

3D modeliranje i proračun pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32

Šunjo, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:479437>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

**3D MODELIRANJE I PRORAČUN POGONSKOG
SKLOPA TROKRILNE ZUPČASTE PUMPE ZPC - 32**

Završni rad br. 10/MEH/2017

Marin Šunjo

Bjelovar, listopad 2018.

VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

**3D MODELIRANJE I PRORAČUN POGONSKOG
SKLOPA TROKRILNE ZUPČASTE PUMPE ZPC - 32**

Završni rad br. 10/MEH/2017

Marin Šunjo

Bjelovar, listopad 2018.



Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Šunjo Marin**

Datum: 25.05.2017.

Matični broj: 000984

JMBAG: 0314009721

Kolegij: **KONSTRUIRANJE 3D MODELIRANJEM**

Naslov rada (tema): **3D modeliranje i proračun pogonskog sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Opće strojarstvo (konstrukcije)**

Mentor: **Božidar Hršak, mag.ing.mech.**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za završni rad:

1. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., predsjednik
2. Božidar Hršak, mag.ing.mech., mentor
3. mr.sc. Stjepan Golubić, komentor

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 10/MEH/2017

U radu je potrebno:

- opisati pumpe s rotirajućim krilima
- proračunati potrebnu snagu elektromotora i trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32 za: radni tlak $p = 0,7$ MPa (7 bara) i kapacitet $Q = 4,2$ m³/h, a na temelju postojeće 2D dokumentacije, izraditi kontrolni proračun osnovnih elemenata pogonskog sklopa pumpe za: broj zubi sinkronih zupčanika $z_1 = z_2 = 22$, modul $m = 3$ mm, materijal sinkronih zupčanika z_1 i z_2 Č4320, materijal pogonskog i gonjenog vratila Č1531
- izraditi 3D modele svih pozicija i sklopa pogona i trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32, 3D animacije radnih funkcija sklopa pogona i trokrilne pumpe, te rastavljenu izvedbu pogona i trokrilne pumpe
- izraditi analizu naprezanja (FEA) pogonskog vratila na temelju analitički provedenog kontrolnog proračuna pogonskog sklopa pumpe
- izraditi analizu tijeka strujanja fluida u 3D modelu sklopa trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32
- izraditi (generiranjem iz 3D modela) kompletnu 2D radioničku dokumentaciju svih pozicija i sklopa.

Zadatak uručen: 25.05.2017.

Mentor: **Božidar Hršak, mag.ing.mech.**



ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru Božidaru Hršak mag. ing. mech. što mi je predložio ovu složenu temu završnog rada, i što mi je uvelike pomogao sa svojim savjetima oko modeliranja i pisanja samog rada. Također se zahvaljujem svim profesorima i asistentima Veleučilišta u Bjelovaru na suradnji i pruženim znanjima što kroz teoriju, što kroz praktičan rad. Veliku zahvalu dugujem svojim roditeljima i obitelji što su mi omogućili studiranje i stjecanje dodatnih znanja i na strpljenju i podršci tokom pisanja završnog rada.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PRINCIP RADA I PODJELA HIDRAULIČKE PUMPE	2
2.1 Podjela hidrauličkih pumpi	2
2.1.1 Varijabilnost volumena	3
2.2 Princip rada krilne pumpe	3
2.3 Primjena krilnih pumpi	4
2.4 Prednosti krilnih pumpi	5
3. KONTROLNI PRORAČUN POGONSKOG SKLOPA TROKRILNE ZUPČASTE PUMPE ZPC - 32	6
3.1 Potrebna snaga elektromotora za pogon trokrilne zupčaste pumpe ZPC -32	6
3.1.1 Moment na vratilu elektromotora za pogon trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32	7
3.1.2 Snaga trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32	7
3.1.3 Moment na pogonskom vratilu trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32	8
3.2 Pogonski sinkroni zupčanik Z1	8
3.2.1 Proračun dimenzija pogonskog sinkronog zupčanika Z1	11
3.2.2 Stupanj prekrivanja	16
3.2.3 Sile koje opterećuju pogonski sinkroni zupčanik Z1	16
3.2.4 Kontrola pogonskog sinkronog zupčanika Z1 u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba F1	17
3.2.5 Kontrola pogonskog sinkronog zupčanika Z1 u odnosu na dozvoljenu čvrstoću σ_H	20
3.3 Dimenzioniranje i kontrolni proračun pogonskog vratila	23
3.3.1 Reakcije u osloncima A i B (ležajevima) pogonskog vratila	25
3.3.2 Rezultante poprečnih sila i reakcija u osloncima A i B horizontalne i vertikalne ravnine	27
3.3.2 Promjeri pojedinih stupnjeva pogonskog vratila proračunom na savijanje i uvijanje	30
3.3.3 Momenti savijanja u vertikalnoj ravnini u pojedinim presjecima	31
3.3.4 Reducirani momentu u vertikalnoj ravnini u pojedinim presjecima	32
3.3.5 Momenti savijanja u horizontalnoj ravnini u pojedinim presjecima	35
3.3.6 Reducirani momenti u horizontalnoj ravnini u pojedinim presjecima	36
3.3.7 Kontrolni proračun pogonskog vratila u vertikalnoj ravnini za materijal C45E (Č1531) u pojedinim presjecima obzirom na koncentraciju naprezanja (zarezo djelovanje) -dinamičke sigurnosti	43
3.3.8 Reducirano naprezanje na savijanje i stvarni koeficijent naprezanja u određenim presjecima	45
3.3.9 Kontrolni proračun pogonskog vratila u horizontalnoj ravnini za materijal C45E (Č1531) u pojedinim presjecima obzirom na koncentraciju naprezanja (zarezo djelovanje) -dinamička sigurnost	60
Slika 3.20 Dispozicija reduciranih momenata - zarezo djelovanje na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini	65

3.4 Izbor i kontrolni proračun ležajeva pogonskog vratila	66
3.5 Kontrolni proračun progiba Y_C i kuta nagiba elastične linije β_C u točki C pogonskog vratila	67
4. IZRADA 3D MODELA TROKRILNE PUMPE ZPC - 32	73
4.1. Izrada 3D modela rotora za krilnu pumpu ZPC - 32	75
4.2 Izrada 3D modela gonjenog vratila trokrilne zupčaste pumpe ZPC -32	81
4.4. Modeliranje ostalih pozicija trokrilne pumpe ZPC - 32	87
5. IZRADA 3D SKLOPA TROKRILNE PUMPE ZPC - 32	96
5.1. 3D animacija prikaza radne funkcije sklopa	98
5.2 3D animacija i prikaz sklopa u rastavljenom stanju	100
6. ANALIZA NAPREZANJA (FEA) POGONSKOG VRATILA TROKRILNE PUMPE ZPC - 32	102
7. ANALIZA TOKA STRUJANJA FLUIDA U 3D MODELU TROKRILNE PUMPE ZPC - 32	105
8. IZRADA (GENERIRANJE) 2D RADIONIČKE DOKUMENTACIJE	111
9. ZAKLJUČAK	114
10. LITERATURA	115
11. POPIS OZNAKA	116
12. ZAŽETAK	119
13. SUMMARY	120
14. PRILOZI	121

Popis slika

Slika 2.1 Vrste hidrostatičkih (volumenskih) pumpi [1]	2
Slika 2.2 Krilna pumpa [2]	3
Slika 2.3 Ciklus rada krilne pumpe [2]	4
Slika 2.4 Primjena krilne pumpe [3]	5
Slika 3.1 Faktor oblika Y_F [4]	10
Slika 3.2 Pomoćni faktor raspodjele q_L i faktor raspodjele opterećenja $K_{F\alpha}$ [4]	18
Slika 3.3 Faktor oblika boka Z_H [4]	21
Slika 3.4 Pogonski sklop trokrilne zupčaste pumpe sa pojedinim presjecima ZPC-32	23
Slika 3.5 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u izometriji	24
Slika 3.6 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini	24
Slika 3.7 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini	24
Slika 3.8 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini	28
Slika 3.9 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini	29
Slika 3.9 Dispozicija momenata na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini	38
Slika 3.11 Dispozicija momenata na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini	39
Slika 3.12 Dispozicija reduciranih momenata na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini	41
Slika 3.13 Dispozicija reduciranih momenata na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini	42
Slika 3.14 Faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije) [5]	43
Slika 3.15 Faktor zareznog djelovanja kod uvijanja (torzije) [5]	44
Slika 3.16 Faktor veličine strojnog dijela b_1 kod savijanja i uvijanja [5]	46
Slika 3.17 Faktor kvalitete površine obrade b_2 [5]	46
Slika 3.18 Faktor zareznog djelovanja β_{Kt} kod uvijanja vratila s utorom za pero [5]	48
Slika 3.19 Dispozicija reduciranih momenata - zarezno djelovanje na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini	64
Slika 3.20 Dispozicija reduciranih momenata - zarezno djelovanje na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini	65

Slika 4.1. Sučelje programskog alata <i>Solid Edge ST8 - Synchronous Technology</i>	73
Slika 4.2 Promjena tehnologije izrade 3D modela	74
Slika 4.3 3D model priključka DN - 50 izrađen sinkronom tehnologijom (eng. <i>Synchronous Technology</i>)	74
Slika 4.4 Modeliranje rotora trokrične pumpe (eng. <i>Protrusion</i>)	75
Slika 4.5 Oduzimanje materijala (eng. <i>Cutout</i>) za izradu provrta za mehaničku brtvu	76
Slika 4.6 Izrada provrta sa utorom za klin	77
Slika 4.7 Ravnomjerno podrezivanje provrta (eng. <i>Chamfer Equal Setbacks</i>)	78
Slika 4.8 Opcije pri izradi rupa (eng. <i>Hole options</i>)	78
Slika 4.9 Izrada provrta pomoću značajke rupe (eng. <i>Hole</i>)	79
Slika 4.10. Foto realistični prikaz 3D modela rotora trokrične pumpe ZPC -32 (eng. <i>Key Shot</i>) u programskom alatu <i>Solid Edge ST8 – Synchronous Technology</i>	80
Slika 4.11 Pozicioniranje upravljača (eng. <i>Steering Wheel</i>) na skicu gonjenog vratila	81
Slika 4.12 Izrada kružnog dodavanja materijala oko osi (eng. <i>Revolve</i>) pomoću upravljača	82
Slika 4.13 Urezivanje navoja (eng. <i>Thread</i>) M35x1,5	83
Slika 4.14 Značajke ravnomjernog podrezivanja (eng. <i>Chamfer Equal setbacks</i>)	84
Slika 4.15 Značajka kružnog umnožavanja (eng. <i>Circular Pattern</i>)	85
Slika 4.16 Foto realistični prikaz 3D modela gonjenog vratila trokrične pumpe ZPC -32 (eng. <i>Key Shot</i>) u programskom alatu <i>Solid Edge ST8 – Synchronous Technology</i>	86
Slika 4.17 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela pogonskog vratila (<i>Solid Edge ST8 - Synchronous Technology</i>)	87
Slika 4.18 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela nosača prstena	88
Slika 4.19 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela navrtke	89
Slika 4.20 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela osigurača	89
Slika 4.21 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela priteznog prstena	89
Slika 4.22 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela poklopca ležaja	89
Slika 4.23 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela prirubnice	90
Slika 4.24 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela poklopca brtve	90
Slika 4.25 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela unutrašnjeg prstena	90

Slika 4.26 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela vanjskog prstena	90
Slika 4.27 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela priključka DN 50	91
Slika 4.28 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela čepa	91
Slika 4.29 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela zaprivača	91
Slika 4.30 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela podsklopa uljokaza	91
Slika 4.31 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela tijela pumpe	92
Slika 4.32 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela poklopca pumpe	93
Slika 4.33 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela poklopca nosača	94
Slika 4.34 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela sinkronih zupčanika	95
Slika 5.1. Spajanje dijelova u sklop krilne pumpe (eng. <i>Mate</i>)	96
Slika 5.2. Renderirani (foto realističan) prikaz 3D sklopa trokrilne pumpe ZPC -32	97
Slika 5.3. Postavljanje značajke rotacijskog motora na pogonsko vratilo	98
Slika 5.4 Prikaz svojstva značajke simulacije motora (eng. <i>Simulate motor</i>)	99
Slika 5.5 Izrada 3D animacije korištenjem značajke simulacije motora (eng. <i>Simulate motor</i>)	99
Slika 5.6 Korištenje značajke rastavljenog stanja (eng. <i>Explode</i>)	100
Slika 5.7 Prikaz rastavljanja sklopa (eng. <i>Exploded View</i>)	101
Slika 6.1. Odabir fiksnih ograničenja (eng. <i>Fixtures</i>) na pogonskom vratilu trokrilne pumpe	102
Slika 6.2 Sile opterećenja na odabrane značajke pogonskog vratila trokrilne pumpe	103
Slika 6.3 Rezultati analize naprezanja gonjenog vratila sa materijalom C45E (Č1531)	103
Slika 6.4 Faktor sigurnosti pogonskog vratila trokrilne pumpe za materijal vratila C45E (Č1531) (<i>FOS – Solid Edge Simulation</i>)	104
Slika 7.1 Postavljanje poklopaca na ulazno-izlazne priključke (eng. <i>Lids</i>)	105
Slika 7.2. Ulazni parametri analize toka strujanja fluida u 3D sklopu trokrilne pumpe	106
Slika 7.3. Izlazni parametri analize toka strujanja fluida u 3D sklopu trokrilne pumpe	106
Slika 7.4. Definiranja početka strujanja fluida (eng. <i>Flow Trajectories</i>)	107
Slika 7.5. Prikaz toka i brzine strujanja fluida kroz trokrilnu pumpu ZPC - 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (izometrijski prikaz)	108
Slika 7.6. Prikaz toka i brzine strujanja fluida kroz krilnu pumpu ZPC- 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (pogled sprijeda)	108

Slika 7.7. Prikaz toka i brzine strujanja fluida “efektom mineralne vode“ kroz trokrilnu pumpu ZPC - 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (izometrijski prikaz)	109
Slika 7.8. Prikaz toka i brzine strujanja fluida “efektom mineralne vode“ kroz trokrilnu pumpu ZPC - 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (pogled sprijeda)	110
Slika 8.1. Odabir radioničkog crteža	111
Slika 8.2 Odabir formata papira	111
Slika 8.3 Izvorni 2D radionički crtež priključka za trokrilnu pumpu ZPC - 32	112
Slika 8.4. Generirani 2D radionički crtež priključka u programskom alatu Solid Edge	113

Popis tablica

Tablica 3.1 Tablica materijala za 16 MnCr 5 (Č4320) [4]	9
Tablica 3.2 Potrebni koeficijenti sigurnosti S_F [4]	10
Tablica 3.3 Tolerancije parova evolventnih parova (ISO) [6]	13
Tablica 3.4 Vrijednosti graničnih odstupanja (tolerancije) mjere preko nekoliko zubi A_w [4]	14
Tablica 3.5 Tolerancije rukavca (μm) [6]	15
Tablica 3.6 Faktor materijala Z_M (Y_M) [4]	20
Tablica 3.7 Tablica materijala za C45E (Č1531) [4]	30
Tablica 3.8 Elastična spojka - orijentacijski podaci [4]	33
Tablica 3.9 Faktor zareznog djelovanja β_{Kf} kod savijanja vratila s utorom za pero [5]	47

1. UVOD

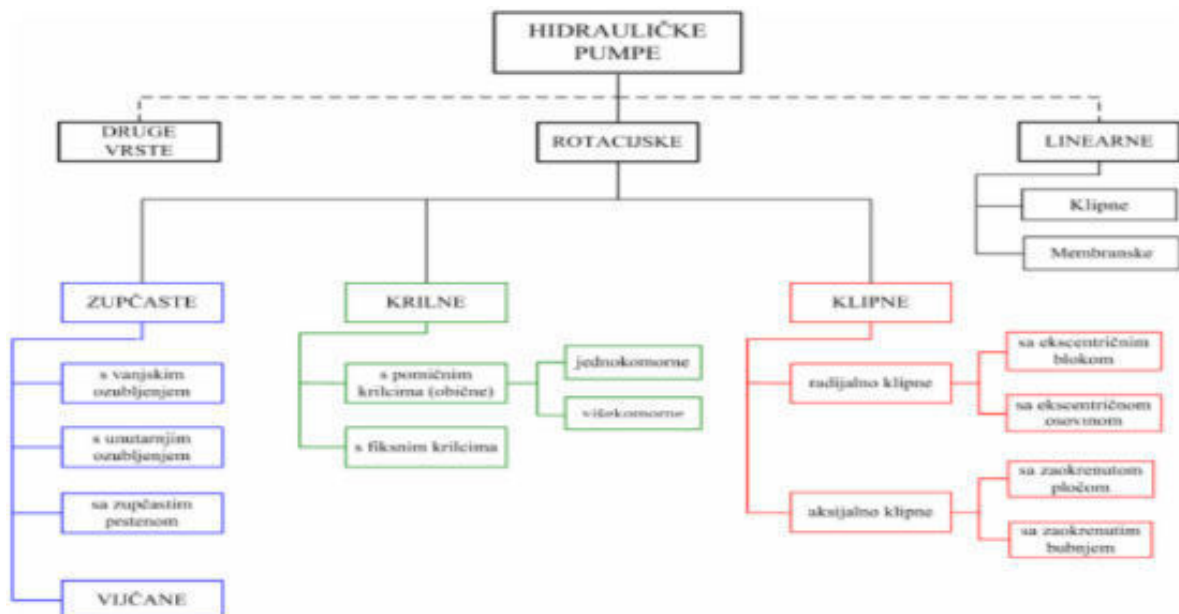
U završnom radu prikazan je opis trokrilne pumpe ZPC - 32 i analitički proračun za potrebnu snagu elektromotora za: radni tlak $p = 0,7 \text{ MPa}$ (7 bar-a) i kapacitet $Q = 4,2 \text{ m}^3/\text{h}$, te kontrolni proračun elemenata pogonskog sklopa pumpe za: broj zubi sinkronih zupčanika $Z_1 = Z_2 = 22$, modul $m = 3 \text{ mm}$, materijal sinkronih zupčanika Z_1 i Z_2 16MnCr5 (Č4320), materijal pogonskog i gonjenog vratila C45E (Č1531) na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije. 3D modeli svih dijelova i sklopa zupčaste pumpe, te analize naprezanja (eng. *Finite Element Analysis - FEA*) kućišta pumpe izrađeni su programskom alatom *Solid Edge ST8 – Synchronous Technology*. U programskom alatu *Solid Edge ST8* izrađen je prikaz sklopa u rastavljenom stanju (eng. *Exploded View*), te analiza tijeka strujanja fluida (eng. *Flow Simulation*) kroz 3D model sklopa trokrilne pumpe, kao i kompletna 2D radionička dokumentacija svih pozicija i sklopa trokrilne pumpe „generiranjem“ iz 3D modela pozicija i sklopova.

2. PRINCIP RADA I PODJELA HIDRAULIČKE PUMPE

U ovom dijelu rada prikazan je općeniti princip rada hidrauličke pumpe. Naime, hidraulička pumpa ili crpka je kao pogonski stroj sastavni dio hidrauličkog pogona, kojemu se izvana dovodi mehanička energija (obično preko elektromotora), te se potom pretvara u energiju radnog hidrauličkog fluida. Za pogon pumpe obično se koriste elektromotori, a u mobilnoj hidraulici motori s unutarnjim izgaranjem. Pumpe rade na principu da „uhvate“ određeni volumen fluida u nekom prostoru tijekom ciklusa usisavanja, prenose ga dalje raznim elementima (npr. klipovima, zupčanicima, vijcima, krilcima...), a zatim se prostor u koji je fluid „uhvaćen“ smanjuje tijekom ciklusa tlačenja. Fluid se dalje šalje u hidraulički sustav, a tlak u sustavu ovisi o otporima unutar hidrauličkog sustava. Ciklusi usisavanja i tlačenja se neprestano izmjenjuju i preklapaju [1].

2.1 Podjela hidrauličkih pumpi

Pumpe se dijele na osnovi mnogih kriterija, a osnovna podjela je prema konstrukciji, odnosno na način prijenosa fluida. Po ovome kriteriju razlikujemo: zupčaste, vijčane, krilne i klipne pumpe s različitim izvedbama (Slika 2.1). Druga važna podjela je prema varijabilnosti volumena pumpe. Pumpe i motori mogu biti nepromjenjivog (fiksno) i promjenjivog (varijabilno) volumena [1].



Slika 2.1 Vrste hidrostatičkih (volumenskih) pumpi [1]

2.1.1 Varijabilnost volumena

Mogućnost varijabilnosti volumena vrlo je značajna u mnoštvu primjena. Naime, kontinuiranom promjenom volumena može se kontinuirano mijenjati radna karakteristika momenta i brzine vrtnje. Promjenom volumena dobave pumpe mogu se prilagođavati potrebama opterećenja, pa se mogu realizirati energetske pogoni ili prijenosnici. Sve vrste pumpi nisu pogodne za izvedbu sa varijabilnošću volumena. Uglavnom su krilne jednodijelne, te aksijalno klipne pumpe rade u izvedbama sa varijabilnim volumenom. Ostalima konstrukcija onemogućava ili barem bitno otežava varijabilnost volumena [1].

Promjena dobave pumpe može se mijenjati i promjenom broja okretaja kojim se pumpa okreće. U tom slučaju pumpa može biti fiksnog volumena, međutim primarni pogon (elektromotor, motor s unutarnjim izgaranjem) mora imati mogućnost promjene broja okretaja [1].

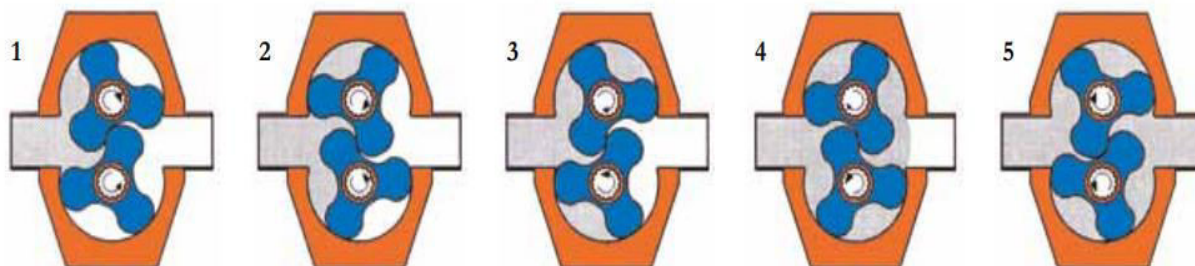
2.2 Princip rada krilne pumpe

Krilna pumpa (slika 2.2) je rotacijska pumpa u kojoj su elementi za potiskivanje fluida izrađeni u obliku krilaca..



Slika 2.2 Krilna pumpa [2]

Princip rada krilnih pumpi bazira se na rotaciji dva rotora u suprotnim smjerovima, koja su postavljena unutar kućišta. Krila su fiksirana na osovina (pogonska i gonjena) koje su spojene pomoću sinkronizatora. Osovine su opremljene sa zupčanicima, koji se nalaze unutar sinkronizatora, i daju pogonsku snagu pomoćnom vratilu (gonjenom). Rotacija osovina je sinkronizirana, tako da se one ne susreću jedna sa drugom u toku samog procesa rada. [2]



Slika 2.3 Ciklus rada trokrilne pumpe [2]

Ciklus pumpe započinje kada su krila otkočena, što kao posljedicu uzrokuje povećanje usisnog kapaciteta pumpe, izazivajući pražnjenje dovoda (slika 1 - sa slike 2.3), što dovodi do preljeva fluida unutar kućišta pumpe. Upumpan fluid se pomiče uzduž zida kućišta pumpe (slika 2 i slika 3), od usisne do potisne strane pumpe (slika 4). Kada se krila poklope/podudare, prostor između njih se smanjuje, što uzrokuje povećanje tlaka iz otvora. To dovodi do istiskivanja fluida iz kućišta pumpe (slika 5).

2.3 Primjena krilnih pumpi

Krilne pumpe omogućavaju relativno jednostavan proces pumpanja i efikasno se koriste za transport proizvoda za koje je neophodno sačuvati njihovu originalnu strukturu. Osiguravaju ravnomjeren i kontinuirani protok. Pumpa je pogodna za transport proizvoda visoke viskoznosti. U konvencionalnoj izvedbi pumpe uzeti su u obzir svi sanitarni i higijenski zahtjevi koje pumpa mora ispunjavati i samim tim osigurano je lako i pogodno održavanje što omogućuje primjenu u farmaceutskoj, kozmetičkoj, prehrambenoj i kemijskoj industriji. Koriste se kod prepumpavanja: benzina, nafte, loživog ulja, mineralnih ulja, alkohola, tekućih plinova, boja i drugih tekućina koje nisu agresivne na sivi lijev i ugljični čelik. Ugrađuju se i na kamion – cisternu za prijevoz naftnih derivata i drugih tekućina u rafinerijama i skladištima derivata [2].



Slika 2.3 Primjena trokrilne pumpe [3]

2.4 Prednosti krilnih pumpi

- Krilne pumpe imaju mnogobrojne prednosti:
- higijenski dizajn,
- ravnomjerni protok,
- male dimenzije u odnosu na kapacitet,
- velika mogućnost samo - usisavanja,
- mogućnost pogona: benzinskim, dizelskim, elektro i hidrauličnim motorom,
- malo trošenje radnih elemenata, dugi vijek trajanja i minimalno održavanje [2].

3. KONTROLNI PRORAČUN POGONSKOG SKLOPA TROKRILNE ZUPČASTE PUMPE ZPC - 32

Potrebno je izraditi analitički proračun za potrebnu snagu elektromotora i osnovnih elemenata pogonskog sklopa pumpe na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije. Osnovni elementi su: sinkroni zupčanici za materijal 16MnCr5 (Č4320), pogonsko i gonjeno vratilo za materijal C45E (Č1531).

Radne karakteristike zupčaste pumpe:

Radni pritisak: $p = 7 \text{ bar}$

Kapacitet: $Q = 4,2 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$

Radna temperatura: $t = \text{do } 120^\circ\text{C}$

3.1 Potrebna snaga elektromotora za pogon trokrilne zupčaste pumpe ZPC -32

$$P_{EM} = \frac{Q \times p}{\eta_p \times 1000 \times 3600} + P_{viskoznost} \text{ [kW]} \quad [4] \text{ (3.1)}$$

gdje je:

Q = kapacitet [m^3/h];

p = radni pritisak [Pa];

η_p = stupanj iskoristivosti pumpe = 0,6

$P_{viskoznost} \approx 2 \text{ kW}$ - prema tablici proizvođača za karakteristike pumpe

Iz (3.1.) slijedi:

$$P_{EM} = \frac{4,2 \cdot 700000}{0,6 \cdot 1000 \cdot 3600} + 2$$

$$P_{EM} = 3,36 \text{ kW}$$

Usvojena je snaga $P_{EM} = 4 \text{ kW}$ i broj okretaja $n = 700 \text{ min}^{-1}$ [4].

3.1.1 Moment na vratilu elektromotora za pogon trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32

$$M_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega} [kNm] \quad [4] (3.2)$$

gdje je:

P_{EM} = snaga elektromotora [kW]

$$\omega = \text{kutna brzina} \quad \omega = \frac{\pi \times n}{30} \quad [4] (3.3)$$

gdje je:

n = broj okretaja elektromotora [$^{\circ}$ /min]

Iz (3.2) i (3.3) slijedi:

$$M_{EM} = \frac{30 \cdot P_{EM}}{\pi \cdot n}$$
$$= \frac{30 \cdot 4}{3,14 \cdot 700} = 0,54595 \text{ kNm}$$

$$M_{EM} = 54,60 \text{ Nm}$$

3.1.2 Snaga trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32

$$P_P = \frac{Q \cdot p}{1000 \cdot 3600} + P_{\text{viskozitet}} [kW] \quad [4] (3.4)$$

gdje je:

Q = kapacitet [m^3/h]

p = radni pritisak [Pa]

$P_{\text{viskozitet}} \approx 2 \text{ kW}$ - prema tablici proizvođača za karakteristike pumpe

Iz (3.4) slijedi:

$$P_p = \frac{4,2 \cdot 700000}{1000 \cdot 3600} + 2$$

$$P_p = 2,82 \text{ kW}$$

3.1.3 Moment na pogonskom vratilu trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32

Iz (3.2) i (3.3) slijedi:

$$\begin{aligned}M_p &= \frac{30 \cdot P_p}{\pi \cdot n} = \\&= \frac{30 \cdot 2,82}{3,14 \cdot 700} = 0,038490 \text{ kNm} \\M_p &= 38,49 \text{ Nm}\end{aligned}$$

3.2 Pogonski sinkroni zupčanik Z1

Proračun orijentacijske vrijednosti modula u odnosu na čvrstoću u korijenu zuba temelji se na postojećoj 2D dokumentaciji za mjere kaljenih materijala zupčanika.

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_{EM}}{Z_1 \cdot \lambda \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha}} \text{ [mm]} \quad [4] \quad (3.5)$$

gdje je:

M_{EM} = moment na vratilu elektromotora [Nmm]

Z_1 = broj zubi pogonskog sinkronog zupčanika = 22

λ = faktor širine zuba = $\frac{b}{m} = 10$

σ_{FP} = praktička dozvoljena vrijednost naprezanja u korijenu zuba [N/mm] [4]

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_F} \quad [4] \quad (3.6)$$

gdje je:

σ_{Flim} = dinamička čvrstoća kod naprezanja uz savijanje korijena zuba (za područje trajne čvrstoće - dinamičke izdržljivosti) = 460 N/mm² [4]

Tablica 3.1 Tablica materijala za 16 MnCr 5 (Č4320) [4]

Materijal	Oznaka	DIN	Prekidna čvrstoća na vlak	Granična popuštanja (tečenja, razvlačenja)	Promjenjiva trajna čvrstoća (Dinamička izdržljivost)				Dopušteno naprezanje na savijanje	Stanje		Srednja hrapavost R_{m} (R_a) μm	Tvrdoća		Promjenjiva trajna čvrstoća (Dinamička izdržljivost)		Statička čvrstoća			
					Savijanje		Uvijanje			Dopušteno naprezanje na savijanje	Dopušteno naprezanje na savijanje		Dopušteno naprezanje na savijanje	Dopušteno naprezanje na savijanje	Dopušteno naprezanje na savijanje	Dopušteno naprezanje na savijanje		Dopušteno naprezanje na savijanje	Dopušteno naprezanje na savijanje	Dopušteno naprezanje na savijanje
					σ_{DN}	σ_{DI}	τ_{DN}	τ_{DI}												
Konstruk. čelici	Č 0461	St.42	420-500	250	190	300	110	160	32-47	6	HB=125	280 ^h	180	500	Korijena zuba					
	Č 0545	St.50	500-600	290	240	370	140	190	40-60	6	HB=150	340 ^h	190	550						
	Č 0645	St.60	600-720	330	280	430	160	220	47-70	6	HB=180	400 ^h	200	650						
	Č 0745	St.70	700-850	360	320	500	190	260	58-80	6	HB=208	460 ^h	220	800						
Čelici za poboljšavanje	Č 1531	CK.45	670-820	420	335	540	190	270	56-84	3	HV10=185	590 ^h	200	800	Korijena zuba					
	Č 1731	CK.60	800-950	500	400	640	230	320	67-100	3	HV10=210	620 ^h	220	900						
	Č 1531	CK.45	670-820	420	335	540	190	270	56-84	3	HV10=220	1100	270	1000						
	Č 4732	42CrMo4	1000-1200	780	500	800	280	400	84-125	3	HV10=275	1360	350	1300						
	Č 1531	CK.45	670-820	420	335	540	190	270	56-84	3	HV10=220	1100	270	1000						
	Č 4732	42CrMo4	1000-1200	780	500	800	280	400	84-125	3	HV10=275	1320	430	1450						
Čelici za cementiranje	Č 4320	16MnCr5	800-1100	600	440	820	260	370	74-110	3	HV10=270	1630	460	1400	Korijena zuba					
	Č 4321	20MnCr5	1000-1300	700	500	800	280	400	84-125	3	HV10=330	1630	480	1500						
	Č 5420	15CrNi6	900-1200	650	450	720	250	360	75-113	3	HV10=310	1630	500	1600						
	Č 5421	18CrNi6	1200-1450	800	640	1050	370	510	107-160	3	HV10=400	1630	500	1700						
SI**	---	NL 60	700	420	240	380	140	190	40-60	6-7	HV 2-50	490	220	1000						

$S_F = f(TP) = \text{potrebni koeficijent sigurnost protiv loma zuba} = 3,5$ [4]

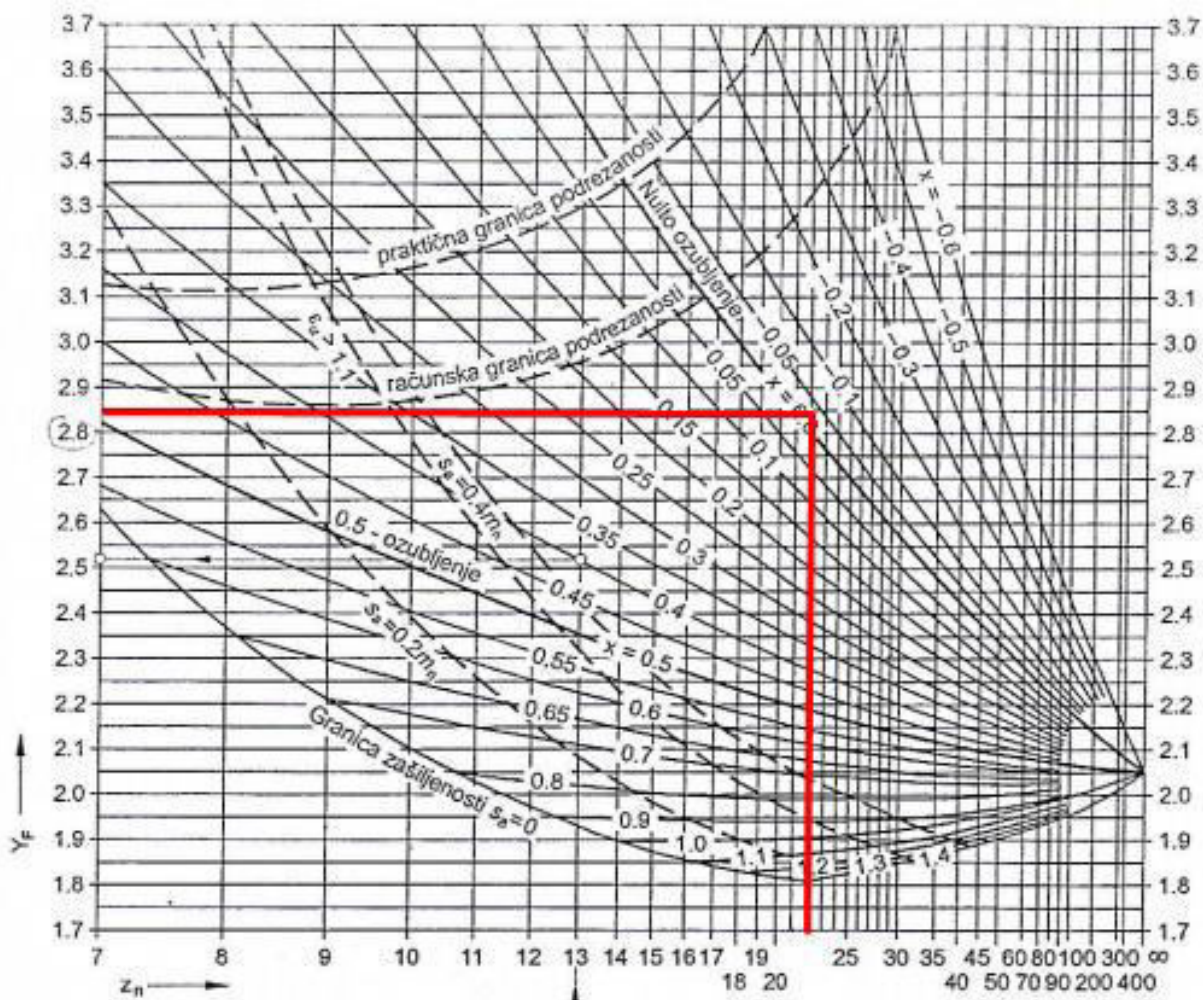
Tablica 3.2 Potrebni koeficijenti sigurnosti S_F [4]

Sigurnost protiv:	Trajni pogon TP=100%	Interminirajući TP≠100% (Vremenski pogon)
Loma zuba S_F	1,5 ... (3,5)	1,3 ... (2,0)
Ljuštenja (pitting) bokova S_H	1,3 ... (3,0)	1,0 ... (1,5)

Iz (3.6) slijedi:

$$\sigma_{FP} = \frac{460}{3,5} = 131,4285 \approx 131 \text{ N/mm}^2$$

$Y_F = \text{faktor oblika} = 2,85$ (slika 3.1)



Slika 3.1 Faktor oblika Y_F [4]

$Y_\varepsilon =$ faktor učešća opterećenja = 1 [4]

$K_{F\alpha} =$ faktor raspodjele opterećenja (sile) zupčastih parova u zahvatu = 1 [4]

Iz (3.5) slijedi:

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 54600}{22 \cdot 10 \cdot 131}} \cdot 2,85 \cdot 1 \cdot 1 = 2,21 \text{ mm}$$

Zbog konstrukcijskih zahtjeva oblikovanja i prilagodbe na postojeće pogonsko vratilo, usvaja se postojeći modul $m = 3 \text{ mm}$.

3.2.1 Proračun dimenzija pogonskog sinkronog zupčanika Z_1

Promjer diobene kružnice d_1 :

$$d_1 = m \cdot Z_1 \text{ [mm]} \quad [4] \text{ (3.7)}$$

gdje je:

$$m = \text{modul [mm]} = 3 \text{ mm (3.5)}$$

$$Z_1 = \text{broj zubi pogonskog sinkronog zupčanika} = 22$$

Iz (3.7) slijedi:

$$d_1 = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$$

Promjer tjemene kružnice:

$$d_{a1} = d_1 + 2m \quad [4] \text{ (3.8)}$$

gdje je:

$$m = \text{modul [mm]} = 3 \text{ mm (3.5)}$$

$$d_1 = \text{diobeni promjer [mm]} \text{ (3.8)}$$

Iz (3.8) slijedi:

$$d_{a1} = 66 + 2 \cdot 3 = 72 \text{ mm}$$

Promjer podnožne kružnice d_{f1} :

$$d_{f1} = d_1 - 2m - 2C \quad [4] \quad (3.9)$$

gdje je:

$$m = \text{modul [mm]} = 3 \text{ mm} \quad (3.5)$$

$$d_1 = \text{diobeni promjer [mm]} \quad (3.8)$$

$$c = \text{tjemena zračnost [mm]} = 0,2 \text{ m}$$

Iz (3.9) slijedi:

$$d_{f1} = 66 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0,20 \cdot 3 = 58,8 \text{ mm}$$

Mjerni broj zubi Z_w za zupčanike s ravnim ozupčanjem:

$$Z_w = \frac{z \cdot \alpha_0}{\pi + 0,5} \quad [6] \quad (3.10)$$

gdje je:

$$Z = \text{broj zubi sinkronog zupčanika I} = 22,$$

$$\alpha_0 = \text{kut zahvata sinkronog para zupčanika} = 20^\circ,$$

$$360^\circ = 2\pi \text{ [rad]}$$

$$20^\circ = \alpha_0 \text{ [rad]}$$

iz čega slijedi:

$$\alpha_0 = \frac{20 \times 2\pi}{360} = 0,349$$

Iz (3.10) slijedi:

$$Z_w = \frac{22 \times 0,349}{3,14 + 0,5} = 2,95 \approx 3 \text{ zuba}$$

Mjera preko zubi za zupčanike s ravnim zubima:

$$W_3 = m \cdot \cos(\alpha_0) [\pi(Z_W - 0,5) + Z \cdot \tan(\alpha_0) + 2x \cdot \tan(\alpha_0)] \quad [6] \quad (3.11)$$

gdje je:

$$m = \text{modul [mm]} = 3 \text{ mm} \quad (3.5)$$

$$\tan \alpha_0 = 0,014904 \text{ (tablica 3.3)}$$

Tablica 3.3 Tolerancije parova evolventnih parova (ISO) [6]

Granična odstupanja koraka zubnog profila A_{to} i dopušteni zbroj odstupanja koraka zubnog profila TT_{to}

Kvaliteta	A_{to}		TT_{to} (μm)
	gornje $A_{to,g}$ (μm)	donje $A_{to,d}$ (μm)	
1	$0,66 \varphi_p + 0,80$	$A_{to,d} = -A_{to,g}$	$0,25 \sqrt{N} + 0,60$
2	$0,10 \varphi_p + 1,25$		$0,40 \sqrt{N} + 1,00$
3	$0,16 \varphi_p + 2,00$		$0,63 \sqrt{N} + 1,60$
4	$0,25 \varphi_p + 3,20$		$1,00 \sqrt{N} + 2,50$
5	$0,40 \varphi_p + 5,00$		$1,60 \sqrt{N} + 4,00$
6	$0,63 \varphi_p + 8,00$		$2,50 \sqrt{N} + 6,00$
7	$0,90 \varphi_p + 11,00$		$3,55 \sqrt{N} + 8,00$
8	$1,25 \varphi_p + 16,00$		$5,00 \sqrt{N} + 12,00$
9	$1,80 \varphi_p + 22,00$		$7,10 \sqrt{N} + 17,00$
10	$2,50 \varphi_p + 32,00$		$10,00 \sqrt{N} + 25,00$
11	$3,55 \varphi_p + 45,00$		$14,00 \sqrt{N} + 33,00$
12	$5,00 \varphi_p + 63,00$		$20,00 \sqrt{N} + 50,00$
$\varphi_p = m_n + 0,25 \sqrt{d}$ m_n (mm), d (mm)		$N = 0,5 z m \pi$ m (mm)	

Iz (3.11) slijedi:

$$W_3 = 3 \cdot \cos 20^\circ [\pi(3 - 0,5) + 22 \cdot 0,014904] = 23,054 \text{ mm}$$

Tolerancija mjere preko zubi:

Iz tablice (3.3), za standardni modul $m_n = 3$ mm, promjer diobenog kruga $d = 66$ mm, kvalitete 7, tolerancijskog polja “f” vrijednosti graničnih odstupanja (tolerancija) mjere preko nekoliko zubi iznosi: $56 \mu\text{m}$.

Tablica 3.4 Vrijednosti graničnih odstupanja (tolerancije) mjere preko nekoliko zubi A_w [4]

Standardni modul m_n [mm]	Promjer diobenog kruga d [mm]							K v a l i t e t a 7										
	4	4...36	36...100	100...196	196...326	326...484	484...	Granična odstupanja										
	j	h	g	f	e	d	c	b	a	z'	y'	x'						
1	+12	0	-24	-48	-72	-96	-120	-144	-166	-216	-264	-312						
2	+13	0	-26	-52	-78	-104	-130	-156	-182	-234	-286	-338						
3	+11	0	-28	-56	-84	-112	-140	-168	-196	-252	-308	-364						
4	+15	0	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-210	-270	-330	-390						
5	+16	0	-32	-64	-96	-128	-160	-192	-224	-288	-352	-416						
6	+16	0	-32	-64	-96	-128	-160	-192	-224	-288	-352	-416						
7	+17	0	-34	-68	-102	-136	-170	-204	-238	-306	-374	-442						
8	+18	0	-36	-72	-108	-144	-180	-216	-252	-324	-396	-468						
9	+19	0	-38	-76	-114	-152	-190	-228	-266	-342	-418	-494						
10	+20	0	-40	-80	-120	-160	-200	-240	-280	-360	-440	-520						
11	+21	0	-43	-84	-126	-168	-210	-252	-294	-378	-462	-546						
12	+22	0	-44	-88	-132	-176	-220	-264	-308	-396	-481	-572						

Razlomci standardnih modula zaokružuju se po sljedećem principu:

od 0,5 do 1,49 – 1

od 1,5 do 2,49 – 2

od 2,5 do 3,49 – 3 itd.

Iz B. Kraut - strojarski priručnik (Tolerancije rukavaca str, 472) za mjeru preko zubi 23, (nazivna mjera 18) ...30) i za tolerancijsko polje f7, tolerancija mjere preko zubi iznosi: -20 μm i -41 μm .

Tablica 3.5 Tolerancije rukavca (μm) [6]

Nazivna mjera (mm)	a11	c11	d9	e8	f7	g6	h6	h8	h9	h11
...3	-270 -330	-60 -120	-20 -45	-14 -28	-6 -16	-2 -8	0 -6	0 -14	0 -25	0 -60
3)...6	-270 -345	-70 -145	-30 -60	-20 -38	-10 -22	-4 -12	0 -8	0 -18	0 -30	0 -75
6)...10	-280 -370	-80 -170	-40 -76	-25 -47	-13 -28	-5 -14	0 -9	0 -22	0 -36	0 -90
10)...18	-290 -400	-95 -205	-50 -93	-32 -59	-16 -34	-6 -17	0 -11	0 -27	0 -43	0 -110
18)...30	-300 -430	-110 -240	-65 -117	-40 -73	-20 -41	-7 -20	0 -13	0 -33	0 -52	0 -130
30)...40	-310 -470	-120 -280	-80	-50	-25	-9	0	0	0	0
40)...50	-320 -480	-130 -290	-142	-89	-50	-25	-16	-39	-62	-160
50)...65	-340 -530	-140 -330	-100	-60	-30	-10	0	0	0	0
65)...80	-360 -550	-150 -340	-174	-106	-60	-29	-19	-46	-74	-190
80)...100	-380 -600	-170 -390	-120	-72	-36	-12	0	0	0	0
100)...120	-410 -630	-180 -400	-207	-126	-71	-34	-22	-54	-87	-220
120)...140	-460 -710	-200 -450								
140)...160	-520 -770	-210 -460	-145 -245	-85 -148	-43 -83	-14 -39	0 -25	0 -63	0 -100	0 -250
160)...180	-580 -830	-230 -480								
180)...200	-660 -950	-240 -530								
200)...225	-740 -1030	-260 -550	-170 -285	-100 -172	-50 -96	-15 -44	0 -29	0 -72	0 -115	0 -290
225)...250	-820 -1110	-280 -570								
250)...280	-920 -1240	-300 -620	-190	-110	-56	-17	0	0	0	0
280)...315	-1050 -1370	-330 -650	-320	-191	-108	-49	-32	-81	-130	-320
315)...355	-1200 -1560	-360 -720	-210	-125	-62	-18	0	0	0	0
355)...400	-1350 -1710	-400 -760	-350	-214	-119	-54	-36	-89	-140	-360
400)...450	-1500 -1900	-440 -840	-230	-135	-68	-20	0	0	0	0
450)...500	-1650 -2050	-480 -880	-385	-232	-131	-60	-40	-97	-155	-400

3.2.2 Stupanj prekrivanja

Potrebno je izračunati stupanj prekrivanja ε_α za zupčani par sinkronih zupčanika $Z_1 : Z_2$.

$$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{Z_1+2}{\cos(\alpha)}\right)^2 - Z_1^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_2+2}{\cos(\alpha)}\right)^2 - Z_2^2} - (Z_1+Z_2) \cdot \tan(\alpha) \right] \quad [8] \quad (3.12)$$

gdje je:

$$\alpha = \text{kut zahvata zupčanog polja } [^\circ] = 20^\circ$$

$$Z_1 = \text{broj zubi pogonskog sinkronog zupčanika} = 22$$

$$Z_2 = \text{broj zubi gonjenog sinkronog zupčanika} = 22$$

Iz (3.12) slijedi:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \left[\sqrt{\left(\frac{22+2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 22^2} + \sqrt{\left(\frac{22+2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 22^2} - (22+22) \cdot \tan 20^\circ \right]$$

$$\varepsilon_\alpha = 0,159 \cdot \left[\sqrt{25,54^2 - 484} + \sqrt{24,54^2 - 484} - 160,1 \right]$$

$$\varepsilon_\alpha = 0,159 \cdot [12,97 + 12,97 - 16,01]$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,58$$

3.2.3 Sile koje opterećuju pogonski sinkroni zupčanik Z_1

Obodna (tangencijalna) sila na diobenoj kružnici F_{t1} pogonskog sinkronog zupčanika Z_1

$$F_{t1} = \frac{M_{E1}}{\frac{d_1}{2}} [N] \quad [4] \quad (3.13)$$

gdje je:

$$M_{EM} = \text{moment na vratilu elektromotora za pogon trokrilne zupčaste pumpe [Nm]} = 54,60 \text{ Nm}$$

$$d_1 = \text{promjer diobene kružnice pogonskog sinkronog zupčanika } Z_1 [\text{mm}] = 66 \text{ mm} \quad (3.8)$$

Iz (3.13) slijedi:

$$F_{t_1} = \frac{54,60}{0,066} = 837N$$

Radijalna sila na diobenoj kružnici F_{r1} pogonskog sinkronog zupčanika Z_1 :

$$F_{r_1} = F_{t_1} \cdot \tan(\alpha) [N] \quad [4] (3.14)$$

gdje je:

F_{t1} = obodna (tangencijalna) sila na diobenoj kružnici F_{t1} pogonskog sinkronog zupčanika Z_1 [N]
= 827N (3.13)

α = kut zahvata zupčanog para sinkronih zupčanika Z_1 i Z_2 [$^\circ$] = 20°

Iz (3.14) slijedi:

$$F_{r1} = 827 \cdot \operatorname{tg}(20^\circ) = 301 N$$

3.2.4 Kontrola pogonskog sinkronog zupčanika Z_1 u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba σ_{F_1}

Naprezanje u korijenu zuba σ_{F_1} :

$$\sigma_{F_1} = \frac{F_{t_1}}{b \cdot m} \cdot Y_{F_1} \cdot Y_\epsilon \cdot K_{F\alpha_1} \leq \sigma_{FP_1} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad [4] (3.15)$$

gdje je:

F_{t1} = obodna (tangencijalna) sila na diobenoj kružnici pogonskog sinkronog zupčanika Z_1 [N] = 827N (3.13)

b = širina pogonskog sinkronog zupčanika Z_1 [mm] = 30mm (na temelju postojeće 2D dokumentacije)

m = modul pogonskog sinkronog zupčanika Z_1 [mm] = 3 mm (3.5)

Y_{F1} = faktor oblika = 2.85 (slika 3.1)

Y_ϵ = faktor učešća opterećenja = $0,2 + \left(\frac{0,8}{\epsilon_\alpha}\right)$, prema ISO dokumentu 201 E iz 1977 god. [8]

gdje je:

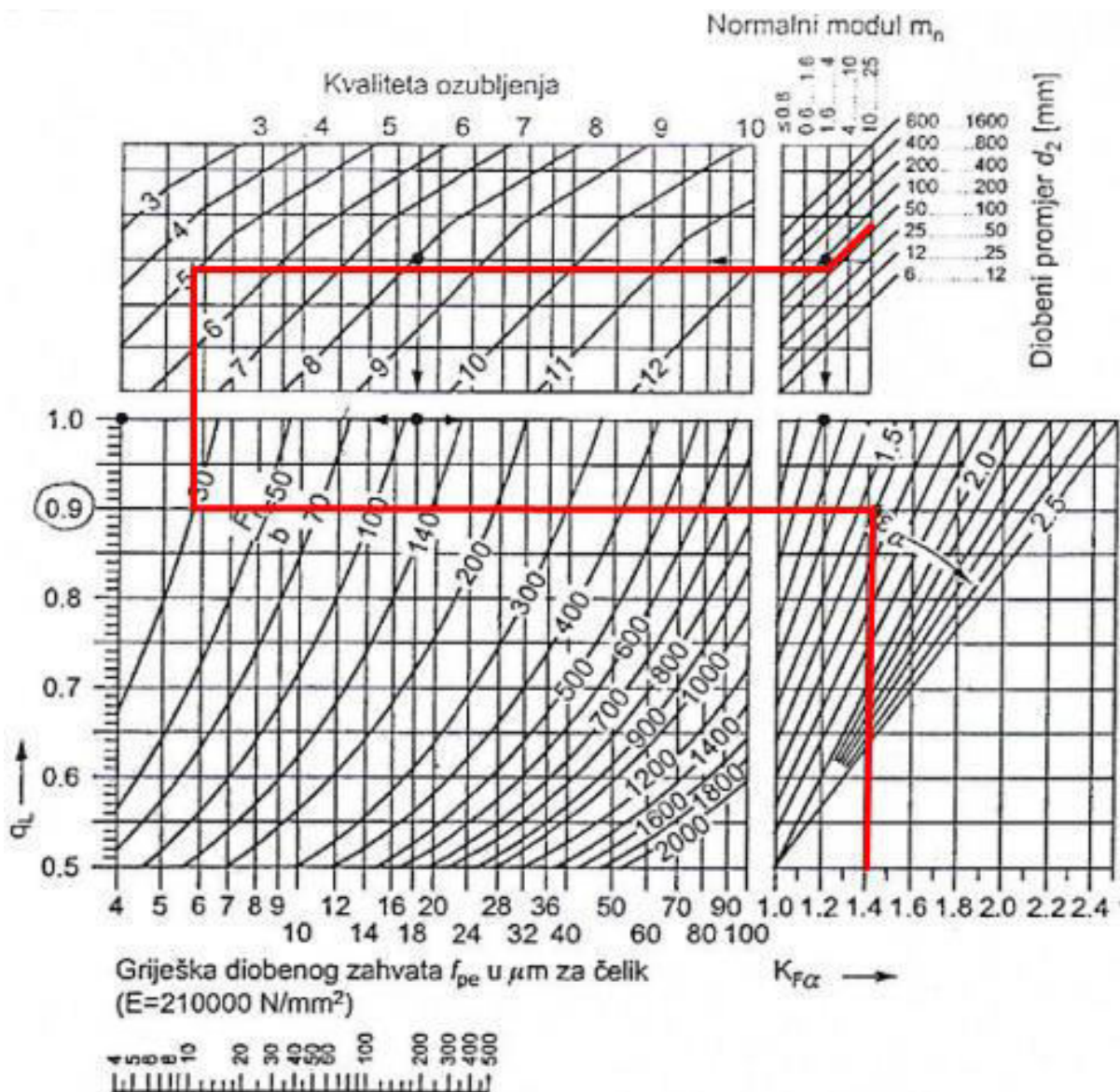
ε_α = stupanj prekrivanja zupčastog para

Iz (3.15) slijedi:

$$Y_\varepsilon = 0,2 + \frac{0,8}{1,58} = 0,71$$

$K_{F\alpha}$ = faktor raspodjele opterećenja (sile) zupčanih parova, u zahvatu za $\frac{F_t}{b} = 30$, kvaliteta ozubljenja 5, modul 3 mm i obodni promjer 66 mm, $g_L = 0,9$; $\varepsilon_\alpha = 1,58$; (slika 3.2)

$$K_{F\alpha} = 1,4$$



Slika 3.2 Pomoćni faktor raspodjele q_L i faktor raspodjele opterećenja $K_{F\alpha}$ [4]

Iz (3.15) slijedi:

$$\sigma_{F1} = \frac{827}{30 \times 3} \cdot 2,85 \cdot 0,71 \cdot 1,4$$
$$\sigma_{F1} = 26 \text{ N/mm}^2$$

Dopušteno naprezanje korijena zuba σ_{FP} :

$$\sigma_{F1} = \frac{\sigma_{F_{lim}}}{S_{F1}} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad [4] \text{ (3.16)}$$

gdje je:

$\sigma_{F_{lim}}$ = dinamička čvrstoća kod naprezanja na savijanje korijena zuba za područje najveće čvrstoće i dinamičke izdržljivosti = 460 N/mm² (tablica 3.1)

S_{F1} = potrebni koeficijent sigurnosti protiv loma zuba

$$S_{F1} = f(TP = 100\%) = 2,5 \text{ (tablica 3.2)}$$

Iz (3.16) slijedi:

$$\sigma_{FP1} = \frac{460}{3,5} = 131 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{FP1} = 131 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{F1} = 26 \text{ N/mm}^2$$

Zadovoljava, tj. sigurnost kod naprezanja u korijenu zuba je u granicama potrebnih sigurnosti

$$S_F = f(TP = 100\%) = 1,5 \dots (3,5) \text{ (tablica 3.2)}$$

3.2.5 Kontrola pogonskog sinkronog zupčanika Z_1 u odnosu na dozvoljenu čvrstoću σ_H

Konstantno (Hertz-ovo) naprezanje:

$$\sigma_{H_1} = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \sqrt{\frac{u+1}{u} \cdot \frac{F_{t_1}}{b \cdot d_1} \cdot K_{H\alpha}} \leq \sigma_{HP_1} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad [4] \quad (3.17)$$

gdje je:

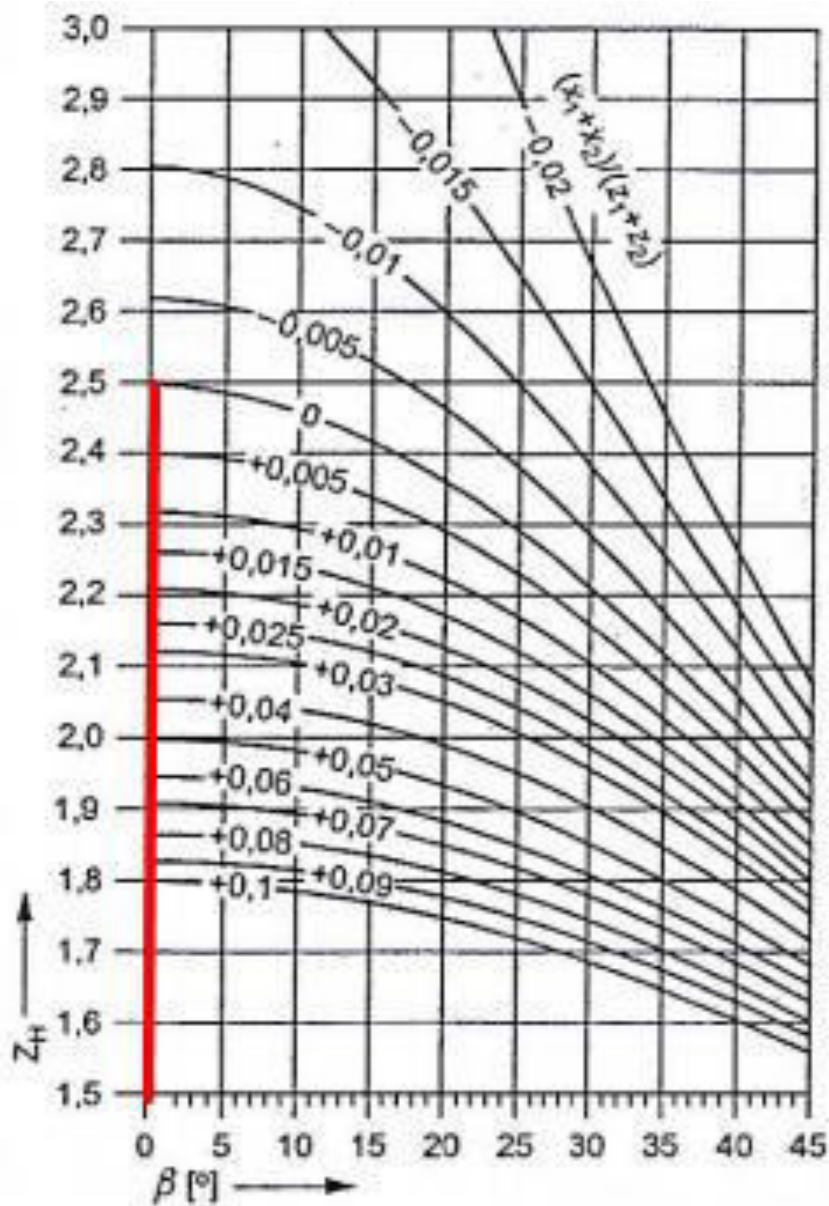
Z_M = faktor materijala $f(\check{C}/\check{C}) = 189,84 \sqrt{N/\text{mm}^2}$ (tablica 3.6)

Z_H = faktor oblika boka = 2,5 (slika 3.3)

Tablica 3.6 Faktor materijala Z_M (Y_M) [4]

Mali zupčanik		Veliki zupčanik		Modul elastičnosti E [N/mm ²]		Z_M [$\sqrt{N/\text{mm}^2}$]
Materijal	Oznaka	Materijal	Oznaka	Zupčanik		
				Mali	Veliki	
Čelik	Č	Čelik	Č	206000	206000	189,84
		Čelični lijev	ČL 0645		202000	189,9
			ČL 0545		201000	188,7
		Nodularni (sferni) lijev	NL 50		173000	181,4
			NL 42		172000	181,1
		Kositrena bronca, lijevana	PCuSn14		103000	155
		Kositrena bronca	CuSn8		113000	159,8
		Sivi lijev, lamelarni	SL 25		126000	165,4
SL 20	118000		162			
Duroplast	-	7850 ¹	56,4 ¹			
Čelični lijev	ČL 0645	Čel. lijev	ČL 0545	202000	201000	187,8
		Nod. lijev	NL 50		173000	180,5
		Sivi lijev	SL 20		118000	161,4
Nodularni (sferni) lijev	NL 50 ¹	Nod. lijev	NL 42	173000	172000	173,7
		Sivi lijev	SL 20	118000	118000	156,6
Sivi lijev	SL 25	Sivi lijev	SL 20	126000	118000	146
	SL 20			118000		143,7

¹ srednje vrijednosti



Slika 3.3 Faktor oblika boka Z_H [4]

Faktor prekrivanja:

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3}} \quad [4] \quad (3.18)$$

gdje je:

ϵ_α = stupanj prekrivanja zupčanog para = 1,58 (3.12)

Iz (3.18) slijedi:

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - 1,58}{3}} = 0,90$$

Faktor raspodjele opterećenja (sile) na pojedine zube pri nosivosti bokova:

$$K_{H\alpha} = 1 + 2 \cdot \left(\frac{1}{Z_e^2} - 1 \right) (q_L - 0,5) \quad [4] \quad (3.19)$$

za $F_t / b = 30$, kvaliteta ozubljenja = 5, modul = 3 mm i $q_L = 0,9$ (slika 3.2)

Iz (3.19.) slijedi:

$$K_{H\alpha} = 1 + 2 \cdot \left(\frac{1}{0,9^2} - 1 \right) (0,9 - 0,5) = 1,184$$

$$u = \text{prijenosni omjer zupčanog para} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{22}{22} = 1$$

$$F_{t1} = \text{obodna (tangencijalna) sila na diobenoj kružnici pogonskog sinkronog zupčanika } Z_1 \text{ [N]} = 827 \text{ [N]} \quad (3.13)$$

$b = \text{širina pogonskog sinkronog zupčanika } Z_1 \text{ [mm]} = 30 \text{ mm}$ (na temelju postojeće 2D dokumentacije)

$$d_1 = \text{promjer diobene kružnice pogonskog sinkronog zupčanika } Z_1 \text{ [mm]} = 66 \text{ mm} \quad (3.8)$$

Iz (3.17) slijedi:

$$\sigma_{H1} = 189,84 \cdot 2,5 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{1+1}{1} \cdot \frac{827}{30 \times 660}} \cdot 1,184 = 425 \text{ N/mm}^2$$

Dopušteno Hertz-ovo naprežanje σ_{HP1} :

$$\sigma_{HP1} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad [4] \quad (3.20)$$

Za 16 MnCr 5 (Č4320):

$\sigma_{Hlim} = \text{dinamička izdržljivost bokova na kontaktni Hertz-ov pritisak} = 1630 \text{ N/mm}^2$ (tablica 3.1)

$S_H = \text{potrebni koeficijent sigurnosti protiv ljuštenja (eng. pitting) bokova zuba}$

$$S_H = f(TP = 100\%) = 3 \text{ (tablica 3.2)}$$

Iz (3.20) slijedi:

$$\sigma_{HP1} = \frac{1630}{3} = 543 \text{ N/mm}^2$$

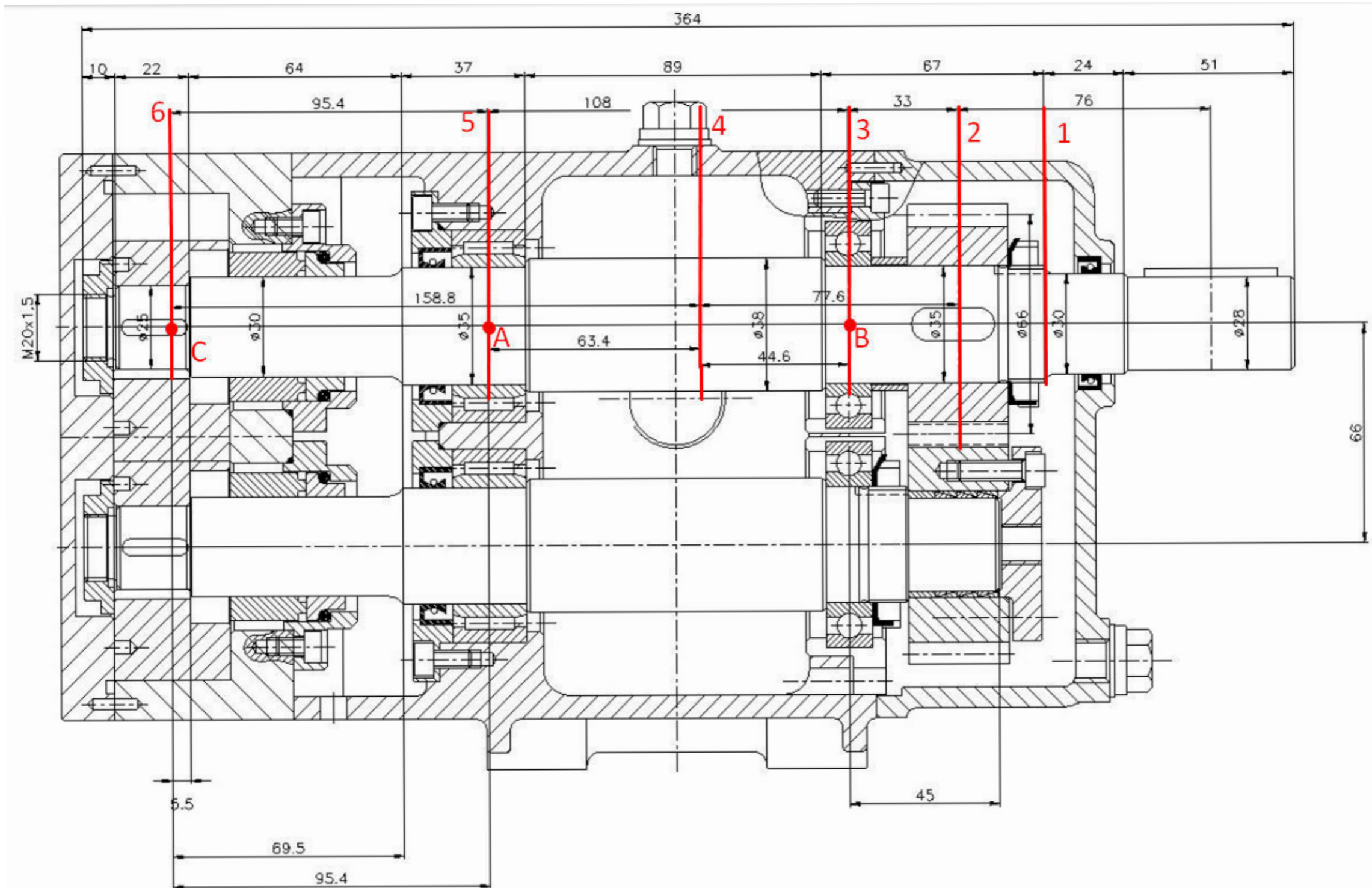
$$\sigma_{HP1} = 543 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{H1} = 425 \text{ N/mm}^2$$

Zadovoljava, tj. sigurnost na dodirni (Hertz-ov) pritisak je u granicama potrebnih sigurnosti

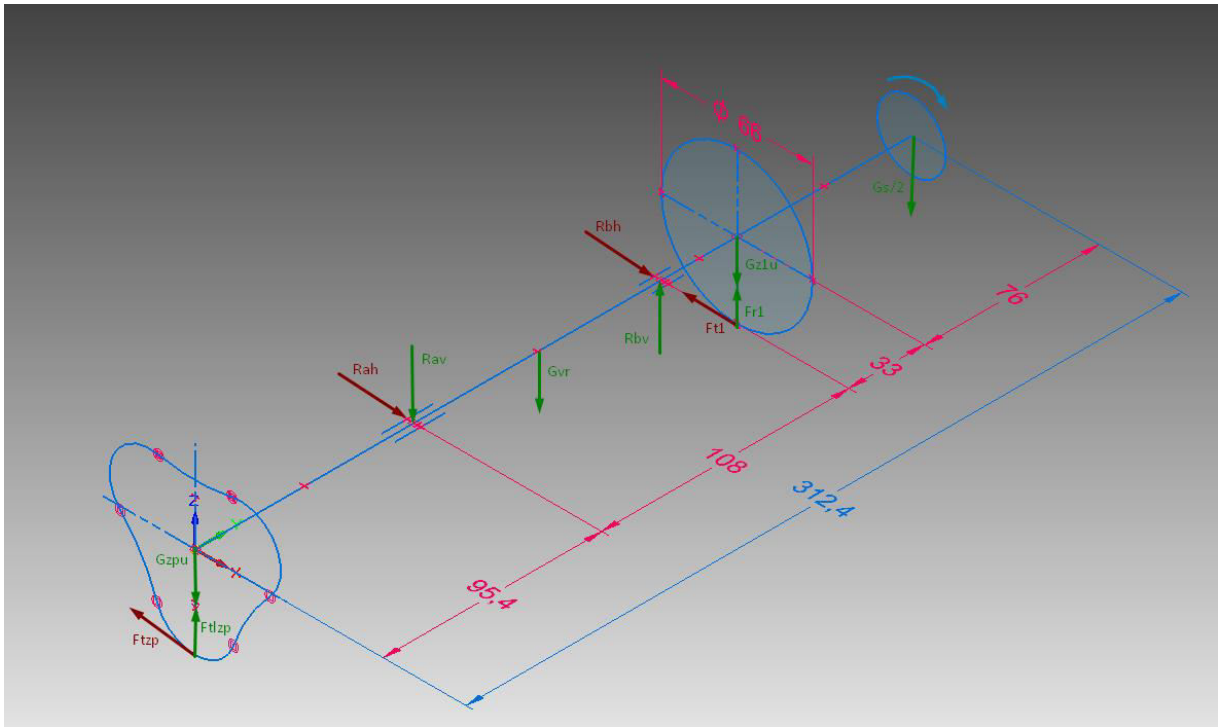
$$S_H = f(TP = 100\%) = 1,3 \dots (3,0) \text{ (tablica 3.2)}$$

3.3 Dimenzioniranje i kontrolni proračun pogonskog vratila

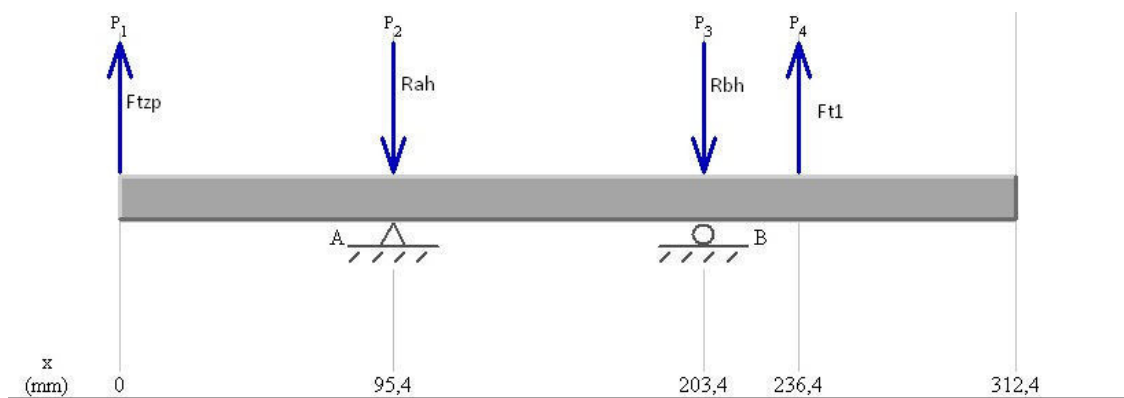
Potrebno je izraditi kontrolni proračun i dimenzioniranje pogonskog vratila trokrilne zupčaste pumpe ZPC-32 za materijal vratila C45E (Č1531) na temelju postojeće 2D dokumentacije.



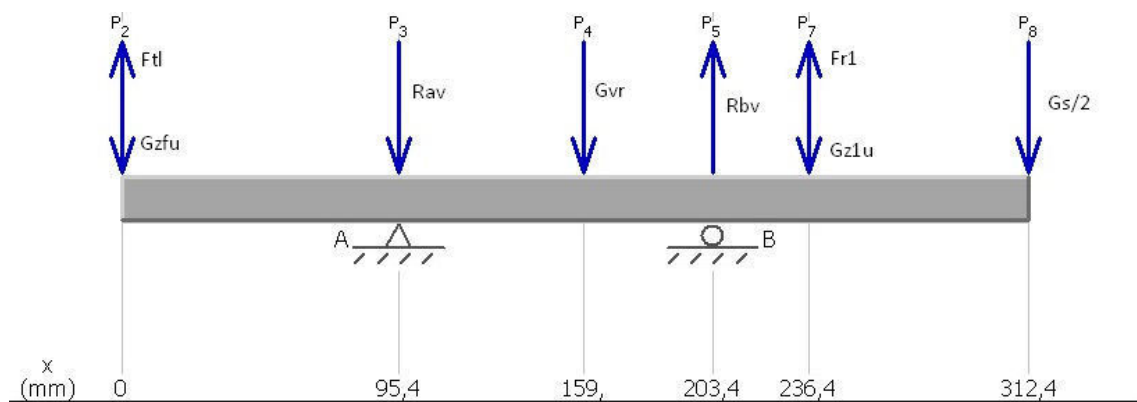
Slika 3.4 Pogonski sklop trokrilne zupčaste pumpe ZPC - 32 sa pojedinim presjecima



Slika 3.5 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u izometriji



Slika 3.6 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini



Slika 3.7 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini

Komponente reakcija u oslancima A i B određuju se rastavljanjem aktivnih i reaktivnih sila u dvije međusobno okomite ravnine, najčešće horizontalnoj i vertikalnoj. Pomoću tih komponenata potom se izrađuju rezultante reakcija u oslancima pogonskog vratila A i B. [4]

3.3.1 Reakcije u oslancima A i B (ležajevima) pogonskog vratila

Komponente reakcija R_{AH} i R_{BH} u horizontalnoj ravnini

$$\Sigma F_y = 0 \quad (3.21)$$

$$R_{AH} + R_{BH} - F_{tZP} - F_{t_1} = 0 \quad (3.22)$$

$$Z_{M_C} = 0 \quad (3.23)$$

$$-R_{AH} \cdot 95,4 - R_{BH} \cdot (108 + 95,4) + F_{t_1} (95,4 + 108 + 33) = 0 \quad (3.24)$$

Iz (3.24) slijedi:

$$R_{AH} = \frac{236,4 \cdot F_{t_1} - 203,4 \cdot R_{BH}}{95,4} = \frac{236,4 \cdot 827 - 203,4 \cdot R_{BH}}{95,4}$$

$$R_{AH} = 2049,295597 - 2,132075472 \cdot R_{BH}$$

Iz (3.22) slijedi:

$$2049,295597 - 2,132075472 \cdot R_{BH} + R_{BH} - 962,25 - 827 = 0$$

$$R_{BH}(1 - 2,132075472) = 962,25 + 827 - 2049,295597$$

$$R_{BH} = \frac{-260,045597}{-1,132075472} = 229,71 \text{ N} \approx 230 \text{ N}$$

Iz (3.24) slijedi:

$$R_{AH} = \frac{-R_{BH} \cdot 203,4 + F_{t_1} \cdot 236,4}{95,4} = \frac{-230 \cdot 203,4 + 827 \cdot 236,4}{95,4}$$

$$R_{AH} = 1558,92 \text{ N} \approx 1559 \text{ N}$$

Komponente reakcija R_{AV} i R_{BV} u vertikalnoj ravnini

$$\Sigma F_z = 0 \quad (3.25)$$

$$-F_{tL} + G_{ZPU} + R_{AV} + G_{Vr} - R_{BV} + G_{Z1U} - F_{r_1} + \frac{G_s}{2} = 0 \quad (3.26)$$

$$\Sigma M_c = 0 \quad (3.27)$$

$$-R_{AV} \cdot 95,4 - G_{Vr}(95,4 + 63,6) + R_{BV}(95,4 + 108) + F_{r_1}(95,4 + 108 + 33) \quad (3.28)$$

$$-G_{Z_{1u}}(95,4 + 108 + 33) - \frac{G_s}{2} \cdot 312,4 = 0 \quad (3.29)$$

Iz (3.28) slijedi:

$$203,4 \cdot R_{BV} = R_{AV} \cdot 95,4 + G_{Vr} \cdot 159 - F_{r_1} \cdot 236,1 + G_{Z_{1u}} \cdot 236,4 + \frac{G_s}{2} \cdot 312,4$$

$$R_{BV} = \frac{R_{AV} \cdot 95,4 + 24,52 \cdot 159 - 301 \cdot 236,4 + 5,69 \cdot 236,4 + 10,5 \cdot 312,4}{203,4}$$

$$R_{BV} = \frac{R_{AV} \cdot 95,4 - 62632,404}{203,4}$$

Iz (3.26) slijedi:

$$-1489,6 + 7,45 + R_{AV} + 24,52 - \left(\frac{R_{AV} \cdot 95,4 - 62632,404}{203,4} \right) + 5,69 - 301 + 10,5 = 0$$

$$R_{AV} - 1742,44 - 0,469026548 \cdot R_{AV} + 307,9272566 = 0$$

$$R_{AV} = \frac{1742,44 - 307,9272566}{1 - 0,469026548} = 2701,67 \text{ N} \approx 2702 \text{ N}$$

Iz (3.28) slijedi:

$$R_{BV} = \frac{2702 \cdot 95,4 - 62632,404}{203,4} = 959,38 \text{ N} \approx 959 \text{ N}$$

Rezultantne reakcije u osloncima A i B:

$$R_A = \sqrt{R_{AH}^2 + R_{AV}^2} = \sqrt{1559^2 + 2702^2} = 3119,50 \text{ N} \approx 3120 \text{ N}$$

$$R_B = \sqrt{R_{BH}^2 + R_{BV}^2} = \sqrt{230_2^2 + 959^2} = 986,20 \text{ N} \approx 986 \text{ N}$$

3.3.2 Rezultante poprečnih sila i reakcija u oslancima A i B horizontalne i vertikalne ravnine (u pojedinim presjecima) (slike 3.6 i 3.7)

$$C (6) \quad \sqrt{(F_{tl_{ZP}} - G_{ZP_u})^2 + F_{t_{ZP}}^2} = \sqrt{(1489,6 - 7,45)^2 + 962,25^2} = 1767 \text{ N}$$

$$A (5) \quad R_A = \sqrt{R_{AH}^2 + R_{AV}^2} = \sqrt{1559^2 + 2702^2} = 3120 \text{ N}$$

$$(4) \quad G_{vr} = 24,52 \text{ N}$$

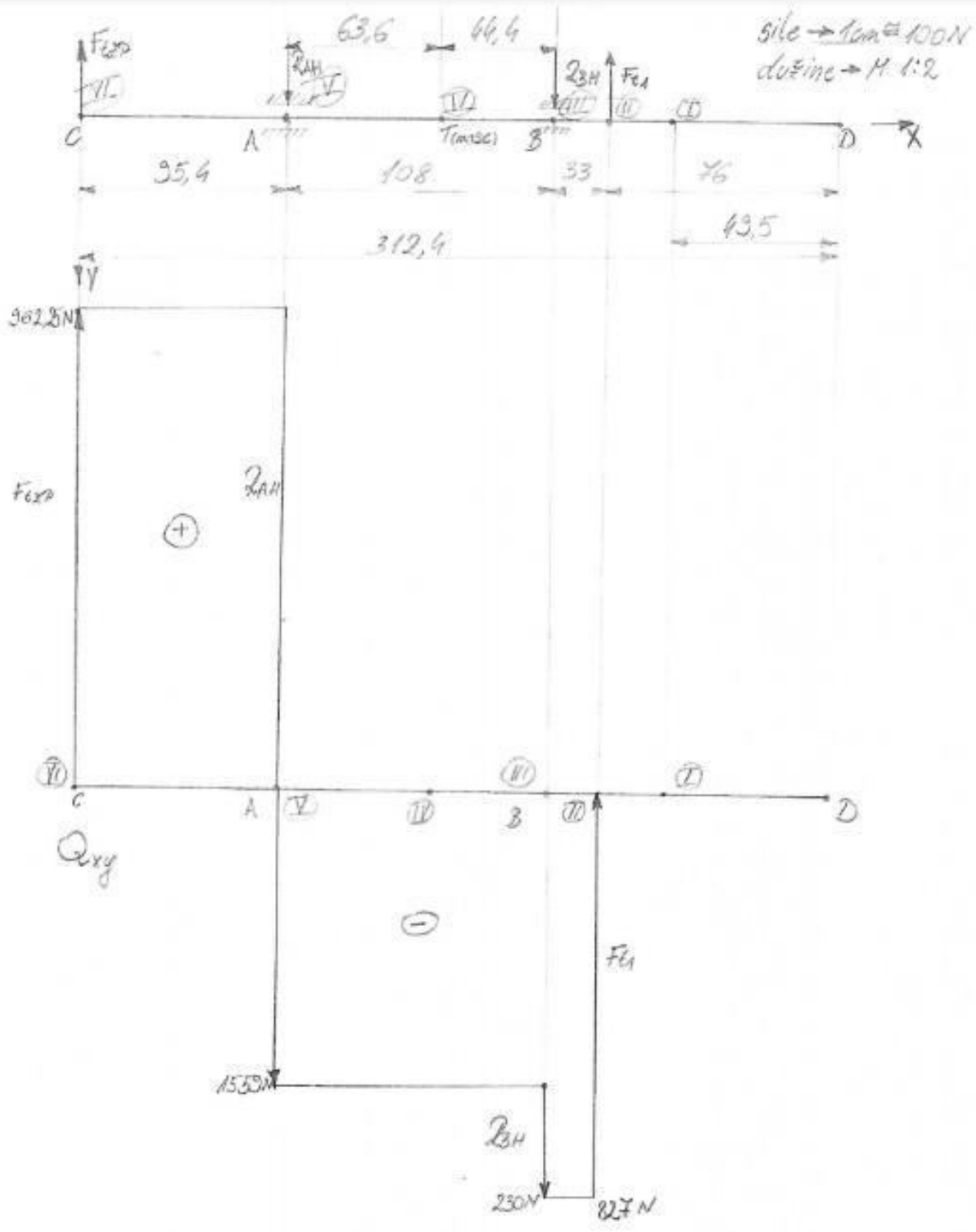
$$B (3) \quad R_B = \sqrt{R_{BH}^2 + R_{BV}^2} = \sqrt{230^2 + 959^2} = 986 \text{ N}$$

$$2 \quad \sqrt{(F_{r1} - G_{Z1_u})^2 + F_{t1}^2} = \sqrt{(301 - 5,69)^2 + 827^2} = 878 \text{ N}$$

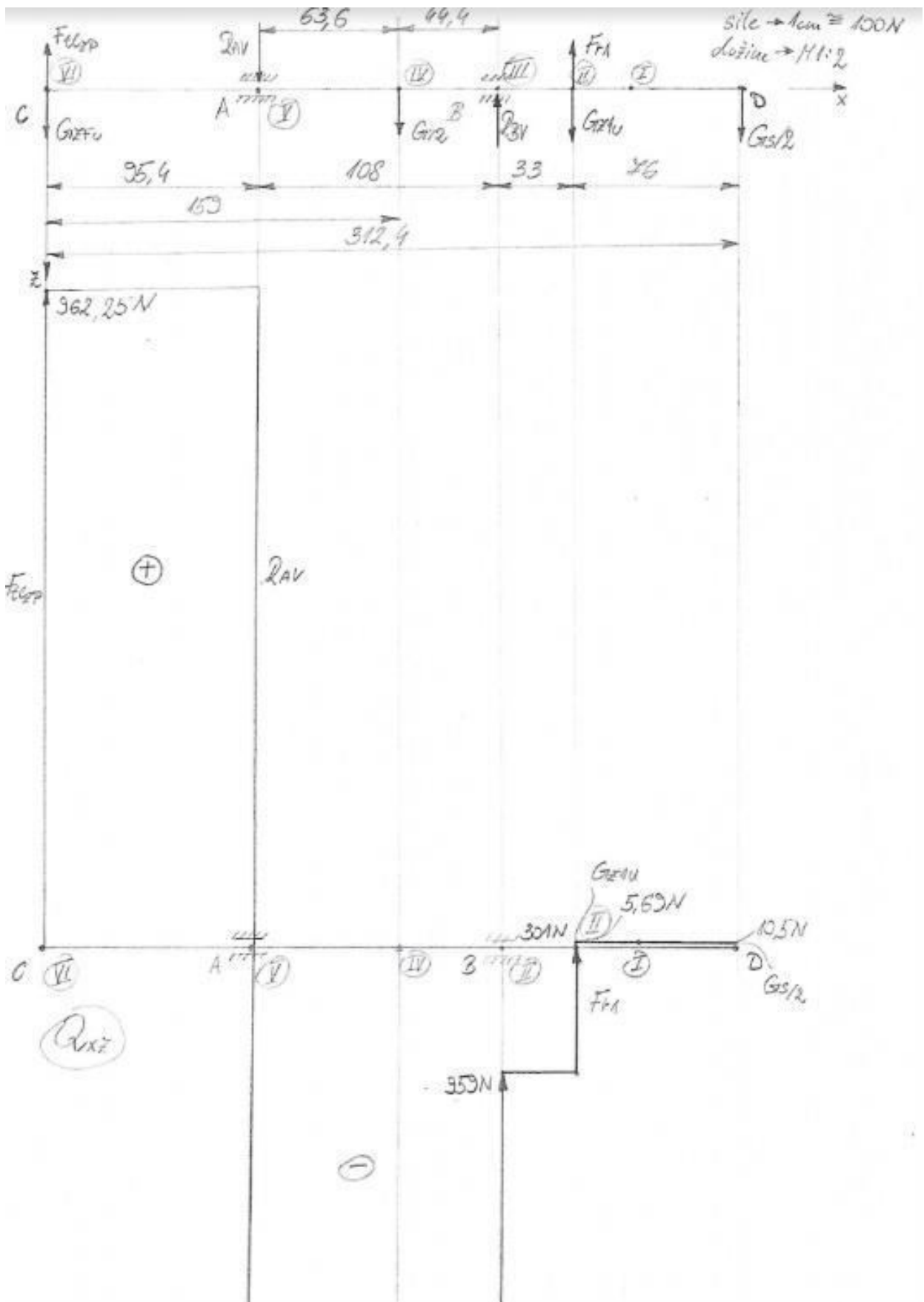
$$1 \quad \sqrt{10,5^2} = 10,5 \text{ N}$$

$$D \quad \frac{G_s}{2} = \sqrt{\left(\frac{G_s}{2}\right)^2} = \sqrt{10,5^2} = 10,5$$

Dispozicija sila na pogonskom vratilu u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini prikazani su na slikama 3.8 i 3.9.



Slika 3.8 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravni



Slika 3.9 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini

3.3.2 Promjeri pojedinih stupnjeva pogonskog vratila proračunom na savijanje i uvijanje

Orijentacijske vrijednosti dozvoljenih naprezanja ako se uzme u obzir materijal C45E (Č1531), obrada i koncentracija naprezanja.

Tablica 3.7 Tablica materijala za C45E (Č1531) [4]

Materijal	Oznaka	DIN	Prekidna čvrstoća R_m	Granica popuštanja (tečenja, razvlačenja) R_t	Promjenjiva trajna čvrstoća (Dinamička izdržljivost)				Dopušteno naprezanje na savijanje $\sigma_{\text{DIN}}(\sigma_{\text{DIN}})$	Potrebne specifične vrijednosti za oblikovane zupčanike uz proračun i oznake po ISO, UZ ISO-oznake, u zagradama su date i dodatne oznake po HRN-u					
					Savijanje		Uvijanje			Srednja hrapavost R_{sm} (R_z) μm	Stanje	Tvrdoća	Površine bokova	Promjenjiva trajna čvrstoća (Dinamička izdržljivost)	
					σ_{DN}	σ_{DI}	τ_{DN}	τ_{DI}						Hertz-ov pritisak σ_{Hertz}	Jednosmjerna čvrstoća oblikovanih korijena zuba σ_{Film}
Konstruk. čelici	Č 0461	St 42	420-500	250	190	300	110	160	32-47	6	1	280 ¹⁾	180	500	
	Č 0545	St 50	500-600	290	240	370	140	190	40-60	6	1	340 ²⁾	190	550	
	Č 0645	St 60	600-720	330	280	430	160	220	47-70	6	1	400 ²⁾	200	650	
	Č 0745	St 70	700-850	360	320	500	190	260	58-80	6	1	460 ²⁾	220	800	
	Č 1531	Čk 45	670-820	420	335	540	190	270	56-84	3	Norm.	590 ¹⁾	200	800	
Čelici za poboljšanje	Č 1731	Čk 60	800-950	500	400	640	230	320	67-100	3	Pobolj.	620 ²⁾	220	900	
	Č 1531	Čk 45	670-820	420	335	540	190	270	56-84	3	Plam.	1100	270	1000	
	Č 4732	42CrMo4	1000-1200	780	500	800	280	400	84-125	3	Kaljen.	1360	350	1300	
	Č 4732	Čk 45	670-820	420	335	540	190	270	56-84	3	Nitr. u s. kup.	1100	350	1100	
Čelici za cementiranje	Č 4732	42CrMo4	1000-1200	780	500	800	280	400	84-125	3	3	1320	430	1450	
	Č 4320	16MnCr5	800-1100	600	440	820	260	370	74-110	3	3	1630	460	1400	
	Č 4321	20MnCr5	1000-1300	700	500	800	280	400	84-125	3	3	1630	480	1500	
	Č 5420	15CrNi6	900-1200	650	450	720	250	360	75-113	3	3	1630	500	1600	
SI**	---	Ni 60	1200-1450	800	640	1050	370	510	107-160	6-7	---	1630	500	1700	
	---	---	700	420	240	380	140	190	40-60	---	---	490	220	1000	

$$\text{dop } \sigma_{fDN} = 84 \text{ N/mm}^2 \text{ (tablica 3.7)}$$

$$\text{dop } \tau_{tDI} = 108 \text{ N/mm}^2 \text{ (tablica 3.7)}$$

3.3.3 Momenti savijanja u vertikalnoj ravnini u pojedinim presjecima (slike 3.6 i 3.7)

$$* M_{1D} = -\frac{G_S}{2} \cdot 0,0495 = -10,5 \cdot 0,0495 = -0,520 \text{ Nm}$$

$$* M_{2D} = -\frac{G_S}{2} \cdot 0,076 = -10,5 \cdot 0,076 = -0,798 \text{ Nm}$$

$$M_{3D} = -\frac{G_S}{2} \cdot (0,033 + 0,76) + F_{r_1} \cdot 0,033 - G_{Z_{1U}} \cdot 0,033$$

$$M_{3D} = -10,5 \cdot 0,109 + 301 \cdot 0,033 - 5,69 \cdot 0,033$$

$$* M_{3D} = 8,601 \text{ Nm}$$

$$M_{4D} = -\frac{G_S}{2} \cdot (0,076 + 0,033 + 0,0444) + F_{r_1} \cdot (0,033 + 0,0444) - G_{Z_{1U}} \cdot (0,033 + 0,0444)$$

$$+ R_{BV} \cdot 0,0444$$

$$M_{4D} = -10,5 \cdot 0,1534 + 301 \cdot 0,0774 - 5,69 \cdot 0,0774 + 959 \cdot 0,0444$$

$$* M_{4D} = 63,826 \text{ Nm}$$

$$M_{5D} = -\frac{G_S}{2} \cdot (0,076 + 0,033 + 0,108) + F_{r_1} \cdot (0,033 + 0,108) - G_{Z_{1U}} \cdot (0,033 + 0,108)$$

$$+ R_{BV} \times 0,108 - G_{rV} \cdot 0,0636$$

$$M_{5D} = -10,5 \cdot 0,217 + 301 \cdot 0,141 - 5,69 \cdot 0,141 + 959 \cdot 0,108 - 24,52 \cdot 0,0636$$

$$* M_{5D} = 141,373 \text{ Nm}$$

Kontrolni proračun:

$$M_{CD} = -\frac{G_S}{2} \cdot 0,3124 + F_1 \cdot (0,33 + 0,108 + 0,0954) - G_{Z_{1U}} \cdot (0,033 + 0,108 + 0,0954)$$

$$+ R_{BV} \cdot (0,108 + 0,0954) - G_{rV} \cdot (0,0636 + 0,0954) - R_{AV} \cdot 0,0954 = 0$$

$$M_{CD} = -10,5 \cdot 0,3124 + 301 \cdot 0,2364 - 5,69 \cdot 0,2364 + 959 \cdot 0,2034 - 24,52 \cdot 0,159$$

$$-2702 \cdot 0,0954 = 0$$

$$M_{CD} = -3,2802 + 71,1564 - 1,345116 + 195,0606 - 3,89868 - 257,7708$$

$$M_{CD} = -0,0873 \text{ Nm} \approx 0 \text{ Nm}$$

$$M_{DL} = F_{t_{ZP}} \cdot 0,3124 - G_{ZPU} \cdot 0,3124 - R_{AV} \cdot (0,108 + 0,033 + 0,076)$$

$$-G_{rV} \cdot (0,0444 + 0,033 + 0,076) + R_{BV} \cdot (0,033 + 0,076) + F_{r_1} \cdot 0,076 - G_{Z_{1U}} \cdot 0,076 = 0$$

$$M_{DL} = 1489,6 \cdot 0,3124 - 7,45 \cdot 0,3124 - 2702 \cdot 0,217 - 24,52 \cdot 0,153 + 959 \cdot 0,109$$

$$+301 \cdot 0,076 - 5,69 \cdot 0,076 = 0$$

$$M_{DL} = 465,35104 - 2,32738 - 568,334 - 3,75156 + 104,531 + 22,876 - 0,43244$$

$$M_{LD} = -0,0873 \text{ Nm} \approx 0 \text{ Nm}$$

3.3.4 Reducirani momentu u vertikalnoj ravni u pojedinim presjecima

$$M'_{red_1} = \sqrt{M_I^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot M_{PV})^2} \quad [4] \quad (3.30)$$

gdje je:

Faktor čvrstoće α_0 za materijal pogonskog vratila C45E (Č1531) (tablica 3.7)

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tFI}} \quad [4] \quad (3.31)$$

gdje je:

σ_{fDN} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na savijanje = 335 N/mm²

τ_{tFI} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na uvijanje = 270 N/mm²

Iz (3.31) slijedi:

$$\alpha_0 = \frac{335}{1,73 \cdot 270} = 0,72$$

Moment pogonskog vratila u M_{PV} [Nm]:

$$M_{PV} = \frac{M_{EM} + M_{\varepsilon S_1}}{\eta_{VL}} \quad [Nm] \quad [4] \quad (3.32)$$

gdje je:

M_{EM} = moment na vratilu elektromotora = 54,60 Nm

η_{VL} = stupanj korisnog djelovanja (gubitak) vratila = 0,995

$M_{\varepsilon S_1}$ = moment ubrzanih masa spojke S_1 [N]

$$M_{\varepsilon S_1} = \frac{GD_{S_1}^2 \cdot n_V}{375 \cdot t_u} \quad [N] \quad [4] \quad (3.33)$$

gdje je:

$GD_{S_1}^2$ = zagonski moment spojke S_1 = 0,055 [N/mm^2] (tablica 3.8)

Tablica 3.8 Elastična spojka - orijentacijski podaci [4]

Tip	M_i max [Nm]		GD^2 [Nm ²]	Dopušteni broj okretaja n [min ⁻¹]	Masa [kg]	A	B	C	D	E	F	ϕG	$dH7$		d^* predbuš.
	nominalan	interval				[mm]									
ES1	150	220	0,055	2800*	2,1	85	15	40	30	40	5	85	10	24	$8^{+0,5}$
ES2	300	450	0,18	2000*	4,2	125	30	55	40	60	5	110	12	34	$10^{+0,5}$
ES3	600	900	0,61	1500*	7	155	30	65	60	75	5	140	22	48	$20^{+0,5}$
ES4	900	1350	1,85	1000*	14	185	40	80	65	90	5	165	26	60	$25^{+0,5}$
ES5	1500	2250	7,06	950*	32	235	55	95	85	115	5	230	36	85	$35^{+0,5}$
ES6	3000	4500	31,2	700	81	300	80	120	100	145	10	300	52	110	$50^{+0,5}$
ES7	6000	9000	79,60	500	124	350	95	140	115	170	10	370	72	130	$70^{+0,5}$
α max $\pm 8^\circ$		β max $\pm 2^\circ$		utori za klinove		po HRN M.C2.060 (DIN 6885)									

n_V = broj okretaja pogonskog vratila = 700°/min

t_n = vrijeme uključivanja elektromotora = 1s

Iz (3.33) slijedi:

$$M_{\varepsilon S_1} = \frac{0,055 \cdot 700}{375 \cdot 1} = 0,10 \text{ Nm}$$

Iz (3.32) slijedi:

$$M_{PV} = \frac{54,60 + 0,1}{0,995} = 54,97 \text{ Nm}$$

Iz (3.30) slijedi:

$$M'_{red_1} = \sqrt{(-0,52)^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 34,28 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_2} = \sqrt{(-0,80)^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 34,29 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_3} = \sqrt{8,60^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 35,34 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_4} = \sqrt{63,83^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 72,45 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_5} = \sqrt{141,37^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 145,47 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_C} = \sqrt{0^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 34,28 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_D} = \sqrt{0^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 34,28 \text{ Nm}$$

Promjeri pogonskog vratila (M'_{red} u vertikalnoj ravnini) (predhodne dimenzije) u pojedinim presjecima

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{red_1}}{dop \sigma_{fDN}}} \text{ [mm]} \quad [4] \text{ (3.34)}$$

Iz (3.34) slijedi:

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{34280}{84}} = 16,10 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{34280}{84}} = 16,10 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{35340}{84}} = 16,26 \text{ mm}$$

$$d_4 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{72450}{84}} = 20,66 \text{ mm}$$

$$d_5 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{145470}{84}} = 26,06 \text{ mm}$$

Kontrolni proračun promjera d_2 na uvijanje u presjeku 2 kod zadanog istosmjernog opterećenja

$$d_2 = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{PV}}{dop \tau_{tDI}}} \text{ [mm]} \quad [4] \text{ (3.35)}$$

Iz (3.35) slijedi:

$$d_2 = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{54970}{108}} = 13,7 \text{ mm}$$

Kontrolni proračun promjera d_6 na uvijanje u presjeku 6 kod zadanog istosmjernog opterećenja

$$d_6 = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{PV_{ZP}}}{dop \tau_{tDI}}} \text{ [mm]} \quad [4] \text{ (3.36)}$$

$$M_{PV_{ZP}} = \frac{M_P}{\eta_V} \text{ [Nm]} \quad [4] \text{ (3.37)}$$

Iz (3.37) slijedi:

$$M_{PV_{ZP}} = \frac{38,49}{0,995} = 38,68 \text{ Nm}$$

Iz (3.36) slijedi:

$$d_6 = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{38680}{108}} = 12,2 \text{ mm}$$

3.3.5 Momenti savijanja u horizontalnoj ravnini u pojedinim presjecima (slike 3.6 i 3.7)

$$M_{1D} = 0$$

$$M_{2D} = 0$$

$$M_{3D} = F_{t_1} \cdot 0,033 = 827 \cdot 0,033 = 27,291 \text{ Nm}$$

$$M_{4D} = F_{t_1} \cdot (0,0444 + 0,033) - R_{BH} \cdot 0,0444 = 827 \cdot 0,0774 - 230 \cdot 0,0444$$

$$M_{4D} = 53,798 \text{ Nm}$$

$$M_{5D} = F_{t_1} \cdot (0,108 + 0,033) - R_{BH} \cdot 0,108 = 827 \cdot 0,141 - 230 \cdot 0,108$$

$$M_{5D} = 91,767 \text{ Nm}$$

Kontrola:

$$M_{CD} = F_{t_1} \cdot (0,0954 + 0,108 + 0,033) - R_{BH} \cdot (0,0954 + 0,108) - R_{AH} \cdot 0,0954$$

$$M_{CD} = 827 \cdot 0,2364 - 230 \cdot 0,2034 - 1559 \cdot 0,0954 = 0$$

$$M_{CD} = -0,0078 \text{ Nm} \approx 0 \text{ Nm}$$

$$M_{DL} = F_{t_{ZP}} \cdot 0,3124 - R_{AH} \cdot (0,108 + 0,033 + 0,076) - R_{BH} \cdot (0,033 + 0,076) + F_{t_1} \cdot 0,076$$

$$M_{DL} = 962,25 \cdot 0,3124 - 1559 \cdot 0,217 - 230 \cdot 0,109 + 827 \cdot 0,076$$

$$M_{DL} = 0,0859 \text{ Nm} \approx 0 \text{ Nm}$$

3.3.6 Reducirani momenti u horizontalnoj ravnini u pojedinim presjecima

Iz (3.30) slijedi:

$$M'_{red_1} = \sqrt{0^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 34,28 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_2} = \sqrt{0^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 34,28 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_3} = \sqrt{27,29^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 43,81 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_4} = \sqrt{53,80^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 63,79 \text{ Nm}$$

$$M'_{red_5} = \sqrt{91,77^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97)^2} = 97,96 \text{ Nm}$$

Promjeri pogonskog vratila (M'_{red} u horizontalnoj ravnini) (predhodne dimenzije) u pojedinim presjecima

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{34280}{84}} = 16,10 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{34280}{84}} = 16,10 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{43810}{84}} = 17,47 \text{ mm}$$

$$d_4 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{63790}{84}} = 19,80 \text{ mm}$$

$$d_5 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{97960}{84}} = 22,84 \text{ mm}$$

$$M_{redC} = \sqrt{0^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,110)^2}$$

$$M_{redC} = 38,05 \text{ Nm}$$

$$M_{redD} = \sqrt{0^2 + 0,75 \cdot (0,72 \times 54,97 \cdot 1,146)^2}$$

$$M_{redD} = 39,28 \text{ Nm}$$

Rezultante momenata savijanja (u pojedinim presjecima) horizontalne i vertikalne ravnine (slike 3.6 i 3.7)

$$C (6) \quad \sqrt{M_{6H}^2 + M_{6V}^2} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ Nm}$$

$$A (5) \quad \sqrt{M_{5H}^2 + M_{5V}^2} = \sqrt{91,77^2 + 141,37^2} = 169 \text{ Nm}$$

$$(4) \quad \sqrt{M_{4H}^2 + M_{4V}^2} = \sqrt{53,80^2 + 63,83^2} = 83 \text{ Nm}$$

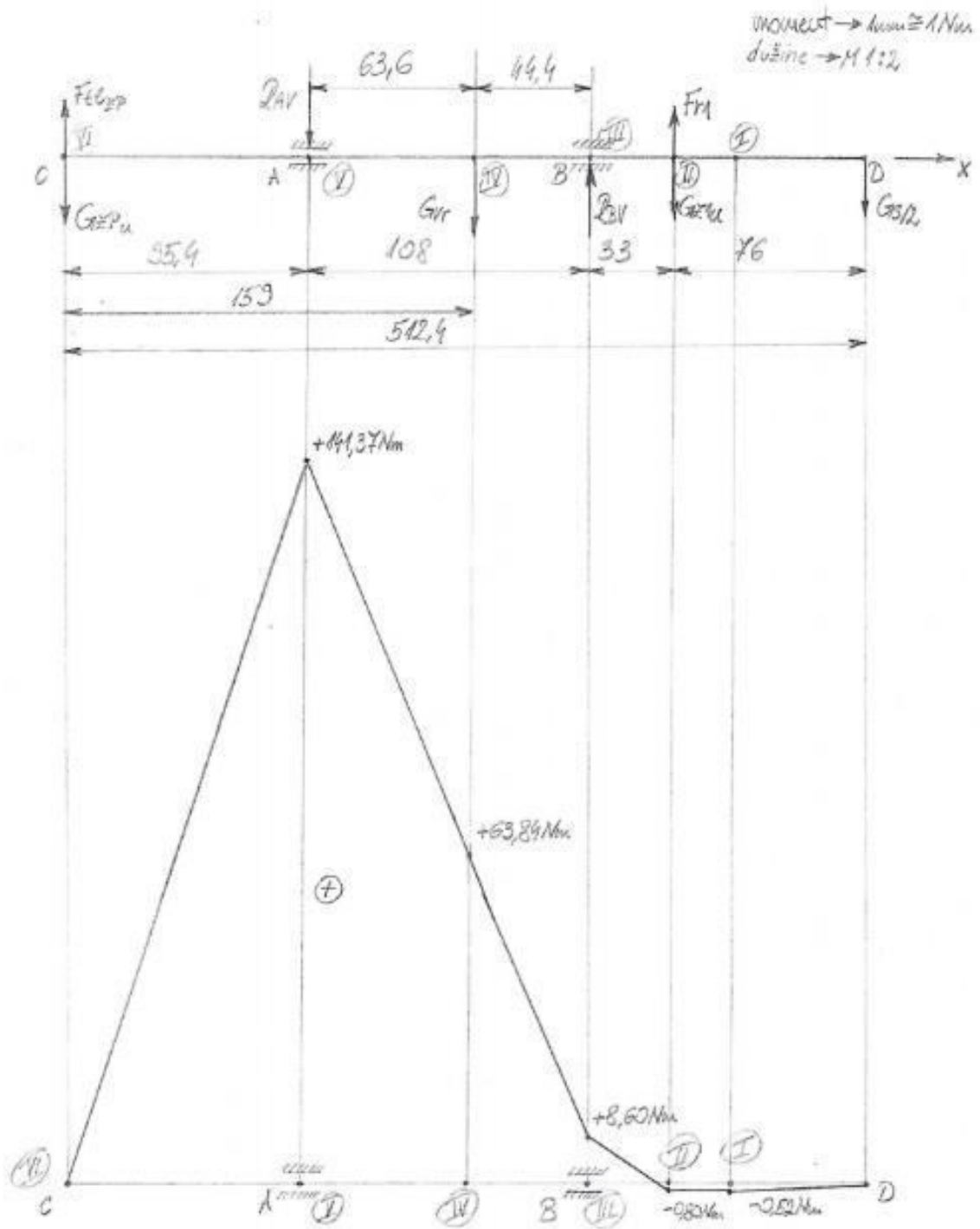
$$B (3) \quad \sqrt{M_{3H}^2 + M_{3V}^2} = \sqrt{27,29^2 + 8,60^2} = 29 \text{ Nm}$$

$$(2) \quad \sqrt{M_{2H}^2 + M_{2V}^2} = \sqrt{0^2 + (-0,80)^2} = 0,80 \text{ Nm}$$

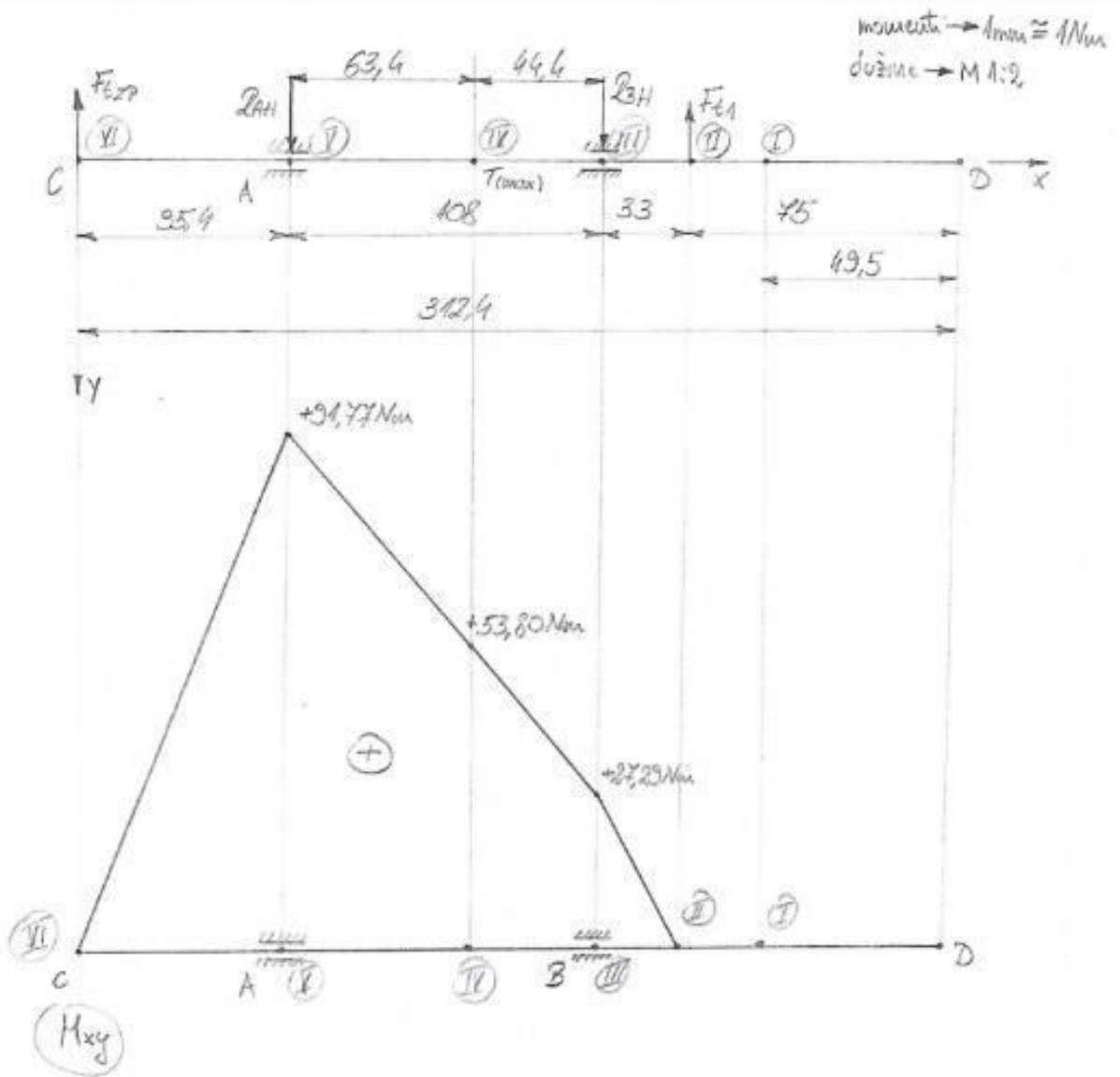
$$(1) \quad \sqrt{M_{1H}^2 + M_{1V}^2} = \sqrt{0^2 + (-0,52)^2} = 0,52 \text{ Nm}$$

$$D \quad \sqrt{M_{DH}^2 + M_{DV}^2} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ Nm}$$

Dijagrami dispozicija momenata savijanja u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini su prikazani na slikama 3.10 i 3.11.



Slika 3.10 Dispozicija momenata na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravnini



Slika 3.11 Dispozicija momenata na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini

Rezultante reduciranih momenata (u pojedinim presjecima) horizontalne i vertikalne ravnine (slike 3.6 i 3.7)

$$C (6) \quad \sqrt{M'_{red_6H}{}^2 + M'_{red_6V}{}^2} = \sqrt{34,28^2 + 34,28^2} = 48,48 \text{ Nm}$$

$$A (5) \quad \sqrt{M'_{red_5H}{}^2 + M'_{red_5V}{}^2} = \sqrt{97,96^2 + 145,47^2} = 175,38 \text{ Nm}$$

$$(4) \quad \sqrt{M'_{red_4H}{}^2 + M'_{red_4V}{}^2} = \sqrt{63,79^2 + 72,45^2} = 96,53 \text{ Nm}$$

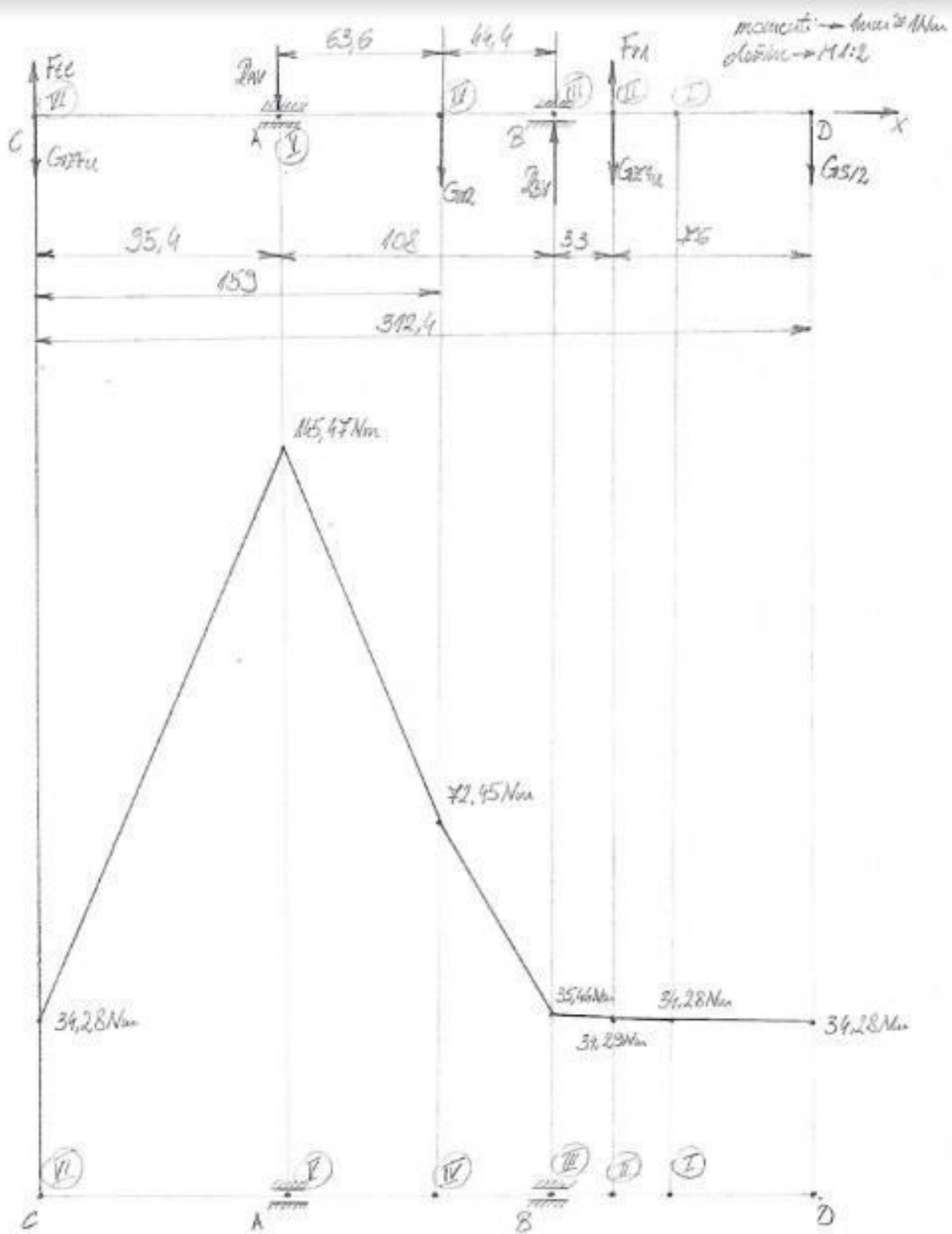
$$B (3) \quad \sqrt{M'_{red_3H}{}^2 + M'_{red_3V}{}^2} = \sqrt{43,81^2 + 35,34^2} = 56,29 \text{ Nm}$$

$$(2) \quad \sqrt{M'_{red_2H}{}^2 + M'_{red_2V}{}^2} = \sqrt{34,28^2 + 34,29^2} = 48,49 \text{ Nm}$$

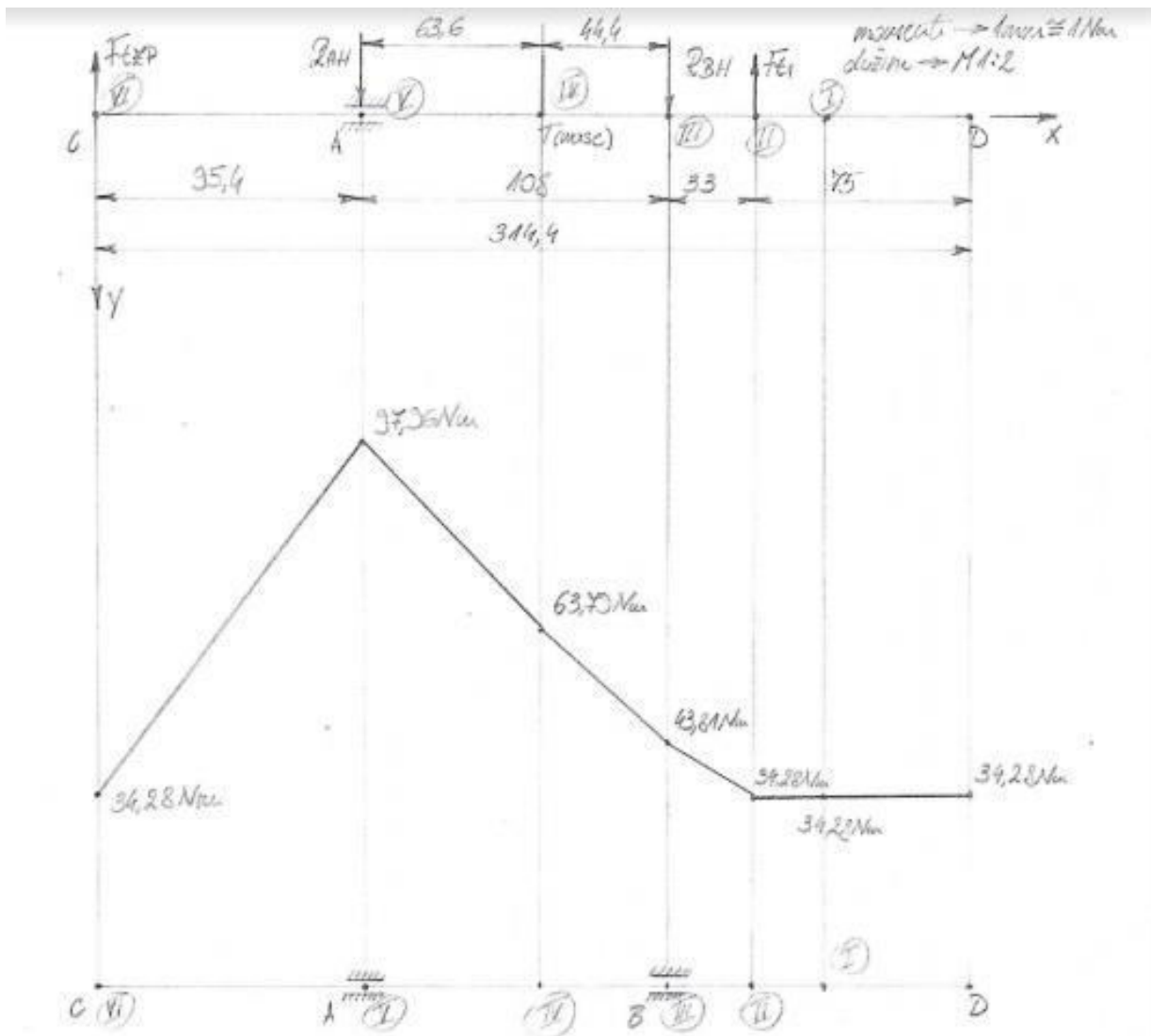
$$(1) \quad \sqrt{M'_{red_1H}{}^2 + M'_{red_1V}{}^2} = \sqrt{34,28^2 + 34,28^2} = 48,48 \text{ Nm}$$

$$D \quad \sqrt{M'_{red_DH}{}^2 + M'_{red_DV}{}^2} = \sqrt{34,28^2 + 34,28^2} = 48,48 \text{ Nm}$$

Dijagrami dispozicija reduciranih momenata savijanja u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini su prikazani na slikama 3.12 i 3.13.



Slika 3.12 Dispozicija reduciranih momenata na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravni



Slika 3.13 Dispozicija reduciranih momenata na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravnini

3.3.7 Kontrolni proračun pogonskog vratila u vertikalnoj ravnini za materijal C45E (Č1531) u pojedinim presjecima obzirom na koncentraciju naprezanja (zarežno djelovanje) -dinamičke sigurnosti

Opterećenje vratila momentima pojedinim presjecima:

Presjek 1 (slika 3.4)

$$M_{red_1} = \sqrt{(M_1 \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot M_{PV} \cdot \beta_{kt})^2} \quad [Nm] \quad [5] \quad (3.38)$$

gdje je:

$$M_1 = -0,52 \text{ Nm}$$

β_{kf} = faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije) uzrokovan promjenom veličine presjeka

$$\beta_{kf} = 1 + C_1 \cdot (\beta_{kf_2} - 1) \quad [5] \quad (3.39)$$

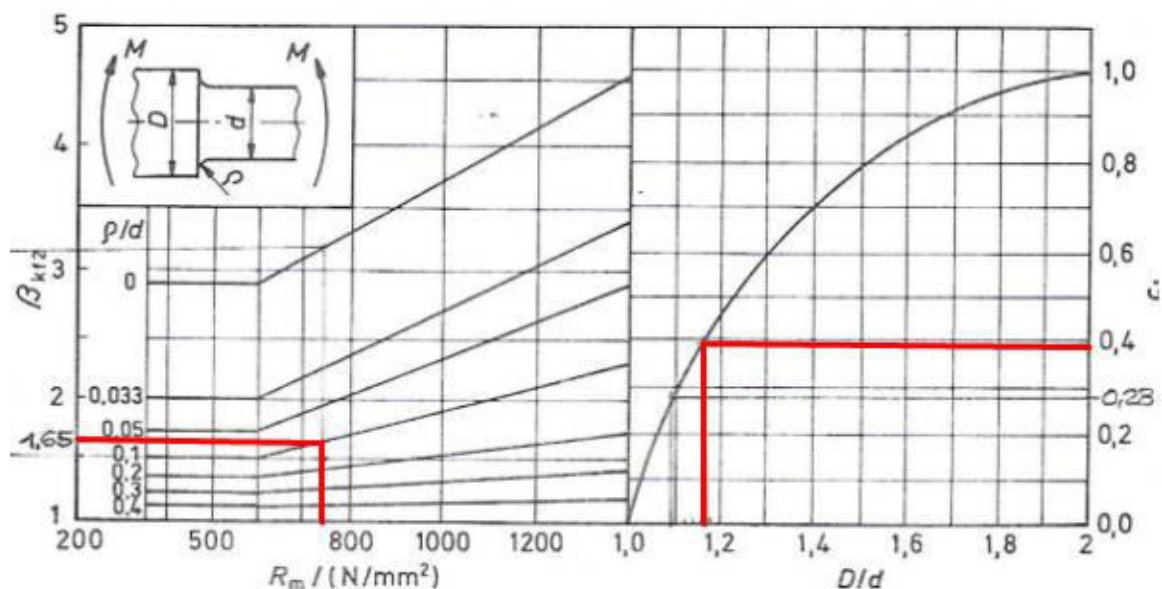
Prema konstrukcijskom 2D crtežu:

$$D = 35 \text{ mm}, d = 30 \text{ mm}, p = 3 \text{ mm (radijus zaobljenja)}$$

Iz čega slijedi:

$$\frac{p}{d} = \frac{3}{30} = 0,1$$

Prema $\frac{p}{d} = 0,1$ i R_m (tablica 3.7) = 745 N/mm² te iz slike 3.14 slijedi:



Slika 3.14 Faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije) [5]

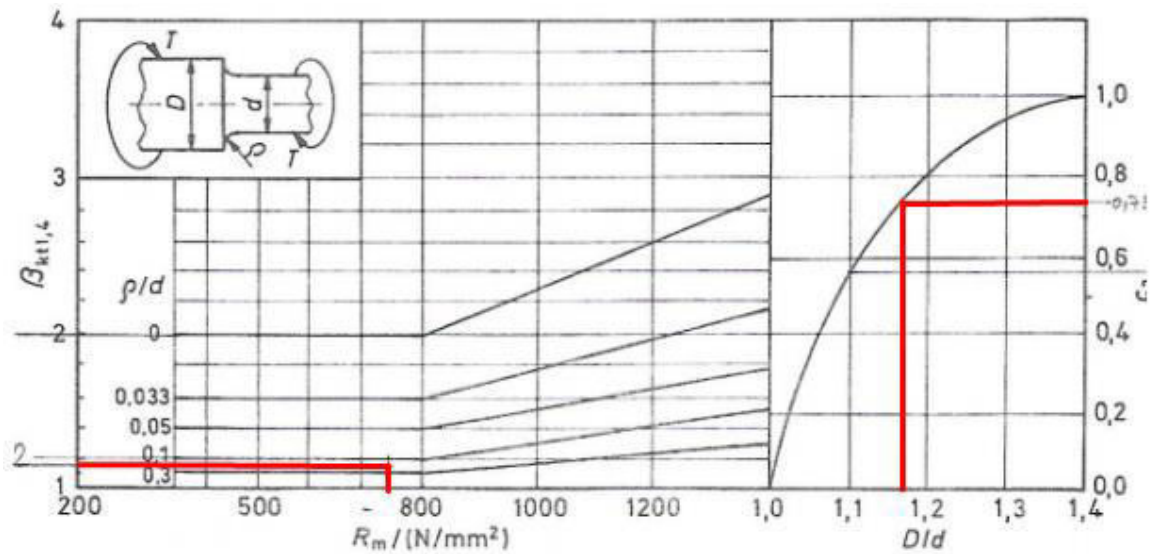
$$\beta_{kf_2} \approx 1,65 \text{ (slika 3.14)}$$

Prema : $\frac{D}{d} = \frac{35}{30} = 1,17$ slijedi:

$$C_1 \approx 0,39 \text{ (slika 3.14)}$$

β_{kt} = faktor zarezno djelovanja kod uvijanja uzrokovan promjenom veličine presjeka vratila

$$\beta_{kt} = 1 + C_2 \cdot (\beta_{kt_{1,4}} - 1) \quad [5] \quad (3.40)$$



Slika 3.15 Faktor zarezno djelovanja kod uvijanja (torzije) [5]

Prema $\frac{p}{d} = 0,1$; $R_m = 745 N/mm^2$ slijedi:

$$\beta_{kt_{1,4}} \approx 1,2 \text{ (slika 3.15)}$$

Prema $D/d = 1,17$ slijedi:

$$C_2 \approx 0,73 \text{ (slika 3.15)}$$

Iz (3.39) slijedi:

$$\beta_{kf} = 1 + 0,39 \cdot (1,65 - 1) = 1,254$$

Iz (3.40) slijedi:

$$\beta_{kt} = 1 + 0,73 \cdot (1,2 - 2) = 1,146$$

Iz (3.30) slijedi:

$$M_{red_1} = \sqrt{(-0,52 \times 1,254)^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,146)^2}$$

$$M_{red_1} = 39,29 \text{ Nm}$$

3.3.8 Reducirano naprezanje na savijanje i stvarni koeficijent naprezanja u određenim presjecima

Presjek 1

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_1} u presjeku 1

$$\sigma_{red_1} = \frac{M_{red_1}}{W_1} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad [4] \quad (3.41)$$

gdje je:

M_{red_1} = reducirani moment u presjeku 1 [Nm]

W_1 = moment otpora u presjeku 1 [mm^3]

$$W_1 = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32} [mm^3] \quad [4] \quad (3.42)$$

gdje je:

d_1 = promjer pogonskog vratila u presjeku 1 [mm] (slika 3.4)

Iz (3.42) slijedi:

$$W_1 = \frac{\pi \cdot 30^3}{32} = 2649,38 \text{ mm}^3$$

Iz (3.41) slijedi:

$$\sigma_{red_1} = \frac{39280}{2649,38} = 14,83 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti na savijanje S_1 u presjeku 1

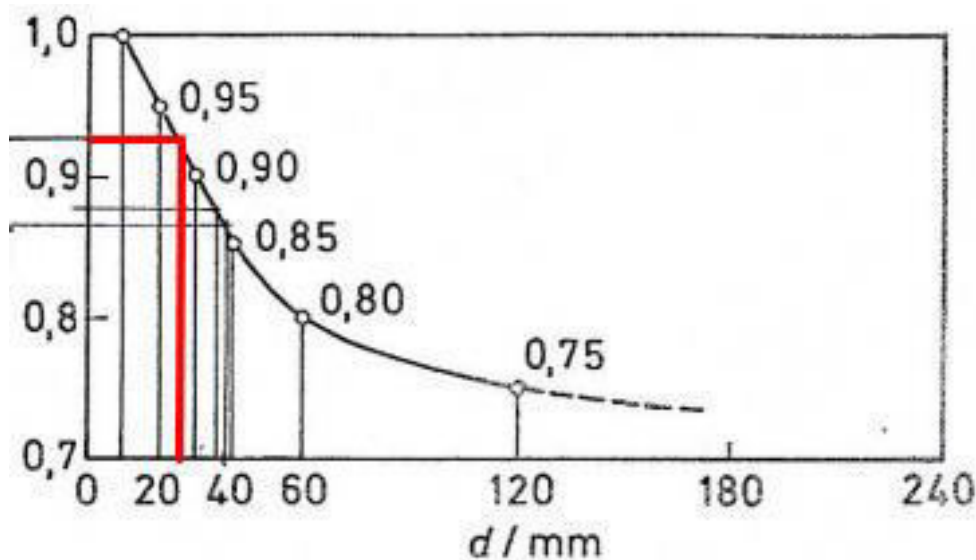
$$S_1 = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{red_1}} > S_{potr.} \quad [4] \quad (3.43)$$

gdje je:

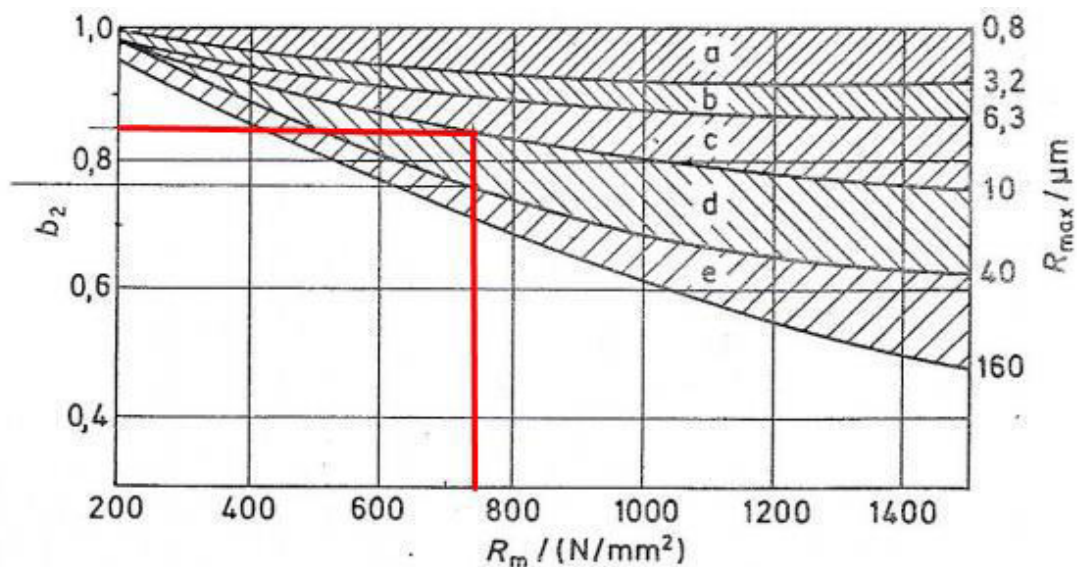
σ_{fDN} =promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na savijanje = 335 N/mm^3 (tablica 3.7)

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja = 0,9 (za $d = 30 \text{ mm}$) (slika 3.16)

b_2 = faktor kvalitete površinske obrade = 0,84 (za $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ i C = normalno brušeno $R_{max} = 5 \mu\text{m}$) (slika 3.17)



Slika 3.16 Faktor veličine strojnog dijela b_1 kod savijanja i uvijanja [5]



- | | |
|---|---|
| a) Polirano ($R_{max} = 1 \mu\text{m}$) | d) Fino obrađeno ($R_{max} = 6 \dots 8 \mu\text{m}$) |
| b) Fino brušeno ($R_{max} = 2 \mu\text{m}$) | e) Grubo obrađeno ($R_{max} = 10 \dots 40 \mu\text{m}$) |
| c) Normalno brušeno ($R_{max} = 5 \mu\text{m}$) | |

Slika 3.17 Faktor kvalitete površine obrade b_2 [5]

σ_{red_1} =reducirano naprezanje u presjeku 1 [N/mm²]

$S_{potr.}$ = potrebna sigurnost = 1,5 [4]

Iz (3.43) slijedi:

$$S_1 = \frac{335 \cdot 0,9 \cdot 0,84}{14,83} = 17,08 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 2 (slika 3.4)

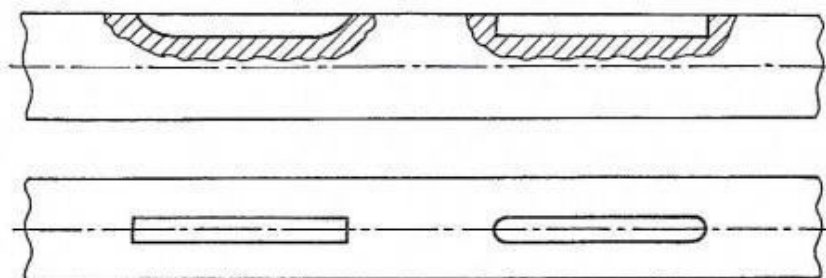
$$M_{red_2} = \sqrt{(M_2 \cdot \beta_{Kf})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot M_{PV} \cdot \beta_{Kt})^2} \text{ [Nm]} \quad [5] \quad (3.44)$$

gdje je:

$M_2 = -0,80 \text{ Nm}$

Tablica 3.9 Faktor zareznog djelovanja β_{Kf} kod savijanja vratila s utorom za pero [5]

Oblik	Prekidna čvrstoća R_m [N/mm ²]					
	300	400	500	600	700	800
A	1,4	1,45	1,5	1,55	1,58	1,62
B	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1

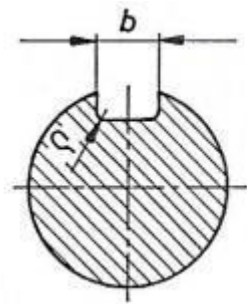


Oblik: A B

Uzdružni utori vratila i osovina oblika A: utor izrađen pločastim glodalom
Oblik B: utor izrađen prstastim glodalom

β_{Kf} = faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije) uzrokovan izvedbom utora na pero oblika B

$\beta_{Kf} = 2,05$ za $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ (tablica 3.9)



za $\rho = 0,10 \dots 0,15 \cdot b$ (mm):
 $\beta_{kt} = 1,8 \dots 2,0$

Slika 3.18 Faktor zareznog djelovanja β_{kt} kod uvijanja vratila s utorom za pero [5]

β_{kt} = faktor zareznog djelovanja kod uvijanja (torzije) (slika 3.18)

$$\beta_{kt} = 1,8$$

Iz (3.44) slijedi:

$$M_{red_2} = \sqrt{(-0,80 \cdot 2,05)^2 + 0,75 \cdot (0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,8)^2}$$

$$M_{red_2} = 61,82 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_2} u presjeku 2

$$\sigma_{red_2} = \frac{M_{red_2}}{W_2} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad [4] \quad (3.45)$$

gdje je:

M_{red_2} = reducirani moment u presjeku 2 [Nm]

W_2 = moment otpora u presjeku 2 [mm³]

$$W_2 = \frac{\pi \cdot d_2^3}{32} \left[mm^3 \right] \quad [4] \quad (3.46)$$

gdje je:

d_2 = promjer pogonskog vratila u presjeku 2 [mm] (slika 3.4)

Iz (3.46) slijedi:

$$W_2 = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4207,11 \text{ mm}^3$$

Iz (3.45) slijedi:

$$\beta_{red_2} = \frac{61720}{4207,11} = 14,67 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti na savijanje S_2 u presjeku 2

$$S_2 = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{M_{red_2}} > S_{potr.} \quad [4] \quad (3.47)$$

gdje je:

σ_{fDN} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na savijanje = 335 N/mm² (tablica 3.7)

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja = 0,88 (za $d = 35$ mm) (slika 3.4)

b_2 = faktor kvalitete površine obrade = 0,84 (za $R_m = 745$ N/mm²; C = normalno brušeno $R_{max} = 5$ μm (slika 3.17)

M_{red_2} = reducirano naprežanje u presjeku 2 [N/mm²]

$S_{potr.}$ = potrebna sigurnost = 1,5 [4]

Iz (3.47) slijedi:

$$S_2 = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,84}{14,67} = 16,88 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Naprežanje na uvijanje:

$$\tau_{t_2} = \frac{M_{PV}}{W_{P_2}} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad [4] \quad (3.48)$$

gdje je:

M_{PV} = moment pogonskog vratila = 54,97 Nm

W_{P_2} = polarni moment otpora pogonskog vratila u presjeku 2

$$W_{P_2} = \frac{\pi \cdot d_2^3}{16} \text{ [mm}^3\text{]} \quad [4] \quad (3.49)$$

Iz (3.49) slijedi:

$$W_{P_2} = \frac{\pi \cdot 35^3}{16} = 8414,22 \text{ mm}^3$$

Iz (3.48) slijedi:

$$\tau_{t_2} = \frac{54970}{8414,22} = 6,53 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti na uvijanje u presjeku 2:

$$S_2 = \frac{\tau_{tDI} \cdot b_1 \cdot b_2}{\tau_{t_2} \cdot \beta_{kt_2}} > S_{\text{potr.}} \quad [4] \quad (3.50)$$

gdje je:

τ_{tDI} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na uvijanje = 270 N/mm²

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja = 0,88 (za d = 35 mm) (slika 3.16)

b_2 = faktor kvalitete površinske obrade = 0,84 (za $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$, C = normalno brušeno $R_{\text{max}} = 5 \text{ }\mu\text{m}$) (slika 3.17)

τ_{t_2} = naprezanje na uvijanje = 6,53 N/mm²

β_{kt_2} = faktor zareznog djelovanja kod uvijanje (torzije) (slika 3.18)

$\beta_{kt_2} = 1,8$

$S_{\text{potr.}}$ = potrebna sigurnost = 1,5 [4]

Iz (3.50) slijedi:

$$S_2 = \frac{270 \cdot 0,88 \cdot 0,84}{6,53 \cdot 1,8} = 16,98 > S_{\text{potr.}} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 3 (slika 3.4)

$$M_{red_3} = \sqrt{(M_3 \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot M_{PV} \cdot \beta_{kt})^2} [Nm] \quad [5] (3.51)$$

gdje je:

$$M_3 = 8,60 \text{ Nm}$$

β_{kf} =faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije) uzrokovan promjenom veličine presjeka

$$\beta_{kf} = 1 + C_1(\beta_{kf_2} - 1) \quad [5] (3.52)$$

Preko konstrukcijskom 2D crtežu:

$D = 38 \text{ mm}$, $d = 35 \text{ mm}$, $p = 0 \text{ mm}$ (radijus zaobljenja) iz čega slijedi:

$$\frac{p}{d} = \frac{0}{35} = 0 \text{ mm}$$

Prema $\frac{p}{d} = 0$ i $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ (tablica 3.7), te iz slike 3.14 slijedi:

$$\beta_{kf_2} \approx 3,2$$

Prema $\frac{D}{d} = \frac{38}{35} = 1,09$ slijedi:

$$C_1 \approx 0,28 \text{ (slika 3.14)}$$

β_{kt} =faktor zareznog naprezanja kod uvijanja uzrokovan promjenom veličine presjeka

$$\beta_{kt} = 1 + C_2(\beta_{kt_{1,4}} - 1) \quad [5] (3.53)$$

Prema $\frac{p}{d} = 0$ i $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ (tablica 3.7), te iz slike 3.17 slijedi:

$$\beta_{kt_{1,4}} \approx 2,0$$

Prema $\frac{D}{d} = \frac{38}{35} = 1,09$ slijedi:

$$C_2 \approx 0,56 \text{ (slika 3.14)}$$

Iz (3.52) slijedi:

$$\beta_{kf} = 1 + 0,28 \cdot (3,2 - 1) = 1,616$$

Iz (3.53) slijedi:

$$\beta_{kt} = 1 + 0,56 \cdot (2 - 1) = 1,56$$

Iz (3.51) slijedi:

$$M_{red_3} = \sqrt{(8,60 \cdot 1,616)^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,56)^2}$$

$$M_{red_3} = 55,25 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_3} u presjeku 3

$$\sigma_{red_3} = \frac{M_{red_3}}{W_3} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad [4] \quad (3.54)$$

gdje je:

M_{red_3} = reducirani moment u presjeku 3 [Nmm]

W_3 = moment otpora u presjeku 3 [mm^3]

$$W_3 = \frac{\pi \cdot d_3^3}{32} [mm^3] \quad [4] \quad (3.55)$$

gdje je:

d_3 = promjer pogonskog vratila u presjeku 3 [mm] (slika 3.4)

Iz (3.55) slijedi:

$$W_3 = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4207,11 \text{ mm}^3$$

Iz (3.54) slijedi:

$$\sigma_{red_3} = \frac{55250}{4207,11} = 13,13 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_3 u presjeku 3:

$$S_3 = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{red_3}} > S_{potr.} \quad [4] \quad (3.56)$$

gdje je:

σ_{fDN} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na savijanje = 335 N/mm³ (tablica 3.7)

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja = 0,88 (za $d = 35$ mm) (slika 3.16)

b_2 = faktor kvalitete površinske obrade = 0,84 (za $R_m = 745$ N/mm², C = normalno brušeno $R_{max} = 5$ μ m) (slika 3.17)

σ_{red_3} =reducirano naprezanje u presjeku 3 [N/mm²]

$S_{potr.}$ = potrebna sigurnost = 1,5 [4]

Iz (3.56) sljedi:

$$S_3 = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,84}{13,13} = 18,86 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 4 (slika 3.4)

$$M_{red_4} = \sqrt{(M_4 \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot M_{PV} \cdot \beta_{kt})^2} \text{ [Nm]} \quad [5] \text{ (3.57)}$$

gdje je:

$M_4 = 63,88 \text{ Nm}$

β_{kf} =faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije) uzrokovan promjenom veličine presjeka

$$\beta_{kf} = 1 + C_1(\beta_{kf_2} - 1) \quad [5] \text{ (3.58)}$$

Preko konstrukcijskom 2D crtežu:

$D = 38 \text{ mm}$, $d = 35 \text{ mm}$, $p = 0 \text{ mm}$ (radijus zaobljenja) iz čega slijedi:

$$\frac{p}{d} = \frac{0}{35} = 0 \text{ mm}$$

Prema $\frac{p}{d} = 0,1$ R_m (tablica 3.7) = 745 N/mm² te iz slike 3.14 slijedi:

$\beta_{kf_2} \approx 3,2C_1 \approx 0,28$ (slika 3.14)

β_{kt} =faktor zareznog naprezanja kod uvijanja uzrokovan promjenom veličine presjeka

Prema $\frac{D}{d} = \frac{38}{35} = 1,09$ slijedi:

$$\beta_{kt} = 1 + C_2(\beta_{kt_{1,4}} - 1) \quad [5] \text{ (3.59)}$$

Prema $\frac{p}{d} = 0$, $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ slijedi:

$\beta_{kt_{1,4}} \approx 2,0$ (slika 3.17)

Prema $\frac{D}{d} = \frac{38}{35}$ slijedi:
 $= 1,09$

$C_2 \approx 0,56$ (slika 3.15)

Iz (3.39) slijedi:

$$\beta_{kf} = 1 + 0,28(3,2 - 1) = 1,616$$

Iz (3.40) slijedi:

$$\beta_{kt} = 1 + 0,56(2 - 1) = 1,56$$

Iz (3.57) slijedi:

$$M_{red_4} = \sqrt{(63,83 \cdot 1,616)^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,56)^2}$$

$$M_{red_4} = 116,18 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_4} u presjeku 4

$$\sigma_{red_4} = \frac{M_{red_4}}{W_4} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad [4] \text{ (3.60)}$$

gdje je:

M_{red_4} = reducirani moment u presjeku 4 [Nmm]

W_4 = moment otpora u presjeku 4 [mm^3]

$$W_4 = \frac{\pi \cdot d_4^3}{32} [mm^3] \quad [4] \text{ (3.61)}$$

gdje je:

d_4 = promjer pogonskog vratila u presjeku 4 [mm] (slika 3.6)

Iz (3.61) slijedi:

$$W_4 = \frac{\pi \cdot 38^3}{32} = 5384,32 \text{ mm}^3$$

Iz (3.60) slijedi:

$$\sigma_{red_4} = \frac{116180}{5384,32} = 21,58 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_4 u presjeku 4

$$S_4 = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{red_4}} > S_{potr.} \quad [4] \text{ (3.62)}$$

gdje je:

σ_{fDN} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na savijanje = 335 N/mm^2 (tablica 3.7)

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja = 0,86 (za $d = 38 \text{ mm}$) (slika 3.16)

b_2 = faktor kvalitete površinske obrade = 0,77 (za $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ i $C = \text{normalno brušeno } R_{max} = 6/8 \text{ } \mu\text{m}$) (slika 3.17)

σ_{red_4} = reducirano naprezanje u presjeku 4 [N/mm^2]

$S_{potr.}$ = potrebna sigurnost = 1,5 [4]

Iz (3.62) slijedi:

$$S_4 = \frac{335 \cdot 0,86 \cdot 0,77}{21,58} = 10,28 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 5 (slika 3.4)

$$M_{red5} = \sqrt{(M_5 \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot M_{PV} \cdot \beta_{kf})^2} [Nm] \quad [5] (3.63)$$

gdje je:

$$M_5 = 141,40 \text{ Nm}$$

β_{kf} =faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije) uzrokovan promjenom veličine presjeka

$$\beta_{kf} = 1 + C_1(\beta_{kf_2} - 1) \quad [5] (3.64)$$

Preko konstrukcijskom 2D crtežu:

$D = 35 \text{ mm}$, $d = 30 \text{ mm}$, $p = 5 \text{ mm}$ (radijus zaobljenja) iz čega slijedi:

$$\frac{p}{d} = \frac{5}{30} = 0,17 \text{ mm}$$

Prema $\frac{p}{d} = 0,17 \text{ mm}$ i $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ (tablica 3.7), te iz slike 3.14 slijedi:

$$\beta_{kf_2} \approx 1,5 \text{ (slika 3.14)}$$

$$\text{Prema : } \frac{D}{d} = \frac{35}{30} = 1,17 \text{ slijedi:}$$

$$C_1 \approx 0,39 \text{ (slika 3.14)}$$

β_{kt} =faktor zareznog naprezanja kod uvijanja uzrokovan promjenom veličine presjeka

$$\beta_{kt} = 1 + C_2(\beta_{kt_{1,4}} - 1) \quad [5] (3.65)$$

Prema $\frac{p}{d} = 0,17$, $R_m = 745 \text{ N/mm}^2$ slijedi:

$$\beta_{kt_{1,4}} \approx 1,15$$

$$\text{Prema : } \frac{D}{d} = \frac{35}{30} = 1,17 \text{ slijedi:}$$

$$C_2 \approx 0,73 \text{ (slika 3.15)}$$

Iz (3.64) slijedi:

$$\beta_{kf} = 1 + 0,39 \cdot (1,5 - 1) = 1,195$$

Iz (3.65) slijedi:

$$\beta_{kt} = 1 + 0,73 \cdot (1,15 - 1) = 1,110$$

Iz (3.63) slijedi:

$$M_{red_5} = \sqrt{(141,37 \cdot 1,195)^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,110)^2}$$

$$M_{red_5} = 173,17 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_5} u presjeku 5

$$\sigma_{red_5} = \frac{M_{red_5}}{W_5} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad [4] (3.66)$$

gdje je:

M_{red_5} = reducirani moment u presjeku 5 [Nmm]

W_5 = moment otpora u presjeku 5 [mm^3]

$$W_5 = \frac{\pi \cdot d_5^3}{32} \left[\frac{N}{mm^3} \right] \quad [4] (3.67)$$

gdje je:

d_5 = promjer pogonskog vratila u presjeku 5 [mm] (slika 3.4)

Iz (3.67) slijedi:

$$W_5 = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4207,11 \text{ mm}^3$$

Iz (3.66) slijedi:

$$\sigma_{red_5} = \frac{173170}{4207,11} = 41,16 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_5 u presjeku 5

$$S_5 = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{red_5}} > S_{potr.} \quad [4] (3.68)$$

gdje je:

σ_{fDN} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na savijanje = 335 N/mm^2 (tablica

3.7)

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja = 0,88 (za $d = 35$ mm) (slika 3.16)

b_2 = faktor kvalitete površinske obrade = 0,84 (za $R_m = 745$ N/mm² i $C =$ normalno brušeno $R_{max} = 5$ μm (slika 3.17)

σ_{red_5} =reducirano naprezanje u presjeku 5 [N/mm²]

$S_{potr.}$ = potrebna sigurnost = 1,5 [4]

Iz (3.68) sljedi:

$$S_5 = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,84}{41,16} = 6,02 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 6 (slika 3.4)

Reducirano naprezanje na uvijanje

$$\tau_{t_6} = \frac{M_P}{W_{P_6}} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad [4] \text{ (3.69)}$$

gdje je:

M_P = moment na pogonskom vratilu trokralne zupčaste pumpe PZC-32 = 38,49 Nm

W_{P_6} = polarni moment otpora pogonskog vratila u presjeku 6

$$W_{P_6} = \frac{\pi \cdot d_6^3}{16} \text{ [mm}^3\text{]} \quad [4] \text{ (3.70)}$$

Iz (3.70) slijedi:

$$W_{P_6} = \frac{\pi \cdot 25^3}{16} = 3066,41 \text{ mm}^3$$

Iz (3.69) slijedi:

$$\tau_{t_6} = \frac{38490}{3066,41} = 12,55 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_5 u presjeku 6

$$S_6 = \frac{\tau_{tDI} \cdot b_1 \cdot b_2}{\tau_{t_6} \cdot \beta_{kt_6}} > S_{potr.} \quad [4] \quad (3.71)$$

gdje je:

τ_{tDI} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na uvijanje = 270 N/mm³ (tablica 3.7)

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja = 0,93 (za $d = 25$ mm) (slika 3.16)

b_2 = faktor kvalitete površinske obrade = 0,84 (za $R_m = 745$ N/mm² i $C =$ normalno brušeno $R_{max} = 5$ μ m) (slika 3.17)

τ_{t_6} = naprezanje na uvijanje = 12,55 [N/mm²]

β_{kt_6} = faktor zareznog djelovanja kod uvijanja (torzije) (slika 3.18)

$$\beta_{kt_6} = 2,0$$

$S_{potr.}$ = potrebna sigurnost = 1,5 [4]

Iz (3.71) sljedi:

$$S_6 = \frac{270 \cdot 0,93 \cdot 0,84}{12,55 \times 2} = 8,40 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Promjeri pogonskog vratila (M_{red} . u vertikalnoj ravnini) u pojedinim presjecima

Iz (3.34) slijedi:

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{39280}{84}} = 16,84 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{61720}{84}} = 19,58 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{55250}{84}} = 18,87 \text{ mm}$$

$$d_4 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{116180}{84}} = 24,18 \text{ mm}$$

$$d_5 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{173170}{84}} = 27,62 \text{ mm}$$

$$M_{red_D} = \sqrt{0^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,146)^2}$$

$$M_{red_D} = 39,28 \text{ Nm}$$

$$M_{red_C} = \sqrt{0^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,110)^2}$$

$$M_{red_C} = 38,05 \text{ Nm}$$

3.3.9 Kontrolni proračun pogonskog vratila u horizontalnoj ravni za materijal C45E (Č1531) u pojedinim presjecima obzirom na koncentraciju naprezanja (zarežno djelovanje) -dinamička sigurnost

Opterećenje vratila momentima u pojedinim presjecima

Presjek 1 (slika 3.4)

Iz (3.30) slijedi:

$$M'_{red_1} = \sqrt{0^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,146)^2}$$

$$M'_{red_1} = 39,28 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_1} u presjeku 1

Iz (3.41) slijedi:

$$\sigma_{red_1} = \frac{39280}{2649,38} = 14,83 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_1 u presjeku 1

Iz (3.43) slijedi:

$$S_1 = \frac{335 \times 0,9 \times 0,84}{14,83} = 17,08 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 2 (slika 3.4)

Iz (3.44) slijedi:

$$M'_{red_2} = \sqrt{0^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,8)^2}$$

$$M'_{red_2} = 61,70 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_2} u presjeku 2

Iz (3.45) slijedi:

$$\sigma_{red_2} = \frac{61700}{4207,11} = 14,67 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_2 u presjeku 2

Iz (3.47) slijedi:

$$S_2 = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,84}{14,67} = 16,88 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 3 (slika 3.4)

Iz (3.51) slijedi:

$$M'_{red_3} = \sqrt{(27,29 \cdot 1,1616)^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,56)^2}$$

$$M'_{red_3} = 69,31 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_3} u presjeku 3

Iz (3.54) slijedi:

$$\sigma_{red_3} = \frac{69310}{4207,11} = 16,47 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_3 u presjeku 3

Iz (3.56) slijedi:

$$S_3 = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,84}{16,47} = 15,04 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 4 (slika 3.4)

Iz (3.57) slijedi:

$$M'_{red_4} = \sqrt{(53,80 \cdot 1,1616)^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,56)^2}$$

$$M'_{red_4} = 102,07 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_4} u presjeku 4

Iz (3.60) slijedi:

$$\sigma_{red_4} = \frac{102070}{5384,32} = 18,96 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_4 u presjeku 4

Iz (3.62) slijedi:

$$S_4 = \frac{335 \cdot 0,86 \cdot 0,77}{18,96} = 11,70 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Presjek 5 (slika 3.4)

Iz (3.63) slijedi:

$$M'_{red_5} = \sqrt{(91,77 \cdot 1,195)^2 + 0,75(0,72 \cdot 54,97 \cdot 1,110)^2}$$

$$M'_{red_5} = 116,08 \text{ Nm}$$

Reducirano naprezanje na savijanje σ_{red_5} u presjeku 5

Iz (3.66) slijedi:

$$\sigma_{red_5} = \frac{116080}{4207,11} = 27,59 \text{ N/mm}^2$$

Stvarni koeficijent sigurnosti S_5 u presjeku 5

Iz (3.68) slijedi:

$$S_5 = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,84}{27,59} = 8,98 > S_{potr.} = 1,5$$

Zadovoljava.

Promjeri pogonskog vratila (M'_{red} u horizontalnoj ravnini) u pojedinim presjecima

Iz (3.34) slijedi:

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{39280}{84}} = 16,84 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{61700}{84}} = 19,58 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{69310}{84}} = 20,35 \text{ mm}$$

$$d_4 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{102070}{84}} = 23,16 \text{ mm}$$

$$d_5 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{116080}{84}} = 24,17 \text{ mm}$$

Rezultante reduciranih momenata - zarezno djelovanje (u pojedinim presjecima) horizontalne i vertikalne ravnine (slike 3.6 i 3.7)

$$C (6) \quad \sqrt{M_{red_6H}^{\prime 2} + M_{red_6V}^{\prime 2}} = \sqrt{38,05^2 + 38,05^2} = 53,81 \text{ Nm} \quad d_{min} = 19 \text{ mm}$$

$$A (5) \quad \sqrt{M_{red_5H}^{\prime 2} + M_{red_5V}^{\prime 2}} = \sqrt{116,08^2 + 173,17^2} = 208,48 \text{ Nm} \quad d_{min} = 29 \text{ mm}$$

$$(4) \quad \sqrt{M_{red_4H}^{\prime 2} + M_{red_4V}^{\prime 2}} = \sqrt{102,07^2 + 116,18^2} = 154,65 \text{ Nm} \quad d_{min} = 27 \text{ mm}$$

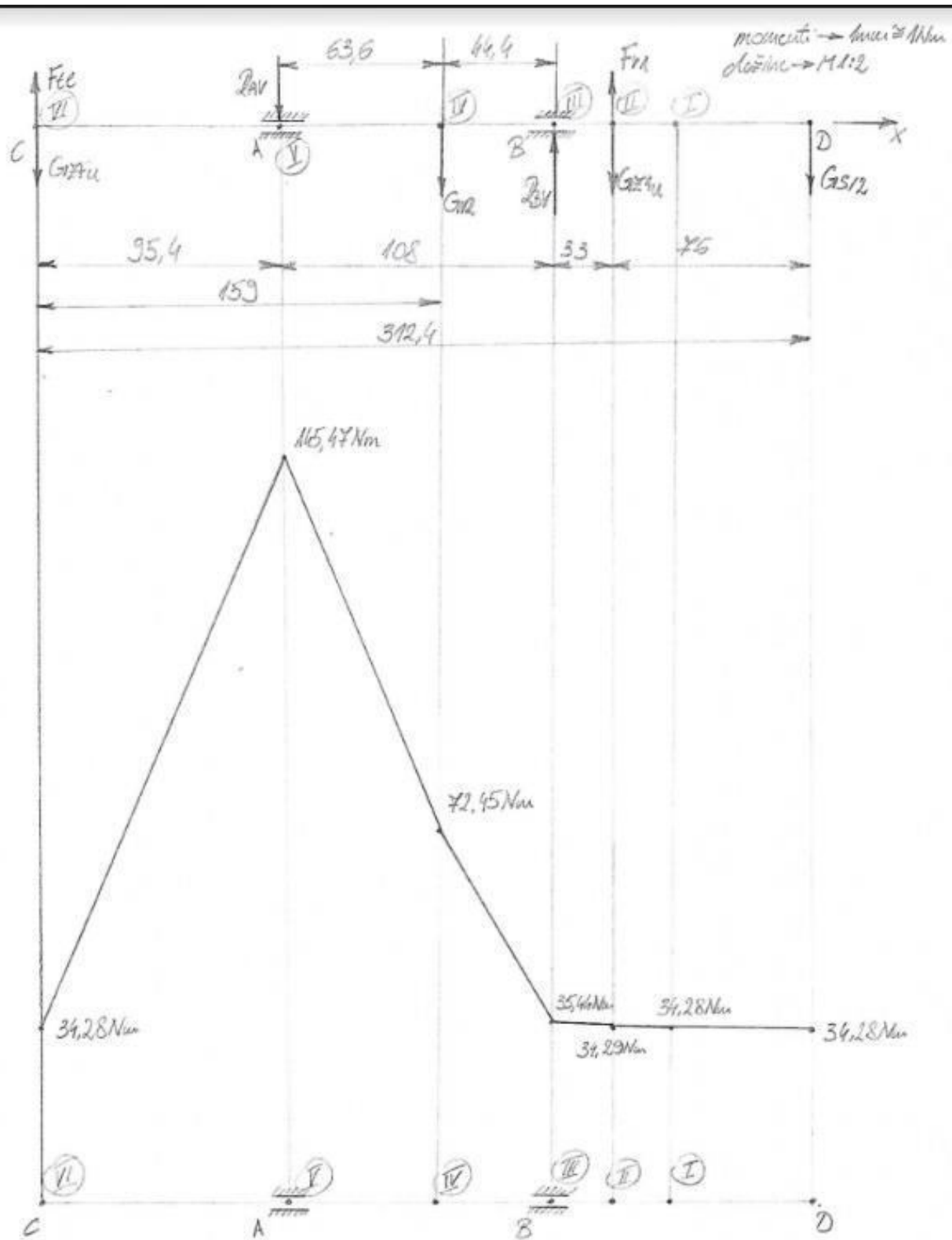
$$B (3) \quad \sqrt{M_{red_3H}^{\prime 2} + M_{red_3V}^{\prime 2}} = \sqrt{69,31^2 + 55,25^2} = 88,64 \text{ Nm} \quad d_{min} = 22 \text{ mm}$$

$$(2) \quad \sqrt{M_{red_2H}^{\prime 2} + M_{red_2V}^{\prime 2}} = \sqrt{61,70^2 + 61,72^2} = 87,27 \text{ Nm} \quad d_{min} = 22 \text{ mm}$$

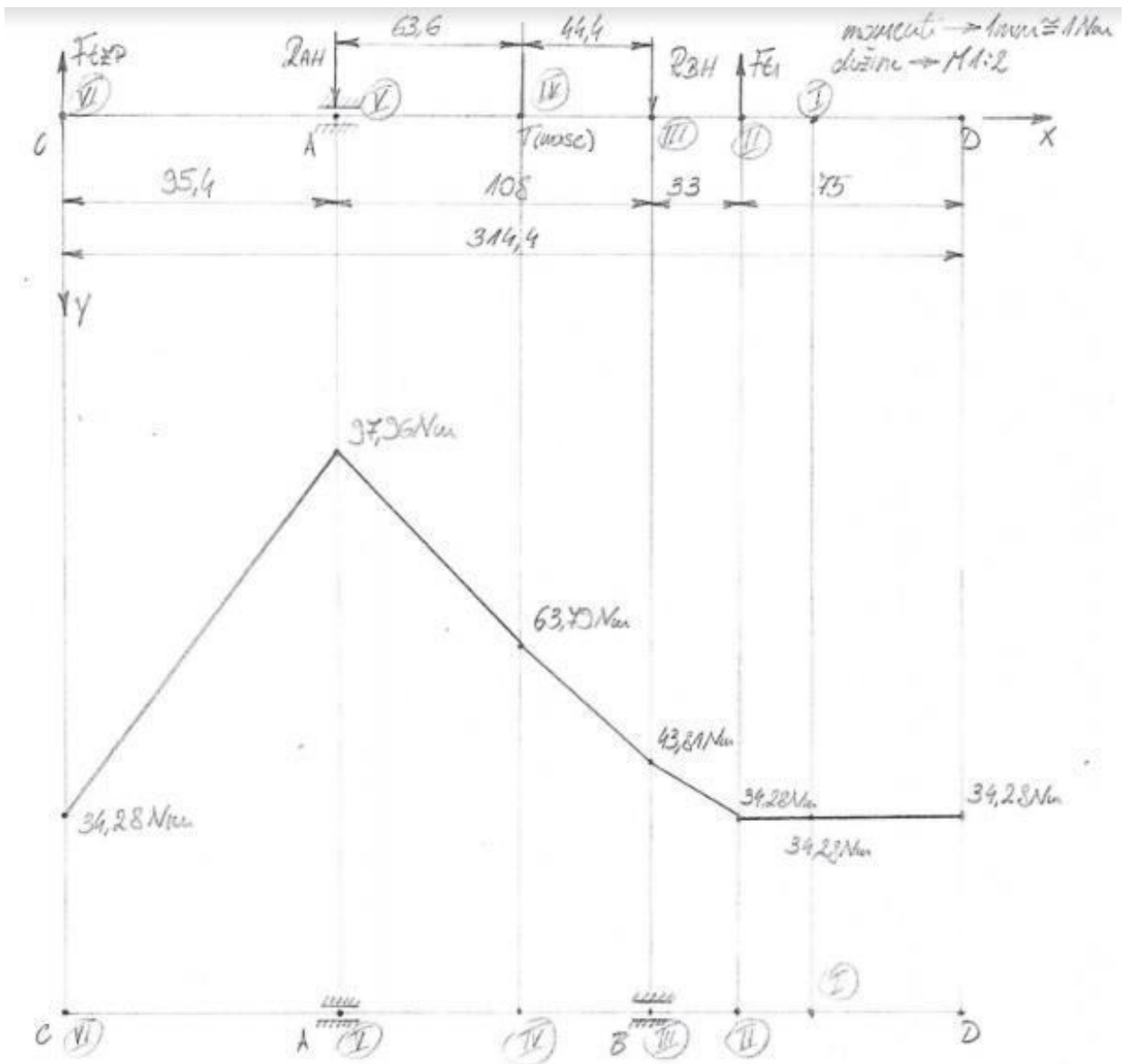
$$(1) \quad \sqrt{M_{red_1H}^{\prime 2} + M_{red_1V}^{\prime 2}} = \sqrt{39,28^2 + 39,28^2} = 55,55 \text{ Nm} \quad d_{min} = 19 \text{ mm}$$

$$D \quad \sqrt{M_{red_DH}^{\prime 2} + M_{red_DV}^{\prime 2}} = \sqrt{39,28^2 + 39,28^2} = 55,55 \text{ Nm} \quad d_{min} = 19 \text{ mm}$$

Dijagrami dispozicija reduciranih momenata - zarezno djelovanje (u pojedinim presjecima) za horizontalnu i vertikalnu ravninu prikazani su na slikama 3.19 i 3.20.



Slika 3.19 Dispozicija reduciranih momenata - zarezno djelovanje na pogonskom vratilu u vertikalnoj ravni



Slika 3.20 Dispozicija reduciranih momenata - zarežno djelovanje na pogonskom vratilu u horizontalnoj ravni

3.4 Izbor i kontrolni proračun ležajeva pogonskog vratila

Ležaj oslonca A

Ležajno mjesto u osloncu A (slika 3.4) je "slobodno", te kao takvo može preuzeti samo opterećenja radijalnim silama. Prema tome izbor ležaja za ovo ležajno mjesto određuje se na temelju radijalne reakcije F_A i predhodno odabranog promjera rukavca d_A , te vremena trajanja ležaja L_h i broja okretaja pogonskog vratila n [5]

$$\text{Radijalna sila } F_r = F_A = 2793 \text{ N}$$

$$\text{Promjer rukavca } d_A = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Vrijeme trajanja ležaja (odabrano) } L_h = 10000 \text{ sati}$$

$$\text{Broj okretaja pogonskog vratila } n = 700^\circ/\text{min} [9]$$

Za $L_h = 10000$ sati i $n = 700$ °/min, nosiva sigurnost ležaja prema nomogramu za ležajeve s valjcima [9] iznosi:

$$\frac{C}{P} = 7,2 \text{ [SKF - Dijagram za izračunavanje vijeka ležaja]}$$

Ekvivalentno dinamičko opterećenje ležaja P

$$P = F_r = F_A = 3120 \text{ N}$$

Dinamička opterećenost ležaja C_1

$$C_1 = P \cdot \left(\frac{C}{P}\right) \quad [5] (3.72)$$

Iz (3.72) slijedi:

$$C_1 = 3120 \cdot 7,2 = 22464 \text{ N}$$

Prema dinamičkoj opterećenosti ležaja i promjeru rukavca $d_A = 35$ mm, odabran je igličasti ležaj NKIS35 (dimenzija $(d/D) \cdot B = (35/58) \cdot 22$) s dinamičkom nosivošću:

$$C = 39100 \text{ N} > C_1$$

Ležaj oslonca B

Ležajno mjesto u osloncu B (slike 3.4) je također “slobodno”, te može preuzeti samo opterećenja radijalnim silama. Izbor ležaja za ovo ležajno mjesto određuje se na temelju radijalne redukcije F_B i predhodno odabranog rukavca d_B , te vremena trajanja ležaja L_h i broja okretaja pogonskog vratila n [5].

$$\text{Radijalna sila } F_r = F_B = 144 \text{ N}$$

$$\text{Promjer rukavca } d_B = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Vrijeme trajanja ležaja (odabrano) } L_h = 10000 \text{ sati}$$

$$\text{Broj okretaja pogonsko vratila } n = 700 \text{ }^\circ/\text{min}$$

- Katalog SKF (1981 god.)

Za $L_h = 10000$ sati i $n = 700$ °/min, nosiva sigurnost ležaja C/P prema nomogramu za kuglične ležajeve [9] iznosi:

$$C/P = 7,5$$

Ekvivalentno dinamičko opterećenje ležaja P

$$P = F_r = F_A = 986 \text{ N}$$

Dinamička opterećenost ležaja C_1

$$C_1 = P \cdot \left(\frac{C}{P}\right) \quad [4] \text{ (3.73)}$$

Iz (3.73) slijedi:

$$C_1 = 986 \cdot 7,5 = 5395 \text{ N}$$

Prema dinamičkoj opterećenosti ležaja i promjeru rukavca $d_B = 35$ mm, odabran je igličasti ležaj 6007 (dimenzija $(d/D) \cdot B = (35/62) \cdot 14$) s dinamičkom nosivošću:

$$C = 15900 \text{ N} > C_1$$

3.5 Kontrolni proračun progiba Y_C i kuta nagiba elastične linije β_C u točki C pogonskog vratila

Vertikalna ravnina

Progib Y_{C_V} u točki C (slika 3.4)

$$Y_{C_V} = \frac{F_V}{3E} \cdot \left(\frac{l_1^3}{J_{f_1}} + \frac{l_2^3 - l_1^3}{J_{f_2}} + \frac{l_3^3 - l_2^3}{J_f^3} \right) \quad [7] \quad (3.73)$$

gdje je:

$$F_V = F_{tl.zp} - G_{ZPU} = 1489,6 - 7,45 = 1482,15 \text{ N}$$

$$l_1 = 5,5 \text{ mm}$$

$$l_2 = 69,5 \text{ mm}$$

$$l_3 = 95,4 \text{ mm}$$

E = modul elastičnosti materijala vratila = 210000 N/mm²

J_{f_1} = moment inercije presjeka vratila 1-1 [mm⁴]

J_{f_2} = moment inercije presjeka vratila 2-2 [mm⁴]

J_{f_3} = moment inercije presjeka vratila 3-3 [mm⁴]

$$J_{f_1} = 0,05 \cdot d_1^4 = 0,05 \cdot 25^4 = 19531,25 \text{ mm}^4 [7]$$

$$J_{f_2} = 0,05 \cdot d_2^4 = 0,05 \cdot 30^4 = 40500 \text{ mm}^4 [7]$$

$$J_{f_3} = 0,05 \cdot d_3^4 = 0,05 \cdot 35^4 = 75031,25 \text{ mm}^4 [7]$$

Iz (3.73) slijedi:

$$Y_{C_V} = \frac{1482,15}{3 \cdot 210000} \left(\frac{5,5^3}{19531,25} + \frac{69,5^3 - 5,5^3}{40500} + \frac{95,4^3 - 69,5^3}{75031,25} \right)$$

$$Y_{C_V} = 0,0362 \text{ mm}$$

Zadovoljava.

Horizontalna ravnina

Progib Y_{CH} u točki C (slika 3.4)

$$Y_{CH} = \frac{F_{tZP}}{3E} \left(\frac{l_1^3}{J_{f_1}} + \frac{l_2^3 - l_1^3}{J_{f_2}} + \frac{l_3^3 - l_2^3}{J_f^3} \right) \quad [7] \quad (3.74)$$

gdje je:

$$F_{tZP} = 962,25 \text{ N}$$

$$l_1 = 5,5 \text{ mm}$$

$$l_2 = 69,5 \text{ mm}$$

$$l_3 = 95,4 \text{ mm}$$

E = modul elastičnosti materijala vratila = 210000 N/mm²

J_{f_1} = moment inercije presjeka vratila 1-1 [mm⁴]

J_{f_2} = moment inercije presjeka vratila 2-2 [mm⁴]

J_{f_3} = moment inercije presjeka vratila 3-3 [mm⁴]

$$J_{f_1} = 0,05 \cdot d_1^4 = 0,05 \cdot 25^4 = 19531,25 \text{ mm}^4 \quad [7]$$

$$J_{f_2} = 0,05 \cdot d_2^4 = 0,05 \cdot 30^4 = 40500 \text{ mm}^4 \quad [7]$$

$$J_{f_3} = 0,05 \cdot d_3^4 = 0,05 \cdot 35^4 = 75031,25 \text{ mm}^4 \quad [7]$$

Iz (3.74) slijedi:

$$Y_{CH} = \frac{962,25}{3 \cdot 210000} \left(\frac{5,5^3}{19531,25} + \frac{69,5^3 - 5,5^3}{40500} + \frac{95,4^3 - 69,5^3}{75031,25} \right)$$

$$Y_{CV} = 0,0235 \text{ mm}$$

Zadovoljava.

Ukupni (maksimalni) rezultirajući progib Y_C u točki C pogonskog vratila

$$Y_C = \sqrt{Y_{CH}^2 + Y_{CV}^2} \leq Y_{pod}. \quad [4] \quad (3.75)$$

Iz (3.75) slijedi:

$$Y_C = \sqrt{0,0235^2 + 0,0362^2}$$

$$Y_C = 0,0432 \text{ mm} \approx Y_{dop.}$$

$$Y_{dop} = 0,00035 \cdot l \quad [5] \text{ (3.76)}$$

Iz (3.76) slijedi:

$$Y_{dop} = 0,00035 \cdot 95,4$$

$$Y_{dop} = 0,0334 \text{ mm}$$

Za opće strojarske konstrukcije, iskustveno dopuštena veličina progiba:

$$Y_{dop} = 0,00035 \cdot l \text{ [5]}$$

Vertikalna ravnina

Kut progiba $\tan(\beta_{CV})$ u točki C (slika 3.4)

$$\tan(\beta_{CV}) \approx \frac{F_V}{2E} \left(\frac{l_1^3}{J_{f_1}} + \frac{l_2^3 - l_1^3}{J_{f_2}} + \frac{l_3^3 - l_2^3}{J_{f_3}} \right) \quad [7] \quad (3.77)$$

gdje je:

$$F_V = F_{H.ZP} - G_{ZPu} = 1489,6 - 4,45 = 1482,15 \text{ N}$$

$$l_1 = 5,5 \text{ mm}$$

$$l_2 = 69,5 \text{ mm}$$

$$l_3 = 95,4 \text{ mm}$$

E = modul elastičnosti materijala vratila = 210000 N/mm²

J_{f_1} = moment inercije presjeka vratila 1-1 [mm⁴]

J_{f_2} = moment inercije presjeka vratila 2-2 [mm⁴]

J_{f_3} = moment inercije presjeka vratila 3-3 [mm⁴]

$$J_{f_1} = 0,05 \cdot d_1^4 = 0,05 \cdot 25^4 = 19531,25 \text{ mm}^4 \quad [7] \quad (3.78)$$

$$J_{f_2} = 0,05 \cdot d_2^4 = 0,05 \cdot 30^4 = 40500 \text{ mm}^4 \quad [7] \quad (3.79)$$

$$J_{f_3} = 0,05 \cdot d_3^4 = 0,05 \cdot 35^4 = 75031,25 \text{ mm}^4 \quad [7] \quad (3.80)$$

Iz (3.77) slijedi:

$$\tan(\beta_{CV}) = \frac{1482,15}{2 \cdot 210000} \left(\frac{5,5^3}{19531,25} + \frac{69,5^3 - 5,5^3}{40500} + \frac{95,4^3 - 69,5^3}{75031,25} \right)$$

$$\tan(\beta_{CV}) = 0,0006246 \text{ mm}$$

Zadovoljava.

Horizontalna ravnina

Kut progiba $\tan(\beta_{CH})$ u točki C (slika 3.4)

$$\tan(\beta_{CH}) \approx \frac{F_{tZP}}{2E} \left(\frac{l_1^3}{J_{f_1}} + \frac{l_2^3 - l_1^3}{J_{f_2}} + \frac{l_3^3 - l_2^3}{J_f^3} \right) \quad [7] \quad (3.81)$$

gdje je:

$$F_{tZP} = 962,25 \text{ N}$$

$$l_1 = 5,5 \text{ mm}$$

$$l_2 = 69,5 \text{ mm}$$

$$l_3 = 95,4 \text{ mm}$$

E = modul elastičnosti materijala vratila = 210000 N/mm²

J_{f_1} = moment inercije presjeka vratila 1-1 [mm⁴]

J_{f_2} = moment inercije presjeka vratila 2-2 [mm⁴]

J_{f_3} = moment inercije presjeka vratila 3-3 [mm⁴]

$$J_{f_1} = 0,05 \cdot d_1^4 = 0,05 \cdot 25^4 = 19531,25 \text{ mm}^4 \quad [7] \quad (3.82)$$

$$J_{f_2} = 0,05 \cdot d_2^4 = 0,05 \cdot 30^4 = 40500 \text{ mm}^4 \quad [7] \quad (3.83)$$

$$J_{f_3} = 0,05 \cdot d_3^4 = 0,05 \cdot 35^4 = 75031,25 \text{ mm}^4 \quad [7] \quad (3.84)$$

Iz (3.81) slijedi:

$$\tan(\beta_{CH}) = \frac{962,25}{2 \cdot 210000} \left(\frac{5,5^3}{19531,25} + \frac{69,5^3 - 5,5^3}{40500} + \frac{95,4^3 - 69,5^3}{75031,25} \right)$$

$$\tan(\beta_{CV}) = 0,0004055 \text{ mm}$$

Zadovoljava.

Ukupni (maksimalni) rezultirajući kut nagiba $\tan(\beta_C)$ u točki C pogonskog vratila

$$\tan(\beta_C) = \sqrt{\tan(\beta_{CH}^2) + \tan(\beta_{CV}^2)} \leq 0,001 \div 0,002 \quad [5] \quad (3.85)$$

Iz (3.85) slijedi:

$$\tan(\beta_C) = \sqrt{0,0004055^2 + 0,0006246^2}$$

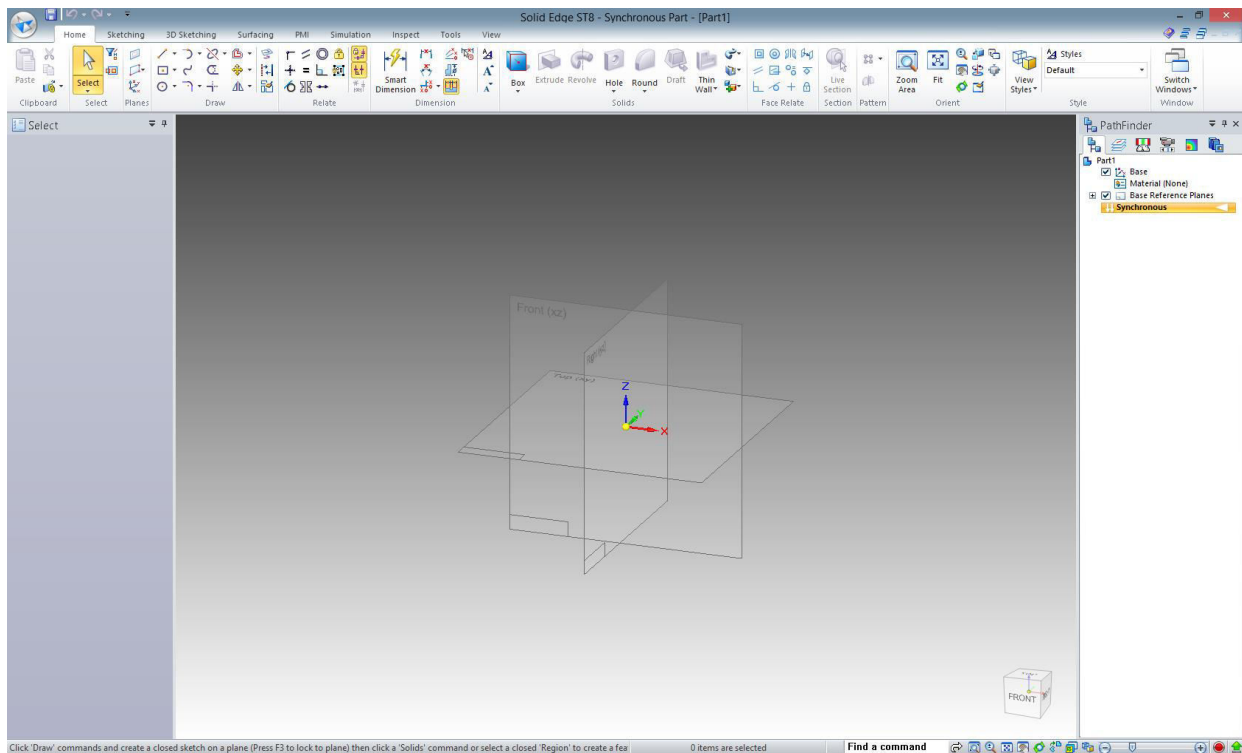
$$\tan(\beta_C) = 0,0007447$$

Za opće strojarske konstrukcije, iskustveni kut progiba elastične linije vratila:

$$\tan(\beta) \leq 0,001 \div 0,002 \quad [5] (3.86)$$

4. IZRADA 3D MODELA TROKRILNE PUMPE ZPC - 32

Na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije reverzibilnim inženjeringom prikazana je izrada 3D modela pojedinih dijelova i sklopa trokrilne pumpe ZPC - 32 korištenjem programskog alata za 3D modeliranje *Solid Edge ST8 - Synchronous Technology*. Programski alat *Solid Edge*, sučelje na slici 4.1. ima dvije tehnologije *Ordered* i *Synchronous Technology*, unutar svog programskog alata.

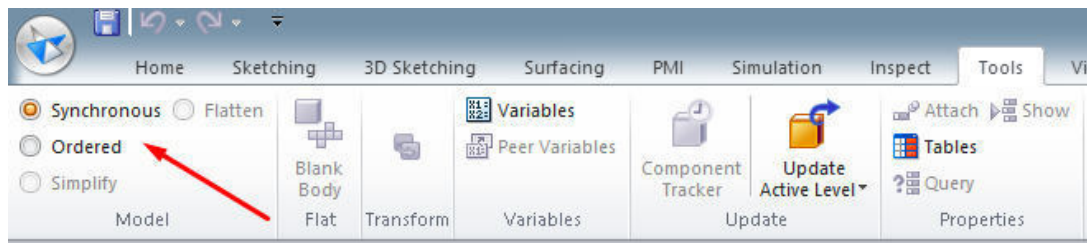


Slika 4.1. Sučelje programskog alata *Solid Edge ST8 - Synchronous Technology* za 3D modeliranje

Ordered Technology koja se temelji na „linearnom hijerarhijskom stablu“ i „strogo“ definiranom slijedu povijesti skica (eng. *Sketch*) i značajki (eng. *Feature*). Značajke se izmjenjuju promjenom skice (eng. *Sketch*) i značajke (eng. *Feature*) koje su u direktnoj međusobnoj ovisnosti, a to može pretpostavljati i moguću „nestabilnost“ prilikom izrade vrlo složenih (parametarskih) 3D modela.

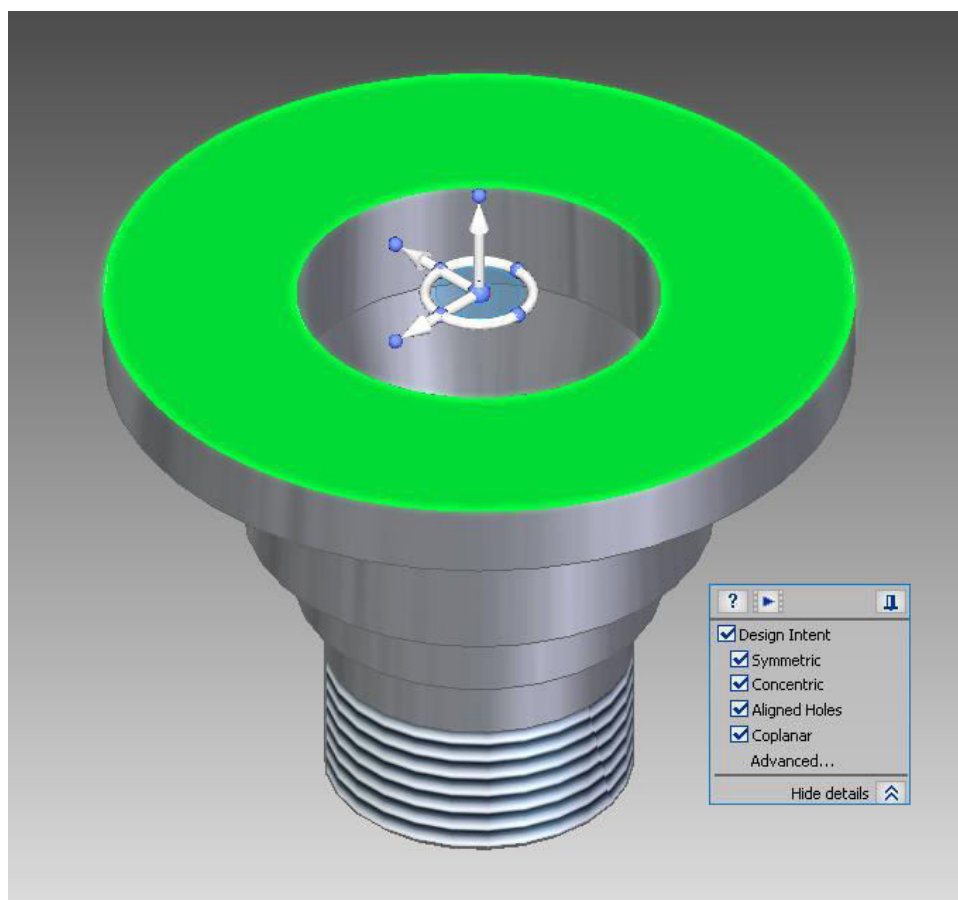
Kod *Synchronous Technology* skica (eng. *Sketch*) nije uvijek direktno povezana hijerarhijski sa značajkom (eng. *Feature*) odnosno površinom, niti se izravno nadovezuje na „stablo“ 3D modela. Takvom tehnologijom značajno se smanjuje opasnost od mogućeg „pada“ složenijeg (parametarski) 3D modela, te je u svakom trenutku moguća izmjena 3D modela direktno.

Ovim programskim alatom, u svakom trenutku se mogu mijenjati tehnologije izrade 3D modela kao što je prikazano na slici 4.2. Modeliranje ovog rada izrađeno je isključivo u *Synchronous Technology*.



Slika 4.2 Promjena tehnologije izrade 3D modela

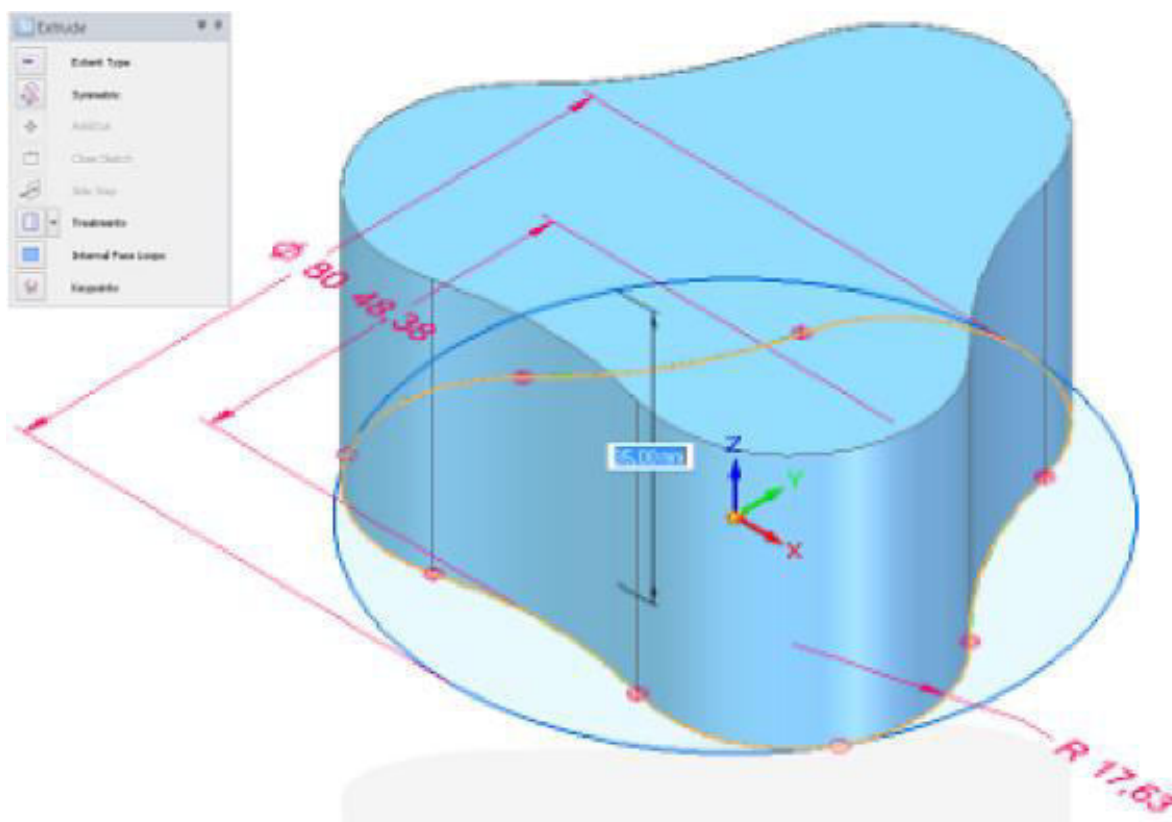
Kod izmjene 3D modela *Synchronous Technology* prikazuje se upravljač (torus, kormilo) (eng. *Steering wheel*) za sinkrono uređivanje (slika 4.3.), komponenta 3D modela spremna je dodirnom bilo kojega lica za kretanje u linearnom, rotacijskom ili slobodnom pokretu; može se pomicati jedno lice, niz lica, značajka ili kombinacija lica i značajki. Korištenjem upravljača za sinkrono uređivanje upravlja se pomicanjem i zakretanjem direktno na 3D modelu.



Slika 4.3 3D model priključka DN - 50 izrađen sinkronom tehnologijom (eng. *Synchronous Technology*)

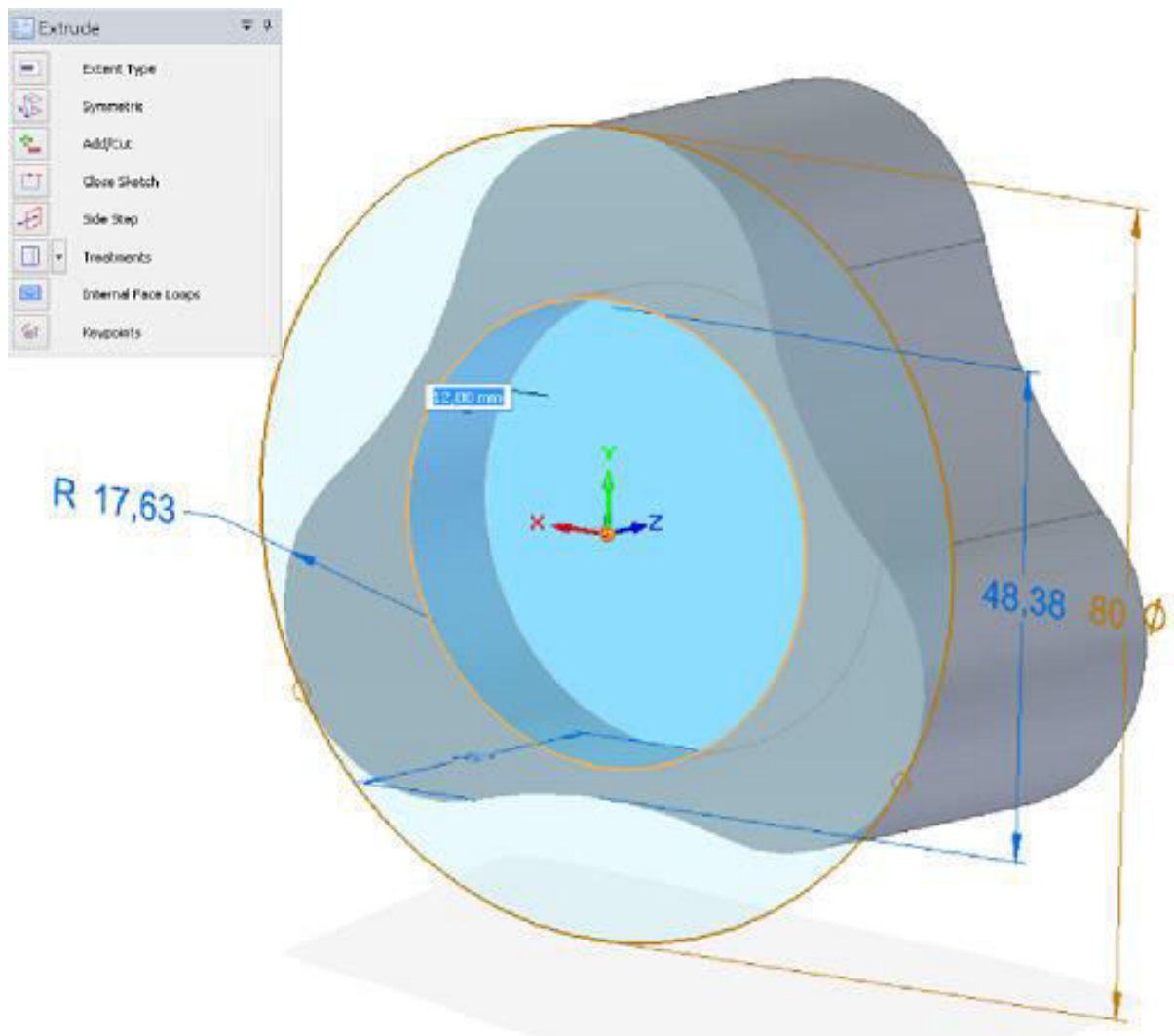
4.1. Izrada 3D modela rotora za krilnu pumpu ZPC - 32

Programskim alatom *Solid Edge ST8 - Synchronous Technology* započinje izrada 3D modela rotora za krilnu pumpu ZPC - 32 izradom skice (eng. *Sketch*), te korištenjem značajke dodavanja materijala (eng. *Protrusion*) (slika 4.4).



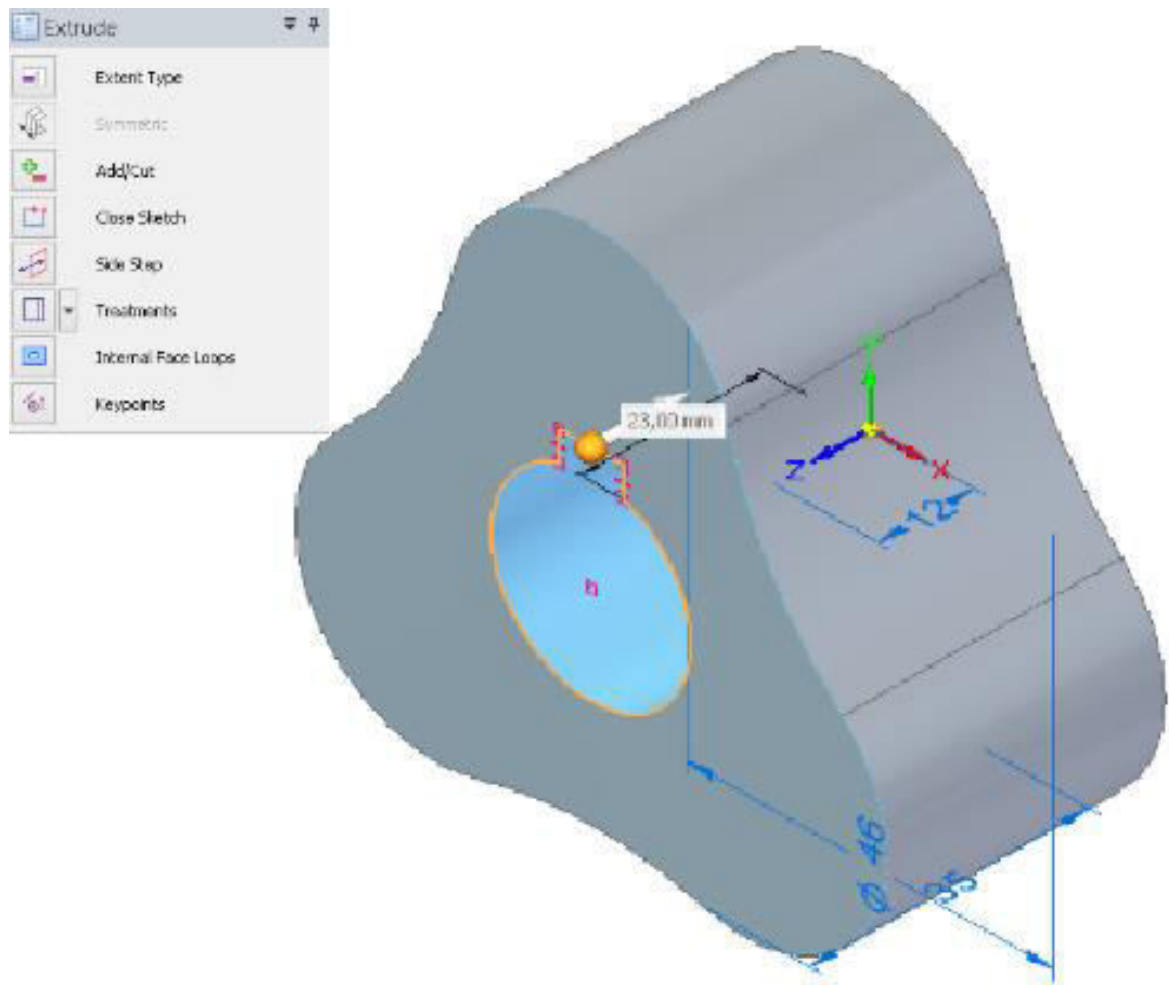
Slika 4.4 Modeliranje rotora trokrilne pumpe (eng. *Protrusion*)

Zatim se sa jedne strane rotora izrađuje provrt $\varnothing 46$ mm (slika 4.5) za mehaničku brtvu značajkom oduzimanja materijala (eng. *Cutout*).



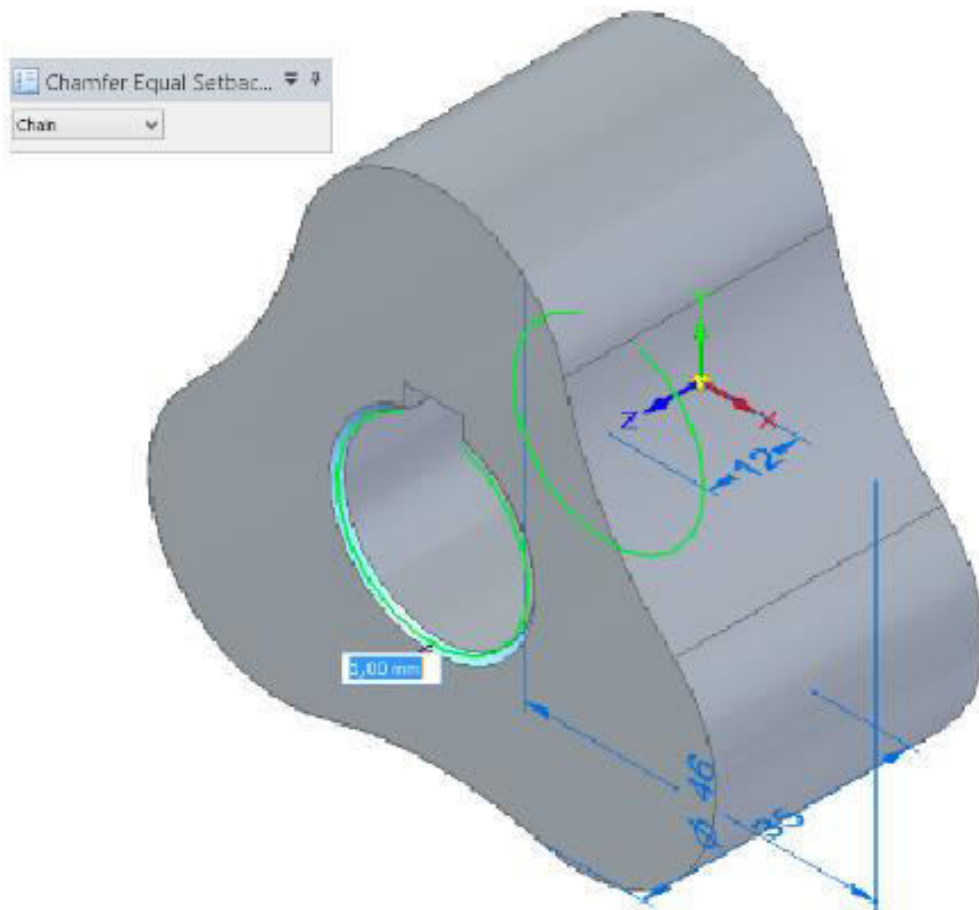
Slika 4.5 Oduzimanje materijala (eng. *Cutout*) za izradu provrta za mehaničku brtvu

Sa druge strane rotora se isto take izrađuje provrt $\text{Ø}25$ mm (eng. *Cutout*) sa utorom za klin (slika 4.6), kroz koji zajedno sa mehaničkom brtvom sjeda osovina.

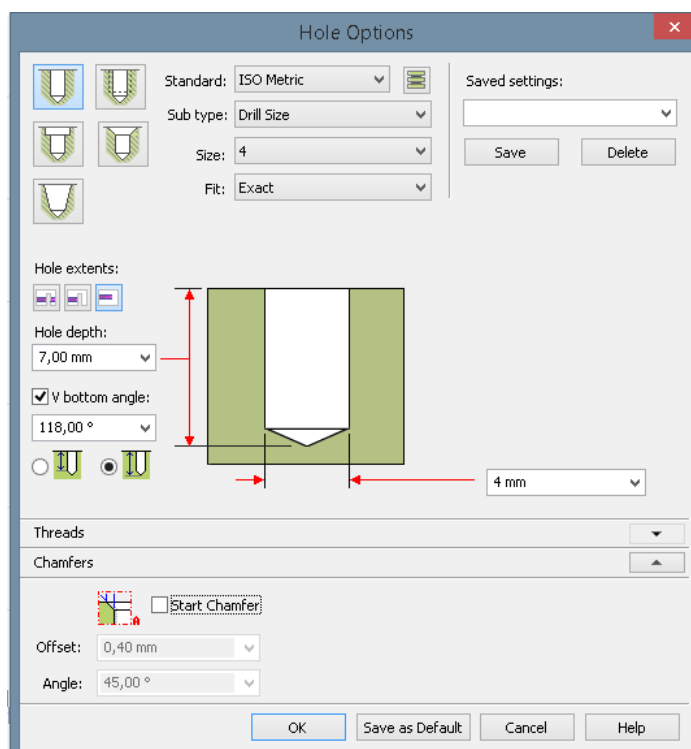


Slika 4.6 Izrada provrta sa utorom za klin

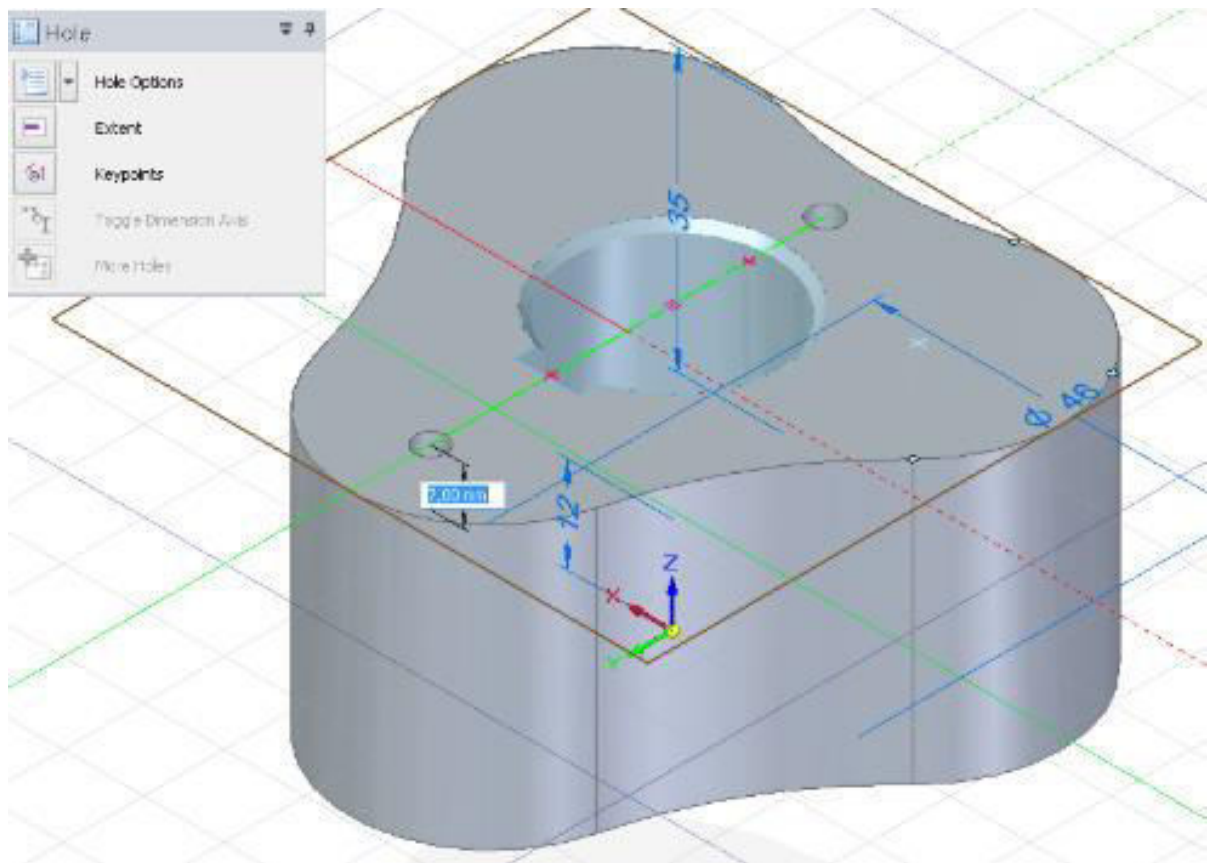
Zatim se također „eliminiraju“ oštri bridovi rotora značajkom ravnomjerno podrezivanje (eng. *Chamfer Equal Setbacks*) (slika 4.7), te se značajkom rupe (eng. *Hole*), izrađuju dva provrta promjera $\text{Ø}4$ mm, dubine 7mm (slika 4.9).



Slika 4.7 Ravnomjerno podrezivanje provrta (eng. *Chamfer Equal Setbacks*)



Slika 4.8 Opcije pri izradi rupa (eng. *Hole options*)



Slika 4.9 Izrada provrta pomoću značajke rupe (eng. *Hole*)

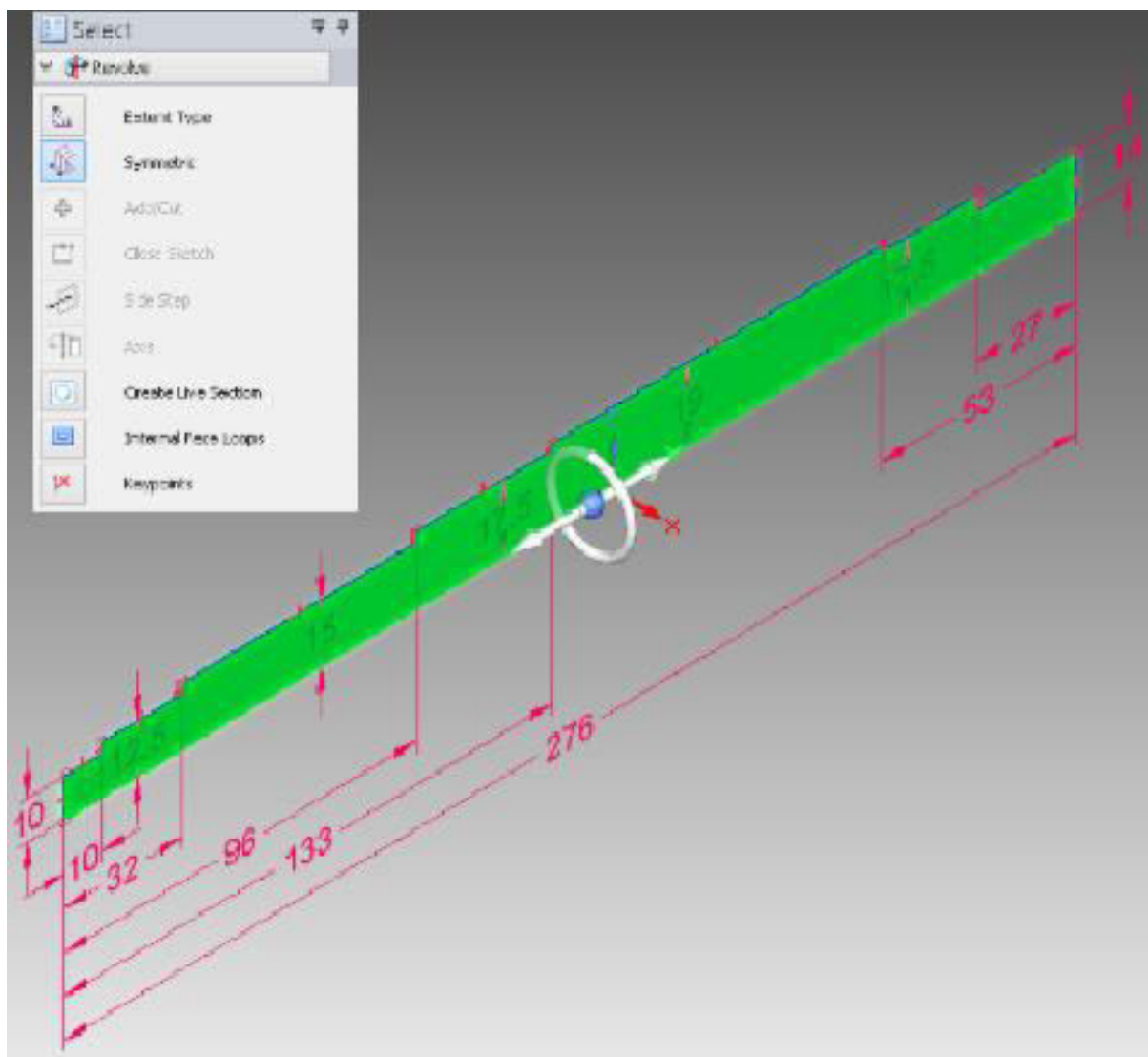
3D model rotora trokrične pumpe potrebno je “realno” prikazati značajkom renderiranja (eng. *Key Shot*) unutar programskog alata *Solid Edge ST8 - Synchronous Technology*, izrađuje se foto realističan prikaz 3D modela kućišta trokrične pumpe u izvedbi sa materijalom Č1531, (slika 4.10.)



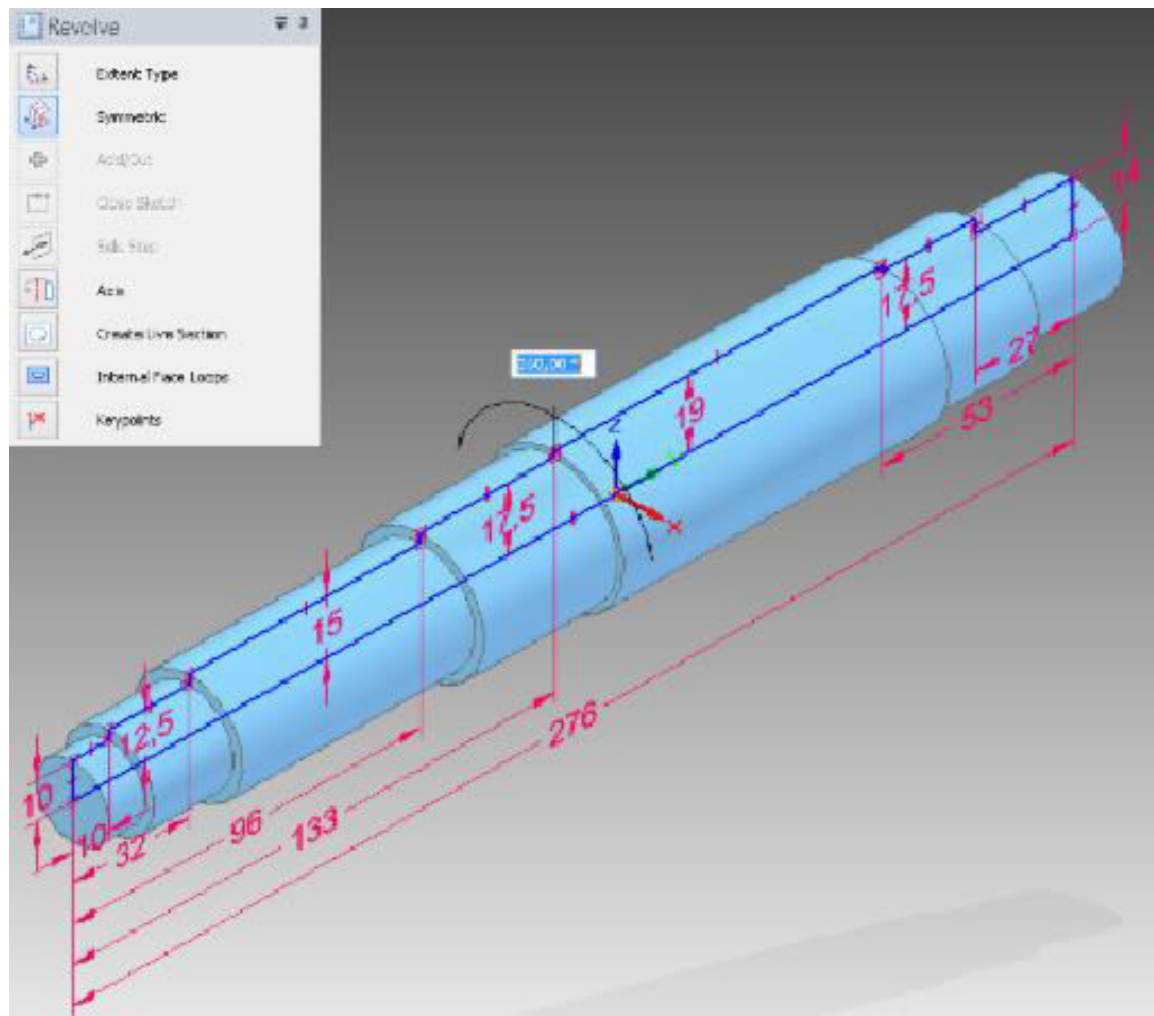
Slika 4.10. Foto realistični prikaz 3D modela rotora trokrične pumpe ZPC -32 (eng. *Key Shot*) u programskom alatu *Solid Edge ST8 – Synchronous Technology*

4.2 Izrada 3D modela gonjenog vratila trokrilne zupčaste pumpe ZPC -32

Postupak 3D modeliranja gonjenog vratila trokrilne pumpe programskim alatom *Solid Edge ST8 – Synchronous Technology* započinje izradom skice (eng. *Sketch*), te se značajkom dodavanja materijala oko zadane osi (eng. *Revolve*) ili jednostavno označavanje željene površine, te pozicioniranjem upravljača (eng. *Steering Wheel*) koincidentno Y - osi (slika 4.11), nakon čega označujemo torus upravljača i zakrećemo željeni kut (u ovom slučaju 360°) (slika 4.12).

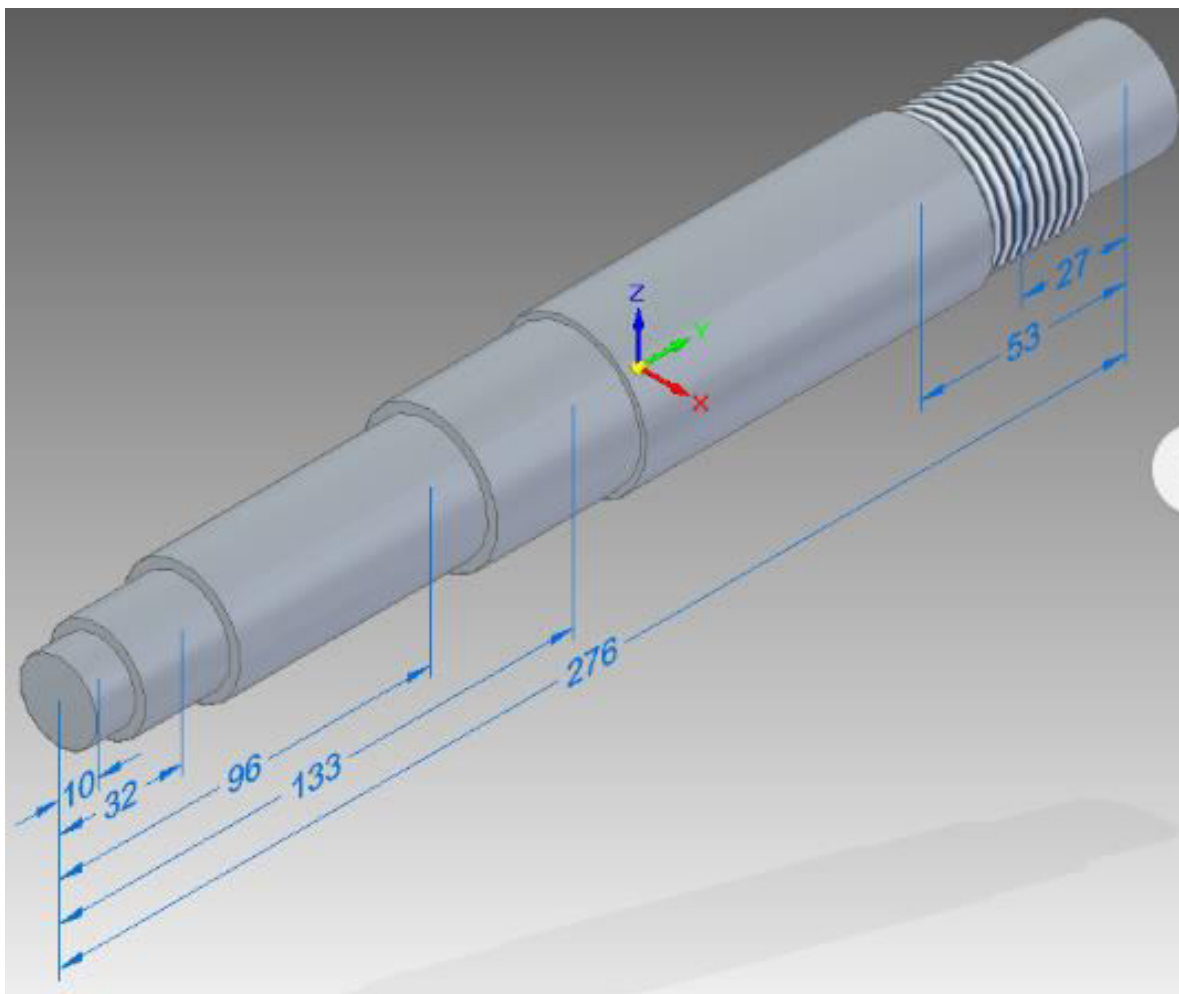


Slika 4.11 Pozicioniranje upravljača (eng. *Steering Wheel*) na skicu gonjenog vratila



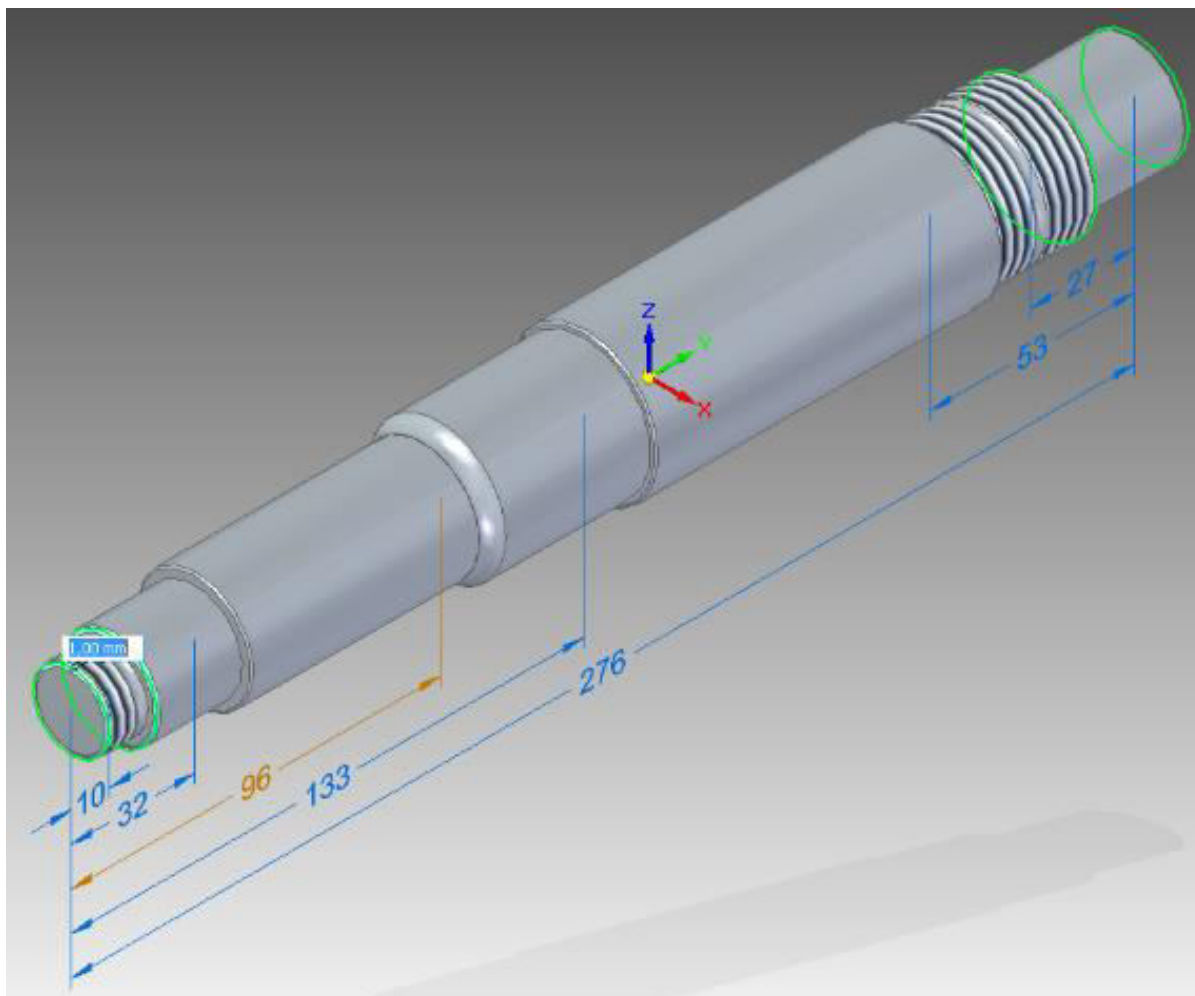
Slika 4.12 Izrada kružnog dodavanja materijala oko osi (eng. *Revolve*) pomoću upravljača

Zatim značajkom urezivanja navoja (eng. *Thread*), urezujemo navoj M35×1,5 na koji dolazi nosač za igličasti ležaj NKIS - 35 (slika 4.13).



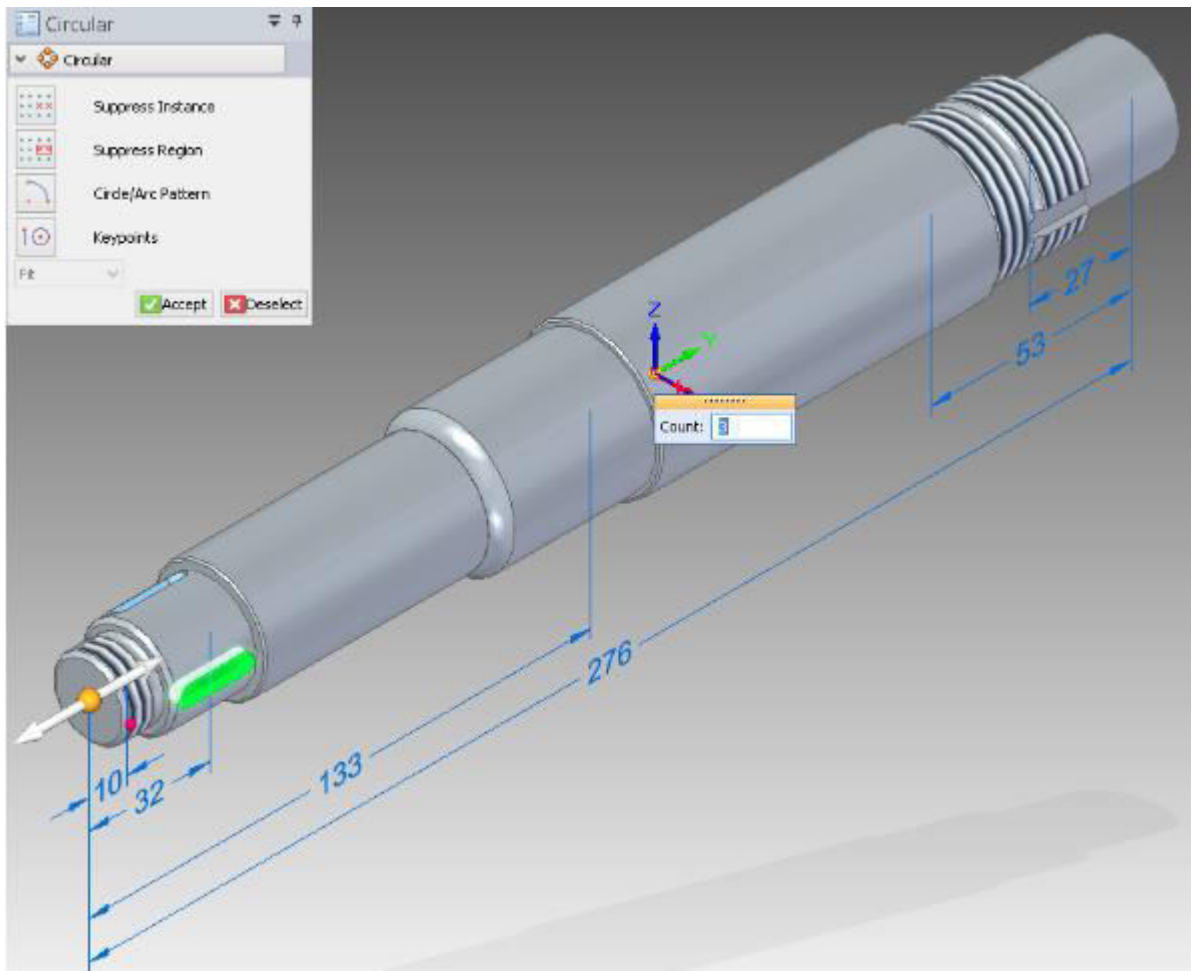
Slika 4.13 Urezivanje navoja (eng. *Thread*) M35x1,5

Sljedeće koristeći se značajkama zaobljenja (eng. *Round*) i ravnomjernog podrezivanja (eng. *Chamfer Equal Setbacks*), „eliminiramo” sve oštre bridovi gonjenog vratila (slika 4.14).



Slika 4.14 Značajke ravnomjernog podrezivanja (eng. *Chamfer Equal setbacks*)

Izrada gonjenog vratila nastavlja se značajkom oduzimanja materijala (eng. *Extrude*) na zasebnoj skici (eng. *Sketch*). Te se potom značajkom kružnog umnožavanja (eng. *Circular Pattern*) izrađuju utori za klinove (slika 4.15).



Slika 4.15 Značajka kružnog umnožavanja (eng. *Circular Pattern*)

Na slici 4.16 prikazan je renderirani (foto realistični) prikaz 3D modela gonjenog vratila trokrilne pumpe programskim alatom *Solid Edge ST8* značajkom za završno renderiranje (eng. *Key Shot*), u izvedbi sa materijalom nehrđajućeg čelika C43E (Č1531).

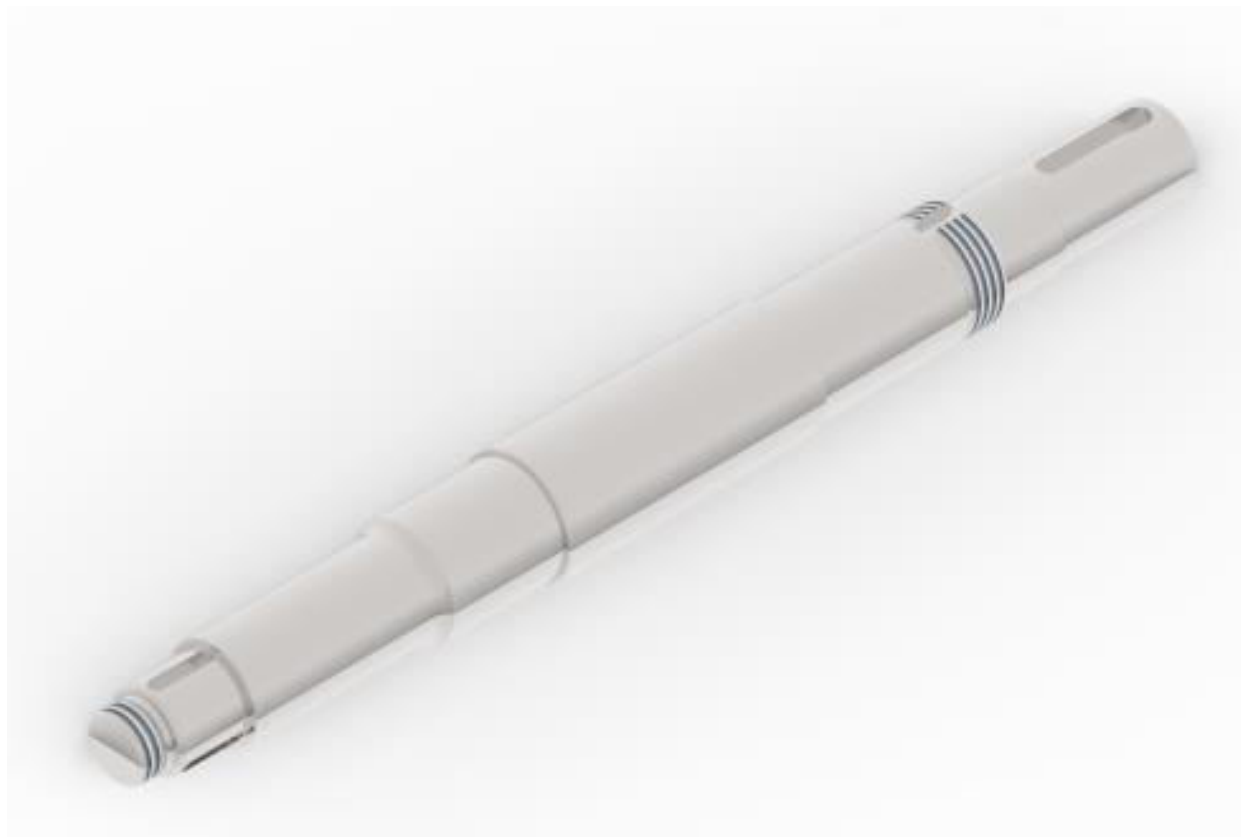


Slika 4.16 Foto realistični prikaz 3D modela gonjenog vratila trokrilne pumpe ZPC -32 (eng. *Key Shot*) u programskom alatu *Solid Edge ST8 – Synchronous Technology*

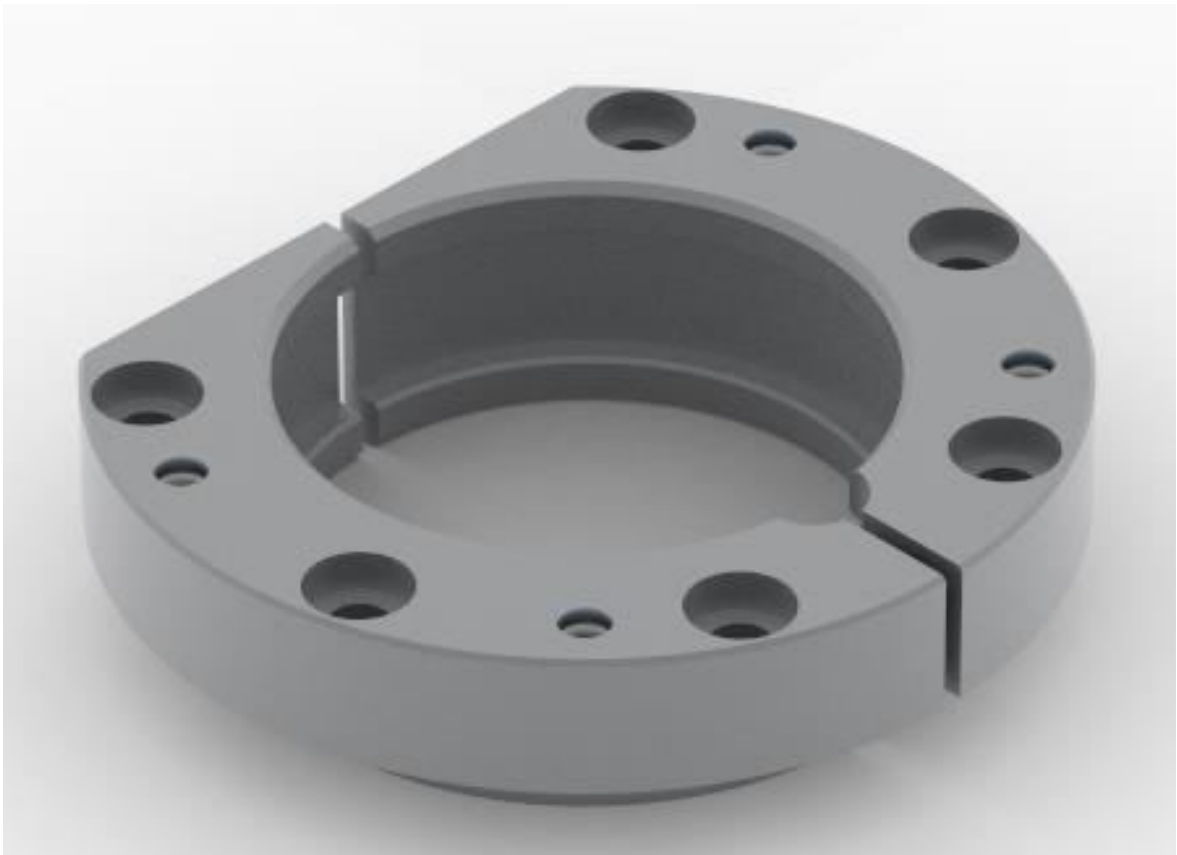
4.4. Modeliranje ostalih pozicija trokrilne pumpe ZPC - 32

Sljedeći 3D modeli modelirani su značajkom rotacijskog dodavanja materijala (eng. *Revolved*).

Na sljedećim slikama prikazani su renderirani (foto realistični) prikazi 3D modela u programskom alatu programskom alatu *Solid Edge ST8 – Synchronous Technology*.



Slika 4.17 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela pogonskog vratila (*Solid Edge ST8 - Synchronous Technology*)



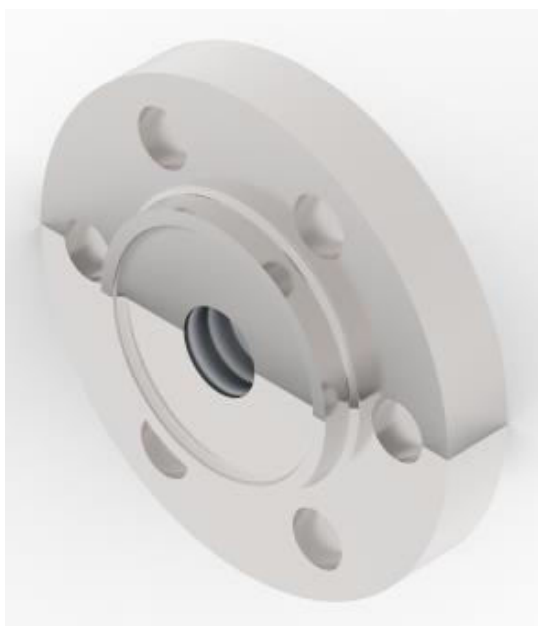
Slika 4.18 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela nosača prstena



Slika 4.19 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela navrtke



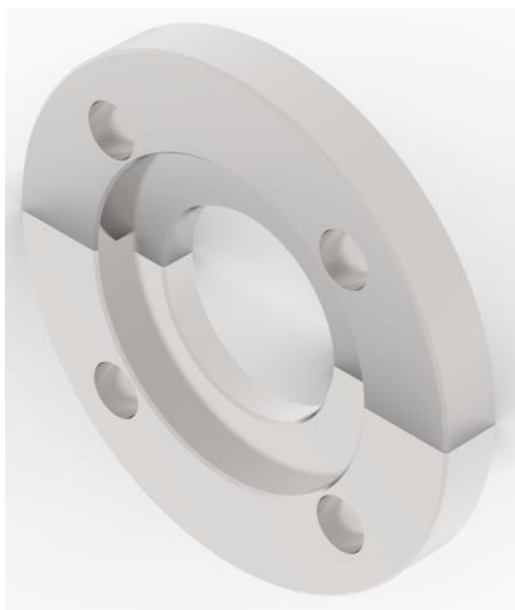
Slika 4.20 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela osigurača (podloška za osiguranje
navrtki)



Slika 4.21 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela priteznog prstena



Slika 4.22 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela poklopca ležaja



Slika 4.23 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela prirubnice



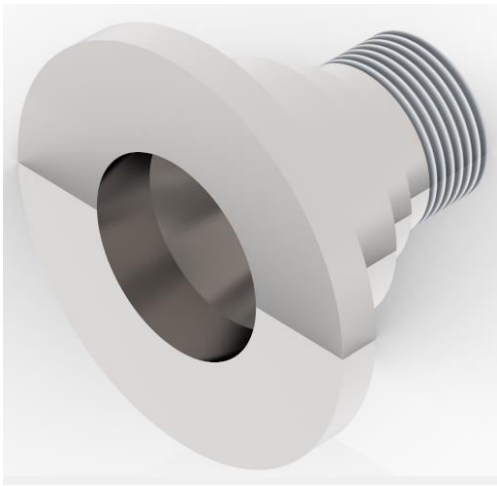
Slika 4.24 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela poklopca brtve



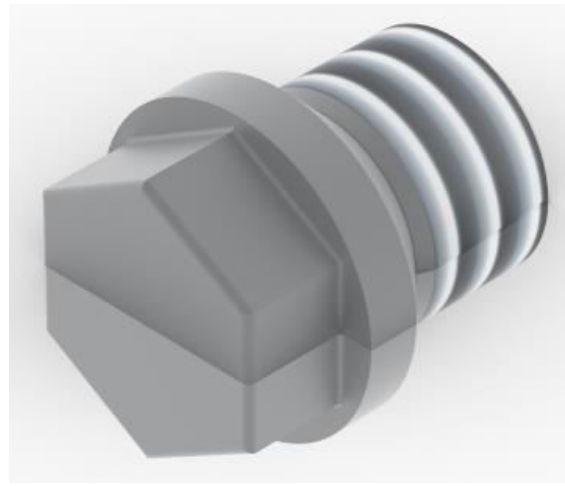
Slika 4.25 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela unutrašnjeg prstena



Slika 4.26 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela vanjskog prstena



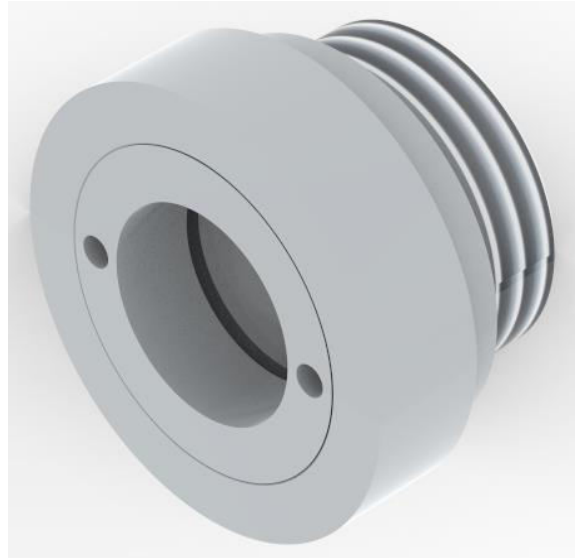
Slika 4.27 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela priključka DN 50



Slika 4.28 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela čepa

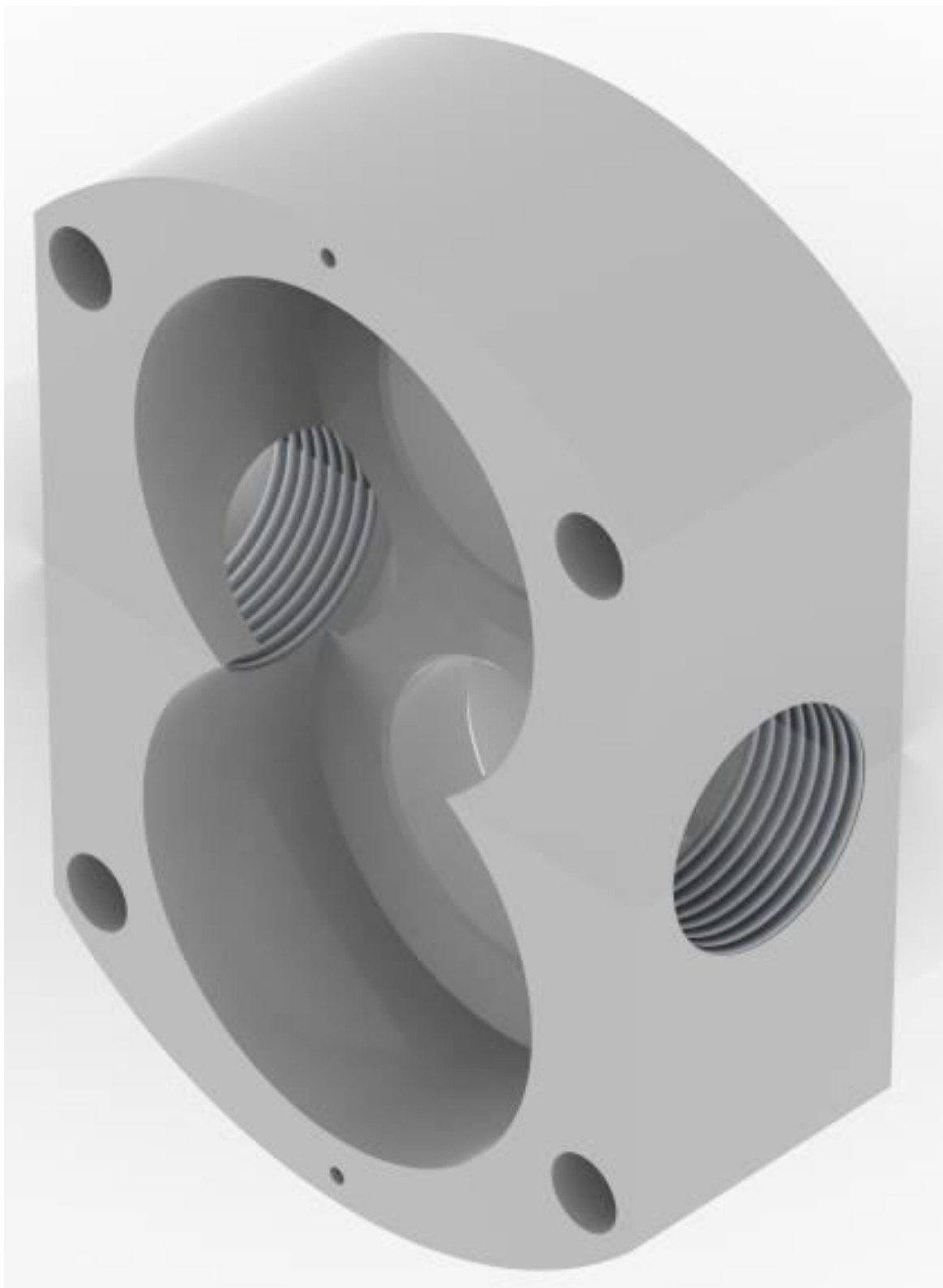


Slika 4.29 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela zaprivača

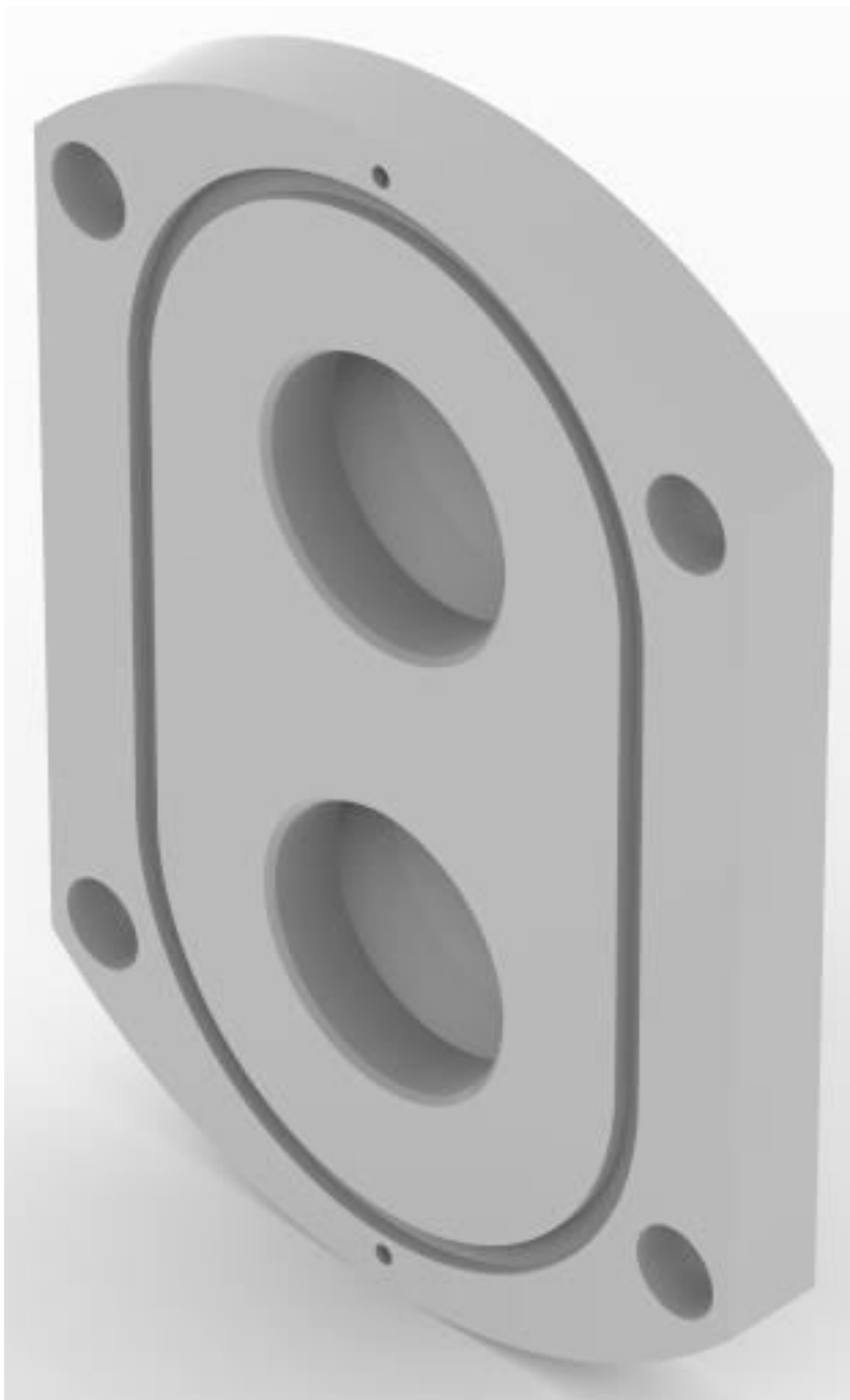


Slika 4.30 Renderirani (foto realističan) prikaz
3D modela podsklopa uljokaza

Na slikama 4.31, 4.32 prikazani su renderirani (foto realistični) prikazi 3D modela tijela pumpe i poklopca pumpe korištenjem programskog alata *Solid Edge ST8 - Synchronous Technology*.



Slika 4.31 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela tijela pumpe



Slika 4.32 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela poklopca pumpe



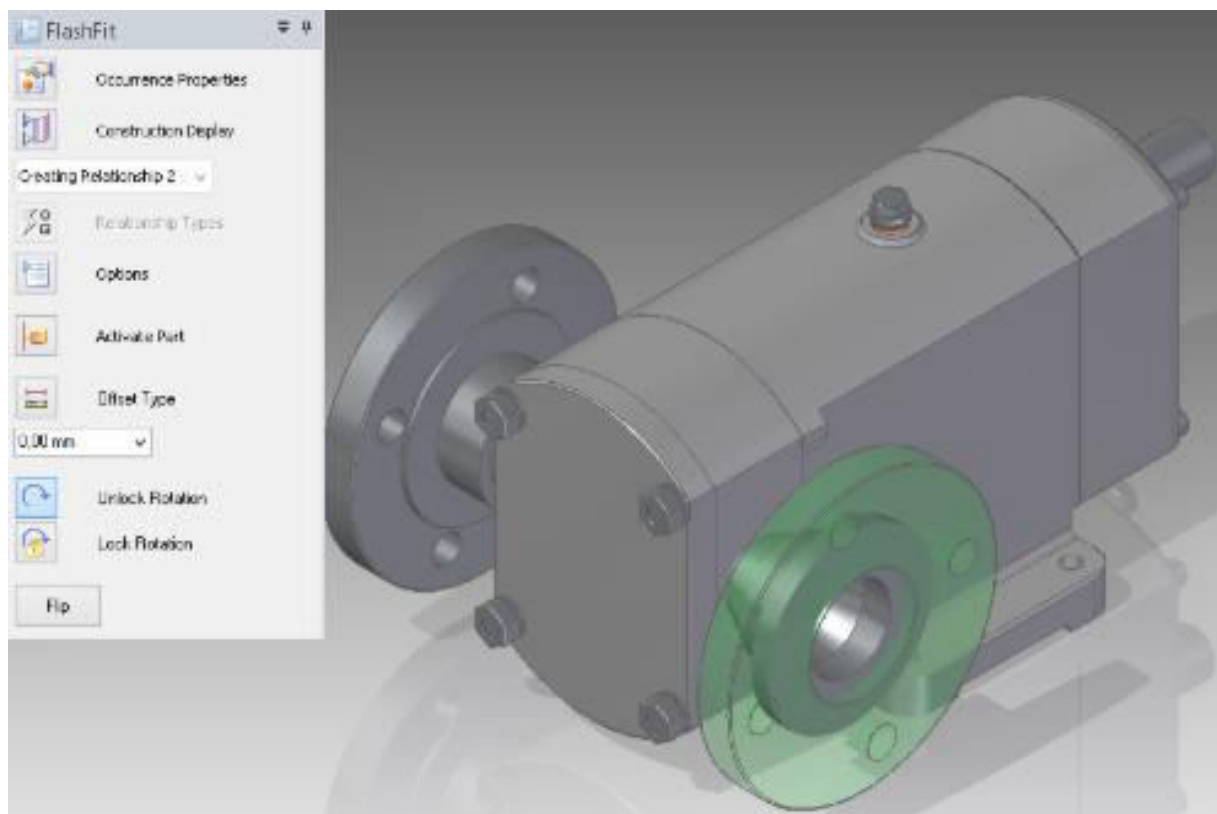
Slika 4.33 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela poklopca nosača



Slika 4.34 Renderirani (foto realističan) prikaz 3D modela sinkronih zupčanika

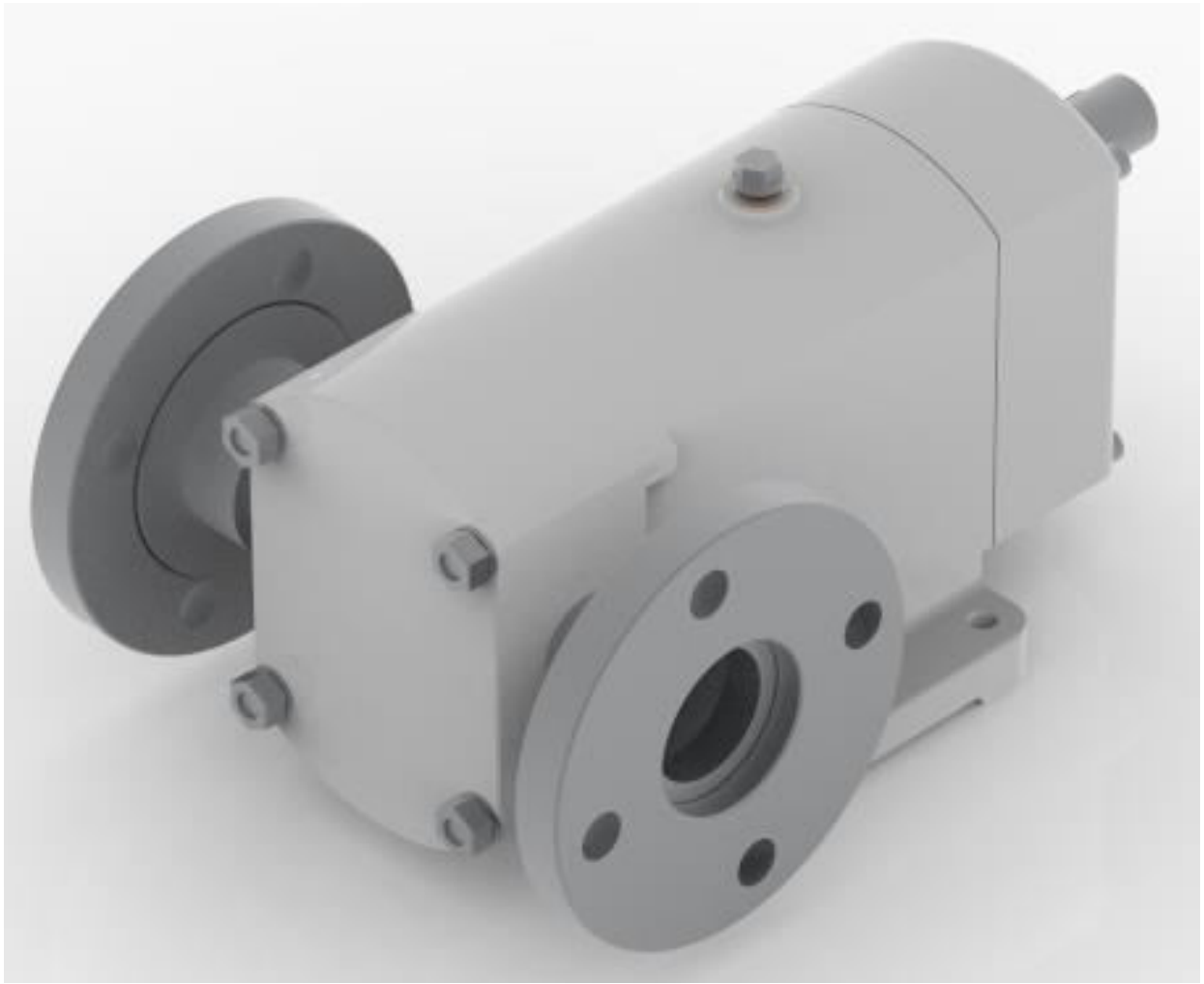
5. IZRADA 3D SKLOPA TROKRILNE PUMPE ZPC - 32

Nakon modeliranja svih 3D modela (eng. *Part-ova*), programskim alatom *Solid Edge* izrađuje se sklop (eng. *Assembly*) trokrilne pumpe ZPC - 32. Sklop (eng. *Assembly*) izrađuje se dodavanjem izrađenih modela (eng. *Part-ova*), te se značajkom spajanja (eng. *Mate*) (slika 5.1.) spajaju u jednu cjelinu 3D sklopa trokrilne pumpe.



Slika 5.1 Spajanje dijelova u sklop krilne pumpe (eng. *Mate*)

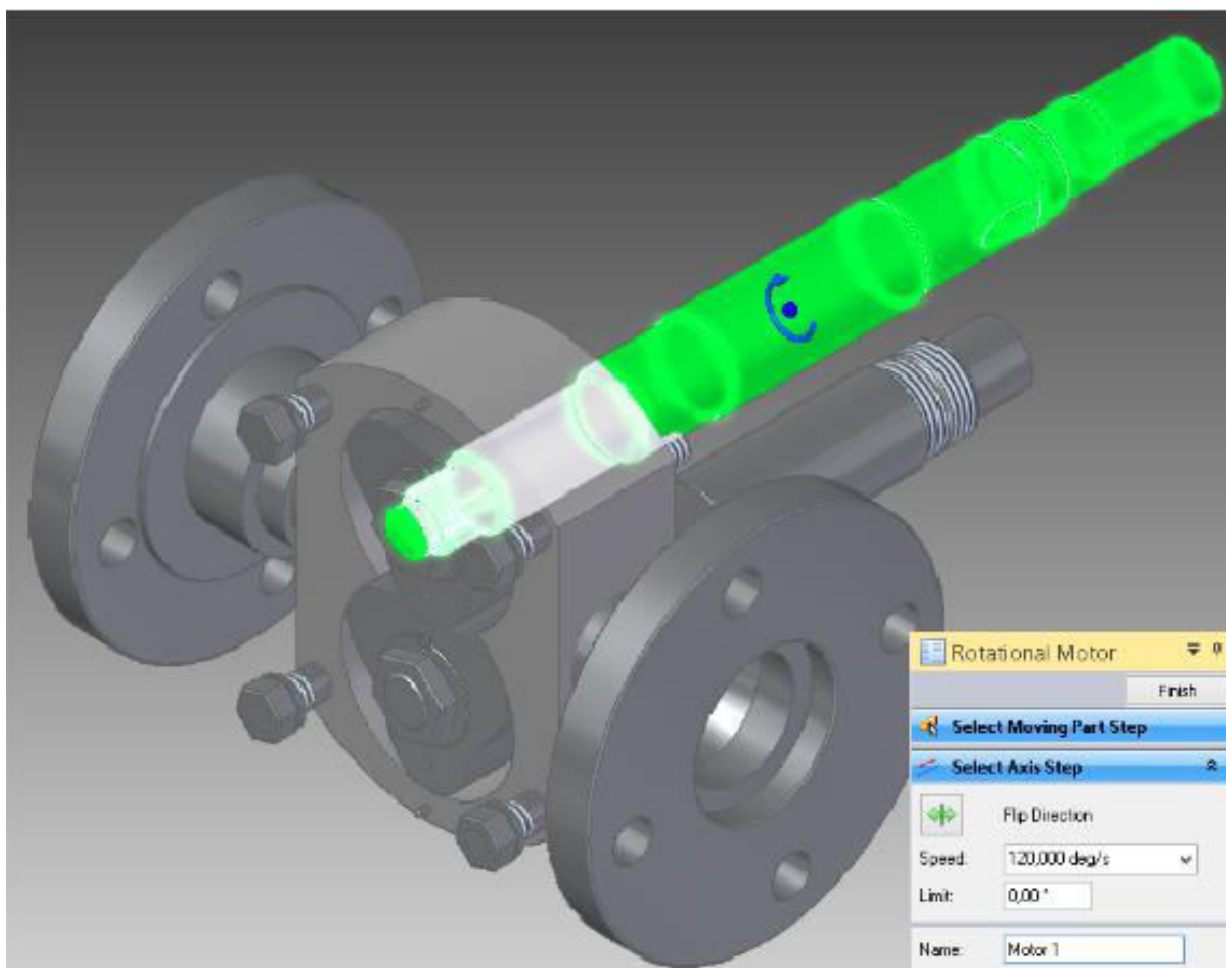
Na slici 5.2. prikazan je renderirani (foto realističan) 3D model sklopa trokrilne pumpe.



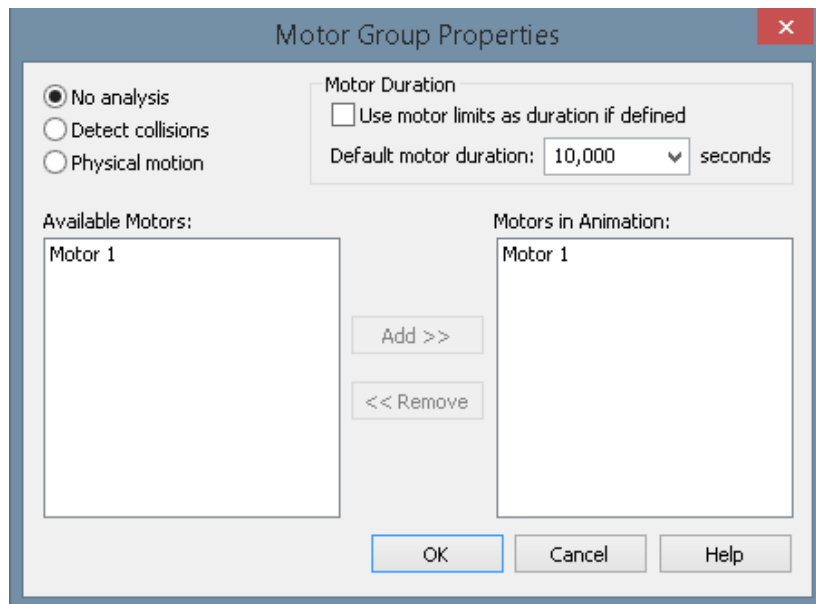
Slika 5.2. Renderirani (foto realističan) prikaz 3D sklopa trokrilne pumpe ZPC -32

5.1. 3D animacija prikaza radne funkcije sklopa

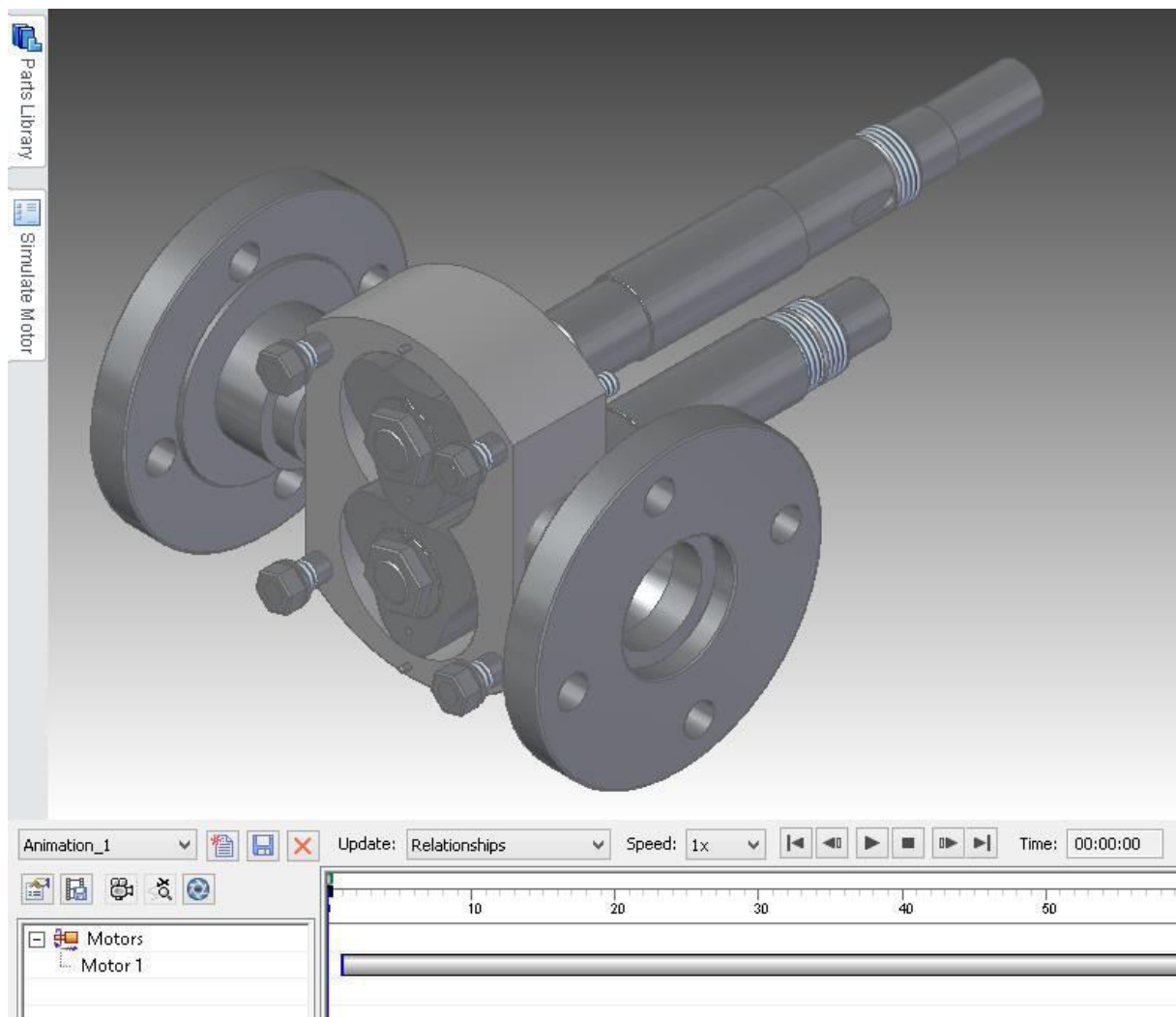
3D animacija radne funkcije sklopa trokrilne pumpe ZPC - 32 programskim alatom *Solid Edge* prikazuje se osnovni princip rada pumpe. Animacija radne funkcije sklopa izrađuje se odabirom značajke rotacijski motor (eng. *Rotational motor*), koja se postavlja na pogonsko vratilo trokrilne pumpe (slika 5.3). Izrada 3D animacije sklopa postiže se odabirom značajke simulacije postavljenih motora (eng. *Simulate motor*) (slika 5.5).



Slika 5.3. Postavljanje značajke rotacijskog motora (eng. *Rotational motor*) na pogonsko vratilo



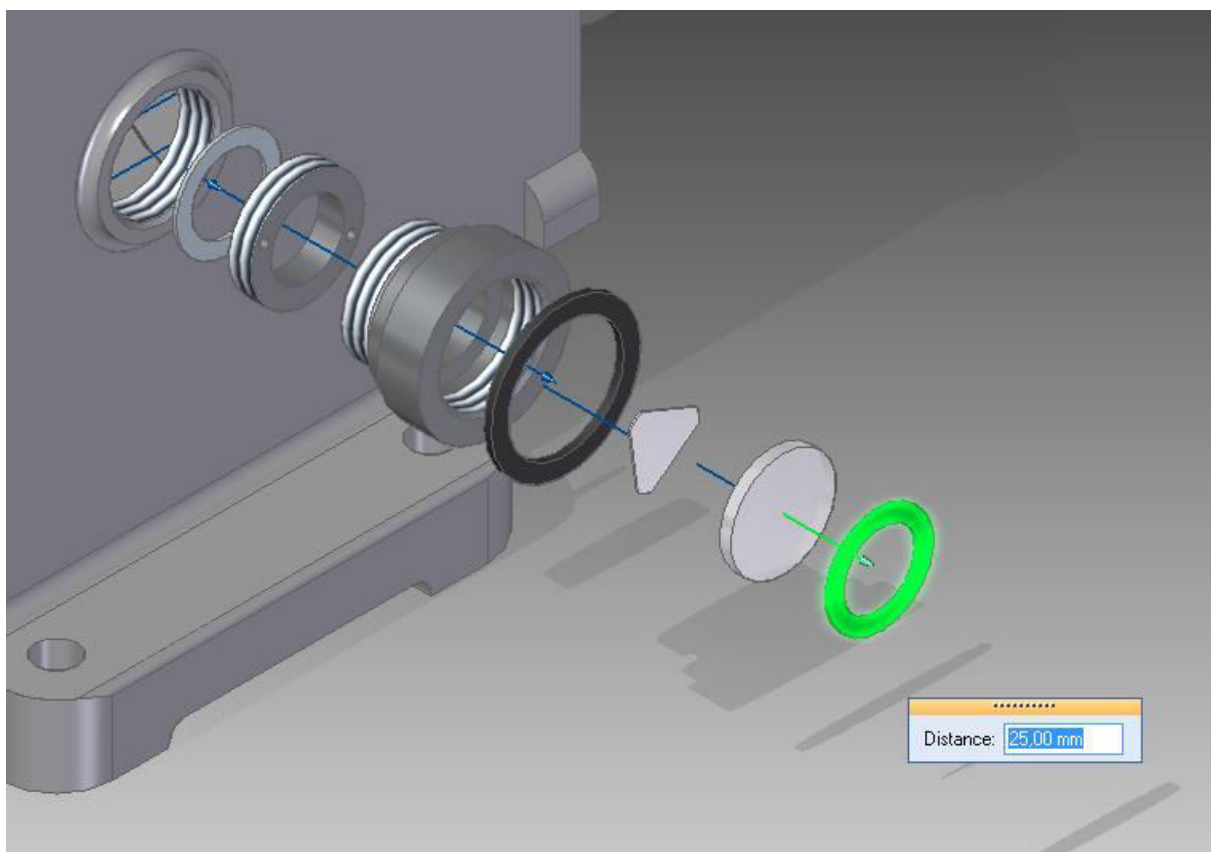
Slika 5.4 Prikaz svojstva značajke simulacije motora (eng. *Simulate motor*)



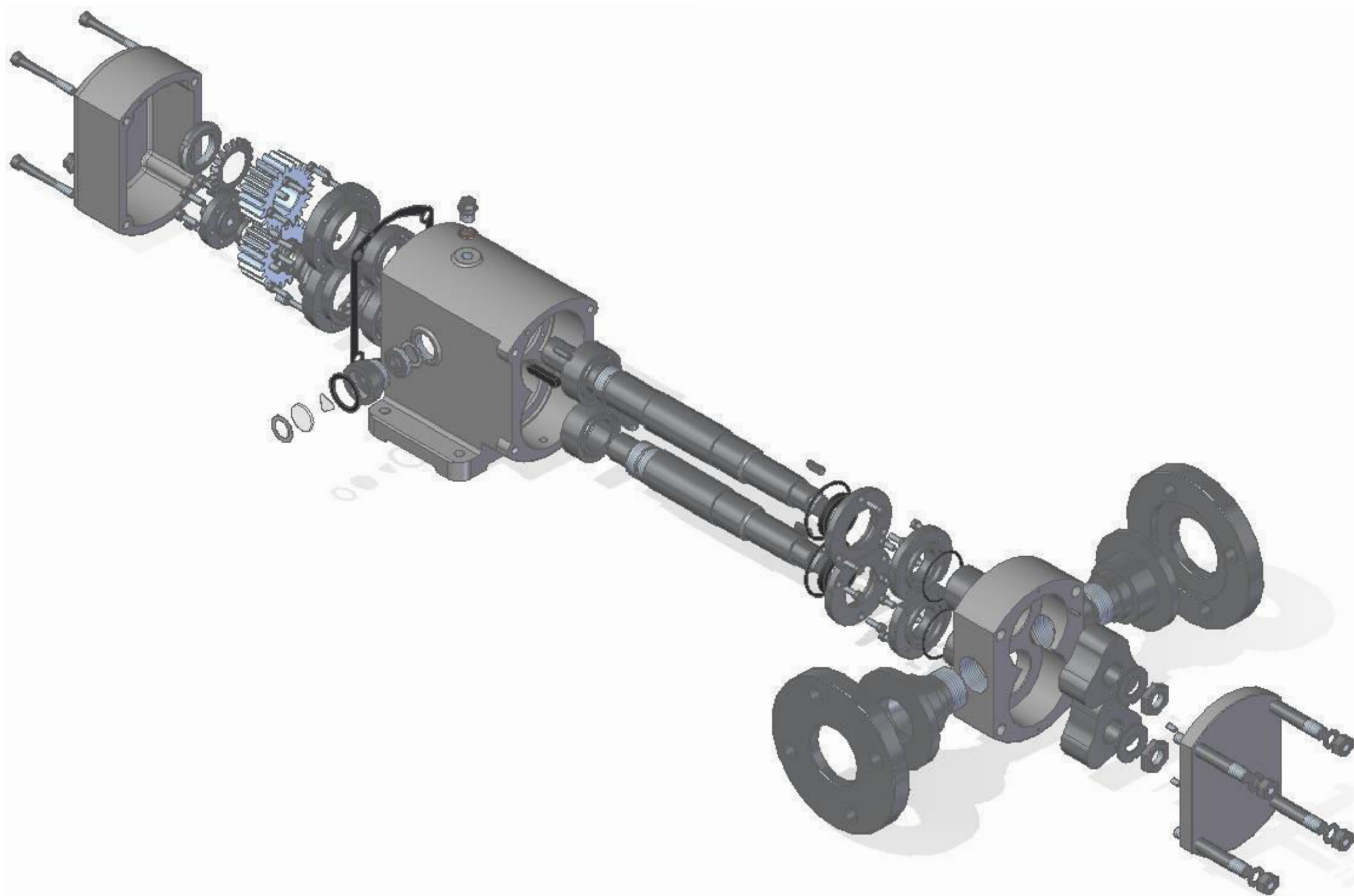
Slika 5.5 Izrada 3D animacije korištenjem značajke simulacije motora (eng. *Simulate motor*)

5.2 3D animacija i prikaz sklopa u rastavljenom stanju

Prikaz sklopa u rastavljenom stanju prikazuje se značajkom eksplodiraj (eng. *Explode*) unutar dijela programa *ERA* programskog alata *Solid Edge*, a primjenjuje se kod izrade tehničke dokumentacije, montaže i kataloga dijelova. Izrada sklopa u rastavljenom stanju izrađuje se tako da se na sklopu trokrilne pumpe odabire dio ili više dijelova i „pomiču“ po potrebnoj osi x, y, z ili za određenu duljinu (slika 5.6).



Slika 5.6 Korištenje značajke rastavljenog stanja (eng. *Explode*)

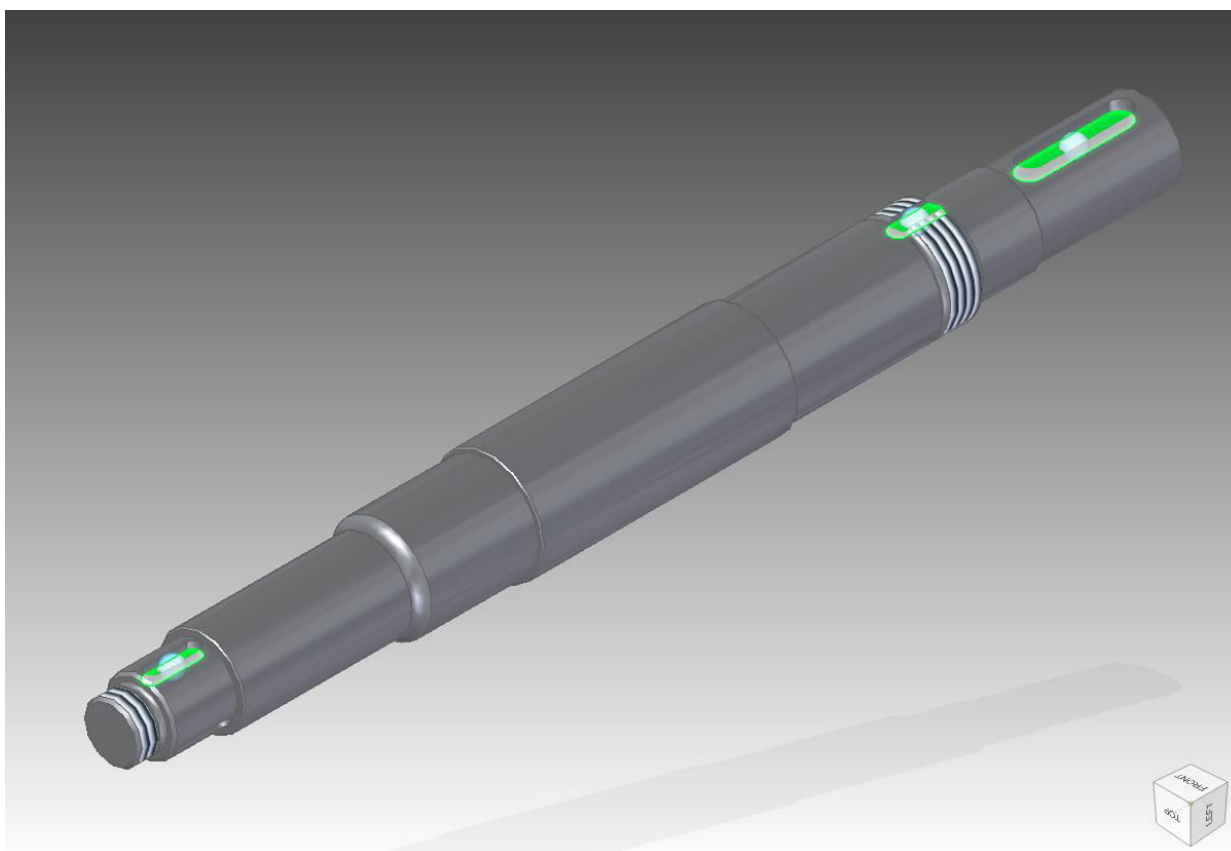


Slika 5.7 Prikaz rastavljanja sklopa (eng. *Exploded View*)

6. ANALIZA NAPREZANJA (FEA) POGONSKOG VRATILA TROKRILNE PUMPE ZPC - 32

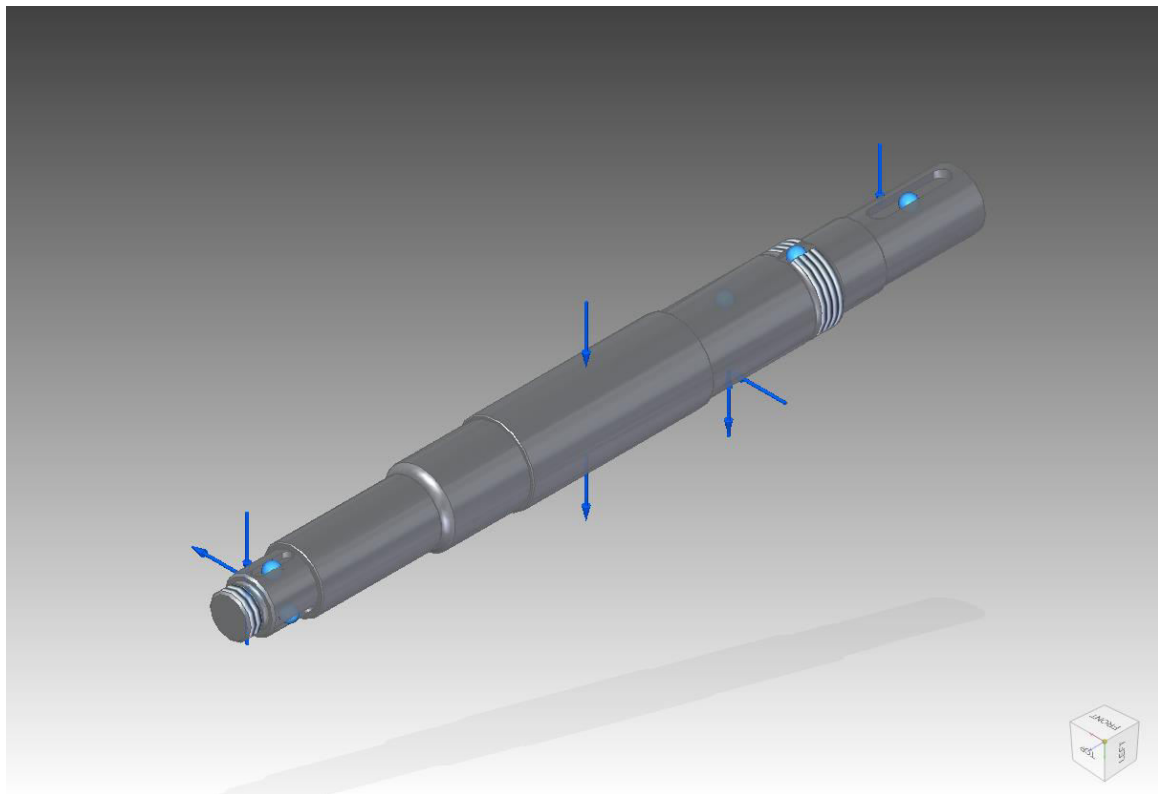
Analizom naprežanja FEA (eng. *Finite Element Analysis*) pogonskog vratila, provjerava se prethodno izrađeni analitički kontrolni proračun. Analiza naprežanja FEA provodi se u programskim alatima *Solid Edge ST8 – (Simulation)*. Materijal za provedbu analize naprežanja je C45E (Č1531) sa karakteristikama unesenim u bazu podataka materijala *Solid Edge-a*.

Na slici 6.1. prikazano je pogonsko vratilo sa odabranim fiksnim ograničenjima (eng. *Fixed*) u programskom alatu *Solid Edge*.



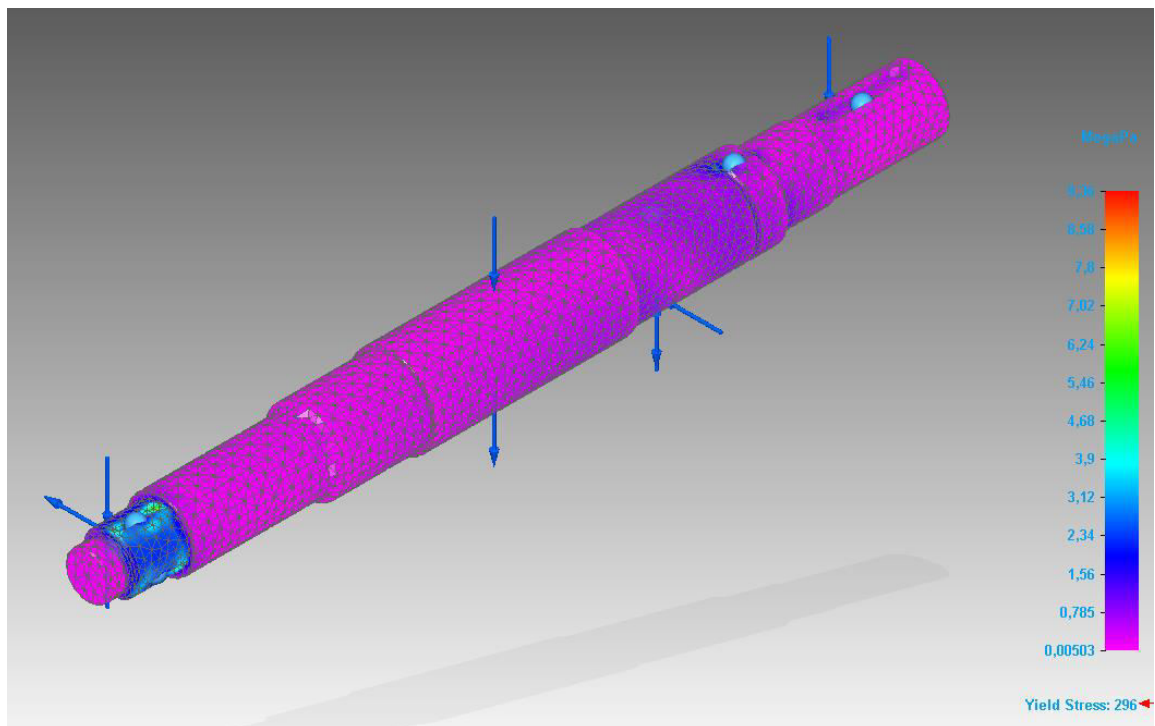
Slika 6.1. Odabir fiksnih ograničenja (eng. *Fixtures*) na pogonskom vratilu trokrilne pumpe

U programskom alatu *Solid Edge*, nakon odabira fiksnih ograničenja (eng. *Fixed*), prenose se sile opterećenja na odabrane značajke pogonskog vratila (slika 6.2), dobivene analitičkim proračunom (točka 3.6 završnog rada), (slika 3.5 Dispozicija sila na pogonskom vratilu u izometriji).

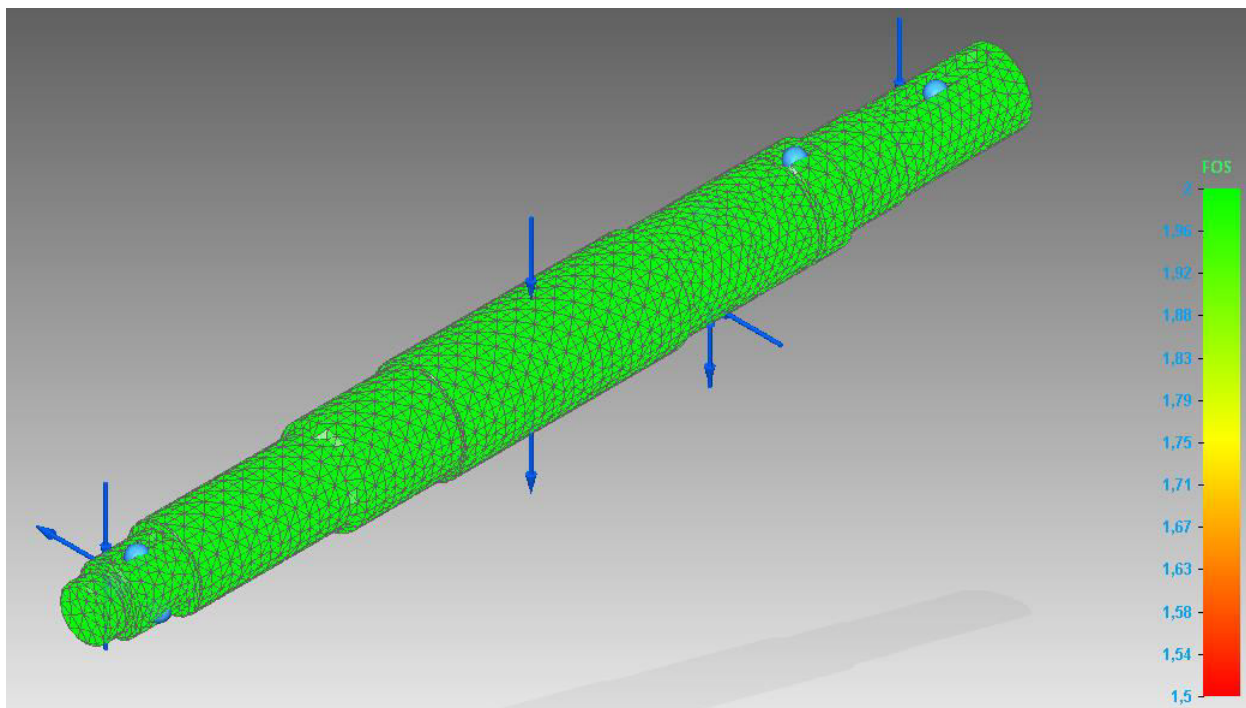


Slika 6.2 Sile opterećenja na odabrane značajke pogonskog vratila trokrilne pumpe

Na slici 6.3. prikazani su rezultati analize naprezanja pogonskog vratila sa materijalom C45E (Č1531)



Slika 6.3 Rezultati analize naprezanja gonjenog vratila sa materijalom C45E (Č1531)

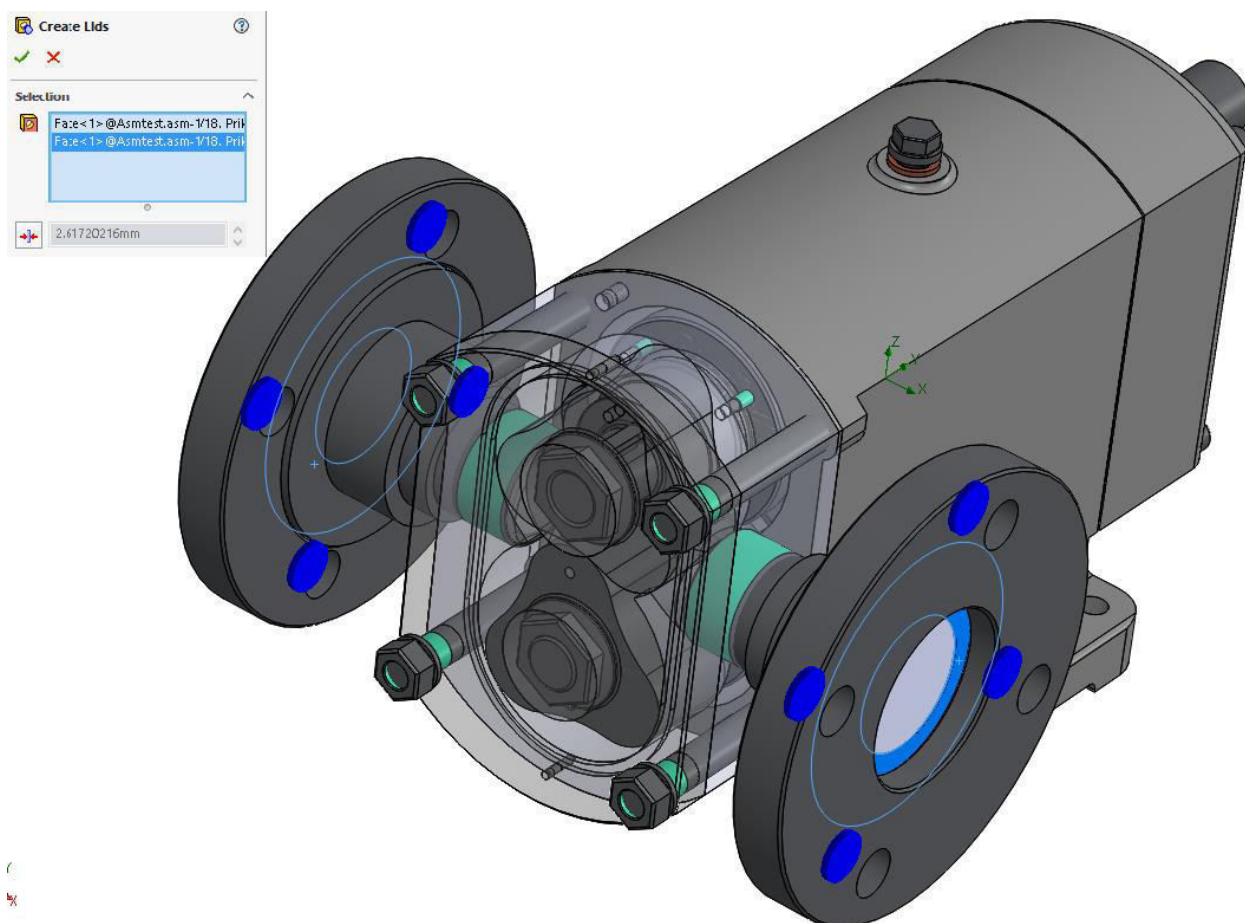


Slika 6.4 Faktor sigurnosti pogonskog vratila trokrilne pumpe za materijal vratila C45E (Č1531)
(*FOS – Solid Edge Simulation*)

Na slici 6.4 programskim alatom *Solid Edge* prikazujemo najmanji faktor sigurnosti (eng. *FOS – Factor of Safety*) koji na najopterećenijim dijelovima iznosi 2, te se može zaključiti da bi pogonsko vratilo pouzdano izdržalo zadano opterećenje te isto tako potvrdila ispravnost polaznog analitičkog proračuna.

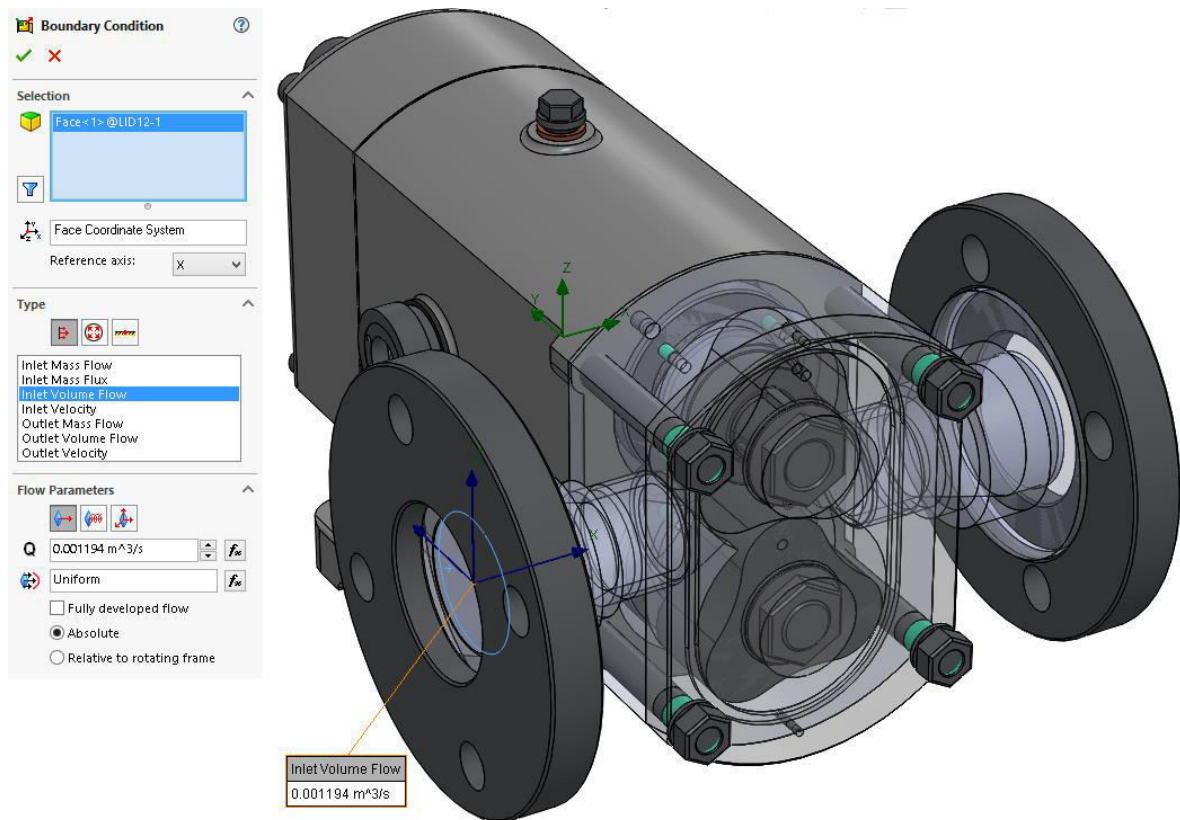
7. ANALIZA TOKA STRUJANJA FLUIDA U 3D MODELU TROKRILNE PUMPE ZPC - 32

Analiza toka strujanja fluida kroz 3D model sklopa trokrilne pumpe ZPC - 32 prikazana je programskim alatom *Solid Edge – FlowEFD*. Odabire se vrsta analize (unutarnja ili vanjska), vrste fluida, parametre koji određuju strujanje fluida (volumnog protoka, tlaka), te postavljanjem „poklopaca“ na ulazne i izlazne priključke pumpe (slika 7.1.).



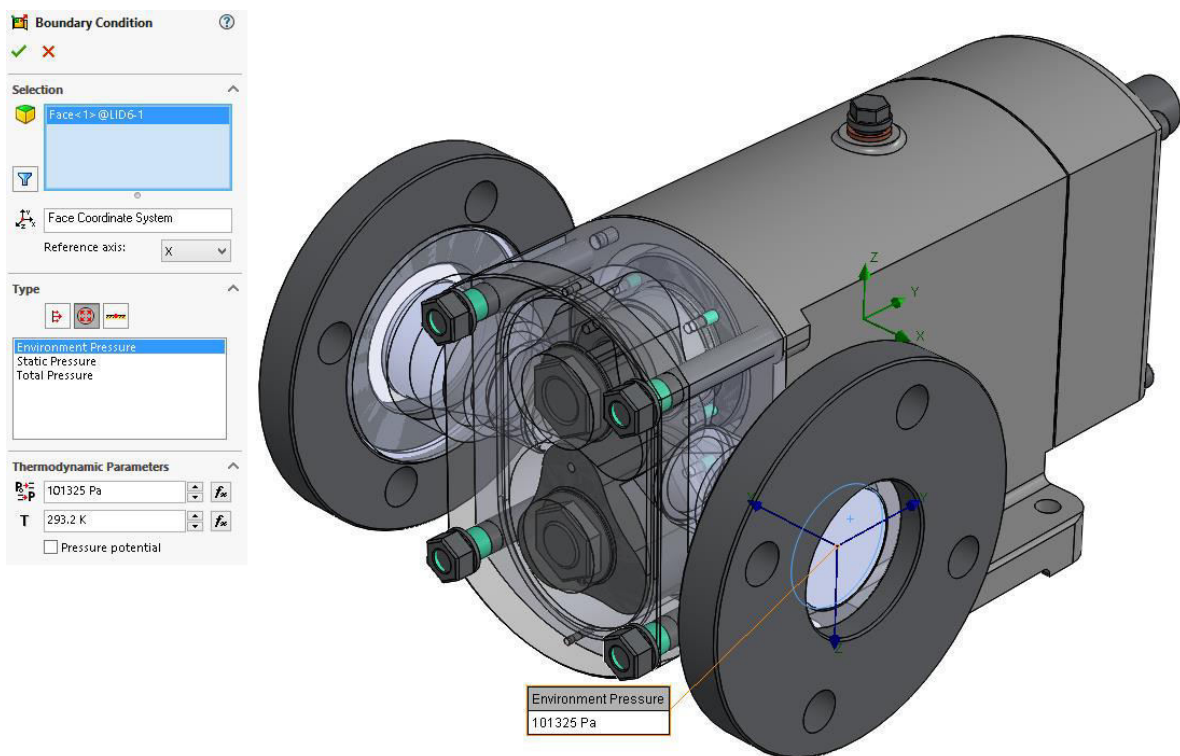
Slika 7.1 Postavljanje poklopaca na ulazno-izlazne priključke (eng. *Lids*)

Definiraju se ulazno - izlazni parametri (protok, brzina) (eng. *Boundary Conditions*) (slika 7.2. i 7.3.).



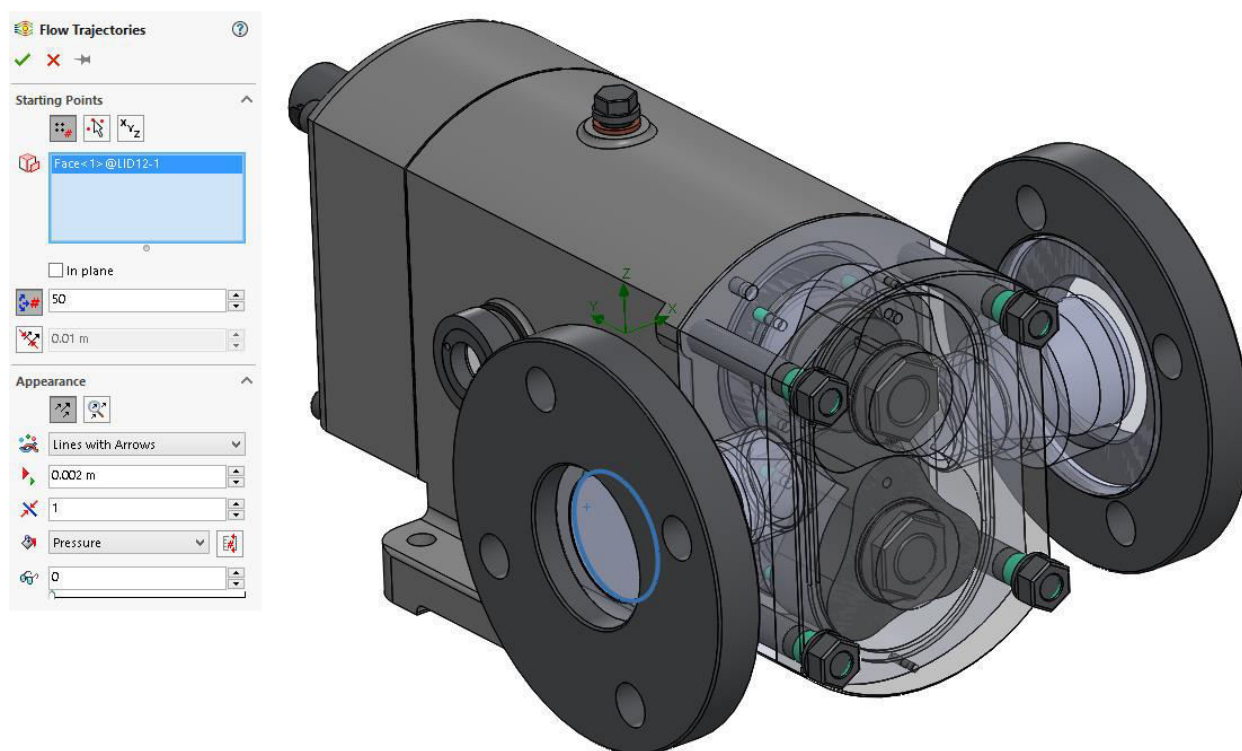
Slika 7.2. Ulazni parametri analize toka strujanja fluida u 3D sklopu trokrilne pumpe

Kao izlazni (tlačni) dio krilne pumpe definiran je atmosferski tlak 0,1 MPa.



Slika 7.3. Izlazni parametri analize toka strujanja fluida u 3D sklopu trokrilne pumpe

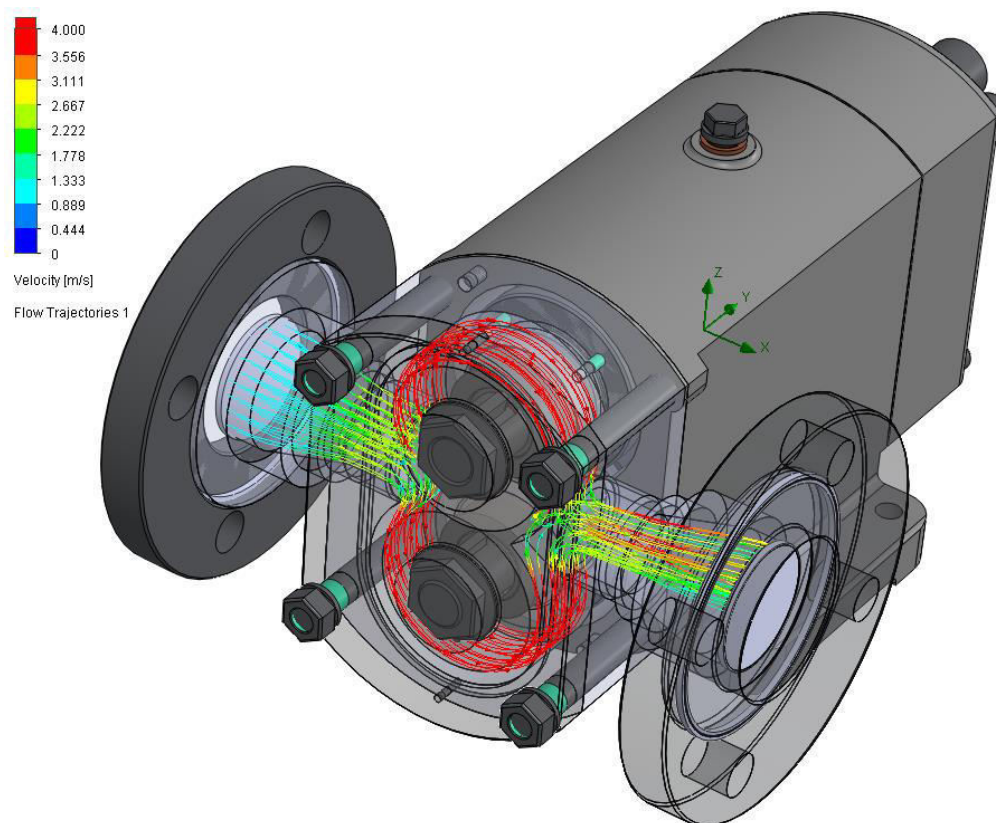
Za početak toka strujanja fluida odabran je ulazni priključak DN - 50 trokrilne pumpe ZPC - 32 (slika 7.4).



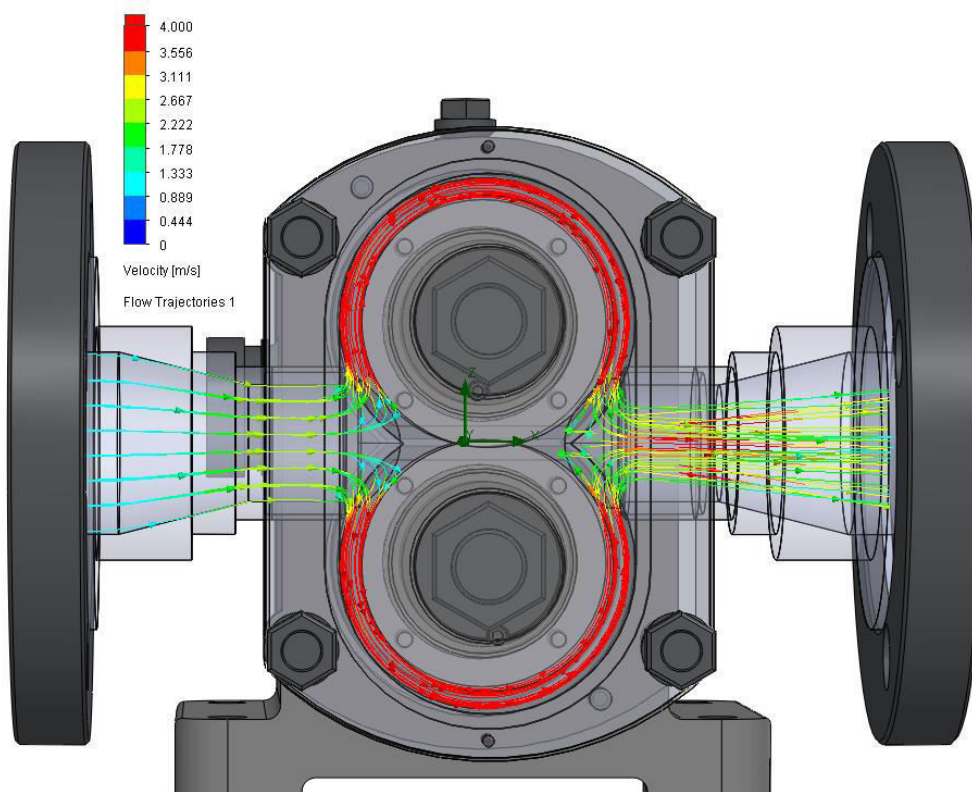
Slika 7.4. Definiranja početka strujanja fluida (eng. *Flow Trajectories*)

Analiza toka strujanja fluida pokreće se značajkom Pokreni (eng. *Run*), a kao rezultat prikazuje se tok strujanja fluida uz popratne grafičke prikaze (eng. *trajectories*) u obliku linija, cjevčica, strelica i efektom mineralne vode (slike 7.5., 7.6., 7.7., 7.8.).

Na slici 7.5 i 7.6. prikazan je tok i brzina strujanja fluida za zadanog volumnog protoka trokrilne pumpe.

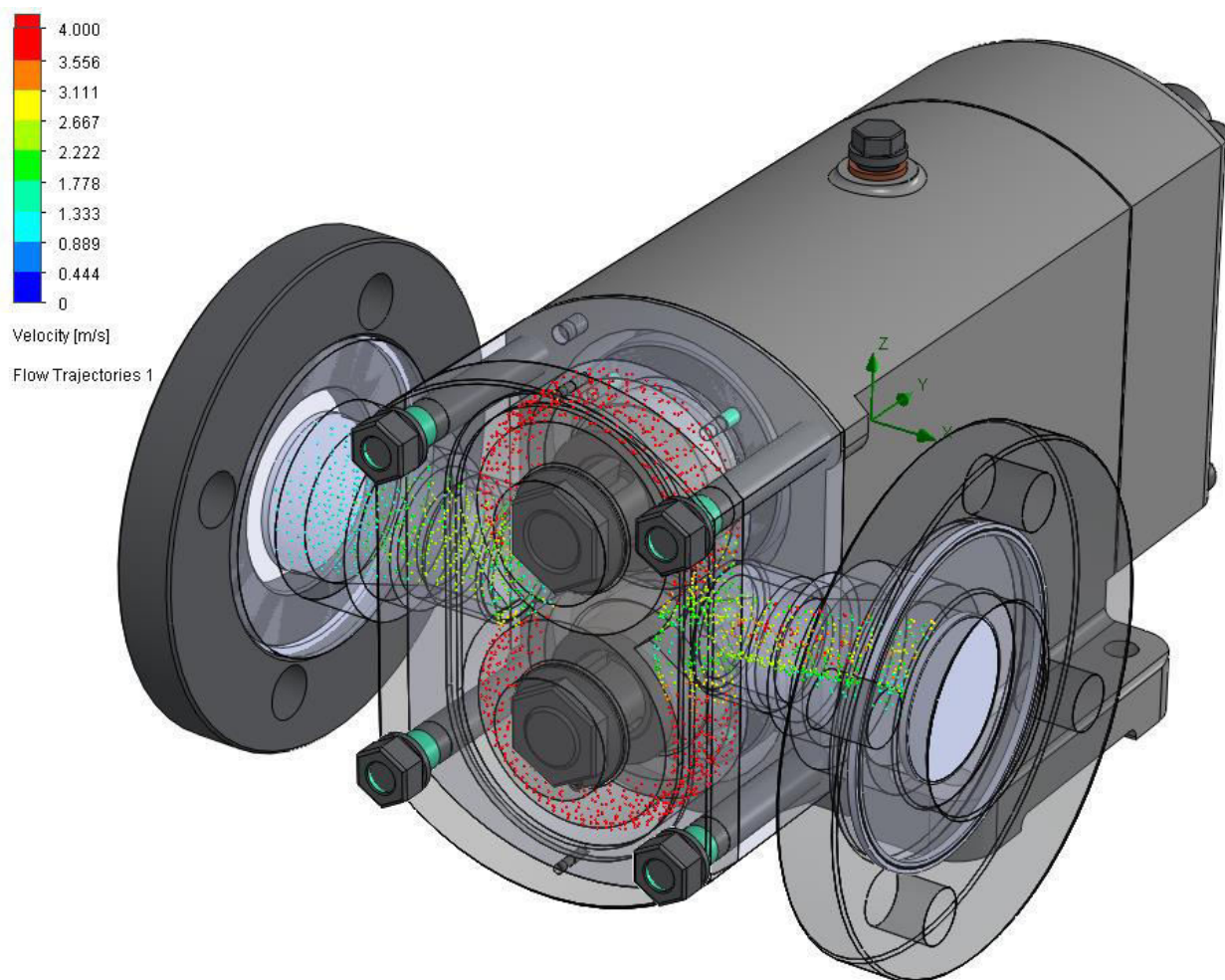


Slika 7.5. Prikaz toka i brzine strujanja fluida kroz trokrilnu pumpu ZPC - 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (izometrijski prikaz)

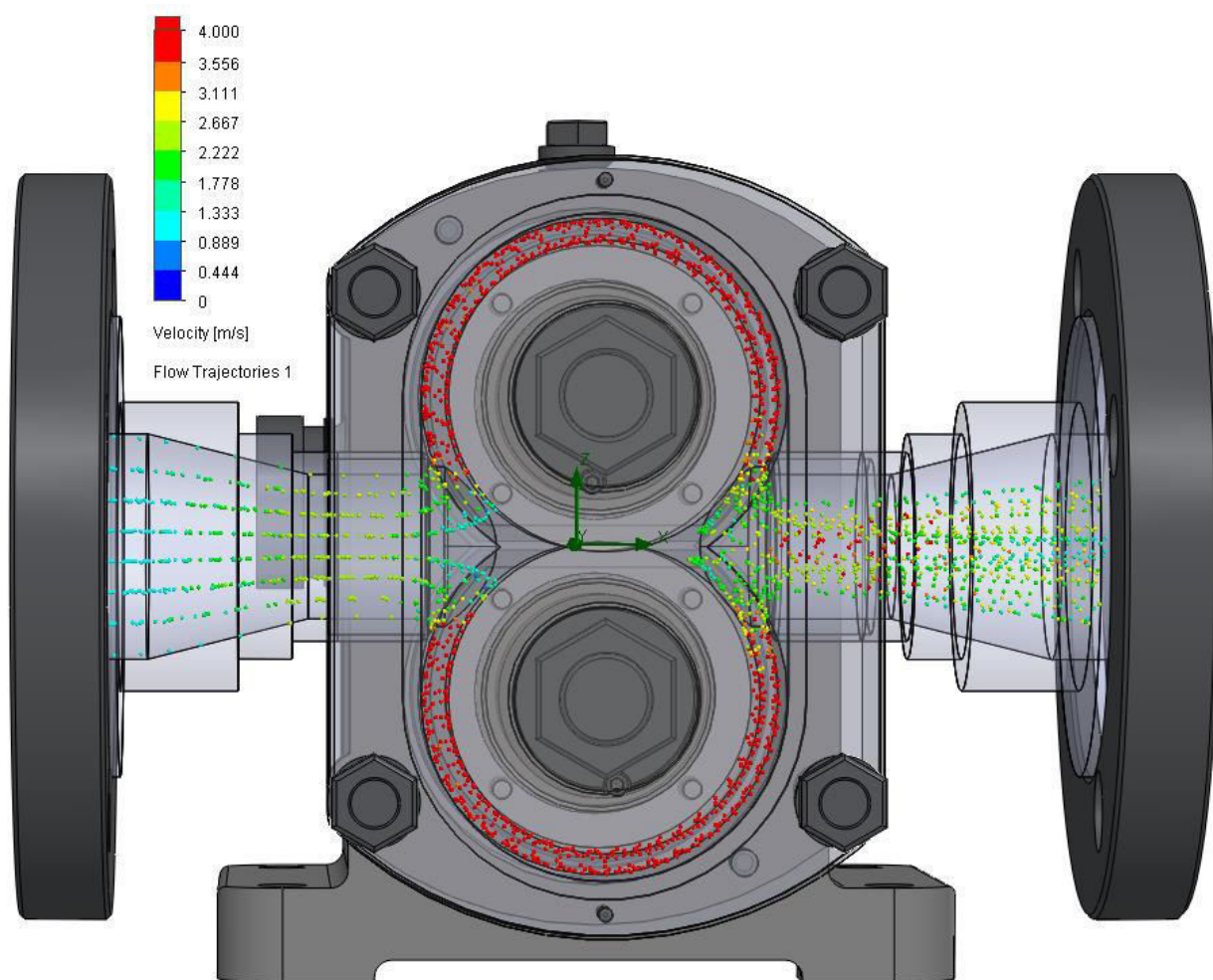


Slika 7.6. Prikaz toka i brzine strujanja fluida kroz krilnu pumpu ZPC- 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (pogled sprijeda)

Na slici 7.7. i 7.8. efektom „mineralne vode“ prikazan je tok i brzina strujanja fluida za $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ zadanog volumnog protoka trokrilne pumpe.



Slika 7.7. Prikaz toka i brzine strujanja fluida „efektom mineralne vode“ kroz trokrilnu pumpu ZPC - 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (izometrijski prikaz)

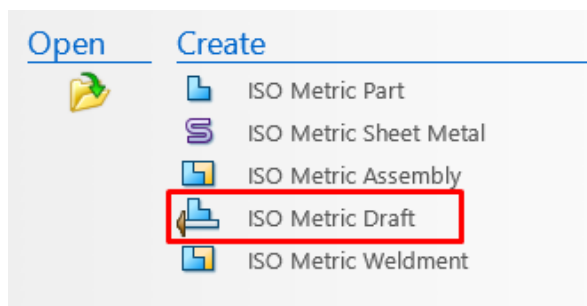


Slika 7.8. Prikaz toka i brzine strujanja fluida “efektom mineralne vode“ kroz trokrilnu pumpu ZPC - 32 za volumni protok $0.001194 \text{ m}^3/\text{s}$ u 3D sklopu pumpe (pogled sprijeda)

8. IZRADA (GENERIRANJE) 2D RADIONIČKE DOKUMENTACIJE

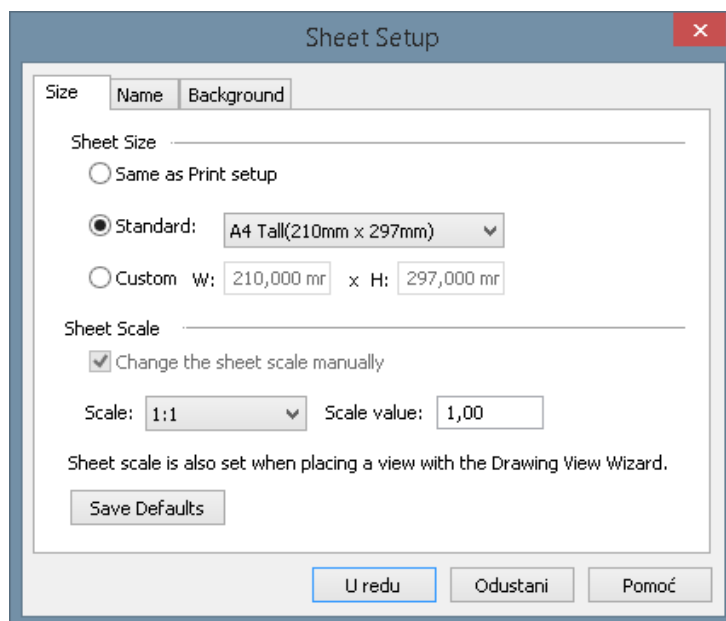
2D radionička dokumentacija „generira“ se iz postojećih 3D modela koji su prethodno izrađeni u programskom alatu *Solid Edge*. Generiranje je jednostavno, bez potrebe crtanja posebnih radioničkih nacрта, jednostavno se automatski poziva iz samoga 3D modela, a izmjena 3D modela odražava se na promjenu oblika i dimenzija 2D radioničkog crteža.

Na slici 8.1. prikazan je korak za generiranje radioničke dokumentacije.



Slika 8.1. Odabir radioničkog crteža

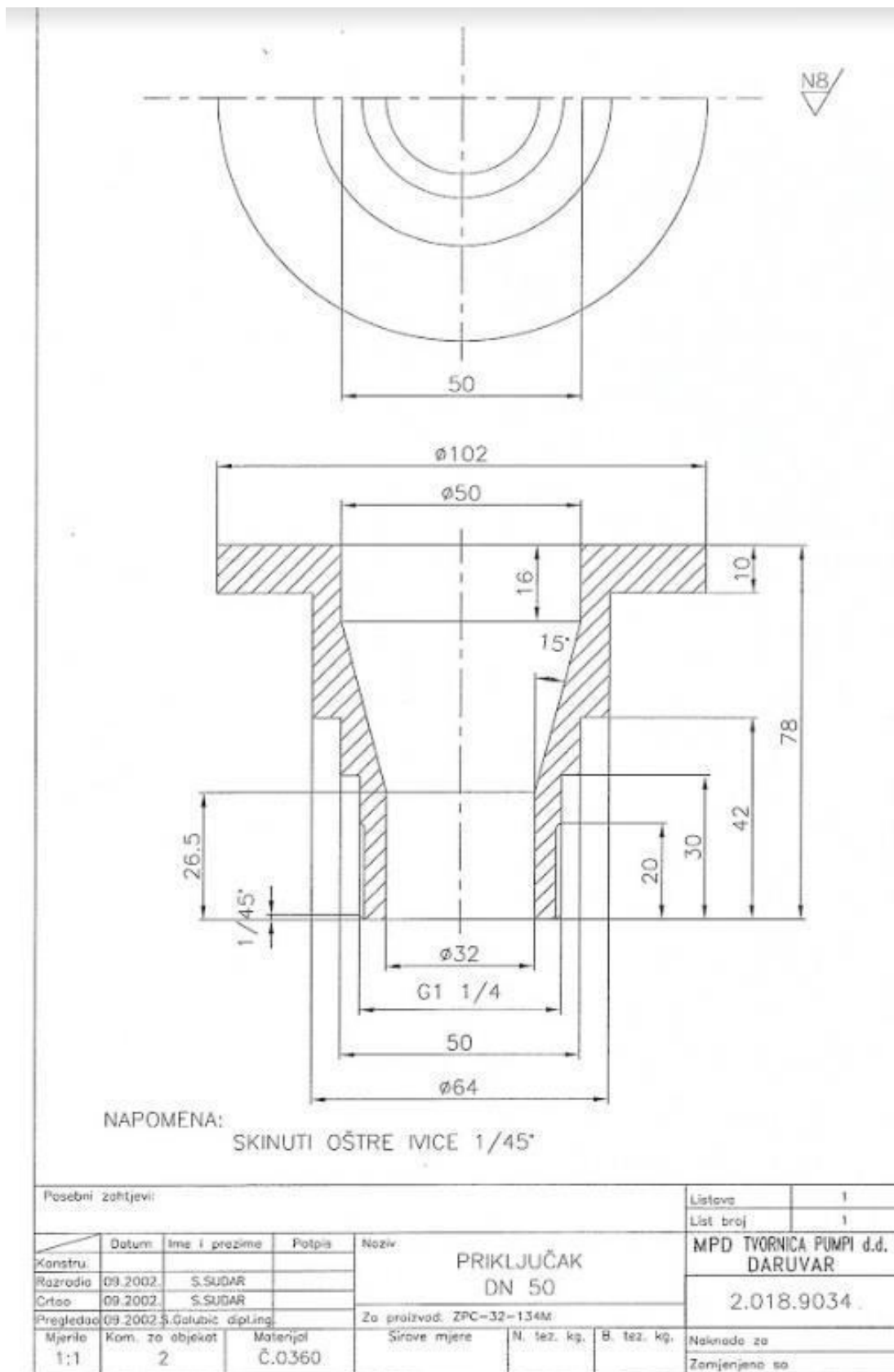
Zatim, odabire se format papira (eng. *Sheet Setup*) koji je potreban za izradu radioničke dokumentacije; u našem slučaju odabiremo vlastitu sastavnicu koja je izrađena (slika 8.2.).



Slika 8.2 Odabir formata papira

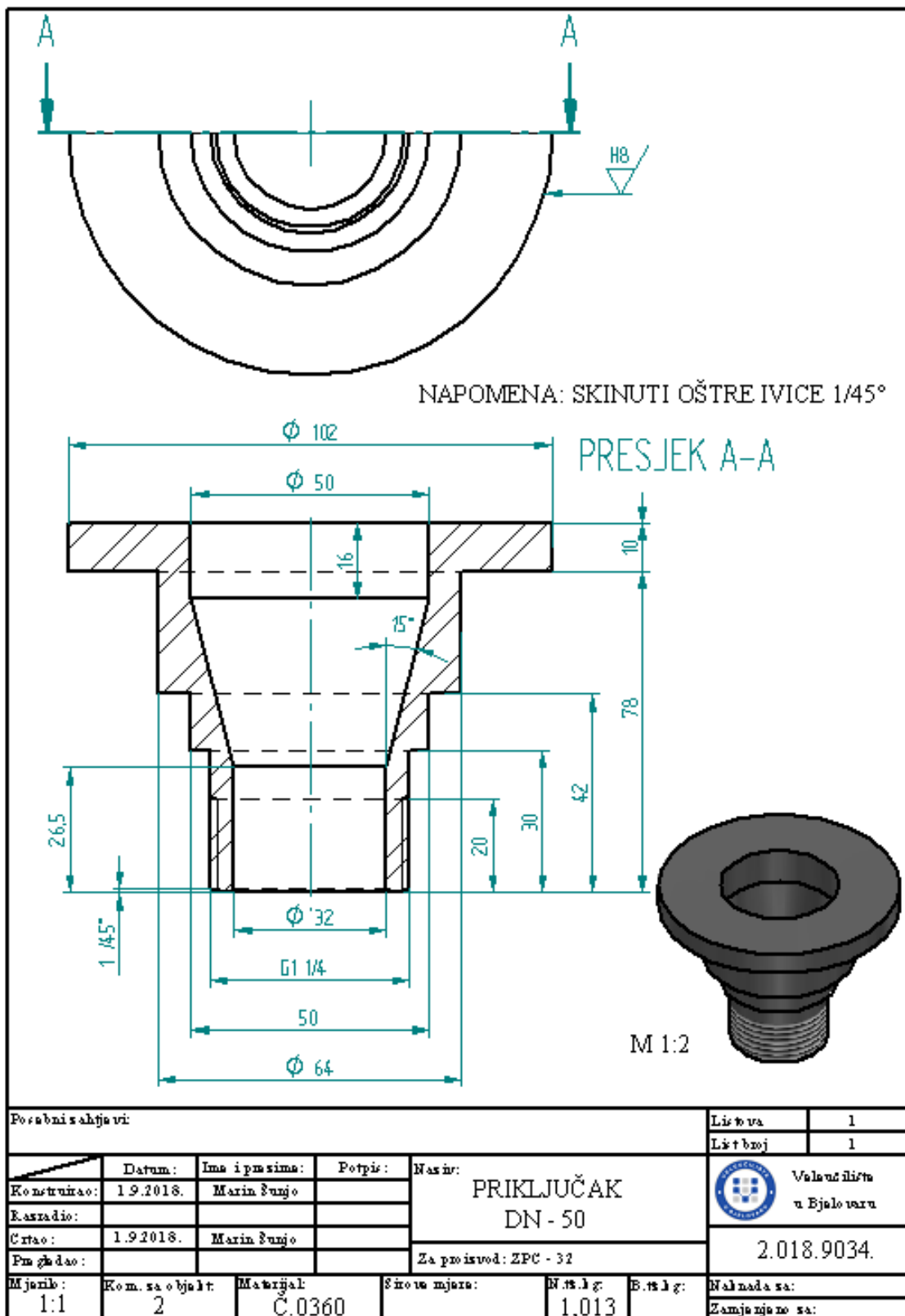
Nakon, odabira formata papira sa pripadajućom radioničkom sastavnicom odabiru se projekcije prikazivanja 2D crteža, potrebno je naknadno dodati dimenzije modela, oznake tolerancija, tablice tolerancija, znakove obrade i sl.

Na slici 8.3 prikazana je izvorna 2D radionička dokumentacija priključka DN - 50.



Slika 8.3 Izvorni 2D radionički crtež priključka za trokrilnu pumpu ZPC - 32

Na slici 8.4. prikazan je primjer generirane 2D radioničke dokumentacije krilca trokrilne pumpe ZPC - 32 izrađene u programskom alatu *Solid Edge*.



Slika 8.4. Generirani 2D radionički crtež priključka u programskom alatu *Solid Edge*

9. ZAKLJUČAK

Na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije, provedeni su analitički proračuni za potrebnu snagu elektromotora i trokrilne pumpe ZPC -32. Izrađeni su kontrolni proračuni osnovnih elemenata pogonskog sklopa pumpe za: sinkrone zupčanike, pogonskog i gonjenog vratila. Reverzibilnim inženjeringom, izrađeni su dijelovi (3D modeli pozicija) kao i 3D model sklopa trokrilne pumpe, u programskom alatu *Solid Edge – Synchronous Technology*.

Nakon izrađenih analitičkih kontrolnih proračuna gore navedenih elemenata, modeliranja 3D modela, izrađena je 3D animacija radne funkcije, kao i analiza naprezanja (eng. *FEA – Finite Element Analysis*) pogonskog vratila za trokrilnu pumpu ZPC - 32 za materijal vratila C45E (Č153)1 koja je potvrdila ispravnost polaznog analitičkog proračuna.

Nakon izrade svih 3D modela pozicija i 3D modela sklopa, generirana je 2D radionička dokumentacija. Na temelju izrađene 2D radioničke dokumentacije moguća je izrada stvarnog izratka prototipa gotovog proizvoda.

U ovom završnom radu prikazano je modeliranje 3D modela dijelova trokrilne pumpe ZPC - 32 u programskom alatu *Solid Edge ST8*. Kod izrade svih dijelova, sklopa, simulacije **korišteno je gotovo isključivo sinkrona tehnologija modeliranja**. Dvije različite tehnologije (*Ordered* i *Synchronous Technology*) unutar istog programskog alata u 3D modeliranju se ipak “značajno” razlikuju.

Skica (eng. *Sketch*) u programskom alatu *Solid Edge ST8 – Synchronous Technology* predstavlja „površinu“ i pomoću alata za upravljanje sinkronim modeliranjem (torusnog elementa/upravljača) (eng. *Steering Wheel*) upravlja se pomicanjem i zakretanjem direktno na 3D modelu, time se značajno skraćuje vrijeme izrade 3D modela a time ujedno i značajnije smanjiti troškove razvoja, projektiranja i izrade novog prototipa - proizvoda.

10. LITERATURA

- [1] Kuničić D. - Dimenzioniranje, modeliranje i simulacija servo-hidrauličke pumpe. Dostupno na: http://repositorij.fsb.hr/5136/1/Kucinic_2016_preddiplomski.pdf (11.10.2018.)
- [2] Tapflo Srbija - Krilne pumpe. Dostupno na: http://www.tapflo.rs/images/brochures/lobe_pumps_web_serbia.pdf (11.10.2018.)
- [3] Alfons Haar Australia. Dostupno na: <http://alfons-haar.com.au/case-studies/defence-fuelling> (11.10.2018.).
- [4] Opalić M; Rakamarić P. Reduktor - Proračun i konstrukcija jednostupanjkog zupčanog prijenosnika: FSB Zagreb
- [5] Prof.dr.sc. Horvat Z. i suradnici - Vratilo (proračun): FSB Zagreb
- [6] Kraut B. - Strojarski priručnik: Deveto hrvatsko ili srpsko izdanje (Potpuno prerađeno i dopunjeno).. Tehnička knjiga, Zagreb. Dostupno na: http://161.53.66.8/shared/PRIRUCNICI-1/Kraut-Strojarski_prirucnik_1987.pdf (15.10.2018)
- [7] Decker Karl-Heinz - Elementi strojeva (2. potpuno izdanje). Tehnička knjiga, Zagreb. Dostupno na: https://kupdf.net/download/elementi-strojeva-karl-heinz-decker-2-popravljeno-izdanje_59f7f091e2b6f54c742c8dd4_pdf (15.10.2018.)
- [8] Oberšnit Eugen - Ozubljenja i zupčanici. Dostupno na: <https://www.scribd.com/doc/98652327/Eugen-Ober%C5%A1mit-Ozubljenja-i-zup%C4%8Danici> (15.10.2018.)
- [9] General Catalogue SKF - Švedska 2008 god.

11. POPIS OZNAKA

Q = kapacitet [m^3/h]

p = radni pritisak [Pa]

η_p = stupanj iskoristivosti pumpe

P_{EM} = snaga elektromotora [kW]

ω = kutna brzina

n = broj okretaja elektromotora [$^\circ/min$]

M_E = moment na vratilu elektromotora [Nm]
 M

Z = broj zubi sinkronog zupčanika

λ = faktor širine zuba

σ_{FP} = praktička dozvoljena vrijednost naprezanja u korijenu zuba zupčanika [N/m]

σ_{Flim} = dinamička čvrstoća kod naprezanja uz savijanje korijena zuba zupčanika [N/mm^2]

S_F = potrebni koeficijent sigurnost protiv loma zuba zupčanika

Y_F = faktor oblika

Y_ε = faktor učešća opterećenja

$K_{F\alpha}$ = faktor raspodjele opterećenja (sile) zupčastih parova u zahvatu

m = modul zupčanika [mm]

d_1 = diobeni promjer [mm]

c = tjemena zračnost [mm]

α_0 = kut zahvata sinkronog para zupčanika

F_{t1} = obodna (tangencijalna) sila na diobenoj kružnici [N]

Z_M = faktor materijala [$\sqrt{N/mm^2}$]

Z_H = faktor oblika boka

ε_α = stupanj prekrivanja zupčanog para

u = prijenosni omjer zupčanog para

b = širina sinkronog zupčanika [mm]

S_H = potrebni koeficijent sigurnosti protiv ljuštenja (eng. *pitting*) bokova zuba

σ_{Hlim} = dinamička izdržljivost bokova na kontaktni Hertz-ov pritisak [N/mm^2]

σ_{fDN} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na savijanje [N/mm^2]

τ_{tFI} = promjenjiva trajna čvrstoća (dinamička izdržljivost) na uvijanje [N/mm^2]

η_{VL} = stupanj korisnog djelovanja (gubitak) vratila

$M_{\varepsilon S_1}$ = moment ubrzanih masa spojke S_1 [N]

$GD_{S_1}^2$ = zagonski moment spojke S_1 [N/mm^2]

n_V = broj okretaja pogonskog vratila [$^\circ/min$]

t_n = vrijeme uključivanja elektromotora [s]

β_{kf} = faktor zareznog djelovanja kod savijanja (fleksije)

β_{kt} = faktor zareznog djelovanja kod uvijanja

M_{red} = reducirani moment u presjeku [Nm]

b_1 = faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja

b_2 = faktor kvalitete površinske obrade

S_{potr} = potrebna sigurnost

L_h = vrijeme trajanja ležaja odabrano [s]

n = broj okretaja pogonskog vratila [$^{\circ}/\text{min}$]

P = ekvivalentno dinamičko opterećenje ležaja [N]

C_1 = dinamička opterećenost ležaja [N]

d_B = promjer rukavca [mm]

E = modul elastičnosti materijala vratila [N/mm^2]

J_f = moment inercije presjeka vratila [mm^4]

12. ZAŽETAK

Prikazan je analitički proračun, dimenzioniranje i izrada 3D modela trokrilne pumpe ZPC - 32 na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije i reverzibilnog inženjeringa u programskom alatom *Solid Edge ST8 – Synchronous Technology*. Nakon izrađenih 3D modela i sklopa trokrilne pumpe ZPC - 32 izrađena je 3D animacija radne funkcije sklopa korištenjem značajke rotacijski motor (eng. *Rotational motor*), te 3D prikaz sklopa u rastavljenom stanju korištenjem značajke explodiraj (eng. *Explode*) unutar dijela programa *ERA*. Na 3D modelu pogonskog vratila provedena je analiza naprezanja FEA (eng. *Finite Element Analysis*) unutar programskog alata *Solid Edge ST8 – (Simulation)*, koja potvrđuje ispravnost analitičkog kontrolnog proračuna. Isto tako u programskom alatu *Solid Edge ST8* prikazan je tok i strujanje fluida (eng. *Flow Simulation*) kroz 3D model sklopa trokrilne pumpe ZPC - 32. Izrađena je i kompletna 2D radionička dokumentacija u programskom alatu *Solid Edge*.

Ključne riječi: Trokrilna pumpa, 3D modeli pozicija, Solid Edge ST8 – Synchronous Technology, kućište, pogonsko vratilo, rotor, sinkroni zupčanci, 3D animacija, analiza naprezanja, FEA, analiza strujanja fluida, 2D radionička dokumentacija.

13. SUMMARY

The analytical calculation, dimensioning and production of the 3D model of the three-winged pump ZPC - 32 is presented based on the existing 2D work documentation and reversible engineering in *Solid Edge ST8 - Synchronous Technology*. After the 3D models of the three-winged pump ZPC - 32 assembly have been developed, the 3D animation of the circuit working function has been developed using the rotational motor feature and the 3D display of the circuit in a disconnected state using the explode feature within ERA. The FEA (*Finite Element Analysis*) stress analysis, in the *Solid Edge ST8 (Simulation)* toolkit was performed on the 3D model of the drive shaft, which confirms the accuracy of the analytical control budget. Also in the *Solid Edge ST8* software *Flow Simulation* is displayed through the 3D model of the ZPC-32 three-wing pump assembly. Complete 2D work documentation is also developed in *Solid Edge*.

Key words: Wing pump, 3D model positions, Solid Edge ST8 - Synchronous Technology, Housing, Drive shaft, Rotor, Synchronous Gears, 3D Animation, Stress Analysis, FEA, Fluid Flow Analysis, 2D Documentation Works.

14. PRILOZI


Generirana 2D radionička dokumentacija

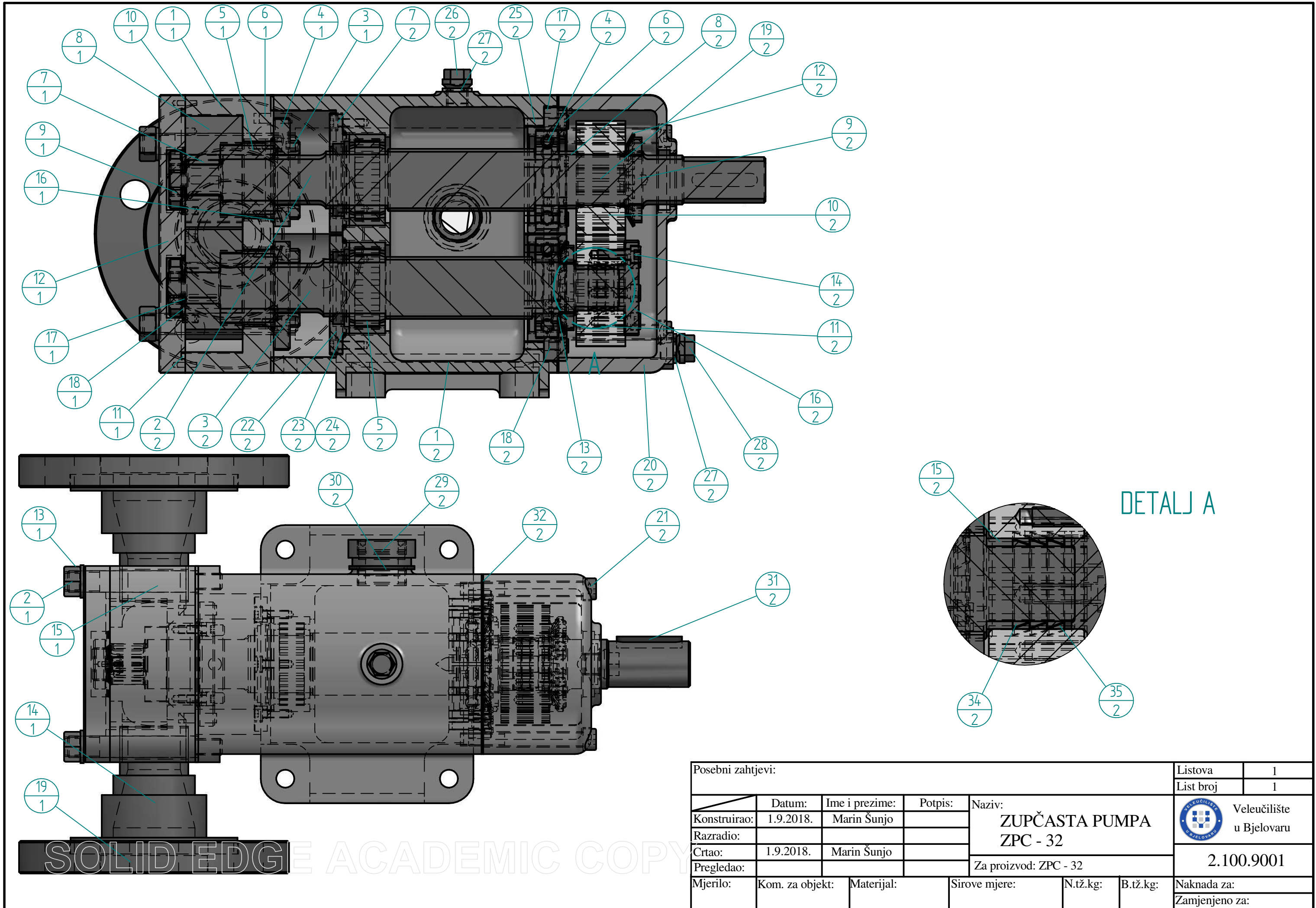
1	NOSAČ PUMPE	2.101.9014.	1	SL 20	-	
2	POGONSKO VRATILO	2.102.9014.	1	Č.4574	-	
3	GONJENO VRATILO	21.039.014	1	Č.4574	-	
4	KUGLIČNI LEŽAJ	6007	2	-	Ø35xØ62x14	
5	IGLIČASTI LEŽAJ	NKIS-35	2	-	Ø35xØ58x22	
6	NOSAČ LEŽAJA	2.106.9014.	1	Č.1531	-	
7	IMBUS VIJAK	HRN M.B1.120	6	6.8	M5x16	
8	ČAHURA	21.089.001	1	Č.2026	-	
9	KLIN	HRN M.C2.060	1	Č.1730	10x8x25	
10	SINKRONI ZUPČANIK 1	2.110.9001.	1	Č.4320	-	
11	SINKRONI ZUPČANIK 2	2.111.9014.	1	Č.4320	-	
12	NAVRTKA	MIS 1.0041	2	-	KM 7	
13	OSIGURAC	MIS 1.0041	2	-	MB 7	
14	IMBUS VIJAK	HRN M.B1.120	6	8.8	M6x20	
15	ČAHURA	2.115.9014.	1	Č.O361	-	
16	PRITEZNI PRSTEN	2.116.9014.	1	Č.1531	-	
17	ZATIK CILINDRIČNI	HRN M.C2.201	2	Č.1531	-	
18	NOSAČ LEŽAJA DONJI	2.118.9014.	1	Č1531	-	
19	OSOVINSKA BRTVA	MIS 1.0042	1	SL 20	Ø30xØ40x7	
20	POKLOPAC NOSAČA	2.120.9014.	1	SL 20	-	
21	IMBUS VIJAK	HRN M.B1.120	4	6.8	M8x70	
22	POKLOPAC LEŽAJA	2.122.9014.	2	Č.0361	-	
23	OSOVINSKA BRTVA	MIS 1.0042	2	NBR	Ø35xØ47x7	
24	"O" PRSTEN	-	2	NBR	Ø61xØi57xØ2	
25	IMBUS VIJAK	HRN M.B1.120	12	6.8	M5x20	
26	ČEP	HRN M.B1.325	1	Č..1531	G 1/4	
27	ZAPRIVAČ	HRN M.C4.500	2	Cu	A 14x18	
28	ČEP	HRN M.B1.325	1	Č.1531	G 1/4	
29	ULJOKAZ	41.500.341	1	-	-	
30	BRTVA	-	1	TESNIT	Ø30xØ40x2	
31	KLIN	-	1	TESNIT	8x7x40	
32	BRTVA	2.132.9014.	1	TESNIT	-	
33	UVRTNI VIJAK	HRN M.B1.270	8	6.8	M6X12	
34	UNUTRAŠNJI PRSTEN	2.134.9014.	3	Č.4732	-	
35	VANJSKI PRSTEN	2.135.9014.	3	Č.4732	-	
Poz.	Naziv	Oznaka	Kom.	Oznaka	Dimenzija	
	DIO			MATERIJAL		
Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv: Zupčasta pumpa ZPC - 32	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:						
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Pregledao:						
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	2.100.9014
					Naknada za:	
					Zamjenjeno za:	


19	PRIRUBNICA	2.029.9034	2	Č.0360	-
18	NAVRTKA	2.026.9002	1	Č.1531	-
17	VIJAK UVRTNI	HRN M.B1.270	2	8.8	M5X10
16	"O" PRSTEN	-	2	VITON	Ø53XØ50XØ1,5
15	PODLOŠKA	HRN B2.013	4	Č.0000	Ø13
14	PRIKLJUČAK DN50	2.018.9034	2	-	-
13	NAVRTKA	HRN M.B1.601	4	6	M12
12	POKLOPAC	2.016.9034	1	-	-
11	"O" PRSTEN	-	1	VITON	Ø126XØ120X3
10	ZATIK CILINDRIČNI	HRN M.C2.201	2	Č.1531	Ø3X12
9	NAVRTKA	2.013.9002	2	Č.1531	-
8	ROTOR	2.012.9013	2	Č.4571	-
7	KLIN	HRN M.C2.060	2	Č.1730	8X7X20
6	ZATIK CILINDRIČNI	HRN M.C2.201	2	Č.1531	Ø6X20
5	MEHANIČKA BRTVA	DIN 24960	2	-	Ø30 K/U
4	IMBUS VIJAK	HRN M.B1.120	8	8.8	M5X12
3	POKLOPAC BRTVE	2.003.9014	2	Č.0361	-
2	SVORNI VIJAK	2.002.9001	4	Č.1531	-
1	TIJELO PUMPE	2.001.9004	1	SI-20	-

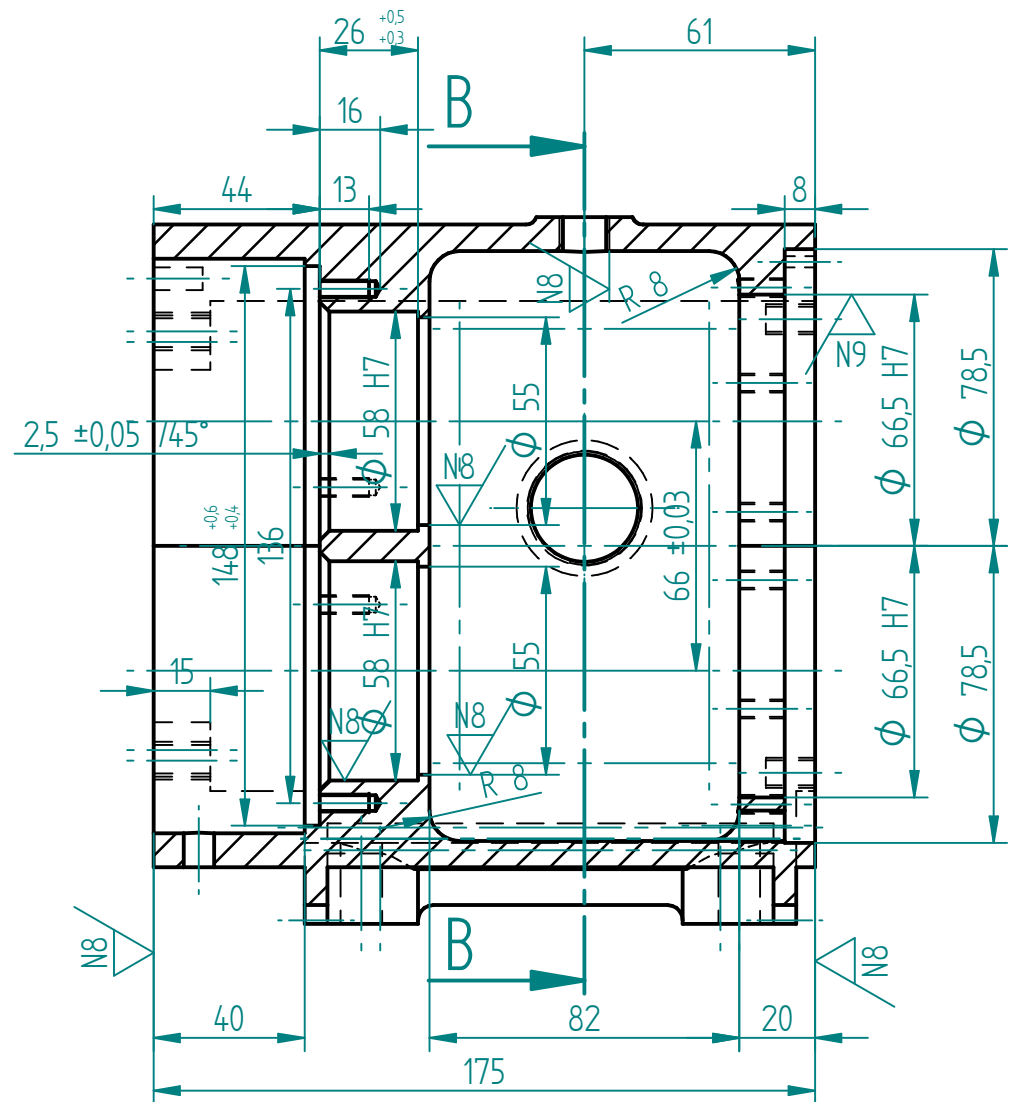
Poz.	Naziv	Oznaka	Kom.	Oznaka	Dimenzija
	DIO			MATERIJAL	

Posebni zahtjevi:				Listova	1
				List broj	1

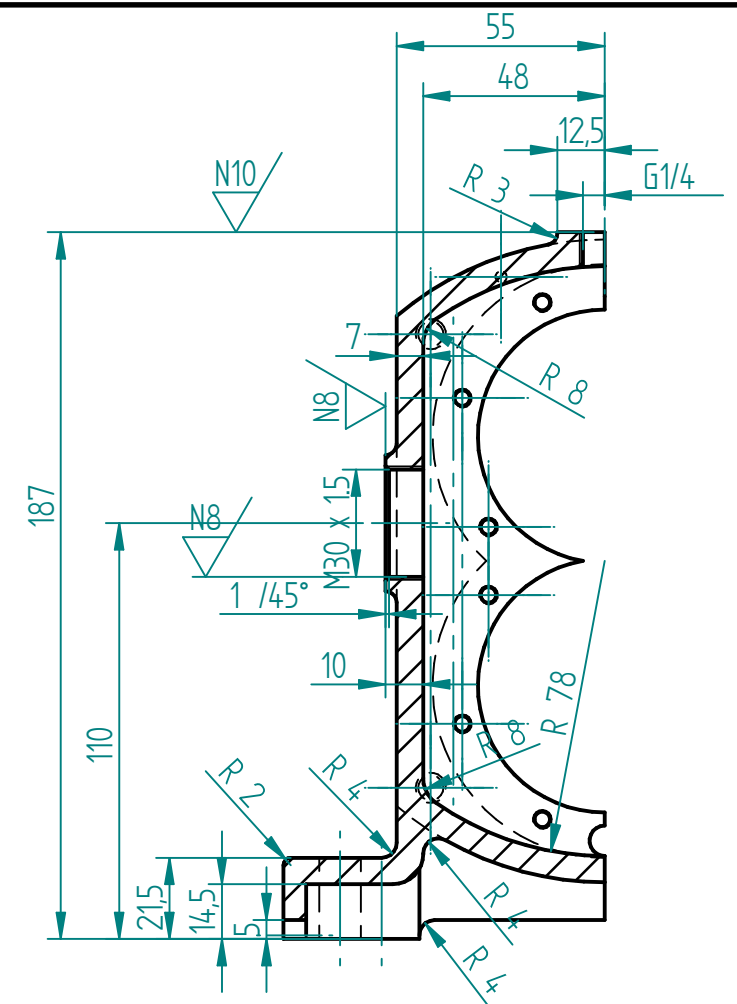
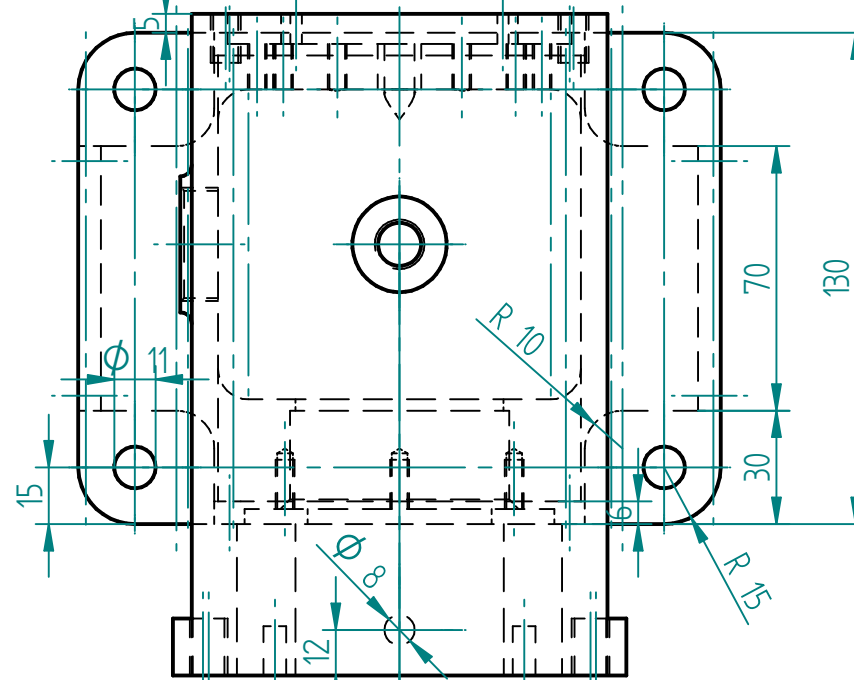
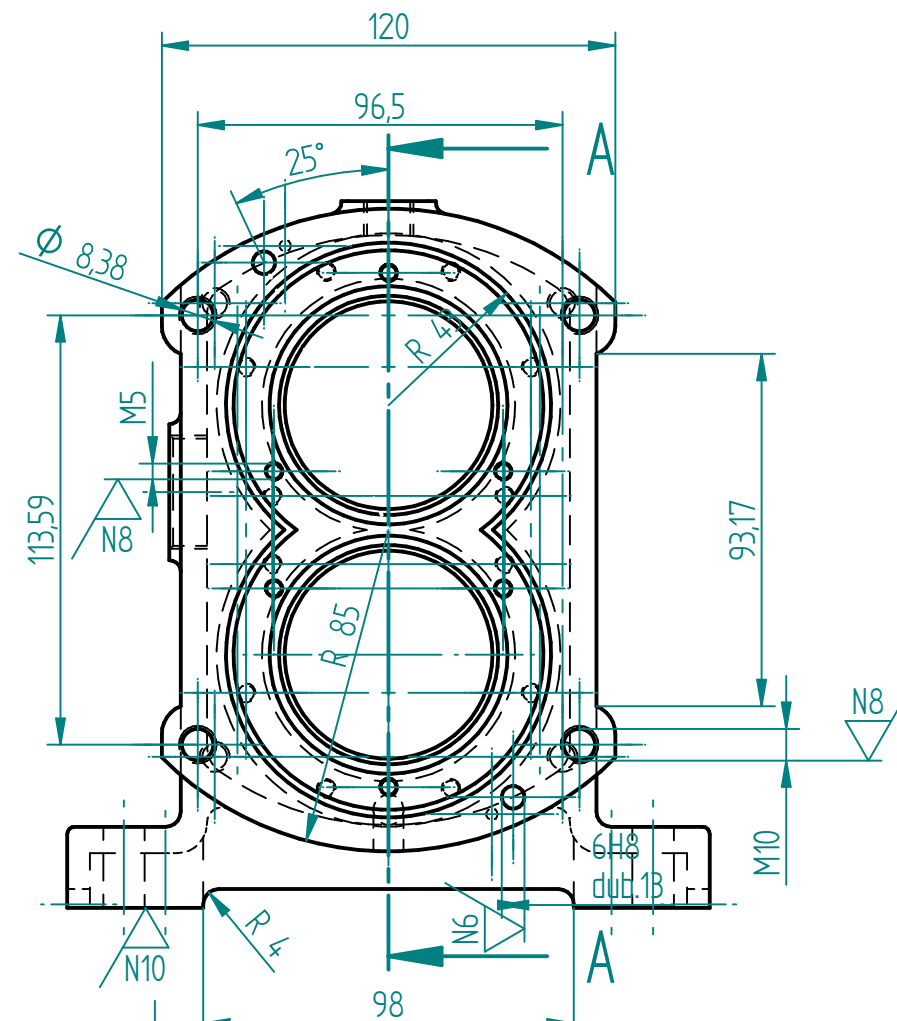
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:		 Veleučilište u Bjelovaru
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Zupčasta pumpa ZPC - 32		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32		2.100.9014
Pregledao:						
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Naknada za:
						Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		ZUPČASTA PUMPA ZPC - 32		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32	2.100.9001	
Pregledao:						
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Naknada za:
						Zamjenjeno za:



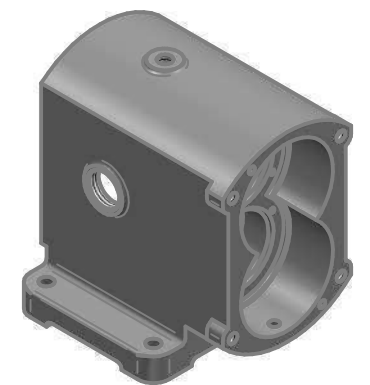
PRESJEK A-A




PRESJEK B-B

NAPOMENA:

- nedefinirani radijusi R2 - R3;
- skinuti oštre ivice i srhove



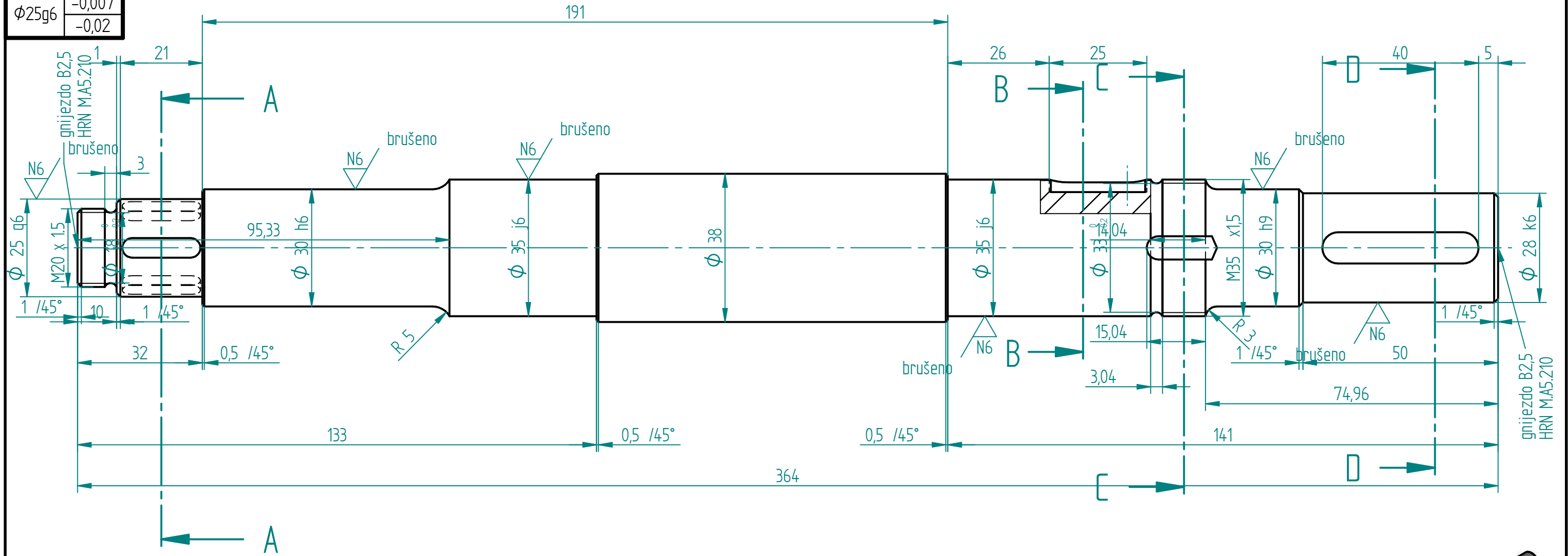
M1:5

Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum: 1.9.2018.	Ime i prezime: Marin Šunjo	Potpis:	Naziv: NOSAČ PUMPE	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:						
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32	2.101.9014	
Pregledao:						
Mjerilo: 1:2	Kom. za objekt: 1	Materijal: SL-20	Sirove mjere:	N.tž.kg: 9 kg	B.tž.kg:	Naknada za: Zamjenjeno za:

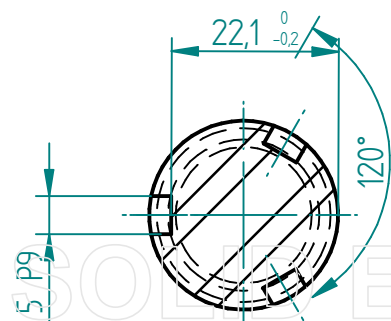
SOLIDWORKS ACADEMIC COPY

$\phi 35j6$	+0,011 -0,005	10P9	-0,015 -0,051
$\phi 30h6$	0 -0,013	8P9	-0,015 -0,051
$\phi 30h9$	0 -0,052	5P9	-0,012 -0,042
$\phi 28k6$	+0,015 +0,002		
$\phi 25g6$	-0,007 -0,02		

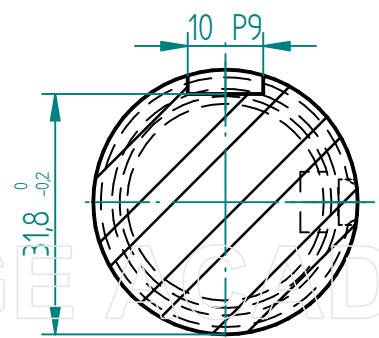
N8 / N6 brušeno



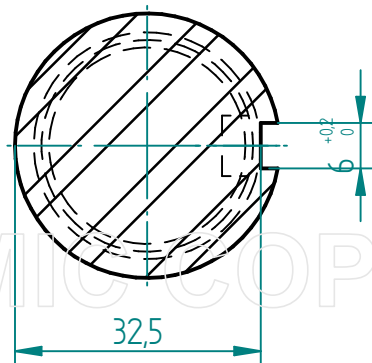
PRESJEK A-A



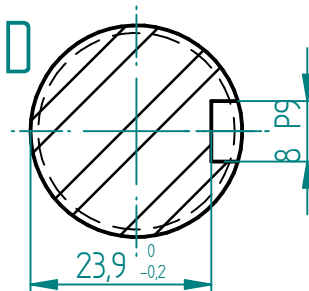
PRESJEK B-B



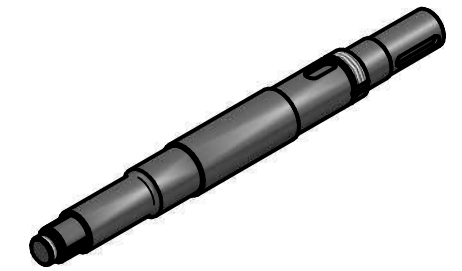
PRESJEK C-C




PRESJEK D-D



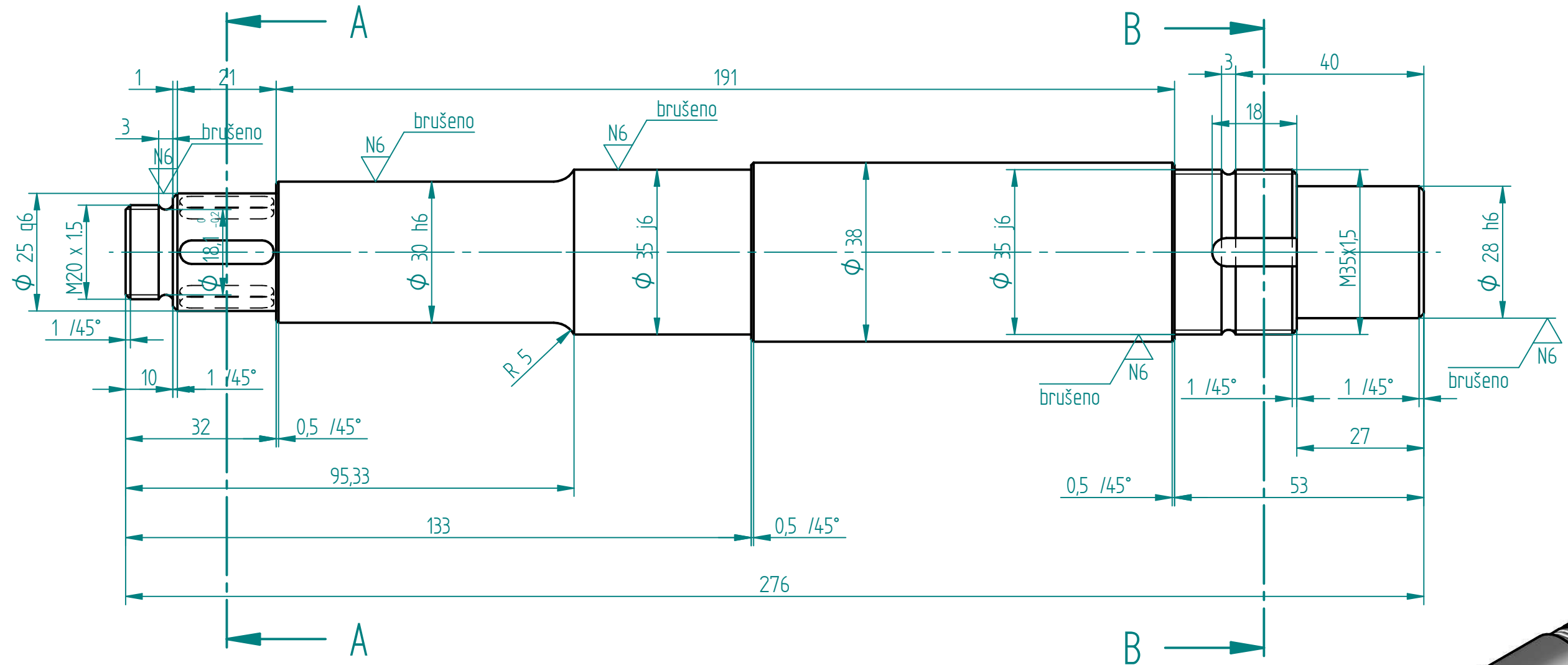
M1:5



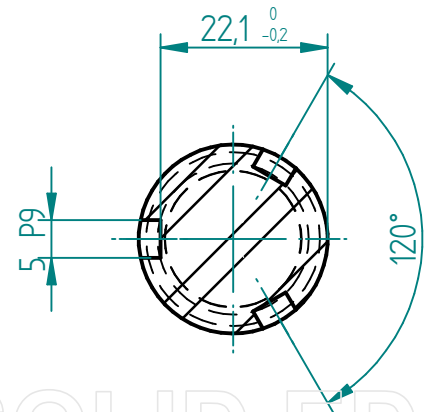
Posebni zahtjevi:						Listova	1
						List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:		 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		POGONSKO VRATILO			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32		2.102.9014	
Pregledao:						Naknada za:	
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Zamjenjeno za:	
1:1	1	C.1531		2,387			

$\phi 35j6$	+0,011 -0,005
$\phi 30h6$	0 -0,013
$\phi 28h$	0 -0,013
$\phi 25g$	-0,007 -0,020
5P9	-0,012 -0,042

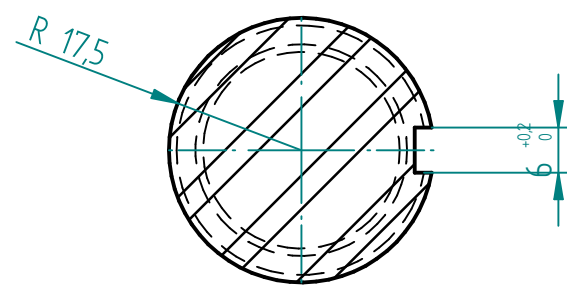
N8 / N6 brušeno



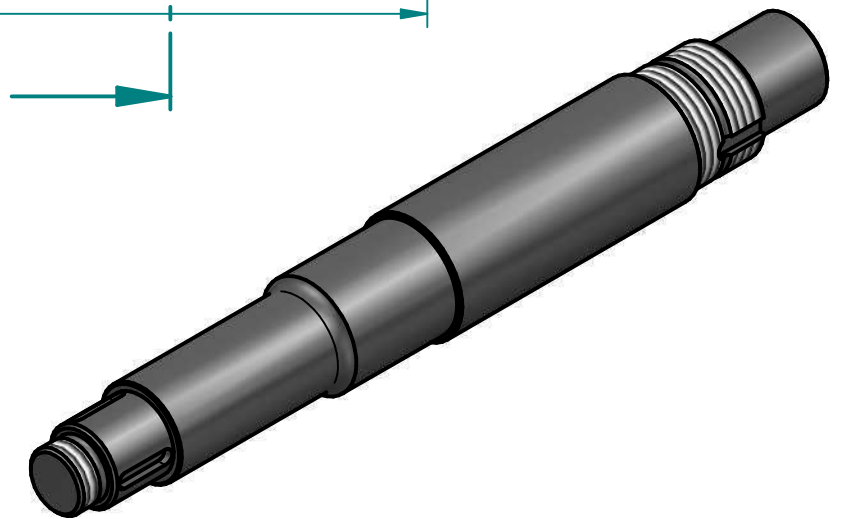
PRESJEK A-A




PRESJEK B-B



M 1:2

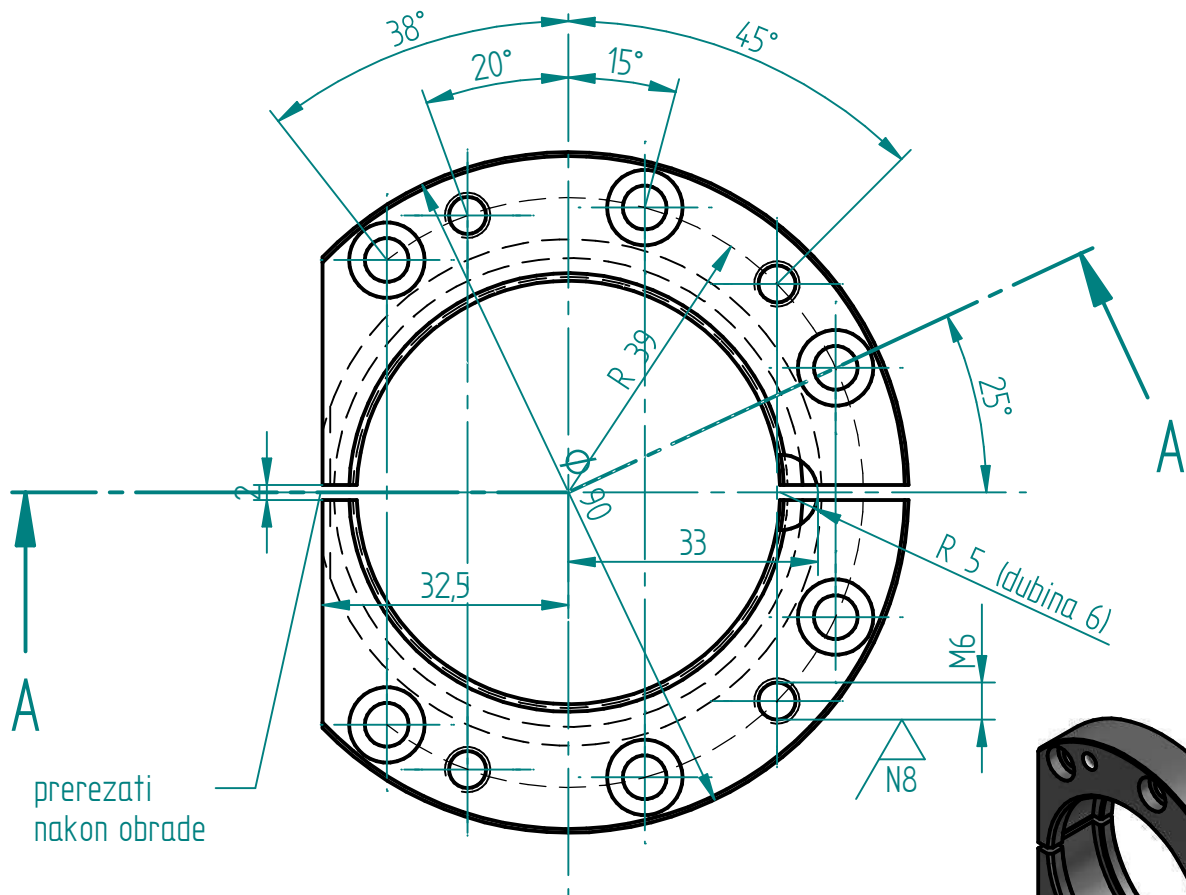
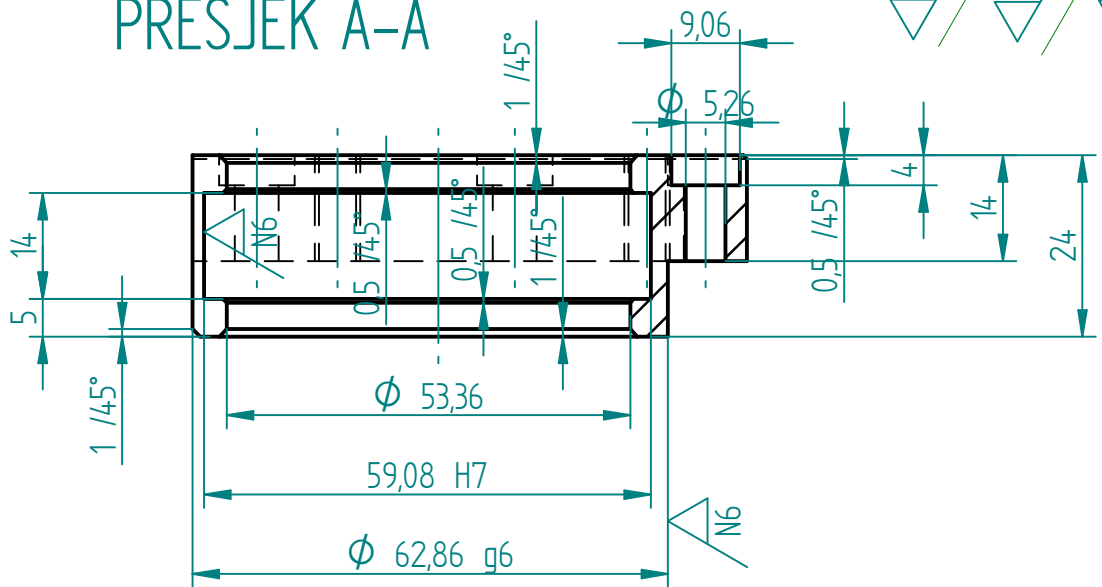


Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum: 1.9.2018.	Ime i prezime: Marin Šunjo	Potpis:	Naziv: GONJENO VRATILO	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:						
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32	2.103.9014	
Pregledao:						
Mjerilo: 1:1	Kom. za objekt: 1	Materijal: Č.1531	Sirove mjere:	N.tž.kg: 1,851	B.tž.kg:	Naknada za: Zamjenjeno za:

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

$\phi 67g$	-0,01
	-0,029
$\phi 62H$	+0,03
	0

PRESJEK A-A



M 1:2

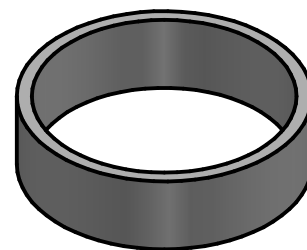
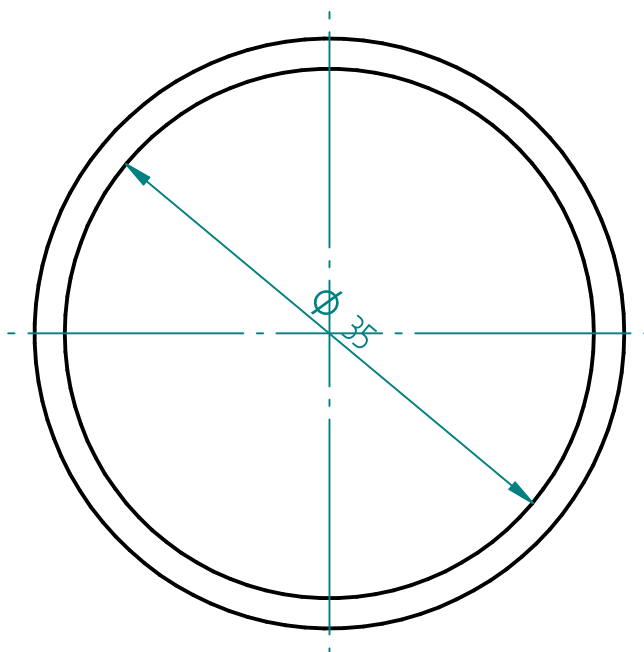
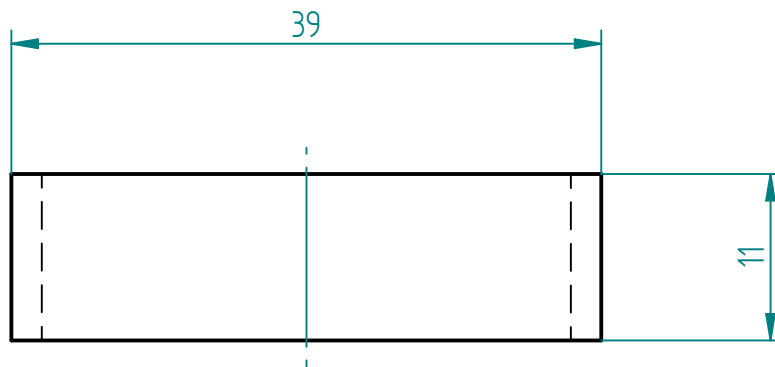
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
1:1	1	Č.1531	

Naziv:	Za proizvod:
NOSAČ LEŽAJA GORNJI	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:
0,345	

 Veleučilište u Bjelovaru	2.106.9014
	Naknada za: Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:

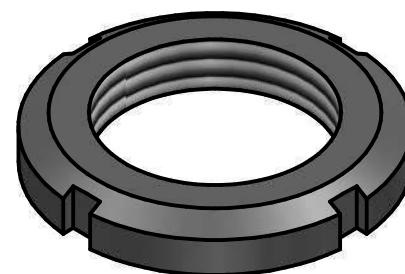
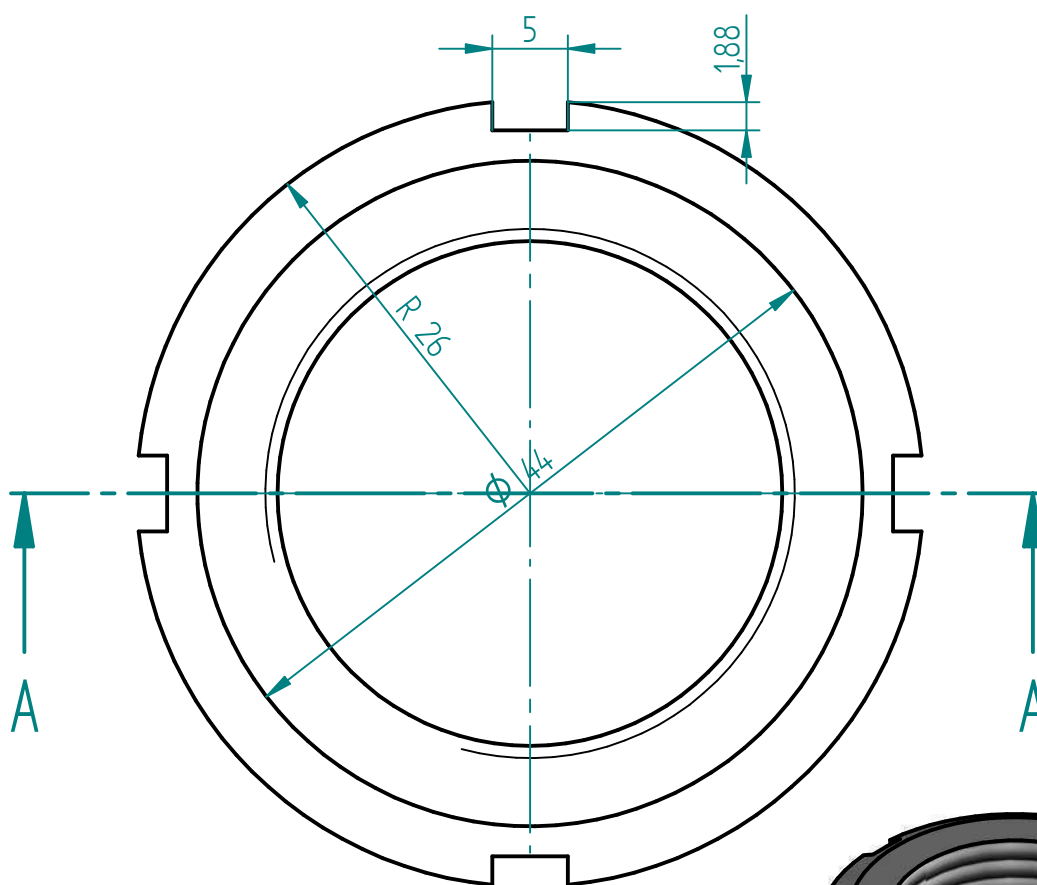
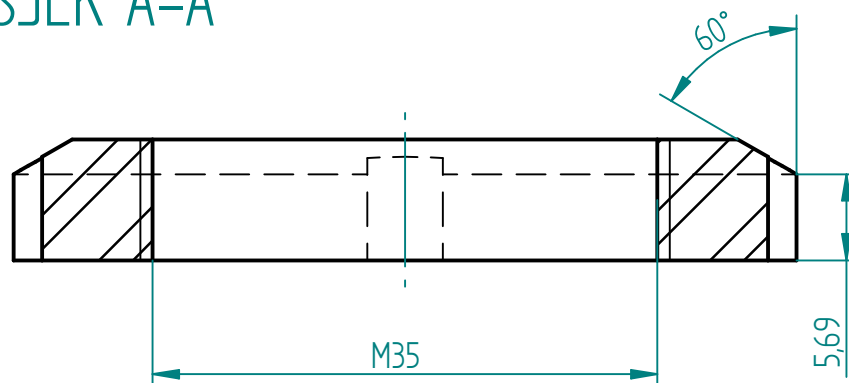
Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	1	C.2026	

Naziv:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
ČAHURA		
Za proizvod: ZPC - 32		
Naknada za:		
Zamjenjeno za:		

 Veleučilište u Bjelovaru	2.108.9001

PRESJEK A-A



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	2		

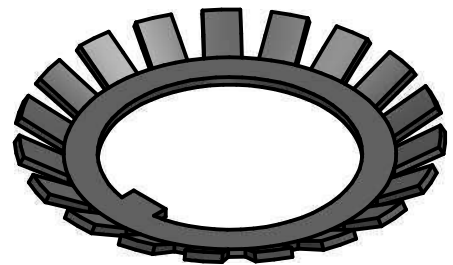
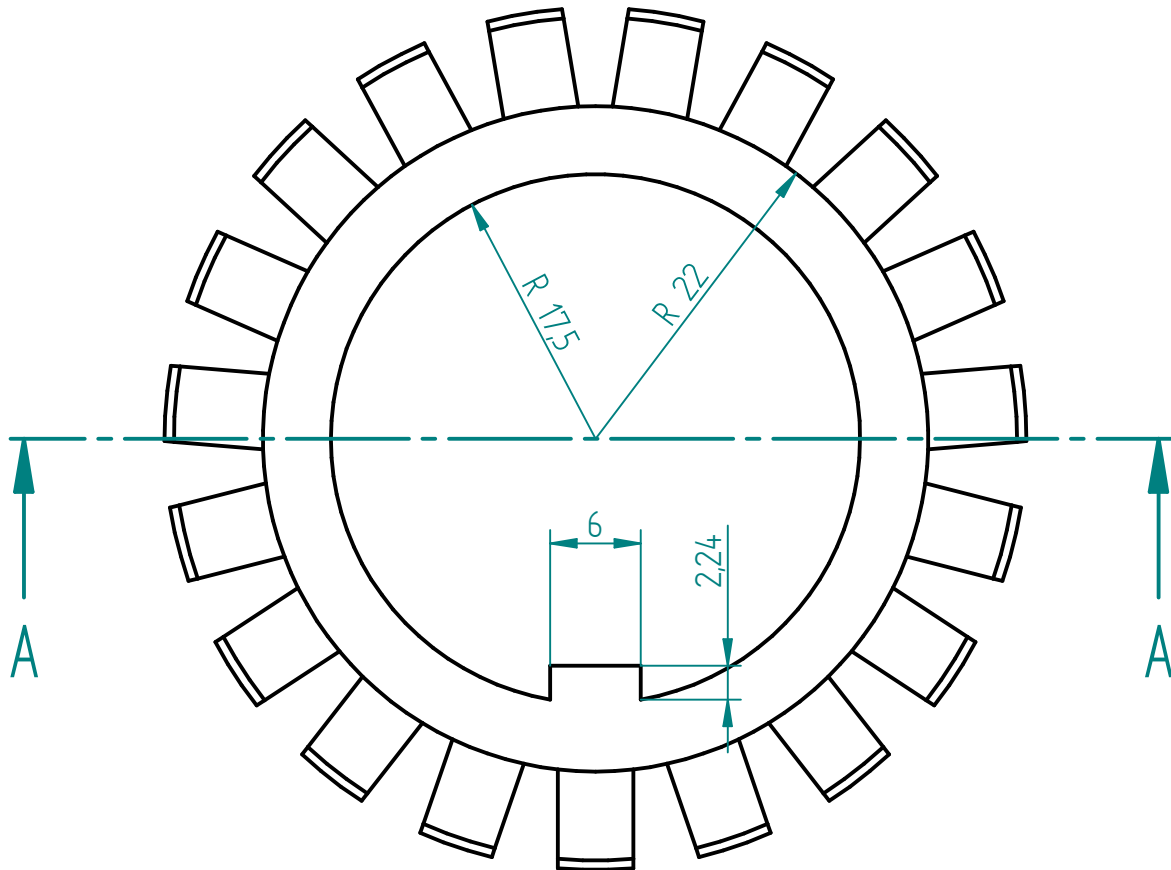
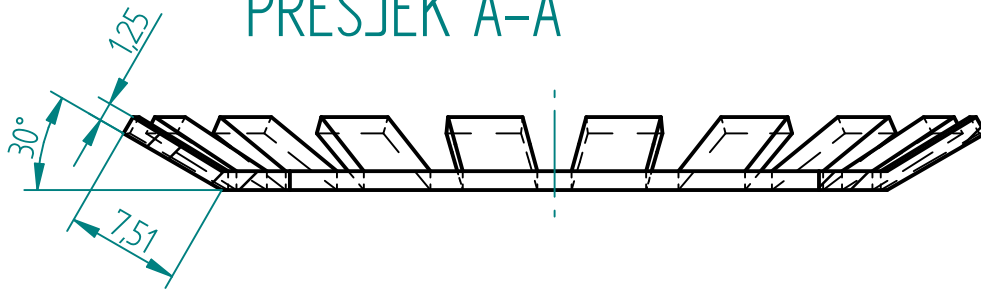
Naziv:	NAVRTKA Za proizvod: ZPC - 32
N.ž.kg:	
B.ž.kg:	
Naknada za:	
Zamjenjeno za:	



Veleučilište
u Bjelovaru

MIS 1.0041

PRESJEK A-A



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Razradio:			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			

Naziv:
OSIGURAČ

Za proizvod: ZPC - 32

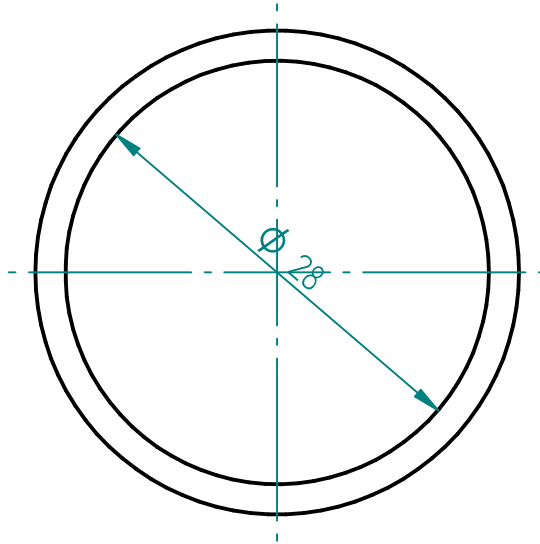
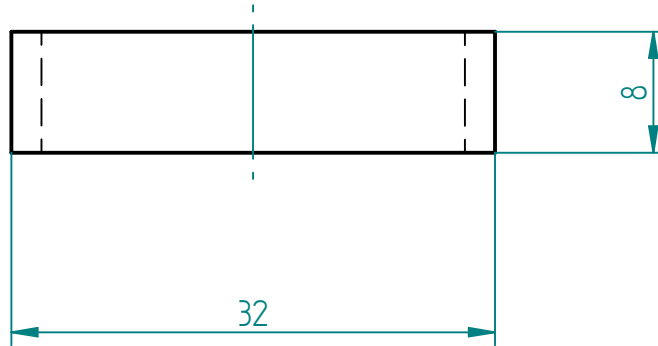


Veleučilište
u Bjelovaru

MIS 1.0041

Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
2:1	2				

Naknada za:
Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:

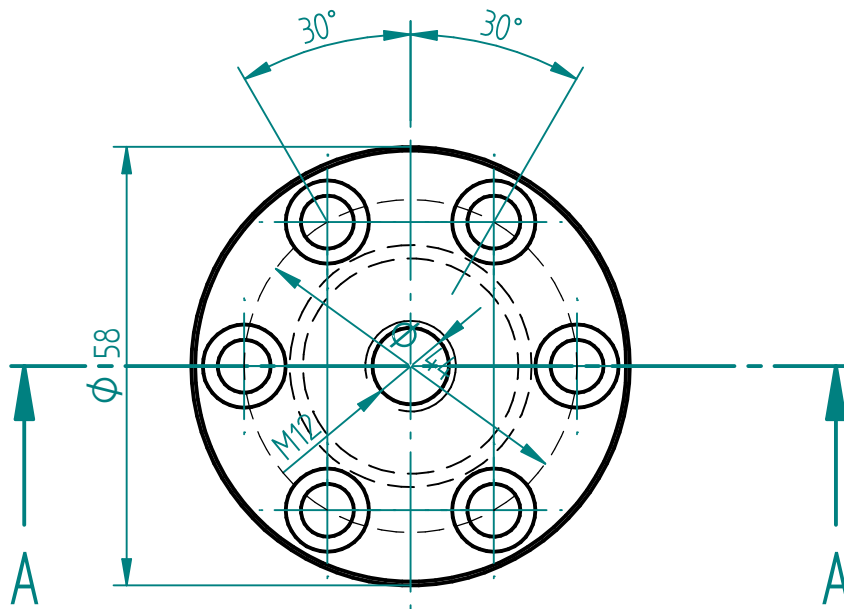
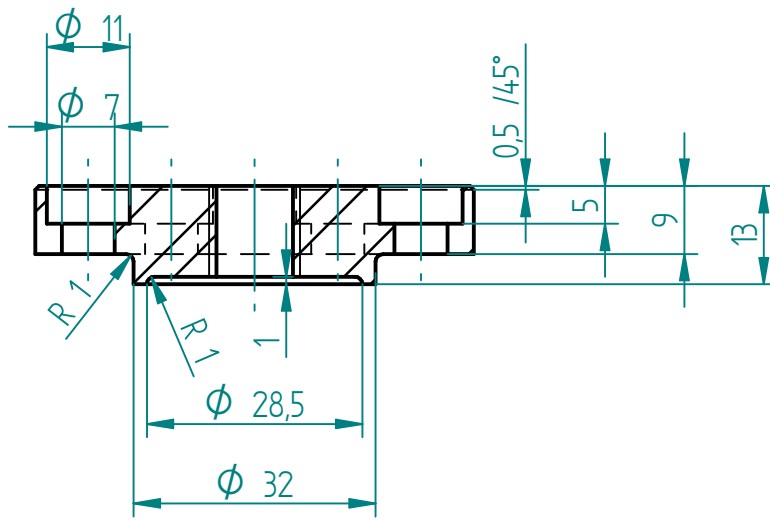
Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	1	C.O361	

Naziv:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
ČAHURA		
Za proizvod: ZPC - 32		
Naknada za:		
Zamjenjeno za:		

 Veleučilište u Bjelovaru	2.115.9014.

PRESJEK A-A



Posebni zahtjevi:

Listova 1
List broj 1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
1:1	1	Č.1531	

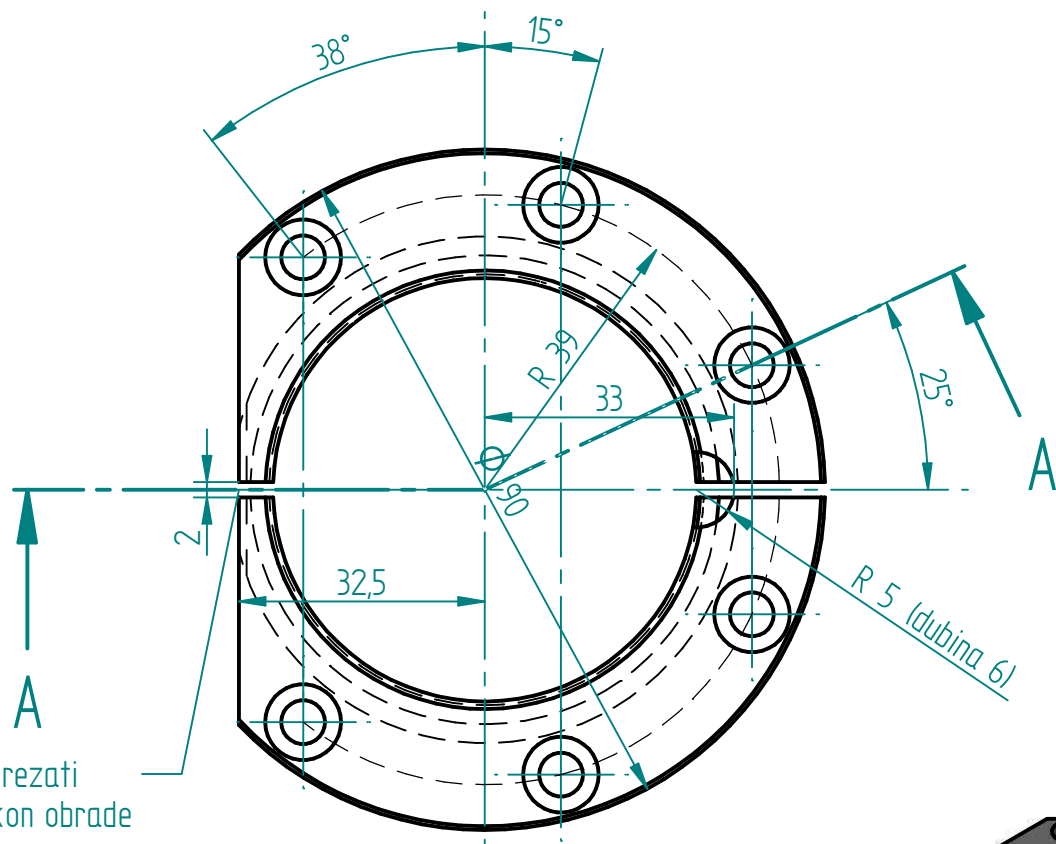
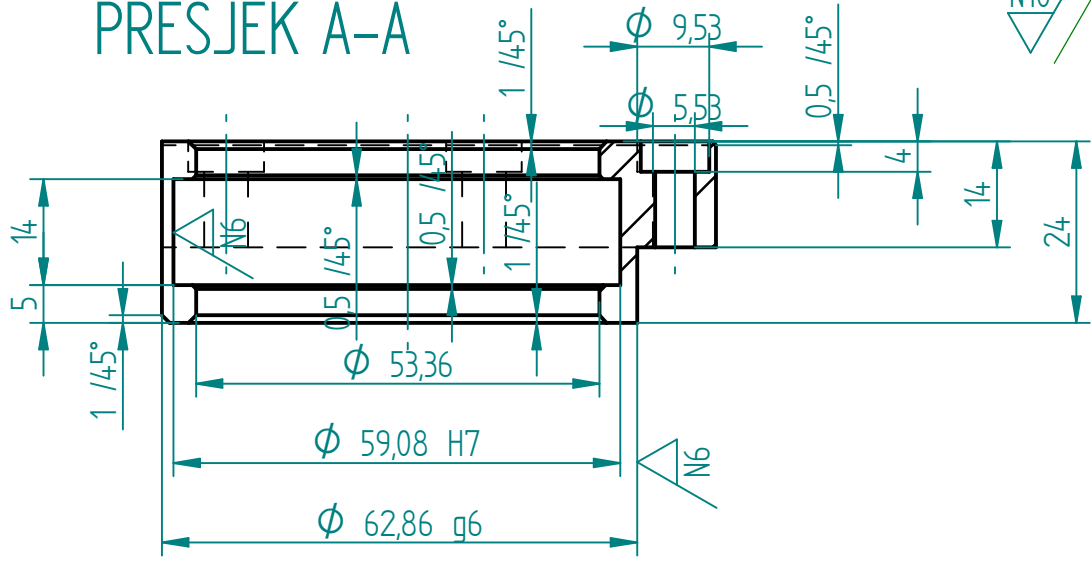
Naziv:	Za proizvod:
PRITEZNI PRSTEN	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:


Veleučilište u Bjelovaru
2.116.9014.
 Naknada za:
 Zamjenjeno za:

$\phi 67g$	-0,01
	-0,029
$\phi 62H$	+0,03
	0

PRESJEK A-A


N10 / N6

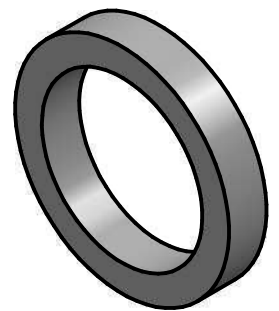
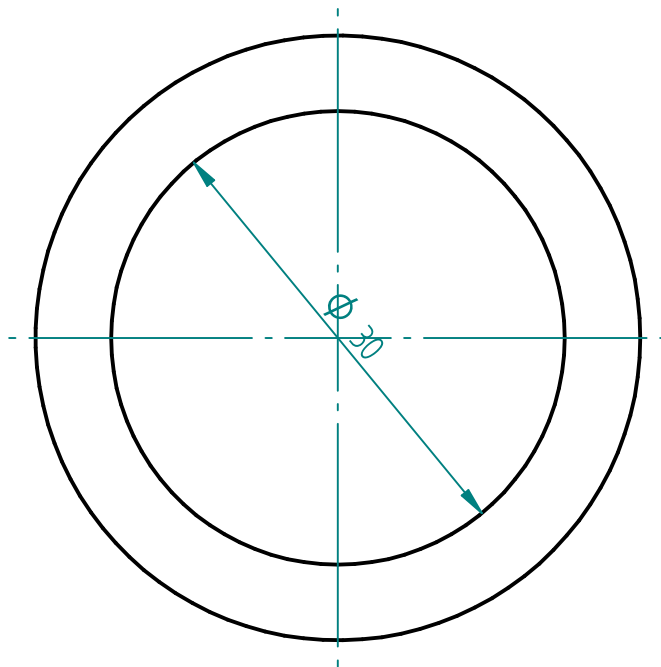
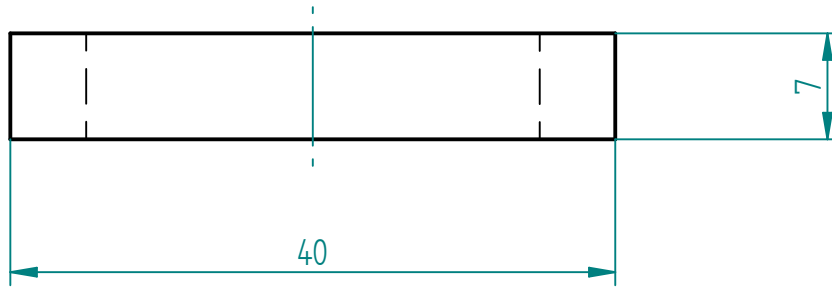


prerezati nakon obrade



M 1:2

Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		NOSAČ LEŽAJA DONJI		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32	2.118.9014	
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.č.kg:	B.č.kg:	Naknada za:
1:1	1	Č.1531		0,353		Zamjenjeno za:



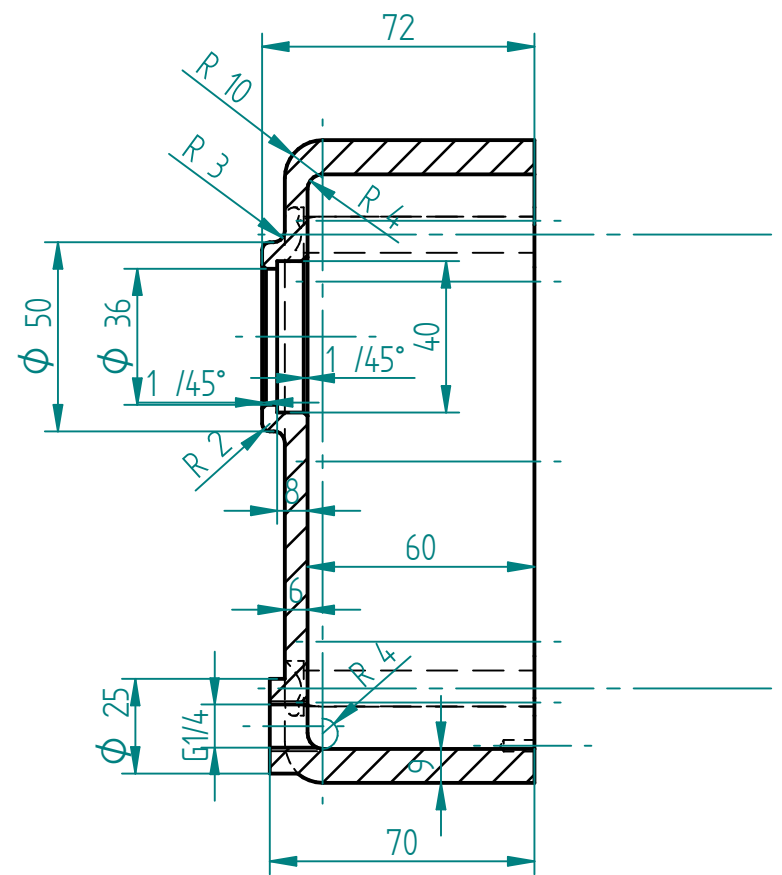
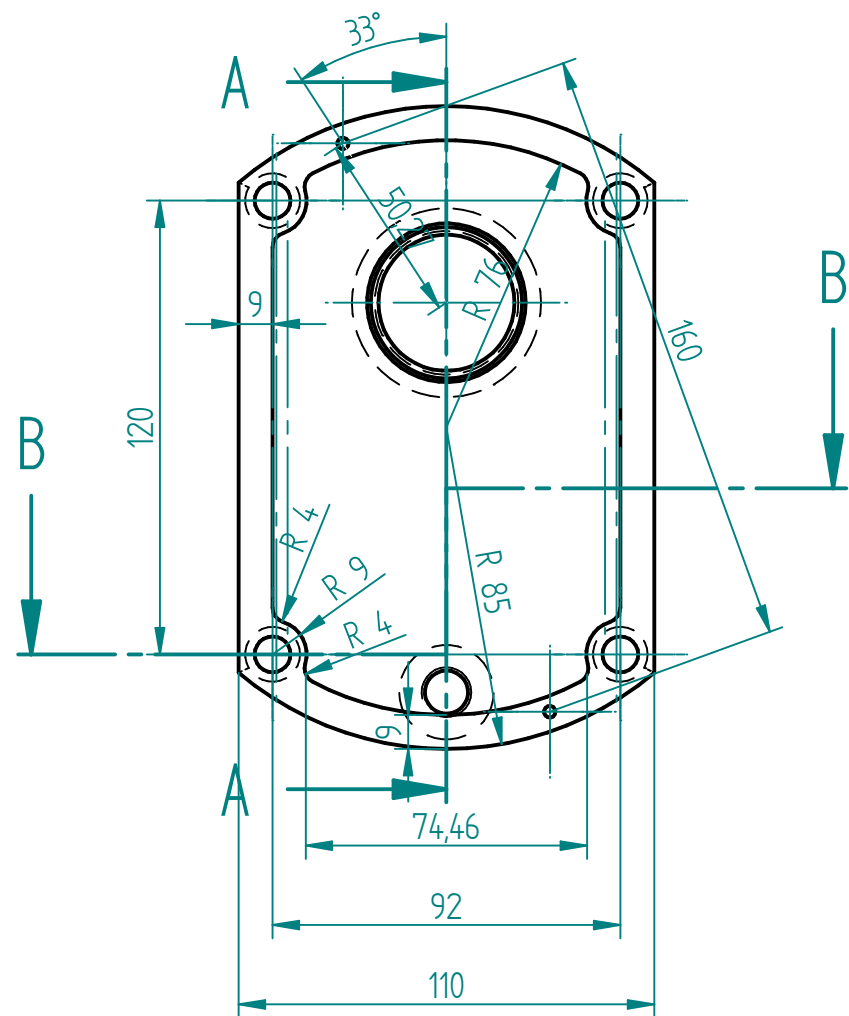
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

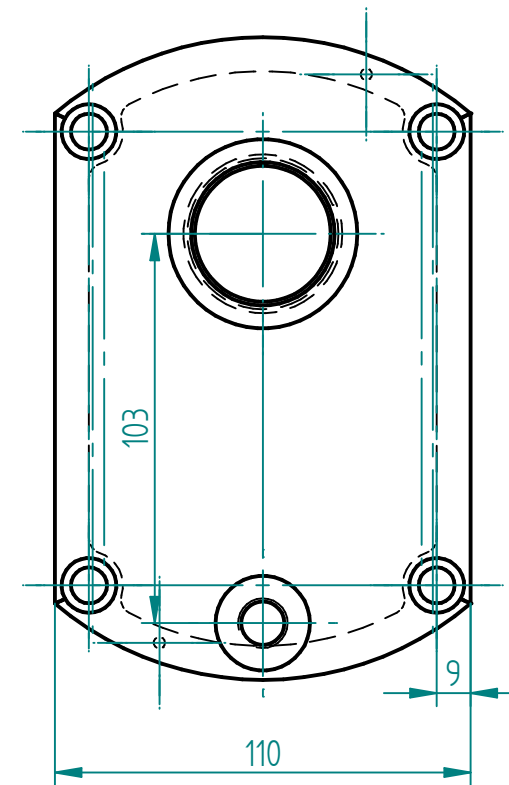
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	1	SL 20	

Naziv:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
OSOVINSKA BRTVA		
Za proizvod: ZPC - 32		

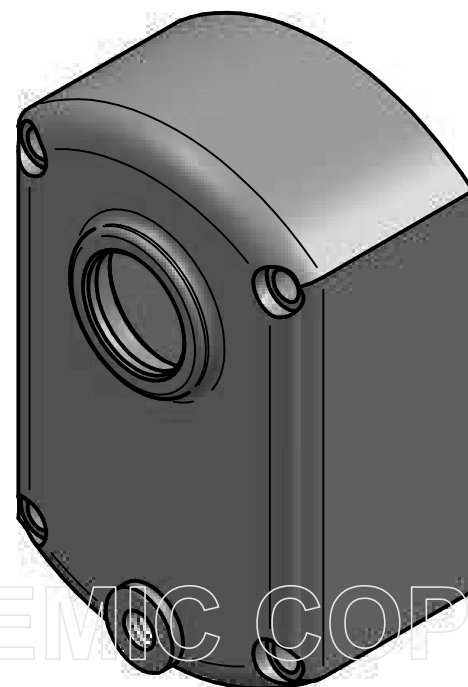
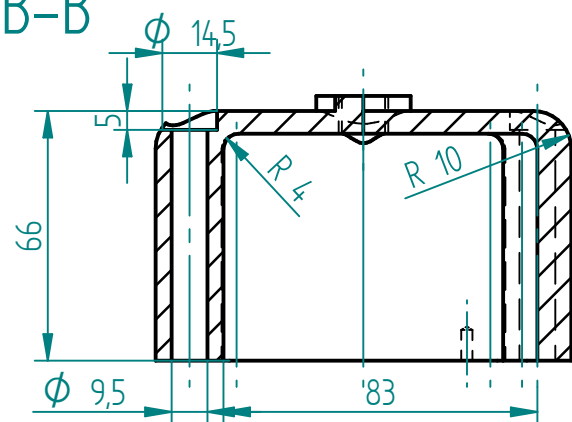
 Veleučilište u Bjelovaru	MIS 1.0042
	Naknada za: Zamjenjeno za:




PRESJEK A-A



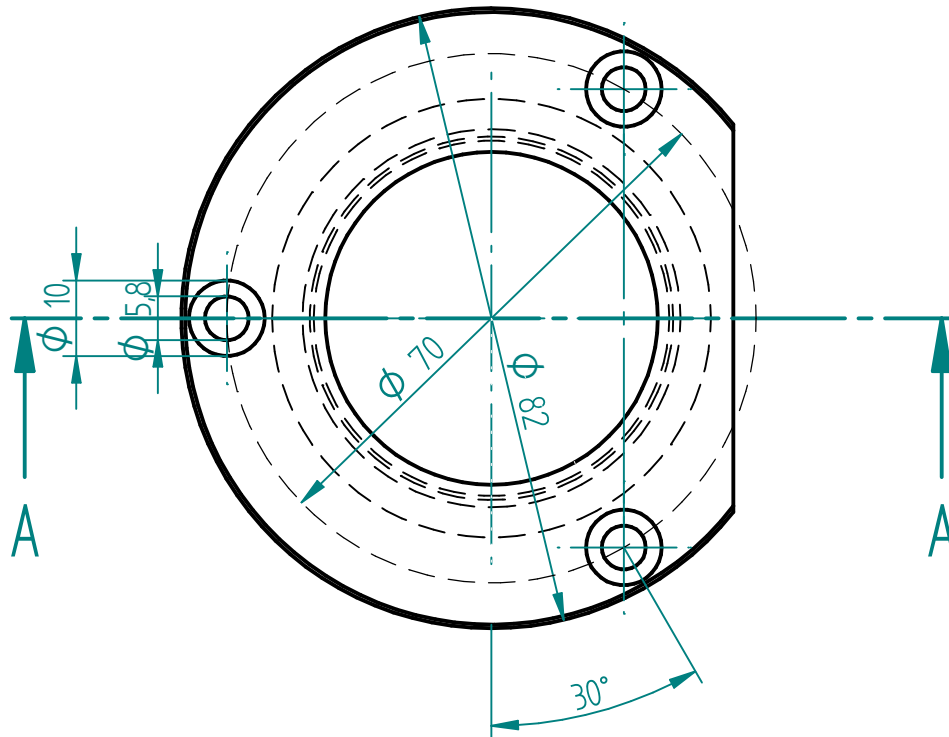
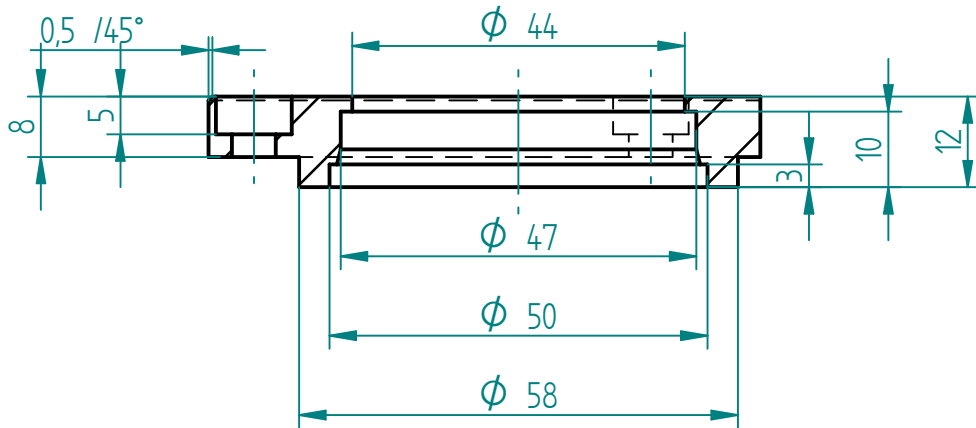
PRESJEK B-B



Posebni zahtjevi:						Listova	1
						List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:		 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		POKLOPAC NOSAČA			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32		2.120.9014.	
Pregledao:							
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Naknada za:	
1:2	1	SL 20		2,537		Zamjenjeno za:	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

PRESJEK A-A



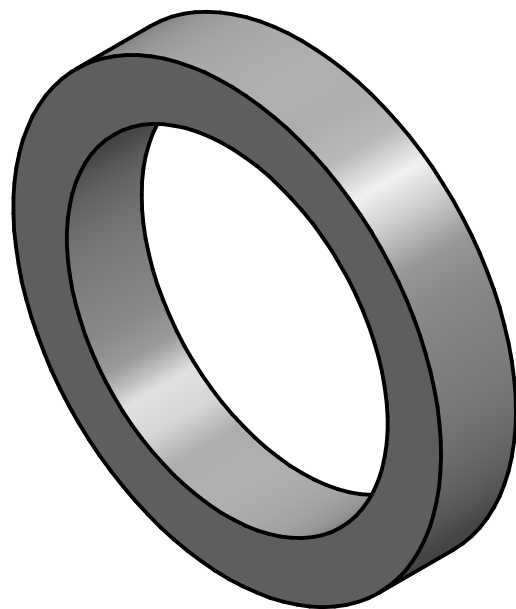
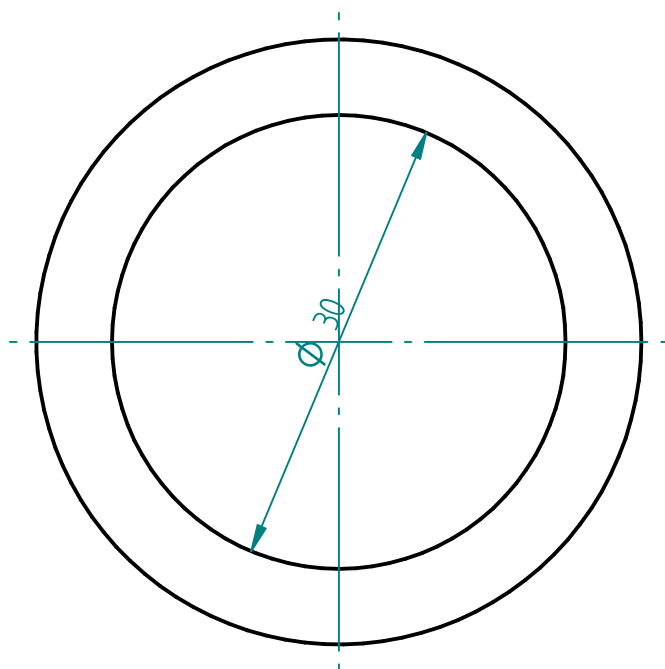
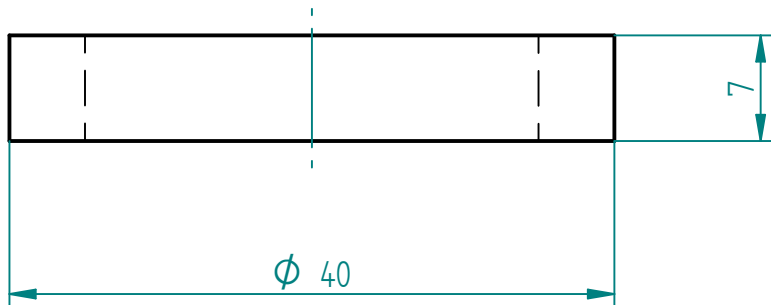
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
1:1	2	Č.0361	

Naziv:	Za proizvod:
POKLOPAC LEŽAJA	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:

 Veleučilište u Bjelovaru	2.122.9014.
	Naknada za: Zamjenjeno za:



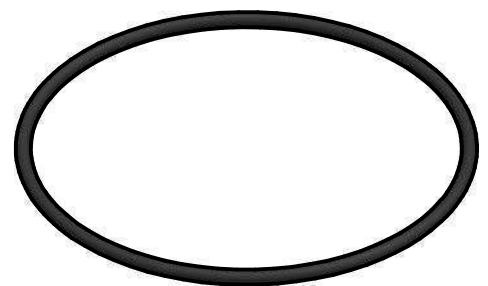
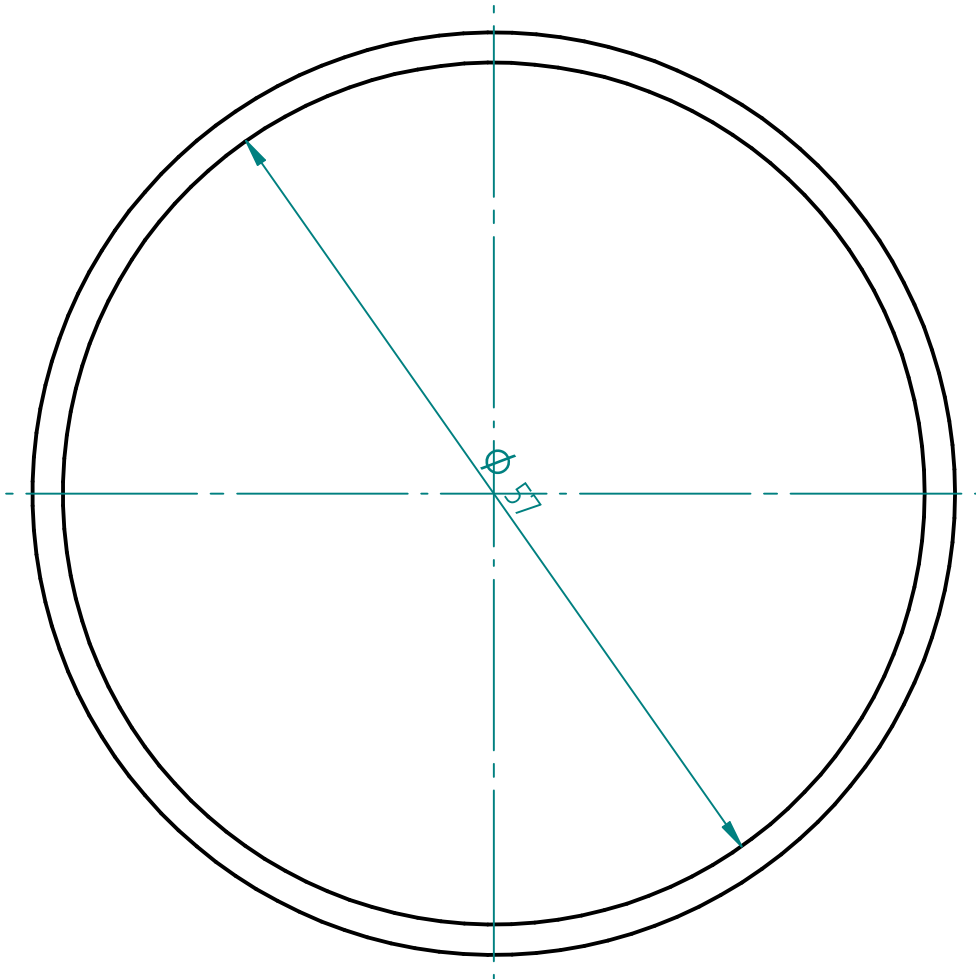
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
1:1	2	NBR	

Naziv:	Za proizvod:
OSOVINSKA BRTVA	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:

 Veleučilište u Bjelovaru	MIS 1.0042
	Naknada za: Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:

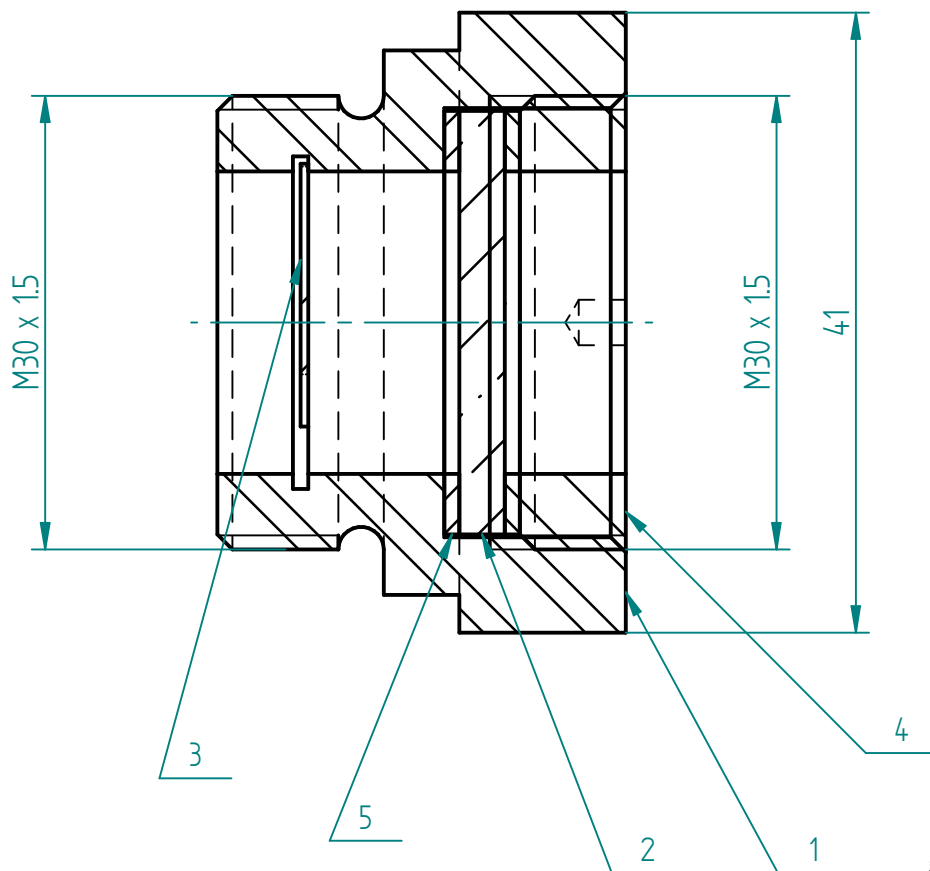
Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	2	NBR	

Naziv:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
"O" PRSTEN		
Za proizvod: ZPC - 32		
Naknada za:		
Zamjenjeno za:		




Veleučilište
u Bjelovaru

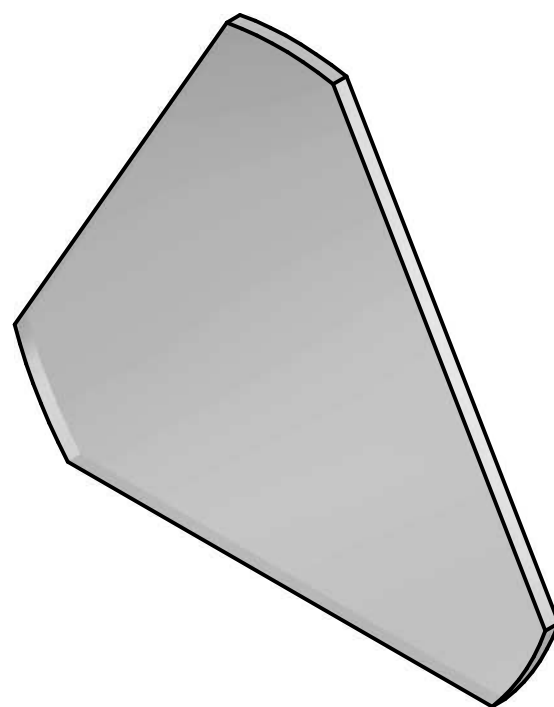
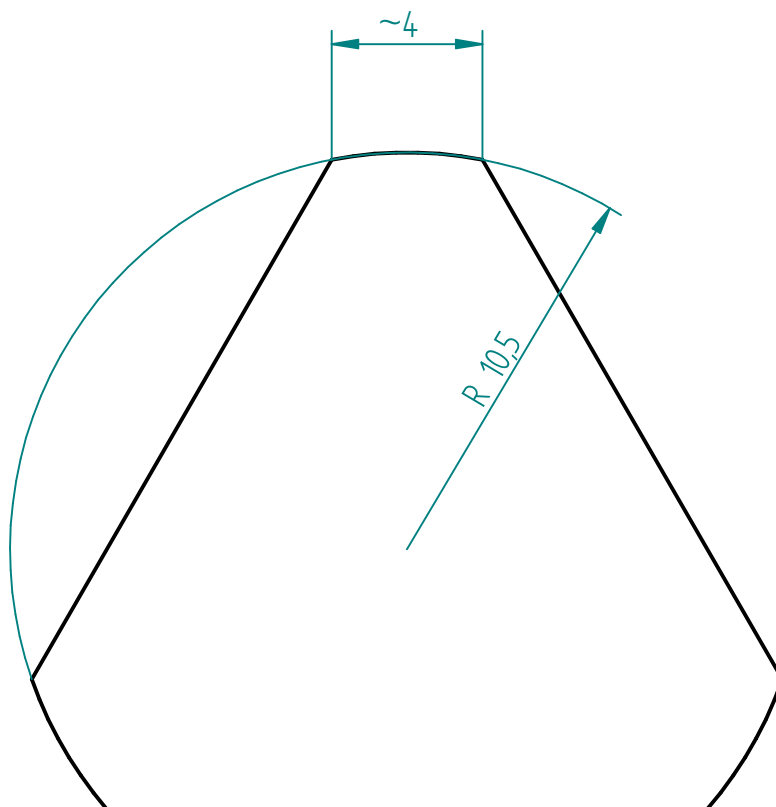


Poz.	Naziv	Oznaka	Kom.	Materijal
1	Kuciste uljokaza	41.501.340	1	NL42
2	Staklo	41.503.340	1	Staklo
3	Plastika	41.505.340	1	Plastika
4	Matica	41.502.340	1	NL42
5	Brtva		2	Klingerit


Posebni zahtjevi:

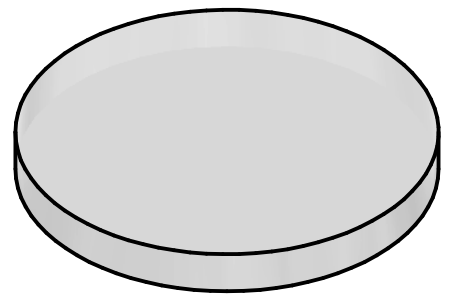
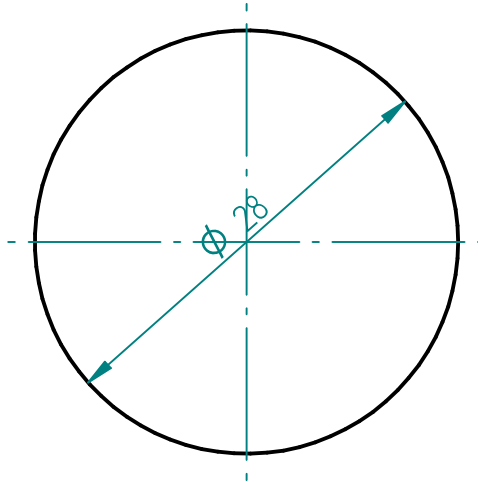
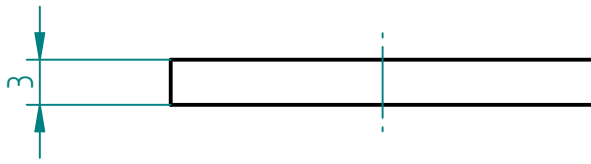
Listova	1
List broj	1


Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru 45.500.341	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		ULJOKAZ Za proizvod: ZPC - 32		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Pregledao:						
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:	Naknada za:
2:1	1	-				Zamjenjeno za:



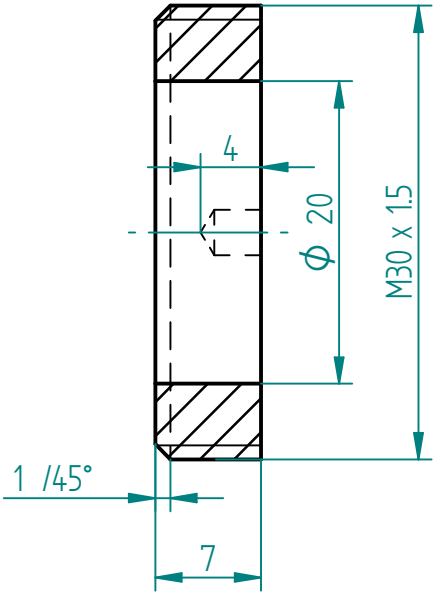
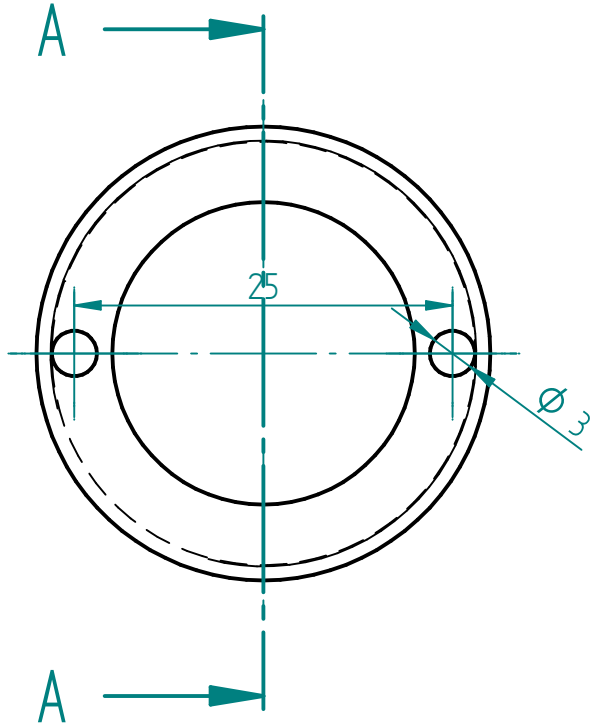
NAPOMENA:
Materijal - bijela kruta plastika

Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru	41.505.341
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		PLASTIKA		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Pregledao:				Za proizvod: ZPC - 32		
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:	Naknada za:
5:1	1	Plastika				Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv: STAKLO	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Pregledao:					Za proizvod: ZPC - 32	41.503.341
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Naknada za:
2:1	1	Staklo				Zamjenjeno za:

PRESJEK A-A



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum: 1.9.2018.	Ime i prezime: Marin Šunjo	Potpis:
Razradio:			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			

Naziv:	MATICA M 30x1,5
Za proizvod:	

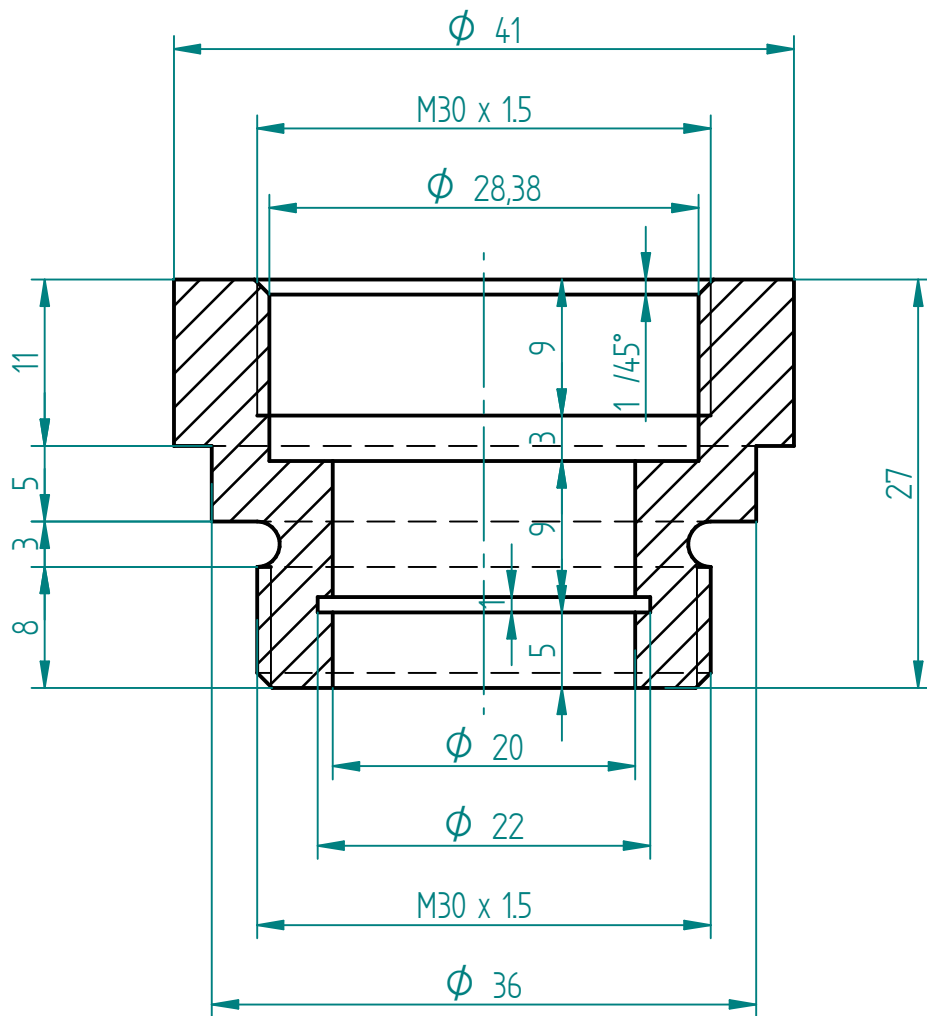


Veleučilište
u Bjelovaru

41.502.341

Mjerilo: 2:1	Kom. za objekt: 1	Materijal: NL42	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:
--------------	-------------------	-----------------	---------------	----------	----------

Naknada za:
Zamjenjeno za:



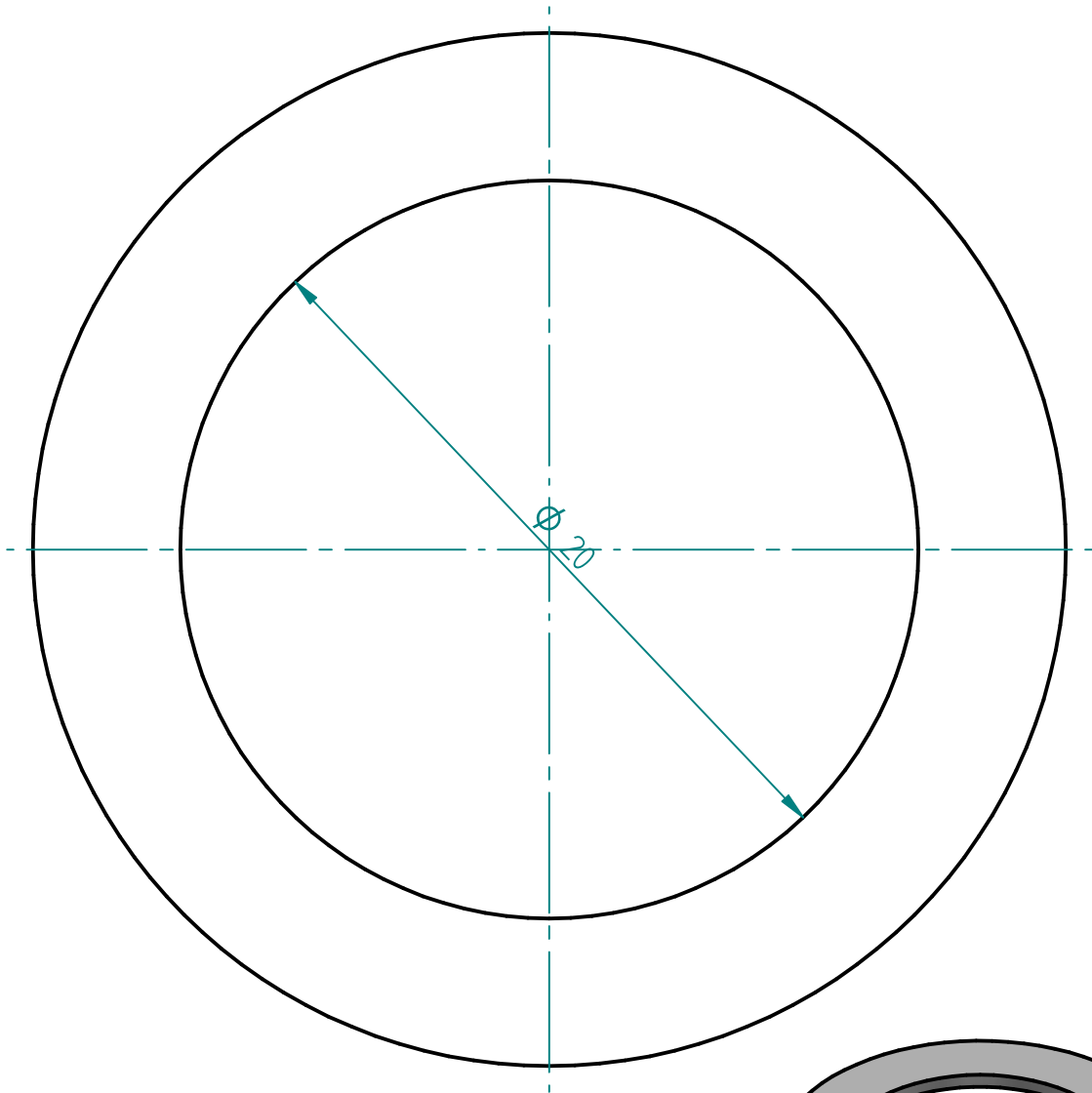
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

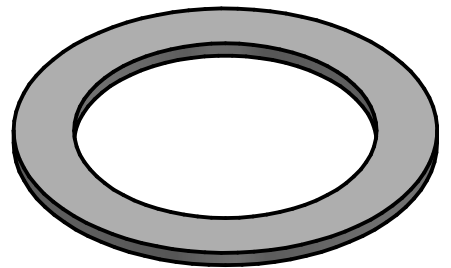
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	1	NL42	

Naziv:	Za proizvod:
KUČIŠTE ULJOKAZA	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:

 Veleučilište u Bjelovaru	41.501.341
	Naknada za: Zamjenjeno za:



M 2:1



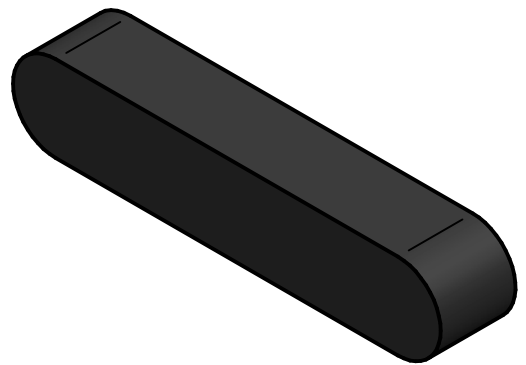
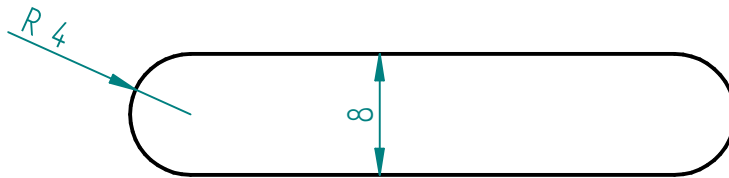
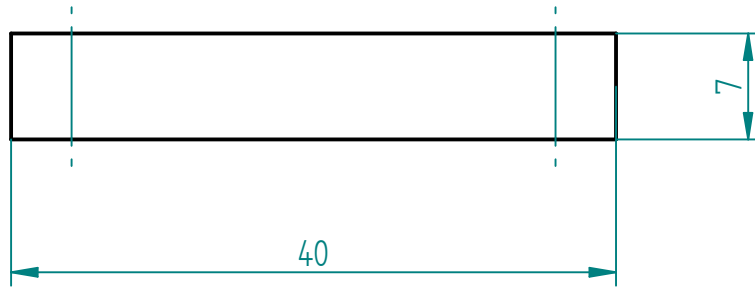
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
5:1	2	Klingerit	

Naziv:	Za proizvod:
BRTVA	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:

 Veleučilište u Bjelovaru	41.500.341
	Naknada za: Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:

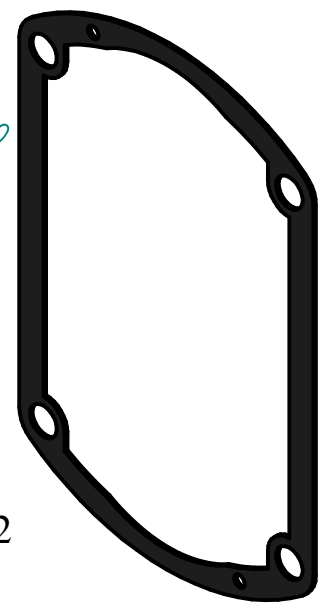
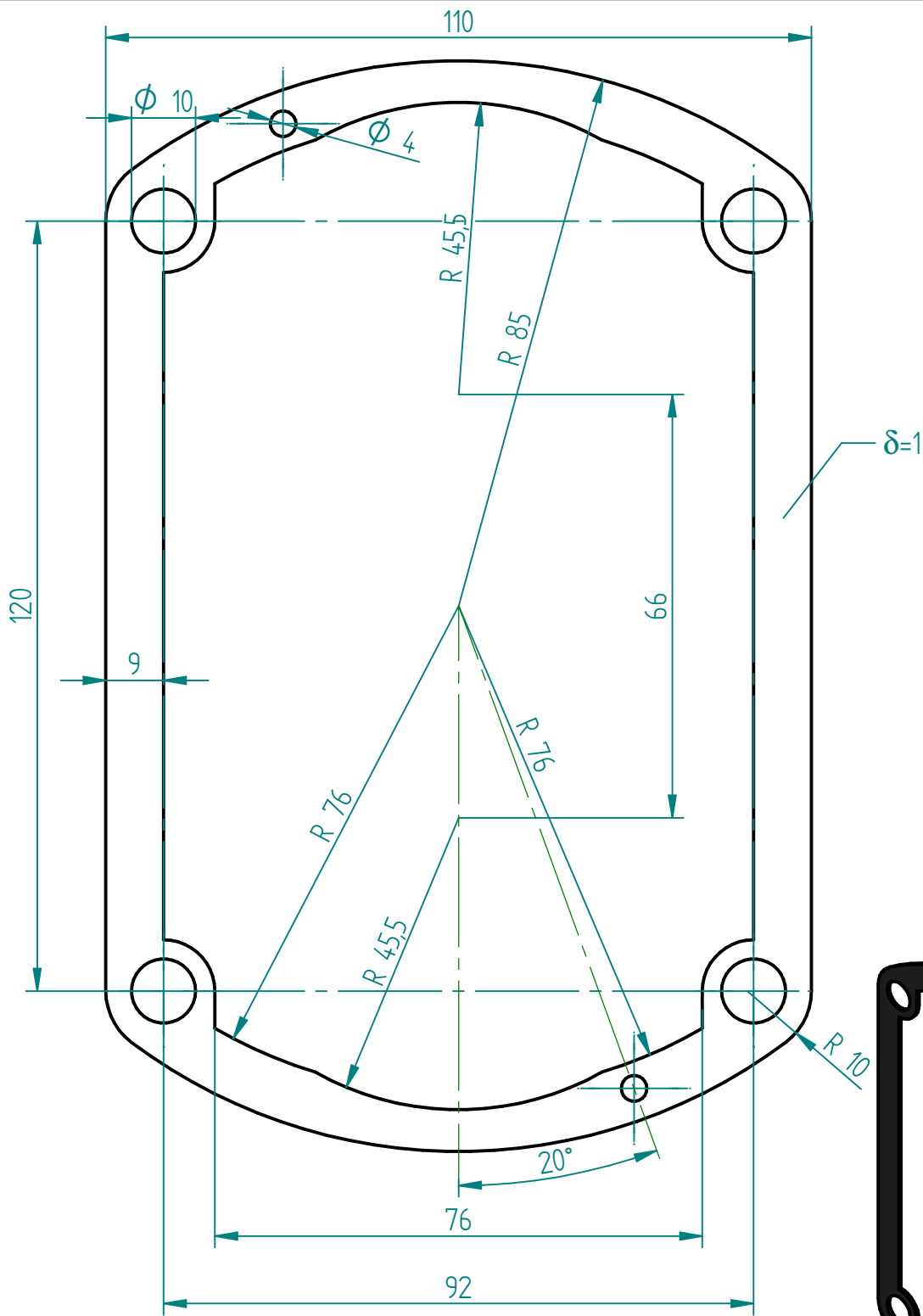
Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	
	1.9.2018.	Marin Šunjo		KLIN	
Razradio:					
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo			
Pregledao:				Za proizvod: ZPC - 32	
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
2:1	1	TESNIT	8x7x40		




Veleučilište
u Bjelovaru

Naknada za:
Zamjenjeno za:



M 1:2

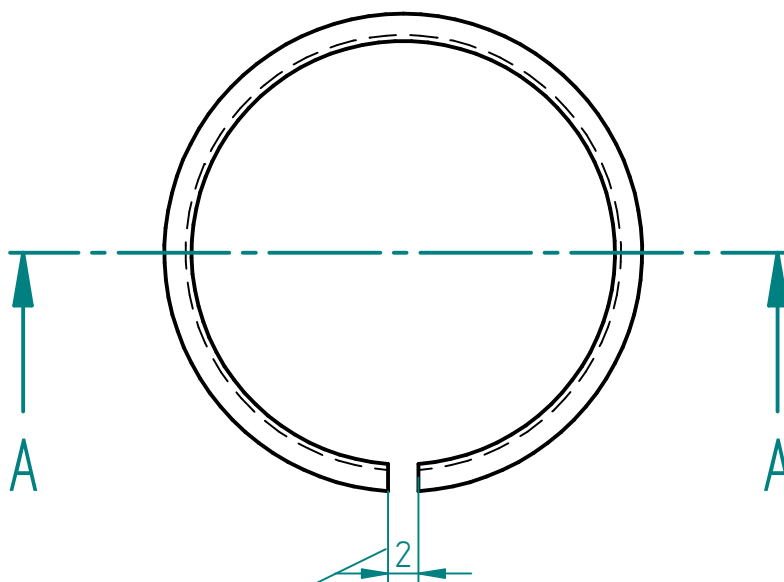
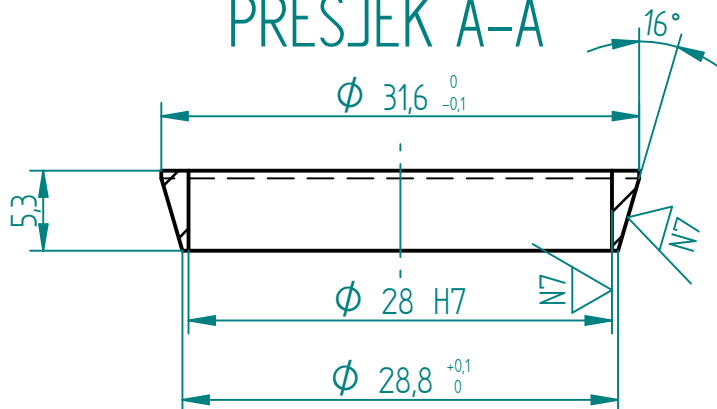
Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		BRTVA (iz nosača pumpe)		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32	2.132.9014.	
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:	Naknada za:
1:1	1	TESNIT				Zamjenjeno za:

Ø28 H7

+0,
0

N9 / N7

PRESJEK A-A



prerezati nakon obrade



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	3	Č.4732	

Naziv:	Za proizvod:
UNUTRAŠNJI PRSTEN	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:

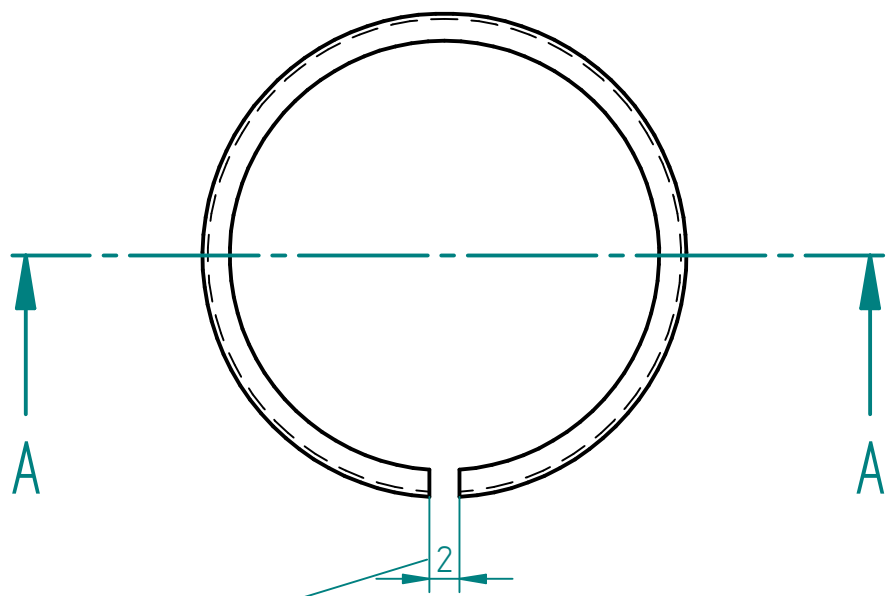
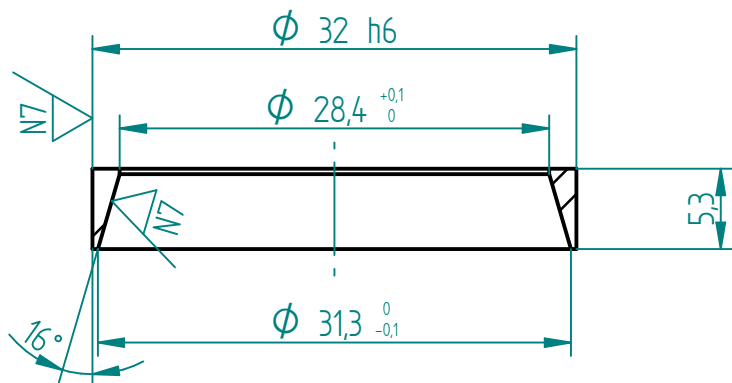

Veleučilište u Bjelovaru
2.134.9014
 Naknada za:
 Zamjenjeno za:

Ø32h6

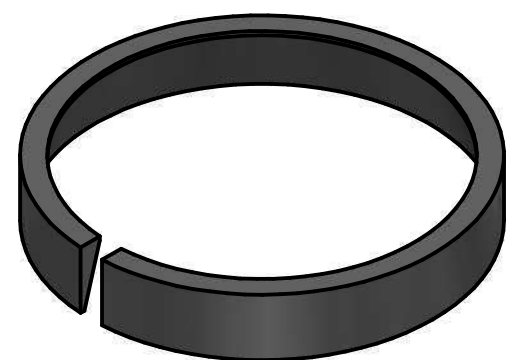
0
-0,016


N9 / / N7

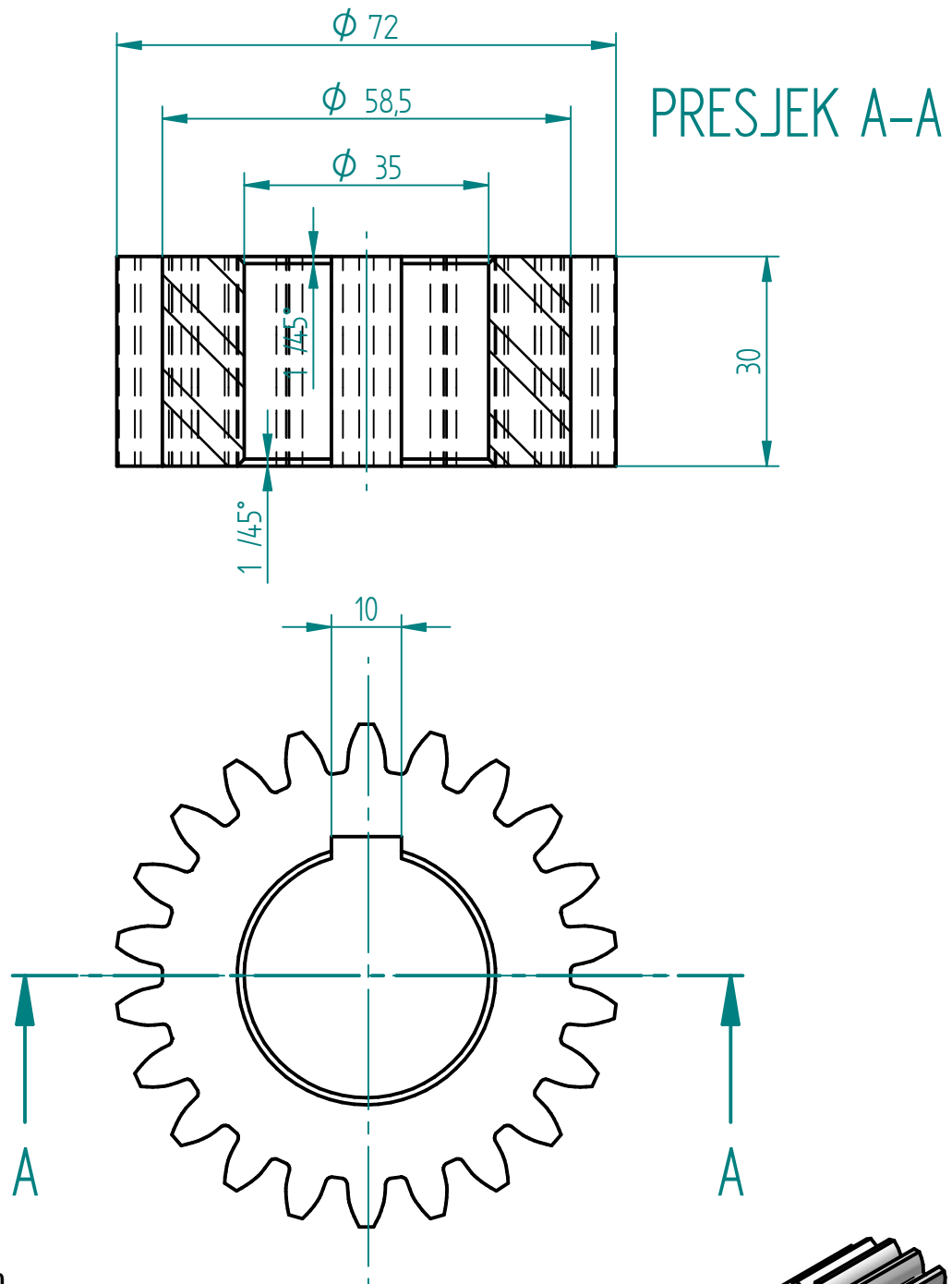
PRESJEK A-A



prerezati nakon obrade

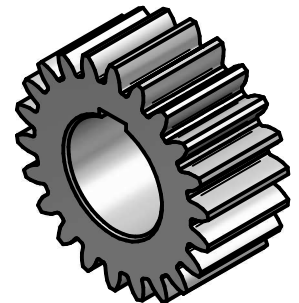


Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv: VANJSKI PRSTEN	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:						
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Pregledao:					Za proizvod: ZPC - 32	2.135.9014
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:	Naknada za:
2:1	3	Č.4732				Zamjenjeno za:



- modul $m = 3 \text{ mm}$
- broj zuba $z = 22$
- pomak profila $x_m = 0$
- kut nagiba $\alpha_n = 20^\circ$
- kut nagiba bočne linije $\beta = 0^\circ$
- mjera preko zuba $w_3 = 23,065$

M 1:2



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

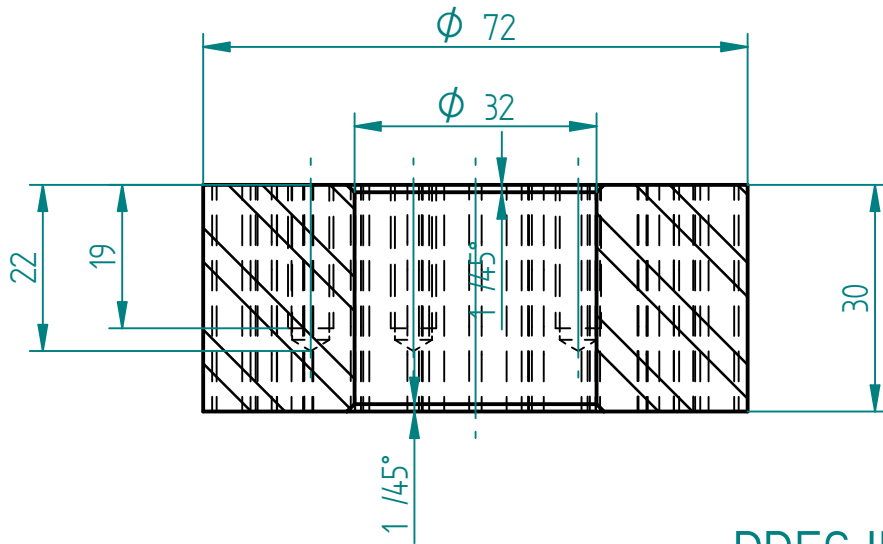
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		SINKRONI ZUPČANIK 1	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo			
Pregledao:				Za proizvod: ZPC - 32	
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
1:1	1	C.4320			



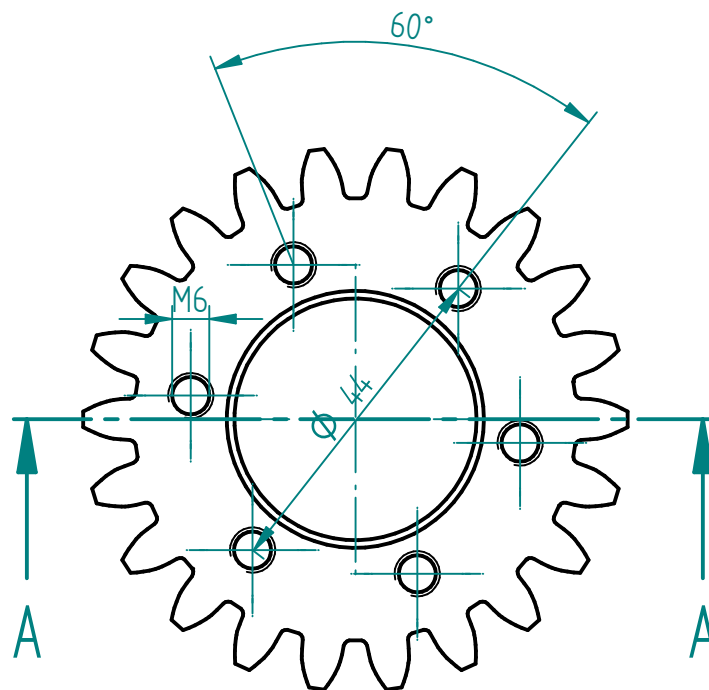
Veleučilište
u Bjelovaru

2.110.9001

Naknada za:
Zamjenjeno za:

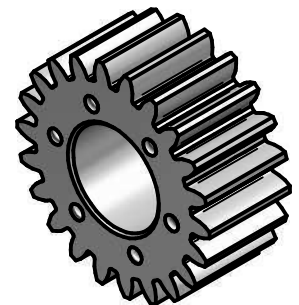


PRESJEK A-A




- modul $m = 3$ mm
- broj zuba $z = 22$
- pomak profila $xm = 0$
- kut nagiba $\alpha_n = 20^\circ$
- kut nagiba bočne linije $\beta = 0^\circ$
- mjera preko zuba $w_3 = 23,065$

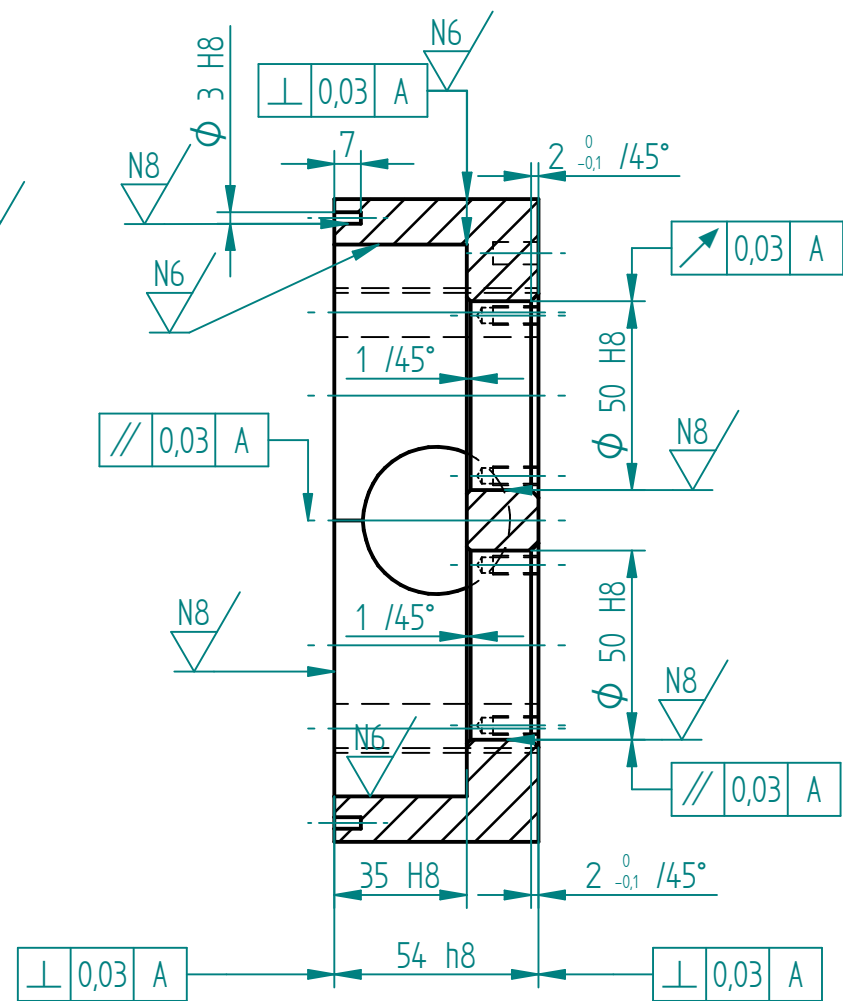
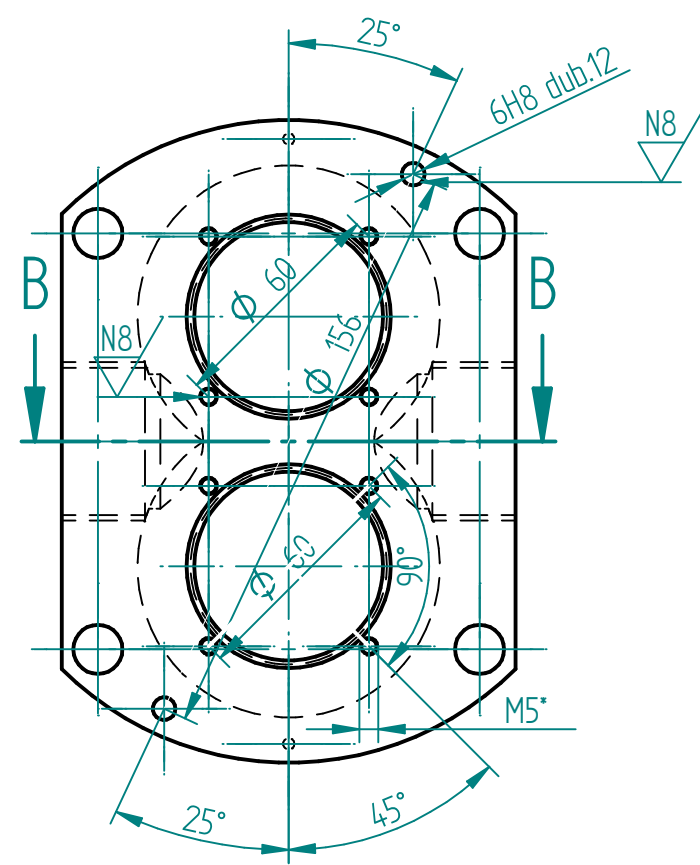
M 1:2



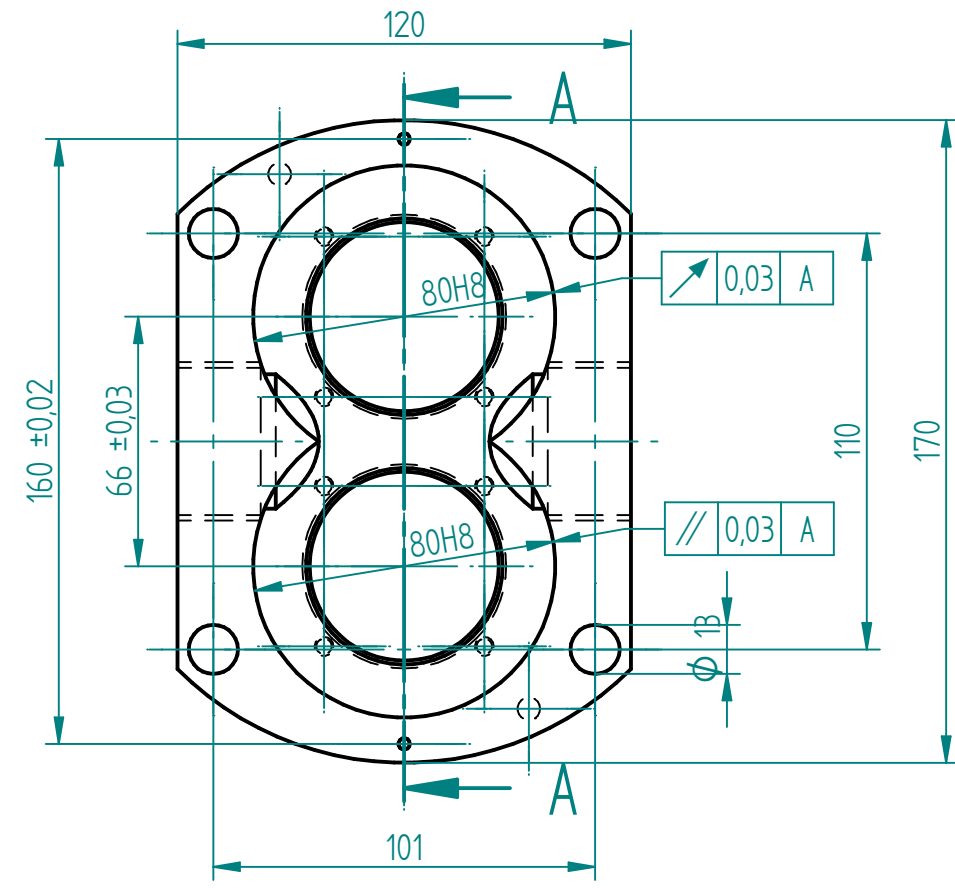
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

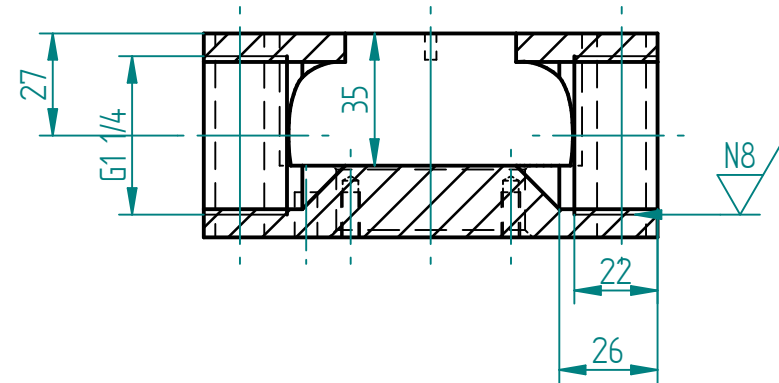
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru 2.111.9001
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		SINKRONI ZUPČANIK 2	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32	
Pregledao:					
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
1:1	1	C.4320			
					Naknada za:
					Zamjenjeno za:



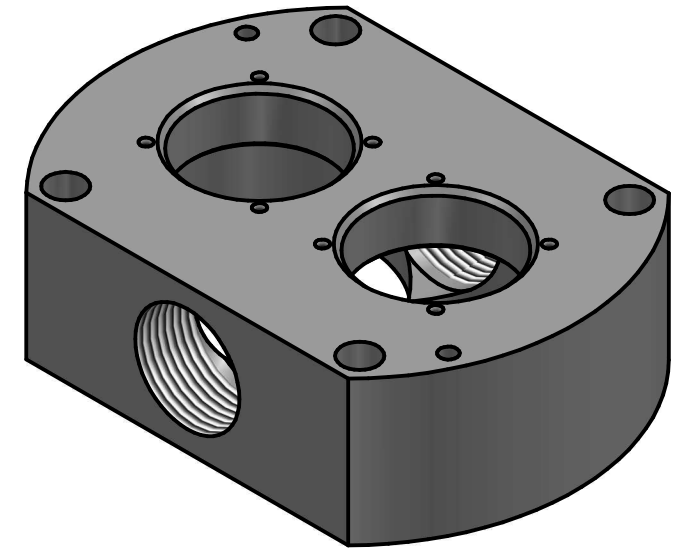
PRESJEK A-A



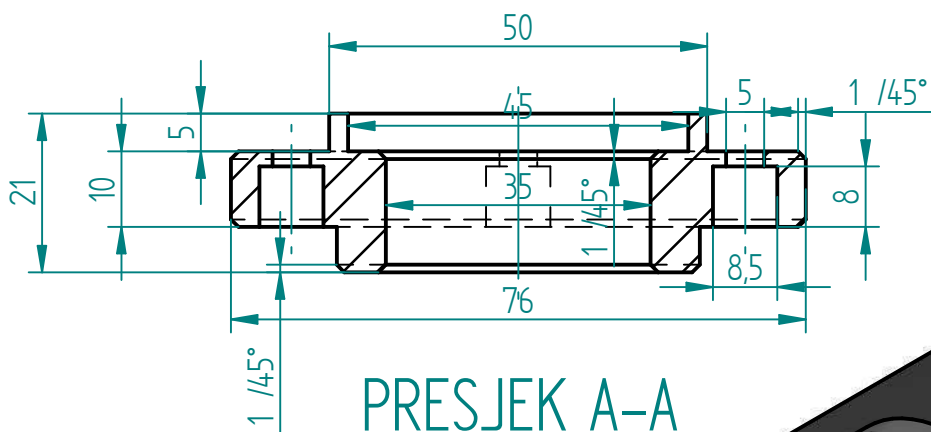
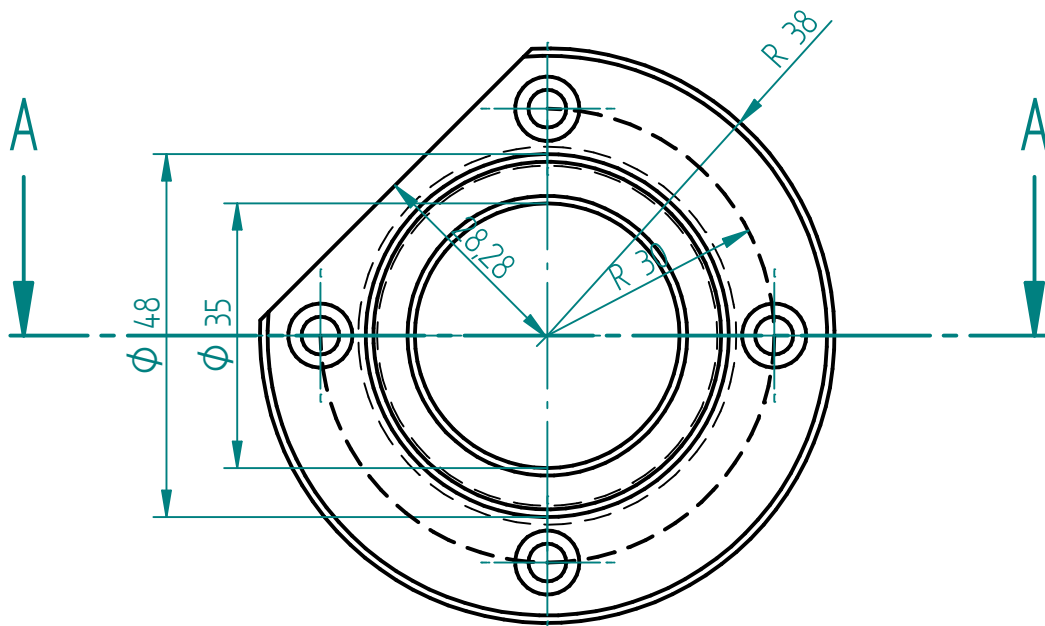
PRESJEK B-B



NAPOMENA:
 * Dubina bušenja 15, dub.navoja 12
 - Skinuti sve oštre bridove 0,5/45°



Posebni zahtjevi:						Listova	1
						List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	TIJELO PUMPE	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo					
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo					
Pregledao:				Za proizvod: ZPC - 32		2.001.9004	
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Naknada za:	
1:2	1	SL - 20		3,541		Zamjenjeno za:	



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

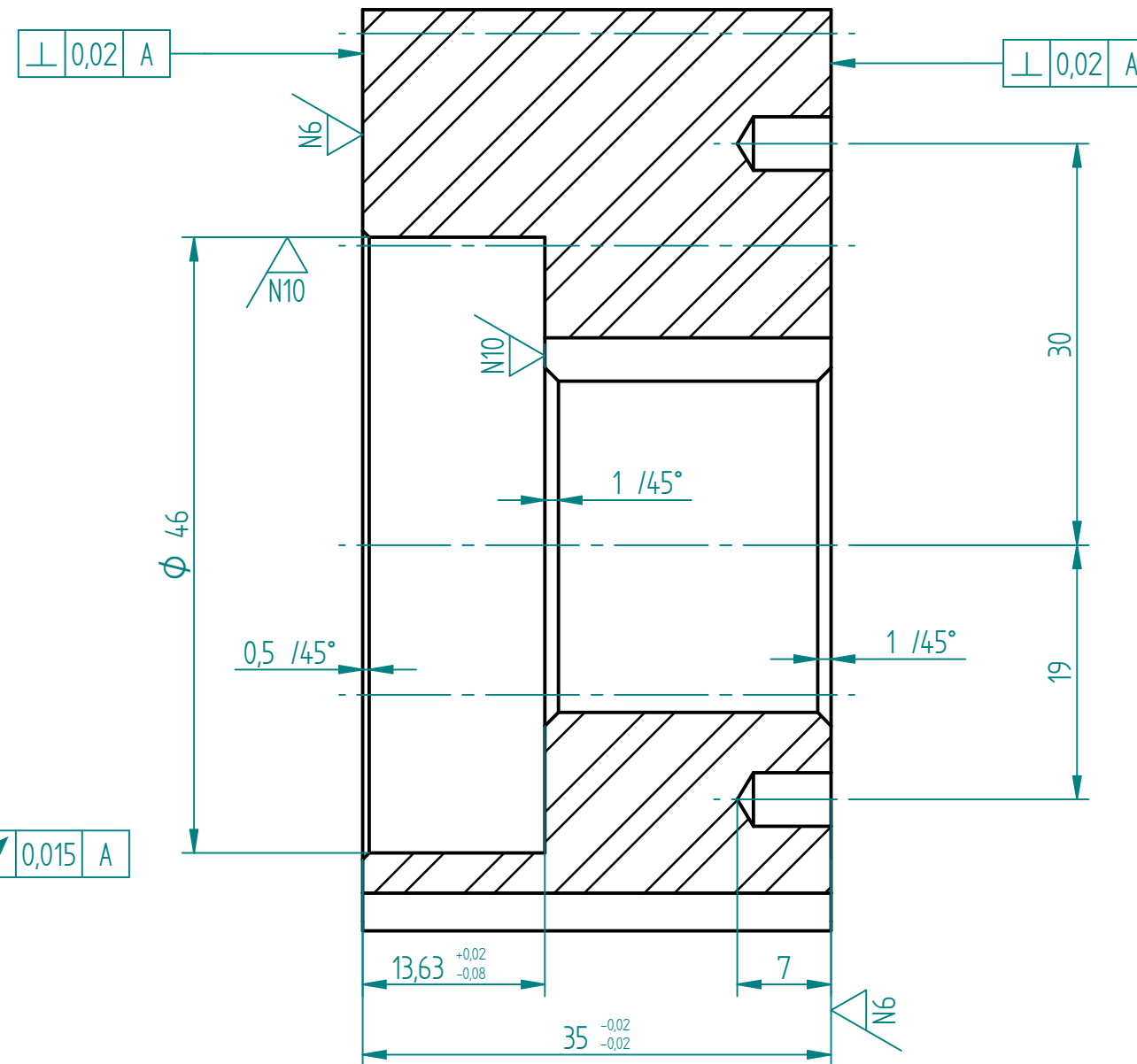
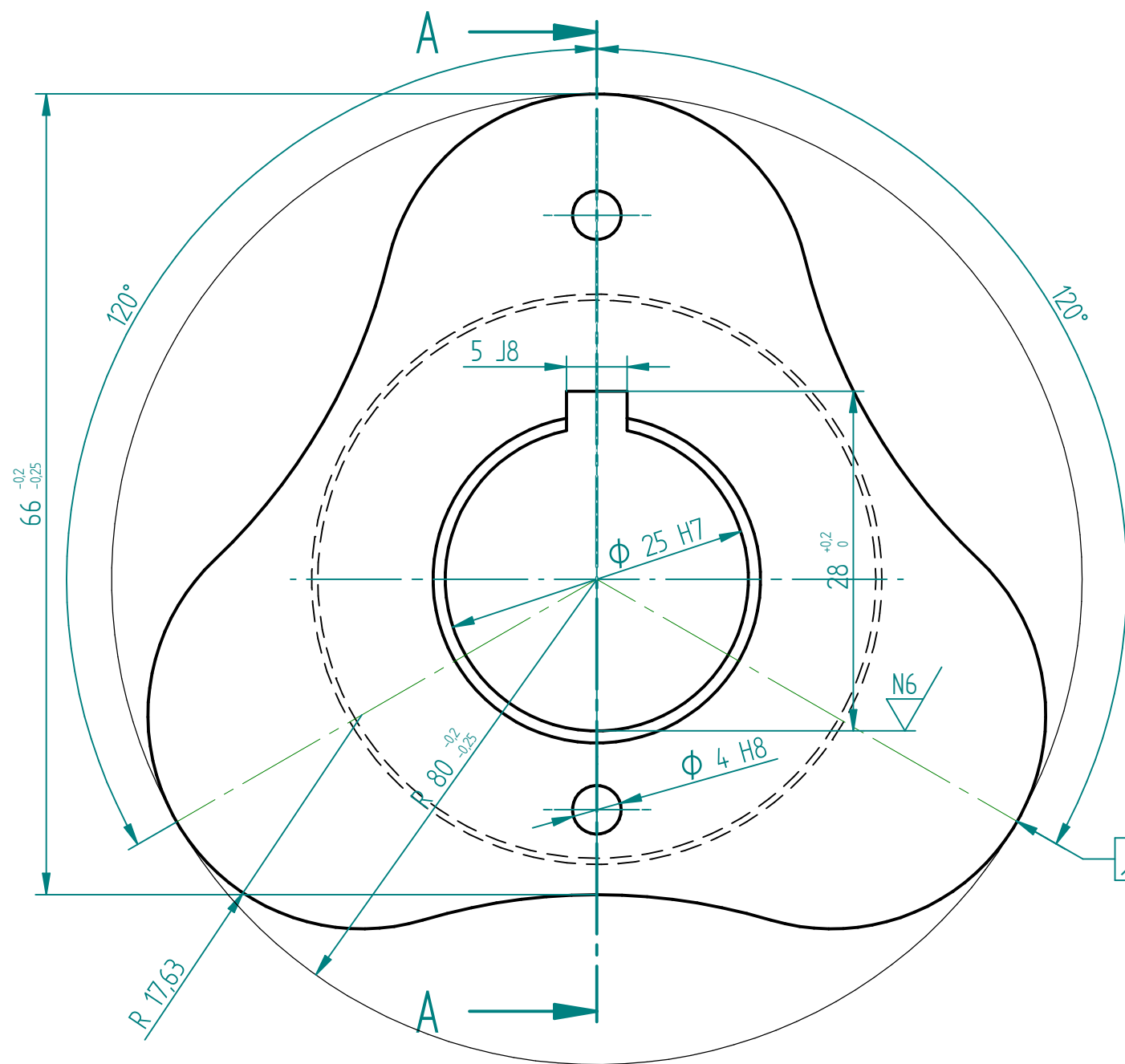
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
1:1	2	Č.0361	

Naziv:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
POKLOPAC BRTVE	0,288	
Za proizvod: ZPC - 32		
Naknada za:	Zamjenjeno za:	



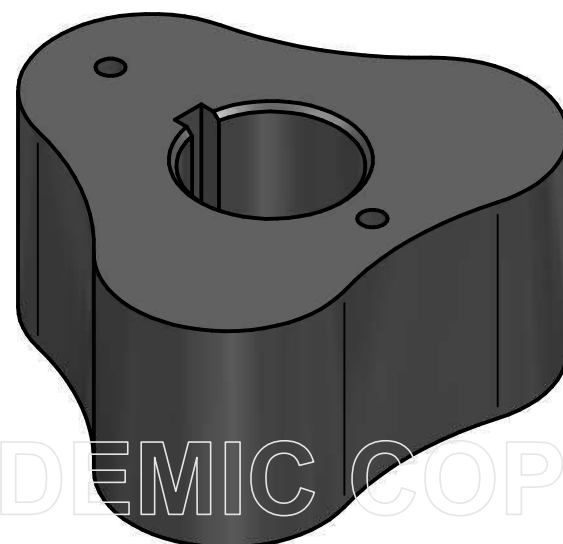
Veleučilište
u Bjelovaru

2.003.9014




PRESJEK A-A

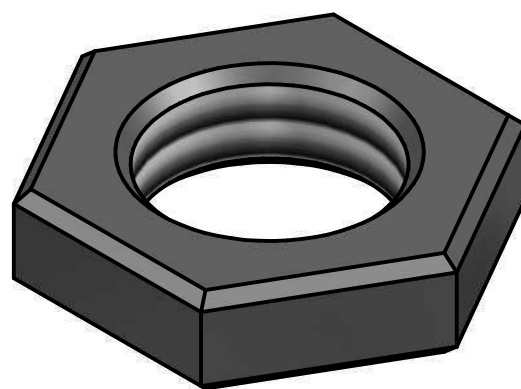
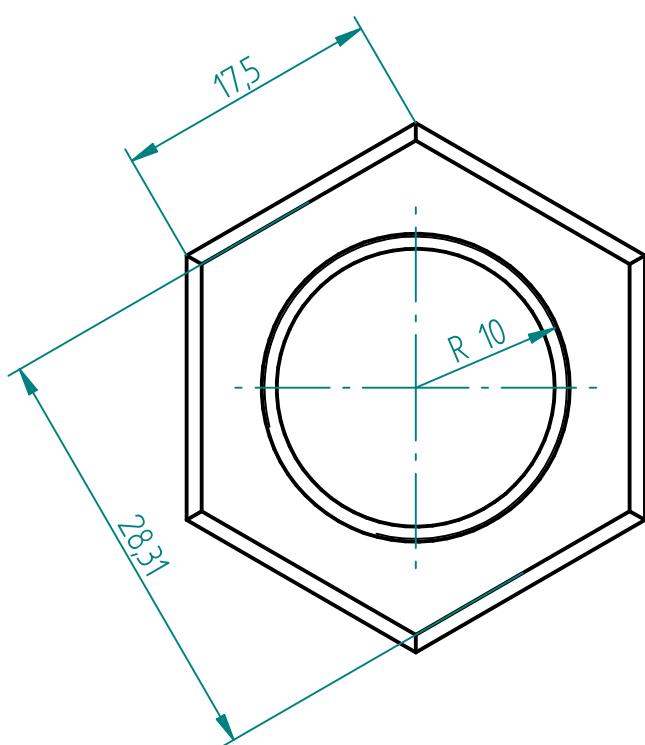
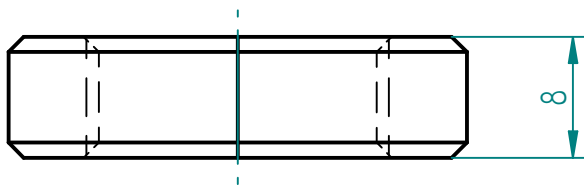
NAPOMENA: Provrte $\phi 4$ H8 bušiti u istom stezanju kada se obrađuje profil rotora



M 1:1

Posebni zahtjevi:						Listova	1
						List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:		 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		ROTOR			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32		2.012.9014	
Pregledao:							
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Naknada za:	
2:1	2	Č.1531		0,7		Zamjenjeno za:	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	2	Č.1531	

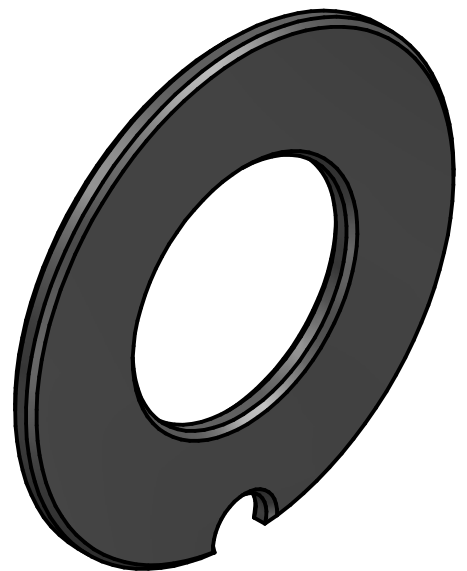
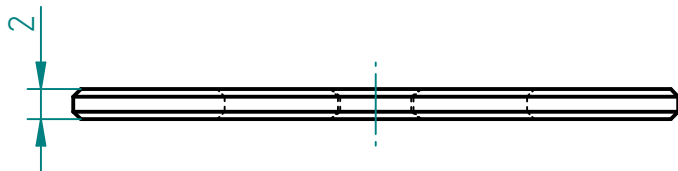
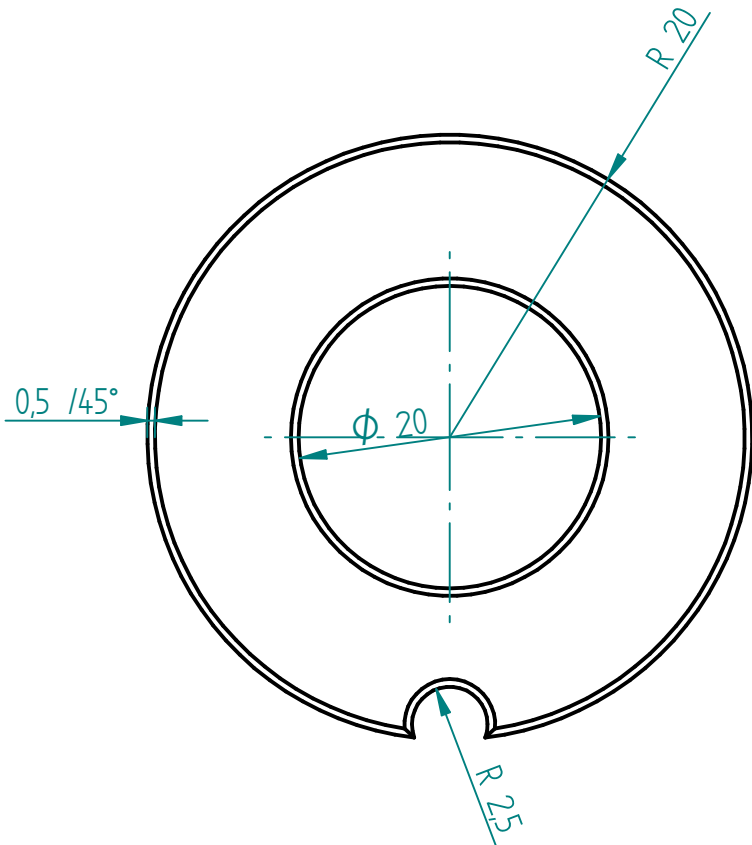
Naziv:	NAVRTKA
Za proizvod:	
N.ž.kg:	B.ž.kg:



Veleučilište
u Bjelovaru

2.013.9002

Naknada za:
Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:

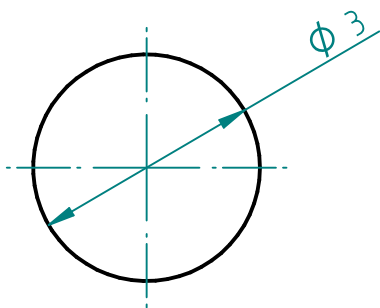
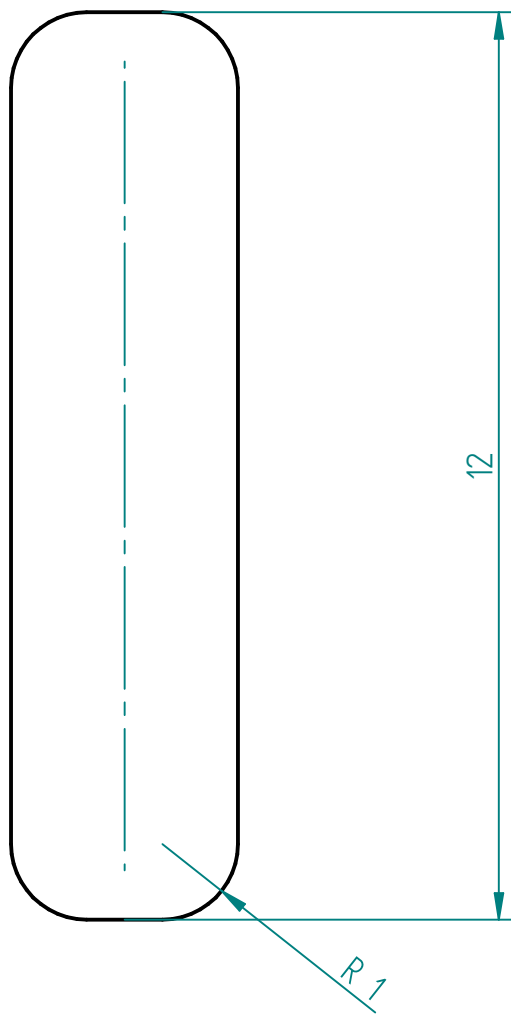
Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
2:1	2	C.1531	

Naziv:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
BRTVA		
Za proizvod: ZPC - 32		
Naknada za:		
Zamjenjeno za:		



Veleučilište
u Bjelovaru



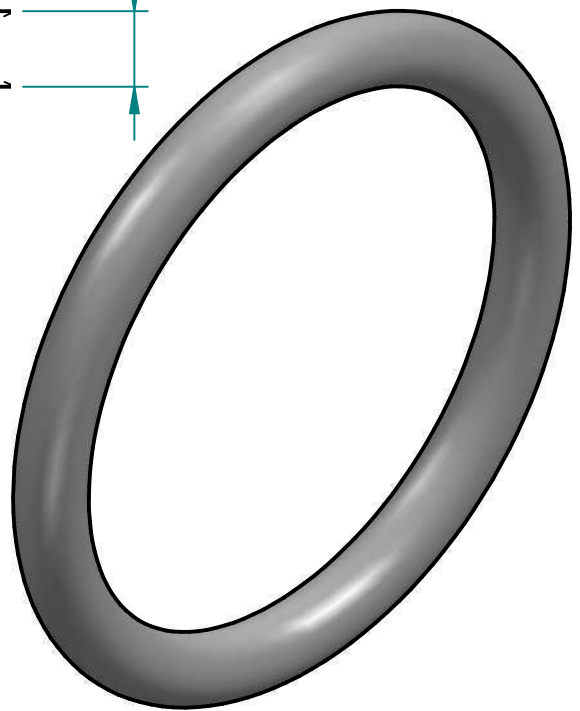
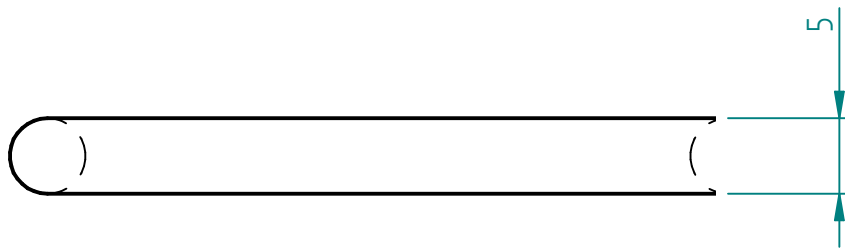
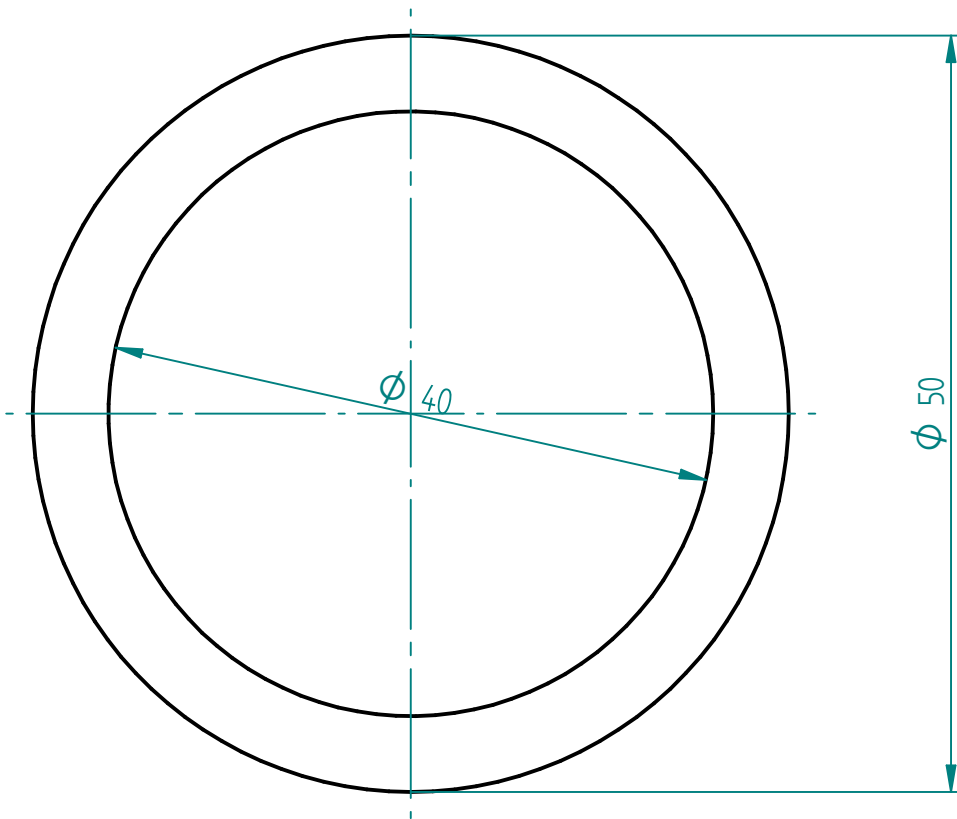
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
10:1	2	Č.1531	

Naziv:	ZATIK CILINDRIČNI
Za proizvod:	ZPC - 32
N.ž.kg:	B.ž.kg:

 Veleučilište u Bjelovaru	HRN M.C2.201
	Naknada za: Zamjenjeno za:



Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Razradio:			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			

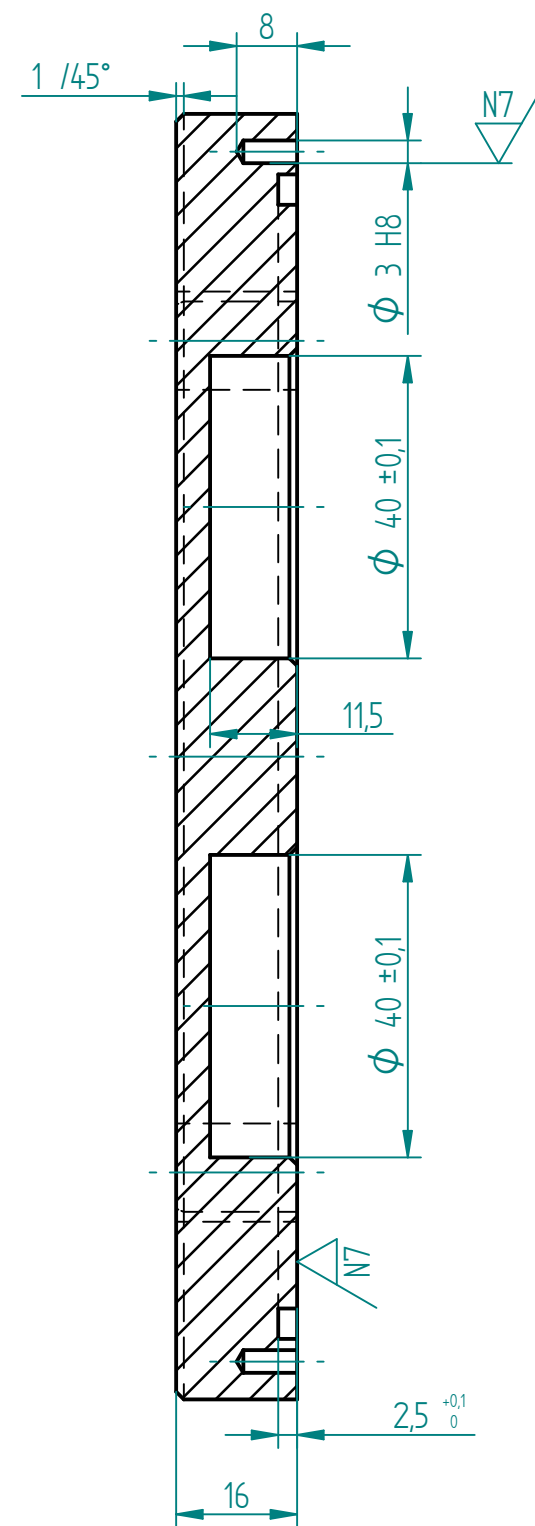
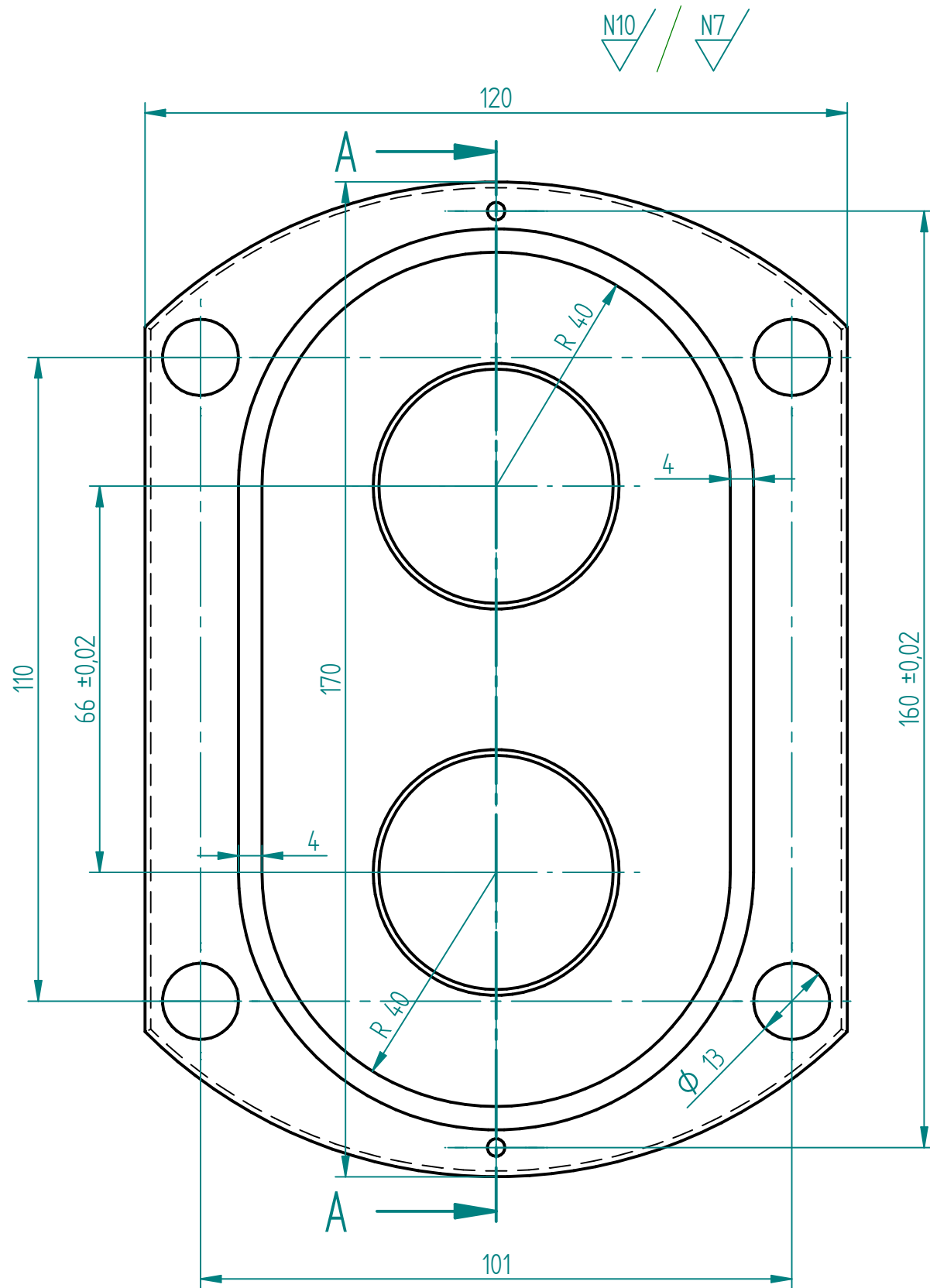
Naziv:	"O" PRSTEN	
Za proizvod:		ZPC - 32
N.ž.kg:		
B.ž.kg:		



Veleučilište
u Bjelovaru

Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:
2:1	1	VITON			

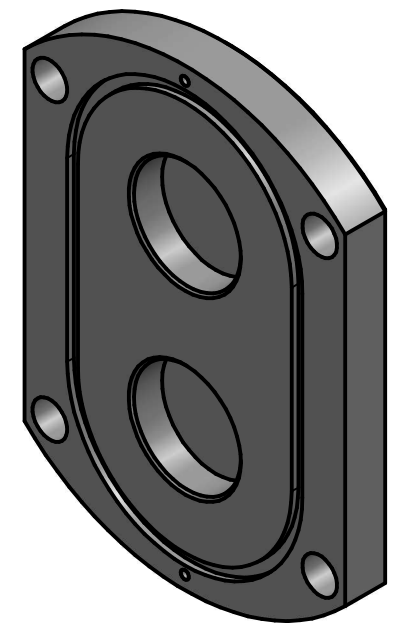
Naknada za:
Zamjenjeno za:




PRESJEK A-A

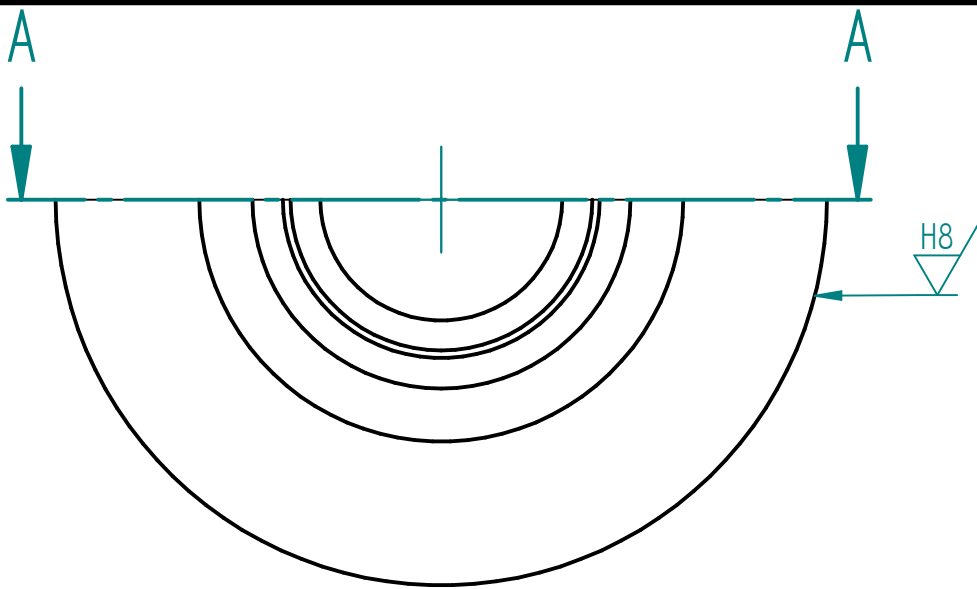
Skinuti oštre
ivice 1/45°

M 1:2

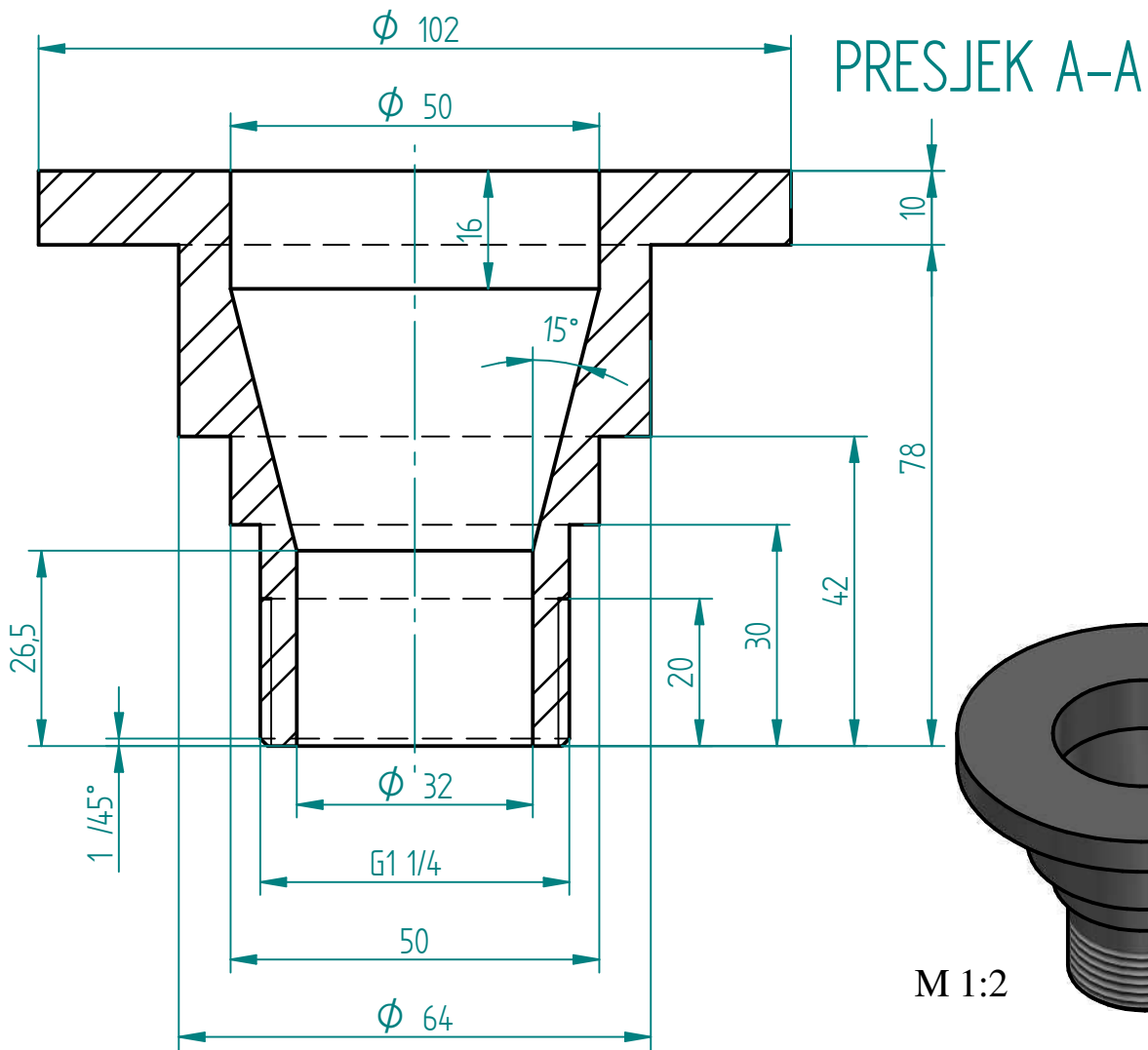


Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		POKLOPAC		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo		Za proizvod: ZPC - 32	2.016.9002	
Pregledao:						
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.tž.kg:	B.tž.kg:	Naknada za:
1:1	1	C.1530		1,848		Zamjenjeno za:

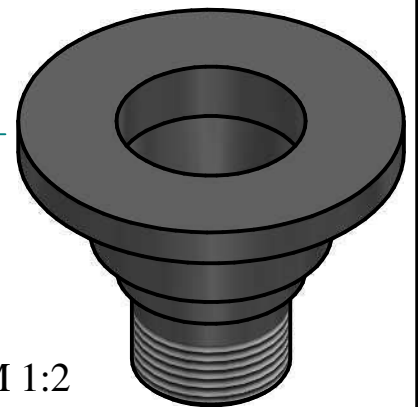
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



NAPOMENA: SKINUTI OŠTRE IVICE 1/45°



M 1:2



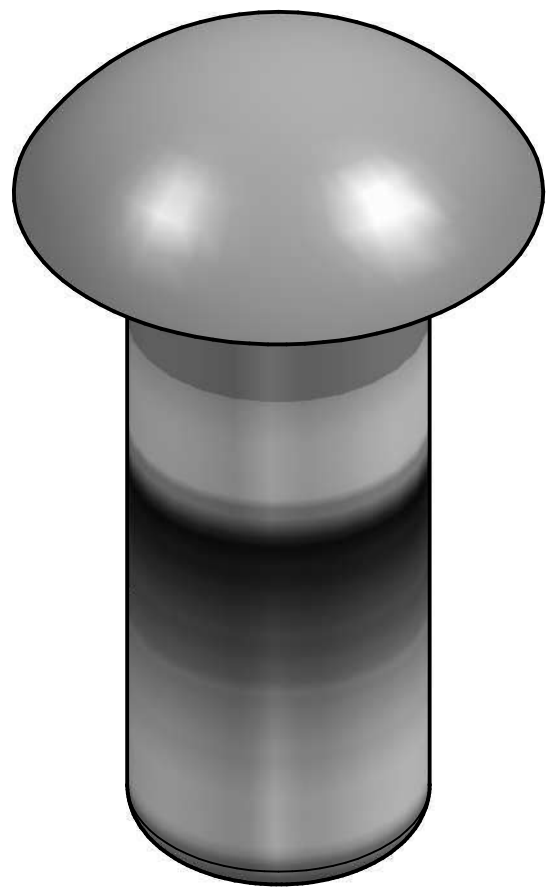
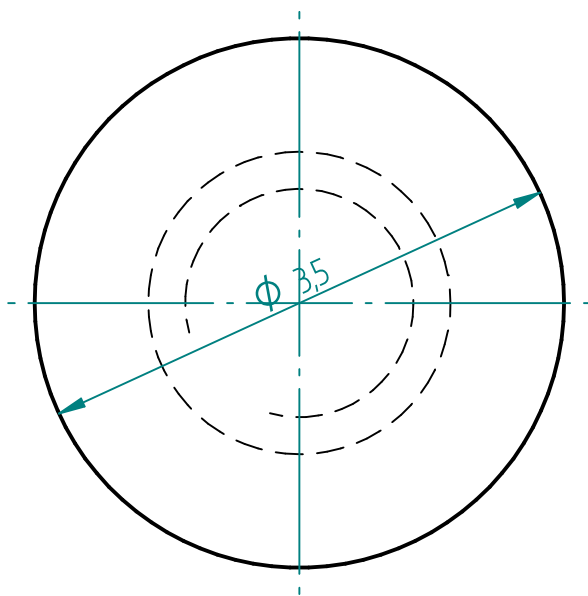
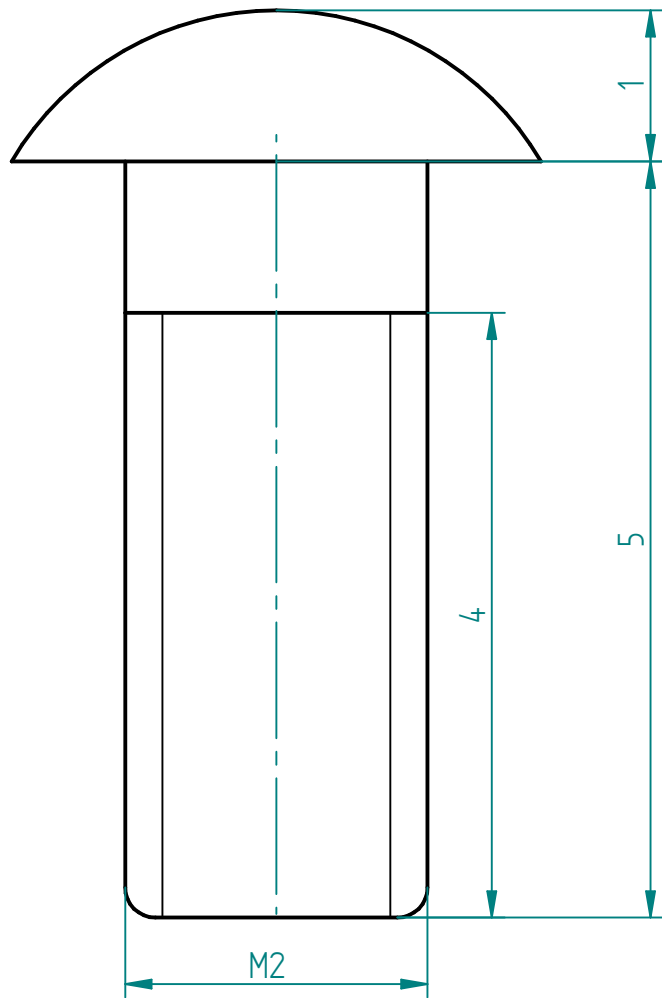
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
Razradio:			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
1:1	2	Č.0360	

Naziv:	PRIKLJUČAK DN - 50
Za proizvod:	
N.č.kg:	1,013
B.č.kg:	

 Veleučilište u Bjelovaru	2.018.9034.
	Naknada za: Zamjenjeno za:



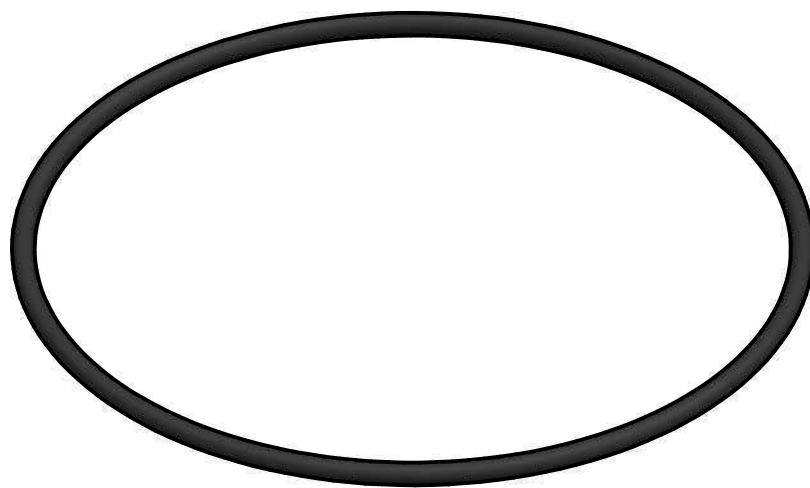
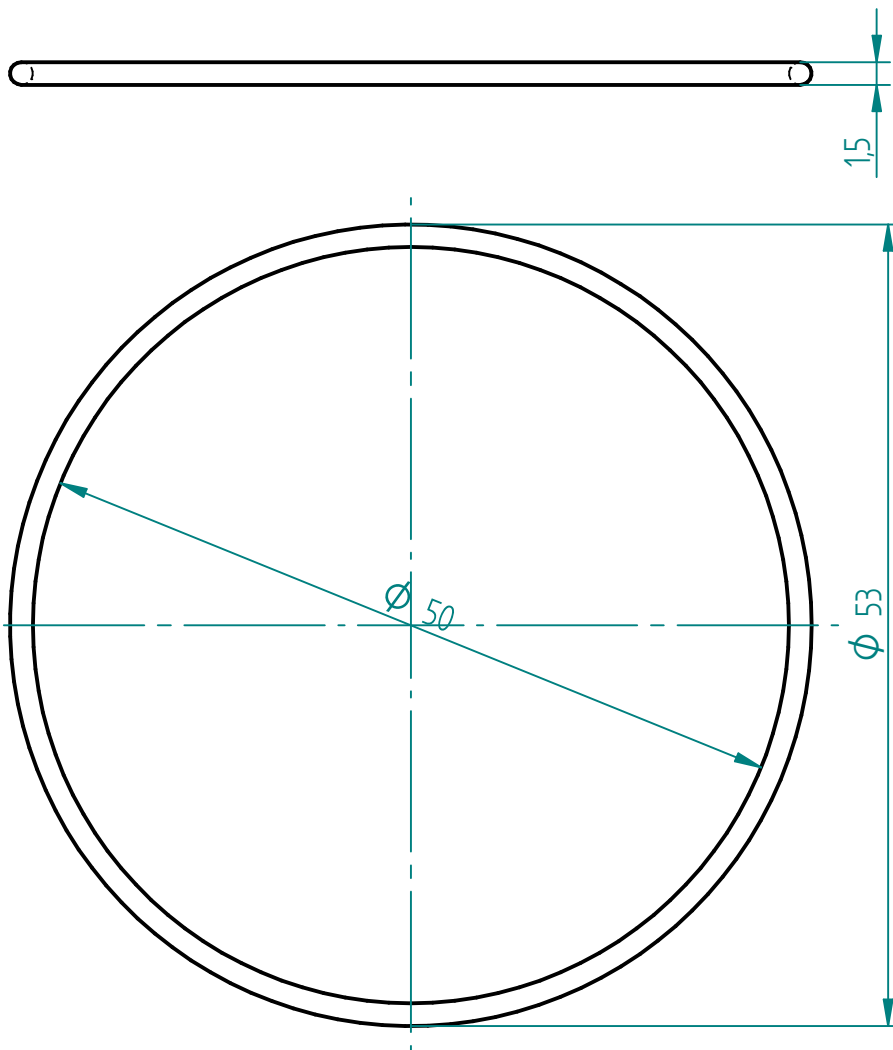
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:
	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Razradio:			
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo	
Pregledao:			
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:
20:1	8	AL	

Naziv:	ZAKOVICA
Za proizvod:	
N.ž.kg:	B.ž.kg:

 Veleučilište u Bjelovaru	HRN M.B3.011
	Naknada za: Zamjenjeno za:



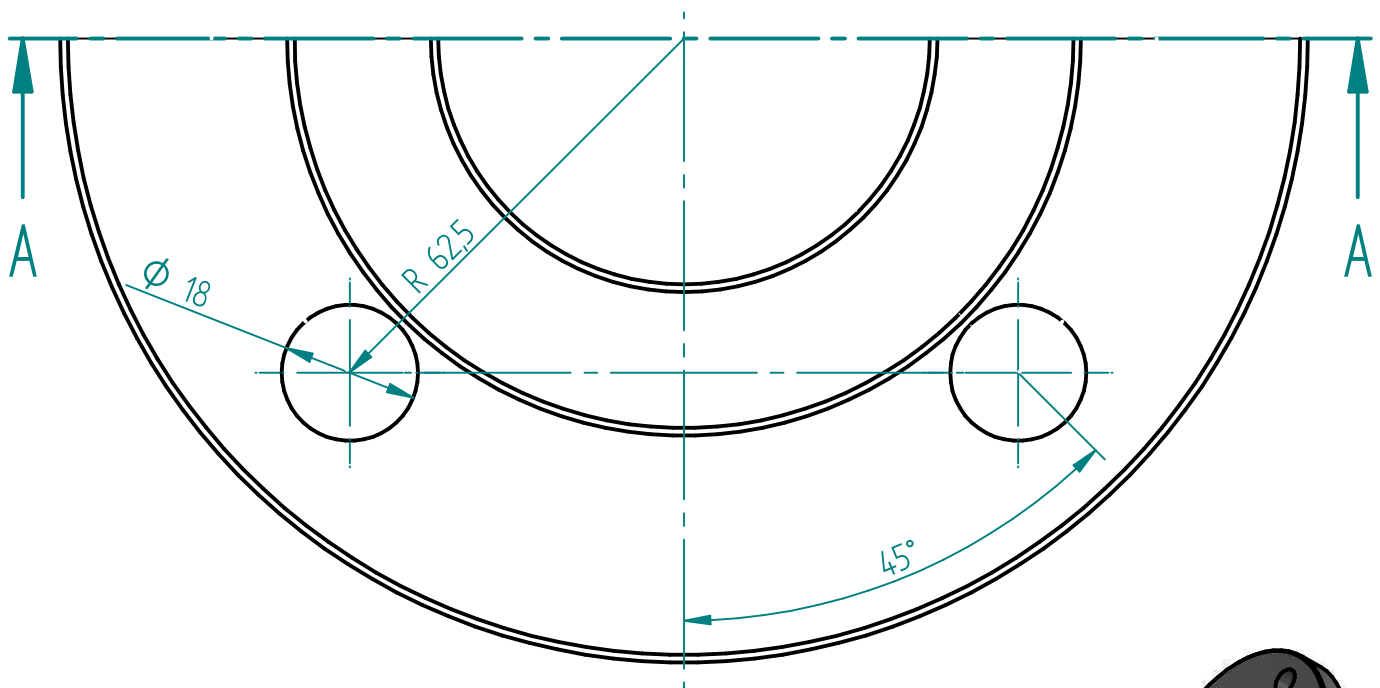
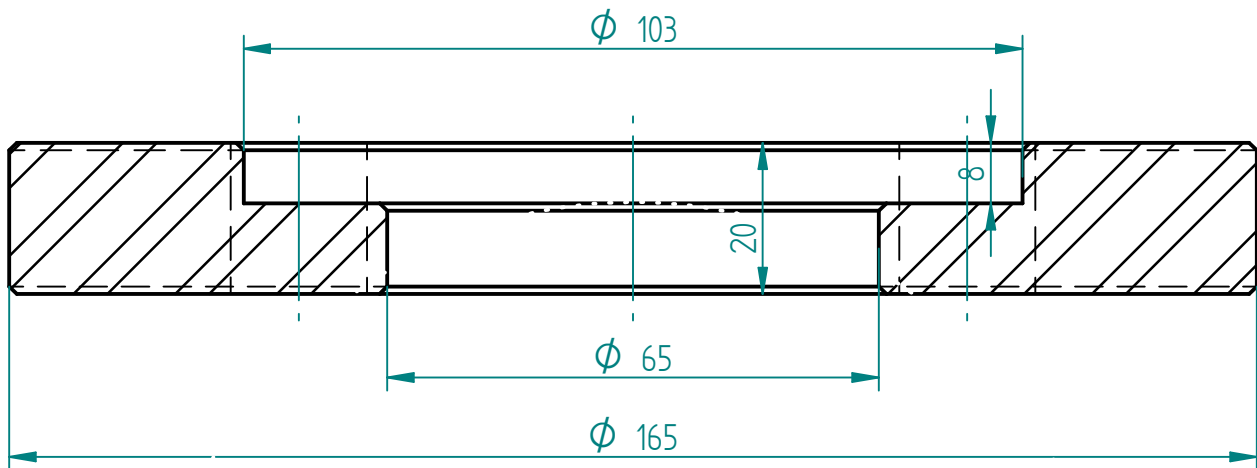
Posebni zahtjevi:

Listova	1
List broj	1

Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv: "O" PRSTEN		
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Pregledao:						
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:	Za proizvod: ZPC - 32
2:1	2	VITON				

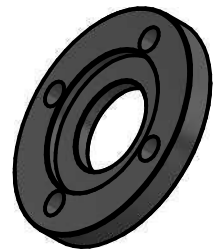

Veleučilište u Bjelovaru
 Naknada za:
 Zamjenjeno za:


PRESJEK A-A



NAPOMENA: Skinuti oštre ivice 1/45°

M 1:5



Posebni zahtjevi:					Listova	1
					List broj	1
Konstruirao:	Datum:	Ime i prezime:	Potpis:	Naziv:	 Veleučilište u Bjelovaru 2.029.9034	
Razradio:	1.9.2018.	Marin Šunjo		PRIRUBNICA		
Crtao:	1.9.2018.	Marin Šunjo				
Pregledao:						
Mjerilo:	Kom. za objekt:	Materijal:	Sirove mjere:	N.ž.kg:	B.ž.kg:	Naknada za:
1:1	2	Č.0360		2,34		Zamjenjeno za:

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>30. 10.</u>	MARIN ŠUNJO	Šunjo

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

MARIN ŠUNJO

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 30.10.

Šunjo M
potpis studenta/ice