

# Izrada tehničke dokumentacije za jednostupanjski zupčani prijenosnik s zupčanicima s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem

---

**Pofuk, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:908795>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-01**



*Repository / Repozitorij:*

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository - Polytechnic of Međimurje Undergraduate and Graduate Theses Repository](#)



MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

STRUČNI STUDIJ – ODRŽIVI RAZVOJ

Matija Pofuk

**IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE ZA  
JEDNOSTUPANJSKI ZUPČANI PRIJENOSNIK S  
ZUPČANICIMA S ČELNICIMA S RAVNIM ZUBIMA  
I LIJEVANIM KUĆIŠTEM**

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2022.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

STRUČNI STUDIJ – ODRŽIVI RAZVOJ

Matija Pofuk

**PREPARATION OF TECHNICAL  
DOCUMENTATION FOR SINGLE-STAGE  
GEARBOX WITH GEARS WITH HEADS WITH  
STRAIGHT TEETH AND CAST HOUSING**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
dr.sc. Mario Šercer, pred.

ČAKOVEC, 2022.

**MEDIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Čakovec, 11. veljače 2020.

država: **Republika Hrvatska**  
Predmet: **Tehnologija II**

**ZAVRŠNI ZADATAK br. 2019-OR-R-141**

Pristupnik: **Matija Pofuk (0313021035)**  
Studij: **redovni preddiplomski stručni studij Održivi razvoj**  
Smjer: **Termotehničko strojarstvo**

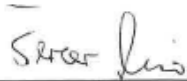
Zadatak: **Izrada tehničke dokumentacije za jednostupanjski zupčani prijenosnik s zupčanicima s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem**

**Opis zadatka:**

Prijenosnici snage su mehanički sklopovi koji se koriste za prijenos snage ili gibanja sa pogonskog na gonjeni dio stroja. Od svih prijenosnika danas su najčešće u primjeni zupčani prijenosnici. U okviru zadane teme potrebno je na temelju zadanih parametara računski odrediti osnovne veličine zupčastog prijenosa, izraditi 3D model svih dijelova i napraviti sklop. Nadalje, potrebno je razraditi tehničku dokumentaciju (proizvodne nacрте) svih dijelova i sklopa prijenosnika.

Rok za predaju rada: **20. rujna 2020.**

Mentor:



dr. sc. Mario Šerčer, struč.spec.ing.mech.  
pred.

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

## **ZAHVALA**

*Izjavljujem da sam rad napisao samostalno koristeći znanje stečeno tijekom studija i navedenu literaturu.*

*Zahvaljujem se mentoru. dr. sc. Mariu Šerceru, pred. na povjerenju te na pomoći i savjetima koje mi je davao tijekom izrade ovog rada.*

STUDENT:

Matija Pofuk

## SAŽETAK

*Tema ovog rada jeste izrada tehničke dokumentacije jednostupanjskog zupčanog prijenosnika s zupčanicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem. Tehnička dokumentacija je skup nacrti koji se koriste u struci za opisivanje upotrebe, funkcionalnosti te načina izrade predmeta odnosno projekta, detaljnije je pojašnjena u nastavku rada. Nacrti jednostupanjskog prijenosnika (skraćeno reduktor) su izrađeni u grafičkom računalnom programu (engl. Computer Aided Design – CAD program) SolidWorks prema parametrima proračunatim u programu Microsoft Office Excell sa zadanim ulazni vrijednostima. Grafički računalni programi su postali neophodan dio gotovo svake industrije zbog svojih prednosti u odnosu na klasične metode koje su se koristile u prošlosti. Jedna od najznačajnijih prednosti je brzina izrade i mogućnost ažuriranja projekata što je u prijašnjim vremenima bilo gotovo ne zamislivo, te se nakon svake promjene moralo raditi ispočetka što je oduzimalo vrlo mnogo vremena, sve prednosti grafičkih sustava su detaljnije pojašnjene u nastavku završnog rada. Proračun reduktora je podijeljen na proračun zupčanika, vratila  $V_1$  (ulazno vratilo), vratila  $V_2$  (izlazno vratilo) te proračuna elektromotora. Proračun ležajeva nije proveden već su ležajevi potrebni za reduktor ovog rada odabrani sa internetske stranice jednog od najvećih distributera i proizvođača ležajeva, a to je švedska kompanija SKF. Prilikom odabira ležajeva unesene su samo ulazne vrijednosti. U radioničkim nacrtima se opisuje svaki dio reduktora zasebno, od materijala sve do postupaka obrade, te izgleda cijelog sklopa i njegovog presjeka. Reduktor je mehanički prijenosnik s pomoću kojeg se smanjuje brzina vrtnje pogonskog vratila, a pritom se brzina vrtnje pogonskog stroja ili motora ne mijenja. Suprotno reduktoru jest multiplikator koji funkcionira na način da povećava brzinu vrtnje. Jednostupanjski reduktor koji se konstruirao u ovom radu se sastoji od jednog para spregnutih zupčanika gdje je manji zupčanik pogonski dok je onaj veći gonjeni, dva vratila (ulaznog i izlaznog), kućišta (postolje, gornji poklopac, bočni poklopci te poklopac za provjeru), ležajeva i ostalih elemenata (odzračnik, vijci, očni vijak...)*

**Ključne riječi:** *zupčani prijenosnik, tehnička dokumentacija, SolidWorks, prednosti grafičkih sustava, proračun reduktora*

## SUMMARY

*The topic of this paper is the creation of technical documentation of a single-stage gear transmission with gears with straight teeth and a cast housing. Technical documentation is a set of blueprints that are used in the profession to describe the use, functionality and way of making an object or project, it is explained in more detail in the rest of the work. The drawings of the single-stage transmission (abbreviated reducer) were made in the graphic computer program (English Computer Aided Design – CAD program) SolidWorks according to the parameters calculated in the Microsoft Office Excell program with default input values. Graphical computer programs have become an indispensable part of almost every industry because of their advantages over the classical methods used in the past. One of the most significant advantages is the speed of creation and the possibility of updating projects, which in previous times was almost unimaginable, and after each change had to be done from the beginning, which took a lot of time, all the advantages of graphic systems are explained in more detail in the continuation of the final work. The calculation of the reducer is divided into the calculation of the gears, shaft V1 (input shaft), shaft V2 (output shaft) and the calculation of the electric motor. The calculation of the bearings was not carried out, but the bearings needed for the reducer of this work were selected from the website of one of the largest distributors and manufacturers of bearings, which is the Swedish company SKF. When selecting bearings, only input values were entered. In the workshop drawings, each part of the reducer is described separately, from the material to the processing procedures, as well as the appearance of the entire assembly and its cross-section. A reducer is a mechanical transmission with which the speed of rotation of the drive shaft is reduced, while the speed of rotation of the driving machine or engine does not change. The opposite of the reducer is the multiplier, which functions in a way that increases the speed of rotation. The single-stage reducer constructed in this work consists of one pair of coupled gears where the smaller gear is the driving gear while the larger one is driven, two shafts (input and output), housing (base, top cover, side covers and inspection cover), bearings and other elements (breather, screws, eye screw...)*

**Keywords:** *gear transmission, technical documentation, SolidWorks, advantages of graphic systems, reducer calculation*

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA .....	V
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Formati papira .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Zaglavlje i sastavnica .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Mjerila .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Pozicijski brojevi .....</b>	<b>5</b>
<b>2.5. Tehničko pismo .....</b>	<b>6</b>
<b>2.6. Vrste crta .....</b>	<b>6</b>
<b>2.7. Aksonometrijska projekcija .....</b>	<b>7</b>
2.7.1. Izometrijska projekcija .....	7
2.7.2. Dimetrijska projekcija .....	8
2.7.3. Trimetrijska projekcija .....	8
2.7.4. Kosa projekcija .....	8
<b>2.8. Ortogonalno projiciranje .....</b>	<b>8</b>
<b>2.9. Pogledi .....</b>	<b>10</b>
<b>2.10. Presjeci .....</b>	<b>10</b>
<b>2.11. Šrafure .....</b>	<b>11</b>
<b>2.12. Kotiranje .....</b>	<b>11</b>
2.12.1. Osnovna pravila kotiranja .....	12
<b>2.13. Klasifikacija hrapavosti .....</b>	<b>13</b>
<b>2.14. Kvaliteta obrađenih površina .....</b>	<b>13</b>



2.15. Tolerancije prema ISO standardu .....	17
2.16. Tolerancije oblika i položaja .....	21
2.17. Program za izradu tehničke dokumentacije .....	24
<b>3. REDUKTOR.....</b>	<b>26</b>
3.1. Što je reduktor .....	26
3.1.1. Podjela reduktora.....	26
3.1.2. Zupčasti reduktori.....	26
3.1.3. Upotreba.....	27
3.1.4. Dijelovi reduktora .....	27
3.2. Zupčanici .....	27
3.2.1. Osnovne mjere i pojmovi kod čelnika .....	28
3.2.2. Evolventno i cikloidno ozubljenje .....	30
3.2.3. Materijali za izradu zupčanika .....	30
3.2.4. Dodirnica i zahvatna pruga .....	31
3.2.5. Osnovni zakon ozubljenja .....	31
3.2.6. Oblik i izvedba čelnika.....	31
3.2.7. Toplinska obrada zupčanika.....	31
3.2.8. Podmazivanje zupčanika .....	32
3.2.9. Oštećivanje i trošenje zuba.....	32
3.3. Osovine i vratila.....	33
3.3.1. Materijali za izradu i oblikovanje osovina i vratila .....	34
3.3.2. Izrada osovina i vratila .....	34
3.3.3. Oblikovanje osovina i vratila .....	34
3.3.4. Sile i momenti .....	35
3.4. Ležajevi.....	36
3.4.1. Valjni ležaji .....	37
3.4.2. Trenje u valjnim ležajima.....	38
3.4.3. Vrste valjnih ležaja.....	38
3.4.4. Kuglični ležaji .....	38
3.4.5. Konstrukcijski materijali valjnih ležaja.....	39
3.4.6. Montaža i ugradnja valjnih ležaja .....	40
3.4.7. Podmazivanje valjnih ležaja.....	40

3.4.8. Podmazivanje mašču.....	40
3.4.9. Podmazivanje uljem.....	41
3.4.11. Nosivost i trajnost valjnih ležaja.....	41
3.4.12. Statička nosivost valjnih ležaja.....	42
3.4.13. Dinamička nosivost valjnih ležaja.....	42
3.4.14. Izbor valjnih ležaja.....	43
3.5. Kućišta kod zupčanih prijenosnika.....	44
3.5.1. Izvedba kućišta.....	45
3.5.2. Materijali od kojih se izrađuju kućišta su:.....	45
4. PRORAČUN.....	46
4.1. Zadane vrijednosti.....	46
4.2. Izračun pogonskog i gonjenog zupčanika ( $z_1$ i $z_2$ ).....	47
4.3. Izračun vratila $V_1$ .....	53
4.4. Izračun vratila $V_2$ .....	56
4.5. Izračun elektromotora.....	60
4.6. Ležajevi.....	62
5. LITERATURA.....	67
6. PRILOZI.....	68

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1</b> Okvir i rub kod formata A3 i A5 .....	3
<b>Slika 2</b> Zaglavlje korišteno u radioničkim nacrtima .....	4
<b>Slika 3</b> Osnovne vrste crta u tehničkoj dokumentaciji.....	6
<b>Slika 4</b> Raspored pogleda.....	10
<b>Slika 5</b> Prikaz označavanja pogleda.....	10
<b>Slika 6</b> Stanje površine sa referentnom dužinom "l" .....	13
<b>Slika 7</b> Prikaz označavanja kada se ista hrapavost zahtijeva na prikazanim stranicama .....	14
<b>Slika 8</b> Dodatne oznake kvalitete.....	15
<b>Slika 9</b> Oznake te prikaz smjera obrade površine .....	16
<b>Slika 10</b> Primjer a.....	17
<b>Slika 11</b> Primjer b .....	17
<b>Slika 12</b> Primjer c.....	17
<b>Slika 13</b> Primjer d .....	17
<b>Slika 14</b> Prikaz tolerancija .....	19
<b>Slika 15</b> Položaj tolerancijskih polja kod unutrašnjih mjera (provrti).....	20
<b>Slika 16</b> Položaj tolerancijskih polja kod vanjskih mjera (osovina) .....	20
<b>Slika 17</b> Način ispunjavanja zahtjeva za toleranciju.....	23
<b>Slika 18</b> Usporedba modula koji se nude sa svakom verzijom.....	25
<b>Slika 19</b> Evolventni profil zuba.....	30
<b>Slika 20</b> Cikloidni profil zuba.....	30
<b>Slika 21</b> Vrste ležaja prema smjeru djelovanja: a) radijalni ležaj; b) aksijalni ležaj; c) kombinirani ležaj .....	36
<b>Slika 22</b> Najvažnije vrste kugličnih ležaja .....	39
<b>Slika 23</b> Rezultati odabira ležaja za vratilo V1 .....	64
<b>Slika 24</b> Rezultati odabira ležaja za vratilo V2 .....	66

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1</b> formati crteža.....	3
<b>Tablica 2</b> Mjerila propisana normom ISO 5455/12.79.....	5
<b>Tablica 3</b> Debljine crta .....	7
<b>Tablica 4</b> Vrste tolerancija položaja i oblika .....	22
<b>Tablica 5</b> Prednosti i nedostaci kliznih i valjnih ležaja .....	37
<b>Tablica 6</b> Faktor sigurnosti valjnih ležaja.....	42
<b>Tablica 7</b> Trajnost valjnih ležaja; .....	43
<b>Tablica 8</b> Ulazni parametri kod odabira ležaja.....	62

## POPIS OZNAKA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	DEFINICIJA
$A$	$m^2$	površina
$a$	mm	razmak osi vratila
$b$	mm	širina zupčanika
$c$	mm	tjemena zračnost
$d$	mm	diobeni promjer gonjenog i pogonskog zupčanika
$d_a$	mm	tjemeni promjer
$d_b$	mm	osnovni temeljni promjer
$d_f$	mm	podnožni promjer
$d_w$	mm	promjer kinematske kružnice
$F_r$	N	radijalna sila na diobenoj kružnici
$F_t$	N	obodna sila na diobenoj kružnici
$h_f$	mm	podnožna visina zuba
$h_a$	mm	visina glave zuba
$i$		prijenosni omjer
$K_A$		pogonski faktor
$K_{Fa}$		faktor raspodjele opterećenja pri proračunu opteretivosti korijena
$K_{Ha}$		faktor raspodjele opterećenja pri proračunu opteretivosti bokova
$m$	mm	modul
$M$	Nm	moment savijanja sile
$n$	$s^{-1}$	brzina vrtnje
$p$	mm	korak ( $m \cdot \pi$ )
$P$	W	prenosiva snaga
$r$	mm	polumjer
$T$	Nm	moment vrtnje (okretni moment)
$t$	K	temperatura
$v$	m/s	obodna brzina na diobenoj kružnici

$Y_F$		faktor oblika za proračun opterećenja korijena zuba
$Y_s$		faktor zareznog djelovanja kod proračuna naprezanja korijena zuba
$z_{1/2}$		broj zubi manjeg i većeg zupčanika
$\alpha$	°	zahvatni kut (normirani na 20 °)
$\lambda$		faktor širine zuba
$\sigma_F$	N/mm <sup>2</sup>	naprezanje na savijanje u korijenu zuba
$\sigma_{Flim}$	N/mm <sup>2</sup>	dinamička čvrstoća kod naprezanja na savijanje korijena zuba
$\sigma_{FP}$	N/mm <sup>2</sup>	praktički dozvoljena vrijednost naprezanja u korijenu zuba
$\sigma_H$	N/mm <sup>2</sup>	Hertzov pritisak u kinematskom polu
$\sigma_{Hlim}$	N/mm <sup>2</sup>	dinamička čvrstoća kontaktnog pritiska
$\sigma_{HP}$	N/mm <sup>2</sup>	praktički dozvoljeni kontaktni pritisak bokova

## 1. UVOD

Izrada tehničke dokumentacije se kroz povijest uvelike mijenjala te se usporedno sa razvojem tehnologije i ona razvijala. Razvijali su se programi koji su znatno ubrzavali i olakšavali izradu dokumentacije. U aktualno vrijeme klasična se izrada rukom smatra zastarjelom zbog programa koji su se razvili. Programi koji se koriste za izradu tehničke dokumentacije se nazivaju grafički računalni programi odnosno *engl. Computer Aided Design* (CAD programi). Grafički računalni programi nude alate poput kreiranja, mijenjanja, analize, sinteze, prikazivanja i simulacije stanja. Dakle CAD ne podrazumijeva samo tehničke crteže već i prikaz čitavog složenog sklopa sastavljenog od niza cjelina. Osim toga konstruiranje pomoću računala nudi mogućnost povezivanja sa drugim računalnim programima kao što su:

- CAM – *engl. Computer Aided Manufacturing,*
- CADD – *engl. Computer Aided Design and Documentation,*
- CAE – *engl. Computer Aided Engineering,*
- CAP – *engl. Computer Aided Planning,*
- CAQ – *engl. Computer Aided Quality Assurance,*
- CAMRP – *engl. Computer Aided Material Requirements Planning i*
- CIM – *engl. Computer Integrated Manufacturing.*

Grafički programski sustavi funkcioniraju na dva načina, jedan je u dvije dimenzije dok je drugi u tri, detaljnije obrazloženo u poglavlju 2.17. Neki od programa za izradu tehničke dokumentacije su AutoCAD, QCAD, LibreCAD, Catia, SolidWorks, Autodesk Inventor...

Od prethodno navedenih CAD programa za potrebe rada korišten je program SolidWorks u kojem je konstruiran trodimenzionalni jednostupanjski zupčani prijenosnik te u kojem su izrađeni nacrti prema tom modelu. Osim SolidWorksa za potrebe rada je i korišten SolidWorks Composer. To je program koji se nalazi u paketu zajedno SW-om, te on omogućuje kvalitetniji prikaz animacija, načina spajanja elemenata u sklopove, renderiranje itd. Oba programa korištena u radu su verzije 2020. godine service pack 04.

## 2. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA

Tehnička dokumentacija je skup tehničkih crteža<sup>1</sup> i teksta kojima se prikazuje postupak izrade nekog proizvoda ili strojarskog dijela od početne ideje do kasnije upotrebe. Tehnička dokumentacija je propisana standardima. Standardi ili norme su podijeljeni na više razina, svjetski, kontinentalni, te standardi na razini države. Od svjetskih standarda najvažniji su ISO (*engl. International Organization for Standardization*) i ANSI (*engl. American National Standards Institute*). Na razini kontinenta su to Europske norme (za zemlje članice Europske Unije) dok Hrvatski zavod za norme izdaje norme koje djeluju na razini države. Od ostalih normi važno je spomenuti i DIN normu (*njem. Deutsches Institut für Normung*). Prema tome tehnički se crteži dijele na:

- ponudbeni crtež,
- radionički crtež,
- sastavni crtež,
- instalacijski crtež,
- montažni crtež,
- situacijski crtež,
- patentni crtež,
- shematski crtež,
- dijagrami i
- monogram.

Od prethodno navedenih važno je istaknuti radionički i sastavni crtež zbog upotrebe u završnom radu. Radionički crtež služi za izradu predmeta dok sastavni prikazuje sastav cijelog stroja ili samo nekog određenog sklopa.

Elementi tehničkog crteža su format papira, zaglavlje i sastavnica, pozicijski brojevi, mjerila, tehničko pismo, vrste crta, projekcije, tolerancije i hrapavost industrijskih proizvoda,

---

<sup>1</sup> Tehnički crteži – crteži koji su po namjeni i načinu izrade propisani standardom



## 2.1. Formati papira

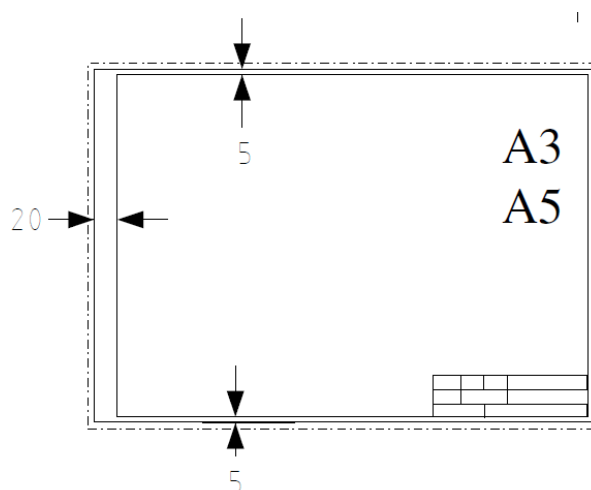
Formatom papira određuje se oblik i veličina papira u tehničkom crtanju, svi formati su standardizirani. Osnovni format A0 ima površinu od 1 [m<sup>2</sup>] odnosno duljine stranica: 841 x 1189 [mm], svaki sljedeći se dobiva raspolavljanjem većeg formata po duljoj stranici. Sedam formata koji se najviše koriste su prikazani u sljedećoj tablici:

*Tablica 1 formati crteža*

OZNAKA	OBREZANI FORMAT	NEOBREZANI FORMAT	POVRŠINA (m <sup>2</sup> )
A0	841 X 1189	880 X 1230	1
A1	594 X 841	625 X 880	1/2
A2	420 X 594	450 X 625	1/4
A3	297 X 420	330 X 450	1/8
A4	210 X 297	240 X 330	1/16
A5	148 X 210	165 X 240	1/32
A6	105 X 148	120 X 165	1/64

*Izvor: Kukec, Đ.; Kukec, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.*

Kod svih formata postoji okvir crteža koji je udaljen 5 [mm] od obrezanog formata, kod formata A3 – A6 lijevi rub okvira je udaljen 20 [mm] zbog uvezivanja. Na slici ispod prikazan je potpuni izgled crteža (sa okvirom, obrezanim i neobrezanim formatom) za A3 i A5 veličine papira.



*Slika 1 Okvir i rub kod formata A3 i A5*

*Izvor: Kukec, Đ.; Kukec, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.*



## 2.2. Zaglavlje i sastavnica

Svaki crtež mora sadržavati tablicu zaglavlja koja služi za upisivanje podataka nužnih za njegovu uporabu. U pravilu zaglavlje se ucrtava u donjem desnom kutu formata. Oblik i sadržaj zaglavlja nisu jednoznačno određeni što znači da oni mogu varirati od konstruktora do konstruktora, zaglavlje korišteno u završnom radu je konstruirano prema potrebama rada (vidi sliku 2), međutim u pravilu sadrži podatke koji su potrebni za identifikaciju i razumijevanje sadržaja crteža, a ti podaci su:

- naziv crteža/predmeta,
- broj crteža,
- naziv tvrtke, poduzeća ili ustanove u kojoj je crtež izrađen,
- mjerilo,
- imena i popise odgovornih osoba za sadržaj crteža,
- itd.

Osim zaglavlja još se koristi i sastavnica koja je važan dio tehničke dokumentacije crteža. Sastavnica ima oblik, nije striktno određeni već može varirati u nekim segmentima kao i zaglavlje, tablice u koju se upisuju svi dijelovi prikazanog predmeta u cilju pravilnog korištenja crteža, ona se uvijek ispunjava odozdo prema gore.

Sastavnica može biti smještena na crtežu ili odvojeno, ako je smještena na crtežu tada se crta zajedno sa zaglavljem, odnosno iznad njega.

Broj naziva/pozicija		Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal:	
	Projektirao		Matija Pofuk			
	Crtao		Matija Pofuk		Masa:	
	Pregledao					
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem					
	Naziv:			Napomena:	Kopija	
		Crtež broj:				Format:
						List:
	Mjerilo					

Slika 2 Zaglavlje korišteno u radioničkim nacrtima

Izvor: Izrada autora

### 2.3. Mjerila

Mjerilo je odnos između veličine slike predmeta i veličine stvarnog predmeta, te je ono propisano normom. Ukoliko je moguće, predmeti se na tehničkim crtežima najprije crtaju u mjerilu M1:1, tako je i u dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim grafičkim sustavima (CAD programima) gdje se modelira uvijek u mjerilu M1:1, međutim ako prikaz u stvarnoj veličini nije prikladan u tom slučaju on se može prikazati umanjeno ili uvećano.

*Tablica 2 Mjerila propisana normom ISO 5455/12.79*

Prirodna veličina	1:1
Smanjenje	1:2; 1:5; 1:10; 1:20; 1:50; 1:100; itd.
Uvećanje	2:1; 5:1; 10:1; 20:1; 50:1; 100:1; itd.

*Izvor: Kucec, Đ.; Kucec, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.*

Sve projekcije istog predmeta koje tvore cjelinu crtaju se u istom mjerilu, osim ako crtež sadrži detalje koji se mogu crtati u različitim mjerilima tada mjerilo koje prevladava na crtežu naziva se glavno mjerilo. Glavno mjerilo upisuje se povećanim slovima u zaglavlje dok se sva ostala mjerila upisuju ispod glavnog manjim slovima te se također upisuju pokraj crteža detalja.

### 2.4. Pozicijski brojevi





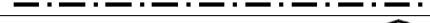

Pozicijski brojevi su elementi tehničke dokumentacije koji imaju zadaću olakšati prikaz i razumijevanje samog tehničkog crteža, oni se razmještaju logičkim redom u cilju lakšeg razumijevanja crteža. Pozicijski brojevi se sastoje od: pokazne oznake koja mora biti dva put veća od kotnih oznaka, jedne debele crte koja podcrtava pozicijsku oznaku te jedne tanke crte koja spaja debelu sa onim djelom crteža na koji se ta oznaka odnosi. Na kraju tanke pokazne crte stavlja se točka. Pokazne linije se ne smiju međusobno sjeći, također treba izbjegavati njihovo sječenje sa kotnim crtama.

## 2.5. Tehničko pismo

Pod pojmom tehničko pismo podrazumijeva se prikazivanje slova, brojki i znakova koji se koriste kod tehničke dokumentacije ili neke druge popratne dokumentacije. Postoji koso i uspravno pismo, koso pismo je pismo pisano pod kutom od  $75 [^\circ]$  i ono je nastalo kako bi se olakšalo pisanje prostom rukom, međutim u današnje vrijeme se preporučuje upotreba uspravnog pisma zato što se koso sve manje upotrebljava postojanjem šablona i mogućnosti snimanja u digitalni oblik. Normom ISO 3098/1 iz 1974. godine je propisana: nazivna visina slova (h), širina slova (d), visina malih slova (c), najmanji razmak između znakova (a) kao i najmanji razmak između riječi (e).

## 2.6. Vrste crta

Standard kojim su propisane vrste crta i njihova primjena jednak je onom iz prethodnog poglavlja odnosno to je ISO 3098/1, tim standardom je propisano šest različitih crta i dvije debljine. Šest osnovnih vrsta crta su [1]:

debela puna	a crta	
tanka puna	b crta	
crtkana	c crta	
debela crta-točka	d crta	
tanka crta-točka	e crta	
prostoručna	f crta	

Slika 3 Osnovne vrste crta u tehničkoj dokumentaciji

Izvor: Kukec, Đ.; Kukec, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.

- debela puna crta (a) – koristi se kod vidljivih bridova predmeta, završeci navoja, crte za podcrtavanje pozicijskih brojeva, strelice za smjer pogleda ...
- tanka puna crta (b) – koristi se kod vanjskih promjera unutarnjeg navoja, unutarnji promjer vanjskog navoja, nepotpuno izražene konture kod prodora, zaokretni presjeci, kotne i pomoćne kotne linije, dijagonale koje označavaju ravne površine, oznake kvalitete površine, šrafure,
- crtkana crta (c) – nevidljivi bridovi,

- debeli crta – točka (d) – tok presjeka (početak i kraj presječenih ravnina) koje se prikazuju u drugoj projekciji,
- tanka crta – točka (e) – središnjice, diobeni promjeri, polumjeri putanja, granični položaj poluga i drugih pokretnih dijelova, konture dijela predmeta koji se nalaze ispod zamišljenog presjeka, oblik predmeta prije konačnog oblika i
- prostoručna crta (f) – označavanje prekida i djelomičnih presjeka.

U tehničkom crtanju upotrebljavaju se dvije vrste debljina crta, vrsta 1 i vrsta 2. Vrsta 1 su uobičajene debljine dok su debljine kod vrste 2 nastale kao rezultat uvođenja rapidografa<sup>2</sup> u tehničko crtanje. Obje vrste debljina su navedene u tablici ispod.

*Tablica 3 Debljine crta*

VRSTA 1 [mm]	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4
VRSTA 2 [mm]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,2

*Izvor: Kukec, Đ.; Kukec, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.*

## 2.7. Aksonometrijska projekcija

Aksonometrijska projekcija se koristi za lako razumljivu trodimenzionalnu predodžbu predmeta jednim crtežom, ovisno o položaju i mjerilu u kojem se na koordinate osi nanose pojedine dimenzije razlikuju se četiri vrste aksonometrijskih projekcija, a one su izometrijska, dimetrijska, trimetrijska i kosa projekcija.

### 2.7.1. Izometrijska projekcija

Izometrijska je projekcija najpogodniji i najčešći način aksonometrijskog projiciranja tijela u prostoru, kod ovog načina projiciranja x i y osi su pod kutom od 30 [°] u odnosu na horizontalu, dok se tijelo/predmet crta u mjerilu 1:1:1.

<sup>2</sup> rapidograf – tehnička olovka je specijalizirani instrument koji inženjeri, arhitekti ili crtači koriste za izradu linija stalne debljine...

### 2.7.2. Dimetrijska projekcija

Dimetrijska projekcija predočava najvažniji pogled tijela sprijeda. Kod ovog načina projiciranja dimenzije tijela/predmeta u smjeru x osi su na polovici stvarne veličine odnosno one su u mjerilu 0.5 dok su u pravcu y i z osi u mjerilu 1:1, dakle dimenzije se crtaju u mjerilu -1:1:0.5. Kutovi u odnosu na horizontalu iznose 7 [°] i 42 [°].

### 2.7.3. Trimetrijska projekcija

Kod trimetrijske projekcije kutovi u odnosu na horizontalu iznose 5 [°] i 18 [°], dok se dimenzije stranica crteža crtaju u mjerilu 0,9:1:0,5.

### 2.7.4. Kosa projekcija

Kod kosog načina projiciranja osi y i z su pod pravim kutom na takav način da se prednja strana tijela potpuno vidi i prikazana je u mjerilu 1:1 dok se os x može crtati pod kutovima od 30 [°] ili 45 [°], ako se radi o kutu 45 [°] tada je odnos 1:1:0,5, a kada se radi o 30 [°] onda je 1:1:2/3.

## 2.8. Ortogonalno projiciranje

Ortogonalnim projiciranjem se predmet projicira ortogonalno (okomito) na projekcijske ravnine. Postoje tri projekcijske ravnine, na svakoj od tih triju nalazi se dvodimenzionalni prikaz predmeta. Osnovna svojstva ortogonalne projekcije su ta da bridovi koji su paralelni i jednaki u prostoru zadržavaju ta svojstva i u projekciji, isto tako kutovi koji su jednaki u prostoru zadržavaju isti odnos i u projekciji. Osnovna tri pogleda koja se vide na projekcijskim ravninama su:

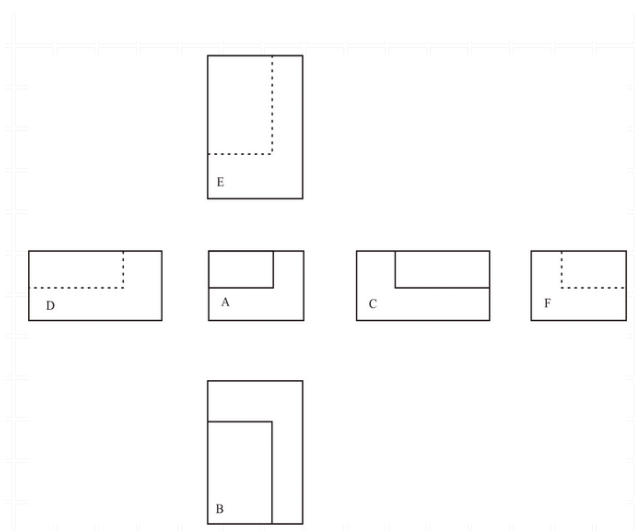
- nacrt – pogled sprijeda, leži pored bokocrta te sa njim ima istu visinu,
- bokocrt – pogled sa strane i
- tlocrt – pogled odozgo, leži točno ispod nacрта i sa njim ima istu širinu.

Ako se tri projekcijske ravnine zatvore sa još tri na način da zajedno oblikuju kvadar tada se još dobivaju tri dodatna pogleda: odozdo, pogled otraga i desni bokocrt odnosno pogled s desna.

Pravila ortogonalne projekcije su:

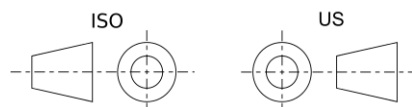
1. zrake projiciranja su okomite na ravninu crtanja,
2. predmet se nalazi između ravnine crtanja (projiciranja) i crtača, te
3. u projekciji se crta onaj dio predmeta koji se vidi u smjeru gledanja.

Na jednom crtežu koristi se onoliki broj pogleda koji je dovoljan za prikaz svih važnih informacija o dimenzijama i oblicima objekta. U većini slučajeva su dovoljna samo dva (nacrt i tlocrt) ili tri (nacrt, tlocrt i bokocrt) pogleda. Na slici 4 prikazan je raspored pogleda, prema ISO standardima, koji je obavezan za područje Europske Unije. Osim ISO rasporeda pogleda postoji još i US raspored (karakterističan za Sjedinjene Američke Države). Neovisno prema kojem se standardu prikazuje predmet potrebno je u sastavnicu navesti ISO odnosno US (ANSI) i krnji stožac (vidi sliku 4) kako bi se greške nastale prilikom analize tehničke dokumentacije za vrijeme suradnje među tvrtkama koje rade prema različitim normama svele na minimum.



Slika 4 Raspored pogleda

Izvor: Kukec, Đ.; Kukec, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.



Slika 5 Prikaz označavanja pogleda

Izvor: Kukec, Đ.; Kukec, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.

## 2.9. Pogledi

Pogledi su elementi tehničke dokumentacije koji imaju zadaću prikazati predmete iz neke druge točke gledišta kako bi se olakšalo razumijevanje samog nacрта. Pogled se označava sa strelicom i slovom, a iznad svakog pogleda piše se tekst “Pogled A, B, C...“.

Djelomičan pogled se koristi za bolje tumačenje pojedinih bitnih dijelova predmeta.

## 2.10. Presjeci

Presjeci se označavaju strelicama koje daju smjer pogleda, i debelom linijom crta – točka stila (d linija) u ravnini presjeka. Na mjestu presjeka ispisuje se tekst “Presjek A-A, B-B, C-C, itd., no kada je pravac presjeka jasan tada nije potrebno navoditi oznake presjeka već se one mogu izostaviti. Prilikom crtanja šupljih predmeta preporuča se upotreba presjeka jer ako bi se crtali nevidljivi bridovi tada bi crtež postao nejasan.

Presjeci se uglavnom rade uzduž osi predmeta ili okomito na nju. Presjeci kod kojih se predmet presijeca sa više ravnina od jedne se koriste samo kada je to potrebno za



razumijevanje crteža. Spojni elementi (vijci, svornjaci, podložne pločice, pera, klinovi ...) se ne sijeku ravninom presjeka.

## 2.11. Šrafure

Šrafure su paralelne linije najčešće pod kutom od  $45^\circ$  kojima se označavaju presjeci, odnosno šrafurama se ispunjava čitava površina presjeka. Gustoća šrafure prilagođava se veličini predmeta, vrlo velike površine presjeka se šrafiraju uskim pojasom šrafure. Šrafure istog predmeta trebaju imati jednako gustu i jednako nagnutu šrafuru. Šrafure presjeka kod različitih dijelova koji se nalaze jedan pored drugog moraju se razlikovati po smjeru i gustoći, a ako se prikazuje presjek istog dijela no taj presjek presijeca dio u dvije ravnine tada su šrafure istog smjera i gustoće no uz pomak od  $\frac{1}{2}$  šrafure. Presjeci vrlo uskih površina se ne šrafiraju već se presjek pocrni. Ukoliko je na šrafiranu površinu potrebno napisati neki tekst ili navesti oznaku tada se na tom mjestu šrafura prekida

## 2.12. Kotiranje

Kotiranje je postupak označavanja dimenzija na nekom tehničkom crtežu, u pravilu se kote na crtež unose samo na jednoj projekciji gdje te kote daju najjasniju sliku o dimenzijama.

Svaka kota u strojarskom kotiranju se sastoji od: glavne kotne crte (mjernica), pomoćne kotne crte, kotne strelice i kotnog broja. [2]

Glavna kotna crta ili mjernica je crta paralelna s dužinom čiju mjeru pokazuje. Udaljenost između bridova predmeta i mjernice je  $7 \div 8$  [mm].

Kotne strelice određuju odakle seže mjernica, te one ne smiju prelaziti pomoćne mjerne crte ili bridove. Strelice se uobičajeno crtaju unutar pomoćnih mjernih crta ili bridova no ako nema dovoljno mjesta za njihov smještaj tada se one crtaju izvana na produženim kotnim crtama.

Pomoćnim mjernim crtama izvlači se mjera predmeta izvan crteža predmeta, ona mora prelaziti mjernicu za  $1 \div 3$  [mm]. Pomoćne mjerne crte se mogu križati sa svim drugim vrstama crta osim s mjernicom.

Kotni brojevi određuju mjere predmeta, u strojarstvu veličine su izražene u milimetrima te to nije potrebno navoditi prilikom kotiranja, no u slučaju da se neka druga mjerna jedinica koristi tada se simbol mjerne jedinice uvijek upisuje skupa s kotnim brojem. Kotni brojevi se upisuju tehničkim pismom iznad mjernice po sredini na način da se mogu čitati odozdo i s desna. Svi kotni brojevi na jednom crtežu moraju biti jednake veličine. Veličina kotnih brojeva ovisi o širini pomoćne mjerne crte  $d$ , odnosno veličina iznosi 4-5  $d$ , uz uvjet ne manje od 2.5 [mm]. Kotni brojevi moraju biti uredni i čitki što znači da se ne smiju križati niti sa jednom drugim crtom.

### **2.12.1. Osnovna pravila kotiranja**

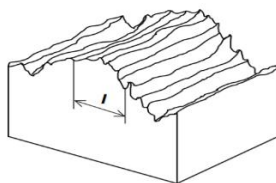
Osnovna pravila kojih se treba pridržavati prilikom kotiranja su sljedeća: [2]

1. kotama se moraju označiti sve mjere potrebne za točnu i jednoznačnu izradbu prikazanog predmeta,
2. svaka kota se unosi samo jednom i to u onom pogledu ili presjeku koji daje najjasniju predodžbu pojedinog dijela prikazanog predmeta,
3. kote moraju biti raspoređene po svim projekcijama jer svaka prikazuje nešto novo što se mora i kotirati,
4. kotni brojevi se pišu tehničkim pismom,
5. sve mjere u kotama unose se u milimetrima, kod strojarstva, dok u građevini u centimetrima. Ta se mjerna jedinica podrazumijeva i ne upisuje. Ukoliko se radi o nekoj drugoj mjernoj jedinici, npr. stupnjevi ta se jedinica upisuje,
6. u pravilu se kotiraju samo vidljivi bridovi predmeta. Izuzetno, u slučaju da se određeni bridovi prikazuju samo kao zaklonjeni mogu se kao takvi i kotirati,
7. kote se ucrtavaju na mjestima gdje su najuočljivije,
8. vezane kote, koje se koriste zajedno pri izradbi predmeta moraju se zajedno i ucrtavati na tehničkom crtežu,
9. kote vanjskog i unutarnjeg oblika predmeta smještaju se na različite strane i
10. crteži standardnih dijelova (koji se ne izrađuju s predmetom nego se nabavljaju kao gotovi dijelovi) se ne kotiraju nego se osnovni podaci o njima upisuju u sastavnicu.

### 2.13. Klasifikacija hrapavosti

Tehnički crtež osim što mora sadržavati sve prethodno navedene parametre također mora sadržavati i podatke koji se odnose na stanje površine gotovog proizvoda. Stanje površine određuje se jednolikošću i glatkošću te iste površine. Na površini izratka razlikuju se dvije vrste geometrijskih odstupanja, to su mikrogeometrijska i makrogeometrijska odstupanja. Makrogeometrijska odstupanja su odstupanja sa velikom valnom duljinom. Mikrogeometrijska odstupanja ili drugim nazivom površinska hrapavost je sveukupna mikrogeometrijska nepravilnost na površini predmeta (koje su mnogo puta manje od površine cijelog predmeta), a prouzrokovana je postupkom obrade ili nekim drugim utjecajem. Veličina hrapavosti tehničke površine može utjecati na:

- smanjenje dinamičke izdržljivosti (smanjenje čvrstoće oblike),
- pojačano trenje i habanje opterećenih površina,
- smanjenje prijeklopa kod steznih spojeva, a time i smanjenje nosivosti steznog spoja,
- ubrzavanje korozije.



*Slika 6 Stanje površine sa referentnom dužinom "l"*

*Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.*

Hrapavost površine se razmatra u referentnoj dužini "l". Referentna dužina "l" je dužina u pravcu x osi koja se koristi za identifikaciju nepravilnosti koje karakteriziraju profile koji se mjere.

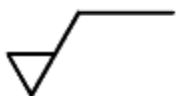
### 2.14. Kvaliteta obrađenih površina

Kontrola kvalitete obrađenih površina se vrši pomoću odgovarajućih mjernih uređaja i opreme, usporedbom površine s površinom uzorka, te iskustvenom ocjenom stupnja hrapavosti. Kvalitete svih površina na crtežu moraju biti definirane, a to se vrši uz pomoć

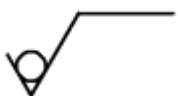
znakova i oznaka uz znakove, za definiranje kvalitete površine upotrebljavaju se sljedeće metode označavanja:



oznaka za kvalitetu površine dobivenu bilo kojom metodom

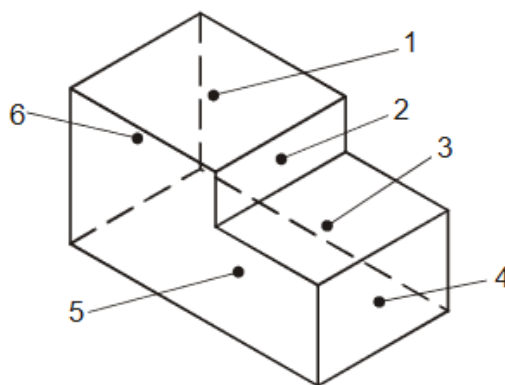
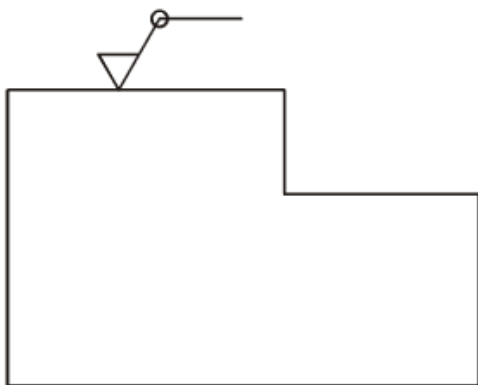


oznaka za kvalitetu površine dobivenu odvajanjem čestica (tokarenje, glodanje, brušenje)



oznaka za kvalitetu površine dobivenu bez odvajanja čestica (lijevanje, valjanje, kovanje i prešanje)

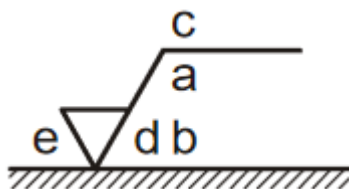
Kada se ista hrapavost površine zahtijeva na svim površinama radnog komada predstavljenim na crtežu, zatvorenom konturom izratka, potrebno je dodati kružnicu na potpuni grafički simbol kao što je prikazano na slici ispod.



**Slika 7** Prikaz označavanja kada se ista hrapavost zahtijeva na prikazanim stranicama

**Izvor:** Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.

Osim oznaka za kvalitetu površina za neke zahtjeve je potrebno navesti i neke druge vrijednosti poput oznaka kvalitete, postupke obrade, referentne duljine, tada se to označava na sljedeći način:

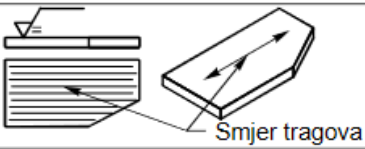
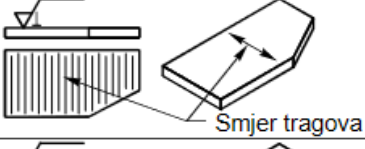
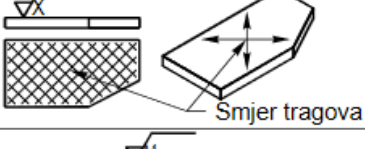
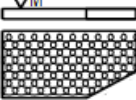


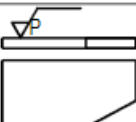


*Slika 8 Dodatne oznake kvalitete*

*Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.*

pri čemu:

- a – zahtjev za hrapavošću površine – pokazuje stupanj i vrstu (R, W ili P) hrapavosti površine, granična brojčana vrijednost i dužinu vrednovanja ili dužinu uzorkovanja.
- b – ova se oznaka većinom primjenjuje za granice područja zahtijevane hrapavosti, odnosno prvi zahtjev za hrapavost površine stavlja se na uobičajeno mjesto položaja "a", dok se drugi zahtjev tada stavlja na položaj "b".
- c – postupak obrade – prikazuje postupak obrade, tretiranje površine, vrstu prevlake ili druge zahtjeve na proces obrade.
- d – smjer obrade – ova oznaka predstavlja simbol željenog prostiranja tragova, oznake koje se unose te njihovo objašnjenje je dano sljedećom slikom.

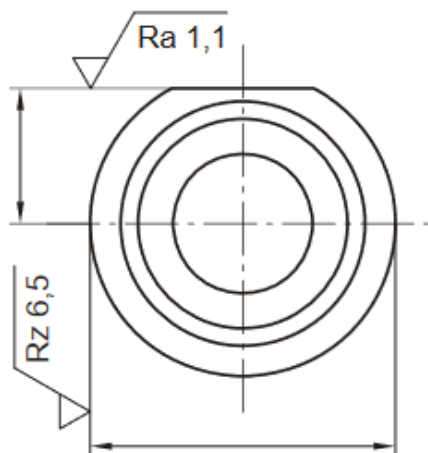
=	Paralelno na ravninu projekcije u kojoj je znak upotrebljen	
⊥	Okomito na ravninu projekcije u kojoj je znak	
X	Križno u dva pravca na relativnu ravninu projekcije u kojoj je znak	
M	Višesmjerno	
C	Približno kružno prema središtu površine na kojoj je znak	
R	Približno radijalno prema središtu površine na kojoj je znak	
P	Tragovi su zasebni, neusmjereni ili nestršeći	

Slika 9 Oznake te prikaz smjera obrade površine

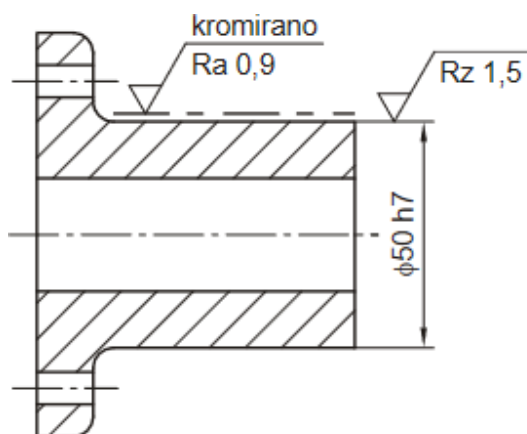
**Izvor:** Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.

- e – dodatak za obradu – označava zahtjev za dodatkom za strojnu obradu, a navodi se kao brojčana vrijednost u milimetrima.

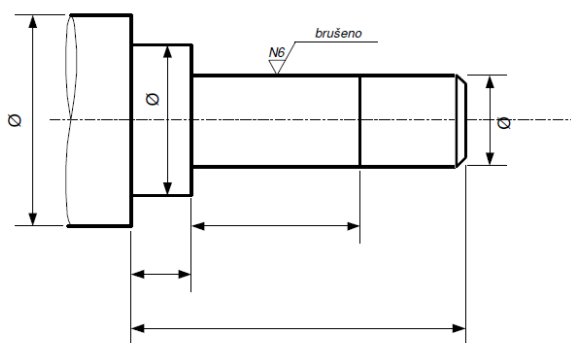
Općenito vrijedi da se grafički simboli sa dopunskim informacijama pišu na način da su orijentirani tako da je čitak s donje, te s desne strane crteža. Neki od primjera kako se pravilno označavaju tehnički crteži su prikazani na sljedećim nacrtima.



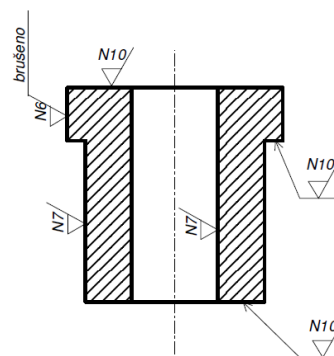
Slika 10 Primjer a



Slika 11 Primjer b



Slika 12 Primjer c



Slika 13 Primjer d

Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.

## 2.15. Tolerancije prema ISO standardu

Tolerancije su dozvoljena odstupanja od zadanih dimenzija, a uvedena su zbog nesavršenosti ljudi, strojeva, alata i materijala. Veličine odstupanja od željenih ovise o namjeni dijelova. Izrazi za tolerancije, dosjede i tolerancijske simbole su usklađeni međunarodnom ISO 286 normom.

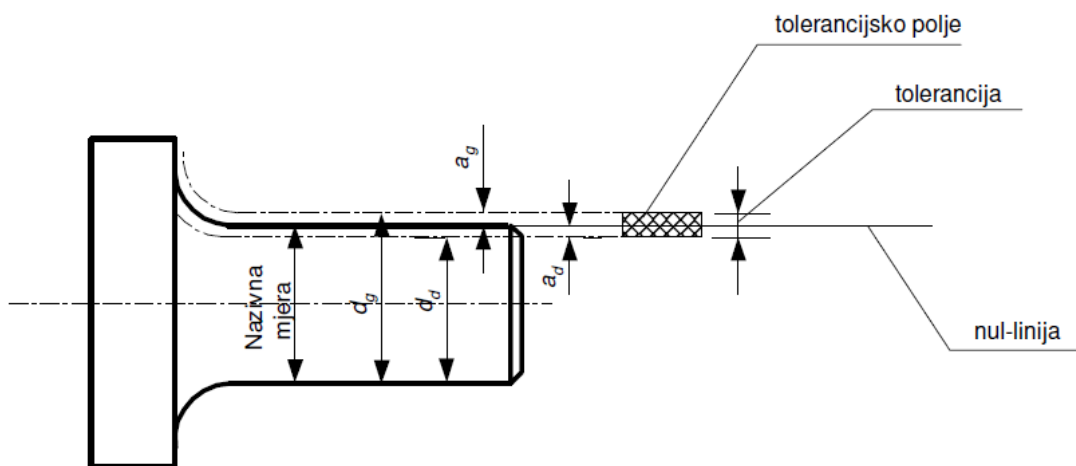
Radi razumijevanja tolerancija potrebno je najprije pojasniti osnovne pojmove koji su vezani za izmjeru: [2]

- 
- izmjera – izmjerena vrijednost fizikalne veličine duljine za odmjeravanje različitih vrijednosti te veličine, temeljna temperatura pri određivanju izmjera u sustavu graničnih izmjera i dosjeda ISO je 20 [°C]
  - nazivna izmjera – je izmjera od koje se dobivaju granične izmjere ako joj se dodaju gornje i donje odstupanje izmjere, ona može biti cijeli ili decimalni broj. Ona se unosi u tehnički crtež.
  - stvarna izmjera – izmjera koja se dobiva mjerenjem na izrađenom strojnom dijelu, ona mora biti unutar graničnih izmjera strojnog dijela u suprotnom se strojni dio dorađuje ili se odbacuje kao škart.
  - nul – linija – je pri grafičkom prikazu graničnih izmjera i dosjeda crta koja odgovara nazivnoj izmjeri na koju se nanose odstupanja izmjera i tolerancija.
  - gornje odstupanje izmjere – razlika između najveće izmjere i pripadne joj nazivne izmjere, može biti pozitivno ili negativno.
  - donje odstupanje izmjere – razlika između najmanje izmjere i pripadne joj nazivne izmjere, ovo odstupanje također može biti ili pozitivno ili negativno.
  - temeljno odstupanje izmjere – odstupanje izmjere koje se od nul – linije proteže do tolerancijskog polja, to može biti ili gornje ili donje odstupanje izmjere, tj. ono odstupanje izmjere koje je bliže nul – liniji.
  - tolerancija – razlika između najmanje i najveće izmjere, ali također i razlika između gornjeg i donjeg odstupanja izmjere, ona je apsolutna vrijednost te je zato bez predznaka.
  - tolerancijsko polje – u grafičkom prikazu predstavlja područje između crta koje predstavljaju najveću i najmanju izmjeru, ono je određeno veličinom tolerancije i njezinom udaljenošću od nul – linije.
  - temeljna tolerancija – svaka tolerancija koja spada u sustav.
  - tolerancijski razred – naziv je za spoj slova temeljnog odstupanja izmjere s brojem stupnja temeljne tolerancije, npr. H7 (provrt); h7 (rukavac).
  - tolerancijska izmjera – sastoji se od nazivne izmjere i oznake odgovarajućeg tolerancijskog razreda; npr. 32 H7; 80 js15; ili od nazivne izmjere i odstupanja.



- provrt – unutarnja izmjera vanjskog dijela u dosjedu.
- rukavac – vanjska izmjera unutarnjeg dijela u dosjedu.
- dosjed – skladnost dobivena na temelju razlike izmjera dvaju spojno oblikovana elemenata, dva dosjedu pripadajuća dijela imaju jednaku nazivnu izmjeru.
- zračnost (zazor) – (z) pozitivna razlika između izmjere provrta i izmjere rukavaca prije spajanja odnosno sastavljanja.
- prisnost – (p) negativna razlika između izmjera provrta i izmjere rukavca prije spajanja.
- dosjedna tolerancija – aritmetička sredina tolerancija obaju oblikovanih elemenata, a pripada dosjedu, ona je apsolutna vrijednost što znači da je bez predznaka.
- sustav tolerancija – planski izrađen red dosjeda s različitim zračnostima i prisnostima.

Pravila označavanja tolerancija su prikazana na sljedećoj slici 14.



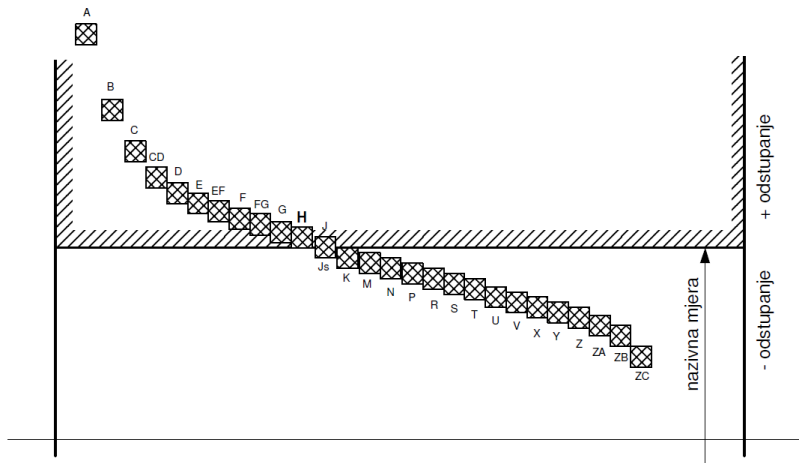
Slika 14 Prikaz tolerancija

Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.

Na slici *Prikaz tolerancija* oznakom  $a_g$  označeno je gornje odstupanje te ono predstavlja razliku između najveće dopuštene mjere i nazivne mjere, dakle  $a_g = d_g - D$ . Donje odstupanje je označeno  $a_d$ , te ono predstavlja razliku između najmanje dopuštene mjere i nazivne mjere,

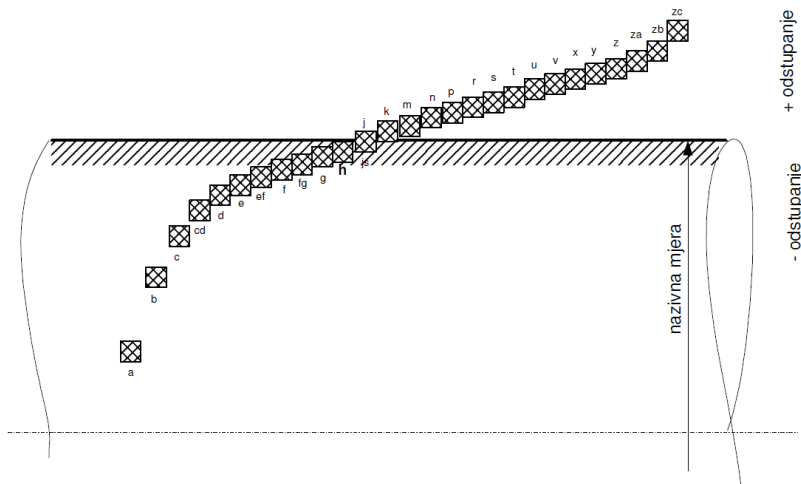
formulom  $a_d = d_d - D$ . Prema tome pod toleranciju spadaju najveća i najmanja dopuštena mjere, odnosno  $a_d$  i  $a_g$ .

Razlikujemo položaj tolerancijskih polja kod unutrašnjih mjera odnosno provrta i kod vanjskih mjera odnosno osovina. Prikaz tolerancijskih polja kod provrta i kod osovina prikazano je slikama 15. i 16.



Slika 15 Položaj tolerancijskih polja kod unutrašnjih mjera (provrta)

Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.



Slika 16 Položaj tolerancijskih polja kod vanjskih mjera (osovina)

Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.

## 2.16. Tolerancije oblika i položaja

Tolerancije oblika su dopuštena odstupanja elemenata od točnog geometrijskog oblika ili njegovog referentnog dijela poput osnovica, brida, profila, ploha, kružnica. Referentni dio je onaj geometrijski oblik koji se smatra kao polazna osnovica u primjeni tolerancije. Osobine koje se mogu odrediti tolerancijama oblika su pravocrtnost, ravnost, kružnost, cilindričnost, oblik linije, te oblik površine.

Tolerancije položaja su prostorna odstupanja između dvaju ili više elemenata (bridova, ploha...). Tolerancijama položaja se određuju odstupanja od pravca, mjesta ili točnosti okretanja (udara). Zato što su prostorna odstupanja moguća u svim smjerovima ona se navode kao apsolutne vrijednosti.

Tolerancija oblika i položaja određena je područjem u kojem se geometrijski oblik nalazi, a to područje tolerancije može biti:

- površina obuhvaćena kružnicom,
- površina između dvije koncentrične kružnice,
- površina između dvije ekvidistantne linije,
- površina između dvije paralelne linije,
- prostor unutar kugle,
- prostor unutar valjka,
- prostor između dvije ekvidistantne površine ili dvije paralelne ravnine i
- prostor unutar kvadra.

Graničnim linijama se određuju odstupanja oblika, međutim te granične linije se moraju postaviti na način da se dobiju najmanja moguća odstupanja.

Tolerancije se prikazuju u pravokutnom okviru koji je podijeljen na dva ili više sektora. Oznaka za osnovicu se piše u sektoru nakon vrijednosti tolerancije, ako je važan redosljed više osnovica tada se one pišu odijeljeno, no ako je zajednička osnovica tada se one pišu zajedno. Dodatne napomene kao što su broj provrta, broj ploha itd. se pišu iznad okvira. U

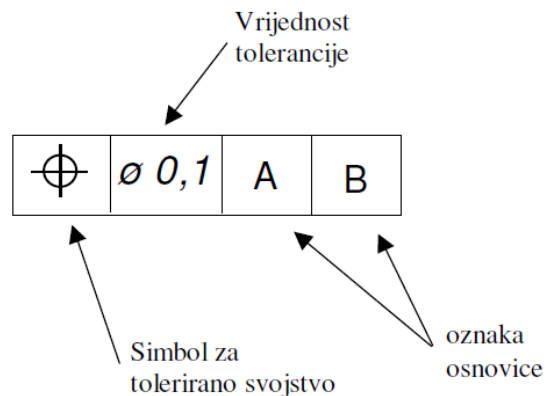
sljedećoj tablici navedene su vrste tolerancija, te što one toleriraju i kojim simbolima se označavaju.

**Tablica 4** Vrste tolerancija položaja i oblika

<b>Vrste tolerancija</b>		<b>Tolerira se:</b>	<b>Simbol</b>
Tolerancije oblika		pravocrtnost	—
		ravnost	
		kružnost	
		cilindričnost	
		oblik linije	
		oblik površine	
Tolerancije položaja	Tolerancije pravca	paralelnost	//
		okomitost	
		kut nagiba	
	Tolerancije mjesta	mjesto	
		koncentričnost, koaksialnost	
		simetričnost	
	Tolerancije točnosti okretanja	točnost okretanja kružnost okretanja ravnost okretanja	
		udar	

*Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.*

Iz tablice o vrstama tolerancija položaja i oblika se uzimaju vrste tolerancije te što se tolerira i ono se upisuje u pravokutni okvir na sljedeći način:



Slika 17 Način ispunjavanja zahtjeva za toleranciju

Izvor: Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.

Povezivanja pravokutnog okvira sa zahtjevom za tolerancijom sa toleriranim područjem pomoću pokazne crte radi se na način da:

- strelica dodiruje obris elementa ili pomoćnu kotu ako se tolerancija odnosi na pravac ili plohu, pritom strelica mora biti odmaknuta od strelice kotne crte,
- strelica i pokazna crta označavaju produžetak strelice kotne crte ako se tolerancija odnosi na os ili srednju geometrijsku ravninu,
- ako se tolerancija odnosi na sve središnjicom prikazane osi ili srednje geometrijske ravnine u tom slučaju strelica dodiruje središnjicu.

## 2.17. Program za izradu tehničke dokumentacije

Kao što je prethodno navedeno, program potreban za izradu tehničke dokumentacije ovog završnog rada je SolidWorks te dodatni program SolidWorks Composer. SolidWorks nudi mogućnost rada u 2D i 3D, izradu tehničke dokumentacije, mogućnost spajanja zasebnih elemenata u kompleksnije sklopove, izradu animacija, renderiranje... Dvodimenzionalni grafički programski sustav služi samo za izradu tehničke dokumentacije odnosno tehničkog nacrt. Trodimenzionalni grafički programski sustavi temelje se na različitim metodama definiranja tijela pri čemu se definiraju žičani modeli, površinski modeli, skenirani 3D objekti, polinomne površine te ekstrudirana tijela nastala 2D gibanjem geometrijskog presjeka po prostornoj krivulji. Dakle SolidWorks pokriva obje metode rada.

Composer je program koji dolazi zajedno u paketu sa osnovnim SolidWorksom međutim za njega je potrebna zasebna licenca. Taj program je specijalizirani program za izradu kvalitetnijih animacija, interaktivnih sadržaja, prezentiranje projekata, izradu ilustracija visoke kvalitete, izradu renderiranih fotografija.

Postoje tri osnovne licence za ove programe, to su: standardna, profesionalna te premium verzija. Licenca koja je korištena u ovom radu je standardna verzija koja sadrži module za rad s površinama, rad s limovima, module za zavarivanje i zavare, module za napredne površine, module za izradu alata, te za oblikovanje kompleksnih površina. Profesionalna i premium verzija dakako nude više mogućnosti sa većim brojem modula koji znatno olakšavaju i ubrzavaju sam rad u programu. Usporedba ovih licenca je prikazana sljedećom fotografijom. [6]



### SOLIDWORKS 3D DESIGN PRODUCT MATRIX

	SOLIDWORKS PREMIUM	SOLIDWORKS PROFESSIONAL	SOLIDWORKS STANDARD
▼ PART AND ASSEMBLY MODELING			
3D Solid Modeling	■	■	■
Large assembly design capabilities	■	■	■
Advanced surfacing	■	■	■
Sheet metal	■	■	■
Weldments	■	■	■
Mold Design	■	■	■
Read PCB data as 3D parts	■	■	■
Direct model modification	■	■	■
Full ECAD-MCAD data exchange	■		
Piping/tubing Design	■		
Electrical Cable/harness design	■		
▼ 2D DRAWINGS			
Automatic Drawing View Creation	■	■	■
Automatic Drawing View Updates	■	■	■
Dimensioning	■	■	■
Annotation	■	■	■
Bills of Materials, cut lists	■	■	■
Automatic hole tables, weld tables, and pipe bending data	■	■	■
International standards support	■	■	■
Drawing Control (compare)	■	■	■
Standards Checking	■	■	
Flattened harness drawings	■		
▼ DESIGN REUSE AND VALIDATION			
SolidWorks Search	■	■	■
Design Automation	■	■	■
Configurations	■	■	■
Design Library	■	■	■
3D Models from Suppliers	■	■	■
Smart Components and Smart Fasteners	■	■	■
Standard Component Library	■	■	
Task Scheduler	■	■	

Slika 18 Usporedba modula koji se nude sa svakom verzijom

Izvor: <http://www.strojotehnika.hr/wp-content/uploads/2013/10/Razlike-standard-professional-i-premium-SW-paketa.pdf>.  
Katalog tvrtke strojotehnika.

Prema prethodno navedenoj slici vidljivo je da premium verzija nudi najviše modula, međutim ona je također i financijski najskuplja. Standardna verzija je verzija koja je korištena u radu zato što se ona dobiva preko studentskog izadnja.

### 3. REDUKTOR

#### 3.1. Što je reduktor

Reduktor je uređaj ili mehanički prijenosnik snage i gibanja sa pogonskog na gonjeni dio stroja, uz smanjenje broja okretaja gonjenog vratila u odnosu na pogonsko vratilo, istovremeno isporučujući veću snagu pogonskog vratila (okretni momenat).[3]

Reduktori se ugrađuju između motora i radnog dijela nekog stroja kako bi se brzina vrtnje alata, pogonskih kotača ili drugog uređaja prilagodila traženim uvjetima rada.

##### 3.1.1. Podjela reduktora

Reduktore dijelimo u četiri osnovne kategorije:

1. pužni reduktori,
2. zupčasti reduktori,
3. zupčasto pužni reduktori i
4. planetarni reduktori.

##### 3.1.2. Zupčasti reduktori

Zupčasti reduktori su reduktori koji se sastoje najmanje od jednog para zupčanika od kojih je jedan manji i on je pogonski dok je drugi veći te je on gonjeni zupčanik. Prednosti i nedostaci zupčastih reduktora su:

###### Prednosti:

- visoki stupanj djelovanja ( $\geq 0,98$ ),
- velika trajnost i izdržljivost,
- male dimenzije i
- mogu se upotrebljavati za prijenos od najmanjih do najvećih snaga, te od najmanje do najveće brzine vrtnje.

###### Nedostaci:

- najskuplji od mehaničkih prijenosnika,
- vibracije i šumovi zbog krutog prijenosa okretnog momenta i
- zahtijeva se vrlo točna obrada.



### 3.1.3. Upotreba

Primjena reduktora je vrlo široka pa se tako upotrebljavaju u gotovo svim granama industrije te u uređajima za kućanstva. U industriji nam služe za transport, podizanje, prijenos sile itd. Pužni reduktori su najzastupljeniji u transportu svih oblika tereta, pogonskim trakama, pakirnoj i grafičkoj industriji dok su za teže zadatke, bolji odabir, razne izvedbe zupčastih reduktora. Varijatori brzine nam služe za mehaničku promjenu brzine prijenosa.

### 3.1.4. Dijelovi reduktora

Osnovni dijelovi jednostupanjskog zupčanog prijenosnika su zupčanici, vratila, ležaji i kućište.

## 3.2. Zupčanici

Zupčanici su strojni elementi koji prenose okretno gibanje sa jednog vratila na drugo vratilo pomoću veze oblikom koja se ostvaruje u slučaju zahvata zubaca. Zbog toga što se okretno gibanje prenosi zahvatom zubaca nije potreban poseban prijenosni element kao što je potreban kod remenskih i lančanih prijenosnika. Ako se u sprezi nalaze dva ili više zupčanika tada govorimo o prijenosniku. Razlikuju se prijenosnici sa stalnim prijenosnim omjerom (između pogonskog i radnog stroja), prijenosnici sa promjenjivim prijenosnim omjerom (mjenjač brzina kod automobila) i razdjelni prijenosnici za istodobni pogon više vratila. Ovisno o međusobnom položaju osi vratila zupčanici mogu imati sljedeće oblike: [3]

- čelnici, kod usporednih vratila,
- ozubnice, kao beskonačno veliki čelnici za promjenu okretnog gibanja u pravocrtno,
- stožnici, kod vratila kojima se osi sijeku,
- vijčani zupčanici, kod mimosmjernih vratila,
- puževi i pužna kola, kod mimosmjernih vratila.

Prema toku uzdužnih linija bokova razlikuju se prema DIN 968:

- čelnici s ravnim, stupnjevitim, kosim, strelastim i lučnim zubima,
- stožnici s ravnim, kosim, zakrivljenim evolventnim i zakrivljenim lučnim zupcima.

### 3.2.1. Osnovne mjere i pojmovi kod čelnika

1. *Prijenosni omjer - odnos brzine vrtnje  $n_1$  ili kutne brzine  $\omega_1$  malog zupčanika, prema brzini vrtnje  $n_2$  ili kutnoj brzini  $\omega_2$  velikog zupčanika. Formula prijenosnog omjera je sljedeća.*

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (1)$$

2. *modul – dio diobenog promjera koji se može shvatiti kao korak promjera, dva zupčanika u zahvatu imaju jednaki modul.*

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 * T_1'}{Z_1 * \lambda * \sigma_{FP}} * Y_F * Y_E * K_{F\alpha}} \quad (2)$$

3. *širina zupčanika – širina zupčanika se računa prema sljedećoj formuli:*

$$\lambda = \frac{b}{m} \Rightarrow b = \lambda * m \quad (3)$$

4. *promjer diobene kružnice – diobena kružnica je teorijska kružnica na kojoj se temelji proračun zupčanika.*

$$d = z * m \quad (5)$$

5. *promjer tjemene kružnice – tjemnim promjerom se prikazuje udaljenost od osi zupčanika do tjemena zuba.*

$$da = d + h_a \quad (6)$$

6. *promjer podnožne kružnice – promjer podnožne kružnice je promjer kojim se prikazuje udaljenost između dva suprotna korijena zuba.*

$$df = d - 2h_f \quad (6)$$

7. *promjer temeljne kružnice – temeljna kružnica je kružnica od koje počinje evolventa na zubu.*

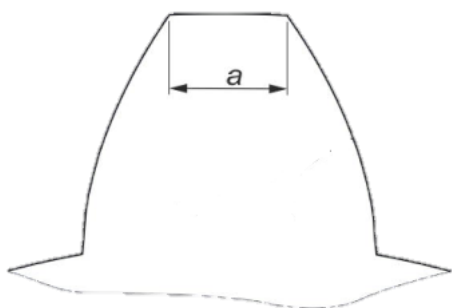
$$db = d * \cos\alpha \quad (7)$$

8. *osni razmak zupčanika – udaljenost između osi manjeg pogonskog i većeg gonjenog zupčanika u sprezi, izračunava se prema sljedećoj formuli:*

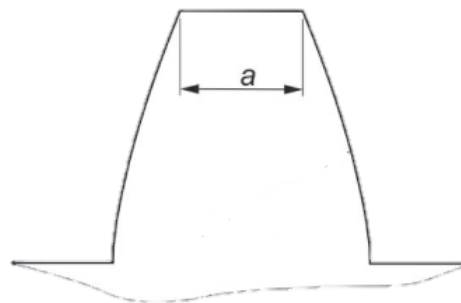
$$a = m * \frac{z_1 + z_2}{2} \quad (8)$$

### 3.2.2. Evolventno i cikloidno ozubljenje

Radi osiguranja konstantnog prijenosnog omjera potrebno je da profil zubi bude izrađene onom metodom koja osigurava stalni zahvat između dva zupčanika. Za izradu profila zuba koriste se krivulje koje zadovoljavaju osnovni zakon ozubljenja. Od krivulja najviše se upotrebljavaju cikloida i evolventa, pa prema tome razlikujemo i evolventno od cikloidnog ozubljenja, vidi slike 19. i 20. Razlika u izradi evolventnog od cikloidnog ozubljenja je ta da se cikloidno izrađuje kotrljanjem kružnice po kružnici dok se evolventno izrađuje odvaljivanjem pravca po kružnici, odnosno pri proizvodnji evolventnog ozubljenja koristi se ozubljenja letva. Cikloidno ozubljenje je skuplje za izradu i zbog toga se rjeđe koristi.



Slika 19 Evolventni profil zuba



Slika 20 Cikloidni profil zuba

Izvor: Decker, K-H.; (1975). *Elementi strojeva*. Zagreb, Tehnička knjiga.

### 3.2.3. Materijali za izradu zupčanika

Materijali pogodni za izradu zupčanika su:

- legirani i termički obrađeni čelici,
- niskolegirani termički obrađeni čelici za manja opterećenja,
- sivi lijev za mala opterećenja,
- čelični lijev za mala opterećenja,
- mesing<sup>3</sup> i Al-bronce za zupčanike manjih dimenzija,
- plastične mase za mala opterećenja i

<sup>3</sup> Mesing odnosno mjed je legura bakra i cinka pri čemu je udio cinka oko 40%

- kombinacije različitih materijala u sprezi.

### **3.2.4. Dodirnica i zahvatna pruga**

Dodirnicom odnosno zahvatnom linijom naziva se crtom i točkom debelo izvučena krivulja na kojoj se nalazi geometrijsko mjesto dodirnih točaka profila zuba u međusobnom zahvatu za vrijeme rada zupčanog prijenosa. Na mjestima sjecišta zahvatne linije sa završnim kružnicama određeni su početak i kraj pojedinih parova zuba, pa prema tome dio zahvatne linije odnosno dodirnice omeđen tim točkama naziva se zahvatnom prugom.

### **3.2.5. Osnovni zakon ozubljenja**

Osnovni zakon ozubljenja je temeljni zakon geometrije zupčanih prijenosa, prema njemu bokovi profila zuba u svakoj točki zahvatne pruge moraju prolaziti kroz središnju točku sustava.

### **3.2.6. Oblik i izvedba čelnika**

Postoji nekoliko vrsta oblika i izvedba čelnika, a to su čelnici sa ravnim zubima, čelnici s kosim odnosno helikoidnim zubima i čelnici sa strelastim zubima. Čelnici s ravnim zubima mogu ostvariti prijenosni omjer oko 8. Vratila kod čelnika sa ravnim zubima su u pravilu paralelna te je sa dva stupnja prijenosa moguće ostvariti prijenosni odnos 45, a sa tri stupnja prijenosa do 200. Iskoristivost čelnika sa ravnim zubima ovisi o stupnju prijenosa i kvaliteti izrade međutim ona se kreće do 99,5 [%].

### **3.2.7. Toplinska obrada zupčanika**

Toplinskom obradom zupčanika se:

- postiže bolja opteretivost bokova i veća otpornost na trošenje izazvano trenjem,
- povećanjem čvrstoće i povoljnijim naprezanjem postigne bolja opteretivost,
- da se postigne dobra obradivost, kovani i valjani čelik ima često grubu strukturu, a radi nejednolikog hlađenja i različitu tvrdoću, pa je radi poboljšanja obradivosti potrebna odgovarajuća toplinska obrada.

Kod zupčanika se primjenjuje dvije vrste toplinskih obrada, one čija se obrada odnosi na cijeli presjek i ona čiji se utjecaj proteže samo na površini zupčanika. Toplinske obrade kod kojih se utjecaj proteže na cijeli presjek su normalizacija, meko žarenje, žarenje radi uklanjanja preostalih napetosti, žarenje radi postizanja kuglaste perlitne strukture, poboljšavanje. Toplinske obrade čiji se utjecaj proteže samo na površini zupčanika su cementiranje, karbonitiranje, nitriranje u solnoj kupelji ili plinu, sulfiriziranje i plameno kaljenje.

### 3.2.8. Podmazivanje zupčanika

Podmazivanje je postupak primjene maziva za smanjivanje trenja među površinama koje se dodiruju, a gibaju se jedna u odnosu na druge. Cilj podmazivanja zupčanika je smanjenje trenja bokova zubi, te time odmah i njihovo trošenje i zagrijavanje. Kod prijenosnika u trajnom pogonu temperature sredstva za podmazivanje ne bi smjele prelaziti 80 [°C] zato što povišene temperature negativno utječu na sama svojstva i vijek trajanja maziva. Postoje tri vrste podmazivanja prijenosnika:

- ručno podmazivanje – upotrebljava se kod malih obodnih brzina, podrazumijeva nanošenje masti na zube zupčanika, te mazivo ne odvodi toplinu.
- podmazivanje uranjanjem – kod ove metode zubi većeg zupčanika su uronjeni u ulje i dubina uranjanja zupčanika je od 1 do 6 [m].
- centralno podmazivanje – primjenjuje se kod velikih obodnih brzina, provodi se brizganjem ulja pomoću pumpe u područje zahvata zubi, brizganje se može provesti i nakon zahvata radi boljeg odvođenja topline.

### 3.2.9. Oštećivanje i trošenje zuba

Najčešći oblici oštećivanja i trošenja zuba su lom, mrvljenje, izlizivanje površine i pojava pukotina.

Lom zuba zupčanika u pogonu je uzrokovano udarcima zbog naglog porasta obodne sile, zamorom materijala koji je posljedica dugotrajne eksploatacije zupčanika.

Mrvljenje odnosno ljuštenje je posljedica velikog bočnog tlaka i međusobnog klizanja površina zuba u zahvatu, pri tome snažna mehanička naprezanja materijala u područjima dodirnice uzrokuju nastajanje oku nevidljivih pukotina koje se povećavaju do te mjere da u njih krene ulaziti mazivo i tada se zbog nestlačivosti maziva pojavljuje visoki hidrostatski tlak koji drobi materijal površine zuba pa kao posljedica toga dolazi do pojave mrvljenja odnosno ljuštenja.

Izlizivanje bočnih površina zuba zupčanika uzrokovano je međusobnim trenjem. Zbog zavisnosti o trenju ova pojava se najčešće javlja pri malim obodnim brzinama pri kojima je otežano formiranje uljnog klina kao uvjeta za tekuće trenje.

### 3.3. Osovine i vratila

Osovine i vratila su elementi koji na sebi nose strojne dijelove poput zupčanika, remenica, rotora i sl.

Osovine su nosači okretnih dijelova strojeva i postoje dvije izvedbe, jedna je da osovine miruju, a na njima se okreću strojni dijelovi dok se kod druge zajedno rotiraju sa strojnim dijelovima. Osovine su opterećene poprečnim silama koje izazivaju savijanje, ponekad su opterećene i aksijalnom silom koja uzrokuje vlak ili tlak. Okretni moment i snaga se ne prenose osovinama.

Vratila su strojni elementi koji se okreću i prenose okretni moment i snagu, po obliku su slična osovinama te kao i one prenose strojne elemente koji služe za prijenos snage. Vratila su najčešće opterećena savijanjem, te ponekad i aksijalnom silom koja uzrokuje vlak ili tlak. Kod osovinama i vratila smicanje izazvano poprečnim silama se zanemaruje.

Vratila različitih konstrukcijskih izvedba su:[4]

- glatka vratila,
- stupnjevana vratila,
- koljenasta vratila,
- elastična vratila i
- kardanska vratila.

### 3.3.1. Materijali za izradu i oblikovanje osovina i vratila

Prilikom odabira materijala za osovine i vratila potrebno je uzeti u obzir promjenjiva opterećenja, veliku tvrdoću rukavca i zahtjeve za dobrom obradivošću. Prema tim faktorima najčešće se upotrebljavaju neki od sljedećih materijala za izradu osovina ili vratila:

- obični konstrukcijski čelici (Č0451, Č0460, Č0545...),
- čelici za poboljšanje kod većih zahtjeva (Č4131, Č4730...)
- čelici za cementiranje (Č4320, Č5420...) i
- ugljični čelici za cementiranje (Č1121, Č1221...)

### 3.3.2. Izrada osovina i vratila

Izrada osovina i vratila ovisi o njihovoj debljini odnosno o promjeru, pa prema tome osovine i vratila promjera do 80 [mm] proizvode se provlačenjem čeličnih šipki na hladno pri čemu se postiže tolerancije od h8 do h11, te zbog toga naknadno tokarenje više nije potrebno. Ako se radi o većim promjerima poput onih do 150 [mm] tada se osovine i vratila izrađuju od čeličnih šipki okruglog presjeka također izvlačenjem na toplo, valjanjem na toplo ili tokarenjem. Postupcima kovanja, prešanja ili lijevanja dobivaju se još deblja i složenija vrsta osovina i vratila.

Rukavci, prijelazi s manjeg na veći promjer, te bočni oslonci se prema zahtjevima fino tokare, bruse, poliraju ili tlače.

### 3.3.3. Oblikovanje osovina i vratila

Oblikovanje je potrebno kako bi se postiglo što blaže skretanje silnica (zamišljenih linija po kojima se prenosi sila), to se postiže na način da na osovini ili vratilu ne bude naglih promjena oblika. Promjene oblika je potrebno izbjegavati zato što uslijed djelovanja naprezanja na svim mjestima gdje postoji koncentracija naprezanja (utori, promjene presjeka, provrti) postoji stalna opasnost od loma uzrokovano zamorom materijala. Opasnost od loma uslijed zamora materijala se sprječava ako površinska obrada na mjestima skretanja sila bude što finija. Ukoliko na promjenama promjera ne smije biti zaobljenje radi bočnog oslanjanja



pojedinih elemenata izrađuju se žljebovi za izlaz alata koji također smanjuju koncentraciju naprezanja.

#### **3.3.4. Sile i momenti**

Opterećenja za vrijeme rada kod osovina i vratila nisu konstantna već se ona mijenjaju ovisno o radnom i pogonskom stroju. Najveći momenti savijanja i najveći okretni momenti nisu za vrijeme rada već u trenutku pokretanja ili zaustavljanja stroja, te su ona veća do 2 ili 3 puta od onih nazivnih vrijednosti. Nazivne vrijednosti su srednje vrijednosti opterećenja tijekom rada. Najveća opterećenja momenta savijanja i okretnog momenta izazivaju maksimalna naprezanja koja ne smiju uzrokovati plastične deformacije. Ako sve sile i momenti savijanja ne djeluju u jednoj ravnini, radi pojednostavljenja proračuna one se rastavljaju u komponente u dvije međusobno okomite ravnine, te se zatim izračunavaju njihova rezultanta.

#### **3.3.5. Rukavci**

Rukavci su oni dijelovi osovina i vratila kojima se osovine i vratila oslanjanju na ležajeve, prema načinu prenošenja opterećenja rukavci se dijele na radijalne i aksijalne. Radijalni rukavci su cilindrični (čeoni i unutarnji), konični i sferni dok su aksijalni s punom površinom nalijeganja, s prstenastom površinom nalijeganja (ravna i lećasta) i sferna odnosno kuglasta.

### 3.4. Ležajevi

Ležaji su elementi strojeva u kojima osovine i vratila leže na svojim osnacima. Oni drže osovine i vratila u određenom položaju, omogućavaju njihovo okretanje i prenašanje sile, koje pri tome nastaje, na postolje stroja ili na građevni objekt.[4]

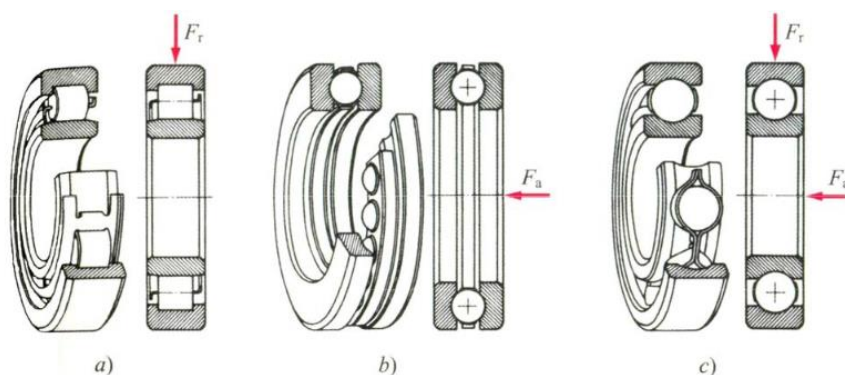
Postoje dvije podjele ležajeva:

1. podjela prema smjeru djelovanja sila i
2. podjela prema načinu rada ležajeva.

Prema smjeru djelovanja, ležajevi se dijele na:

- poprečni ili radijalni ležaj i
- uzdužni ili aksijalni ležaj.

Radijalni ležaj prenosi isključivo sile okomite na os ležaja dok aksijalni ležaj preuzima one sile koje djeluju u smjeru njegove osi. Također postoji i kombinirani radijalno – aksijalni ležaj. Na slici ispod prikazana su sva tri oblika ležaja prema smjeru djelovanja sila.



**Slika 21** Vrste ležaja prema smjeru djelovanja:  
a) radijalni ležaj; b) aksijalni ležaj; c) kombinirani ležaj

*Izvor: Kraut, B.; (1988). Strojarski priručnik. Zagreb, Tehnička knjiga.*

Prema načinu rada, ležajeve dijelimo na:

- klizne ležaje i
- kotrljajuće odnosno valjne ležaje.

Prednosti i nedostaci kliznih i valjnih ležaja su prikazani sljedećom tablicom.

*Tablica 5 Prednosti i nedostaci kliznih i valjnih ležaja*

KLIZNI LEŽAJI	VALJNI LEŽAJI
<b>Prednosti</b>	<b>Prednosti</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ miran rad bez buke zbog uljanog filma između rukavca i blazinice koji prigušuje vibracije</li> <li>▪ relativno jednostavne konstrukcije</li> <li>▪ jeftiniji od valjnih ležaja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ trenje kotrljanja je oko 50 [%] manje od trenja klizanja</li> <li>▪ rade s manjim zračnostima</li> <li>▪ relativno malih dimenzija te zahtijevaju malo maziva bez čestog nadgledanja</li> <li>▪ standardizirani su te je omogućena široka primjena</li> </ul>
<b>Nedostaci</b>	<b>Nedostaci</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ izražen problem osiguranja podmazivanja koje zahtjeva stalan nadzor nad ležajem</li> <li>▪ potrošnja maziva</li> <li>▪ imaju veće dimenzije od valjnih ležaja za isto opterećenje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ osjetljivost na udarna opterećenja</li> <li>▪ bučan rad u usporedbi s kliznim ležajima</li> <li>▪ relativno visoka cijena u usporedbi s kliznim ležajima</li> </ul>

*Izvor: Kraut, B.; (1988). Strojarski priručnik. Zagreb, Tehnička knjiga.*

Zbog upotrebe u završnom radu detaljnije su pojašnjeni valjni ležajevi.

### 3.4.1. Valjni ležaji

Valjni ležaji se sastoje od jednog unutrašnjeg i jednog vanjskog prstena, valjnih elemenata (kuglica, valjaka) te kaveza koji drži elemente na određenom razmaku kako se ne bi međusobno dodirivali i sprečava njihovo ispadanje iz sklopa. Kako bi kavezi mogli obavljati svoju funkciju njihov se oblik prilagođava obliku valjnih elemenata. Valjni ležaji se ugrađuju u kućišta ili u za njih određeni prostor na stroju. Oni mogu raditi tako da se njihov unutrašnji prsten okreće zajedno s vratilom dok je vanjski nepomičan ili tako da se okreće vanjski, a nepomičan je unutrašnji prsten.

### 3.4.2. Trenje u valjnim ležajima

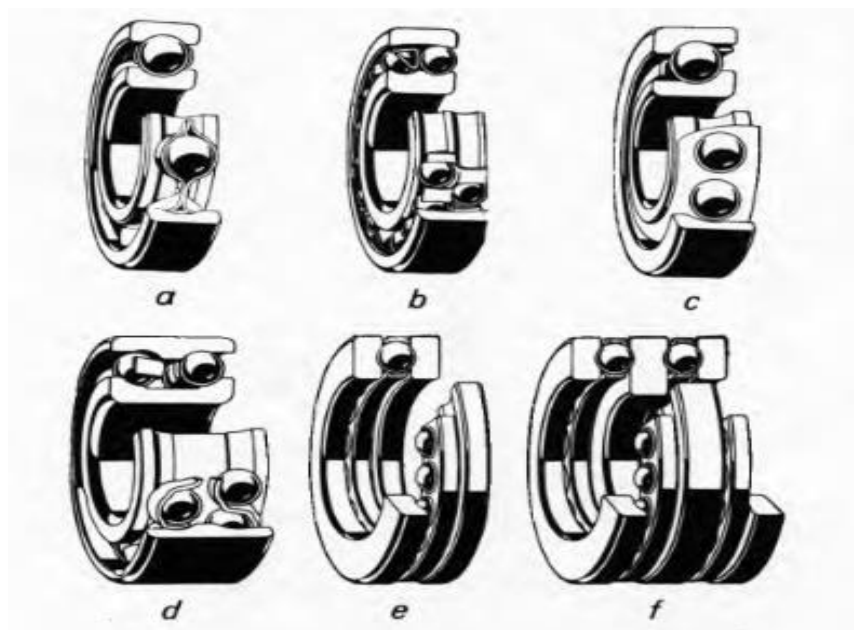
Otpori koji se pojavljuju kod valjnih ležaja pri trenju valjanja uvelike su manji od onih koji se javljaju pri trenju klizanja, jer se pri tome teorijski dodir površina u međusobnom relativnom kretanju svodi na točke, kad su valjni elementi kuglice, a na izvodnice kad su to valjci, iglice, stošci i bačvoliki elementi. Prethodno navedena teorija u potpunosti vrijedi samo za idealno kruta tijela bez elastičnosti. Naravno, kako svaka tvar posjeduje to svojstvo u nekoj određenoj mjeri dali manjoj ili većoj, pri valjanju jednih po drugima njihov međusobni dodir se ipak uspostavlja na nekim površinama. Na tim površinama gdje se uspostavlja međusobni dodir neizbježno se ipak pojavljuje trenje klizanja međutim ipak u valjnom ležaju kao cjelini znatno manje nego u kliznim ležajima.

### 3.4.3. Vrste valjnih ležaja

Prema obliku valjnih elemenata među valjnim ležajima razlikuju se kuglični i valjkasti ležaji, sve ostale vrste valjnih ležaja poput igličastih gdje su valjni elementi iglice, stožastih gdje su stošci, te bačvastih, smatraju se podvrstama valjkastih.

### 3.4.4. Kuglični ležaji

Kuglični ležaj je vrsta valjnog ležaja kojem je osnovna namjena prenošenje radijalnog opterećenja, međutim neke izvedbe omogućavaju i prijenos aksijalnog opterećenja. Kod kugličnih ležajeva kao i što samo ime govori valjna tijela su kuglice. Najvažniji kuglični ležajevi su dani slikom 20, a to su normalni jednoredni (a), dvoredni samopodesivi (b), jednoredni za radijalna opterećenja (c), dvoredni za radijalno-aksijalna opterećenja (d), potporni za jednosmjerna aksijalna opterećenja (e), te dvoredni za veća aksijalna opterećenja.



Slika 22 Najvažnije vrste kugličnih ležaja

Izvor: Kraut, B.; (1988). *Strojarski priručnik*. Zagreb, Tehnička knjiga.

### 3.4.5. Konstrukcijski materijali valjnih ležaja

Kućišta valjnih ležajeva obično se izrađuju od sivog lijevanog željeza dobre kakvoće. Ako se radi o kućištima velikih i teško opterećenih ležaja tada se grade od čeličnog lijeva, a kada se radi o kućištima malih i lako opterećenih ležaja tada se ta kućišta grade od lakih metala. Valjni dijelovi ležaja za razliku od kućišta se izrađuju od krom-čelika s udjelom kroma od 1,5 [%], a često i od krom-nikal-čelika. Čelik za izradu valjnih elemenata mora biti vrlo čisti i homogeni. Nakon oblikovanja ti se dijelovi obrađuju kaljenjem, brušenjem i finim poliranjem. Postupkom kaljenja se mora postići tvrdoća  $HR_c$  (tvrdoća po Rockwellu <sup>4</sup>) = 62...65. Nakon kaljenja se kontroliraju njihove dimenzije pri čemu je dozvoljeno međusobno odstupanje promjera valjnih elemenata 0,001 [mm]. Kavezi valjnih ležaja se izrađuju od

<sup>4</sup> Postupak određivanja tvrdoće materijala gdje se utiskuje poseban utiskivač u površinu ispitivanog materijala, a pri čemu se ne mjeri površina otiska nego njegova dubina, utiskivač je dijamanтни stožac s vršnim kutom od 120 [°] ili zakaljena čelična kuglica.

materijala koji su mekši od materijala valjnih elemenata, a to su štancani čelični lim, bronca, slitine aluminija i plastične mase.

#### **3.4.6. Montaža i ugradnja valjnih ležaja**

Kućišta valjnih ležaja se kao i kod kliznih uglavnom izrađuju u dvodijelnoj izvedbi, međutim valjni se ležajevi ne mogu izraditi u dva dijela zato što unutrašnji prsteni valjnih ležaja moraju čvrsto nasjedati na vratila pogotovo ako se radi o dugim vratilima, te se zbog toga dosta teško montiraju. Montaža valjnih ležaja se lakše izvodi steznim spajanjem uz oprezno zagrijavanje na temperaturama od 70 do 90 [°C], uljnom kupkom ili uz pomoć visokofrekventne struje.

#### **3.4.7. Podmazivanje valjnih ležaja**

Valjni ležajevi podmazuju se dvjema vrstama maziva, mašću i uljem.

#### **3.4.8. Podmazivanje mašću**

Valjni ležajevi se pretežito podmazuju mastima zbog jednostavnog brtvljenja i laganog naknadnog podmazivanja. Ovisno o broju okretaja, opterećenju, načinu pokretanja i samoj konstrukciji ležaja postoje meke, normalne i tvrde masti. Osim tih postoje i specifične masti poput masti za povišene temperature koje unatoč povišenim temperaturama uvijek dobro prijanjaju za stjenke ležaja i zbog toga osiguravaju kvalitetno podmazivanje. U sadašnje vrijeme se pojavljuje *engl. for-life* trend podmazivanja. To je trend kod kojeg se podmazivanje obavlja jedanput, najčešće za vrijeme proizvodnje, za cijeli vijek trajanja. Kako bi se osigurala takva vrsta podmazivanja potrebne su masti koje su valjno stabilne i koje su otporne na starenje, masti koje zadovoljavaju te kriterije su masti na bazi litija.

Masti se najčešće putem mazalica tlači u kanale koji su spojeni sa ležajnim mjestima, osim toga postoje i druge metode podmazivanja kao što su Staufferova mazalica te mazalica s oprugom.

### 3.4.9. Podmazivanje uljem

Podmazivanje uljem se koristi kod brzohodnih ležajeva i kod velikih opterećenja. Metode podmazivanja su:

- ručno podmazivanje,
- podmazivanje pomoću pumpnih agregata – za podmazivanje više ležajeva,
- podmazivanje uljnom maglom i
- podmazivanje uranjanjem.

Podmazivanje uljnom maglom se upotrebljava za brzohodne ležajeve. Kod ove metode komprimirani zrak se dovodi usisnom cijevi kojoj je donji kraj uronjen u uljnu kupku. Zračna struja podtlakom diže i vuče za sobom male kapljice ulja, te se one miješaju sa zrakom. Taj zrak koji je zasićen sa uljem se pomoću cijevnih vodova dovodi do ležaja. Ova metoda podmazivanja ima prednost zato što osim podmazivanja njena zračna struja ujedno i hladi ležaj, a svojim predtlakom sprečava ulazak prašine i nečistoća.

### 3.4.10. Podmazivanje uranjanjem

Podmazivanje uranjanjem je jednostavno i sigurno podmazivanje. Kod ove metode se pri svakom okretu valjna tijela navlaže uljem, te treba pripaziti da je donje valjno tijelo uronjeno samo do polovine u ulje jer ako bi razina ulja bila prevelika tada bi došlo do pjenjenja ulja i povišenja temperature, a time i pogoršanja svojstava i smanjenja vijeka trajanja ulja.

### 3.4.11. Nosivost i trajnost valjnih ležaja

Nosivost valjnih ležaja ovisi o nekoliko faktora, odnosno ona ovisi o svojstvima materijala od kojeg su građeni, broju i obliku valjnih elemenata, priljubljanju valjnih površina i o broju valjanja izvršenih preko neke točke na putanji. Uzevši sve te faktore u obzir nosivost i trajnost valjnih ležaja se razlikuje u dvije faze. U fazi mirovanja je statička nosivost dok je dinamička nosivost kada je valjni ležaj u radu.

### 3.4.12. Statička nosivost valjnih ležaja

Valjni ležaj i kad miruje, a i pri vrlo malom broju okretaja može biti opterećen tako da uslijed pritiska njegovih valjnih elemenata nastaju deformacije u njegovim prstenovima. Ležaj kod kojeg je došlo do deformacija još uvijek može biti sposoban za rad samo ako se te deformacije zadržavaju ispod dozvoljene granice. Dozvoljeno statičko opterećenje se računa prema slijedećoj formuli.

$$F_0 = \frac{C_0}{S_0} \quad (9)$$

U formuli *dozvoljeno statičko opterećenje* vrijednost  $C_0$  predstavlja opterećenje u mirujućem stanju, pri kojem nastupaju trajne deformacije određene veličine. Za dopuštenu vrijednost tih trajnih deformacija uzima 0,0001 od promjera valjnog elementa. Vrijednost  $S_0$  predstavlja faktor sigurnosti i ono se uzima iz tablice o faktoru sigurnosti valjnih ležaja u statičkom opterećenju, dok je vrijednost  $C_0$  navedena u svakom katalogu proizvođača valjnih ležaja.

*Tablica 6 Faktor sigurnosti valjnih ležaja*

Vrsta pogona	Faktor sigurnosti
miran, bez potresa i vibracija	1,5...1
normalan	1...2
s čestim udarcima	2...4

*Izvor: Kraut, B.; (1988). Strojarski priručnik. Zagreb, Tehnička knjiga.*

Maksimalno dozvoljeno opterećenje valjnih ležaja jednako je njihovoj statičkoj nosivosti.

### 3.4.13. Dinamička nosivost valjnih ležaja

Dinamička nosivost ležaja uvelike ovisi o zamoru materijala, to znači da vrhunski ugrađen, podmazan i zabrtvljen ležaj može pod određenim opterećenjem i broju okretaja raditi do onog trenutka kad ne nastupi zamor materijala. Kao posljedica toga trajnost ležaja se određuje brojem okretaja koje ležaj može napraviti od njegove ugradnje do pojave zamora



materijala. Taj broj okretaja ovisi o prevelikom broju faktora da bi se mogao precizno odrediti. Međutim kako bi se moglo računati sa nekom stalnom trajnošću, za potrebe tehničkog i ekonomskog gledališta, uveden je pojam nominalne trajnosti valjnih ležaja oznake  $L$ . Nominalna trajnost valjnih ležaja je broj okretaja kojeg 90 [%] od stanovitog, većeg broja potpuno jednakih valjnih ležaja mogu pod jednakim uvjetima napraviti ili prekoračiti, prije nego što na nekom njihovom dijelu nastupe pojave zamora materijala. (Pri tome se dopušta preostalih 10 [%] od te količine ležaja da pojave zamora materijala nastupe i ranije.). Nominalna trajnost valjnih ležaja se izračunava prema danoj formuli:

$$L = \left(\frac{C}{F}\right)^3 \quad (10)$$

pri čemu je  $C$  dinamička nosivost, a  $F$  njihovo idealno ili ekvivalentno opterećenje odnosno ono opterećenje za koje se pretpostavlja da djeluje jednolično za cijelo vrijeme trajanja njihovog rada.

Dinamička nosivost svakog valjnog ležaja je također navedena u katalogu proizvođača kao što je navedena i statička nosivost.

#### 3.4.14. Izbor valjnih ležaja

Izbor ležaja se temelji na trajnosti, odnosno obavlja se prema određenom roku trajanja uređaja ili stroja u koji ih se treba ugraditi. Normalna trajnost valjnih ležaja izražena efektivnim radnim satima u zavisnosti od primjene prikazana je u tablici.

*Tablica 7* Trajnost valjnih ležaja;

Uvjeti rada	Trajnost ( $10^3$ efektivnih sati)
rijetka upotreba ležaja	0,5
avionski motor	0,5...1,7
kratkovremeni ili povremeni rad	4...8
rad s prekidima	8...13

8 - satni pogon uz nepotpuno iskorištenje ležaja	13...20
8 - satni pogon uz potpuno iskorištenje ležaja	20...30
neprekidni pogon	45...60
neprekidni pogon i velika sigurnost	100...200

*Izvor: Kraut, B.; (1988). Strojarski priručnik. Zagreb, Tehnička knjiga.*

Valjne ležaje nije potrebno proračunavati zato što su oni svi standardizirani, te je za izbor ležaja dovoljno samo pomoću tablica i kratkog računa navedenog u svakom katalogu proizvođača (SKF<sup>5</sup>; koristi se za potrebe ovog rada) odabrati tip i veličinu ležaja prema uvjetima njegovog rada.

### 3.5. Kućišta kod zupčanih prijenosnika

Kućište je prema definiciji dio stroja ili uređaja u koji se smještaju njihovi dijelovi kako bi se mogli pričvrstiti u nekome položaju, zaštititi od udaraca, oštećenja, vlage ili prašine.[4]

Prema tome kućište kod zupčanih prijenosnika ima sljedeće uloge:

- prigušivanje vibracija nastalih od zupčanika, vratila i ležajeva,
- odvođenje topline,
- zaštita unutarnjih dijelova prijenosnika od okolnih utjecaja i obrnuto,
- zadržavanje maziva unutar prijenosnika i
- osiguranje položaja osovina, vratila i sila koji nastaju uslijed zahvata zubi zupčanih parova.

Osim što kućište mora osigurati sve prethodne uloge ono mora biti i konstruktivno proizvedeno, naime zahtijeva se jednostavna montaža, demontaža i remont, mogućnost kontrole sredstva za podmazivanje, jednostavna i pouzdana izrada, zaštita okoline od nekog lom od dijelova unutar kućišta, te siguran rad.

<sup>5</sup> Švedski: Svenska Kullagerfabriken, je švedska tvrtka za proizvodnju ležajeva i brtvi

### 3.5.1. Izvedba kućišta

Kućišta za zupčane prijenosnike se najčešće izrađuju jednom od sljedećih dvije tehnologije izrade. Prva tehnologija izrade je zavareno kućište, elementi kućišta se zavaruju u cijelu komponentu, ova tehnologija izrade se koristi kod manjih serija i za pojedinačnu proizvodnju. Druga tehnologija izrade je lijevana kućišta, kod ove metode kućište se izrađuje lijevanjem, ova tehnologija se koristi kod većih serija proizvodnje (već iznad 5 komada u seriji mogu biti ekonomski isplativa).

Osim prema tehnologiji izrade, kućišta još dijelimo i prema smještaju razdjelne ravnine. Shodno tome postoje dvije vrste izvedbe kućišta a one su:

- kućišta bez razdjelne ravnine (kućišta iz jednog komada) i
- kućišta sa horizontalnom razdjelnom ravninom.

Kod kućišta bez razdjelne ravnine postoje veliki otvori sa strane koji služe za montažu ležajeva i vratila (aksijalna montaža). Prednosti ovog oblika izvedbe kućišta su velika krutost i postojanost dimenzija, pogotovo oblika ležajnih mjesta, dok je nedostatak otežana montaža i izrada. Kućišta sa horizontalnom razdjelnom ravninom su pogodna za veće prijenosnike kod kojih se montaža izvodi pomoću dizalice. Kod ove izvedbe razdjelna ravnina mora biti kvalitetno i točno obrađena, kao i ležajna mjesta koja se obavezno obrađuju u sklopu.

### 3.5.2. Materijali od kojih se izrađuju kućišta su:

- legure lakih metala – one se koriste kod letjelica i manjih prijenosnika, imaju veću toplinsku dilataciju i manji modul elastičnosti što zahtijeva deblje stjenke kućišta,
- čelični i sivi lijev – najkorišteniji materijal kod izrade lijevanih kućišta
- konstrukcijski čelici – koriste se kod kućišta u zavarenoj izvedbi, kod njih je bitno da su im svojstva i kemijski sastav pogodni za postupak zavarivanja.

## 4. PRORAČUN

Proračun jednostupanjskog zupčanog prijenosnika s zupčanicima s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem sveo se na pet glavnih proračuna, a oni su:

- proračun zupčanika  $z_1$  i  $z_2$ ,
- proračun vratila  $v_1$ ,
- proračun vratila  $v_2$ ,
- proračun elektromotora  $i$
- odabira ležajeva pomoću SKF kataloga.

### 4.1. Zadane vrijednosti

Provedeni proračun je pojednostavljeni te su iz njega izbačeni neki parametri koji nisu od tolikog značaja za izradu ovog rada. Proračun je proveden u računalnom programu Microsoft Office Excell zbog mogućnosti koje nam nudi taj program. Za provedbu proračuna potrebne su neke početne zadane vrijednosti koje su sljedeće:

- snaga elektromotora – 32 [kW]
- broj okretaja manjeg pogonskog zupčanika  $n_1$  – 1420 [ $\text{min}^{-1}$ ]
- zagonski moment masa radnog stroja  $GD^2_{RS}$  – 170 [ $\text{Nm}^2$ ]
- vrijeme uključivanja elektromotora  $t_u$  – 0,75 [s]
- vrsta pogona – ravnomjerno bez udaraca ( $k_A = 1$ )
- pogon uključen – interminirajuće TP  $\neq$  100 [%]
- prijenosni omjer – 2,5
- broj zubi manjeg pogonskog zupčanika  $z_1$  – 20
- torzijsko opterećenje – jednosmjerno
- kut zahvata  $\alpha$  – 20
- materijal zupčanika  $z_1$  – Č1531 plameno kaljen
- faktor širine zuba  $\lambda$  – 25
- praktički dozvoljena vrijednost naprezanja u korijenu zuba  $\sigma_{FP}$  – 108 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
- faktor oblika za proračun opterećenja korijena zuba  $Y_F$  – 2,2

- faktor raspodjele opterećenja pri proračunu opteretivosti korijena  $K_{Fa} - 1$

#### 4.2. Izračun pogonskog i gonjenog zupčanika ( $z_1$ i $z_2$ )

Prvi korak u provedbi proračuna je odrediti ukupne gubitke od radnog stroja do zupčanika  $z_1$ , gubici se računaju prema sljedećoj formuli:

$$\begin{aligned} P_{guk} &= P_{gs2} + P_{gL} + P_{gBB} + P_{gz} \\ &= 2,5 + 0,5 + 3,0 + 1,5 = 7,5 \text{ [%]} \end{aligned} \quad (11)$$

Gubici:

- $P_{gs}$  – gubici elastičnih spojaka do 3 [%] prenesene nazivne snage  $\Rightarrow 2,5$  [%] (odabrano),
- $P_{gL}$  – gubici kotrljajućih ležaja do 0,5 [%] prenesene nazivne snage po uležištenom vratilu  $\Rightarrow 0,5$  [%] (odabrano),
- $P_{gBB}$  – gubici uslijed bućkanja kod podmazivanja uronjavanjem i brtvljenja vratila, do 5 [%]  $\Rightarrow 3$  [%] (odabrano) i
- $P_{gz}$  – gubici ozubljenja do 1.5 [%]  $\Rightarrow 1.5$  [%] (odabrano).

Iskoristivost:

$$\eta'_{uk} = \frac{P}{P * (1 + \frac{P_{guk}}{100})} = \frac{1}{(1 + \frac{7,5}{100})} = 0,93 \quad (12)$$

Nakon što se izračunaju gubici potrebno je izračunati okretni moment, zagonski moment radnog stroja i broj okretaja većeg zupčanika kako bi se mogao odrediti orijentacijski modul.

$$T'_1 = (T_1 + T'_\varepsilon) \quad (13)$$

- $T_1'$  - moment okretanja zupčanika  $z_1$  ako se uzme u obzir moment ubrzanja masa radnog stroja i svi gubici do zupčanika  $z_1$ ,
- $T_1$  – moment okretanja zupčanika  $z_1$  uz sve gubitke od radnog stroja do zupčanika  $z_1$ ,
- $T_\varepsilon'$  - moment ubrzanja masa radnog stroja.

$$\omega = \frac{n_1 * \pi}{30} = \frac{1420 * \pi}{30} = 149 [m/s] \quad (14)$$

Nakon čega slijedi:

$$T_1 = \frac{P}{\omega * \eta'_{uk}} = \frac{32\,000}{149 * 0,93} = 230,93 [Nm] \quad (15)$$

Izračunom vrijednost  $T_1$ , ostaje  $T_\varepsilon'$  kao jedina nepoznanica u formuli br.13.

Kako bi se dobila vrijednost  $T_\varepsilon'$  prvo se izračunava broj okretaja gonjenog zupčanika ( $n_2$ ) i zagoni moment ( $GD_{redl}^2$ ).

Broj okretaja gonjenog zupčanika dobije se pomoću prijenosnog omjera, u ovom slučaju iznosi 2.5, i broja okretaja pogonskog zupčanika.

Formula je sljedeća:

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1420}{2,5} = 568 [min^{-1}] \quad (16)$$

$$GD_{redl}^2 = GD_{RS}^2 * \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = 170 * \left(\frac{568}{1420}\right)^2 = 27,2 [Nm^2] \quad (17)$$

Poznavanjem svih nepoznanica može se izračunati  $T_\varepsilon'$ .

$$T_\varepsilon' = \frac{GD_{redl}^2 * n_1}{375 * t_u} = \frac{27,2 * 1420}{375 * 0,75} = 137,33 [Nm] \quad (18)$$

Nakon toga poznate su sve nepoznanice u formuli za izračun  $T_1$ .

$$T_1' = (T_1 + T_\varepsilon) = (230,93 + 137,33) = 368,26 \text{ [Nm]} \quad (19)$$

Kada se proračunaju sve potrebne vrijednosti tada se može izračunati orijentacijski modul koji se proračunava prema formuli 2:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 * T_1'}{z_1 * \lambda * \sigma_{FP}} * Y_F * Y_\varepsilon * K_{F\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{2 * 368260}{20 * 25 * 108} * 2,2 * 1 * 1} \quad (20)$$

$$= 3,4 \text{ [mm]}$$

Modul je zaokružen na prvi veći prioritet odnosno odabran je modul 4 [mm]. *Tablica 11. iz literature [5].*

$\lambda=25$  – tablica 34. *iz literature [5].*

$\sigma_{FP}=(S_F = 270/2,5) = 108 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  – tablica 28. *iz literature [5] Č1535.*

$S_F = f(\text{TP}) = 2,5$  (odabrana srednja vrijednost raspona *tablica 35 iz literature [5]*)

$Y_F = 2,2$ ;  $Y_\varepsilon = 1$ ;  $K_{F\alpha} = 1$  -predračunske vrijednosti

Dimenzije zupčanika u odnosu na orijentacijski modul.

Diobeni promjer pogonskog zupčanika iznosi 80 [mm]

$$d_1 = z_1 * m = 20 * 4 = 80 \text{ [mm]} \quad (21)$$

Broj zubi gonjenog zupčanika se proračunava prema sljedećoj formuli, te on iznosi 50 zuba.

$$z_2 = i * z_1 = 2,5 * 20 = 50 \quad (22)$$

Diobeni promjer gonjenog zupčanika iznosi 200 [mm]:

$$d_2 = z_2 * m = 50 * 4 = 200 \text{ [mm]} \quad (23)$$

Širina zupčanika se računa tako da se pomnoži faktor širine zuba sa orijentacijskim modulom, a to je prikazano sljedećom formulom:

$$\lambda = \frac{b}{m} \Rightarrow b = \lambda * m = 25 * 4 = 100 \text{ [mm]} \quad (24)$$

Za proračun zagonskih momenta potrebno je izračunati težinu rotirajućih masa (G) i promjer tromosti rotirajućih masa na vanjskom promjeru (D).

Prvo je izračunata težina rotirajućih masa, pri čemu su vrijednosti b i  $d_1$  izražene u [dm]:

$$G_1 = \frac{b * d_1^2 * \pi}{4} * \gamma = \frac{1 * 0,8^2 * \pi}{4} * 76,5 = 38,43 \text{ [N]} \quad (25)$$

Vrijednost  $\gamma$  iznosi 76,5 [N/dm<sup>3</sup>].

Promjer tromosti rotirajućih masa na vanjskom promjeru je drugi korijen kvadrata diobenog promjera podijeljenog sa 2 izraženog u metrima.

$$D_1 = \sqrt{\frac{d_1^2}{2}} = \sqrt{\frac{0,08^2}{2}} \approx 0,0566 \text{ [m]} \quad (26)$$

Kada se izračuna težina i tromost tada imamo sve potrebne vrijednosti za izračun zagonskog momenta pogonskog zupčanika, te se on računa prema sljedećoj formuli:

$$GD_{z_1}^2 = G * D_{z_1}^2 = 38,43 * 0,056 = 0,122 \text{ [Nm}^2\text{]} \quad (27)$$

Nakon što se izračuna zagonski moment pogonskog zupčanika potrebno je isto učiniti i za gonjeni, proračun zagonskog momenta gonjenog zupčanika izvodi se preko istih formula, dakle formule za izračun težine rotirajućih masa i formule za izračun promjera tromosti rotirajućih masa na vanjskom promjeru d, naravno sa vrijednostima za gonjeni zupčanik. Prema tome se dobivaju sljedeće vrijednosti:



$$G_2 = \frac{b * d_2^2 * \pi}{4} * \gamma = 38,43 \text{ [N]} \quad (28)$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{d_2^2}{2}} = 0,1414 \text{ [m]} \quad (29)$$

$$GD_{z_2}^2 = G * D_{z_1}^2 = 4,80 \text{ [Nm}^2\text{]} \quad (30)$$

Osim zagonskih momenata pogonskog, gonjenog zupčanika i radnog stroja potrebno je izračunati i zagonski moment spojke S<sub>2</sub>. Spojka S<sub>2</sub> prenosi moment kod uključenja elektromotora. Zagonski moment spojke se dobiva prema proračunu okretnog momenta spojke i prema dobivenoj vrijednosti se očitava iz tablica [5].

$$\begin{aligned} T_{S_2} &= (T_1 + T_e') * i * \eta'_{uk} = (230,93 + 137,33) * 2,5 * 0,93 \\ &= 856,20 \text{ [Nm}^2\text{]} \end{aligned} \quad (31)$$

Za taj okretni moment odgovora najbliža vrijednost od 900 [Nm] za spojku ES4 sa zagonskim momentom od 1,85 [Nm<sup>2</sup>].

Zagonski momenti na vratila I i II su:

Vratilo I:	zupčanik z <sub>1</sub>	GD <sub>z<sub>1</sub></sub> <sup>2</sup> = 0,12 [Nm <sup>2</sup> ]
Vratilo II:	zupčanik z <sub>2</sub>	GD <sub>z<sub>2</sub></sub> <sup>2</sup> = 4,80 [Nm <sup>2</sup> ]
	spojka S <sub>2</sub>	GD <sub>S<sub>2</sub></sub> <sup>2</sup> = 1,85 [Nm <sup>2</sup> ]
	radni stroj	GD <sub>RS</sub> <sup>2</sup> = 170 [Nm <sup>2</sup> ]

Suma zagonskih momenata reduciranih na vratilo I zupčanika z<sub>1</sub>:

$$\begin{aligned} GD_I^2 &= GD_{z_1}^2 + (GD_{z_2}^2 + GD_{S_2}^2 + GD_{RS}^2) * \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \\ &= 0,122 + (4,80 + 1,850 + 170) * \left(\frac{568}{1420}\right)^2 \\ &= 28,39 \text{ [Nm}^2\text{]} \end{aligned} \quad (32)$$

Pa je prema tome maksimalan moment okretanja zupčanika  $z_1$ :

$$T_e = \frac{GD_{redl}^2 * n_1}{375 * t_u} = \frac{28,39 * 1420}{375 * 0,75} = 143,33 \text{ [Nm]} \quad (33)$$

$$T_{I_{max}} = T_1 + T_e = 230,93 + 143,33 = 374,26 \text{ [Nm]}$$

Razmak osi vratila je udaljenost između središnjih točaka vratila I od vratila II, te se ono računa preko modula te ukupnog broja zubi vratila podijeljenih sa 2.

$$a = m * \frac{z_1 + z_2}{2} = 4 * \frac{20 + 50}{2} = 140 \text{ [mm]} \quad (34)$$

Dimenzije zupčanika  $z_1$ :

$$d = z * m = 20 * 4 = 80 \text{ [mm]} \quad (35)$$

$$da = d + 2ha = 80 + (2 * 4) = 88 \text{ [mm]} \quad (36)$$

$$df = d - 2hf = 80 - (2 * 1,2) = 77,6 \text{ [mm]} \quad (37)$$

$$db = d * \cos\alpha = 80 * \cos(20) = 75,18 \text{ [mm]} \quad (38)$$

Dimenzije zupčanika  $z_2$ :

$$d = z * m = 50 * 4 = 200 \text{ [mm]} \quad (39)$$

$$da = d + 2ha = 200 + (2 * 4) = 208 \text{ [mm]} \quad (40)$$

$$df = d - 2hf = 200 - (2 * 1,2) = 197,6 \text{ [mm]} \quad (41)$$

$$db = d * \cos\alpha = 200 * \cos(20) = 187,94 \text{ [mm]} \quad (42)$$

### 4.3. Izračun vratila V<sub>1</sub>

$$T'_{EM} = \frac{T_{Imax}}{\eta_{S1} * \eta_{VLI}} = \frac{368,26}{0,975 * 0,995} = 379,35 \text{ [Nm]} \quad (43)$$

Za taj prijenosni omjer odgovara vrijednost spojke ES3 sa zagonskim momentom od 0,61 [Nm<sup>2</sup>] i težinom od 70 [N].

$$\eta_{S1} = \frac{1}{1 + \frac{P_{GS1}}{100}} = \frac{1}{1 + \frac{2,5}{100}} = 0,975 \quad (44)$$

$$\eta_{VLI} = \frac{1}{1 + \frac{P_{gVL}}{100}} = \frac{1}{1 + \frac{0,5}{100}} = 0,995 \quad (45)$$

Sile koje opterećuju vratilo I su težine dijela spojke i pogonskog zupčanika, te obodna i radijalna sila na kinematskoj kružnici.

$$0,5 * G_{S1} = 70 * 0,5 = 35 \text{ [N]} \quad (46)$$

$$G_{z_1} = 38,43 \text{ [N]} \quad (47)$$

$$F_t = \frac{T_{Imax}}{\frac{d_{z1}}{2}} = \frac{368,26}{\frac{0,08}{2}} = 9206,54 \text{ [N]} \quad (48)$$

$$F_{r1,2} = F_t * \operatorname{tg}(\alpha_w) = 9206,5 * \operatorname{tg}(20) = 3350,25 \text{ [N]} \quad (49)$$

Dispozicija sila na vratilu I je podijeljeno u dvije ravnine, u vertikalnu i horizontalnu ravninu. Kod reakcija u horizontalnoj ravnini djeluje radijalna sila dok u vertikalnoj ravnini djeluju obodna sila, te težine zupčanika i spojke.

Reakcije u horizontalnoj ravnini:

$$R_{AH} = \frac{F_{r1} * 93}{186} = \frac{3350,25 * 93}{186} = 1675,12 \text{ [N]} \quad (50)$$

$$R_{BH} = F_{r1} - R_{AH} = 3350,25 - 1675,12 = 1675,13 \text{ [N]} \quad (51)$$

Reakcije u vertikalnoj ravnini:

$$\begin{aligned} R_{AV} &= \frac{F_t * 93 - G_{z1} * 93 - 0,5 * G_{S1} * 251}{186} \\ &= \frac{9206,54 * 93 - 38,43 * 93 - 0,5 * 70 * 251}{186} \\ &= 4536,80 \text{ [N]} \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} R_{BV} &= F_t - R_{AV} - 0,5 * G_{S1} - G_{z1} \\ &= 9206,54 - 4536,80 - 0,5 * 70 - 38,43 = 4596,26 \text{ [N]} \end{aligned} \quad (53)$$

$$R_A = \sqrt{R_{AH}^2 + R_{AV}^2} = \sqrt{1675,12^2 + 4536,80^2} = 4836,17 \text{ [N]} \quad (54)$$

Momenti savijanja u pojedinim presjecima:

$$\begin{aligned}
 M_I &= R_A * (0,158 - 0,065) + 0,5 * G_{S1} * 0,158 \\
 &= 4836,17 * (0,158 - 0,065) + 0,5 * 70 * 0,158 \\
 &= 455,29 \text{ [Nm]}
 \end{aligned} \tag{55}$$

$$\begin{aligned}
 M_{II} &= R_A * 0,04 + 0,5 * G_{S1} * 0,105 \\
 &= 4836,17 * 0,04 + 0,5 * 70 * 0,105 = 197,12 \text{ [Nm]}
 \end{aligned} \tag{56}$$

$$M_{III} = 0,5 * G_{S1} * 0,065 = 0,5 * 70 * 0,065 = 2,28 \text{ [Nm]} \tag{57}$$

$$M_{IV} = 0,5 * G_{S1} * 0,035 = 0,5 * 70 * 0,035 = 1,23 \text{ [Nm]} \tag{58}$$

Reducirani momenti u pojedinim presjecima

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 * \tau_{tDI}} = \frac{190}{1,73 * 160} = 0,69 \tag{59}$$

$$T_{\varepsilon S1} = \frac{GD_{S1}^2 * n_1}{375 * t_u} = \frac{0,61 * 1420}{375 * 0,75} = 3,08 \text{ [Nm]} \tag{60}$$

$$T_{V1} = \frac{T_{I_{max}} + T_{\varepsilon S1}}{\eta_{VL}} = \frac{368,26 + 3,08}{0,995} = 373,20 \text{ [Nm]} \tag{61}$$

$$M'_{redI,II,III,IV} = \sqrt{M_{I,II,III,IV}^2 + 0,75 * (\alpha_0 * T_{V1})^2} \tag{62}$$

Uvrštavanjem u gore navedenu formulu za izračun reduciranih momenata dobiju se sljedeće vrijednosti:

- $M_I = 506,47 \text{ [Nm]} = 506467,8 \text{ [Nmm]}$
- $M_{II} = 296,77 \text{ [Nm]} = 296772,1 \text{ [Nmm]}$
- $M_{III} = 221,86 \text{ [Nm]} = 221859,8 \text{ [Nmm]}$
- $M_{IV} = 221,85 \text{ [Nm]} = 221851,5 \text{ [Nmm]}$

Opća formula za izračunavanje promjera vratila glasi:

$$d_{1,2,3,4} = 2,17 * \sqrt[3]{\frac{M'_{redI,II,III,IV}}{dop \sigma_{FDN}}} \quad [63]$$

pa su prema tome dimenzije vratila  $V_1$  sljedeće:

	Odabrano
$d_1 = 46,95 \text{ [mm]}$	45 [mm]
$d_2 = 39,29 \text{ [mm]}$	40 [mm]
$d_3 = 35,66 \text{ [mm]}$	35 [mm]
$d_4 = 35,66 \text{ [mm]}$	35 [mm]

Kontrolni proračun promjera  $d_4$  na uvijanje u presjeku V-V kod istosmjernog opterećenja:

$$d_{4V-V} = 1,72 * \sqrt[3]{\frac{T_{v1}}{dop \tau_{tDI}}} = 1,72 * \sqrt[3]{\frac{373197}{65}} = 30,80 \text{ [mm]} \quad (64)$$

#### 4.4. Izračun vratila $V_2$

Izlazno vratilo odnosno vratilo  $V_2$  se oblikuje i proračunava analogno proračunu za vratilo  $V_1$ .

- $\eta_z = 0,99$
- $\eta_L = 0,98$

➤  $\eta_B = 0,98$

$$\eta_{ukup} = \eta_z * \eta_L * \eta_B = 0,99 * 0,98 * 0,98 = 0,951 \quad (65)$$

Ukupni okretni moment vratila  $V_2$  iznosi 875,35 [Nm]

$$T_{V_2} = T_{1max} * \eta_{ukup} * i = 368,26 * 0,951 * 2,5 = 875,35 \text{ [Nm]} \quad (66)$$

Težina dijela spojke

$$0,5 * G_{S2} = 35 \text{ [N]} \quad (67)$$

Obodna sila na kinematskoj kružnici

$$F_t = \frac{T_{V_2}}{\frac{d_{z2}}{2}} = \frac{875,35}{\frac{0,2}{2}} = 8753,5 \text{ [N]} \quad (68)$$

Radijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_{r1,2} = F_t * tg(\alpha_w) = 8753,5 * tg(20) = 3185,4 \text{ [N]} \quad (69)$$

Dispozicija sila na vratilu II je kao i kod vratila I podijeljena u dvije ravnine, također u vertikalnu i horizontalnu pri čemu u horizontalnoj ravnini djeluje radijalna sila, a u vertikalnoj obodna sila, te težina zupčanika i spojke.

Reakcije u horizontalnoj ravnini

$$R_{AH} = \frac{F_{r1} * 93}{186} = \frac{3185,4 * 93}{186} = 1592,7 \text{ [N]} \quad (70)$$

$$R_{BH} = F_{r1} - R_{AH} = 3185,4 - 1592,7 \text{ [N]}$$

Reakcije u vertikalnoj ravnini

$$\begin{aligned}
 R_{AV} &= \frac{F_t * 93 - G_{z2} * 93 - 0,5 * G_{S2} * 251}{186} \\
 &= \frac{8753,5 * 93 - 240,21 * 93 - 0,5 * 70 * 251}{186} \\
 &= 4209,42 \text{ [N]}
 \end{aligned} \tag{71}$$

$$\begin{aligned}
 R_{BV} &= F_t - R_{AV} - 0,5 * G_{S2} - G_{z2} \\
 &= 8753,5 - 4209,42 - 0,5 * 70 - 240,21 = 4268,88 \text{ [N]}
 \end{aligned} \tag{72}$$

$$R_B = \sqrt{R_{AH}^2 + R_{AV}^2} = \sqrt{R_{AH}^2 + R_{AV}^2} = 4500,65 \text{ [N]} \tag{73}$$

Momenti savijanja u pojedinim presjecima

$$\begin{aligned}
 M_I &= R_B * (0,158 - 0,065) + 0,5 * G_{S2} * 0,158 \\
 &= 4500,65 * (0,158 - 0,065) + 0,5 * 70 * 0,158 \\
 &= 424,09 \text{ [Nm]}
 \end{aligned} \tag{74}$$

$$\begin{aligned}
 M_{II} &= R_B * 0,04 + 0,5 * G_{S2} * 0,105 \\
 &= 4500,65 * 0,04 + 0,5 * 70 * 0,105 = 183,70 \text{ [Nm]}
 \end{aligned} \tag{75}$$

$$M_{III} = 0,5 * G_{S2} * 0,065 = 0,5 * 70 * 0,065 = 2,28 \text{ [Nm]} \tag{76}$$

$$M_{IV} = 0,5 * G_{S2} * 0,035 = 0,5 * 70 * 0,035 = 1,23 \text{ [Nm]} \tag{77}$$



Reducirani momenti u pojedinim presjecima

$$T_{\varepsilon S2} = \frac{GD_{S2}^2 * n_2}{375 * t_u} = \frac{0,61 * 568}{375 * 0,75} = 1,23 \quad (78)$$

$$T_{V2} = \frac{T_2 + T_{\varepsilon S2}}{\eta_{ukup}} = \frac{875,35 + 1,23}{0,951} = 921,95 \quad (79)$$

$$M'_{redI,II,III,IV} = \sqrt{M_{I,II,III,IV}^2 + 0,75 * (\alpha_0 * T_{V2})^2} \quad (80)$$

nakon što se uvrste podaci u formulu dobiju se sljedeće vrijednosti:

- $M_I = 692,98 \text{ [Nm]} = 692976,4 \text{ [Nmm]}$
- $M_{II} = 578,02 \text{ [Nm]} = 578022 \text{ [Nmm]}$
- $M_{III} = 548,06 \text{ [Nm]} = 548058,9 \text{ [Nmm]}$
- $M_{IV} = 548,06 \text{ [Nm]} = 548055,5 \text{ [Nmm]}$

Opća formula za izračunavanje promjera vratila ne razlikuje se od formule za izračunavanje vratila V1.

$$d_{1,2,3,4} = 2,17 * \sqrt[3]{\frac{M'_{redI,II,III,IV}}{dop \sigma_{fDN}}} \quad (81)$$

Pa prema tome dobivene su sljedeće vrijednosti kao promjeri vratila.

	Odabrano
$d_1 = 52,12 \text{ [mm]}$	55 [mm]
$d_2 = 49,07 \text{ [mm]}$	50 [mm]
$d_3 = 48,20 \text{ [mm]}$	50 [mm]

$$d_4 = 48,20 \text{ [mm]}$$

$$50 \text{ [mm]}$$

#### 4.5. Izračun elektromotora

Prije početka provedbe proračuna nužno je proračunati potrebni okretni moment elektromotora kod uključanja, te pomoću njega potrebnu snagu elektromotora kod uključanja.

$$T_u = \frac{T_{v_1}}{\eta_{S_1}} = \frac{371,01}{0,976} = 380,29 \text{ [Nm]} \quad (82)$$

$$P_{EMu} = T_u * \omega = 380,29 * 149 = 56663,2 \text{ [W]} \gg 57 \text{ [kW]} \quad (83)$$

Nakon toga proračunavaju se ukupni gubici u reduktoru i snaga koja se mora predati radnom stroju u normalnom pogonu.

$$\begin{aligned} P_{guk} &= P_{gS1} + P_{gVL1} + P_{gz} + P_{gBB} + P_{gVL2} + P_{gS2} \\ &= 2,5 + 0,5 + 1,5 + 3 + 0,5 + 2,5 = 10,5 \text{ [%]} \end{aligned} \quad (84)$$

$$P_{guk} = P * \frac{P_{guk}}{100} = 32 * \left(\frac{10,5}{100}\right) = 3,36 \text{ [kW]} \quad (85)$$

Snaga koja se mora predati radnom stroju u normalnom pogonu

$$\eta_{uk} = \frac{1}{1 + \frac{P_{guk}}{100}} = \frac{1}{1 + \frac{10,5}{100}} = 0,905 \quad (86)$$

$$P_p = P_{RS} + P_{guk} = 32 + 3,36 = 35,36 \text{ [kW]} \quad (87)$$

$$P_p = \frac{P}{\eta_{uk}} = \frac{32}{0,905} = 35,36 \text{ [kW]} \quad (88)$$

### Izbor elektromotora

Kod odabira elektromotora treba se odabrati onaj koji kod uključanja uz maksimalno preopterećenje od 50 [%] u vremenu od maksimalno 2 minute predaje potrebnu snagu.

$$P_p * 1,50 = 35,36 * 1,50 = 53,04 \text{ [kW]} < 57 \text{ [kW]} \quad (89)$$

Elektromotor ne bi mogao prenijeti potrebnu snagu kod uključanja pa je potrebno odrediti snagu koju elektromotor mora prenijeti u momentu uključanja u odnosu na snagu u normalnom pogonu, ta snaga se određuje preko izraza:

$$(P_p + P_d) * 1,5 = P_u \quad (90)$$

$$P_d = \frac{P_u}{1,50} - P_p = \frac{57}{1,50} - 35,36 = 2,64 \text{ [kW]} \quad (91)$$

$$P_{EM} = P_p + P_d = 35,36 + 2,64 = 38 \text{ [kW]} \quad (92)$$

### Kontrola

$$P_{EM} * 1,50 = 38 * 1,50 = 57 \text{ [kW]} \quad (93)$$

Prema provedenom proračunu dobije se potrebna snaga motor od 57 [kW], međutim standardne veličine elektromotora su 55 i 75 [kW], te se za potrebe rada odabire elektromotor snage 55 [kW] koji će u praktičnoj primjeni dati odgovarajuću snagu, a onaj od 75 [kW] jednostavno nije ekonomski isplativ zbog nabavne cijene, potrošnje električne energije, troškova održavanja, a u konačnici i cijeli sustav bi bio nepotrebno predimenzioniran.

#### 4.6. Ležajevi

Proračun ležajeva nije proveden, već su oni odabrani u katalogu proizvođača prema ulaznim vrijednostima dobivenim u proračunu. Katalog odnosno internetska stranica gdje su odabrani ležajevi je SKF, dok je vrsta valjni ležaji odnosno kuglični.

Link SKF stranice za odabir ležajeva je sljedeći:

- <https://www.skfbearingselect.com/#/bearing-selection-start>

Ulazni parametri prilikom odabira ležaja su sljedeći:

- unutarnji promjer ležaja,
- vanjski promjer ležaja,
- širina ležaja,
- radijalna i aksijalna sila,
- broj okretaja,
- temperatura vanjskog i unutarnjeg prstena.

Potrebne vrijednosti za odabir ležajeva se nalaze u sljedećoj tablici:

*Tablica 8 Ulazni parametri kod odabira ležaja*

	vratilo $v_1$	vratilo $v_2$
unutarnji promjer ležaja [mm]	35	50
vanjski promjer ležaja [mm]	-	-
radijalna sila [kN]	4.84	4.50
aksijalna sila [kN]	0	0
broj okretaja [ $\text{min}^{-1}$ ]	1420	568
temperatura unutarnjeg prstena [ $^{\circ}\text{C}$ ]	70	70
temperatura vanjskog prstena [ $^{\circ}\text{C}$ ]	65	65

Izvor: Autor

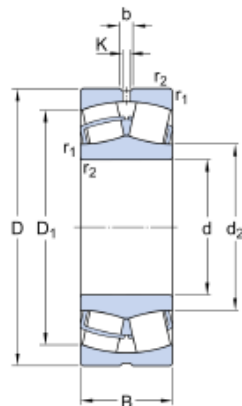
Rezultati odabira ležajeva su prikazani sljedećim slikama.

- Rezultati odabira ležajeva za vratilo V<sub>1</sub>:



## 2. Input

### 2.1. Bearing data



Designation	Bearing type	Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit
		d	D	B	Dynamic C	Static C <sub>0</sub>	
		mm			kN		P <sub>u</sub>
► <a href="#">22207 E</a>	Spherical roller bearing	35.0	72.0	23.0	88.8	85.0	9.3
Designation	Speed ratings						
	Reference n <sub>ref</sub> r/min	Limiting n <sub>lim</sub>					
► <a href="#">22207 E</a>	9000.0	12000.0					



## 2.2. Loads, Speed and Temperature

	Forces		Speed	Temperature		Case weight
	Radial ( $F_r$ )	Axial ( $F_a$ )		Inner ring	Outer ring	
	kN		r/min	°C		
LC1	4836.0		1420.0	70	85	1

- Maximum temperature is used for calculating the actual viscosity,  $\kappa_{a_{SKF}}$  and SKF rating life.
- Mean temperature is used for calculating bearing friction and power loss.

## 2.3. Lubrication

Designation	Lubricant			Effective EP additives
	Type	Method	Name	
▶ <a href="#">22207 E</a>	Grease	SKF grease	LGMT 2: all purpose industrial and automotive	False

Designation	Contamination
	Method
▶ <a href="#">22207 E</a>	Detailed guidelines

## 3. Results

### 3.1. Lubrication conditions

Designation	Operating viscosity			Viscosity ratio
	Actual	Rated	Rated @ 40 °C	
	$\nu$	$\nu_1$	$\nu_{ref}$	
	mm <sup>2</sup> /s			K
▶ <a href="#">22207 E</a>	28.0	13.3	40.6	2.09

Slika 23 Rezultati odabira ležaja za vratilo V1

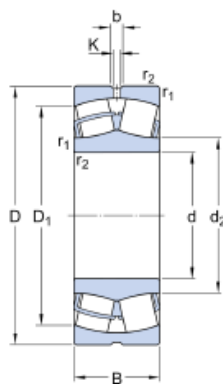
Izvor: <https://www.skfbearingselect.com/#/bearing-selection-start>. Internetska stranica za odabir ležajeva.

- Rezultati odabira ležajeva za vratilo V<sub>2</sub>:



## 2. Input

### 2.1. Bearing data



Designation	Bearing type	Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit
		d	D	B	Dynamic C	Static C <sub>0</sub>	
		mm			kN		P <sub>u</sub>
► <a href="#">22209 E</a>	Spherical roller bearing	45.0	85.0	23.0	104.0	98.0	10.8
Designation	Speed ratings						
	Reference n <sub>ref</sub>	Limiting n <sub>lim</sub>					
	r/min						
► <a href="#">22209 E</a>	7500.0	10000.0					



## 2.2. Loads, Speed and Temperature

	Forces		Speed r/min	Temperature °C		Case weight
	Radial ( $F_r$ ) kN	Axial ( $F_a$ )		Inner ring	Outer ring	
LC1	4500.0		588.0	70	65	1

- Maximum temperature is used for calculating the actual viscosity,  $\kappa$ ,  $a_{SKF}$  and SKF rating life.
- Mean temperature is used for calculating bearing friction and power loss.

## 2.3. Lubrication

Designation	Lubricant			Effective EP additives
	Type	Method	Name	
▶ <a href="#">22209 E</a>	Grease	SKF grease	LGMT 2: all purpose industrial and automotive	False

Designation	Contamination
	Method
▶ <a href="#">22209 E</a>	Detailed guidelines

## 3. Results

### 3.1. Lubrication conditions

Designation	Operating viscosity			Viscosity ratio K
	Actual	Rated	Rated @ 40 °C	
	$v$ mm <sup>2</sup> /s	$v_1$	$v_{ref}$	
▶ <a href="#">22209 E</a>	28.0	23.6	82.5	1.18

Slika 24 Rezultati odabira ležaja za vratilo V2

Izvor: <https://www.skfbearingsselect.com/#/bearing-selection-start>. Internetska stranica za odabir ležajeva.



## 5. LITERATURA

- [1] Kuček, Đ.; Kuček, M.; (2005). Tehnička dokumentacija. Bjelovar, Visoka tehnička škola.
- [2] Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.; (2002). Tehničko crtanje. Zagreb/Slavonski Brod, udžbenici u Zagrebu i Slavonskom brodu.
- [3] Decker, K-H.; (1975). Elementi strojeva. Zagreb, Tehnička knjiga.
- [4] Kraut, B.; (1988). Strojarski priručnik. Zagreb, Tehnička knjiga.
- [5] Opalić, M.; Rakamarić, P.; Reduktor, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [6] <http://www.strojotehnika.hr/wp-content/uploads/2013/10/Razlike-standard-professional-i-premium-SW-paketa.pdf>. Katalog tvrtke strojotehnika.
- [7] <https://www.skfbearingsselect.com/#/bearing-selection-start>. Internetska stranica za odabir ležajeva.

## 6. PRILOZI

Izračunavanjem parametara potrebnih za konstrukciju modela jednostupanjskog prijenosnika započela je faza izrade tehničke dokumentacije gdje se u programu SolidWorks izrađuje trodimenzionalni model prema kojem se kasnije izrađuju radionički nacrti. U ovom poglavlju prikazani su radionički nacrti jednostupanjskog zupčanog prijenosnika s zupčanicima s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem.

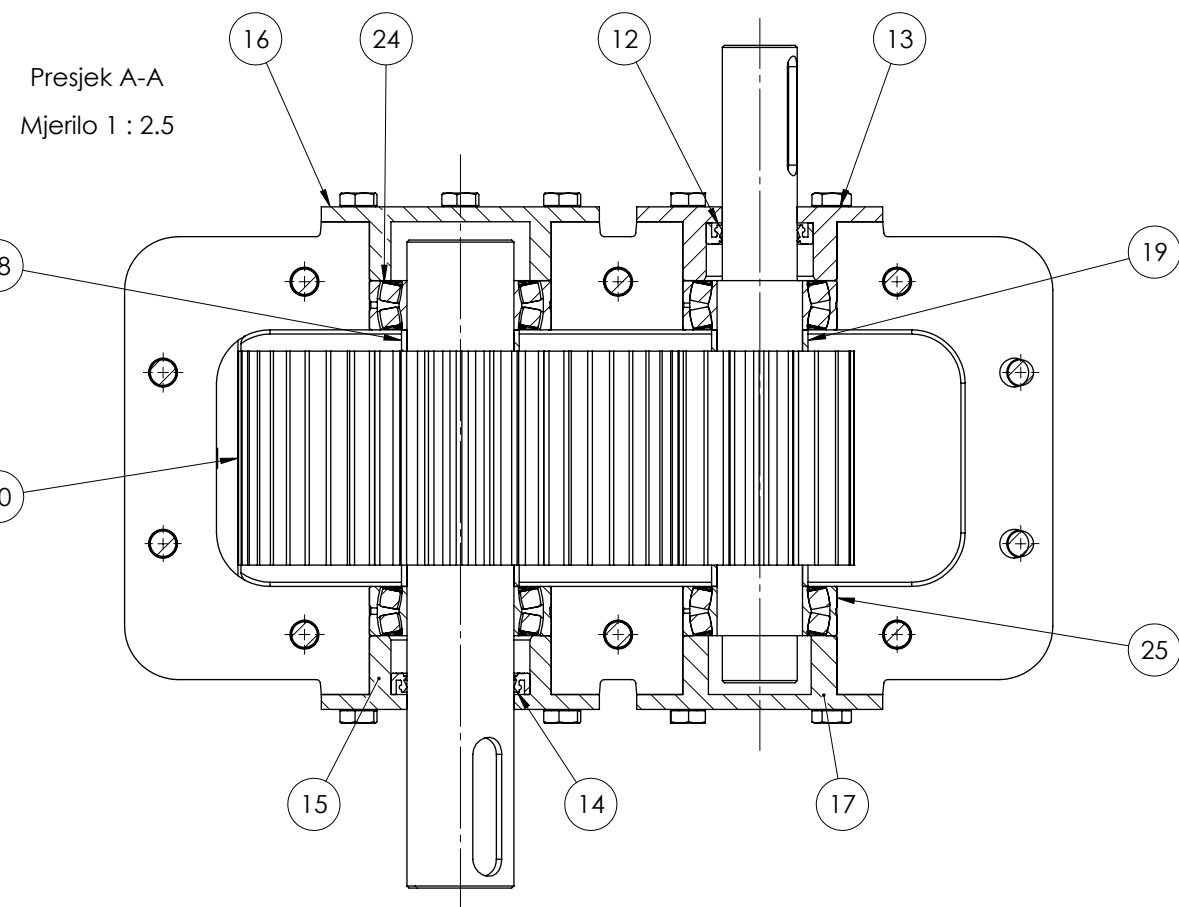
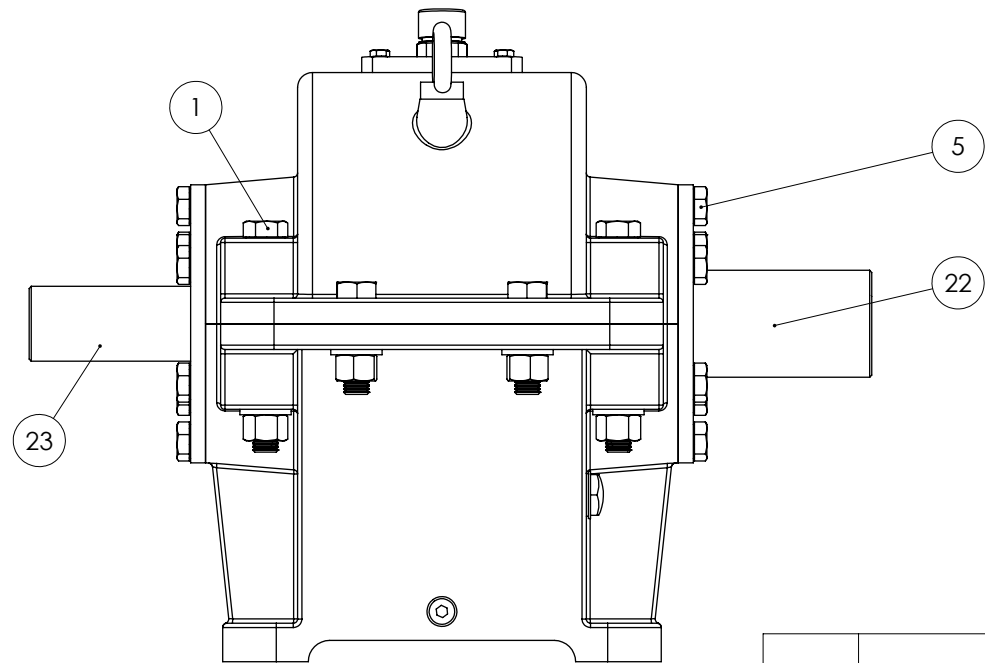
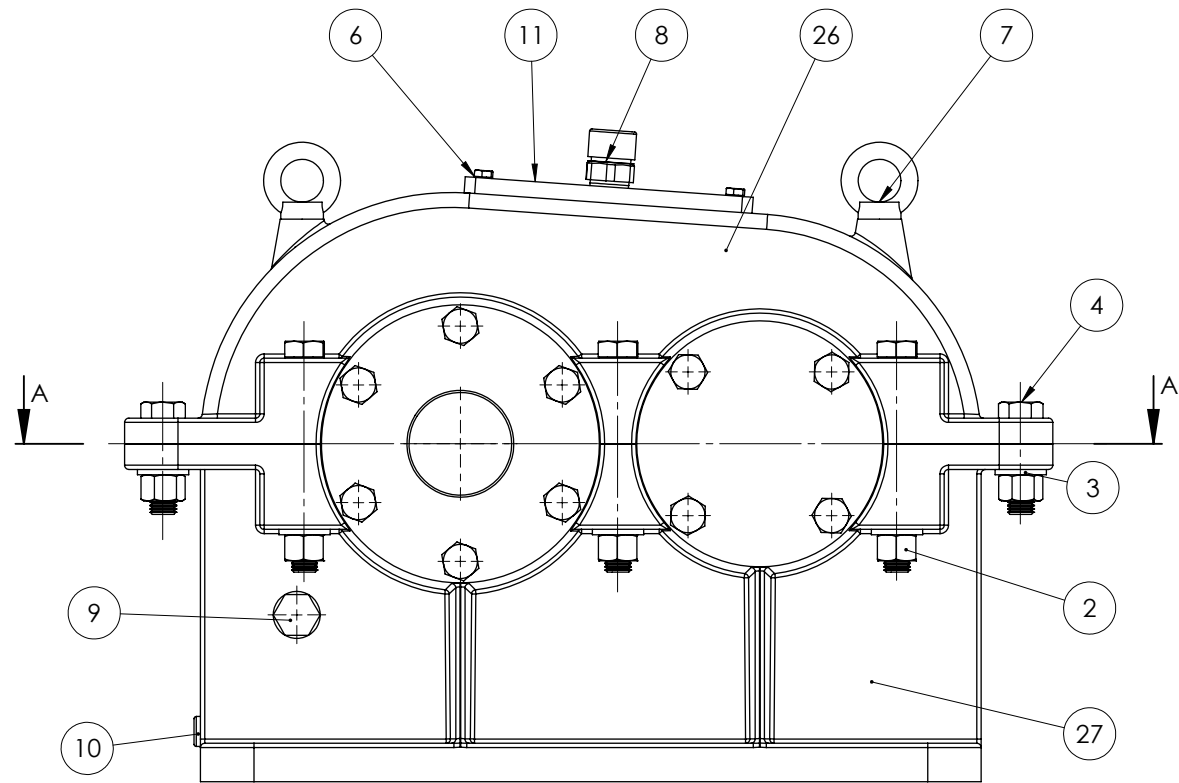
SolidWorks 2020 – studentska verzija (SP04) - popis nacрта:

1. generalni prikaz,
2. lijevano kućište,
3. lijevano kućište – poklopac,
4. kućište – sklop,
5. vratilo  $V_1$  sa zupčanicom,
6. vratilo  $V_2$ ,
7. zupčanik  $Z_2$ ,
8. poklopac  $V_1$  – puni,
9. poklopac  $V_1$  – šuplji,
10. poklopac  $V_2$  – puni,
11. poklopac  $V_2$  – šuplji,
12. poklopac za provjeru i
13. završna verzija prijenosnika – sklop.

SolidWorks Composer 2020 – studentska verzija (SP04)

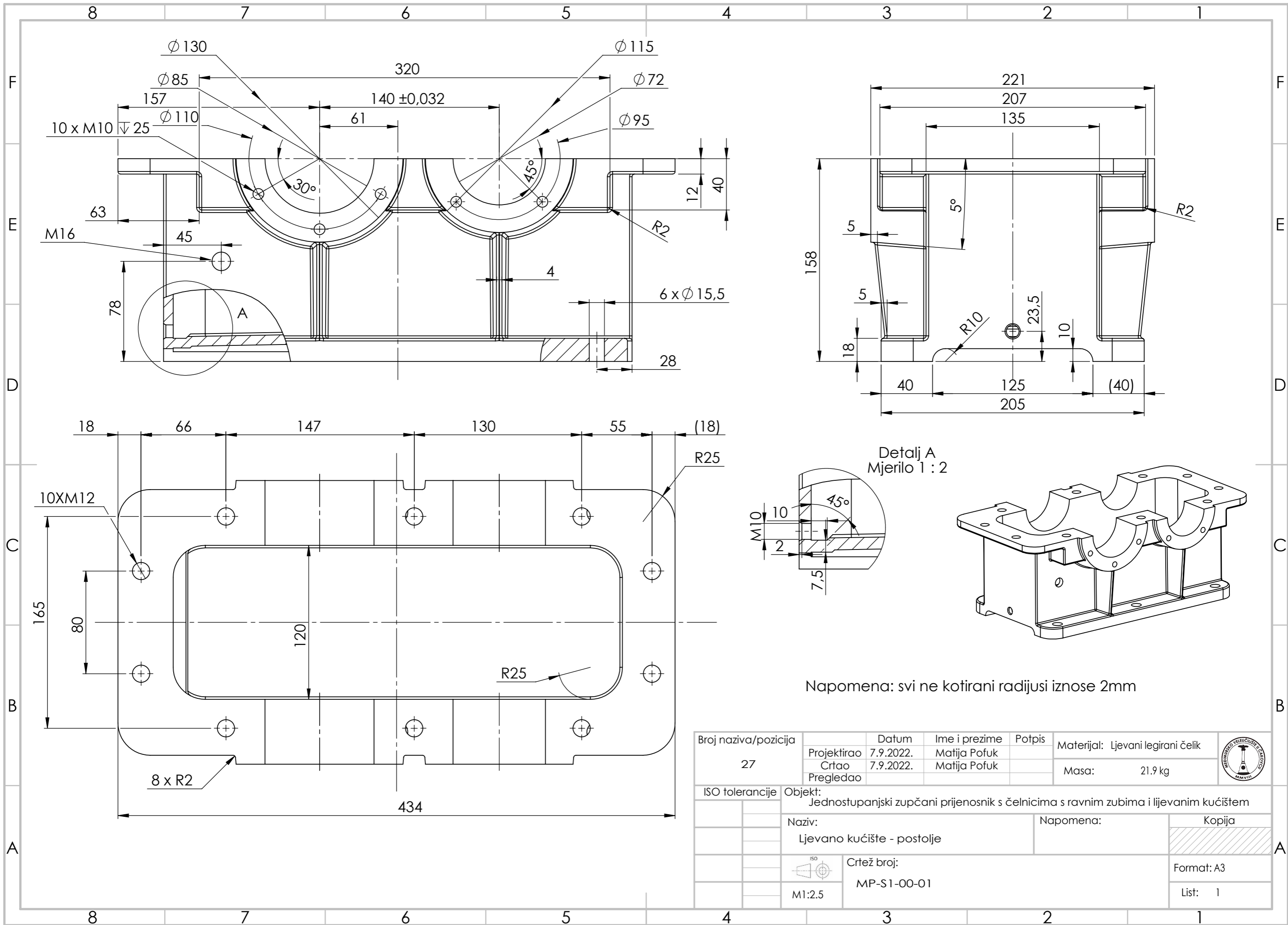
1. animacija i načini spajanja prikazani u digitalnom obliku





27	Kućište postolje	MP-S1-00-01	1	21.9 kg		
26	Kućište poklopac	MP-S1-00-02	1	14 kg		
25	Ležaj V1	DIN 5412	2	0.36 kg		
24	Ležaj V2	DIN 5412	2	0.66 kg		
23	Vratilo V1 - Zupčanik Z1	MP-S1-00-20	1	5.1 kg		
22	Vratilo V2	MP-S1-00-21	1	4.5 kg		
21	Pero	DIN 6885	1	0.102 kg		
20	Zupčanik Z2	MP-S1-00-22	1	14 kg		
19	Odstojni prsten V1	MP-S1-00-50	2	0.026 kg		
18	Odstojni prsten V2	MP-S1-00-51	2	0.032 kg		
17	Poklopac V1	MP-S1-00-23	1	0.96 kg		
16	Poklopac V2	MP-S1-00-25	1	1.12 kg		
15	Poklopac V2 šuplji	MP-S1-00-26	1	1.02 kg		
14	Semering50X65X10	DIN 3760	1	0.2 kg		
13	Poklopac V1 šuplji	MP-S1-00-24	1	0.89 kg		
12	Semering 35X50X10	DIN 3760	1	0.12 kg		
11	Poklopac za provjeru	MP-S1-00-27	1	0.72 kg		
10	Čep za ispušt ulja M10x1	DIN 908	1	0.016 kg		
9	Stakalce za provjeru ulja M16x1,5	GN 541	1	0.01 kg		
8	Odračnik - M12x1,5	GN 881	1	0.039 kg		
7	Očni vijak M8x1,5	DIN 580	2	0.07 kg		
6	Vljak M5 x 12	DIN EN 24017	4	0.012 kg		
5	Vljak M10 x 25	DIN EN 24017	20	0.276 kg		
4	Vijak - M12 x 45 x 30	DIN EN 24015	4	0.406 kg		
3	Podložna pločica $\varnothing$ 13	DIN 125	10	0.04 kg		
2	Matica M12	ISO 4034	10	0.09 kg		
1	Vijak M12 x 100 x 30	DIN EN 24016	6	0.482 kg		
	Pozicija	Naziv	Crtež broj	Norma	Kom.	Masa

Broj naziva/pozicija	Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik
Projektirao	7.9.2022.	Matija Pofuk		Masa: 173.42 kg
Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk		
Pregledao				
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem			
	Naziv: Reduktor sklop S1 - prikaz po komponentama			Napomena: Kopija
	Crtež broj: MP-S1-00-00			Format: A2
	M1:2.5			List: 1

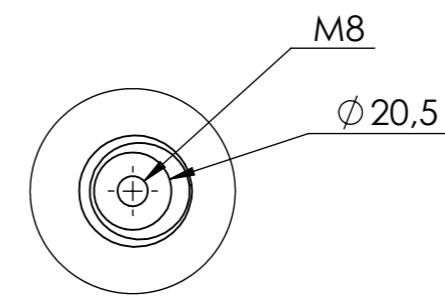
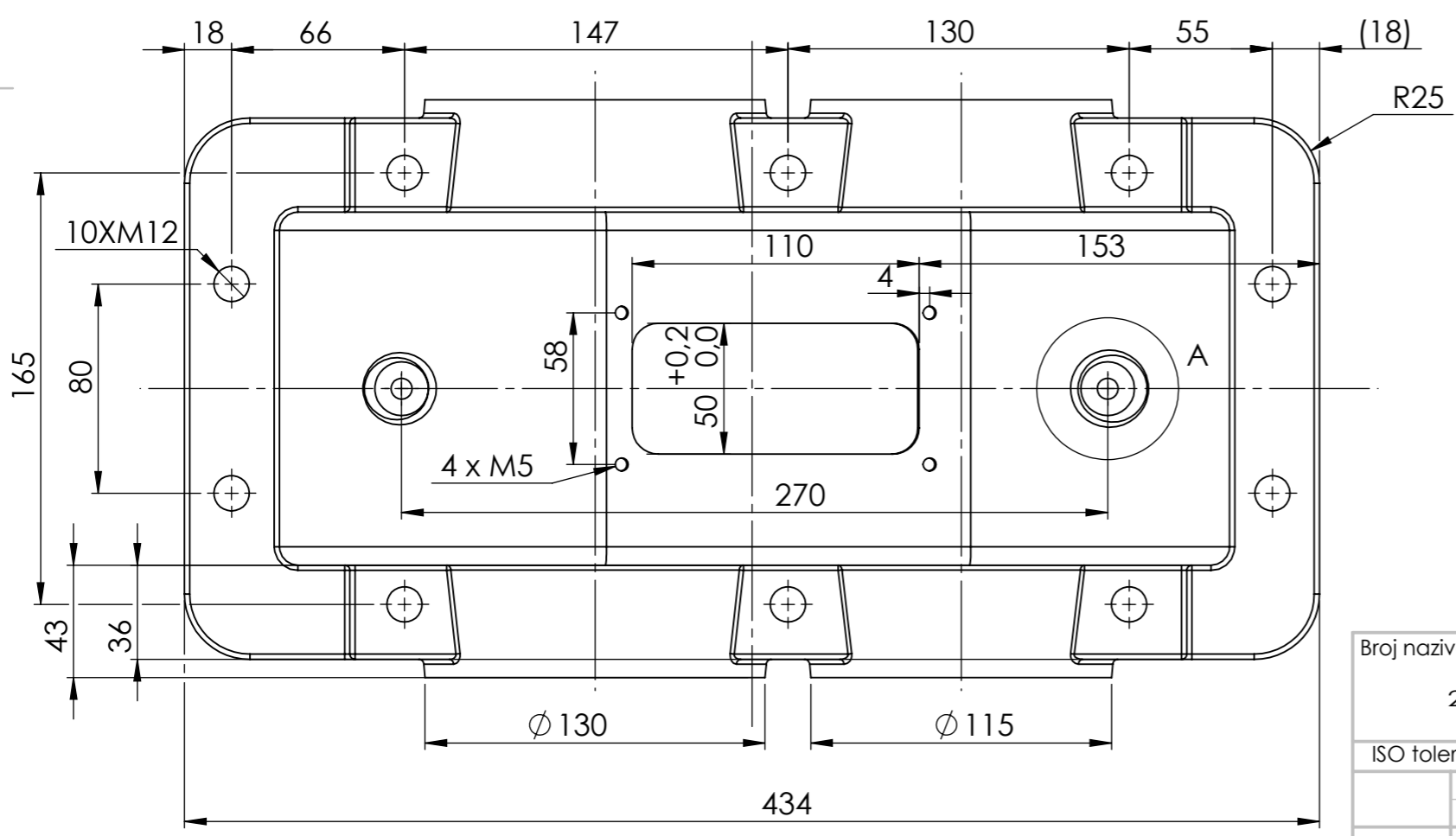
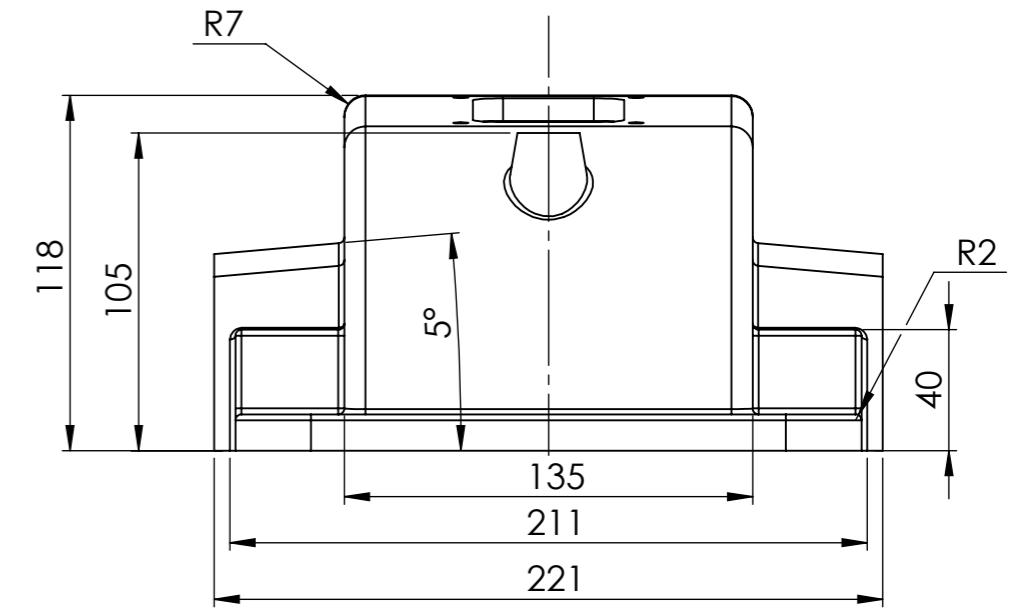
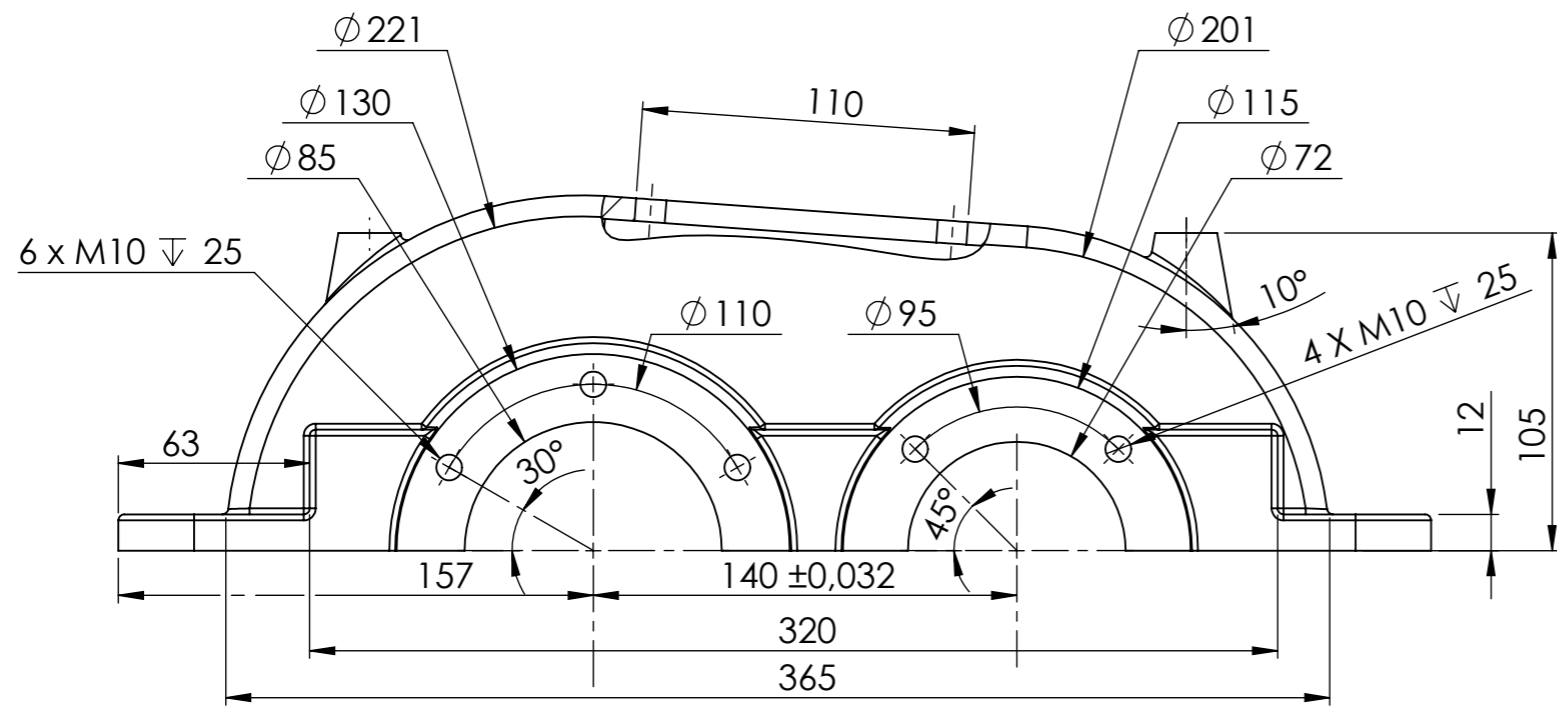


Napomena: svi ne kotirani radijusi iznose 2mm

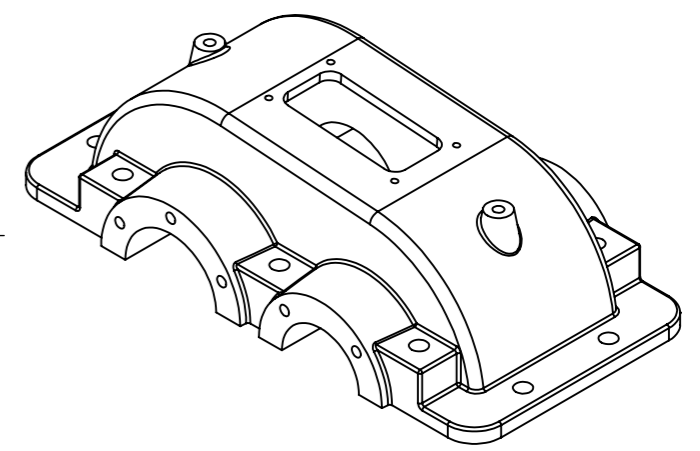
Broj naziva/pozicija 27	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik	
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk		Masa: 21.9 kg	
	Pregledao	7.9.2022.	Matija Pofuk			
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem					
	Naziv: Ljevano kućište - postolje				Napomena:	Kopija
	Crtež broj: MP-S1-00-01					Format: A3
	M1:2.5					List: 1

8 7 6 5 4 3 2 1


F  
E  
D  
C  
B  
A



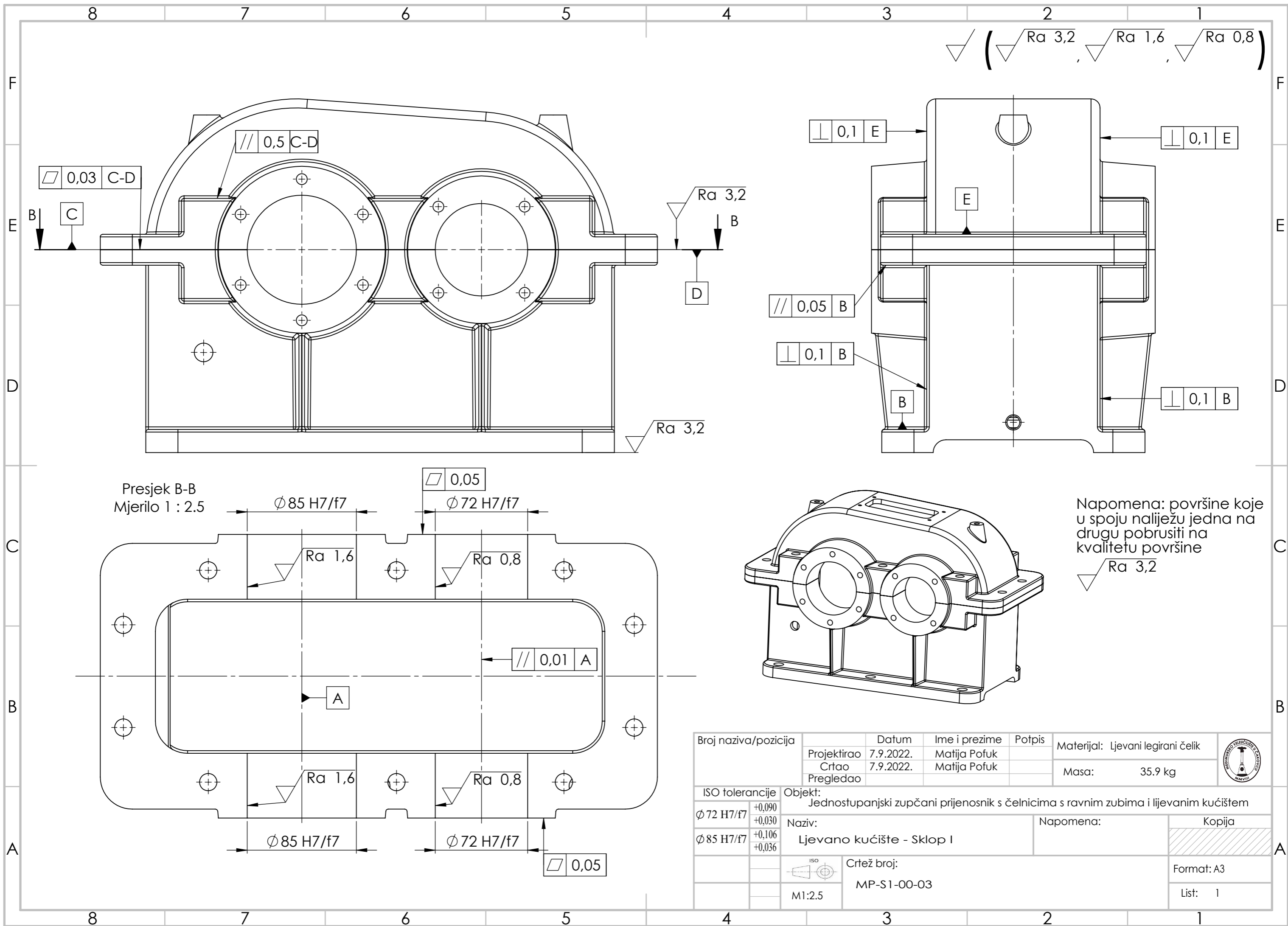
Detalj A  
Mjerilo 1 : 2



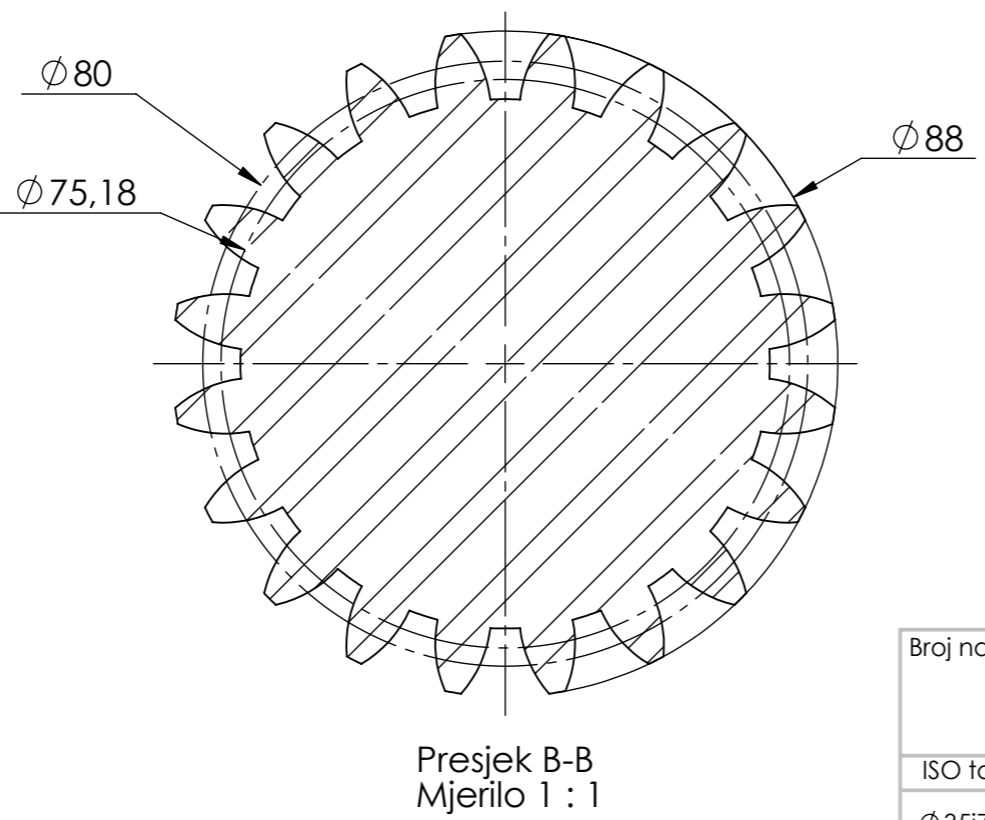
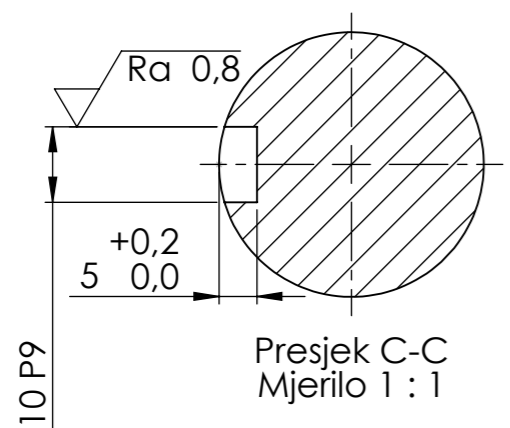
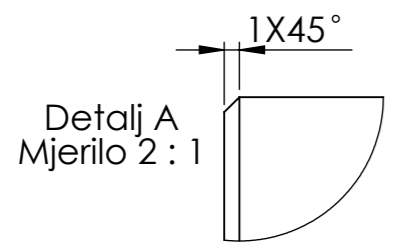
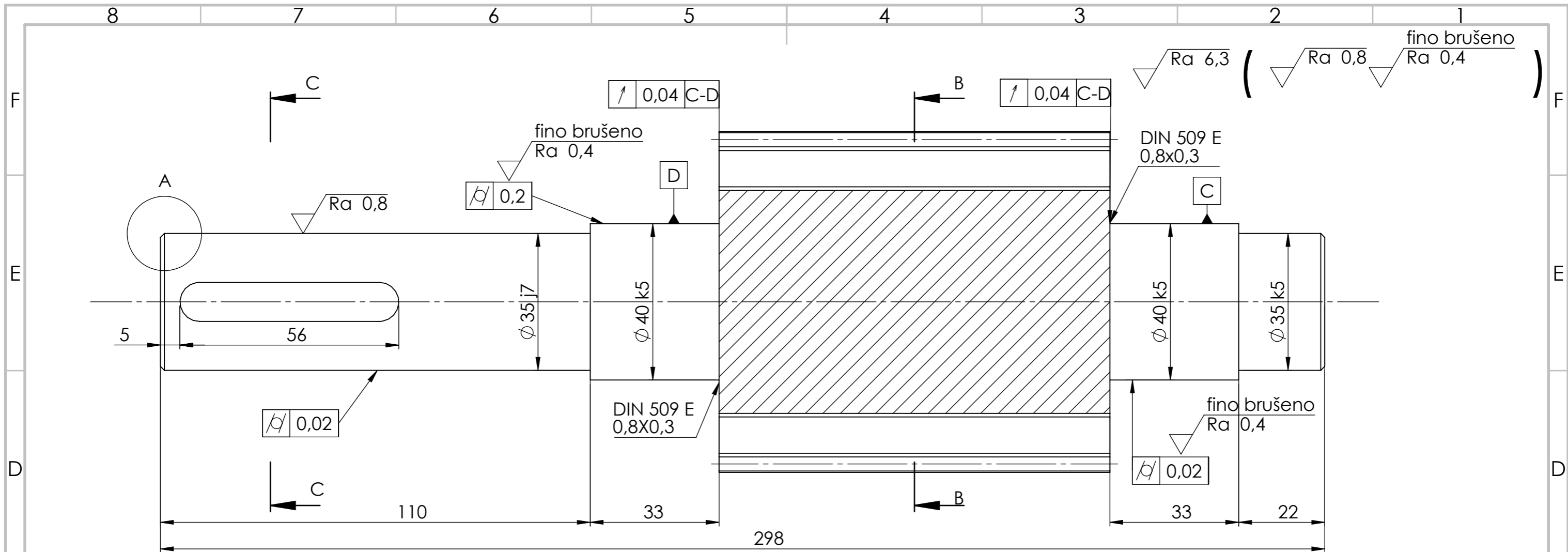
Napomena: svi ne kotirani radijusi iznose 2mm

Broj naziva/pozicija 26	Projektirao	7.9.2022.	Ime i prezime	Matija Pofuk	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik		
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk					
	Pregledao					Masa: 14 kg		
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem							
	Naziv: Ljevano kućište - poklopac				Napomena:		Kopija	
	Crtež broj: MP-S1-00-02						Format: A3	
M1:2.5							List: 1	

8 7 6 5 4 3 2 1



Broj naziva/pozicija	Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik	
	Projektirao	Matija Pofuk		Masa: 35.9 kg	
	Crtao	Matija Pofuk			
	Pregledao				
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem				
$\phi 72 \text{ H7/f7}$	Naziv: Ljevano kućište - Sklop I			Napomena:	Kopija
$\phi 85 \text{ H7/f7}$					
	Crtež broj: MP-S1-00-03				Format: A3
	M1:2.5				List: 1

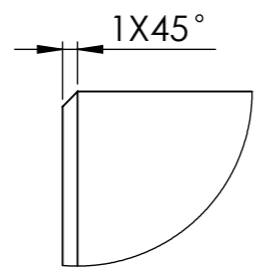
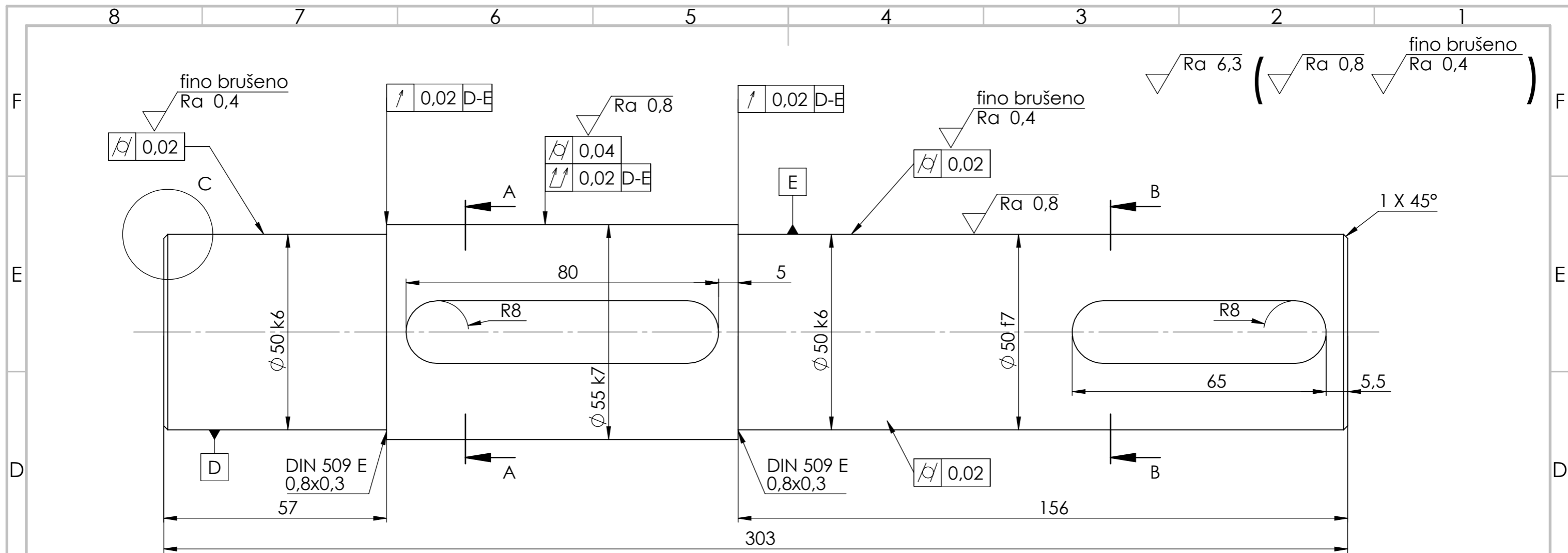


broj zuba	Z1	20
broj okretaja	n1	1420 min-1
modul	m	4
razmak osi vratila	a	140 mm
standardni profil	-	HRN M.C1.015
širina zupčanika	b	100 mm
kut zahvata	a	20°
diobeni promjer	d1	80 mm
prijenosni omjer	i	2,5
kvaliteta	-	S'8fe3,75 HRN M.C1C031

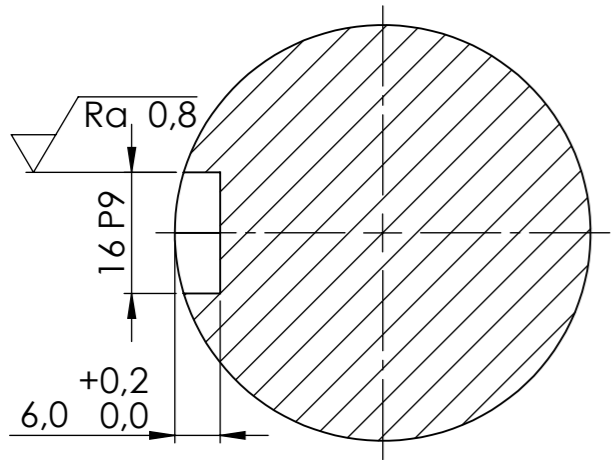
Broj naziva/pozicija 23	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk		
	Pregledao	7.9.2022.	Matija Pofuk		Masa: 5.1 kg
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem				
Ø 35j7	+0,013 -0,008	Naziv: Vratilo V1 sa zupčanikom			Napomena:
Ø 40k5	+0,011 +0,002	Crtež broj: MP-S1-00-20			Kopija
Ø 35k5	+0,012 +0,003				Format: A3
10P9	-0,015 -0,051	M1:1	List: 1		



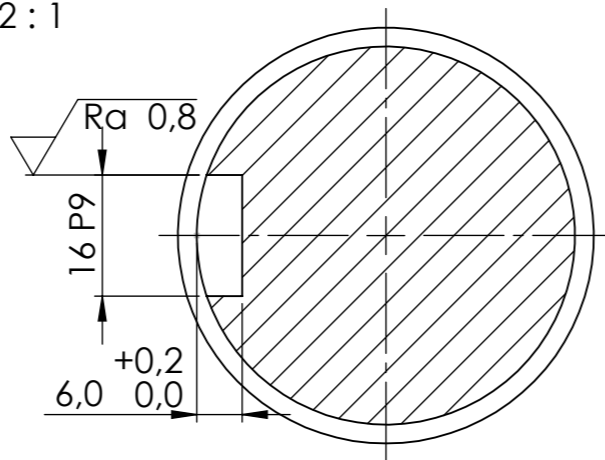




DETALJ C  
MJERILO 2 : 1



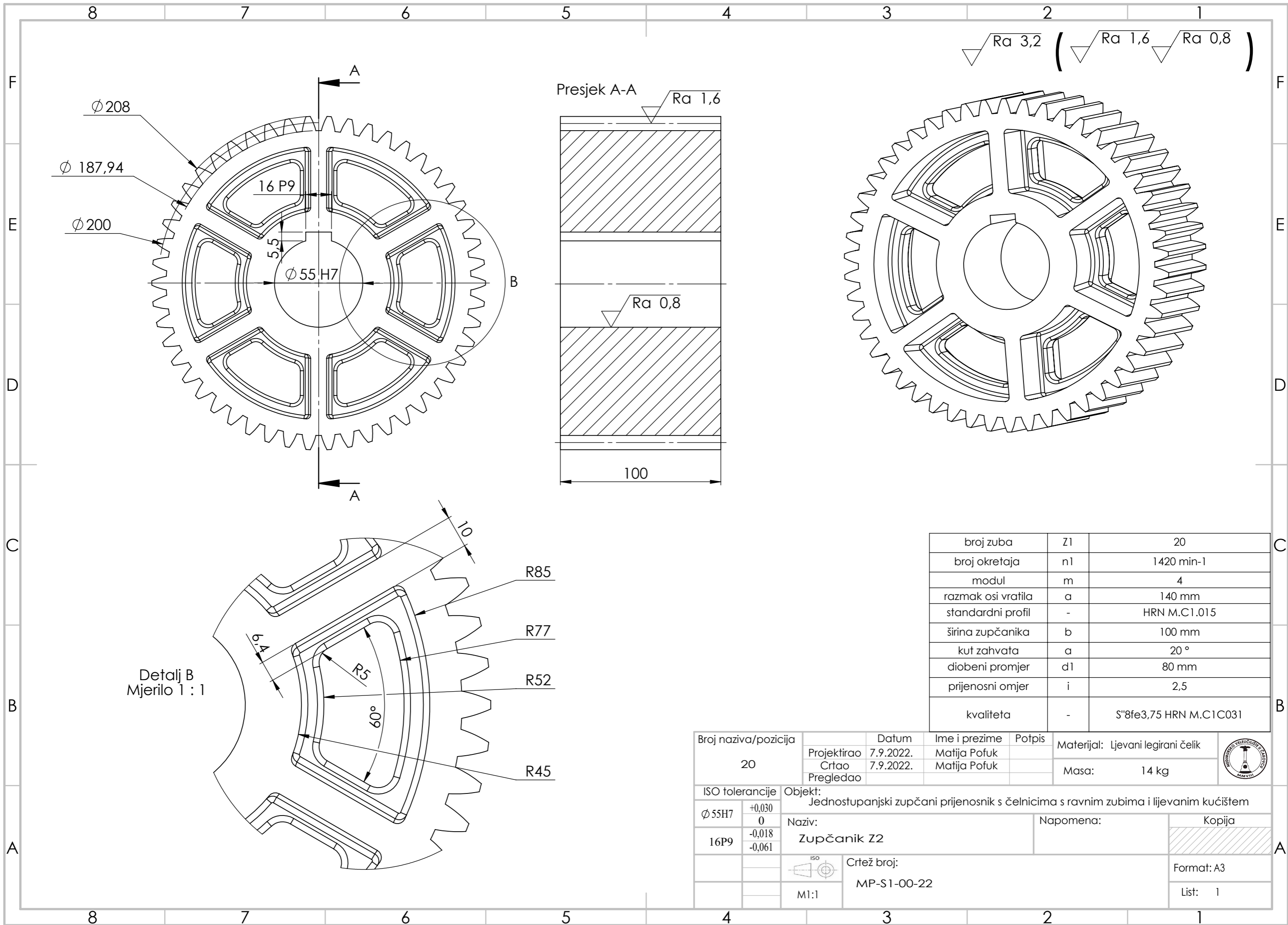
PRESJEK A-A  
MJERILO 1 : 1

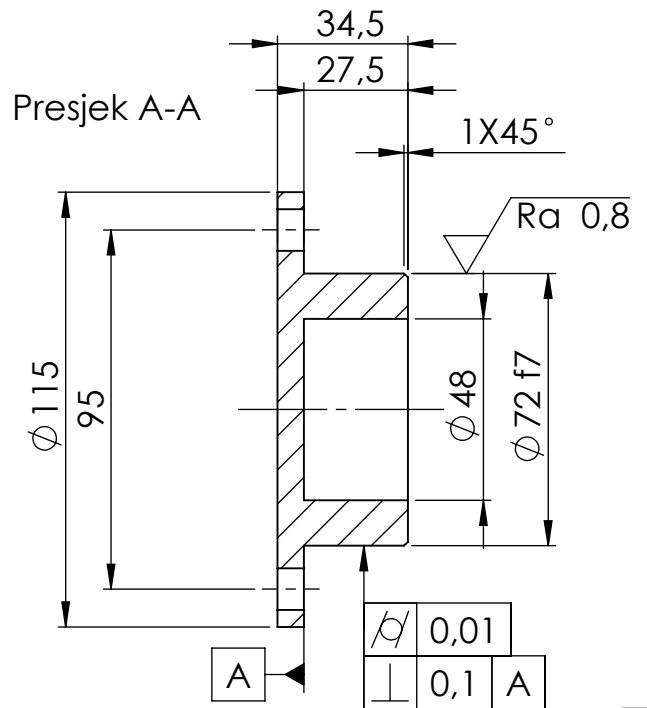
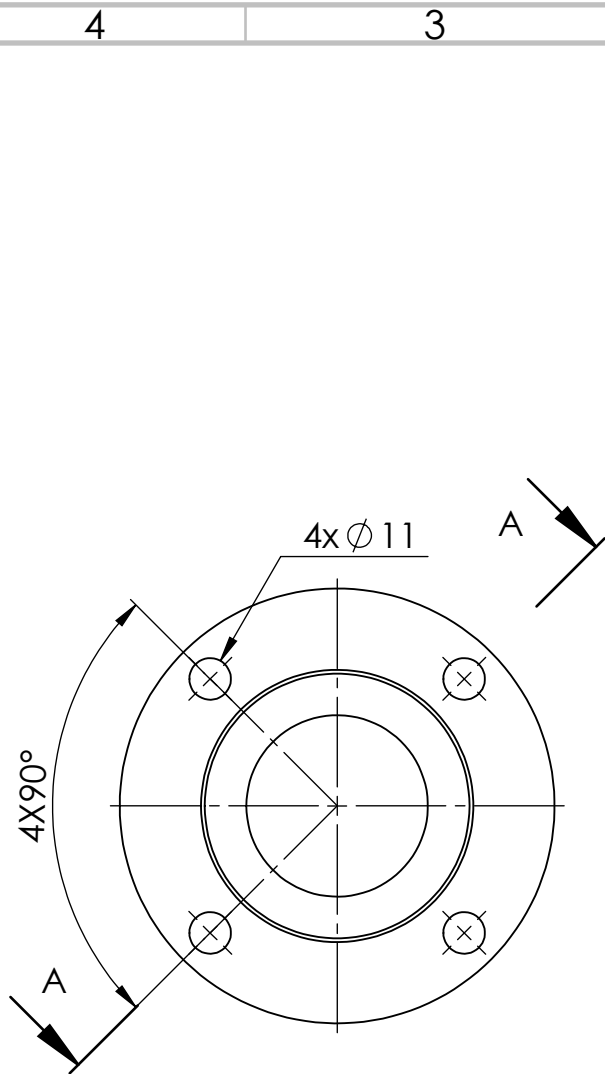


PRESJEK B-B  
MJERILO 1 : 1

broj zuba	Z1	20
broj okretaja	n1	1420 min-1
modul	m	4
razmak osi vratila	a	140 mm
standardni profil	-	HRN M.C1.015
širina zupčanika	b	100 mm
kut zahvata	a	20°
diobeni promjer	d1	80 mm
prijenosni omjer	i	2,5
kvaliteta	-	S*8fe3,75 HRN M.C1C031

Broj naziva/pozicija	22	Datum	7.9.2022.	Ime i prezime	Matija Pofuk	Potpis	Materijal:	Ljevani legirani čelik
		Projektirao	7.9.2022.		Matija Pofuk		Masa:	4.5 kg
		Crtao	7.9.2022.		Matija Pofuk			
		Pregledao						
ISO tolerancije	Objekt:	Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem						
Ø 50k6	+0,021	Naziv:		Vratilo V2		Napomena:		Kopija
	+0,002							
Ø 55k7	+0,032							
	+0,002							
Ø 50f7	-0,030	Crtež broj:		MP-S1-00-21				Format: A3
	-0,060							List: 1
16P9	-0,015							
	-0,051							





Napomena: naknadno skinuti sve oštre bridove

Broj naziva/pozicija 17	Datum	7.9.2022.	Ime i prezime	Matija Pofuk	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik	
	Projektirao	7.9.2022.	Matija Pofuk				
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk			Masa: 0.964 kg	
Pregledao							
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem						
Ø 72f7	-0,030 -0,060	Naziv: Poklopac kod otvora vratila V1 - puni			Napomena:		Kopija
		Crtež broj: MP-S1-00-23					Format: A4
		M1:2					List: 1

4 3 2 1

$\sqrt{Ra\ 6,3}$  (  $\sqrt{Ra\ 0,8}$   $\sqrt{Ra\ 1,6}$  )

F

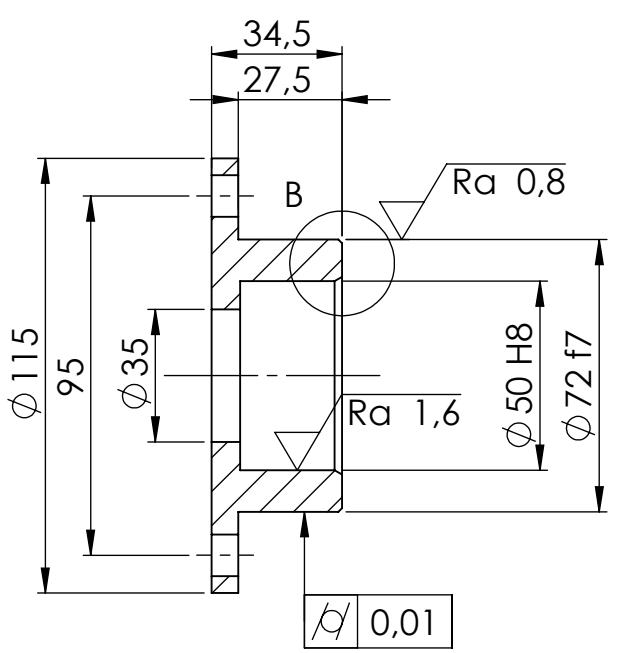
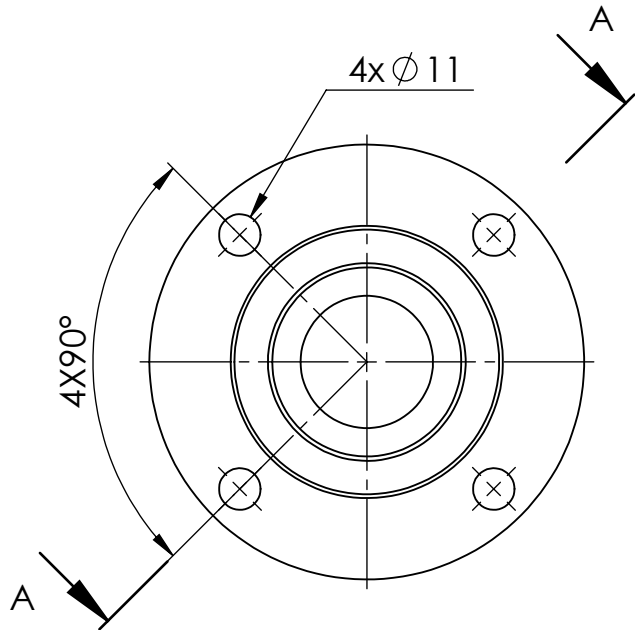
F

E

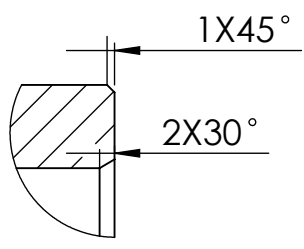
E

D

D



Presjek A-A



Detalj B  
Mjerilo 1 : 1

Napomena: naknadno skinuti sve oštre bridove

B

B

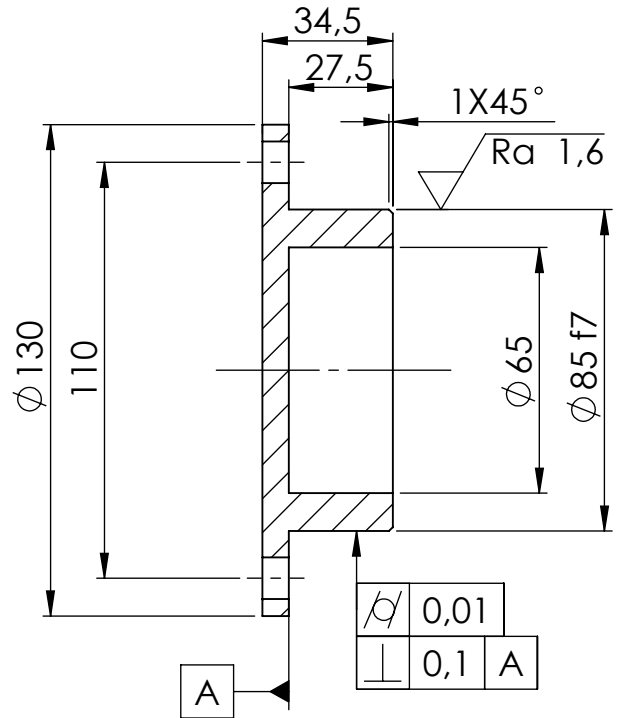
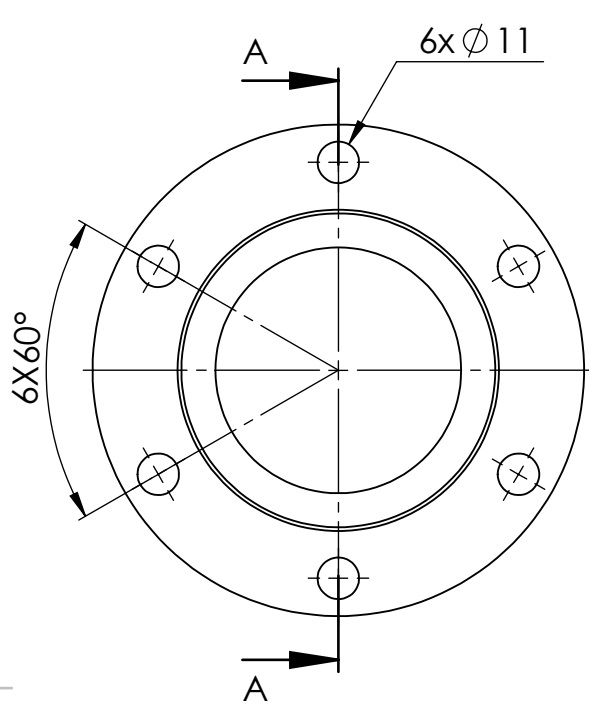
Broj naziva/pozicija 13	Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik	
	Projektirao	7.9.2022.	Matija Pofuk		
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk		
	Pregledao				

A

A

ISO tolerancije	Objekt:	Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem	
$\phi 72f7$	-0,030	Naziv:	Napomena:
	-0,060		
$\phi 50H8$	+0,039	Poklopac otvora vratila V1 - šuplji	Kopija
	0		
	ISO	Crtež broj:	Format: A4
	M1:2	MP-S1-00-24	List: 1

4 3 2 1



Presjek A-A

Napomena: naknadno skinuti sve oštre bridove

Broj naziva/pozicija 16	Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik
	Projektirao	7.9.2022.	Matija Pofuk	
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk	Masa: 1.12 kg
	Pregledao			

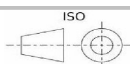


ISO tolerancije  
 $\phi 85f7$   $\begin{matrix} -0,036 \\ -0,071 \end{matrix}$  Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem

Naziv: Poklopac otvora vratila V2 - puni

Napomena:

Kopija

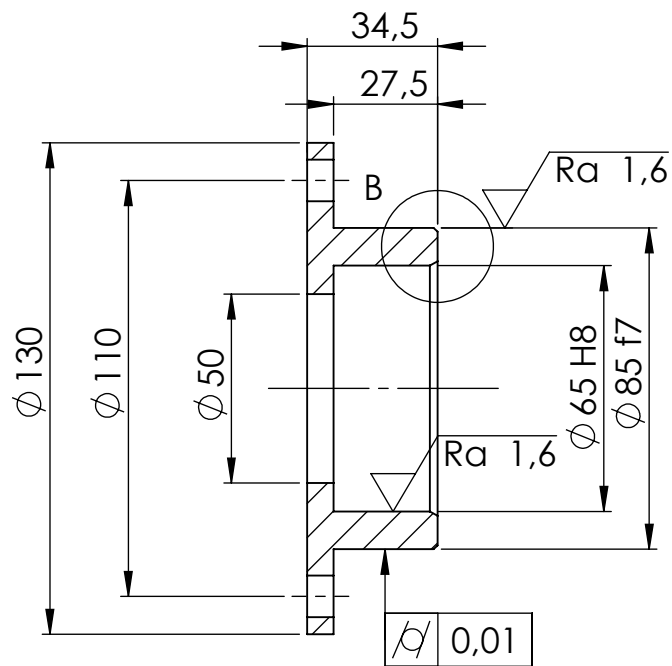
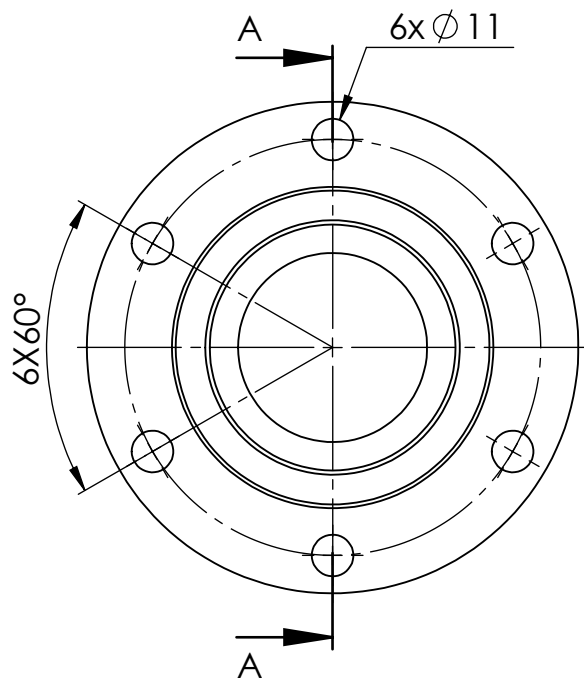


Crtež broj:  
MP-S1-00-25

Format: A4

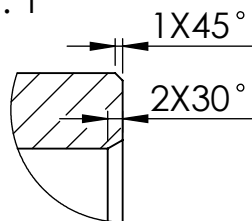
M1:2

List: 1



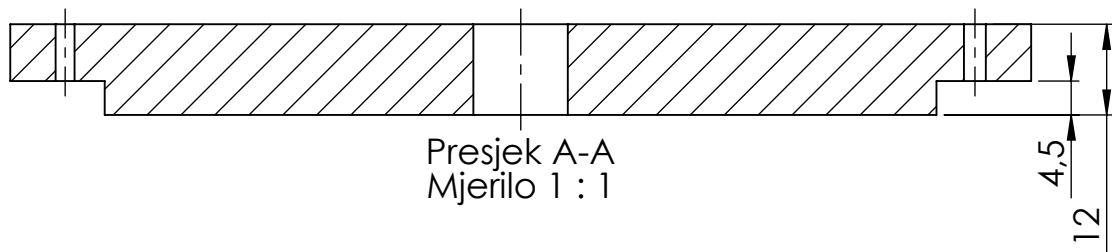
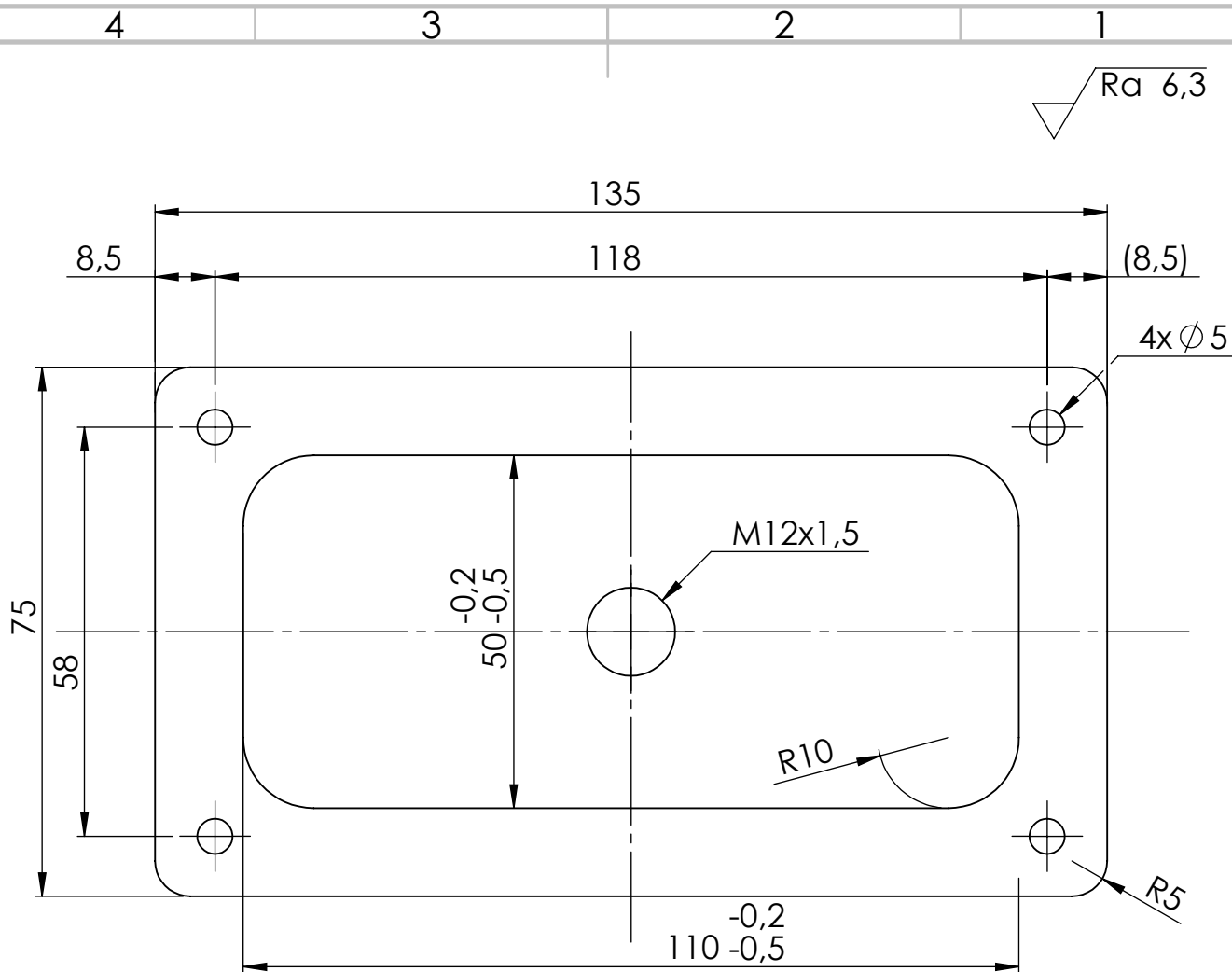
Presjek A-A

Detalj B  
Mjerilo 1 : 1



Napomena: naknadno skinuti sve oštre bridove

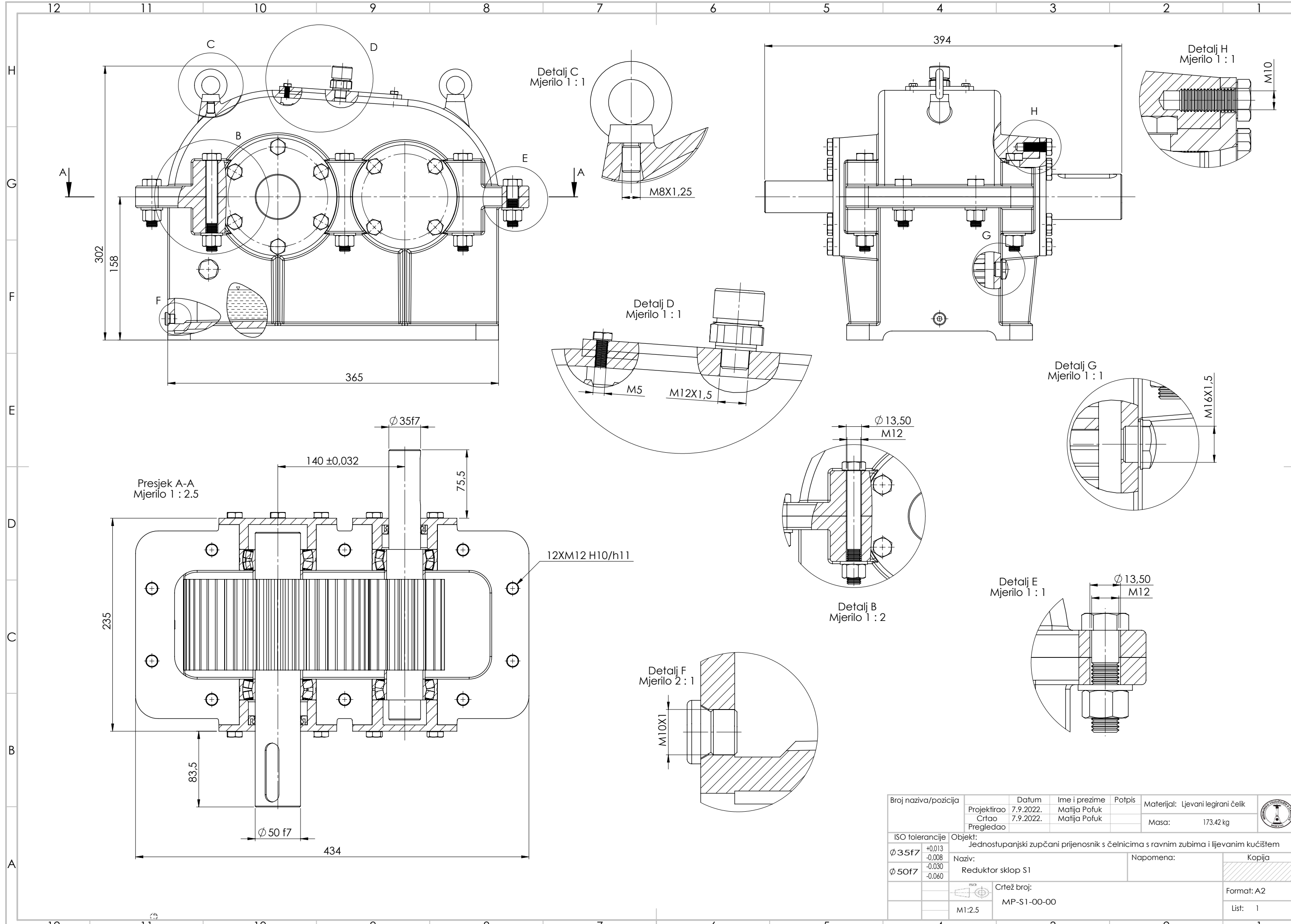
Broj naziva/pozicija 15	Datum	7.9.2022.	Ime i prezime	Matija Pofuk	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik Masa: 1.02 kg	
	Projektirao	7.9.2022.	Matija Pofuk				
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk				
Pregledao							
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem						
$\phi 85f7$	-0,036 -0,071	Naziv:		Napomena:		Kopija	
$\phi 65H8$	+0,046 0	Poklopac otvora vratila V2 - šuplji					
		Crtež broj:	MP-S1-00-26				Format: A4
		M1:2					List: 1




Napomena: Naknadno skinuti sve oštre bridove

Broj naziva/pozicija 11	Datum	Ime i prezime	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik	
	Projektirao	7.9.2022.	Matija Pofuk		
	Crtao	7.9.2022.	Matija Pofuk	Masa: 0.72 kg	
Pregledao					

ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i ljevanim kućištem	Napomena:		Kopija
	Naziv: Poklopac za provjeru			
	Crtež broj: MP-S1-00-27			Format: A4
	M1:1			List: 1



Broj naziva/pozicija	Projektirao Crtao Pregledao	Datum 7.9.2022. 7.9.2022.	Ime i prezime Matija Pofuk Matija Pofuk	Potpis	Materijal: Ljevani legirani čelik Masa: 173.42 kg	
ISO tolerancije	Objekt: Jednostupanjski zupčani prijenosnik s čelnicima s ravnim zubima i lijevanim kućištem					
Ø 35f7 +0.013 -0.008	Naziv: Reduktor sklop S1			Napomena:		Kopija
Ø 50f7 -0.030 -0.060	Crtež broj: MP-S1-00-00					Format: A2
	M1:2.5					List: 1