



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

HNACÍ ÚSTROJÍ TŘÍVÁLCOVÉHO ŘADOVÉHO VZNĚTOVÉHO MOTORU

CRANKTRAIN OF THREE-CYLINDER IN-LINE DIESEL ENGINE

PŘÍLOHA K DIPLOMOVÉ PRÁCI
MASTER'S THESIS APPENDICE

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL KOVÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2011

OBSAH

1. VÝPOČTY PRO VARIANTU SE SILOVÝM VYVÁŽENÍM
2. VÝPOČTY PRO VARIANTU S MOMENTOVÝM VYVÁŽENÍM
3. VÝPOČTY PRO VARIANTU S VYVÁŽENÍM DLE SCHNURLEHO

1. VÝPOČTY PRO VARIANTU SE SILOVÝM VYVÁŽENÍM

REDUKCE HMOTNOSTÍ

- momenty setrvačnosti byly získány analýzou součástí v programu Pro/Engineer

REDUKCE POSUVNÝCH HMOT

$m_{\text{píst}} := 2.0445 \text{ kg}$ Hmotnost pístní skupiny

$m_1 := 0.907 \text{ kg}$ Hmotnost posuvného podílu ojnice

$m_2 := 1.645 \text{ kg}$ Hmotnost rotačního podílu ojnice

$\lambda := 0.3$ Klikový poměr r

$r := 0.060 \text{ m}$ Rameno klikového hřídele

REDUKOVANÝ MOMENT SETRVAČNOSTI POSUVNÝCH HMOT

$$I_{\text{pos}} := \left[(m_{\text{píst}} + m_1) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda^2}{8} \right) \right] \cdot r^2 \quad I_{\text{pos}} = 5.432 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKOVANÝ MOMENT SETRVAČNOSTI ROTUJÍCÍCH HMOT

$$I_{\text{rot}} := (m_2 \cdot r^2) \quad I_{\text{rot}} = 5.922 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

MOMENTY SETRVAČNOSTI JEDNOTLIVÝCH ZALOMENÍ - ZÍSKANÉ Z PRO/ENGINEER

$$I_{\text{zal}_1} := 0.027214 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{zal}_2} := 0.025533 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{zal}_3} := 0.026232 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

MOMENTY SETRVAČNOSTI NÁHRADNÍCH KOTOUČŮ JEDNOTLIVÝCH ZALOMENÍ

1. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_1} := I_{zal_1} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_1} = 0.039 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

2. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_2} := I_{zal_2} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_2} = 0.037 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

3. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_3} := I_{zal_3} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_3} = 0.038 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE HMOT NA STRANĚ ŘEMENICE

Moment setrvačnosti řemenice

$$I_{rem} := 0.03152 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti části klikového hřídele pod řemenicí

$$I_{kl_rem} := 0.00025874 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti náhradního kotouče

$$I_{c_rem} := I_{rem} + I_{kl_rem}$$

$$I_{c_rem} = 0.032 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE HMOT NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

Moment setrvačnosti setrvačníku

$$I_{setr} := 1.06 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti části klikového hřídele pod setrvačnickem

$$I_{kl_setr} := 0.00374452 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti náhradního kotouče

$$I_{c_setr} := I_{setr} + I_{kl_setr}$$

$$I_{c_setr} = 1.064 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE DÉLEK

- Redukovaná délka zalomení klikového hřídele dle metody Ker-Wilson

Průměr hlavního čepu

$$D_{hc} := 80\text{mm}$$

Průměr ojničního čepu

$$D_{oc} := 66\text{mm}$$

Šířka hlavního čepu

$$b_{hc} := 44\text{mm}$$

Šířka ojničního čepu

$$b_{oc} := 42\text{mm}$$

Šířka zalomení klikového hřídele

$$h := 90\text{mm}$$

Tloušťka ramene zalomení klikového hřídele

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

Redukovaný průměr

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

$$D_{red} = 80\text{mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA ZALOMENÍ

$$l_{red} := D_{red}^4 \cdot \left[\frac{b_{hc} + 0.4 D_{hc}}{D_{hc}^4} + \frac{b_{oc} + 0.4 D_{oc}}{D_{oc}^4} + \frac{r - 0.2(D_{hc} + D_{oc})}{b \cdot h^3} \right]$$

$$l_{red} = 310.18\text{mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ ŘEMENICE

Redukovaná délka řemenice při stejném průměru jako je průměr hlavního čepu

$$l_{\text{red_rem}} := \frac{b_{\text{hc}}}{2} + \frac{1}{2}$$

$$l_{\text{red_rem}} = 177.09 \text{ mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

Šířka příruby pro setrvačník

$$b_p := 35 \text{ mm}$$

Roztečný průměr děr pro upevnění setrvačnicku

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

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

$$l_{\text{red_set}} := \frac{b_{\text{hc}}}{2} + b_p \cdot \frac{D_{\text{red}}^4}{d_p^4} + \cdot$$

$$l_{\text{red_set}} = 212.09 \text{ mm}$$

VÝPOČET TUHOSTÍ

Modul pružnosti klikového hřídele ve smyku

$$G_{\text{ocel}} := 81000 \text{ MPa}$$

Polární moment setrvačnosti náhradního hřídele

$$I_p := \frac{\pi D_{\text{red}}^4}{32} \quad I_p = 4.021 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Torzní tuhost za řemenicí

$$C_0 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{l_{\text{red_rem}}} \quad C_0 = 1.839 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_1 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{l_{\text{red}}} \quad C_1 = 1.05 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_2 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_P}{I_{\text{red}}}$$

$$C_2 = 1.05 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_3 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_P}{I_{\text{red_set}}}$$

$$C_3 = 1.536 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

Výpočet bezpečnosti

$$\text{MPa} := 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{CT} := 495 \text{ MPa}$$

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

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

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

$$\eta_{\sigma} := 0.91$$

$$\nu_{\sigma} := 0.75$$

Zatížení 1

$$\sigma_{VMa} := 462.953 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1a} := 460.393 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3a} := 68.224 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eX} := \sigma_{VMa}$$

$$\sigma_{eX1} := 211.807 \text{ MPa}$$

$$d_{vz} := 7.5 \text{ mm}$$

Zatížení 2

$$\sigma_{VMb} := 167.705 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1b} := 153.512 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3b} := 16.182 \text{ MPa}$$

$$xx_1 := 4.326 \text{ mm}$$

STANOVENÍ POMĚRNÉHO GRADIENTU, KOREKČNÍHO SOUČinitele (VLIVU NA MEZ ÚNAVY) A POMĚRU A / B

POMĚRNÝ GRADIENT

$$\chi_R := \frac{1}{\sigma_{eX}} \cdot \left(\frac{\sigma_{eX} - \sigma_{eX1}}{|xx_1|} \right)$$

$$\chi_R = 0.125 \text{ mm}^{-1}$$

$$\chi_{R1} := 0.125$$

KOREKČNÍ SOUČINITEL

$$f_G := 1 + \frac{\frac{\sigma_{CO}}{\sigma_{CT}} - 1}{\frac{2}{d_{vz}}} \cdot \chi_R \quad f_G = 1.029$$

POMĚR α/β

$$pom := 1 + \sqrt{\chi_{R1}} \cdot 10^{-\left(0.35 + \frac{900}{810}\right)} \quad pom = 1.012$$

STANOVENÍ AMPLITUDY A STŘEDNÍ HODNOTY EKVIVALENTNÍHO NAPĚTÍ

$$\sigma_{emax} := \text{sign}(\sigma_{1a}) \cdot \sigma_{VMa} \quad \sigma_{emin} := \text{sign}(\sigma_{1b}) \cdot \sigma_{VMb}$$

$$\sigma_{emax} = 462.953 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{emin} = 167.705 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ea} := \frac{\sigma_{emax} - \sigma_{emin}}{2}$$

$$\sigma_{ea} = 147.624 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{em} := \frac{\sigma_{emax} + \sigma_{emin}}{2}$$

$$\sigma_{em} = 315.329 \text{ MPa}$$

$$k := \left(pom \cdot \frac{\sigma_{ea}}{\sigma_{CO} \cdot \eta_{\sigma} \cdot v_{\sigma} \cdot f_G} + \frac{\sigma_{em}}{R_m} \right)^{-1} \quad k = 1.59$$

2. VÝPOČTY PRO VARIANTU S MOMENTOVÝM VYVÁŽENÍM

- momenty setrvačnosti byly získány analýzou součástí v programu Pro/Engineer

REDUKCE POSUVNÝCH HMOT

$m_{píst} := 2.0445 \text{ kg}$ Hmotnost pístní skupiny

$m_1 := 0.907 \text{ kg}$ Hmotnost posuvného podílu ojnice

$m_2 := 1.645 \text{ kg}$ Hmotnost rotačního podílu ojnice

$\lambda := 0.3$ Klikový poměr r

$r := 0.060 \text{ m}$ Rameno klikového hřídele

REDUKOVANÝ MOMENT SETRVAČNOSTI POSUVNÝCH HMOT

$$I_{pos} := \left[(m_{píst} + m_1) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda^2}{8} \right) \right] \cdot r^2 \quad I_{pos} = 5.432 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKOVANÝ MOMENT SETRVAČNOSTI ROTUJÍCÍCH HMOT

$$I_{rot} := (m_2 \cdot r^2) \quad I_{rot} = 5.922 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

MOMENTY SETRVAČNOSTI JEDNOTLIVÝCH ZALOMENÍ - ZÍSKANÉ Z PRO/ENGINEER

$$I_{zal_1} := 0.0201837 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{zal_2} := 0.0151414 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{zal_3} := 0.0202845 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

MOMENTY SETRVAČNOSTI NÁHRADNÍCH KOTOUČŮ JEDNOTLIVÝCH ZALOMENÍ

1. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_1} := I_{zal_1} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_1} = 0.032 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

2. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_2} := I_{zal_2} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{zal_3} := 0.0202845 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

3. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_3} := I_{zal_3} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_3} = 0.032 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE HMOT NA STRANĚ ŘEMENICE

Moment setrvačnosti řemenice

$$I_{rem} := 0.03152 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti části klikového hřídele pod řemenicí

$$I_{kl_rem} := 0.00025874 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti náhradního kotouče

$$I_{c_rem} := I_{rem} + I_{kl_rem}$$

$$I_{c_rem} = 0.032 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE HMOT NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

Moment setrvačnosti setrvačníku

$$I_{setr} := 1.06 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti části klikového hřídele pod setrvačnickem

$$I_{kl_setr} := 0.00374452 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti náhradního kotouče

$$I_{c_setr} := I_{setr} + I_{kl_setr}$$

$$I_{c_setr} = 1.064 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE DÉLEK

- Redukovaná délka zalomení klikového hřídele dle metody Ker-Wilson

Průměr hlavního čepu

$$D_{hc} := 80\text{mm}$$

Průměr ojničního čepu

$$D_{oc} := 66\text{mm}$$

Šířka hlavního čepu

$$b_{hc} := 44\text{mm}$$

Šířka ojničního čepu

$$b_{oc} := 42\text{mm}$$

Šířka zalomení klikového hřídele

$$h := 90\text{mm}$$

Tloušťka ramene zalomení klikového hřídele

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

Redukovaný průměr

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

$$D_{red} = 80\text{mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA ZALOMENÍ

$$l_{red} := D_{red}^4 \cdot \left[\frac{b_{hc} + 0.4 D_{hc}}{D_{hc}^4} + \frac{b_{oc} + 0.4 D_{oc}}{D_{oc}^4} + \frac{r - 0.2 (D_{hc} + D_{oc})}{b \cdot h^3} \right]$$

$$l_{red} = 310.18\text{mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ ŘEMENICE

Redukovaná délka řemenice při stejném průměru jako je průměr hlavního čepu

$$l_{\text{red_rem}} := \frac{b_{\text{hc}}}{2} + \frac{1}{2}$$

$$l_{\text{red_rem}} = 177.09 \text{ mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

Šířka příruby pro setrvačník

$$b_p := 35 \text{ mm}$$

Roztečný průměr děr pro upevnění setrvačnicku

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

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

$$l_{\text{red_set}} := \frac{b_{\text{hc}}}{2} + b_p \cdot \frac{D_{\text{red}}^4}{d_p^4} + \cdot$$

$$l_{\text{red_set}} = 212.09 \text{ mm}$$

VÝPOČET TUHOSTÍ

Modul pružnosti klikového hřídele ve smyku

$$G_{\text{ocel}} := 81000 \text{ MPa}$$

Polární moment setrvačnosti náhradního hřídele

$$I_p := \frac{\pi D_{\text{red}}^4}{32} \quad I_p = 4.021 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Torzní tuhost za řemenicí

$$C_0 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{l_{\text{red_rem}}} \quad C_0 = 1.839 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_1 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{l_{\text{red}}} \quad C_1 = 1.05 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_2 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{I_{\text{red}}}$$

$$C_2 = 1.05 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_3 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{I_{\text{red_set}}}$$

$$C_3 = 1.536 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

Výpočet bezpečnosti

$$\text{MPa} := 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{CT}} := 495 \text{ MPa}$$

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

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

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

$$\eta_{\sigma} := 0.91$$

$$\nu_{\sigma} := 0.7\%$$

Zatížení 1

Zatížení 2

$$\sigma_{\text{VMa}} := 527.463 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{VMb}} := 189.929 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1a} := 532.589 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1b} := 142.597 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3a} := 76.892 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3b} := 20.055 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{eX}} := \sigma_{\text{VMa}}$$

$$\sigma_{\text{eX1}} := 231.925 \text{ MPa}$$

$$xx_1 := 4.752 \text{ mm}$$

$$d_{\text{vz}} := 7.5 \text{ mm}$$

STANOVENÍ POMĚRNÉHO GRADIENTU, KOREKČNÍHO SOUČinitele (VLIVU NA MEZ ÚNAVY) A POMĚRU A / B

POMĚRNÝ GRADIENT

$$\chi_R := \frac{1}{\sigma_{\text{eX}}} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{eX}} - \sigma_{\text{eX1}}}{|xx_1|} \right)$$

$$\chi_R = 0.118 \text{ mm}^{-1}$$

$$\chi_{R1} := 0.118$$

KOREKČNÍ SOUČINITEL

$$f_G := 1 + \frac{\frac{\sigma_{CO}}{\sigma_{CT}} - 1}{\frac{2}{d_{vz}}} \cdot \chi_R \quad f_G = 1.027$$

POMĚR α/β

$$pom := 1 + \sqrt{\chi_{R1}} \cdot 10^{-\left(0.35 + \frac{900}{810}\right)} \quad pom = 1.012$$

STANOVENÍ AMPLITUDY A STŘEDNÍ HODNOTY EKVIVALENTNÍHO NAPĚTÍ

$$\sigma_{emax} := \text{sign}(\sigma_{1a}) \cdot \sigma_{VMa}$$

$$\sigma_{emin} := \text{sign}(\sigma_{1b}) \cdot \sigma_{VMb}$$

$$\sigma_{emax} = 527.463 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{emin} = 189.929 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ea} := \frac{\sigma_{emax} - \sigma_{emin}}{2}$$

$$\sigma_{em} := \frac{\sigma_{emax} + \sigma_{emin}}{2}$$

$$\sigma_{ea} = 168.767 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{em} = 358.696 \text{ MPa}$$

$$k := \left(pom \cdot \frac{\sigma_{ea}}{\sigma_{CO} \cdot \eta_{\sigma} \cdot v_{\sigma} \cdot f_G} + \frac{\sigma_{em}}{R_m} \right)^{-1} \quad k = 1.39$$

3. VÝPOČTY PRO VARIANTU S VYVÁŽENÍM DLE SCHNUEERLEHO

- momenty setrvačnosti byly získány analýzou součástí v programu Pro/Engineer

REDUKCE POSUVNÝCH HMOT

$m_{píst} := 2.0445 \text{ kg}$ Hmotnost pístní skupiny

$m_1 := 0.907 \text{ kg}$ Hmotnost posuvného podílu ojnice

$m_2 := 1.645 \text{ kg}$ Hmotnost rotačního podílu ojnice

$\lambda := 0.3$ Klikový poměr r

$r := 0.060 \text{ m}$ Rameno klikového hřídele

REDUKOVANÝ MOMENT SETRVAČNOSTI POSUVNÝCH HMOT

$$I_{pos} := \left[(m_{píst} + m_1) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda^2}{8} \right) \right] \cdot r^2 \quad I_{pos} = 5.432 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKOVANÝ MOMENT SETRVAČNOSTI ROTUJÍCÍCH HMOT

$$I_{rot} := (m_2 \cdot r^2) \quad I_{rot} = 5.922 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

MOMENTY SETRVAČNOSTI JEDNOTLIVÝCH ZALOMENÍ - ZÍSKANÉ Z PRO/ENGINEER

$$I_{zal_1} := 0.022993 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{zal_2} := 0.011674 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{zal_3} := 0.023101 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

MOMENTY SETRVAČNOSTI NÁHRADNÍCH KOTOUČŮ JEDNOTLIVÝCH ZALOMENÍ

1. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_1} := I_{zal_1} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_1} = 0.034 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

2. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_2} := I_{zal_2} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_2} = 0.023 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

3. ZALOMENÍ

$$I_{ZAL_3} := I_{zal_3} + I_{rot} + I_{pos}$$

$$I_{ZAL_3} = 0.034 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE HMOT NA STRANĚ ŘEMENICE

Moment setrvačnosti řemenice

$$I_{rem} := 0.03152 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti části klikového hřídele pod řemenicí

$$I_{kl_rem} := 0.00025874 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti náhradního kotouče

$$I_{c_rem} := I_{rem} + I_{kl_rem}$$

$$I_{c_rem} = 0.032 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE HMOT NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

Moment setrvačnosti setrvačníku

$$I_{setr} := 1.06 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti části klikového hřídele pod setrvačnickem

$$I_{kl_setr} := 0.00374452 \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti náhradního kotouče

$$I_{c_setr} := I_{setr} + I_{kl_setr}$$

$$I_{c_setr} = 1.064 \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

REDUKCE DÉLEK

- Redukovaná délka zalomení klikového hřídele dle metody Ker-Wilson

Průměr hlavního čepu

$$D_{hc} := 80\text{mm}$$

Průměr ojničního čepu

$$D_{oc} := 66\text{mm}$$

Šířka hlavního čepu

$$b_{hc} := 44\text{mm}$$

Šířka ojničního čepu

$$b_{oc} := 42\text{mm}$$

Šířka zalomení klikového hřídele

$$h := 90\text{mm}$$

Tloušťka ramene zalomení klikového hřídele

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

Redukovaný průměr

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

$$D_{red} = 80\text{mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA ZALOMENÍ

$$l_{red} := D_{red}^4 \cdot \left[\frac{b_{hc} + 0.4 D_{hc}}{D_{hc}^4} + \frac{b_{oc} + 0.4 D_{oc}}{D_{oc}^4} + \frac{r - 0.2 (D_{hc} + D_{oc})}{b \cdot h^3} \right]$$

$$l_{red} = 310.18\text{mm}$$

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ ŘEMENICE

Redukovaná délka řemenice při stejném průměru jako je průměr hlavního čepu

$$l_{\text{red_rem}} := \frac{b_{\text{hc}}}{2} + \frac{1}{2} \cdot l_{\text{red}}$$

$$l_{\text{red_rem}} = 177.09 \text{ mm}$$

REDUKOVANÁ DÁLKA NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

Šířka příruby pro setrvačnick

$$b_p := 35 \text{ mm}$$

Roztečný průměr děr pro upevnění setrvačnicku

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

REDUKOVANÁ DÉLKA NA STRANĚ SETRVAČNÍKU

$$l_{\text{red_set}} := \frac{b_{\text{hc}}}{2} + b_p \cdot \frac{D_{\text{red}}^4}{d_p^4} + \frac{1}{2} \cdot l_{\text{red}}$$

$$l_{\text{red_set}} = 212.09 \text{ mm}$$

VÝPOČET TUHOSTÍ

Modul pružnosti klikového hřídele ve smyku

$$G_{\text{ocel}} := 81000 \text{ MPa}$$

Polární moment setrvačnosti náhradního hřídele

$$I_p := \frac{\pi D_{\text{red}}^4}{32} \quad I_p = 4.021 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Torzní tuhost za řemenicí

$$C_0 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{l_{\text{red_rem}}} \quad C_0 = 1.839 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_1 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_p}{l_{\text{red}}} \quad C_1 = 1.05 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_2 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_P}{I_{\text{red}}}$$

$$C_2 = 1.05 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$C_3 := \frac{G_{\text{ocel}} \cdot I_P}{I_{\text{red_set}}}$$

$$C_3 = 1.536 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

Výpočet bezpečnosti

$$\text{MPa} := 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{CT} := 495 \text{ MPa}$$

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

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

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

$$\eta_{\sigma} := 0.91$$

$$\nu_{\sigma} := 0.75$$

Zatížení 1

$$\sigma_{VMa} := 483.45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1a} := 475.81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3a} := 69.21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eX} := \sigma_{VMa}$$

$$\sigma_{eX1} := 196.489 \text{ MPa}$$

$$d_{vz} := 7.5 \text{ mm}$$

Zatížení 2

$$\sigma_{VMb} := 131.133 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1b} := 122.77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3b} := 18.356 \text{ MPa}$$

$$xx_1 := 4.872 \text{ mm}$$

STANOVENÍ POMĚRNÉHO GRADIENTU, KOREKČNÍHO SOUČinitele (VLIVU NA MEZ ÚNAVY) A POMĚRU A / B

POMĚRNÝ GRADIENT

$$\chi_R := \frac{1}{\sigma_{eX}} \cdot \left(\frac{\sigma_{eX} - \sigma_{eX1}}{|xx_1|} \right)$$

$$\chi_R = 0.122 \text{ mm}^{-1}$$

$$\chi_{R1} := 0.122$$

KOREKČNÍ SOUČINITEL

$$f_G := 1 + \frac{\frac{\sigma_{CO}}{\sigma_{CT}} - 1}{\frac{2}{d_{vz}}} \cdot \chi_R \quad f_G = 1.028$$

POMĚR α/β

$$pom := 1 + \sqrt{\chi_{R1}} \cdot 10^{-\left(0.35 + \frac{900}{810}\right)} \quad pom = 1.012$$

STANOVENÍ AMPLITUDY A STŘEDNÍ HODNOTY EKVIVALENTNÍHO NAPĚTÍ

$$\sigma_{emax} := \text{sign}(\sigma_{1a}) \cdot \sigma_{VMa}$$

$$\sigma_{emin} := \text{sign}(\sigma_{1b}) \cdot \sigma_{VMb}$$

$$\sigma_{emax} = 483.457 \text{MPa}$$

$$\sigma_{emin} = 131.133 \text{MPa}$$

$$\sigma_{ea} := \frac{\sigma_{emax} - \sigma_{emin}}{2}$$

$$\sigma_{em} := \frac{\sigma_{emax} + \sigma_{emin}}{2}$$

$$\sigma_{ea} = 176.162 \text{MPa}$$

$$\sigma_{em} = 307.295 \text{MPa}$$

$$k := \left(pom \cdot \frac{\sigma_{ea}}{\sigma_{CO} \cdot \eta_{\sigma} \cdot v_{\sigma} \cdot f_G} + \frac{\sigma_{em}}{Rm} \right)^{-1}$$

$$k = 1.43$$