

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

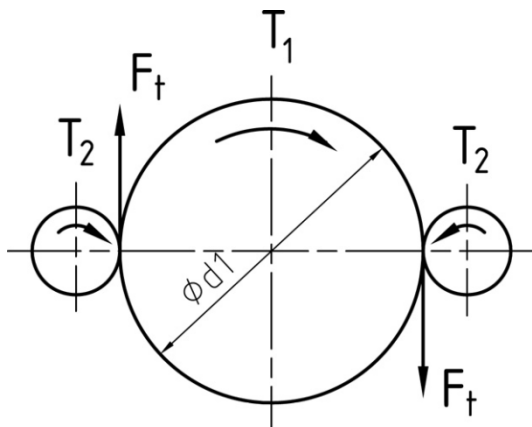
$$j_r' = \frac{j}{4 \cdot tg \alpha_w} = \frac{224}{4 \cdot tg 19,85^\circ} = 155,125 \mu m$$

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

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

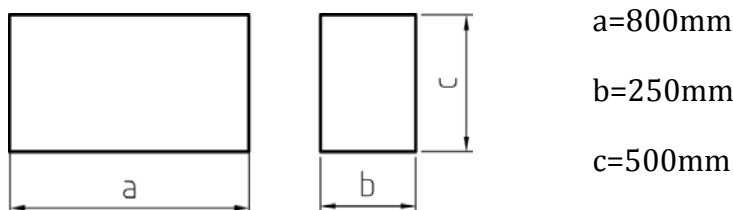
$$P_{gM}' = P \cdot P_{gM} = 30 \cdot 0,0275 = 0,825 \text{ kW}$$

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

$\alpha_s = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{hK}}$...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

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

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

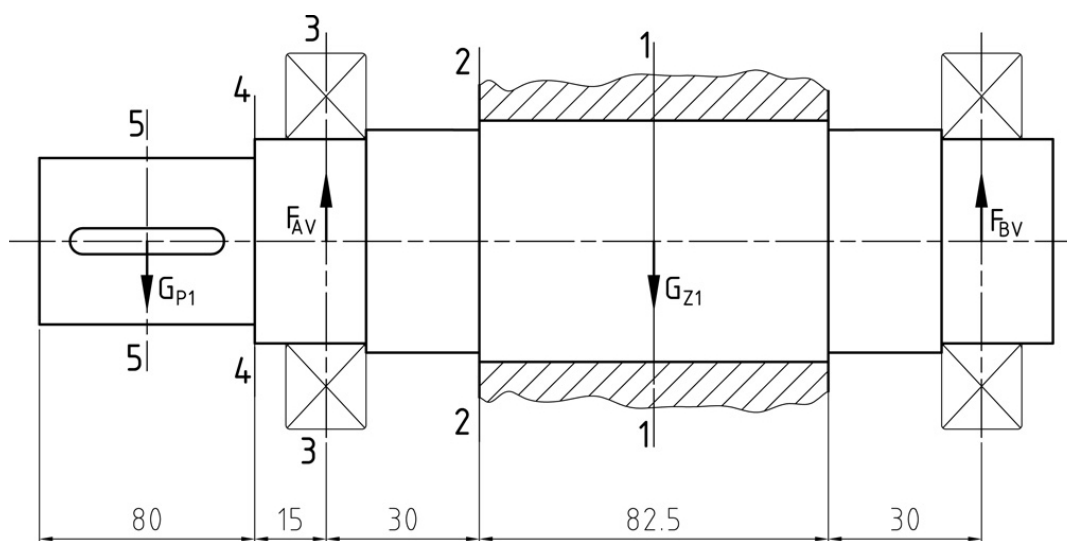
$$t_u = \frac{\Phi}{\alpha_s \cdot A} + t_z = \frac{2970}{90 \cdot 1,45} + 20^\circ = 35^\circ$$

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

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

Dimenzioniranje i proračun vratila

Ulazno vratilo V₁



Slika 3. Skica vratila 1

Sile na vratilu

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

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

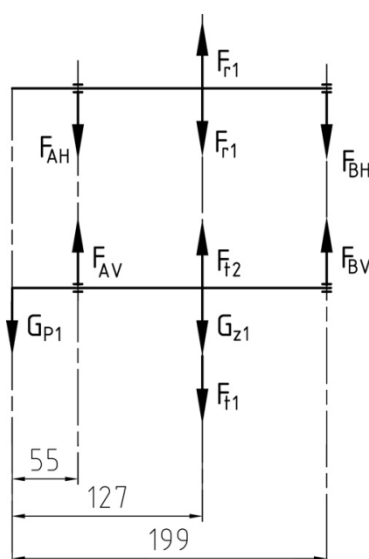
Obodna sila na kinematskoj kružnici $F_t = 2263 \text{ N}$

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 naprežanja za materijal St50-2 (S obzirom na obradu i koncentracije naprežanja)

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

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

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

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

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

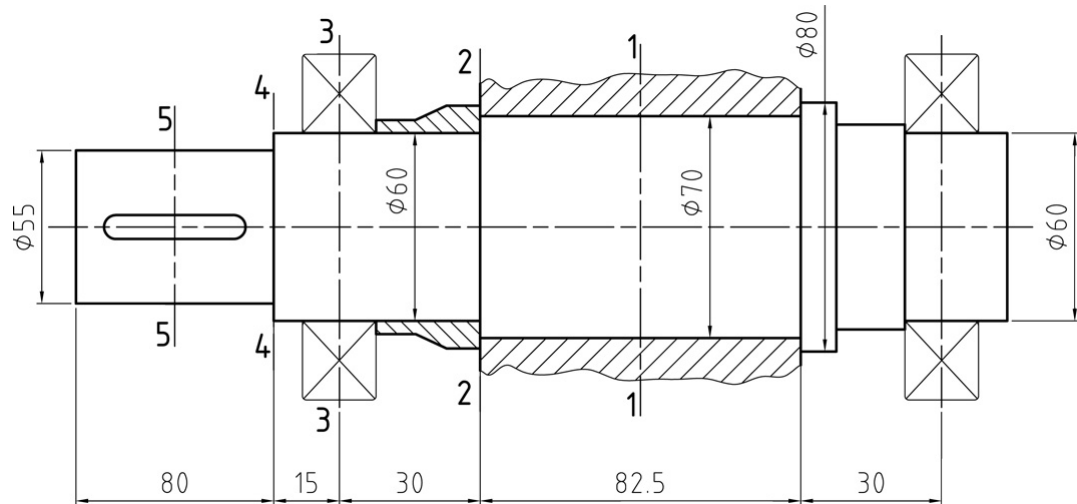
Prethodno odabrani promjeri iznose:

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

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

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

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



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

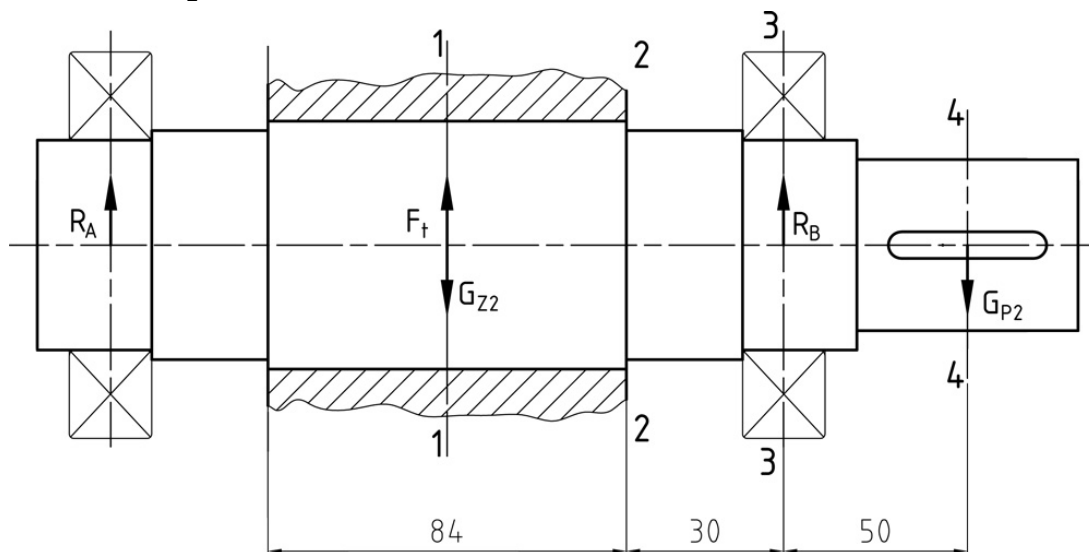
$$b_2 = 0,95$$

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 $G_{p2} = 100 \text{ N}$

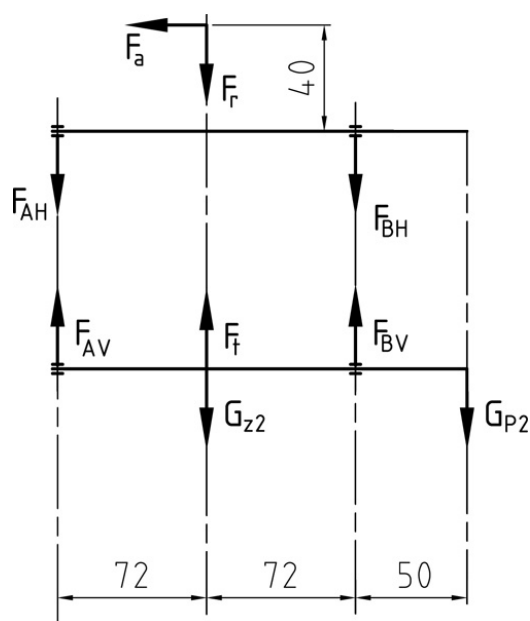
Obodna sila na kinematskoj kružnici $F_t = 2263 \text{ N}$

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)

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

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

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

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

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

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

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

Orientacijske 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:

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

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

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

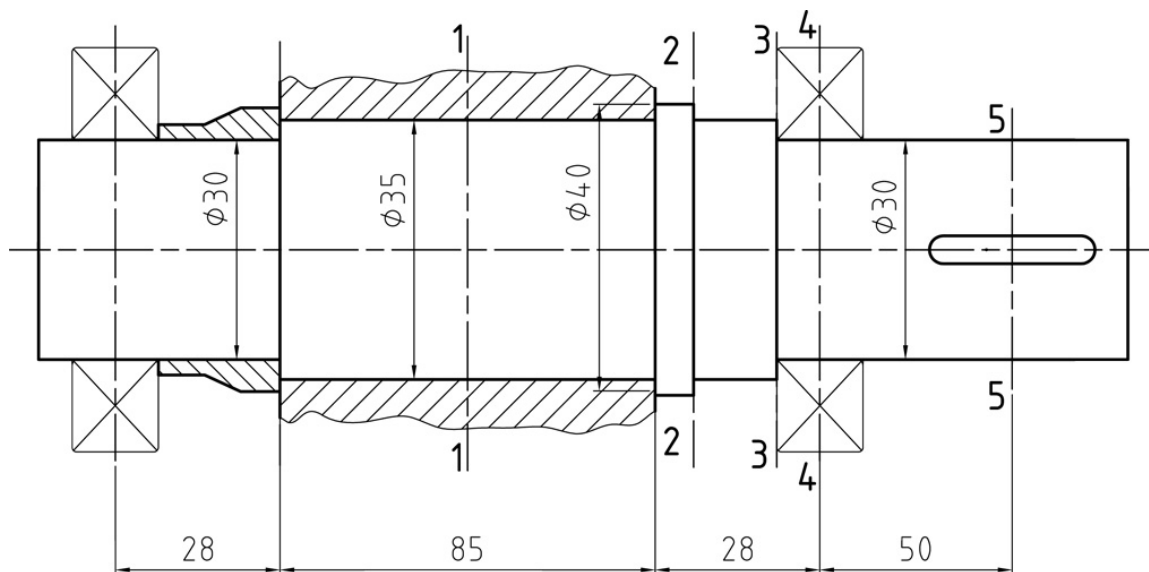
Kontrola doibnog promjera zupčanika u odnosu na promjer vratila

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

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

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

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



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

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

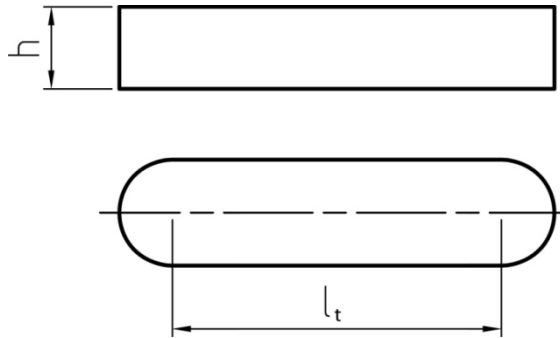
$$S_5 = \frac{\tau_{tDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\tau_{t5} \cdot \beta_{kt5}} = \frac{110 \cdot 0,9 \cdot 0,95}{16,98 \cdot 1,8}$$
$$S_5 = 3,1$$

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)

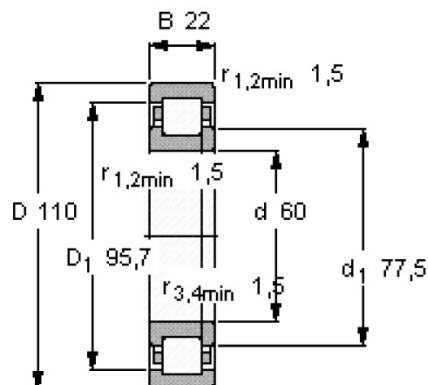
Vratilo 1

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

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

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

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

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

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

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

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

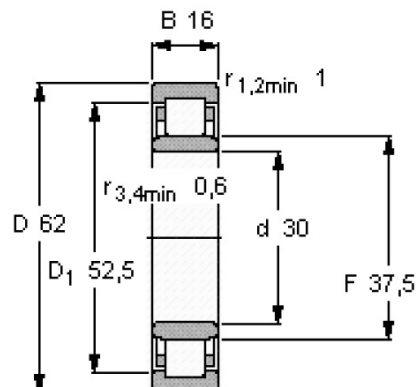
$$L_{nmh} > L_{hpotrebno} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

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.

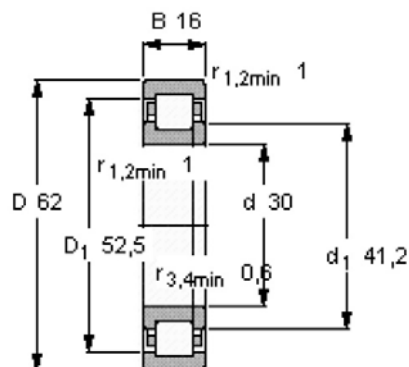
Vratilo 2

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

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

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

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

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

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

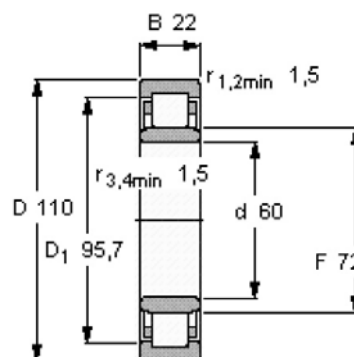
$$L_{nmh} > L_{hpotrebno} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

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

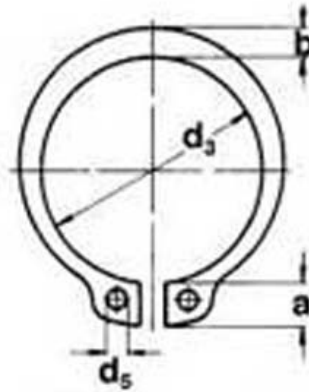
Za osiguranje pomaka ležaja u aksijalnom smjeru odlučio sam se za prstenaste uskočnike (Seeger-e) na mjestima gdje je to potrebno. Na ostalim mjestima to je osigurano oblikom vratila te poklopcem.

Odabrani uskočnici zadovoljavaju normu DIN 472.

Vanjski uskočnici

A30 ($d_3=27.9$ mm)

A60($d_3=55.8$ mm):

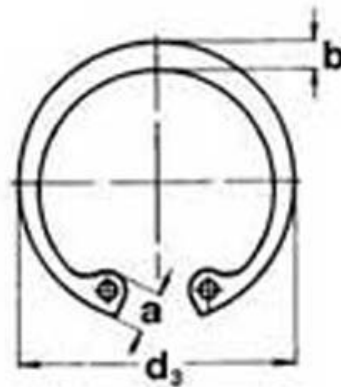


Slika 14. Vanjski prstenasti uskočnik

Unutarnji uskočnici

J62 ($d_3=66.2$ mm)

J110 ($d_3=117$ mm)

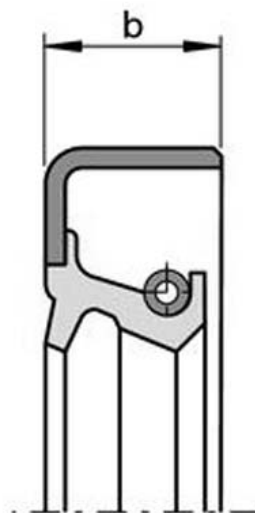


Slika 15. Unutarnji prstenasti uskočnik

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

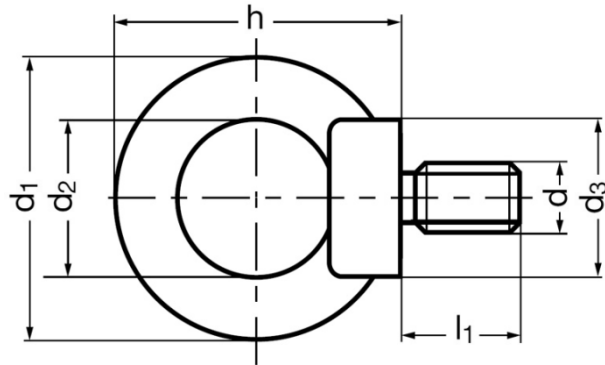
Odabrane su sljedeće verzije:

- 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.

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



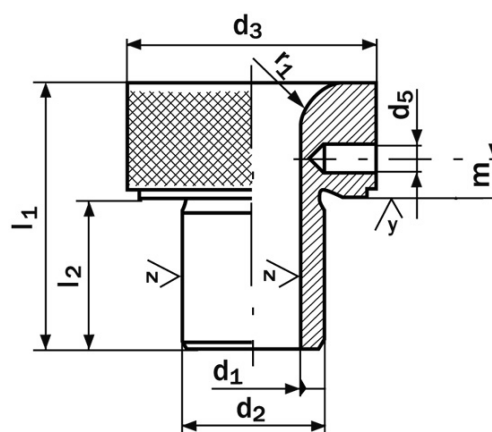
Slika 17. Okasti vijak

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.

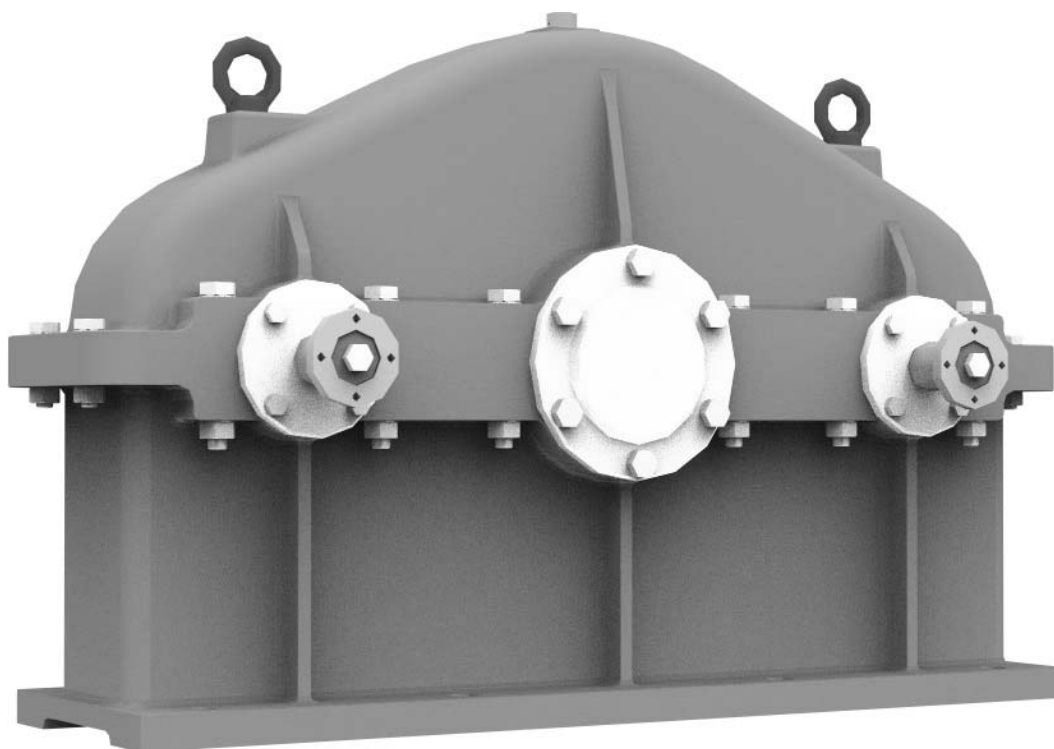
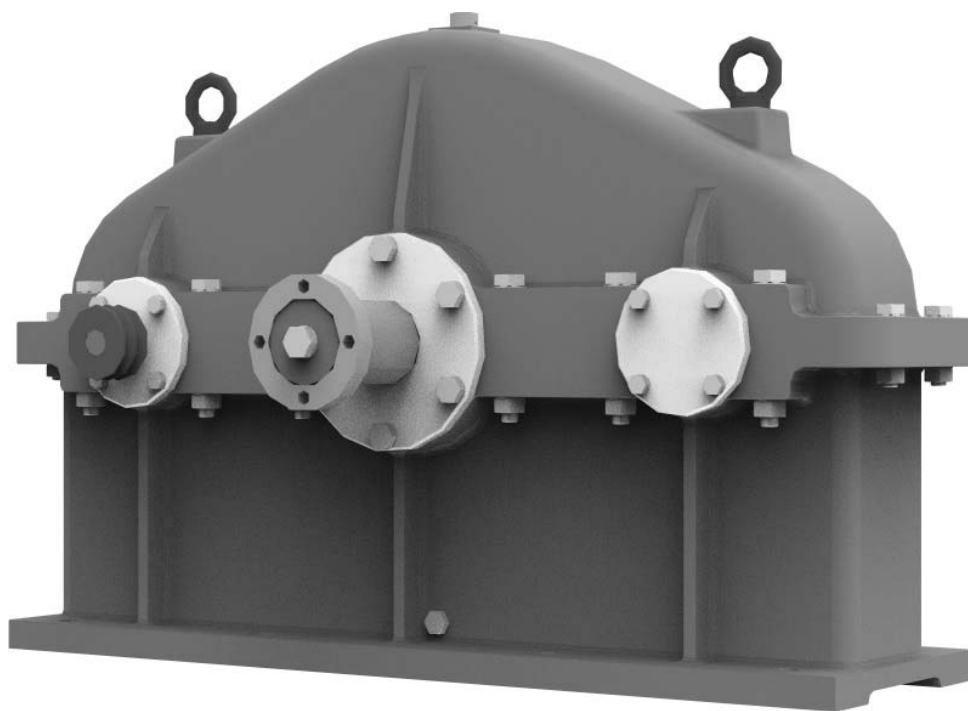
$$\begin{aligned} d_1 &= 6,1 \text{ mm} \\ d_2 &= M12 \\ d_3 &= 22 \text{ mm} \\ l_1 &= 24 \text{ mm} \\ l_2 &= 12 \text{ mm} \\ d_5 &= 3 \text{ mm} \\ r_1 &= 4 \text{ mm} \end{aligned}$$



Slika 18. Odzračnik

Model Multiplikatora

Kompletan multiplikator modeliran je u programu PRO/Engineer W4.



Slika 19. Model multiplikatora

Prilog

Tehnička dokumentacija

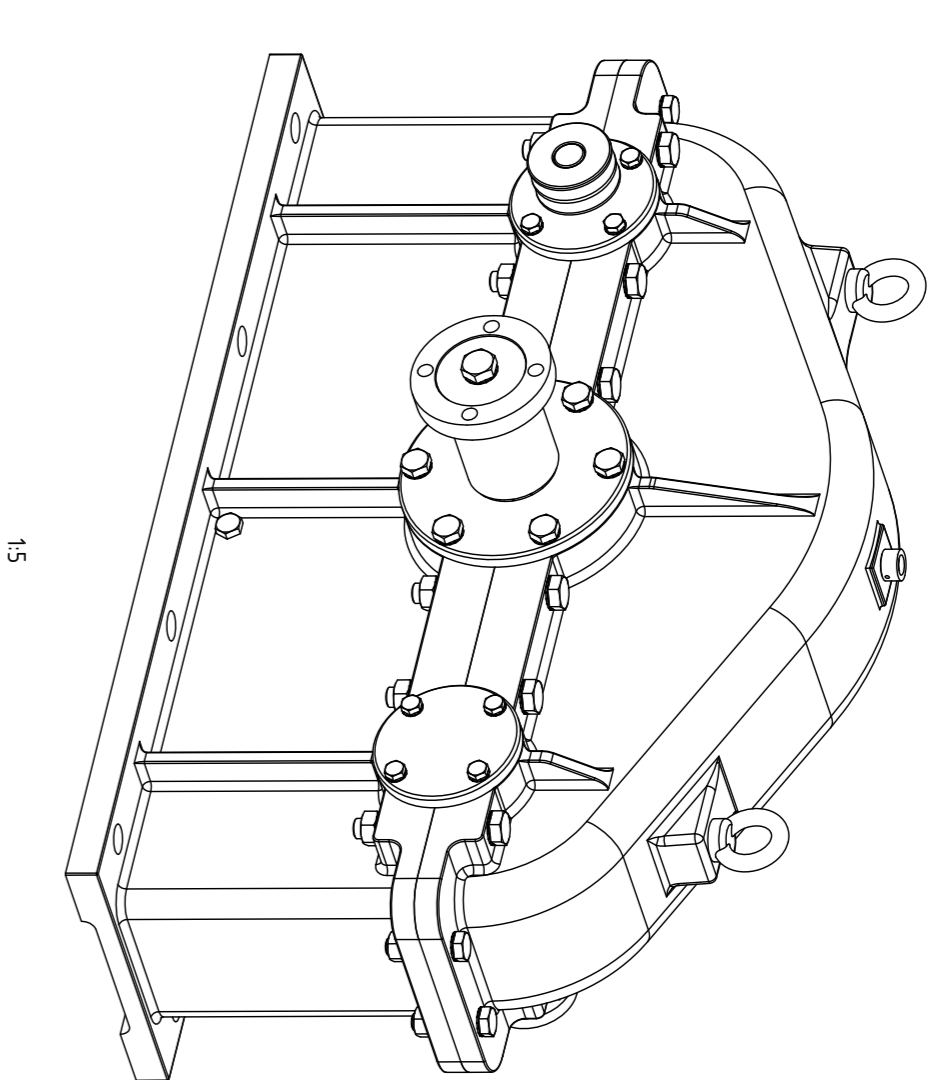
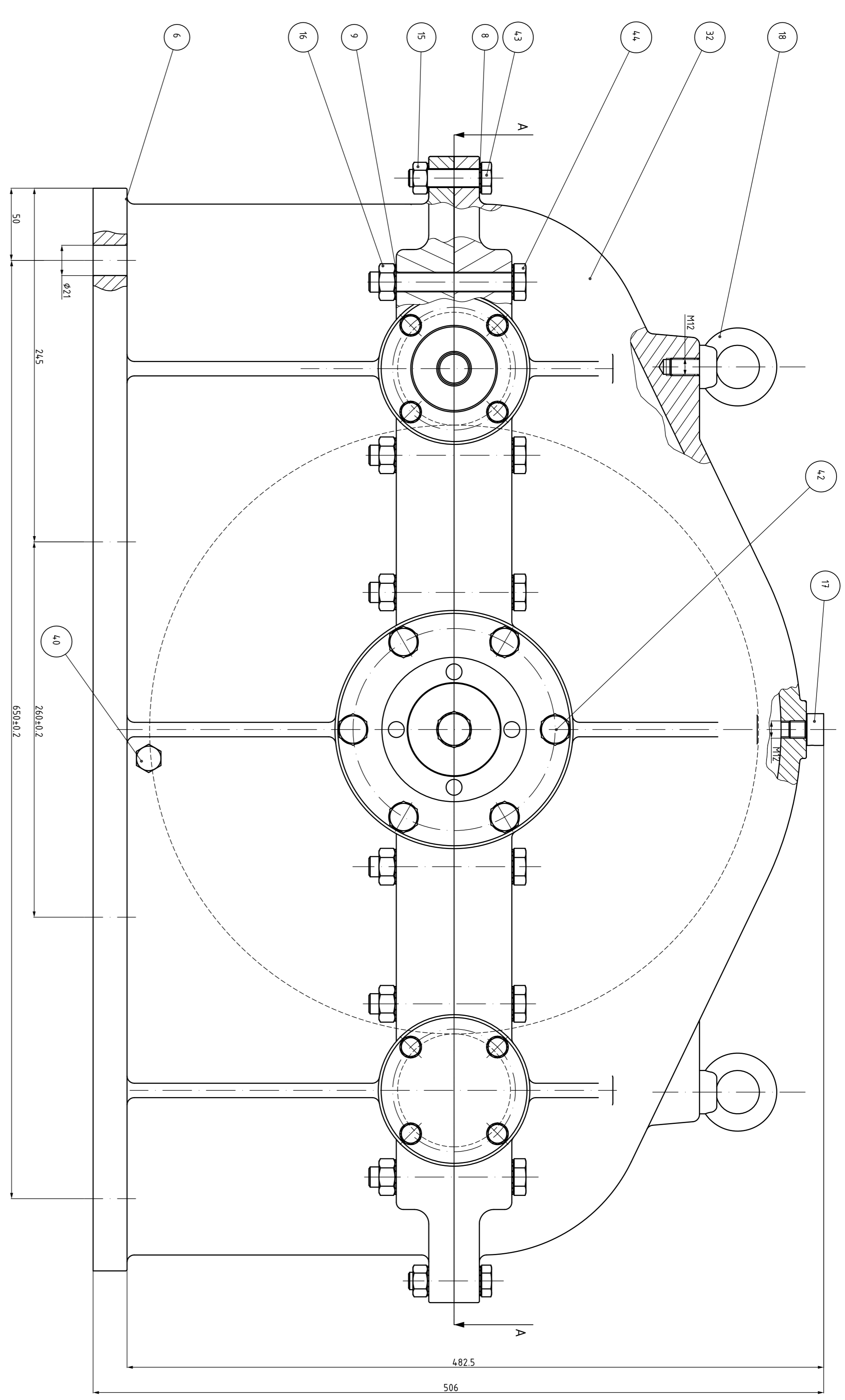
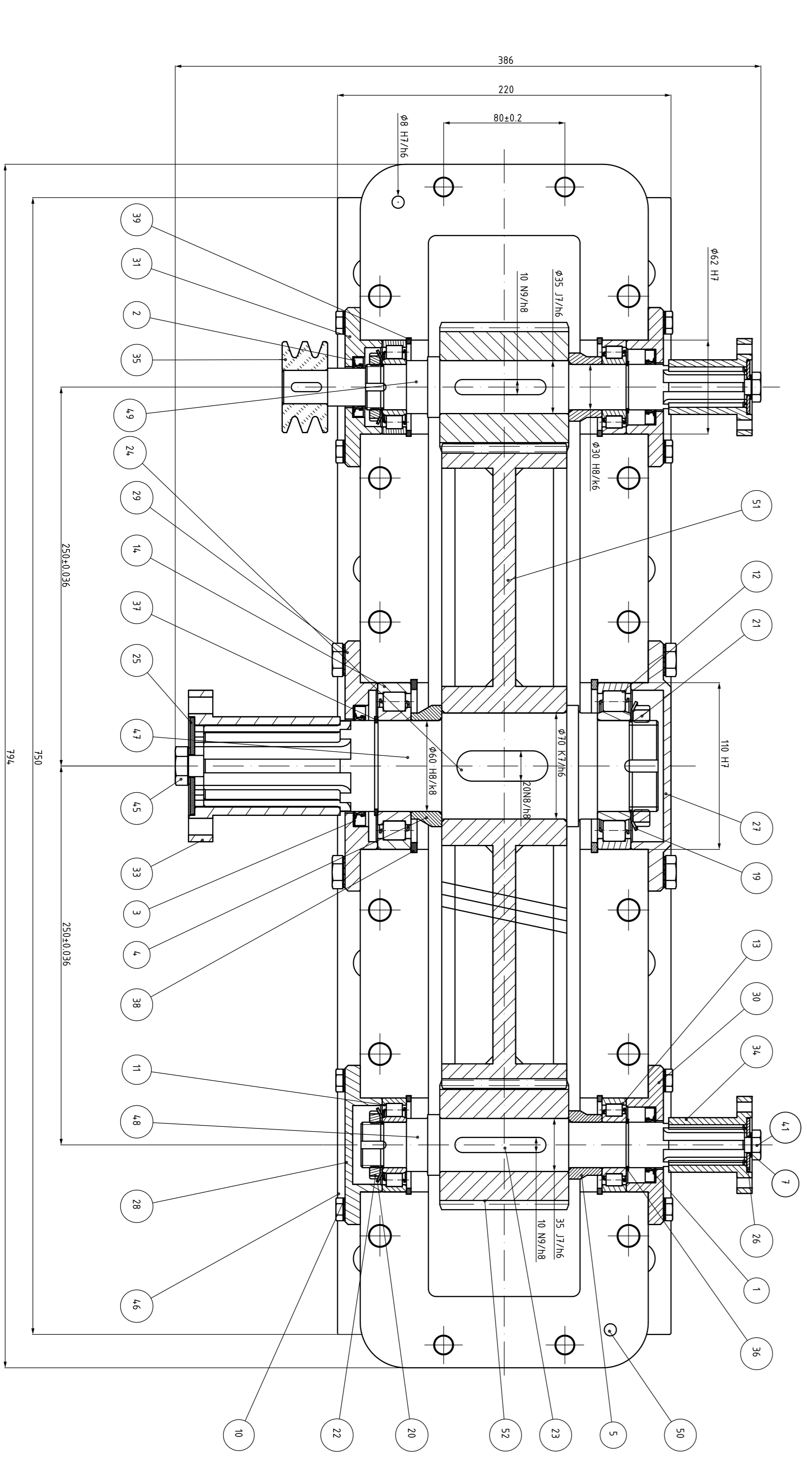
- Sklop Multiplikatora
- Zupčanik 1
- Zupčanik 2
- Vratilo 1
- Vratilo 2
- Vratilo 3
- Poklopac Kučišta
- Donji dio kučišta
- Poklopac A1
- Poklopac B1
- Poklopac A2
- Poklopac B2
- Poklopac C2
- Distantni prsten 1
- Distantni prsten 2

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.

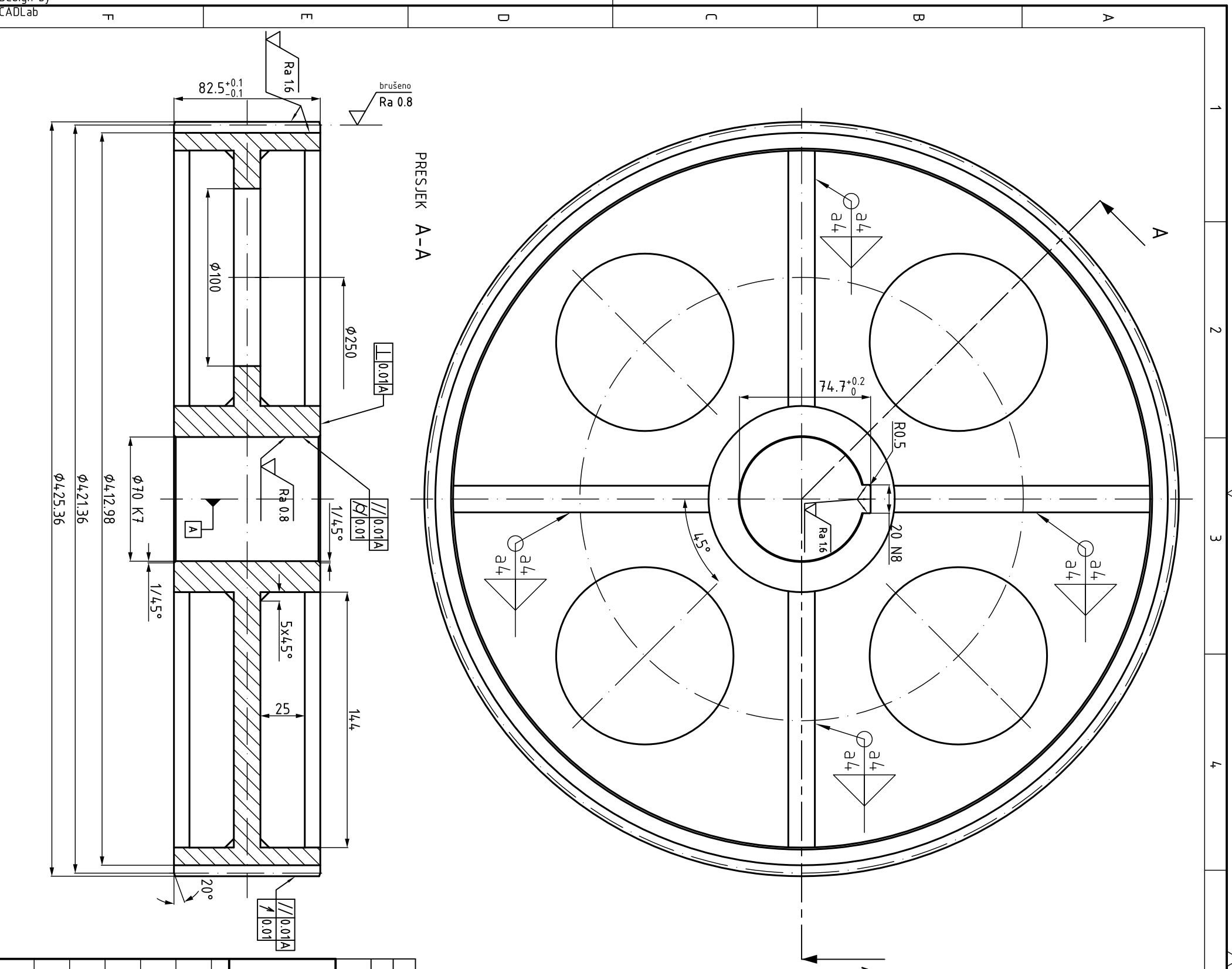
Popis literature

- [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



ISO - Tolerancije	Datum	ISO - Tolerancije	Datum
10 N9/n8	+0,022	Projekcija	
20 N8/n8	+0,036	Revizija	
35 H7/n6	+0,030	Revizija	
46 H8/h6	+0,044	Revizija	
62 H7	+0,028	Revizija	
62 H7	+0,030	Revizija	
62 H7	+0,035	Revizija	
62 H7	+0,040	Revizija	
62 H7	+0,045	Revizija	
62 H7	+0,050	Revizija	
62 H7	+0,055	Revizija	
62 H7	+0,060	Revizija	
62 H7	+0,065	Revizija	
62 H7	+0,070	Revizija	
62 H7	+0,075	Revizija	
62 H7	+0,080	Revizija	
62 H7	+0,085	Revizija	
62 H7	+0,090	Revizija	
62 H7	+0,095	Revizija	
62 H7	+0,100	Revizija	
62 H7	+0,105	Revizija	
62 H7	+0,110	Revizija	
62 H7	+0,115	Revizija	
62 H7	+0,120	Revizija	
62 H7	+0,125	Revizija	
62 H7	+0,130	Revizija	
62 H7	+0,135	Revizija	
62 H7	+0,140	Revizija	
62 H7	+0,145	Revizija	
62 H7	+0,150	Revizija	
62 H7	+0,155	Revizija	
62 H7	+0,160	Revizija	
62 H7	+0,165	Revizija	
62 H7	+0,170	Revizija	
62 H7	+0,175	Revizija	
62 H7	+0,180	Revizija	
62 H7	+0,185	Revizija	
62 H7	+0,190	Revizija	
62 H7	+0,195	Revizija	
62 H7	+0,200	Revizija	
62 H7	+0,205	Revizija	
62 H7	+0,210	Revizija	
62 H7	+0,215	Revizija	
62 H7	+0,220	Revizija	
62 H7	+0,225	Revizija	
62 H7	+0,230	Revizija	
62 H7	+0,235	Revizija	
62 H7	+0,240	Revizija	
62 H7	+0,245	Revizija	
62 H7	+0,250	Revizija	
62 H7	+0,255	Revizija	
62 H7	+0,260	Revizija	
62 H7	+0,265	Revizija	
62 H7	+0,270	Revizija	
62 H7	+0,275	Revizija	
62 H7	+0,280	Revizija	
62 H7	+0,285	Revizija	
62 H7	+0,290	Revizija	
62 H7	+0,295	Revizija	
62 H7	+0,300	Revizija	
62 H7	+0,305	Revizija	
62 H7	+0,310	Revizija	
62 H7	+0,315	Revizija	
62 H7	+0,320	Revizija	
62 H7	+0,325	Revizija	
62 H7	+0,330	Revizija	
62 H7	+0,335	Revizija	
62 H7	+0,340	Revizija	
62 H7	+0,345	Revizija	
62 H7	+0,350	Revizija	
62 H7	+0,355	Revizija	
62 H7	+0,360	Revizija	
62 H7	+0,365	Revizija	
62 H7	+0,370	Revizija	
62 H7	+0,375	Revizija	
62 H7	+0,380	Revizija	
62 H7	+0,385	Revizija	
62 H7	+0,390	Revizija	
62 H7	+0,395	Revizija	
62 H7	+0,400	Revizija	
62 H7	+0,405	Revizija	
62 H7	+0,410	Revizija	
62 H7	+0,415	Revizija	
62 H7	+0,420	Revizija	
62 H7	+0,425	Revizija	
62 H7	+0,430	Revizija	
62 H7	+0,435	Revizija	
62 H7	+0,440	Revizija	
62 H7	+0,445	Revizija	
62 H7	+0,450	Revizija	
62 H7	+0,455	Revizija	
62 H7	+0,460	Revizija	
62 H7	+0,465	Revizija	
62 H7	+0,470	Revizija	
62 H7	+0,475	Revizija	
62 H7	+0,480	Revizija	
62 H7	+0,485	Revizija	
62 H7	+0,490	Revizija	
62 H7	+0,495	Revizija	
62 H7	+0,500	Revizija	
62 H7	+0,505	Revizija	
62 H7	+0,510	Revizija	
62 H7	+0,515	Revizija	
62 H7	+0,520	Revizija	
62 H7	+0,525	Revizija	
62 H7	+0,530	Revizija	
62 H7	+0,535	Revizija	
62 H7	+0,540	Revizija	
62 H7	+0,545	Revizija	
62 H7	+0,550	Revizija	
62 H7	+0,555	Revizija	
62 H7	+0,560	Revizija	
62 H7	+0,565	Revizija	
62 H7	+0,570	Revizija	
62 H7	+0,575	Revizija	
62 H7	+0,580	Revizija	
62 H7	+0,585	Revizija	
62 H7	+0,590	Revizija	
62 H7	+0,595	Revizija	
62 H7	+0,600	Revizija	
62 H7	+0,605	Revizija	
62 H7	+0,610	Revizija	
62 H7	+0,615	Revizija	
62 H7	+0,620	Revizija	
62 H7	+0,625	Revizija	
62 H7	+0,630	Revizija	
62 H7	+0,635	Revizija	
62 H7	+0,640	Revizija	
62 H7	+0,645	Revizija	
62 H7	+0,650	Revizija	
62 H7	+0,655	Revizija	
62 H7	+0,660	Revizija	
62 H7	+0,665	Revizija	
62 H7	+0,670	Revizija	
62 H7	+0,675	Revizija	
62 H7	+0,680	Revizija	
62 H7	+0,685	Revizija	
62 H7	+0,690	Revizija	
62 H7	+0,695	Revizija	
62 H7	+0,700	Revizija	
62 H7	+0,705	Revizija	
62 H7	+0,710	Revizija	
62 H7	+0,715	Revizija	
62 H7	+0,720	Revizija	
62 H7	+0,725	Revizija	
62 H7	+0,730	Revizija	
62 H7	+0,735	Revizija	
62 H7	+0,740	Revizija	
62 H7	+0,745	Revizija	
62 H7	+0,750	Revizija	
62 H7	+0,755	Revizija	
62 H7	+0,760	Revizija	
62 H7	+0,765	Revizija	
62 H7	+0,770	Revizija	
62 H7	+0,775	Revizija	
62 H7	+0,780	Revizija	
62 H7	+0,785	Revizija	
62 H7	+0,790	Revizija	
62 H7	+0,795	Revizija	
62 H7	+0,800	Revizija	
62 H7	+0,805	Revizija	
62 H7	+0,810	Revizija	
62 H7	+0,815	Revizija	
62 H7	+0,820	Revizija	
62 H7	+0,825	Revizija	
62 H7	+0,830	Revizija	
62 H7	+0,835	Revizija	
62 H7	+0,840	Revizija	
62 H7	+0,845	Revizija	
62 H7	+0,850	Revizija	
62 H7	+0,855	Revizija	
62 H7	+0,860	Revizija	
62 H7	+0,865	Revizija	
62 H7	+0,870	Revizija	
62 H7	+0,875	Revizija	
62 H7	+0,880	Revizija	
62 H7	+0,885	Revizija	
62 H7	+0,890	Revizija	
62 H7	+0,895	Revizija	
62 H7	+0,900	Revizija	
62 H7	+0,905	Revizija	
62 H7	+0,910	Revizija	
62 H7	+0,915	Revizija	
62 H7	+0,920	Revizija	
62 H7	+0,925	Revizija	
62 H7	+0,930	Revizija	
62 H7	+0,935	Revizija	
62 H7	+0,940	Revizija	
62 H7	+0,945	Revizija	
62 H7	+0,950	Revizija	
62 H7	+0,955	Revizija	
62 H7	+0,960	Revizija	
62 H7	+0,965	Revizija	
62 H7	+0,970	Revizija	
62 H7	+0,975	Revizija	
62 H7	+0,980	Revizija	
62 H7	+0,985	Revizija	
62 H7	+0,990	Revizija	
62 H7	+0,995	Revizija	
62 H7	+1,000	Revizija	

FSB Zagreb
 Projekcija: Format: A1
 Listova: 1
 Črtič broj: 2010-00-00
 List: 1

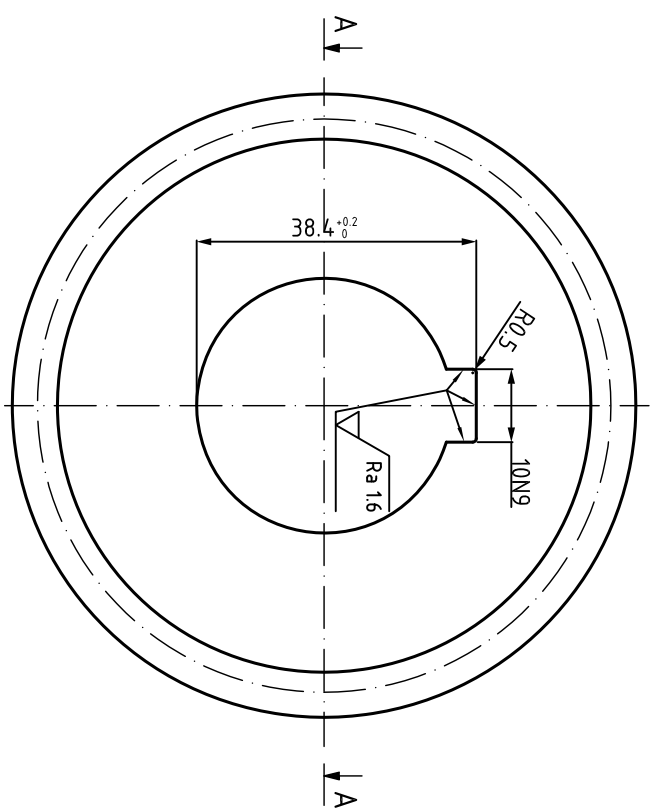


2	Zupčanik 1	1	C4SE (plam. kaljen)	24.400
1	Rebro 1	8	C4SE	0.421
Poz.	Naziv dijela	kom.	Crtež broj Norma	Materijal Masa
Broj naziva - code		Ime i prezime		
ISO - tolerancije		Projektirao		
20 N9	-0,003 -0,036	Razradio		
70 K7	+0,009 -0,021	Crtao		
Napomena:		Pregledao		
Materijal: C4SE		Datum		
Mjerno originala		Ime i prezime		
1:2.5		Renato Kolar		
Crtež broj: 2010-01-00		Renato Kolar		
		Renato Kolar		
		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
		Kopija		
		Format: A3		
		Listova: 1		
		List: 1		

Napomena:
Toplinska obrada

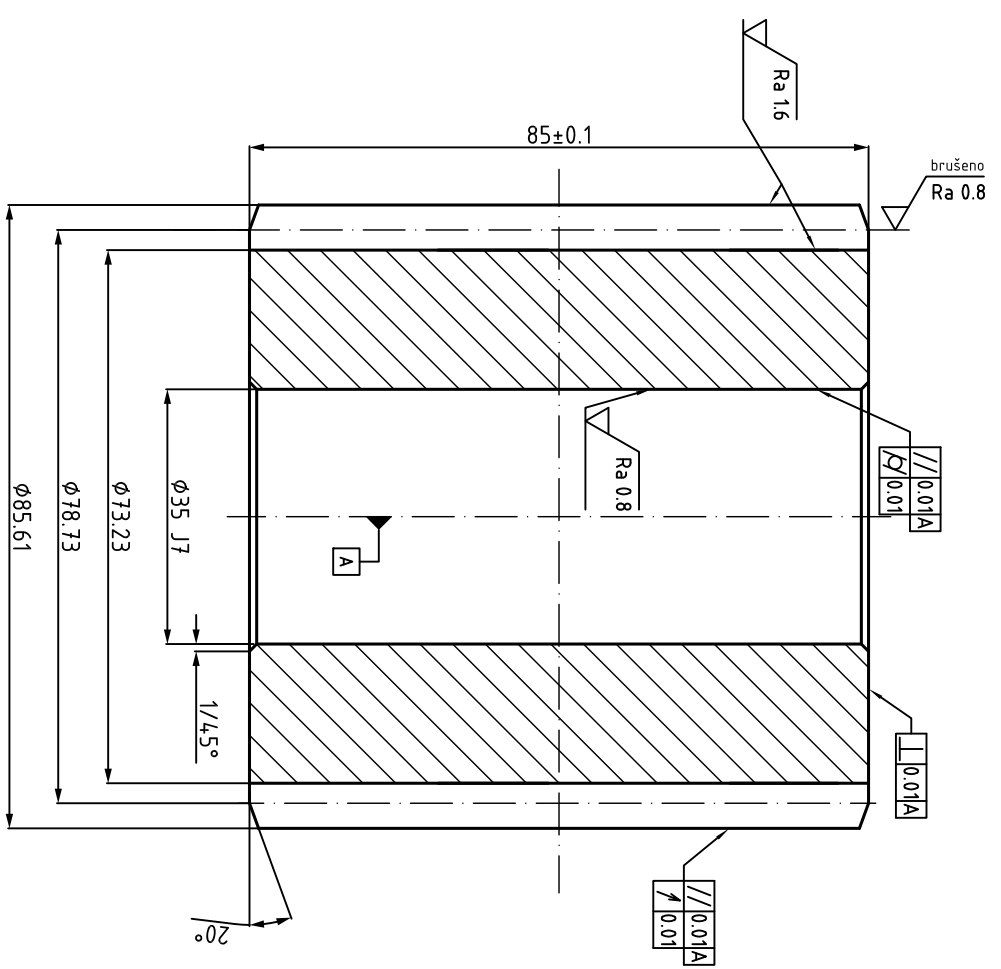
Broj zubi [z]	150
Modul [m]	2.75mm
Standardni profil	HRN M,C1,015
Promjer diobene kružnice [d]	421.78mm
Pomak profila [x _m]	-0.9625mm
Promjer temeljne (osnovne) kružnice [d _n]	395.29mm
Kvaliteta	7 ed
Mjerni broj zubi [z _m]	19
Kut nagiba boka [β]	12°
Mjera preko nekoliko zubi [w _{A_v,g}]	158.65 ^{-0.108} _{-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





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

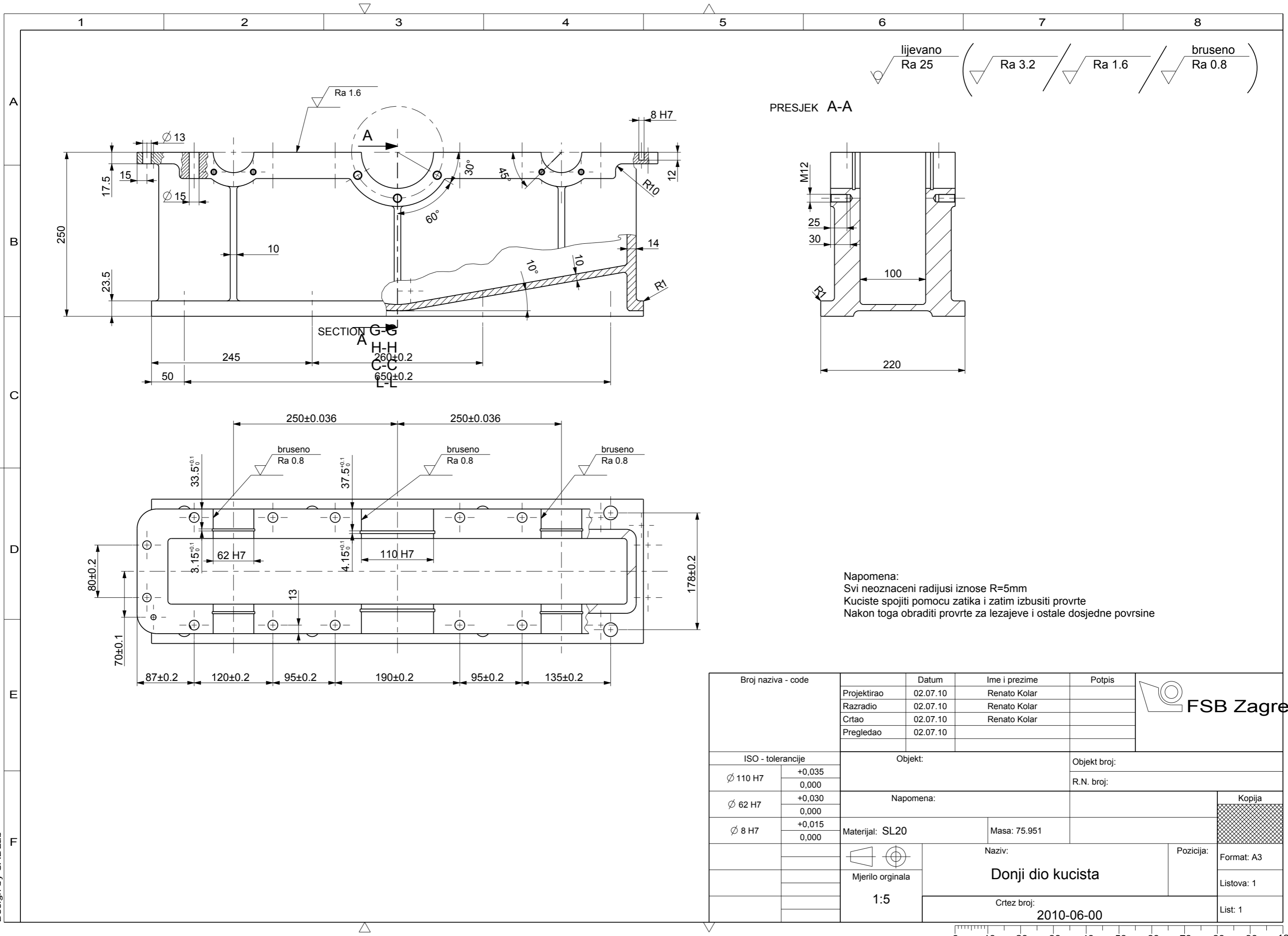
PRESJEK A-A



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_{0.9}}]	38.89 ^{+0.064} _{-0.098} mm
Promjer kinematske kružnice [d _{w2}]	78.65mm
Broj okretaja [n _z]	2407 min ⁻¹
Broj zubi zupčanika u zahvatu	3.607
Razmak osi vratila [a±A _{g,d}]	250±0.036
Kut zahvatne linije [α _{rw}]	20°15'25"
Kružna zračnost [j]	161-287 μm

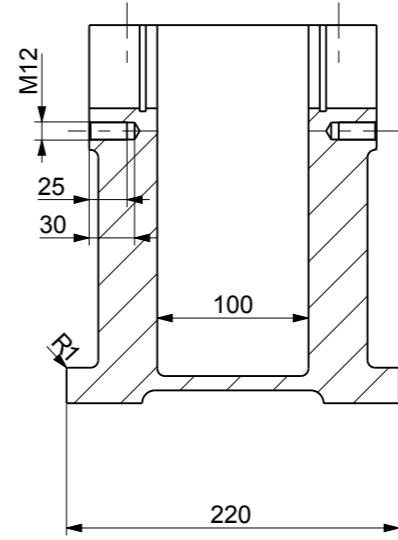
Napomena:
Toplinska obrada

Broj naziva - code	ISO - tolerancije	Objekt:	Datum	Ime i prezime	Potpis	
10 N9	0,000 -0,036	Objekt broji:	Projektirao	Renato Kolar		
10 N9	0,014 -0,011	R. N. broji:	Razradio	Renato Kolar		
10 N9	0,014 -0,011		Crtao	Renato Kolar		
10 N9	0,014 -0,011	Napomena:	Pregledao			
10 N9	0,014 -0,011	Materijal:	Mjerno originala			
10 N9	0,014 -0,011	Masa:	1:1			
10 N9	0,014 -0,011	Naziv:	Crtež broji:	Zupčanik 2		
10 N9	0,014 -0,011	Kopija	2010-02-00			
10 N9	0,014 -0,011	Format: A3				
10 N9	0,014 -0,011	Listova: 1				
10 N9	0,014 -0,011	List: 1				



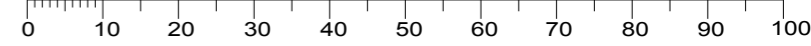
lijevano Ra 25 (Ra 3.2 / Ra 1.6 / bruseno Ra 0.8)

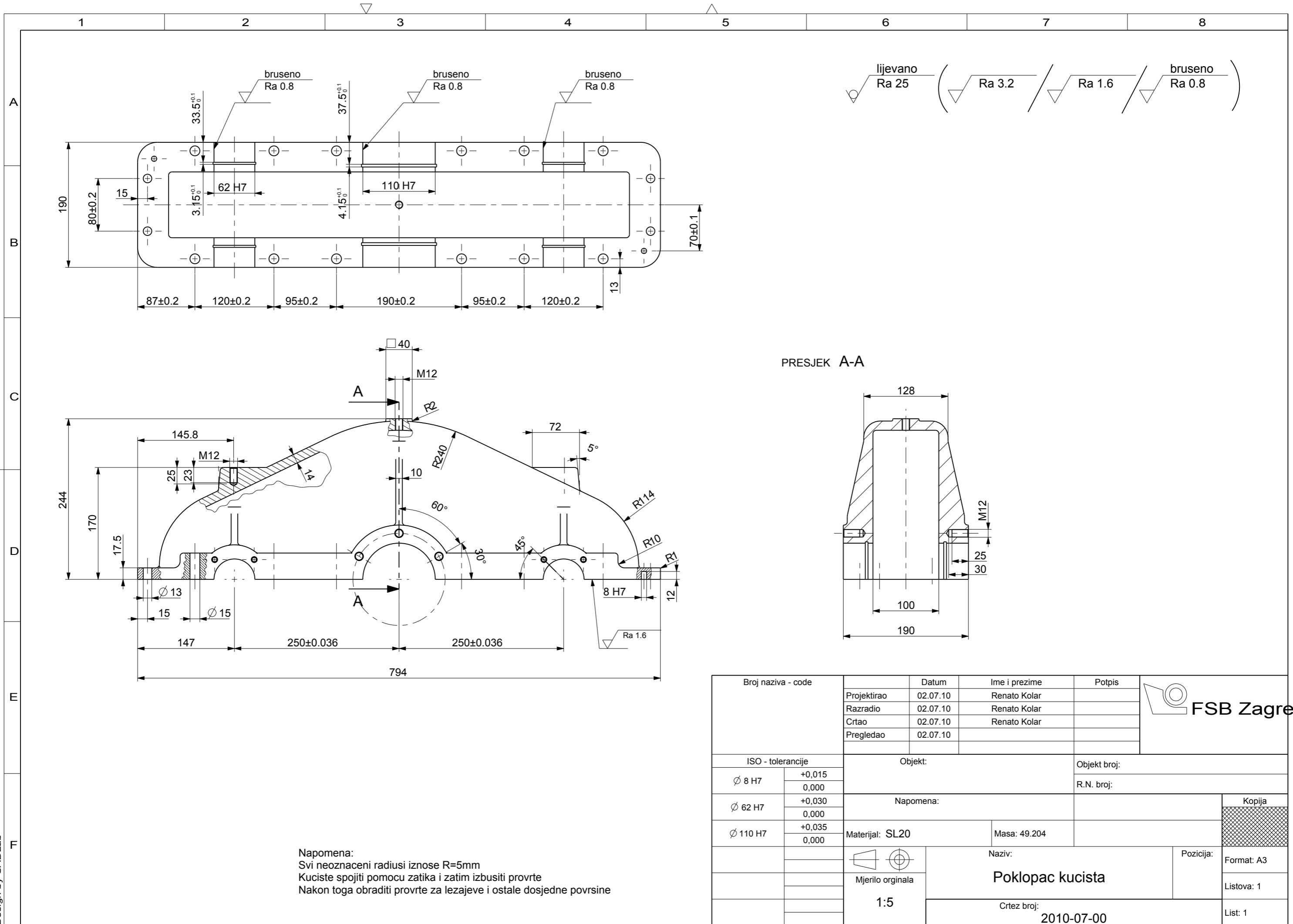
PRESJEK A-A



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	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	02.07.10	Renato Kolar		
	Crtao	02.07.10	Renato Kolar		
	Pregledao	02.07.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
∅ 110 H7	+0,035 0,000			R.N. broj:	
∅ 62 H7	+0,030 0,000	Napomena:		<div style="background-color: #cccccc; width: 100px; height: 20px;"></div>	
∅ 8 H7	+0,015 0,000	Materijal: SL20			
				Naziv:	
		Mjerilo originala		Donji dio kucista	
		1:5		Crtez broj: 2010-06-00	
				Pozicija: Format: A3 Listova: 1 List: 1	



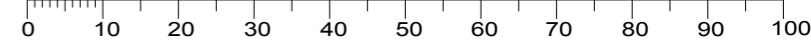


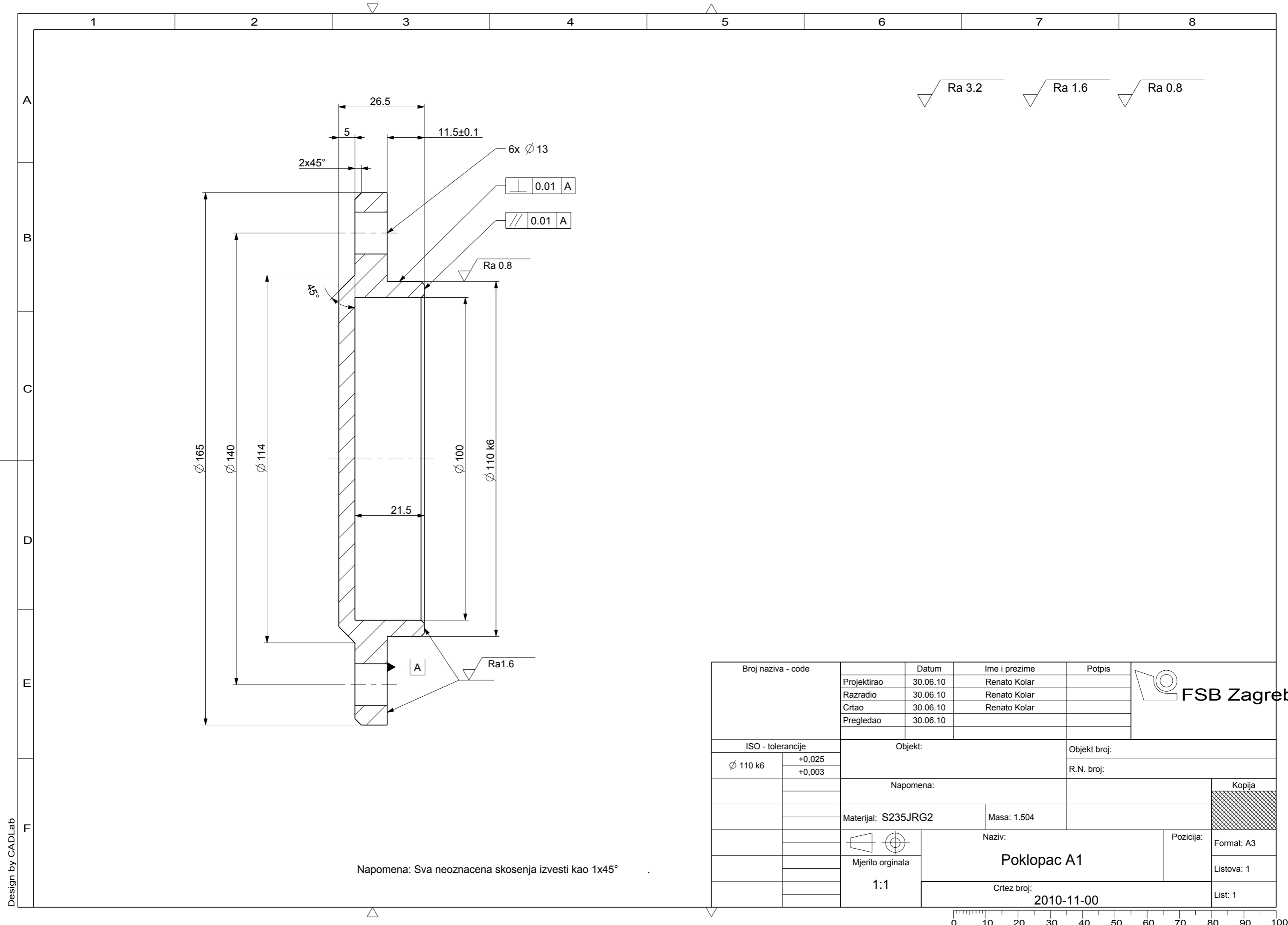
lijevano Ra 25 (Ra 3.2 / Ra 1.6 / bruseno Ra 0.8)

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 površine

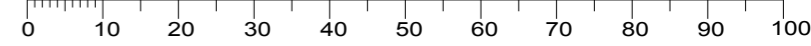
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	02.07.10	Renato Kolar		
	Crtao	02.07.10	Renato Kolar		
	Pregledao	02.07.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
∅ 8 H7	+0,015 0,000			R.N. broj:	
∅ 62 H7	+0,030 0,000	Napomena:			
∅ 110 H7	+0,035 0,000	Materijal: SL20	Masa: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



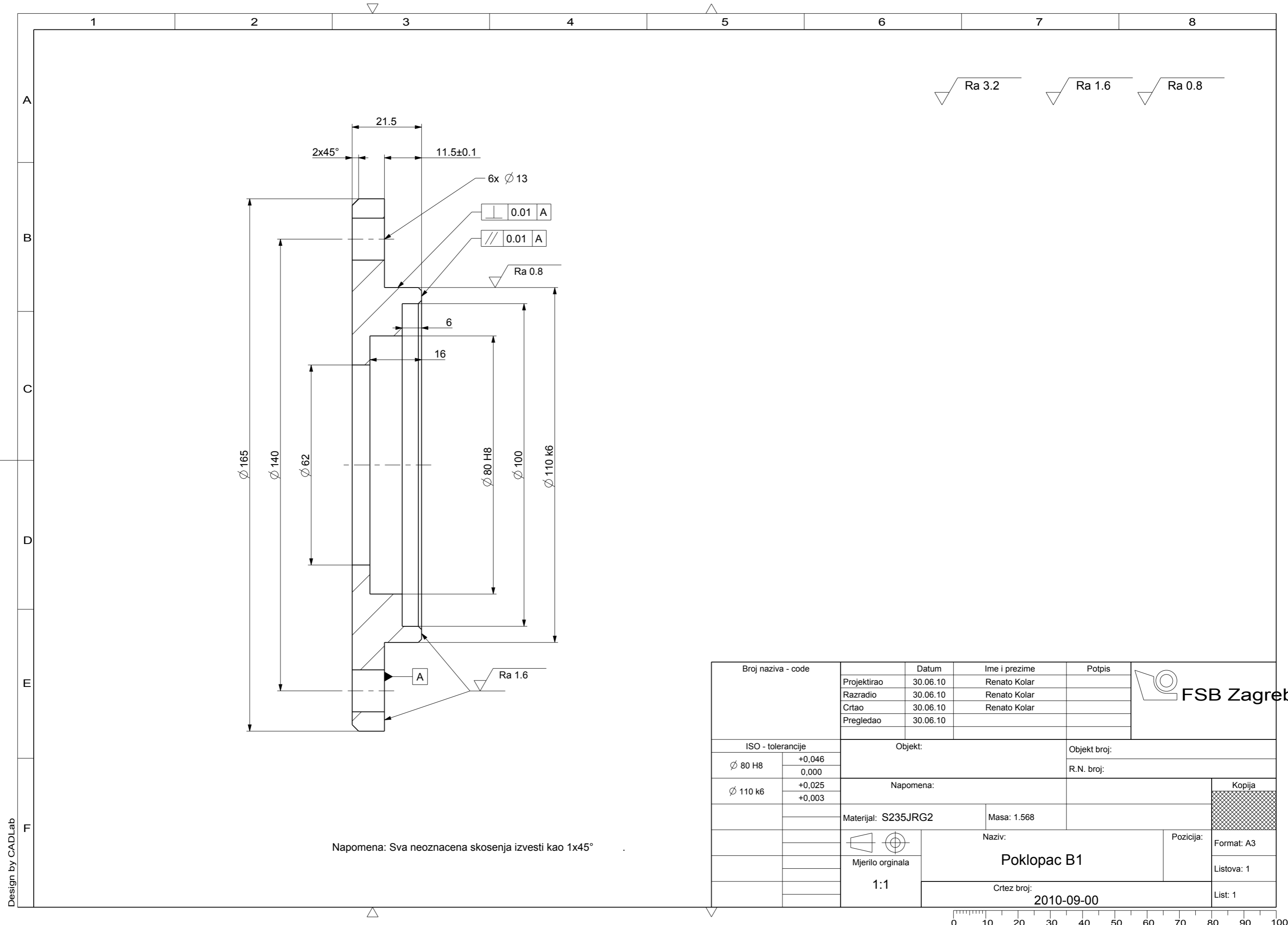


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

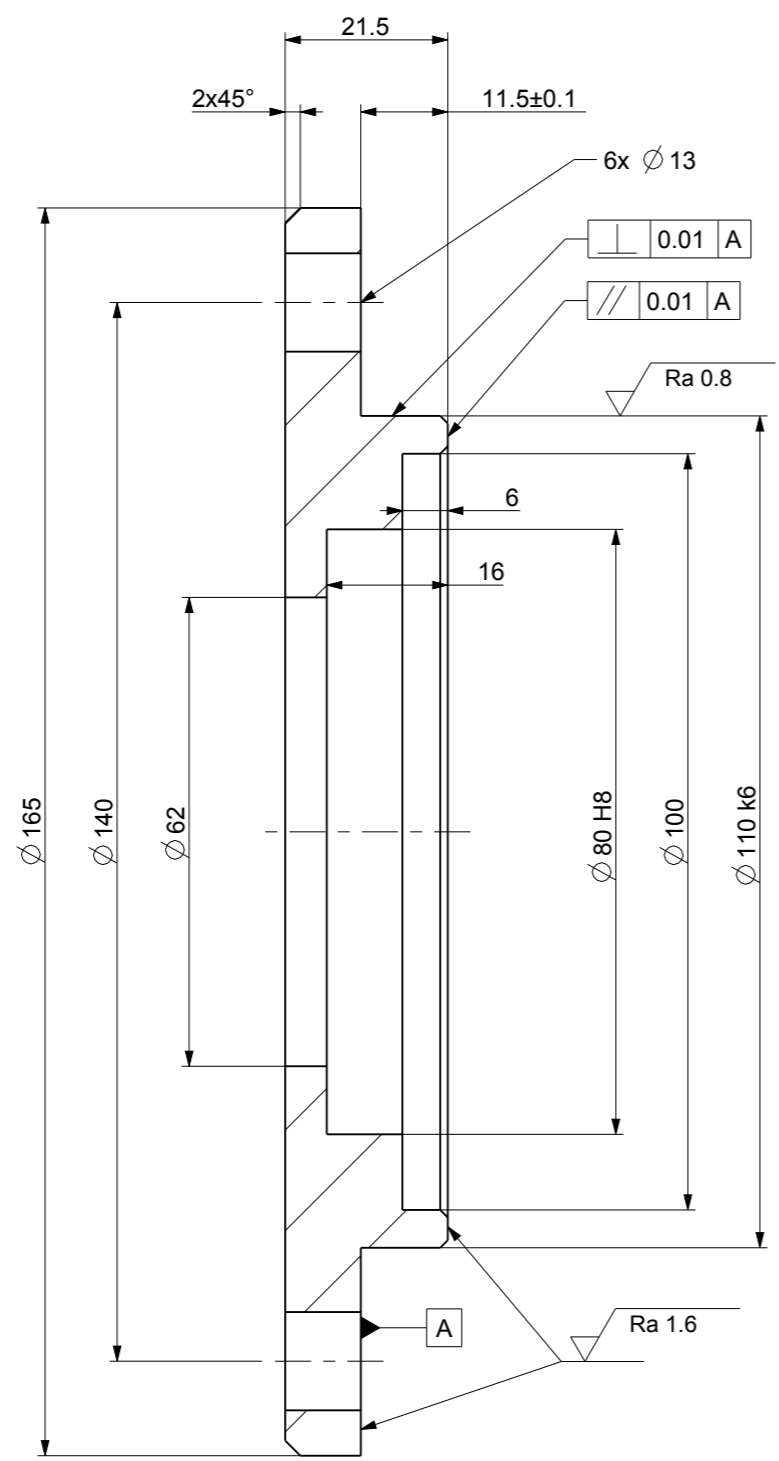
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
	Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
	Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\varnothing 110\ k6$	+0,025			R.N. broj:	
	+0,003				
		Napomena:			Kopija
		Materijal: S235JRG2	Masa: 1.504		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



Design by CADLab

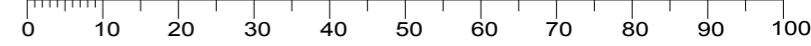


Ra 3.2
 Ra 1.6
 Ra 0.8

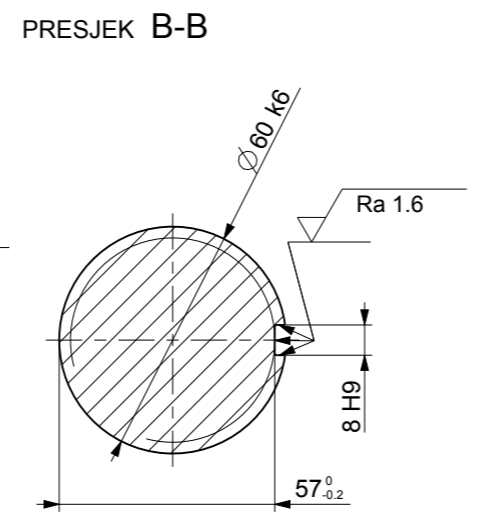
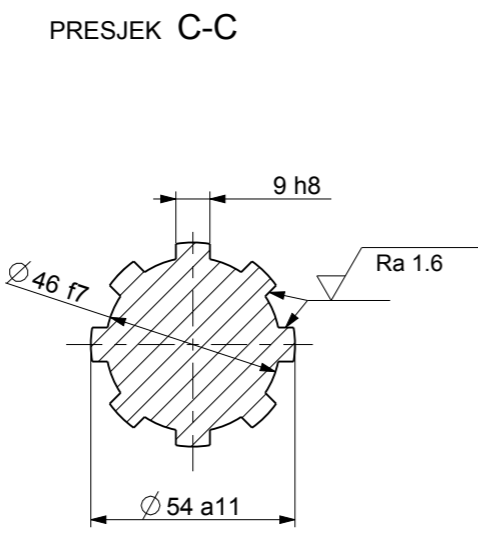
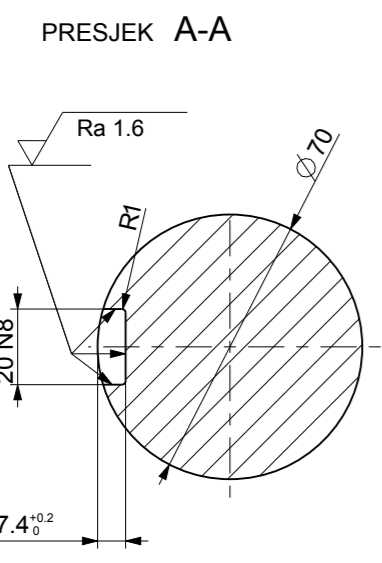
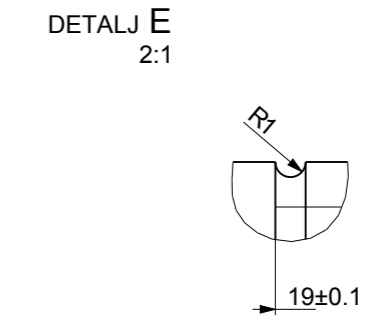
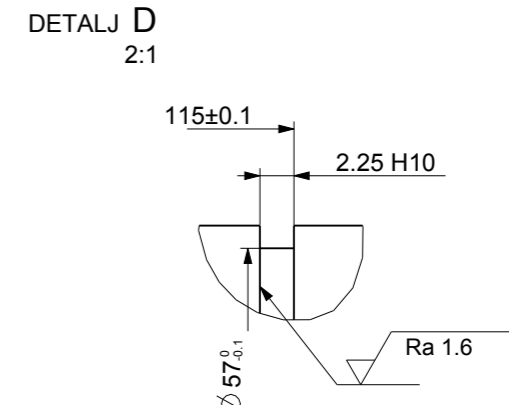
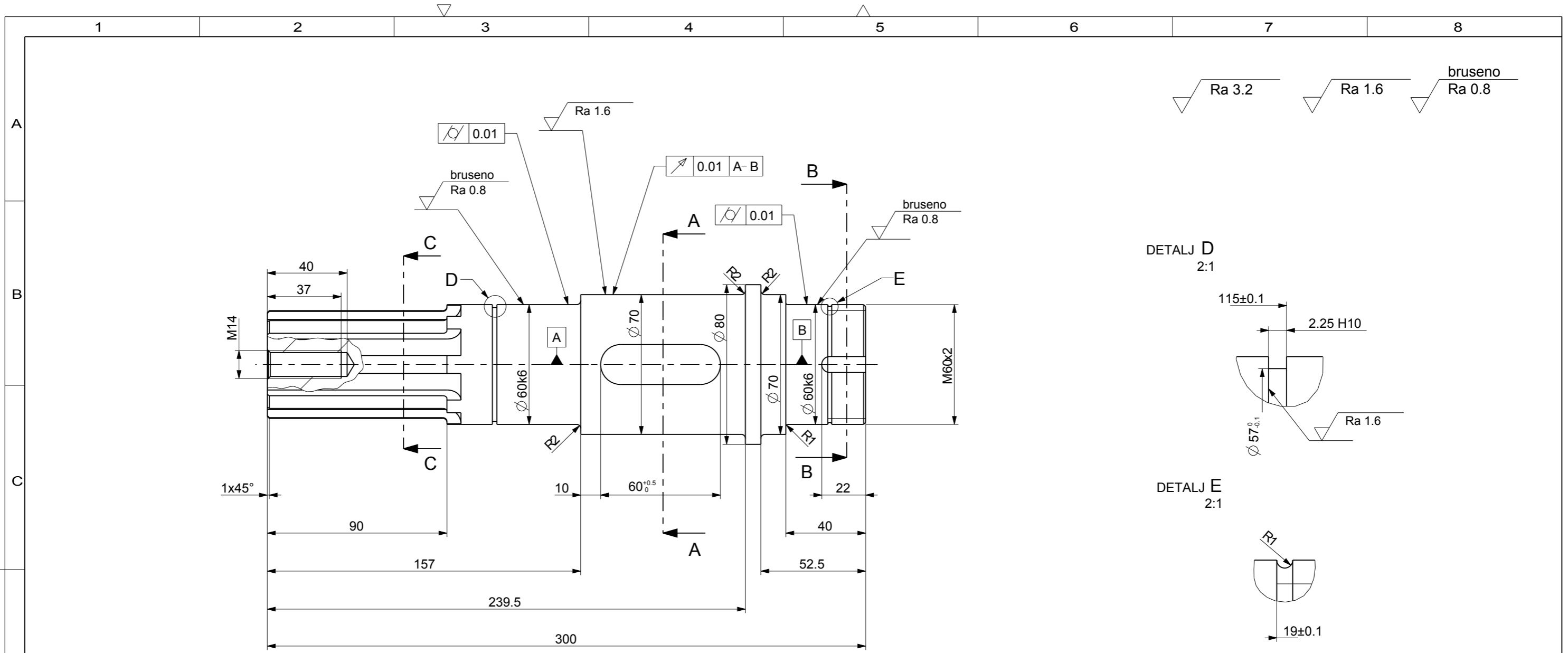


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

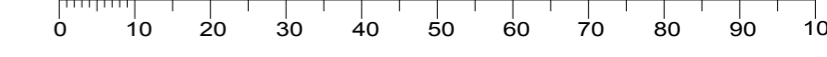
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
	Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
	Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Ø 80 H8	+0,046 0,000			R.N. broj:	
Ø 110 k6	+0,025 +0,003	Napomena:			
		Materijal: S235JRG2	Masa: 1.568		
			Naziv: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



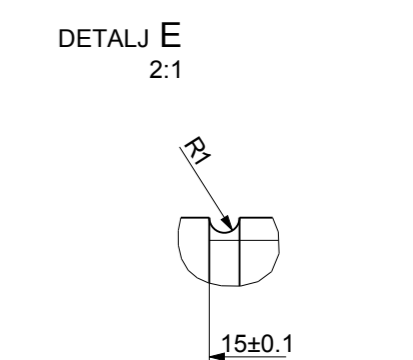
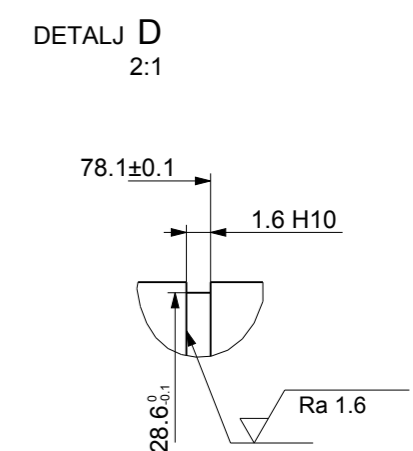
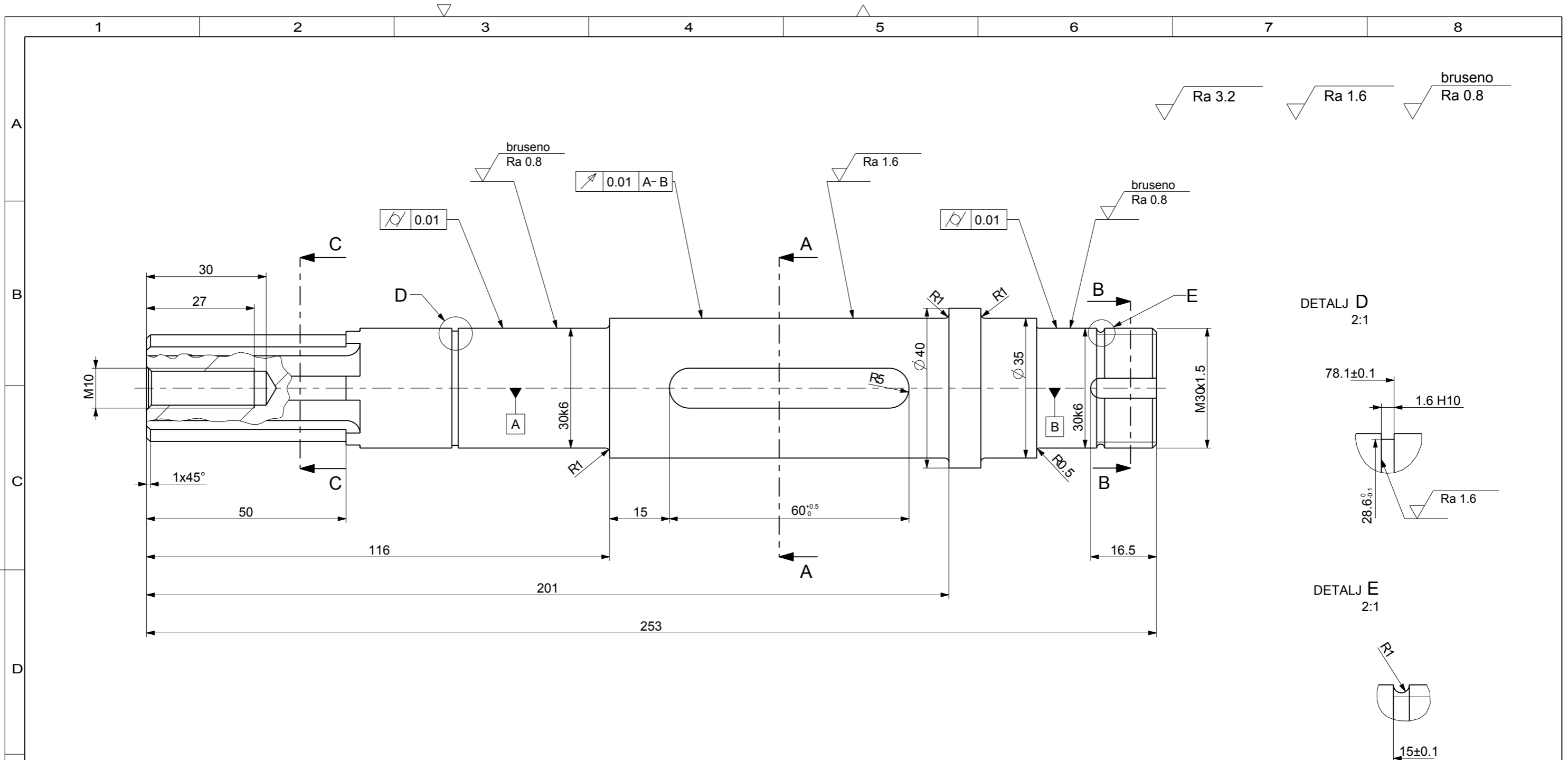
Design by CADLab



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			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\phi 20 \text{ N}8$	-0,003 -0,036			R.N. broj:	
8 H9	0,036 0,000	Napomena:			
$\phi 60 \text{ k}6$	+0,021 +0,002	Materijal: E295		Masa: 6.796	
2,25 H10	+0,040 0,000	Mjerilo originala		Naziv: Vratilo 1	
$\phi 46 \text{ f}7$	-0,025 -0,050	1:2		Pozicija: Format: A3	
$\phi 54 \text{ a}11$	-0,320 -0,480			Listova: 1	
				Crtez broj: 2010-03-00	
				List: 1	



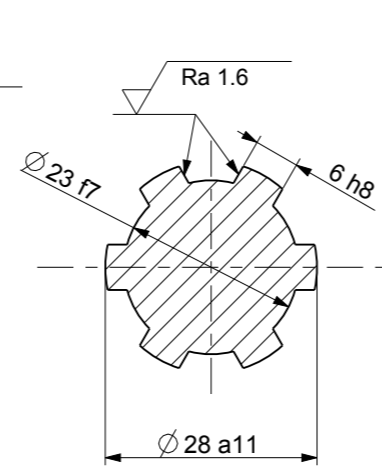
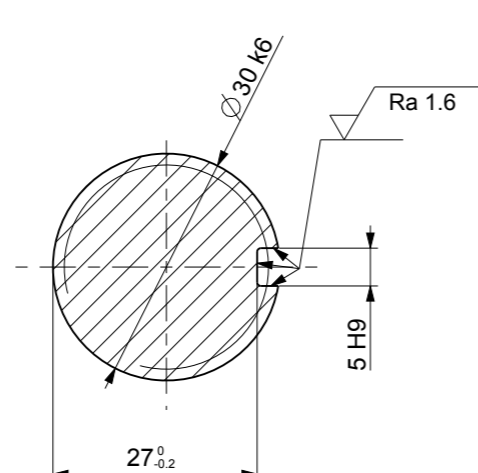
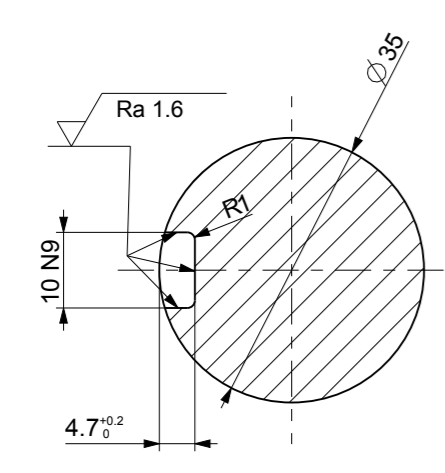
Design by CADLab



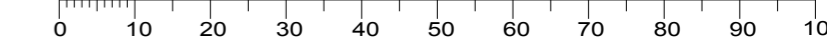
PRESJEK A-A

PRESJEK B-B

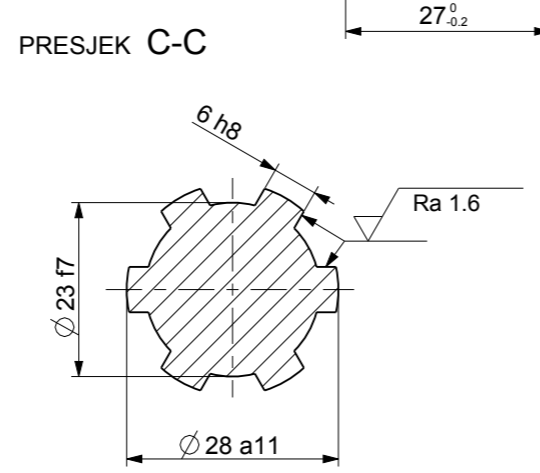
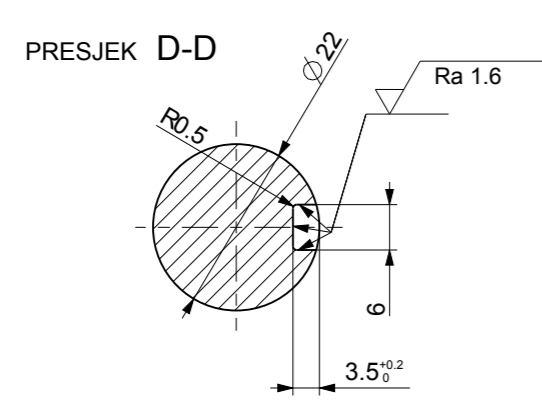
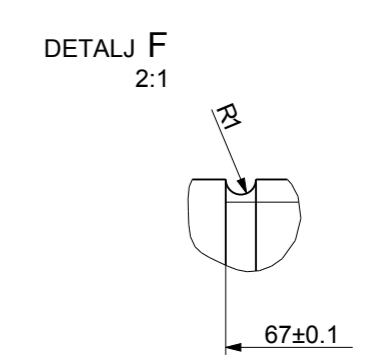
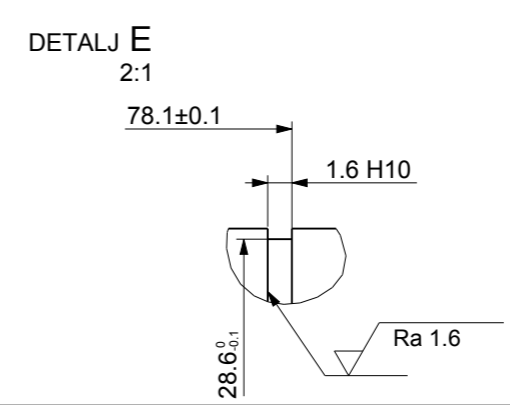
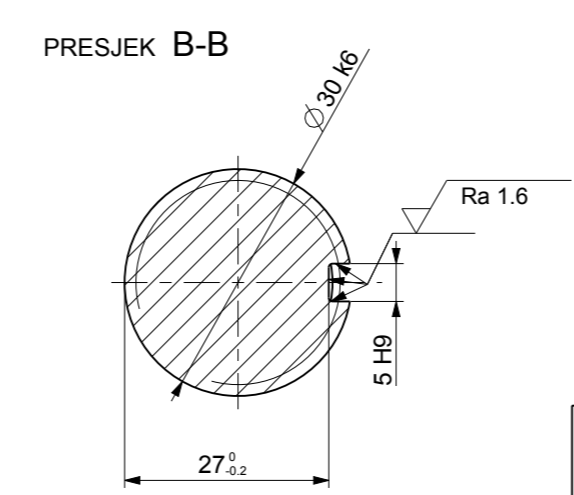
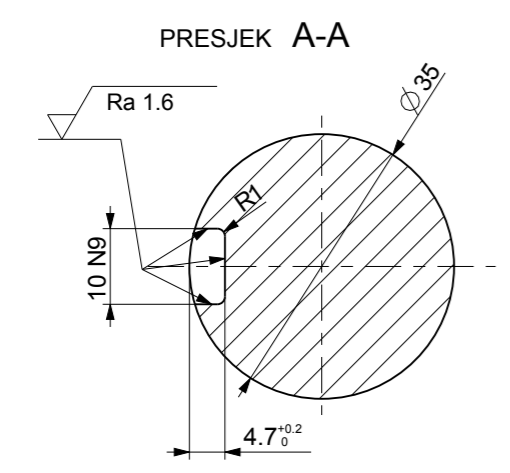
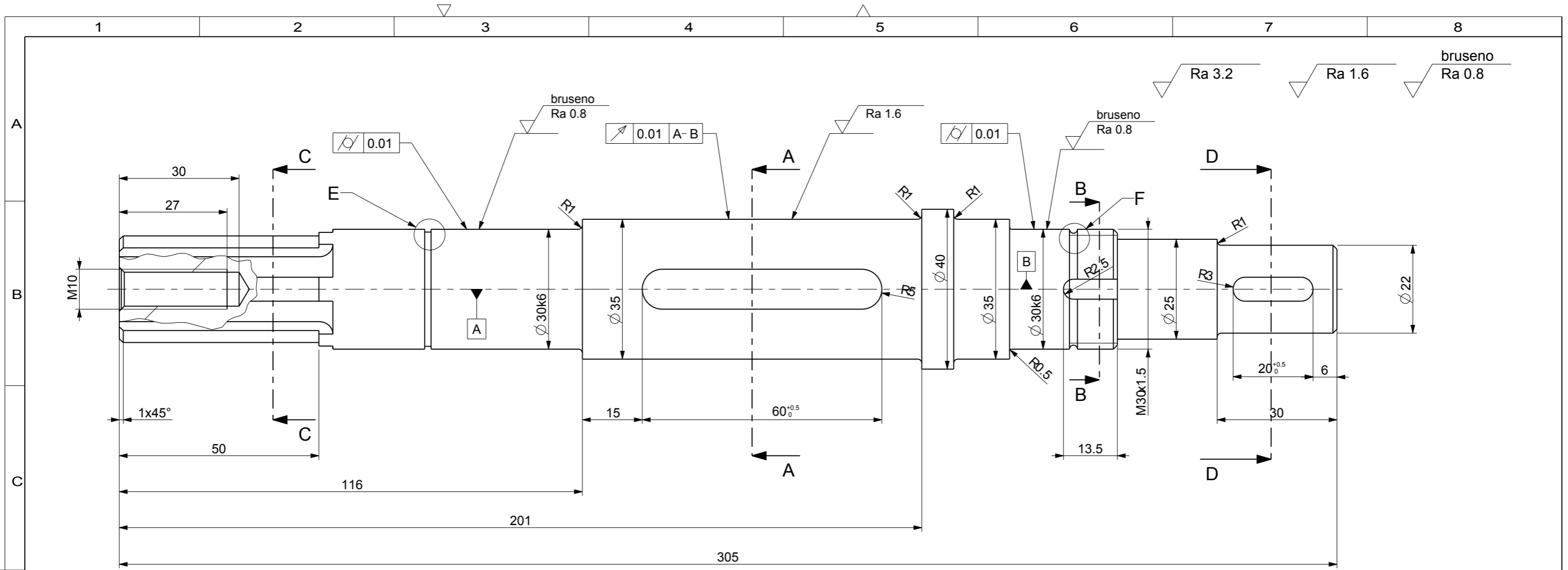
PRESJEK C-C



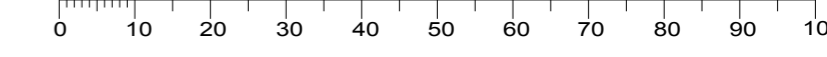
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		01.07.10	Renato Kolar		
Razradio		01.07.10	Renato Kolar		
Crtao		01.07.10	Renato Kolar		
Pregledao		01.07.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
1.6 H10	+0,040 0,000			R.N. broj:	
5 H9	+0,030 0,000	Napomena:			
10 N9	0,000 -0,036	Materijal: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



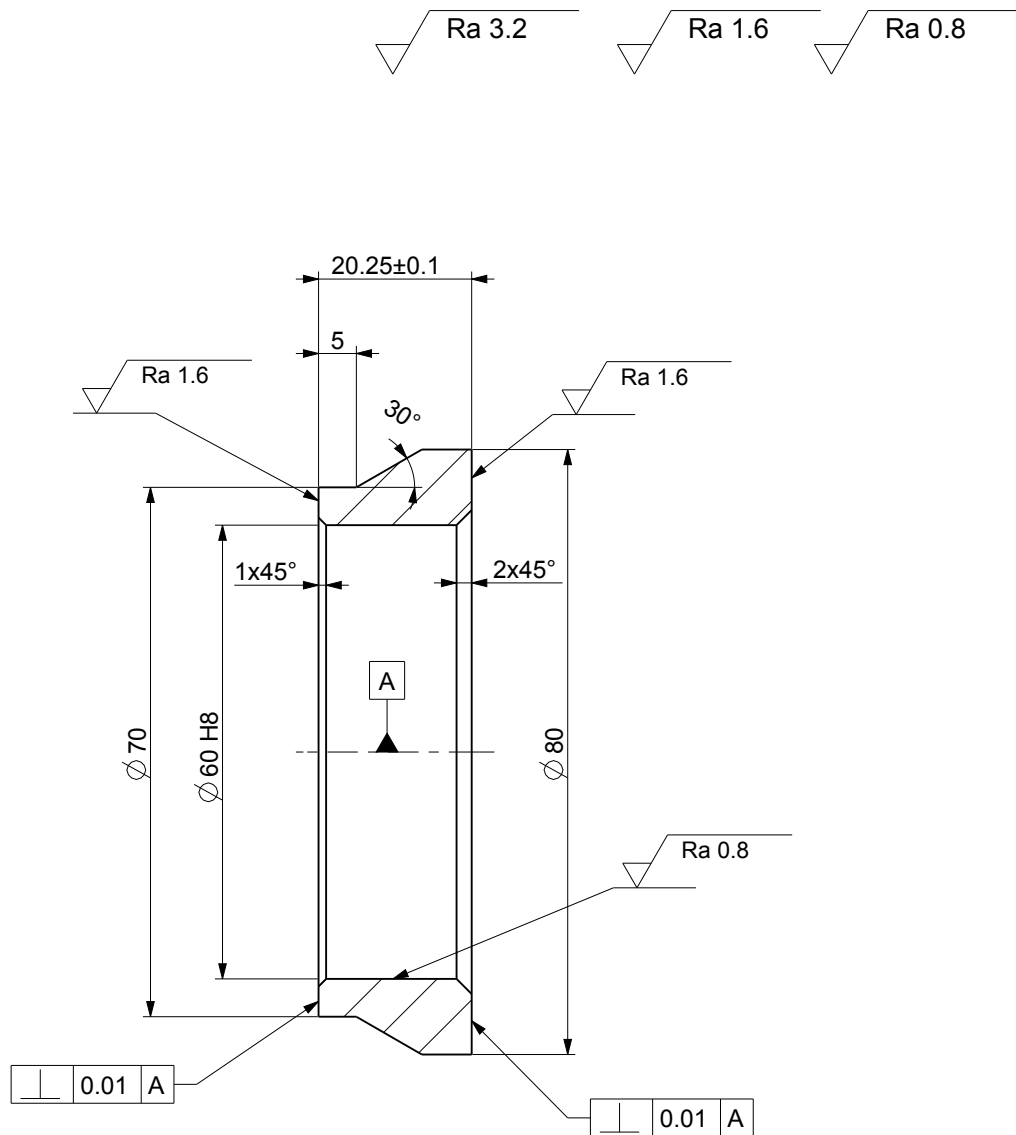
Design by CADLab

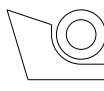


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		01.07.10	Renato Kolar		
Razradio		01.07.10	Renato Kolar		
Crtao		01.07.10	Renato Kolar		
Pregledao		01.07.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
1.6 H10	+0,040 0,000			R.N. broj:	
5 H9	+0,030 0,000	Napomena:			
10 N9	0,000 -0,036	Materijal: 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		Pozicija: Format: A3	
$\phi 28 a11$	-0,300 -0,430			Listova: 1	
				Crtez broj: 2010-05-00	
				List: 1	



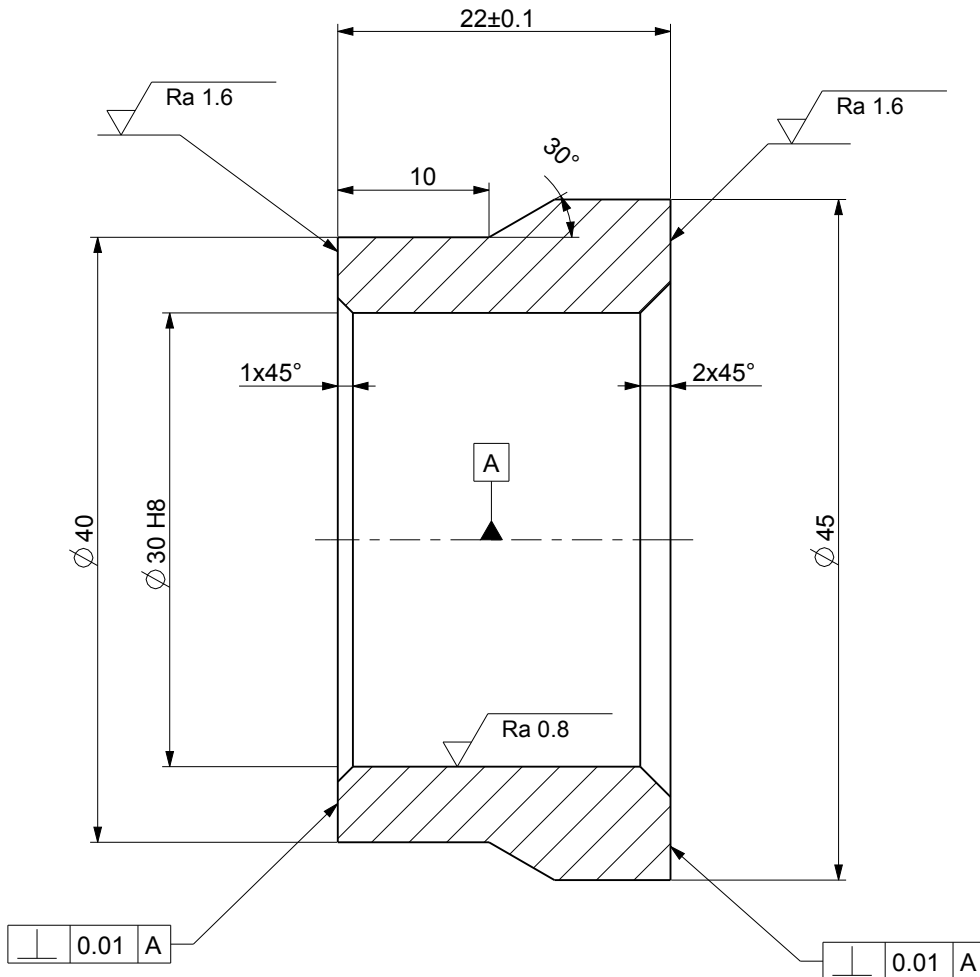
Design by CADLab

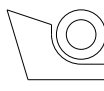
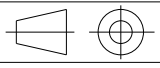


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar	
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar	
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar	
		Pregledao	30.06.10		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
∅ 60 H8	+0,046 0,000			R.N. broj:	
		Napomena:			Kopija
		Materijal: S235JRG2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

Design by CADLab

Ra 3.2 Ra 1.6 Ra 0.8



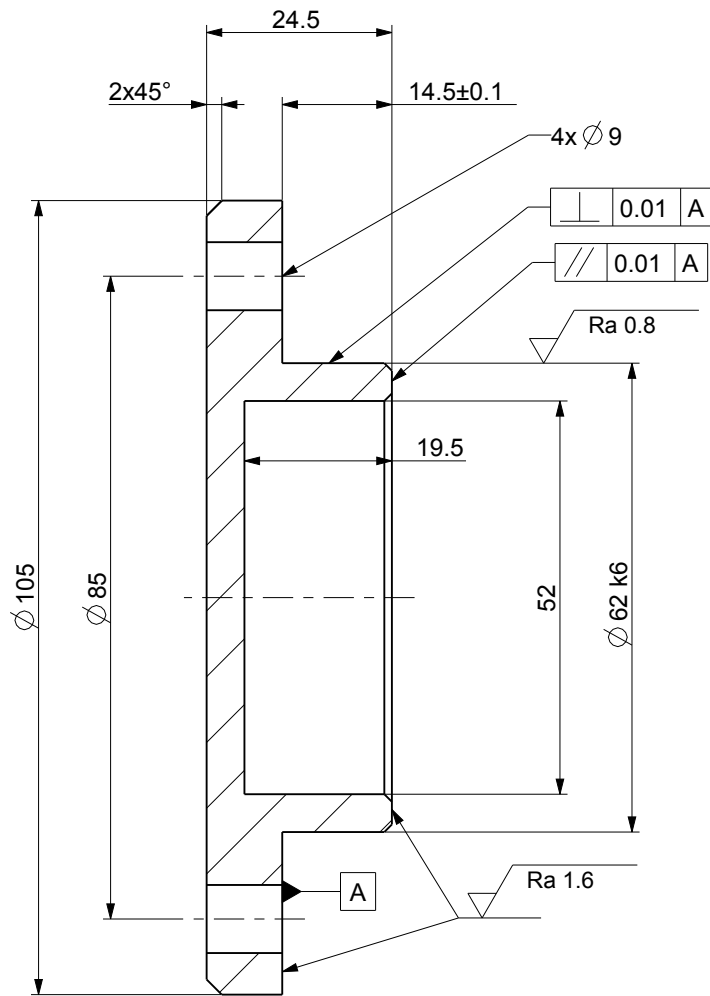
Broj naziva - code		Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
		30.06.10	Renato Kolar			
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
$\varnothing 30\ H8$	+0,033 0,000	Napomena:			R.N. broj:	
		Materijal: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

Design by CADLab


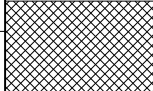
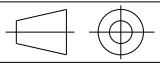
Ra 3.2

Ra 1.6

Ra 0.8

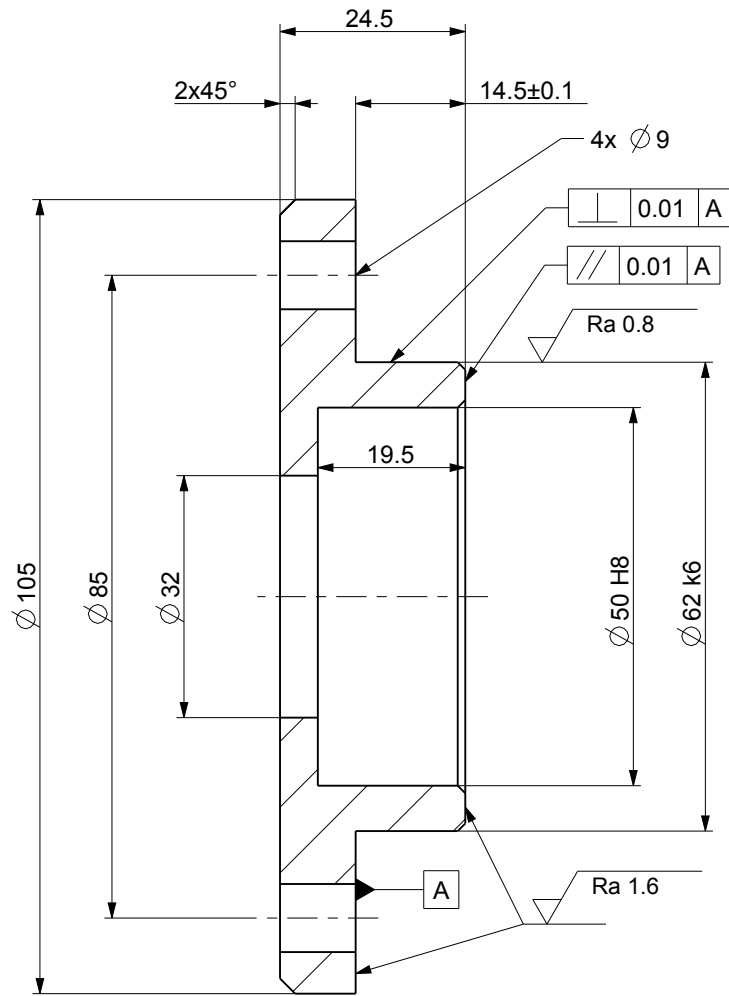


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°


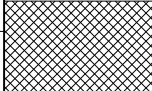
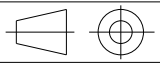
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
∅ 62 k6	+0,021					
	+0,002			R.N. broj:		
		Napomena:			Kopija	
		Materijal: S235JRG2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

Design by CADLab

Ra 3.2 Ra 1.6 Ra 0.8

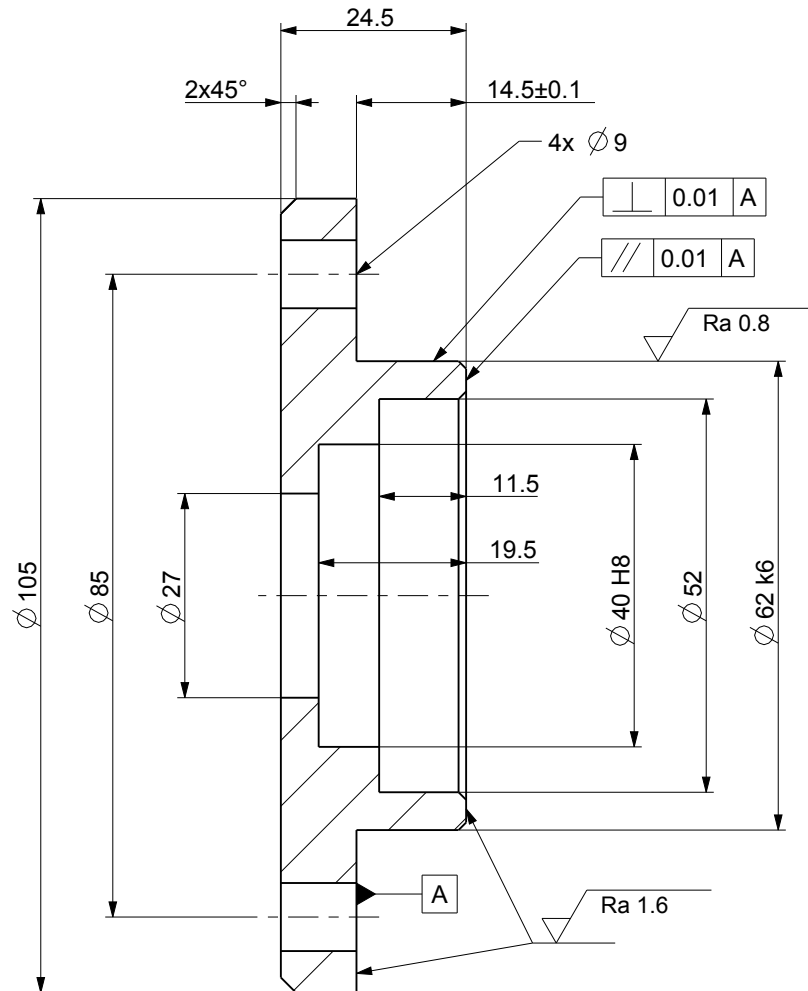


Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

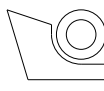
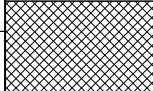
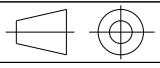
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø 50 H8	+0,039 0,000	Napomena:		R.N. broj:		
Ø 62 k6	+0,021 +0,002					
		Materijal: S235JRG2	Masa: 0.665			
		Naziv:				Pozicija:
		 Mjerilo originala	Poklopac B2		Format: A4	
		1:1	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	 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:		
∅ 40 H8	+0,039 0,000	Napomena:		R.N. broj:		
∅ 62 k6	+0,021 +0,002					
		Materijal: S235JRG2	Masa: 0.704			
		Naziv:				Pozicija:
		 Mjerilo originala		Poklopac C2		
		1:1		Format: A4		
		Crtez broj:		Listova: 1		
		2010-16-00		List: 1		

Design by CADLab