

Multiplikator za pogon brodskih propelera

Kolar, Renato

Undergraduate thesis / Završni rad

2010

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:235:520085>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**

Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Renato Kolar

Zagreb, 2010

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Multiplikator za pogon brodskih propelera

(Multiplier for the operation of marine propellers)

Mentor:
prof.dr.sc. Branimir Pavić

Renato Kolar

Zagreb, 2010

Tekst zadatka rada

Opis zadatka:

Potrebno je konstrukcijski i proračunski razraditi multiplikator za pogon brodskih propelera (s dva izlazna vratila). Kućište multiplikatora izrađeno je u lijevanoj izvedbi.

Relevantni podaci:

- Snaga na ulaznom vratilu je 30 kW
- Ulazni broj okretaja iznosi 450 min^{-1}
- Izlazni broj okretaja iznosi 2407 min^{-1}

U okviru zadatka potrebno je:

- Izraditi montažni crtež sklopa i izvedbeni crtež kućišta
- Radionički crtež vratila i zupčanika

Napomena:

Jedno od vratila osim spojke za priključak propelera mora imati izlaz za priključak remenice za pogon elektroagregata (dvostruki izlaz na kućištu)

Sažetak rada

U ovome radu opisan je proces projektiranja i konstruiranja multiplikatora prema nekim tipičnim ulaznim parametrima. Tip multiplikatora koji je razrađen u ovom radu, a koji se koristi za pogon brodskih propelera, ima dodatan zahtjev za dva izlazna vratila te dodatak za remenicu koja pogoni elektroagregat. Prvi korak kod projektiranja je izrada proračuna uz neke nezaobilazne skice. Nakon proračuna slijedi modeliranje proračunatih dijelova kao što su zupčanici i vratila. Iza toga slijedi analiziranje i implementiranje standardih dijelova u model multiplikatora kao što su ležajevi i slično. Na kraju slijedi modeliranje kućišta. Nakon gotovog modela izrađujemo crteže tj. tehničku dokumentaciju.

Za izradu modela koristio sam alat za modeliranje Pro/ENGINEER Wildfire 4.0, dok sam kod izrade dokumentacije uz Pro/ENGINEER koristio i alat AutoCAD 2008.

SADRŽAJ

Tekst zadatka rada	1
Sažetak rada	2
Popis slika i tablica	4
Proračun	6
Proračun zupčanika	6
Odabir modula zupčanika	6
Pomak profila	7
Dimenzije zupčanika u odnosu na korekcijske faktore	8
Ostvarivanje potrebne bočne zračnosti primicanjem alata	9
Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba	13
Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka	15
Odabir materijala većeg zupčanika	16
Kontrolni proračun u odnosu na dozvoljenu temperaturu zagrijavanja	17
Dimenzioniranje i proračun vratila	18
Ulazno vratilo V_1	18
Izlazno vratilo V_2	26
Izlazno vratilo V_3	34
Odabir pera	35
Odabir ležajeva (Prema SKF-u)	36
Osiguranje aksijalnih pomaka ležaja	38
Odabir brtvi	39
Odabir elementa za dizanje multiplikatora	40
Odabir odzračnika	40
Model Multiplikatora	41
Prilog	42
Zaključak	43
Popis literature	44

Popis slika

Slika 1: Tangencijalna sila	13
Slika 2: Okvirne dimenzije kučišta.....	17
Slika 3: Skica vratila	18
Slika 4: Dispozicija sila na vratilu 1	18
Slika 5: Konačni oblik vratila 1.....	21
Slika 6: Skica vratila 2	26
Slika 7: Dispozicija sila na vratilu 2.....	26
Slika 8: Konačni oblik vratila 2.....	29
Slika 9. Oblik pera	35
Slika 10: Ležaj NUP212.....	36
Slika 11: Ležaj NU212	36
Slika 12: Ležaj NUP206.....	37
Slika 13: Ležaj NU206	37
Slika 14: Vanjski prstenasti uskočnik.....	38
Slika 15: Unutarnji prstenasti uskočnik.....	38
Slika16: Brtva Trelleborg TRD	39
Slika 17: Okasti vijak.....	40
Slika 18: Odzračnik.....	40
Slika 19: Model multiplikatora.....	41

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, svojim znanjem, te uz pomoć mentora i navedene literature.

Renato Kolar

Zahvala:

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Branimiru Paviću na razumijevanju, podršci i korisnim savjetima.

Proračun

Proračun zupčanika

Odabir modula zupčanika

Zbog hidrodinamičkih uvjeta pogona, te u dogovoru sa mentorom odabirem razmak između izlaznih vratila $2a=500$ mm. Dakle, razmak između pojedinih vratila iznosi $a=250$ mm.

S obzirom na zadani osni razmak modul izračunavamo prema formuli:

$$a_w = \frac{m_n}{\cos\beta} \cdot \frac{z_1+z_2}{2}$$

$$\Rightarrow m_n = \frac{a_w \cdot \cos\beta \cdot 2}{z_1+z_2}$$

Broj zubi manjeg zupčanika (z_2) odabirem iz tablice 6.3 [4]

$$z_2 = 28 \text{ zubi}$$

$$i' = \frac{n_{ul}}{n_{izl}} = \frac{450}{2407} = 0,187$$

$$z_1 = \frac{z_2}{i} = \frac{28}{0,187} = 150 \text{ zubi}$$

Novi prijenosni omjer:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = 0,1867$$

$$\frac{i'-i}{i'} = \frac{0,0003}{0,187} = 0,0016 < 2\% \text{ ZADOVOLJAVA!}$$

$$m_n = \frac{a_w \cdot \cos\beta \cdot 2}{z_1+z_2} = \frac{250 \cdot \cos 12 \cdot 2}{28+150} = \frac{489,07}{178} = 2,748 \text{ mm}$$

Odabran modul II. Prioriteta:

$$m_n = 2,75 \text{ mm}$$

Pomak profila

Da bi predosti zupčanika s kosim zubima bile potpuno iskorištene, ε_β mora biti cijeli broj. Pa prema tome kut nagiba boka iznosi:

$$\beta = 12^\circ \text{ (za } \varepsilon_\beta = 2, \frac{b}{m} = 30) \text{ ...odabran iz dijagrama 229.1 [1]}$$

$$d_1 = \frac{z_1 \cdot m_n}{\cos\beta} = \frac{150 \cdot 2,75}{\cos 12} = 421,779 \text{ mm}$$

$$d_2 = \frac{z_2 \cdot m_n}{\cos\beta} = \frac{28 \cdot 2,75}{\cos 12} = 78,732 \text{ mm}$$

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{421,779 + 78,732}{2} = 250,255 \text{ mm}$$

$$|a - a_w| \leq m_n \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

Faktori pomaka profila

$$x_1 + x_2 = \frac{(z_1 + z_2) \cdot (ev_{\alpha_{tw}} - ev_{\alpha_t})}{2 \tan \alpha_n}$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 12^\circ} = 0,3722$$

$$\alpha_t = 20,415^\circ \rightarrow 20^\circ 24' 53''$$

$$\cos \alpha_{tw} = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2 \cdot a_w} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \beta} = \frac{2,75 \cdot (150 + 28)}{2 \cdot 250} \cdot \frac{\cos 20,415^\circ}{\cos 12^\circ}$$

$$\cos \alpha_{tw} = 0,93815$$

$$\alpha_{tw} = 20,257^\circ \rightarrow 20^\circ 15' 25''$$

$$x_1 + x_2 = \frac{(150 + 28) \cdot (ev_{20,257^\circ} - ev_{20,415^\circ})}{2 \cdot \tan 20^\circ} = -0,0975 \text{ mm}$$

Iz dijagrama 74.1 [1] odabiremo faktore pomaka za pojedini zupčanik.

$$\frac{z_1 + z_2}{2} = 89$$

$$x_1 = -0,35$$

$$x_2 = +0,25$$

Dimenzije zupčanika u odnosu na korekcijske faktore

Zupčanik 1

Diobeni promjer $d_1 = 421,779 \text{ mm}$

Tjemeni promjer $d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n + 2 \cdot x_1 \cdot m_n$
 $d_{a1} = 421,779 + 2 \cdot 2,75 + 2 \cdot (-0,35) \cdot 2,75$
 $d_{a1} = 425,354 \text{ mm}$

Kinematski promjer $d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}} = 421,779 \cdot \frac{\cos 20,415^\circ}{\cos 20,257^\circ}$
 $d_{w1} = 421,357 \text{ mm}$

Podnožni promjer $d_{f1} = d_1 - 2 \cdot m_n - 2 \cdot c + 2 \cdot x_1 \cdot m_n$
 $d_{f1} = 421,779 - 2 \cdot 2,75 - 2 \cdot 0,6875 + 2 \cdot x_1 \cdot m_n$
 $d_{f1} = 412,979 \text{ mm}$

Potrebna zračnost prema ISO preporuci:

$$c = 0,25 \cdot m_n = 0,25 \cdot 2,75 = 0,6875 \text{ mm}$$

Promjer temeljne kružnice $d_{b1} = d_1 \cdot \cos\alpha_t = 421,779 \cdot \cos 20,415^\circ$
 $d_{b1} = 395,291 \text{ mm}$

Zupčanik 2

Diobeni promjer $d_2 = 78,732 \text{ mm}$

Tjemeni promjer $d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n + 2 \cdot x_2 \cdot m_n$
 $d_{a2} = 78,732 + 2 \cdot 2,75 + 2 \cdot 0,25 \cdot 2,75$
 $d_{a2} = 85,607 \text{ mm}$

Kinematski promjer $d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}} = 78,732 \cdot \frac{\cos 20,415^\circ}{\cos 20,257^\circ}$
 $d_{w2} = 78,653 \text{ mm}$

Podnožni promjer $d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m_n - 2 \cdot c + 2 \cdot x_2 \cdot m_n$
 $d_{f2} = 78,732 - 2 \cdot 2,75 - 2 \cdot 0,6875 + 2 \cdot 0,25 \cdot 2,75$
 $d_{f2} = 73,232 \text{ mm}$

Promjer temeljne kružnice $d_{b2} = d_2 \cdot \cos\alpha_t = 78,732 \cdot \cos 20,415^\circ$
 $d_{b2} = 73,787 \text{ mm}$

Kontrola tjemene zračnosti

$$c = a_w - \frac{d_{a1} + d_{f2}}{2} = 250 - \frac{425,354 + 73,232}{2} = 0,707 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 0,12 \cdot m_n = 0,12 \cdot 2,75 = 0,33 \text{ mm}$$

$$c > c_{min} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Ostvarivanje potrebne bočne zračnosti primicanjem alata

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja za zupčanik 1

$$w_1 = m_t \cdot \cos \alpha_t \cdot [\pi \cdot (z_{w1} - 0,5) + z_1 \cdot \text{ev} \alpha_t + 2 \cdot x_1 \cdot \text{tg} \alpha_t]$$

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{2,75}{\cos 12} = 2,81 \text{ mm}$$

$$w_1 = 2,81 \cdot \cos 20,415 \cdot [\pi \cdot (19 - 0,5) + 150 \cdot \text{ev} 20,415 + 2 \cdot (-0,35) \cdot \text{tg} 20,415]$$

$$w_1 = 158,65 \text{ mm}$$

$$\text{tg} \alpha_{x1} = \sqrt{\text{tg}^2 \alpha_t + \frac{4 \cdot \left(\frac{x_1}{z_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{x_1}{z_1}\right)}{\cos \alpha_t}}$$

$$\alpha_t = 20,415^\circ$$

$$\text{tg} \alpha_{x1} = \sqrt{\text{tg}^2 20,415 + \frac{4 \cdot \left(\frac{-0,35}{150}\right) \cdot \left(1 + \frac{-0,35}{150}\right)}{\cos 20,415}}$$

$$\text{tg} \alpha_{x1} = \sqrt{0,1485} = 0,3853$$

$$z_{w1} = \frac{z_1}{\pi} \cdot (\text{tg} \alpha_{x1} - \text{ev} \alpha_t) - \frac{2 \cdot x_1 \cdot \text{tg} \alpha_t}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w1} = \frac{150}{\pi} \cdot (0,3853 - \text{ev} 20,415) - \frac{2 \cdot (-0,35) \cdot \text{tg} 20,415}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w1} = 18,22 \Rightarrow 19$$

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja za zupčanik 2

$$w_2 = m_t \cdot \cos \alpha_t \cdot [\pi \cdot (z_{w2} - 0,5) + z_2 \cdot \text{ev} \alpha_t + 2 \cdot x_2 \cdot \text{tg} \alpha_t]$$

$$w_2 = 2,81 \cdot \cos 20,415 \cdot [\pi \cdot (5 - 0,5) + 28 \cdot \text{ev} 20,415 + 2 \cdot 0,25 \cdot \text{tg} 20,415]$$

$$w_2 = 38,89 \text{ mm}$$

$$\text{tg} \alpha_{x2} = \sqrt{\text{tg}^2 \alpha_t + \frac{4 \cdot \left(\frac{x_2}{z_2}\right) \cdot \left(1 + \frac{x_2}{z_2}\right)}{\cos \alpha_t}}$$

$$\alpha_t = 20,415^\circ$$

$$tg\alpha_{x2} = \sqrt{tg^2 20,415 + \frac{4 \cdot \left(\frac{0,25}{28}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,25}{28}\right)}{\cos 20,415}}$$

$$tg\alpha_{x2} = \sqrt{0,177} = 0,421$$

$$z_{w2} = \frac{z_2}{\pi} \cdot (tg\alpha_{x2} - ev\alpha_t) - \frac{2 \cdot x_2 \cdot tg\alpha_t}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w2} = \frac{28}{\pi} \cdot (0,421 - ev20,415) - \frac{2 \cdot 0,25 \cdot tg20,415}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w2} = 4,051 \Rightarrow 5$$

Izbor kružne zračnosti (prema HRN M.C1.031)

$$\text{Za } m_n = 2,75 \quad j_{max} = 155 \mu m$$

$$j_{min} = 90 \mu m$$

Izbor graničnih odstupanja razmaka osi vratila

Obodna brzina zupčanika

$$v_{ob} = \omega_2 \cdot r_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_{izl} \cdot r_2 = 2 \cdot \pi \cdot 40,12 \cdot 0,039 = 9,83 \frac{m}{s}$$

Odabrana kvaliteta zupčanika 7.

$$A_{a,g,d} = \pm 36 \mu m$$

$$a = a \pm A_{a,g,d} = 250 \pm 0,036 mm$$

Granična odstupanja debljine zubi uz odabranu kružnu zračnost i granična odstupanja razmaka osi vratila.

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = (j_{max} \cdot \cos\alpha_n - 2 \cdot A_{a,g} \cdot \sin\alpha_{nw}) \cdot \cos\beta_b$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\tan\alpha_{nw} = \tan\alpha_{tw} \cdot \cos\beta = \tan 20,557 \cdot \cos 12^\circ$$

$$\tan\alpha_{nw} = 0,361$$

$$\alpha_{nw} = 19,85^\circ$$

$$\tan\beta_b = \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}} \cdot \tan\beta = \frac{\cos 20,415}{\cos 20,257} \cdot \tan 12^\circ$$

$$\tan\beta_b = 0,21233$$

$$\beta_b = 11,987^\circ$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = (155 \cdot \cos 20^\circ - 2 \cdot 36 \cdot \sin 19,85^\circ) \cdot \cos 11,987^\circ$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = 118,534 \mu m$$

$$-(A_{w1,g} + A_{w2,g}) = (j_{min} \cdot \cos \alpha_n - 2 \cdot A_{a,d} \cdot \sin \alpha_{nw}) \cdot \cos \beta_b$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = (90 \cdot \cos 20^\circ - 2 \cdot (-36) \cdot \sin 19,85^\circ) \cdot \cos 11,987^\circ$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = 106,62 \mu m$$

Odabir graničnih odstupanja (tolerancije) mjere preko nekoliko zubi

Za $m_n = 2,75 mm$, $d_1 = 421,779 mm$, $d_2 = 78,732 mm$, Kvaliteta 7

$$Z1: \quad A_{w1,g} = -108 \mu m (e) \quad A_{w2,g} = -64 \mu m (f)$$

$$Z2: \quad A_{w1,d} = -144 \mu m (d) \quad A_{w2,d} = -96 \mu m (e)$$

Radi izbjegavanja zaglavljivanja zuba o zub zupčanika u zahvatu, mora biti ispunjen uvijet:

$$j_{min} > 2 \cdot (T_{i1}'' + T_{i2}'') \cdot tg \alpha_{nw}$$

It tablice 5. [6], odabiremo dozvoljena odstupanja $T_{i1,2}''$ prema HRN M.C1.034

$$\text{Za } m_n = 2,75 mm; d_1 = 421,779 mm \Rightarrow T_{i1}'' = 92 \mu m$$

$$\text{Za } m_n = 2,75 mm; d_2 = 78,732 mm \Rightarrow T_{i2}'' = 79 \mu m$$

$$j_{min} > 2 \cdot (92 + 79) \cdot tg 19,85^\circ = 123,46 \mu m$$

Kontrola:

$$j_{min} = -\frac{(A_{w1,g} + A_{w2,g})}{\cos \alpha_n \cdot \cos \beta_b} + 2 \cdot A_{a,d} \cdot tg \alpha_{nw}$$

$$j_{min} = -\frac{(-108 - 64)}{\cos 20^\circ \cdot \cos 11,987^\circ} + 2 \cdot (-36) \cdot tg 19,85^\circ$$

$$j_{min} = 161,13 \mu m > 123,46 \mu m \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

$$j_{min} = -\frac{(A_{w1,d} + A_{w2,d})}{\cos \alpha_n \cdot \cos \beta_b} + 2 \cdot A_{a,g} \cdot tg \alpha_{nw}$$

$$j_{min} = -\frac{(-144 - 96)}{\cos 20^\circ \cdot \cos 11,987^\circ} + 2 \cdot 36 \cdot tg 19,85^\circ$$

$$j_{min} = 287,1 \mu m > 123,46 \mu m \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Srednja vrijednost kružne zračnosti

$$j = (161 + 287) \cdot 0,5 = 224 \mu m$$

Za tu zračnost alat se mora primaknuti zubu za radijalnu veličinu kružne zračnosti

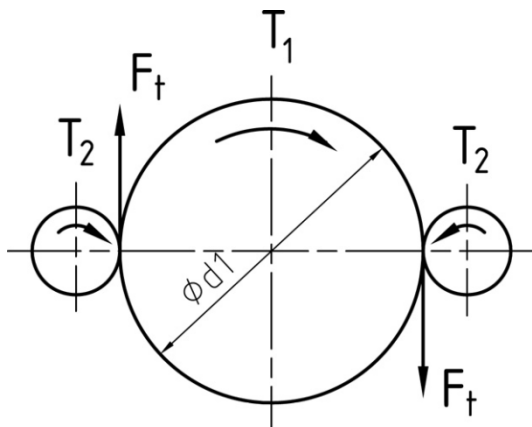
$$j_r' = \frac{j}{4 \cdot tg \alpha_w} = \frac{224}{4 \cdot tg 19,85^\circ} = 155,125 \mu m$$

Razmakom osi vratila i odstupanjima $A_{w1g,d}$ i $A_{w2g,d}$ bit će ostvarena srednja kružna zračnost

$$j_r = 2 \cdot j'_r = 2 \cdot 155,125 = 310 \mu m$$

Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba

$$\sigma_{F2} = \frac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \leq \sigma_{FP2}$$



Slika 1. Tangencijalna sila

$$F_t = \frac{T_{1max}}{d_1} = \frac{954,93}{0,422} = 2262,87 \text{ N}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{30000}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{30000}{2 \cdot \pi \cdot 7,5} = 636,62 \text{ N}$$

$$T_{1max} = T_1 \cdot K_A = 636,62 \cdot 1,5 = 954,93 \text{ Nm}$$

$$K_A = 1,5 \quad \dots \text{iz [1], tabl. 130.1}$$

$$b = \lambda \cdot m_n = 30 \cdot 2,75 = 82,5 \text{ mm}$$

$$\lambda = 30 \quad \dots \text{iz [1], tabl. 197.1}$$

$$Y_{F2} = f(z_1 = 28, x_1 = +0,25, \beta = 12^\circ) = 2,88$$

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 2}} = \frac{1}{1,607} = 0,622$$

$$\varepsilon_{K1} = \varepsilon'_{K1} \cdot \frac{z_1}{z_{K1}} = 0,92 \cdot \frac{150}{210,84} = 0,654$$

$$z_{K1} = \frac{2 \cdot d_{w1}}{d_{ak1} - d_{w1}} = \frac{2 \cdot 421,357}{425,354 - 421,357} = 210,84$$

$$\varepsilon'_{K1} = f(\alpha_{tw} = 20,257^\circ, z_{K1} = 210,84) = 0,92$$

$$\varepsilon_{K2} = \varepsilon'_{K2} \cdot \frac{z_2}{z_{K2}} = 0,77 \cdot \frac{28}{22,62} = 0,953$$

$$z_{K2} = \frac{2 \cdot d_{w2}}{d_{ak2} - d_{w2}} = \frac{2 \cdot 78,653}{85,607 - 78,653} = 22,62$$

$$\varepsilon'_{K2} = f(\alpha_{tw} = 20,257^\circ, z_{K2} = 22,62) = 0,77$$

$$\varepsilon_{\alpha 2} = \varepsilon_{K1} + \varepsilon_{K2} = 0,654 + 0,953 = 1,607$$

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \cdot \frac{\beta}{120^\circ} = 1 - 2 \cdot \frac{12}{120} = 0,8$$

$$K_{F\alpha} = q_L \cdot \varepsilon_{\alpha 2} = 1 \cdot 1,607 = 1,607$$

$$q_{L2} = f(d_{w2}, m_n, \text{kvalit. } 7, \frac{F_{tw}}{b} = 33) \quad \dots \text{iz [1]}$$

$$q_{L2} = 1$$

$$K_{F\beta} = 1$$

$$\sigma_{F2} = \frac{2262,87}{82,5 \cdot 2,75} \cdot 2,88 \cdot 0,622 \cdot 0,8 \cdot 1,607 \cdot 1$$

$$\sigma_{F2} = 22,97 \frac{N}{mm^2}$$

Materijal zupčanika **42CrMo4** (Č.4732), **plameno kaljen**

$$\sigma_{FP2} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_{F2}} = \frac{350}{2} = 175 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{Flim} = 350 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_{F2} = 2 \quad \dots \text{iz [6], tablica 36.}$$

$$\sigma_{F2} < \sigma_{FP2} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka

$$\sigma_{H2} = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{F_{tmax}}{b \cdot d_2} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}} \leq \sigma_{HP}$$

$$F_{tmax} = 2262,87 \text{ N}$$

$$b = 82,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = 78,732 \text{ mm}$$

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{28}{150} = 0,186\dot{6}$$

$$Z_M = 189,5 \sqrt{N/mm^2} \quad \dots \text{iz [1]}$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha_t} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos \beta_b}{\tan \alpha_{tw}}} = \frac{1}{\cos 20,415} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos 11,987}{\tan 20,257}}$$

$$Z_H = 2,45 \quad \dots \text{iz [1]}$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha} \cdot \cos \beta_b} = \sqrt{\frac{1}{1,607} \cdot \cos 11,987}$$

$$Z_\varepsilon = 0,78 \quad \dots \text{iz [1]}$$

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

$$\text{Za } q_L = 1$$

$$K_{H\alpha} = \frac{1}{Z_\varepsilon^2} = \frac{1}{0,78^2} = 1,644$$

$$K_{H\beta} = 1$$

$$\sigma_{H2} = 189,5 \cdot 2,45 \cdot 0,78 \cdot \sqrt{\frac{2262,87}{82,5 \cdot 78,732} \cdot \frac{1,186}{0,186} \cdot 1,644 \cdot 1}$$

$$\sigma_{H2} = 691 \frac{N}{mm^2}$$

Materijal zupčanika 42CrMo4 (Č.4732), plameno kaljen

$$S_{H2} = \frac{\sigma_{Hlim}}{\sigma_{H2}} = \frac{1360}{691} = 1,968$$

$$\sigma_{Hlim} = 1360 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_{Hpotr} = 1,5 \quad \dots \text{iz [6], tablica 36.}$$

$$S_{H2} > S_{Hpotr} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Odabir materijala većeg zupčanika (Z_1)

$$\sigma_{Hlim} > \sigma_H \cdot S_H = 691 \cdot 1,3 = 898,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_H = 1,3$$

Najbliža vrijednost **C45E (Č.1531), plameno kaljen**

$$\sigma_{Hlim} = 1100 \frac{N}{mm^2}$$

Kontrolni proračun u odnosu na dozvoljenu temperaturu zagrijavanja

Toplina koja je nastala uslijed gubitaka u multiplikatoru odvodi se prirodnim putem odnosno isijavanjem.

$$\Phi = \Phi_{\text{odv}} = \alpha_s \cdot A \cdot (t_u - t_z)$$

Φ ...proizvedena toplina

Φ_{odv} ...odvedena toplina

Temperatura ulja:

$$t_u = \frac{\Phi}{\alpha_s \cdot A} + t_z$$

Ukupni gubici u multiplikatoru

$$P_{gM} = P_{gVL} \cdot 3 + P_{g2} \cdot 2 + P_{gBB}$$

$P_{gVL} = 0,25\%$...gubici u ležajevima po vratilu

$P_{g2} = 0,5\%$...gubici u zahvatu zupčanika

$P_{gBB} = 1\%$...gubici uslijed bućkanja ulja i brtvi

$$P_{gM} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,5 + 1 = 2,75\%$$

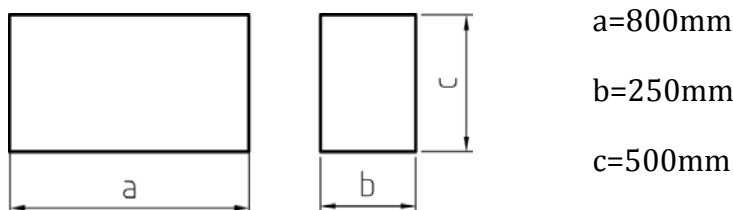
$$P_{gM}' = P \cdot P_{gM} = 30 \cdot 0,0275 = 0,825 \text{ kW}$$

$$\Phi = P_{gM}' \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 2970 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$\alpha_s = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{hK}}$...koeficijent prijelaza topline kod isijavanja

$t_z = 20^\circ\text{C}$...temperatura zraka po HRN M.C1.031

Okvirne dimenzije multiplikatora



Slika 2. Okvirne dimenzije kućišta

$$A = 2 \cdot (a \cdot c + a \cdot b + b \cdot c) = 2 \cdot (0,8 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 0,5)$$

$$A = 1,45 \text{ m}^2$$

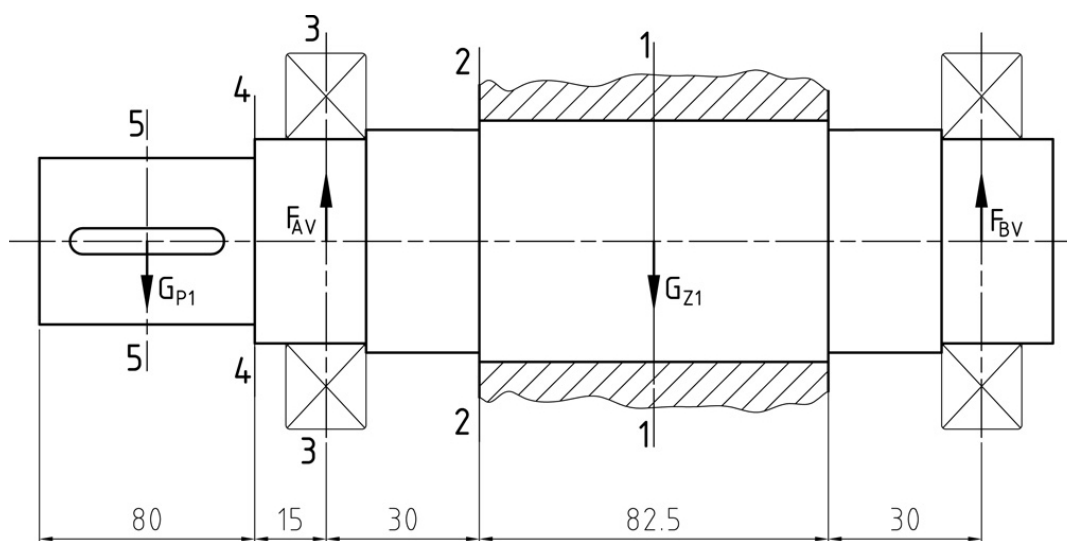
$$t_u = \frac{\Phi}{\alpha_s \cdot A} + t_z = \frac{2970}{90 \cdot 1,45} + 20^\circ = 35^\circ$$

$$t_{\text{max}} = 60^\circ\text{C}$$

$$t_u < t_{\text{max}} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Dimenzioniranje i proračun vratila

Ulazno vratilo V₁



Slika 3. Skica vratila 1

Sile na vratilu

Težina zupčanika $G_z = 500 \text{ N}$

Težina prirubnice $G_p = 100 \text{ N}$

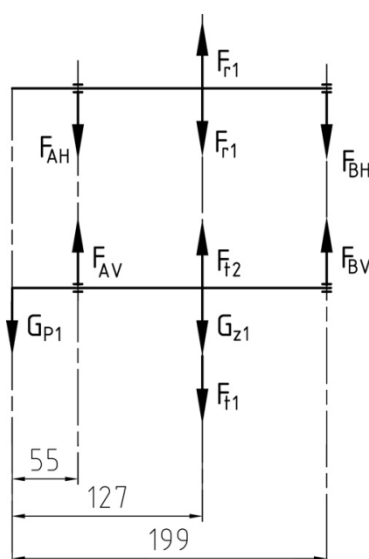
Obodna sila na kinematskoj kružnici $F_t = 2263 \text{ N}$

Radijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_{tw} = 2263 \cdot \tan 20,257^\circ = 835,2 \text{ N}$$

Aksijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 2263 \cdot \tan 12^\circ = 481 \text{ N}$$



Slika 4. Dispozicija sila na vratilu 1

Reakcije u horizontalnoj ravnini

$$F_{AH} = 0$$

$$F_{BH} = 0$$

Reakcije u vertikalnoj ravnini

$$\begin{aligned}\sum M_A = 0 & \quad G_P \cdot 55 - G_Z \cdot 72 + F_{BV} \cdot 144 = 0 \\ 144 \cdot F_{BV} & = -100 \cdot 55 + 500 \cdot 72 \\ F_{BV} & = 212 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_V = 0 & \quad -G_P - G_Z + F_{AV} + F_{BV} = 0 \\ F_{AV} & = G_P + G_Z - F_{BV} = 100 + 500 - 212 \\ F_{AV} & = 388 \text{ N}\end{aligned}$$

Promjeri pojedinih stupnjeva

Momenti savijanja u presjecima

$$\begin{aligned}M_1 & = G_P \cdot 0,126 - F_{AV} \cdot 0,0713 = 100 \cdot 0,126 - 388 \cdot 0,0713 \\ M_1 & = -15,1 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 & = G_P \cdot 0,085 - F_{AV} \cdot 0,030 = 100 \cdot 0,085 - 388 \cdot 0,030 \\ M_2 & = -3,14 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$M_3 = G_P \cdot 0,055 = 100 \cdot 0,055 = 5,5 \text{ Nm}$$

$$M_4 = G_P \cdot 0,040 = 100 \cdot 0,040 = 4 \text{ Nm}$$

Reducirani momenti u pojedinim presjecima

Maximalni moment na prvom vratilu

$$T_{V1} = \frac{T_{1max}}{\eta_{VL}} = \frac{955}{0,99} = 965 \text{ Nm}$$

$$\eta_{VL} = 0,99 \quad \dots \text{iskoristivost ležaja po vratilu}$$

Faktor čvrstoće za materijal vratila St50-2 (Č.0545)

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDN}} = \frac{240}{1,73 \cdot 140} = 0,99$$

$$\begin{aligned}M_{red1} & = \sqrt{M_1^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{15,1^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2} \\ M_{red1} & = 834,20 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{red2} & = \sqrt{M_2^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{3,14^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2} \\ M_{red2} & = 833,99 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$M_{red3} = \sqrt{M_3^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{5,5^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2}$$

$$M_{red3} = 834,00 \text{ Nm}$$

$$M_{red4} = \sqrt{M_4^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{4^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2}$$

$$M_{red4} = 833,99 \text{ Nm}$$

Orijentacijske vrijednosti dozvoljenih naprezanja za materijal St50-2 (S obzirom na obradu i koncentracije naprezanja)

$$dop\sigma_{fDN} = 50 \frac{N}{mm^2}$$

$$dop\tau_{tDN} = 40 \frac{N}{mm^2}$$

Promjeri vratila

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red1}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{834200}{50}}$$

$$d_1' = 55,45 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 55,45 mm iznosi $t=6,2$ mm

$$d_1 = d_1' + t = 55,45 + 6,2$$

$$d_1 = 61,2 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red2}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{833990}{50}}$$

$$d_2 = 55,45 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red3}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{834000}{50}}$$

$$d_3 = 55,45 \text{ mm}$$

$$d_4 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red4}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{833990}{50}}$$

$$d_4 = 55,45 \text{ mm}$$

Provjera presjeka V-V s obzirom na uvijanje

$$d_{4V-V}' = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{V1}}{dop\tau_{tDN}}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{965000}{40}}$$

$$d_{4V-V}' = 49,7 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 49,7 mm iznosi $t=5,5$ mm

$$d_{4V-V} = d_{4V-V}' + t = 49,7 + 5,5$$

$$d_{4V-V} = 55,2 \text{ mm}$$

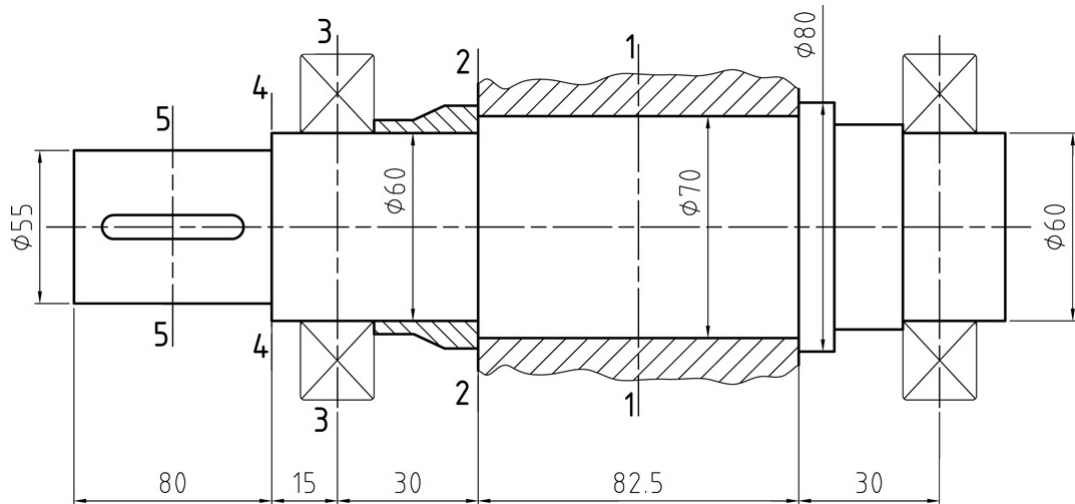
Prethodno odabrani promjeri iznose:

$$d_1 = 70 \text{ mm}$$

$$d_2 = 60 \text{ mm}$$

$$d_3 = 60 \text{ mm}$$

$$d_4 = 55 \text{ mm}$$



Slika 5. Konačni oblik vratila 1

Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti Vratila 1

Presjek 1-1

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_1 = 15,1 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani utorom za pero:

$$\beta_{kf1} = 1,7 \text{ ... oblik B, } R_M = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_{kt1} = 1,9 \text{ ... } \rho = 2 \text{ mm}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(M_1 \cdot \beta_{kf1})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1} \cdot \beta_{kt1})^2}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(15,1 \cdot 1,7)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,9)^2}$$

$$M_{red1} = 1572 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_1 = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 70^3 = 34300 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red1} = \frac{M_{red1}}{W_1} = \frac{1572000}{34300} = 45,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,79 \dots f(d_1)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\sigma_{fDN} (St50 - 2) = 240 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_1 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,79 \cdot 0,95 \cdot 240}{45,83}$$

$$S_1 = 3,93$$

Presjek 2-2

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 3,14 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf2} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,4(2 - 1) = 1,4$$

$$c_1 = \left(\frac{70}{60} = 1,167\right) \approx 0,4$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{2}{60} = 0,033 \Rightarrow \beta_{kf2} = 2$$

$$\beta_{kt2} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,72(1,6 - 1) = 1,4 \quad 32$$

$$c_2 = \left(\frac{70}{60} = 1,167\right) \approx 0,72$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,6$$

$$M_{red2} = \sqrt{(M_2 \cdot \beta_{kf2})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt2})^2}$$

$$M_{red2} = \sqrt{(3,14 \cdot 1,4)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,432)^2}$$

$$M_{red2} = 1185 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_2 = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 60^3 = 21600 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red2} = \frac{M_{red2}}{W_2} = \frac{1185000}{21600} = 54,86 \frac{N}{mm^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,80 \dots f(d_2)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_2 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,8 \cdot 0,95 \cdot 240}{54,86}$$

$$S_2 = 3,32$$

Presjek 3-3

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_3 = 5,5 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani dosjedom ležaja:

$$\beta_{kf3} = 2$$

$$\beta_{kt3} = 0,6 \cdot \beta_{kf3} = 0,6 \cdot 2 = 1,2$$

$$M_{red3} = \sqrt{(M_3 \cdot \beta_{kf3})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1} \cdot \beta_{kt3})^2}$$

$$M_{red3} = \sqrt{(5,5 \cdot 2)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,2)^2}$$

$$M_{red3} = 993 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_3 = 0,1 \cdot d_3^3 = 0,1 \cdot 60^3 = 21600 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red3} = \frac{M_{red3}}{W_3} = \frac{993000}{21600} = 45,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,80 \dots f(d_3)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_3 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red3}} = \frac{0,8 \cdot 0,95 \cdot 240}{45,97}$$

$$S_3 = 3,97$$

Presjek 4-4

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_4 = 4 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf4} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,23(2 - 1) = 1,23$$

$$c_1 = \left(\frac{60}{55} = 1,09\right) \approx 0,23$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{2}{60} = 0,033 \Rightarrow \beta_{kf2} = 2$$

$$\beta_{kt4} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,45(1,6 - 1) = 1,27$$

$$c_2 = \left(\frac{60}{55} = 1,09\right) \approx 0,45$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,6$$

$$M_{red4} = \sqrt{(M_4 \cdot \beta_{kf4})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt4})^2}$$

$$M_{red2} = \sqrt{(4 \cdot 1,23)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,27)^2}$$

$$M_{red2} = 1050 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_4 = 0,1 \cdot d_4^3 = 0,1 \cdot 55^3 = 16640 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red4} = \frac{M_{red4}}{W_4} = \frac{1050000}{16640} = 63,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,82 \dots f(d_4)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_4 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,82 \cdot 0,95 \cdot 240}{63,11}$$

$$S_4 = 2,96$$

Presjek 5-5

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

Faktor zarezno djelovanja uslijed uvijanja vratila s utorom za pero

$$\beta_{kt5} = 1,8$$

Torzijski moment otpora

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 50^3}{16} = 24543 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprezanje na uvijanje

$$\tau_{t5} = \frac{T_{V1}}{W_p} = \frac{965000}{24543} = 39,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,82 \dots f(d_4)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

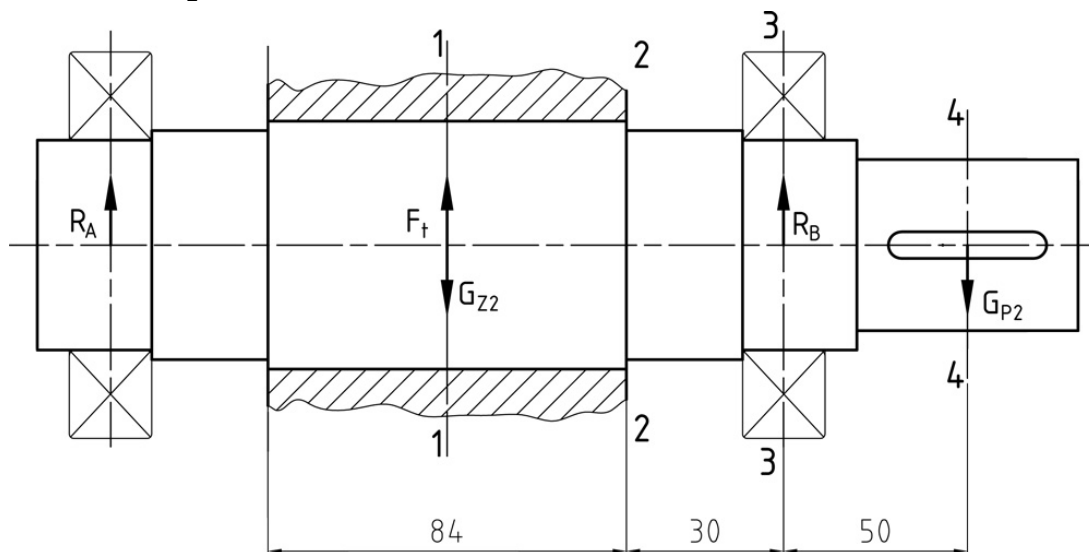
$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\tau_{tDN} (\text{St50} - 2) = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_5 = \frac{\tau_{tDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\tau_{t5} \cdot \beta_{kt5}} = \frac{140 \cdot 0,82 \cdot 0,95}{39,32 \cdot 1,8}$$

$$S_5 = 1,54$$

Izlazno vratilo V₂

Slika 6. Skica vratila 2

Sile na vratilu

Težina zupčanika $G_{Z2} = 40 \text{ N}$

Težina prirubnice $G_{P2} = 100 \text{ N}$

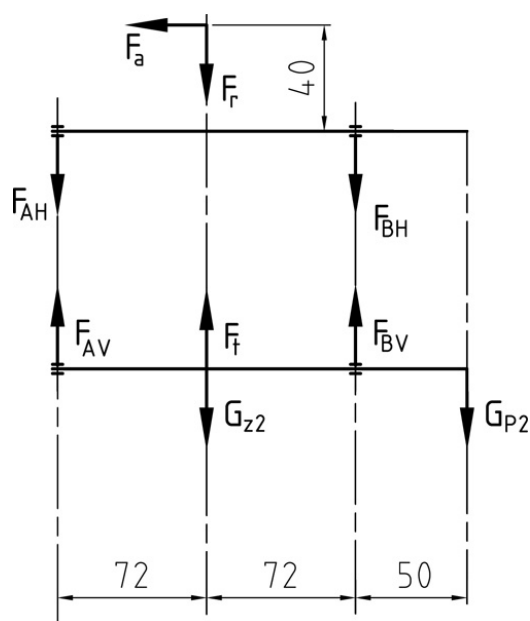
Obodna sila na kinematskoj kružnici $F_t = 2263 \text{ N}$

Radijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_{tw} = 2263 \cdot \tan 20,257^\circ = 835,2 \text{ N}$$

Aksijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 2263 \cdot \tan 12^\circ = 481 \text{ N}$$



Slika 7. Dispozicija sila na vratilu 2

Reakcije u horizontalnoj ravnini

$$\begin{aligned}\sum M_A = 0 \quad & F_a \cdot 40 - F_r \cdot 72 - F_{BH} \cdot 144 = 0 \\ & 144 \cdot F_{BH} = F_a \cdot 40 - F_r \cdot 72 = 481 \cdot 40 - 835,2 \cdot 72 \\ & F_{BH} = -284 N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_B = 0 \quad & F_{AH} \cdot 144 + F_a \cdot 40 + F_r \cdot 72 = 0 \\ & 144 \cdot F_{AH} = -F_a \cdot 40 - F_r \cdot 72 = -481 \cdot 40 - 835,2 \cdot 72 \\ & F_{AH} = -551,2 N\end{aligned}$$

Reakcije u vertikalnoj ravnini

$$\begin{aligned}\sum M_A = 0 \quad & F_t \cdot 72 - G_{Z2} \cdot 72 + F_{BV} \cdot 144 - G_{P2} \cdot 194 = 0 \\ & 144 \cdot F_{BV} = 194 \cdot G_{P2} + G_{Z2} \cdot 72 - F_t \cdot 72 \\ & F_{BV} = -1071 N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_V = 0 \quad & F_{AV} + F_t - G_{Z2} + F_{BV} - G_P = 0 \\ & F_{AV} = G_P + G_{Z2} - F_t - F_{BV} = 40 + 30 - 2263 + 1071 \\ & F_{AV} = -1122 N\end{aligned}$$

Reakcija oslonca B

$$\begin{aligned}R_B &= \sqrt{F_{BH}^2 + F_{BV}^2} = \sqrt{284^2 + 1071^2} \\ R_B &= 1108 N\end{aligned}$$

Promjeri pojedinih stupnjeva

Momenti savijanja u presjecima

$$\begin{aligned}M_1 &= R_B \cdot 72 - G_{P2} \cdot 122 = 1108 \cdot 72 - 30 \cdot 122 \\ M_1 &= 76 Nm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 &= R_B \cdot 30 - G_{P2} \cdot 80 = 1108 \cdot 30 - 30 \cdot 80 \\ M_2 &= 30,84 Nm\end{aligned}$$

$$M_3 = G_{P2} \cdot 50 = 30 \cdot 50 = 1,5 Nm$$

Reducirani momenti u pojedinim presjecima

Maximalni moment na drugom vratilu

$$T_{V2} = \frac{T_{V1max}}{2} \cdot i = \frac{965}{2} \cdot 0,1867 = 90 Nm$$

Faktor čvrstoće za materijal vratila RSt37-2 (Č.0361)

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDN}} = \frac{190}{1,73 \cdot 110} = 0,99$$

$$M_{red1} = \sqrt{M_1^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{76^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90)^2}$$

$$M_{red1} = 109 \text{ Nm}$$

$$M_{red2} = \sqrt{M_2^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{31^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90)^2}$$

$$M_{red2} = 84 \text{ Nm}$$

$$M_{red3} = \sqrt{M_3^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90)^2}$$

$$M_{red3} = 78 \text{ Nm}$$

Orijentacijske vrijednosti dozvoljenih naprezanja za materijal RSt37-2 (S obzirom na obradu i koncentracije naprezanja)

$$dop\sigma_{fDN} = 50 \frac{N}{mm^2}$$

$$dop\tau_{tDN} = 40 \frac{N}{mm^2}$$

Promjeri vratila

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red1}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{109000}{50}}$$

$$d_1' = 28,14 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 28,14 mm iznosi $t=4,1$ mm

$$d_1 = d_1' + t = 28,14 + 4,1$$

$$d_1 = 32,24 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red2}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{84000}{50}}$$

$$d_2 = 25,8 \text{ mm}$$

$$d_3' = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red3}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{78000}{50}}$$

$$d_3' = 25,2 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 25,2 mm iznosi $t=4,1$ mm

$$d_3 = d_3' + t = 25,2 + 4,1$$

$$d_3 = 29,3 \text{ mm}$$

Provjera presjeka 4-4 s obzirom na uvijanje

$$d_{4-4}' = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{V2}}{dop\tau_{tDN}}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{90000}{40}}$$

$$d_{4-4}' = 22,54 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 22,54 mm iznosi $t=4,1$ mm

$$d_{4-4} = d_{4-4}' + t = 22,54 + 4,1$$

$$d_{4-4} = 26,64 \text{ mm}$$

Prethodno odabrani promjeri iznose:

$$d_1 = 35 \text{ mm}$$

$$d_2 = 35 \text{ mm}$$

$$d_3 = 30 \text{ mm}$$

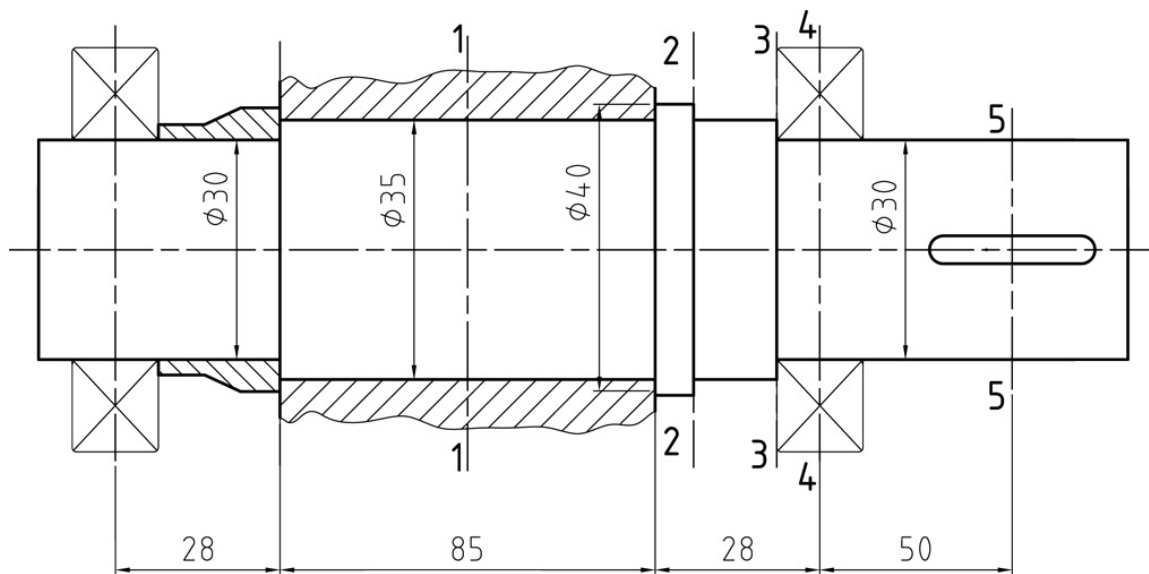
Kontrola doibnog promjera zupčanika u odnosu na promjer vratila

$$d_{f2} > 2 \cdot d_{vr}$$

$$d_{f2} = 73,232 \text{ mm}$$

$$d_{vr} = d_1 = 35 \text{ mm}$$

$$73,232 > 2 \cdot 35 = 70 \text{ mm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$



Slika 8. Konačni oblik vratila 2

Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti Vratila 2

Presjek 1-1

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm Nm}$$

$$M_1 = 76 \text{ Nm Nm}$$

Faktori zarezno djelovanja uzrokovani utorom za pero:

$$\beta_{kf1} = 1,7 \quad \dots \text{oblik } B, R_M = 500 \frac{N}{mm^2}$$

$$\beta_{kt1} = 1,8 \quad \dots \rho = 1,8 \text{ mm}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(M_1 \cdot \beta_{kf1})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt1})^2}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(76 \cdot 1,7)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,8)^2}$$

$$M_{red1} = 190 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_1 = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 35^3 = 4290 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red1} = \frac{M_{red1}}{W_1} = \frac{190000}{4290} = 44,29 \frac{N}{mm^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,87 \quad \dots f(d_1)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\sigma_{fDN} (RSt37 - 2) = 190 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_1 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,87 \cdot 0,95 \cdot 190}{44,29}$$

$$S_1 = 3,54$$

Presjek 2-2

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 30,84 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf2} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,35(1,8 - 1) = 1,28$$

$$c_1 = \left(\frac{40}{35} = 1,143\right) \approx 0,35$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{1,5}{35} = 0,043 \Rightarrow \beta_{kf2} = 1,8$$

$$\beta_{kt2} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,65(1,5 - 1) = 1,325$$

$$c_2 = \left(\frac{40}{35} = 1,143\right) \approx 0,65$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,5$$

$$M_{red2} = \sqrt{(M_2 \cdot \beta_{kf2})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt2})^2}$$

$$M_{red2} = \sqrt{(30,84 \cdot 1,28)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,325)^2}$$

$$M_{red2} = 109,6 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_2 = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 35^3 = 4290 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red2} = \frac{M_{red2}}{W_2} = \frac{109600}{4290} = 25,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,87 \dots f(d_2)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_2 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,87 \cdot 0,95 \cdot 190}{25,55}$$

$$S_2 = 6,28$$

Presjek 3-3

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

$$M_3 = R_B \cdot 10 - G_{P2} = 1108 \cdot 0,010 - 30 \cdot 0,060 = 9,28 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf3} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,4(2,4 - 1) = 1,56$$

$$c_1 = \left(\frac{35}{30} = 1,167\right) \approx 0,4$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0167 \Rightarrow \beta_{kf2} = 2,4$$

$$\beta_{kt3} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,72(1,7 - 1) = 1,504$$

$$c_2 = \left(\frac{35}{30} = 1,167\right) \approx 0,72$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,7$$

$$M_{red3} = \sqrt{(M_3 \cdot \beta_{kf3})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt3})^2}$$

$$M_{red3} = \sqrt{(9,28 \cdot 1,56)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,504)^2}$$

$$M_{red2} = 117 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_3 = 0,1 \cdot d_3^3 = 0,1 \cdot 30^3 = 2700 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red3} = \frac{M_{red3}}{W_3} = \frac{117000}{2700} = 43,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,9 \dots f(d_2)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_3 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,9 \cdot 0,95 \cdot 190}{43,33}$$

$$S_3 = 3,75$$

Presjek 4-4

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

$$M_4 = 1,5 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani dosjedom ležaja:

$$\beta_{kf4} = 2$$

$$\beta_{kt4} = 0,6 \cdot \beta_{kf4} = 0,6 \cdot 2 = 1,2$$

$$M_{red4} = \sqrt{(M_4 \cdot \beta_{kf3})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt4})^2}$$

$$M_{red4} = \sqrt{(1,5 \cdot 2)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,2)^2}$$

$$M_{red4} = 92,6 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_4 = 0,1 \cdot d_4^3 = 0,1 \cdot 30^3 = 2700 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red4} = \frac{M_{red4}}{W_4} = \frac{92600}{2700} = 34,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,90 \dots f(d_3)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_4 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red3}} = \frac{0,9 \cdot 0,95 \cdot 190}{34,3}$$

$$S_4 = 4,74$$

Presjek 5-5

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

Faktor zareznog djelovanja uslijed uvijanja vratila s utorom za pero

$$\beta_{kt5} = 1,8$$

Torzijski moment otpora

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 30^3}{16} = 5300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprezanje na uvijanje

$$\tau_{t5} = \frac{T_{V2}}{W_p} = \frac{90000}{5300} = 16,98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,9 \dots f(d_4)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\tau_{tDN} (RSt37 - 2) = 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

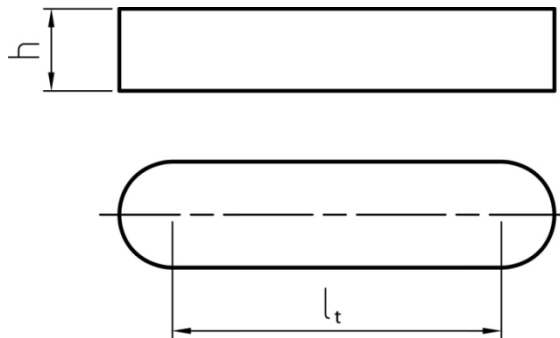
$$S_5 = \frac{\tau_{tDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\tau_{t5} \cdot \beta_{kt5}} = \frac{110 \cdot 0,9 \cdot 0,95}{16,98 \cdot 1,8}$$
$$S_5 = 3,1$$

Izlazno vratilo V₃

Vratilo je identično vratilu 2 uz dodatak rukavca za prihvat remenice te time nije potrebno vršiti proračun.

Odabir pera

Odabrana su pera oblika A po DIN 6885 A normi.



Slika 9. Oblik pera

Provjera pera na bočni tlak

Pero 1 (Zupčanik 1/Vratilo 1)

Pero 20x60, Oblik A (DIN 6885 A)

$$l_t = 40 \text{ mm}$$

$$h = 12 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$F_t = \frac{T_1}{r_{vr}} = \frac{636000}{35} = 18171 \text{ N}$$

$$p_1 = \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} = \frac{18171}{240} = 74,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$p_{dop} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{prema [3]}$$

$$p_1 < p_{dop} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Pero 2 (Zupčanik 2/Vratilo2 [Z2/V3])

Pero 10x60, Oblik A (DIN 6885 A)

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

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$F_t = \frac{T_2}{r_{vr}} = \frac{90000}{35} = 5143 \text{ N}$$

$$p_2 = \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} = \frac{5143}{200} = 25,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$p_2 < p_{dop} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Odabir ležajeva (Prema SKF-u)

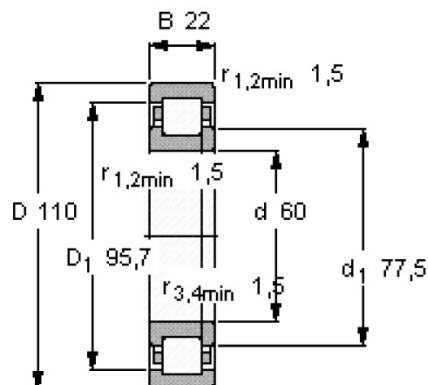
Vratilo 1

$$\begin{aligned} \text{Oslonac A} \quad F_a &= 2 \cdot 481 = 962 \text{ N} \\ F_r &= 388 \text{ N} \\ n &= 450 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

Odabran je radijalno-aksijalni ležaj SKF NUP 212 prema promjeru rukavca.

Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned} d &= 60 \text{ mm} \\ D &= 110 \text{ mm} \\ B &= 22 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 108 \text{ kN} \\ C_0 &= 102 \text{ kN} \end{aligned}$$



Slika 10. Ležaj NUP212

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{965}{388} = 2,48 > e$$

$$\Rightarrow P = 0,92 \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,92 \cdot 388 + 0,6 \cdot 962$$

$$P = 934 \text{ N}$$

$$L_{nmh} = \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3}$$

$$L_{nmh} = \frac{1000000}{60 \cdot 450} \cdot \left(\frac{108000}{934}\right)^{10/3} = 2,73 \cdot 10^8 \text{ h}$$

$$L_{hpotrebno} = 13000 \text{ h} \quad \text{prema [5]}$$

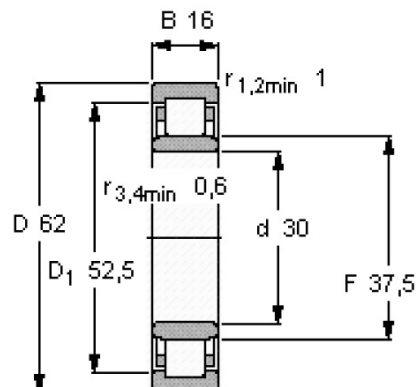
$$L_{nmh} > L_{hpotrebno} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Oslonac B

Odabran je radijalni ležaj SKF NU 212 prema promjeru rukavca.

Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned} d &= 60 \text{ mm} \\ D &= 110 \text{ mm} \\ B &= 22 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 108 \text{ kN} \\ C_0 &= 102 \text{ kN} \end{aligned}$$



Slika 11. Ležaj NU212

Nije potrebno provesti proračun za ležaj u osloncu B jer su sile gotovo jednake kao i u osloncu A, a ležaj višetruko zadovoljava kriterij radnih sati.

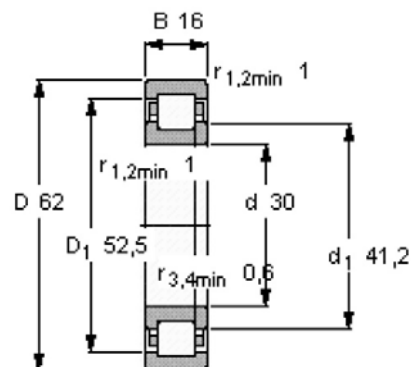
Vratilo 2

$$\begin{aligned} \text{Oslonac B} \quad F_a &= 481 \text{ N} \\ F_r &= 1108 \text{ N} \\ n &= 2407 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

Odabran je radijalno-aksijalni ležaj SKF NUP 206 prema promjeru rukavca.

Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned} d &= 30 \text{ mm} \\ D &= 62 \text{ mm} \\ B &= 16 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 44 \text{ kN} \\ C_0 &= 36,5 \text{ kN} \end{aligned}$$



Slika 12. Ležaj NUP206

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{481}{1108} = 0,43 > e$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow P &= 0,92 \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,92 \cdot 1108 + 0,6 \cdot 481 \\ P &= 1309 \text{ N} \end{aligned}$$

$$L_{nmh} = \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} = \frac{1000000}{60 \cdot 2407} \cdot \left(\frac{44000}{1309}\right)^{10/3} = 8,48 \cdot 10^5 \text{ h}$$

$$L_{hpotrebno} = 13000 \text{ h} \quad \text{prema [5]}$$

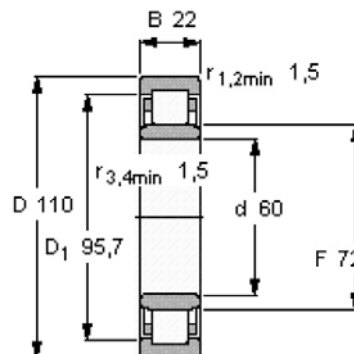
$$L_{nmh} > L_{hpotrebno} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Oslonac A

Odabran je radijalni ležaj SKF NU 206 prema promjeru rukavca.

Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned} d &= 30 \text{ mm} \\ D &= 62 \text{ mm} \\ B &= 16 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 44 \text{ kN} \\ C_0 &= 36,5 \text{ kN} \end{aligned}$$



Slika 13. Ležaj NU206

Nije potrebno provesti proračun za ležaj u osloncu A jer su sile gotovo jednake kao i u osloncu B, a ležaj višetruko zadovoljava kriterij radnih sati.

Osiguranje aksijalnih pomaka ležaja

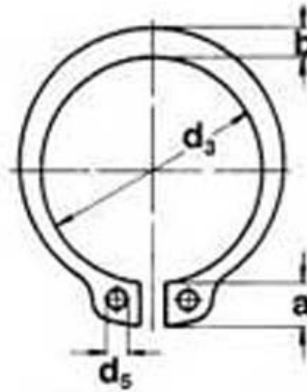
Za osiguranje pomaka ležaja u aksijalnom smjeru odlučio sam se za prstenaste uskočnike (Seeger-e) na mjestima gdje je to potrebno. Na ostalim mjestima to je osigurano oblikom vratila te poklopcem.

Odabrani uskočnici zadovoljavaju normu DIN 472.

Vanjski uskočnici

A30 ($d_3=27.9$ mm)

A60($d_3=55.8$ mm):

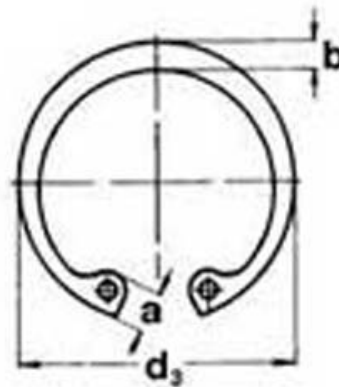


Slika 14. Vanjski prstenasti uskočnik

Unutarnji uskočnici

J62 ($d_3=66.2$ mm)

J110 ($d_3=117$ mm)

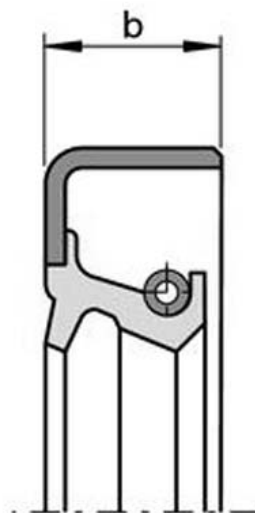


Slika 15. Unutarnji prstenasti uskočnik

Odabir brtvi

S obzirom da se u multiplikatoru koristi ulje, potrebno je osigurati da ne izlazi iz sklopa. Kritični dijelovi su vratila tj. ulaz vratila 1 te izlazi vratila 2 i 3.

Za brtvljenje sam odabrao dinamičke brtve Trelleborg TRD Type BS.



Slika 16. Brtva Trelleborg TRD

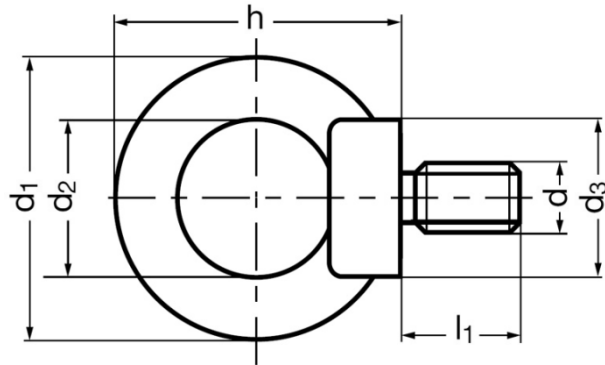
Odabrane su sljedeće verzije:

- BS25 za promjer vratila 25mm ($b=7\text{mm}$)
- BS30 za promjer vratila 30mm ($b=7\text{mm}$)
- BS60 za promjer vratila 60mm ($b=8\text{mm}$)

Odabir elementa za dizanje multiplikatora

Za dizanje cijelog multiplikatora odabrao sam dva okasta vijka M12, svaki sa jedne strane multiplikatora.

$$\begin{aligned} d &= M12 \\ d_1 &= 54 \text{ mm} \\ d_2 &= 30 \text{ mm} \\ d_3 &= 30 \text{ mm} \\ h &= 53 \text{ mm} \\ l_1 &= 20,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



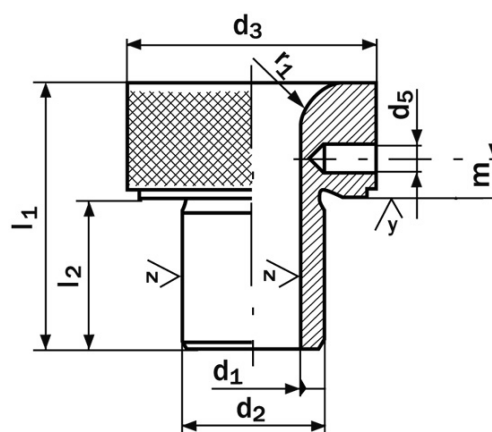
Slika 17. Okasti vijak

Odabir odzračnika

S obzirom da se ulje zagrijava, unutar multiplikatora se stvaraju plinovi koji stvaraju pritisak unutar njega, te nam radi izjednačavanja tlaka između multiplikatora i vanjske atmosfere treba odzračnik koji se nalazi na najvišoj točki multiplikatora.

Odabrao sam odzračnik tvrtke ENOMAX koji zadovoljava normu DIN 173.

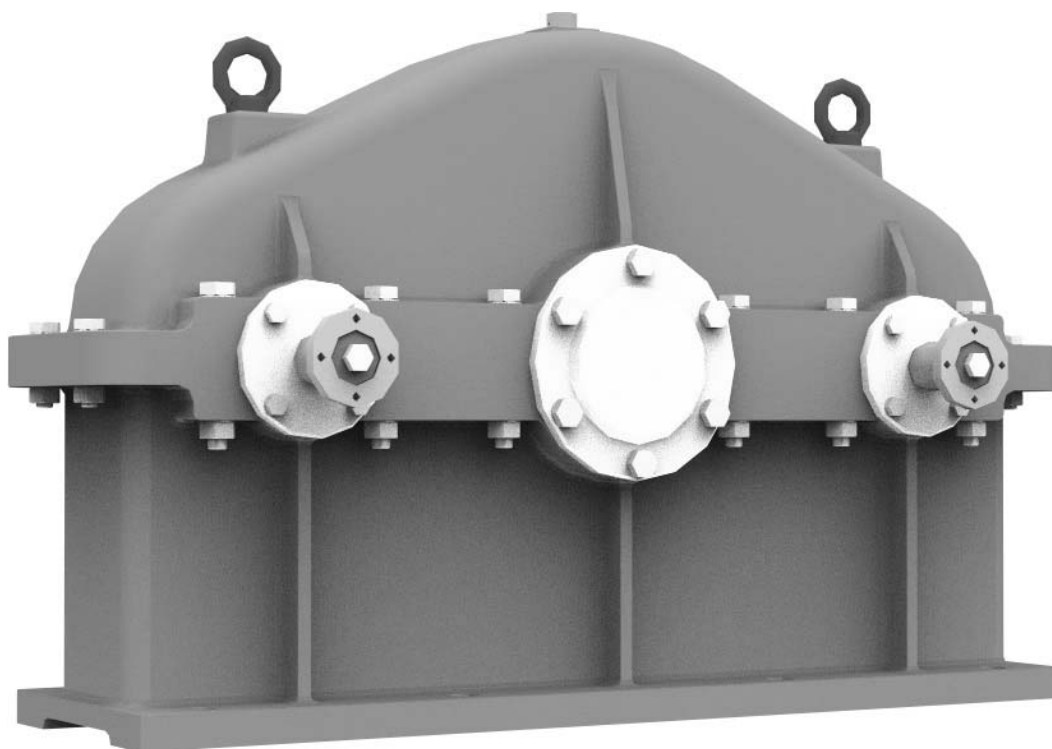
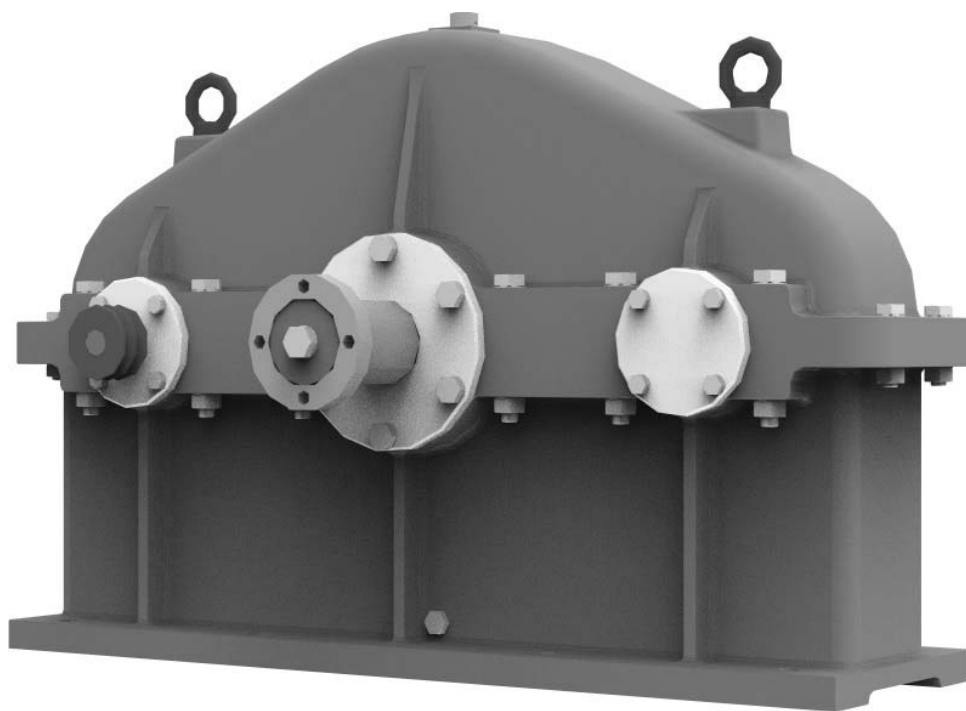
$$\begin{aligned} d_1 &= 6,1 \text{ mm} \\ d_2 &= M12 \\ d_3 &= 22 \text{ mm} \\ l_1 &= 24 \text{ mm} \\ l_2 &= 12 \text{ mm} \\ d_5 &= 3 \text{ mm} \\ r_1 &= 4 \text{ mm} \end{aligned}$$



Slika 18. Odzračnik

Model Multiplikatora

Kompletan multiplikator modeliran je u programu PRO/Engineer W4.



Slika 19. Model multiplikatora

Prilog

Tehnička dokumentacija

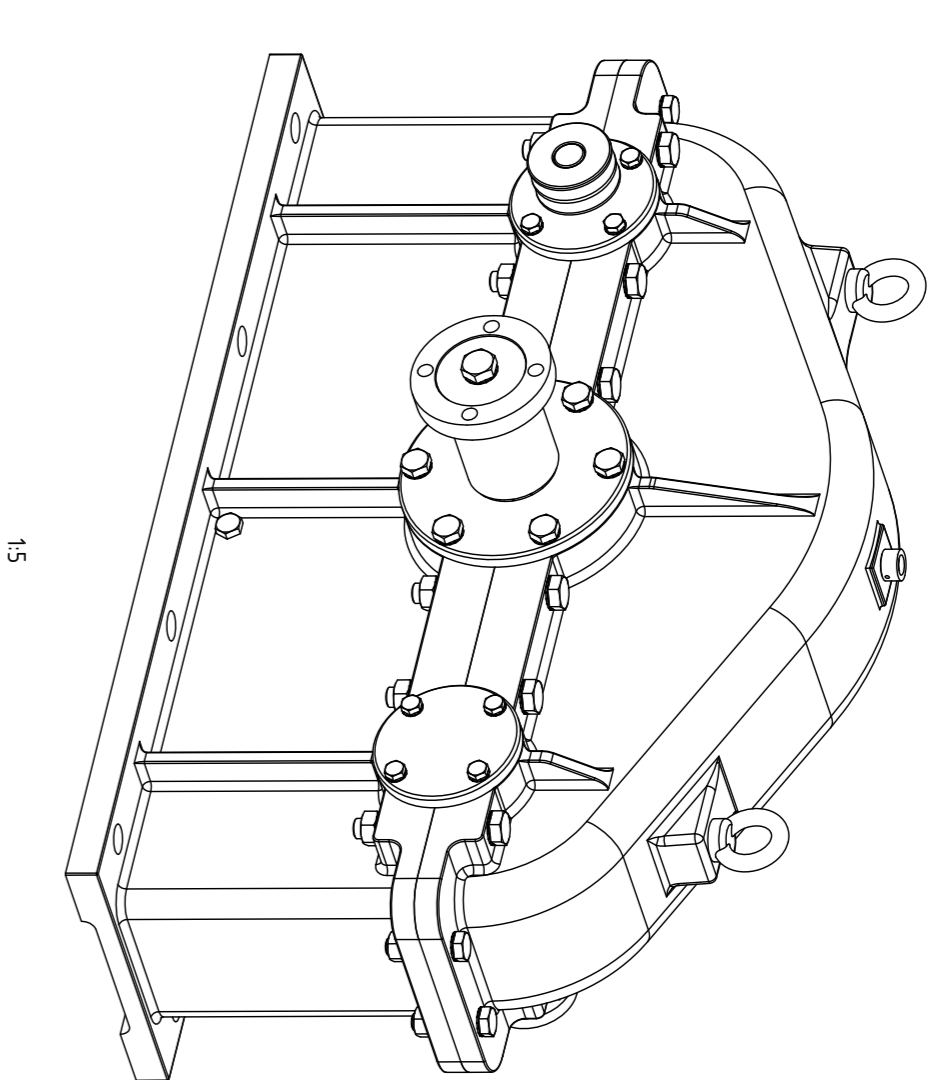
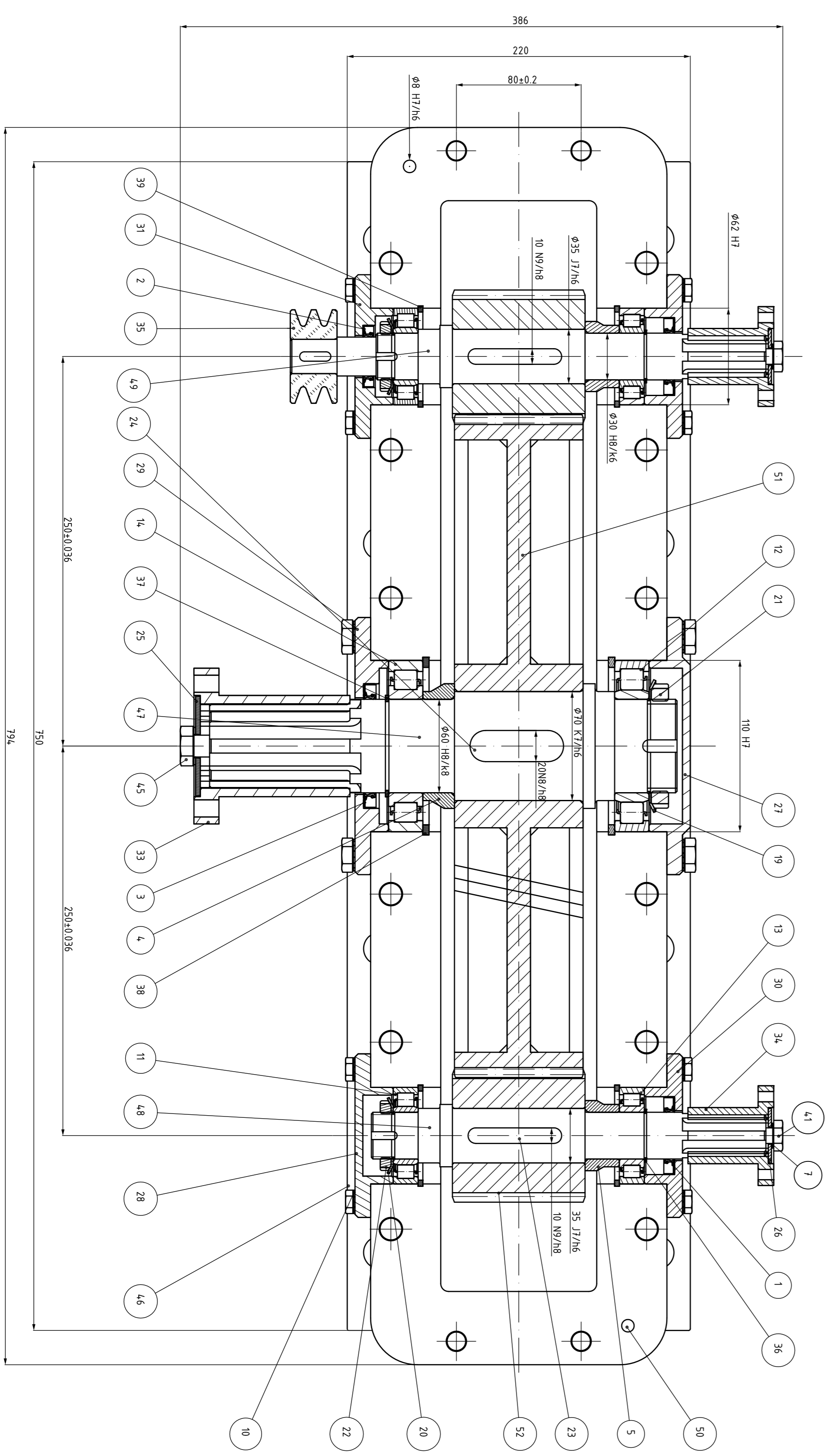
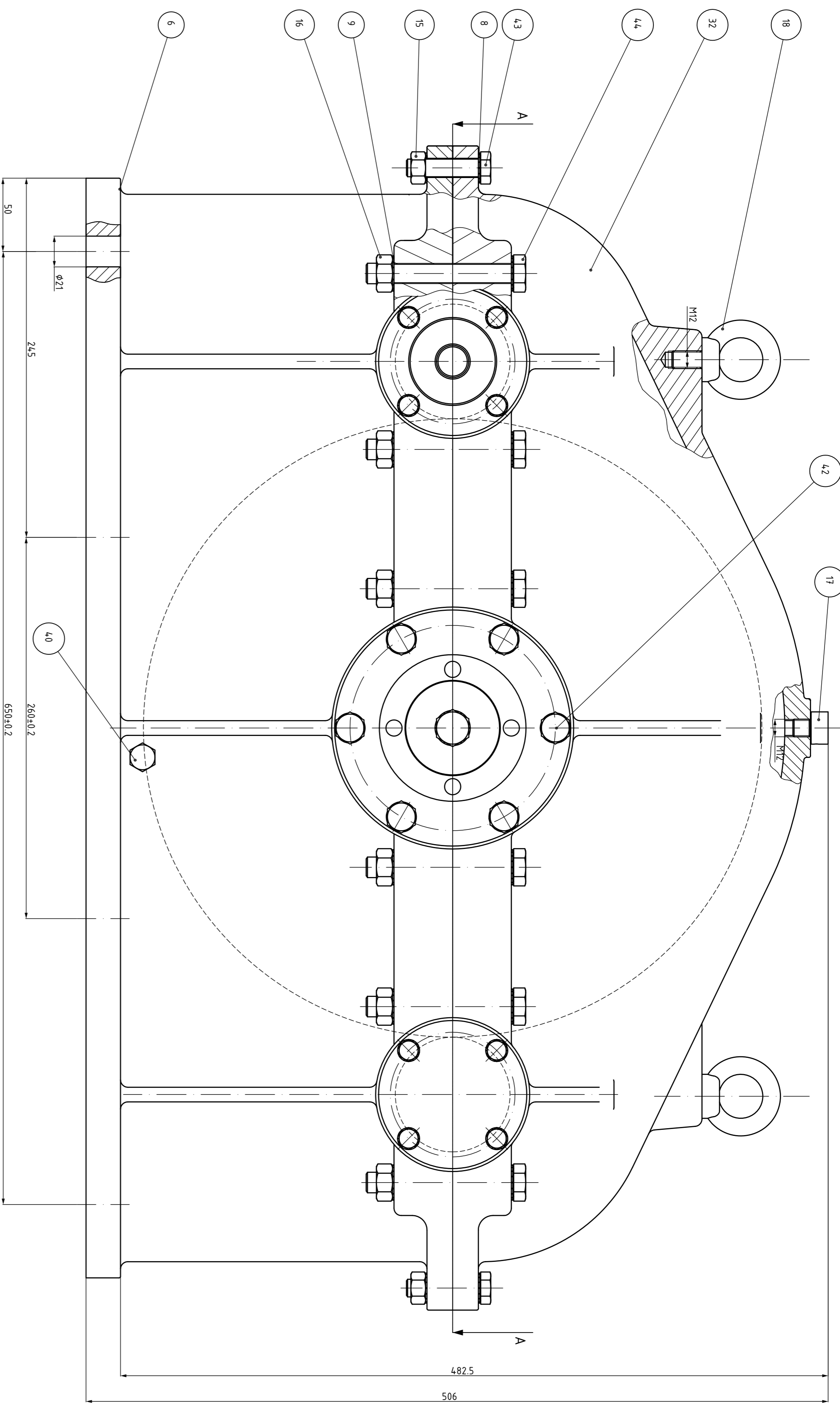
- Sklop Multiplikatora
- Zupčanik 1
- Zupčanik 2
- Vratilo 1
- Vratilo 2
- Vratilo 3
- Poklopac Kučišta
- Donji dio kučišta
- Poklopac A1
- Poklopac B1
- Poklopac A2
- Poklopac B2
- Poklopac C2
- Distantni prsten 1
- Distantni prsten 2

Zaključak

Tokom izrade proračuna dolazio sam do nekolicine dilema i problema koje sam uz pomoć mentora uspio razrješiti. Najveći problem prilikom samog projektiranja multiplikatora je literatura vezana uz njih. Literatura koja obuhvaća multiplikatore je zaista vrlo skromna jer je većina literature s tom tematikom orijentirana na probleme redukcije. Kroz proračun i konstruiranje pokušao sam slijediti norme i standarde u najvećoj mogućoj mjeri te sam koristio što je više moguće standardne dijelove i dimenzije što uvelike smanjuje vrijeme izrade te cijenu samog reduktora. Kod projektiranja zupčanika odlučio sam se za zupčanike sa kosim zubima radi smanjenja buke i radi povećanja mirnoće u radu. Mana cijelog multiplikatora je njegova masa što ukazuje na mogućnost optimizacije istog.

Popis literature

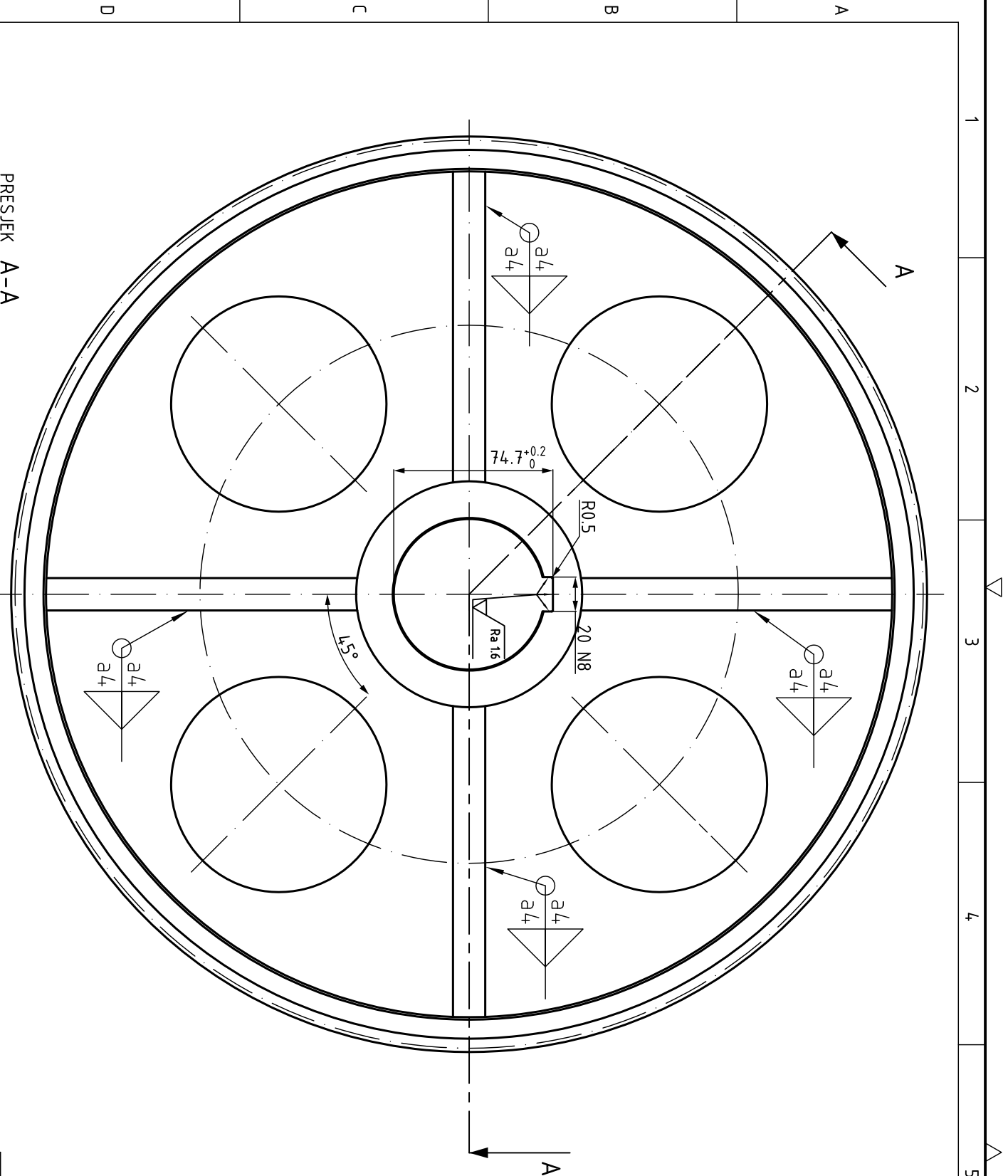
- [1] Eugen Oberšmit, Ozubljenja i zupčanici; Zagreb,1993.
- [2] Bojan Kraut, Strojarski priručnik; Sajema, Zagreb, 2009.
- [3] Karl-Heinz Decker, Elementi strojeva; Golden marketing-Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
- [4] Milan Opalić, Prijenosnici snage i gibanja – podloge za predavanja, FSB, Zagreb.
- [5] Tomislav Filetin, Izbor materijala pri razvoju proizvoda; FSB, Zagreb, 2006.
- [6] Zvonimir Horvat i suradnici, Vratilo; FSB, Zagreb,
- [7] Milan Opalić - Petar Rakamarić, Reduktor; FSB, Zagreb, 2001.
- [8] www.skf.com
- [9] www.seeger-orbis.de
- [10] www.tss.trelleborg.com
- [11] www.enomax.fr/
- [12] www.bene-inox.com



52	Zavratak 2	2	2010-05-08	42CrMo4	2.511
51	Zavratak 1	1	2010-05-08	A4-70	2.7373
50	ZAHK za centriranje	2	HRN H12.2.05	654E	0.003
49	Vrhilica 3	1	2010-05-08	S235JR02	1.683
48	Vrhilica 2	1	2010-05-08	S235JR02	1.517
47	Vrhilica 1	1	2010-05-08	S235JR02	1.517
46	Vijak H8x30	16	DN 933	INOX A2	6.796
45	Vijak H14x40	1	DN 933	INOX A2	0.079
44	Vijak H14x50	1	DN 933	INOX A2	0.080
43	Vijak H12x25	4	DN 933	INOX A2	0.663
42	Vijak H12x25	12	DN 933	INOX A2	0.003
41	Vijak H10x20 za ispost uga	2	DN 933	INOX A2	0.003
40	Selegar 4/2	4	DN 472	INOX A2	0.079
39	Selegar 4/2	2	DN 472	INOX A2	0.075
38	Selegar 4/40	1	DN 472	INOX A2	0.073
37	Selegar 4/30	2	DN 472	INOX A2	0.003
36	Remenica	1			0.397
35	Prirudnica 2	1		INOX A2	0.343
34	Prirudnica 1	2		INOX A2	1.552
33	Podlogar kockica	1	2010-01-10	SC20	4.9704
32	Podlogar C2	1	2010-04-00	S235JR02	0.704
31	Podlogar B2	2	2010-08-10	S235JR02	0.665
30	Podlogar B1	1	2010-09-10	S235JR02	1.568
29	Podlogar A2	1	2010-10-00	S235JR02	0.672
28	Podlogar A1	1	2010-11-00	S235JR02	1.594
27	Placica 2	2		S235JR02	0.015
26	Placica 1	1		S235JR02	0.072
25	Perio 20x60	1	DN 6885 A		0.012
24	Perio 20x60	2	DN 6885 A		0.015
23	Osovinska matrica M8	2	ISO 2982		0.035
22	Osovinska matrica M8	2	ISO 2982		0.047
21	Osiguravajući lim SKF M8x6	1	ISO 2982		0.008
20	Osiguravajući lim SKF M8x6	2	ISO 2982		0.008
19	Osiguravajući lim H8T2	1	ISO 2982		0.025
18	Ovratni vijak M12	2	DN 590	INOX A2	0.000
17	Ovratnik	1	DN 173	INOX A2	0.000
16	Matica M12	1	DN 924	INOX A2	0.000
15	Matica M12	4	DN 924	INOX A2	0.000
14	Ležaj SKF NMP212	1	ISO 5-1981		10.98
13	Ležaj SKF NMP206	2	ISO 5-1981		0.264
12	Ležaj SKF NMP12	1	ISO 5-1981		0.991
11	Ležaj SKF NMP6	2	ISO 5-1981		0.252
10	Lepazasta podnožna pločica M8	16	DN 6798 A	INOX A2	0.000
9	Lepazasta podnožna pločica M12	25	DN 6798 A	INOX A2	0.002
8	Lepazasta podnožna pločica M12	20	DN 6798 A	INOX A2	0.000
7	Lepazasta podnožna pločica M10	2	DN 6798 A	INOX A2	0.000
6	Gong do ležaja	1	2010-05-00	SC20	7.5921
5	Ovratnik prsten 2	2	2010-05-00	S235JR02	0.191
4	Ovratnik prsten 1	2	2010-05-00	S235JR02	0.259
3	Brtva Teichberg BS40	1	DN 3761	0.044	0.044
2	Brtva Teichberg BS25	1	DN 3761	0.075	0.075
1	Brtva Teichberg BS30	2	DN 3761	0.028	0.028

ISO - Tolerancije		Datum		Sveće dimenzije	
10 N9/n8	+0.022	Projektirao	line i prečime	Polipis	Prevezdega
20 N8/n8	+0.030	Kreirao	Renio Kolar		
Ø30 H8/k6	+0.036	Proverio	Renio Kolar		
Ø35 J7/n6	+0.031	Prilagodilo	Renio Kolar		
Ø40 H8/k6	+0.044	Napomena:			
Ø50 H8/k6	+0.050	R. N. broj			
Ø62 H7	+0.028	Materijal:			
Ø70 K7/n6	+0.027	Masa			
Ø8 H7/n6	+0.030	Naziv:			
Ø10 H7	+0.035	Multiplikator			
Ø8 H7/n6	+0.024	Materijal originala			
	+0.000	1:2			
	+0.000	Crtač broj: 2010-00-00			
		List 1			





$\sqrt{Ra\ 3.2}$ ($\sqrt{Ra\ 1.6}$ $\sqrt{Ra\ 0.8}$)
 brušeno

Broj zubi [z]	150
Modul [m]	2.75mm
Standardni profil	HRN M,C1,015
Promjer diobene kružnice [d]	421.78mm
Pomak profila [x _m]	-0.9625mm
Promjer temeljne (osnovne) kružnice [d _n]	395.29mm
Kvaliteta	7 ed
Mjerni broj zubi [z _m]	19
Kut nagiba boka [β]	12°
Mjera preko nekoliko zubi [w _{A_v,g}]	158.65 ^{-0.108} _{-0.14,6} mm
Promjer kinematske kružnice [d _k]	421.36mm
Broj okretaja [n]	450 min ⁻¹
Broj zubi zupčanika u zahvatu	3,607
Razmak osi vratila [a±A _{ag} d]	250±0.036
Kut zahvatne linije [α _{kw}]	20°15'25"
Kružna zračnost [j]	161-287 μm

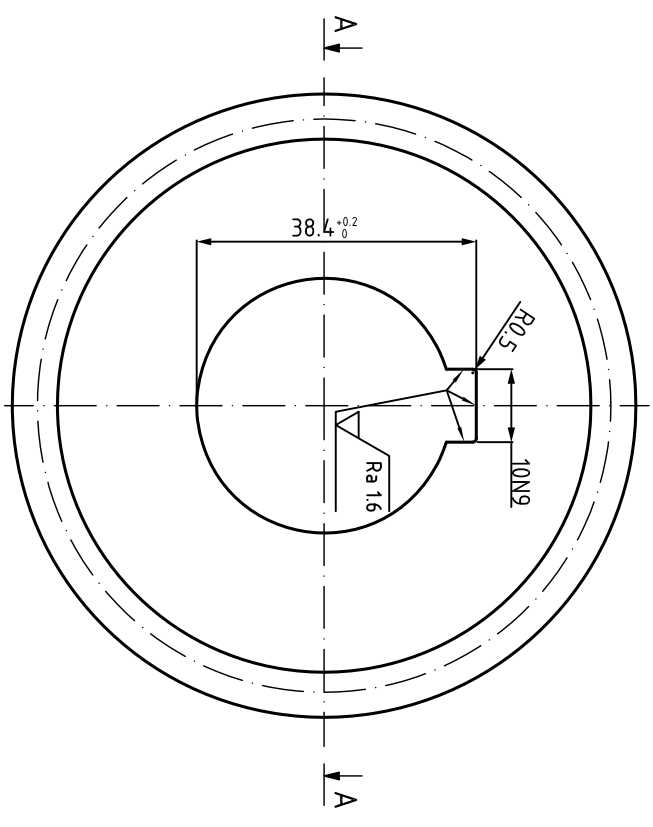
Napomena:
 Toplinska obrada

Poz.	1	Zupčanik 1	1	C4SE (plam. kaljen)	24.400
	2	Rebro 1	8	C4SE	0.421
Broj naziva - code		Naziv dijela	kom.	Crtež broj Norma	Materijal Masa
ISO - tolerancije		Projektirao		Ime i prezime	Potpis
20 N9	-0,003 -0,036	Razradio		Renato Kolar	
70 K7	+0,009 -0,021	Crtao		Renato Kolar	
		Pregledao			
		Objekt:		Objekt broj:	
				R. N. broj:	



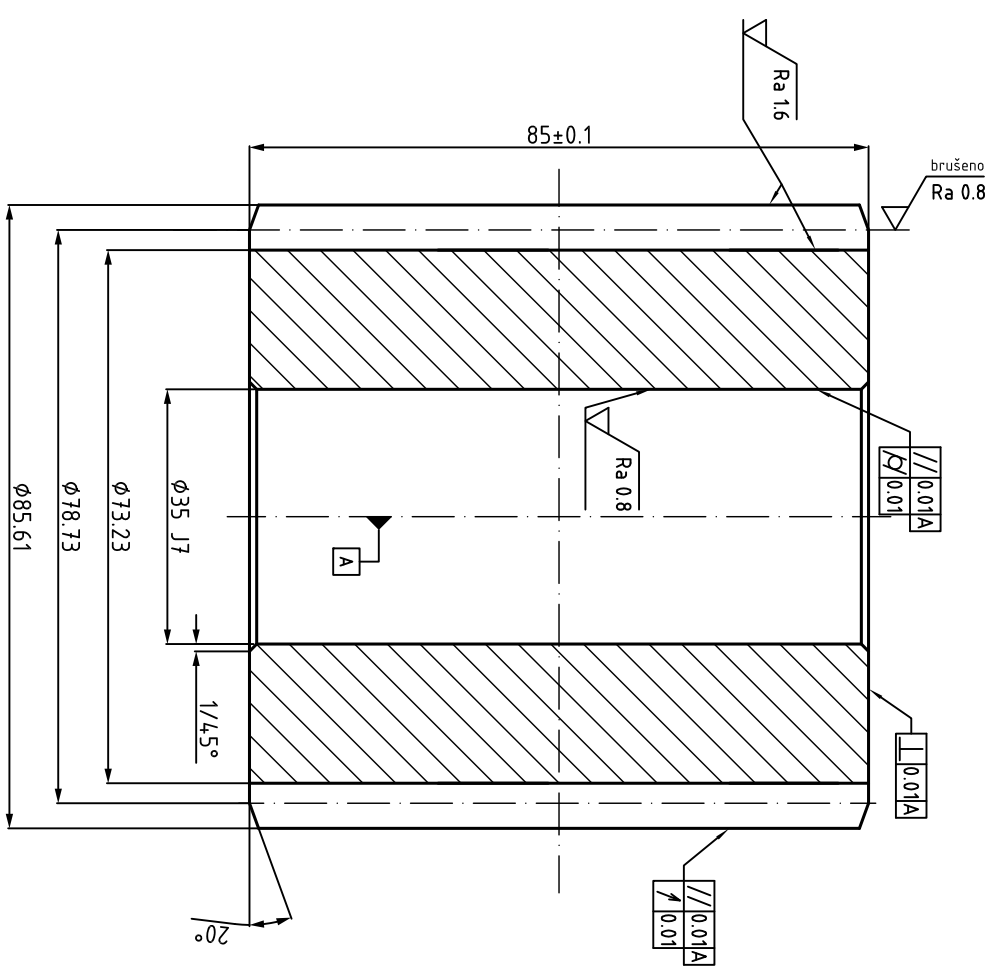
Objekt:	Objekt broj:	
Napomena:	R. N. broj:	
Materijal:	Masa:	
C4SE		
Mjerno originala	Naziv:	Zupčanik 1
1:2.5	Crtež broj:	2010-01-00
	Format:	A3
	Lista:	1
	Kopija:	





$\sqrt{Ra\ 3.2}$ (
 $\sqrt{Ra\ 1.6}$
 $\sqrt{Ra\ 0.8}$
)

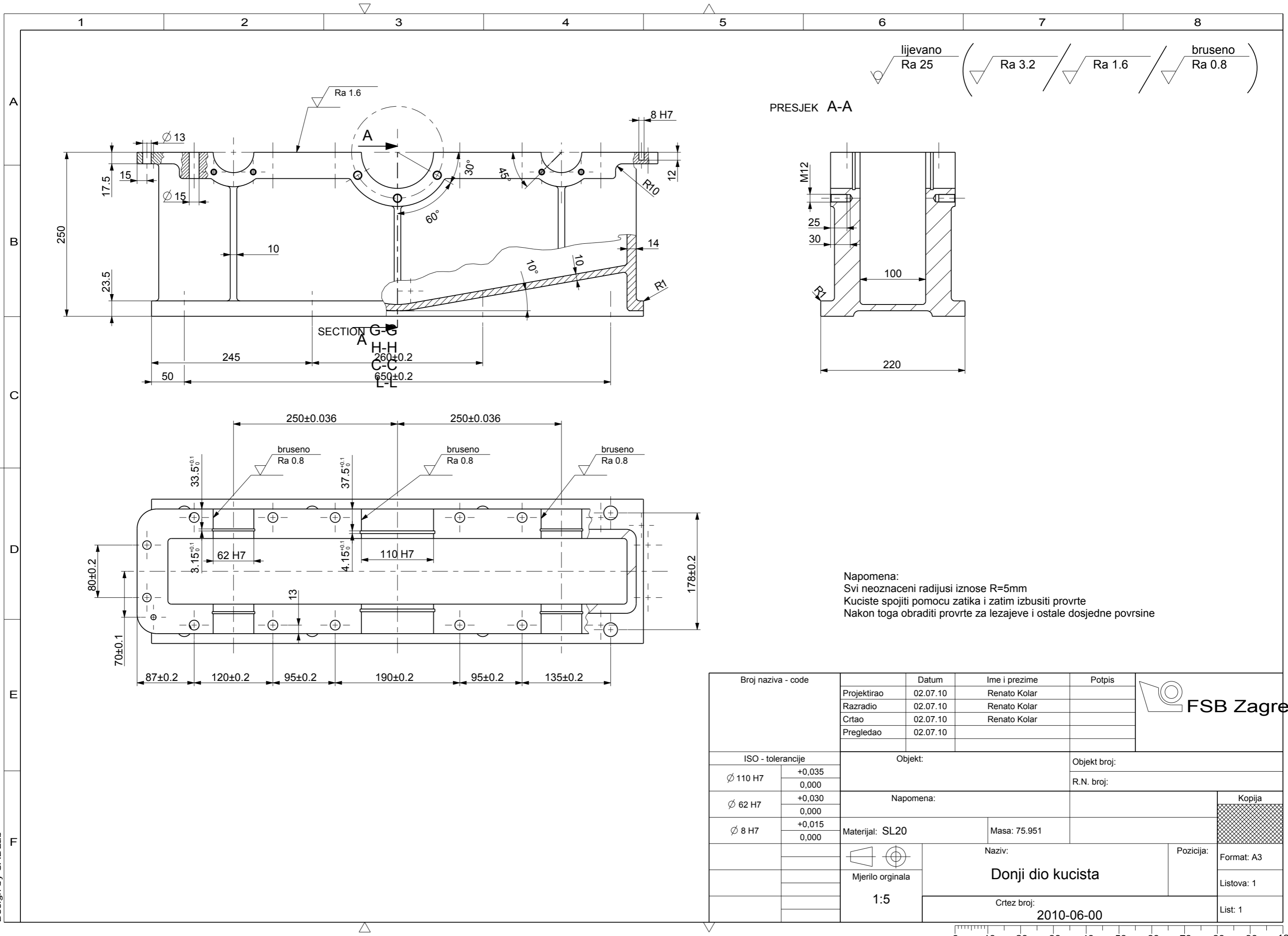
PRESJEK A-A



Broj zubi [z]	28
Modul [m]	2.75mm
Standardni profil	HRN M,C1,015
Promjer diobene kružnice [d _d]	78.73mm
Pomak profila [x _{ml}]	+0.6875mm
Promjer temeljne (osnovne) kružnice [d _b]	73.79mm
Kvaliteta	7 fe
Mjerni broj zubi [z _m]	5
Kut nagiba boka [β]	12°
Mjera preko nekoliko zubi [W _{A_s,g}]	38.89 ^{+0.064} _{-0.098} mm
Promjer kinematske kružnice [d _{wz}]	78.65mm
Broj okretaja [n _z]	2407 min ⁻¹
Broj zubi zupčanika u zahvatu	3,607
Razmak osi vratila [a±A _{s,gd}]	250±0.036
Kut zahvatne linije [α _{rw}]	20°15'25"
Kružna zračnost [j]	161-287 μm

Napomena:
 Toplinska obrada

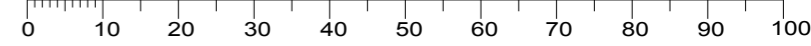
Broj naziva - code	Datum		Ime i prezime	Potpis	
ISO - tolerancije	Projektirao		Renato Kolar		
10 N9	Razradio		Renato Kolar		
Ø35 J7	Crtao		Renato Kolar		
	Pregledao				
Objekt: _____					
Objekt broji:			R. N. broji:		
Napomena:		Kopija			
Materijal: 42CrM04	Masa:	Format: A3			
Mjerilo originala		Naziv: Zupčanik 2		Listova: 1	
1:1		Crtež broji: 2010-02-00		List: 1	

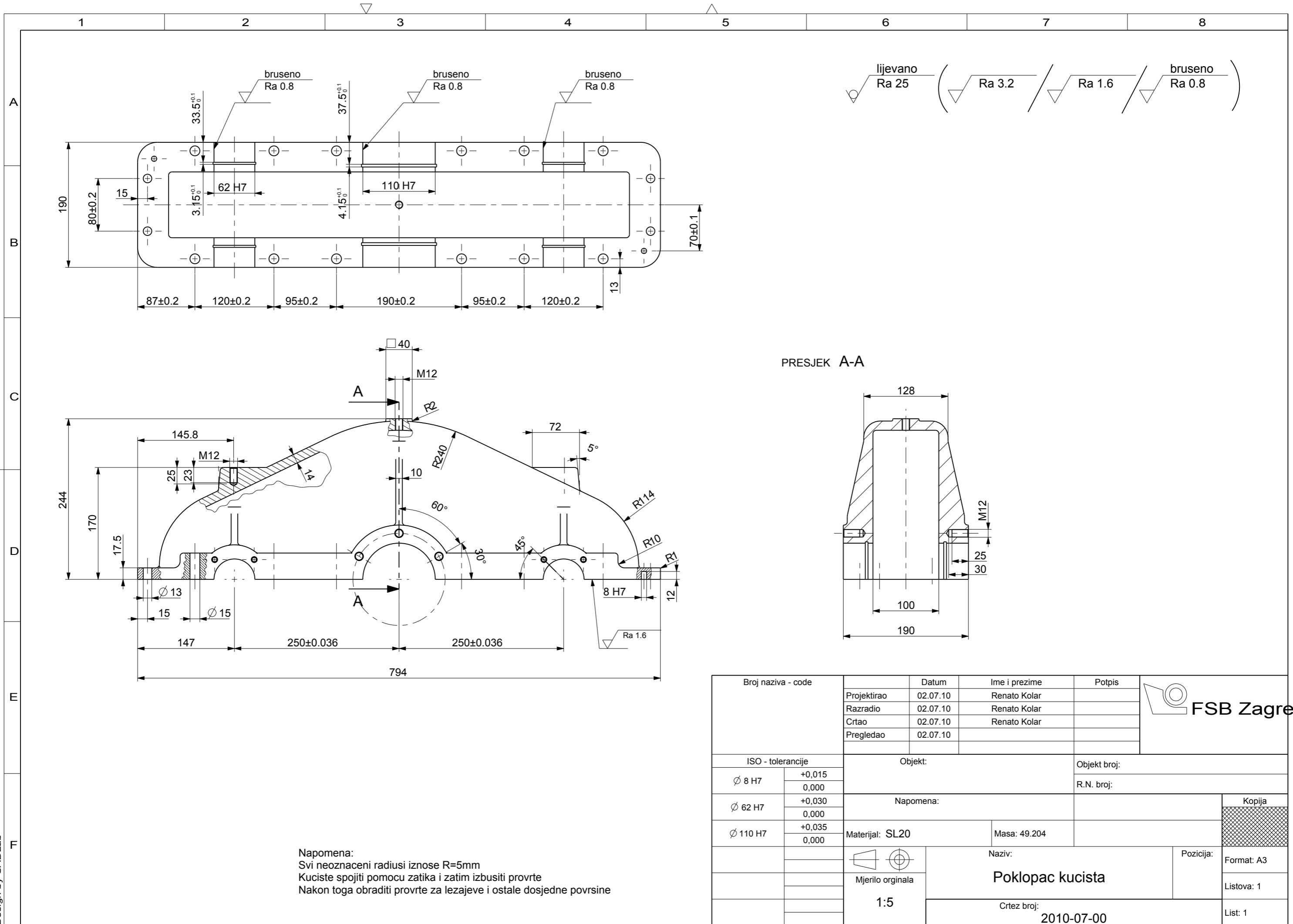


PRESJEK A-A

Napomena:
Svi neoznaceni radijusi iznose R=5mm
Kuciste spojiti pomocu zatika i zatim izbusiti provrte
Nakon toga obraditi provrte za lezajeve i ostale dosjedne površine

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		02.07.10	Renato Kolar		
Razradio		02.07.10	Renato Kolar		
Crtao		02.07.10	Renato Kolar		
Pregledao		02.07.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\varnothing 110$ H7	+0,035 0,000			R.N. broj:	
$\varnothing 62$ H7	+0,030 0,000	Napomena:			
$\varnothing 8$ H7	+0,015 0,000	Materijal: SL20	Masa: 75.951		
		Mjerilo originala	Naziv:	Pozicija:	Kopija
		1:5	Donji dio kucista	Format: A3	
			Crtez broj:	Listova: 1	
			2010-06-00	List: 1	



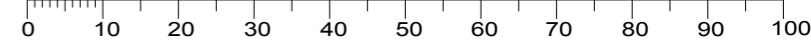


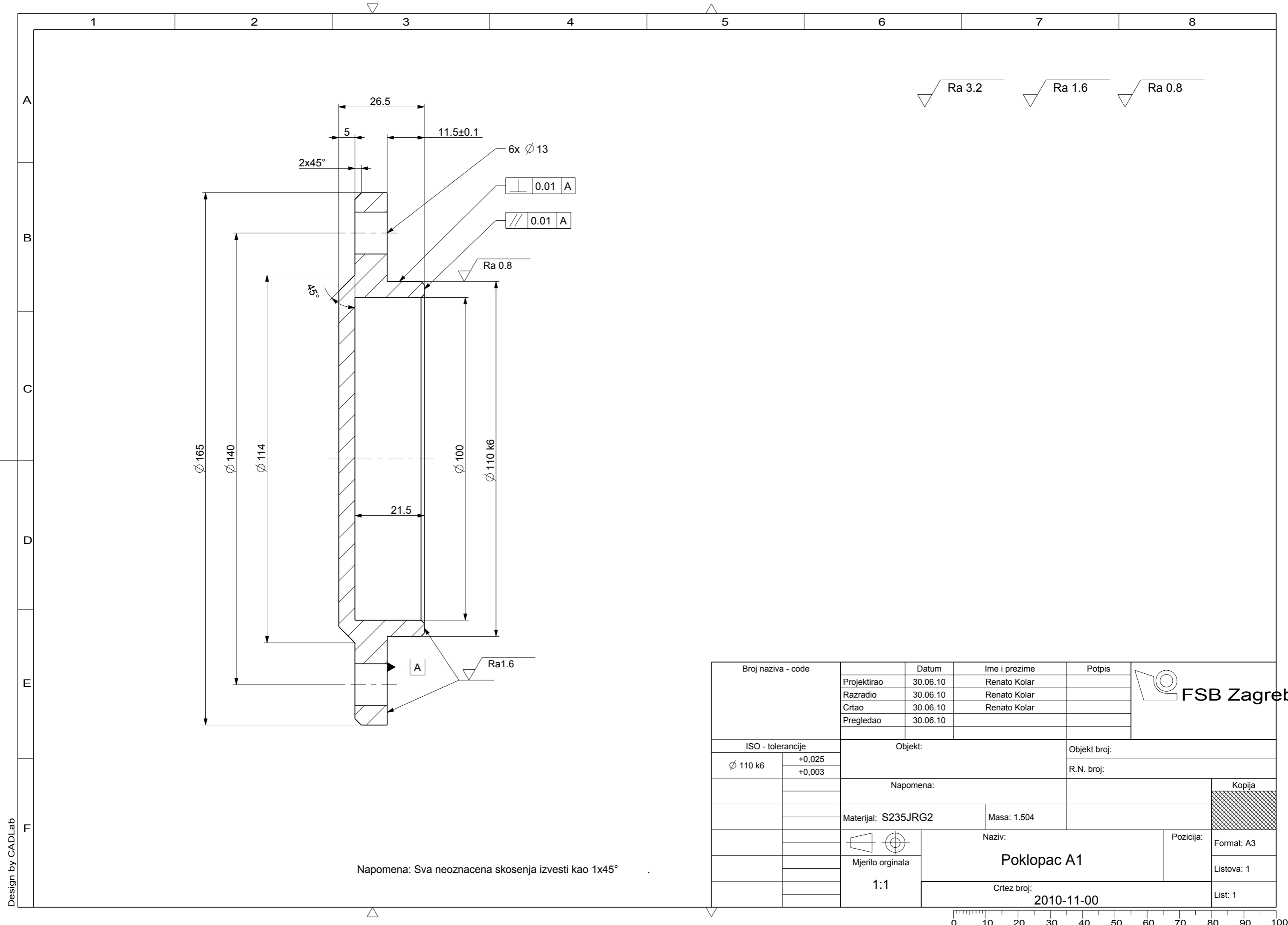
lijevano Ra 25 (bruseno Ra 0.8 / Ra 3.2 / Ra 1.6)

PRESJEK A-A

Napomena:
Svi neoznaceni radiusi iznose R=5mm
Kuciste spojiti pomocu zatika i zatim izbusiti provrte
Nakon toga obraditi provrte za lezajeve i ostale dosjedne povrsine

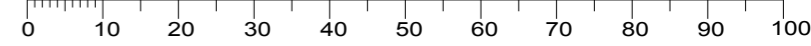
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		02.07.10	Renato Kolar		
Razradio		02.07.10	Renato Kolar		
Crtao		02.07.10	Renato Kolar		
Pregledao		02.07.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
∅ 8 H7	+0,015 0,000			R.N. broj:	
∅ 62 H7	+0,030 0,000	Napomena:			
∅ 110 H7	+0,035 0,000	Materijal: SL20	Masa: 49.204		
		Mjerilo originala	Naziv:	Pozicija:	Kopija
		1:5	Poklopac kucista	Format: A3	
			Crtez broj:	Listova: 1	
			2010-07-00	List: 1	



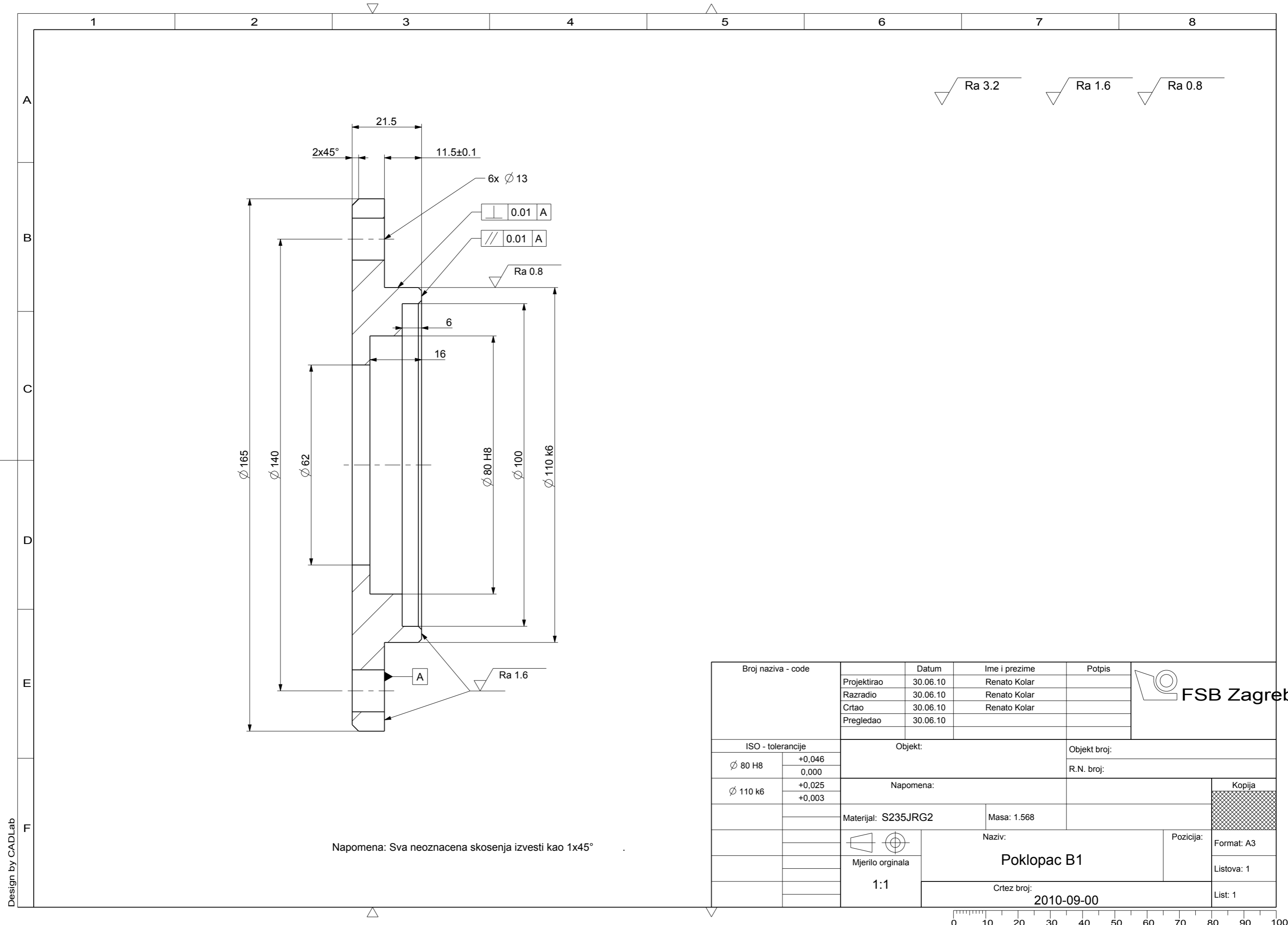


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

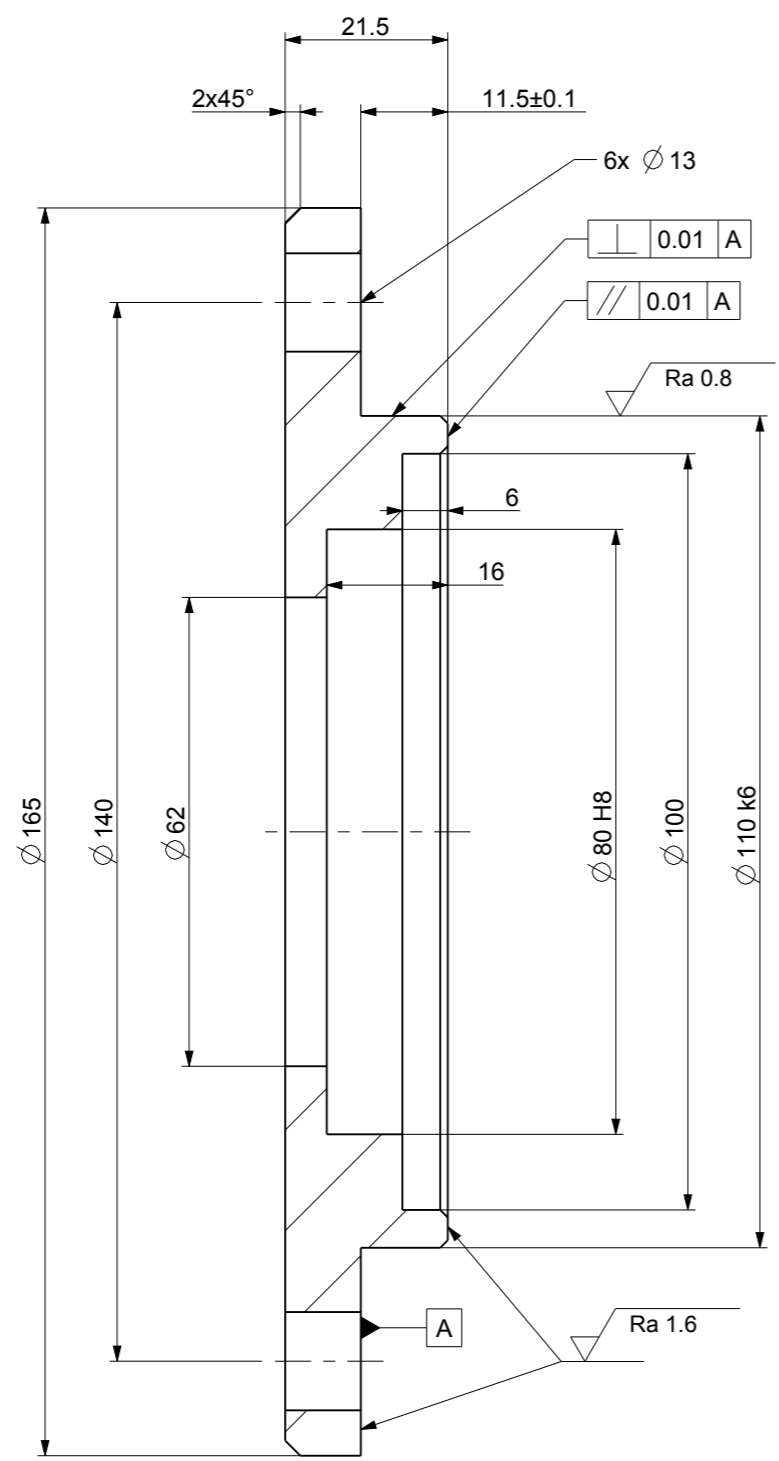
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
	Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
	Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\varnothing 110\ k6$	+0,025 +0,003			R.N. broj:	
		Napomena:			Kopija
		Materijal: S235JRG2	Masa: 1.504		
			Naziv:		Pozicija:
			Poklopac A1		Format: A3
		Mjerilo originala			Listova: 1
		1:1	Crtez broj:		List: 1
				2010-11-00	



Design by CADLab

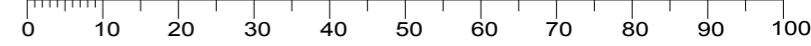


Ra 3.2
 Ra 1.6
 Ra 0.8

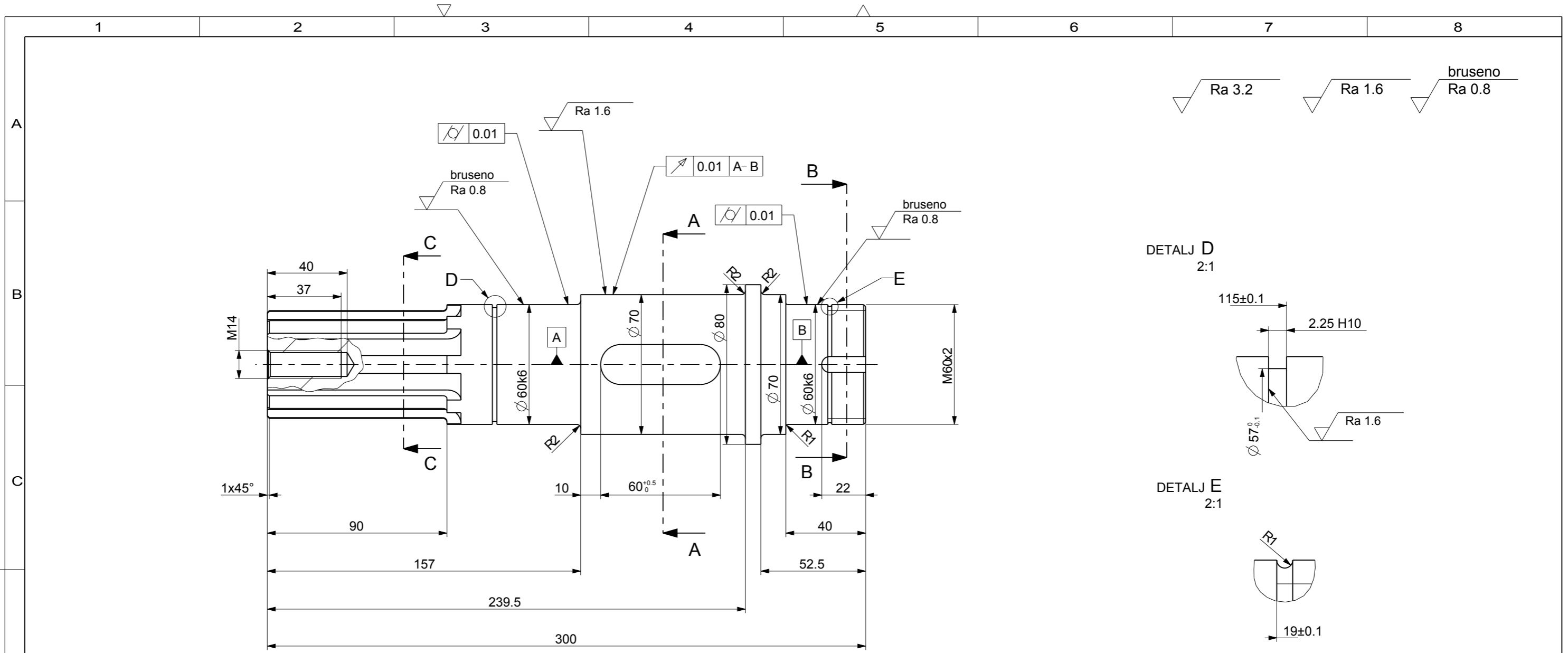


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

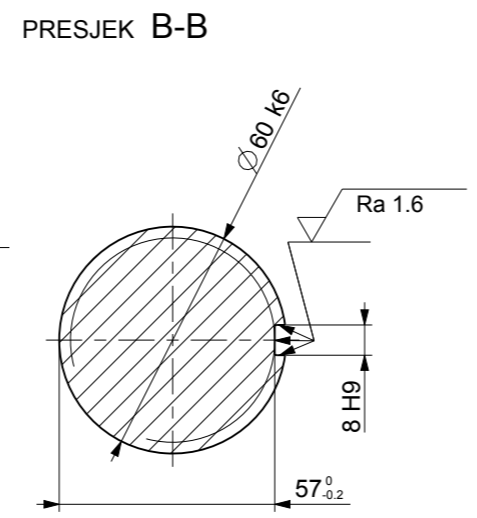
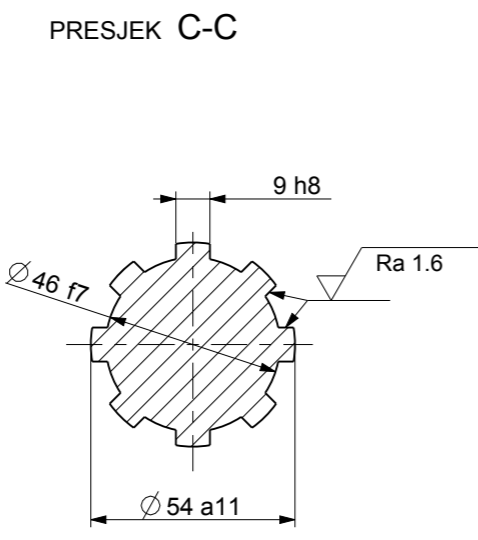
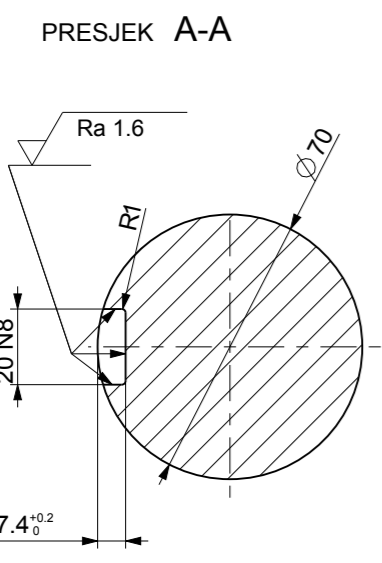
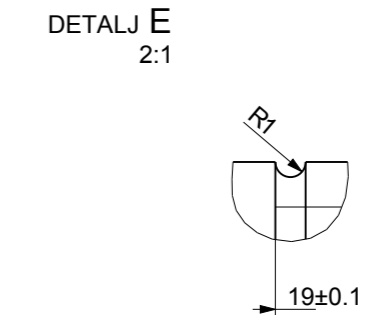
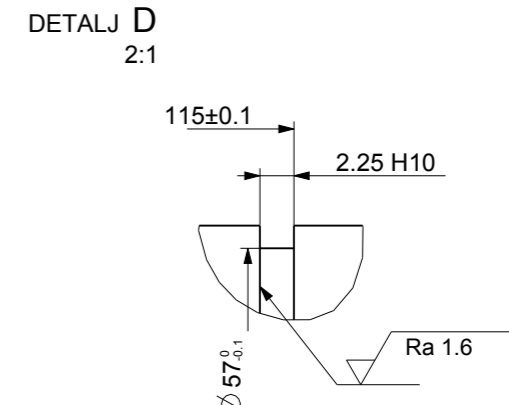
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
	Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
	Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
∅ 80 H8	+0,046 0,000			R.N. broj:	
∅ 110 k6	+0,025 +0,003	Napomena:			
		Materijal: S235JRG2	Masa: 1.568		
			Naziv:		Pozicija:
			Poklopac B1		Format: A3
		Mjerilo originala	Crtez broj:		Listova: 1
		1:1	2010-09-00		List: 1



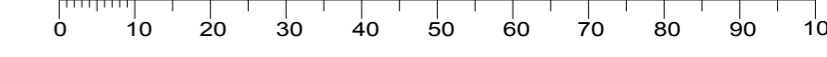
Design by CADLab



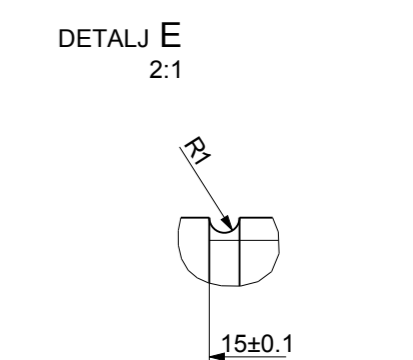
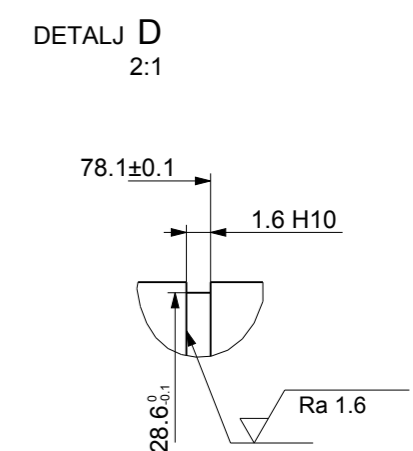
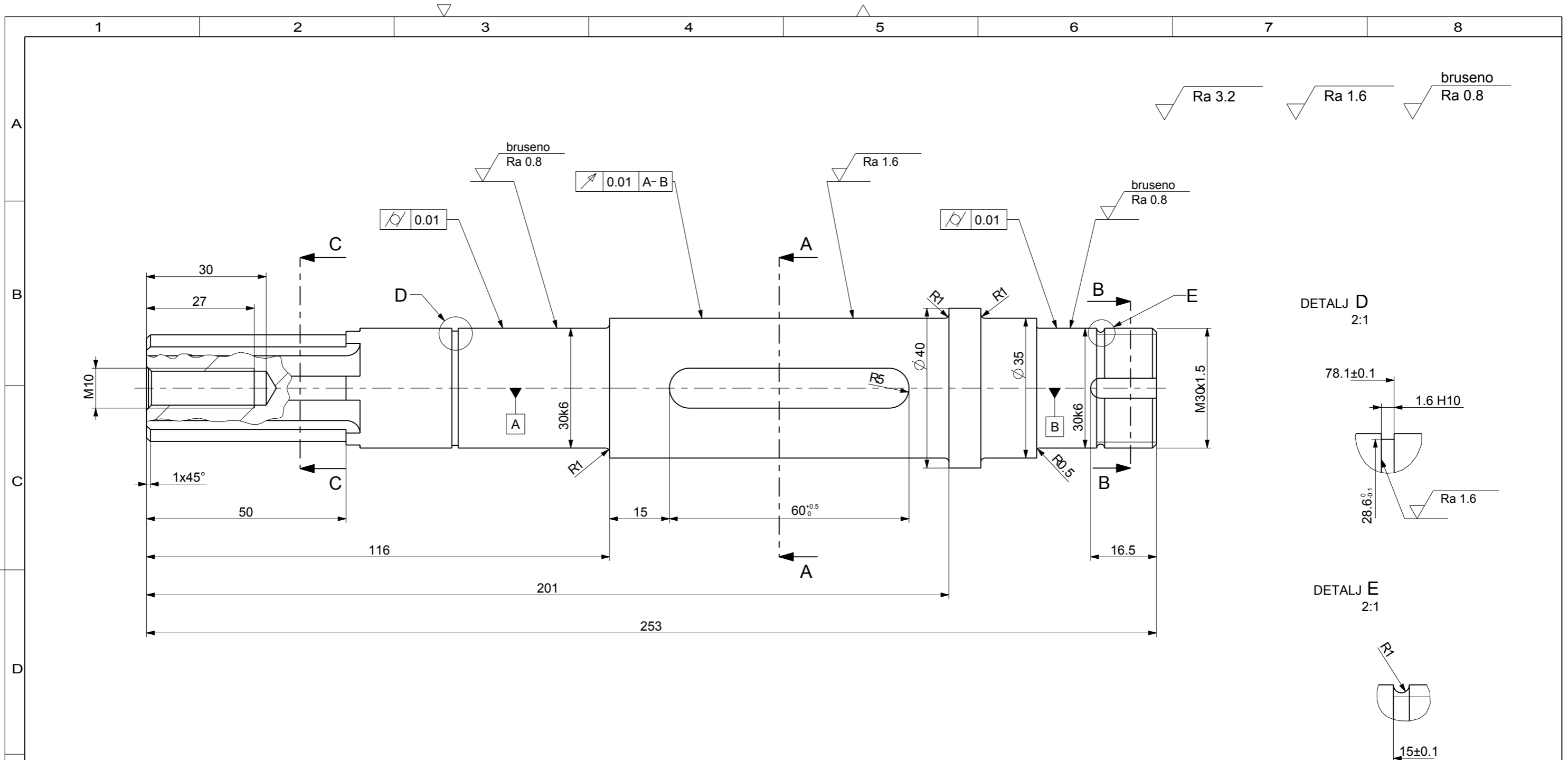
Ra 3.2 Ra 1.6 bruseno Ra 0.8



Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	01.07.10	Renato Kolar		
	Crtao	01.07.10	Renato Kolar		
	Pregledao	01.07.10	Renato Kolar		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\phi 20 N8$	-0,003 -0,036			R.N. broj:	
8 H9	0,036 0,000	Napomena:			
$\phi 60 k6$	+0,021 +0,002	Materijal: E295		Masa: 6.796	
2,25 H10	+0,040 0,000			Naziv:	
$\phi 46 f7$	-0,025 -0,050	Mjerilo originala		Vratilo 1	
$\phi 54 a11$	-0,320 -0,480	1:2		Crtez broj: 2010-03-00	
					Kopija
					Format: A3
					Listova: 1
					List: 1



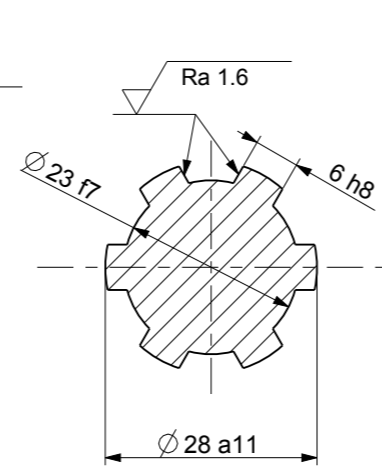
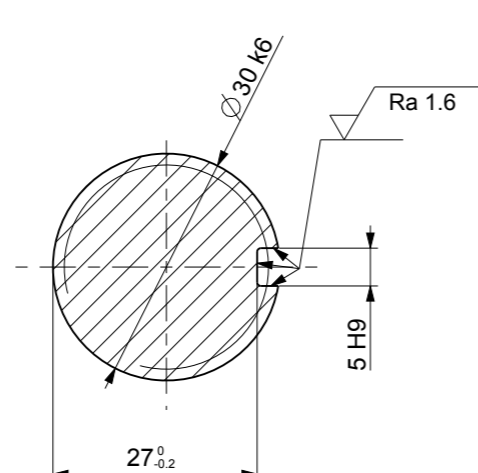
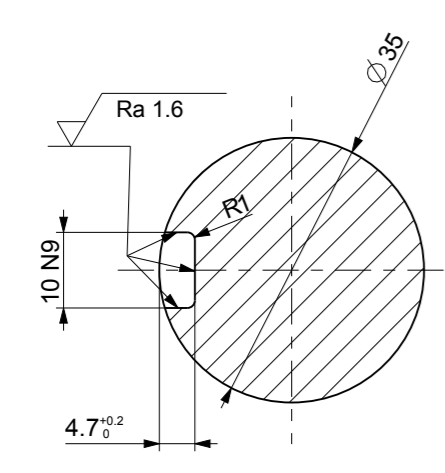
Design by CADLab



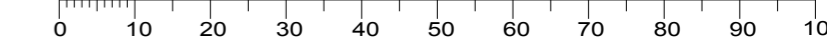
PRESJEK A-A

PRESJEK B-B

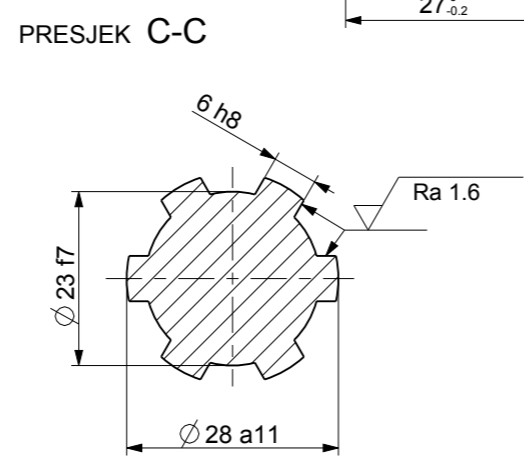
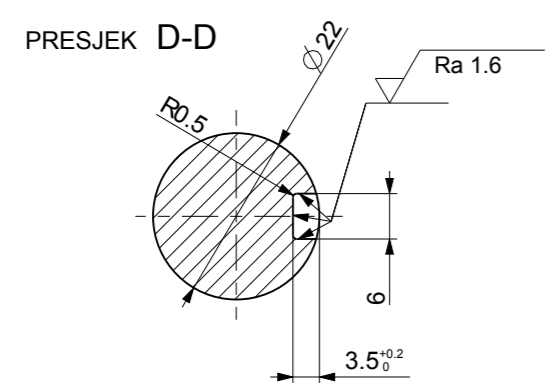
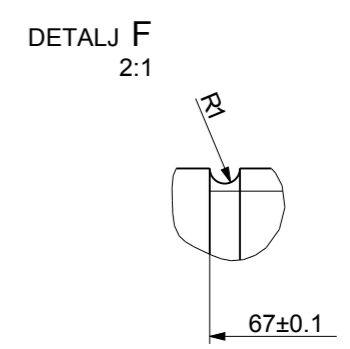
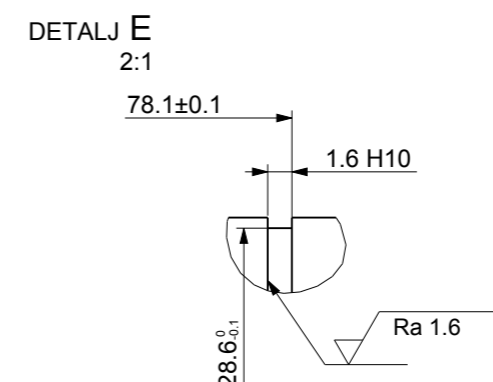
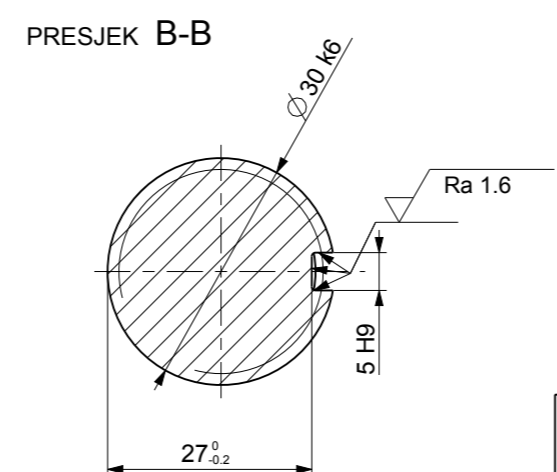
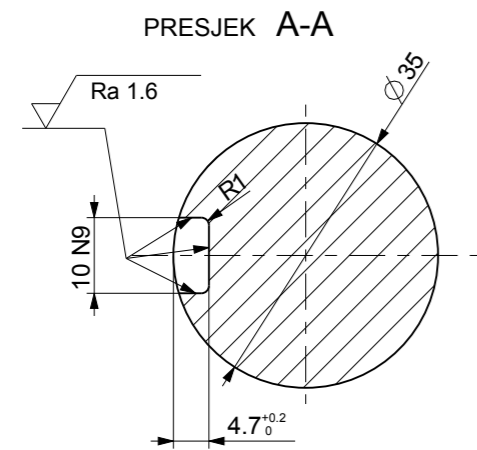
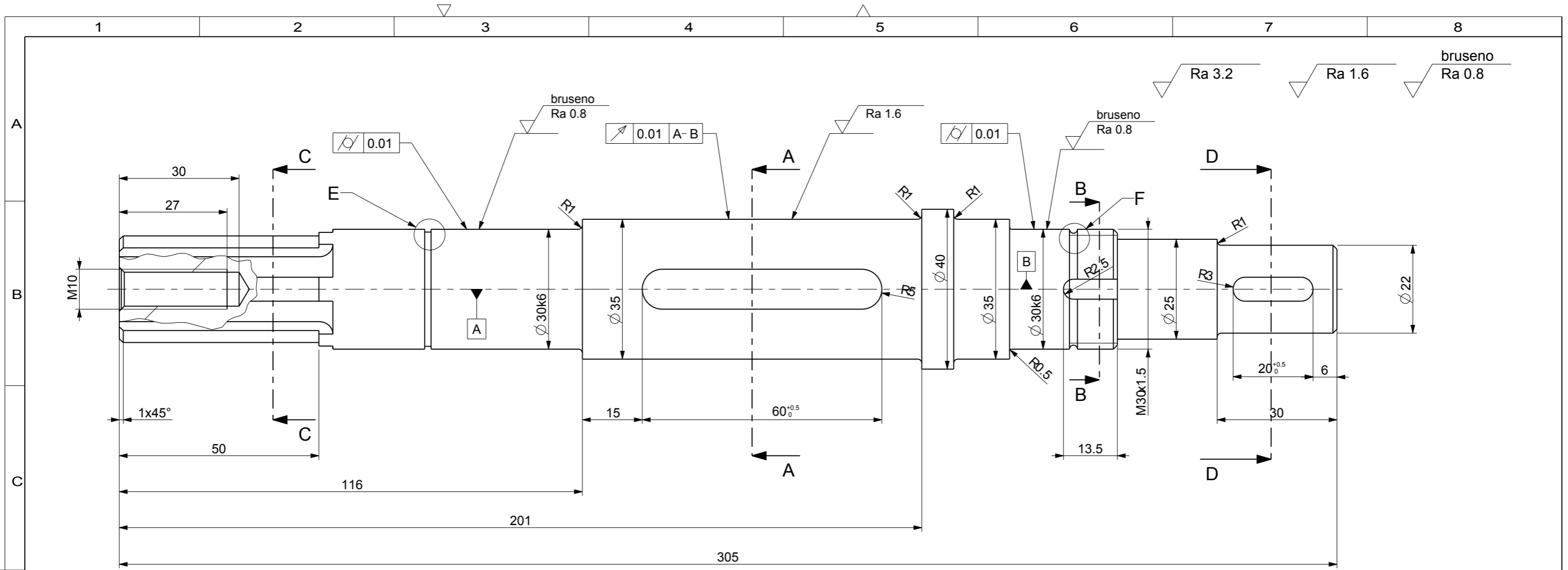
PRESJEK C-C



Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	01.07.10	Renato Kolar		
	Crtao	01.07.10	Renato Kolar		
	Pregledao	01.07.10	Renato Kolar		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
1.6 H10	+0,040 0,000			R.N. broj:	
5 H9	+0,030 0,000	Napomena:			
10 N9	0,000 -0,036	Materijal: S235JRG2		Masa: 1.517	
$\phi 30$ k6	+0,015 +0,002	Mjerilo originala		Naziv: Vratilo 2	
$\phi 23$ f7	-0,020 -0,041	1:1		Pozicija: Format: A3	
$\phi 28$ a11	-0,300 -0,430			Listova: 1	
				Crtez broj: 2010-04-00	
				List: 1	



Design by CADLab



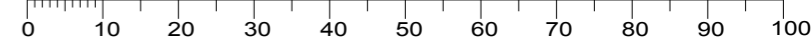
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	01.07.10	Renato Kolar	
Razradio	01.07.10	Renato Kolar	
Crtao	01.07.10	Renato Kolar	
Pregledao	01.07.10		

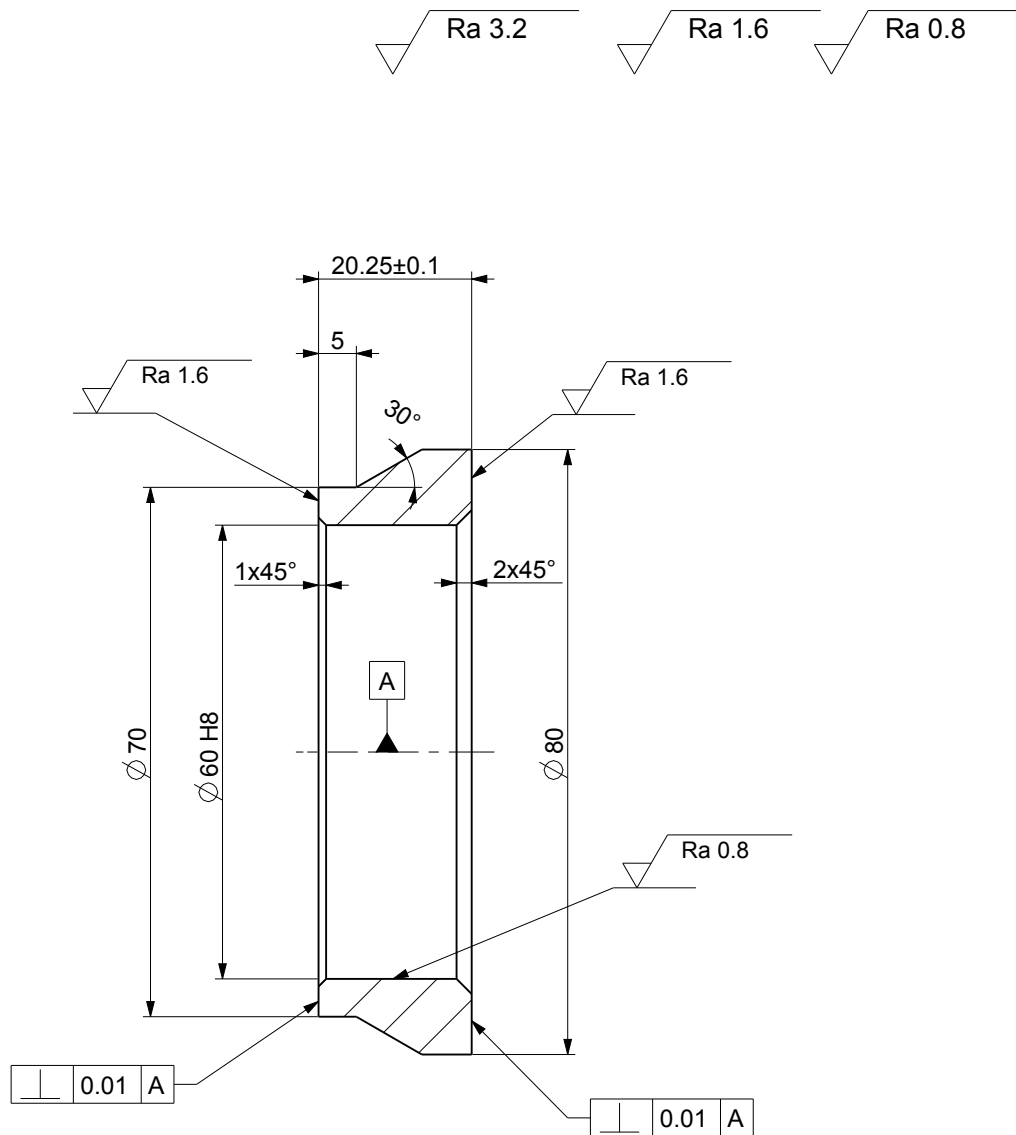
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:
1.6 H10	+0,040 0,000		R.N. broj:
5 H9	+0,030 0,000	Napomena:	
10 N9	0,000 -0,036	Materijal: S235JRG2	Masa: 1.683
$\phi 30$ k6	+0,015 +0,002	Mjerilo originala	Naziv: Vratilo 3
$\phi 23$ f7	-0,020 -0,041	1:1	Crtez broj: 2010-05-00
$\phi 28$ a11	-0,300 -0,430		Crtez broj: 2010-05-00

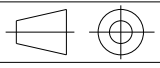
Kopija	
Format: A3	
Listova: 1	
List: 1	



Design by CADLab

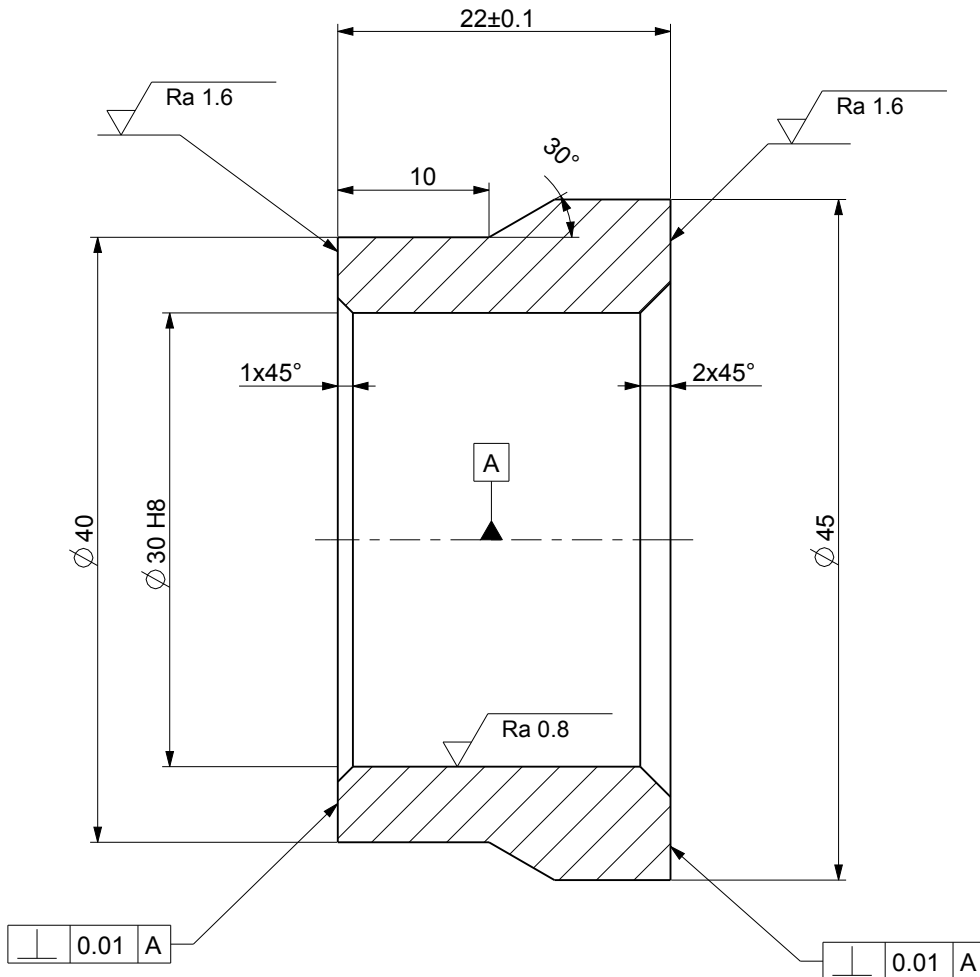


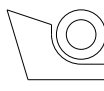
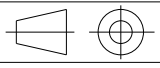


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar	
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar	
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar	
		Pregledao	30.06.10		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
∅ 60 H8	+0,046 0,000			R.N. broj:	
		Napomena:			Kopija
		Materijal: S235JRG2	Masa: 0.259		
		 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:
		1:1	Distantni prsten 1		Format: A4
			Crtez broj:		Listova: 1
			2010-12-00		List: 1

Design by CADLab

Ra 3.2 Ra 1.6 Ra 0.8



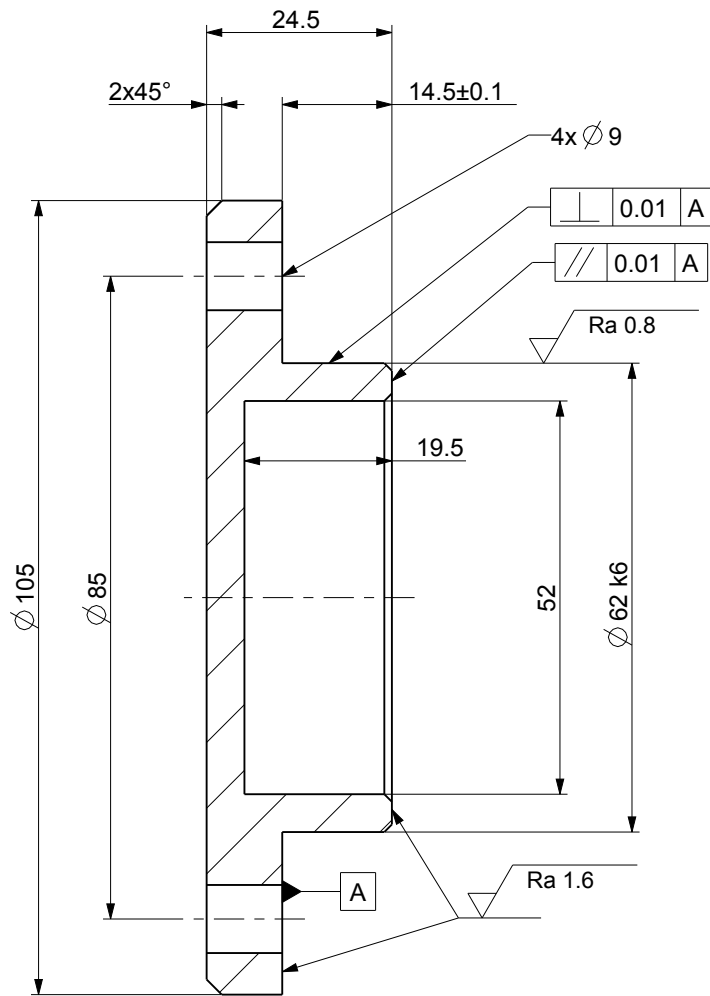
Broj naziva - code		Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
		30.06.10	Renato Kolar			
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
$\varnothing 30\ H8$	+0,033 0,000	Napomena:			R.N. broj:	
		Materijal: S235JRG2			Masa: 0.119	
		Naziv:			Pozicija:	
		 Mjerilo originala 2:1			Distantni prsten 2	
		Crtaz broj:			Listova: 1	
		2010-13-00			List: 1	

Design by CADLab


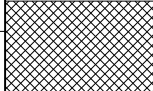
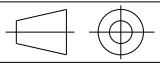
Ra 3.2

Ra 1.6

Ra 0.8

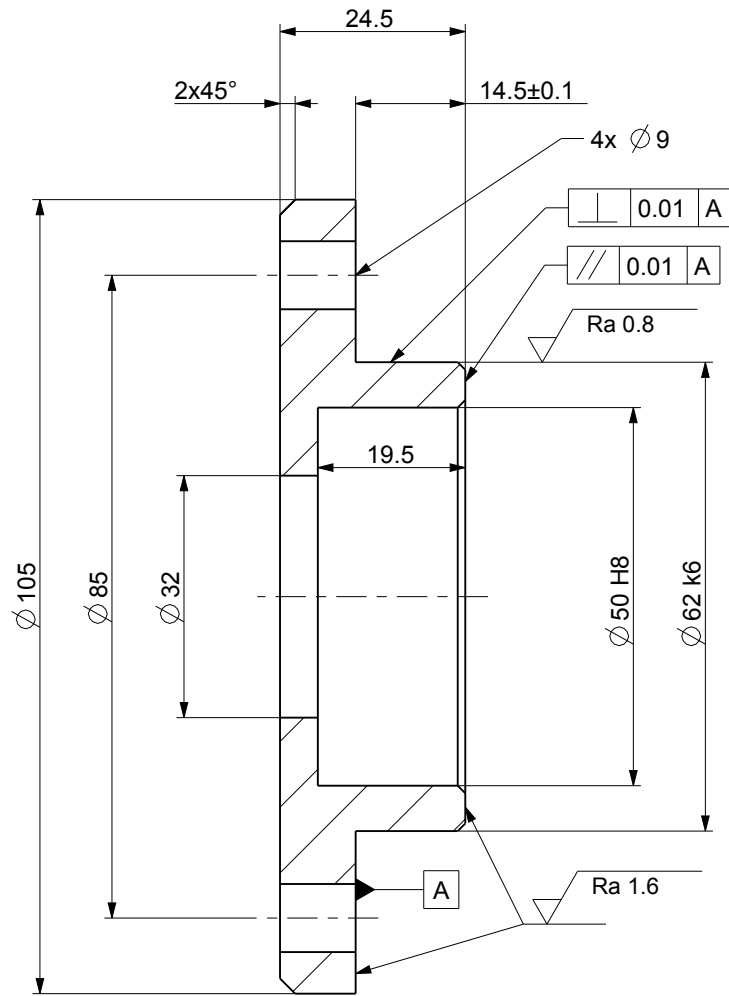


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°


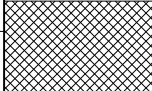
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
∅ 62 k6	+0,021					
	+0,002			R.N. broj:		
		Napomena:			Kopija	
		Materijal: S235JRG2		Masa: 0.672		
		Naziv:				Pozicija:
			Poklopac A2			Format: A4
		Mjerilo originala				Listova: 1
		1:1	Crtez broj:			List: 1
			2010-10-00			

Design by CADLab

Ra 3.2 Ra 1.6 Ra 0.8

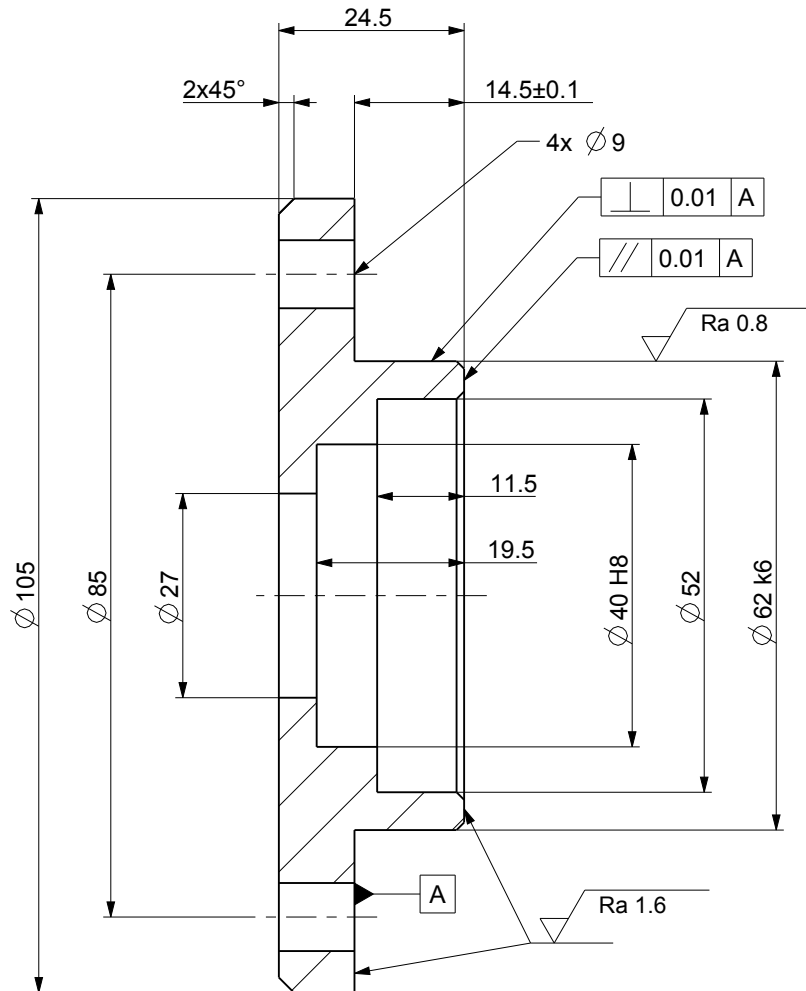


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°


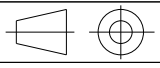
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
∅ 50 H8	+0,039 0,000			R.N. broj:		
∅ 62 k6	+0,021 +0,002	Napomena:				
		Materijal: S235JRG2	Masa: 0.665			
		 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	
		1:1	Poklopac B2		Format: A4	
			Crtez broj:		Listova: 1	
			2010-08-00		List: 1	

Design by CADLab

Ra 3.2 Ra 1.6 Ra 0.8



Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø 40 H8	+0,039 0,000			R.N. broj:		
Ø 62 k6	+0,021 +0,002	Napomena:				
		Materijal: S235JRG2	Masa: 0.704			
		 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	
		1:1	Poklopac C2		Format: A4	
			Crtez broj:		Listova: 1	
			2010-16-00		List: 1	

Design by CADLab