

# Viševretna glava za bušenje

---

Zrilić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:081141>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Josip Zrilić**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

izv. prof. dr. sc. Dragan Žeželj, dipl. ing.

Student:

Josip Zrilić

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Draganu Žeželju, dipl.ing.stroj. na stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada. Također se zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i svima koji su mi bili podrška tijekom studija.

Josip Zrilić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
 procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa:   |        |
| Ur.broj:   |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Josip Zrilić** Mat. br.: **0035203028**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Viševretna glava za bušenje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Multi Spindle Drilling Head**

Opis zadatka:

Vrijeme je ključan faktor nezavisno od toga je li riječ o razvoju proizvoda ili proizvodnim procesima. Bušenje ili glodanje više rupa odjednom pomoću viševretene glave predstavlja primjer kako je vrijeme jedne faze proizvodnog procesa moguće skratiti. Viševretene glave su često korištene u industriji jer omogućuju povećanje produktivnosti.

Potrebno je izraditi konstrukcijsko rješenje za viševretnu glavu za bušenje s četiri svrdla te omogućiti prihvat na stroj.

U obzir uzeti sljedeće:

- Najveća dimenzija svrdla koje se može koristiti je  $\phi 12$  mm.
- Za materijal obratka pretpostaviti čelik E360. Debljina materijala na mjestu bušenja iznosi najviše 10 mm.
- Obodnu brzinu svrdla preuzeti iz uobičajenih parametara obrade.
- Razmak provrta uzeti u kvadratnom rasporedu od 100 mm.

Vrijednosti potrebne za proračun i odabir pojedinih komponenti usvojiti iz postojećih rješenja sličnih sustava, iskustvenih vrijednosti te u dogovoru s mentorom.

Računalni model odabranog rješenja uređaja izraditi u 3D CAD sustavu, cjelovito konstrukcijsko rješenje prikazati sklopnim crtežom, a dijelove odabrane u dogovoru s mentorom razraditi do razine radioničkih.

U radu navesti korištenu literaturu, norme kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Izv.prof. dr. sc. Dragan Žeželj

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

|   |      |
|---|------|
| SADRŽAJ .....   | V    |
| POPIS SLIKA .....   | VII  |
| POPIS TABLICA.....  | VIII |
| POPIS OZNAKA .....  | IX   |
| SAŽETAK.....  | XII  |
| SUMMARY .....   | XIII |
| 1. UVOD .....   | 1    |
| 1.1. Bušenje .....  | 1    |
| 1.2. Bušilice .....   | 2    |
| 1.3. Alati .....  | 3    |
| 1.4. Viševretene bušilice.....  | 3    |
| 2. ANALIZA TRŽIŠTA.....   | 5    |
| 2.1. Gotovi proizvodi.....  | 5    |
| 2.1.1. Viševretena bušna glava Benz.....  | 5    |
| 2.1.2. Viševretena bušna glava Hardy - A-100 (A-116), A-124, A-124S.....          | 6    |
| 2.1.3. Viševretena bušna glava Miyakawa .....                                     | 7    |
| 3. ODABIR SVRDLA.....   | 8    |
| 4. BRZINA VRTNJE SVRDLA, MOMENT I SILA BUŠENJA.....                               | 9    |
| 5. ODABIR ELEKTROMOTORA .....   | 10   |
| 6. ODABIR SPOJKE .....  | 12   |
| 7. PRORAČUN ZUPČANIKA .....   | 13   |
| 7.1. Dimenzioniranje zupčanika .....  | 13   |
| 7.2. Proračun orijentacijskog modula .....  | 14   |
| 7.3. Pomak profila .....  | 15   |
| 7.3.1. Kontrola tjemene zračnosti.....  | 16   |
| 7.4. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba..... | 16   |
| 7.4.1. Pogonski zupčanik.....   | 16   |
| 7.4.2. Gonjeni zupčanik.....  | 17   |
| 7.5. Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka (Hertzov pritisak).....        | 18   |
| 7.5.1. Pogonski zupčanik.....   | 18   |
| 7.5.2. Gonjeni zupčanik.....  | 18   |
| 8. PRORAČUN VRATILA.....  | 19   |
| 8.1. Proračun pogonskog vratila .....   | 19   |
| 8.2. Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti pogonskog vratila .....              | 21   |
| 8.2.1. Presjek 1 .....  | 22   |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 8.2.2.  | Presjek 2 .....   | 22 |
| 8.2.3.  | Presjek 3 .....   | 23 |
| 8.3.    | Proračun gonjenog vratila.....                                      | 24 |
| 8.4.    | Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti gonjenog vratila.....       | 26 |
| 8.4.1.  | Presjek 1 .....   | 27 |
| 8.4.2.  | Presjek 2 .....   | 27 |
| 8.4.3.  | Presjek 3 .....   | 28 |
| 8.5.    | Potrebna montažna zračnost .....                                    | 29 |
| 9.      | ODABIR LEŽAJEVA.....  | 30 |
| 9.1.    | Ležajevi pogonskog vratila.....                                     | 30 |
| 9.2.    | Ležajevi gonjenog vratila .....                                     | 32 |
| 10.     | PRORAČUN PERA.....  | 35 |
| 10.1.   | Odabir i kontrola pera na pogonskom zupčaniku .....                 | 35 |
| 10.1.1. | Kontrola čvrstoće.....  | 35 |
| 10.1.2. | Kontrola presjeka pogonskog vratila s obzirom na utor za pero ..... | 35 |
| 10.2.   | Odabir i kontrola pera na gonjenom zupčaniku .....                  | 36 |
| 10.2.1. | Kontrola čvrstoće.....  | 36 |
| 10.2.1. | Kontrola presjeka gonjenog vratila s obzirom na utor za pero.....   | 36 |
| 11.     | ODABIR I KONTROLA VIJAKA.....                                       | 37 |
| 11.1.   | Vijci kućišta .....   | 37 |
| 11.2.   | Vijci naslone pločice ležaja 52307 .....                            | 37 |
| 11.3.   | Vijci gornje ploče i donjeg kućišta .....                           | 38 |
| 12.     | PRIHVAT SVRDLA.....   | 39 |
| 13.     | PODMAZIVANJE ZUPČANIČKOG PRIJENOSNIKA .....                         | 40 |
| 14.     | ZAKLJUČAK .....   | 41 |
|         | LITERATURA.....   | 42 |
|         | PRILOZI.....  | 43 |

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Bušenje obradka .....                                  | 1  |
| Slika 2. Glavno i sporedno gibanje alata .....                  | 1  |
| Slika 3. Viševretena i stapna bušilica .....                    | 2  |
| Slika 4. Vrste svrdala .....                                    | 3  |
| Slika 5. Viševretene glave .....                                | 4  |
| Slika 6. Primjer viševretene bušilice .....                     | 4  |
| Slika 7. Viševretena bušna glava proizvođača Benz .....         | 5  |
| Slika 8. Viševretena bušna glava proizvođača Hardy .....        | 6  |
| Slika 9. Viševretena bušna glava proizvođača Miyakawa .....     | 7  |
| Slika 10. Unos parametara u software CoroPlus ToolGuide.....    | 8  |
| Slika 11. Odabir zadanog materijala obradka .....               | 8  |
| Slika 12. Odabrano svrdlo iz Sandvikovog kataloga [6].....      | 9  |
| Slika 13. Izračun potrebnih veličina.....                       | 9  |
| Slika 14. Odabir elektromotora iz Siemensovg kataloga [8] ..... | 11 |
| Slika 15. Tehničke specifikacije odabrane spojke iz [10] .....  | 12 |
| Slika 16. Dimenzije odabrane spojke iz kataloga [10].....       | 12 |
| Slika 17. Osni razmak zupčanika .....                           | 13 |
| Slika 18. Opterećenje pogonskog vratila.....                    | 19 |
| Slika 19. Presjeci pogonskog vratila .....                      | 21 |
| Slika 20. Opterećenje gonjenog vratila .....                    | 24 |
| Slika 21. Presjeci gonjenog vratila .....                       | 26 |
| Slika 22. Donji ležaj pogonskog vratila .....                   | 30 |
| Slika 23. Gornji ležaj pogonskog vratila .....                  | 30 |
| Slika 24. NU 1009 ECP.....                                      | 31 |
| Slika 25. 53207.....  | 31 |
| Slika 26. Sile u ležajevima .....                               | 32 |
| Slika 27. Gornji ležaj gonjenog vratila.....                    | 33 |
| Slika 28. Donji ležaj gonjenog vratila .....                    | 33 |
| Slika 29. 6305.....   | 34 |
| Slika 30. NU 1006.....  | 34 |
| Slika 31. Odabir stezne čahure ERC 20 [20] .....                | 39 |
| Slika 32. Matica ERC 20 [20] .....                              | 39 |



Slika 33. Dimenzije rupe za čahuru iz [21] ..... 40

**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Dimenzije zupčanika ..... 16

## POPIS OZNAKA

| Oznaka        | Jedinica          | Opis                                       |
|---------------|-------------------|--|
| $A_j$         | mm <sup>2</sup>   | Površina presjeka jezgre vijka             |
| $F_{BU}$      | N                 | Sila bušenja                               |
| $F_{O,sv}$    | N                 | Obodna sila na svrdlu                      |
| $F_O$         | N                 | Obodna sila                                |
| $F_R$         | N                 | Radijalna sila                             |
| $F_{tw}$      | N                 | Tangencijalna sila na kinematskom promjeru |
| $G_{VR}$      | N                 | Težina vratila                             |
| $G_Z$         | N                 | Težina zupčanika                           |
| $K_A$         | -                 | Faktor udara                               |
| $K_{H\alpha}$ | -                 | Faktor raspodjele opterećenja korijena     |
| $M_{BU}$      | Nm                | Moment bušenja                             |
| $M_{el}$      | Nm                | Moment elektromotora                       |
| $M_{red}$     | Nm                | Reducirani moment                          |
| $P_{SV}$      | kW                | Snaga jednog svrdla                        |
| $P_{el}$      | kW                | Snaga elektromotora                        |
| $R_{eL}$      | N/mm <sup>2</sup> | Granica tečenja                            |
| $S_F$         | -                 | Faktor sigurnosti                          |
| $T_l$         | Nm                | Moment na pogonskom zupčanicu              |
| $T_{MAX}$     | Nm                | Maksimalni moment na spojci                |
| $T_{iz}$      | Nm                | Izlazni moment                             |
| $T_{ul}$      | Nm                | Ulazni moment                              |
| $W_p$         | mm <sup>3</sup>   | Polarni moment                             |
| $Y_F$         | -                 | Faktor oblika                              |
| $Y_\epsilon$  | -                 | Faktor stupnja prekrivanja                 |
| $a_d$         | mm                | Osni razmak bez pomaka profila             |
| $a_w$         | mm                | Osni razmak s pomakom profila              |
| $b_1$         | -                 | Faktor veličine strojnog dijela            |
| $b_2$         | -                 | Faktor kvalitete površinske obrade         |
| $c_1$         | -                 | Faktor udara za pogonski stroj             |

|                 |                    |   |
|-----------------|--------------------|---|
| $c_2$           | -                  | Faktor udara za gonjeni stroj                       |
| $d_1$           | mm                 | Promjer pogonskog zupčanika                         |
| $d_2$           | mm                 | Promjer gonjenog zupčanika                          |
| $d_a$           | mm                 | Tjemeni promjer zupčanika                           |
| $d_b$           | mm                 | Diobeni promjer zupčanika                           |
| $d_{el}$        | mm                 | Promjer izlaznog vratila elektromotora              |
| $d_f$           | mm                 | Podnožni promjer zupčanika                          |
| $d_{min}$       | mm                 | Minimalni promjer vratila                           |
| $d_{sv}$        | mm                 | Promjer svrdla                                      |
| $d_w$           | mm                 | Kinematski promjer zupčanika                        |
| $f_n$           | mm                 | Posmak po okretaju                                  |
| $l_t$           | mm                 | Nosiva duljina pera                                 |
| $n_{SV}$        | $\text{min}^{-1}$  | Brzina vrtnje svrdla                                |
| $n_{el}$        | $\text{min}^{-1}$  | Brzina vrtnje elektromotora                         |
| $t_2$           | mm                 | Dubina utora glavine                                |
| $t_u$           | $^{\circ}\text{C}$ | Temperatura   |
| $v_c$           | m/min              | Brzina rezanja                                      |
| $z_{1,2}$       | -                  | Broj zubi   |
| $\alpha_0$      | -                  | Faktor čvrstoće materijala s obzirom na opterećenje |
| $\alpha_n$      | $^{\circ}$         | Nominalni kut                                       |
| $\alpha_t$      | $^{\circ}$         | Čelni kut zahvatne linije                           |
| $\alpha_{tw}$   | $^{\circ}$         | Pogonski kut zahvatne linije                        |
| $\eta_S$        | -                  | Iskoristivost spojke                                |
| $\eta_{VL}$     | -                  | Iskoristivost uležištenog vratila                   |
| $\eta_Z$        | -                  | Iskoristivost zupčanog para                         |
| $\lambda_i$     | mm/K               | Faktor toplinske dilatacije                         |
| $\sigma_F$      | $\text{N/mm}^2$    | Naprezanje korijena zuba                            |
| $\sigma_{FP}$   | $\text{N/mm}^2$    | Dopušteno naprezanje korijena zuba                  |
| $\sigma_{Flim}$ | $\text{N/mm}^2$    | Naprezanje korijena zuba                            |
| $\sigma_f$      | $\text{N/mm}^2$    | Naprezanje uslijed savijanja                        |
| $\sigma_{fDN}$  | $\text{N/mm}^2$    | Dinamičko savojno naizmjenično naprezanje           |

|                        |                   |   |
|------------------------|-------------------|---|
| $\tau_{tDI}$           | N/mm <sup>2</sup> | Dinamičko posmično istosmjerno naprezanje |
| $b$                    | mm                | Širina zupčanika                          |
| $d$                    | mm                | Promjer vratila                           |
| $i$                    | -                 | Prijenosni omjer                          |
| $l$                    | mm                | Duljina                                   |
| $m$                    | mm                | Modul                                     |
| $n$                    | -                 | Broj komada                               |
| $p$                    | N/mm <sup>2</sup> | Bočni tlak pera                           |
| $x$                    | -                 | Pomak profila                             |
| $\varepsilon_{\alpha}$ | -                 | Stupanj prekrivanja                       |
| $\varphi$              | -                 | Pogonski faktor                           |

## **SAŽETAK**

U ovom radu napravljena je razrada, projektiranje i konstrukcija viševretene glave za bušenje.

U uvodom dijelu će se opisati postupak obrade odvajanjem čestica tehnologijom bušenja.

U nastavku su prikazani rezultati analize tržišta i već postojećih rješenja. Napravljen je proračun, 3D model i tehnička dokumentacija.

Proračunata su sva vratila, zupčanici, pera, ležajevi i vijci.

Ključne riječi: viševretena glava, zupčanik, bušenje, vratilo, ležaj

## **SUMMARY**

This thesis deals with elaboration, planning and designing of multi-spindle head for drilling. In the introduction the machining process of drilling will be described, followed by market analysis and existing solutions analysis. Calculation, 3D model and technical documentation will be made. Calculations include shafts, gears, bearings, bolts and pins.

Key words: multi-spindle head, gear, drilling, shaft, bearing

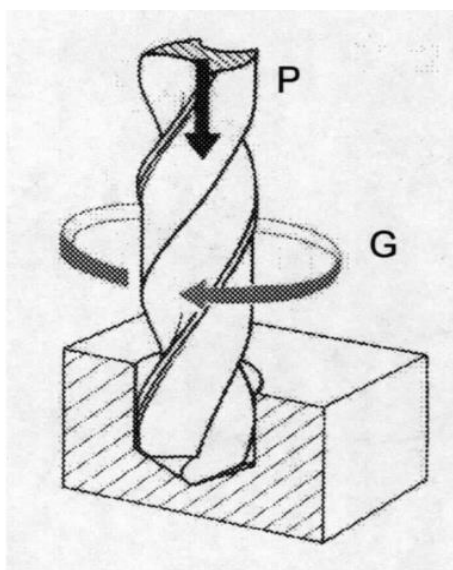
## 1. UVOD

### 1.1. Bušenje

Bušenje je način obrade odvajanjem čestica u kojem se specifičnim alatom izrađuju cilindrične rupe u obradku. Alat obavlja glavno rotacijsko gibanje i pravocrtno posmično gibanje u smjeru osi rotacije. Alat je najčešće svrdlo [1].



Slika 1. Bušenje obradka



Slika 2. Glavno i sporedno gibanje alata

## 1.2. Bušilice

Bušilice su alatni strojevi s pomoću kojih se odvajanjem materijala izrađuju i obrađuju navrti, uvrti i provrti cilindričnog oblika u pojedinim izradcima, unutarnji i vanjski navoji, žlijebovi u uvrtima i provrtima i stožasti uvrti i provrti. Osim operacije bušenja vrše se na bušilicama i operacije izbušivanja, upuštanja i razvrtavanja. Pri normalnoj obradi rezni alat vrši relativno prema izratku glavno kružno kretanje oko svoje osi, a u smjeru osi stalno posmično kretanje. Na običnim stolnim, stolno-stupnim, stupnim, radijalnim, prenosivim radijalnim i koordinatnim bušilicama obradak obično miruje, učvršćen na radnom stolu ili podnožju stroja. Na horizontalnim bušilicama glavno kružno rezo kretanje vrši rezni alat, tj. glavno vreteno, dok posmično gibanje može vršiti rezni alat ili izradak, kojeg se učvršćuje na stol pomičan u dva smjera [2]. Od bušilica imamo stolne, stolno-stupne, stupne, redne, revolverске, viševretene, radijalne, vodoravne, koordinatne, agregatne i CNC bušilice.



Slika 3. Viševretena i stapna bušilica



### 1.3. Alati

Alat koji se koristi kod bušenja je svrdlo. Dije se na spiralna svrdla, svrdla s pločicama od tvrdog metala i zabušivala. Najvažniji tip kod bušenja je spiralno svrdlo. Kao i svaki alat, svrdlo ima radni dio i držalo. Rezni dio spiralnog svrdla sastoji se od prednje površine, stražnje površine, glavne oštrice, utor za odvođenje čestica i za dovod rashladne tekućine, poprečne oštrice, fazeta [3].



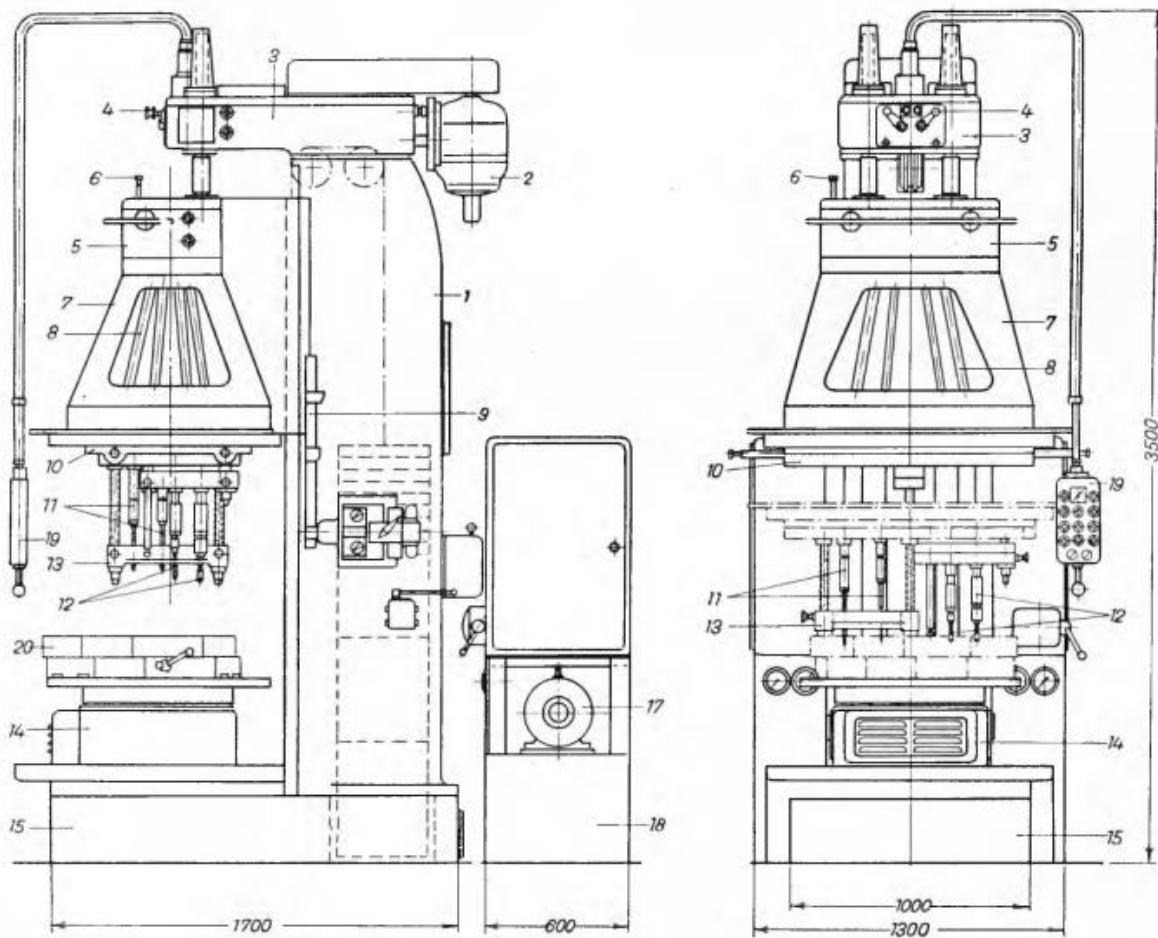
Slika 4. Vrste svrdala

### 1.4. Viševretene bušilice

Viševretene bušilice služe u serijskoj i masovnoj proizvodnji za istovremenu obradu većeg broja uvrta, provrta, upuštanja, navoja itd. na jednom izratku. Viševretena bušilica se sastoji od krutog stalka, pogonskog elektromotora, glavnog višeosovinskog stepenastog prigona sa zupčanicima, poluge za ukopčavanje brzine, razdjelnog zupčanog prigona s individualnim uključivačima pojedinih vretena, bušnog zvona s nizom zglobnih vretena, upravljačke motke s graničnicima, ležajne bušne ploče za prihvat bušnih vretena i vretena za rezanje navoja, bušne linete, zaokretnog radnog stola, podnožja, uklopnog ormara elektro-uređaja, elektromotora za hidraulični uređaj, spremišta za ulje i komandne viseće ploče. [2]



Slika 5. Viševretene glave



Slika 6. Primjer viševretene bušilice

## 2. ANALIZA TRŽIŠTA

Analizom tržišta utvrđeno je da postoje gotovi proizvodi koji u potpunosti zadovoljavaju zadane uvjete.

### 2.1. Gotovi proizvodi

#### 2.1.1. Viševretna bušna glava Benz



Slika 7. Viševretna bušna glava proizvođača Benz

Viševretna glava njemačke firme Benz dolazi s mogućnošću biranja prihvata za obradni stroj. Također dolazi s mogućnošću odabira broja svrdla (3-11) i međusobne udaljenosti svrdla. Ima mogućnost hlađenja uljem, sredstvom za podmazivanje ili zrakom. Hlađenje se može provesti kroz samo svrdlo ili kroz kućište. Podmazivanje zupčanika u kućištu je ostvareno uljem, mašću, cirkulacijom ulja ili uljnom maglom (raspršivanjem ulja). [4]

### 2.1.2. Viševretna bušna glava Hardy - A-100 (A-116), A-124, A-124S



Slika 8. Viševretna bušna glava proizvođača Hardy

Viševretna glava tajvanske firme Hardy dolazi u 3 varijante: A-100, A-124 i A-124S. Taj proizvod ima mogućnost podešavanja udaljenosti svrdla jedno od drugog. Kod varijante A-100 najveća udaljenost je 100 mm, kod varijanti A-124 i A-124S je 124 mm, dok je najmanja udaljenost kod A-100 18 mm, kod A-124 je 26 mm, a kod A-124S je 28 mm. Također varijante se razlikuju po najvećem promjeru svrdla s kojim mogu raditi. A-100 ima Ø6, A-124 ima Ø8, a A-124S ima Ø12. [5]

### 2.1.3. Viševretena bušna glava Miyakawa



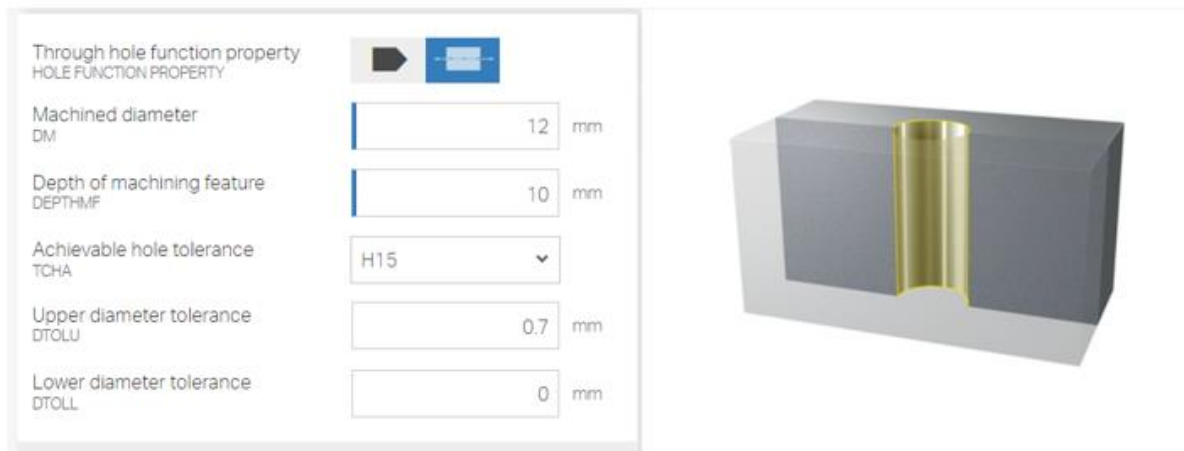
Slika 9. Viševretena bušna glava proizvođača Miyakawa

Japanska tvrtka Miyakawa proizvodi viševretene glave koje dolaze u 6 varijanti. Varijante su poredane po slovima A, C, E, K, G i S. Na slici je prikazana E varijanta. To je varijanta s 4 svrdla u kojoj je udaljenost među svrdlima fiksna. Varijante A i C imaju 2 svrdla kojima se može podešavati međusobna udaljenost. Dok varijante E, K i G imaju 4 svrdla bez mogućnosti podešavanja međusobne udaljenosti. Jedino varijanta S ima 4 svrdla koja mogu podešavati međusobnu udaljenost. [6]

### 3. ODABIR SVRDLA

Kako je poznat materijal čelika kojeg obrađujemo (E360), kao i dimenzije rupe možemo pomoću Sandvikovog web računalnog programa CoroPlus ToolGuide odabrati svrdlo kojim ćemo bušiti:

Biramo dimenzije te rupe u obratku:



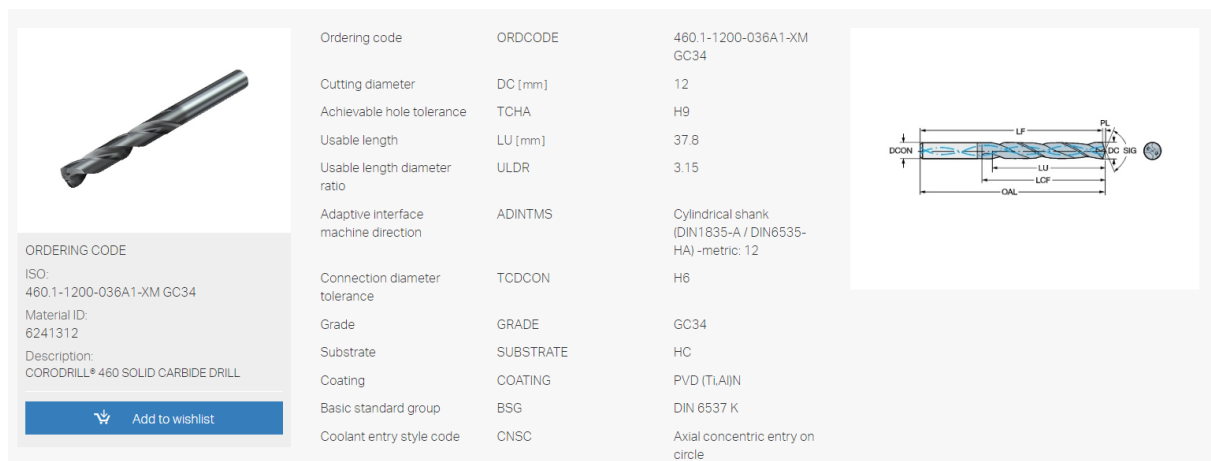
Slika 10. Unos parametara u software CoroPlus ToolGuide

Materijal obratka koji je zadan u zadatku:



Slika 11. Odabir zadanog materijala obradka

Na temelju unesenih parametara preporučeno je svrdlo iz Sandvik kataloga:



|                                      |           |   |
|--------------------------------------|-----------|---|
| Ordering code                        | ORDCODE   | 460.1-1200-036A1-XM<br>GC34                               |
| Cutting diameter                     | DC [mm]   | 12  |
| Achievable hole tolerance            | TCHA      | H9  |
| Usable length                        | LU [mm]   | 37.8  |
| Usable length diameter ratio         | ULDR      | 3.15  |
| Adaptive interface machine direction | ADINTMS   | Cylindrical shank<br>(DIN1835-A / DIN6535-HA) -metric: 12 |
| Connection diameter tolerance        | TCDCON    | H6  |
| Grade                                | GRADE     | GC34  |
| Substrate                            | SUBSTRATE | HC  |
| Coating                              | COATING   | PVD (TLAIJN)  |
| Basic standard group                 | BSG       | DIN 6537 K  |
| Coolant entry style code             | CNSC      | Axial concentric entry on circle                          |

Slika 12. Odabrano svrdlo iz Sandvikovog kataloga [6]

Odabrano je svrdlo CoroDrill 460.1-1200-036A1-XM GC34 iz kataloga Sandvik [7].

#### 4. BRZINA VRTNJE SVRDLA, MOMENT I SILA BUŠENJA

Pomoću istog računalnog programa, a i na temelju preporučenih brzina rezanja i posmaka računamo brzinu vrtnje svrdla, moment i silu bušenja:



|                                |                                |                                      |  |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--|
| VC [m/min]<br>CUTTING SPEED    | FN [mm]<br>FEED PER REVOLUTION | N [1/min]<br>SPINDLE SPEED           | VF [mm/min]<br>FEED SPEED                          |
| 100                            | 0.1                            | 2660                                 | 266  |
| PPC [kW]<br>CUTTING POWER      | MMC [Nm]<br>CUTTING TORQUE     | FFF [N]<br>FEED FORCE                | QQ [cm <sup>3</sup> /min]<br>MATERIAL REMOVAL RATE |
| 2.07                           | 7.44                           | 1290                                 | 30.1   |
| TLIFEL [m]<br>TOOL LIFE LENGTH | TLIFET [min]<br>TOOL LIFE TIME | TLIFEC [Features]<br>TOOL LIFE COUNT |  |
| 28                             | 110                            | 2820                                 |  |

Slika 13. Izračun potrebnih veličina

Gdje je:

$v_c = 100 \text{ m/min}$  – brzina rezanja

$f_n = 0,1 \text{ mm}$  – posmak po okretaju

$n_{SV} = 2660 \text{ min}^{-1}$  – brzina vrtnje svrdla

$P_{SV} = 2,07 \text{ kW}$  – snaga na jednom svrdlu

$M_{BU} = 7,44 \text{ Nm}$  – moment bušenja na jednom svrdlu

$F_{BU} = 1290 \text{ N}$  – sila bušenja na jednom svrdlu

Iz dobivenih podataka možemo izračunati još i obodnu silu na svrdlu:

$$F_{O,sv} = \frac{M_{BU} * 2}{d_{sv}} \quad (1)$$

Gdje je:

$F_O$  – obodna sila

$d_{sv}$  – promjer svrdla

Uvrštavanjem poznatih veličina u (1) dobijemo:

$$F_O = \frac{M_{BU} * 2}{d_{sv}} = \frac{7\,440 * 2}{12} = 1\,240 \text{ N}. \quad (2)$$

## 5. ODABIR ELEKTROMOTORA

Kako imamo potrebne snagu, moment i brzinu vrtnje na pojedinom svrdlu, možemo odabrati potreban elektromotor.

Snaga na pojedinom svrdlu je  $P_{SV} = 2,07 \text{ kW}$ , a kako imamo 4 svrdla potrebna snaga elektromotora mora biti najmanje 4 puta veća ne računajući gubitke u sustavu. To nam daje  $P_{el} = 8,28 \text{ kW}$ .

Moment na pojedinom svrdlu je  $M_{BU} = 7,44 \text{ Nm}$ , a kako imamo 4 svrdla potreban moment elektromotora mora biti najmanje  $M_{el} = 54,2 \text{ Nm}$ , ne računajući gubitke u sustavu.

Odbran je elektromotor Siemens 1LA7 163-4AA snage  $P_{el} = 11 \text{ kW}$ , okretnog momenta

$M_{el} = 72 \text{ Nm}$  i brzine vrtnje  $n_{el} = 1460 \text{ min}^{-1}$  iz Siemensovog kataloga [8].

Kako je brzina vrtnje elektromotora manja od potrebne brzine vrtnje svrdla, koristit će se multiplikator prijenosnog omjera  $i = 0,549$ .



| Selection and ordering data (continued)  |                |            |                                  |                       |                                     |                              |                              |                              |                                |                               |  |       |  |
|--|----------------|------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|-------|--|
| Rated output at  |                | Frame size | Operating values at rated output |                       |                                     |                              |                              |                              | Power factor at 50 Hz 4/4-load | Rated current at 400 V, 50 Hz | Order No. For Order No. supplements for voltage and type of construction see table below | Price | Weight IM B3 type of construction approx. m kg |
| 50 Hz  | 60 Hz          |            | Rated speed at 50 Hz             | Rated torque at 50 Hz | Efficiency Class according to CEMEP | Efficiency at 50 Hz 4/4-load | Efficiency at 50 Hz 3/4-load | Efficiency at 50 Hz 2/4-load |                                |                               |  |       |  |
| $P_{rated}$ kW   | $P_{rated}$ kW | FS         | $n_{rated}$ rpm                  | $T_{rated}$ Nm        | EFF2                                | $\eta_{rated}$ %             | $\eta_{rated}$ %             | $\cos \varphi_{rated}$       | $I_{rated}$ A                  | Phase-out model               |  |       |  |
| 4-pole, 1500 rpm at 50 Hz, 1800 rpm at 60 Hz, temperature class 155 (F), IP55 degree of protection |                |            |                                  |                       |                                     |                              |                              |                              |                                |                               |  |       |  |
| 0.06   | 0.07           | 56 M       | 1350                             | 0.42                  |                                     | 56                           | 55                           | 0.77                         | 0.2                            | 1LA7 050-4AB00                |  | 3     |  |
| 0.09   | 0.11           | 56 M       | 1350                             | 0.64                  |                                     | 58                           | 57                           | 0.77                         | 0.29                           | 1LA7 053-4AB00                |  | 3     |  |
| 0.12   | 0.14           | 63 M       | 1350                             | 0.85                  |                                     | 55                           | 54                           | 0.75                         | 0.42                           | 1LA7 060-4AB00                |  | 3.5   |  |
| 0.18   | 0.21           | 63 M       | 1350                             | 1.3                   |                                     | 59                           | 60                           | 0.76                         | 0.58                           | 1LA7 063-4AB00                |  | 4.1   |  |
| 0.25   | 0.29           | 71 M       | 1350                             | 1.8                   |                                     | 60                           | 60                           | 0.78                         | 0.77                           | 1LA7 070-4AB00                |  | 4.8   |  |
| 0.37   | 0.43           | 71 M       | 1370                             | 2.6                   |                                     | 65                           | 65                           | 0.78                         | 1.06                           | 1LA7 073-4AB00                |  | 6     |  |
| 0.55   | 0.63           | 80 M       | 1395                             | 3.8                   |                                     | 67                           | 67                           | 0.81                         | 1.46                           | 1LA7 080-4AA00                |  | 9     |  |
| 0.75   | 0.86           | 80 M       | 1395                             | 5.1                   |                                     | 72                           | 72                           | 0.8                          | 1.91                           | 1LA7 083-4AA00                |  | 10    |  |
| 1.1  | 1.3            | 90 S       | 1415                             | 7.4                   |                                     | 77                           | 77                           | 0.81                         | 2.55                           | 1LA7 090-4AA00                |  | 13    |  |
| 1.5  | 1.75           | 90 L       | 1420                             | 10                    | EFF2                                | 79                           | 79                           | 0.81                         | 3.4                            | 1LA7 096-4AA00                |  | 15.6  |  |
| 2.2  | 2.55           | 100 L      | 1420                             | 15                    | EFF2                                | 82                           | 82.5                         | 0.82                         | 4.7                            | 1LA7 106-4AA00                |  | 21    |  |
| 3  | 3.45           | 100 L      | 1420                             | 20                    | EFF2                                | 83                           | 83.5                         | 0.82                         | 6.4                            | 1LA7 107-4AA00                |  | 24    |  |
| 4  | 4.6            | 112 M      | 1440                             | 27                    | EFF2                                | 85                           | 85.5                         | 0.83                         | 8.2                            | 1LA7 113-4AA00                |  | 31    |  |
| 5.5  | 6.3            | 132 S      | 1455                             | 36                    | EFF2                                | 86                           | 86                           | 0.81                         | 11.4                           | 1LA7 130-4AA00                |  | 41    |  |
| 7.5  | 8.6            | 132 M      | 1455                             | 49                    | EFF2                                | 87                           | 87.5                         | 0.82                         | 15.2                           | 1LA7 133-4AA00                |  | 49    |  |
| 11   | 12.6           | 160 M      | 1480                             | 72                    | EFF2                                | 88.5                         | 89                           | 0.84                         | 21.5                           | 1LA7 163-4AA00                |  | 73    |  |
| 15   | 17.3           | 160 L      | 1480                             | 98                    | EFF2                                | 90                           | 90.2                         | 0.84                         | 28.5                           | 1LA7 166-4AA00                |  | 85    |  |
| 18.5   | 21.3           | 180 M      | 1480                             | 121                   | EFF2                                | 90.5                         | 90.5                         | 0.83                         | 35.5 <sup>1)</sup>             | 1LA5 183-4AA00                |  | 113   |  |
| 22   | 25.3           | 180 L      | 1480                             | 144                   | EFF2                                | 91.2                         | 91.2                         | 0.84                         | 41.5 <sup>1)</sup>             | 1LA5 186-4AA00                |  | 123   |  |
| 30   | 34.5           | 200 L      | 1465                             | 196                   | EFF2                                | 91.8                         | 91.8                         | 0.86                         | 55                             | 1LA5 207-4AA00                |  | 157   |  |
| 37   | 42.5           | 225 NO     | 1470                             | 240                   | EFF2                                | 92.9                         | 92.9                         | 0.87                         | 66 <sup>1)</sup>               | 1LA5 220-4AA00                |  | 206   |  |
| 45   | 52             | 225 M      | 1470                             | 292                   | EFF2                                | 93.4                         | 93.4                         | 0.87                         | 80 <sup>1)</sup>               | 1LA5 223-4AA00                |  | 232   |  |

Order No. supplements

Slika 14. Odabir elektromotora iz Siemensovg kataloga [8]

Ukupni gubitci od elektromotora do jednog svrdla s tim da je pretpostavljeno podmazivanje zupčanog para bućkanjem ulja:

$$P_{EM} * \eta_S * \eta_{VL}^2 * \eta_Z * \eta_{BB} \geq 4 P_{SV} \quad (3)$$

Gdje su:

$P_{EM} = 11$  kW – snaga elektromotora,

$\eta_S = 0,99$  – gubitci na spojki

$\eta_{VL} = 0,98$  – gubitci po uležištenom vratilu

$\eta_Z = 0,97$  – gubitci zupčanog para

$\eta_{BB} = 0,96$  – gubitci bućkanja ulja

$4P_{SV} = 8,28$  kW – potrebna snaga za sva 4 svrdla

Uvrštavanjem poznatih veličina u (3) dobijemo:

$$11 * 0,99 * 0,98^2 * 0,97 * 0,96 = 9,73 \text{ kW} \geq 8,28 \text{ kW} \quad (4)$$

Uz zadane gubitke snaga odabranog elektromotora zadovoljava potrebne uvjete.

## 6. ODABIR SPOJKE

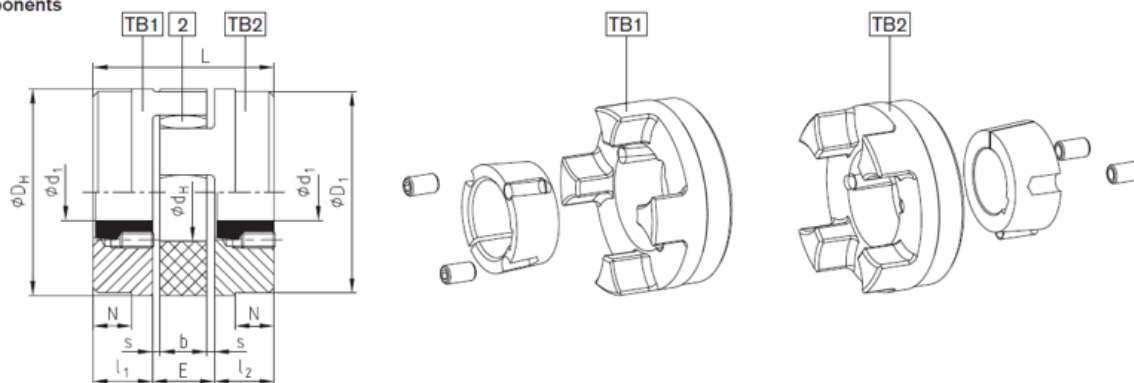
Spojka mora prenositi moment  $T_{max} = (c_1 + c_2) * T_{ul} = (1,0 + 0,5) * 59 = 88,5 \text{ Nm}$  (izraz za maksimalni moment elastične spojke iz [9]). Odabrana je elastična kandžasta spojka s poliuretanskim umetkom KTR ROTEX koja može prenijeti moment od 795 Nm, odabrana je jer je vratilo elektromotora dimenzija  $\phi_{d_{el}} = 42 \text{ mm}$ . Korišten je katalog proizvođača KTR [10].

### Technical data of standard spiders

| 92 Shore A spider made of T-PUR® and PUR |                        |                |                           |            |                |                 |                    |                 |                            |                         |                        |  |                       |                       |                       |
|--|------------------------|----------------|---------------------------|------------|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ROTEX® size                              | Max. speed             |                | Torsion angle $\phi$ with |            | Torque [Nm]    |                 |                    |                 | Damping power $P_{KW}$ [W] | Relative damping $\psi$ | Resonance factor $V_R$ | Torsion spring stiffness C dyn. [Nm/rad] |                       |                       |                       |
|  | v=35 m/s cast material | v=40 m/s steel | $T_{KN}$                  | $T_{Kmax}$ | DIN 740 1)     |                 |                    | $T_{Kmax}^{2)}$ |                            |                         |                        | 1.0 $T_{KN}$                             | 0.75 $T_{KN}$         | 0.5 $T_{KN}$          | 0.25 $T_{KN}$         |
|  |                        |                |                           |            | Rated $T_{KN}$ | Max. $T_{Kmax}$ | Vibratory $T_{KW}$ |                 |                            |                         |                        |  |                       |                       |                       |
| 14                                       | 22200                  | 25400          | 6.4°                      | 10°        | 7.5            | 15              | 2.0                | 22.5            | -                          |                         |                        | 0.38x10 <sup>3</sup>                     | 0.31x10 <sup>3</sup>  | 0.24x10 <sup>3</sup>  | 0.14x10 <sup>3</sup>  |
| 19                                       | 16700                  | 19000          |                           |            | 10             | 20              | 2.6                | 30              | 4.8                        |                         |                        | 1.28x10 <sup>3</sup>                     | 1.05x10 <sup>3</sup>  | 0.8x10 <sup>3</sup>   | 0.47x10 <sup>3</sup>  |
| 24                                       | 12100                  | 13800          |                           |            | 35             | 70              | 9.1                | 105             | 6.6                        |                         |                        | 4.86x10 <sup>3</sup>                     | 3.98x10 <sup>3</sup>  | 3.01x10 <sup>3</sup>  | 1.79x10 <sup>3</sup>  |
| 28                                       | 10100                  | 11500          |                           |            | 95             | 190             | 25                 | 285             | 8.4                        |                         |                        | 10.9x10 <sup>3</sup>                     | 8.94x10 <sup>3</sup>  | 6.76x10 <sup>3</sup>  | 4.01x10 <sup>3</sup>  |
| 38                                       | 8300                   | 9500           |                           |            | 190            | 380             | 49                 | 570             | 10.2                       |                         |                        | 21.05x10 <sup>3</sup>                    | 17.26x10 <sup>3</sup> | 13.05x10 <sup>3</sup> | 7.74x10 <sup>3</sup>  |
| 42                                       | 7000                   | 8000           |                           |            | 265            | 530             | 69                 | 795             | 12.0                       |                         |                        | 23.74x10 <sup>3</sup>                    | 19.47x10 <sup>3</sup> | 14.72x10 <sup>3</sup> | 8.73x10 <sup>3</sup>  |
| 48                                       | 6350                   | 7250           |                           |            | 310            | 620             | 81                 | 930             | 13.8                       |                         |                        | 36.7x10 <sup>3</sup>                     | 30.09x10 <sup>3</sup> | 22.75x10 <sup>3</sup> | 13.49x10 <sup>3</sup> |
| 55                                       | 5550                   | 6350           |                           |            | 410            | 820             | 107                | 1230            | 15.6                       |                         |                        | 50.7x10 <sup>3</sup>                     | 41.59x10 <sup>3</sup> | 31.45x10 <sup>3</sup> | 18.64x10 <sup>3</sup> |
| 65                                       | 4950                   | 5650           | 3.2°                      | 5°         | 625            | 1250            | 163                | 1875            | 18.0                       | 0.80                    | 7.90                   | 97.1x10 <sup>3</sup>                     | 79.65x10 <sup>3</sup> | 60.2x10 <sup>3</sup>  | 35.7x10 <sup>3</sup>  |
| 75                                       | 4150                   | 4750           |                           |            | 1280           | 2560            | 333                | 3840            | 21.6                       |                         |                        | 113.3x10 <sup>3</sup>                    | 92.9x10 <sup>3</sup>  | 70.3x10 <sup>3</sup>  | 41.65x10 <sup>3</sup> |
| 90                                       | 3300                   | 3800           |                           |            | 2400           | 4800            | 624                | 7200            | 30.0                       |                         |                        | 190.1x10 <sup>3</sup>                    | 155.9x10 <sup>3</sup> | 117.9x10 <sup>3</sup> | 69.9x10 <sup>3</sup>  |
| 100                                      | 2950                   | 3350           |                           |            | 3300           | 6600            | 858                | 9900            | 36.0                       |                         |                        | 253.1x10 <sup>3</sup>                    | 207.5x10 <sup>3</sup> | 156.9x10 <sup>3</sup> | 93x10 <sup>3</sup>    |
| 110                                      | 2600                   | 2950           |                           |            | 4900           | 9600            | 1248               | 14400           | 42.0                       |                         |                        | 415.5x10 <sup>3</sup>                    | 336.9x10 <sup>3</sup> | 257.6x10 <sup>3</sup> | 177.4x10 <sup>3</sup> |
| 125                                      | 2300                   | 2600           |                           |            | 6650           | 13300           | 1720               | 19950           | 48.0                       |                         |                        | 647.7x10 <sup>3</sup>                    | 537.3x10 <sup>3</sup> | 412.2x10 <sup>3</sup> | 277.5x10 <sup>3</sup> |
| 140                                      | 2050                   | 2350           |                           |            | 8550           | 17100           | 2223               | 25650           | 54.6                       |                         |                        | 813.4x10 <sup>3</sup>                    | 670.2x10 <sup>3</sup> | 519.7x10 <sup>3</sup> | 351.7x10 <sup>3</sup> |
| 160                                      | 1800                   | 2050           |                           |            | 12800          | 25600           | 3328               | 38400           | 75.0                       |                         |                        | 1298x10 <sup>3</sup>                     | 1104x10 <sup>3</sup>  | 901.9x10 <sup>3</sup> | 655.7x10 <sup>3</sup> |
| 180                                      | 1550                   | 1800           |                           |            | 18650          | 37300           | 4849               | 55950           | 78.0                       |                         |                        | 2327x10 <sup>3</sup>                     | 1981x10 <sup>3</sup>  | 1618x10 <sup>3</sup>  | 1176x10 <sup>3</sup>  |

Slika 15. Tehničke specifikacije odabrane spojke iz [10]

### Components



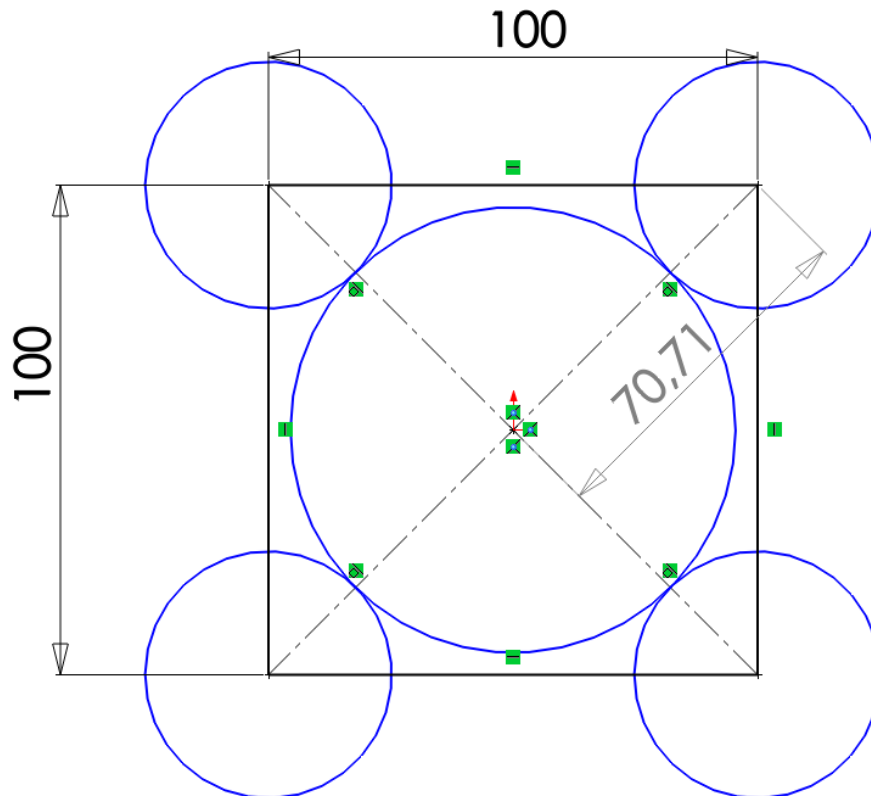
| ROTEX® Shaft coupling for taper clamping sleeve |                       |                 |    |     |    |     |    |       |       |       |   |             |          |            |
|---|-----------------------|-----------------|----|-----|----|-----|----|-------|-------|-------|---|-------------|----------|------------|
| Size  | Taper clamping sleeve | Dimensions [mm] |    |     |    |     |    |       |       |       | Fastening screws for taper clamping sleeves |             |          |            |
|   |                       | $l_1, l_2$      | E  | s   | b  | L   | N  | $D_H$ | $D_1$ | $d_H$ | Size [Inch] 1)                              | Length [mm] | Quantity | $T_A$ [Nm] |
| 24  | 1008                  | 22              | 18 | 2.0 | 14 | 62  | -  | 55    | 55    | 27    | 1/4"  | 13          | 2        | 5.7        |
| 28  | 1108                  | 23              | 20 | 2.5 | 15 | 66  | -  | 65    | 65    | 30    | 1/4"  | 13          | 2        | 5.7        |
| 38  | 1108                  | 23              | 24 | 3.0 | 18 | 70  | 15 | 80    | 78    | 38    | 1/4"  | 13          | 2        | 5.7        |
| 42  | 1610                  | 26              | 26 | 3.0 | 20 | 78  | 16 | 95    | 94    | 46    | 3/8"  | 16          | 2        | 20         |
| 48  | 1615                  | 39              | 28 | 3.5 | 21 | 106 | 28 | 105   | 104   | 51    | 3/8"  | 16          | 2        | 20         |
| 55  | 2012                  | 33              | 30 | 4.0 | 22 | 96  | 20 | 120   | 118   | 60    | 7/16"                                       | 22          | 2        | 31         |
| 65  | 2012                  | 33              | 35 | 4.5 | 26 | 101 | 19 | 135   | 115   | 68    | 7/16"                                       | 22          | 2        | 31         |
| 75  | 2517<br>• 3020        | 52              | 40 | 5.0 | 30 | 144 | 36 | 160   | 158   | 80    | 1/2"  | 25          | 2        | 49         |
| 90  | 3020                  | 52              | 45 | 5.5 | 34 | 149 | 33 | 200   | 160   | 100   | 9/8"  | 32          | 2        | 92         |
| 100   | 3535                  | 90              | 50 | 6   | 38 | 230 | 69 | 225   | 180   | 113   | 1/2"  | 49          | 3        | 113        |
| 125   | 4545                  | 114             | 60 | 7.0 | 46 | 288 | 86 | 290   | 230   | 147   | 3/4"  | 49          | 3        | 192        |

Slika 16. Dimenzije odabrane spojke iz kataloga [10]

## 7. PRORAČUN ZUPČANIKA

### 7.1. Dimenzioniranje zupčanika

Kako nam je zadan razmak svrdla u kvadratnom rasporedu, a iznosi 100 mm, preko toga i preko odabranog prijenosnog omjera možemo izračunati diobene promjere zupčanika.



Slika 17. Osni razmak zupčanika

Iz slike vidimo da osni razmak mora biti  $a_w = 70,71$  mm.

Pomoću zadanog osnog razmaka i prijenosnog omjera možemo izračunati diobene promjere zupčanika.

Kako je  $i \cdot r_1 = r_2$ , a osni razmak  $r_1 + r_2 = a_w$  lako dobijemo da su radijusi zupčanika:

$$r_1 = 45,65 \text{ mm},$$

$$r_2 = 25,06 \text{ mm},$$

odnosno:

$$d_1 = 90 \text{ mm},$$

$$d_2 = 50 \text{ mm}.$$

Broj zubi:

$$z_1 = \frac{d_1}{m} = \frac{90}{2} = 45 \quad (5)$$

Modul je odabran  $m = 2$  mm kao početna pretpostavljena vrijednost u skladu s veličinama modula koje se koriste kod viševretenih glava.

$$z_2 = \frac{d_2}{m} = \frac{50}{2} = 25 \quad (6)$$

Novi prijenosni omjer je:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = 0,555$$

što nam daje odstupanje novog prijenosnog omjera od 1,2% što je praktički zanemarivo.

## 7.2. Proračun orijentacijskog modula

Materijal je odabran poboljšani Ck60 sa naprezanjem boka zuba  $\sigma_{Hlim} = 620 \text{ N/mm}^2$ , a sigurnost  $S_H$  je odabrana 1,5.

Korištene vrijednosti su očitane iz [11],[12] i [13].

Proračun počinjemo izračunom orijentacijskog modula  $m$ :

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{u+1}{u} * \frac{2 * T_1 * K_A * K_V}{\frac{b}{m} * z_1^2 * \sigma_{HP}^2} * K_{H\alpha} * Z_M^2 * Z_H^2 * Z_\epsilon^2} \quad (7)$$

gdje su:

$u = 0,549$  – prijenosni omjer

$$T_1 = \frac{M_{BU}}{i * \eta_{uk}} = \frac{7\,440}{0,549 * 0,88} = 15\,400 \text{ Nmm} \text{ – moment na pogonskom zupčaniku} \quad (8)$$

$$K_A = 1,5 \text{ – faktor udara} \quad (9)$$

$$K_V = 1 + 1,8 * Q^2 * v_l * z_1 * 10^{-5} = 1 + 1,8 + 7^2 * 6,96 * 46 * 10^{-5} = 1,28 \text{ – faktor unutarnjeg dinamičkog naprezanja} \quad (10)$$

$b = 35$  mm – odabrana širina zupčanika

$z_1 = 45$  – odabrani broj zubi pogonskog zupčanika iz (5)

$Q = 7$  – kvaliteta zupčanika

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} = \frac{620}{1,5} = 413,3 \text{ N/mm}^2 \text{ – dopušteno naprezanje korijena zuba} \quad (11)$$

za poboljšani čelik Ck60 i orijentacijski proračun modula uzete su preporučene vrijednosti iz [11]:

$$Z_M = 189,5 \sqrt{N/mm^2} - \text{faktor materijala}$$

$$Z_\varepsilon = 1 - \text{faktor prekrivanja}$$

$$Z_H = 2,4 - \text{faktor oblika zuba}$$

$$K_{H\alpha} = 1 - \text{faktor raspodjele opterećenja kod opteretivosti korijena}$$

Uvrštavanjem poznatih vrijednosti u (7):

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{0,549 + 1}{0,549} * \frac{2 * 15\,400 * 1,5 * 1,28}{\frac{35}{m} * 45^2 * 413,3^2} * 1 * 189,5^2 * 2,4^2 * 1} \quad (12)$$

dobije se da modul mora biti  $m \geq 1,69$  mm.

Odabran je orijentacijski modul  $m = 2$  mm.

### 7.3. Pomak profila

Osni razmak je

$$a_d = \frac{90 + 50}{2} = 70 \text{ mm}, \quad (13)$$

što znači da ćemo morati raditi pomak profila.

$$|a_d - a_w| = |70 - 70,71| = 0,71 \text{ mm}. \quad (14)$$

$$a_w = a_d \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tw})} \rightarrow \cos(\alpha_{tw}) = \frac{a_d}{a_w} * \cos(\alpha_t) = \frac{70}{70,71} * \cos(20) = 0,9303 \quad (15)$$

$$\alpha_{tw} = 21,53^\circ.$$

$$x_1 + x_2 = (z_1 + z_2) * \frac{ev\alpha_{tw} + ev\alpha_t}{2 * \operatorname{tg}(\alpha_n)} \quad (16)$$

Gdje su poznate veličine (5) i (6);

$$z_1 = 45$$

$$z_2 = 25$$

$$ev\alpha_{tw} = \operatorname{tg}(\alpha_{tw}) - \hat{\alpha}_{tw} = 0,0187, \text{ za } \alpha_{tw} = 21,53^\circ \quad (17)$$

$$ev\alpha_t = \operatorname{tg}(\alpha_t) - \hat{\alpha}_t = 0,0149, \text{ za } \alpha_t = 20^\circ \quad (18)$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

Uvrštavanjem poznatih veličina u (16) dobijemo:

$$x_1 + x_2 = (45 + 25) * \frac{0,0187 - 0,0149}{2 * 0,36397} = 0,365. \quad (19)$$

$$x_1 = \frac{i * \Sigma x}{i + 1} = \frac{0,549 * 0,365}{1,549} = 0,129 \quad (20)$$

$$x_2 = 0,236.$$

Tablica 1 Dimenzije zupčanika

| Pogonski   | Gonjeni  |
|--|--|
| $d_1 = 90 \text{ mm}$  | $d_2 = 50 \text{ mm}$  |
| $d_{a1} = d_1 + 2m(1 + x_1) = 94,52 \text{ mm}$                              | $d_{a2} = d_2 + 2m(1 + x_2) = 54,94 \text{ mm}$                              |
| $d_{f1} = d_1 - 2m + 2x_1m - 2c = 85,52 \text{ mm}$                          | $d_{f2} = d_2 - 2m + 2x_2m - 2c = 45,94 \text{ mm}$                          |
| $d_{w1} = d_1 * \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tw})} = 90,92 \text{ mm}$ | $d_{w2} = d_2 * \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tw})} = 50,51 \text{ mm}$ |
| $d_{b1} = d_1 * \cos(\alpha) = 84,57 \text{ mm}$                             | $d_{b2} = d_2 * \cos(\alpha) = 46,98 \text{ mm}$                             |

$c=0,25m=0,5 \text{ mm}$  iz [11].

### 7.3.1. Kontrola tjemene zračnosti

Postojeća tjemena zračnost:

$$c = a_w - \frac{d_{a1} + d_{f2}}{2} = 70,71 - \frac{94,52 + 45,94}{2} = 0,48 > c_{min} = 0,12 * m = 0,24$$

Nije potrebno skraćivanje tjemena.

## 7.4. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba

### 7.4.1. Pogonski zupčanik

$$\sigma_{F1} = \frac{F_{tw}}{b * m} * Y_{F1} * Y_\epsilon * K_{H\alpha} \leq \sigma_{FP1} \quad (21)$$

$$F_{tw} = \frac{2 * T_{1max}}{d_{w1}} = \frac{2 * 15\,400 * 1,5}{90,92} = 508,1 \text{ N} \quad (22)$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

$$Y_{F1} = f(z_1 = 45, x_1 = 0,129, \beta = 0) = 2,25 \text{ očitano iz dijagrama iz [11]}$$

$$Y_\epsilon = \frac{1}{\epsilon_\alpha} = \frac{1}{1,59} = 0,69$$

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2}}{p * \cos \alpha} + \frac{\sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2}}{p * \cos \alpha} - \frac{a * \sin \alpha_w}{p * \cos \alpha} \quad (23)$$

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\sqrt{47,26^2 - 42,29^2}}{6,28 * \cos 20} + \frac{\sqrt{27,47^2 - 23,49^2}}{6,28 * \cos 20} - \frac{70,71 * \sin 21,53}{6,28 * \cos 20} = 1,59 \quad (24)$$

$$\frac{F_{tw}}{b} = \frac{508,1}{30} = 16,9 \text{ N/mm} \quad (25)$$

$$q_L = 0,5$$

$$K_{H\alpha} = 1, \text{ očitano iz [11]}$$

Uvršteno u (21) dobijemo:

$$\sigma_{F1} = \frac{508,1}{30 * 2} * 2,25 * 0,63 * 1 = 12 \text{ N/mm}^2 \quad (26)$$

$$\sigma_{FP1} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_F} = \frac{220}{1,5} = 146,7 \text{ N/mm}^2. \quad (27)$$

Pogonski zupčanik zadovoljava.

#### 7.4.2. Gonjeni zupčanik

Analogno se radi kontrola za gonjeni zupčanik uz razliku u veličini  $Y_{F2}$ .

$$Y_{F2} = f(z_2 = 25, x_1 = 0,236, \beta = 0) = 2,35 \text{ očitano iz dijagrama iz [11]}$$

$$\sigma_{F2} = \frac{508,1}{30 * 2} * 2,35 * 0,63 * 1 = 12,54 \text{ N/mm}^2 \quad (28)$$

$$\sigma_{FP1} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_F} = \frac{220}{1,5} = 146,7 \text{ N/mm}^2. \quad (29)$$

Gonjeni zupčanik zadovoljava.

## 7.5. Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka (Hertzov pritisak)

### 7.5.1. Pogonski zupčanik

$$\sigma_{H1} = Z_M * Z_H * Z_\varepsilon * \sqrt{\frac{u+1}{u} * \frac{F_{tw}}{b * d_1}} * K_{H\alpha} \leq \sigma_{HP1} \quad (30)$$

$$F_{tw} = \frac{2 * T_{lmax}}{d_{w1}} = \frac{2 * 15\,400 * 1,5}{90,92} = 508,1 \text{ N}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$m = 2 \text{ mm}$$

$$Z_M = 189,5 \sqrt{\text{N/mm}^2} \text{ za } \check{C}/\check{C}$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos(\alpha_n)} * \sqrt{\frac{2}{\cos(\alpha_{tw})}} = \frac{1}{\cos 20} * \sqrt{\frac{2}{\cos 21,53}} = 1,56 \quad (31)$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,59}{3}} = 0,896 \quad (32)$$

Uvrštavanjem poznatih veličina dobijemo:

$$\sigma_{H1} = 189,5 * 1,59 * 0,896 * \sqrt{\frac{1,549}{0,549} * \frac{508,1}{30 * 90}} * 1 = 193 \text{ N/mm}^2. \quad (33)$$

$$\sigma_{HP1} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} = \frac{620}{1,5} = 413,3 \text{ N/mm}^2. \quad (34)$$

Pogonski zupčanik zadovoljava.

### 7.5.2. Gonjeni zupčanik

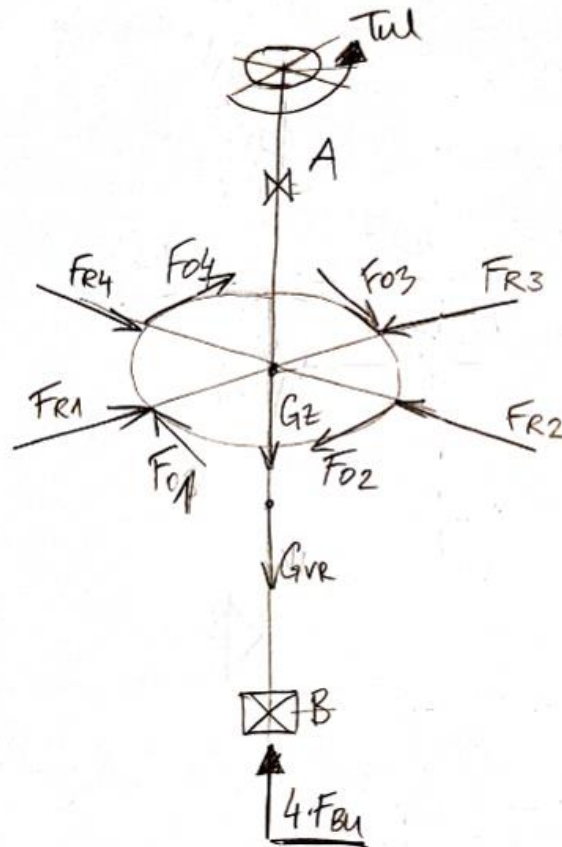
Kako je Hertzov pritisak na oba boka jednako velik, a gonjeni i pogonski zupčanik su izrađeni od istog materijala Ck60, možemo zaključiti da i gonjeni zupčanik zadovoljava.

Sve korištene vrijednosti očitane iz [11] i [12].



## 8. PRORAČUN VRATILA

### 8.1. Proračun pogonskog vratila



Slika 18. Opterećenje pogonskog vratila

Na slici su prikazana opterećenja pogonskog vratila. Iz slike vidimo da vratilo nije opterećeno na savijanje jer se radijalne sile koje djeluju na zupčanik (i vratilo) međusobno ponište.

Opterećenja su:

$$T_{ul} = 59\,000 \text{ Nmm}$$

$$F_{R1} = F_{R2} = F_{R3} = F_{R4}$$

$$F_{O1} = F_{O2} = F_{O3} = F_{O4}$$

$$G_{Z1} = 1,5 * 9,81 = 14,72 \text{ N}$$

$$G_{VR1} = 2,42 * 9,81 = 23,74 \text{ N}$$

$$4F_{BU} = 5\,160 \text{ N}$$

Najmanji potrebni promjer vratila:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{10 * M_{\text{red}}}{\sigma_{\text{fDNdop}}}} \quad (35)$$

$$M_{\text{red}} = \sqrt{0,75 * (\alpha_0 * T_{\text{ul}})^2} \quad (36)$$

$\sigma_{\text{fDN}} = 300 \text{ N/mm}^2$ , za čelik E335 iz [14]

$$S = 2$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{\text{fDN}}}{1,73 * \tau_{\text{fDI}}} = \frac{300}{1,73 * 230} = 0,754 \quad (37)$$

$$M_{\text{red}} = \sqrt{0,75 * (0,754 * 59\,000)^2} = 38\,526 \text{ Nmm} \quad (38)$$

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{10 * 38\,526}{150}} = 13,7 \text{ mm.} \quad (39)$$

Iz konstrukcijskih razloga odabrani su promjeri vratila:

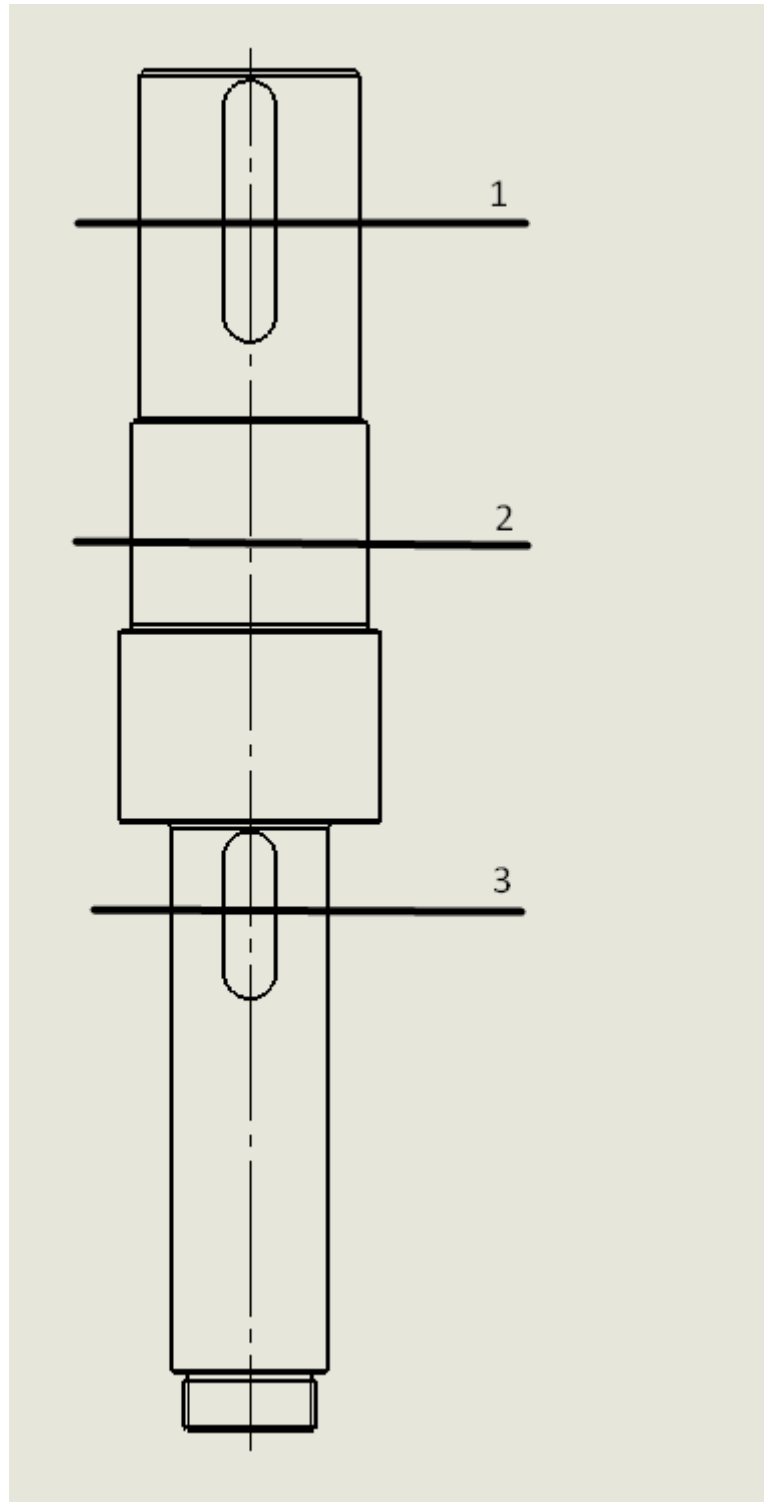
$$d_1 = 42 \text{ mm}$$

$$d_2 = 45 \text{ mm}$$

$$d_3 = 50 \text{ mm}$$

$$d_4 = 30 \text{ mm.}$$

## 8.2. Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti pogonskog vratila



Slika 19. Presjeci pogonskog vratila

**8.2.1. Presjek 1**

$$S_{\text{post1}} = \frac{b_1 * b_2 * \sigma_{\text{fDN}}}{\varphi * \sigma_{\text{red1}}} \quad (40)$$

$$\sigma_{\text{red1}} = \sqrt{3} * \alpha_0 * \beta_{\text{kt}} * \frac{T_I}{W_p} \quad (41)$$

Gdje je:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{\text{fDN}}}{1,73 * \tau_{\text{tDI}}} = \frac{300}{1,73 * 230} = 0,754$$

$$T_I = 59\,000 \text{ Nmm}$$

$$\beta_{\text{kt}} = 1,9$$

$$b_1 = 0,84 \text{ iz [14]}$$

$$b_2 = 0,92 \text{ iz [14]}$$

$$\varphi = 1,25 \text{ iz [14]}$$

$$W_p \cong 0,2 * d^3 = 14\,817,6 \text{ mm}^3 \quad (42)$$

Uvrštavanjem vrijednosti dobijemo:

$$\sigma_{\text{red1}} = \sqrt{3} * 0,754 * 1,9 * \frac{59\,000}{14\,817,6} = 9,9 \text{ N/mm}^2 \quad (43)$$

$$S_{\text{post1}} = \frac{0,84 * 0,92 * 300}{1,25 * 9,9} = 18,7 \quad (44)$$

Presjek 1 zadovoljava.

**8.2.2. Presjek 2**

Koristeći izraze iz 8.2.1 dobijemo:

$$S_{\text{post1}} = \frac{b_1 * b_2 * \sigma_{\text{fDN}}}{\varphi * \sigma_{\text{red1}}}$$

$$\sigma_{\text{red1}} = \sqrt{3} * \alpha_0 * \beta_{\text{kt}} * \frac{T_I}{W_p}$$

Gdje je:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{\text{fDN}}}{1,73 * \tau_{\text{tDI}}} = \frac{300}{1,73 * 230} = 0,754$$

$$T_I = 59\,000 \text{ Nmm}$$

$$\beta_{\text{kt}} = 1 + c_2 * (\beta_{\text{kt2}} - 1) \quad (45)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{45}{42} = 1,07 \quad (46)$$

$$\rho = 1$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d}\right) = 0,45$$

$$\beta_{kt2} = f\left(R_m = 600, \frac{\rho}{d}\right) = 1,9$$

$$\beta_{kt} = 1 + 0,45 * (1,9 - 1) = 1,405 \quad (47)$$

$$b_1 = 0,82 \text{ iz [14]}$$

$$b_2 = 0,92 \text{ iz [14]}$$

$$\varphi = 1,25 \text{ iz [14]}$$

$$W_p \cong 0,2 * d^3 = 18\,225 \text{ mm}^3 \quad (48)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u izraze (40) i (41) dobijemo:

$$\sigma_{red1} = \sqrt{3} * 0,754 * 1,405 * \frac{59\,000}{18\,225} = 5,94 \text{ N/mm}^2 \quad (49)$$

$$S_{post1} = \frac{0,82 * 0,92 * 300}{1,25 * 5,94} = 30,5. \quad (50)$$

Presjek 2 zadovoljava.

### 8.2.3. Presjek 3

Koristeći izraze iz 8.2.1. dobijemo:

$$S_{post1} = \frac{b_1 * b_2 * \sigma_{fDN}}{\varphi * \sigma_{red1}}$$

$$\sigma_{red1} = \sqrt{3} * \alpha_0 * \beta_{kt} * \frac{T_1}{W_p}$$

Gdje je:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 * \tau_{fDI}} = \frac{300}{1,73 * 230} = 0,754$$

$$T_1 = 59\,000 \text{ Nmm}$$

$$\beta_{kt} = 1,9$$

$$b_1 = 0,9 \text{ iz [14]}$$

$$b_2 = 0,92 \text{ iz [14]}$$

$$\varphi = 1,25 \text{ iz [14]}$$

$$W_p \cong 0,2 * d^3 = 5\,400 \text{ mm}^3 \quad (51)$$

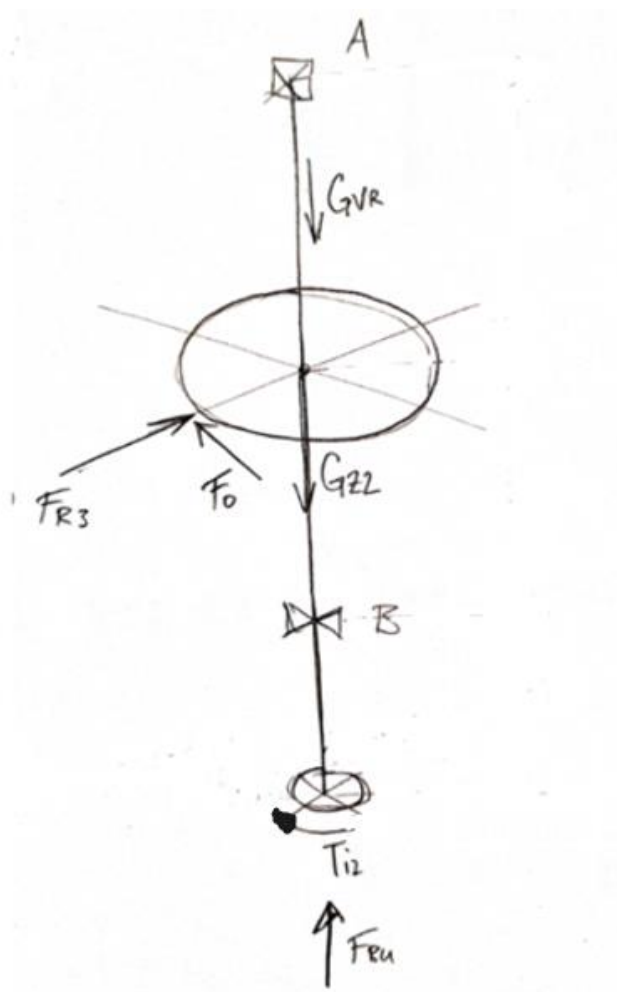
Uvrštavanjem vrijednosti dobijemo:

$$\sigma_{red1} = \sqrt{3} * 0,754 * 1,9 * \frac{59\,000}{5\,400} = 27,1 \text{ N/mm}^2 \quad (52)$$

$$S_{post1} = \frac{0,9 * 0,92 * 300}{1,25 * 27,1} = 7,3 \quad (53)$$

Presjek 3 zadovoljava.

### 8.3. Proračun gonjenog vratila



Slika 20. Opterećenje gonjenog vratila

Na slici su prikazana opterećenja gonjenog vratila. Iz slike vidimo da je vratilo opterećeno na savijanje i uvijanje.

Opterećenja su:

$$T_{iz} = 7\,500 \text{ Nmm}$$

$$F_R = F_o * \tan \alpha_{tw} * \varphi = 300 * \tan 20,463 * 1,25 = 125 \text{ N} \quad (54)$$

$$M = F_R * \frac{l}{4} = 125 * 32,5 = 3\,250 \text{ Nmm} \quad (55)$$

$$F_O = \frac{T_{iz} * 2}{d_{w1}} = \frac{7\,500 * 2}{50,15} = 300 \text{ N} \quad (56)$$

$$G_{Z2} = 0,34 * 9,81 = 3,3 \text{ N} \quad (57)$$

$$G_{VR2} = 1 * 9,81 = 9,81 \text{ N} \quad (58)$$

$$F_{BU} = 1290 \text{ N}$$

Najmanji potrebni promjer vratila:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{10 * M_{\text{red}}}{\sigma_{fDNdop}}} \quad (59)$$

$$M_{\text{red1}} = \sqrt{M^2 + 0,75 * (\alpha_0 * T_{iz})^2} \quad (60)$$

$\sigma_{fDN} = 240 \text{ N/mm}^2$ , za čelik S355J0 iz [14]

$$S = 2$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 * \tau_{tDI}} = \frac{240}{1,73 * 190} = 0,730$$

$$M_{\text{red}} = \sqrt{3\,250^2 + 0,75 * (0,73 * 7\,500)^2} = 5\,748,4 \text{ Nmm} \quad (61)$$

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{10 * 5\,748,4}{120}} = 7,82 \text{ mm} \quad (62)$$

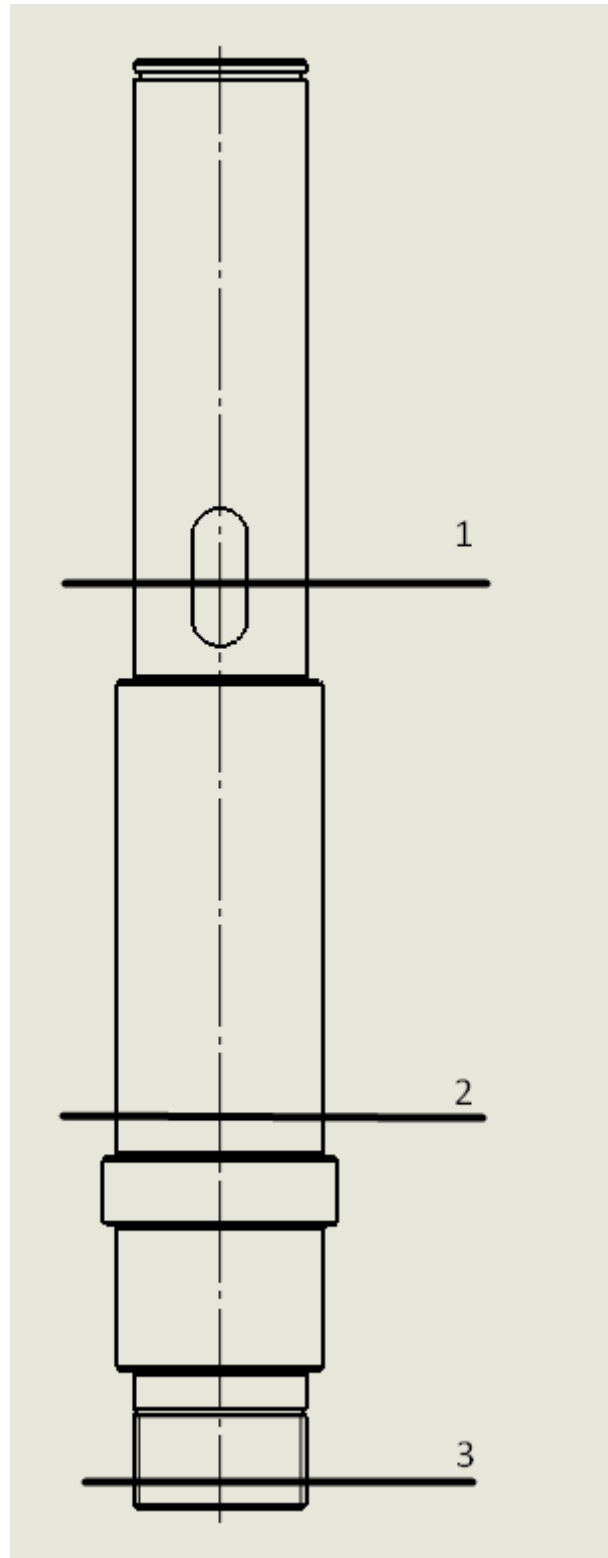
Iz konstrukcijskih razloga odabrani su promjeri vratila:

$$d_1 = 25 \text{ mm}$$

$$d_2 = 30 \text{ mm}$$

$$d_3 = 25 \text{ mm.}$$

#### 8.4. Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti gonjenog vratila



Slika 21. Presjeci gonjenog vratila



### 8.4.1. Presjek 1

Koristeći izraze iz 8.2.1. dobijemo:

$$S_{\text{post1}} = \frac{b_1 * b_2 * \sigma_{\text{fDN}}}{\varphi * \sigma_{\text{f1}}}$$

$$M_{\text{red1}} = \sqrt{(M * \beta_{\text{kf}})^2 + 0,75 * (\alpha_0 * T_{\text{iz}} * \beta_{\text{kt}})^2}$$

Gdje je:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{\text{fDN}}}{1,73 * \tau_{\text{tDI}}} = \frac{240}{1,73 * 190} = 0,73$$

$$T_{\text{iz}} = 7\,500 \text{ Nmm}$$

$$M = F_{\text{R}} * \frac{l}{4} = 125 * 32,5 = 3\,250 \text{ Nmm} \quad (63)$$

$$\beta_{\text{kf}} = 1,9$$

$$\beta_{\text{kt}} = 1,9$$

$$b_1 = 0,9 \text{ iz [14]}$$

$$b_2 = 0,95 \text{ iz [14]}$$

$$\varphi = 1,25 \text{ iz [14]}$$

$$\sigma_{\text{f1}} = \frac{M_{\text{red1}}}{W_l} \cong \frac{M_{\text{red1}}}{0,1 * d^3} \quad (64)$$

Uvrštavanjem vrijednosti dobijemo:

$$M_{\text{red1}} = \sqrt{(3\,250 * 1,9)^2 + 0,75 * (0,73 * 7\,500 * 1,9)^2} = 10\,922 \text{ Nmm} \quad (65)$$

$$\sigma_{\text{f1}} \cong \frac{10\,922}{0,1 * 25^3} = 7 \text{ N/mm}^2 \quad (66)$$

$$S_{\text{post1}} = \frac{0,9 * 0,95 * 240}{1,25 * 7} = 23,45 \quad (67)$$

Presjek 1 zadovoljava.

### 8.4.2. Presjek 2

Koristeći izraze iz 8.2.1. dobijemo:

$$S_{\text{post2}} = \frac{b_1 * b_2 * \sigma_{\text{fDN}}}{\varphi * \sigma_{\text{f2}}}$$

$$M_{\text{red2}} = \sqrt{(M * \beta_{\text{kf}})^2 + 0,75 * (\alpha_0 * T_{\text{iz}} * \beta_{\text{kt}})^2}$$

Gdje je:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 * \tau_{fDI}} = \frac{240}{1,73 * 190} = 0,73$$

$$T_2 = 7\,500 \text{ Nmm}$$

$$\beta_{kt} = 1 + c_2 * (\beta_{kt2} - 1)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{30}{25} = 1,2$$

$$\rho = 1$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d}\right) = 0,8$$

$$\beta_{kt2} = f\left(R_m = 600, \frac{\rho}{d}\right) = 1,7$$

$$\beta_{kt} = 1 + 0,8 * (1,7 - 1) = 1,56 \quad (68)$$

$$b_1 = 0,9 \text{ iz [14]}$$

$$b_2 = 0,9 \text{ iz [14]}$$

$$\varphi = 1,25 \text{ iz [14]}$$

$$\sigma_{f2} = \frac{M_{red2}}{W_2} \cong \frac{M_{red2}}{0,1 * d^3}$$

Uvrštavanjem vrijednosti dobijemo:

$$M_{red2} = \sqrt{0,75 * (0,73 * 7\,500 * 1,56)^2} = 7\,396,7 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{f2} \cong \frac{7\,396,7}{0,1 * 30^3} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{post1} = \frac{0,9 * 0,9 * 240}{1,25 * 2,7} = 57,6$$

Presjek 2 zadovoljava.

### 8.4.3. Presjek 3

Koristeći izraze iz 8.2.1. dobijemo:

$$S_{post3} = \frac{b_1 * b_2 * \sigma_{fDN}}{\varphi * \sigma_{red3}}$$

$$\sigma_{red3} = \sqrt{3} * \alpha_0 * \beta_{kt} * \frac{T_1}{W_p}$$

Gdje je:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 * \tau_{fDI}} = \frac{240}{1,73 * 190} = 0,73$$

$$T_{iz} = 7\,500 \text{ Nmm}$$

$$\beta_{kt} = 1 + c_2 * (\beta_{kt3} - 1)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{30}{25} = 1,2$$

$$\rho = 1$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d}\right) = 0,8$$

$$\beta_{kt3} = f\left(R_m = 600, \frac{\rho}{d}\right) = 1,7$$

$$\beta_{kt} = 1 + 0,8 * (1,7 - 1) = 1,56$$

$$b_1 = 0,9 \text{ iz [14]}$$

$$b_2 = 0,9 \text{ iz [14]}$$

$$\varphi = 1,25 \text{ iz [14]}$$

$$W_p = \frac{\pi}{16} * \frac{d_{vanjski}^4 - d_{unutarnji}^4}{d_{vanjski}} = \frac{\pi}{16} * \frac{25^4 - 20^4}{25} = 1\,811,3 \text{ mm}^3$$

Uvrštavanjem vrijednosti dobijemo:

$$\sigma_{red3} = \sqrt{3} * 0,73 * 1,56 * \frac{7\,500}{1\,811,3} = 8,17 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{post3} = \frac{0,9 * 0,9 * 240}{1,25 * 8,17} = 19,1$$

Presjek 3 zadovoljava.

## 8.5. Potrebna montažna zračnost

Ako pretpostavimo maksimalnu temperaturu u kućištu  $t_u = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , udaljenost između ležajnih mjesta  $l = 130 \text{ mm}$  i faktor toplinske dilatacije za čelik  $\lambda_i = 0,0012$  za  $100 \text{ K}$  proizlazi da je potrebna zračnost:


$$\Delta l = \frac{l * \lambda_i * t_u}{100} = \frac{130 * 0,0012 * 60}{100} = 0,094 \text{ mm.} \quad (69)$$

## 9. ODABIR LEŽAJEVA

Prema opterećenjima iz slika (18) i (20) biramo ležajeve. Ležajevi su odabrani pomoću SKF web računalnog programa [15]. Za potrebni vijek trajanja odabran je  $L_{10h\_min} = 10\ 000$  h.


### 9.1. Ležajevi pogonskog vratila

Donji ležaj je odabran da bude aksijalni 52307 što znači da preuzima svu aksijalnu silu bušenja sa sva 4 svrdla  $4F_{BU} = 5160$  N, a gornji ležaj je odabran da bude samo radijalni NU 1009 ECP. Kako na pogonsko vratilo ne djeluje nikakva radijalna sila, gornji ležaj nije proračunat nego je odabran prema potrebnim dimenzijama pogonskog vratila.

|  |   |                     |
|--|---|---------------------|
|  | <b>Bearing designation</b>  | 52307               |
|  | <b>Bearing type</b>   | Thrust ball bearing |
|  | <b>Basic rating life (<math>L_{10h}</math>)</b>                               | 10300 h             |
|  | <b>SKF life (<math>L_{10mh}</math> or <math>L_{10GMh}</math>)<sup>*</sup></b> | > 10 <sup>5</sup> h |

|                                       |      |    |
|---------------------------------------|------|----|
| Equivalent dynamic bearing load ( P ) | 5.1  | kN |
| Load ratio ( C/P )                    | 9.69 |    |

Slika 22. Donji ležaj pogonskog vratila

|   |                            |                            |
|---|----------------------------|----------------------------|
|  | <b>Bearing designation</b> | NU 1009 ECP                |
|   | <b>Bearing type</b>        | Cylindrical roller bearing |

|                                       |       |    |
|---------------------------------------|-------|----|
| Equivalent dynamic bearing load ( P ) | 0.0   | kN |
| Load ratio ( C/P )                    | 1e+99 |    |

Slika 23. Gornji ležaj pogonskog vratila

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n_m} * \left(\frac{C}{P}\right)^\epsilon = \frac{10^6}{60 * 1460} * (9,69)^3 = 10\,386\text{ h} > 10\,000\text{ h.} \quad (70)$$

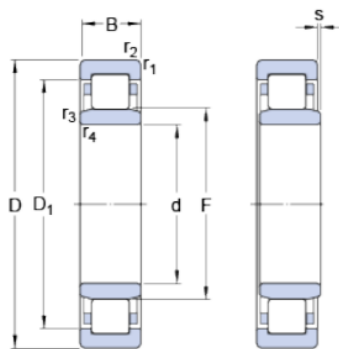
Nakon uvrštenih opterećenja i brzine vrtnje u SKF-ov web računalni program i uvrštenih veličina u izraz (70) iz [16], vidimo da odabrani ležajevi zadovoljavaju potrebni vijek trajanja.



### NU 1009 ECP

Popular item

#### Dimensions



|                  |          |    |
|------------------|----------|----|
| d                | 45       | mm |
| D                | 75       | mm |
| B                | 16       | mm |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 65.3   | mm |
| F                | 52.5     | mm |
| r <sub>1,2</sub> | min. 1   | mm |
| r <sub>3,4</sub> | min. 0.6 | mm |
| s                | max. 0.9 | mm |

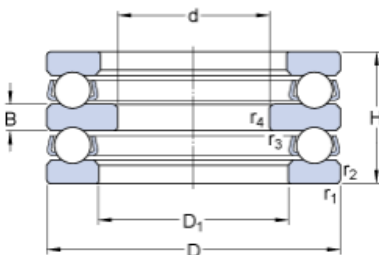
Slika 24. NU 1009 ECP



### 52307

Popular item

#### Dimensions



|                  |          |    |
|------------------|----------|----|
| d                | 30       | mm |
| D                | 68       | mm |
| H                | 44       | mm |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 35     | mm |
| B                | 10       | mm |
| r <sub>1,2</sub> | min. 1   | mm |
| r <sub>3,4</sub> | min. 0.3 | mm |

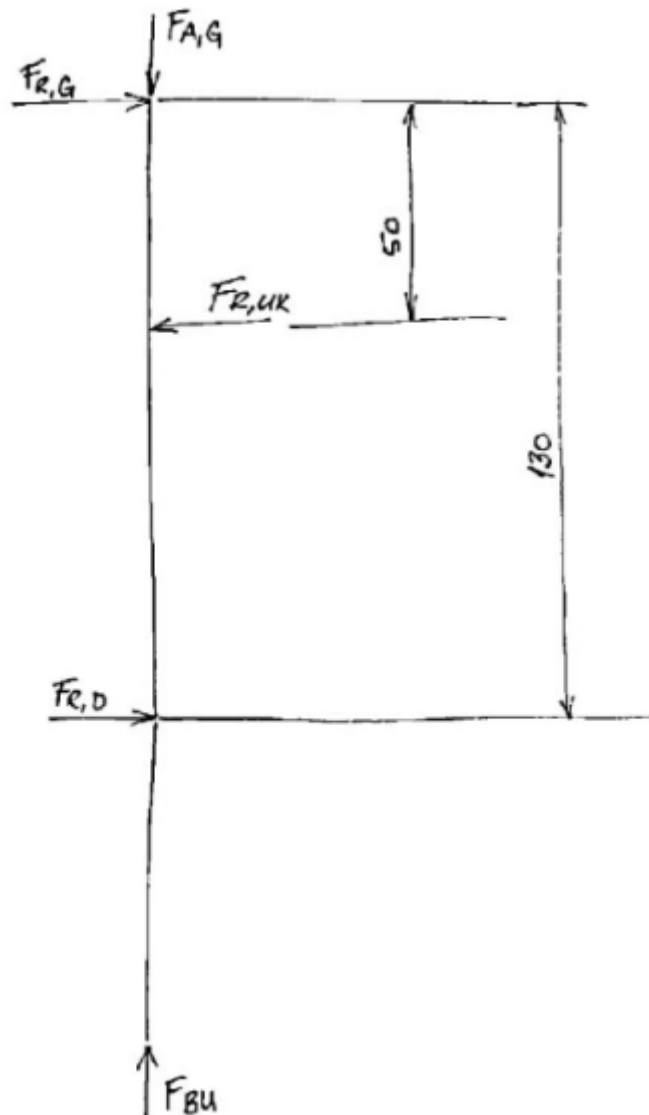
Slika 25. 52307

Slike iz SKF Kataloga [15].

## 9.2. Ležajevi gonjenog vratila

Donji ležaj je odabran radijalni NU 1006 i preuzima samo dio radijalne sile, a gornji ležaj je odabran kuglični jednoredni 6305 koji preuzima dio radijalne sile i cijelu aksijalnu silu

$F_{BU} = 1290$  N s jednog svrdla. Opterećenja ležajeva izračunata su prema slici (20) s tim da je udaljenost između ležajeva  $l = 130$  mm.



Slika 26. Sile u ležajevima

$$F_{R,uk} = \sqrt{F_O^2 + F_R^2} = \sqrt{300^2 + 125^2} = 325 \text{ N} \quad (71)$$

$$\Sigma F_X = 0; \quad (72)$$

$$F_{R,G} + F_{R,D} = F_{R,uk} \quad (73)$$

$$\Sigma F_y = 0; \quad (74)$$

$$F_{A,G} = F_{BU} \quad (75)$$

$$\Sigma M = 0; \quad (76)$$

$$F_{D,R} * 130 = F_{R,uk} * 50 \quad (77)$$


Iz jednadžbi dobijemo da su:

$$F_{A,G} = 1\,290 \text{ N}$$


$$F_{R,G} = 125 \text{ N}$$

$$F_{R,D} = 200 \text{ N.}$$

Dobivene veličine uvrstimo u SKF web računalni program i dobijemo

|  |   |                          |
|--|---|--------------------------|
|  | <b>Bearing designation</b>  | <b>6305</b>              |
|  | <b>Bearing type</b>   | Deep groove ball bearing |
|  | <b>Basic rating life ( <math>L_{10h}</math> )</b>                               | 10700 <i>h</i>           |
|  | <b>SKF life ( <math>L_{10mh}</math> or <math>L_{10GMh}</math> )<sup>*</sup></b> | 91400 <i>h</i>           |
| <b>Equivalent dynamic bearing load ( P )</b>                                       |   | 1.96 <i>kN</i>           |
| <b>Load ratio ( C/P )</b>  |   | 11.96                    |

Slika 27. Gornji ležaj gonjenog vratila

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
|  | <b>Bearing designation</b>  | <b>NU 1006</b>             |
|   | <b>Bearing type</b>   | Cylindrical roller bearing |
|   | <b>Basic rating life ( <math>L_{10h}</math> )</b>                               | > 10 <sup>5</sup> <i>h</i> |
|   | <b>SKF life ( <math>L_{10mh}</math> or <math>L_{10GMh}</math> )<sup>*</sup></b> | > 10 <sup>5</sup> <i>h</i> |
| <b>Equivalent dynamic bearing load ( P )</b>  |   | 0.2 <i>kN</i>              |
| <b>Load ratio ( C/P )</b>   |   | 89.5                       |

Slika 28. Donji ležaj gonjenog vratila

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n_m} * \left(\frac{C}{P}\right)^\varepsilon = \frac{10^6}{60 * 2660} * (11.96)^3 = 10\,719 \text{ h} > 10\,000 \text{ h} \quad (78)$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n_m} * \left(\frac{C}{P}\right)^\varepsilon = \frac{10^6}{60 * 2660} * (89.5)^{\frac{10}{3}} = 20\,092\,960 \text{ h} > 10\,000 \text{ h} \quad (79)$$

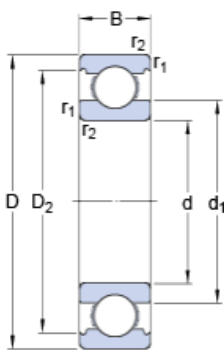
Nakon uvrštenih opterećenja i brzine vrtnje u SKF web računalni program i kasnije uvrštenih veličina u izraze (78) i (79) iz [16] vidimo da odabrani ležajevi zadovoljavaju potrebni vijek trajanja.



## 6305

Popular item  
SKF Explorer

### Dimensions



|                |        |    |
|----------------|--------|----|
| d              | 25     | mm |
| D              | 62     | mm |
| B              | 17     | mm |
| d <sub>1</sub> | ≈ 36.6 | mm |
| D <sub>2</sub> | ≈ 52.7 | mm |

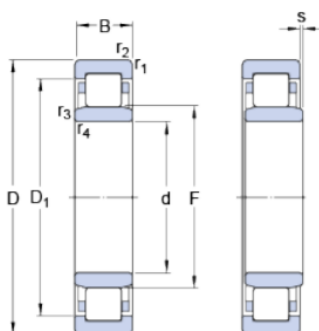
Slika 29. 6305



## NU 1006

Popular item

### Dimensions



|                  |          |    |
|------------------|----------|----|
| d                | 30       | mm |
| D                | 55       | mm |
| B                | 13       | mm |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 45.56  | mm |
| F                | 36.5     | mm |
| r <sub>1,2</sub> | min. 1   | mm |
| r <sub>3,4</sub> | min. 0.6 | mm |
| s                | max. 1.6 | mm |

Slika 30. NU 1006



Slike iz SKF Kataloga [17].

## 10. PRORAČUN PERA

### 10.1. Odabir i kontrola pera na pogonskom zupčaniku

Odabrano je pero DIN 6885A 10x8 duljine 32 mm (nosive duljine  $l_t = 22$  mm).

#### 10.1.1. Kontrola čvrstoće

$$T_{ul} * K_A = 59\,000 * 1,25 = 73\,750 \text{ Nmm} \quad (80)$$

$$d = 35 \text{ mm}$$

$$F_O = \frac{2 * 73\,750}{35} = 4\,214,3 \text{ N} \quad (81)$$

Minimalna nosiva duljina pera  $l_t$  računa se prema:

$$p = \frac{F_O}{t_2 * l_t} \rightarrow l_t = \frac{F_O}{p * t_2} = \frac{4\,214,3}{100 * 2,1} = 20,1 \text{ mm} \quad (82)$$

Pero zadovoljava zadane uvjete čvrstoće.

Sve vrijednosti očitane su iz [13].

#### 10.1.2. Kontrola presjeka pogonskog vratila s obzirom na utor za pero

$$t_2 = 6 \text{ mm}$$

$$d = 35 \text{ mm} - \text{odabrani promjer vratila}$$

$$d_{\min} = 13,7 \text{ mm} - \text{najmanji potrebni promjer pogonskog vratila}$$

$$d - t_1 = 35 - 6 = 29 > 13,7 \quad (83)$$

Zadovoljava.

## 10.2. Odabir i kontrola pera na gonjenom zupčaniku

Odabrano je pero DIN 6885A 8x7 duljine 20 mm (nosive duljine  $l_t = 12$  mm).

### 10.2.1. Kontrola čvrstoće

Koristeći izraze iz 10.1.1 računamo:

$$T_{iz} = \frac{T_{ul} * K_A * \eta_{uk} * i}{4} = \frac{59\,000 * 1,25 * 0,92 * 0,549}{4} = 9\,312,5 \text{ Nmm}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$F_O = \frac{2 * 9\,312,5}{25} = 745 \text{ N}$$

Minimalna nosiva duljina pera  $l_t$  računa se prema:

$$p = \frac{F_O}{t_2 * l_t} \rightarrow l_t = \frac{F_O}{p * t_2} = \frac{745}{100 * 1,7} = 4,4 \text{ mm}$$

Pero zadovoljava zadane uvjete čvrstoće.

Sve vrijednosti očitane su iz [13].

### 10.2.1. Kontrola presjeka gonjenog vratila s obzirom na utor za pero

$$t_2 = 5,4 \text{ mm}$$

$d = 25$  mm – odabrani promjer vratila

$d_{\min} = 6,93$  mm – najmanji potrebni promjer gonjenog vratila

$$d - t_1 = 25 - 5,4 = 19,6 > 7,82$$

(84)

Zadovoljava.

## 11. ODABIR I KONTROLA VIJAKA

### 11.1. Vijci kućišta

Odabrani vijci spoja gornjeg i donjeg kućišta su DIN 912 M6x1 8.8. Na vijke djeluje sila bušenja sa svakog vratila. Kako je sila bušenja  $F_{BU} = 1290$  N, ukupna sila koju preuzimaju vijci je  $4F_{BU} = 5160$  N. Granica tečenja za vijke kvalitete 8.8 [18] je  $R_{eL} = 640$  N/mm<sup>2</sup>, uz sigurnost  $S = 3$  dobijemo dopušteno naprezanje u vijku prema:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{eL}}{S} = \frac{640}{3} = 213,3 \text{ N/mm}^2. \quad (85)$$

Iz [19] očitana je površina jezgre vijka M6, a iznosi  $A_j = 17,9$  mm<sup>2</sup>. Kako nam je sila poznata možemo izračunati potreban broj vijaka prema:

$$\sigma_{dop} \geq \frac{4F_{BU}}{n * A_j} \rightarrow n \geq \frac{4F_{BU}}{\sigma_{dop} * A_j} = \frac{5160}{213,3 * 17,9} = 1,35, \quad (86)$$

$$n \geq 1,35.$$

Odabran je  $n = 8$  što zadovoljava potrebne uvjete čvrstoće.

### 11.2. Vijci naslone pločice ležaja 52307

Odabrani vijci naslone pločice su DIN 7991 M4 8.8.

Na vijke djeluje  $4F_{BU} = 5160$  N. Granica tečenja za vijke kvalitete 8.8 [18] je

$R_{eL} = 640$  N/mm<sup>2</sup>, uz sigurnost  $S = 3$  dobijemo dopušteno naprezanje u vijku prema (85):

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{eL}}{S} = \frac{640}{3} = 213,3 \text{ N/mm}^2.$$

Iz [19] očitana je površina jezgre vijka M4, a iznosi  $A_j = 7,45$  mm<sup>2</sup>. Kako nam je poznata sila možemo izračunati potreban broj vijaka prema:

$$\sigma_{dop} \geq \frac{4F_{BU}}{n * A_j} \rightarrow n \geq \frac{4F_{BU}}{\sigma_{dop} * A_j} = \frac{5160}{213,3 * 7,45} = 3,25, \quad (87)$$

$$n \geq 3,25.$$

Odabran je  $n = 8$  što zadovoljava potrebne uvjete čvrstoće.

### 11.3. Vijci gornje ploče i donjeg kućišta

Odabrani vijci gornje ploče i gornjeg kućišta su DIN 912 M8 8.8. Na vijke djeluje  $4F_{BU} = 5\,160$  N. Granica tečenja za vijke kvalitete 8.8 [18] je  $R_{eL} = 640$  N/mm<sup>2</sup>, uz sigurnost  $S = 3$  dobijemo dopušteno naprezanje u vijku prema (85):

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{eL}}{S} = \frac{640}{3} = 213,3 \text{ N/mm}^2.$$

Iz [19] očitana je površina jezgre vijka M8, a iznosi  $A_j = 32,8$  mm<sup>2</sup>. Kako nam je poznata sila možemo izračunati potreban broj vijaka prema:

$$\sigma_{dop} \geq \frac{4F_{BU}}{n * A_j} \rightarrow n \geq \frac{4F_{BU}}{\sigma_{dop} * A_j} = \frac{5160}{213,3 * 32,8} = 0,8, \quad (88)$$

$$n \geq 0,8.$$

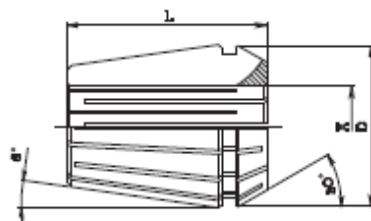
Odabran je  $n = 4$  što zadovoljava potrebne uvjete čvrstoće.

## 12. PRIHVAT SVRDLA

Za prihvata svrdla odabrana je opcija sa steznom čahuricom, maticom i navojem na vratilu.

Čahura je ERC 20 za svrdla od 4 do 13 mm prema normi DIN 6499 B.

### PINZE ERC AUTOESTRAIBILI Tipo 050 DIN 6499 B ERC COLLETS



### PINZE STANDARD (STANDARD COLLETS)

| Art. / Code | Tipo / Type | D    | L    | Alesaggio / Bore |       | Capacità serraggio / Gripping range | Pinze per serie / Collets for range |
|-------------|-------------|------|------|------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|             |             |      |      | X min            | X max |                                     |                                     |
| 050.008     | ERC 8       | 8,5  | 13,5 | 1,0              | 5,0   | 0,5                                 | 9                                   |
| 050.011     | ERC 11      | 11,5 | 18   | 1,0              | 7,0   | 0,5                                 | 13                                  |
| 050.011*    | ERC 11      | 11,5 | 18   | 7,5              | 8,0   | 0,5                                 | 2                                   |
| 050.016     | ERC 16      | 17   | 27   | 1,0              | 3,0   | 0,5                                 | 5                                   |
| 050.016     | ERC 16      | 17   | 27   | 4,0              | 10,0  | 1,0                                 | 7                                   |
| 050.016*    | ERC 16      | 17   | 22   | 11,0             | 12,0  | 1,0                                 | 2                                   |
| 050.020     | ERC 20      | 21   | 31   | 1,0              | 3,0   | 0,5                                 | 5                                   |
| 050.020     | ERC 20      | 21   | 31   | 4,0              | 13,0  | 1,0                                 | 10                                  |
| 050.020*    | ERC 20      | 21   | 24   | 14,0             | 15,0  | 1,0                                 | 2                                   |
| 050.025     | ERC 25      | 26   | 35   | 1,0              | 3,0   | 0,5                                 | 5                                   |
| 050.025     | ERC 25      | 26   | 35   | 4,0              | 16,0  | 1,0                                 | 13                                  |
| 050.025*    | ERC 25      | 26   | 26   | 17,0             | 20,0  | 1,0                                 | 4                                   |
| 050.032     | ERC 32      | 33   | 40   | 2,5              | 3,0   | 0,5                                 | 2                                   |
| 050.032     | ERC 32      | 33   | 40   | 4,0              | 20,0  | 1,0                                 | 17                                  |
| 050.032*    | ERC 32      | 33   | 33   | 21,0             | 25,0  | 1,0                                 | 5                                   |
| 050.040     | ERC 40      | 41   | 46   | 3,0              | 30,0  | 1,0                                 | 28                                  |
| 050.040*    | ERC 40      | 41   | 36   | 31,0             | 32,0  | 1,0                                 | 2                                   |
| 050.050     | ERC 50      | 52   | 60   | 6,0              | 34,0  | 1,0                                 | 29                                  |

\* Speciali (Special)

Slika 31. Odabir stezne čahure ERC 20 [20]

### GHIERE STANDARD (STANDARD CLAMPING NUTS)

Fig. 3

| Art. / Code | Tipo / Type | D  | H    | F / Thread |
|-------------|-------------|----|------|------------|
| 052.316     | ERC 16      | 32 | 17,5 | 22x1,5     |
| 052.320     | ERC 20      | 35 | 19   | 25x1,5     |
| 052.326     | ERC 25      | 42 | 20   | 32x1,5     |
| 052.332     | ERC 32      | 50 | 22   | 40x1,5     |
| 052.340     | ERC 40      | 63 | 25   | 50x1,5     |
| 052.350     | ERC 50      | 78 | 35   | 64x2       |

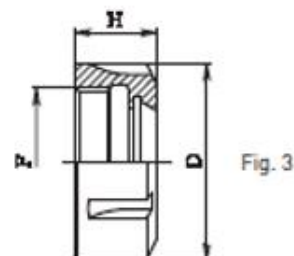
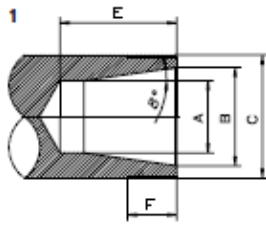


Fig. 3

Slika 32. Matica ERC 20 [20]

Na gonjenom vratilu je prema potrebnim dimenzijama iz slike (33) napravljen prihvat za čahuru i navoj za maticu.



| Size  | Clamping Range | HI-Q/ER | HI-Q/ERC | HI-Q/ERB | HI-Q/ERBC | HI-Q/ERM | HI-Q/ERM C | ER MS | ER AX | ER AX C | A [mm] | B [mm] | C [mm]   | E [mm] | F [mm] | Drawing |
|-------|----------------|---------|----------|----------|-----------|----------|------------|-------|-------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|---------|
| ER 11 | 0.5 ... 7.0    | ✓       | ✓        |          |           |          |            |       |       |         | 7.5    | 11     | M14x0.75 | 17.0   | 10.0   | 1       |
| ER 16 | 0.5 ... 10.0   | ✓       | ✓        | ✓        |           |          |            |       |       |         | 10.5   | 16     | M22x1.50 | 22.0   | 13.0   | 1       |
| ER 20 | 0.5 ... 13.0   | ✓       | ✓        | ✓        | ✓         |          |            |       |       |         | 13.5   | 20     | M25x1.50 | 26.5   | 13.5   | 1       |
| ER 25 | 0.5 ... 16.0   | ✓       | ✓        | ✓        | ✓         |          |            |       |       |         | 18.0   | 25     | M32x1.50 | 29.0   | 14.0   | 1       |
| ER 32 | 1.0 ... 20.0   | ✓       | ✓        | ✓        | ✓         |          |            |       |       |         | 23.5   | 32     | M40x1.50 | 34.0   | 16.0   | 1       |
| ER 40 | 2.0 ... 30.0   | ✓       | ✓        | ✓        | ✓         |          |            |       |       |         | 30.5   | 40     | M50x1.50 | 38.0   | 17.0   | 1       |
| ER 50 | 4.0 ... 34.0   | ✓       | ✓        | ✓        | ✓         |          |            |       |       |         | 38.0   | 50     | M64x2.00 | 48.0   | 24.0   | 1       |

Slika 33. Dimenzije rupe za čahuru iz [21]

### 13. PODMAZIVANJE ZUPČANIČKOG PRIJENOSNIKA

Obodna brzina računa se prema:

$$v = \frac{n_1 * d_{z1} * \pi}{60 * 10^3} = \frac{1460 * 91 * \pi}{60 000} = 6,9 \text{ m/s.} \quad (89)$$

Iz [10] vidimo da se za dobivenu obodnu brzinu preporuča podmazivanje uranjanjem.

Prema toj obodnoj brzini i za trajni pogon orijentacijski bi odgovaralo ulje viskoziteta (očitano iz [12]) 5,7°E/50°C, odnosno prema preporukama za izbor ulja dolazi u obzir ulje Cirkol 60.

## 14. ZAKLJUČAK

U ovom radu napravljen je proračun i konstrukcija viševretene glave za bušenje sa 4 svrdla promjera  $\varnothing 12$ . Kao ulazni podaci prema kojima je rađen proračun uzeti su preporučeni parametri bušenja iz Sandvik-ovog web računalnog programa u koji su unešeni podaci zadani u zadatku kao što su promjer svrdla, dubina bušenja i materijal obradka. Elektromotor je odabran iz Siemens-ovog kataloga i preko njega smo dobili potrebni prijenosni omjer u multiplikatoru. Iz prijenosnog omjera i brzine vrtnje smo kasnije napravili proračun i kontrolu zupčanika. Također je napravljen proračun i kontrola vratila iz dobivenih opterećenja. Spoj zupčanika s vratilima je izvedem perima. Ležajevi su odabrani pomoću SKF-ovog web računalnog programa i zadanih opterećenja. Kućište je izvedeno iz 2 dijela (gornjeg i donjeg) i 1 pločom koja se montira na gornji dio kućišta kako bi se olakšali montaža i kontrola, odnosno izmjena ulja. Prihvat viševretene glave za bušnu ploču je zamišljen s 4 M8 vijka koja se uvidaju u gornju ploču. Cijeli sklop ima oko 25 kilograma. Svi dijelovi su povezani vijcima koji su kontrolirani na uvjete čvrstoće. Za konstrukciju je korišten programski paket SolidWorks. Važno je napomenuti da je ovaj rad zamišljen kao dio jednog, a ne kao kompletan proizvod. U ovom radu su riješeni problemi prijenosa snage s jednog elektromotora na 4 svrdla preko jednog pogonskog zupčanika, prihvat svrdla i prihvat glave za nosivu konstrukciju (koja nije bila dio ovog rada). Još ostaju zadaci za daljnju konstrukciju kao što su prihvat elektromotora za nosivu konstrukciju, linearna gibanja viševretene glave i sl.

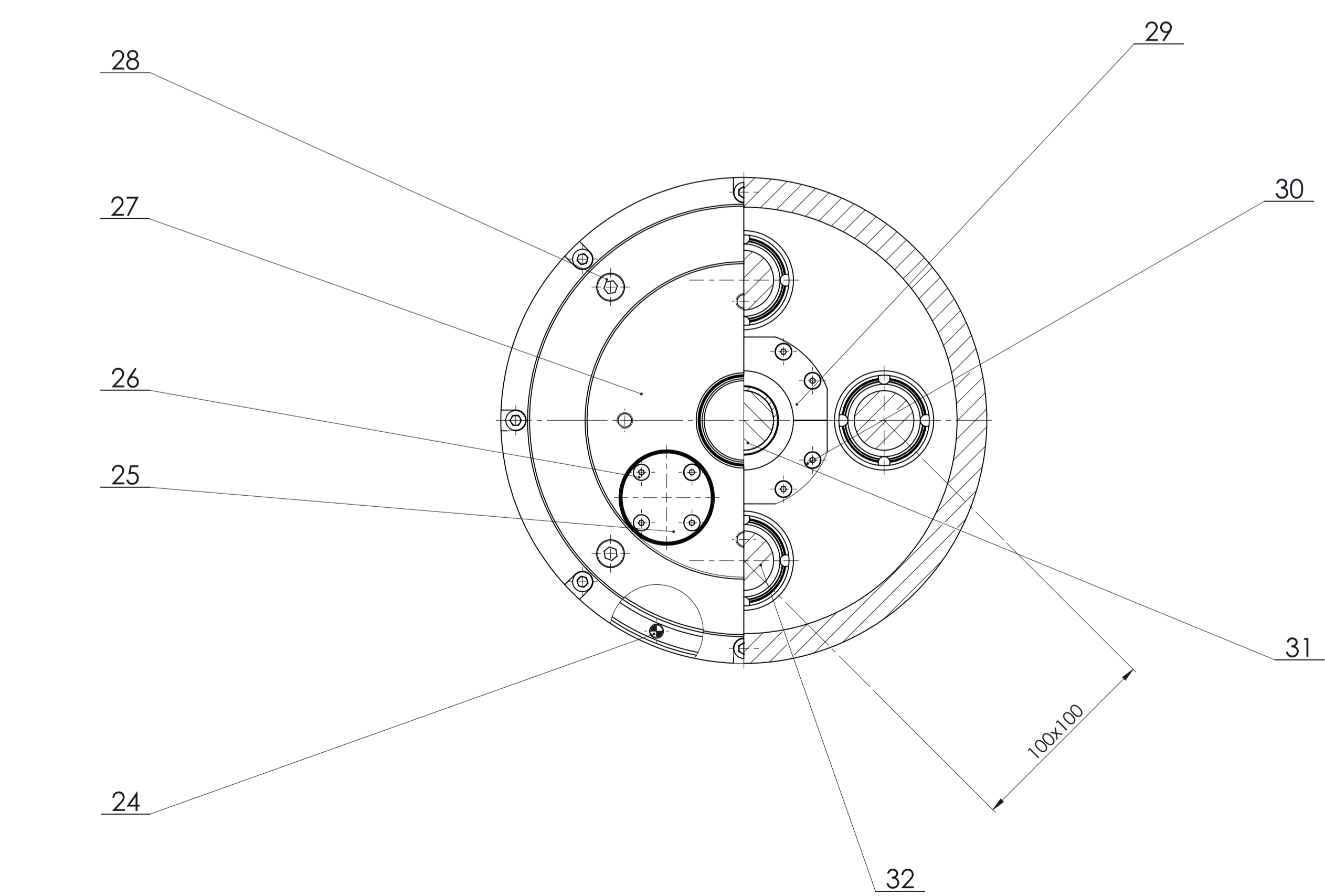
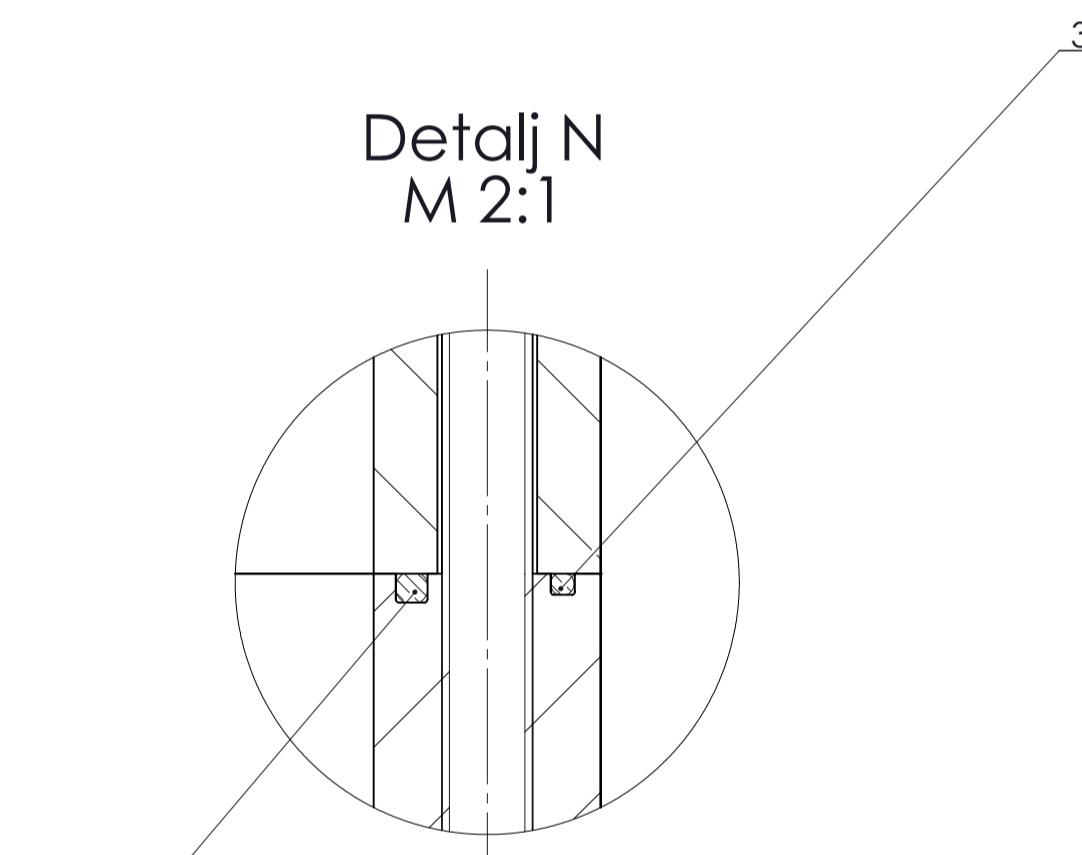
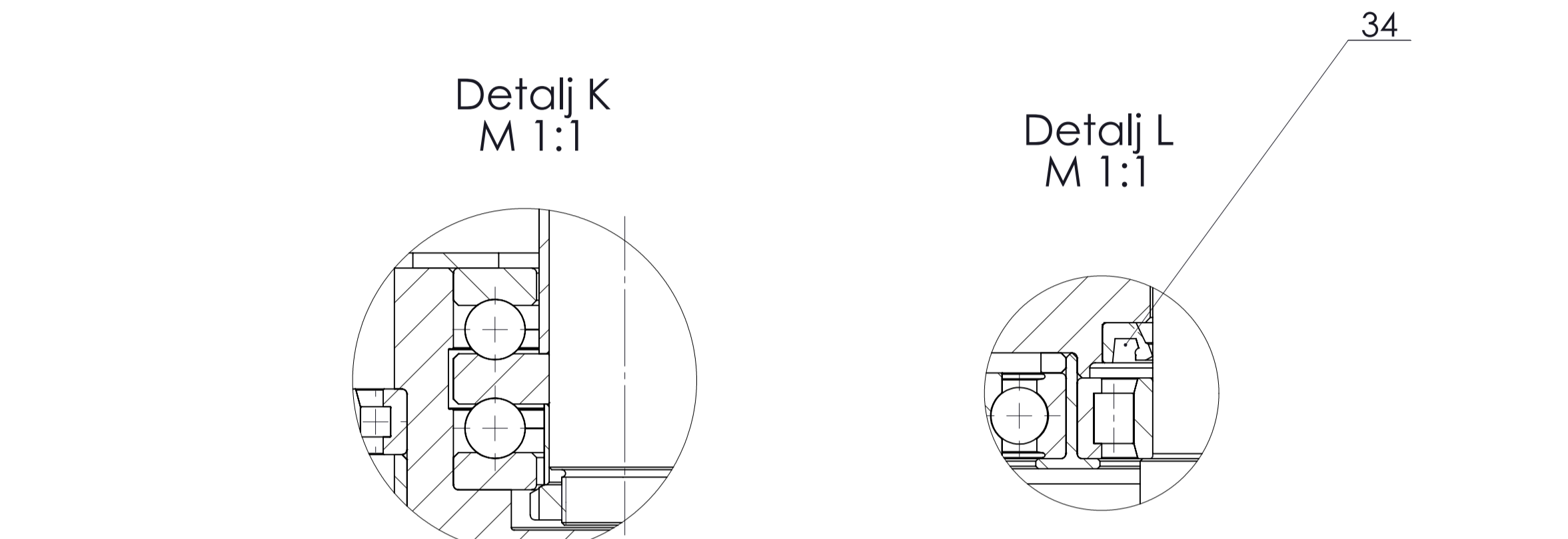
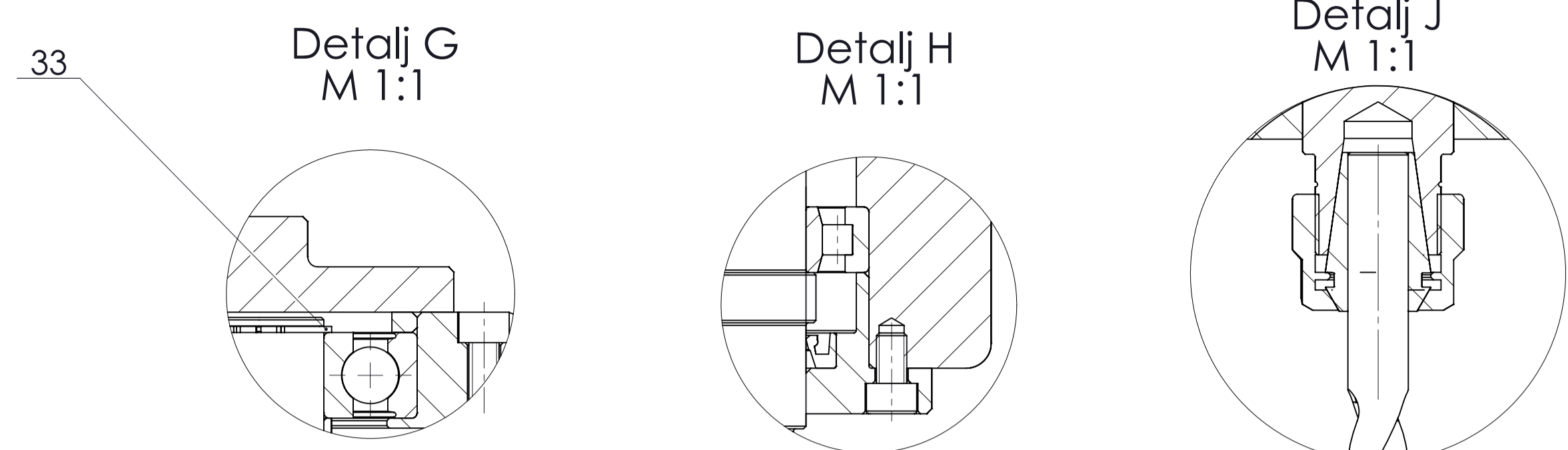
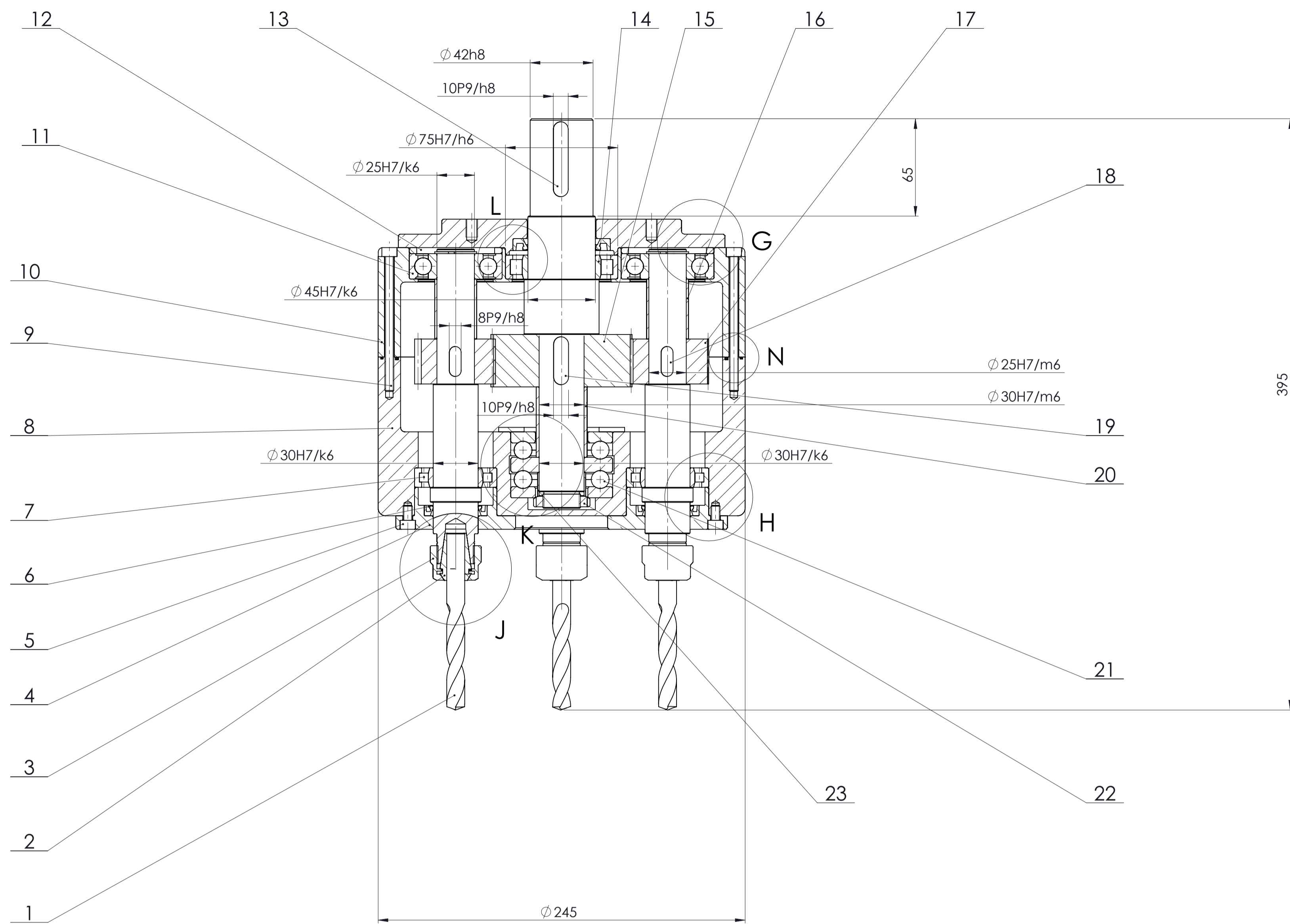
## LITERATURA

- [1] Tadić Branko – Alati i Pribori, Kragujevac 2008.
- [2] [http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/alatni\\_strojevi.pdf](http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/alatni_strojevi.pdf)
- [3] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Svrdlo>
- [4] <https://www.benztooling.com/en/products/metal/tooling-technology-machining-centers/multi-spindle-heads>
- [5] [http://www.hardy-tw.com/en/products-1\\_134\\_1.html](http://www.hardy-tw.com/en/products-1_134_1.html)
- [6] [http://miyakawa.co.in/k\\_type.php](http://miyakawa.co.in/k_type.php)
- [7] Katalog proizvoda – Sandvik Rotating Tools, 2015.
- [8] Katalog proizvoda - [https://w3.siemens.com.br/drives/br/pt/motores/motores-bt/motores-abnt-ate-3151/Documents/Catalogo\\_de\\_Motores\\_IEC\\_D81.1\\_-\\_2008.pdf](https://w3.siemens.com.br/drives/br/pt/motores/motores-bt/motores-abnt-ate-3151/Documents/Catalogo_de_Motores_IEC_D81.1_-_2008.pdf)
- [9] Vučković Krešimir – Spojke – EKII podloge, Zagreb 2018.
- [10] Katalog proizvoda - <https://www.ktr.com/us/tools-downloads/catalogs-brochures/>
- [11] Oberšmit Eugen – Ozubljenja i Zupčanici, Zagreb 1982.
- [12] Opalić Milan, Rakamarić Petar – Reduktor, Zagreb 2001.
- [13] Decker Karl-Heinz – Elementi Strojeva, Zagreb 2006.
- [14] Horvat Zvonimir i suradnici – Vratilo,
- [15] <https://www.skfbearingselect.com/#/one-or-two>
- [16] Vučković Krešimir – Valjni i Klizni Ležajevi – EKII podloge, Zagreb 2018.
- [17] SKF Katalog
- [18] Kranjčević Nenad – Vijci i Navojna Vretena – interna skripta EKI, Zagreb 2014.
- [19] Kraut Bojan – Strojarski Priručnik, Zagreb 1975.
- [20] Katalog proizvoda - <http://www.chiamo.it/en/cataloghi-prodotti/er-din-6499-collet-type-drill-holders/>
- [21] Katalog proizvoda - <https://usa.rego-fix.com/catalog/>



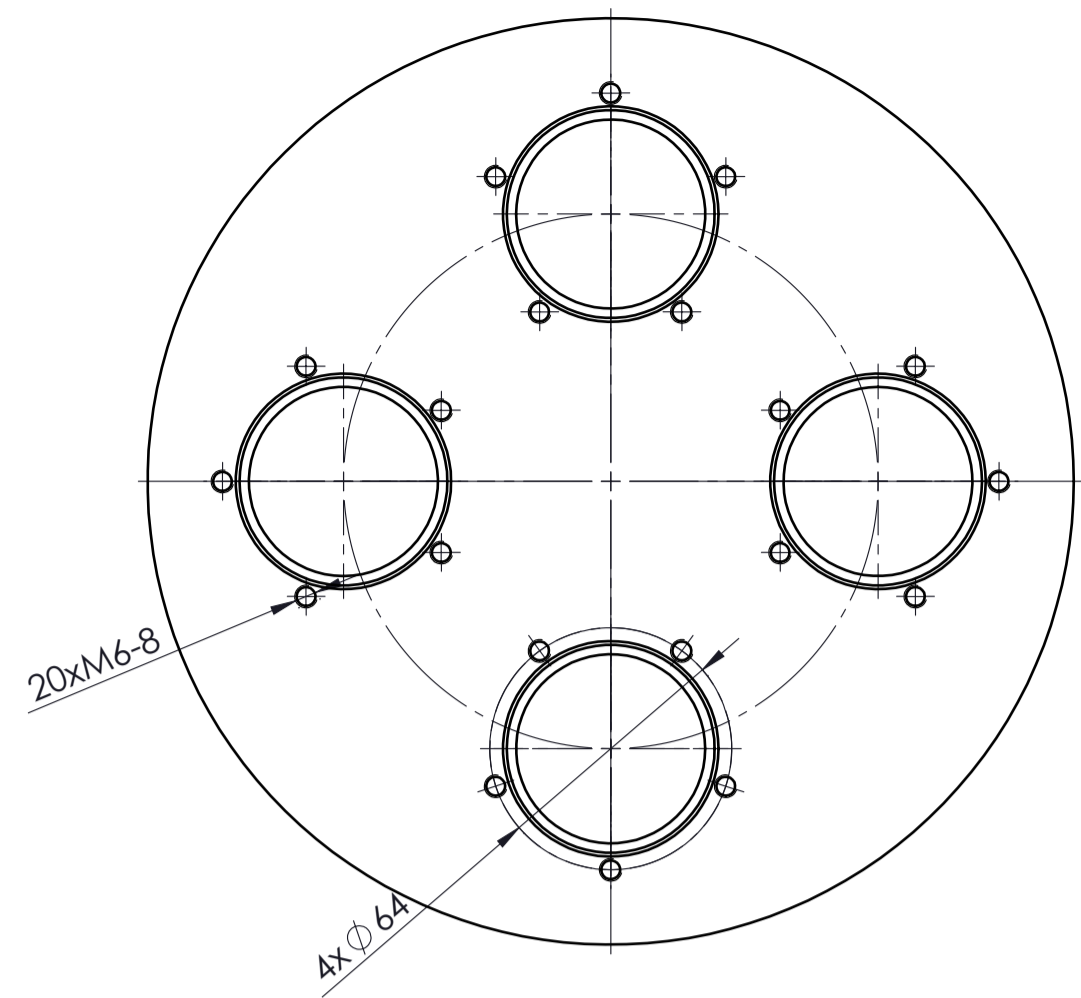
## **PRILOZI**

- I. CD-R disk
- II. Tehnička dokumentacija



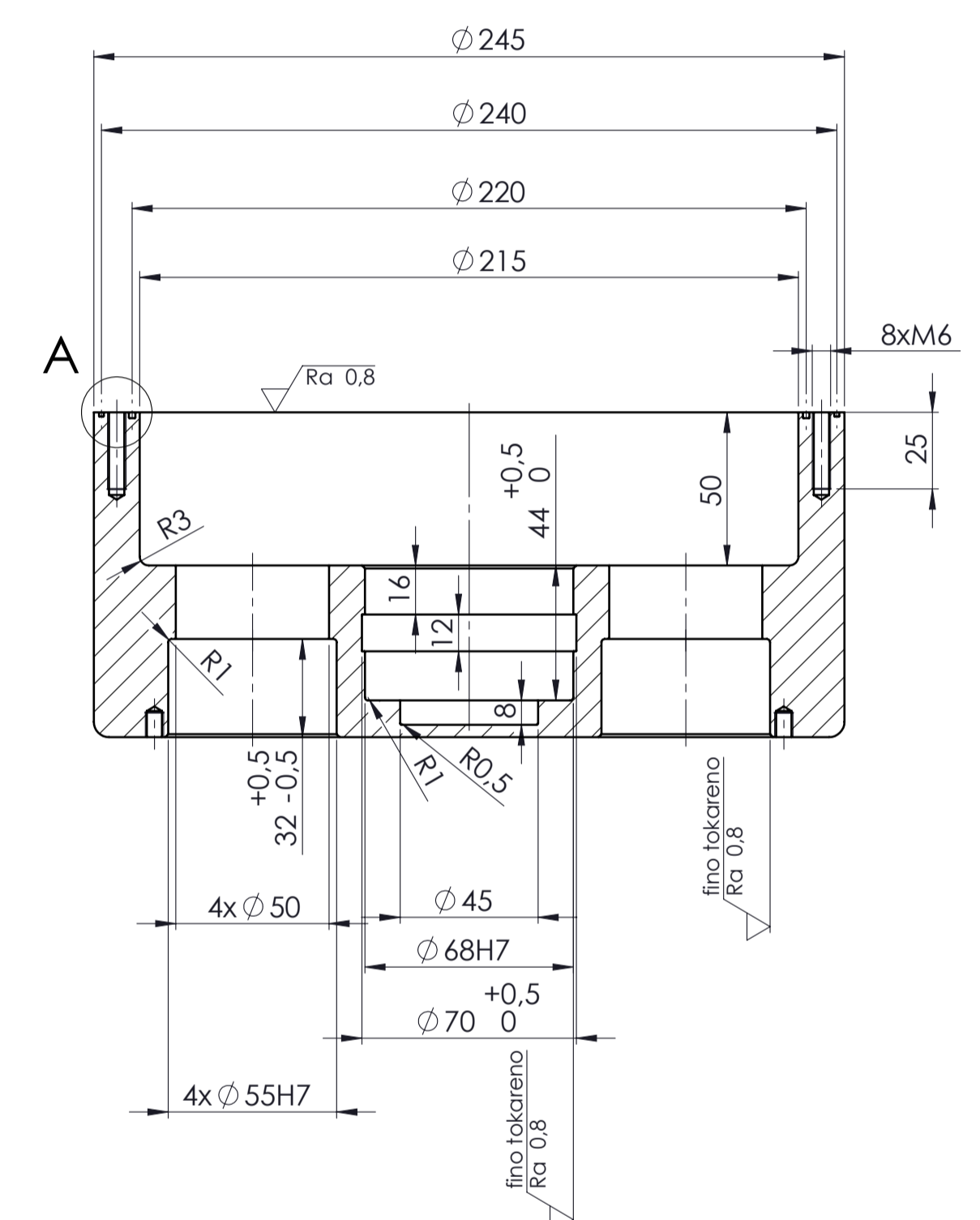
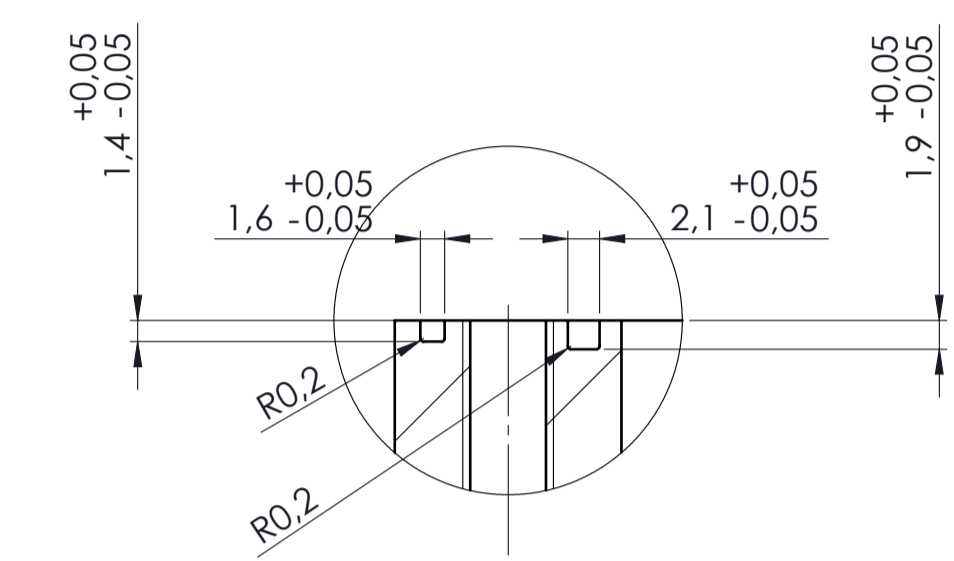
|    |                            |    |           |        |                       |      |
|----|----------------------------|----|-----------|--------|-----------------------|------|
| 36 | O - prsten veliki          | 1  | DIN 3771  | NBR    | Eriks                 | 1g   |
| 35 | O - prsten mali            | 1  | DIN 3771  | NBR    | Eriks                 | 1g   |
| 34 | Brveni prsten pog. v.      | 1  | DIN 3760  | NBR    | SKF                   | 50g  |
| 33 | Uskočnik gon. v.           | 4  | DIN 471   | 50CrV4 | Seeger                | 8g   |
| 32 | Gonjeno vratilo            | 4  | 1819-014  | S355J0 | $\phi 35 \times 250$  | 800g |
| 31 | Pogonsko vratilo           | 1  | 1819-015  | E335   | $\phi 50 \times 250$  | 2kg  |
| 30 | Vijak za naslonu pločicu   | 4  | DIN 7991  | 8.8    | Norelem               | 8g   |
| 29 | Naslona pločica            | 1  | 1819-012  | S235   | $\phi 60 \times 5$    | 80g  |
| 28 | Vijak M8x12                | 4  | DIN 7991  | 8.8    | Norelem               | 20g  |
| 27 | Gornja ploča               | 1  | 1819-011  | S235   | $\phi 220 \times 30$  | 3kg  |
| 26 | Vijak M4x12                | 4  | DIN 7991  | 8.8    | Norelem               | 8g   |
| 25 | Poklopac za ulje           | 1  | 1819-010  | S235   | $\phi 50 \times 10$   | 50g  |
| 24 | Žatik za centriranje       | 2  | DIN 6325  | E295   | $6 \times 30$         | 15g  |
| 23 | Distančni prsten za maticu | 1  | 1819-009  | S235   | $\phi 35 \times 15$   | 20g  |
| 22 | SKF matica                 | 1  |           |        | SKF                   | 30g  |
| 21 | Ležaj 52307                | 1  | 52307     |        | SKF                   | 680g |
| 20 | Distančni prsten pog. v.   | 1  | 1819-008  | S235   | $\phi 35 \times 70$   | 70g  |
| 19 | Pero 16x10                 | 1  | DIN 6885A | E295   | $16 \times 10$        | 75g  |
| 18 | Pero 8x7                   | 4  | DIN 6885A | E295   | $8 \times 7$          | 50g  |
| 17 | Gonjeni zupčanik           | 4  | 1819-007  | Ck60   | $\phi 50 \times 30$   | 400g |
| 16 | Distančni prsten gon. v.   | 4  | 1819-006  | S235   | $\phi 30 \times 50$   | 40g  |
| 15 | Pogonski zupčanik          | 1  | 1819-005  | Ck60   | $\phi 91 \times 35$   | 1.2k |
| 14 | NU 1009                    | 1  | NU 1009   |        | SKF                   | 248g |
| 13 | Pero 16x10                 | 1  | DIN 6885A | E295   | $16 \times 10$        | 90g  |
| 12 | Odstojni prsten            | 4  | 1819-004  | S253   | $\phi 62 \times 5$    | 15g  |
| 11 | Ležaj 6306                 | 4  | 6306      |        | SKF                   | 135g |
| 10 | Gornji dio kućišta         | 1  | 1819-003  | A356   | $\phi 240 \times 120$ | 3kg  |
| 9  | Vijak M6x80                | 8  | DIN 912   | 8.8    | Norelem               | 23g  |
| 8  | Donji dio kućišta          | 1  | 1819-002  | A356   | $\phi 240 \times 140$ | 4kg  |
| 7  | Ležaj NU 1006              | 4  | NU 1006   |        | SKF                   | 117g |
| 6  | Brveni prsten pog. v.      | 4  | DIN 3760  | NBR    | SKF                   | 50g  |
| 5  | Vijak M6x10                | 20 | DIN 912   | 8.8    | Norelem               | 12g  |
| 4  | Donji poklopac             | 4  | 1819-001  | CuZn4  | $\phi 50 \times 20$   | 400g |
| 3  | Matica za steznu čahuru    | 4  | DIN 6499  |        | Rego-Fix              | 40g  |
| 2  | Stezna čahura ERC 20       | 4  | DIN 6499  |        | Rego-Fix              | 50g  |
| 1  | Svrlo                      | 1  | DIN 338   | Ck22   | Sandvik               | 50g  |

|                    |  |                     |                  |                                    |                  |      |
|--------------------|--|---------------------|------------------|------------------------------------|------------------|------|
| Naziv dijela       |  | Kom.                | Crtež broj Norma | Materijal                          | Sirove dimenzije | Masa |
| Broj naziva - code |  | Datum               | Ime i prezime    |                                    | Potpis           |      |
| Projektirao        |  | Josip Žilić         |                  |                                    |                  |      |
| Razradio           |  | Josip Žilić         |                  |                                    |                  |      |
| Crtao              |  | Josip Žilić         |                  |                                    |                  |      |
| Pregledao          |  | prof. Dragan Žeželj |                  |                                    |                  |      |
| ISO - tolerancije  |  | Objekt:             |                  | Objekt broj:                       |                  |      |
| 8P9/h8             |  | $\phi 6H7/m6$       |                  | R. N. broj:                        |                  |      |
| 10P9/h8            |  | $\phi 25H7/m6$      |                  | Napomena:                          |                  |      |
| $\phi 75H7/h6$     |  | $\phi 25H7/k6$      |                  | Materijal:                         |                  |      |
|                    |  | $\phi 30H7/m6$      |                  | Masa: 25kg                         |                  |      |
|                    |  | $\phi 30H7/k6$      |                  | Naziv:                             |                  |      |
|                    |  | $\phi 30H7/k6$      |                  | Mjerilo originala                  |                  |      |
|                    |  | $\phi 45H7/k6$      |                  | Naziv: Višvretena glava za bušenje |                  |      |
|                    |  | 1:2                 |                  | Crtež broj: 1819-1                 |                  |      |
|                    |  |                     |                  | Mjerna jedinica: 1                 |                  |      |
|                    |  |                     |                  | Format: A1                         |                  |      |
|                    |  |                     |                  | Listova: 1                         |                  |      |
|                    |  |                     |                  | List: 1                            |                  |      |

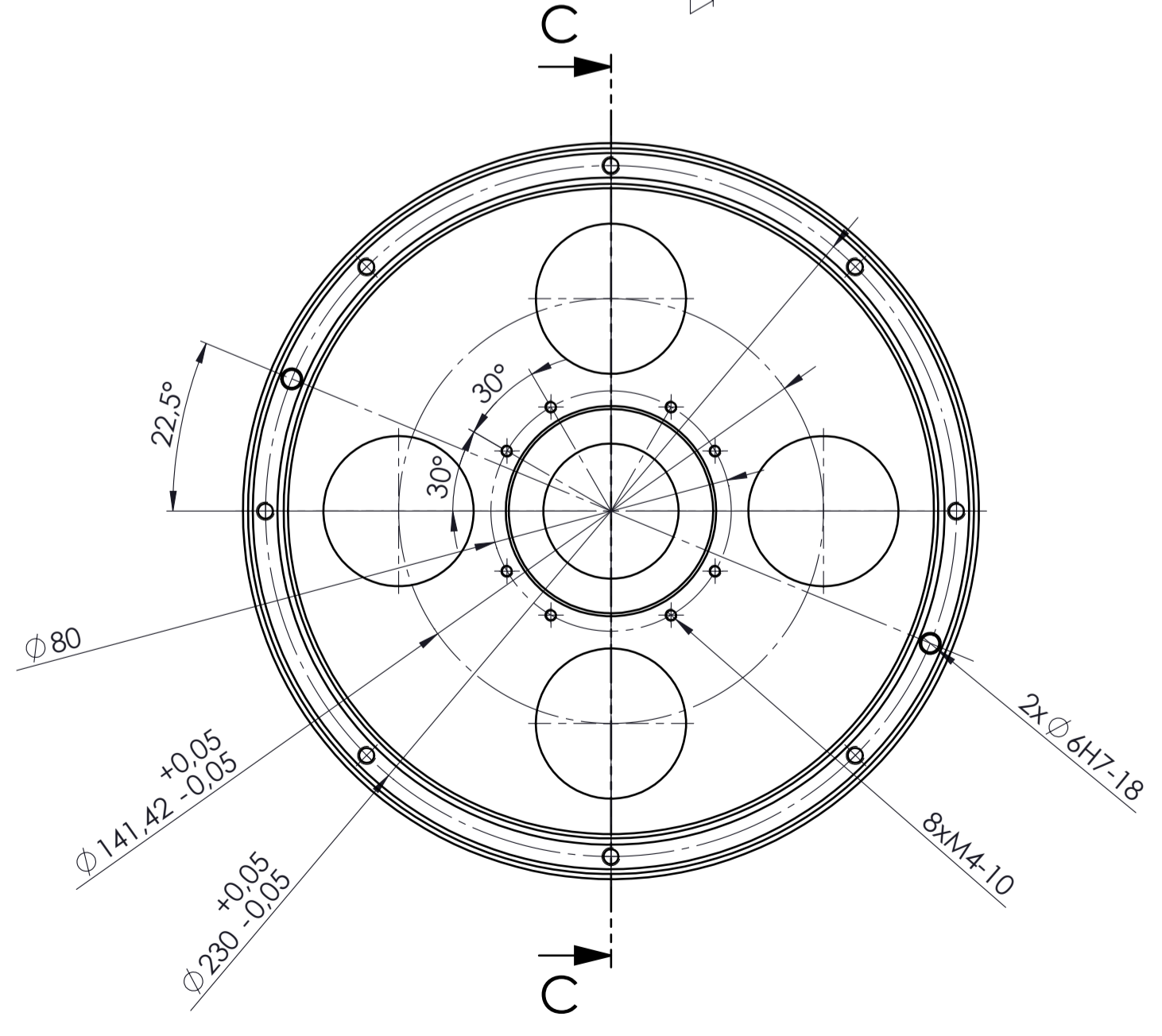
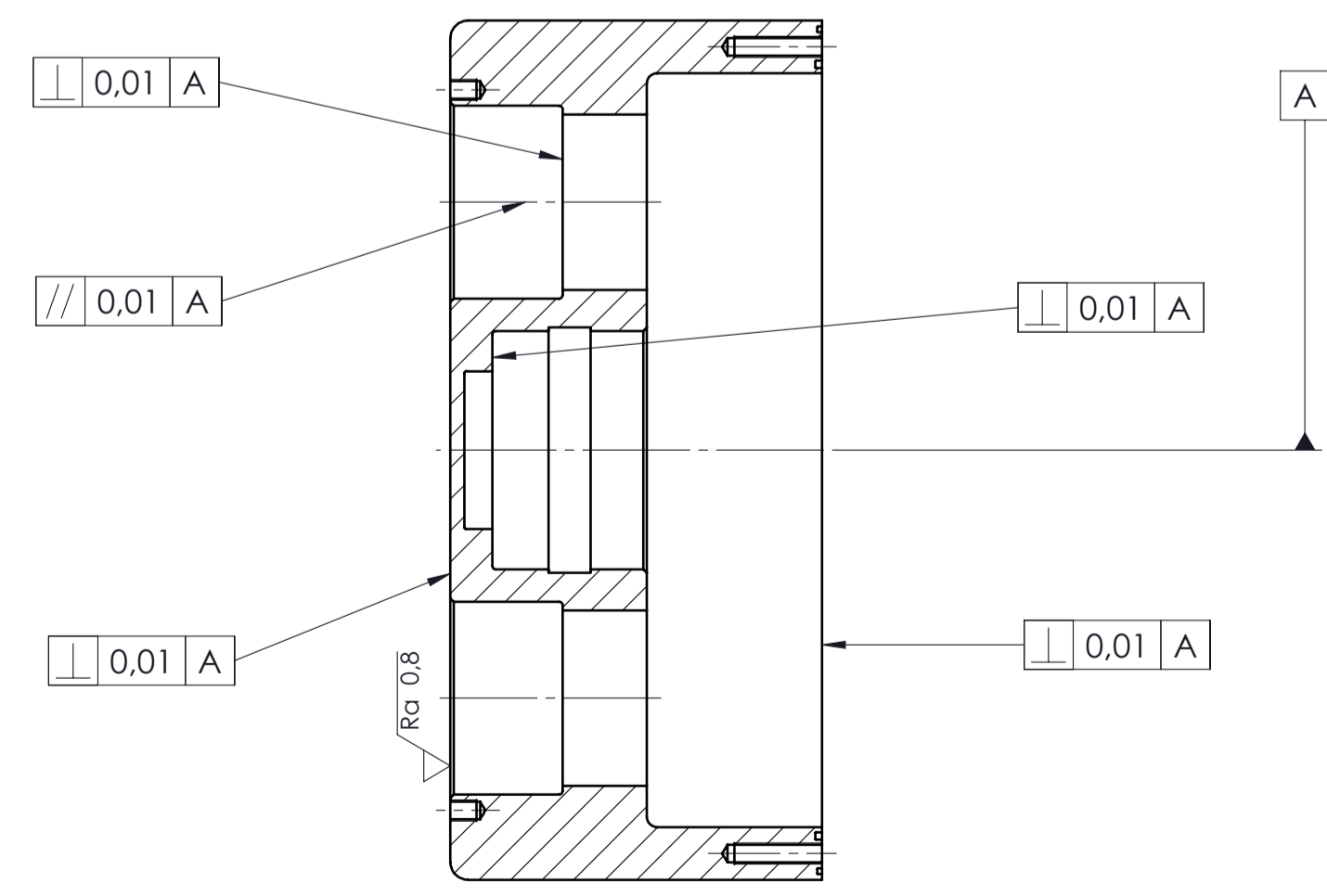


$\sqrt{Ra\ 3,2}$  (  $\sqrt{Ra\ 0,8}$  ,  $\sqrt{Ra\ 0,8}$  )

Detalj A  
M 2:1

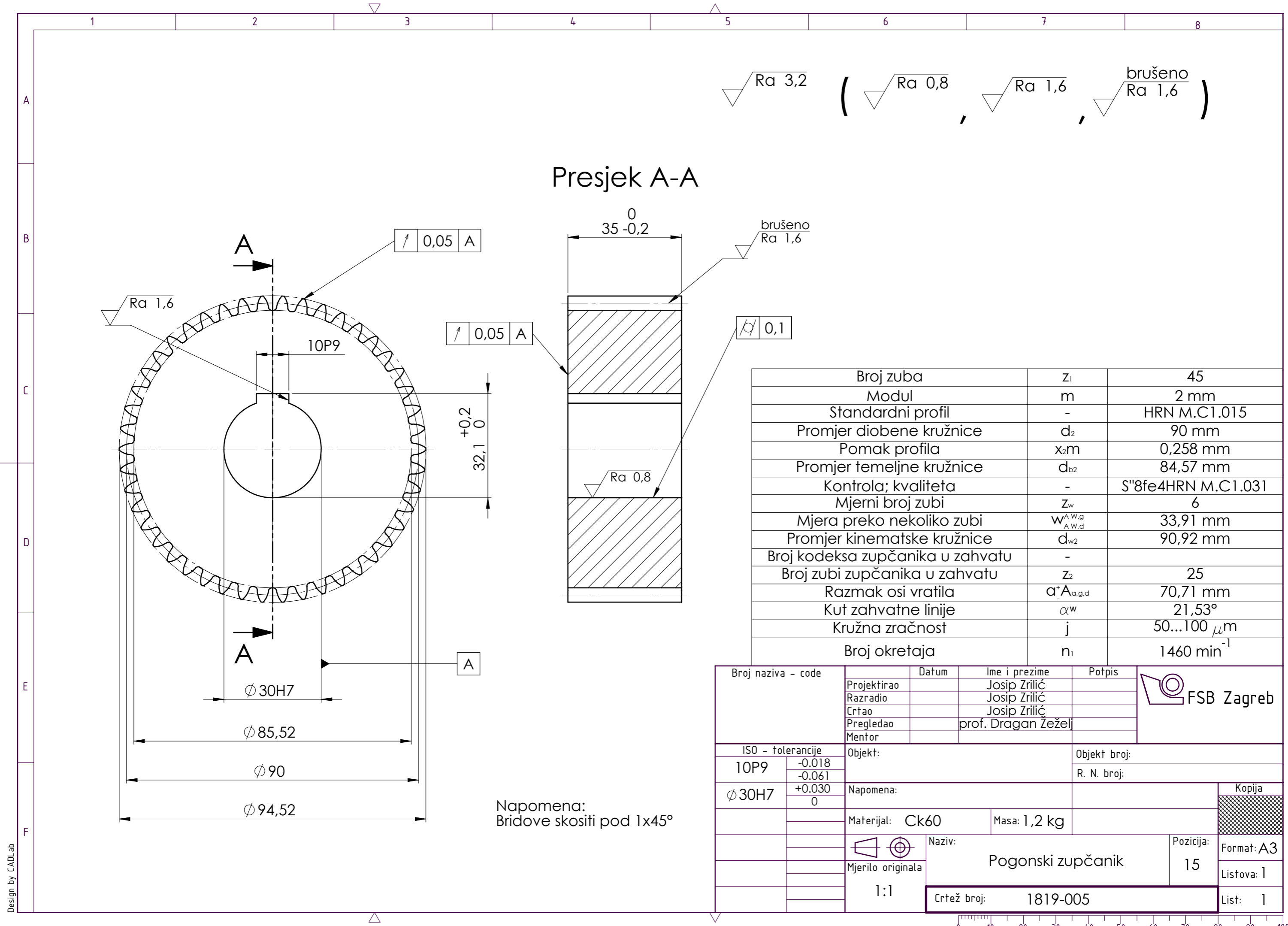


Presjek C-C



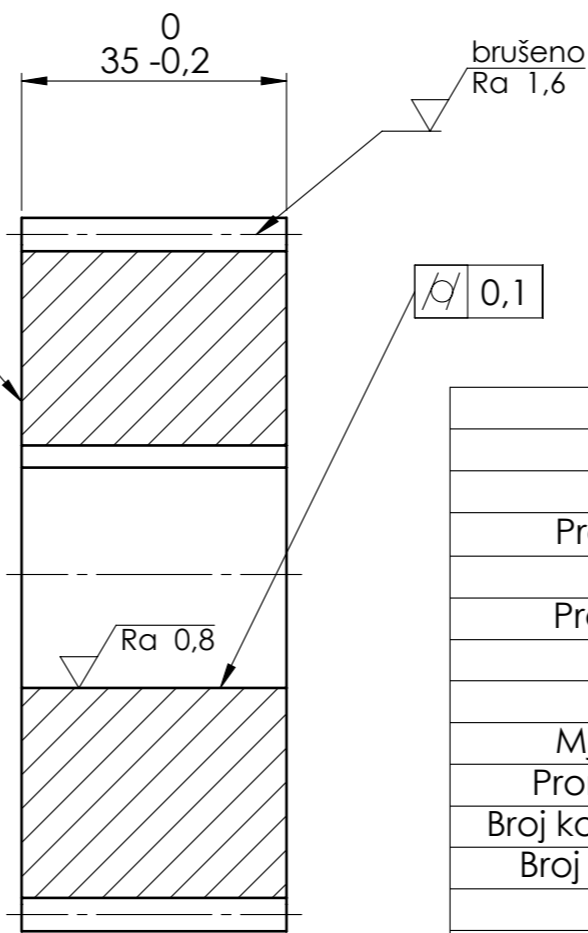
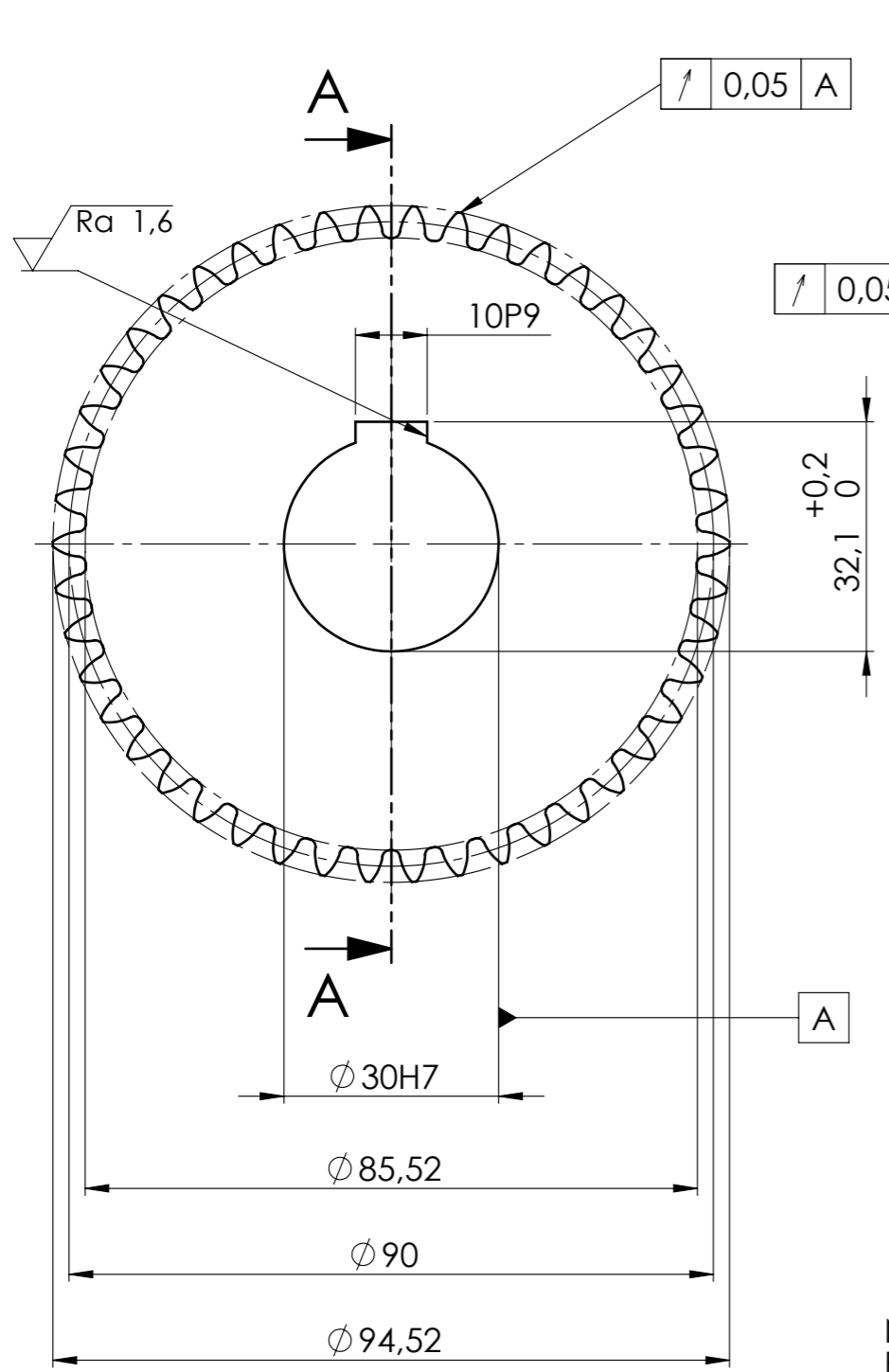
Napomena:  
 Sve nekotirane bridove skositi  
 pod 1x45°.  
 Ležajna mjesta obrađivati u sklopu s  
 gornjim dijelom kućišta.

|                    |             |                          |            |             |
|--------------------|-------------|--------------------------|------------|-------------|
| Broj naziva - code | Datum       | Ime i prezime            | Potpis     |             |
| Projektirao        |             | Josip Zrilić             |            |             |
| Razradio           |             | Josip Zrilić             |            |             |
| Crtao              |             | Josip Zrilić             |            |             |
| Pregledao          |             | prof. Drogan Žeželj      |            |             |
| ISO - tolerancije  | Objekt:     | Objekt broj:             |            |             |
| Ø 6H7              | +0.012<br>0 | R. N. broj:              |            |             |
| Ø 55H7             | +0.030<br>0 | Napomena:                |            | Kopija      |
| Ø 68H7             | +0.030<br>0 | Materijal: A356          | Masa: 4 kg |             |
|                    |             | Naziv: Donji dio kućišta |            | Pozicija: 8 |
|                    |             | Mjerilo originala: 1:2   |            | Format: A1  |
|                    |             | Crtež broj: 1819-002     |            | Listova: 1  |
|                    |             |                          |            | List: 1     |



$\sqrt{Ra\ 3,2}$  (  $\sqrt{Ra\ 0,8}$  ,  $\sqrt{Ra\ 1,6}$  ,  $\sqrt{brušeno\ Ra\ 1,6}$  )

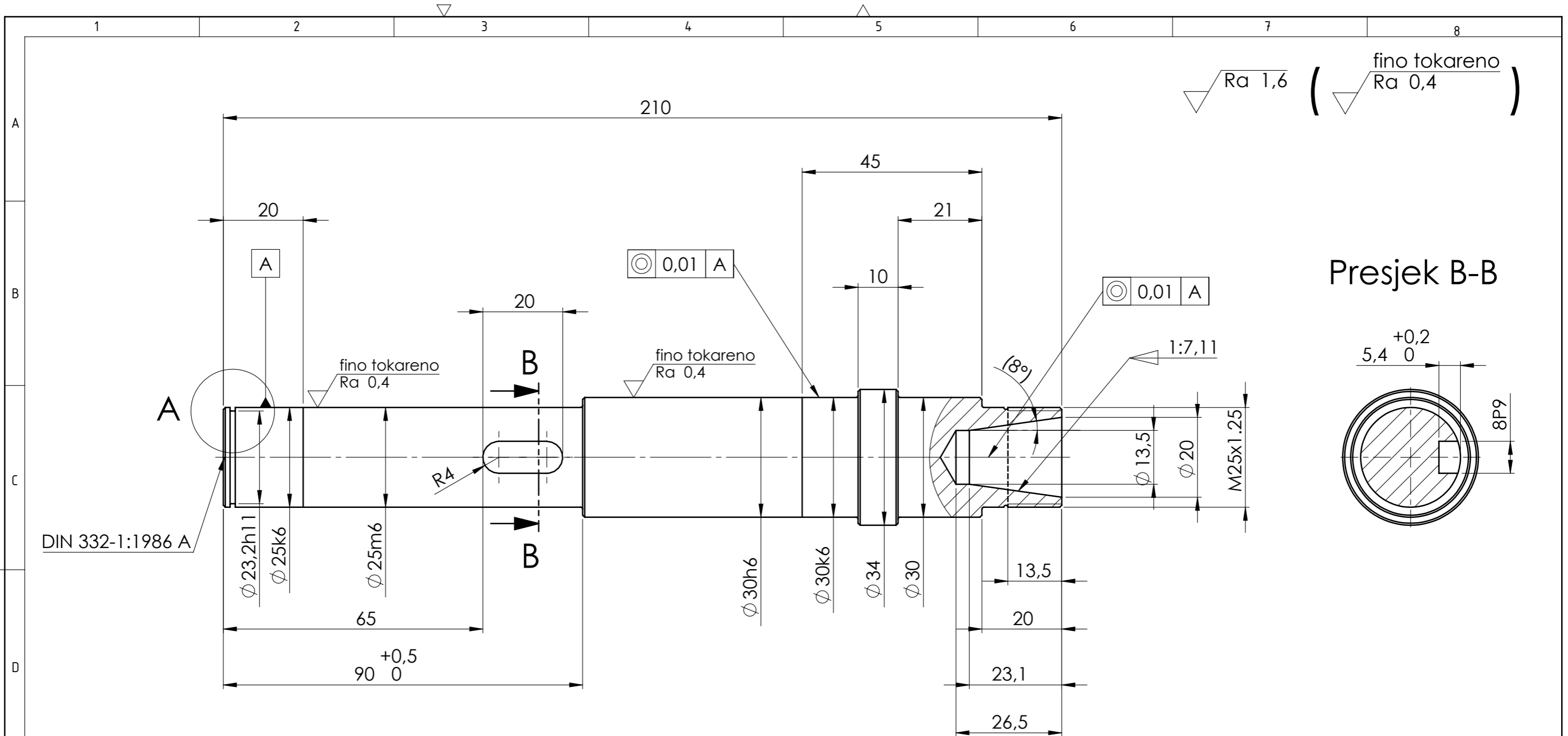
### Presjek A-A



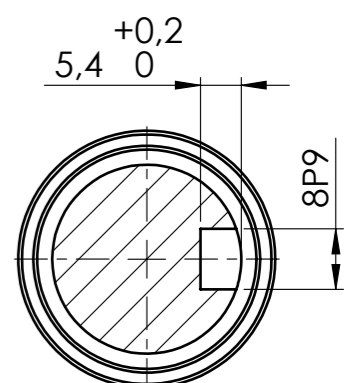
|                                  |                     |                    |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|
| Broj zuba                        | $Z_1$               | 45                 |
| Modul                            | $m$                 | 2 mm               |
| Standardni profil                | -                   | HRN M.C1.015       |
| Promjer diobene kružnice         | $d_2$               | 90 mm              |
| Pomak profila                    | $x_2m$              | 0,258 mm           |
| Promjer temeljne kružnice        | $d_{b2}$            | 84,57 mm           |
| Kontrola; kvaliteta              | -                   | S"8fe4HRN M.C1.031 |
| Mjerni broj zubi                 | $Z_w$               | 6                  |
| Mjera preko nekoliko zubi        | $w_{A,w,d}^{A,w,g}$ | 33,91 mm           |
| Promjer kinematske kružnice      | $d_{w2}$            | 90,92 mm           |
| Broj kodeksa zupčanika u zahvatu | -                   |                    |
| Broj zubi zupčanika u zahvatu    | $Z_2$               | 25                 |
| Razmak osi vratila               | $a_{A,a,g,d}^*$     | 70,71 mm           |
| Kut zahvatne linije              | $\alpha^w$          | 21,53°             |
| Kružna zračnost                  | $j$                 | 50...100 $\mu m$   |
| Broj okretaja                    | $n_1$               | 1460 $min^{-1}$    |

|                    |                  |                     |              |            |
|--------------------|------------------|---------------------|--------------|------------|
| Broj naziva - code | Datum            | Ime i prezime       | Potpis       |            |
|                    | Projektirao      | Josip Zrilić        |              |            |
|                    | Razradio         | Josip Zrilić        |              |            |
|                    | Crtao            | Josip Zrilić        |              |            |
|                    | Pregledao        | prof. Dragan Žeželj |              |            |
| Mentor             |                  |                     |              |            |
| ISO - tolerancije  |                  | Objekt:             | Objekt broj: |            |
| 10P9               | -0.018<br>-0.061 |                     | R. N. broj:  |            |
| $\phi 30H7$        | +0.030<br>0      | Napomena:           |              | Kopija     |
|                    |                  | Materijal: Ck60     | Masa: 1,2 kg |            |
|                    |                  | Naziv:              | Pozicija:    | Format: A3 |
|                    |                  | Mjerilo originala   | 15           | Listova: 1 |
|                    |                  | 1:1                 | List: 1      |            |
|                    |                  | Crtež broj:         | 1819-005     |            |

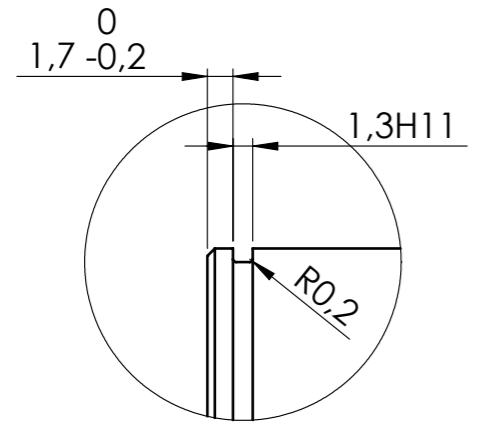
Napomena:  
Bridove skositi pod 1x45°



Presjek B-B



Detalj A  
M 2:1



Napomena:  
Sve nekotirane bridove skositi pod 0.5x45°.  
Svi nekotirani radijusi su R0,5.

|        |            |           |                 |
|--------|------------|-----------|-----------------|
| Ø 30h6 | 0 / -0.013 | Ø 28,6h11 | 0 / -0.130      |
|        |            | Ø 30k6    | +0.015 / +0.002 |

|                    |                 |                        |                     |              |            |
|--------------------|-----------------|------------------------|---------------------|--------------|------------|
| Broj naziva - code | Projektirao     | Datum                  | Ime i prezime       | Potpis       |            |
|                    | Razradio        |                        | Josip Zrilić        |              |            |
|                    | Crtao           |                        | Josip Zrilić        |              |            |
|                    | Pregledao       |                        | prof. Dragan Žeželj |              |            |
|                    | Mentor          |                        |                     |              |            |
| ISO - tolerancije  | Objekt:         |                        | Objekt broj:        |              |            |
| 1,3H11             | +0.06 / 0       |                        |                     | R. N. broj:  |            |
| 8P9                | -0.015 / -0.051 | Napomena:              |                     |              | Kopija     |
| Ø 25k6             | +0.015 / +0.002 | Materijal: S355J0      | Masa: 0,8 kg        |              |            |
| Ø 25m6             | +0.021 / +0.008 | Naziv: Gonjeno vratilo |                     | Pozicija: 32 | Format: A3 |
|                    |                 | Mjerilo originala: 1:1 |                     |              | Listova: 1 |
|                    |                 | Crtež broj: 1819-014   |                     |              | List: 1    |

