

# Statický výpočet

## PATERNOSTER PN 160/0,3

Typ zařízení:	Paternoster s elektrickým pohonem dle ČSN 27 4009
Počet kabin:	12
Nosnost:	160 kg, to je celkem 1920 kg
Zdvih:	14,265m
Jmenovitá rychlost:	0,3 ms <sup>-1</sup>
Umístění výtahu:	Zděná (betonová)šachta

**Nosné řetězy** - (příloha 1. obrázek č.1)

Počítáno se zvýšenou zátěží o 50%

$$F_Q = 2400 \text{ N}$$

Nosné řetězy jsou zhotoveny z oceli 12050.0

Průřez jednoho článku řetězu

$$2 \times 50 \times 15$$

Plocha průřezu

$$S = 2 \times (1,5 \times 1,25 + 1,25 \times 1,25) = 6,88 \text{ cm}^2$$

Mez kluzu

$$\sigma_p = 29\,430 \text{ N/cm}^2$$

Síla namáhající 1 článek řetězu na tah

$$F_R = F_{GR} + \frac{m}{2} (F_Q + F_K)$$

$$F_R = 7301 + 6 (2400 + 2400)$$

$$F_R = 36101 \text{ N}$$

$F_{GR}$  síla hmotnosti jednoho řetězu

$$F_{GR} = 7301 \text{ N}$$

$m$  počet kabin = 12

$F_Q$  síla hmotnosti v jedné kabině = 2400 N

$F_K$  síla hmotnosti jedné kabiny = 2400 N

Namáhání jednoho článku v tahu

$$\sigma = F_R / S = 36101 / 6,88$$

$$\sigma = 5251 \text{ N/cm}^2$$

Bezpečnost

$$k = \sigma_p / \sigma = 29\,430 / 5251$$

$$k = 5,6 \text{ násobná}$$

$$5,6 > 3 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Počítáno s běžným zatížením

$$F_Q = 1600 \text{ N}$$

Síla namáhající 1 článek řetězu na tah

$$F_R = F_{GR} + \frac{m}{2} (F_Q + F_K)$$

$$F_R = 7301 + 6 (1600 + 2400)$$

$$F_R = 31301 \text{ N}$$

Namáhání jednoho článku v tahu

$$\sigma = F_R / S = 31301 / 6,88$$

$$\sigma = 4553 \text{ N/cm}^2$$

Bezpečnost

$$k = \sigma_p / \sigma = 29\,430 / 4553$$

$$k = 6,5 \text{ násobná}$$

$$6,5 > 3 \text{ VYHOVUJE}$$

Čep řetězu - (příloha 1. obrázek č.2)

Počítáno se zvýšenou zátěží o 50%

$$F_Q = 2400 \text{ N}$$

Čep řetězu zhotoven z oceli 12020.1, cementován a kalen

Čep řetězu průměr

$$25 \text{ mm}$$

Plocha průřezu

$$S = (3,14 \times 25 \times 25) / 4 = 4,9 \text{ cm}^2$$

Nejmenší mez kluzu

$$\sigma_p = 22565 \text{ N/cm}^2$$

Čep je namáhán na střih

$$\tau = F_R / 2S$$

$$\tau = 36101 / 2 \times 4,9$$

$$\tau = 3679 \text{ N/cm}^2$$

Mez kluzu ve střihu

$$\tau_K = 2/3 \sigma_p$$

Bezpečnost

$$k = 2/3 \times \sigma_p / \tau = 2/3 \times 22565 / 3679$$

$$k = 4,1 \text{ násobná}$$

$$4,1 > 3 \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

Počítáno s běžným zatížením

$$F_Q = 1600 \text{ N}$$

Čep je namáhán na střih

$$\tau = F_R / 2S$$

$$\tau = 31301 / 2 \times 4,9$$

$$\tau = 3190 \text{ N/cm}^2$$

Mez kluzu ve střihu

$$\tau_K = 2/3 \sigma_p$$

Bezpečnost

$$k = 2/3 \times \sigma_p / \tau = 2/3 \times 22565 / 3190$$

$$k = 4,7 \text{ násobná}$$

$$4,7 > 3 \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

Závěsný čep kabiny - (příloha 1. obrázek č.3)

Počítáno se zvýšenou zátěží o 50%

$$F_Q = 2400 \text{ N}$$

Čep závěsu kabiny zhotoven z oceli 12020.1, cementován a kalen

Čep průměr

$$25 \text{ mm}$$

Objem

$$W = 1,53 \text{ cm}^3$$

Vzdálenost osy ložiska od řetězu

$$l = 4,9 \text{ cm}$$

Nejmenší mez kluzu v tahu

$$\sigma_{kt} = 29430 \text{ N/cm}^2$$

Mez dovolená

$$\sigma_0 = (F_Q + F_K) \times l / (2 \times W)$$

$$\sigma_0 = (2400 + 2400) \times 4,9 / (2 \times 1,53)$$

$$\sigma_0 = 7686 \text{ N/cm}^2$$

Bezpečnost

$$k = \sigma_{kt} / \sigma_0 = 29\,430 / 7686$$

$$k = 3,8 \text{ násobná}$$

$$3,8 > 3 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Počítáno s běžným zatížením

$$F_Q = 1600 \text{ N}$$

Mez dovolená

$$\sigma_0 = (F_Q + F_K) \times l / (2 \times W)$$

$$\sigma_0 = (1600 + 2400) \times 4,9 / (2 \times 1,53)$$

$$\sigma_0 = 6405 \text{ N/cm}^2$$

Bezpečnost

$$k = \sigma_{kt} / \sigma_0 = 29\,430 / 6405$$

$$k = 4,6 \text{ násobná}$$

$$4,6 > 3 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Stroj

Je přišroubován na ocelovém svařovaném rámu s ofrézovanými dosedacími plochami. Celek je usazen na nosnících rámu stroje a ty jsou uloženy na základě vytvářejícím věnec na vrcholu šachty. Spojení základu s rámem stroje zajišťují kotevní šrouby M30.

Převody: 2x šnekový 2:62; m8 + 2x čelními koly 178:23; m8 se šikmými zuby

Celkový převod :  $(2/62) \times (178/23) = 239,91 = > 1: 239,91$

Hnací polygonová kola:  $z = 13$ ,  $t = 160$  mm,  $\varnothing 1329,85$  mm

Brzda: Dvoučelistová  $\varnothing 300$ mm ovládaná stejnosměrným elektromagnetem

Rychlost kabin:  $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot \pi c} = \frac{\pi \cdot 1,32985 \cdot 960}{60 \cdot 239,91} = \frac{4010,733}{14394,6} = 0,2786$  m/s

Potřebný výkon el. motoru:

1) Do 14 kabin

$$P = \frac{F_Q \cdot m}{2} \cdot \frac{v}{1000 \cdot \eta} = \frac{1600 \cdot 14}{2} \cdot \frac{0,2786}{1000 \cdot 0,45} = 11200 \cdot 0,000619 = 6,93 \text{ kW}$$

Volen motor 7 kW,  $n = 960$  ot./min, napětí 3 x 400 V

2) Do 20 kabin

$$P = \frac{F_Q \cdot m}{2} \cdot \frac{v}{1000 \cdot \eta} = \frac{1600 \cdot 20}{2} \cdot \frac{0,2786}{1000 \cdot 0,45} = 16000 \cdot 0,000619 = 9,9 \text{ kW}$$

Volen motor 10 kW,  $n = 960$  ot./min, napětí 3 x 400 V

3) Do 26 kabin

$$P = \frac{F_Q \cdot m}{2} \cdot \frac{v}{1000 \cdot \eta} = \frac{1600 \cdot 26}{2} \cdot \frac{0,2786}{1000 \cdot 0,45} = 20800 \cdot 0,000619 = 12,9 \text{ kW}$$

Volen motor 13 kW,  $n = 960$  ot./min, napětí 3 x 400 V

4) Do 36 kabin

$$P = \frac{F_Q \cdot m}{2} \cdot \frac{v}{1000 \cdot \eta} = \frac{1600 \cdot 36}{2} \cdot \frac{0,2786}{1000 \cdot 0,45} = 20800 \cdot 0,000619 = 17,8 \text{ kW}$$

Volen motor 18,5 kW,  $n = 960$  ot./min, napětí 3 x 400 V

**Hřídel hnacího pastorku předlohy** - (příloha 2. obrázek č.4, obrázek č.5)

Materiál: ocel 11 600.0, mez kluzu  $\sigma_p=28\,450\text{ N/cm}^2$ ,  $\varnothing 8\text{ cm}$

$W_O=50,27\text{ cm}^3$ , ztráty třením ve stroji 20%, účinnost  $\eta = 0,8$

Maximální síla na roztečném poloměru polygonu v případě plného zatížení kabin pro směr jízdy nahoru a prázdných kabin pro směr jízdy dolů, počítáno pro celkový počet 24 kabin:

$\varphi = 0,3$  ... ztráty třením v kabinových vodítkách, v čepech řetězů, v ložiskách

$F_Z$  ...celkové ztráty třením

$$F_Z = \frac{m * F_Q}{4} * \varphi = \frac{24 * 1600}{4} * 0,3 = 2880\text{ N}$$

$$F_P = \frac{m * F_Q}{4} + F_Z = \frac{24 * 1600}{4} + 2880 = 12480\text{ N}$$

Obvodová síla v zubech na ozub. věnci:

$R_p$  ...poloměr polygonového kola 66,5 cm

$R_{OV}$  ...poloměr ozubeného věnce 71,59 cm

$$F_{OV} = \frac{F_P * R_D}{R_{OV}} = \frac{12480 * 66,5}{71,59} = 11592,7\text{ N}$$

Normální síla v zubech: záb.  $\alpha=20^\circ$

$$F_N = \frac{F_{OV}}{\cos \alpha} = \frac{11592,7}{0,94} = 12336,7\text{ N}$$

Ohybový moment:

$$M_O = F_N * 17,25 = 12336,7 * 17,25 = 212807,6\text{ Ncm}$$

$$\sigma_O = \frac{M_O}{W_O} = \frac{212807,6}{50,27} = 4233,3\text{ N/cm}^2$$

Krouticí moment: - (příloha 3. obrázek č.6)

$$M_K = \frac{F_{OV} * R}{\eta} = \frac{11592,7 * 9,25}{0,8} = 134040,6\frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

$$\tau = \frac{M_K}{2 * W_O} = \frac{134040,6}{2 * 50,27} = 1333,2\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_O^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{4233,3^2 + (3 * 1333,2)^2} = \sqrt{33917629} = 5823,9 \frac{N}{cm^2}$$

Bezpečnost: dle ČSN 27 4030 čl. 261

$$k = \frac{\sigma_P}{\sigma_{RED}} = \frac{28450}{5823,9} = 4,86 \text{ násob.} > 3,5 \text{ násob.}$$

Čep polygonu: - (příloha 3. obrázek č.7)

Materiál: ocel 11 600.0, mez kluzu  $\sigma_P=28\,450\text{ N/cm}^2$ ,  $\varnothing 12\text{ cm}$ ,  $W_O=169,3\text{ cm}^3$

Čep polygonu je nejvíce namáhán v případě plného zatížení všech kabin. Hmotnost jedné kabiny 240 kg.

$F_{GŘ}$  ...hmotnost řetězu 7301 N

$F_{GP}$  ...hmotnost polygonového kola s věncem 5000 N

$$F = F_{GŘ} + F_{GP} + \frac{m}{2} * (F_Q + F_K) = 7301 + 5000 + \frac{12}{2} * (1600 + 2400) = 36301\text{ N}$$

Kolmá složka obvodové síly na ozub. věnci za pohybu:

$$F_{OBV.Y} = F_Z * \frac{R_{POL}}{R_{OV}} * \cos \alpha = 2880 * \frac{66,5}{71,6} * 0,94 = 2513,4\text{ N}$$

Reakce v uložení čepu:

$$R_A = \frac{F * 63 - F_{OBV.Y} * 51,5}{44} = \frac{36301 * 63 - 2513,4 * 51,5}{44} = \frac{2157522,9}{44} = 49034,6\text{ N}$$

$$R_B = R_A + F_{OBV.Y} - F = 49034,6 + 2513,4 - 36301 = 15247\text{ N}$$

Ohybový moment:

$$M_O = F * 19 - F_{OBV.Y} * 7,5 = 36301 * 19 - 2513,4 * 7,5 = 687205,6\text{ Ncm}$$

$$\sigma_O = \frac{M_O}{W} = \frac{687205,6}{169,3} = 4059 \frac{N}{cm^2}$$

Bezpečnost: dle ČSN 27 4030 čl. 262

$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma_O} = \frac{28450}{4059} = 7 > 3 \text{ nás.}$$

Nosníky rámu stroje

Reakce  $R_B$  v uložení čepu polygonu vyvozuje svislou sílu  $F_{\Sigma}$ , která namáhá 2 šrouby na tah.

Průřez jádra šroubu M 30:  $s=5,09\text{ cm}^2$ , materiál 11 500  $\sigma_{kt} = 26500\text{ N/cm}^2$

$$F_{\Sigma} = \frac{44 * R_B}{44} = \frac{44 * 15247}{41} = 16362\text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{F_s}{2 * S} = \frac{16362}{2 * 5,09} = 1607 \text{ N/cm}^2$$

Bezpečnost:

$$k = \frac{\sigma_{kt}}{\sigma_t} = \frac{26500}{1607} = 16,5 \text{ nás.}$$

Nosníky pod rámem stroje - (příloha 4. obrázek č.8)

Profil I č. 32, materiál ocel 11 373.0, mez kluzu  $\sigma_{kt}=2300 \text{ kg/cm}^2$ , modul průřezu  $W_x=782 \text{ cm}^3$ , moment setrvačnosti  $J_x=12510 \text{ cm}^4$ , plocha průřezu  $F=69,1 \text{ cm}^2$ , váha stroje  $G_s=700 \text{ kg}$

$$R_3 = F_{G\ddot{R}} + G_{GP} + \frac{m}{2} * (F_Q + F_K) = 730 + 500 + 6 * (240 + 240) = 4110 \text{ kg}$$

Výpočet reakcí

$$R_B = \frac{R_3 * 108,5 + \frac{G_s}{2} * 186 + \frac{G_s}{2} * 297}{332} = \frac{4110 * 108,5 + 350 * 186 + 350 * 297}{332} = 1852 \text{ N}$$

$$R_A = R_3 + \frac{G_s}{2} + \frac{G_s}{2} - R_B = 4110 + 350 + 350 - 1852 = 2958 \text{ N}$$

Maximální ohybový moment:

$$M_{Omax} = R_A * 108,5 = 2958 * 108,5 = 320943 \text{ kgcm}$$

Maximální ohybové napětí

$$\sigma_O = \frac{M_{Omax}}{W_x} = \frac{320943}{782} = 410 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Bezpečnost

$$\frac{\sigma_{kt}}{\sigma_O} = \frac{2300}{410} = 5,6 \text{ nás.} > 3 \text{ nás.}$$

Průhyb nosníku

Průhyb se počítá ze síly odpovídající největšímu momentu, jakoby působila uprostřed nosníku průhybová síla.

$$P_Y = \frac{M_{Omax} * l}{x * (l - x)} = \frac{320943 * 332}{108,5(332 - 108,5)} = 4394 \text{ kg}$$

Průhyb

$$y = \frac{P_Y * l^3}{48 * E * J_x} = \frac{4394 * 332^3}{48 * 2,1 * 10^6 * 12510} = 0,127 \text{ cm}$$

Přípustný průhyb

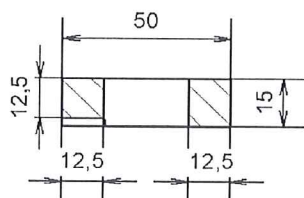
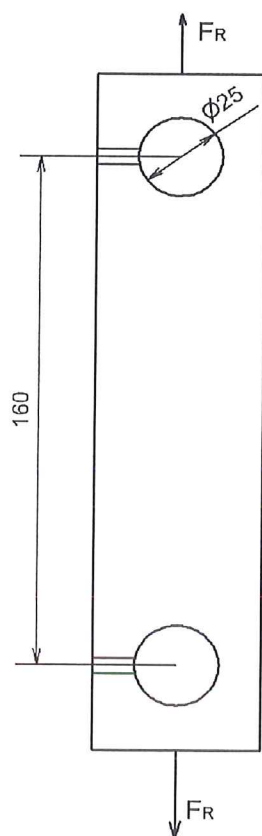
$$y_{DOV} = \frac{l}{1000} = \frac{332}{1000} = 0,332 \text{ cm}$$

Porovnání

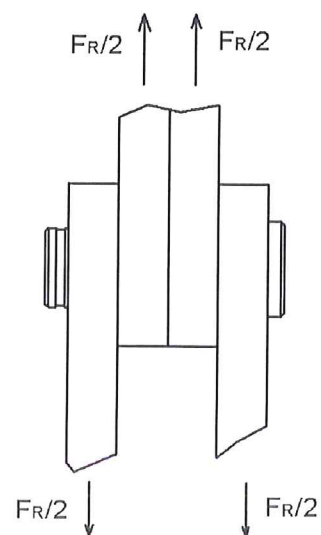
$$0,127 \text{ cm} > 0,332 \text{ cm}$$

PŘÍLOHA č.1

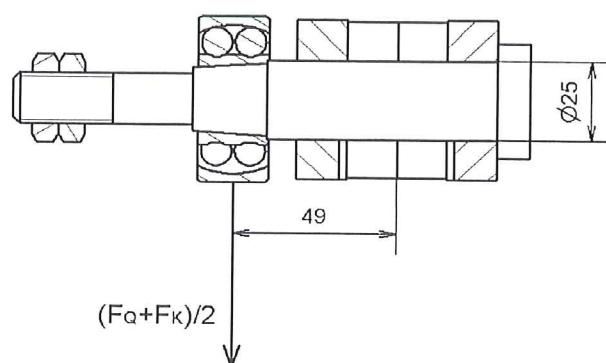
Obrázek č.1



Obrázek č.2

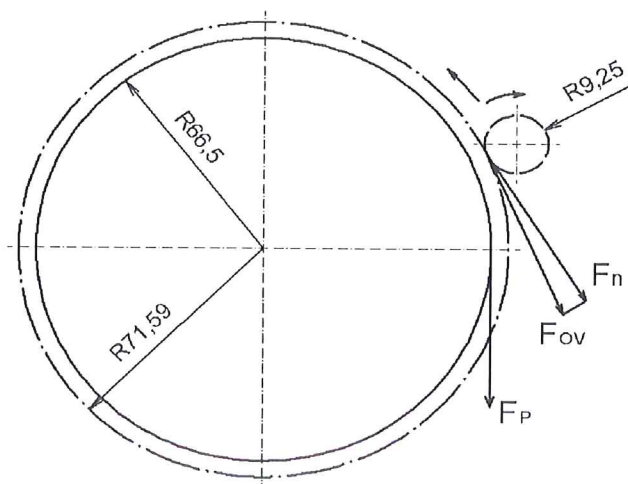


Obrázek č.3

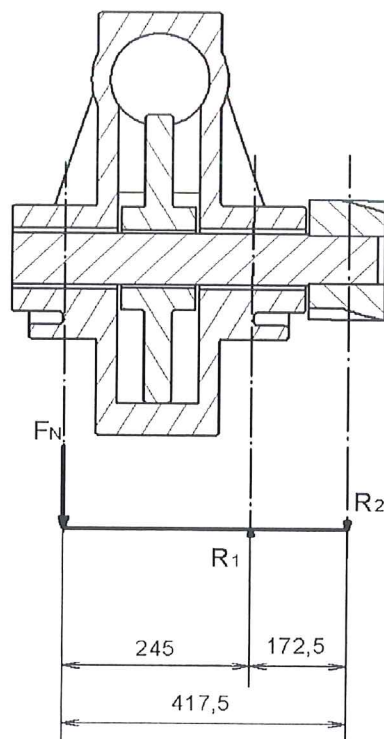


**PŘÍLOHA č.2**

Obrázek č.4

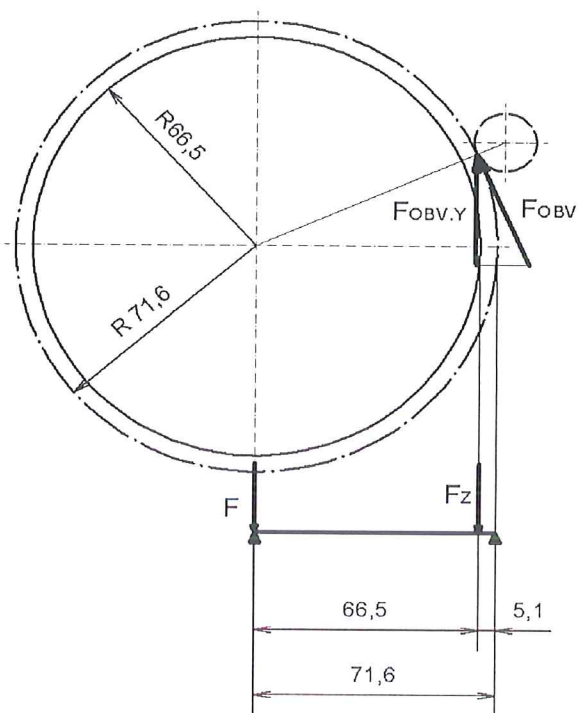


Obrázek č.5

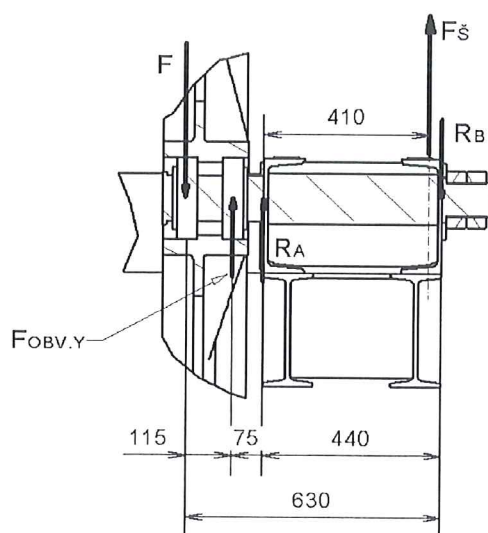


**PŘÍLOHA č.3**

Obrázek č.6



Obrázek č.7



PŘÍLOHA č.4

Obrázek č.8

