

## Řezné síly:

$$K_{\text{sily}} := 1$$

$$F_c := 17500 \text{ N} \cdot K_{\text{sily}} = 17.5 \cdot \text{kN}$$

$$F_p := \frac{F_c}{2} = 8.75 \cdot \text{kN}$$

$$F_f := \frac{F_c}{4} = 4.375 \cdot \text{kN}$$

## Hmotnost obrobku:

$$m_{\text{obrobek1}} := 395 \text{ kg}$$

$$G_{\text{obrobek1}} := m_{\text{obrobek1}} \cdot g = 3.874 \cdot \text{kN}$$

$$D_{\text{obrobek1}} := 400 \text{ mm}$$

$$D_{\text{obrabění1}} := 400 \text{ mm}$$

$$H_{\text{obrobek1}} := 400 \text{ mm}$$

$$H_{\text{ulozeni}} := 316 \text{ mm}$$

$$H_1 := H_{\text{obrobek1}} + H_{\text{ulozeni}} = 716 \cdot \text{mm}$$

## Hmotnost unášecí desky:

$$m_{\text{UD}} := 1515 \text{ kg}$$

$$G_{\text{UD}} := m_{\text{UD}} \cdot g = 14.857 \cdot \text{kN}$$

## Síly od jednoho pastorku:

$$M_{\text{obrabění1}} := \left( F_c \cdot \frac{D_{\text{obrabění1}}}{2} \right) = 3500 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad p_{\text{pastorků}} := 2 \quad \text{- počet pastorků}$$

$$D_{\text{věnec}} := 1165.016 \cdot \text{mm} \quad D_{\text{pastorek}} := 146.423 \text{ mm} \quad \beta := 19.528333333333332 \cdot \text{deg}$$

$$\alpha_n := 20 \cdot \text{deg}$$

$$F_{\text{obvodová1}} := \frac{\left( 2 \cdot \frac{M_{\text{obrabění1}}}{D_{\text{věnec}}} \right)}{p_{\text{pastorků}}} = 3 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{radiální1}} := F_{\text{obvodová1}} \cdot \frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)} = 1.2 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{axiální1}} := F_{\text{obvodová1}} \cdot \tan(\beta) = 1.07 \cdot \text{kN}$$

$$B_{\text{převodovek}} := 515 \text{ mm}$$

$$\gamma := \arcsin\left(\frac{B_{\text{převodovek}}}{D_{\text{věnec}} + D_{\text{pastorek}}}\right) = 23.123 \cdot \text{deg}$$

$$C_{\text{převodovek}} := \left( \frac{D_{\text{věnec}}}{2} + \frac{D_{\text{pastorek}}}{2} \right) \cdot \cos(\gamma) = 603 \cdot \text{mm} \quad \text{- vzdálenost od středu stolu}$$

$$F_{x1} := F_{\text{obvodová}1} \cdot \sin(\gamma) + F_{\text{radiální}1} \cdot \cos(\gamma) = 2.2 \cdot \text{kN}$$

$$F_{y1} := F_{\text{obvodová}1} \cdot \cos(\gamma) + F_{\text{radiální}1} \cdot \sin(\gamma) = 3.2 \cdot \text{kN}$$

$$F_{z1} := F_{\text{axiální}1} = 1.1 \cdot \text{kN}$$

### Ekvivalentní axiální zatížení:

$$F_{\text{OA}1} := F_f + G_{\text{obrobek}1} + G_{\text{UD}} + p_{\text{pastorků}} \cdot F_{\text{axiální}1} = 25.24 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{OR}1} := \sqrt{(p_{\text{pastorků}} \cdot F_{y1} - F_p)^2 + (F_c - p_{\text{pastorků}} \cdot F_{x1})^2} = 13.2 \cdot \text{kN}$$

$$s_O := 1.25$$

$$F_{\text{OAekv}1} := (F_{\text{OA}1} + 2.05 \cdot F_{\text{OR}1}) \cdot s_O = 65.4 \cdot \text{kN}$$

Podmínka platnosti:

$$\frac{F_{\text{OR}1}}{F_{\text{OA}1}} = 0.52$$

$$L_{10} = \left( \frac{C_a}{P_A} \right)^p \quad \text{where:}$$

$L_{10}$  - Life [ $10^6$  rev]  
 $C_a$  - axial dynamic load rating according to the standard ISO 281 [kN]  
 $P_A$  - axial equivalent dynamic load [kN]  
 $p$  - factor       $p = 3$  for ball slewing ring  
                       $p = 10/3$  for crossed roller slewing ring

$$D_S := \frac{914.4 \text{ mm} + 685.8 \text{ mm}}{2} = 800.1 \cdot \text{mm} \quad \text{- střední průměr ložiska}$$

$$M_{x1} := F_p \cdot H_1 - F_f \cdot \frac{D_{\text{obrobek}1}}{2} + F_{\text{axiální}1} \cdot \frac{B_{\text{převodovek}}}{2} - F_{\text{axiální}1} \cdot \frac{B_{\text{převodovek}}}{2} = 5.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y1} := p_{\text{pastorků}} \cdot F_{\text{axiální}1} \cdot C_{\text{převodovek}} - F_c \cdot H_1 = -11.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{OK}1} := \sqrt{M_{x1}^2 + M_{y1}^2} = 12.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$e_1 := \frac{2 \cdot M_{\text{OK}1}}{F_{\text{OA}1} \cdot D_S} = 1.235$$

$$C_a := 1394 \text{ kN}$$

$$L_{10\_1} := \left( \frac{C_a}{F_{\text{OAekv}1}} \right)^{\frac{10}{3}} = 26853 \times 10^6 \text{ otáček}$$

$$n_{\min} := 1 \cdot \text{min}^{-1} \quad n_{\max} := 10000 \cdot \text{min}^{-1}$$

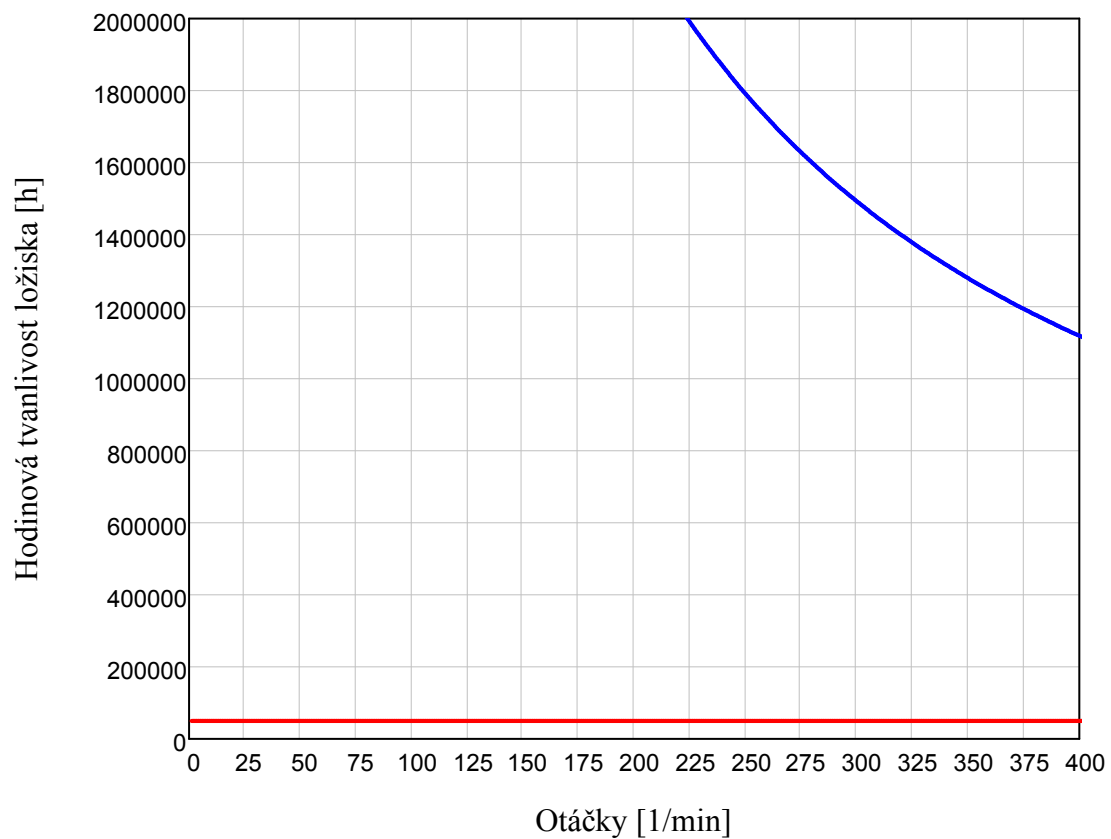
$$i := \frac{n_{\min}}{\text{min}^{-1}} \cdot \frac{n_{\max}}{\text{min}^{-1}}$$

$$n_i := i \cdot \text{min}^{-1}$$

$$L_{h10\_1(n)} := \left( \frac{C_a}{F_{OAekv1}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n}$$

$$L_{\text{požadovaná}} := 50000 \text{ hr}$$

Závislost hodinové trvanlivosti ložiska na otáčkách



- Hodinová trvanlivost ložiska
- Minimální požadovaná trvanlivost (50 000 h)



### Hmotnost obrobku:

$$m_{\text{obrobek2}} := 3157 \text{ kg}$$

$$D_{\text{obrobek2}} := 800 \text{ mm}$$

$$D_{\text{obrábění2}} := 800 \text{ mm}$$

$$G_{\text{obrobek2}} := m_{\text{obrobek2}} \cdot g = 30.96 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{obrobek2}} := 800 \text{ mm}$$

$$H_2 := H_{\text{obrobek2}} + H_{\text{ulozeni}} = 1116 \cdot \text{mm}$$

### Hmotnost unášecí desky:

$$m_{\text{UD}} = 1515 \text{ kg}$$

$$G_{\text{UD}} = 14857 \text{ N}$$

### Síly od jednoho pastorku:

$$M_{\text{obrábění2}} := \left( F_c \cdot \frac{D_{\text{obrábění2}}}{2} \right) = 7000 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad p_{\text{pastorků}} = 2 \quad - \text{počet pastorků}$$

$$D_{\text{věnec}} = 1165.016 \cdot \text{mm} \quad D_{\text{pastorek}} = 146.423 \cdot \text{mm} \quad \beta = 19.528 \cdot \text{deg}$$

$$\alpha_n = 20 \cdot \text{deg}$$

$$F_{\text{obvodová2}} := \frac{\left( 2 \cdot \frac{M_{\text{obrábění2}}}{D_{\text{věnec}}} \right)}{p_{\text{pastorků}}} = 6 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{radiální2}} := F_{\text{obvodová2}} \cdot \frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)} = 2.3 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{axiální2}} := F_{\text{obvodová2}} \cdot \tan(\beta) = 2.13 \cdot \text{kN}$$

$$B_{\text{převodovek}} = 515 \cdot \text{mm}$$

$$\gamma = 23.123 \cdot \text{deg}$$

$$F_{x2} := F_{\text{obvodová}2} \cdot \sin(\gamma) + F_{\text{radiální}2} \cdot \cos(\gamma) = 4.5 \cdot \text{kN}$$

$$F_{y2} := F_{\text{obvodová}2} \cdot \cos(\gamma) + F_{\text{radiální}2} \cdot \sin(\gamma) = 6.4 \cdot \text{kN} \quad \widehat{p_{\text{převodovek}}} = 603 \cdot \text{mm}$$

$$F_{z2} := F_{\text{axiální}2} = 2.1 \cdot \text{kN}$$

### Ekvivalentní axiální zatížení:

$$F_{\text{OA}2} := F_f + G_{\text{obrobek}2} + G_{\text{UD}} + p_{\text{pastorků}} \cdot F_{\text{axiální}2} = 54.45 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{OR}2} := \sqrt{(p_{\text{pastorků}} \cdot F_{y2} - F_p)^2 + (F_c - p_{\text{pastorků}} \cdot F_{x2})^2} = 9.5 \cdot \text{kN}$$

$$s_O = 1.25$$

$$F_{\text{OAekv}2} := (F_{\text{OA}2} + 2.05 \cdot F_{\text{OR}2}) \cdot s_O = 92.3 \cdot \text{kN}$$

Podmínka platnosti:

$$\frac{F_{\text{OR}2}}{F_{\text{OA}2}} = 0.17$$

$$L_{10} = \left( \frac{C_a}{P_A} \right)^p \quad \text{where:}$$

$L_{10}$  - Life [ $10^6$  rev]  
 $C_a$  - axial dynamic load rating according to the standard ISO 281 [kN]  
 $P_A$  - axial equivalent dynamic load [kN]  
 $p$  - factor  $p = 3$  for ball slewing ring  
 $p = 10/3$  for crossed roller slewing ring

$$D_S = 800.1 \cdot \text{mm} \quad - \text{střední průměr ložiska}$$

$$M_{x2} := F_p \cdot H_2 - F_f \cdot \frac{D_{\text{obrobek}2}}{2} + F_{\text{axiální}2} \cdot \frac{B_{\text{převodovek}}}{2} - F_{\text{axiální}2} \cdot \frac{B_{\text{převodovek}}}{2} = 8 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y2} := p_{\text{pastorků}} \cdot F_{\text{axiální}2} \cdot C_{\text{převodovek}} - F_c \cdot H_2 = -17 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{OK}2} := \sqrt{M_{x2}^2 + M_{y2}^2} = 18.8 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$e_2 := \frac{2 \cdot M_{\text{OK}2}}{F_{\text{OA}2} \cdot D_S} = 0.861$$

$$C_a = 1394 \cdot \text{kN}$$

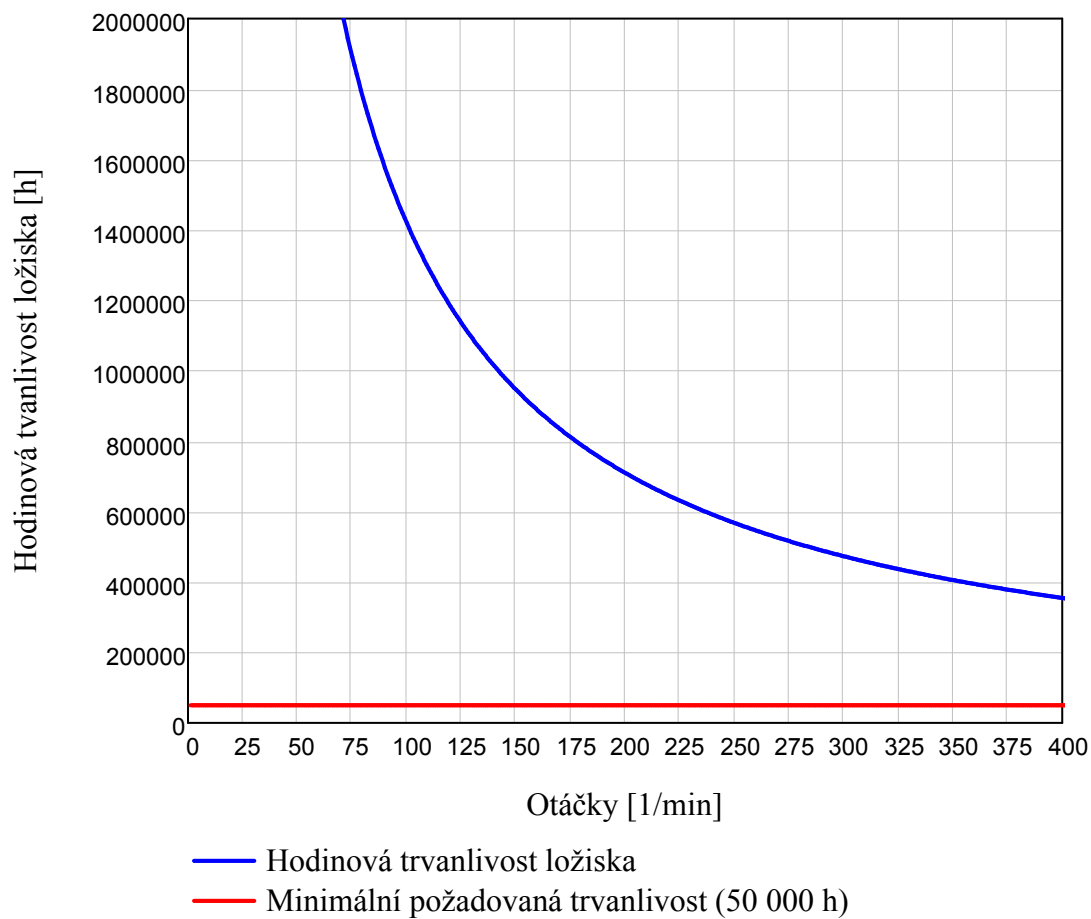
$$L_{10\_2} := \left( \frac{C_a}{F_{\text{OAekv}2}} \right)^{\frac{10}{3}} = 8513 \quad \times 10^6 \text{ otáček}$$

$$F_{OAekv2} = 92.3 \cdot \text{kN}$$

$$L_{h10\_2(n)} := \left( \frac{C_a}{F_{OAekv2}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n}$$

$$L_{\text{požadovaná}} = 50000 \cdot \text{hr}$$

Závislost hodinové trvanlivosti ložiska na otáčkách



### Hmotnost obrobku:

$$m_{\text{obrobek3}} := 15000 \text{ kg}$$

$$G_{\text{obrobek3}} := m_{\text{obrobek3}} \cdot g = 147.1 \cdot \text{kN}$$

$$D_{\text{obrobek3}} := 1600 \text{ mm} \quad D_{\text{obrábění3}} := 1600 \text{ mm}$$

$$H_{\text{obrobek3}} := 1500 \text{ mm}$$

$$H_3 := H_{\text{obrobek3}} + H_{\text{ulozeni}} = 1816 \cdot \text{mm}$$

### Hmotnost unášecí desky:

$$m_{\text{UD}} = 1515 \text{ kg}$$

$$G_{\text{UD}} = 14857 \text{ N}$$

### Síly od jednoho pastorku:

$$M_{\text{obrábění3}} := \left( F_c \cdot \frac{D_{\text{obrábění3}}}{2} \right) = 14000 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad p_{\text{pastorků}} = 2 \quad - \text{počet pastorků}$$

$$D_{\text{věnec}} = 1165 \cdot \text{mm} \quad D_{\text{pastorek}} = 146.423 \cdot \text{mm} \quad \beta = 19.528 \cdot \text{deg}$$

$$\alpha_n = 20 \cdot \text{deg}$$

$$F_{\text{obvodová3}} := \frac{\left( 2 \cdot \frac{M_{\text{obrábění3}}}{D_{\text{věnec}}} \right)}{p_{\text{pastorků}}} = 12 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{radiální3}} := F_{\text{obvodová3}} \cdot \frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)} = 4.6 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{axiální3}} := F_{\text{obvodová3}} \cdot \tan(\beta) = 4.26 \cdot \text{kN}$$

$$B_{\text{převodovek}} = 515 \cdot \text{mm}$$

$$\gamma = 23.123 \cdot \text{deg}$$



$$F_{x3} := F_{\text{obvodová}3} \cdot \sin(\gamma) + F_{\text{radiální}3} \cdot \cos(\gamma) = 9 \cdot \text{kN}$$

$$F_{y3} := F_{\text{obvodová}3} \cdot \cos(\gamma) + F_{\text{radiální}3} \cdot \sin(\gamma) = 12.9 \cdot \text{kN}$$

$$C_{\text{převodovek}} = 603 \cdot \text{mm}$$

$$F_{z3} := F_{\text{axiální}3} = 4.262 \cdot \text{kN}$$

### Ekvivalentní axiální zatížení:

$$F_{\text{OA}3} := F_f + G_{\text{obrobek}3} + G_{\text{UD}} + p_{\text{pastorků}} \cdot F_{\text{axiální}3} = 174.86 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{OR}3} := \sqrt{(p_{\text{pastorků}} \cdot F_{y3} - F_p)^2 + (F_c - p_{\text{pastorků}} \cdot F_{x3})^2} = 17 \cdot \text{kN}$$

$$s_O = 1.25$$

$$F_{\text{OAekv}3} := (F_{\text{OA}3} + 2.05 \cdot F_{\text{OR}3}) \cdot s_O = 262.1 \cdot \text{kN}$$

Podmínka platnosti:

$$\frac{F_{\text{OR}3}}{F_{\text{OA}3}} = 0.1$$

$$L_{10} = \left( \frac{C_a}{P_A} \right)^p \quad \text{where:}$$

$L_{10}$  - Life [ $10^6$  rev]  
 $C_a$  - axial dynamic load rating according to the standard ISO 281 [kN]  
 $P_A$  - axial equivalent dynamic load [kN]  
 $p$  - factor  $p = 3$  for ball slewing ring  
 $p = 10/3$  for crossed roller slewing ring

$$D_S = 800.1 \cdot \text{mm}$$

- střední průměr ložiska

$$M_{x3} := F_p \cdot H_3 - F_f \cdot \frac{D_{\text{obrobek}3}}{2} + F_{\text{axiální}3} \cdot \frac{B_{\text{převodovek}}}{2} - F_{\text{axiální}3} \cdot \frac{B_{\text{převodovek}}}{2} = 12.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y3} := p_{\text{pastorků}} \cdot F_{\text{axiální}3} \cdot C_{\text{převodovek}} - F_c \cdot H_3 = -26.6 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{OK}3} := \sqrt{M_{x3}^2 + M_{y3}^2} = 29.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$e_3 := \frac{2 \cdot M_{\text{OK}3}}{F_{\text{OA}3} \cdot D_S} = 0.42$$

$$C_a = 1394 \cdot \text{kN}$$

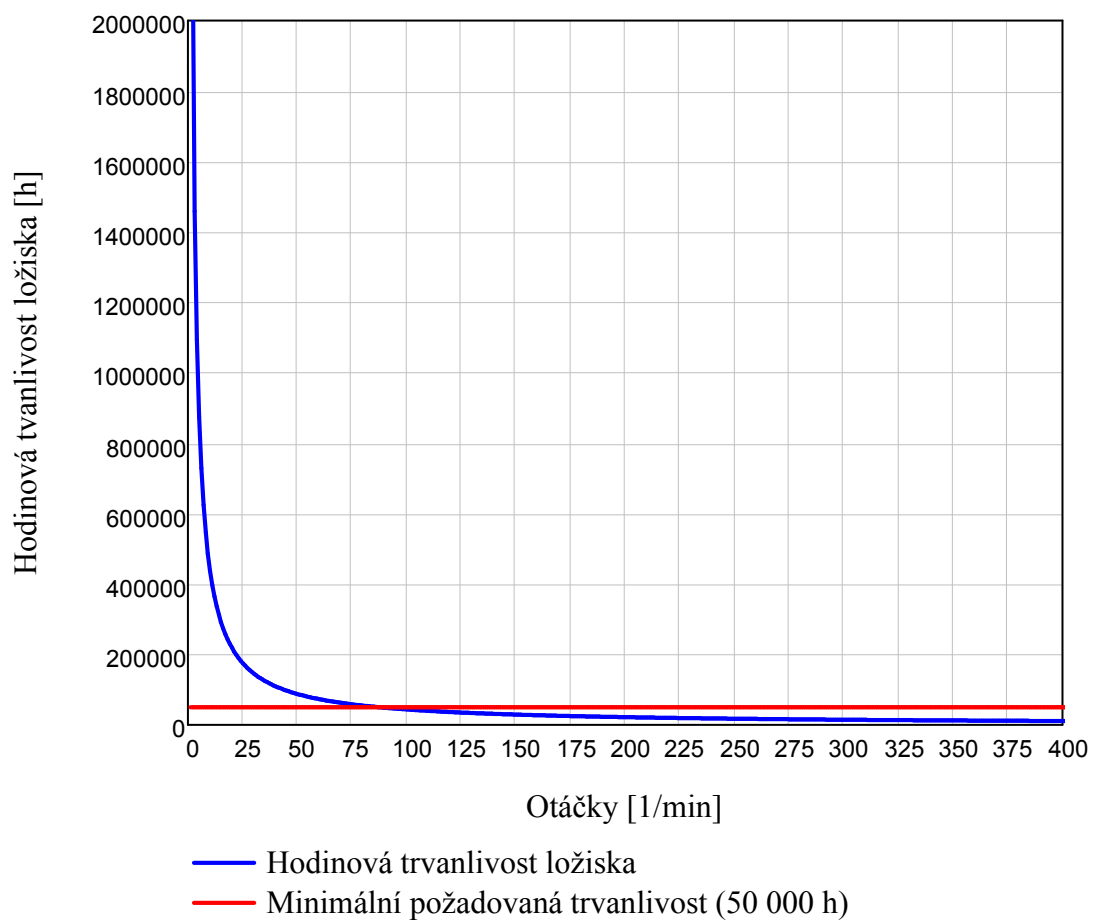
$$L_{10\_3} := \left( \frac{C_a}{F_{\text{OAekv}3}} \right)^{\frac{10}{3}} = 262 \quad \times 10^6 \text{ otáček}$$

$$F_{OAekv3} = 262.1 \cdot \text{kN}$$

$$L_{h10\_3(n)} := \left( \frac{C_a}{F_{OAekv3}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n}$$

$$L_{\text{požadovaná}} = 50000 \cdot \text{hr}$$

Závislost hodinové trvanlivosti ložiska na otáčkách



## Výpočet trvanlivosti:

$$n_1 := 280 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_2 := 200 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_3 := 100 \cdot \text{min}^{-1}$$

Podíl jednotlivého otáčkového stupně na celkové době zatěžování [%]:

$$q_1 := 10\%$$

$$q_2 := 50\%$$

$$q_3 := 40\%$$

$$n_m := n_1 \cdot q_1 + n_2 \cdot q_2 + n_3 \cdot q_3 = 168 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$F_{\text{OAekv1}} = 65.4 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{OAekv2}} = 92.3 \cdot \text{kN}$$

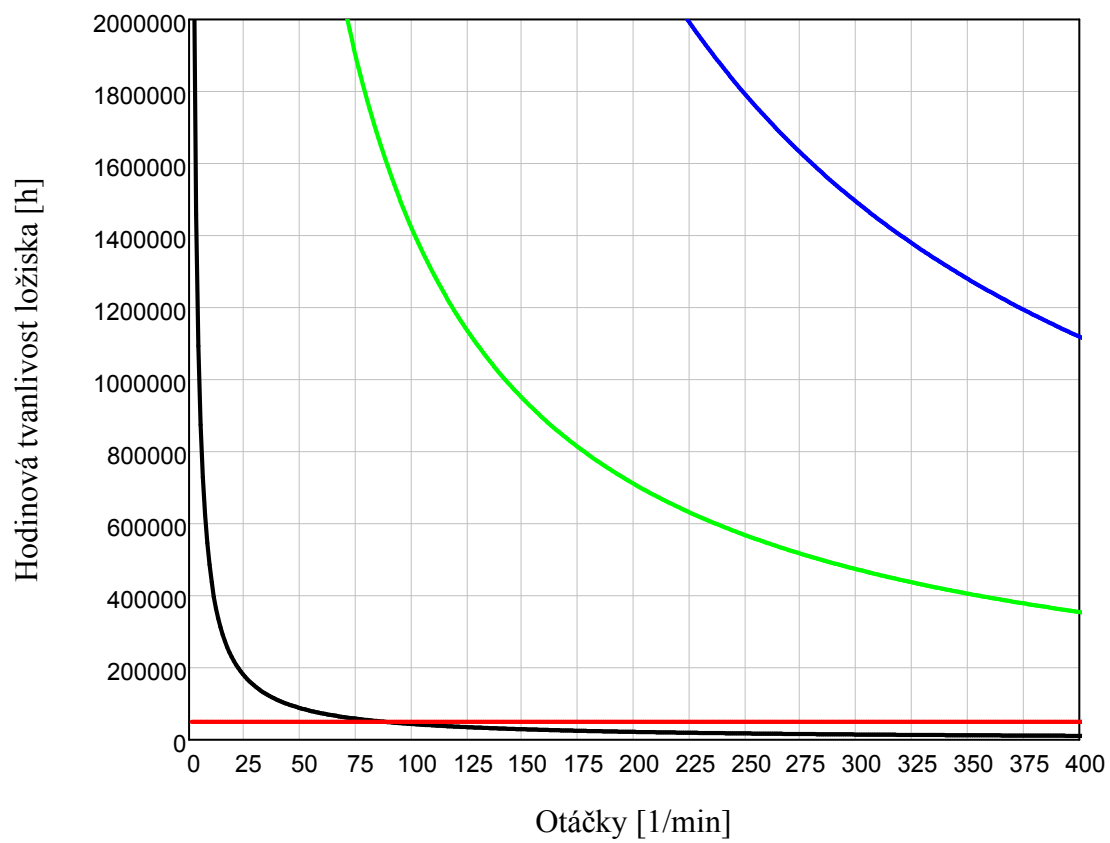
$$F_{\text{OAekv3}} = 262.1 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{OAekvm}} := \sqrt[3]{F_{\text{OAekv1}}^3 \cdot \frac{n_1}{n_m} \cdot q_1 + F_{\text{OAekv2}}^3 \cdot \frac{n_2}{n_m} \cdot q_2 + F_{\text{OAekv3}}^3 \cdot \frac{n_3}{n_m} \cdot q_3} = 168.7 \cdot \text{kN}$$

$$L_{h10} := \left( \frac{C_a}{F_{\text{OAekvm}}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n_m} = 113088 \cdot \text{hr}$$

$$C_a = 1394 \cdot \text{kN}$$

$$L_{h10} = 12.9 \cdot \text{yr}$$



- 1. obrobek 400x400
- 2. obrobek 800x800
- 3. obrobek 1600x1500
- Minimální požadovaná trvanlivost (50 000 h)