

STATICKÝ VÝPOČET LANOVÉHO VÝTAHU DLE ČSN EN 81-50 ed.2:2021

Typ výtahu: TLVI 1700/4
Objekt : NPK - oční, Pardubice
Číslo zakázky : 2023/xxx
Číslo dokumentu : 2023/xxx-4

Vypracoval: Ing. Eva popílková
Datum: 10.05.2023
Počet stran: 17

1. ZADÁVANÉ VELIČINY A JEDNOTKY

$Q =$	1700	kg	nosnost výtahu
$K =$	1200	kg	hmotnost prázdné klece+rámu
$Z =$	1965	kg	závaží
$Z_{nap} =$	0	kg	hmotnost napínacího závaží
$m_{nap} =$	0	kg	hmotnost napínací kladky
$m_{odk} =$	0	kg	hmotnost odkláněcí kladky
$m_{1kk} =$	10	kg	hmotnost kladky na kabině
$m_{2kk} =$	0	kg	hmotnost převáděcí kladky kabiny
$m_{1kz} =$	10	kg	hmotnost kladky na závaží
$m_{2kz} =$	0	kg	hmotnost převáděcí kladky závaží
$b =$	1,5	m	šířka klece
$c =$	2,3	m	hloubka klece
$h =$	3	m	vzdálenost vodičích patek
$H =$	11,2	m	zdvih výtahu
$v_j =$	1	m/s	jmenovitá rychlost klece
$i =$	2		lanový převod
$i_{1k} =$	2		počet kladek na kabině
$i_{2k} =$	0		počet převáděcích kladek kabiny
$i_{1z} =$	1		počet kladek na závaží
$i_{2z} =$	0		počet převáděcích kladek závaží
$a =$	0,5	m/s ²	zpomalení klece
$D_t =$	320	mm	průměr třecího kotouče výtahového stroje
$\alpha =$	180	°	úhel opásání kotouče výtahového stroje
$\gamma =$	45	°	úhel klínové drážky třecího kotouče výtahového stroje
$d =$	8	mm	průměr nosného lana
$n =$	8		počet nosných lan
$N_1 =$	44600	N	jmenovitá nosnost nosného lana
$g_{1n} =$	0,28	kg/m	měrná hmotnost nosného lana
$g_{vp} =$	0	kg/m	měrná hmotnost vyvažovacích prostředků
$g_{el} =$	0,35	kg/m	měrná hmotnost elektrických šňůr
$n_{vp} =$	0		počet vyvažovacích prostředků
$n_{el} =$	3		počet elektrických šňůr
$N_{equiv(t)} =$	4		ekviv. počet hnacích kotoučů
$N_{ps} =$	2		počet kladek s ohybem ve stejném smyslu
$N_{pr} =$	0		počet kladek se střídavým ohybem
$D_p =$	320	mm	střední průměr všech kladek

$D_{OR} =$	200	mm	průměr kotouče OR
$d_{OR} =$	6	mm	průměr lana OR
$g_{1OR} =$	0,14	kg/m	měrná hmotnost lana OR
$N_{1OR} =$	25540	N	jmenovitá nosnost lana OR
$\alpha_{OR} =$	180	°	úhel opásání kotouče OR
$\gamma_{OR} =$	35	°	úhel klínové drážky kotouče OR
$C_{2OR} =$	1,2		součinitel opotřebení OR
$G_{OR} =$	500	N	tíha napínacího závaží OR

T 90/B typ vodítka

$l_k =$	1250	mm	maximální vzdálenost kotev
$A =$	1725	mm ²	průřez vodítka
$i_x =$	24,3	mm	poloměr momentu setrvačnosti k ose x
$i_y =$	17,5	mm	poloměr momentu setrvačnosti k ose y
$I_x =$	1020000	mm ⁴	moment setrvačnosti k ose x
$I_y =$	526000	mm ⁴	moment setrvačnosti k ose y
$W_x =$	20870	mm ³	moment průřezu v ohybu k ose x
$W_y =$	11800	mm ³	moment průřezu v ohybu k ose y
$m_v =$	2	ks	počet vodítek
$V_1 =$	13,55	kg/m	měrná hmotnost vodítka
$k =$	10	mm	krček vodítka
$l_v =$	16,3	m	délka vodítka
$g =$	10		gravitační konstanta

2. VÝPOČET

2.1 LANA NOSNÁ

2.1.1 Zatížení lan:

Hmotnost nosných lan:

$$L_{ln} = g_{ln} \cdot H \cdot n = 25,088 \text{ kg}$$

Hmotnost vyvažovacích prostředků:

$$L_{vp} = g_{vp} \cdot H \cdot n_{vp} = 0 \text{ kg}$$

Hmotnost elektrických šnůr:

$$L_{el} = g_{el} \cdot \frac{H}{2} \cdot n_{el} = 5,88 \text{ kg}$$

síla přenášená lany

$$T = \frac{(K + Q)}{i} + L_{ln} = 14750,88 \text{ N}$$

2.1.2.1 Součinitel bezpečnosti:

$$k = \frac{N_{l(70)} \cdot n}{T} = 24,1883874$$

2.1.2.2 Součinitel bezpečnosti v závislosti na ekviv. počtu odkláněcích kladek:

$$N_{equiv} = \left[\left[\frac{D_t}{D_p} \right]^4 \cdot (N_{ps} + 4 \cdot N_{pr}) \right] + N_{equiv(t)} = 6$$

$$S_f = 10 \cdot \left[2,6834 - \frac{\log \left[\frac{695,85 \cdot 10^6 \cdot N_{equiv}}{\left(\frac{D_t}{d_r} \right)^{8,567}} \right]}{\log \left[77,09 \cdot \left(\frac{D_t}{d_r} \right)^{-2,894} \right]} \right] = 11,90625$$

podmínka: $S_f \leq k \leq k_{dov}$

závěr: $11,90625 \leq 24,1883874 \leq 12$ **VYHOVUJE**

2.1.3 Třecí schopnost:

2.1.3.1 Podmínka při nakládání klece: plně zatížená klec v dolní stanice

Třecí schopnost drážky

součinitel tření pro klínové drážky

$$f = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma}{2}} = 0,261312593$$

úhel opásání třecího kotouče výtahového stroje

$$\alpha \Rightarrow 3,1415927 \text{ rad}$$

maximální hodnota poměru sil v lanech

$$e^{f\alpha} = T_{max} = 2,272629935$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně klece

$$T_1 = \frac{K + 1,25 \cdot Q}{i} + L_{1n} + \frac{Z_{nap}}{2 \cdot i} = 16875,88 \text{ N}$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně závaží

$$T_2 = \frac{Z + L_{vp}}{i} + \frac{Z_{nap}}{2 \cdot i} = 9825 \text{ N}$$

podmínka: $\frac{T_1}{T_2} \leq T_{\max}$

závěr: $1,7176468 \leq 2,27263$ **VYHOVUJE**

2.1.3.2 Podmínka při stojící prázdné kleci:

klec v nejvyšší stanici s vyvažovacím závažím na nárazníku

Třecí schopnost drážky

součinitel tření pro klínové drážky

$$f = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma}{2}} = 0,522625186$$

úhel opásání třecího kotouče výtahového stroje

$$\alpha \Rightarrow 3,1415927 \text{ rad}$$

maximální hodnota poměru sil v lanech

$$e^{f\alpha} = T_{\max} = 5,16484682$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně klece

$$T_1 = \frac{K + L_{el}}{i} + L_{vp} + \frac{Z_{nap}}{2 \cdot i} = 6029,4 \text{ N}$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně závaží

$$T_2 = L_{ln} = 250,88 \text{ N}$$

podmínka: $\frac{T_1}{T_2} \geq T_{\max}$

závěr: 24,033004 \geq 5,164847

VYHOVUJE

2.1.3.3 Podmínka nouzového zastavení klece pro směr nahoru:
prázdná kabina před horní stanicí

Třecí schopnost drážky

součinitel tření pro klínové drážky

$$f = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma}{2}} = 0,237556903 \quad \mu = \frac{0,1}{1 + \frac{v_j}{10}} = 0,090909$$

úhel opásání třecího kotouče výtahového stroje

$$\alpha \Rightarrow 3,1415927 \text{ rad}$$

maximální hodnota poměru sil v lanech

$$e^{f\alpha} = T_{\max} = 2,109196397$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně klece

$$T_1 = \frac{K + L_{el} + L_{vp} + Z_{nap}}{10 \cdot i} \cdot (10 + a) - a \cdot i \cdot m_{odk} - [(m_{1kk} \cdot i_{1k} \cdot a) + (m_{2kk} \cdot i_{2k} \cdot a)] + T \cdot 0,04$$

$$T_1 = 6910,905$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně závaží

$$T_2 = \frac{Z + L_{ln} + Z_{nap}}{10 \cdot i} \cdot (10 + a) + a \cdot i_{lz} \cdot m_{1kz} + a \cdot i_{2z} \cdot m_{2kz} - T \cdot 0,04$$

$$T_2 = 9862,927$$

podmínka: $\frac{T_1}{T_2} \leq T_{\max}$

závěr: 0,7006952 \leq 2,109196

VYHOVUJE

2.1.3.4 Podmínka nouzového zastavení klece pro směr dolů:
prázdná kabina před horní stanicí

Třecí schopnost drážky

součinitel tření pro klínové drážky

$$f = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma}{2}} = 0,237556903 \quad \mu = \frac{0,1}{1 + \frac{v_j}{10}} = 0,090909$$

$$\alpha \Rightarrow 3,1415927 \text{ rad}$$

maximální hodnota poměru sil v lanech

$$e^{f\alpha} = T_{\max} = 2,109196397$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně klece

$$T_1 = \frac{K + Q + 2 \cdot L_{ln}}{10 \cdot i} \cdot (10 + a) + a \cdot i \cdot m_{odk} + [(m_{1kk} \cdot i_{1k} \cdot a) + (m_{2kk} \cdot i_{2k} \cdot a)] - T \cdot 0,04$$

$$T_1 = 14908,389 \text{ N}$$

Statická síla ve větvi lan třecího kotouče na straně závaží

$$T_2 = \frac{Z}{10 \cdot i} \cdot (10 - a) - a \cdot i_{1z} \cdot m_{1kz} - a \cdot i_{2z} \cdot m_{2kz} + T \cdot 0,04$$

$$T_2 = 9918,7852 \text{ N}$$

podmínka: $\frac{T_1}{T_2} \leq T_{\max}$

závěr: $1,5030458 \leq 2,109196$ **VYHOVUJE**

2.2 LANO OMEZOVAČE RYCHLOSTI

2.2.1 Zatížení lana OR:

součinitel tření pro klínové drážky

$$f_{OR} = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma_{OR}}{2}} = 0,299295857$$

úhel opásání třecího kotouče výtahového stroje

$$\alpha \Rightarrow 3,1415927 \text{ rad}$$

Statická síla v lanu přenášená třecím kotoučem

$$T_{OR} = \frac{\frac{G_{OR}}{2} \cdot e^{f_{OR} \cdot \alpha_{OR}}}{C_1 \cdot C_{2OR}} = 484,9737895 \text{ N}$$

2.2.2 Součinitel bezpečnosti OR

$$k_{OR} = \frac{N_{IOR(70)}}{T_{OR}} = 52,66263982 \text{ N}$$

$$k_{dov} = 8$$

$$\text{podmínka: } k_{OR} \geq k_{dov}$$

$$\text{závěr: } 52,66264 \geq 8 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

2.2.3 Třecí schopnost OR

$$\text{podmínka: } T_{OR} \geq 300 \text{ N}$$

$$\text{závěr: } 484,97379 \geq 300 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

2.2.4 Tlak v drážce třecího kotouče OR

Rychlost lana při jmenovité rychlosti klece

$$v_c = v_j = 1 \text{ m/s}$$

Dovolený tlak v drážce

$$p_{dov} = \frac{12,5 + 4 \cdot v_c}{1 + v_c} = 8,25 \text{ MPa}$$

Tlak v klínové drážce

$$p = \frac{T_{OR}}{d_{OR} \cdot D_{OR}} \cdot \frac{4,5}{\sin \frac{\gamma_{OR}}{2}} = 6,047944 \text{ MPa}$$

$$\text{podmínka: } p_{OR} \leq p_{dov}$$

$$\text{závěr: } 6,0479436 \leq 8,25 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

2.3 VODÍTKA

Štíhlostní poměr

$$\lambda = \frac{l_k}{l} = 71,428571$$

Součinitel vzpěrnosti ω v závislosti na λ

$$\omega = 1,42$$

2.3.1 Působení zachycovačů na vodítka

$$K_1 = 2$$

$$P = K + L_{el} + L_{vp} = 12058,8 \text{ N}$$

pro průchozí kabinu: $x_Q = c/8$

$$x_P = 0$$

$$y_Q = b/8$$

$$y_P = 0$$

pro neprůchozí kabinu: $x_Q = c/8$

$$x_P = c/8$$

$$y_Q = b/8$$

$$y_P = 0$$

2.3.1.1 Působení zachycovačů na vodítka - ohyb vodítka

Namáhání vodítka na ohyb k ose x:

$$R_x = \frac{K_1 \cdot (Q \cdot x_Q + P \cdot x_P)}{2 \cdot h} = 2784,802 \text{ N}$$

Namáhání vodítka na ohyb k ose y:

$$R_y = \frac{K_1 \cdot (Q \cdot y_Q + P \cdot y_P)}{h} = 2125 \text{ N}$$

$$M_x = \frac{3 \cdot R_x \cdot l_k}{16} = 652687,8906 \text{ Nmm}$$

$$M_y = \frac{3 \cdot R_y \cdot l_k}{16} = 498046,875 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = 31,27397655 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = 42,20736229 \text{ MPa}$$

2.3.1.2 Působení zachycovačů na vodítka - vzpěr vodítka

$$\sigma_K = \frac{K_1 \cdot (P + Q) \cdot \varpi}{2 \cdot A} = 23,92087 \text{ MPa}$$

2.3.1.3 Působení zachycovačů na vodítka - kombinované namáhání

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_K^2 + \sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad 57,72115 \text{ MPa}$$

Dovolené namáhání:

$$S_t = 1,8$$

$$R_m = 370$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_m}{S_t} = 205,555556 \text{ MPa}$$

podmínka: $\sigma_c \leq \sigma_{dov}$

závěr: $57,721148 \leq 205,5556$ **VYHOVUJE**

2.3.1.4 Působení zachycovačů na vodítka - ohyb příruby vodítka

$$\sigma_R = \frac{1,85 \cdot R_x}{t^2} = 51,51883083 \text{ MPa}$$

podmínka: $\sigma_R \leq \sigma_{dov}$

závěr: $51,518831 \leq 205,5556$

2.3.1.5 Působení zachycovačů na vodítka - průhyb

$$y_x = \frac{7 \cdot R_x \cdot l_k^3}{480 \cdot E \cdot I_y} = 0,718085361 \text{ mm}$$

$$y_y = \frac{7 \cdot R_y \cdot l_k^3}{480 \cdot E \cdot I_x} = 0,282570168 \text{ mm}$$

Dovolený průhyb: $y_{dov} = 5,0 \text{ mm}$

VYHOVUJE

2.3.2 Normální stav - jízda

$$K_2 = 1,2$$

$$P = K + L_{el} + L_{vp} = 12058,8 \text{ N}$$

pro průchozí kabinu:

$$\begin{aligned} x_Q &= c/8 \\ x_P &= 0 \\ y_Q &= b/8 \\ y_P &= 0 \end{aligned}$$

pro neprůchozí kabinu:

$$\begin{aligned} x_Q &= c/8 \\ x_P &= c/8 \\ y_Q &= b/8 \\ y_P &= 0 \end{aligned}$$

2.3.2.1 Normální stav - ohyb vodítka

Namáhání vodítka na ohyb k ose x:

$$R_x = \frac{K_1 \cdot (Q \cdot x_Q + P \cdot x_P)}{2 \cdot h} = 1670,881 \text{ N}$$

Namáhání vodítka na ohyb k ose y:

$$R_y = \frac{K_1 \cdot (Q \cdot y_Q + P \cdot y_P)}{h} = 1275 \text{ N}$$

$$M_x = \frac{3 \cdot R_x \cdot l_k}{16} = 391612,7344 \text{ Nmm}$$

$$M_y = \frac{3 \cdot R_y \cdot l_k}{16} = 298828,125 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = 18,76438593 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = 25,32441737 \text{ MPa}$$

2.3.2.2 Normální stav - kombinované namáhání

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = 31,5187 \text{ MPa}$$

$$c \quad v \quad x \quad y$$

Dovolené namáhání:

$$S_t = 2,25$$

$$R_m = 370$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_m}{S_t} = 164,4444444 \text{ MPa}$$

podmínka: $\sigma_c \leq \sigma_{dov}$

závěr: $31,518698 \leq 164,4444$ **VYHOVUJE**

2.3.2.3 Normální stav - ohyb příruby vodítka

$$\sigma_R = \frac{1,85 \cdot R_x}{t^2} = 30,9112985 \text{ MPa}$$

podmínka: $\sigma_R \leq \sigma_{dov}$

závěr: $30,911299 \leq 164,4444$

2.3.2.4 Normální stav - průhyb

$$y_x = \frac{7 \cdot R_x \cdot l_k^3}{480 \cdot E \cdot l_y} = 0,430851216 \text{ mm}$$

$$y_y = \frac{7 \cdot R_y \cdot l_k^3}{480 \cdot E \cdot I_x} = 0,169542101 \text{ mm}$$

Dovolený průhyb: $y_{dov} = 5,0 \text{ mm}$

VYHOVUJE

2.3.3 Nakládání

$$K_1 = 1$$

$$P = K + L_{el} + L_{vp} = 12058,8 \text{ N}$$

pro průchozí kabinu: $x_Q = c/2$

$$x_P = 0$$

$$y_Q = 0,225$$

$$y_P = 0$$

umístění dveřního otvoru k ose kabiny

pro neprůchozí kabinu: $x_Q = c/2$

$$x_P = c/8$$

$$y_Q = 0,150$$

$$y_P = 0$$

umístění dveřního otvoru k ose kabiny

2.3.3.1 Nakládání - ohyb vodítka

Namáhání vodítka na ohyb k ose x:

$$R_x = \frac{K_1 \cdot (Q \cdot x_Q + P \cdot x_P)}{2 \cdot h} = 1881,151 \text{ N}$$

Namáhání vodítka na ohyb k ose y:

$$R_y = \frac{K_1 \cdot (Q \cdot y_Q + P \cdot y_P)}{h} = 147,3333 \text{ N}$$

$$M_x = \frac{3 \cdot R_x \cdot l_k}{16} = 440894,7266 \text{ Nmm}$$

$$M_y = \frac{3 \cdot R_y \cdot l_k}{16} = 34531,25 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = 21,12576553 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = 2,926377119 \text{ MPa}$$

2.3.3.2 Nakládání - kombinované namáhání

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = 21,32749 \text{ MPa}$$

Dovolené namáhání:

$$S_t = 2,25$$

$$R_m = 370$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_m}{S_t} = 164,4444444 \text{ MPa}$$

podmínka: $\sigma_C \leq \sigma_{dov}$

závěr: $21,327486 \leq 164,4444$

VYHOVUJE

2.3.3.3 Nakládání - ohyb příruby vodítka

$$\sigma_R = \frac{1,85 \cdot R_x}{t^2} = 34,80129042 \text{ MPa}$$

podmínka: $\sigma_R \leq \sigma_{dov}$

závěr: $34,80129 \leq 164,4444$

2.3.3.4 Nakládání - průhyb

$$y_x = \frac{7 \cdot R_x \cdot l_k^3}{480 \cdot E \cdot I_y} = 0,485071124 \text{ mm}$$

$$y_y = \frac{7 \cdot R_y \cdot l_k^3}{480 \cdot E \cdot I_x} = 0,019591532 \text{ mm}$$

Dovolený průhyb: $y_{dov} = 5,0 \text{ mm}$

VYHOVUJE

2.4 SVISLÉ SÍLY

2.4.1 Svislé síly od zachycovačů na každé vodítko

$$P = K + L_{el} + L_{vp} = 1205,88 \text{ kg}$$

a) samosvorné klínové $F_Z = 25 \times (P + Q) =$

b) samosvorné válečkové $F_Z = 15 \times (P + Q) =$

c) klouzavé $F_Z = 10 \times (P + Q) = 29058,8 \text{ N}$

2.4.2 Svislé síly na dno šachty pod každým vodítkem

Hmotnost vodítka:

$$G_v = l_v \times V_1 = 220,865 \text{ kg}$$

$$F_v = F_Z + G_v = 31267,45 \text{ N}$$

2.4.3 Svislé síly na podlahu prohlubně pod nárazníkem klece

$$F_{NK} = 40 \times (P + Q) / 2 = 58117,6 \text{ N}$$

2.4.4 Svislé síly na podlahu prohlubně pod nárazníkem závaží

$$F_{NZ} = 40 \times Z/2 = 39300 \text{ N}$$

2.5 KONTROLA NÁRAZNÍKŮ

2.5.1 Nárazník kabiny

$$\begin{array}{lcl} K + G = & 2900 & \text{kg} \\ v_j = & 1 & \text{m/s} \end{array}$$

podle certifikátu pro dané zatížení a rychlost vyhoví dva nárazníky s nelineární charakteristikou D3

2.5.2 Nárazník závaží

$$\begin{array}{lcl} Z = & 1965 & \text{kg} \\ v_j = & 1 & \text{m/s} \end{array}$$

podle certifikátu pro dané zatížení a rychlost vyhoví dva nárazníky s nelineární charakteristikou D3