

Semestrální práce - Planetová převodovka

6KT - 2016/17 LS

Vaclav Valicek, 171226

3A/6, zadání č. 21.

Provozní teplota:

Stupeň přesnosti ozubení dle ISO:

Celková uchylna dotykové plochy:

Minimalní bezpečnost v dotyku:

$$t_{\text{Prov}} := (-30 \dots 60) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{ISO}} := 9$$

$$F_{\beta Y} := 5 \text{ } \mu\text{m}$$

$$S_{\text{Hmin}} := 1,1$$

$$S_{\text{Fmin}} := 1,5$$

Zadání hodnot:

Jmenovitý výkon elektromotoru

$$P_J := 9,9 \text{ kW}$$

Jmenovité otáčky elektromotoru

$$n_1 := 4300 \text{ min}^{-1} = 71,6667 \text{ Hz}$$

Požadované výstupní otáčky

$$n_{4p} := 845 \text{ min}^{-1} = 14,0833 \text{ Hz}$$

Požadovaná životnost

$$L_h := 390 \text{ hr} = 1,404 \cdot 10^6 \text{ s}$$

Koeficient vnějších dynamických vlivů

$$K_A := 2,25$$

Průměr roztečné kružnice pastorku

$$d_4 := 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

Střední měrná tuhost zubů

$$C_Y := 11 \text{ N mm}^{-1} \mu\text{m}^{-1} = 1,1 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$$

Maximální vnější průměr skříně starteru

$$D_{\text{max}} := 174 \text{ mm} = 0,174 \text{ m}$$

Uhel zaberu

$$\alpha := 20 \text{ deg} = 0,349066$$

Součinitel výšky zubů

$$h_{a0} := 1$$

Cvičení 1 - Výpočet pastorku a ostatních kol

Minimalní počet zubů bez podřezání:

$$z_{1_min} := 2 \cdot \frac{h_{a0}}{\sin(\alpha)} = 17,0973 \quad z_1 := 19$$

Navrhový převodový poměr:

$$i_{14n} := \frac{n_1}{n_{4p}} = 5,0888$$

Počet zubů satelitu

$$z_{2n} := z_1 \cdot \left(\frac{i_{14n}}{2} - 1 \right) = 29,3432 \quad z_2 := 29$$

PP:

$$i_{14} := 2 \cdot \frac{(z_1 + z_2)}{z_1} = 5,0526$$

Počet zubů korunového kola:

$$z_{3n} := (-z_1) \cdot (i_{14} - 1) = -77 \quad z_3 := -77$$

Počet satelitu:

$$a_K := 4$$

Otacky satelitu:

$$n_2 := \frac{z_1 \cdot \frac{|z_3|}{z_2} \cdot n_1}{z_1 + |z_3|} = 2259,6624 \text{ min}^{-1}$$

Procentualni odchylka otacek pozadovanych a skutecnych

Skutecne otacky:

$$n_4 := \frac{z_1 \cdot n_1}{2 \cdot (z_1 + z_2)} = 14,184 \text{ Hz}$$

$$\Delta n_4 := \frac{|n_{4p} - n_4|}{n_{4p}} = 0,715 \%$$

$$\Delta n_{4\max} := 1 \%$$

Kontrola:

```
if Δn4 < Δn4max = "V poradku"
  "V poradku"
else
  "Odchylka prekrocila meze"
```

Podminka stejnych osovych vzdalenosti

$$z_1 + 2 \cdot z_2 = -z_3 = 1$$

Podminka smontovatelnosti:

$$N := \frac{z_1 + |z_3|}{a_k} = 24$$

```
if (round(N; 0) = N) = "V poradku"
  "V poradku"
else
  "N Musi byt cele cislo!"
```

Dilci prevodove pomery:

$$i_{12} := \frac{z_2}{z_1} = 1,5263$$

$$i_{23} := \frac{z_3}{z_2} = -2,6552$$

Cviceni 2

1. Navrh modulu ozubeni - pro vsechny kola spolecny!

Modul ozubeni:

$$m_n := 1,75 \text{ mm}$$

Roztečna kružnice:

$$d_3 := z_3 \cdot m_n = -134,75 \text{ mm}$$

Vyska paty zubu:

$$h_f := 1,25 \cdot m_n = 2,1875 \text{ mm}$$

Prumer patni kružnice:

$$d_{f3} := (d_3 - 2 \cdot h_f) = -139,125 \text{ mm}$$

Volba tloušky steny:

$$t := 4 \text{ mm}$$

Modulova rada 1: (prednostni)

0,6; 0,8; 1; 1.25; 1,5; 2; 2.5 mm

Modulova rada 2:

0.55; 0.7; 0.9; 1.125; 1.375; 1.75; 2.25 mm

Kontrola volby modulu:

$$D_{\max_kontrola} := 2 \cdot (t + 3,5 \cdot m_n) + |d_{f3}| = 159,375 \text{ mm}$$

```

if D_max ≥ D_max_kontrola = "V poradku"
  "V poradku"
else
  "Spatna volba modulu"

```

2. Vypocet prumeru roztecných kružnic

Centralni kolo:

$$d_1 := z_1 \cdot m_n = 33,25 \text{ mm}$$

Satelity:

$$d_2 := z_2 \cdot m_n = 50,75 \text{ mm}$$

Korunove kolo:

$$d_3 = -134,75 \text{ mm}$$

3. Navrh sirky ozubeni

Sirka ozubeni je limitovana na 1.1 nasobek prumeru roztečne kružnice kola

$$b_i := (0,6 \dots 1,1) \cdot d_i \quad (\text{pastorek}) \quad \psi := 9 \dots 14 \quad b_i := \psi \cdot m \quad (\text{kola})$$

Centralni kolo:

$$b_1 := 28 \text{ mm}$$

Satelity:

$$b_2 := b_1 - 2 \cdot m_n = 24,5 \text{ mm}$$

Korunove kolo:

$$b_3 := b_1 = 28 \text{ mm} \quad // \text{ muze se volit ale nemusí}$$

$$(0,6 \cdot d_1 < b_1) \wedge (b_1 < 1,1 \cdot d_1) = 1$$

$$\psi_2 := \frac{b_2}{m_n} = 14$$

$$(9 \leq \psi_2) \wedge (\psi_2 \leq 14) = 1$$

4. Vypocet osových vzdalenosti

Centralni kolo - satelit

$$a_{12} := \frac{d_1 + d_2}{2} = 42 \text{ mm}$$

Satelit - korunove kolo

$$a_{23} := \frac{|d_3| - d_2}{2} = 42 \text{ mm}$$

Kontrola:

$$a_{12} = a_{23} = 1$$

5. Vypocet zakladnich parametru ozubeni

Roztec:

$$p := \pi \cdot m_n = 5,4978 \text{ mm}$$

Vyska hlavy zubu:

$$h_a := m_n = 1,75 \text{ mm}$$

Vyska paty zubu:

$$h_f = 2,1875 \text{ mm}$$

Prumery satelitu:

Roztečna kružnice:

$$d_2 = 50,75 \text{ mm}$$

Zakladni kružnice:

$$d_{b2} := d_2 \cdot \cos(\alpha) = 47,6894 \text{ mm}$$

Hlavova kružnice:

$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot h_a = 54,25 \text{ mm}$$

Patni kružnice:

$$d_{f2} := d_2 - 2 \cdot h_f = 46,375 \text{ mm}$$

Prumery centralniho kola:

Roztečna kružnice:

$$d_1 = 33,25 \text{ mm}$$

Zakladni kružnice:

$$d_{b1} := d_1 \cdot \cos(\alpha) = 31,2448 \text{ mm}$$

Hlavova kružnice:

$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot h_a = 36,75 \text{ mm}$$

Patni kružnice:

$$d_{f1} := d_1 - 2 \cdot h_f = 28,875 \text{ mm}$$

Prumery korunoveho kola:

Roztečna kružnice:

$$d_3 = -134,75 \text{ mm}$$

Zakladni kružnice:

$$d_{b3} := d_3 \cdot \cos(\alpha) = -126,6236 \text{ mm}$$

Hlavova kružnice:

$$d_{a3} := (d_3 + 2 \cdot h_a) = -131,25 \text{ mm}$$

Patni kružnice:

$$d_{f3} = -139,125 \text{ mm}$$

Tloušťka zubu:

$$s := \frac{p}{2} = 2,7489 \text{ mm}$$

Hlavová vule:

$$c := h_f - h_a = 0,4375 \text{ mm}$$

6. Kontrola vule mezi satelity

3. Doplňující geometrická podmínka planetového mechanismu

Volím vlívlí v_{min} v rozsahu 1-2 mm.

$$v_{\min} := 1,5 \text{ mm}$$

$$d_{w1} := d_1 = 33,25 \text{ mm}$$

$$d_{w2} := d_2 = 50,75 \text{ mm}$$

$$\theta := \frac{360 \text{ deg}}{a_K} = 90 \text{ deg}$$

$$\theta_{\min} := 2 \cdot \arcsin \left(\frac{d_{a2} + v_{\min}}{d_{w1} + d_{w2}} \right) = 83,1639 \text{ deg}$$

```

if  $\theta \geq \theta_{\min}$                                 = "V Poradku"
  "V Poradku"
else
  "Nedostatečná vule mezi satelity!"

```

7. Výpočet součinitele a dráhy zaberu

Centrální kolo - satelit

Součinitel:

$$\varepsilon_{\gamma 12} := \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - 2 \cdot a_{12} \cdot \sin(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot m_n \cdot \cos(\alpha)} = 1,5948 \quad \varepsilon_{\alpha 12} := \varepsilon_{\gamma 12}$$

Delka oblouku zaberu:

$$q_{\alpha 12} := \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - 2 \cdot a_{12} \cdot \sin(\alpha) = 16,4787 \text{ mm}$$

Součinitel zaberu satelit - korunné kolo

$$\varepsilon_{\gamma 23} := \frac{z_2}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\tan \left(\arccos \left(\frac{d_{b2}}{d_{a2}} \right) \right) - \tan(\alpha) \right) - \frac{|z_3|}{z_2} \cdot \left(\tan \left(\arccos \left(\frac{d_{b3}}{d_{a3}} \right) \right) - \tan(\alpha) \right) = 1,9405$$

8. Kontrola spicatosti zubu

Minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici pro tvrdá kola:

$$s_{\min} := 0,4 \cdot m_n = 0,7 \text{ mm}$$

Involuta úhlu pro bod na základní kružnici:

$$\text{inv}_{\alpha} := \tan(\alpha) - \alpha = 0,0149$$

Centrální kolo

Úhel profilu evolventy na hlavové kružnici:

$$\alpha_{a1} := \arccos \left(\frac{d_{b1}}{d_{a1}} \right) = 31,7668 \text{ deg}$$

Involuta úhlu pro bod na hlavové kružnici:

$$\text{inv}_{\alpha a1} := \tan(\alpha_{a1}) - \alpha_{a1} = 0,0648$$

Tloušťka zubu na hlavové kružnici v normální rovině:

Volím korekci ozubení: $x := 0$ 0 - bez korekce

$$s_{na1} := d_{a1} \cdot \left(\frac{\pi}{2 \cdot z_1} + \frac{2 \cdot x \cdot \tan(\alpha)}{z_1} + (\text{inv}_{\alpha} - \text{inv}_{\alpha a1}) \right) = 1,205 \text{ mm}$$

Kontrola meze spicatosti zubu

```

if  $s_{na1} > s_{\min}$                                 = "V Poradku"
  "V Poradku"
else
  "Začni se modlit k Shiglevmu"

```

Satelit

Uhel profilu evolventy na hlavove kruznici:

$$\alpha_{a2} := \arccos\left(\frac{d_{b2}}{d_{a2}}\right) = 28,4699 \text{ deg}$$

Involuta uhlu pro bod na hlavove kruznici:

$$\text{inv}_{\alpha a2} := \tan(\alpha_{a2}) - \alpha_{a2} = 0,0454$$

Tlouska zubu na hlavove kruznici v normalni rovine:

Volim korekci ozubeni: x:= 0 0 - bez korekce

$$s_{na2} := d_{a2} \cdot \left(\frac{\pi}{2 \cdot z_2} + \frac{2 \cdot x \cdot \tan(\alpha)}{z_2} + (\text{inv}_{\alpha} - \text{inv}_{\alpha a2}) \right) = 1,285 \text{ mm}$$

Kontrola meze spicatosti zubu

```
if s_na2 > s_amin = "V Poradku"
  "V Poradku"
else
  "Zacni se modlit k Shigleymu"
```

Korunove kolo

Uhel profilu evolventy na hlavove kruznici:

$$\alpha_{a3} := \arccos\left(\frac{d_{b3}}{d_{a3}}\right) = 15,2579 \text{ deg}$$

Involuta uhlu pro bod na hlavove kruznici:

$$\text{inv}_{\alpha a3} := \tan(\alpha_{a3}) - \alpha_{a3} = 0,0065$$

Tlouska zubu na hlavove kruznici v normalni rovine:

Volim korekci ozubeni: x:= 0 0 - bez korekce

$$s_{na3} := d_{a3} \cdot \left(\frac{\pi}{2 \cdot z_3} + \frac{2 \cdot x \cdot \tan(\alpha)}{z_3} + (\text{inv}_{\alpha} - \text{inv}_{\alpha a3}) \right) = 1,5716 \text{ mm}$$

Kontrola meze spicatosti zubu

```
if s_na3 > s_amin = "V Poradku"
  "V Poradku"
else
  "Zacni se modlit k Shigleymu"
```

3. Cviceni

1. Silove pomery v ozubeni

$$P_J = 9900 \text{ W}$$

Vstupni kroutici moment:

$$M_{k1} := \frac{P_J}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = 21,9856 \text{ Nm}$$

Kroutici moment na jednu planetu: ($\eta=1$)

$$M_{t1} := \frac{M_{k1}}{a_K} = 5,4964 \text{ Nm}$$

Obvodova sila na centralni kolo

$$M_{t1} = F_{t1} \cdot \frac{d_1}{2}$$

$$F_{t1} := 2 \cdot \frac{M_{t1}}{d_1} = 330,6104 \text{ N}$$

Radialni sila na centralni kolo:

$$F_{r1} := F_{t1} \cdot \tan(\alpha) = 120,3323 \text{ N}$$

Normalova sila na centralni kolo:

$$F_{n1} := \sqrt{F_{t1}^2 + F_{r1}^2} = 351,8282 \text{ N}$$

Silove pusobeni na satelitu:

$$F_{t2} := F_{t1} = 330,6104 \text{ N}$$

$$F_{r2} := F_{r1} = 120,3323 \text{ N}$$

$$F_{n2} := F_{n1} = 351,8282 \text{ N}$$

Silove pusobeni na korunovem kole:

$$F_{t3} := F_{t2} = 330,6104 \text{ N}$$

$$F_{r3} := F_{r2} = 120,3323 \text{ N}$$

$$F_{n3} := F_{r2} = 120,3323 \text{ N}$$

Silove pomery na vystupu:

Vystupni Mk

$$M_{k4} := M_{k1} \cdot i_{14} = 111,0851 \text{ N m}$$

Sily na vystupu

$$F_{t4} := 2 \cdot \frac{M_{k4}}{d_4} = 7405,6724 \text{ N}$$

$$F_{r4} := F_{t4} \cdot \tan(\alpha) = 2695,4443 \text{ N}$$

$$F_{n4} := \sqrt{F_{t4}^2 + F_{r4}^2} = 7880,9519 \text{ N}$$

2. Volba materialu kol a navrh tvrdosti na boku zubu

- vypocty centralniho kola a satelitu
- kola - lita ocel, povrchove kaleny bok zubu, stupen kvality ML
- tvrdost zubu se lisi dle poctu cyklu, vice zatizene kolo ma tvrdost +20 - +60 HB vyssi

Pocty spoluzabirajicichkol (akc - centralni kolo, aks - satelit)

$$a_{kc} := a_K = 4$$

Pocet zatezovych cyklu:

$$a_{ks} := 2$$

- centralni kolo:

$$N_{Lc} := L_h \cdot n_1 \cdot a_{kc} = 4,0248 \cdot 10^8$$

- satelit:

$$N_{Ls} := L_h \cdot n_2 \cdot a_{ks} = 1,0575 \cdot 10^8$$

Volba tvrdosti povrchu:

$$H_C := 615$$

$$H_S := H_C - 40 = 575$$

Podle tabulky ze shigleyho str 1147,
Max H = 615, min H = 485,
A a B jsou taky odtud

Centralni kolo:

Mez unavy v dotyku:

$$A_1 := 0,74 \text{ MPa}$$

$$B_1 := 602 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{HlimC} := A_1 \cdot H_C + B_1 = 1057,1 \text{ MPa}$$

Mez unavy v ohybu:

$$A_2 := 0,305 \text{ MPa}$$

$$B_2 := 76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FlimC} := A_2 \cdot H_C + B_2 = 263,575 \text{ MPa}$$

Podle materialu z elearningu muze byt
H=675 HV pro ocelolitinu

Satelit:

$$\sigma_{HlimS} := A_1 \cdot H_S + B_1 = 1027,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FlimS} := A_2 \cdot H_S + B_2 = 251,375 \text{ MPa}$$

3. Stanoveni soucinitelu silovych pomeru ozubeni

Z = dotyk, Y = ohyb

Soucinitel vnjsich dynamickych sil: $K_A = 2,25$

$$B := \frac{1}{4} \cdot \left(Q_{ISO} - 4 \right)^{\frac{2}{3}} = 0,731$$

Soucinitel vnitrnich dynamickych sil: $Q_{ISO} = 9$

$$A := 50 + 56 \cdot (1 - B) = 65,0638$$

$$v_{\max} := \frac{(A + 13 - Q_{\text{ISO}})^2}{200} \text{ m s}^{-1} = 23,849 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{Kv} := \max \left(\frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{\pi \cdot d_2 \cdot n_2} \right) = 7,4862 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$K_V := \left(\frac{A + \sqrt{200 \cdot v_{Kv} \frac{\text{s}}{\text{m}}}}{A} \right)^B = 1,4066$$

```

if v_Kv > v_max = "V poradku"
  "Neco smrdi v tomhle state Danskem"
else
  "V poradku"

```

Soucinitel nerovnomernosti zatizeni zubu po sirce dotyku: $K_{H\beta}$

Celkova uchylnka dotykove krivky:

Stredni merna tuhost zubu:

$$F_{\beta Y} = 5 \mu\text{m}$$

$$C_Y = 1,1 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$$

Pracovni sirka ozubeni:

$$b_{12} := \min \left(\left[b_1 \quad b_2 \right] \right) = 24,5 \text{ mm}$$

Stredni obvodova sila:

$$F_m := F_{t1} \cdot K_A \cdot K_V = 1046,3097 \text{ N}$$

Merne zatizeni (min 100N/mm)

$$w_n := \max \left(\left[\frac{100 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{F_m} \right] \right) = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Pomer rozlozeni zatizeni po sirce ozubeni

$$b_{\text{krit}} := \frac{F_{\beta Y} \cdot C_Y}{2 \cdot w_n} = 0,275$$

$$K_{H\beta} := \text{if } b_{\text{krit}} \geq 1 = 1,275$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot F_{\beta Y} \cdot C_Y}{w_n}}$$

else

$$1 + \frac{F_{\beta Y} \cdot C_Y}{2 \cdot w_n}$$

$$K_{H\beta} = 1,275$$

Soucinitel nerovnomernosti zatizeni zubu po sirce pro ohyb: $K_{F\beta}$

Vyska zubu:

$$h := h_a + h_f = 3,9375 \text{ mm}$$

$$i_{bh_n} := \min \left(\left[\frac{b_1}{h} \quad \frac{b_2}{h} \right] \right) = 6,2222$$

$$i_{bh} := \max \left(\left[\frac{3}{i_{bh_n}} \right] \right) = 6,2222$$

$$N_F := \frac{i_{bh}}{1 + i_{bh} + i_{bh}} = 0,8428$$

$$K_{F\beta} := K_{H\beta}^{N_F} = 1,2272$$

Soucinitel součtové delky dotkových krivek boku zubu:

$$Z_{\varepsilon} := \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{Y12}}{3}} = 0,8954$$

Soucinitel vlivu zaberu profilu:

$$\beta_b := 0 \text{ deg} \quad \beta := 0 \text{ deg}$$

$$Y_{\varepsilon} := 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_{Y12}} \cdot \cos(\beta_b)^2 = 0,7203$$

Soucinitel podílu zatížení jednotlivých zubů v dotyku a ohybu:

Tab. A-36Mezní úchylka čelní rozteče čelních ozubených kol f_{pt} . (Výběr z ČSN ISO 1328-1)

| vztahný průměr | modul | stupeň přesnosti Q_{ISO} | | | | | | |
|--------------------|---------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| d (mm) | b (mm) | $\pm f_{pt}$ (μm) | | | | | | |
| $5 \leq d \leq 20$ | $0,5 \leq m \leq 2$ | 3,3 | 4,7 | 6,5 | 9,5 | 13,0 | 19,0 | 26,0 |
| | $2 < m \leq 3,5$ | 3,7 | 5,0 | 7,5 | 10,0 | 15,0 | 21,0 | 29,0 |
| $20 < d \leq 50$ | $0,5 \leq m \leq 2$ | 3,5 | 5,0 | 7,0 | 10,0 | 14,0 | 20,0 | 28,0 |
| | $2 < m \leq 3,5$ | 3,9 | 5,5 | 7,5 | 11,0 | 15,0 | 22,0 | 31,0 |
| | $3,5 \leq m \leq 6$ | 4,3 | 6,0 | 8,5 | 12,0 | 17,0 | 24,0 | 34,0 |
| | $6 < m \leq 10$ | 4,9 | 7,0 | 10,0 | 14,0 | 20,0 | 28,0 | 40,0 |
| $50 < d \leq 125$ | $0,5 \leq m \leq 2$ | 3,8 | 5,5 | 7,5 | 11,0 | 15,0 | 21,0 | 30,0 |
| | $2 < m \leq 3,5$ | 4,1 | 6,0 | 8,5 | 12,0 | 17,0 | 23,0 | 33,0 |
| | $3,5 \leq m \leq 6$ | 4,6 | 6,5 | 9,0 | 13,0 | 18,0 | 26,0 | 36,0 |
| | $6 < m \leq 10$ | 5,0 | 7,5 | 10,0 | 15,0 | 21,0 | 30,0 | 42,0 |
| $125 < d \leq 280$ | $10 < m \leq 16$ | 6,5 | 9,0 | 13,0 | 18,0 | 25,0 | 35,0 | 50,0 |
| | $0,5 \leq m \leq 2$ | 4,2 | 6,0 | 8,5 | 12,0 | 17,0 | 24,0 | 34,0 |
| | $2 < m \leq 3,5$ | 4,6 | 6,5 | 9,0 | 13,0 | 18,0 | 26,0 | 36,0 |
| | $3,5 \leq m \leq 6$ | 5,0 | 7,0 | 10,0 | 14,0 | 20,0 | 28,0 | 40,0 |
| $280 < d \leq 560$ | $6 < m \leq 10$ | 5,5 | 8,0 | 11,0 | 16,0 | 23,0 | 32,0 | 45,0 |
| | $10 < m \leq 16$ | 6,5 | 9,5 | 13,0 | 19,0 | 27,0 | 38,0 | 53,0 |
| | $0,5 \leq m \leq 2$ | 4,7 | 6,5 | 9,5 | 13,0 | 19,0 | 27,0 | 38,0 |
| | $2 < m \leq 3,5$ | 5,0 | 7,0 | 10,0 | 14,0 | 20,0 | 29,0 | 41,0 |
| $280 < d \leq 560$ | $3,5 \leq m \leq 6$ | 5,5 | 8,0 | 11,0 | 16,0 | 22,0 | 31,0 | 44,0 |
| | $6 < m \leq 10$ | 6,0 | 8,5 | 12,0 | 17,0 | 25,0 | 35,0 | 49,0 |
| | $10 < m \leq 16$ | 7,0 | 10,0 | 14,0 | 20,0 | 29,0 | 41,0 | 58,0 |

Smerodatna obvodova síla v čelní rovině:

$$F_{tH} := F_{t1} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} = 1334,0448 N$$

$$m_n = 1,75 \text{ mm}$$

$$d_c := d_1 = 33,25 \text{ mm}$$

$$Q_{ISO} = 9$$

$$d_s := d_2 = 50,75 \text{ mm}$$

Uchylky čelní rozteče f_{pt} : (tabulka A-36, shigley)

$$f_{ptc} := 20 \mu m$$

$$f_{pts} := 21 \mu m$$

Uchylka základní rozteče:

$$f_{pbc} := f_{ptc} \cdot \cos(\alpha) = 18,7939 \mu m$$

$$f_{pbs} := f_{pts} \cdot \cos(\alpha) = 19,7335 \mu m$$

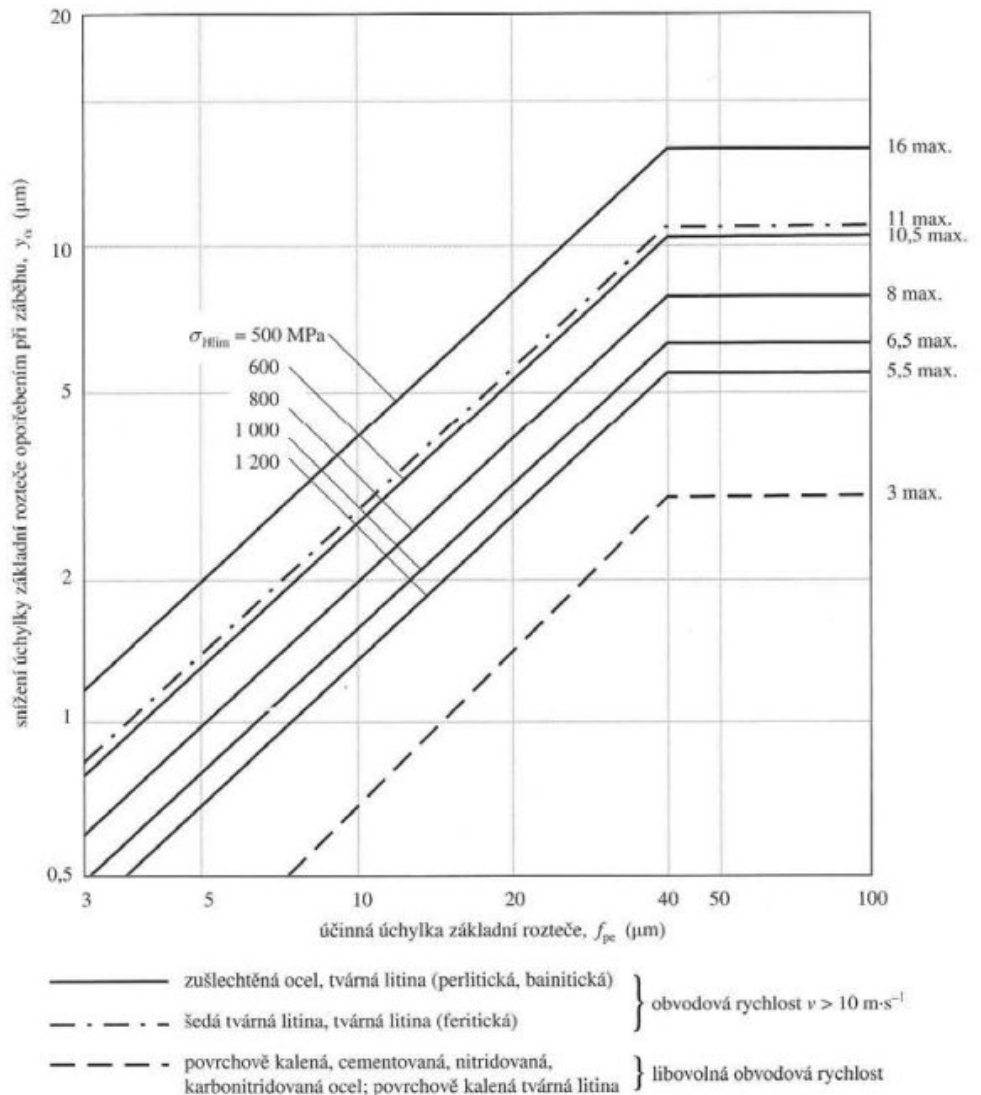
Učinná uchylka základní rozteče:

$$f_{pe} := \max \left(\begin{matrix} f_{pbc} \\ f_{pbs} \end{matrix} \right) = 19,7335 \mu\text{m}$$

$$\sigma_{Hlim} := \max \left(\begin{matrix} \sigma_{HlimC} \\ \sigma_{HlimS} \end{matrix} \right) = 1057,1 \text{ MPa}$$

Obr. 14-8a

Snižení uchylky základní rozteče opotřebením při záběhu².
(Výběr z ISO 6336-1:1996(E))



²V případě různých materiálů pastorku a kola nebo různého chemicko-tepelného zpracování materiálu pastorku a kola se uvažuje aritmetický průměr $y_\beta = \frac{y_{\beta 1} + y_{\beta 2}}{2}$.

Sniženi uchylky zakladni roztece opotrebenim pri zabehu: (Obr 14-8a, shigley)

$$y_\alpha := 2,9 \mu\text{m}$$

Pomocny soucinitel:

$$q_\alpha := \frac{C_Y \cdot (f_{pe} - y_\alpha)}{\frac{F_{tH}}{b_{12}}} = 3,4007$$

$$\text{if } \varepsilon_{Y12} \leq 2 \quad = 1,8024$$

$$\text{if } \varepsilon_{Y12} \leq 2 \quad = 1,8024$$

$$K_{Hc\alpha} := \frac{\varepsilon_{Y12}}{2} \cdot (0,9 + 0,4 \cdot q_\alpha)$$

$$K_{Fc\alpha} := \frac{\varepsilon_{Y12}}{2} \cdot (0,9 + 0,4 \cdot q_\alpha)$$

else

else

$$K_{Hc\alpha} := 0,9 + 0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{(\varepsilon_{Y12} - 1)}{\varepsilon_{Y12}}}$$

$$K_{Fc\alpha} := 0,9 + 0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{(\varepsilon_{Y12} - 1)}{\varepsilon_{Y12}}}$$

$$K_{Hc\alpha} = 1,8024$$

$$K_{Fc\alpha} = 1,8024$$

Shigley strana 802, rovnice 14-35 a 14-36

$$\text{if } K_{Hc\alpha} \leq 1 = ""$$

$$K_{Hc\alpha} := 1$$

else
""

$$K_{Hc\alpha_crit} := \frac{\epsilon_{\gamma 12}}{\epsilon_{\gamma 12} \cdot Z_{\epsilon}} = 1,2473$$

$$\text{if } K_{Hc\alpha} > K_{Hc\alpha_crit} = 1,2473$$

$$K_{Hc\alpha} := K_{Hc\alpha_crit}$$

else
""

$$\text{if } K_{Fc\alpha} \leq 1 = ""$$

$$K_{Fc\alpha} := 1$$

else
""

$$K_{Fc\alpha_crit} := \frac{\epsilon_{\gamma 12}}{\epsilon_{\gamma 12} \cdot Y_{\epsilon}} = 1,3884$$

$$\text{if } K_{Fc\alpha} > K_{Fc\alpha_crit} = 1,3884$$

$$K_{Fc\alpha} := K_{Fc\alpha_crit}$$

else
""

$$K_{Hc\alpha} = 1,2473$$

$$K_{Fc\alpha} = 1,3884$$

4. Cviceni

Soucinitel tvaru spoluzabirajicichkol

$$Z_H := \sqrt{\frac{2 \cdot \cos(\beta_b) \cdot \cos(\alpha)}{\cos(\alpha)^2 \cdot \sin(\alpha)}} = 2,4946$$

Mechanické vlastnosti materialu (shigley, strana 1)

| Mechanické a fyzikální charakteristiky materiálů.

| materiál | modul E | | modul G | | Poissonovo číslo (1) | hustota (kN·m ⁻³) |
|--------------------------|---------|--------|---------|--------|-------------------------|----------------------------------|
| | (GPa) | (Mpsi) | (GPa) | (Mpsi) | | |
| hliník a jeho slitiny | 71,7 | 10,4 | 26,9 | 3,9 | 0,333 | 2 712 |
| slitina berylium měď | 124,0 | 18,0 | 48,3 | 7,0 | 0,285 | 8 219 |
| mosaz | 106,0 | 15,4 | 40,1 | 5,82 | 0,342 | 8 545 |
| uhlíková ocel | 207,0 | 30,0 | 79,3 | 11,5 | 0,292 | 7 801 |
| šedá litina | 100,0 | 14,5 | 41,4 | 6,0 | 0,211 | 7 199 |
| měď a její slitiny | 119,0 | 17,2 | 44,7 | 6,49 | 0,326 | 8 902 |
| douglaska | 11,0 | 1,6 | 4,1 | 0,6 | 0,330 | 438 |
| sklo | 46,2 | 6,7 | 18,6 | 2,7 | 0,245 | 2 590 |
| inconel ^a | 214,0 | 31,0 | 75,8 | 11,0 | 0,290 | 8 494 |
| olovo | 36,5 | 5,3 | 13,1 | 1,9 | 0,425 | 11 370 |
| hořčík | 44,8 | 6,5 | 16,5 | 2,4 | 0,350 | 1 795 |
| molybden | 331,0 | 48,0 | 117,0 | 17,0 | 0,307 | 10 197 |
| Monelův kov ^b | 179,0 | 26,0 | 65,5 | 9,5 | 0,320 | 8 831 |
| alpaka ^c | 127,0 | 18,5 | 48,3 | 7,0 | 0,322 | 8 749 |
| niklová ocel | 207,0 | 30,0 | 79,3 | 11,5 | 0,291 | 7 750 |
| fosforový bronz | 111,0 | 16,1 | 41,4 | 6,0 | 0,349 | 8 168 |
| nerezavějící ocel (18-8) | 190,0 | 27,6 | 73,1 | 10,6 | 0,305 | 7 750 |
| titanové slitiny | 114,0 | 16,5 | 42,4 | 6,2 | 0,340 | 4 426 |

$$E := 207 \text{ GPa}$$

$$\mu := 0,292$$

^a Superslitina na bázi Ni.

^b Slitina mědi (0,5% Be, (1,5 až 2,55)% Co+Ni).

^c Slitina mědi ((9-11)% Ni, 25% Zn).

Soucinitel mechanických vlastnosti materialu (Shigley str 789, rce 14-15)

$$Z_E := \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \left(\frac{(1-\mu^2)}{E} + \frac{(1-\mu^2)}{E} \right)}} = 189,7786 \sqrt{\text{MPa}}$$

Soucinitele jednoparoveho zaberu

$$Z_{Rmin} := 1 \quad Z_{Dmin} := 1$$

$$M_1 := \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{d_{a1}^2}{d_{b1}^2} - 1} - \frac{2 \cdot \pi}{z_1}\right) \cdot \sqrt{\frac{d_{a2}^2}{d_{b2}^2} - 1} - (\varepsilon_{\gamma 12} - 1) \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{z_2}} = 1,0539$$

$$M_2 := \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{d_{a2}^2}{d_{b2}^2} - 1} - \frac{2 \cdot \pi}{z_2}\right) \cdot \sqrt{\frac{d_{a1}^2}{d_{b1}^2} - 1} - (\varepsilon_{\gamma 12} - 1) \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{z_1}} = 0,9813$$

Soucinitel jednoparoveho zaberu pastorku

$$Z_B := \max\left(\begin{matrix} M_1 \\ Z_{Bmin} \end{matrix}\right) = 1,0539$$

Soucinitel jednoparoveho zaberu kola

$$Z_D := \max\left(\begin{matrix} M_2 \\ Z_{Dmin} \end{matrix}\right) = 1$$

Soucinitele mazaci vrstvy:

$$R_a := 1,6 \mu m \quad \text{Klidně i } 0.4, \text{ pro broušený kola}$$

Prumerna vyska prvku profilu boku zubu:

$$R_z := 6 \cdot R_a = 9,6 \mu m$$

Polomer krivosti pastorku ve valivem bode:

$$\rho_c := \frac{1}{2} \cdot d_{b1} \cdot \tan(\alpha) = 5,6861 \text{ mm}$$

Polomer krivosti kola ve valivem bode:

$$\rho_s := \frac{1}{2} \cdot d_{b2} \cdot \tan(\alpha) = 8,6788 \text{ mm}$$

Redukovany polomer krivosti

$$\rho_{red} := \frac{\rho_c \cdot \rho_s}{\rho_c + \rho_s} = 3,4353 \text{ mm}$$

Prumerna relativni vyska prvku profilu boku zubu soukoli: ($\rho_{pref}=10\text{mm}$)

$$R_{z10} := R_z \cdot 3 \sqrt{\frac{10 \text{ mm}}{\rho_{red}}} = 13,7072 \mu m$$

Soucinitel maziva:

Koeficienty urceny konzervativne metodou D (shigley strana 814)

$$Z_{LVR} := Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R$$

Hodnota koeficientu:

```
if R_z10 ≤ 4 μm = 0,92
  Z_LVR := 1
else
  Z_LVR := 0,92
```

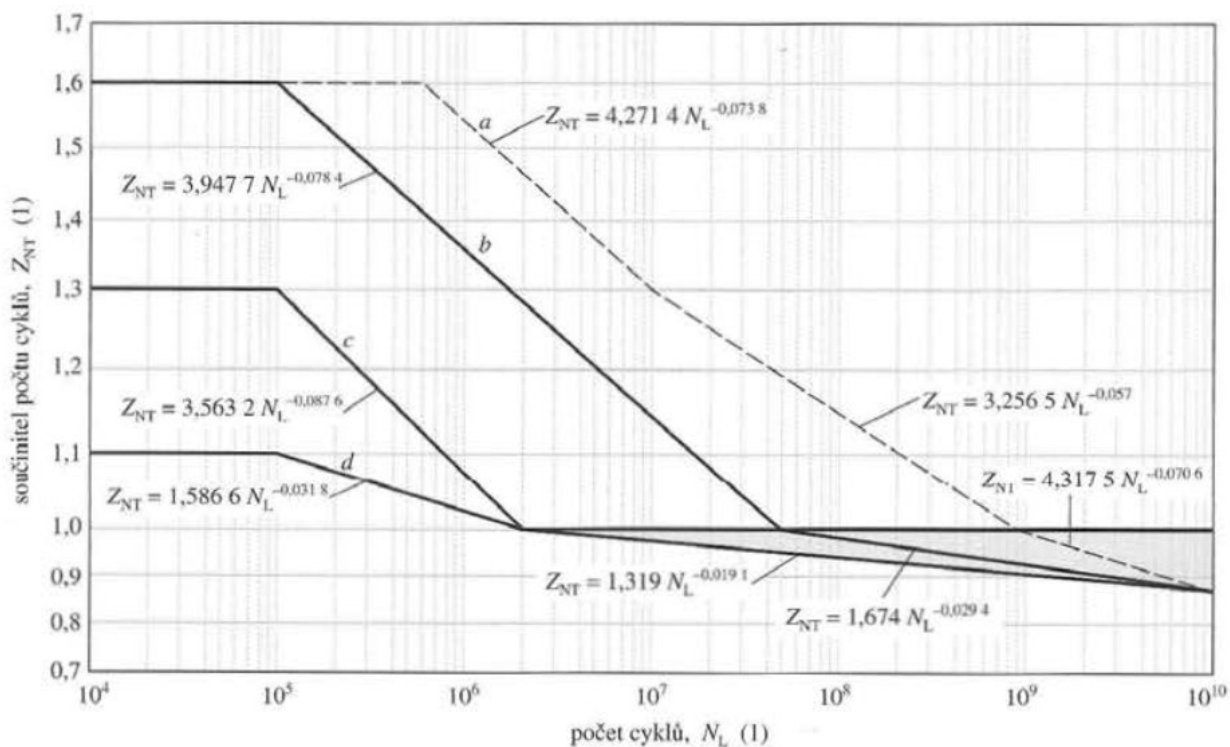
Soucinitele poctu cyklu pro dotyk:

Pocet cyklu pastorku:

$$N_{Lc} = 4,0248 \cdot 10^8$$

Pocet cyklu kola:

$$N_{Ls} = 1,0575 \cdot 10^8$$



a, b – konstrukční ocel ($R_m < 800$ MPa), zúšlechťená ocel a ocel k zúšlechťování ($R_m > 800$ MPa), tvárná litina (perl., bain.), temperovaná litina (perl.), cementační ocel, ocel k povrchovému kalení, ocel a tvárná litina plamenem nebo indukčně kalená; podle *a* připouštíme-li jisté poškození pittingem.
c – šedá litina, tvárná litina (ferit.), ocel legovaná k nitridaci, ocel legovaná k nitrocementaci a kalení.
d – zúšlechťená ocel karbonitridovaná.

Soucinitele počtu cyklu pro dotyk (Shigley str. 812, tabulka 14-11)

$$fZ_{ntc}(N_L) := 1,674 \cdot N_L^{-0,0294} \quad // \text{ Soucinitel pro pastorekl}$$

$$fZ_{nts}(N_L) := 1,674 \cdot N_L^{-0,0294} \quad // \text{ Soucinitel pro satelit}$$

$$Z_{NTc} := fZ_{ntc}(N_{Lc}) = 0,9349$$

$$Z_{NTs} := fZ_{nts}(N_{Ls}) = 0,9724$$

Soucinitel tvrdosti:

Tvrdost v předchozích vypočtech byla uváděna podle Vickerse..

$$HV_c := H_c = 615$$

Preved dle:

$$HV_s := H_s = 575$$

<http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost-online.htm>

Prepocet na Brinella:

$$HB_c := 577$$

$$HB_s := 531$$

```
if HB_s > 470 = 1
  Z_w := 1
else
  "Koukni do shigleyho na stranu 815"
```

Soucinitel velikosti:

$Z_x := 1$ Dle shigleyho v ISO norme vzdy

Soucinitel sklonu zubu:

$$Z_\beta := \sqrt{\cos(\beta_b)} = 1$$

pacman -Syu // funkční diakritika i pod wine!

Nominální napětí v ohybu:

$$\sigma_{Ho} := Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_B \cdot \sqrt{\frac{F_{t1}}{d_1 \cdot b_1} \cdot \frac{i_{12} + 1}{i_{12}}} = 342,4889 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Hc} := Z_B \cdot \sigma_{Ho} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hc\alpha}} = 809,7474 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Hs} := Z_D \cdot \sigma_{Ho} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hc\alpha}} = 768,3561 \text{ MPa}$$

Bezpečnost v dotyku:

$$S_{Hc} := \sigma_{HlimC} \cdot \frac{Z_{NTc}}{\sigma_{Hc}} \cdot Z_{LVR} \cdot Z_W \cdot Z_x = 1,1229$$

$$S_{Hs} := \sigma_{HlimS} \cdot \frac{Z_{NTs}}{\sigma_{Hs}} \cdot Z_{LVR} \cdot Z_W \cdot Z_x = 1,1963$$

5. Cvičení

Tabulka 14-17, Shigley 823

Součinitel tvaru zubu:

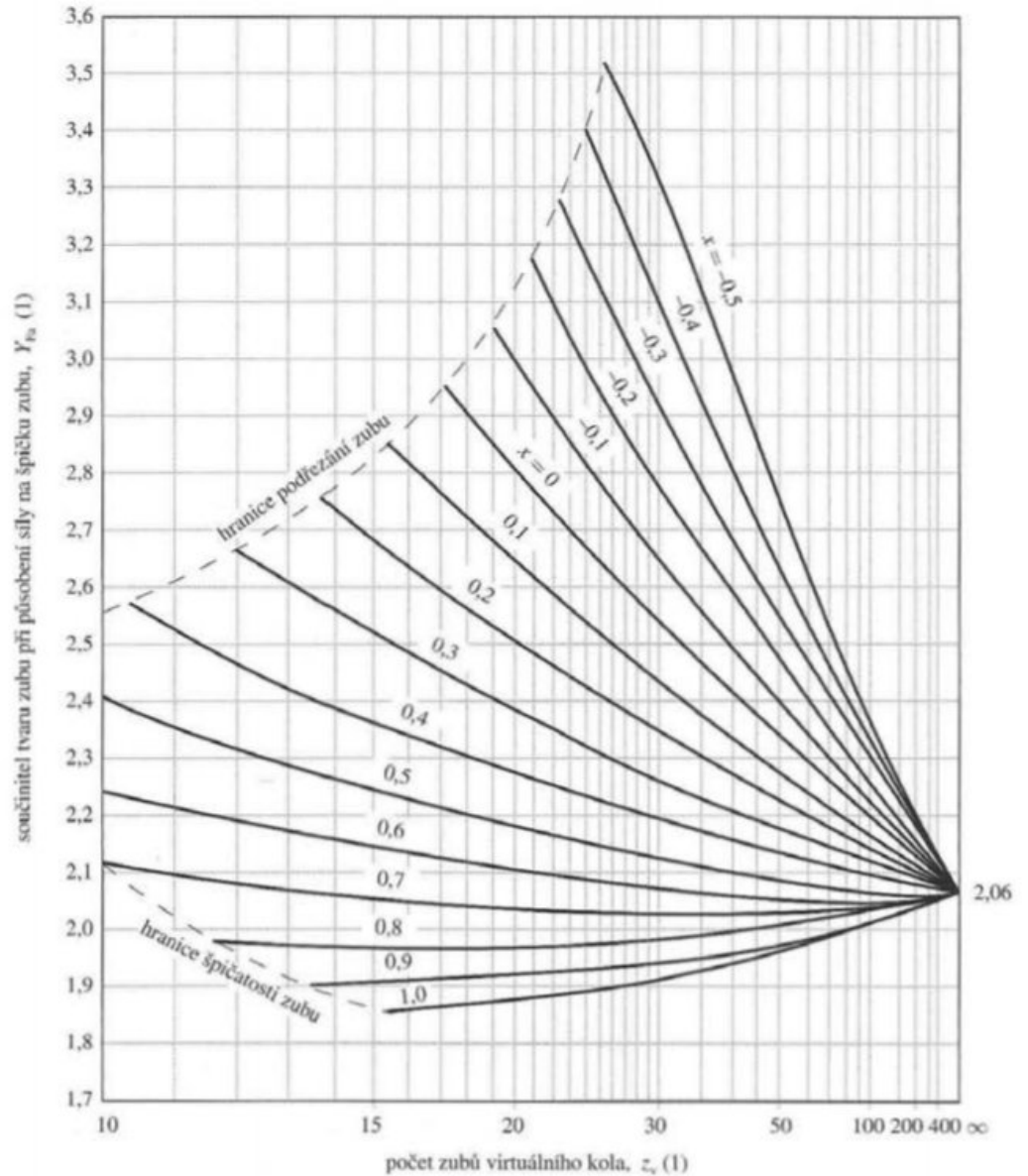
$$z_{v1} := \frac{z_1}{\cos(\beta)^3} = 19$$

$$z_{v2} := \frac{z_2}{\cos(\beta)^3} = 29$$

$$x = 0$$

$$Y_{FaC} := 2,85$$

$$Y_{FaS} := 2,775$$



Součinitel koncentrace napětí při působení síly na špičku zubu

Shigley 824, tab 14-18

$$Y_{SaC} := 1,54$$

$$Y_{SaS} := 1,63$$

Součinitel počtu cyklů

$$N_{Lc} = 4,0248 \cdot 10^8 \quad N_{Ls} = 1,0575 \cdot 10^8$$

$$Y_{NT}(N) := 1,683 \cdot N^{-0,0323}$$

Obr 14-23, Shigley 828

$$Y_{NTC} := Y_{NT}(N_{Lc}) = 0,8875$$

$$Y_{NTS} := Y_{NT}(N_{Ls}) = 0,9266$$

Součinitel vrubové pevnosti:

```

if min  $\begin{pmatrix} Y_{SaC} \\ Y_{SaS} \end{pmatrix} < 1,8 = 0,8$ 
   $Y_{\delta relT} := 0,8$ 
else
   $Y_{\delta relT} := 1$ 

```

$$Y_{\delta relT} = 0,8$$

Součinitel drsnosti v oblasti patního přechodu zubu:

$$Y_{RrelT} := 0,9$$

Součinitel pro vložené kolo (satelit):

$$Y_a := 0,7$$

Součinitel velikosti:

Shigley 830

$$Y_X := 1$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$Y_{ST} := 2 \quad // \text{ Shigley, bulharská konstanta?}$$

Součinitel sklonu zubů:

Shigley 827, beta = 0

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

Nominální napětí v ohybu:

$$\sigma_{FOC} := \frac{F_{t1}}{b_{12} \cdot m_n} \cdot Y_{FaC} \cdot Y_{SaC} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot Y_{\beta} = 24,3764 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FOS} := \frac{F_{t2}}{b_{12} \cdot m_n} \cdot Y_{FaS} \cdot Y_{SaS} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot Y_{\beta} = 25,1221 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu v patě zubu:

$$\sigma_{FC} := \sigma_{FOC} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha} = 131,445 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FS} := \sigma_{FOS} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha} = 135,4656 \text{ MPa}$$

Mez únavy v ohybu referenčního ozub. kola:

$$\sigma_{FEC} := \sigma_{FlimC} \cdot Y_{ST} = 527,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FES} := \sigma_{FlimS} \cdot Y_{ST} = 502,75 \text{ MPa}$$

Připustné napětí v ohybu v patě zubu:

$$\sigma_{FPC} := \frac{\sigma_{FEC} \cdot Y_{NTC} \cdot Y_X \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT}}{S_{Fmin}} = 224,5569 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FPS} := \frac{\sigma_{FES} \cdot Y_{NTS} \cdot Y_X \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_a}{S_{Fmin}} = 156,5276 \text{ MPa}$$

Bezpečnosti v ohybu:

$$S_{FC} := \frac{\sigma_{FPC} \cdot S_{Fmin}}{\sigma_{FC}} = 2,5626$$

$$S_{FS} := \frac{\sigma_{FPS} \cdot S_{Fmin}}{\sigma_{FS}} = 1,7332$$

Cvičení 6:

Jmenovitý krouticí moment na ramenu unašeče:

$$M_{tU} := \frac{M_{k4}}{a_K} = 27,7713 \text{ Nm}$$

Radiální síla v uložení čepu:

$$F_{tU} := \frac{M_{tU}}{a_{12}} = 661,2207 \text{ N}$$

Maximální průměr pouzdra:

$$d_{pmax} := d_{a2} - 2 \cdot (3,5 \cdot m_n) = 42 \text{ mm}$$

Volba pouzdra: Oiles 500:

viz oiles.pdf v gitu

$$d_{o in} := 8 \text{ mm}$$

$$d_{o out} := 14 \text{ mm}$$

$$p_{mv max} := 1,64 \text{ MPa m s}^{-1}$$

$$oiles_k_p := 0,42 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3 \text{ s N}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$p_{mv} := \frac{F_{tU}}{b_2} \cdot n_2 \cdot \pi = 3,1932 \text{ MPa m s}^{-1}$$

if $p_{mv} > p_{mv max}$ = "Nutno užít ložisko"

"Nutno užít ložisko"

else

"Lze užít OILES pouzdro"

$$B_{loz} := 10 \text{ mm}$$

Minimální průměr čepu:

$$R_{e_cep} := 400 \text{ MPa}$$

$$p_{max_cep} := 150 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max_cep} := 0,557 \cdot R_{e_cep} = 222,8 \text{ MPa}$$

Střih:

$$d_{min_\tau} := \sqrt{\frac{4 \cdot F_{tU} \cdot S_{Hmin}}{\pi \cdot \tau_{max_cep}}} = 2,0388 \text{ mm}$$

Ohyb:

$$M_{O_cep} := F_{tU} \cdot \left(\frac{B_{loz} + b_2}{2} \right) = 11,4061 \text{ Nm}$$

$$d_{min_\sigma} := 3 \sqrt{\frac{32 \cdot M_{O_cep} \cdot S_{Fmin}}{\pi \cdot R_{e_cep}}} = 7,5809 \text{ mm}$$

$$d_{\min_cep} := \max \left(\begin{array}{l} d_{\min_T} \\ d_{\min_O} \end{array} \right) = 7,5809 \text{ mm}$$

>> Minimální průměr ~8mm, volím ložisko 6003

$$d_{loz} := 17 \text{ mm} \quad D_{loz} := 35 \text{ mm} \quad B_{loz} = 10 \text{ mm}$$

$$d_{loz} \geq d_{\min_cep} = 1$$

$$D_{loz} \leq d_{pmax} = 1$$

$$B_{loz} \leq b_2 = 1$$

$$d_{\check{c}2} := d_{loz} = 17 \text{ mm}$$

Cvičení 7:

Materiál hřídele:

$$11 \text{ 600} \quad R_{eh} := 325 \text{ MPa} \quad R_{mh} := 570 \text{ MPa} \quad \sigma_{Coh} := 280 \text{ MPa}$$

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

Šířka ozubení pastorku:

$$b_4 := 0,6 \cdot d_4 = 18 \text{ mm}$$

Mezní rozměry vyložení pastorku:

$$l_{1mez} := \begin{bmatrix} 1,5 \cdot d_4 \\ 2 \cdot d_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 45 \\ 60 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

Odhad šířky ložiska A:

$$B_{1A} := 23 \text{ mm}$$

Vzdálenost ložiska A od pastorku:

$$l_1 := 2 \cdot b_4 + 5 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + \frac{B_{1A}}{2} = 53,5 \text{ mm}$$

$$l_1 \geq l_{1mez_1} = 1 \quad l_1 \leq l_{1mez_2} = 1$$

Vzdálenost mezi ložisky:

$$l_{2mez} := \begin{bmatrix} 1,5 \cdot l_1 \\ 2 \cdot l_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 80,25 \\ 107 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

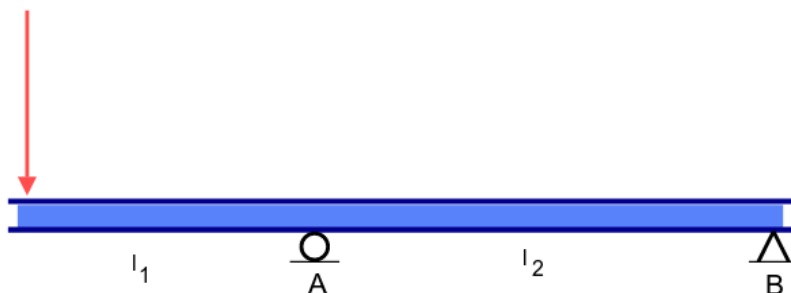
$$l_2 := 80 \text{ mm}$$

Radiální síly v ložiscích:

Zátěž hřídele od pastorku:

$$F_{n4} = 7880,9519 \text{ N}$$

7.9 kN



$$F_A + F_B + F_{n4} := 0$$

$$F_{n4} \cdot l_1 - F_B \cdot l_2 := 0$$

Ložisko B (kuličkové):

$$F_B := F_{n4} \cdot \frac{l_1}{l_2} = 5270,3866 \text{ N}$$

Ložisko A (jehličkové):

$$F_A := F_B + F_{n4} = 13151,3385 \text{ N}$$

Minimální vnější průměr duté hřídele dle HMH k MSP:

$$k_n := 1,2$$

$$M_{o_max} := F_{n4} \cdot l_1 = 421,6309 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{red} := \frac{R_{eh}}{k_n} = 270,8333 \text{ MPa}$$

$$\alpha_\tau := 5$$

$$\alpha_\sigma := 3,5$$

$$D_{msp} := \sqrt[6]{\frac{M_{o_max}^2 \cdot \left(\frac{512}{15}\right)^2 \cdot \alpha_\sigma^2 + 3 \cdot M_{k4}^2 \cdot \left(\frac{256}{15}\right)^2 \cdot \alpha_\tau^2}{\pi^2 \cdot \sigma_{red}^2}} = 39,6355 \text{ mm}$$

Minimální vnější průměr duté hřídele dle Gerbera + HMH k MSÚ:

$$d_e := \sqrt{\left(D_{msp} \cdot \frac{1}{\text{mm}}\right)^2 - \left(\frac{1}{2 \text{ mm}} \cdot D_{msp}\right)^2} = 34,3254$$

Marinova Rce, 345 shigley:

Součinitel vlivu jakosti povrchu: (shigley 346)

$$a := 4,51$$

$$b := -0,265$$

$$k_a := a \cdot \left(\frac{R_{mh}}{\text{MPa}}\right)^b = 0,8392$$

Součinitel vlivu jakosti povrchu: (shigley 346)

```
if d_e > 51 = "OK"
  "Koukni do Shigleyho 346"
else
  "OK"
```

$$k_b := 1,24 \cdot d_e^{-0,107}$$

Součinitel vlivu způsobu zatěžování: (shigley 348)

Podmínka krutu kombinovaného s ohybem, poznámka 33 dole

$$k_c := 1$$

Součinitel vlivu teploty: (shigley 349, t7-6)

$$k_d := 1,02$$

Součinitel spolehlivosti: (shigley 350, t7-7)

$$k_e := 0,897$$

$$\sigma'_{Co} := k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot \sigma_{Coh} = 182,6128 \text{ MPa}$$

$$\beta_\sigma := 0,9 \cdot \alpha_\sigma = 3,15$$

$$\beta_\tau := 0,9 \cdot \alpha_\tau = 4,5$$

$$D_{msu} := \frac{4 \cdot \sqrt[3]{4} \cdot \sqrt[3]{\frac{k_n^2 \cdot R_{mh}^2 \cdot \left(\beta_\sigma^2 \cdot M_{o_max}^2 \cdot R_{mh}^2 + 3 \cdot \beta_\tau^2 \cdot \sigma'_{Co}^2 \cdot M_{k4}^2\right)}{\pi \cdot \sigma'_{Co} \cdot R_{mh}^2}} + \frac{\beta_\sigma \cdot k_n \cdot M_{o_max}}{\pi \cdot \sigma'_{Co}}}{\sqrt[3]{15}}$$

$$D_{msu} = 45,7644 \text{ mm}$$

$$D_h := 45 \text{ mm}$$

Cvičení 8:**Volba ložiska:****Jehlové ložisko v místě A:**Volba: $loz_A := "NA 4909.2RS"$

$$F_A = 13,1513 \text{ kN} \quad n_4 = 851,0417 \text{ min}^{-1}$$

$$d_A := 45 \text{ mm}$$

$$B_A := 23 \text{ mm}$$

$$r_A := 0,6 \text{ mm}$$

$$D_A := 68 \text{ mm}$$

$$C_A := 43 \text{ kN}$$

$$a_A := \frac{10}{3}$$

$$L_{10hA} := \left(\frac{C_A}{F_A} \right)^{a_A} \cdot \frac{10^6}{n_4} = 1015,9982 \text{ hr}$$

$$L_h < L_{10hA} = 1$$

Kuličkové ložisko v místě B:Volba: $loz_B := "6009.2RS"$

$$F_B = 5,2704 \text{ kN}$$

$$n_4 = 851,0417 \text{ min}^{-1}$$

$$d_B := 45 \text{ mm}$$

$$C_B := 22,1 \text{ kN}$$

$$D_B := 75 \text{ mm}$$

$$r_B := 1 \text{ mm}$$

$$B_B := 16 \text{ mm}$$

$$a_B := 3 \quad // \text{ Kuličkové}$$

$$L_{10hB} := \left(\frac{C_B}{F_B} \right)^{a_B} \cdot \frac{10^6}{n_4} = 1443,934 \text{ hr} \quad // \text{ Dosazeno v základních jednotkách}$$

$$L_h < L_{10hB} = 1$$

viz: Planetová převodovka - doplňující podklady v1.1.pdf

S ohledem na rozměr D_h jsou voleny rozměry drážkování ze lehké řady středění na vnitřní průměr:

počet zubů: $z_{dr} := 6$ $D_{dr} := 26 \text{ mm}$ $r_{dr} := 0,2 \text{ mm}$
 $d_{dr} := 23 \text{ mm}$ $b_{dr} := 6 \text{ mm}$

$$ozn_h := \text{concat} \left(\text{num2str}(z_{dr}); "x"; \text{num2str} \left(\frac{d_{dr}}{\text{mm}} \right); "g6x"; \text{num2str} \left(\frac{D_{dr}}{\text{mm}} \right); "a11x"; \text{num2str} \left(\frac{b_{dr}}{\text{mm}} \right); "f9" \right)$$

$$ozn_n := \text{concat} \left(\text{num2str}(z_{dr}); "x"; \text{num2str} \left(\frac{d_{dr}}{\text{mm}} \right); "H7x"; \text{num2str} \left(\frac{D_{dr}}{\text{mm}} \right); "H12x"; \text{num2str} \left(\frac{b_{dr}}{\text{mm}} \right); "H11" \right)$$

Rovnoboké drážkování:

$$\text{Hřídél: } ozn_h = "6x23g6x26a11x6f9"$$

$$\text{Náboj: } ozn_n = "6x23H7x26H12x6H11"$$

Délka drážek:

$$L_{dr} := l_1 - 2 \cdot b_4 + l_2 = 97,5 \text{ mm}$$

L.1 je délka včetně vysunutého pastorku!

Ve výpočtu končí drážkování pod středem ložiska

Účinná délka drážek:

$$L_{dr_u} := L_{dr} - 1,5 \cdot b_4 = 70,5 \text{ mm}$$

Účinná délka = délka - vysunutí - rezerva

Střední průměr drážkování:

$$D_s := \frac{(D_{dr} + d_{dr})}{2} = 24,5 \text{ mm}$$

Síla působící na spoj:

$$F_{dr} := \frac{2 \cdot M_{k4}}{D_s} = 9068,1702 \text{ N}$$

Účinná plocha na 1mm drážkování:

$$A_f := 0,75 \cdot z_{dr} \cdot \left(\frac{D_{dr} - d_{dr}}{2} - 2 \cdot r_{dr} \right) = 4,95 \text{ mm}$$

Tlak v drážkování:

$$p_{dr} := \frac{F_{dr}}{A_f \cdot L_{dr_u}} = 25,9852 \text{ MPa}$$

Povolený tlak v drážkování:

$$p_{ddr} := 40 \text{ MPa} \quad // \text{ Pro tento use case } 40\text{--}70 \text{ MPa}$$

Bezpečnost vůči otláčení:

$$k_{otl} := \frac{p_{ddr}}{p_{dr}} = 1,5393$$

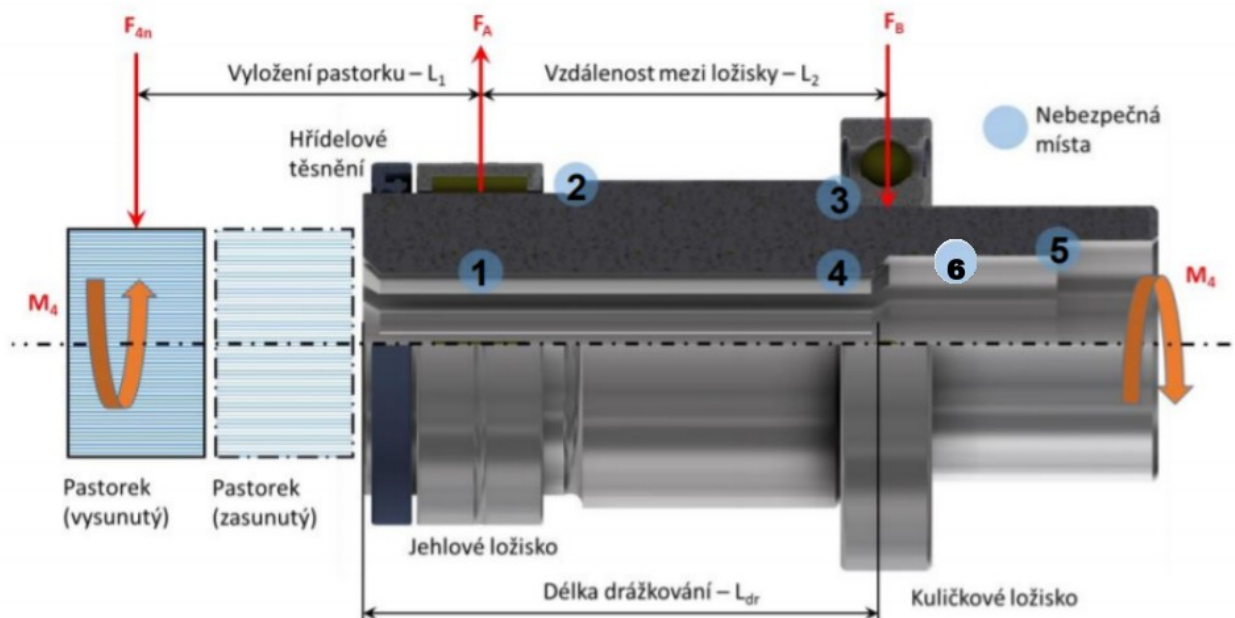
Průměr osazení hřídele:

$$d_{osaz} := 53 \text{ mm}$$

Volba vnitřního průměru:

$$D_{h_in} := D_{dr} + 1 \text{ mm} = 27 \text{ mm}$$

Cvičení 9.



Nebezpečná místa:

1. Drážkování pod jehličkovým ložiskem
2. Osazení u jehličkového ložiska
3. Osazení u kuličkového ložiska
4. Osazení na konci drážkování
5. Osazení pro jehlové ložisko C - drží rotor motoru
6. Osazení pro pružinu - zbytečně počítat, stejné namáhání jako u 5, když spočítám 5 jsem dostatečně konzervativní

1. Drážkování pod jehličkovým ložiskem (A)

MSP:

$$\alpha_{\tau_1} := 6,083 - 14,775 \cdot \left(\frac{10 \cdot r_{dr}}{D_{dr}} \right) + 18,25 \cdot \left(\frac{10 \cdot r_{dr}}{D_{dr}} \right)^2 = 5,0544$$

$$\beta_{\tau_1} := 0,9 \cdot \alpha_{\tau_1} = 4,549$$

$$\beta_{\sigma_1} := 0,9 \cdot \alpha_{\sigma_1} = 3,0327$$

$$\alpha_{\sigma_1} := \frac{2 \cdot \alpha_{\tau_1}}{3} = 3,3696$$

Moment na hřídel:

$$M_{o_max} = 421,6309 \text{ Nm}$$

Vnitřní průměr hří:

$$D_{dr} = 26 \text{ mm}$$

Vnější průměr hří:

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

Krouťicí moment:

$$M_{k4} = 111,0851 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{o_1} := \frac{32 \cdot M_{o_max} \cdot d_A}{\pi \cdot (d_A^4 - D_{dr}^4)} = 53,0406 \text{ MPa} \quad \tau_{k_1} := \frac{16 \cdot M_{k4} \cdot d_A}{\pi \cdot (d_A^4 - D_{dr}^4)} = 6,9872 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red_1} := \sqrt{(\sigma_{o_1} \cdot \alpha_{\sigma_1})^2 + 3 \cdot (\tau_{k_1} \cdot \alpha_{\tau_1})^2} = 188,9053 \text{ MPa}$$

$$k_1 := \frac{R_{eh}}{\sigma_{red_1}} = 1,7204$$

Langer:

$$\sigma_{\alpha_1} := \sigma_{o_1} \cdot \beta_{\sigma_1} = 160,8547 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m_1} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k_1} \cdot \beta_{\tau_1} = 55,0527 \text{ MPa}$$

$$k_{1_1} := \frac{R_{eh}}{\sigma_{\alpha_1} + \sigma_{m_1}} = 1,5053$$

Gerber:Analýza výpočtu σ'_{Co} :

ka - součinitel povrchu - všude stejné - viz výše

$$k_a = 0,8392$$

kb - součinitel velikosti tělesa - $d_e < 51$ - vzoreček stejný

kc - součinitel vlivu zatěžování - kombinovaný - stejné

$$k_c = 1$$

kd - součinitel vlivu teploty - stěné napříč startérem

$$k_d = 1,02$$

ke - součinitel spolehlivosti - stejný napříč hřídelí

$$k_e = 0,897$$

$$k_{koef} := k_a \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot \sigma_{Coh} = 214,991 \text{ MPa}$$

$$d_{e_1} := \sqrt{\left(\frac{d_A}{mm}\right)^2 - \left(\frac{D_{dr}}{mm}\right)^2} = 36,7287$$

$$k_b := 1,24 \cdot d_{e_1}^{-0,107} = 0,8433$$

$$d_{e_1} \leq 51 = 1$$

$$\sigma'_{Co_1} := k_b \cdot k_{koef} = 181,2952 \text{ MPa}$$

$$k_{g_1} := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{R_{mh}}{\sigma_{m_1}}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_{\alpha_1}}{\sigma'_{Co_1}} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \sigma_{m_1} \cdot \sigma'_{Co_1}}{R_{mh} \cdot \sigma_{\alpha_1}}\right)^2}\right) = 1,114$$

2. Osazení u ložiska A (jehličkové ložisko)**MSP:**

$$\frac{d_A}{D_{dr}} = 1,7308$$

$$\frac{r_A}{d_A} = 0,0133$$

$$\alpha_{\tau_2} := 2,65$$

$$\alpha_{\sigma_2} := 2,7$$

$$\beta_{\sigma_2} := \frac{\alpha_{\sigma_2}}{1 + 2 \cdot \frac{(\alpha_{\sigma_2} - 1) \cdot \sqrt{a_2}}{\alpha_{\sigma_2} \cdot \sqrt{r_A}}} = 1,9335$$

Tabulka A-15-8/9, shigley 1115**Tabulka 7-8, shigley 354**

$$a_2 := \left(\frac{139 \text{ MPa}}{R_{mh}}\right)^2 \text{ mm} = 5,9468 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\beta_{\tau_2} := \frac{\alpha_{\tau_2}}{1 + 2 \cdot \frac{(\alpha_{\tau_2} - 1) \cdot \sqrt{a_2}}{\alpha_{\tau_2} \cdot \sqrt{r_A}}} = 1,9037$$

$$d := D_{dr}$$

$$D := d_{osaz}$$

$$M_{o_2} := F_{n4} \cdot \left(1_1 + \frac{B_A}{2}\right) + (-F_A) \cdot \frac{B_A}{2} = 361,0215 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{o_2} := \frac{32 \cdot M_{o_2} \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = 26,219 \text{ MPa}$$

$$\tau_{k_2} := \frac{16 \cdot M_{k4} \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = 4,0337 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red_2} := \sqrt{(\sigma_{o_2} \cdot \alpha_{\sigma_2})^2 + 3 \cdot (\tau_{k_2} \cdot \alpha_{\tau_2})^2} = 73,1723 \text{ MPa}$$

$$k_2 := \frac{R_{eh}}{\sigma_{red_2}} = 4,4416$$

Langer:

$$\sigma_{\alpha_2} := \sigma_{o_2} \cdot \beta_{\sigma_2} = 50,694 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m_2} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k_2} \cdot \beta_{\tau_2} = 13,3003 \text{ MPa}$$

$$k_{1_2} := \frac{R_{eh}}{\sigma_{\alpha_2} + \sigma_{m_2}} = 5,0786$$

Gerber:

$$d_{e_2} := \sqrt{\left(\frac{d_{osaz}}{mm}\right)^2 - \left(\frac{D_{dr}}{mm}\right)^2} = 46,1844$$

$$d_{e_2} \leq 51 = 1$$

$$k_b := 1,24 \cdot d_{e_1}^{-0,107} = 0,8433$$

$$\sigma_{Co_2} := k_b \cdot k_{koef} = 181,2952 \text{ MPa}$$

$$k_{g_2} := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{R_{mh}}{\sigma_{m_2}}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_{\alpha_2}}{\sigma_{Co_2}} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \sigma_{m_2} \cdot \sigma_{Co_2}}{R_{mh} \cdot \sigma_{\alpha_2}}\right)^2}\right) = 3,5517$$

3. Osazení u ložiska B (kuličkové)

$$\text{MSP: } \frac{d_B}{D_{dr}} = 1,7308 \quad \frac{r_B}{d_B} = 0,0222$$

$$\alpha_{\tau_3} := 2,25$$

$$\alpha_{\sigma_3} := 2,65$$

Tabulka A-15-8/9, shigley 1115

Tabulka 7-8, shigley 354

$$\beta_{\sigma_3} := \frac{\alpha_{\sigma_3}}{1 + 2 \cdot \frac{(\alpha_{\sigma_3} - 1) \cdot \sqrt{a_3}}{\alpha_{\sigma_3} \cdot \sqrt{r_B}}} = 2,0327$$

$$d := D_{dr}$$

$$D := d_{osaz}$$

$$a_3 := \left(\frac{139 \text{ MPa}}{R_{mh}}\right)^2 \text{ mm} = 5,9468 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\beta_{\tau_3} := \frac{\alpha_{\tau_3}}{1 + 2 \cdot \frac{(\alpha_{\tau_3} - 1) \cdot \sqrt{a_3}}{\alpha_{\tau_3} \cdot \sqrt{r_B}}} = 1,7703$$

$$M_{o_3} := F_{n4} \cdot \left(1_1 + 1_2 - \frac{B_B}{2}\right) + (-F_A) \cdot \left(1_2 - \frac{B_B}{2}\right) = 42,1631 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{o_3} := \frac{32 \cdot M_{o_3} \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = 3,0621 \text{ MPa}$$

$$\tau_{k_3} := \frac{16 \cdot M_{k4} \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = 4,0337 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red_3} := \sqrt{(\sigma_{o_3} \cdot \alpha_{\sigma_3})^2 + 3 \cdot (\tau_{k_3} \cdot \alpha_{\tau_3})^2} = 17,6907 \text{ MPa}$$

$$k_3 := \frac{R_{eh}}{\sigma_{red_3}} = 18,3712$$

Langer:

$$\sigma_{\alpha_3} := \sigma_{o_3} \cdot \beta_{\sigma_3} = 6,2243 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m_3} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k_3} \cdot \beta_{\tau_3} = 12,3686 \text{ MPa}$$

$$k_{l_3} := \frac{R_{eh}}{\sigma_{\alpha_3} + \sigma_{m_3}} = 17,4798$$

Gerber:

$$d_{e_3} := \sqrt{\left(\frac{d_{osaz}}{mm}\right)^2 - \left(\frac{D_{dr}}{mm}\right)^2} = 46,1844$$

$$d_{e_3} \leq 51 = 1$$

$$k_b := 1,24 \cdot d_{e_1}^{-0,107} = 0,8433$$

$$\sigma'_{Co_3} := k_b \cdot k_{koef} = 181,2952 \text{ MPa}$$

$$k_{g_3} := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{R_{mh}}{\sigma_{m_3}}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_{\alpha_3}}{\sigma'_{Co_3}} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \sigma_{m_3} \cdot \sigma'_{Co_3}}{R_{mh} \cdot \sigma_{\alpha_3}}\right)^2}\right) = 22,3042$$

4. Osazení na konci drážkování:

$$r_4 := \frac{D_{h_in} - D_{dr}}{2} = 0,5 \text{ mm}$$

MSP:

$$\frac{D_h}{D_{h_in}} = 1,6667 \quad \frac{r_4}{D_{h_in}} = 0,0185$$

$$\alpha_{\tau_4} := 1,45$$

$$\alpha_{\sigma_4} := 2,3$$

Tabulka A-15-8/9, shigley 1115
Tabulka 7-8, shigley 354

$$a_4 := \left(\frac{139 \text{ MPa}}{R_{mh}}\right)^2 \text{ mm} = 5,9468 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\beta_{\sigma_4} := \frac{\alpha_{\sigma_4}}{1 + 2 \cdot \frac{(\alpha_{\sigma_4} - 1) \cdot \sqrt{a_4}}{\alpha_{\sigma_4} \cdot \sqrt{r_4}}} = 1,6549$$

$$d := D_{h_in}$$

$$D := D_h$$

$$\beta_{\tau_4} := \frac{\alpha_{\tau_4}}{1 + 2 \cdot \frac{(\alpha_{\tau_4} - 1) \cdot \sqrt{a_4}}{\alpha_{\tau_4} \cdot \sqrt{r_4}}} = 1,1943$$

$$M_{o_4} := \left| - \left(F_{n4} \cdot \left(1 + L_{dr} \cdot \frac{B_B}{2} \right) \right) + F_A \cdot \left(L_{dr} \cdot \frac{B_B}{2} \right) \right| = 50,0687 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{o_4} := \frac{32 \cdot M_{o_4} \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = 6,43 \text{ MPa}$$

$$\tau_{k_4} := \frac{16 \cdot M_{k4} \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = 7,133 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red_4} := \sqrt{(\sigma_{o_4} \cdot \alpha_{\sigma_4})^2 + 3 \cdot (\tau_{k_4} \cdot \alpha_{\tau_4})^2} = 23,23 \text{ MPa}$$

$$k_4 := \frac{R_{eh}}{\sigma_{red_4}} = 13,9905$$

Langer:

$$\sigma_{\alpha_4} := \sigma_{o_4} \cdot \beta_{\sigma_4} = 10,6407 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m_4} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k_4} \cdot \beta_{\tau_4} = 14,7557 \text{ MPa}$$

$$k_{1_4} := \frac{R_{eh}}{\sigma_{\alpha_4} + \sigma_{m_4}} = 12,7971$$

Gerber:

$$d_{e_4} := \sqrt{\left(\frac{D_h}{mm}\right)^2 - \left(\frac{D_{h_in}}{mm}\right)^2} = 36$$

$$d_{e_4} \leq 51 = 1$$

$$k_b := 1,24 \cdot d_{e_4}^{-0,107} = 0,8433$$

$$\sigma_{Co_4} := k_b \cdot k_{koef} = 181,2952 \text{ MPa}$$

$$k_{g_4} := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{R_{mh}}{\sigma_{m_4}}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_{\alpha_4}}{\sigma_{Co_4}} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \sigma_{m_4} \cdot \sigma_{Co_4}}{R_{mh} \cdot \sigma_{\alpha_4}}\right)^2}\right] = 14,6031$$

5. Osazení pro ložisko C:

Nejdříve odhadnu parametry pružiny, abych věděl, jak zhruba volit ložisko

Průměr drátu pružiny:

$$d_{dr \text{ pružiny}} := 3 \text{ mm}$$

$$loz_C := \text{"NKI 25/20 TN"} \quad - \text{ je kryté!}$$

Průměry pružiny:

$$D_{pr} := D_{h_in} = 27 \text{ mm}$$

$$d_C := 25 \text{ mm}$$

$$B_C := 20 \text{ mm}$$

$$d_{pr} := D_{pr} - 2 \cdot d_{dr \text{ pružiny}} = 21 \text{ mm}$$

$$D_C := 38 \text{ mm}$$

$$r_C := 0,3 \text{ mm}$$

Vzhledem ke konstrukci převodovky si můžu dovolit zanedbat výpočet životnosti ložiska C.

Volba tloušťky stěny hřídele rotoru pod ložiskem C:

$$t_{hC} := 2 \text{ mm}$$

$$d_{cmin} := d_{pr} + 2 \cdot t_{hC} = 25 \text{ mm}$$

$$D_C < d_A = 1$$

$$d_{cmin} \leq d_C = 1$$

Katalog ložisek zde:

<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/>
=> needle roller bearings => needle roller bearings with machined rings
=> with machined rings with inner ring

<https://goo.gl/RxEaWS>

$$r_6 := \frac{d_{dr \text{ pružiny}}}{3} = 1 \text{ mm}$$

$$\frac{D_C}{D_{h_in}} = 1,4074 \quad \frac{r_C}{D_C} = 0,0079$$

$$\alpha_{\tau_5} := 2,7$$

Tabulka A-15-8/9, shigley 1115**Tabulka 7-8, shigley 354**

$$D := D_C \quad d := D_{h_in}$$

$$\beta_{\tau_5} := \frac{\alpha_{\tau_5}}{1 + 2 \cdot \frac{(\alpha_{\tau_5} - 1) \cdot \sqrt{a_5}}{\alpha_{\tau_5} \cdot \sqrt{r_C}}} = 1,73$$

$$a_5 := \left(\frac{139 \text{ MPa}}{R_{mh}}\right)^2 \text{ mm} = 5,9468 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

MSP:

$$\tau_{k_5} := \frac{16 \cdot M_{k4} \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = 13,8371 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red_5} := \sqrt{3 \cdot (\tau_{k_4} \cdot \alpha_{\tau_4})^2} = 17,9142 \text{ MPa}$$

$$k_5 := \frac{R_{eh}}{\sigma_{red_5}} = 18,142$$

Langer:

$$\sigma_{m_5} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k_5} \cdot \beta_{\tau_5} = 41,4631 \text{ MPa}$$

$$k_{1_5} := \frac{R_{eh}}{0 + \sigma_{m_5}} = 7,8383$$

Ad drážkování pod ložiskem B - skrze průměry se zde jedná o stejný případ, jako u ložiska A, akorát zde působí menší M_o - tudíž můžu výpočet přeskočit.

Celkové bezpečnosti:

$$k_{\min_msp} := \min \left(k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4 \ k_5 \ k_{1_1} \ k_{1_2} \ k_{1_3} \ k_{1_4} \ k_{1_5} \right) = 1,5053$$

$$k_{\min_msu} := \min \left(k_{g_1} \ k_{g_2} \ k_{g_3} \ k_{g_4} \right) = 1,114$$

Výpis parametrů pro tabulku:**Cv. 1:**

$$z_1 = 19 \quad z_2 = 29 \quad z_3 = -77 \quad a_K = 4 \quad i_{12} = 1,53 \quad i_{23} = -2,66 \quad \Delta n_4 = 0,715 \frac{\%}{\text{min}} \quad n_2 = 2259,66 \text{ min}^{-1}$$

Cv. 2:

$$m_n = 1,75 \text{ mm} \quad b_1 = 28 \text{ mm} \quad b_2 = 24,5 \text{ mm} \quad b_3 = 28 \text{ mm} \quad d_{f3} = -139,12 \text{ mm} \quad \varepsilon_{\gamma 12} = 1,595$$

$$\varepsilon_{\gamma 23} = 1,941 \quad s_{amin} = 0,7 \text{ mm} \quad s_{na1} = 1,205 \text{ mm} \quad s_{na3} = 1,5716 \text{ mm}$$

Cv. 3:

$$M_{k1} = 21,9856 \text{ Nm} \quad M_{t1} = 5,5 \text{ Nm} \quad F_{t1} = 330,61 \text{ N} \quad M_{k4} = 111,09 \text{ Nm} \quad F_{t4} = 7405,67 \text{ N}$$

$$H_c = 615 \quad H_s = 575 \quad K_V = 1,4066 \quad K_{H\beta} = 1,275 \quad K_{F\beta} = 1,2272$$

$$Z_\varepsilon = 0,8954 \quad K_{Hc\alpha} = 1,2473 \quad Y_\varepsilon = 0,7203 \quad K_{Fc\alpha} = 1,3884$$

Cv. 4:

$$Z_B = 1,0539$$

$$Z_H = 2,4946 \quad Z_E = 189,7786 \sqrt{\text{MPa}} \quad Z_D = 1 \quad Z_{LVR} = 0,92$$

$$Z_{NTC} = 0,9349 \quad Z_{NTS} = 0,9724 \quad S_{HC} = 1,1229 \quad S_{HS} = 1,1963 \quad Z_W = 1$$

Cv. 5:

$$Y_{FaC} = 2,85 \quad Y_{FaS} = 2,775 \quad Y_{SaC} = 1,54 \quad Y_{NTC} = 0,8875 \quad Y_{NTS} = 0,9266$$

$$Y_{\delta relT} = 0,8 \quad Y_{RrelT} = 0,9 \quad \sigma_{FES} = 502,75 \text{ MPa} \quad S_{FC} = 2,5626 \quad S_{FS} = 1,7332$$

$$Y_{SaS} = 1,63$$

Cv. 6:

$$F_{tU} = 661,2207 \text{ N} \quad d_{c2} = 17 \text{ mm}$$

Cv. 7:

$$l_1 = 53,5 \text{ mm} \quad l_2 = 80 \text{ mm} \quad F_{t4} = 7405,6724 \text{ N} \quad D_{msp} = 39,6355 \text{ mm}$$

$$F_A = 13151,3385 \text{ N} \quad F_B = 5270,3866 \text{ N} \quad D_{msu} = 45,7644 \text{ mm}$$

Cv. 8:

$$\text{ozn}_h = "6 \times 23g6 \times 26a11 \times 6f9" \quad \text{loz}_A = "NA 4909.2RS" \quad L_{10hA} = 1015,9982 \text{ hr}$$

$$\text{ozn}_n = "6 \times 23H7 \times 26H12 \times 6H11" \quad \text{loz}_B = "6009.2RS" \quad L_{10hB} = 1443,934 \text{ hr}$$

$$k_{otl} = 1,54$$

Cv. 9:

$$k_{min_msp} = 1,5053$$

$$k_{min_msu} = 1,114$$