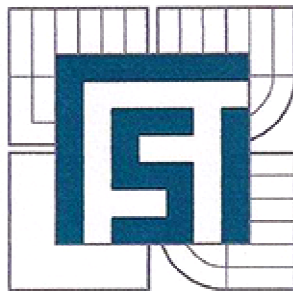


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH REDUKTORU ZÁŽEHOVÉHO ŠESTIVÁLCOVÉHO LETECKÉHO MOTORU

GEARBOX DESIGN OF A PETROL SIX-CYLINDER AIRCRAFT ENGINE

PŘÍLOHY K DIPLOMOVÉ PRÁCI

DIPLOMA THESIS APPENDICES

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUKÁŠ NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2013

OBSAH

Příloha 1 – Výpočtová zpráva z programu Mathcad.

Příloha 2 – Výstupní protokoly pro ozubená soukolí z programu „Tvarová pevnost ozubených kol“ společnosti TATRA a.s.

Příloha 3 – Zmenšené kopie výrobních výkresů jednotlivých součástí.

Příloha 4 – Elektronická verze diplomové práce na CD.

PŘÍLOHA 1 - VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA

1.1. Návrh ozubeného soukolí

Materiál ozubených kol

Označení 14 224

Mez pevnosti s tahu $E_{14224} := 206000\text{MPa}$

Poissonovo číslo $\mu := 0.3$

Mez pevnosti ve smyku $G_{14224} := \frac{E_{14224}}{2(1 + \mu)} = 7.923 \times 10^4 \text{MPa}$

Mez kluzu $R_{e14224} := 685\text{MPa}$

Mez pevnosti $R_{m14224} := 880\text{MPa}$

Hodnoty pro 1. a 2. soukolí

Osová vzdálenost: $a := 80\text{mm}$

Modul (normální) $m_n := 1.5\text{mm}$

Úhel záběru $\alpha := 20\text{-deg}$

Úhel sklonu zubu $\beta := 30\text{-deg}$

	Pastorek	Kolo
Jednotkové posunutí základního profilu	$x_1 := -0.05\text{mm}$	$x_2 := -0.303263\text{mm}$
Průměr hlavové kružnice	$d_{a1} := 71.8\text{mm}$	$d_{a2} := 97\text{mm}$
Průměr roztečné kružnice	$d_1 := 67.55\text{mm}$	$d_2 := 91.53\text{mm}$
Průměr patní kružnice	$d_{f1} := 62.67\text{mm}$	$d_{f2} := 86.22\text{mm}$
Průměr základní kružnice	$d_{z1} := 62.27\text{mm}$	$d_{z2} := 86.22\text{mm}$
Šířka ozubeného věnce	$b_1 := 30\text{mm}$	$b_2 := 20\text{mm}$
Součinitel záběru profilu	$\varepsilon_\alpha := 2.054$	
Součinitel záběru kroku	$\varepsilon_\beta := 2.122$	
Celkový součinitel záběru	$\varepsilon_\gamma := 4.176$	

Hodnoty pro 1. soukolí

Tečná síla	$F_{t1} := 5723.07 \text{ N}$	$F_{t2} := F_{t1} = 5.723 \times 10^3 \text{ N}$
Radiální síla	$F_{r1} := 2295.638 \text{ N}$	$F_{r2} := F_{r1} = 2.296 \times 10^3 \text{ N}$
Axiální síla	$F_{a1} := 3282.05 \text{ N}$	$F_{a2} := F_{a1} = 3.282 \times 10^3 \text{ N}$
Vstupní otáčky	$n_1 := 5000 \frac{1}{\text{min}}$	
Výstupní otáčky	$n_2 := 3611.111 \frac{1}{\text{min}}$	
Převodový poměr soukolí	$i_{s1} := \frac{n_2}{n_1} = 0.722$	
Mez únavy v ohybu	$\sigma_{Hlim1} := 1500 \text{ MPa}$	
Mez únavy v dotyku	$\sigma_{Flim1} := 460 \text{ MPa}$	
Součinitel zatížení jednotlivých zubů	$K_{H\alpha 1} := 1.151$	
Součinitel vnitřních dynamických sil	$K_{v1} := 1.094$	
Součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce	$K_{H\beta 1} := 1.152$	
	$K_{H\psi 1} := 1$	$K_{A1} := 1.2$
Součinitel přidavných zatížení pro dotyk	$K_{H1} := K_{A1} \cdot K_{H\alpha 1} \cdot K_{H\beta 1} \cdot K_{H\psi 1} = 1.591$	
Součinitel jednopárového záběru pastorku	$Z_{B1} := 1$	
Součinitel jednopárového záběru kola	$Z_{D1} := 1$	
Součinitel mechanických vlastností materiálu soukolí	$Z_{E1} := 189.9$	
Součinitel tvaru spoluzabírajících kol pro dotyk	$Z_{H1} := 2.276$	
Součinitel sklonu zubů	$Z_{\beta 1} := 0.931$	
Součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů	$Z_{\epsilon 1} := 0.698$	
Nominální napětí v dotyku	$\sigma_{H01} := 757.595 \text{ MPa}$	
Napětí v dotyku na pastorek	$\sigma_{H1} := 739.9 \text{ MPa}$	
Napětí v dotyku na kolo	$\sigma_{H2} := 735.9 \text{ MPa}$	
Součinitel velikosti	$Z_{X1} := 1$	

Součinitel bezpečnosti v dotyku $Z_{NT1} := 1$

Součinitel tvrdosti $Z_{W1} := 1$

Součinitel maziva $Z_{L1} := 1.015$

Součinitel obvodové rychlosti $Z_{V1} := 1.016$

Součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubů pastorku $S_{H1} := 2.06$

Součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubů kola $S_{H2} := 2.06$

Součinitel výchozí drsnosti zubů $Z_{R1} := 0.979$

Přípustné napětí v dotyku pro pastorek

$$\sigma_{HP1} := \frac{\sigma_{Hlim1} \cdot Z_{NT1}}{S_{H1}} \cdot Z_{L1} \cdot Z_{V1} \cdot Z_{R1} \cdot Z_{W1} \cdot Z_{X1} = 735.134 \text{MPa}$$

Přípustné napětí v dotyku pro kolo

$$\sigma_{HP2} := \frac{\sigma_{Hlim1} \cdot Z_{NT1}}{S_{H2}} \cdot Z_{L1} \cdot Z_{V1} \cdot Z_{R1} \cdot Z_{W1} \cdot Z_{X1} = 735.134 \text{MPa}$$

Součinitel tvaru zubů při působení síly na špičku zubu pro pastorek/kolo

$$Y_{F1} := 0.833 \quad Y_{F2} := 0.905$$

Součinitel koncentrace napětí při působení síly na špičku zubů pro pastorek/kolo

$$Y_{S1} := 2.504 \quad Y_{S2} := 2.347$$

Součinitel vlivu záběru profilu

$$\beta_{b1} := \sin(\sin(\beta) \cdot \cos(\alpha)) = 0.489$$

$$Y_{\epsilon 1} := 0.25 + \left(\frac{0.75}{\epsilon_{\alpha}} \right) \cdot (\cos(\beta_{b1}))^2 = 0.535$$

Součinitel sklonu zubu

$$Y_{\beta 1} := 0.75$$

Nominální napětí v ohybu pro pastorek

$$\sigma_{F01} := \left(\frac{F_{t1}}{b_1 \cdot m_n} \right) \cdot Y_{F1} \cdot Y_{S1} \cdot Y_{\beta 1} \cdot Y_{\epsilon 1} = 106.349 \text{MPa}$$

Nominální napětí v ohybu pro kolo

$$\sigma_{F02} := \left(\frac{F_{t2}}{b_1 \cdot m_n} \right) \cdot Y_{F2} \cdot Y_{S2} \cdot Y_{\beta 1} \cdot Y_{\epsilon 1} = 108.297 \text{MPa}$$

$K_{F\alpha} := 1.081$

$K_{F\beta} := 1.117$

Napětí v ohybu na patě zuby pro pastorek $\sigma_{F1} := 355.293\text{MPa}$

Napětí v ohybu na patě zuby pro kolo $\sigma_{F2} := 361.433\text{MPa}$

Součinitel velikosti $Y_{X1} := 1$

Součinitel počtu cyklů $Y_{NT1} := 1$

Poměrný součinitel drsnosti v oblasti patního přechodu zuby $Y_{RelT1} := 0.976$

Poměrný součinitel vrubové citlivosti pro pastorek/kolo

$Y_{\delta RelT1} := 0.999$ $Y_{\delta RelT2} := 0.998$

Přípustné napětí v ohybu v patě zuby pro pastorek/kolo

$\sigma_{FP1} := 920\text{MPa}$ $\sigma_{FP2} := 920\text{MPa}$

Součinitel bezpečnosti v ohybu pro pastorek/kolo

$S_{F1} := 2.526$ $S_{F2} := 2.48$

Životnost soukolí $L_{s12} := 2222.2\text{hr}$

Hodnoty pro 2. soukolí

Tečná síla $F_{t3} := 7928.846\text{N}$ $F_{t4} := F_{t3} = 7.929 \times 10^3\text{N}$

Radiální síla $F_{r3} := 3180.415\text{N}$ $F_{r4} := F_{r3} = 3.18 \times 10^3\text{N}$

Axiální síla $F_{a3} := 4547.009\text{N}$ $F_{a4} := F_{a3} = 4.547 \times 10^3\text{N}$

Vstupní otáčky $n_{21} := n_2 = 3.611 \times 10^3 \frac{1}{\text{min}}$

Výstpní otáčky $n_3 := 2608 \frac{1}{\text{min}}$

Převodový poměr soukolí $i_{s2} := \frac{n_3}{n_2} = 0.722$

Mez únavy v ohybu $\sigma_{Hlim2} := \sigma_{Hlim1} = 1.5 \times 10^3\text{MPa}$

Mez únavy v dotyku $\sigma_{Flim2} := \sigma_{Flim1} = 460\text{MPa}$

Součinitel zatížení jednotlivých zubů $K_{H\alpha 2} := 1.095$

Součinitel vnitřních dynamických sil $K_{V2} := 1.053$

Součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce $K_{H\beta 2} := 1.114$

$K_{H\alpha 2} := 1$ $K_{A2} := 1.2$

Součinitel přidavných zatížení pro dotyk $K_{H2} := K_{A2} \cdot K_{H\alpha 2} \cdot K_{H\beta 2} \cdot K_{H\alpha 2} = 1.464$

Součinitel jednopárového záběru pastorku	$Z_{B2} := 1$
Součinitel jednopárového záběru kola	$Z_{D2} := 1$
Součinitel mechanických vlastností materiálu soukolí	$Z_{E2} := 189.8$
Součinitel tvaru spoluzabírajících kol pro dotyk	$Z_{H2} := 2.276$
Součinitel sklonu zubů	$Z_{\beta 2} := 0.931$
Součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů	$Z_{\epsilon 2} := 0.698$

Nominální napětí v dotyku $\sigma_{H02} := 891.718\text{MPa}$

Napětí v dotyku na pastorek $\sigma_{H3} := 814.778\text{MPa}$

Napětí v dotyku na kolo $\sigma_{H4} := 814.778\text{MPa}$

Součinitel velikosti $Z_{X2} := 1$

Součinitel bezpečnosti v dotyku $Z_{NT2} := 1$

Součinitel tvrdosti $Z_{W2} := 1$

Součinitel maziva $Z_{L2} := 1.015$

Součinitel obvodové rychlosti $Z_{V2} := 1.007$

Součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubů pastorku $S_{H3} := 1.843$

Součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubů kola $S_{H4} := 1.843$

Součinitel výchozí drsnosti zubů $Z_{R2} := 0.979$

Přípustné napětí v dotyku pro pastorek

$$\sigma_{HP3} := \frac{\sigma_{Hlim2} \cdot Z_{NT2}}{S_{H3}} \cdot Z_{L2} \cdot Z_{V2} \cdot Z_{R2} \cdot Z_{W2} \cdot Z_{X2} = 814.412\text{MPa}$$

Přípustné napětí v dotyku pro kolo

$$\sigma_{HP4} := \frac{\sigma_{Hlim2} \cdot Z_{NT2}}{S_{H4}} \cdot Z_{L2} \cdot Z_{V2} \cdot Z_{R2} \cdot Z_{W2} \cdot Z_{X2} = 814.412\text{MPa}$$

Součinitel tvaru zubů při působení síly na špičku zubu pro pastorek/kolo

$$Y_{F3} := 0.833 \quad Y_{F4} := 0.905$$

Součinitel koncentrace napětí při působení síly na špičku zubů pro pastorek/kolo

$$Y_{S3} := 2.504 \quad Y_{S4} := 2.347$$

Součinitel vlivu záběru profilu

$$\beta_{b2} := \sin(\sin(\beta) \cdot \cos(\alpha)) = 0.489$$

$$Y_{\epsilon 2} := 0.25 + \left(\frac{0.75}{\epsilon_{\alpha}} \right) \cdot (\cos(\beta_{b2}))^2 = 0.535$$

Součinitel sklonu zubu

$$Y_{\beta 2} := 0.75$$

Nominální napětí v ohybu pro pastorek

$$\sigma_{F03} := \left(\frac{F_{t3}}{b_1 \cdot m_n} \right) \cdot Y_{F3} \cdot Y_{S3} \cdot Y_{\beta 2} \cdot Y_{\epsilon 2} = 147.338 \text{MPa}$$

Nominální napětí v ohybu pro kolo

$$\sigma_{F04} := \left(\frac{F_{t4}}{b_1 \cdot m_n} \right) \cdot Y_{F4} \cdot Y_{S4} \cdot Y_{\beta 2} \cdot Y_{\epsilon 2} = 150.036 \text{MPa}$$

$$K_{F\alpha 2} := 1.081$$

$$K_{F\beta 2} := 1.117$$

Napětí v ohybu na patě zubu pro pastorek

$$\sigma_{F3} := 443.971 \text{MPa}$$

Napětí v ohybu na patě zubu pro kolo

$$\sigma_{F4} := 451.642 \text{MPa}$$

Součinitel velikosti

$$Y_{X2} := 1$$

Součinitel počtu cyklů

$$Y_{NT2} := 1$$

Poměrný součinitel drsnosti v oblasti patního přechodu zubu

$$Y_{RrelT2} := 0.976$$

Poměrný součinitel vrubové citlivosti pro pastorek/kolo

$$Y_{\delta relT3} := 0.999$$

$$Y_{\delta relT4} := 0.998$$

Přípustné napětí v ohybu v patě zubu pro pastorek/kolo

$$\sigma_{FP3} := 920 \text{MPa}$$

$$\sigma_{FP4} := 920 \text{MPa}$$

Součinitel bezpečnosti v ohybu pro pastorek/kolo

$$S_{F3} := 2.021$$

$$S_{F4} := 1.984$$

Životnost soukolí

$$L_{S34} := 2222.2 \text{hr}$$

1.2. Výpočet pružin pro vymezování vůle

Materiál pružin

Ocelový pružinový drát, kalený, nepopouštěný, podle normy ČSN EN 10270-2:2001

Modul oružnosti v tahu

$$E_p := 206000 \text{MPa}$$

Modul pružnosti ve smyku

$$G_p := 81500 \text{MPa}$$

Pružiny na předlohovém hřídeli

Přídavný torzní moment v rezonanci pro předlohový hřídel $M_{kprez} := 706.554 \text{ N}\cdot\text{m}$

Krouticí moment na předlohovém hřídeli $M_{kp} := \frac{M_{kprez}}{i_{s1}} = 978.306 \text{ N}\cdot\text{m}$

Stlačení pružiny je vzdálenost x , o kterou se pružina stlačí při maximálním posunutí na roztečné kružnici o 2 zuby.

Poloměr roztečné kružnice $r_{rp} := \frac{d_2}{2} = 0.046 \text{ m}$

Posun o 2 zuby na roztečné kružnici $p_{2z} := 11.86 \text{ mm}$

Poloměr roztečné kružnice pružiny $r_p := 35 \text{ mm}$

Délka stlačení pružiny $x_p := \frac{(r_p \cdot p_{2z})}{r_p} = 9.07 \times 10^{-3} \text{ m}$

Síla stlačení pružiny $F_p := \frac{M_{kp}}{2 \cdot r_p} = 1.398 \times 10^4 \text{ N}$ (Máme 2 pružiny, proto 1/2)

Tuhost pružiny $k_p := \frac{F_p}{x_p} = 1.541 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Velký průměr pružiny $D_{pr} := 5 \text{ mm}$

Počet činných závitů: $n_{ap} := 5$

Výpočet tloušťky drátu $d_p := \sqrt[4]{\frac{(k_p \cdot 8 \cdot D_{pr}^3 \cdot n_{ap})}{G_p}} = 3.118 \text{ mm}$

Pružiny na vrtulovém hřídeli

Přídavný torzní moment v rezonanci pro vrtulový hřídel $M_{kvrez} := 698.92 \text{ N}\cdot\text{m}$

Krouticí moment na vrtulovém hřídeli $M_{kv} := \frac{M_{kvrez}}{i_{s1}^2} = 1.355 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}$

Stlačení pružiny je vzdálenost x , o kterou se pružina stlačí při maximálním posunutí na roztečné kružnici o 2 zuby.

Poloměr roztečné kružnice $r_{rv} := \frac{d_2}{2} = 0.046 \text{ m}$

Posun o 2 zuby na roztečné kružnici $p_{2z} := 11.86 \text{ mm}$

Poloměr roztečné kružnice pružiny $r_v := 35\text{-mm}$

Délka stlačení pružiny $x_v := \frac{(r_v \cdot p_{2z})}{r_{rv}} = 9.07 \times 10^{-3} \text{ m}$

Síla stlačení pružiny $F_v := \frac{M_{kv}}{2 \cdot r_v} = 1.935 \times 10^4 \text{ N}$ (Máme 2 pružiny, proto 1/2)

Tuhost pružiny $k_v := \frac{F_v}{x_v} = 2.133 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Velký průměr pružiny $D_{pr} := 4\text{-mm}$

Počet činných závitů: $n_{av} := 6$

Výpočet tloušťky drátu $d_v := \sqrt[4]{\frac{(k_v \cdot 8 \cdot D_{pr}^3 \cdot n_{av})}{G_p}} = 2.995\text{-mm}$

1.3. Kontrola evolventního drážkování

Předlohový hřídel / drážkovaný spoj na straně pastorku 2. soukolí:

Střední průměr drážkování $d_{s1} := 48.75\text{mm} = 0.049\text{m}$

Činná délka drážky $l_{e1} := (13\text{-mm}) = 0.013\text{m}$

Činná výška drážky $h_{e1} := 0.717\text{mm} = 7.17 \times 10^{-4} \text{ m}$

Počet drážek $z_{e1} := 48$

Síla působící na drážku $F_{e1} := 2 \cdot \frac{M_{kp}}{d_{s1} \cdot z_{e1}} = 836.159\text{N}$

Tlak na stěnu jedné drážky $p_{e1} := \frac{F_{e1}}{l_{e1} \cdot h_{e1}} = 89.707\text{MPa}$

Základní hodnota max. povoleného tlaku pro ocel (tvrzené boky drážek)

$p_{0ocel} := 200\text{-MPa}$

Hodnota dovoleného tlaku pro drážky pro jednosměrné velké rázy

$p_{01} := 0.45 \cdot p_{0ocel} = 90\text{-MPa}$

$p_{e1} < p_{01}$... tedy evolventní drážkování vyhovuje

Předlokový hřídel / drážkovaný spoj na straně kola 1. soukolí:

Střední průměr drážkování $d_{s2} := d_{s1} = 0.049\text{m}$

Činná délka drážky $l_{e2} := 18.156\text{mm}$

Činná výška drážky $h_{e2} := h_{e1} = 7.17 \times 10^{-4}\text{m}$

Počet drážek $z_{e2} := z_{e1} = 48$

Síla působící na drážku $F_{e2} := 2 \frac{M_{kp}}{d_{s2} \cdot z_{e2}} = 836.159\text{N}$

Tlak na stěnu jedné drážky $p_{e2} := \frac{F_{e2}}{l_{e2} \cdot h_{e2}} = 64.232\text{MPa}$

Základní hodnota max. povoleného tlaku pro ocel (tvrzené boky drážek)

$$p_{0\text{ocel}} := 200\text{MPa}$$

Hodnota dovoleného tlaku pro drážky pro jednosměrné velké rázy

$$p_{01} := 0.45 \cdot p_{0\text{ocel}} = 90\text{MPa}$$

$p_{e2} \ll p_{01}$... tedy evolventní drážkování vyhovuje

Vrtulový hřídel/ drážkovaný spoj na straně kola 2. soukolí:

Střední průměr drážkování $d_{s3} := 48.75\text{mm}$

Činná délka drážky $l_{e3} := 18.216\text{mm}$

Činná výška drážky $h_{e3} := h_{e1} = 7.17 \times 10^{-4}\text{m}$

Počet drážek $z_{e3} := 48$

Síla působící na drážku $F_{e3} := 2 \frac{M_{kv}}{d_{s3} \cdot z_{e3}} = 1.158 \times 10^3\text{N}$

Tlak na stěnu jedné drážky $p_{e3} := \frac{F_{e3}}{l_{e3} \cdot h_{e3}} = 88.643\text{MPa}$

Základní hodnota max. povoleného tlaku pro ocel (tvrzené boky drážek)

$$p_{0\text{ocel}} := 200\text{MPa}$$

Hodnota dovoleného tlaku pro drážky pro jednosměrné velké rázy

$$p_{01} := 0.45 \cdot p_{0\text{ocel}} = 90 \text{ MPa}$$

p.e3 << p.01 ... tedy evolventní drážkování vyhovuje

Klikový hřídel/ drážkovaný spoj na straně pastorku 1. soukolí:

Krouticí moment na klikovém hřídeli $M_{kk} := 701.695 \text{ N}\cdot\text{m}$

Střední průměr drážkování $d_{s4} := 39 \text{ mm}$

Činná délka drážky $l_{e4} := 13.646 \text{ mm}$

Činná výška drážky $h_{e4} := 0.5 \text{ mm}$

Počet drážek $z_{e4} := 38$

Síla působící na drážku $F_{e4} := 2 \cdot \frac{M_{kk}}{d_{s4} \cdot z_{e4}} = 946.957 \text{ N}$

Drážkový spoj je v kombinaci s nalisováním a to každý na délce 50% celkové délky spoje, tedy síla působící na drážku v reálu bude asi menší o 50%.

Síla působící na stěnu drážky po zahrnutí předpokladu o části spoje lisovaného

$$F_{e41} := \frac{F_{e4}}{2} = 473.478 \text{ N}$$

Tlak na stěnu jedné drážky $p_{e4} := \frac{F_{e41}}{l_{e4} \cdot h_{e4}} = 69.394 \text{ MPa}$

Základní hodnota max. povoleného tlaku pro ocel (tvrzené boky drážek)

$$p_{0\text{ocel}} := 200 \text{ MPa}$$

Hodnota dovoleného tlaku pro drážky pro jednosměrné velké rázy

$$p_{01} := 0.45 \cdot p_{0\text{ocel}} = 90 \text{ MPa}$$

p.e4 << p.01 ... tedy evolventní drážkování vyhovuje

1.3. Kontrola lisovaných spojů

Klíkový hřídel - pastorek prvního ozubeného soukolí

Hodnoty předahu pro lisované spojení $\delta_{1kl} := 0.1\text{-mm}$

$$\delta_{2kl} := 0.01\text{-mm}$$

Zvolená bezpečnost lisovaného spoje $k_{lkl} := 2.5$

Zvolená statická bezpečnost $k_{skl} := 1.5$

Délka lisovaného spoje $l_{lkl} := 15\text{-mm}$

Rozměry uložení: $D_{kl} := 40\text{-mm}$ $R_{kl} := \frac{D_{kl}}{2} = 20\text{-mm}$

$$d_{0kl} := D_{kl} + \delta_{1kl} = 40.1\text{-mm} \quad r_{0kl} := \frac{d_{0kl}}{2} = 20.05\text{-mm}$$

$$d_{i1kl} := D_{kl} - \delta_{2kl} = 39.99\text{-mm} \quad r_{i1kl} := \frac{d_{i1kl}}{2} = 19.995\text{-mm}$$

Přesah $\delta_{kl} := \delta_{1kl} + \delta_{2kl} = 0.11\text{-mm}$

Součinitel tření pro ocelové součásti, lisované za tepla $f_{kl} := 0.2$

Minimální požadovaný tlak $p_{0kl} := \frac{2 \cdot k_{lkl} \cdot 0.5 M_{kk}}{\pi \cdot D_{kl}^2 \cdot l_{lkl} \cdot f_{kl}} = 116.331\text{MPa}$

Rozměrová charakteristika náboje $C_{Nkl} := \frac{d_1^2 + D_{kl}^2}{d_1^2 - D_{kl}^2} = 2.08$

Maximální přesah $D_{klmax} := D_{kl} \cdot p_{0kl} \frac{C_{Nkl} + 1}{E_{14224}} = 0.07\text{-mm}$

Ztráta přesahu $\Delta d_{zkl} := 1.2 \left(\frac{15}{4} \mu\text{m} + \frac{5}{4} \mu\text{m} \right) = 6 \times 10^{-3} \text{-mm}$

Výpočet skutečného přesahu $\Delta d_{kl} := D_{klmax} + \Delta d_{zkl} = 0.076\text{-mm}$

Kontaktní tlak $p_{kl} := \frac{\Delta d_{kl} \cdot E_{14224}}{D_{kl} \cdot (C_{Nkl} + 1)} = 126.364\text{MPa}$

Podmínka: $p_{kl} \cdot (C_{Nkl} + 1) = 389.199\text{MPa}$

$$\frac{R_{e14224}}{k_{skl}} = 456.667\text{MPa}$$

$$p_{kl} \cdot (C_{Nkl} + 1) < \frac{R_{e14224}}{k_{skl}}$$

Podmínka vyhovuje.

Předlohový hřídel - pastorek druhého ozubeného soukolí

Hodnoty předahu pro lisované spojení $\delta_{1p} := 0.1\text{-mm}$

$$\delta_{2p} := 0.01\text{-mm}$$

Zvolená bezpečnost lisovaného spoje $k_{1p} := 2.5$

Zvolená statická bezpečnost $k_{sp} := 1.5$

Délka lisovaného spoje $l_{1p} := 18\text{-mm}$

Rozměry uložení: $D_p := 50\text{-mm}$ $R_p := \frac{D_p}{2} = 25\text{-mm}$

$$d_{0p} := D_p + \delta_{1p} = 50.1\text{-mm} \quad r_{0p} := \frac{d_{0p}}{2} = 25.05\text{-mm}$$

$$d_{1p} := D_p - \delta_{2p} = 49.99\text{-mm} \quad r_{1p} := \frac{d_{1p}}{2} = 24.995\text{-mm}$$

Přesah $\delta_p := \delta_{1p} + \delta_{2p} = 0.11\text{-mm}$

Součinitel tření pro ocelové součásti, lisované za tepla $f_p := 0.2$

Minimální požadovaný tlak $p_{0p} := \frac{2 \cdot k_{1p} \cdot 0.5 M_{kp}}{\pi \cdot D_p^2 \cdot l_{1p} \cdot f_p} = 86.501\text{MPa}$

Rozměrová charakteristika náboje $C_{Np} := \frac{d_1^2 + D_p^2}{d_1^2 - D_p^2} = 3.424$

Maximální přesah $D_{pmax} := D_p \cdot p_{0p} \frac{C_{Np} + 1}{E_{14224}} = 0.093\text{-mm}$

Ztráta přesahu $\Delta d_{zp} := 1.2 \left(\frac{15}{4} \mu\text{m} + \frac{5}{4} \mu\text{m} \right) = 6 \times 10^{-3} \text{-mm}$

Výpočet skutečného přesahu $\Delta d_p := D_{pmax} + \Delta d_{zp} = 0.099\text{-mm}$

Kontaktní tlak $p_p := \frac{\Delta d_p \cdot E_{14224}}{D_p \cdot (C_{Np} + 1)} = 92.089\text{MPa}$

Podmínka: $p_p \cdot (C_{Np} + 1) = 407.371\text{MPa}$ $\frac{R_{e14224}}{k_{sp}} = 456.667\text{MPa}$

$$p_p \cdot (C_{Np} + 1) < \frac{R_{e14224}}{k_{sp}}$$

Podmínka vyhovuje.

1.4. Výpočet zatížení ložisek

Předlokový hřídel

Délky na hřídeli:

$$a_p := 19.5 \text{ mm}$$

$$b_p := 66 \text{ mm}$$

$$c_p := 24.5 \text{ mm}$$

Rovina X-Y

$$X \quad F_{a2} + F_{a3} - R_{2x} = 0$$

$$Y \quad R_{1y} + R_{2y} - F_{r2} - F_{r3} = 0$$

$$M_{oA} \quad -F_{r2} \cdot a_p - F_{a2} \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right) - F_{r3} \cdot (a_p + b_p) - F_{a3} \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right) + R_{2y} \cdot (a_p + b_p + c_p) = 0$$

$$R_{2x} := F_{a2} + F_{a3} = 7.829 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{2y} := \frac{F_{r2} \cdot a_p + F_{a2} \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right) + F_{r3} \cdot (a_p + b_p) + F_{a3} \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right)}{a_p + b_p + c_p} = 5.641 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{1y} := F_{r2} + F_{r3} - R_{2y} = -164.572 \text{ N}$$

Rovina X-Z

$$Z \quad R_{1z} + F_{t2} - F_{t3} + R_{2z} = 0$$

$$M_{oA} \quad F_{t2} \cdot a_p - F_{t3} \cdot (a_p + b_p) + R_{2z} \cdot (a_p + b_p + c_p) = 0$$

$$R_{2z} := \frac{F_{t3} \cdot (a_p + b_p) - F_{t2} \cdot a_p}{a_p + b_p + c_p} = 5.148 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{1z} := F_{t3} - F_{t2} - R_{2z} = -2.943 \times 10^3 \text{ N}$$

Výsledné radiální síly v ložiskách předlohového hřídele

$$R_{1r} := \sqrt{R_{1y}^2 + R_{1z}^2} = 2.947 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{2r} := \sqrt{R_{2y}^2 + R_{2z}^2} = 7.637 \times 10^3 \text{ N}$$

Axiální síla

$$R_{a2} := R_{2x} = 7.829 \times 10^3 \text{ N}$$

Vrtulový hřídel

Tah vrtule:

Součinitel tahu $c_R := 0.1$

Hustota prostředí (vzduchu) $\rho_v := 1.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Otáčky na výstupu $n_v := n_2 = 3.611 \times 10^3 \frac{1}{\text{min}}$

Průměr vrtule $D_v := 1500 \text{ mm}$

$$F_{vrt} := c_R \cdot \rho_v \cdot n_v^2 \cdot D_v^4 = 2.366 \times 10^3 \text{ N}$$

Rozměry na hřídeli

$$m_{vh} := 28 \text{ mm}$$

$$n_{vh} := 20 \text{ mm}$$

Rovina X-Y

$$X \quad F_{vrt} - F_{a4} - R_{4x} = \blacksquare \cdot 0$$

$$Y \quad F_{r4} - R_{3y} - R_{4y} = \blacksquare \cdot 0$$

$$M_{oL} \quad F_{r4} \cdot m_{vh} - F_{a4} \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right) - R_{4y} \cdot (m_{vh} + n_{vh}) = \blacksquare \cdot 0$$

$$R_{4x} := F_{vrt} - F_{a4} = -2.181 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{4y} := \frac{F_{r4} \cdot m_{vh} - F_{a4} \left(\frac{d_2}{2} \right)}{m_{vh} + n_{vh}} = -2.48 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{3y} := F_{r4} - R_{4y} = 5.66 \times 10^3 \text{ N}$$

Rovina X-Z

$$Z \quad F_{t4} - R_{3z} - R_{4z} = 0$$

$$M_{oL} \quad F_{t4} \cdot m_{vh} - R_{4z} (m_{vh} + n_{vh}) = 0$$

$$R_{4z} := \frac{F_{t4} \cdot m_{vh}}{m_{vh} + n_{vh}} = 4.625 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{3z} := F_{t4} - R_{4z} = 3.304 \times 10^3 \text{ N}$$

Výsledné radiální síly v ložiskách vrtulového hřídele

$$R_{3r} := \sqrt{R_{3y}^2 + R_{3z}^2} = 6.554 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_{4r} := \sqrt{R_{4y}^2 + R_{4z}^2} = 5.248 \times 10^3 \text{ N}$$

Axiální síla

$$R_{a4} := R_{4x} = -2.181 \times 10^3 \text{ N}$$

1.5. Určení životnosti ložisek

Předlokový hřídel

Základní dynamická únosnost:

$$Y_{1P} := \frac{F_{r1}}{F_{a1}} = 0.699$$

$$Y_{2P} := \frac{F_{r2}}{F_{a2}} = 0.699$$

Podmínka:
$$X_{1P} := \left(\frac{0.5 \cdot R_{1r}}{Y_{1P}} \right) + F_{a2} = 5.389 \times 10^3 \text{ N}$$

$$X_{2P} := \frac{0.5 \cdot R_{2r}}{Y_{2P}} = 5.459 \times 10^3 \text{ N}$$

X.1 je menší než X.2 - Vyhovuje!

$$K_{AP} := 0.5 \cdot \left(\frac{F_{r2}}{Y_{2P}} - \frac{F_{r1}}{Y_{1P}} \right) = 0 \text{ N}$$

$$F_{A1} := \frac{0.5 R_{1r}}{Y_{1P}} = 2.107 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{A2} := F_{A1} + K_{AP} = 2.107 \times 10^3 \text{ N}$$

$$P_{1p1} := 0.4 R_{1r} + Y_{2P} \cdot F_{A2} = 3.475 \times 10^3 \text{ N}$$

P.Ap1 je větší než radiální síla na 1. ložisku R.1r, tedy P.Ap1 použijeme za P.Ap

$$P_{1p} := P_{1p1} = 3.475 \times 10^3 \text{ N}$$

$$P_{2p} := R_{2r} = 7.637 \times 10^3 \text{ N}$$

Ložisko 1: SKF 32008 XC/P5

Parametry ložiska: $d_{1A} := 40 \text{ mm}$

$D_{1A} := 68 \text{ mm}$

$T_{1A} := 19 \text{ mm}$

$C_{1A} := 52800 \text{ N}$

$C_{0A} := 71000 \text{ N}$

Trvanlivost Ložiska 1:
$$L_{10A} := \left(\frac{C_{1A}}{P_{1p}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n_2} = 4.012 \times 10^4 \text{ hr}$$

Ložisko 2: SKF 32008 XC/P5

Parametry ložiska: $d_{1B} := 40 \text{ mm}$

$D_{1B} := 68 \text{ mm}$

$T_{1B} := 19 \text{ mm}$

$C_{1B} := 52800 \text{ N}$

$C_{0B} := 71000 \text{ N}$

Trvanlivost Ložiska 2:
$$L_{10B} := \left(\frac{C_{1B}}{P_{2p}} \right)^3 \frac{10^6}{n_2} = 2.906 \times 10^3 \text{ hr}$$

Vrtulový hřídel

Základní dynamická únosnost:
$$Y_{3V} := \frac{F_{r3}}{F_{a3}} = 0.699 \qquad Y_{4V} := \frac{F_{r4}}{F_{a4}} = 0.699$$

Podmínka:
$$X_{3V} := \frac{0.5R_{3r}}{Y_{3V}} = 4.685 \times 10^3 \text{ N}$$

$$X_{4V} := \frac{0.5R_{4r}}{Y_{4V}} + F_{a3} = 8.299 \times 10^3 \text{ N}$$

X.3 je menší než X.4 - Vyhovuje!

$$K_{AV} := 0.5 \left(\frac{F_{r4}}{Y_{4V}} - \frac{F_{r3}}{Y_{3V}} \right) = 0 \text{ N}$$

$$F_{A3} := \frac{0.5R_{4r}}{Y_{4V}} = 3.752 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{A4} := F_{a3} + K_{AV} = 4.547 \times 10^3 \text{ N}$$

$$P_{3v1} := 0.4R_{3r} + Y_{3V} \cdot F_{a3} = 5.802 \times 10^3 \text{ N}$$

P.av1 je menší než radiální síla R.3r na 3. ložisku > proto P.av1 = R.3r

$$P_{3v} := R_{3r} = 6.554 \times 10^3 \text{ N}$$

$$P_{4v} := R_{4r} = 5.248 \times 10^3 \text{ N}$$

Ložisko 3: SKF 32009 XC/P5

Parametry ložiska: $d_{1C} := 45 \text{ mm}$

$$D_{1C} := 75 \text{ mm}$$

$$T_{1C} := 20 \text{ mm}$$

$$C_{1C} := 58300 \text{ N}$$

$$C_{0C} := 80000 \text{ N}$$

Trvanlivost Ložiska 3:
$$L_{10C} := \left(\frac{C_{1C}}{P_{3v}} \right)^{\frac{10}{3}} \frac{10^6}{n_3} = 9.32 \times 10^3 \text{ hr}$$

Ložisko 4: SKF 32009 XC/P5

Parametry ložiska: $d_{1D} := 45\text{mm}$

$D_{1D} := 75\text{mm}$

$T_{1D} := 20\text{mm}$

$C_{1D} := 58300\text{N}$

$C_{0D} := 80000\text{N}$

Trvanlivost Ložiska 4:
$$L_{10D} := \left(\frac{C_{1D}}{P_{4v}} \right)^{\frac{10}{3}} \frac{10^6}{n_3} = 1.955 \times 10^4 \text{ hr}$$

2. Redukce hmotností

Redukovaná hmotnost posuvných částí ojnice: $m_1 := 0.087\text{kg}$

Redukovaná hmotnost rotačních částí ojnice: $m_2 := 0.175\text{kg}$

Hmotnost celé pístní skupiny $m_{psk} := 0.299\text{kg}$

Hmotnost ojničního ložiska: $m_{ol} := 0.031\text{kg}$

Poloměr kliky $r_{kl} := 43.45\text{mm}$

Klikový poměr $\lambda := 0.315$

Momenty setrvačnosti

Moment setrvačnosti předního konce klikového hřídele: $J_{pk} := 197.837\text{kg} \cdot \text{mm}^2$

Moment setrvačnosti řetězového a startovacího ozubeného kola: $J_{ozub} := 693.952\text{kg} \cdot \text{mm}^2$

Moment setrvačnosti řemenice:	$J_{rem} := 2272.036 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti tlumiče	$J_{tl} := 11510 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti zalomení:	$J_{zal} := 4082.959 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti zadního konce:	$J_{zk} := 142.566 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti hnacího kola reduktoru:	$J_{kr1} := 344.992 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti hnaného kola reduktoru:	$J_{kr2} := 974.159 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti druhého hnacího kola reduktoru:	$J_{kr3} := 339.491 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti druhého hnaného kola reduktoru:	$J_{kr4} := 974.143 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti předlokové hřídele:	$J_{ph} := 664.986 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti vrtulového hřídele:	$J_{vh} := 4134.971 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti vrtule:	$J_v := 135166.248 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$

2.1. Redukované momenty setrvačnosti

Redukovaný moment setrvačnosti rotačních částí:	$J_r := (m_2 + m_{ol}) r_{kl}^2$ $J_r = 388.908 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Redukovaný moment setrvačnosti posuvných částí:	$J_p := (m_1 + m_{psk}) \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda^2}{8} \right) r_{kl}^2$ $J_p = 373.404 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Celkový moment setrvačnosti předního konce, startovacího kola a řetězového kola:	$J_0 := J_{pk} + J_{ozut}$ $J_0 = 8.918 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{kg}$
Redukovaný moment setrvačnosti 1. zalomení:	$J_1 := J_{zal} + J_r + J_p$ $J_1 = 4.845 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{mm}^2$
Redukovaný moment setrvačnosti 2. zalomení:	$J_2 := J_{zal} + J_r + J_p$

$$J_2 = 4.845 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti 3. zalomení:

$$J_3 := J_{zal} + J_r + J_p$$

$$J_3 = 4.845 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti 4. zalomení:

$$J_4 := J_{zal} + J_r + J_p$$

$$J_4 = 4.845 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti 5. zalomení:

$$J_5 := J_{zal} + J_r + J_p$$

$$J_5 = 4.845 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti 6. zalomení:

$$J_6 := J_{zal} + J_r + J_p$$

$$J_6 = 4.845 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti zadního konce hřídele s hnacím kolem:

$$J_7 := J_{zk} + J_{kr1}$$

$$J_7 = 4.876 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti prvního hnaného kola reduktoru s předlohou hřídelí:

$$J_8 := \left(J_{kr2} + \frac{J_{ph}}{2} \right) i_{s1}^2$$

$$J_8 = 6.816 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti druhého hnacího kola reduktoru s předlohou hřídelí:

$$J_9 := \left(J_{kr3} + \frac{J_{ph}}{2} \right) i_{s1}^2$$

$$J_9 = 3.505 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Redukovaný moment setrvačnosti na vrtulovém hřídeli:

$$J_{10} := (J_{vh} + J_{kr4}) i_{s1}^4$$

$$J_{10} = 0.00139 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

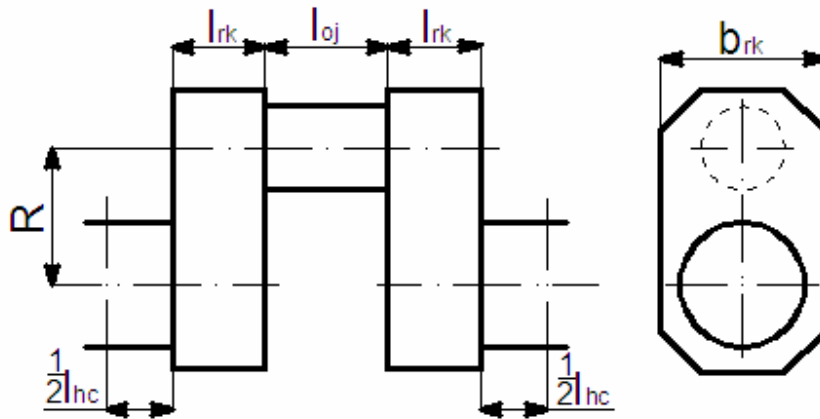
Redukovaný moment setrvačnosti vrtule:

$$J_{11} := J_v (i_{s1})^4$$

$$J_{11} = 0.037 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

2.2. Redukce délek

Redukovaná délka jednoho zalomení:



Průměr hlavního ojničního čepu:

$$D_{hc} := 48\text{-mm}$$

Redukovaný průměr se volí stejný jako průměr hlavního čepu:

$$D_{red} := D_{hc}$$

Průměr ojničního čepu:

$$D_{oc} := 42\text{-mm}$$

Délka hlavního čepu:

$$l_{hc} := 22\text{-mm}$$

Délka ojničního čepu:

$$l_{oc} := 20\text{mm}$$

Délka ramene kliky:

$$l_{rk} := 20\text{mm}$$

Šířka ramene kliky:

$$b_{rk} := 60\text{mm}$$

Mechanické vlastnosti oceli pro hřídele

Modul pružnosti v tahu

$$E := 212000\text{MPa}$$

Modul pružnosti ve smyku

$$G := 80796\text{MPa}$$

Redukovaná délka zalomení klikového hřídele

$$l_{red.z} := D_{red} \cdot 4 \left[\frac{l_{hc} + 0.4 \cdot D_{hc}}{D_{hc}^4} + \frac{l_{oc} + 0.4 \cdot D_{oc}}{D_{oc}^4} - \frac{r_{kl} - 0.2(D_{hc} + D_{oc})}{l_{rk} \cdot b_{rk}^3} \right]$$

$$l_{red.z} = 0.073\text{m}$$

Redukovaná délka na straně startovacího ozubeného kola

Vnější průměr předního konce klikového hřídele:

$$d_{pk1} := 46\text{mm}$$

Vnitřní průměr předního konce klikového hřídele:

$$d_{pk2} := 38\text{-mm}$$

Délka menší části hřídele:

$$l_{pk1} := 29\text{-mm}$$

$$l_{pk2} := 63.5\text{-mm}$$

$$\zeta := 0.05\epsilon$$

$$l_{red.oz} := \frac{1}{2} \cdot l_{hc} + \frac{1}{2} \cdot l_{red.z} + (l_{pk1} + \zeta \cdot d_{pk2}) \frac{D_{red}^4}{d_{pk1}^4} + (l_{pk2} - \zeta \cdot d_{pk1}) \frac{D_{red}^4}{d_{pk2}^4}$$

$$l_{red.oz} = 0.239\text{m}$$

Redukovaná délka zadního konce hřídele a hnacího kola reduktoru

Délka výstupního konce hřídele:

$$l_{vk1} := 38\text{-mm}$$

Délka většího konce výstupního hřídele:

$$l_{vk2} := 20\text{-mm}$$

Průměr zadního konce hřídele:

$$d_{vk} := 40\text{-mm}$$

Průměr díry zadního konce hřídele:

$$d_{vk1} := 22\text{-mm}$$

Průměr většího konce hřídele:

$$d_{vk2} := 48\text{-mm}$$

Šířka hnacího kola:

$$t_k := 30\text{mm}$$

Průměr hlavové kružnice hnacího kola:

$$D_k := 71.8\text{-mm}$$

$$l_{redkr} := \frac{1}{2} \cdot l_{hc} + \frac{1}{2} \cdot l_{red.z} + l_{vk1} \frac{D_{red}^4}{d_{vk}^4 - d_{vk1}^4} + l_{vk2} \frac{D_{red}^4}{d_{vk}^4}$$

$$l_{redkr} = 0.154\text{m}$$

Redukovaná délka předlohového hřídele

Délka předlohového hřídele:

$$l_p := 81\text{-mm}$$

Průměr předlohového hřídele:

$$D_p := 50\text{-mm}$$

Průměr díry v předlohovém hřídeli

$$D_{p1} := 20\text{mm}$$

$$I_{\text{redP}} := \left(I_p \frac{D_{\text{red}}^4}{D_p^4 - D_{p1}^4} \right)$$

$$I_{\text{redP}} = 0.071 \text{m}^4$$

Redukovaná délka vrtulového hřídele

Šířka druhého hnaného ozubeného kola:

$$t_{\text{ho}} := 20 \text{mm}$$

Průměr druhého hnaného ozubeného kola:

$$D_{2\text{ho}} := 97 \text{mm}$$

Délka vrtulového hřídele:

$$l_{\text{vh}} := 90 \text{mm}$$

Průměr vrtulového hřídele:

$$D_{\text{vh}} := 121 \text{mm}$$

Průměr díry ve vrtulovém hřídeli

$$D_{\text{vh1}} := 42.76 \text{mm}$$

Funkční délka příruby unašeče

$$l_{\text{vh2}} := 64.5 \text{mm}$$

$$I_{\text{redVr}} := \left(l_{\text{vh}} + \frac{l_{\text{vh2}}}{2} \frac{D_{\text{red}}^4}{D_{\text{vh}}^4 - D_{\text{vh1}}^4} \right)$$

$$I_{\text{redVr}} = 0.091 \text{m}^4$$

2.3. Torzní tuhosti

Polární moment setrvačnosti redukovaného hřídele:

$$I_p := \frac{\pi \cdot D_{\text{red}}^4}{32} \quad I_p = 5.212 \times 10^{-7} \text{m}^4$$

Torzní tuhost předního konce klikového hřídele:

$$c_0 := \frac{G \cdot I_p}{I_{\text{red.oz}}} \quad c_0 = 175.862 \text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost 1. zalomení klikového hřídele:

$$c_1 := \frac{G \cdot I_p}{I_{\text{red.z}}} \quad c_1 = 579.139 \text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost 2. zalomení klikového hřídele:

$$c_2 := \frac{G \cdot I_p}{I_{\text{red.z}}} \quad c_2 = 579.139 \text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost 3. zalomení klikového hřídele:

$$c_3 := \frac{G \cdot I_p}{l_{\text{red.z}}} \quad c_3 = 579.139 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost 4. zalomení klikového hřídele:

$$c_4 := \frac{G \cdot I_p}{l_{\text{red.z}}} \quad c_4 = 579.139 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost 5. zalomení klikového hřídele:

$$c_5 := \frac{G \cdot I_p}{l_{\text{red.z}}} \quad c_5 = 579.139 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost zadního konce s hnacím kolem reduktoru:

$$c_6 := \frac{G \cdot I_p}{l_{\text{redkr}}} \quad c_6 = 273.269 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost předlohového hřídele s hnacím kolem:

$$c_8 := \left(\frac{G \cdot I_p}{l_{\text{redp}}} \right)_{i_{s1}}^2 \quad c_8 = 596.379 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Torzní tuhost vrtulového hnacího hřídele:

$$c_{10} := \left(\frac{G \cdot I_p}{l_{\text{redvr}}} \right)_{i_{s1}}^4 \quad c_{10} = 463.676 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Tuhost tlumiče

$$c_{11} := 24.396 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

2.4. Torzní tuhosti zubů ozubeného soukolí

Pastorek

Výška zubu hnacího kola: $h_{z1} := \frac{(d_{a1} - d_{f1})}{2} = 4.565 \text{ mm}$

Délka zubu hnacího kola: $b_{z1} := 22.782 \text{ mm}$

Plocha průřezu zubu: $S_1 := 77.489 \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti průřezu zubu: $I_{z1} := b_{z1} \frac{h_{z1}^3}{12} = 1.806 \times 10^{-10} \text{ m}^4$

Tuhost zubu na hnacím kole:

$$\text{inv}C_{z1} := \left(\frac{h_{z1}}{S_1 \cdot G_{14224} \frac{5}{6}} \right) + \frac{h_{z1}^3}{3 \cdot E_{14224} \cdot I_{z1}} = 1.745 \times 10^{-9} \frac{\text{s}^2}{\text{kg}}$$

$$C_{z1} := \frac{1}{\text{inv}C_{z1}} = 5.732 \times 10^8 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

Kolo

Výška zubu hnaného kola:

$$h_{z2} := \frac{(d_{a2} - d_{f2})}{2} = 5.39 \text{mm}$$

Délka zubu hnaného kola:

$$b_{z2} := 22.815 \text{mm}$$

Plocha průřezu zubu:

$$S_2 := 77.802 \text{mm}^2$$

Moment setrvačnosti průřezu zubu:

$$I_{z2} := b_{z2} \frac{h_{z2}^3}{12} = 2.977 \times 10^{-10} \text{m}^4$$

Tuhost zubu na hnaném kole:

$$\text{inv}C_{z2} := \left(\frac{h_{z2}}{S_2 \cdot G_{14224} \frac{5}{6}} \right) + \frac{h_{z2}^3}{3 \cdot E_{14224} \cdot I_{z2}} = 1.9 \times 10^{-9} \frac{\text{s}^2}{\text{kg}}$$

$$C_{z2} := \frac{1}{\text{inv}C_{z2}} = 5.262 \times 10^8 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

Torzní tuhost ozubeného soukolí

$$\xi_{\text{op}} := \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \cdot (\text{inv}C_{z1} + \text{inv}C_{z2})^{-1} = 312.97 \text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Výsledná tuhost jednotlivých ozubených soukolí

$$c_7 := 2 \cdot \xi_{\text{op}} \qquad c_7 = 625.94 \text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

$$c_9 := 2 \cdot \xi_{\text{op}} \cdot i_{s1}^2 \qquad c_9 = 326.493 \text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Kontrolní přepočítání na redukované délky

Polární moment setrvačnosti redukovaného průřezu:

$$J_{p1} := 5.21210^{-7} \text{m}^4$$

Průměr redukovaného průřezu:

$$d_{\text{red}} := 48 \text{mm}$$

Matrice tuhosti:

$$C_t := \begin{pmatrix} c_{11} & -c_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_{11} & c_{11} + c_0 & -c_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_0 & c_0 + c_1 & -c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 & -c_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 + c_6 & -c_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_6 & c_6 + c_7 & -c_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_7 & c_7 + c_8 & -c_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_8 & c_8 + c_9 & -c_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_9 & c_9 + c_{10} & -c_{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_{10} & c_{10} \end{pmatrix}$$

$$A_t := M_t^{-1} \cdot C_t$$

$$\chi_t := \text{eigenvals}(A_t)$$

$$\psi_t := \sqrt{\chi_t}$$

Vektor vlastních frekvencí:

	0
0	$3.782 \cdot 10^9$
1	$2.228 \cdot 10^9$
2	$6.304 \cdot 10^8$
3	$4.491 \cdot 10^8$
4	$3.742 \cdot 10^8$
5	$2.952 \cdot 10^8$
6	$2.522 \cdot 10^8$
7	$2.011 \cdot 10^8$
8	$1.12 \cdot 10^8$
9	$3.599 \cdot 10^7$
10	$1.077 \cdot 10^{-7}$
11	$1.658 \cdot 10^6$
12	$4.961 \cdot 10^6$

$\chi_t =$ $\cdot \text{sec}^{-2}$

	0
0	$6.15 \cdot 10^4$
1	$4.72 \cdot 10^4$
2	$2.511 \cdot 10^4$
3	$2.119 \cdot 10^4$
4	$1.934 \cdot 10^4$
5	$1.718 \cdot 10^4$
6	$1.588 \cdot 10^4$
7	$1.418 \cdot 10^4$
8	$1.058 \cdot 10^4$
9	$5.999 \cdot 10^3$
10	$3.283 \cdot 10^{-4}$
11	$1.288 \cdot 10^3$
12	$2.227 \cdot 10^3$

$\psi_t =$ $\cdot \text{sec}^{-1}$

Modální matice:

wt := eigenvecs(At)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	-0	0	-0	0	-0	0	-0.005
1	0	-0	0	-0	0	-0	0.001	-0.02
2	-0	0	-0	0.001	-0.003	0.008	-0.024	0.072
3	0.001	-0.165	0.187	-0.409	0.532	-0.526	0.391	-0.162
4	0.002	-0.417	0.316	-0.451	0.194	0.232	-0.456	0.284
5	0.005	-0.638	0.228	-0.072	-0.194	0.163	0.118	-0.218
6	0.005	-0.57	0.079	0.109	-0.091	-0.099	0.102	0.088
7	-0.006	0.6	0.072	-0.21	-0.139	0.165	0.192	-0.105
8	-0.01	0.51	0.292	-0.048	-0.343	-0.317	0.006	0.323
9	0.027	-0.428	-0.413	-0.284	-0.07	0.166	0.351	0.431
10	-0.277	-0.277	-0.277	-0.277	-0.277	-0.277	-0.277	-0.277
11	0.862	0.188	0.092	0.062	0.031	-0	-0.032	-0.063
12	0.241	-0.323	-0.393	-0.398	-0.387	-0.359	-0.317	...

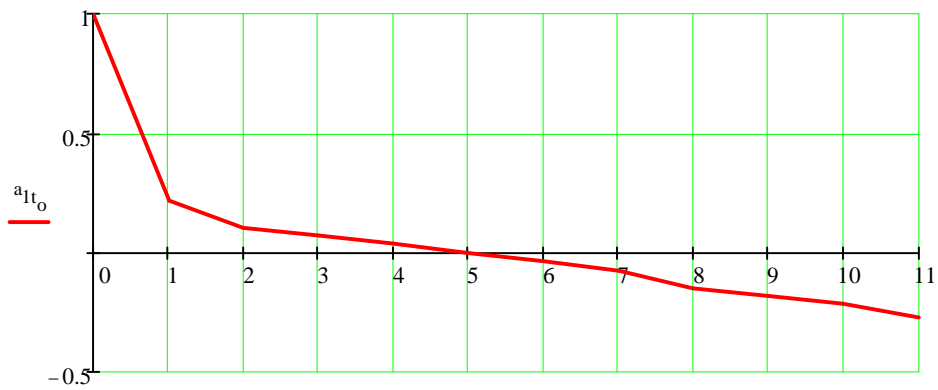
o := 0..11

3.1. Tvary vlastních torzních výchylek

První tvar vlastních torzních výchylek:

$$a_{1t_o} := \frac{wt_{o,11}}{wt_{0,11}}$$

	0
0	1
1	0.218
2	0.107
3	0.072
4	0.036
5	-2.788·10 ⁻⁴
6	-0.037
7	-0.073
8	-0.147
9	-0.179
10	-0.213
11	-0.273



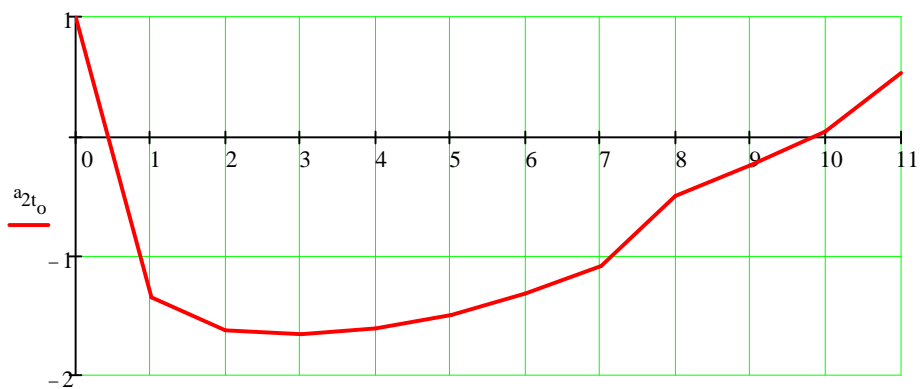
o

Druhý tvar vlastních torzních výchylek:

$$a_{2t_o} := \frac{wt_{o,12}}{wt_{0,12}}$$

	0
0	1
1	-1.341
2	-1.632
3	-1.652
4	-1.604
5	-1.49
6	-1.313
7	-1.083
8	-0.498
9	-0.241
10	0.03
11	0.526

$a_{2t} =$



o

3.2. Vlastní frekvence

První vlastní úhlová frekvence:

$$\psi_{11}^t = 1.288 \times 10^3 \frac{1}{s}$$

$$N_{1t} := \frac{\psi_{11}^t}{2\pi}$$

$$N_{1t} = 204.954\text{Hz}$$

Druhá vlastní úhlová frekvence:

$$\psi_{12}^t = 2.227 \times 10^3 \frac{1}{s}$$

$$N_{2t} := \frac{\psi_{12}^t}{2\pi}$$

$$N_{2t} = 354.489\text{Hz}$$

3.3. Rezonanční otáčky motoru

Rezonanční otáčky pro 1. vlastní frekvenci:

$$n_{1\text{trez}}(\kappa) := \frac{N_{1t}}{\kappa}$$

Rezonanční otáčky pro 2. vlastní frekvenci:

$$n_{2\text{trez}}(\kappa) := \frac{N_{2t}}{\kappa}$$

$\kappa := 0.5, 1.. 12$

$\kappa =$	$n_{1\text{trez}}(\kappa) =$	$n_{2\text{trez}}(\kappa) =$
0.5	24594	42539
1	12297	21269
1.5	8198	14180
2	6149	10635
2.5	4919	8508
3	4099	7090
3.5	3513	6077
4	3074	5317
4.5	2733	4727
5	2459	4254
5.5	2236	3867
6	2050	3545
6.5	1892	3272
7	1757	3038
7.5	1640	2836
8	1537	2659
8.5	1447	2502
9	1366	2363
9.5	1294	2239
10	1230	2127
10.5	1171	2026
11	1118	1934
11.5	1069	1850
12	1025	1772

4. Výpočet tuhosti ložiska (MKP)

Radiální síly pro zatížení beamů: $F_{pn1} := F_{r1} = 2.296 \times 10^3 \text{ N}$

$$F_{pn2} := F_{r3} = 3.18 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{pn} := F_{pn2} = 3.18 \times 10^3 \text{ N}$$

Ložisková vůle $c_L := 140 \mu\text{m} = 0.14 \text{ mm}$

$$\Phi_{pl} := \frac{0.5 \cdot F_{pn}}{0.8 \cdot c_L} = 1.42 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

5. Řešení únavové životnosti metodou LSA

Materiálové charakteristiky hřídele: $\sigma_{ct} := 495 \text{ MPa}$

$$\sigma_{co} := 525 \text{ MPa}$$

$$R_e := 900 \text{ MPa}$$

$$R_m := 1283 \text{ MPa}$$

Pravděpodobnost přežití $\nu_\sigma := 0.75$

Vliv velikosti $\eta_\sigma := 0.89$

Průměr zkoušeného vzorku $d_{vz} := 7.5 \text{ mm}$

5.1 Předlohoví hřídel

5.1.1. Silové a momentové zatížení s tlumičem

Maximální působící síla: $F_{pmax} := 2295.638 \text{ N}$

Maximální kroutící moment předlohového hřídele $M_{kmax} := 978.6 \text{ N}\cdot\text{m}$

Minimální kroutící moment předlohového hřídele $M_{kmin} := -210.8 \text{ N}\cdot\text{m}$

5.1.2. Určení součinitelů

Redukované napětí v bodě 1: $\sigma_{eXp} := 545.5340 \text{ MPa}$

Redukované napětí v bodě 2:

$$\sigma_{eX1p} := 104.534176 \text{ MPa}$$

Vzdálenost mezi body:

$$XX_p := 2.5 \text{ mm}$$

Poměrný gradient:

$$\chi_{Rp} := \frac{1}{\sigma_{eXp}} \cdot \left(\frac{\sigma_{eXp} - \sigma_{eX1p}}{XX_p} \right) = 0.323 \text{ mm}^{-1}$$

Korekční součinitel:

$$f_{Gp} := 1 + \frac{\frac{\sigma_{co}}{\sigma_{ct}} - 1}{\frac{2}{d_{vz}}} \cdot \chi_{Rp} = 1.073$$

Poměr β/α :

$$\beta\alpha_p := 1 + \sqrt{0.28210} - \left(0.35 + \frac{900}{810} \right) = 1.018$$

5.1.3. Výsledné zátěžné stavy pro předlokový hřídel

1. Zátěžný stav:

Redukované napětí:

$$\sigma_{VMp1} := 545.53408 \text{ MPa}$$

První hlavní napětí:

$$\sigma_{1p1} := 450.626592 \text{ MPa}$$

Třetí hlavní napětí:

$$\sigma_{3p1} := -194.284576 \text{ MPa}$$

2. Zátěžný stav:

Redukované napětí:

$$\sigma_{VMp2} := 158.200712 \text{ MPa}$$

První hlavní napětí:

$$\sigma_{1p2} := 81.475856 \text{ MPa}$$

Třetí hlavní napětí:

$$\sigma_{3p2} := -96.298528 \text{ MPa}$$

Extremní hodnota ekvivaletního napětí:

$$\sigma_{emaxp} := \text{sign}(\sigma_{1p1}) \cdot \sigma_{VMp1} = 545.534 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eminp} := \text{sign}(\sigma_{1p2}) \cdot \sigma_{VMp2} = 158.201 \text{ MPa}$$

Amplituda napětí:

$$\sigma_{eap} := \frac{\sigma_{emaxp} - \sigma_{eminp}}{2} = 193.667 \text{ MPa}$$

Střední hodnota napětí:

$$\sigma_{\text{emp}} := \frac{\sigma_{\text{emaxp}} + \sigma_{\text{eminp}}}{2} = 351.867 \text{MPa}$$

Sočinitel únavové bezpečnosti:

$$k_p := \left(\beta \alpha_p \frac{\sigma_{\text{eap}}}{\sigma_{\text{ct}} \cdot \eta \cdot \sigma \cdot \sigma_{\text{fGp}}} + \frac{\sigma_{\text{emp}}}{R_m} \right)^{-1} = 1.204$$

Po zakalení rádiusů: $k_{pk} := 1.3 \cdot k_p = 1.566$

5.2. Vrtulový hřídel

5.2.1. Silové a momentové zatížení

Maximální silové zatížení: $F_{\text{pmaxv}} := 3180.415 \text{N}$

Maximální kroutící moment vrtulového hřídele $M_{\text{kmaxv}} := 1340.8 \text{N} \cdot \text{m}$

Minimální kroutící moment vrtulového hřídele $M_{\text{kminv}} := -283.4 \text{N} \cdot \text{m}$

5.2.2. Určení součinitelů

Redukované napětí v bodě 1: $\sigma_{\text{eXv}} := 543.92928 \text{MPa}$

Redukované napětí v bodě 2: $\sigma_{\text{eX1v}} := 139.927104 \text{MPa}$

Vzdálenost mezi body: $XX_v := 2.6 \text{mm}$

Poměrný gradient: $\chi_{Rv} := \frac{1}{\sigma_{\text{eXv}}} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{eXv}} - \sigma_{\text{eX1v}}}{XX_v} \right) = 0.286 \text{mm}^{-1}$

Korekční součinitel:

$$f_{Gv} := 1 + \frac{\frac{\sigma_{\text{co}}}{\sigma_{\text{ct}}} - 1}{\frac{2}{d_{vz}}} \cdot \chi_{Rv} = 1.065$$

Poměr β/α :

$$\beta \alpha := 1 + \sqrt{0.23510} \cdot \left(0.35 + \frac{900}{810} \right) = 1.017$$

5.2.3. Výsledné zátěžné stavy pro vrtulový hřídel

1. Zátěžný stav:

Redukované napětí: $\sigma_{VMv1} := 543.92928 \text{MPa}$

První hlavní napětí: $\sigma_{1v1} := 283.66032 \text{MPa}$

Třetí hlavní napětí: $\sigma_{3v1} := -348.3488 \text{MPa}$

2. Zátěžný stav:

Redukované napětí: $\sigma_{VMv2} := 165.45732 \text{MPa}$

První hlavní napětí: $\sigma_{1v2} := 96.890584 \text{MPa}$

Třetí hlavní napětí: $\sigma_{3v2} := -66.427952 \text{MPa}$

Extremní hodnota ekvivaletního napětí:

$$\sigma_{\text{emaxv}} := \text{sign}(\sigma_{1v1}) \cdot \sigma_{VMv1} = 543.929 \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{eminv}} := \text{sign}(\sigma_{1v2}) \cdot \sigma_{VMv2} = 165.457 \text{MPa}$$

Amplituda napětí:

$$\sigma_{\text{eav}} := \frac{\sigma_{\text{emaxv}} - \sigma_{\text{eminv}}}{2} = 189.236 \text{MPa}$$

Střední hodnota napětí:

$$\sigma_{\text{emv}} := \frac{\sigma_{\text{emaxv}} + \sigma_{\text{eminv}}}{2} = 354.693 \text{MPa}$$

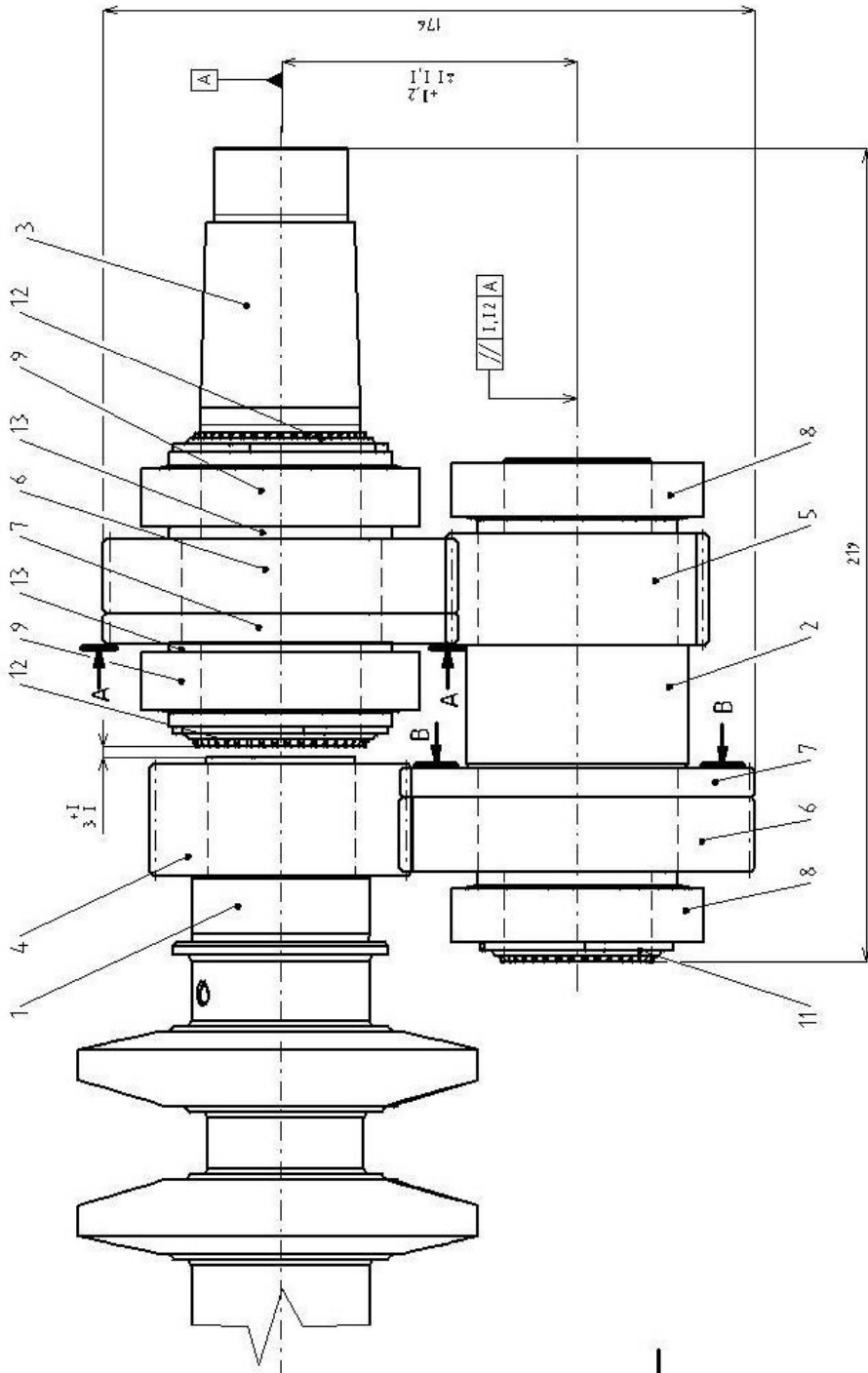
Sočinitel únavové bezpečnosti:

$$k_{vv} := \left(\beta \alpha_f \frac{\sigma_{\text{eav}}}{\sigma_{\text{ct}} \eta_{\sigma} \nu_{\sigma} f_{Gv}} + \frac{\sigma_{\text{emv}}}{R_m} \right)^{-1} = 1.215$$

Po zakalení rádiusů: $k_{vk} := 1.3 k_{vv} = 1.579$

PŘÍLOHA 3 - VÝROBNÍ VÝKRESY JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ.

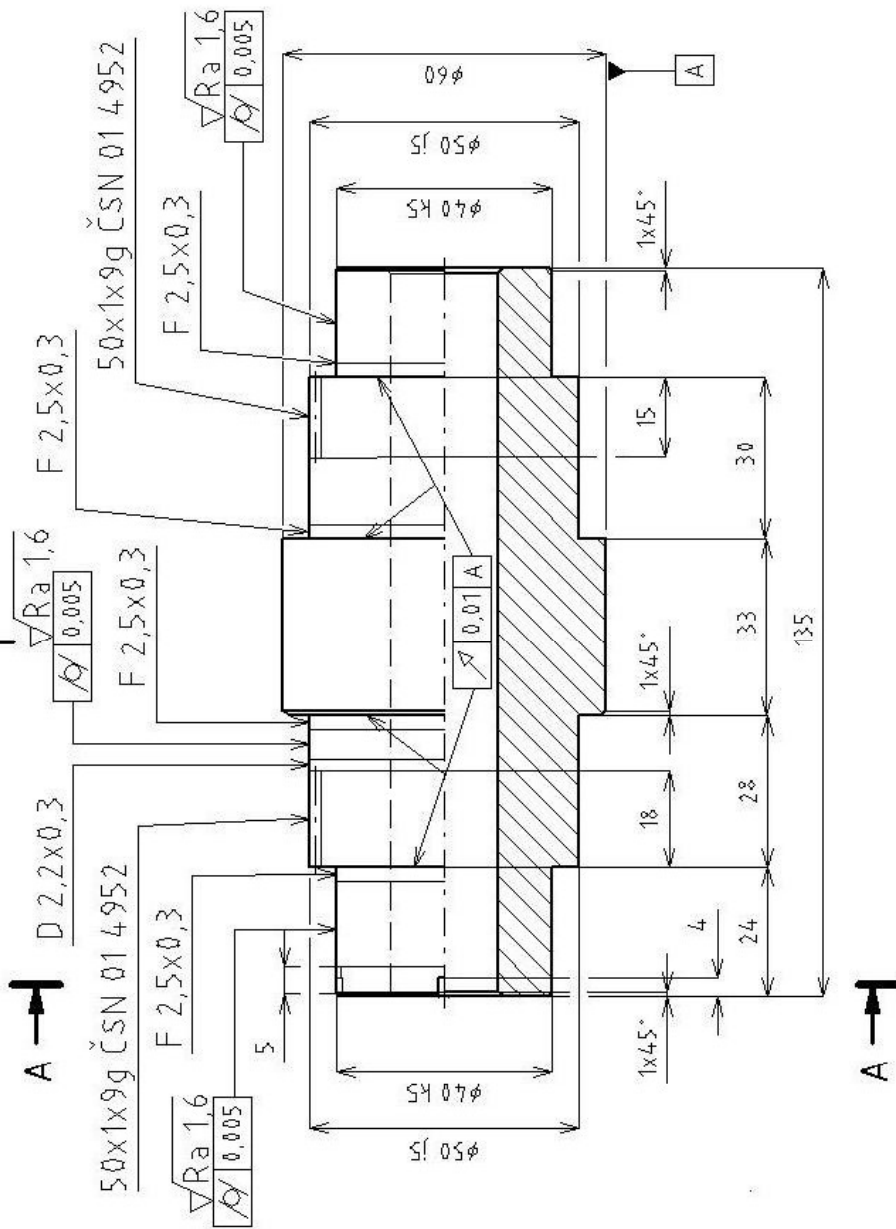
Příloha 3 obsahuje zmenšené kopie výkresů jednotlivých součástí navrhnutého reduktoru.



A-A, B-B (1 : 1)

14					kg
13	DIŠTANČNÍ KROUŽEK 4-5031-1P	1511			1,12 kg 2
12	MATICE 45 4-5031-1B	1511			1,12 kg 2
11	MATICE 41 4-5031-17	1511			1,11 kg 1
11	PRUŽINA ČSN EN 13914-1 11271-2				kg 4
9	LOŽÍŠKO 5KF 32119 XC/PS ČSN 12 4721				kg 2
8	LOŽÍŠKO 5KF 32112 XC/PS ČSN 12 4721				kg 2
7	VLOŽENÉ KOLO 3-5031-14	14224			1,19 kg 2
6	KOLO 3-5031-15	14224			1,59 kg 2
5	PAŠTORĚK 2 3-5031-14	14224			1,39 kg 1
4	PAŠTORĚK 1 3-5031-13	14224			1,54 kg 1
3	VRTULOVÝ HRÍDEL 3-5031-12	15142			1,71 kg 1
2	PŘEDLOHOVÝ HRÍDEL 3-5031-11	15142			1,49 kg 1
1	KLIKOVÝ HRÍDEL 1-50/31-15/13	42 CRM04			18,94 kg 1
Číslo	Název - označení	Palchovar			Hmot. / Mh.ž.
Podč.	Výšers - nomen	Materiál			

Struktura povrchu	Měřítko	Přesnost	Materiál	
	1:1	Tolerování	Palchovar	
		Profilování	Hmotnost	7,241 kg
Průřez dokumentu	Výkres sestavy		Název	REDUKTOR
	Kreslí	Lukáš Nevšák	Číslo dokumentu	2-5031-00
	Číslo			
	Přihl. vydání	18.5.2013		

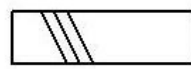
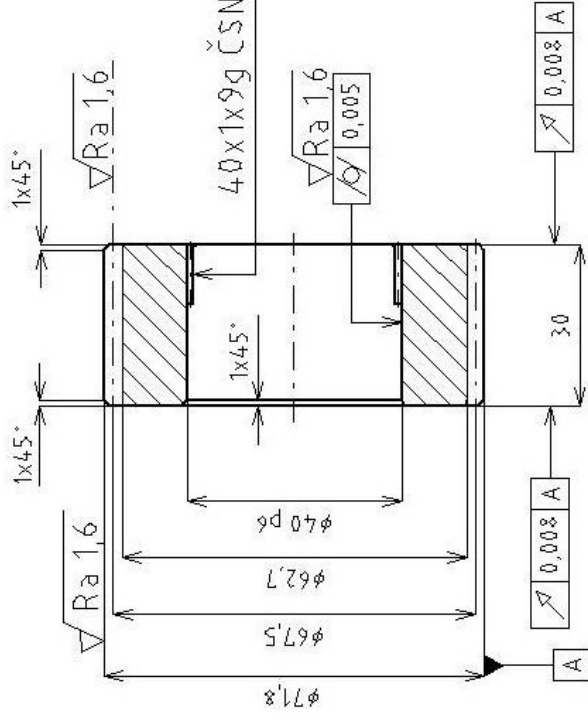


A-A (1:1)

Rádiusy kaleny na HRC 60

Struktura povrchu: $\sqrt{Ra} 3,2$	Měřítka	Přesnost ISO2768-mH	Materiál 15142
	1:1	Tolerování ISO8115	Paltevar Výkovek č.1
		Přeměšší	Hmotnost 1,69 kg
Druh dokumentu Kresil Lukáš Novák		Název PŘEDLOHOVÝ HŘÍDEL	
Schválit		Číslo dokumentu 3-5030-01	
Datum vydání 18.5.2013			

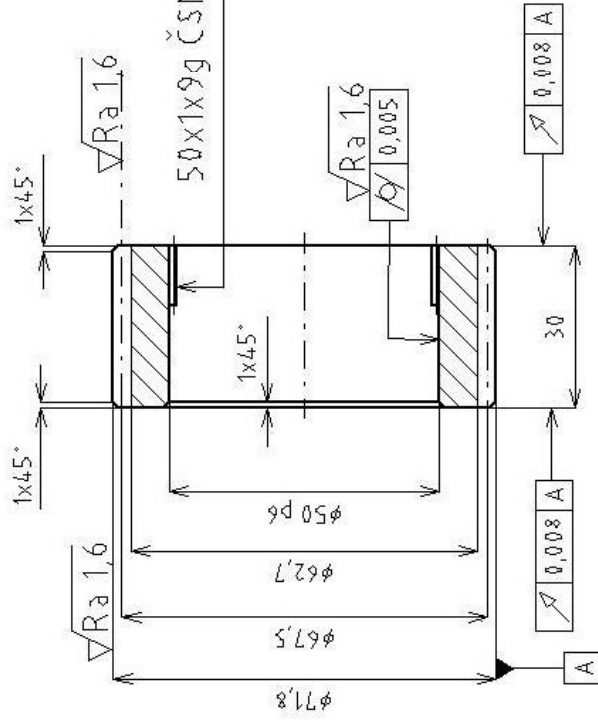
40x1x9g ČSN 01 4952



Povrch zubů cementován a kalen na HRC 60

Modul	m	1,5
Počet zubů	z	39
Normální základní profil		ČSN 14617
Úhel sklonu boční křivky zubu	β	31
Směr sfoupnutí boční křivky zubu		VPRÁVO
Jednotlivé posunutí	x	-1,15
Stupeň přesnosti podle		
Kontrolované	F''_i	
zvané	f''_i	
mezni	F_g	
úchytky	f_g	
Kontrolní	E_s''	
rozměr	E_g''	
Společná		3-503-15
řající	z	54
kolo	a_w	81
Modul čelní	m_y	
Pačet zubů hřebenu, segmentu	z	
Průměr základní kružnice	d_b	62,27
Průměr rozřezné kružnice	d	67,55
Průměr patní kružnice	d_f	62,67
Úhel sklonu boční křivky zubu na základním válci	β	31
Úhel os	Σ	

Struktura povrchu:	√Ra 3,2	Měřítko	1:1	Přesnost ISO 2768-mH	Materiál	14.22.4
				Tolerování ISO 8115	Palatovar odlitek Č.1	
				Promítání	Hmotnost	1,561 kg
Druh dokumentu	Výkres součásti	Název	PASTOREK 1			
Kreslil	Lukáš Novák					
Schválil		Číslo dokumentu	3-5030-03			
Datum vydání	18.5.2013		List 1/1			

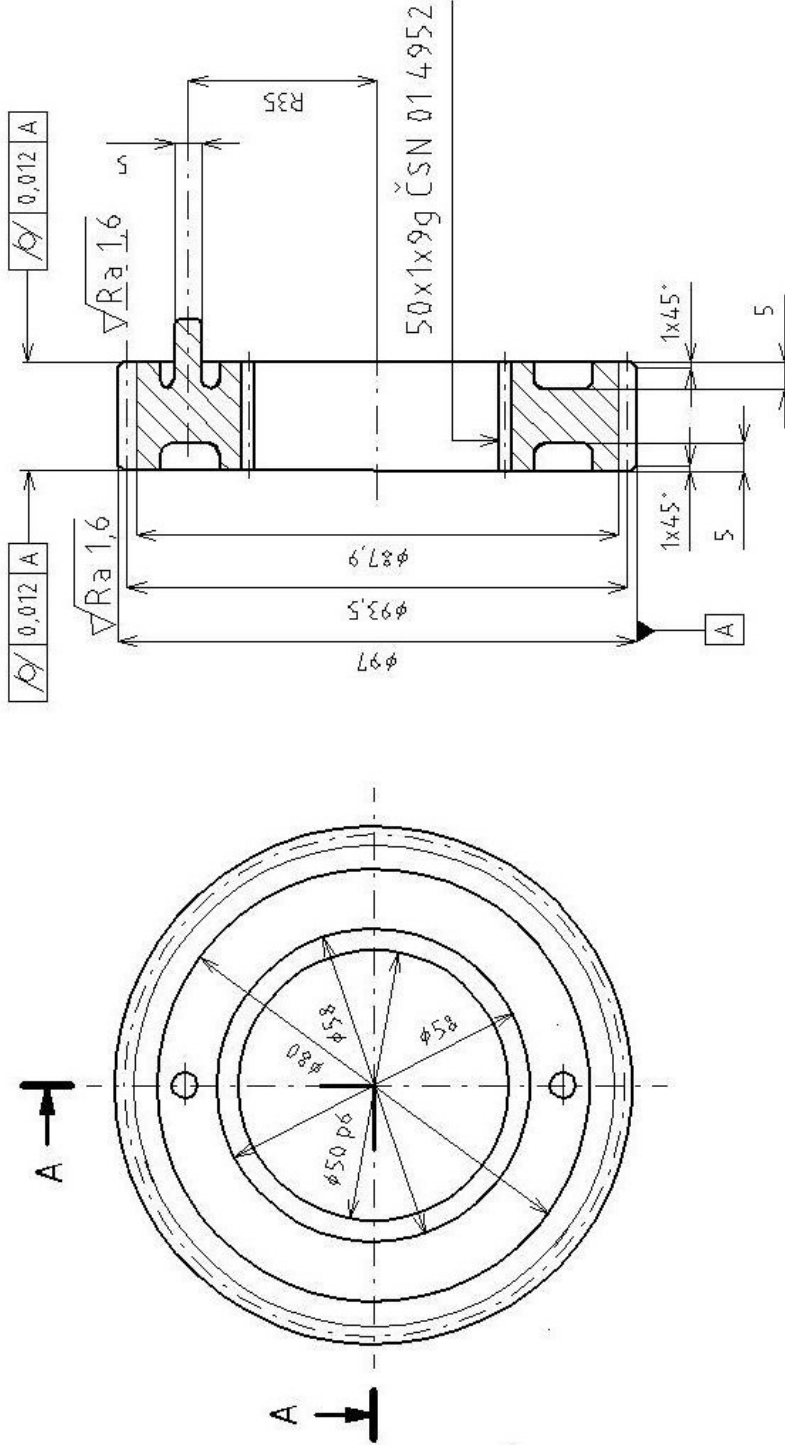


Povrch zubů cementován a kalen na HRC 60

Modul	m	1,5
Počet zubů	z	39
Normální základní profil		ČSN 11 4617
Úhel sklonu boční křivky zubu	β	31
Smysl stoup. boční křivky zubu		VPRÁVO
Jednotlivé posunutí	x	-1,15
Stupeň přesnosti podle		
dvoubobého odvalu	F''	
za otáčku	f''	
dvoubobého odvalu	F_g	
za rozteč	f_g	
sklonu zubu		
vzdálenosti os		
mezi úchytkami	E_a''	
jin. vzdál. os	E_g''	
přes zuby		
číslo výřezu		3-5031-15
Spokuzabí- rající kolo	z	54
počet zubů		81
vzdálenost os	a_w	
Modul čelní	m_f	
Počet zubů hřebenu, segmentu	z	
Průměr základní kružnice	d_b	62,27
Průměr roztečné kružnice	d	67,55
Průměr patní kružnice	d_f	62,67
Úhel sklonu boční křivky zubu na základním válci	$\beta \dots$	31
Úhel os	Σ	1

Struktura povrchu:	Nářtka	Přehnat	ISO 2768-mH	Material	14.224
$\sqrt{Ra} 3,2$	1:1	Tolerování	ISO 8115	Palutovar	odlítak č.2
		Přemítání		Hmotnost	1,391 kg
Druh dokumentu	Výkres součásti	Název	PASTOREK 2		
Kreslil	Lukáš Novák	Číslo dokumentu	3-5030-04		
Šchválil		Datum vydání	18.5.2013		
			List 1/1		

A-A (1:1)



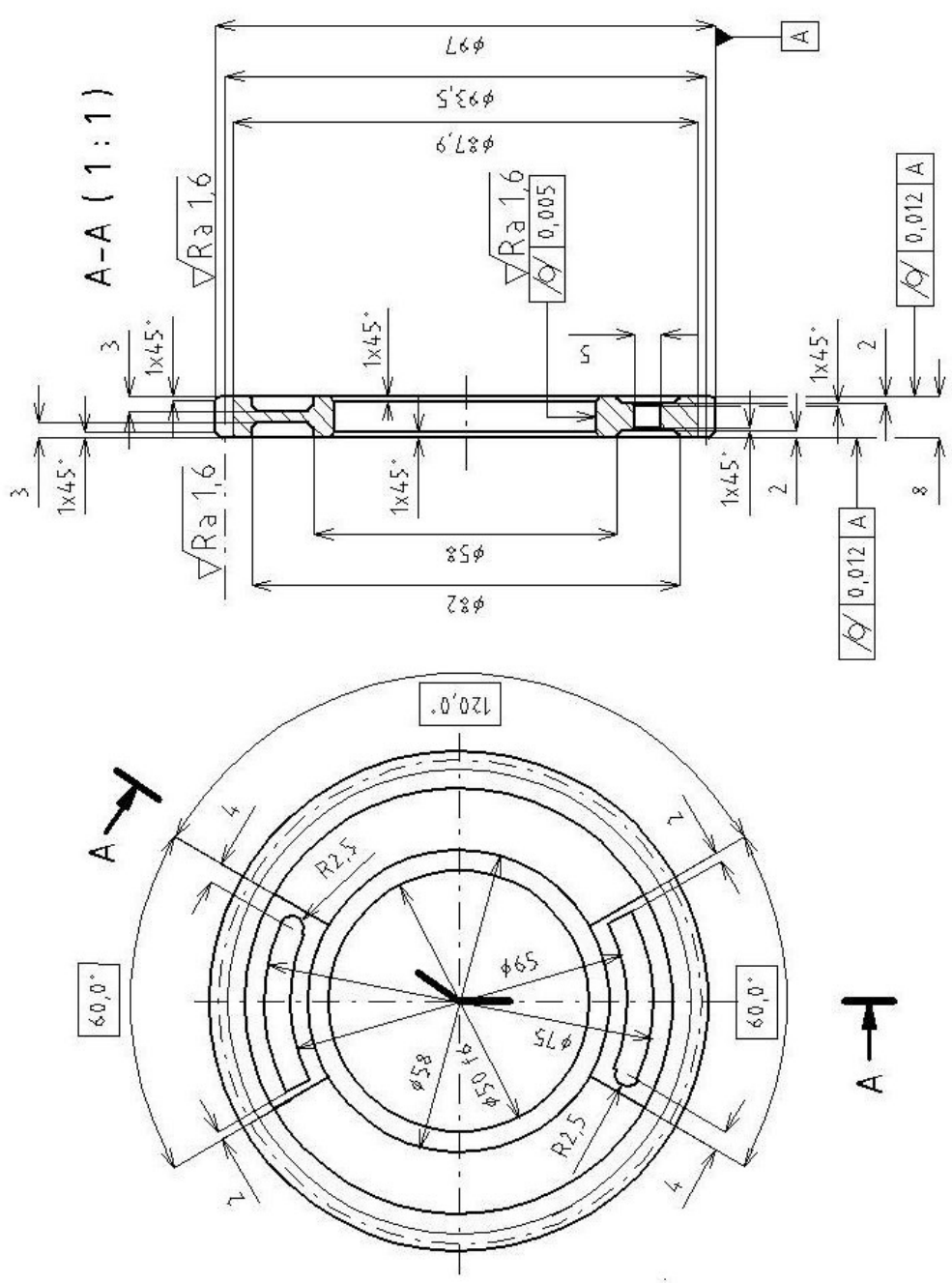
Modul	m	1,5
Počet zubů	z	54
Normální základní profil		ČSN 11 4617
Úhel sklonu boční křivky zubu	β	31
Smyč štáup. boční křivky zubu		VLEVO
Jednořádkové posunutí	x	-1,33
Stupně přesnosti podle		
dvoubobého odvalu	F ₁ '	
za ořáčku		
dvoubobého odvalu	f ₁ '	
za rozteč		
sklonu zubu	F β	
vzdálenosti os	f _a	
mezi úchytkami	F _a ' _s	
horní		
jm. vzdál. os	F _a ' _d	
dolní		
přes zuby		
číslo výřezu		3-5031-14, 3-5031-14
Spoluzabírající	z	39
kolotoč	z _v	81
Modul čelní	m _f	
Počet zubů hřebenu, segmentu	z	
Průměr základní kružnice	d _b	86,23
Průměr roztečné kružnice	d	93,53
Průměr patní kružnice	d _f	87,89
Úhel sklonu boční křivky zubu na základním válci	β	31
Úhel os	Σ	

Povrch zubů cementován a kalen na HRC 60
Nekótované rádiusy R2



Struktura povrchu:	Měřítko	Přesnost	ISO 2768-mH	Materiál	14.224
$\sqrt{Ra 3,2}$	1:1	Tolerování	ISO 8115	Palatovar	odlítetek Č.3
		Přemítání		Hmotnost	1,59 kg
Druh dokumentu	Výkres součástí	Název	KOLO		
Kreslil	Lukáš Novák				
Štváříl					
Datum vydání	18.5.2013	Číslo dokumentu	3-5030-05		

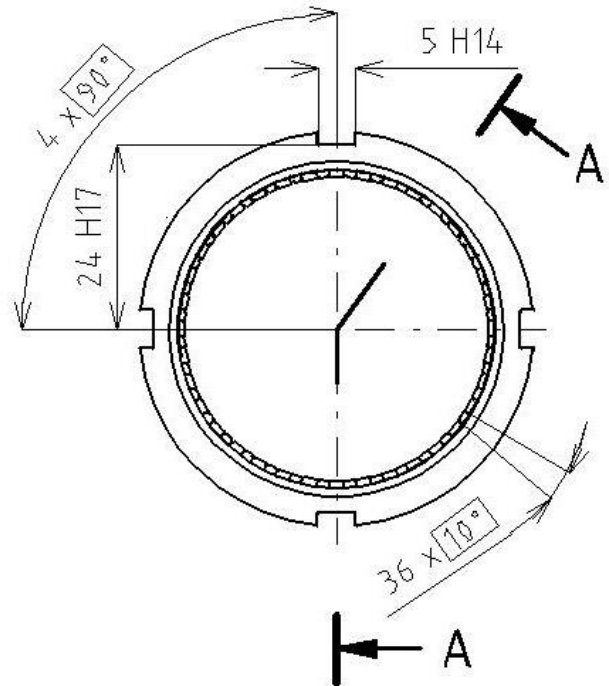
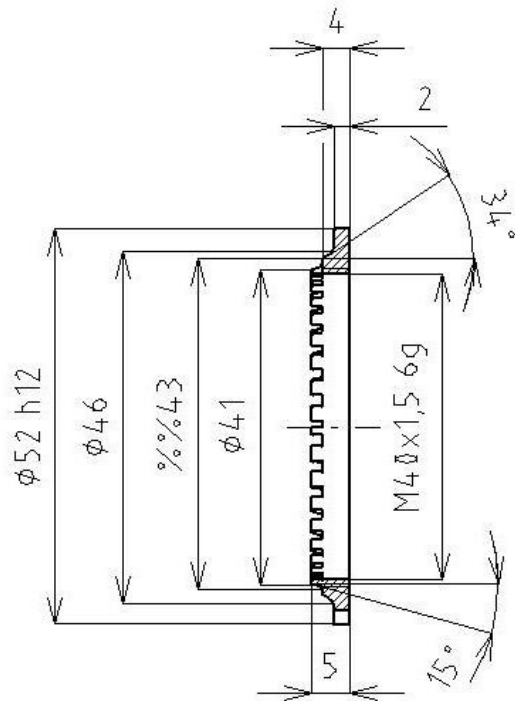
Modul	m	1,5
Počet zubů	z	53
Normální základní profil		ČSN 11 5417
Úhel sklonu boční křivky zubu	β	31
Smysl štoup. boční křivky zubu		VLEVO
Jednotlivé posunutí	x	-1,313
Stupeň přesnosti podle		
dvoubóhého odvalu	F''	
za ořážku	f''	
dvoubóhého odvalu	$F\phi$	
za rozteč	f_a	
sklonu zubu	E_s''	
vzdálenosti os	E_s''	
mezí uchytky		
horní		
dolní		
Kontrolní rozměr		
Spoluřábí-rajici kolo	z	3-5031-13, 3-5031-14
počet zubů	z	39
vzdálenost os	a_w	81
Modul čelní	m_f	
Počet zubů břebetu, segmentů	z	84,23
Průměr základní kružnice	d_b	93,53
Průměr roztečné kružnice	d_f	87,89
Průměr palní kružnice	d_f	87,89
Úhel sklonu boční křivky zubu na základním válci	β'	31
Úhel os	Σ	



Povrch zubů cementován a kalen na HRC 60
Nekótované rádiusy R2

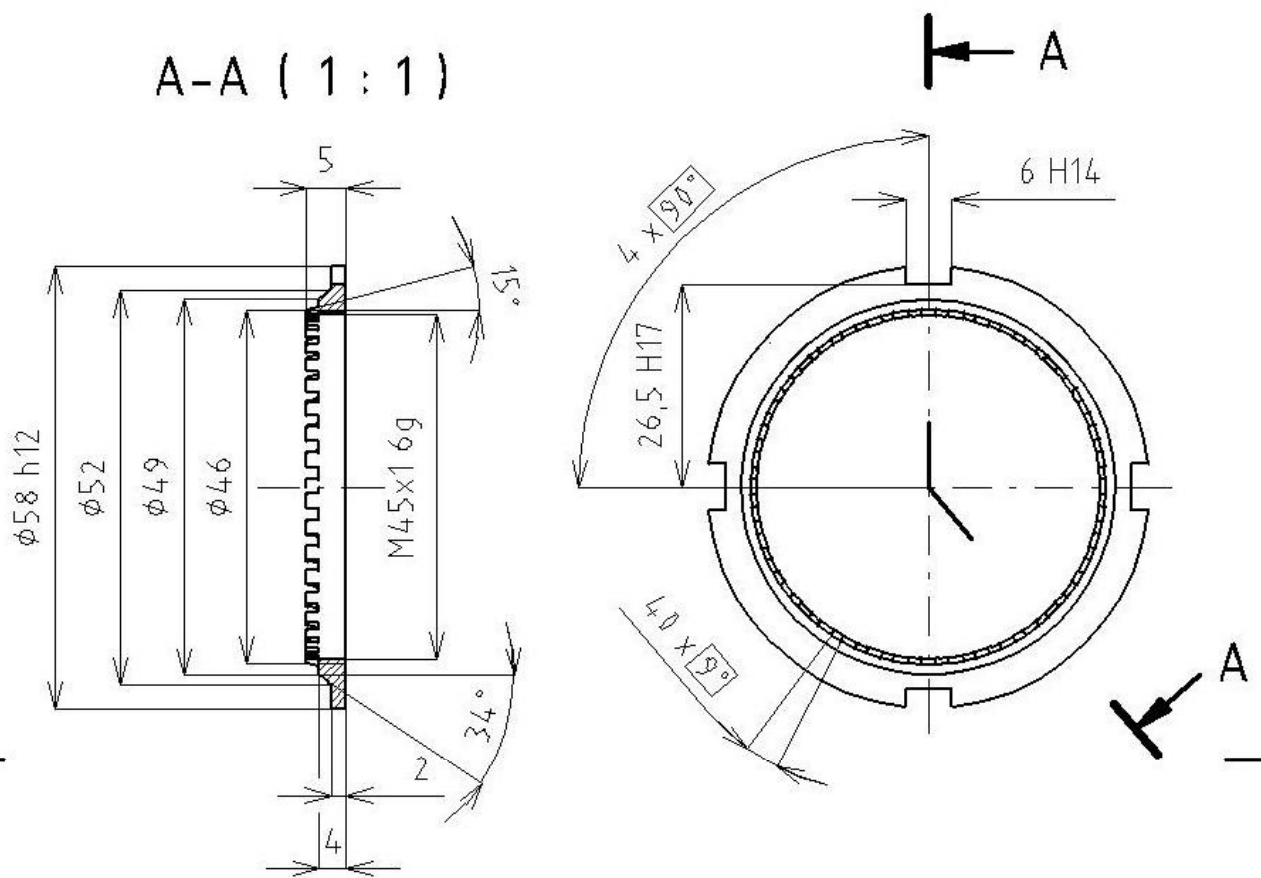
Struktura povrchu	Měřítko	Přesnost	ISO 2768-mH	Materiál	14.224
$\sqrt{Ra 3,2}$	1:1	Tolerování	ISO 8115	Polotovar	odlitak č.4
		Přemítání		Hmotnost	1,185 kg
Druh dokumentu	Název				
Kreslil	Výkres součásti				
Schválil	Kreslil Lukáš Novák				
Datum vydání	Číslo dokumentu				
18.5.2013	3-5030-06				
	VLOŽENÉ KOLO				
	List 1/1				

A-A (1 : 1)



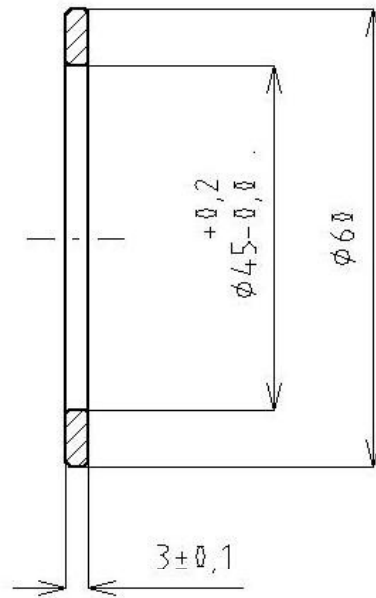
Nekótované rádiusy R1

Struktura povrchu: $\sqrt{Ra \text{ } 3,2}$	Měřítko 1:1	Přesnost ISO2768-mH	Materiál 11500
		Tolerování ISO8015	Poloovar
		Promítání	Hmotnost $\emptyset, \emptyset 18$ kg
Druh dokumentu Výkres součásti	Kreslil Lukáš Novák	Název MATICE 40	
Schválil	Datum vydání 18.5.2013	Číslo dokumentu 4-5030-07	
		List 1/1	



Nekótované rádiusy R1

Struktura povrchu: $\sqrt{Ra\ 3,2}$	Měřítko 1:1	Přesnost ISO2768-mH	Materiál 11508
		Tolerování ISO8015	Polotovár
		Promítání	Hmotnost $\emptyset, \emptyset 21$ kg
Druh dokumentu Výkres součásti	Název MATICE 45		
Kreslil Lukáš Novák	Číslo dokumentu 4-5030-08		
Schválil			
Datum vydání 18.5.2013	List 1 / 1		



Struktura povrchu: $\sqrt{Ra\ 3,2}$	Měřítko 1:1	Přesnost ISO2768-mH	Materiál 11500
		Tolerování ISO8015	Polotovár
		Promítání $\begin{matrix} \text{---} \\ \oplus \end{matrix}$	Hmotnost $\emptyset, \emptyset 29$ kg
Druh dokumentu Výkres součásti	Kreslil Lukáš Novák	Název DISTANČNÍ KROUŽEK	
Schválil	Datum vydání 18.5.2013	Číslo dokumentu 4-5030-09	
			List 1 / 1