

# Výpočtová zpráva

## Zadané hodnoty

Jmenovitý výkon elektromotoru:	$P_j := 9.4 \text{ kW}$
Jmenovité otáčky elektromotoru:	$n_1 := 1700 \text{ min}^{-1}$
Požadované výstupní otáčky:	$n_{4\_p} := 405 \text{ min}^{-1}$
Požadovaná trvanlivost:	$L_h := 315 \text{ hr}$
Součinitel vnějších dynamických sil:	$K_A := 1.35$
Průměr roztečné kružnice pastorku:	$d_4 := 36 \text{ mm}$
Střední měrná tuhost zubů:	$c_\gamma := 12 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$
Maximální vnější střední průměr skříně startéru:	$D_{max} := 175 \text{ mm}$
Třída přesnosti:	$Q_{ISO} := 9$
Celková úchylka dotykové křivky:	$F_{\beta y} := 5 \mu\text{m}$
Nejmenší hodnotu součinitele bezpečnosti v dotyku:	$SH_{min} := 1.1$
Nejmenší hodnotu součinitele bezpečnosti v ohybu:	$SF_{min} := 1.5$

## 1. Týden

Určení počtu zubů centrálního kola

Součinitel výšky hlavy zubu  $ha_0 := 1$

Záběrový úhel  $\alpha := 20^\circ$

Minimální počet zubů u  
nekorigovaného soukolí:  $z_{min} := \frac{(2 \cdot ha_0)}{(\sin(\alpha))^2} = 17.097$

Počet zubů centrálního kola:  $z_1 := 20$

Výpočet skutečného  
převodového poměru:  $i_{14} := \frac{n_1}{n_{4\_p}} = 4.198$

Počet zubů satelitu:  $z_2 := z_1 \cdot \left( \frac{i_{14}}{2} - 1 \right) = 21.975$

Volím počet zubů:  $z_2 := \text{round}(z_2) = 22$

Počet zubů korunového kola:  $z_3 := -(z_1 + 2 \cdot z_2) = -64$   
 $N := 28$

Počet satelitů:  $ak := \frac{(z_1 + |z_3|)}{N} = 3$

Převodový poměr mezi  
centrálním kolem a satelity:  $i_{12} := \frac{z_2}{z_1} = 1.1$

Převodový poměr mezi satelity  
a korunovým kolem:  $i_{23} := \frac{|z_3|}{z_2} = 2.909$

$$n_4 := \frac{(z_1 \cdot n_1)}{2 \cdot (z_1 + z_2)} = 404.762 \text{ min}^{-1}$$

Procentuální odchylka  
skutečných otáček a  
požadovaných výstupních  
otáček:

$$n_{4\_dev} := 100 \cdot \left( 1 - \frac{n_4}{n_{4\_p}} \right) = 0.059$$

Otáčky satelitů:

$$n_2 := \frac{z_1 \cdot \frac{|z_3|}{z_2} \cdot n_1}{z_1 + |z_3|} = (1.177 \cdot 10^3) \text{ min}^{-1}$$

## 2. Týden

Maximální modul:

$$mn_{max} := \frac{D_{max}}{z3} = -2.734 \text{ mm}$$

Modul:

$$mn := 2 \text{ mm} \quad \text{volím modul na základě maximálních dovolených rozměrů}$$

Korekce:

$$x1 := 0 \quad x2 := 0 \quad x3 := 0$$

Výška hlavy zubu:

$$ha := mn = 2 \text{ mm}$$

Výška paty zubu:

$$hf := 1.25 \cdot mn = 2.5 \text{ mm}$$

Výška zubu:

$$h := ha + hf = 4.5 \text{ mm}$$

Hlavová vůle:

$$cn := 0.25 \cdot mn = 0.5 \text{ mm}$$

Rozteč:

$$pn := mn \cdot \pi = 6.283 \text{ mm}$$

Tloušťka zubu na roztečné kružnici:

$$sn := pn \cdot 0.5 = 3.142 \text{ mm}$$

Šířka zubové mezery:

$$en := sn = 3.142 \text{ mm}$$

Poloměr zoblení přechodové křivky

$$pf := 0.38 \cdot mn = 0.76 \text{ mm}$$

Základní rozteč:

$$pb := pn \cdot \cos(\alpha) = 5.904 \text{ mm}$$

Centrální kolo

Roztečná kružnice:

$$d1 := z1 \cdot mn = 40 \text{ mm}$$

Hlavová kružnice:

$$da1 := d1 + 2 \cdot ha = 44 \text{ mm}$$

Patní kružnice:

$$df1 := d1 - 2 \cdot hf = 35 \text{ mm}$$

Základní kružnice

$$db1 := d1 \cdot \cos(\alpha) = 37.588 \text{ mm}$$

Průměr valivé kružnice:

$$dw1 := d1 + mn \cdot x1 = 40 \text{ mm}$$

Satelit

Roztečná kružnice:

$$d2 := z2 \cdot mn = 44 \text{ mm}$$

Hlavová kružnice:

$$da2 := d2 + 2 \cdot ha = 48 \text{ mm}$$

Patní kružnice:

$$df2 := d2 - 2 \cdot hf = 39 \text{ mm}$$

Základní kružnice

$$db2 := d2 \cdot \cos(\alpha) = 41.346 \text{ mm}$$

Průměr valivé kružnice:

$$dw2 := d2 + mn \cdot x2 = 44 \text{ mm}$$

Korunové kolo

Roztečná kružnice:

$$d3 := z3 \cdot mn = -128 \text{ mm}$$

Hlavová kružnice:

$$da3 := d3 + 2 \cdot ha = -124 \text{ mm}$$

Patní kružnice:

$$df3 := d3 - 2 \cdot hf = -133 \text{ mm}$$

Základní kružnice

$$db3 := d3 \cdot \cos(\alpha) = -120.281 \text{ mm}$$

Průměr valivé kružnice:

$$dw3 := d3 + mn \cdot x3 = -128 \text{ mm}$$

Šířka ozubení

$$b1 := 1.1 \cdot d1 = 44 \text{ mm}$$

Šířka centrálního kola:

$$b2 := b1 - 2 \cdot mn = 40 \text{ mm}$$

Šířka satelitu:

$$b3 := b1 = 44 \text{ mm}$$

Šířka korunového kola

# Výpočtová zpráva

Minimální vůle mezi satelity

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

Minimální úhel sousedních ramen unašeče:

$$\theta_{min} := 2 \operatorname{asin} \left( \frac{da2 + v_{min}}{dw1 + dw2} \right) = 1.246$$

Úhel sousedních ramen unašeče:

$$\theta := \frac{360^\circ}{ak} = 2.094$$

$$\theta > \theta_{min} = 1$$

Osová vzdálenost mezi centrálním kolem a satelitem:

$$a_{12} := \frac{d1 + d2}{2} = 42 \text{ mm}$$

Součinitel záběru profilu v čelní rovině pro vnější ozubení:

$$\varepsilon_{\alpha 12} := \frac{{}^2\sqrt{(da1^2 - db1^2)} + {}^2\sqrt{da2^2 - db2^2} - 2 a_{12} \cdot \sin(\alpha)}{2 pb} = 1.569$$

Součinitel záběru profilu v čelní rovině pro vnitřní ozubení:

$$\varepsilon_{\alpha 23} := \frac{z2}{2 \pi} \cdot \left( \left( \tan \left( \operatorname{acos} \left( \frac{db2}{da2} \right) \right) - \tan(\alpha) \right) - \frac{|z3|}{z2} \cdot \left( \tan \left( \operatorname{acos} \left( \frac{db3}{da3} \right) \right) - \tan(\alpha) \right) \right) = 1.945$$

Součinitel záběru kroku pro centrální kolo a satelit:

$$\varepsilon_{\beta 12} := 0$$

Součinitel záběru kroku pro satelit a korunové kolo:

$$\varepsilon_{\beta 23} := 0$$

Celkový součinitel záběru pro centrální kolo a satelit:

$$\varepsilon_{\gamma 12} := \varepsilon_{\alpha 12} + \varepsilon_{\beta 12} = 1.569$$

Celkový součinitel záběru pro satelit a korunové kolo:

$$\varepsilon_{\gamma 23} := \varepsilon_{\alpha 23} + \varepsilon_{\beta 23} = 1.945$$

Dráha záběru pro centrální kolo a satelit:

$$g_{\alpha 12} := \varepsilon_{\alpha 12} \cdot pb = 9.262 \text{ mm}$$

Dráha záběru pro satelit a korunové kolo:

$$g_{\alpha 23} := \varepsilon_{\alpha 23} \cdot pb = 11.485 \text{ mm}$$

minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici:

$$sa_{min} := 0.4 \cdot mn = 0.8 \text{ mm}$$

Úhel profilu evolventy na hlavové kružnici pro centrální kolo:

$$\alpha_{a1} := \operatorname{acos} \left( \frac{db1}{da1} \right) = 0.547$$

Úhel profilu evolventy na hlavové kružnici pro satelit

$$\alpha_{a2} := \operatorname{acos} \left( \frac{db2}{da2} \right) = 0.533$$

Úhel profilu evolventy na hlavové kružnici pro korunové kolo:

$$\alpha_{a3} := \operatorname{acos} \left( \frac{db3}{da3} \right) = 0.246$$

Involuta úhlu pro bod na hlavové kružnici:

$$\operatorname{inv} \alpha := \tan(\alpha) - \alpha = 0.015$$

$$\operatorname{inv} \alpha_{a1} := \tan(\alpha_{a1}) - \alpha_{a1} = 0.062$$

$$\operatorname{inv} \alpha_{a2} := \tan(\alpha_{a2}) - \alpha_{a2} = 0.057$$

$$\operatorname{inv} \alpha_{a3} := \tan(\alpha_{a3}) - \alpha_{a3} = 0.005$$

# Výpočtová zpráva

Tloušťka zubu na hlavové kružnici pro centrální kolo:

$$sna1 := da1 \cdot \left( \frac{\pi}{2 \cdot z1} + \frac{2 \cdot x1 \cdot \tan(\alpha)}{z1} + (inv\alpha - inv\alpha a1) \right) = 1.39 \text{ mm}$$

Tloušťka zubu na hlavové kružnici pro satelit:

$$sna2 := da2 \cdot \left( \frac{\pi}{2 \cdot z2} + \frac{2 \cdot x2 \cdot \tan(\alpha)}{z2} + (inv\alpha - inv\alpha a2) \right) = 1.412 \text{ mm}$$

Tloušťka zubu na hlavové kružnici pro korunové kolo:

$$sna3 := da3 \cdot \left( \frac{\pi}{2 \cdot z3} + \frac{2 \cdot x3 \cdot \tan(\alpha)}{z3} + (inv\alpha - inv\alpha a3) \right) = 1.822 \text{ mm}$$

Kontrola špičatosti zubu:

$$sna1 > sa_{min} = 1$$

$$sna2 > sa_{min} = 1$$

$$sna3 > sa_{min} = 1$$

## 3. Týden

Celkový kroutící moment centrálního kola:

$$M1 := \frac{Pj}{2 \pi \cdot n1} = 52.802 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Jmenovitý kroutící moment centrálního kola:

$$Mt1 := \frac{M1}{ak} = 17.601 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Obvodová síla centrálního kola:

$$Ft1 := \frac{2 Mt1}{d1} = 880.033 \text{ N}$$

Obvodová síla satelitu:

$$Ft2 := Ft1 = 880.033 \text{ N}$$

Radiální síla centrálního kola:

$$Fr1 := Ft1 \cdot \tan(\alpha) = 320.306 \text{ N}$$

Normální síla centrálního kola:

$$Fn1 := \frac{Ft1}{\cos(\alpha)} = 936.512 \text{ N}$$

Výstupní kroutící moment:

$$M4 := M1 \cdot |i14| = 221.638 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Obvodová síla výstupní:

$$Ft4 := 2 \frac{M4}{d4} = 12.313 \text{ kN}$$

Konstanty pro výpočet mezí únavy:

$$Ad := 0.74$$

$$Bd := 602$$

$$Ao := 0.305$$

$$Bo := 76$$

Konstanty voleny na základě:  
SHIGLEY, Konstruování strojních  
součástí, str.1145, Tab. A-34

Tvrdost centrálního kola:

$$H1 := 515 \text{ HV}$$

Tvrdost satelitu:

$$H2 := 485 \text{ HV}$$

Tvrdost volena na základě:  
SHIGLEY, Konstruování strojních  
součástí, str.1145, Tab. A-34

Mez únavy v dotyku pro centrální kolo:

$$\sigma Hlim1 := (Ad \cdot H1 + Bd) \text{ MPa} = 983.1 \text{ MPa}$$

Mez únavy v ohybu pro centrální kolo:

$$\sigma Flim1 := (Ao \cdot H1 + Bo) \text{ MPa} = 233.075 \text{ MPa}$$

Mez únavy v dotyku pro satelit:

$$\sigma Hlim2 := (Ad \cdot H2 + Bd) \text{ MPa} = 960.9 \text{ MPa}$$

Mez únavy v ohybu pro satelit:

$$\sigma Flim2 := (Ao \cdot H2 + Bo) \text{ MPa} = 223.925 \text{ MPa}$$

# Výpočtová zpráva

Pomocná proměnná B:

$$B := 0.25 \cdot (QISO - 4)^{\frac{2}{3}} = 0.731$$

Pomocná proměnná A:

$$A := 50 + 56 (1 - B) = 65.064$$

$$v_{max} := \frac{(A + 13 - QISO)^2}{200} = 23.849$$

Obvodová rychlost:

$$v1 := \pi \cdot d1 \cdot n1 = 3.56 \frac{m \cdot s}{s}$$

Součinitel vnitřních dynamických sil:

$$KV := \left( \frac{A + \sqrt[2]{200 \frac{v1}{m \cdot s^{-1}}}}{A} \right) = 1.286$$

Střední obvodová síla:

$$Fm1 := Ft1 \cdot KA \cdot KV = 1.527 \text{ kN}$$

Ověření podmínek pro výpočet:

$$\frac{Fm1}{b2} = 38.184 \frac{N}{mm} \quad Fm1b2 := 100 \frac{N}{mm}$$

$$pod := \frac{F\beta y \cdot c\gamma}{2 Fm1b2} = 0.3 \quad pod < 1 = 1$$

Součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce pro dotyk:

$$KH\beta := 1 + \frac{F\beta y \cdot c\gamma}{2 \cdot Fm1b2} = 1.3$$

Poměr šířky ozubení a výšky zubu:

$$\frac{b2}{h} = 8.889$$

$$Nf := \frac{\left(\frac{b1}{h}\right)^2}{1 + \frac{b1}{h} + \left(\frac{b1}{h}\right)^2} = 0.899$$

Exponent Nf

Součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce pro ohyb:

$$KF\beta := KH\beta^{Nf} = 1.266$$

Směrodatná obvodová síla v čelní rovině

$$FtH := Ft1 \cdot KA \cdot KV \cdot KH\beta = 1.986 \text{ kN}$$

Mezní úchylky čelních roztečí čelních ozubených kol pro centrální kolo a satelit

$$f_{pt1} := 20 \mu m$$

$$f_{pt2} := 20 \mu m$$

Mezní úchylka čelní rozteče volena na základě: SHIGLEY, Konstruování strojních součástí, Tab. A-36

Úhel sklonu boční křivky zubu:

$$\beta := 0^\circ$$

Úhel záběru:

$$\alpha_t := \arctan\left(\frac{\tan(\alpha)}{\cos(\beta)}\right) = 0.349$$

# Výpočtová zpráva

Mezní úchytky základních roztečí  
pro centrální kolo a satelit

$$\begin{aligned}f_{pb1} &:= f_{pt1} \cdot \cos(\alpha t) = 18.794 \text{ } \mu\text{m} \\f_{pb2} &:= f_{pt2} \cdot \cos(\alpha t) = 18.794 \text{ } \mu\text{m} \\f_{pe} &:= \max(f_{pb1}, f_{pb2}) = 18.794 \text{ } \mu\text{m}\end{aligned}$$

Snížení úchytky základní rozteče  
opotřebením při záběru pro  
centrální kolo a satelit:

$$\begin{aligned}y_{\alpha 1} &:= 3 \text{ } \mu\text{m} \\y_{\alpha 2} &:= 3 \text{ } \mu\text{m}\end{aligned}$$

$$y_{\alpha} := \frac{y_{\alpha 1} + y_{\alpha 2}}{2} = 3 \text{ } \mu\text{m}$$

Pomocný součinitel:

$$q_{\alpha} := \frac{c_{\gamma} \cdot (f_{pe} - y_{\alpha})}{\frac{F t H}{b_1}} = 4.2$$

$$\varepsilon_{\gamma 12} < 2 = 1$$

$$KH_{\alpha} := \frac{\varepsilon_{\gamma 12}}{2} \cdot (0.9 + 0.4 \cdot q_{\alpha}) = 2.024$$

$$KF_{\alpha} := KH_{\alpha} = 2.024$$

Součinitel součtové délky  
dotykových křivek boků zubů:

$$Z_{\varepsilon} := \sqrt[2]{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha 12}}{3}} = 0.9$$

$$\beta b := 0^{\circ}$$

Součinitel vlivu záběru profilu:

$$Y_{\varepsilon} := 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_{\alpha 12}} \cdot (\cos(\beta b))^2 = 0.728$$

Omezující podmínka:

$$KH_{\alpha} > \frac{\varepsilon_{\gamma 12}}{\varepsilon_{\alpha 12} \cdot Z_{\varepsilon}^2} = 1 \quad KH_{\alpha} < 1 = 0$$

Součinitel podílu zatížení  
jednotlivých zubů v dotyku:

$$KH_{\alpha} := \frac{\varepsilon_{\gamma 12}}{\varepsilon_{\alpha 12} \cdot Z_{\varepsilon}^2} = 1.234$$

Omezující podmínka:

$$KF_{\alpha} > \frac{\varepsilon_{\gamma 12}}{\varepsilon_{\alpha 12} \cdot Y_{\varepsilon}} = 1 \quad KF_{\alpha} < 1 = 0$$

Součinitel podílu zatížení  
jednotlivých zubů v ohybu:

$$KF_{\alpha} := \frac{\varepsilon_{\gamma 12}}{\varepsilon_{\alpha 12} \cdot Y_{\varepsilon}} = 1.373$$

4. Týden

$$\alpha t w := \alpha t = 0.349$$

Součinitel tvaru  
spoluzabírajících zubů:

$$Z_H := \sqrt[2]{\frac{2 \cos(\beta b)}{(\cos(\alpha t))^2 \tan(\alpha t w)}} = 2.495$$

Poissonovo číslo pro centrální kolo:

$$\mu_1 := 0.3$$

Poissonovo číslo pro satelit:

$$\mu_2 := 0.3$$

Modul pružnosti v tahu pro centrální kolo:

$$E_1 := 207 \text{ GPa}$$

Modul pružnosti v tahu pro satelit:

$$E_2 := 207 \text{ GPa}$$

# Výpočtová zpráva

Součinitel mechanických vlastností materiálu:

$$ZE := \sqrt[2]{\frac{1}{\pi \cdot \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}} = 190.272 \text{ MPa}^{\frac{1}{2}}$$

Součinitel vlivu sklonu zubu:

$$Z\beta := \sqrt[2]{\cos(\beta)} = 1$$

Součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů:

$$Z\varepsilon := \sqrt[2]{\frac{4-\varepsilon\alpha_{12}}{3}} = 0.9$$

$$u_{12} := \frac{n_1}{n_2} = 1.444$$

Nominální napětí v dotyku:

$$\sigma_{H0} := ZE \cdot ZH \cdot Z\varepsilon \cdot Z\beta \cdot \sqrt[2]{\frac{Ft_1}{b_1 \cdot d_1} \cdot \frac{u_{12}+1}{u_{12}}} = 393.096 \text{ MPa}$$

$$A1 := \frac{\tan(\alpha t w)}{\sqrt[2]{\left( \sqrt[2]{\frac{da_1^2}{db_1^2}} - 1 - \frac{2\pi}{z_1} \right) \left( \sqrt[2]{\frac{da_2^2}{db_2^2}} - 1 - (\varepsilon\alpha_{12} - 1) \frac{2\pi}{z_2} \right)}} = 1.026$$

$$A2 := \frac{\tan(\alpha t w)}{\sqrt[2]{\left( \sqrt[2]{\frac{da_2^2}{db_2^2}} - 1 - \frac{2\pi}{z_2} \right) \left( \sqrt[2]{\frac{da_1^2}{db_1^2}} - 1 - (\varepsilon\alpha_{12} - 1) \frac{2\pi}{z_1} \right)}} = 1.007$$

$$A1 > 1 = 1$$

$$A2 > 1 = 1$$

Součinitelé jednopárového záběru pastorku:  $ZB := A1 = 1.026$

Součinitelé jednopárového záběru kola:  $ZD := A2 = 1.007$

Napětí v dotyku kolo:  $\sigma_{H1} := ZB \cdot \sigma_{H0} \cdot \sqrt[2]{KA \cdot KV \cdot KH\beta \cdot KH\alpha} = 673.17 \text{ MPa}$

Napětí v dotyku pastorek:  $\sigma_{H2} := ZD \cdot \sigma_{H0} \cdot \sqrt[2]{KA \cdot KV \cdot KH\beta \cdot KH\alpha} = 660.316 \text{ MPa}$

Poloměr křivosti centrálního kola ve valivém bodě:  $\rho_1 := 0.5 \cdot db_1 \cdot \tan(\alpha t w) = 6.84 \text{ mm}$

Poloměr křivosti satelitu ve valivém bodě:  $\rho_2 := 0.5 \cdot db_2 \cdot \tan(\alpha t w) = 7.524 \text{ mm}$

Redukovaný poloměr křivosti:  $\rho_{red} := \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} = 3.583 \text{ mm}$

$$Ra_{ISO1} := 1.6 \text{ } \mu\text{m}$$

$$Ra_{ISO2} := 1.6 \text{ } \mu\text{m}$$

Průměrná výška prvků profilu boků zubů centrálního kola:

$$RZ_{ISO1} := 6 \cdot Ra_{ISO1} = 9.6 \text{ } \mu\text{m}$$

Průměrná výška prvků profilu boků zubů satelitu:

$$RZ_{ISO2} := 6 \cdot Ra_{ISO2} = 9.6 \text{ } \mu\text{m}$$

Průměrná relativní výška profilu boků zubů soukolí:  $RZ_{10} := \frac{RZ_{ISO1} + RZ_{ISO2}}{2} \sqrt[3]{\frac{10 \text{ mm}}{\rho_{red}}} = 13.516 \text{ } \mu\text{m}$

$$RZ_{10} > 4 \text{ } \mu\text{m} = 1$$

# Výpočtová zpráva

Souhrnný součinitel mazací vrstvy:  $ZLVR := 0.92$

Počet cyklů centrálního kola:  $NL1 := n1 \cdot (ak + 1) \cdot Lh = 1.285 \cdot 10^8$

Počet cyklů centrálního satelitu:  $NL2 := n2 \cdot (ak + 1) \cdot Lh = 8.902 \cdot 10^7$

Součinitel počtu cyklů pro dotyk volen na základě:

SHIGLEY, Konstruování strojních součástí,

Obr. 14-11

Součinitel počtu cyklů pro dotyk pro centrální kolo:  $ZNT1 := 1.674 \cdot NL1^{-0.0294} = 0.967$

Součinitel počtu cyklů pro dotyk pro satelit:  $ZNT2 := 1.674 \cdot NL2^{-0.0294} = 0.977$

Převod tvrdosti z HV na HB:

$H1 := 485$  HB

$H2 := 457$  HB

Požítý převodník:

converter.cz

Součinitel tvrdosti pro centrální kolo:  $ZW1 := 1.2 - \frac{H1 - 130}{1700} = 0.991$

Součinitel tvrdosti pro satelit:  $ZW2 := 1.2 - \frac{H2 - 130}{1700} = 1.008$

Součinitel velikosti pro centrální kolo:  $ZX1 := 1$  Voleno dle ISO

Součinitel velikosti pro satelit:  $ZX2 := 1$

Přípustné napětí v dotyku pro centrální kolo:

$$\sigma_{HP1} := \frac{\sigma_{Hlim1} \cdot ZNT1}{SH_{min}} \cdot ZLVR \cdot ZW1 \cdot ZX1 = 787.944 \text{ MPa}$$

Součinitel bezpečnosti v dotyku pro centrální kolo:

$$SH1 := \frac{\sigma_{Hlim1} \cdot ZNT1}{\sigma_{H1}} \cdot ZLVR \cdot ZW1 \cdot ZX1 = 1.3$$

Přípustné napětí v dotyku pro satelit:

$$\sigma_{HP2} := \frac{\sigma_{Hlim2} \cdot ZNT2}{SH_{min}} \cdot ZLVR \cdot ZW2 \cdot ZX2 = 791.448 \text{ MPa}$$

Součinitel bezpečnosti v dotyku pro satelit:

$$SH2 := \frac{\sigma_{Hlim2} \cdot ZNT2}{\sigma_{H2}} \cdot ZLVR \cdot ZW2 \cdot ZX2 = 1.3$$

Napětí v dotyku pro centrální kolo:  $\sigma_{H1} := ZD \cdot \sigma_{H0} \sqrt{KA \cdot KV \cdot KH\alpha \cdot KH\beta} = 660.316 \text{ MPa}$

Napětí v dotyku pro satelit:  $\sigma_{H2} := ZB \cdot \sigma_{H0} \sqrt{KA \cdot KV \cdot KH\alpha \cdot KH\beta} = 673.17 \text{ MPa}$

5. Týden:

Součinitel tvaru zubu při působení síly na špičku zubu:

$$zv1 := \frac{z1}{(\cos(\beta))^3} = 20$$

Součinitel tvaru zubu při působení síly na špičku zubu:

$$zv2 := \frac{z2}{(\cos(\beta))^3} = 22$$

Součinitele tvaru zubu a koncentrace napětí při působení síly na špičku zubu voleny na základě:

SHIGLEY, Konstruování strojních součástí,

Obr. 14-17, 14-18

Součinitel tvaru zubu při působení síly na špičku zubu pro centrální kolo:

$YFa1 := 2.9$

Součinitel tvaru zubu při působení síly na špičku zubu pro satelit:

$YFa2 := 2.8$

Součinitel koncentrace napětí při působení síly na špičku zubu pro centrální kolo:

$YSa1 := 1.575$

Součinitel koncentrace napětí při působení síly na špičku zubu pro satelit:

$YSa2 := 1.6$



# Výpočtová zpráva

Součinitel sklonu zubu:  $Y\beta := 1 - \varepsilon\beta \frac{12}{120^\circ} = 1$

Nominální napětí v ohybu pro centrální kolo:  $\sigma_{FO1} := \frac{Ft1}{b1 \cdot mn} \cdot YFa1 \cdot YSa1 \cdot Y\varepsilon \cdot Y\beta = 33.256 \text{ MPa}$

Napětí v ohybu v patě zubu pro centrální kolo:  $\sigma_{F1} := \sigma_{FO1} \cdot KA \cdot KV \cdot KF\alpha \cdot KF\beta = 100.355 \text{ MPa}$

Nominální napětí v ohybu pro satelit:  $\sigma_{FO2} := \frac{Ft2}{b1 \cdot mn} \cdot YFa2 \cdot YSa2 \cdot Y\varepsilon \cdot Y\beta = 32.619 \text{ MPa}$

Napětí v ohybu v patě zubu pro satelit:  $\sigma_{F2} := \sigma_{FO2} \cdot KA \cdot KV \cdot KF\alpha \cdot KF\beta = 98.433 \text{ MPa}$

Součinitel počtu cyklů pro centrální kolo:  $YNT1 := 1.3482 \cdot NL1^{-0.02} = 0.928$

Součinitel počtu cyklů pro satelit:  $YNT2 := 1.3482 \cdot NL2^{-0.02} = 0.935$

Součinitel počtu cyklů volen  
na základě:  
SHIGLEY, Konstruování  
strojních součástí,  
Obr. 14-23

Poměrný součinitel vrubové citlivosti pro centrální kolo:  $YSa1 < 1.8 = 1$   $Y\delta_{relT1} := 0.8$

Poměrný součinitel vrubové citlivosti pro satelit:  $YSa2 < 1.8 = 1$   $Y\delta_{relT2} := 0.8$

$$RaISO1 := 6.3 \text{ } \mu\text{m}$$

$$RaISO2 := 6.3 \text{ } \mu\text{m}$$

$$RZISO1 := RaISO1 \cdot 6 = 37.8 \text{ } \mu\text{m}$$

$$RZISO2 := RaISO2 \cdot 6 = 37.8 \text{ } \mu\text{m}$$

$$RZISO1 > 16 \text{ } \mu\text{m} = 1$$

$$RZISO2 > 16 \text{ } \mu\text{m} = 1$$

Součinitel drsnosti v oblasti patního přechodu zubu pro centrální kolo:  $YR_{relT1} := 0.9$

Součinitel drsnosti v oblasti patního přechodu zubu pro satelit:  $YR_{relT2} := 0.9$

Součinitel velikosti:  $mn < 5 \text{ mm} = 1$

$$YX := 1$$

Součinitel koncentrace napětí pro referenční ozubené kolo:  $YST := 2$

Součinitel střídavého zatížení pro centrální kolo:  $YA1 := 0.7$

Součinitel střídavého zatížení pro satelit:  $YA2 := 0.7$

Mez únavy v ohybu referenčního ozubeného kola:  $\sigma_{FE1} := \sigma_{Flim1} \cdot YST \cdot YA1 = 326.305 \text{ MPa}$

Mez únavy v ohybu referenčního ozubeného kola:  $\sigma_{FE2} := \sigma_{Flim2} \cdot YST \cdot YA2 = 313.495 \text{ MPa}$

Bezpečnost proti vzniku únavového lomu v patě zubu pro centrální kolo:  $SF1 := \frac{\sigma_{FE1} \cdot YNT1}{\sigma_{F1}} \cdot Y\delta_{relT1} \cdot YR_{relT1} \cdot YX = 2.2$

Bezpečnost proti vzniku únavového lomu v patě zubu pro satelit:  $SF2 := \frac{\sigma_{FE2} \cdot YNT2}{\sigma_{F2}} \cdot Y\delta_{relT2} \cdot YR_{relT2} \cdot YX = 2.1$

6. Týden

Bezpečnosti v dotyku:

$$SH1 = 1.3$$

$$SH2 = 1.3$$

Bezpečnosti v ohybu:

$$SF1 = 2.2$$

$$SF2 = 2.1$$

Uložení satelitů planetového převodu startéru

Jmenovitý krouticí moment na ramenu unašeče:

$$MtU := \frac{M4}{ak} = 73.879 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Radiální síla v uložení čepu:

$$FtU := \frac{MtU}{a12} = 1.759 \text{ kN}$$

Maximální průměr čepu:

$$dč\_max := da2 - 2 (3.5 \cdot mn) = 34 \text{ mm}$$

materiál čepu: ČSN 42 0002 11 343.0

Mez kluzu v tahu:

$$Re := 195 \text{ MPa}$$

Mez kluzu ve smyku:

$$Rse := 0.577 \cdot Re = 112.515 \text{ MPa}$$

Materiál volen na základě:  
SHIGLEY, Konstruování  
strojních součástí,  
Tab. A.21a

Návrhový součinitel:

$$kn := 1.3$$

Kontrola čepu na střih:

$$d2č := \sqrt[2]{\frac{4 \cdot FtU \cdot kn}{\pi \cdot Rse}} = 5.087 \text{ mm}$$

Zvolený průměr čepu:

$$d2č := 8 \text{ mm} \quad \text{Volím na základě dostupných ložisek}$$

Měrné zatížení:

$$pm := \frac{FtU}{d2č \cdot b2} = 5.497 \text{ MPa}$$

Základní hodnota tlaku:

$$p0 := 150 \text{ MPa}$$

Dovolený tlak:

$$pd := 1.0 \cdot p0 = 150 \text{ MPa}$$

Kontrola čepu na otláčení:

$$pm < pd = 1$$

Dovolené napětí na otláčení  
voleno na základě:  
SHIGLEY, Konstruování strojních  
součástí,  
Tab. 18.8

$$pmax := \frac{4}{\pi} pm = 6.999 \text{ MPa}$$

Obvodová rychlost ložiska

$$v := \pi \cdot n2 \cdot d2č = 0.493 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maximální obvodová rychlost ložiska:

$$vmax := 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kontrola:

$$v < vmax = 1$$

Hodnota součinu pmv:

$$pmv := pm \cdot v = 2.711 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maximální hodnota součinu pmv:

$$pmvmax := 1.65 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kontrola:

$$pmv < pmvmax = 0$$

Kluzné ložisko nevyhovuje

# Výpočtová zpráva

Zadání č.5

Marek Firla 200793  
26.4.2020

Vybrané valivé ložisko: Dvě jednořadá kuličková ložiska s těsněním 608-2RSL  
(voleno z katalogu SKF)

Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska:  $P := \frac{FtU}{2} = 0.88 \text{ kN}$

Základní dynamická únosnost ložiska:  $C := 3.45 \text{ kN}$   
 $a := 3$

Základní výpočtová trvanlivost:  $L_{10} := \left(\frac{C}{P}\right)^a \cdot \frac{10^6}{n_2} = (3.076 \cdot 10^6) \text{ s}$

Kontrola:  $L_{10} > L_h = 1$   
Ložisko vyhovuje

7. Týden

Návrh duté hřídele

Rozměry hřídel:

$$L_1 := 1.5 \cdot d_4 = 54 \text{ mm}$$

$$L_2 := 1.5 \cdot L_1 = 81 \text{ mm}$$

$$L_3 := 40 \text{ mm}$$

Radiální síla na pastorku startéru:  $Fr_4 := Ft_4 \cdot \tan(\alpha) = 4.482 \text{ kN}$

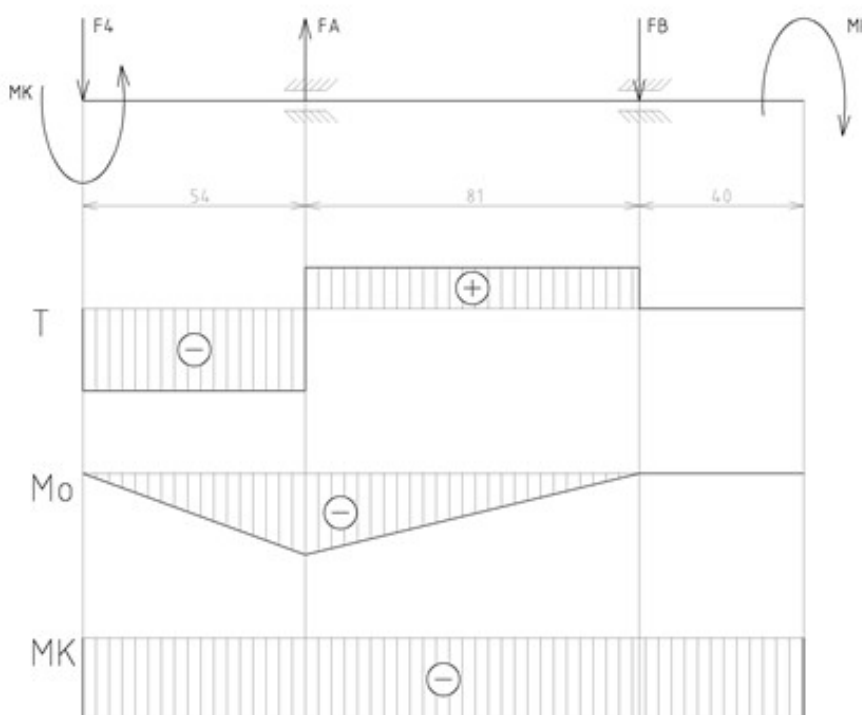
Celková síla na pastorku startéru:  $F_4 := \sqrt{Ft_4^2 + Fr_4^2} = 13.103 \text{ kN}$

Statická rovnováha:

Síla na ložisku A:  $FA := \frac{F_4 \cdot (L_1 + L_2)}{L_2} = 21.839 \text{ kN}$

Síla na ložisku B:  $FB := FA - F_4 = 8.736 \text{ kN}$

VVÚ:



$$MOA := F4 \cdot L1 = 707.587 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$MKA := M4 = 221.638 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$MOB := 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$MKB := M4 = 221.638 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Nebezpečné místo v místě A

Součinitel koncentrátoru napětí v  
drážkování:

$$\alpha\sigma := 3.5$$

$$\alpha\tau := 5$$

Součinitel vrubu:

$$\beta\sigma := 0.9 \cdot \alpha\sigma = 3.15$$

$$\beta\tau := 0.9 \cdot \alpha\tau = 4.5$$

Materiál pro hřídel: ČSN 42 0002 15 230.6

Mez kluzu v tahu hřídele:

$$Rehř := 635 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti v tahu hřídele:

$$Rmhř := 780 \text{ MPa}$$

Mez únavy při střídavém ohybu:

$$\sigma_{cohř} := 450 \text{ MPa}$$

Materiál volen na základě:

SHIGLEY, Konstruování strojních  
součástí,  
Tab. A.21a

Návrhový součinitel:

$$kn := 1.3$$

Minimální vnější průměr hřídele dle teorie HMH:

$$Dhmin := \sqrt[6]{\frac{\left(MOA^2 \cdot \left(\frac{512}{15}\right)^2 \cdot \alpha\sigma^2 + 3 \cdot MKA^2 \cdot \left(\frac{256}{15}\right)^2 \cdot \alpha\tau^2\right) \cdot kn^2}{\pi^2 \cdot Rehř^2}} = 38.947 \text{ mm}$$

$$Dhmin := 40 \text{ mm}$$

Součinitel vlivu jakosti povrchu:

$$a := 4.51 \quad b := -0.265 \quad ka := a \cdot 740^b = 0.783$$

$$de := \sqrt[2]{Dhmin^2 - \left(\frac{Dhmin}{2}\right)^2} = 34.641 \text{ mm}$$

Součinitel vlivu velikosti tělesa:

$$kb := 1.24 \cdot 34.641^{-0.107} = 0.849$$

Součinitel vlivu způsobu zatěžování:

$$kc := 1$$

Součinitel vlivu teploty:

$$kd := 1$$

Součinitel spolehlivosti:

$$ke := 0.9$$

Součinitel dalších vlivů:

$$kf := 1$$

Korigovaná mez únavy:

$$\sigma_{CO} := ka \cdot kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke \cdot kf \cdot \sigma_{cohř} = 269.135 \text{ MPa}$$

Minimální vnější průměr hřídele dle Gerberova kritéria ve spojení s teorií HMH (k MSÚ):

$$DMSUmin := \frac{4 \cdot \sqrt[3]{4} \cdot \sqrt[3]{\frac{\sqrt{kn^2 \cdot Rmhř^2 \cdot (\beta\sigma^2 \cdot MOA^2 \cdot Rmhř^2 + 3 \cdot \beta\tau^2 \cdot \sigma_{CO}^2 \cdot MKA^2)}}{\pi \cdot \sigma_{CO} \cdot Rmhř^2}} + \frac{\beta\sigma \cdot kn \cdot MOA}{\pi \cdot \sigma_{CO}}}{\sqrt[3]{15}} = 49.191 \text{ mm}$$

$$Dhř := 50 \text{ mm}$$

# Výpočtová zpráva

## 8. Týden

Návrh ložiska v místě A

Vybrané ložisko: Jehlové ložisko NKI 50/35 voleno z katalogu SKF

Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska:  $P := FA = 21.839 \text{ kN}$

Vnitřní průměr:  $d1A := 50 \text{ mm}$

Vnější průměr:  $D1A := 68 \text{ mm}$

Šířka ložiska:  $B1A := 35 \text{ mm}$

Zaoblení ložiska:  $r1A := 0.6 \text{ mm}$

Osazení hřídele:  $Da1A := 57 \text{ mm}$

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

Základní dynamická únosnost ložiska:  $C := 52.3 \text{ kN}$

Základní výpočtová trvanlivost:  $L10A := \left(\frac{C}{P}\right)^a \cdot \frac{10^6}{n4} = 756.611 \text{ hr}$

Kontrola:  $L10A > Lh = 1$

Ložisko vyhovuje

Návrh ložiska v místě B

Vybrané ložisko: Kuličkové ložisko 6210-2RS1 voleno z katalogu SKF

Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska:  $P := FB$

Vnitřní průměr:  $d1B := 50 \text{ mm}$

Vnější průměr:  $D1B := 90 \text{ mm}$

Šířka ložiska:  $B1B := 20 \text{ mm}$

Zaoblení ložiska:  $r1B := 1.1 \text{ mm}$

Osazení hřídele:  $Da1B := 57 \text{ mm}$

$$a := 3$$

Základní dynamická únosnost ložiska:  $C := 37.1 \text{ kN}$

Základní výpočtová trvanlivost:  $L10B := \left(\frac{C}{P}\right)^a \cdot \frac{10^6}{n4} = (3.154 \cdot 10^3) \text{ hr}$

Kontrola:  $L10B > Lh = 1$

Návrh drážkování

Vnější průměr drážkování:  $D5 := 30 \text{ mm}$

Vnitřní průměr drážkování:  $d5 := 26 \text{ mm}$

Počet zubů:  $z5 := 6$

Zkosení drážky  $rdr := 0.2 \text{ mm}$

$$Ds := \frac{(D5 + d5)}{2} = 28 \text{ mm}$$

Střední průměr drážkování:

Síla působící na drážkování:  $F5 := 2 \cdot \frac{M4}{Ds} = 15.831 \text{ kN}$

Účinná plocha drážek na délku 1 mm:  $Af := 0.75 \cdot z5 \cdot \left(\frac{D5 - d5}{2} - 2 \cdot rdr\right) = 7.2 \text{ mm}$

Délka drážkového spoje:  $L5 := L1 + 0.5 \cdot L2 = 94.5 \text{ mm}$

Rozměry voleny na základě:  
ČSN ISO 14 (01 4942)

Tlak v drážkování:

$$p_5 := \frac{F_5}{A_f \cdot L_5} = 23.268 \text{ MPa}$$

Dovolný tlak:

$$p_d := 35 \text{ MPa}$$

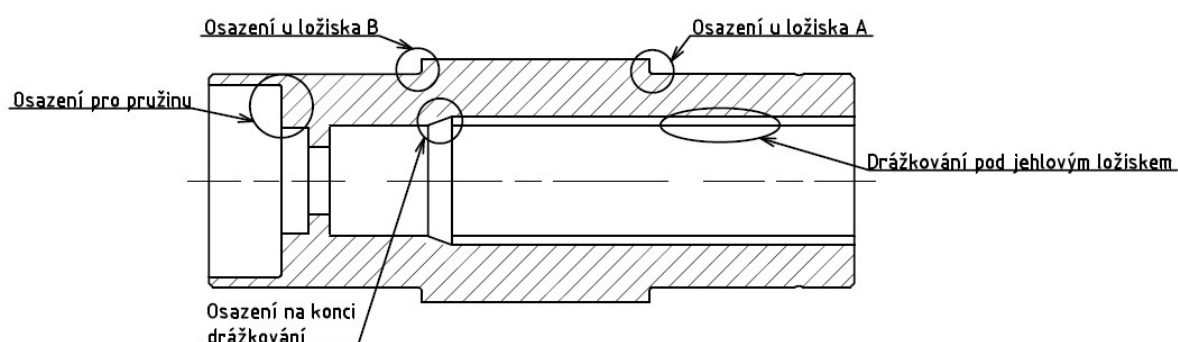
Bezpečnost:

$$k_{otl} := \frac{p_d}{p_5} = 1.5$$

$$k_{otl} > 1 = 1$$

9. Týden

Nebezpečná místa na hřídeli



Drážkování pod ložiskem

Součinitel tvaru:

$$\alpha_{\tau 1} := 6.083 - 14.775 \left( 10 \cdot \frac{r_{dr}}{D_5} \right) + 18.75 \cdot \left( 10 \cdot \frac{r_{dr}}{D_5} \right)^2 = 5.181$$

$$\alpha_{\sigma 1} := \frac{2}{3} \cdot \alpha_{\tau 1} = 3.454$$

Součinitel vrubu:

$$\beta_{\tau 1} := 0.9 \cdot \alpha_{\tau 1} = 4.663$$

$$\beta_{\sigma 1} := 0.9 \cdot \alpha_{\sigma 1} = 3.109$$

Bezpečnost k MSP dle HMM

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{01} := \frac{32 \cdot M_{OA} \cdot d_{1A}}{\pi \cdot (d_{1A}^4 - D_5^4)} = 66.245 \text{ MPa}$$

Napětí v krutu:

$$\tau_{k1} := \frac{16 \cdot M_{KA} \cdot d_{1A}}{\pi \cdot (d_{1A}^4 - D_5^4)} = 10.375 \text{ MPa}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red1} := \sqrt{(\sigma_{01} \cdot \alpha_{\sigma 1})^2 + 3 \cdot (\tau_{k1} \cdot \alpha_{\tau 1})^2} = 247.041 \text{ MPa}$$

Bezpečnost k MSP:

$$k_1 := \frac{Re_{Hr}}{\sigma_{red1}} = 2.6$$

Bezpečnost k MSP dle Langerova kritéria

Amplituda napětí:

$$\sigma_{a1} := \sigma_{01} \cdot \beta_{\sigma 1} = 205.941 \text{ MPa}$$

Střední napětí:

$$\sigma_{m1} := \sqrt[3]{3 \cdot \tau_{k1} \cdot \beta_{\tau 1}} = 83.797 \text{ MPa}$$

# Výpočtová zpráva

Bezpečnost:  $k1Lang := \frac{Rehř}{\sigma a1 + \sigma m1} = 2.2$

Bezpečnost k MSÚ dle Gerberova kritéria

$$de1 := \sqrt[2]{d1A^2 - D5^2} = 40 \text{ mm}$$

$$a := 4.51 \quad b = -0.265$$

Součinitel vlivu jakosti povrchu:

$$ka1 := a \cdot 740^b = 0.783$$

Součinitel vlivu velikosti tělesa:

$$kb1 := 1.24 \cdot 40^{-0.107} = 0.836$$

Součinitel vlivu způsobu zatěžování:

$$kc1 := 1$$

Součinitel vlivu teploty:

$$kd1 := 1$$

Součinitel spolehlivosti:

$$ke1 := 0.9$$

Součinitel dalších vlivů:

$$kf1 := 1$$

Korigovaná mez únavy:  $\sigma'co1 := ka1 \cdot kb1 \cdot kc1 \cdot kd1 \cdot ke1 \cdot kf1 \cdot \sigma cohř = 265.025 \text{ MPa}$

Bezpečnost:  $k1Gerb := \frac{1}{2} \left( \frac{Rmhř}{\sigma m1} \right)^2 \frac{\sigma a1}{\sigma'co1} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2 \sigma m1 \cdot \sigma'co1}{Rmhř \cdot \sigma a1} \right)^2} \right) = 1.3$

Osazení u ložiska A

$$\frac{Da1A}{d1A} = 1.14 \quad \frac{r1A}{d1A} = 0.012$$

Součinitel tvaru:

$$\alpha\sigma2 := 1.6$$

$$\alpha\tau2 := 1.3$$

Neubrova konstanta:

$$a2 := \left( \frac{139 \cdot \text{MPa}}{Rmhř} \right)^2 \cdot \text{mm} = 0.032 \text{ mm}$$

Součinitel vrubu:

$$\beta\sigma2 := \frac{\alpha\sigma2}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\sigma2 - 1)}{\alpha\sigma2} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a2}}{\sqrt[2]{r1A}}} = 1.365$$

$$\beta\tau2 := \frac{\alpha\tau2}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\tau2 - 1)}{\alpha\tau2} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a2}}{\sqrt[2]{r1A}}} = 1.175$$

Zatížení:

$$MO2 := FB \cdot \left( L2 - \frac{B1A}{2} \right) = 554.713 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Bezpečnost k MSP dle HMM

Napětí v ohybu:  $\sigma02 := \frac{32 MO2 \cdot d1A}{\pi \cdot (d1A^4 - D5^4)} = 51.933 \text{ MPa}$

Napětí v krutu:

$$\tau k2 := \frac{16 \cdot MKA \cdot d1A}{\pi \cdot (d1A^4 - D5^4)} = 10.375 \text{ MPa}$$

Redukované napětí:

$$\sigma red2 := \sqrt{(\sigma02 \cdot \alpha\sigma2)^2 + 3 \cdot (\tau k2 \cdot \alpha\tau2)^2} = 86.314 \text{ MPa}$$

# Výpočtová zpráva

Bezpečnost k MSP:  $k_2 := \frac{Reh\check{r}}{\sigma_{red2}} = 7.357$

Bezpečnost k MSP dle Langerova kritéria

Ampliduda napětí:  $\sigma_{a2} := \sigma_02 \cdot \beta\sigma2 = 70.865 \text{ MPa}$

Střední napětí:  $\sigma_{m2} := \sqrt[2]{3} \cdot \tau_{k2} \cdot \beta\tau2 = 21.118 \text{ MPa}$

Bezpečnost:  $k_{2Lang} := \frac{Reh\check{r}}{\sigma_{a2} + \sigma_{m2}} = 6.9$

Bezpečnost k MSÚ dle Gerberova kritéria

$$de2 := \sqrt[2]{Da1A^2 - d1A^2} = 27.368 \text{ mm}$$

$$a := 4.51 \quad b = -0.265$$

Součinitel vlivu jakosti povrchu:  $ka2 := a \cdot 740^b = 0.783$

Součinitel vlivu velikosti tělesa:  $kb2 := 1.24 \cdot 27.368^{-0.107} = 0.87$

Součinitel vlivu způsobu zatěžování:  $kc2 := 1$

Součinitel vlivu teploty:  $kd2 := 1$

Součinitel spolehlivosti:  $ke2 := 0.9$

Součinitel dalších vlivů:  $kf2 := 1$

Korigovaná mez únavy:  $\sigma'_{co2} := ka2 \cdot kb2 \cdot kc2 \cdot kd2 \cdot ke2 \cdot kf2 \cdot \sigma_{coh\check{r}} = 276.008 \text{ MPa}$

Bezpečnost:  $k_{2Gerb} := \frac{1}{2} \left( \frac{Rmh\check{r}}{\sigma_{m2}} \right)^2 \frac{\sigma_{a2}}{\sigma'_{co2}} \cdot \left( -1 + \sqrt[2]{1 + \left( \frac{2 \sigma_{m2} \cdot \sigma'_{co2}}{Rmh\check{r} \cdot \sigma_{a2}} \right)^2} \right) = 3.9$

Osazení u ložiska B

$$\frac{Da1B}{d1B} = 1.14 \quad \frac{r1B}{d1B} = 0.022 \quad d1H := 22 \text{ mm}$$

Součinitel tvaru:  $\alpha\sigma3 := 1.4$

$$\alpha\tau3 := 1.2$$

Neubrova konstanta:  $a3 := \left( \frac{139 \cdot \text{MPa}}{Rmh\check{r}} \right)^2 \cdot \text{mm} = 0.032 \text{ mm}$

Součinitel vrubu:

$$\beta\sigma3 := \frac{\alpha\sigma3}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\sigma3 - 1)}{\alpha\sigma3} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a3}}{\sqrt[2]{r1B}}} = 1.276$$

$$\beta\tau3 := \frac{\alpha\tau3}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\tau3 - 1)}{\alpha\tau3} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a3}}{\sqrt[2]{r1B}}} = 1.136$$

Zatížení:

$$MO3 := FB \cdot \frac{B1B}{2}$$



Bezpečnost k MSP dle HMM

Napětí v ohybu: 
$$\sigma_{03} := \frac{32 \cdot MO3 \cdot Da1B}{\pi \cdot (d1B^4 - d1H^4)} = 8.431 \text{ MPa}$$

Napětí v krutu: 
$$\tau_{k3} := \frac{16 \cdot MKA \cdot Da1B}{\pi \cdot (d1B^4 - d1H^4)} = 10.695 \text{ MPa}$$

Redukované napětí: 
$$\sigma_{red3} := \sqrt{(\sigma_{03} \cdot \alpha_{\sigma 3})^2 + 3 \cdot (\tau_{k3} \cdot \alpha_{\tau 3})^2} = 25.169 \text{ MPa}$$

Bezpečnost k MSP: 
$$k_3 := \frac{Reh\check{r}}{\sigma_{red3}} = 25.2$$

Bezpečnost k MSP dle Langerova kritéria

Amplituda napětí: 
$$\sigma_{a3} := \sigma_{03} \cdot \beta_{\sigma 3} = 10.759 \text{ MPa}$$

Střední napětí: 
$$\sigma_{m3} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k3} \cdot \beta_{\tau 3} = 21.039 \text{ MPa}$$

Bezpečnost: 
$$k_{3Lang} := \frac{Reh\check{r}}{\sigma_{a3} + \sigma_{m3}} = 20$$

Bezpečnost k MSÚ dle Gerberova kritéria

$$de3 := \sqrt[2]{Da1B^2 - d1B^2} = 27.368 \text{ mm}$$

$$a := 4.51 \quad b := -0.265$$

Součinitel vlivu jakosti povrchu: 
$$ka3 := a \cdot 740^b = 0.783$$

Součinitel vlivu velikosti tělesa: 
$$kb3 := 1.24 \cdot 27.368^{-0.107} = 0.87$$

Součinitel vlivu způsobu zatěžování: 
$$kc3 := 1$$

Součinitel vlivu teploty: 
$$kd3 := 1$$

Součinitel spolehlivosti: 
$$ke3 := 0.9$$

Součinitel dalších vlivů: 
$$kf3 := 1$$

Korigovaná mez únavy: 
$$\sigma'_{co3} := ka3 \cdot kb3 \cdot ke3 \cdot \sigma_{coh\check{r}} = 276.008 \text{ MPa}$$

Bezpečnost: 
$$k_{3Gerb} := \frac{1}{2} \left( \frac{Rmh\check{r}}{\sigma_{m3}} \right)^2 \cdot \frac{\sigma_{a3}}{\sigma'_{co3}} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot \sigma_{m3} \cdot \sigma'_{co3}}{Rmh\check{r} \cdot \sigma_{a3}} \right)^2} \right) = 19$$

Osazení pro pružinu

$$Da1P := 45 \text{ mm}$$

$$da1P := 25 \text{ mm}$$

$$r1P := 0.4 \text{ mm}$$

$$\frac{Da1P}{da1P} = 1.8 \quad \frac{r1P}{da1P} = 0.016$$

Součinitel tvaru: 
$$\alpha_{\sigma 4} := 1.4$$

$$\alpha_{\tau 4} := 1.3$$

Neubrova konstanta: 
$$a4 := \left( \frac{139 \cdot \text{MPa}}{Rmh\check{r}} \right)^2 \cdot \text{mm} = 0.032 \text{ mm}$$

# Výpočtová zpráva

Součinitel vrubu:

$$\beta\sigma_4 := \frac{\alpha\sigma_4}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\sigma_4 - 1)}{\alpha\sigma_4} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a_4}}{\sqrt[2]{r_{1P}}}} = 1.206$$

$$\beta\tau_4 := \frac{\alpha\tau_4}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\tau_4 - 1)}{\alpha\tau_4} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a_4}}{\sqrt[2]{r_{1P}}}} = 1.15$$

Bezpečnost k MSP dle HMH

Napětí v krutu:

$$\tau_{k4} := \frac{16 \cdot M_4 \cdot Da_{1P}}{\pi \cdot (d_{1B}^4 - Da_{1P}^4)} = 23.633 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{04} := 0 \text{ MPa}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red4} := \sqrt{(\sigma_{04} \cdot \alpha\sigma_4)^2 + 3 \cdot (\tau_{k4} \cdot \alpha\tau_4)^2} = 53.213 \text{ MPa}$$

Bezpečnost k MSP:

$$k_4 := \frac{Reh_{\check{r}}}{\sigma_{red4}} = 11.933$$

Bezpečnost k MSP dle Langerova kritéria

Amplituda napětí:

$$\sigma_{a4} := \sigma_{04} \cdot \beta\sigma_4 = 0 \text{ MPa}$$

Střední napětí:

$$\sigma_{m4} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k4} \cdot \beta\tau_4 = 47.089 \text{ MPa}$$

Bezpečnost:

$$k_{4Lang} := \frac{Reh_{\check{r}}}{\sigma_{a4} + \sigma_{m4}} = 13.5$$

Osazení na konci drážkování

$$r_5 := \frac{Da_{1P} - D_5}{2} = 7.5 \text{ mm}$$

$$\frac{D_5}{da_{1P}} = 1.2 \quad \frac{r_5}{D_5} = 0.25$$

Součinitel tvaru:

$$\alpha\sigma_5 := 1.4$$

$$\alpha\tau_5 := 1.3$$

Neubrova konstanta:

$$a_5 := \left( \frac{139 \cdot \text{MPa}}{Rmh_{\check{r}}} \right)^2 \cdot \text{mm} = 0.032 \text{ mm}$$

Součinitel vrubu:

$$\beta\sigma_5 := \frac{\alpha\sigma_5}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\sigma_5 - 1)}{\alpha\sigma_5} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a_5}}{\sqrt[2]{r_5}}} = 1.35$$

$$\beta\tau_5 := \frac{\alpha\tau_5}{1 + \left( \frac{2 \cdot (\alpha\tau_5 - 1)}{\alpha\tau_5} \right) \cdot \frac{\sqrt[2]{a_5}}{\sqrt[2]{r_5}}} = 1.262$$

Zatížení:

$$MO_5 := FB \cdot (L_1 + L_2 - L_5)$$

Bezpečnost k MSP dle HMH

Napětí v ohybu: 
$$\sigma_{05} := \frac{32 \cdot M_{05} \cdot D_{a1} B}{\pi \cdot (D_{a1} B^4 - d_{1H}^4)} = 19.901 \text{ MPa}$$

Napětí v krutu: 
$$\tau_{k5} := \frac{16 \cdot M_{05} \cdot D_{a1} B}{\pi \cdot (D_{a1} B^4 - d_{1H}^4)} = 6.234 \text{ MPa}$$

Redukované napětí: 
$$\sigma_{red5} := \sqrt{(\sigma_{05} \cdot \alpha_{\sigma 5})^2 + 3 \cdot (\tau_{k5} \cdot \alpha_{\tau 5})^2} = 31.197 \text{ MPa}$$

Bezpečnost k MSP: 
$$k_5 := \frac{Re_{Hr}}{\sigma_{red5}} = 20.4$$

Bezpečnost k MSP dle Langerova kritéria

Amplituda napětí: 
$$\sigma_{a5} := \sigma_{05} \cdot \beta_{\sigma 5} = 26.862 \text{ MPa}$$

Střední napětí: 
$$\sigma_{m5} := \sqrt{3} \cdot \tau_{k5} \cdot \beta_{\tau 5} = 13.627 \text{ MPa}$$

Bezpečnost: 
$$k_{5Lang} := \frac{Re_{Hr}}{\sigma_{a5} + \sigma_{m5}} = 15.7$$

Bezpečnost k MSÚ dle Gerberova kritéria

$$d_{e5} := \sqrt{D_{5^2} - d_{a1} P^2} = 16.583 \text{ mm}$$

$$a := 4.51 \quad b := -0.265$$

Součinitel vlivu jakosti povrchu: 
$$k_{a5} := a \cdot 740^b = 0.783$$

Součinitel vlivu velikosti tělesa: 
$$k_{b5} := 1.24 \cdot 18.028^{-0.107} = 0.91$$

Součinitel vlivu způsobu zatěžování: 
$$k_{c5} := 1$$

Součinitel vlivu teploty: 
$$k_{d5} := 1$$

Součinitel spolehlivosti: 
$$k_{e5} := 0.9$$

Součinitel dalších vlivů: 
$$k_{f5} := 1$$

Korigovaná mez únavy: 
$$\sigma'_{co5} := k_{a5} \cdot k_{b5} \cdot k_{c5} \cdot k_{d5} \cdot k_{e5} \cdot k_{f5} \cdot \sigma_{coh} = 288.616 \text{ MPa}$$

Bezpečnost: 
$$k_{5Gerb} := \frac{1}{2} \left( \frac{R_{mh}}{\sigma_{m5}} \right)^2 \cdot \frac{\sigma_{a5}}{\sigma'_{co5}} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot \sigma_{m5} \cdot \sigma'_{co5}}{R_{mh} \cdot \sigma_{a5}} \right)^2} \right) = 10.4$$

Nejnižší hodnota bezpečnostivůči MSP hřídele unašeče:

$$k_{min} := \min(k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_{1Lang}, k_{2Lang}, k_{3Lang}, k_{4Lang}, k_{5Lang}) = 2.2$$

Nejnižší hodnota bezpečnostivůči MSÚ hřídele unašeče

$$K_{umin} := \min(k_{1Gerb}, k_{2Gerb}, k_{3Gerb}, k_{5Gerb}) = 1.3$$

Nejnebezpečnější místo - drážkování pod ložiskem  $k_{1Gerb} = 1.3$

# Výpočtová zpráva

Diskuze:

Čelní soukolí bylo navrženo dle ISO 6336.

Odchylka mezi reálnými a požadovanými výstupními otáčky je (0,059 %) méně než 1 %.

Ozubená kola jsou vyrobená z ČSN 42 2750 a povrchově kalena. Modul ozubení je 2 mm. Šírky centrálního a korunového kola jsou shodné a to 44 mm šírka satelitu je 40 mm, šírka je menší než 1,1násobek roztečné kružnice. Bezpečnost v dotyku u centrálního kola je 1,3 v ohybu pak 2,2. Bezpečnost v dotyku u satelitu je 1,3 v ohybu pak 2,2.

Navržená hřídel unašeče s nejnižší bezpečností 1,3 a to v kritickém místě pod jehlovým ložiskem.

Navržená ložiska: jehlové ložisko NKI 50/35 voleno z katalogu SKF, Kuličkové ložisko 6210-2RS1 voleno z katalogu SKF

Navržené drážkování: ČSN ISO 14 - 6 x 26 x 30 s bezpečností 1,5

Copyright © Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.