

Kontrolný výpočet ozubení [22]

Sily pôsobiace v ozubení sú známe zo súboru kontrola návrhu pohonu.

$F_t := 823.2 \text{ N}$ veľkosť obvodovej sily

$F_{ph} := 876 \text{ N}$

Materiálové
charakteristiky
uhlíkovej ocele
Tab A-5

$$\mu_1 := 0.292$$

$$\mu_2 := 0.292$$

$$z := 17$$

počet zubov z

$$m := 2 \text{ mm}$$

modul ozubení m

$$b := 33 \text{ mm}$$

šírka ozubení

$$d := m \cdot z = 34 \text{ mm}$$

priemer základnej kružnice

$$\alpha := 20^\circ$$

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

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

[https://moodle.vutbr.cz/
pluginfile.php/156473/
mod_resource/content/1/
Prezentace_03.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/156473/mod_resource/content/1/Prezentace_03.pdf)

Napätie v dotyku

$$\sigma_H := \sqrt{\frac{F_{ph}}{b \cdot \pi} \cdot \frac{\frac{2}{d \cdot \sin(\alpha)}}{\frac{(1 - \mu_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - \mu_2^2)}{E_2}}} = 405.501 \text{ MPa}$$

Konstruování str 788, tab A-34 str1145

Volba materiálu: Zušlachtená liata ocel' legovaná kvality ML/MQ

Typ nanätia- v dotyku

$$A_1 := 1.267 \text{ MPa}$$

$$B_1 := 298 \text{ MPa}$$

$$H_1 := 320$$

$$\sigma_{Hlim} := A_1 \cdot H_1 + B_1 = 703.44 \text{ MPa}$$

Typ nanätia- v ohybu

$$A_2 := 0.364 \text{ MPa}$$

$$B_2 := 161 \text{ MPa}$$

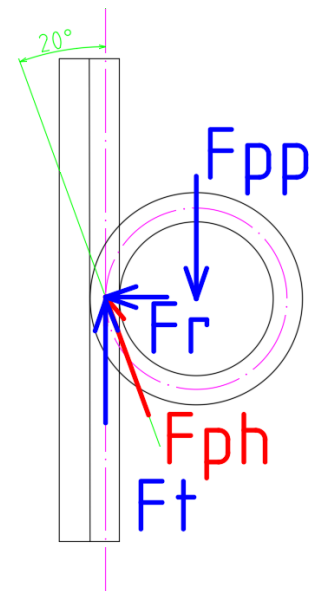
$$H_2 := 320$$

$$\sigma_{Flim} := A_2 \cdot H_2 + B_2 = 277.48 \text{ MPa}$$

Bezpečnosť proti vzniku únavového poškodenia v dotyku

$$S_h := \frac{\sigma_{Hlim}}{\sigma_H} = 1.735$$

Bezpečnosť vyhovuje.



Součinitel koncentrace napětí pro referenční ozubené kolo

$$Y_{ST} := 2$$

[https://moodle.vutbr.cz/
pluginfile.php/156479/mod_resource/
content/1/Prezentace_04.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/156479/mod_resource/content/1/Prezentace_04.pdf)

Mez únavy v ohybu referenčního kol pro pastorek a hřeben

$$\sigma_{FE1} := \sigma_{Flim} \cdot Y_{ST} = 554.96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FE2} := \sigma_{Flim} \cdot Y_{ST} = 554.96 \text{ MPa}$$

Součinitel počtu cyklů pro pastorek a kolo obr 14-23 str 828 (odstavec nad grafom)

$$Y_{NT1} := 1 \quad Y_{NT2} := 1$$

Součinitel velikosti

$$Y_X := 1$$

Drsnost povrchu

$$R_a := 1.6 \text{ } \mu\text{m}$$

Poměrný součinitel vrubové citlivosti obr14-18 str824

$$\text{Standardní zaoblení paty zubu:} \quad Y_{\delta relT} := 1$$

Součinitel drsnosti v oblasti přechodu zubu str814, str 829

$$R_{zISO} := 6 \cdot R_a = 9.6 \text{ } \mu\text{m} \quad Y_{RrelT} := 1$$

Minimální bezpečnost

$$S_{Fmin} := 1$$

Přípustné napětí v ohybu v patě zubu pro pastorek a kolo

$$\sigma_{FP1} := \frac{\sigma_{FE1} \cdot Y_{NT1}}{S_{Fmin}} \cdot Y_X \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} = 554.96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FP2} := \frac{\sigma_{FE2} \cdot Y_{NT2}}{S_{Fmin}} \cdot Y_X \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} = 554.96 \text{ MPa}$$

Součinitel koncentrace napětí přizpůsobení síly na špičku zubu obr.14-18 str 824

$$Y_{Sa1} := 1.52$$

$$Y_{Sa2} := 1.86$$

Součinitel tvaru zubu při působení síly na špičku zubu obr.14-17 str 823

$$Y_{Fa1} := 2.95$$

$$Y_{Fa2} := 2.06$$

Vzdialenosť priamky AB $AB := 10.32 \text{ mm}$ $p := \pi \cdot m$

Základná rozteč $p_b := p \cdot \cos(\alpha)$

Súčiniteľ záberu profilu $\varepsilon_\alpha := \frac{AB}{p_b} = 1.748$

Graficke riešenie v CAD podľa

https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/02_Silnicni-vozidla_4-6/5_MMP/004_Ozubena-kola---Klapka---P1.pdf

Priame ozubenie, z toho plynie že uhol sklonu zubu β je nulový

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

$$\varepsilon_\beta := 0$$

Součinitel vlivu záběru profilu

$$Y_\varepsilon := 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_\alpha} \cdot (\cos(\beta_b))^2 = 0.679$$

Součinitel sklonu zubu

$$Y_\beta := 1 - \varepsilon_\beta \cdot \frac{\beta}{120} = 1$$

Nominální napětí v ohybu pro pastorek a kolo

$$\sigma_{F01} := \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{Fa1} \cdot Y_{Sa1} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta = 37.98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{F02} := \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{Fa2} \cdot Y_{Sa2} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta = 32.454 \text{ MPa}$$

Součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubu po šířce pro ohyb

$$h := 2.25 \cdot m = 4.5 \text{ mm}$$

$$N_F := \frac{\left(\frac{b}{h}\right)^2}{1 + \frac{b}{h} + \left(\frac{b}{h}\right)^2} = 0.866$$

KA součinitel vonkajších dynamických síl Tab 14-2 str 792

KV součinitel vnitřních dyn. síl str. 793

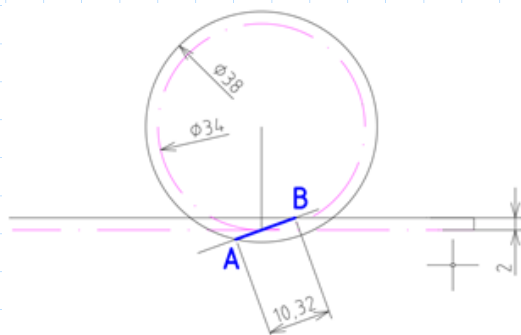
$$B := 0.25 \cdot \left(7 - 4\right)^{\frac{2}{3}}$$

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

$$v := 0.05$$

$$K_A := 1.35$$

$$K_V := \left(\frac{\left(A + \sqrt{v \cdot 200} \right)}{A} \right)^B = 1.021$$



$K' := 1.33$ součinitel polohy pastorku str 795 tab 14-3

$d_{sh} := 16 \text{ mm}$ průměr hriadelu pod pastorkom

$l_s := 40 \text{ mm}$ délka hriadelu mezi ložiskem a pastorkom

$l := 80 \text{ mm}$ délka hriadelu mezi ložiskami

$$f_{sh0} := 0.023 \cdot \left(\left(0.7 + K' \cdot l \cdot l_s \cdot \frac{d^2}{d_{sh}^4} \right) + 0.3 \right) \cdot \left(\frac{b}{d} \right)^2$$

$$f_{sh} := f_{sh0} \cdot 100 = 164.825$$

$f_{H\beta} := 10 \text{ } \mu\text{m}$ mezní úchylka sklonu zubu A-35

$f_{ma} := f_{H\beta}$ výrobní uchylka dotikové krivky

$$F_{\beta x} := 1.33 \cdot f_{sh} + f_{ma} = 229.218$$

$y_{\beta} := 70$ snížení uchylky dotikové krivky obr 14-4b

$F_{\beta y} := F_{\beta x} - y_{\beta} = 159.218$ součinitel nerovnomernosti
zatížení zubu po šířce pro
ohyb

Střední měrná tuhost zubů str.794 $c\gamma := 20$

$$K_{H\beta} := 1 + \frac{F_{\beta y} \cdot c\gamma}{2 \cdot 100} = 16.922$$

$b = 33 \text{ mm}$

$$F_m := K_A \cdot K_V \cdot F_t = (1.135 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$\frac{F_m}{b} < 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$K_{F\beta} := K_{H\beta}^{N_F} = 11.578$$

Platí $F_m/b = 100$

Součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů pro ohyb

$$\alpha_t := 20^\circ$$

$$f_{pt} := 10 \cdot \mu\text{m}$$

$$f_{pb} := f_{pt} \cdot \cos(\alpha_t) = 9.397 \text{ } \mu\text{m}$$

$$f_{pe} := f_{pb}$$

$$F_{th} := F_t \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} = (1.92 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$y_a := 4 \cdot \mu\text{m} \text{ obr 14-8b}$$

$$c\gamma := 20 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$$

$$q_a := \frac{c\gamma \cdot (f_{pe} - y_a)}{\frac{F_{th}}{b}} = 0.185$$

$$K_{F\alpha} := \frac{\varepsilon\alpha}{2} \cdot (0.9 + 0.4 \cdot q_a) = 0.851$$

$$\varepsilon\gamma := \varepsilon\alpha = 1.748$$

$$Z_\varepsilon := \sqrt{\frac{4 - \varepsilon\alpha}{3}} = 0.866$$

Napětí v ohybu v patě zubu pro pastorek a kolo

$$\sigma_{F1} := \sigma_{F01} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha} = 516.117 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{F2} := \sigma_{F02} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha} = 441.024 \text{ MPa}$$

Bezpečnost proti vzniku únavového lomu v patě zubu

$$S_{F1} := \frac{\sigma_{FE1} \cdot Y_{NT1}}{\sigma_{F1}} \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_X = 1.075$$

$$S_{F2} := \frac{\sigma_{FE2} \cdot Y_{NT2}}{\sigma_{F2}} \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_X = 1.258$$

Zvolený modul ozubení a materiál ozubení vyhovuje.