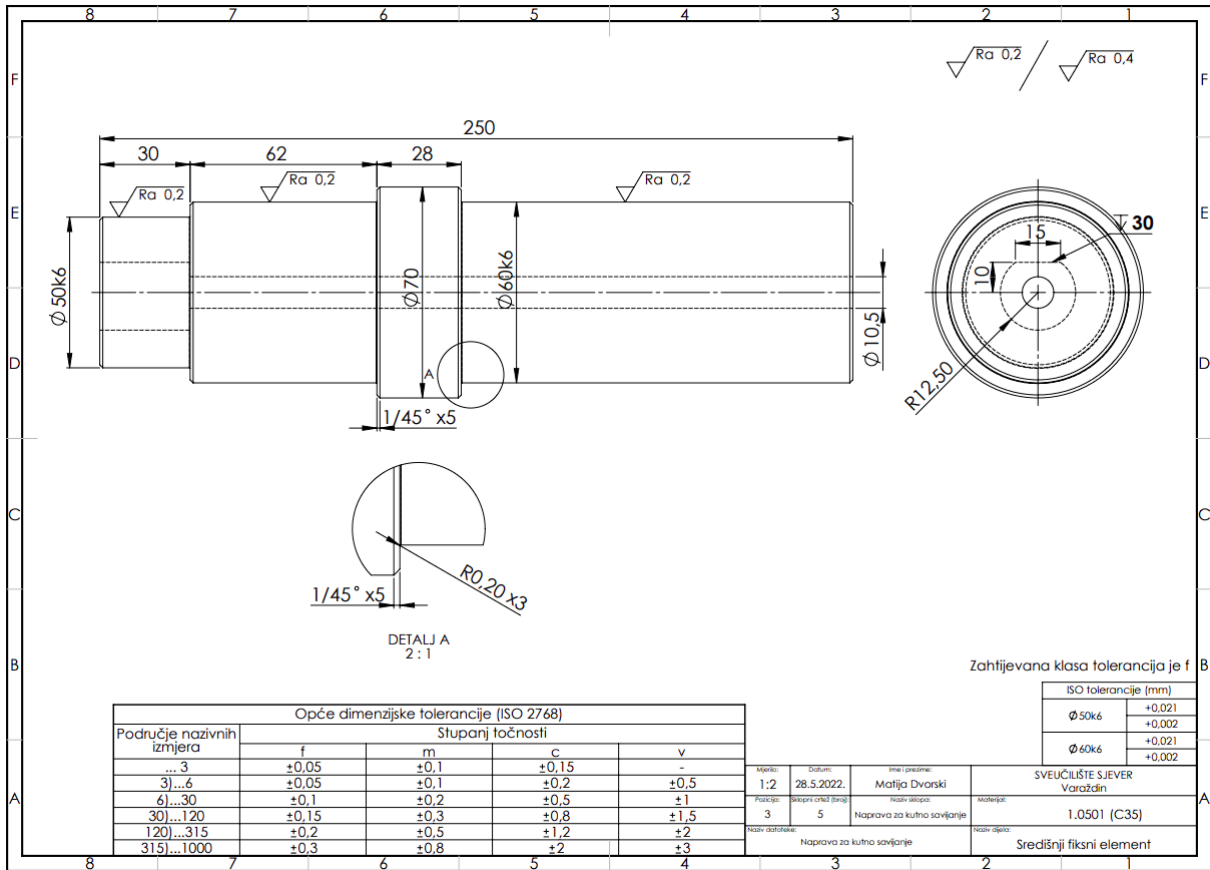
Slika 3.1: Ovisnost troškova o tolerancijama [1] .....	11
Slika 3.2: Primjer pravilnog i nepravilnog toleriranja čepa .....	12
Slika 3.3: AC Elektromotor [5] .....	13
Slika 3.4: Primjer upotrebe tolerancija kod konstruiranja naprave .....	14
Slika 3.5: CNC glodalica [2] .....	15
Slika 3.6: CNC tokarski stroj [2].....	16
Slika 3.7: Skošenje za lakše umetanje u alat .....	17
Slika 3.8: Sistem izbacivača s oprugom.....	18
Slika 3.9: Prikaz izratka u napravi za savijanje.....	19
Slika 3.10: Savijeni obradak.....	19
Slika 3.11: Označavanje čelika prema EN normi [6] .....	20
Slika 3.12: Toplinska obrada poboljšavanja .....	21
Slika 3.13: Prekidač za zaustavljanje rada stroja [9].....	22
Slika 3.14: Prekidač za brzo isključivanje i nožna sklopka na napravi za savijanje.....	24
Slika 3.15: Zaštitne stranice na napravi za savijanje.....	24
Slika 3.16: Stezanje obratka pomoću vijka i steznog elementa .....	25
Slika 3.17: Prikaz stegnutog obratka u procesu savijanja .....	26
Slika 3.18: Prikaz spoja vratila i zupčanika oblikom (bez prirubnice) .....	27
Slika 3.19: Stezanje zupčanika pomoću prirubnice .....	27
Slika 3.20: Primjer nepravilnog i pravilnog kotiranja.....	28
Slika 3.21: Crtež elementa za stezanje upornog alata .....	29
Slika 3.22: Savijeni pravokutni profil [11] Slika 3.23: Savijeni kružni profil [12].....	31
Slika 4.1: Elastični povrat žice u napravi za savijanje .....	32
Slika 4.2: Pukotine na vanjskom radijusu savijene žice.....	33
Slika 4.3: Otisak od alata na unutarnjem radijusu savijene žice .....	34
Slika 5.1: Izvedba naprave za savijanje profila s 3 valjka [13].....	36
Slika 5.2: Izvedba sa središnjim elementom [14] .....	37
Slika 5.3: BLM group E-FLEX CNC stroj za savijanje žice [23].....	38
Slika 5.4: Elektro-ormar s PLC kontrolerom i frekventnim pretvaračem.....	40
Slika 5.5: Naprava za savijanje s tri valjka i tablica maksimalnih dimenzija profila [13] .....	41
Slika 5.6: Izmjenjivi središnji element.....	42
Slika 6.1: Solidworks sučelje u "Part" predlošku .....	43
Slika 7.1: 3D skica cijevne konstrukcije .....	49
Slika 7.2: Završeni model cijevne konstrukcije .....	50
Slika 7.3: Skica radne ploče .....	51
Slika 7.4: Završeni model radne ploče .....	51
Slika 7.5: Skica modela središnje osovine .....	53
Slika 7.6: Model središnje fiksirane osovine .....	53
Slika 7.7: Primjer dodatka Toolbox s raznim standardiziranim elementima .....	54
Slika 7.8: Karakteristike odabranih ležaja [19].....	54
Slika 7.9: Model rotacijskog elementa .....	55
Slika 7.10: Početna skica modela rotacijskog elementa.....	55

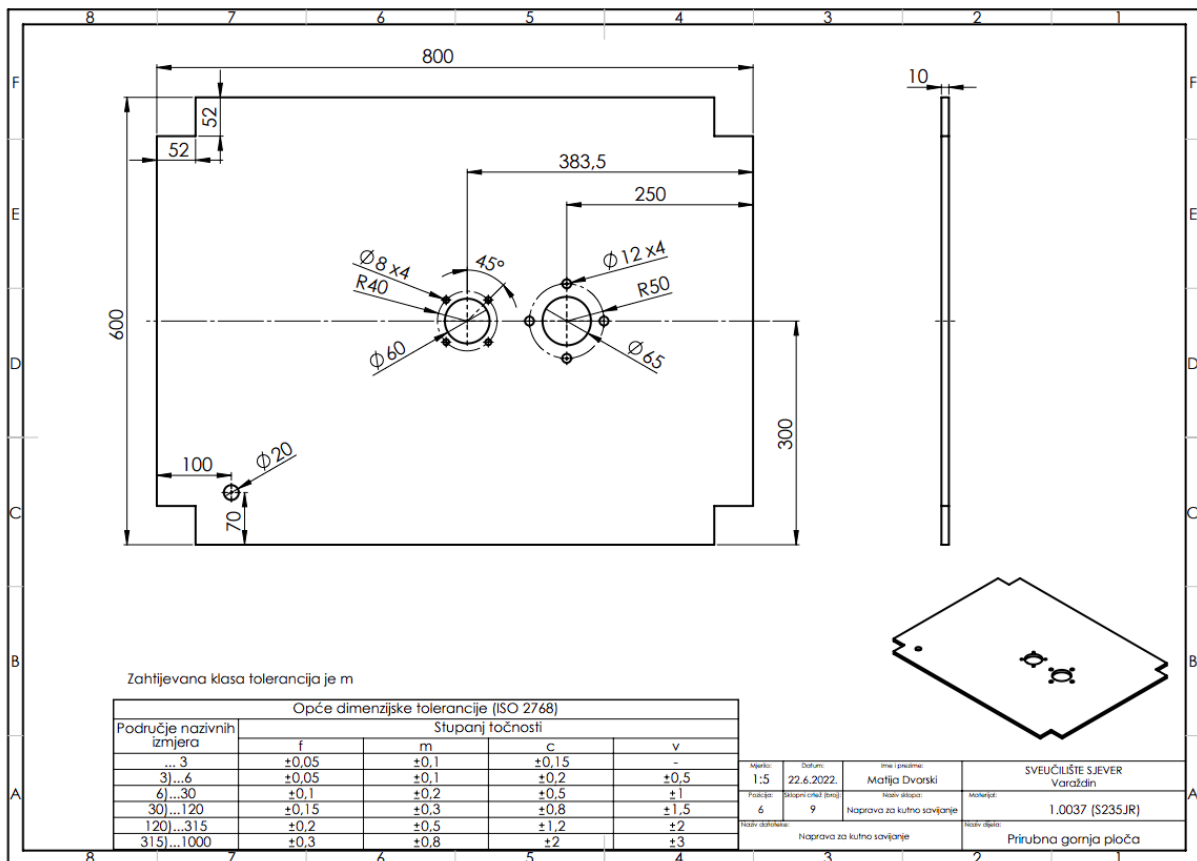
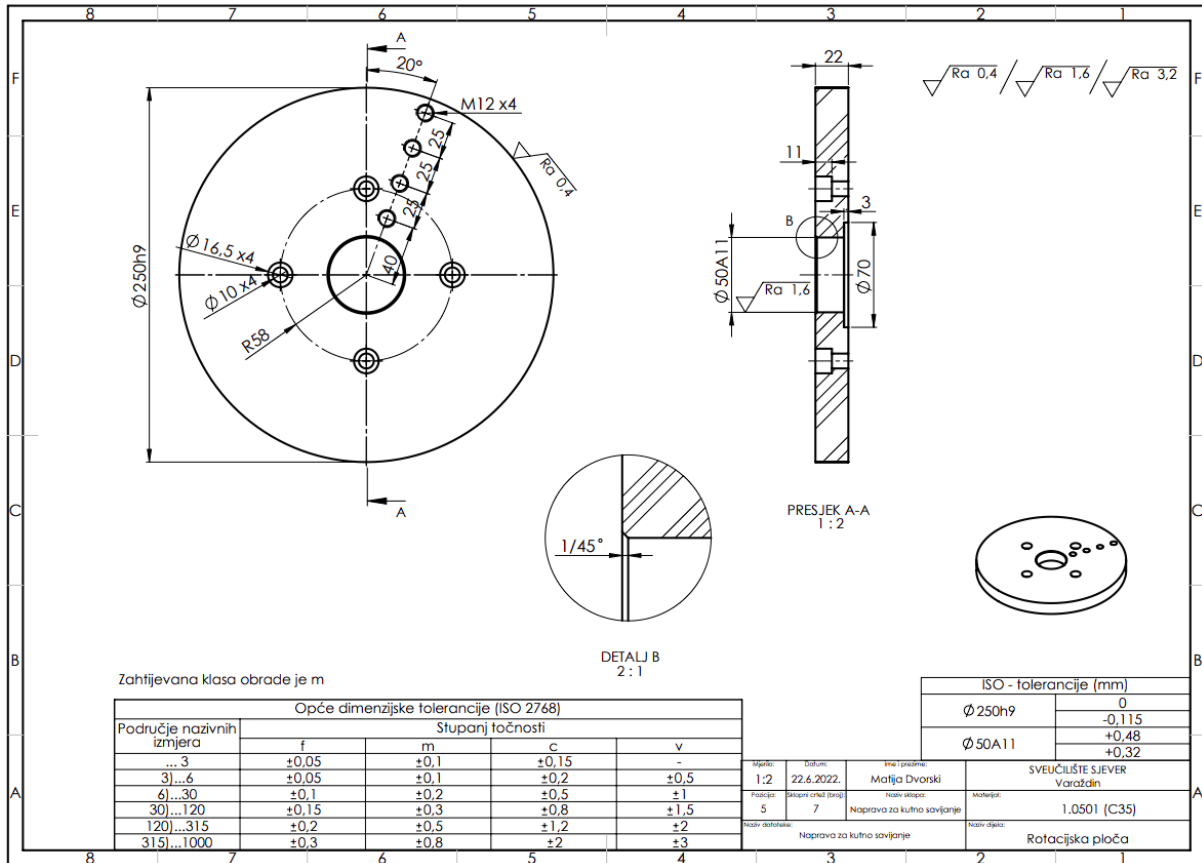
---

Slika 7.11: Odabrani zupčanici [22].....	56
Slika 7.12: Model modificiranog većeg zupčanika.....	56
Slika 7.13: Model modificiranog manjeg zupčanika.....	57
Slika 7.14: Poklopac ležaja .....	58
Slika 7.15: Model rotacijske ploče .....	59
Slika 7.16: Model sklopa za savijanje .....	59
Slika 7.17: Model graničnika .....	60
Slika 7.18: Uporni alat stegnut na radnu ploču .....	61
Slika 7.19: Središnji izmjenjivi alat .....	62
Slika 7.20: Model gornje montažne ploče.....	63
Slika 7.21: Početna skica gornje montažne ploče .....	64
Slika 7.22: Metalne ploče za povećanje krutosti naprave i montažu elemenata .....	64
Slika 7.23: Podsklop elektro-ormar.....	66
Slika 7.24: Shema spajanja elektroničkih komponenti .....	66
Slika 7.25: Podsklop elektromotora i reduktora.....	67
Slika 7.26: Render modela sastavljene naprave za kutno savijanje .....	69
Slika 7.27: Prikaz modela naprave u rastavljenom stanju.....	70
Slika 7.28: Sklopni crtež .....	72
Slika 7.29: Crtež cijevne konstrukcije s tablicom dužine cijevi.....	73
Slika 7.30: Tehnički crtež radne ploče .....	74
Slika 7.31: Tehnički crtež središnje osovine s tablicom tolerancija.....	75
Slika 7.32: Tehnički crtež rotacijskog elementa .....	76
Slika 7.33: Tehnički crtež rotacijske ploče .....	77
Slika 7.34: Crtež gornje prirubne ploče.....	78
Slika 7.35: Tehnički crtež većeg zupčanika .....	79

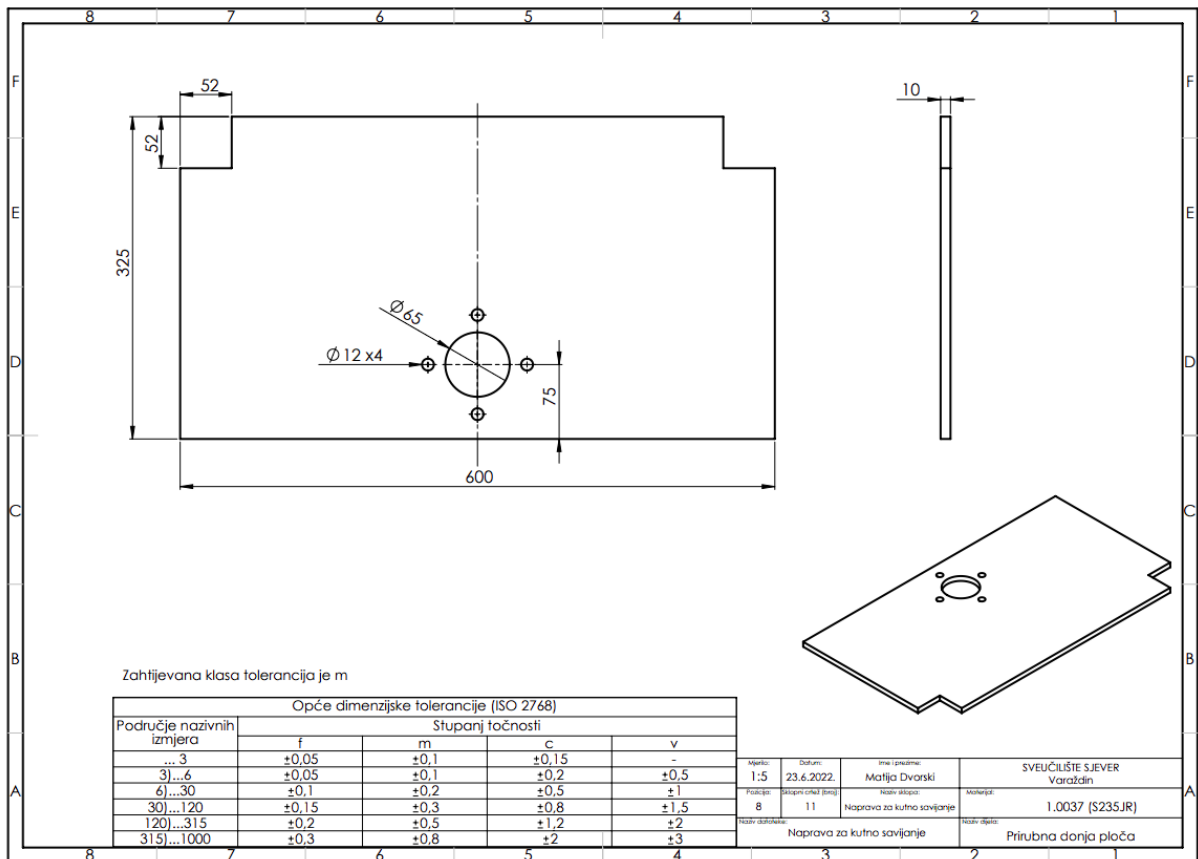
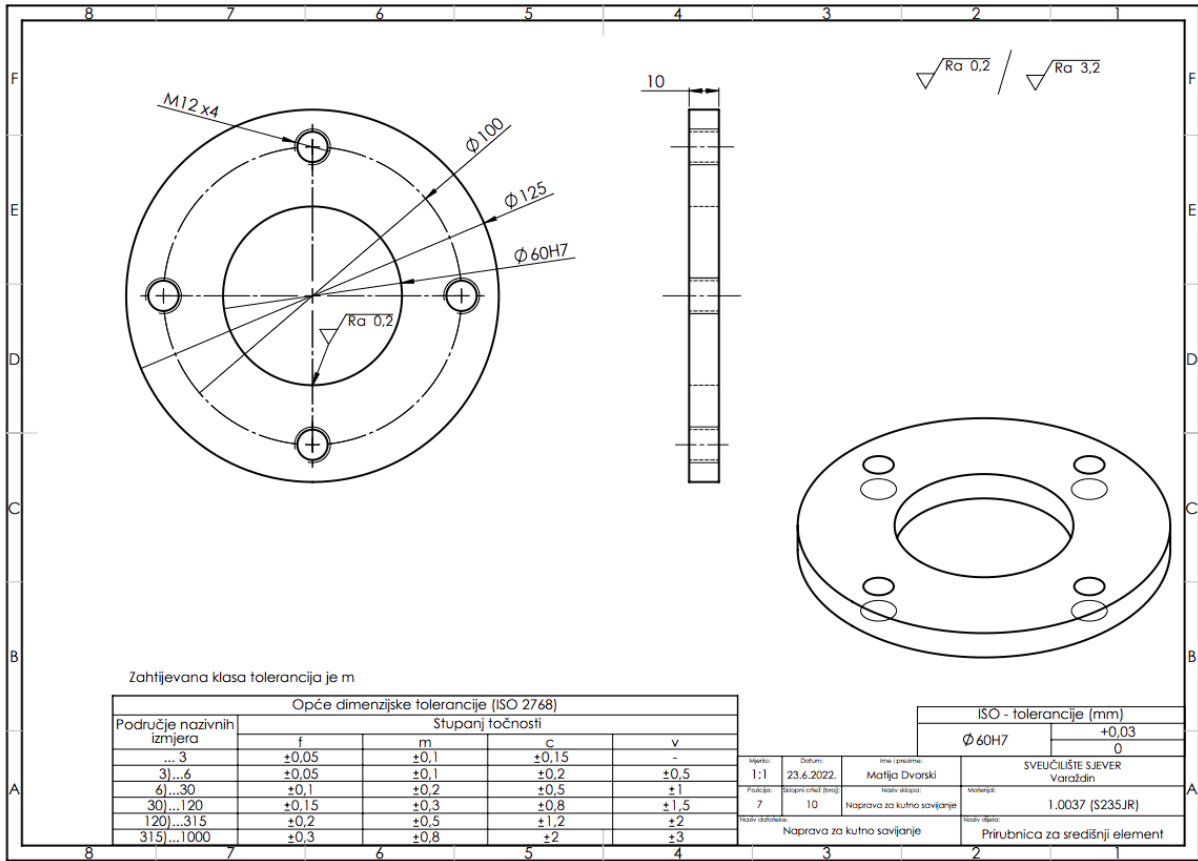
## **12. Prilozi**

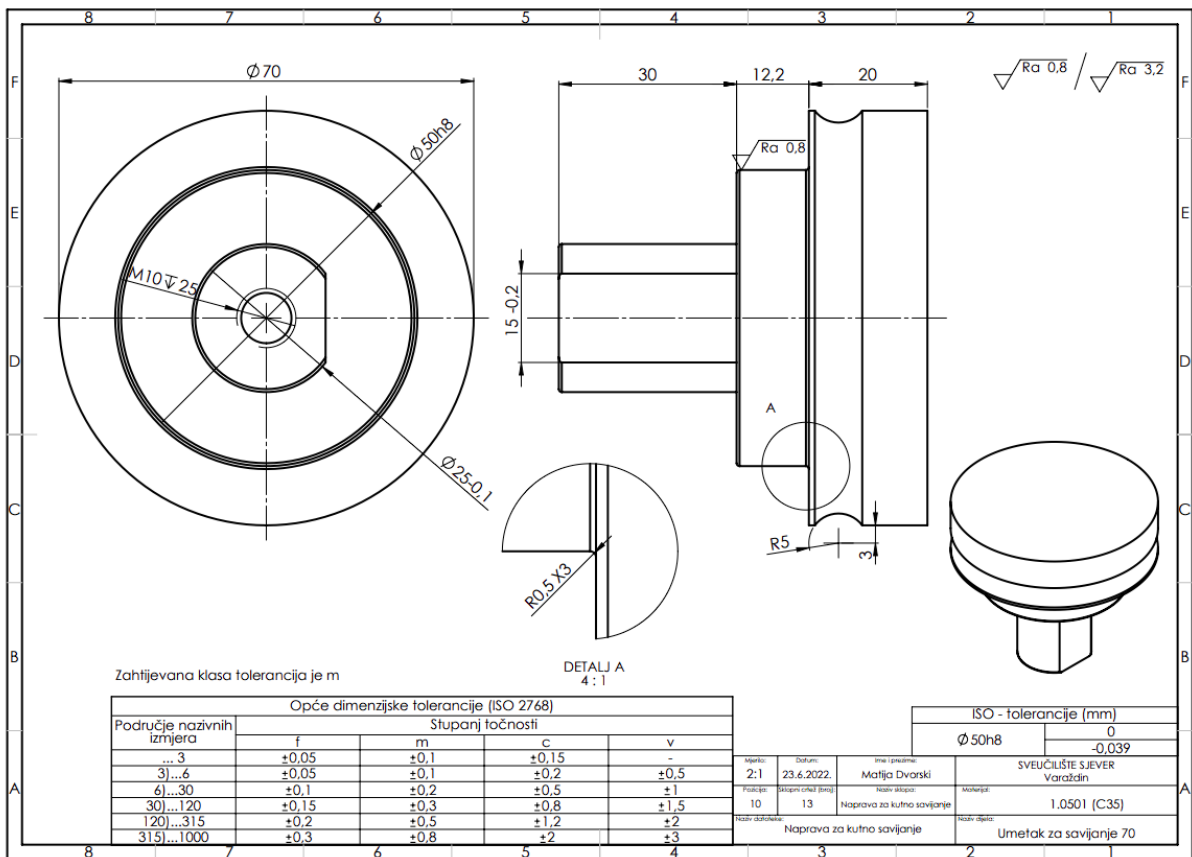
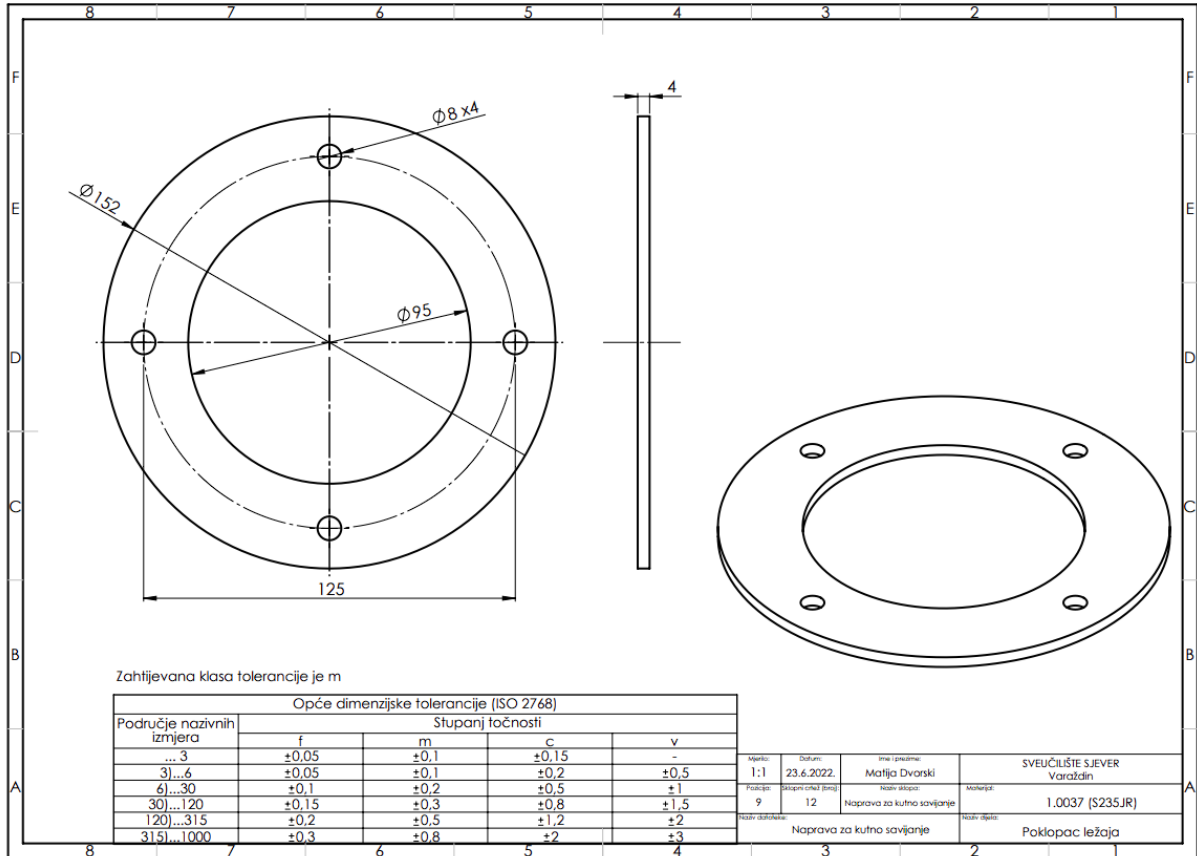


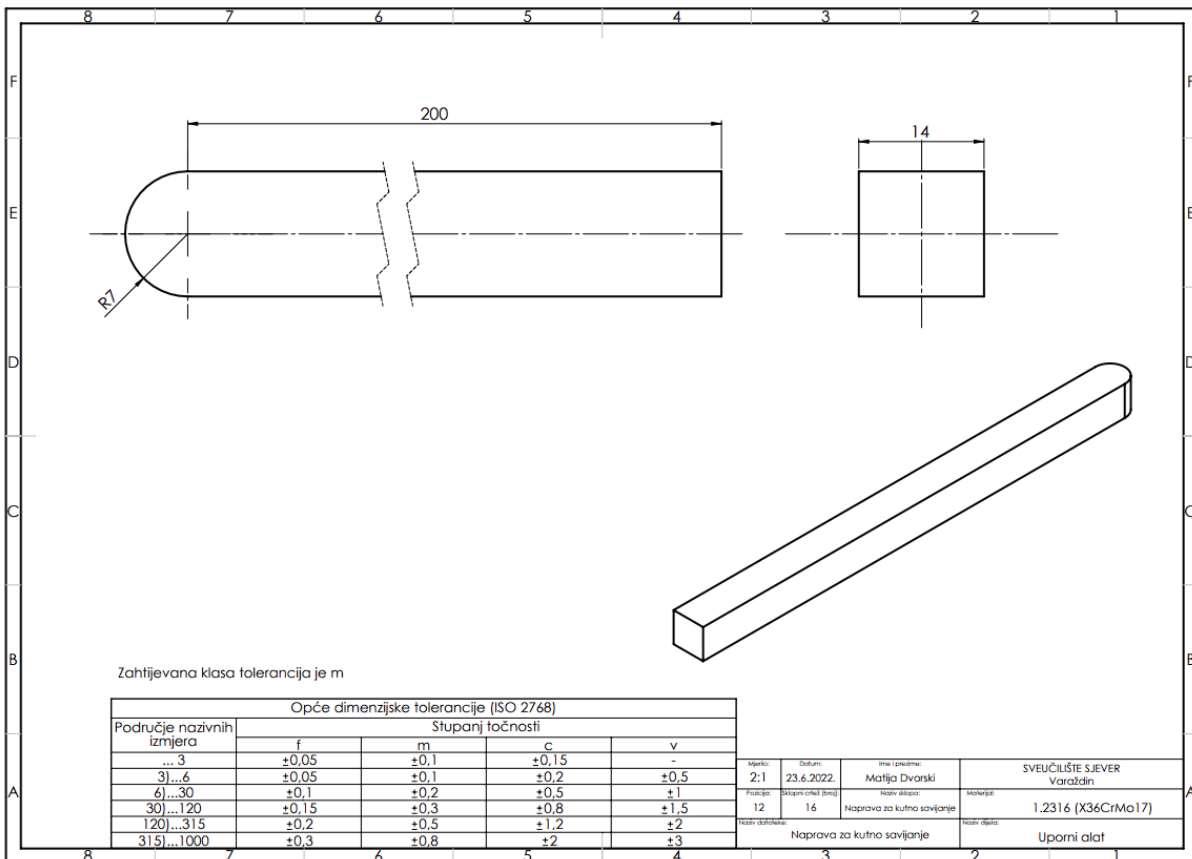
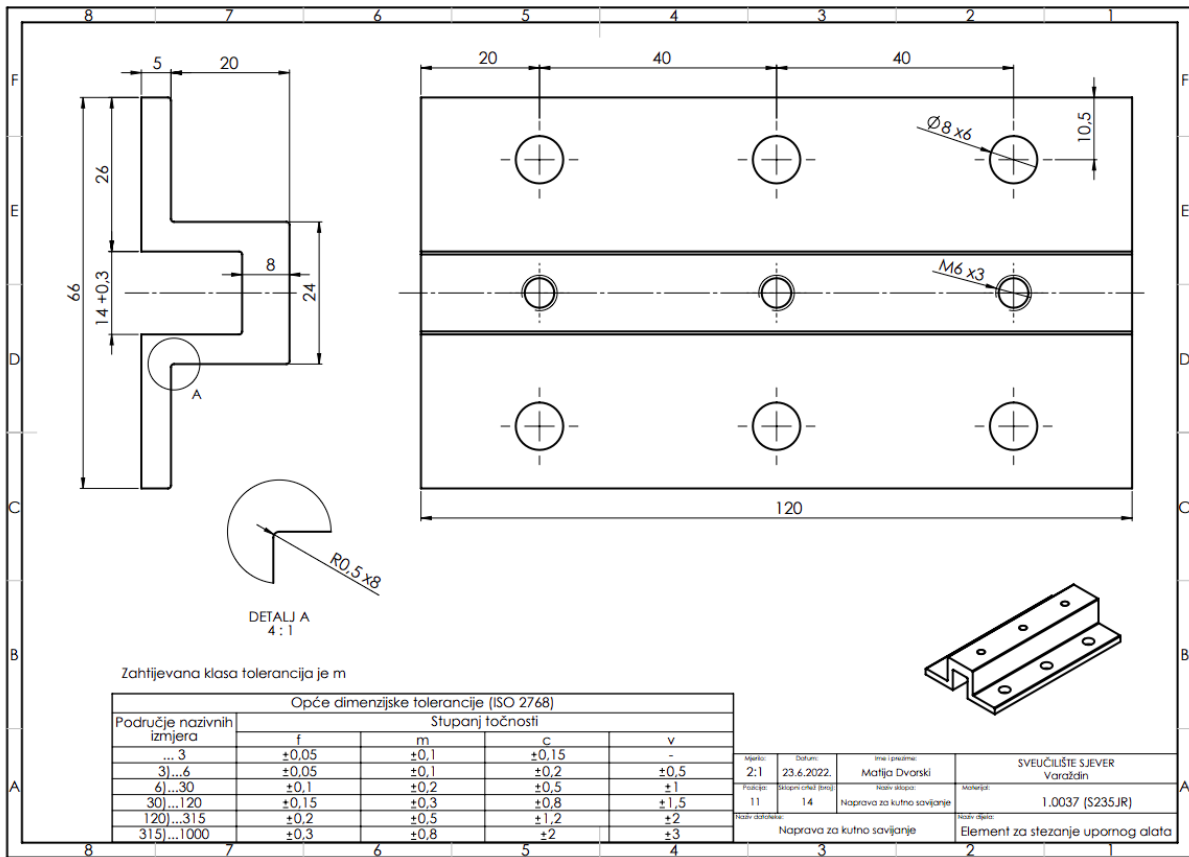


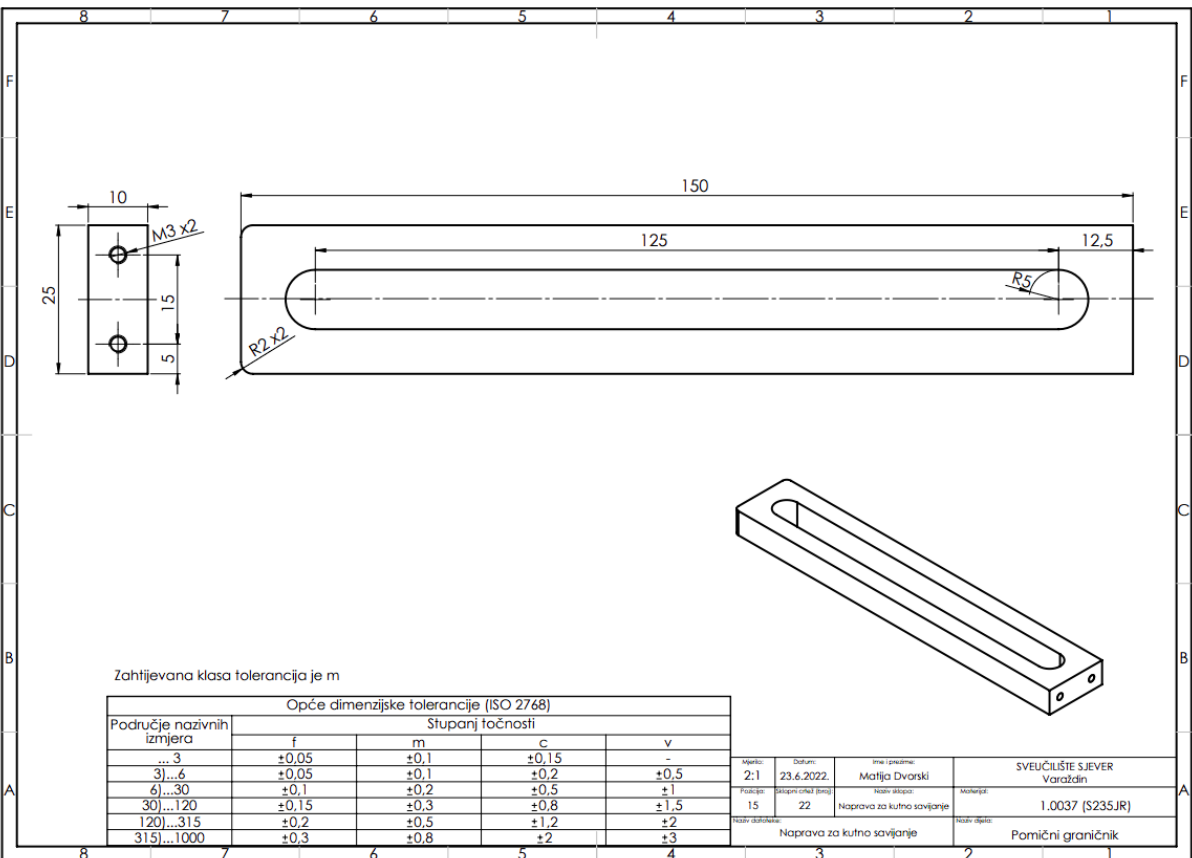
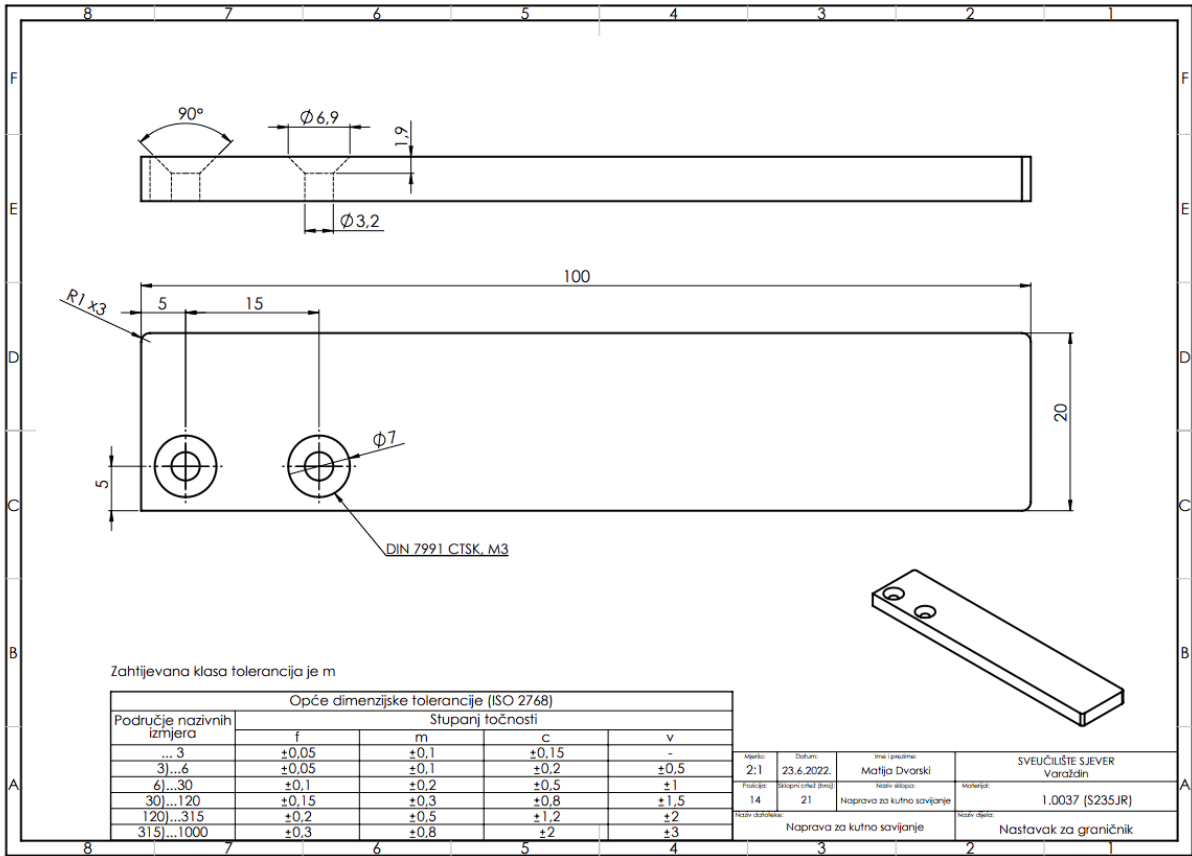


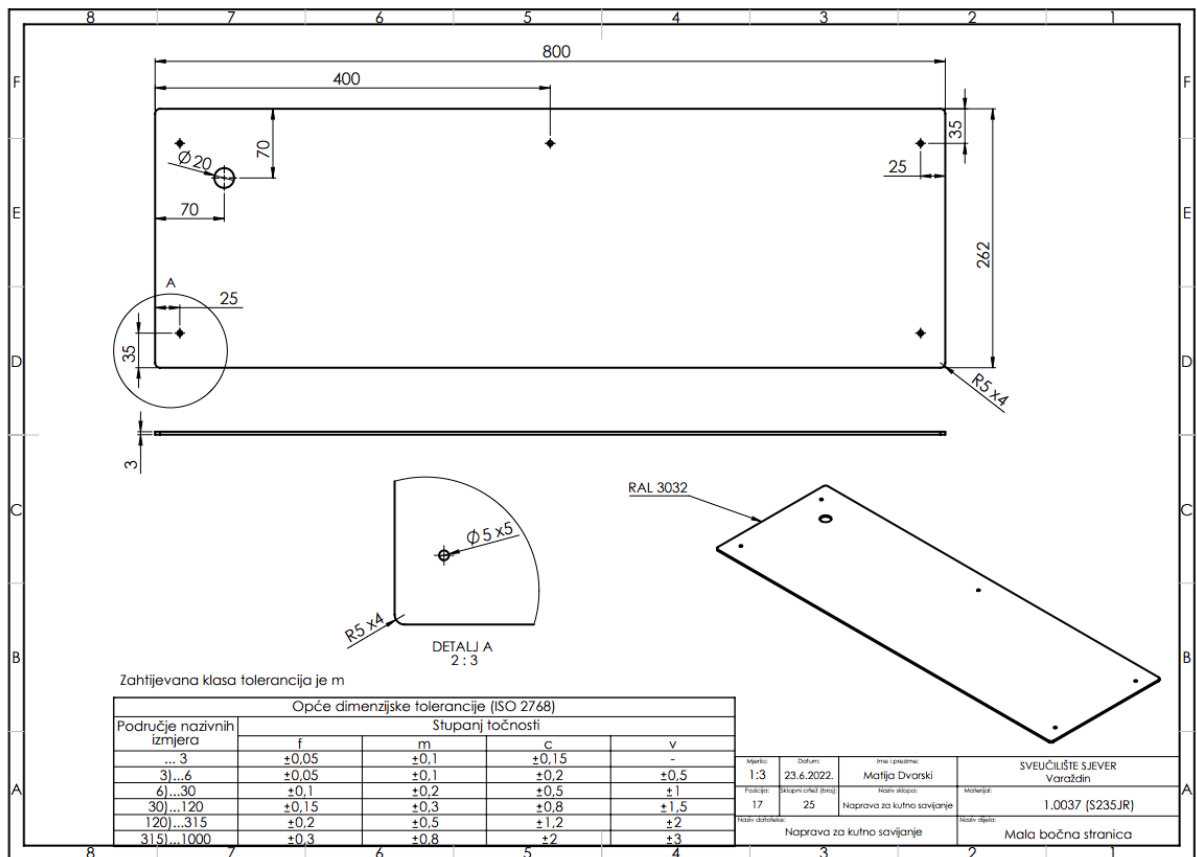
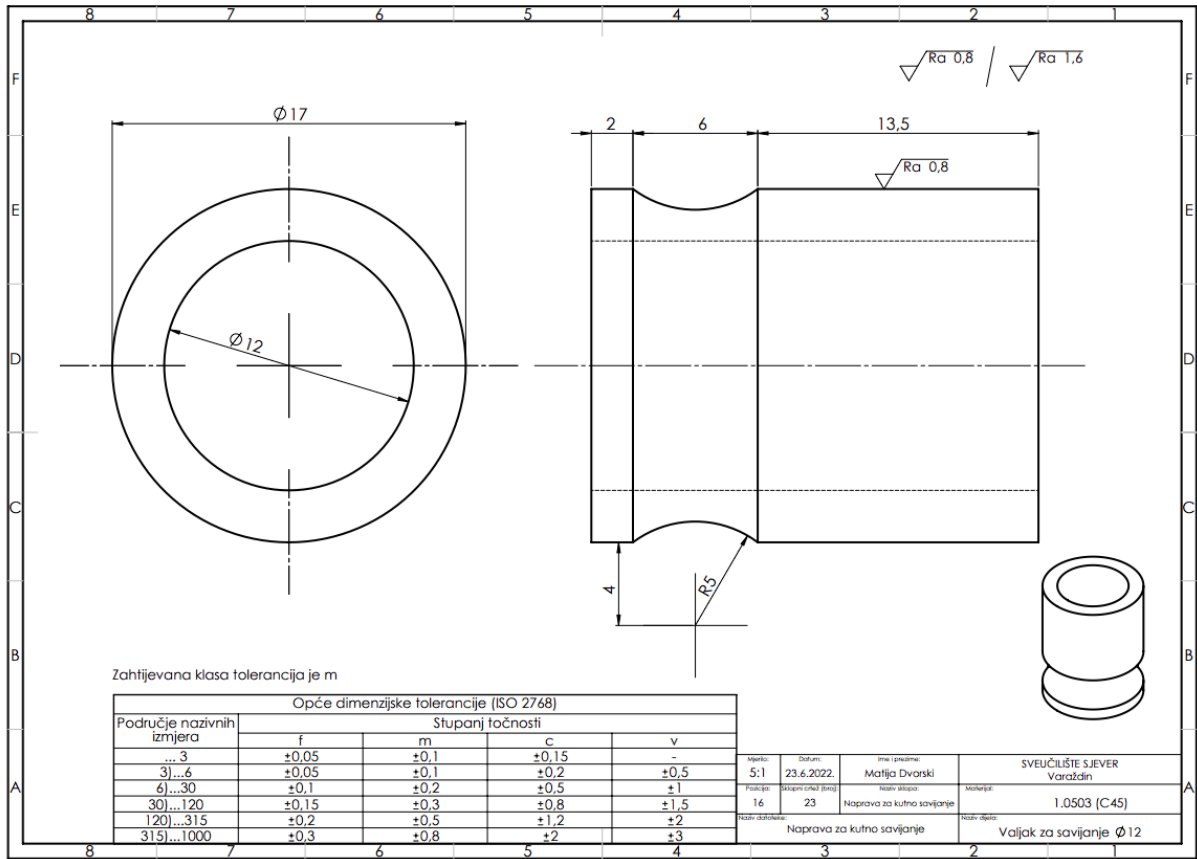


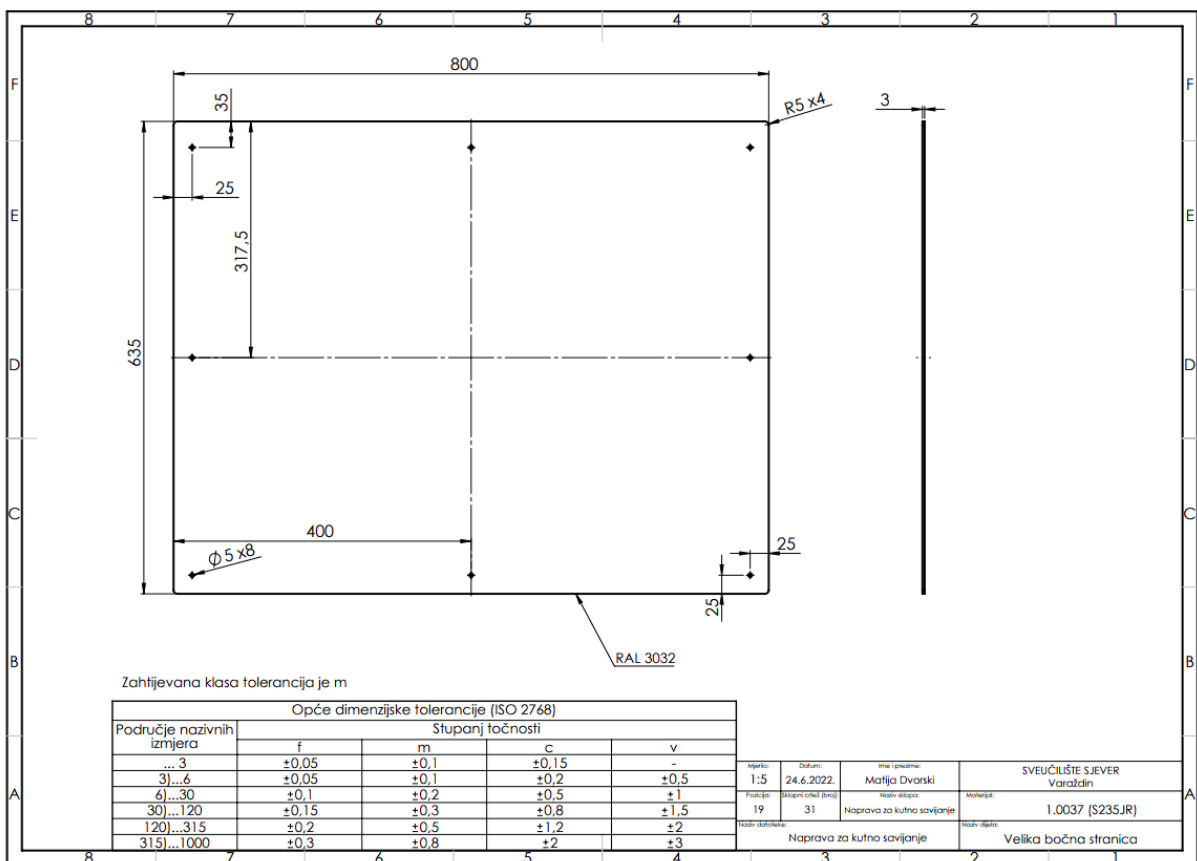
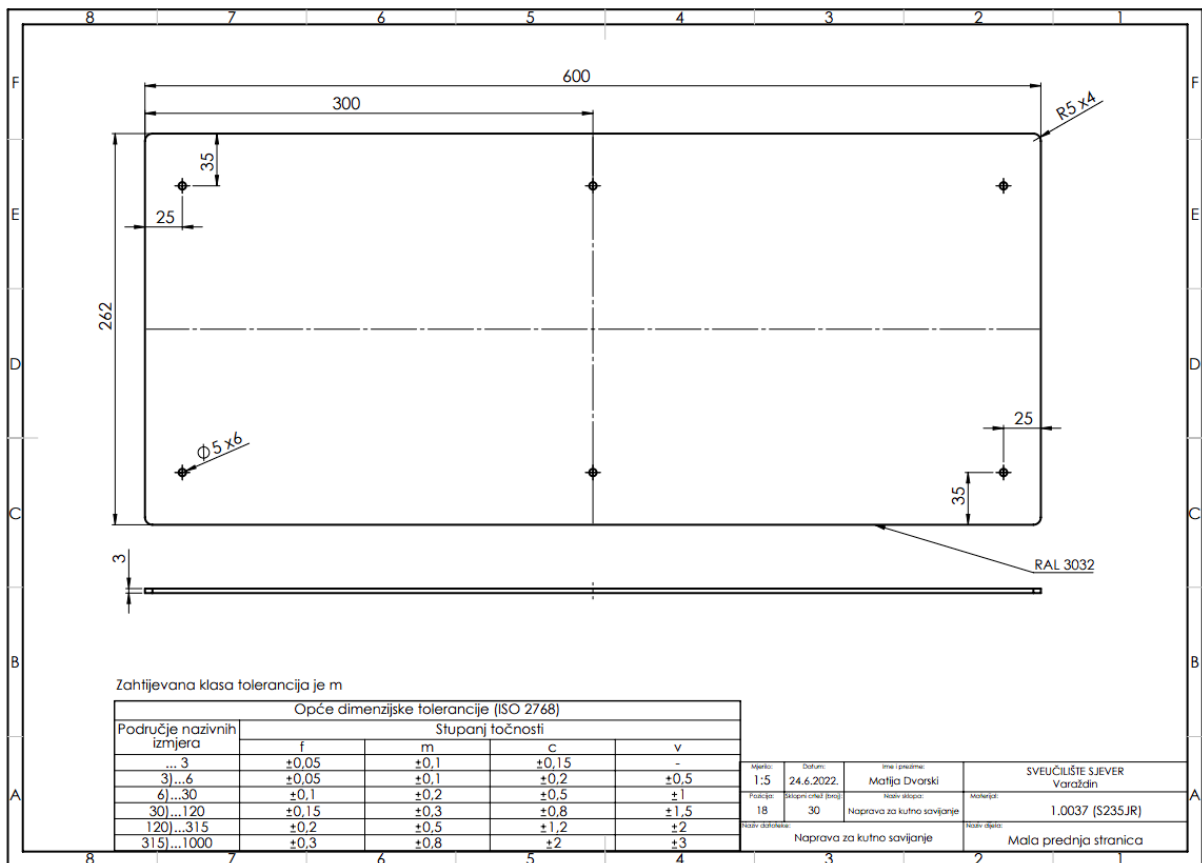


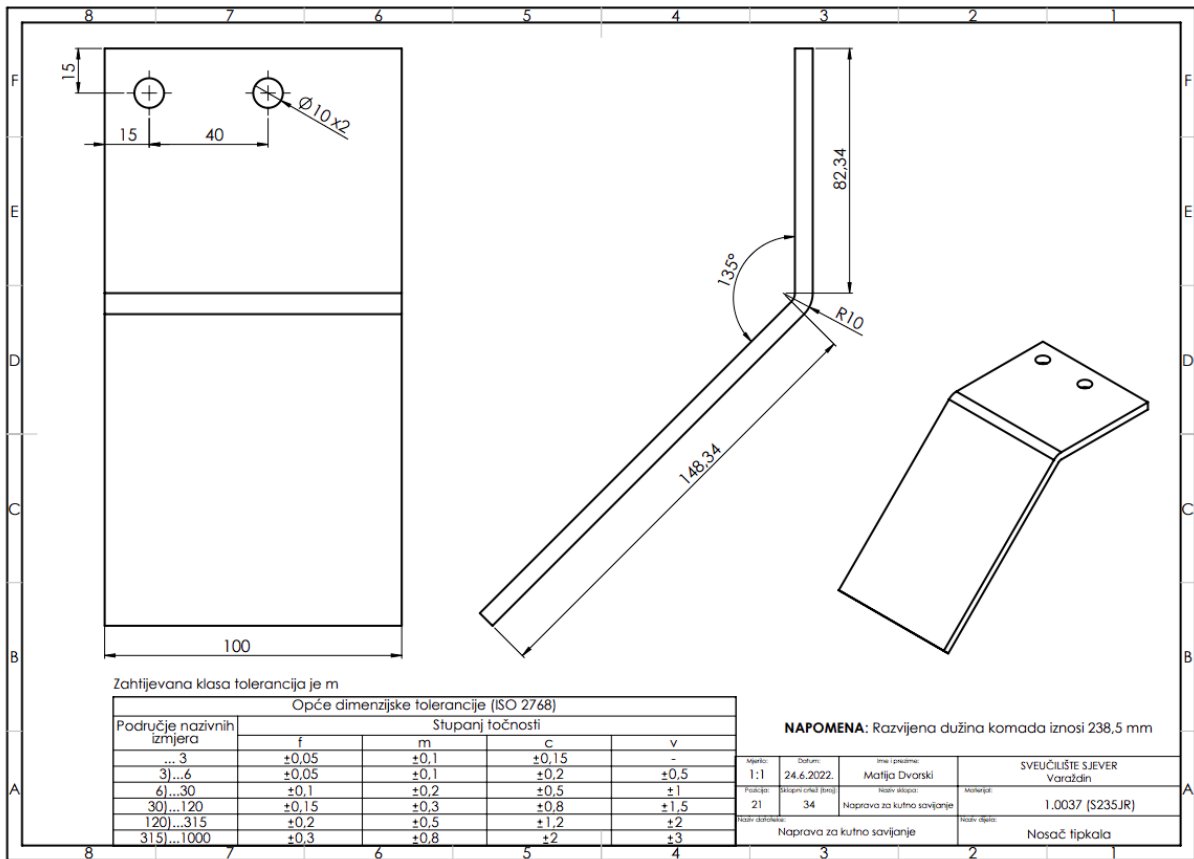
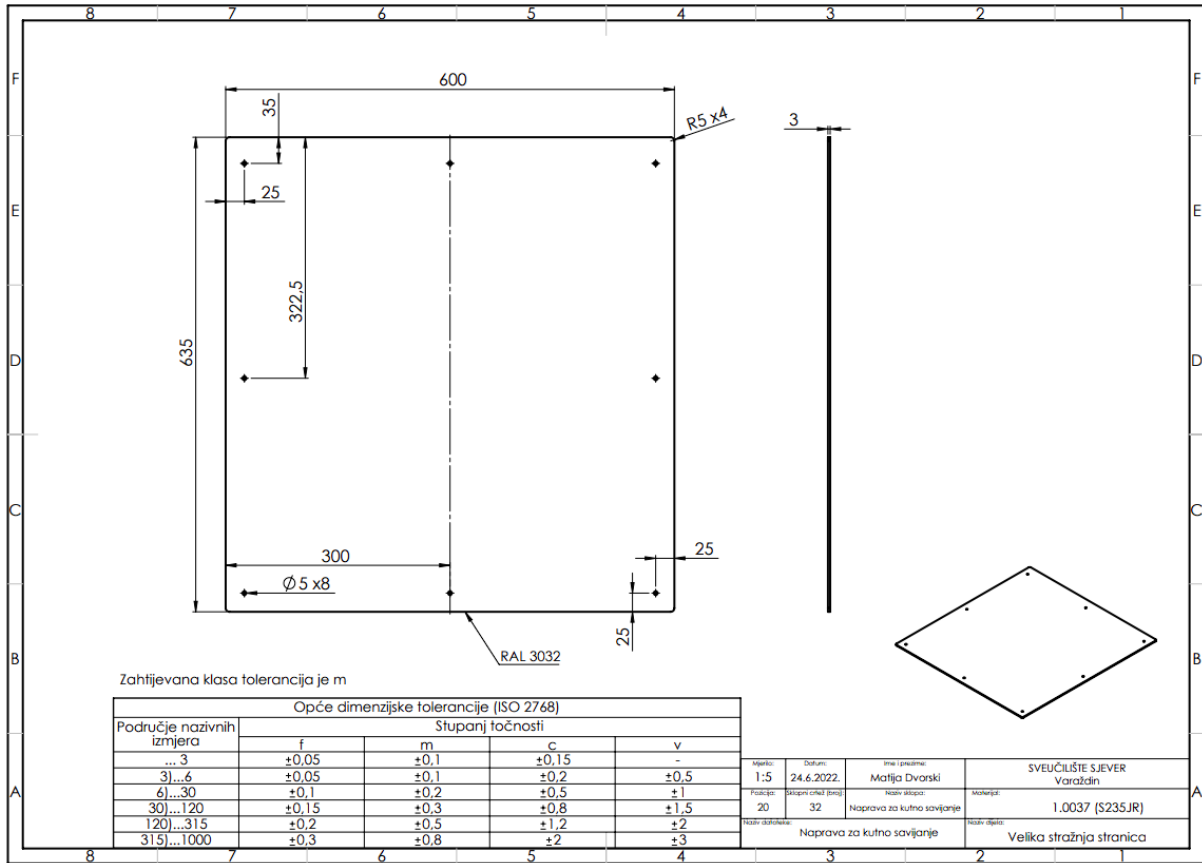


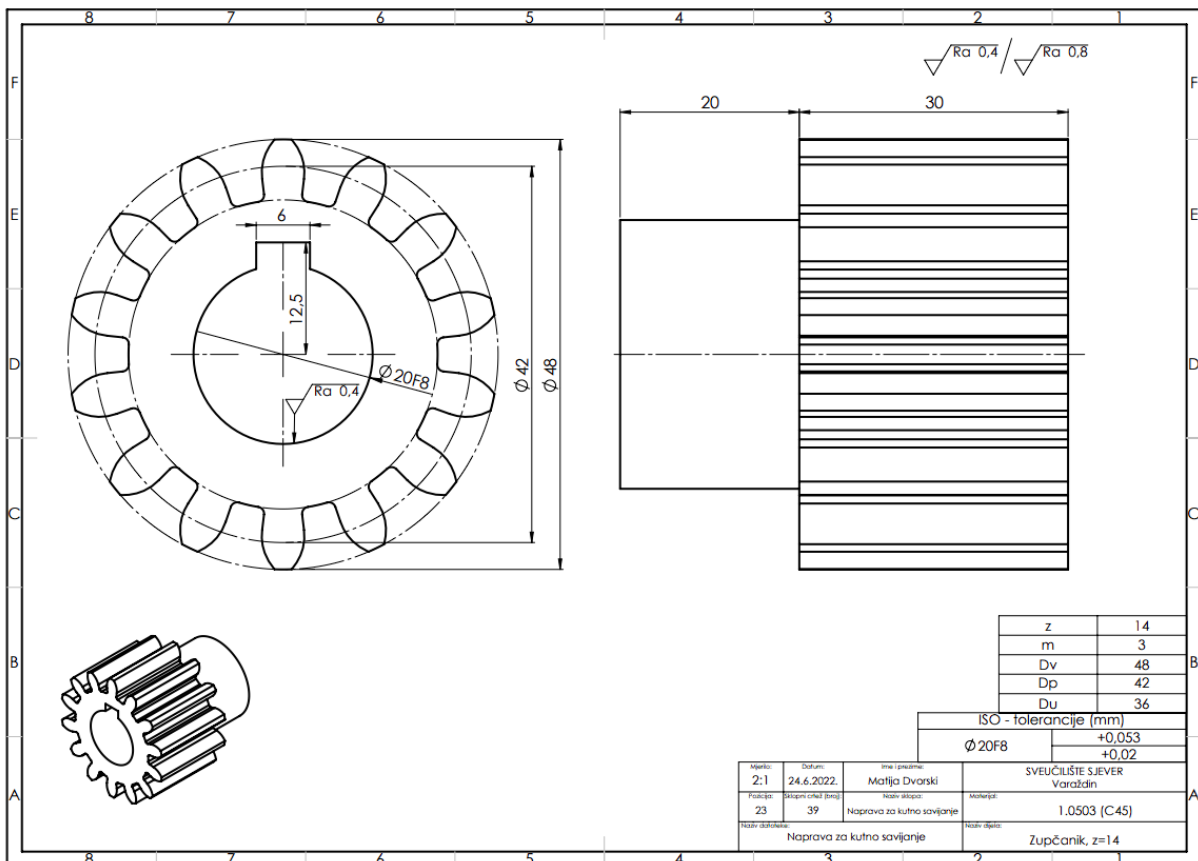
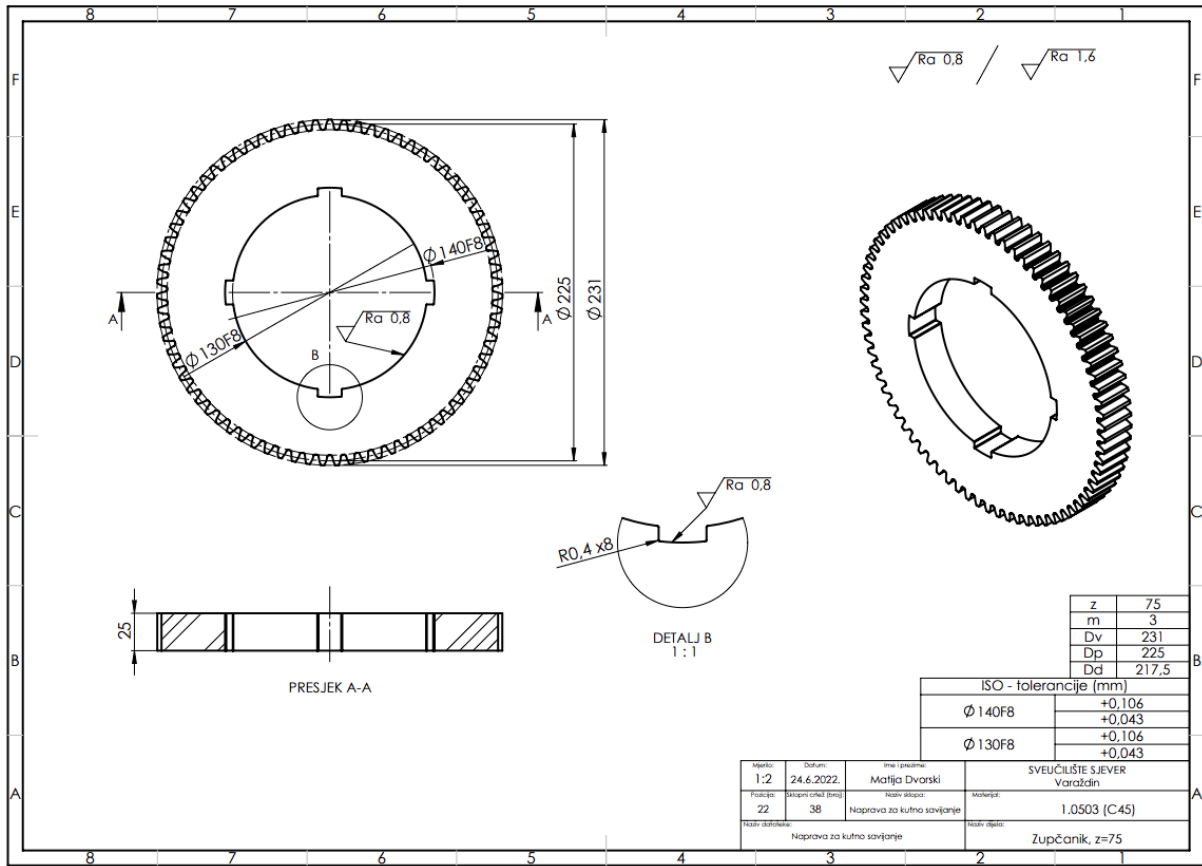




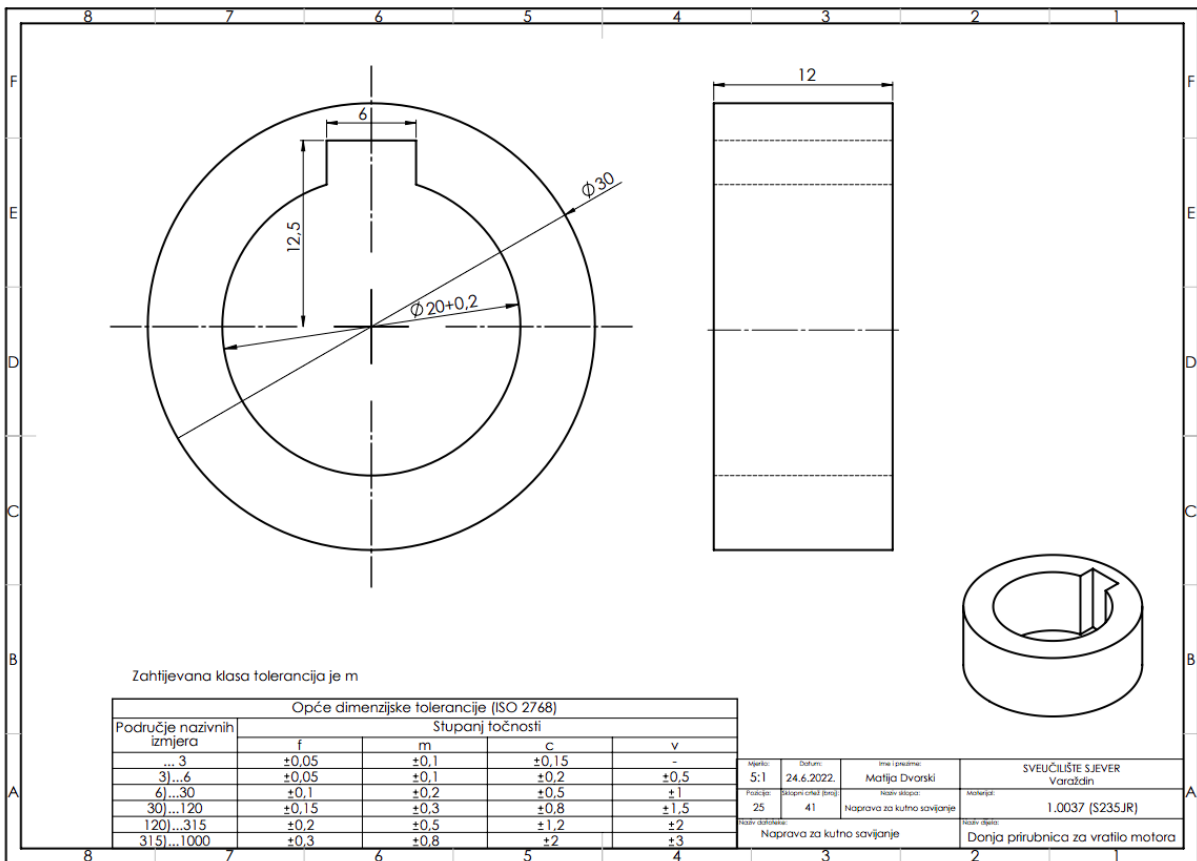
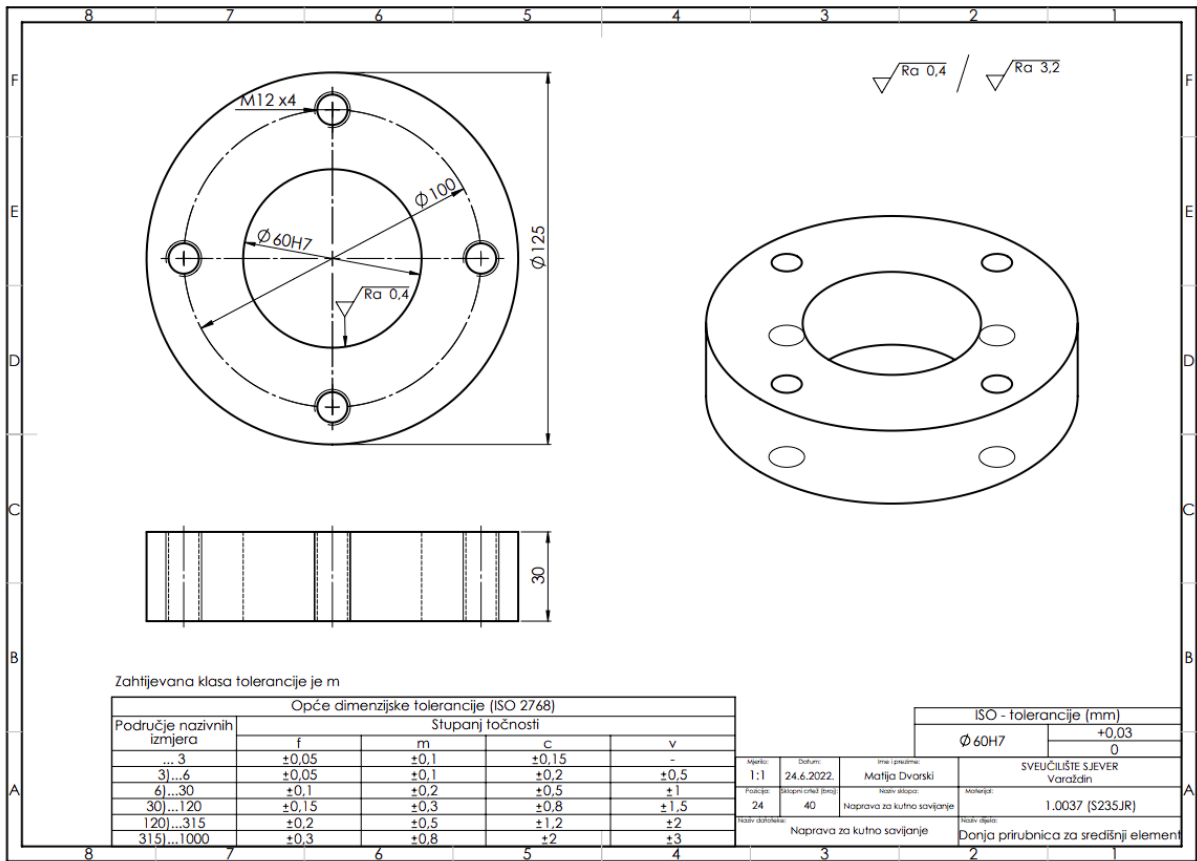


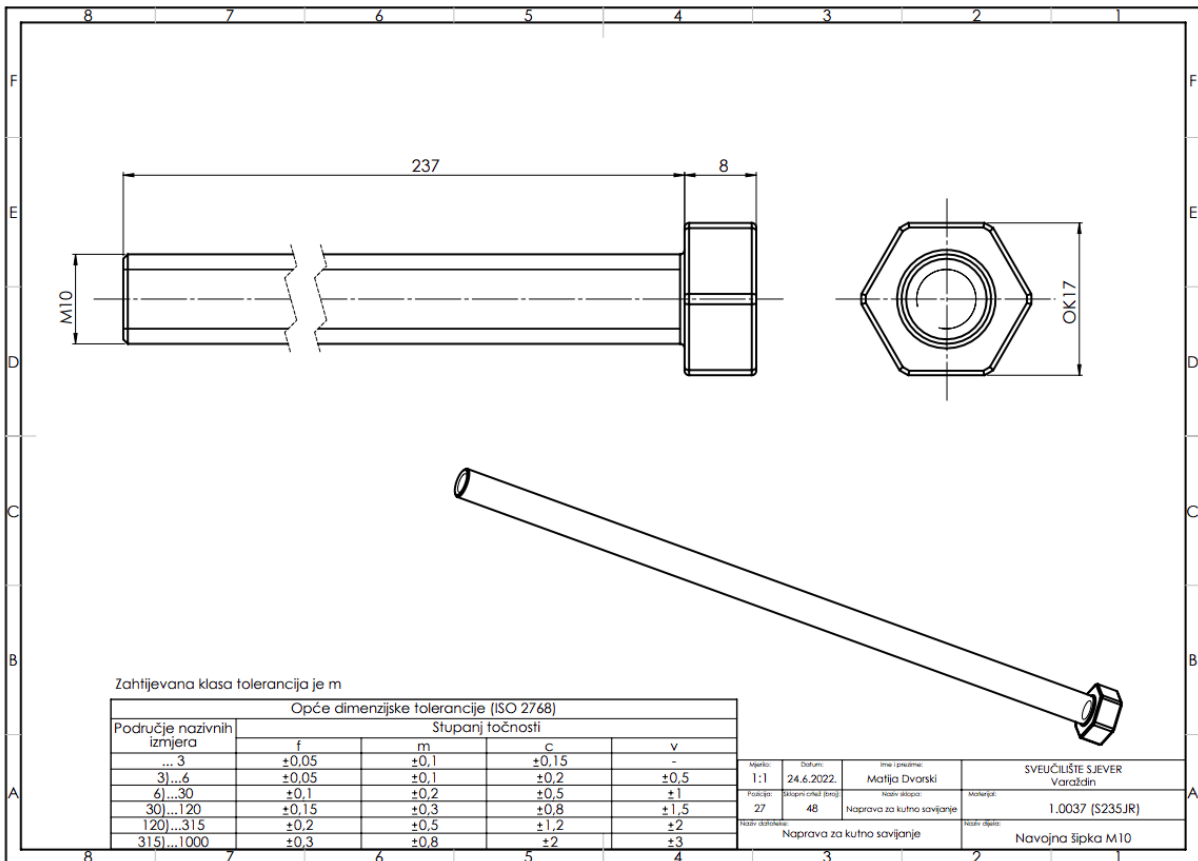
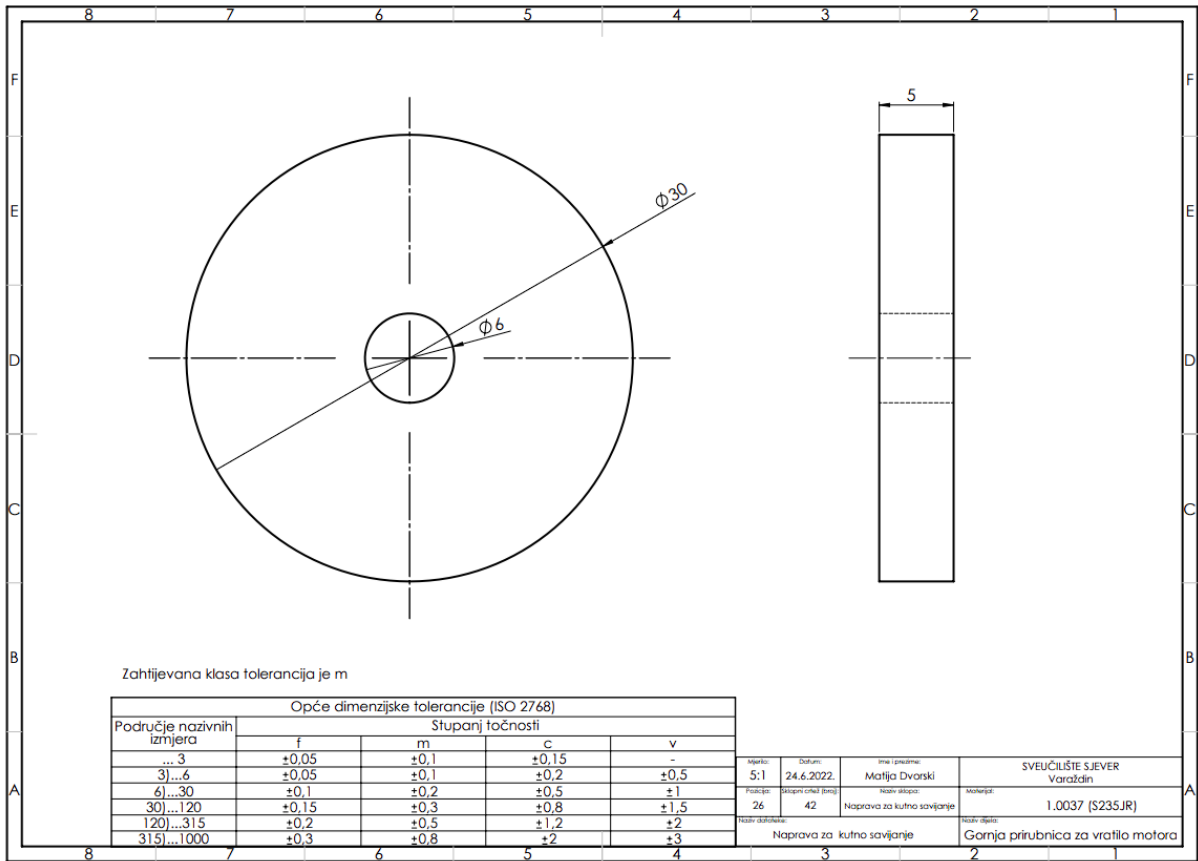












# Sveučilište Sjever

UNIVERSITÄT  
SIEBER



SVEUČILIŠTE  
SIEBER

## IZJAVA O AUTORSTVU

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

Ja, MATIJA DVORSKI (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom 3D OBLIKOVANJE NAPRAVE ZA KUTNO SAVIJANJE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/~~ica~~

(upisati ime i prezime)

MATIJA DVORSKI

*M. Dvorski*

(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.