

podmínky rovnováhy soustavy

Statické řešení soustavy v rovině

Určení počtu stupňů volnosti

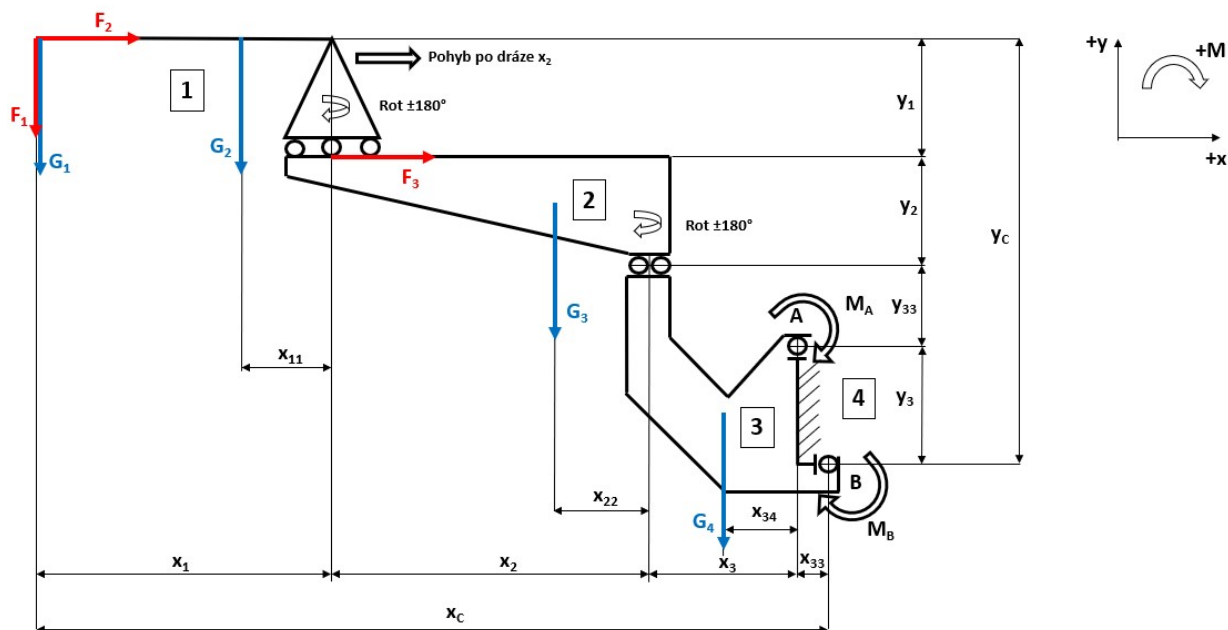
$m := 4$  ...počet členů včetně rámu  
 $r := 4$  ...počet rotačních vazeb  
 $p := 0$  ...počet posuvových vazeb  
 $v := 0$  ...počet valivých vazeb  
 $o := 0$  ...počet obecných vazeb

$$n := 3 \cdot (m - 1) - 2(r + p + v) - o = 1 \quad \dots \text{máme 1 stupeň volnosti}$$

- pro  $n=1$ , mechanismus - počet silových účinků jenž nám silovou soustavu uvedou do rovnováhy
- počet souřadnic, které jednoznačně určují polohu jednotlivých členů soustavy

## 1. Mechanismus - výpočet metodou uvolňování

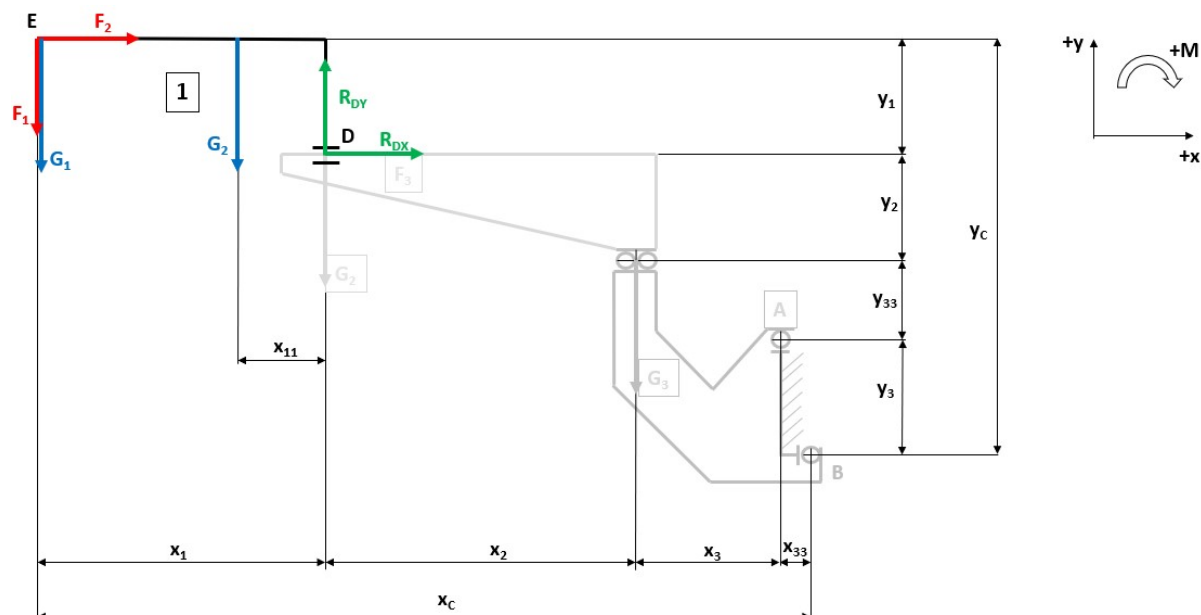
Schéma soustavy - STAV - 5



Verze 02

## VERZE 4 - statické řešení rovnováhy v rovině - revA01

Uvolněný člen č.1 - soustavy



Verze 02

$$\Sigma F_{x1} := \boxed{R_{DX}} + F_2$$

$$\boxed{R_{DX}} + F_2 = ?$$

$$\Sigma F_{x1} := 0$$

$$\Sigma F_{y1} := -\boxed{G_1} - G_2 - F_1 + R_{DY}$$

$$-\boxed{G_1} - G_2 - F_1 + R_{DY} = ?$$

$$\Sigma F_{y1} := 0$$

$$\Sigma M_{D1} := -\boxed{G_1} \cdot x_1 - G_2 \cdot x_{11} - F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot y_1$$

$$-\boxed{G_1} \cdot x_1 - G_2 \cdot x_{11} - F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot y_1 = ?$$

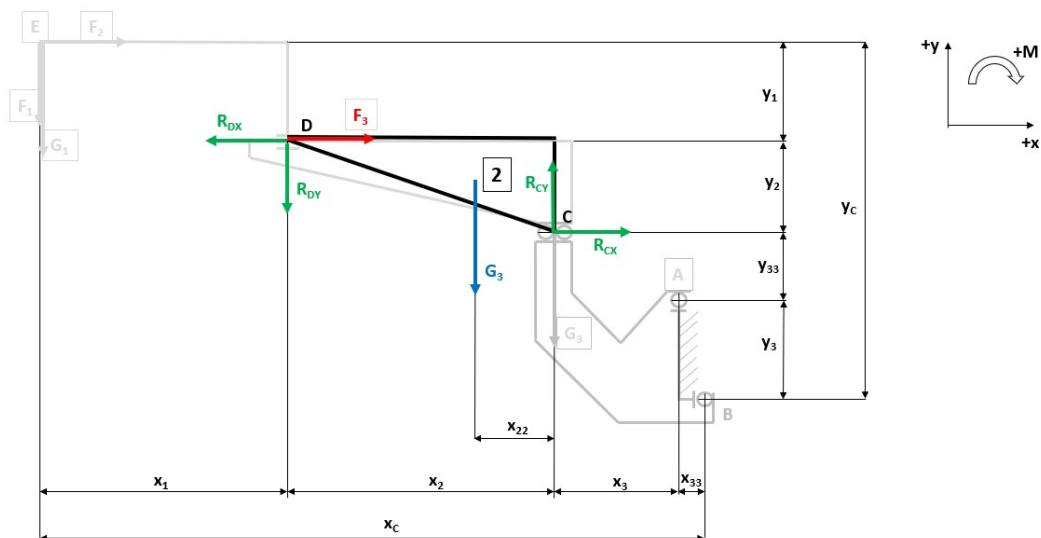
$$\Sigma M_D := 0$$

$$\Sigma M_E := -\boxed{R_{DY}} \cdot x_1 - R_{DX} \cdot y_1 + G_2 \cdot (x_1 - x_{11})$$

$$-\boxed{R_{DY}} \cdot x_1 - R_{DX} \cdot y_1 + G_2 \cdot (x_1 - x_{11}) = ?$$

$$\Sigma M_E := 0$$

Uvolněný člen č.2 - soustavy



Verze 02

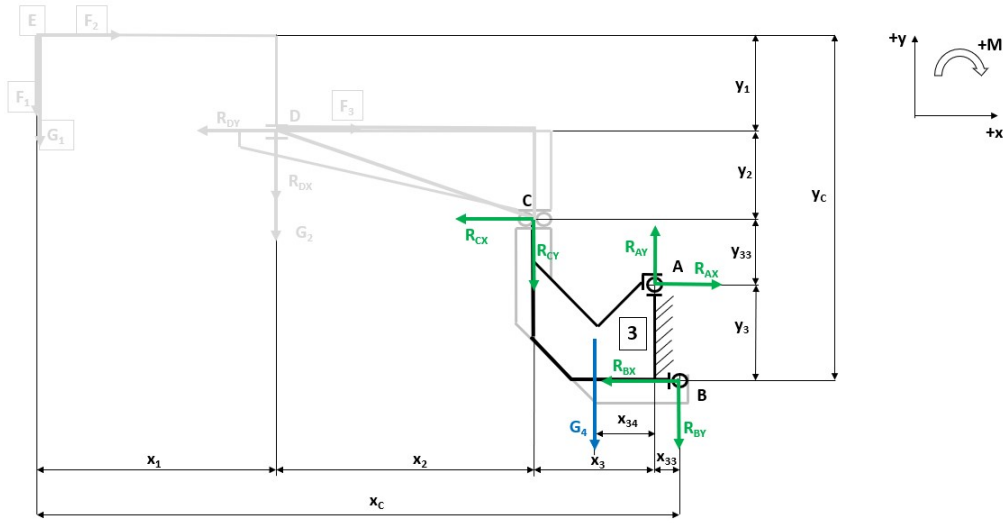
$$\Sigma F_{x2} := R_{CX} - R_{DX} + F_3 \quad R_{CX} - R_{DX} + F_3 = ? \quad \Sigma F_{x2} := 0$$

$$\Sigma F_{y2} := R_{CY} - R_{DY} - G_3 \quad R_{CY} - R_{DY} - G_3 = ? \quad \Sigma F_{y2} := 0$$

$$\Sigma M_{D2} := -R_{CY} \cdot x_2 - R_{CX} \cdot y_2 + G_3 \cdot (x_2 - x_{22}) \quad -R_{CY} \cdot x_2 - R_{CX} \cdot y_2 + G_3 \cdot (x_2 - x_{22}) = ? \quad \Sigma M_{D2} := 0$$

$$\Sigma M_{C1} := F_3 \cdot y_2 - R_{DY} \cdot x_2 - G_3 \cdot x_{22} - R_{DX} \cdot y_2 \quad F_3 \cdot y_2 - R_{DY} \cdot x_2 - G_3 \cdot x_{22} - R_{DX} \cdot y_2 = ? \quad \Sigma M_{C1} := 0$$

Uvolněný člen č.3 - soustavy



Verze 02

$$\Sigma F_{x3} := R_{AX} - R_{BX} - R_{CX} \quad R_{AX} - R_{BX} - R_{CX} = ? \quad \Sigma F_{x3} := 0$$

$$\Sigma F_{y3} := R_{AY} - R_{CY} - R_{BY} - G_4 \quad R_{AY} - R_{CY} - R_{BY} - G_4 = ? \quad \Sigma F_{y3} := 0$$

$$\Sigma M_A := R_{BY} \cdot x_{33} + R_{BX} \cdot y_3 - G_4 \cdot x_{34} - R_{CY} \cdot x_3 - R_{CX} \cdot y_{33} \\ R_{BY} \cdot x_{33} + R_{BX} \cdot y_3 - G_4 \cdot x_{34} - R_{CY} \cdot x_3 - R_{CX} \cdot y_{33} = ? \quad \Sigma M_A := 0$$

$$\Sigma M_B := R_{AY} \cdot x_{33} + R_{AX} \cdot y_3 - G_4 \cdot (x_{34} + x_{33}) - R_{CY} \cdot (x_3 + x_{33}) - R_{CX} \cdot (y_{33} + y_3) \\ R_{AY} \cdot x_{33} + R_{AX} \cdot y_3 - G_4 \cdot (x_{34} + x_{33}) - R_{CY} \cdot (x_3 + x_{33}) - R_{CX} \cdot (y_{33} + y_3) = ? \quad \Sigma M_B := 0$$

$$\Sigma M_{C3} := R_{BY} \cdot (x_{33} + x_3) + R_{BX} \cdot (y_3 + y_{33}) - R_{AY} \cdot x_3 - R_{AX} \cdot y_{33} + G_4 \cdot (x_3 - x_{34}) \\ R_{BY} \cdot (x_{33} + x_3) + R_{BX} \cdot (y_3 + y_{33}) - R_{AY} \cdot x_3 - R_{AX} \cdot y_{33} + G_4 \cdot (x_3 - x_{34}) = ? \quad \Sigma M_{C3} := 0$$

Z rovnic rovnováhy je nutné určit jednotlivé neznámé

Obecné předpoklady řešení

### člen č.1 - soustavy - ok

$m_1 := 120 \cdot \text{kg}$  ...maximální hmotnost nástroje s příslušenstvím  
 $m_r := 1100 \cdot \text{kg}$  ...maximální hmotnost robotického ramene, dle typu výrobce a typu zařízení  
 $m_c := 120 \cdot \text{kg}$  ...hmota vozíku (cart - z Creo) robota s motorem + pastorkem (předepnutým - odhad)  
 $m_2 := m_1 + m_r + m_c = 1340 \text{ kg}$  ...hmotnost rob. ramene s břemenem

$a_1 := 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ...zrychlení ve směru y

$a_2 := 4 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  ...zrychlení ve směru x

$a_4 := 1 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  ...zrychlení ve směru z - členu 3

$F_1 := m_1 \cdot a_1 = 0.72 \text{ kN}$

$F_2 := m_1 \cdot a_2 = 0.48 \text{ kN}$

$G_1 := m_1 \cdot g = 1.177 \text{ kN}$

$G_2 := m_2 \cdot g = 13.141 \text{ kN}$

$R_{DX} := -F_2 = -0.48 \text{ kN}$

$R_{DY} := G_1 + G_2 + F_1 = 15.038 \text{ kN}$

### člen č.2 - soustavy - změna hmoty $m_3$ z 500 kg na cca. 819 kg viz. Word

$a_3 := 1 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  ...zrychlení ve směru x, pohyb po lineárním vedení ramene

$F_3 := m_2 \cdot a_3 = 1.34 \text{ kN}$

$R_{CX} := R_{DX} - F_3 = -1.82 \text{ kN}$

$m_3 := 819 \cdot \text{kg}$  ...návrh viz. creo, part.: ROBOT\_GUIDE\_LINEAR\_ASSY\_01, mat Al alloy

$G_3 := m_3 \cdot g = 8.032 \text{ kN}$

$R_{CY} := R_{DY} + G_3 = 23.069 \text{ kN}$

### člen č.3 - soustavy

a2. model dimensions - measured from Creo

$$\begin{aligned}x_1 &:= 3.1 \text{ m} & y_1 &:= 0.786 \text{ m} \\x_2 &:= 2 \text{ m} & y_2 &:= 0.806 \text{ m} \\x_3 &:= 0.55 \text{ m} & y_3 &:= 0.8 \text{ m} \\x_{33} &:= 0.1 \text{ m} & y_{33} &:= 0.815 \text{ m}\end{aligned}$$

$$x_{11} := \frac{1}{4} \cdot x_1 = 0.775 \text{ m}$$

...center of gravity odhad - robotické chapadlo, beze změny, model je v plochách hmota je rozložena netypicky

$$x_{22} := 1 \text{ m}$$

...center of gravity odhad - robotické rameno - změna viz. word

$$x_{34} := 0.279 \text{ m}$$

...center of gravity odhad - konzole robotického ramene - změna viz. word

b1. naměřená hodnota z Creo

$$m_4 := 1148 \cdot \text{kg}$$

...hodnota vypočítaná v Creo - změna viz. pohony - word

$$G_4 := m_4 \cdot g = 11.258 \text{ kN}$$

$$F_4 := m_4 \cdot a_4 = (1.148 \cdot 10^3) \text{ N} \quad \text{síla vznikající od zrychlení, při pohybu členu 3 po dráze členu 4, stav 2}$$

$$x_{3c} := x_3 + x_{33} = 0.65 \text{ m}$$

...celková délka členu 3. soustavy v ose x

$$y_{3c} := y_3 + y_{33} = 1.615 \text{ m}$$

...celková délka členu 3. soustavy v ose y

$$x_{3dc} := x_3 - x_{34} = 0.271 \text{ m}$$

...celková délka členu 3. soustavy v ose y

$$x_C := x_1 + x_2 + x_3 + x_{33} = 5.75 \text{ m}$$

$$y_C := y_1 + y_2 + y_3 + y_{33} = 3.207 \text{ m}$$

$$I_3 := x_{3c} - \frac{x_{33} \cdot y_{3c} \cdot x_3}{y_3^2} - x_3 + \frac{x_{33}}{y_3} \cdot y_{33} = 0.063 \text{ m}$$

$$II_3 := R_{CY} \cdot x_3 + R_{CX} \cdot y_3 = 11.232 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$III_3 := G_4 \cdot (x_3 - x_{3dc}) = 3.141 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$IV_3 := \left( \frac{y_3 \cdot y_{3c}}{y_3} - y_{33} \right) = 0.8 \text{ m}$$

$$V_3 := G_4 \cdot \left( \frac{x_{34}}{y_3} \right) + R_{CY} \cdot \left( \frac{x_3}{y_3} \right) + R_{CX} \cdot \left( \frac{y_{33}}{y_3} \right) = 17.932 \text{ kN}$$

$$R_{BY} := \frac{II_3 + III_3 - V_3 \cdot IV_3}{I_3} = 0.433 \text{ kN}$$

$$A_3 := R_{BY}$$

$$R_{BX} := G_3 \cdot \left( \frac{x_3}{y_3} \right) - R_{BY} \cdot \left( \frac{x_{33}}{y_3} \right) + R_{CY} \cdot \left( \frac{x_3}{y_3} \right) + R_{CX} \cdot \left( \frac{y_{33}}{y_3} \right) = 19.474 \text{ kN}$$

$$R_{BX} := V_3 - A_3 \cdot \frac{x_{33}}{y_3} = 17.878 \text{ kN}$$

$$R_{AY} := R_{CY} + G_4 + A_3 = 34.76 \text{ kN}$$

$$R_{AX} := R_{BX} + R_{CX} = 16.058 \text{ kN}$$

Výpočet kroutícího momentu v bodě A a B

$$x_C := x_1 + x_2 + x_3 + x_{33} = 5.75 \text{ m}$$

$$y_C := y_1 + y_2 + y_3 + y_{33} = 3.207 \text{ m}$$

$$M_{A5} := (G_1 + F_1) \cdot (x_{33} - x_C) + F_2 \cdot (y_C - y_3) - G_2 \cdot (x_{11} + x_2 + x_3) + F_3 \cdot (y_2 + y_{33}) - G_3 \cdot (x_3 + x_{22}) + G_4 \cdot x_{34} = -60.391 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{B5} := -(G_1 + F_1) \cdot (x_C) + F_2 \cdot (y_C) - G_2 \cdot (x_C - x_1 + x_{11}) + F_3 \cdot (y_C - y_1) - G_3 \cdot (x_{22} + x_3 + x_{33}) - G_4 \cdot (x_{34} + x_{33}) = -68.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

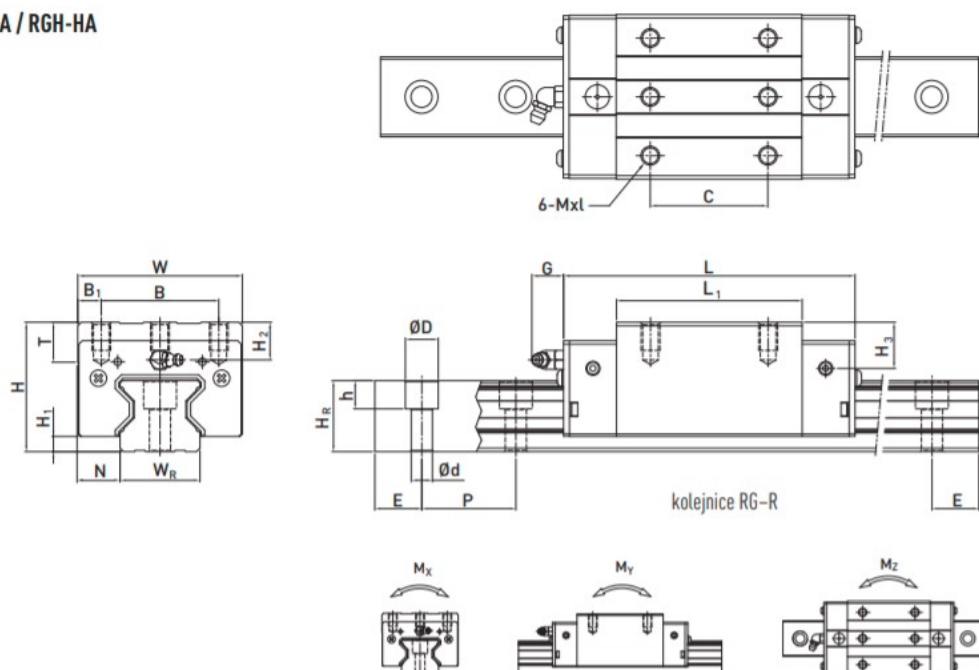
Typ linárního vedení zvoleného pro aplikaci

## Lineární vedení

Typ RG

### 2.4.16 Rozměry provedení RG

#### 2.4.16.1 RGH-CA / RGH-HA



Volíme lineární vedení HIWIN typ: RGH 65HA

Typ	Montážní rozměry (mm)			Rozměry vozíku [mm]											Rozměry kolejnice [mm]								Montážní šrouby pro kolejnici [mm]	Dynamické zatížení C <sub>dyn</sub> [N]	Statické zatížení C <sub>st</sub> [N]	Statický moment			Hmotnost	
				H	H <sub>1</sub>	N	W	B	B <sub>1</sub>	C	L <sub>1</sub>	L	G	MxL	T	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	W <sub>R</sub>	H <sub>R</sub>	D	h	d				P	E	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]
RGH 65CA	90	12,0	31,5	126	76	25,0	70	160,0	232,0	12,9	M16x20	25,0	15,0	15,0	63	53,0	26,0	22,0	18,0	75,0	*	M16x50	213000	411600	16200	11590	11590	8,33	20,2	
RGH 65HA	90	12,0	31,5	126	76	25,0	120	223,0	295,0	12,9	M16x20	25,0	15,0	15,0	63	53,0	26,0	22,0	18,0	75,0	*	M16x50	275300	572700	22550	22170	22170	11,62	20,2	



$$C_{dyn} := 275.3 \cdot \text{kN} \quad R_{AY} = 34.76 \text{ kN}$$

$$C_{o\_stat} := 572.7 \cdot \text{kN} \quad R_{AY} = 34.76 \text{ kN}$$

$$M_X := 22.550 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{MAX\_X} := 3 \cdot M_X = 67.65 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{B5} = -68.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_Y := 22.170 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{MAX\_Y} := 3 \cdot M_Y = 66.51 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{B5} = -68.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_Z := 22.170 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{MAX\_Z} := 3 \cdot M_Z = 66.51 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{B5} = -68.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pro podpory A a B budeme používat 3 vozíky, tzn. celkově 6 vozíků - vozíky budou řazeny 3 ks v sérii ve dvou řadách nad sebou uloženy. Protože celkový počet lineárních valivých těles je celkově 6 kusů. Momenty  $M_{A5}$  a  $M_{B5}$  jsou uvažovány pro celkový počet vozíků. Tzn. z vypočítané průměrné hodnoty momentů působících na člen č. 3 sestavy. S uvažováním bezpečnostního koeficientu 1.5. Získáme hodnotu momentu zatažující 1 ks valivého tělesa.

$$k_{Mel} := 1.5 \quad \dots \text{Bezpečnostní koeficient - volba}$$

$$n_{el5} := 6 \quad \dots \text{Celkový počet valivých elementů mezi členy č. 3 a 4 navrhované sestavy}$$

Podmínka pro 3 vozíky v sérii ve dvou řadách pro každou podporu tedy budeme mít  $M_{AV5} = \text{cca. } 64.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{AV5} := \left( \frac{|M_{A5} + M_{B5}|}{2} \right) \cdot k_{Mel} = 96.781 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

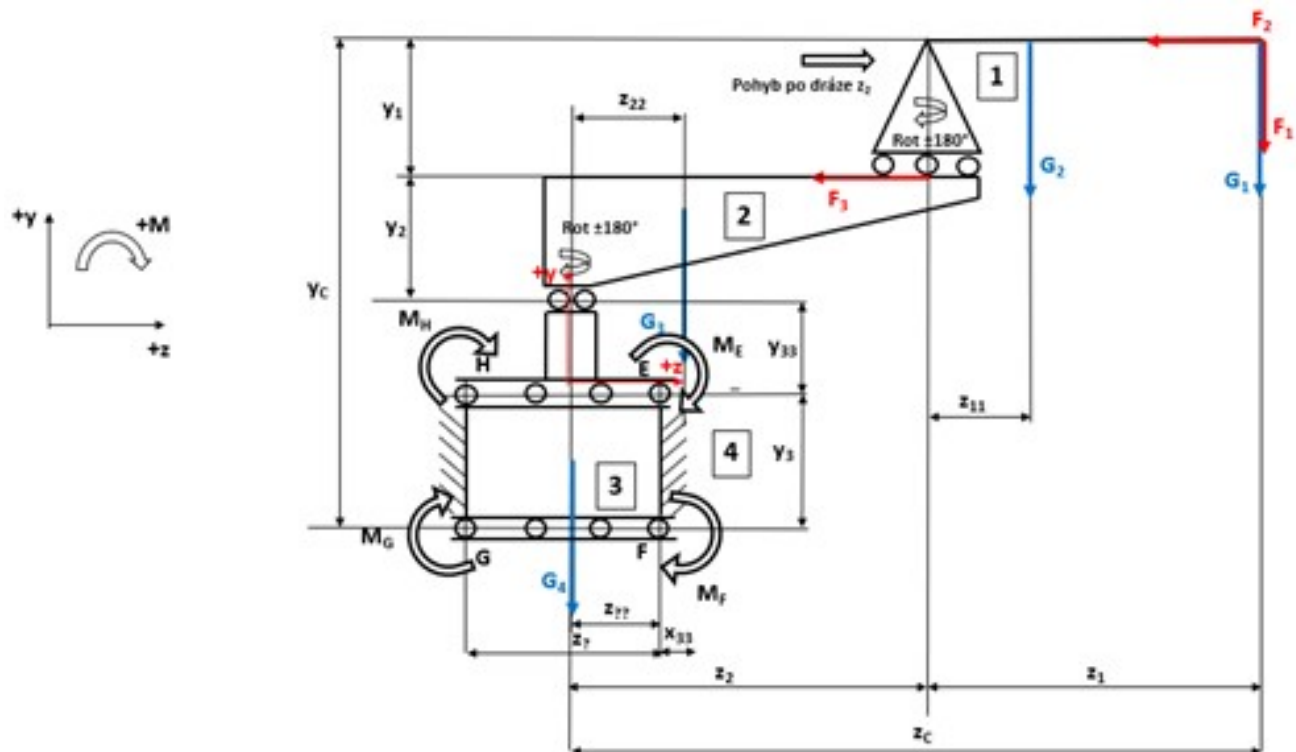
$$M_{el5} := \frac{M_{AV5}}{n_{el5}} = 16.13 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

S uvažováním bezpečnostního koeficientu námi zvoleného  $k_{Mel}$

$$M_{el5} \leq M_X = 1 \quad \text{vyhovuje}$$

## 2. Definice zatěžujících stavů

### STAV - 1 - kinematické schéma



$$z_1 := x_1 \quad z_{41} := 1 \text{ m}$$

$$z_{11} := x_{11}$$

$$z_2 := x_2 \quad z_{42} := \frac{z_{41}}{2}$$

$$z_{22} := x_{22}$$

$$z_{c1} := z_1 + z_2$$

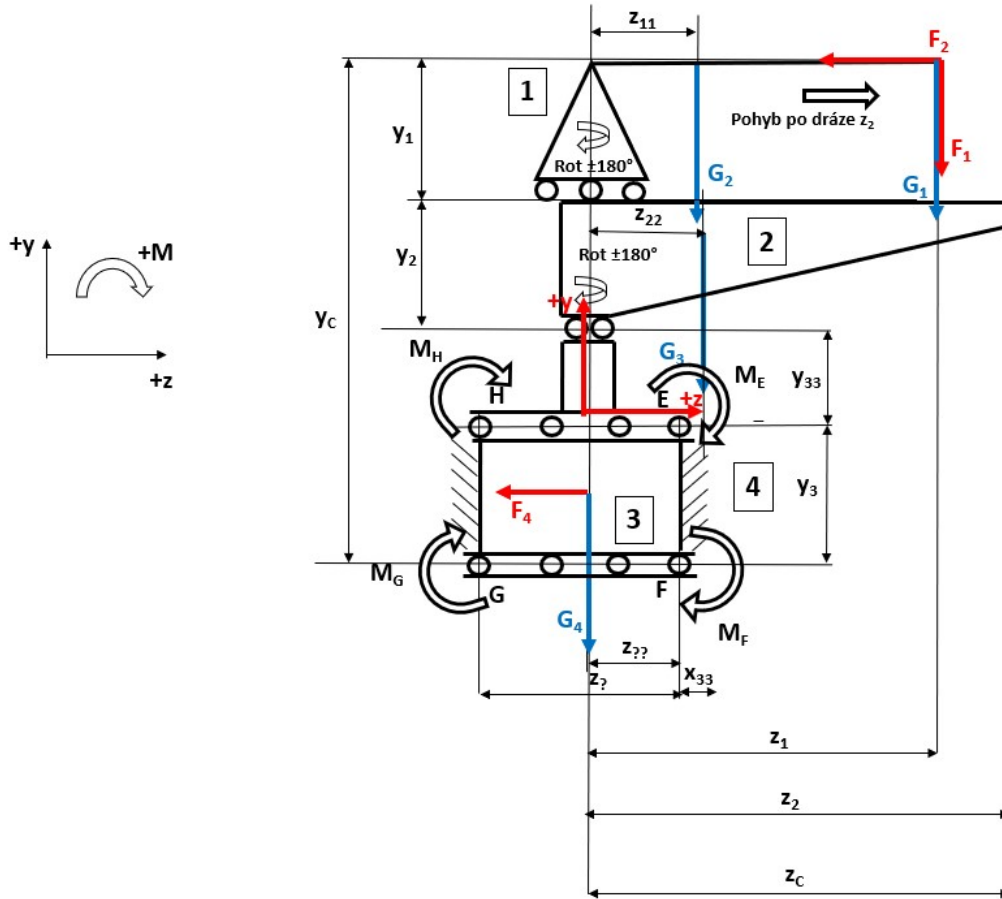
$$M_{E1} := G_1 \cdot (z_{c1} - z_{42}) + F_1 \cdot (z_{c1} - z_{42}) - F_2 \cdot (y_C - y_3) + G_2 \cdot (z_2 + z_{11} - z_{42}) - F_3 \cdot (y_2 + y_{33}) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) - G_4 \cdot (z_{42}) = 33.68 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{F1} := G_1 \cdot (z_{c1} - z_{42}) + F_1 \cdot (z_{c1} - z_{42}) - F_2 \cdot (y_C) + G_2 \cdot (z_2 + z_{11} - z_{42}) - F_3 \cdot (y_C + y_1) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) - G_4 \cdot (z_{42}) = 30.118 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{H1} := G_1 \cdot (z_{c1} + z_{42}) + F_1 \cdot (z_{c1} + z_{42}) - F_2 \cdot (y_C - y_3) + G_2 \cdot (z_2 + z_{11} + z_{42}) - F_3 \cdot (y_2 + y_{33}) + G_3 \cdot (z_{22} + z_{42}) + G_4 \cdot (z_{42}) = 68.008 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{G1} := G_1 \cdot (z_{c1} + z_{42}) + F_1 \cdot (z_{c1} + z_{42}) - F_2 \cdot (y_C) + G_2 \cdot (z_2 + z_{11} + z_{42}) - F_3 \cdot (y_C + y_1) + G_3 \cdot (z_{22} + z_{42}) + G_4 \cdot (z_{42}) = 64.445 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**STAV - 2 - kinematické schéma**



$$\begin{aligned}
 z_1 &:= x_1 & z_{41} &:= 1 \text{ m} \\
 z_{11} &:= x_{11} \\
 z_2 &:= x_2 & z_{42} &:= \frac{z_{41}}{2} \\
 z_{22} &:= x_{22} \\
 z_{c2} &:= z_2 \\
 F_4 &:= (m_2 + m_3 + m_4) \cdot a_4 = 3.307 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

síla vznikající od zrychlení, při pohybu členu 3 po dráze členu 4, stav 2

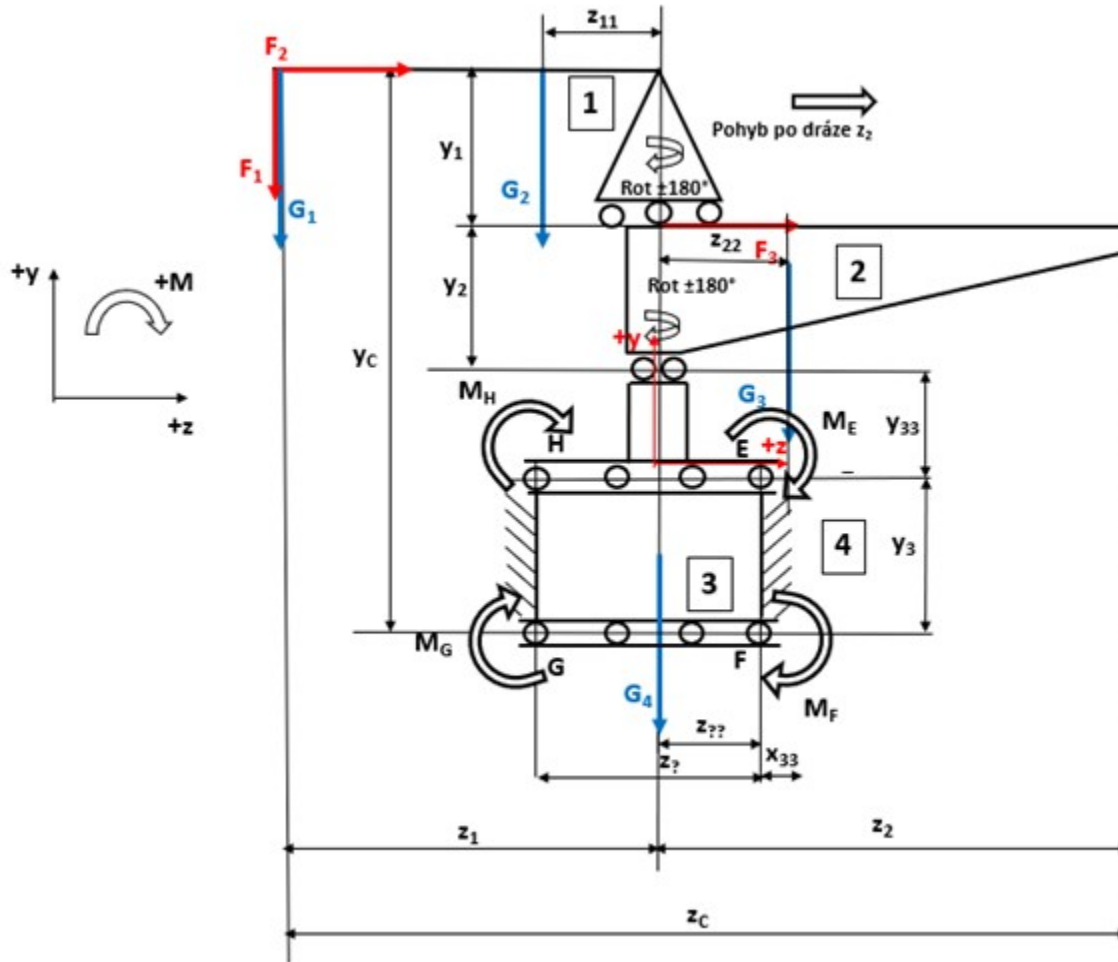
$$M_{E2} := G_1 \cdot (z_1 - z_{42}) + G_2 \cdot (z_{11} - z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) - G_4 \cdot z_{42} + F_1 \cdot (z_1 - z_{42}) - F_2 \cdot (y_C - y_3) + F_4 \cdot \left(\frac{y_3}{2}\right) = 7.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{F2} := G_1 \cdot (z_1 - z_{42}) + G_2 \cdot (z_{11} - z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) - G_4 \cdot z_{42} + F_1 \cdot (z_1 - z_{42}) - F_2 \cdot (y_C) - F_4 \cdot \left(\frac{y_3}{2}\right) = 4.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{H2} := G_1 \cdot (z_1 + z_{42}) + G_2 \cdot (z_{11} + z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) + G_4 \cdot z_{42} + F_1 \cdot (z_1 - z_{42}) - F_2 \cdot (y_C - y_3) + F_4 \cdot \left(\frac{y_3}{2}\right) = 32.675 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{G2} := G_1 \cdot (z_1 + z_{42}) + G_2 \cdot (z_{11} + z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) + G_4 \cdot z_{42} + F_1 \cdot (z_1 + z_{42}) - F_2 \cdot (y_C) - F_4 \cdot \left(\frac{y_3}{2}\right) = 30.366 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**STAV - 3 - kinematické schéma**



$$z_1 := x_1 \quad z_{41} := 1 \text{ m}$$

$$z_{11} := x_{11}$$

$$z_2 := x_2 \quad z_{42} := \frac{z_{41}}{2}$$

$$z_{22} := x_{22}$$

$$z_{c3} := z_2 + z_1$$

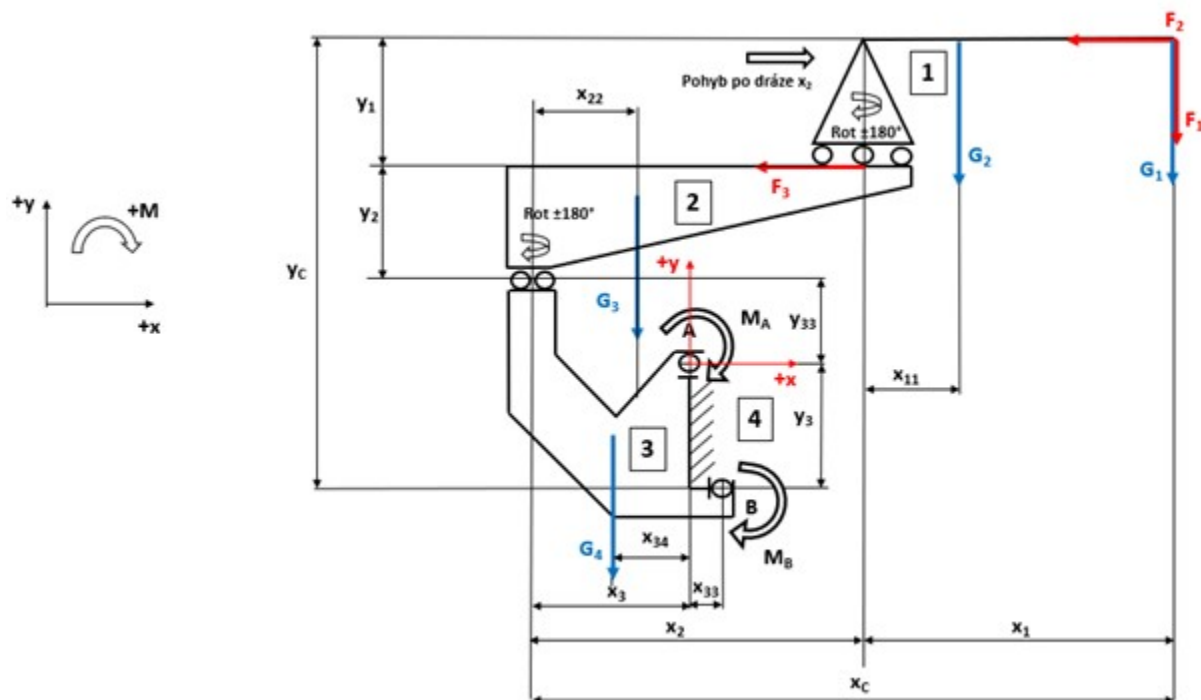
$$M_{E3} := -G_1 \cdot (z_1 + z_{42}) - G_2 \cdot (z_{11} + z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) - G_4 \cdot z_{42} - F_1 \cdot (z_1 + z_{42}) + F_2 \cdot (y_C - y_3) + F_3 \cdot (y_2 + y_{33}) = -21.869 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{F3} := -G_1 \cdot (z_1 + z_{42}) - G_2 \cdot (z_{11} + z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} - z_{42}) - G_4 \cdot z_{42} - F_1 \cdot (z_1 + z_{42}) + F_2 \cdot (y_C) + F_3 \cdot (y_C - y_1) = -20.413 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{H3} := -G_1 \cdot (z_1 - z_{42}) - G_2 \cdot (z_{11} - z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} + z_{42}) + G_4 \cdot z_{42} - F_1 \cdot (z_1 - z_{42}) + F_2 \cdot (y_C - y_3) + F_3 \cdot (y_2 + y_{33}) = 12.459 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{G3} := -G_1 \cdot (z_1 - z_{42}) - G_2 \cdot (z_{11} - z_{42}) + G_3 \cdot (z_{22} + z_{42}) + G_4 \cdot z_{42} - F_1 \cdot (z_1 - z_{42}) + F_2 \cdot (y_C) + F_3 \cdot (y_C - y_1) = 13.915 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**STAV - 4 - kinematické schéma**



$$M_{A4} := G_1 \cdot (x_C - x_3) + G_2 \cdot (x_{11} + x_2 - x_3) - G_3 \cdot (x_3 - x_{22}) - G_4 \cdot x_{34} + F_1 \cdot (x_C - x_3) - F_2 \cdot (y_C - y_{33}) - F_3 \cdot (y_2 + y_{33}) = 36.255 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$p_{41} := G_1 \cdot (x_C - x_3 - x_{33}) \quad \dots \text{pomocný výpočet 1}$$

$$p_{42} := G_2 \cdot (x_{11} + x_2 - x_3 - x_{33}) \quad \dots \text{pomocný výpočet 2}$$

$$M_{B4} := p_{41} + p_{42} - G_3 \cdot (x_3 + x_{33} - x_{22}) - G_4 \cdot (x_{34} + x_{33}) + F_1 \cdot (x_C - x_3 - x_{33}) - F_2 \cdot (y_C) - F_3 \cdot (y_C - y_1) = 31.359 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### 3. Dimenzování lineárního vedení vozíku robota

$$M_D := F_1 \cdot x_1 + G_1 \cdot x_1 + G_2 \cdot x_{11} - F_2 \cdot y_1 = 15.687 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \dots \text{moment působící na vedení robota}$$

$$R_{DY} = 15.038 \text{ kN} \quad \dots \text{Radiální statická síla}$$

$$R_{DX} = -0.48 \text{ kN} \quad \dots \text{Axiální statická síla}$$

ověření pro lineární předeprnuté vedení: HIWIN RGW 45HC

Dynamické zatížení

$$C_{dyn1} := 116 \text{ kN}$$

Statické zatížení

$$C_{stat1} := 230.9 \text{ kN}$$

Statický moment (nejnižší hodnota)

$$M_Y := 5.470 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_Z := 5.470 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$n_{RGW1} := 4 \quad \dots \text{počet jednotek pro vozík robota}$$

$$M_{MAX\_1} := M_Y \cdot n_{RGW1} = 21.88 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{MAX\_1} \geq M_D = 1 \quad \dots \text{podmínka splněna - ok}$$

### 4. Dimenzování axiální ložiska uložení ramene robota

$$M_C := G_1 \cdot (x_1 + x_2) + F_1 \cdot (x_1 + x_2) + G_2 \cdot (x_{11} + x_2) + G_3 \cdot x_{22} - F_2 \cdot (y_1 + y_2) - F_3 \cdot y_2 = 52.327 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \dots \text{moment působící na střed ax. ložiska}$$

$$R_{CY} = 23.069 \text{ kN} \quad \dots \text{Radiální statická síla}$$

$$R_{CX} = -1.82 \text{ kN} \quad \dots \text{Axiální statická síla}$$

## 5. Transformace sil do soustavy souřadnic vedení

### 5.1. Stav 5 - Transformace sil do soustavy souřadnic vedení

1. Rozměry vedení a konstrukce

$L := 1000 \text{ mm}$  ...delka vedení A, B, C ve směru Z

$\Delta x := 0 \text{ mm}$  ...pojezd

$x_{41} := -100 \text{ mm}$  ...souradnice pohonu členu 3 v ose x

$y_{41} := -170 \text{ mm}$  ...souradnice pohonu členu 3 v ose y

$z_{43} := 0 \cdot \text{m}$  ...souradnice pohonu členu 3 v ose z

$\eta_v := 0.98$  ...soucinitel účinnosti vedení

2. Zatížení

$F_1 = 0.72 \text{ kN}$

$y_{23} := 0.343 \cdot \text{m}$

...Vzdálenost od gravitačního středu v osed Y tíhové složky  $G_3$

$F_2 = 0.48 \text{ kN}$

$y_{34} := 0.094 \cdot \text{m}$

...Vzdálenost od gravitačního středu v osed Y tíhové složky  $G_4$

$F_3 = 1.34 \text{ kN}$

$G_1 = 1.177 \text{ kN}$

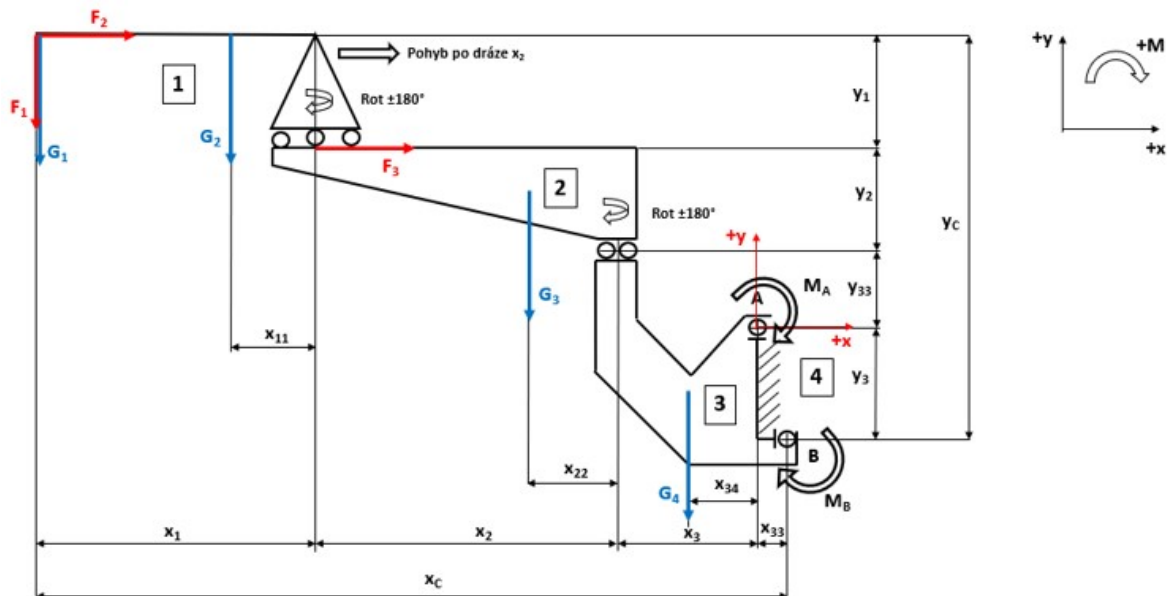
$G_2 = 13.141 \text{ kN}$

$G_3 = 8.032 \text{ kN}$

$G_4 = 11.258 \text{ kN}$

Stanovit

- Vektor síly a momentu v počátku souřadnic
- Reakce valivých jednotek
- Statickou a dynamickou bezpečnost valivých jednotek HIWIN



### 5.1.1 Vypocet

#### 5.1.1.1. Souradnice pusobicich sil

ORIGIN := 1 pro vypocet matic, bere vypocty od 1 ne od nula

$x_{01} := -(x_C - x_{33}) = -5.65 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$x_{02} := x_{01}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$x_{03} := -(x_{11} + x_2 + x_3) = -3.325 \text{ m}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$x_{04} := -(x_2 + x_3) = -2.55 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$x_{05} := -(x_{22} + x_3) = -1.55 \text{ m}$	Vzdálenost tíhové složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$x_{06} := -(x_{34}) = -0.279 \text{ m}$	Vzdálenost tíhové složky $G_4$ od počátku souřadného systému
$y_{01} := (y_C - y_3) = 2.407 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$y_{02} := y_{01}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$y_{03} := y_{01}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$y_{04} := (y_2 + y_{33}) = 1.621 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$y_{05} := (y_{33} + y_{23}) = 1.158 \text{ m}$	Vzdálenost tíhého složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$y_{06} := -(y_{34}) = -0.094 \text{ m}$	Vzdálenost tíhého složky $G_4$ od počátku souřadného systému
$z_{01} := 0$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$z_{02} := z_{01}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$z_{03} := z_{01}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$z_{04} := 0$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$z_{05} := 0$	Vzdálenost tíhého složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$z_{06} := 0$	Vzdálenost tíhého složky $G_4$ od počátku souřadného systému



souřadnice v ose x, při posunu vozíku robota o celou délku členu 2

$$x_1 := x_{01} + \Delta x = -5.65 \text{ m}$$

$$x_4 := x_{04} + \Delta x = -2.55 \text{ m}$$

$$x_2 := x_{02} + \Delta x = -5.65 \text{ m}$$

$$x_5 := x_{05} + \Delta x = -1.55 \text{ m}$$

$$x_3 := x_{03} + \Delta x = -3.325 \text{ m}$$

$$x_6 := x_{06} + \Delta x = -0.279 \text{ m}$$

### 5.1.1.2 Vektor síly a momentu v počátku souradnice

$$F_I := \begin{bmatrix} F_2 \\ -F_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.48 \\ -0.72 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{II} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.177 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{III} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -13.141 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{IV} := \begin{bmatrix} F_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.34 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_V := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -8.032 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{VI} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_4 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -11.258 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{s0} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{-1}{\eta_v} \cdot (F_{II_2} + F_{III_2} + F_{V_2} + F_{VI_2}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 34.293 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \dots \text{pos. síla}$$

$$r_{01} := [x_{01} \ y_{01} \ z_{01}] = [-5.65 \ 2.407 \ 0] \text{ m}$$

$$r_1 := [x_1 \ y_{01} \ z_{01}] = [-5.65 \ 2.407 \ 0] \text{ m}$$

$$r_2 := [x_2 \ y_{02} \ z_{02}] = [-5.65 \ 2.407 \ 0] \text{ m}$$

$$r_3 := [x_3 \ y_{03} \ z_{03}] = [-3.325 \ 2.407 \ 0] \text{ m}$$

$$r_4 := [x_4 \ y_{04} \ z_{04}] = [-2.55 \ 1.621 \ 0] \text{ m}$$

$$r_5 := [x_5 \ y_{05} \ z_{05}] = [-1.55 \ 1.158 \ 0] \text{ m}$$

$$r_6 := [x_6 \ y_{06} \ z_{06}] = [-0.279 \ -0.094 \ 0] \text{ m}$$

$$r_S := [x_{41} \ y_{41} \ z_{43}] = [-0.1 \ -0.17 \ 0] \text{ m}$$

vektor posouvající síly

$$F_c := F_I + F_{II} + F_{III} + F_{IV} + F_V + F_{VI} + F_{s0}$$

...síla v počátku souradnic X, Y, Z

$$F_c^T = \begin{bmatrix} 1.82 & -34.327 & 34.293 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$r_{01}^T = \begin{bmatrix} -5.65 \\ 2.407 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$M_{01} := r_{01}^T \times F_I = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.913 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_2 := r_2^T \times F_{II} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.649 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_1 := r_1^T \times F_I = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.913 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_3 := r_3^T \times F_{III} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 43.694 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_4 := r_4^T \times F_{IV} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -2.172 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_5 := r_5^T \times F_V = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 12.449 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_6 := r_6^T \times F_{VI} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.141 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_S := r_S^T \times F_{s0} = \begin{bmatrix} -5.83 \\ 3.429 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_c := M_{01} + M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_S$$

$$M_c^T = \begin{bmatrix} -5.83 & 3.429 & 69.586 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Složky vektoru

$$F_x := F_{c_1} = 1.82 \text{ kN}$$

$$F_y := F_{c_2} = -34.327 \text{ kN}$$

$$F_z := F_{c_3} = 34.293 \text{ kN}$$

$$M_x := M_{c_1} = -5.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_y := M_{c_2} = 3.429 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_z := M_{c_3} = 69.586 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### 5.1.1.3. Síly působící na krajní jednotky

### 5.1.1.4. Souradnice a počet valivých jednotek

$$L_{z1} := 1000 \text{ mm} \quad L_{z2} := 380 \text{ mm} \quad L_{z3} := 295 \cdot \text{mm} \quad \dots \text{vzdálenost ložisek paru 1, 2 a 3}$$

$$L_{y01} := 800 \text{ mm} \quad \dots \text{vzdálenost drah}$$

$$n := 3 \quad \dots \text{počet ložisek na jedné dráze}$$

$$n_d := 2 \quad \dots \text{počet drah}$$

$$n_c := n \cdot n_d = 6 \quad \dots \text{celkový počet ložisek}$$

### 5.1.1.5. Smer X

$$F_{A1x} := \frac{F_x}{n_c} + \frac{M_y}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} + \frac{M_z}{n \cdot L_{y01}} = 30.796 \text{ kN}$$

$$F_{A2x} := \frac{F_x}{n_c} - \frac{M_y}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} + \frac{M_z}{n \cdot L_{y01}} = 27.799 \text{ kN}$$

$$F_{A3x} := \frac{F_x}{n_c} + \frac{M_y}{n_d} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} + \frac{M_z}{n \cdot L_{y01}} = 35.11 \text{ kN}$$

$$F_{B1x} := \frac{F_x}{n_c} + \frac{M_y}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} - \frac{M_z}{n \cdot L_{y01}} = -27.192 \text{ kN}$$

$$F_{B2x} := \frac{F_x}{n_c} - \frac{M_y}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} - \frac{M_z}{n \cdot L_{y01}} = -30.189 \text{ kN}$$

$$F_{B3x} := \frac{F_x}{n_c} - \frac{M_y}{n_d} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} - \frac{M_z}{n \cdot L_{y01}} = -34.503 \text{ kN}$$

### 5.1.1.6. Smer Y

$$F_{A1y} := \frac{F_y}{n_c} - \frac{M_z}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = -36.124 \text{ kN}$$

$$F_{B1y} := F_{A1y}$$

$$F_{A2y} := \frac{F_y}{n_c} + \frac{M_z}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = 24.681 \text{ kN}$$

$$F_{B2y} := F_{A2y}$$

$$F_{A3y} := \frac{F_y}{n_c} + \frac{M_z}{n_d} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} = 112.22 \text{ kN}$$

$$F_{B3y} := F_{A3y}$$

### 5.1.1.7 Smer Z

$$F_{A1z} := \frac{F_z}{n_c} - \frac{M_x}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2 + L_{z3}^2} = 8.083 \text{ kN} \quad F_{B1z} := F_{A1z}$$

$$F_{A2z} := \frac{F_z}{n_c} + \frac{M_x}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2 + L_{z3}^2} = 3.348 \text{ kN} \quad F_{B2z} := F_{A2z}$$

$$F_{A3z} := \frac{F_z}{n_c} + \frac{M_x}{n_d} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} = -4.166 \text{ kN} \quad F_{B3z} := F_{A3z}$$

### 5.1.1.8 Efektnivi sily jednotky

$$F_{A1} := |F_{A1x}| + |F_{A1z}| + |F_{A1y}| = 75.002 \text{ kN}$$

$$F_{A2} := |F_{A2x}| + |F_{A2z}| + |F_{A2y}| = 55.829 \text{ kN}$$

$$F_{A3} := |F_{A3x}| + |F_{A3z}| + |F_{A3y}| = 151.496 \text{ kN}$$

$$F_{B1} := |F_{B1x}| + |F_{B1z}| + |F_{B1y}| = 71.399 \text{ kN}$$

$$F_{B2} := |F_{B2x}| + |F_{B2z}| + |F_{B2y}| = 58.219 \text{ kN}$$

$$F_{B3} := |F_{B3x}| + |F_{B3z}| + |F_{B3y}| = 150.889 \text{ kN}$$

### 5.1.1.9. Parametry valive jednotky

HIWIN typ: RGH 65HA

$$C_0 := 572730 \text{ N}$$

...unosnost staticka

$$C := 275300 \text{ N}$$

...unosnost dynamicka

$$F_0 := 0.13 \cdot C = 35.789 \text{ kN}$$

...predpeti V3

### 5.1.1.10. Efektivní zatížení

$$F_{eA1} := \begin{cases} \text{if } F_{A1} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \begin{cases} \text{if } F_{A1} > 0 \\ \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A1} \\ \text{else} \\ \quad 0 \end{cases} \\ F_{A1} \end{cases} = 75.002 \text{ kN}$$

$$F_{eA2} := \begin{cases} \text{if } F_{A2} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \begin{cases} \text{if } F_{A2} > 0 \\ \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A2} \\ \text{else} \\ \quad 0 \end{cases} \\ F_{A2} \end{cases} = 55.829 \text{ kN}$$

$$F_{eA3} := \begin{cases} \text{if } F_{A3} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \begin{cases} \text{if } F_{A3} > 0 \\ \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A3} \\ \text{else} \\ \quad 0 \end{cases} \\ F_{A3} \end{cases} = 151.496 \text{ kN}$$

$$F_{eB1} := \begin{cases} \text{if } F_{B1} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \begin{cases} \text{if } F_{B1} > 0 \\ \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B1} \\ \text{else} \\ \quad 0 \end{cases} \\ F_{B1} \end{cases} = 71.399 \text{ kN}$$

$$F_{eB2} := \begin{cases} \text{if } F_{B2} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \begin{cases} \text{if } F_{B2} > 0 \\ \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B2} \\ \text{else} \\ \quad 0 \end{cases} \\ F_{B2} \end{cases} = 58.219 \text{ kN}$$

$$F_{eB3} := \begin{cases} \text{if } F_{B3} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \begin{cases} \text{if } F_{B3} > 0 \\ \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B3} \\ \text{else} \\ \quad 0 \end{cases} \\ F_{B3} \end{cases} = 150.889 \text{ kN}$$

## 5.2. Stav 1 - Transformace sil do soustavy souřadnic vedení

1. Rozměry vedení a konstrukce

$L := 1000 \text{ mm}$  ...delka vedení A, B, C ve směru Z

$\Delta z := 0 \text{ mm}$  ...pojezd

$x_{41} := -100 \text{ mm}$  ...souradnice pohonu členu 3 v ose x

$y_{41} := -170 \text{ mm}$  ...souradnice pohonu členu 3 v ose y

$z_{43} := 0 \cdot m$  ...souradnice pohonu členu 3 v ose z

$\eta_v := 0.98$  ...soucinitel ucinnosti vedení

2. Zatizení

$F_1 = 0.72 \text{ kN}$   $y_{23} := 0.3 \cdot m$  ...Vzdálenost od gravitačního středu v

$F_2 = 0.48 \text{ kN}$  osed Y tíhové složky  $G_3$

$F_3 = 1.34 \text{ kN}$   $y_{34} := 0.5 \cdot m$  ...Vzdálenost od gravitačního středu v

$G_1 = 1.177 \text{ kN}$  osed Y tíhové složky  $G_4$

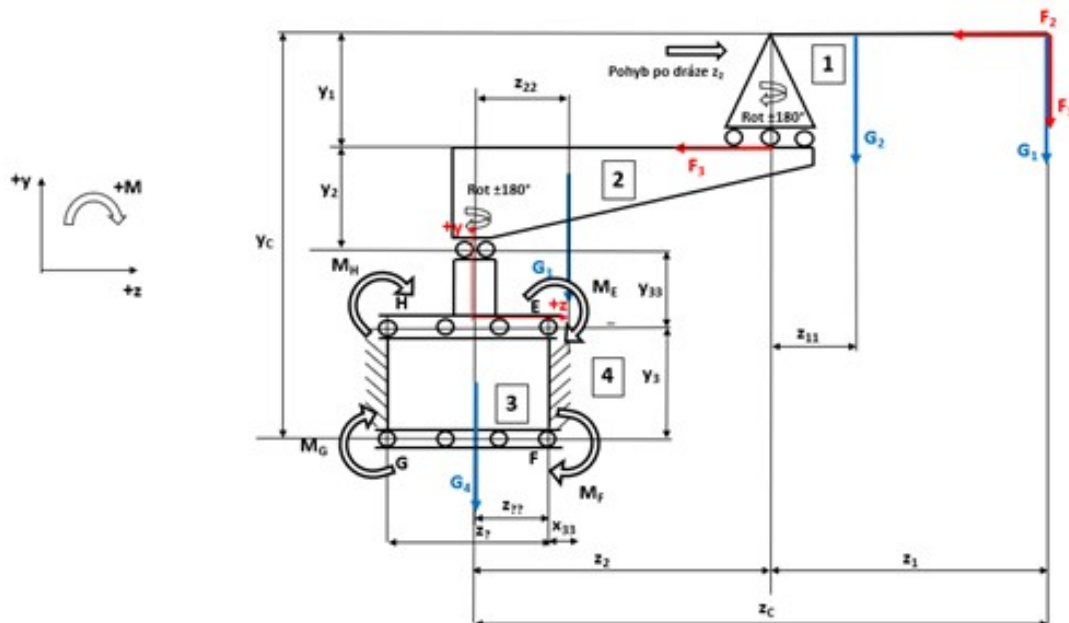
$G_2 = 13.141 \text{ kN}$

$G_3 = 8.032 \text{ kN}$

$G_4 = 11.258 \text{ kN}$

Stanovit

- Vektor síly a momentu v počátku souřadnic
- Reakce valivých jednotek
- Statickou a dynamickou bezpečnost valivých jednotek HIWIN



### 5.2.1. Vypocet

#### 5.2.1.1. Souradnice pusobicich sil

ORIGIN := 1 pro vypocet matic, bere vypocty od 1 ne od nula

$z_{101} := z_{c1} = 5.1 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$z_{102} := z_{101}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$z_{103} := z_2 + z_{11} = 2.775 \text{ m}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$z_{104} := z_2 = 2 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$z_{105} := z_{22} = 1 \text{ m}$	Vzdálenost tíhové složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$z_{106} := 0$	Vzdálenost tíhové složky $G_4$ od počátku souřadného systému
$y_{01} := (y_C - y_3) = 2.407 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$y_{02} := y_{01}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$y_{03} := y_{01}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$y_{04} := (y_2 + y_{33}) = 1.621 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$y_{05} := (y_{33} + y_{23}) = 1.115 \text{ m}$	Vzdálenost tíhého složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$y_{06} := -(y_{34}) = -0.5 \text{ m}$	Vzdálenost tíhého složky $G_4$ od počátku souřadného systému
$x_{101} := 0$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$x_{102} := x_{101}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$x_{103} := x_{101}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$x_{104} := 0$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$x_{105} := 0$	Vzdálenost tíhové složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$x_{106} := 0$	Vzdálenost tíhové složky $G_4$ od počátku souřadného systému

souřadnice v ose z, při posunu vozíku robota o celou délku členu 2

$$z_{111} := z_{101} + \Delta z = 5.1 \text{ m} \quad z_{114} := z_{104} + \Delta z = 2 \text{ m}$$

$$z_{112} := z_{102} + \Delta z = 5.1 \text{ m} \quad z_{115} := z_{105} + \Delta z = 1 \text{ m}$$

$$z_{113} := z_{103} + \Delta z = 2.775 \text{ m} \quad z_{116} := z_{106} + \Delta z = 0 \text{ m}$$

### 5.2.1.2. Vektor síly a momentu v počátku souřadnice

$$F_{I1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -F_1 \\ -F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.72 \\ -0.48 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{II1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.177 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{III1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -13.141 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{IV1} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1.34 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{V1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -8.032 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{VI1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_4 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -11.258 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{s01} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{-1}{\eta_v} \cdot (F_{III1_2} + F_{II1_2} + F_{V1_2} + F_{VI1_2}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 34.293 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \dots \text{pos. síla}$$

$$r_{101} := [x_{101} \ y_{01} \ z_{101}] = [0 \ 2.407 \ 5.1] \text{ m}$$

$$r_{11} := [x_{101} \ y_{01} \ z_{111}] = [0 \ 2.407 \ 5.1] \text{ m}$$

$$r_{12} := [x_{102} \ y_{02} \ z_{112}] = [0 \ 2.407 \ 5.1] \text{ m}$$

$$r_{13} := [x_{103} \ y_{03} \ z_{113}] = [0 \ 2.407 \ 2.775] \text{ m}$$

$$r_{14} := [x_{104} \ y_{04} \ z_{114}] = [0 \ 1.621 \ 2] \text{ m}$$

$$r_{15} := [x_{105} \ y_{05} \ z_{115}] = [0 \ 1.115 \ 1] \text{ m}$$

$$r_{16} := [x_{106} \ y_{06} \ z_{116}] = [0 \ -0.5 \ 0] \text{ m}$$

$$r_{S1} := [x_{41} \ y_{41} \ z_{43}] = [-0.1 \ -0.17 \ 0] \text{ m} \quad \text{vektor posouvající síly}$$



$$F_{c1} := F_{I1} + F_{II1} + F_{III1} + F_{IV1} + F_{V1} + F_{VI1} + F_{s01} \quad \dots \text{sila v pocatku souradnic X, Y, Z}$$

$$F_{c1}^T = [0 \quad -34.327 \quad 32.473] \text{ kN}$$

$$r_{11}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.407 \\ 5.1 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$M_{011} := r_{101}^T \times F_{I1} = \begin{bmatrix} 2.517 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{102} := r_{12}^T \times F_{II1} = \begin{bmatrix} 6.002 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{101} := r_{11}^T \times F_{I1} = \begin{bmatrix} 2.517 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{103} := r_{13}^T \times F_{III1} = \begin{bmatrix} 36.466 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{104} := r_{14}^T \times F_{IV1} = \begin{bmatrix} -2.172 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{105} := r_{15}^T \times F_{V1} = \begin{bmatrix} 8.032 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{106} := r_{16}^T \times F_{VI1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{S1} := r_{S1}^T \times F_{s01} = \begin{bmatrix} -5.83 \\ 3.429 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{c1} := M_{011} + M_{101} + M_{102} + M_{103} + M_{104} + M_{105} + M_{106} + M_{S1}$$

$$M_{c1}^T = [47.531 \quad 3.429 \quad 0] \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Slozky vektoru

$$F_{x1} := F_{c1_1} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{y1} := F_{c1_2} = -34.327 \text{ kN}$$

$$F_{z1} := F_{c1_3} = 32.473 \text{ kN}$$

$$M_{x1} := M_{c1_1} = 47.531 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y1} := M_{c1_2} = 3.429 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z1} := M_{c1_3} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### 5.2.1.3. Sily působící na krajní jednotky

### 5.2.1.4. Souradnice a počet valivých jednotek

$L_{z1} := 1000 \text{ mm}$        $L_{z2} := 380 \text{ mm}$        $L_{z3} := 295 \cdot \text{mm}$       ...vzdálenost ložisek par 1, 2 a 3

$L_{y01} := 800 \text{ mm}$       ...vzdálenost drah

$n := 3$       ...počet ložisek na jedné dráze

$n_d := 2$       ...počet drah

$n_c := n \cdot n_d = 6$       ...celkový počet ložisek

### 5.2.1.5. Smer Z

$$F_{A11z} := -\frac{F_{z1}}{n_c} - \frac{M_{y1}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} - \frac{M_{x1}}{n_d \cdot L_{y01}} = -36.118 \text{ kN}$$

$$F_{A12z} := \frac{F_{z1}}{n_c} + \frac{M_{y1}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} - \frac{M_{x1}}{n_d \cdot L_{y01}} = -23.296 \text{ kN}$$

$$F_{A13z} := \frac{F_{z1}}{n_c} + \frac{M_{y1}}{n} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} - \frac{M_{x1}}{n_d \cdot L_{y01}} = -20.419 \text{ kN}$$

$$F_{B11z} := -\frac{F_{z1}}{n_c} - \frac{M_{y1}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = -6.411 \text{ kN}$$

$$F_{B12z} := \frac{F_{z1}}{n_c} - \frac{M_{y1}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = 4.413 \text{ kN}$$

$$F_{B13z} := \frac{F_{z1}}{n_c} - \frac{M_{y1}}{n} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} = 1.537 \text{ kN}$$

### 5.2.1.6. Smer Y

$$F_{A11y} := \frac{F_{y1}}{n_c} - \frac{M_{x1}}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = -26.488 \text{ kN} \quad F_{B11y} := F_{A11y}$$

$$F_{A12y} := \frac{F_{y1}}{n_c} + \frac{M_{x1}}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = 15.045 \text{ kN} \quad F_{B12y} := F_{A12y}$$

$$F_{A13y} := \frac{F_{y1}}{n_c} + \frac{M_{x1}}{n_d} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} = 74.839 \text{ kN} \quad F_{B13y} := F_{A13y}$$

### 5.2.1.7. Efektivní síly jednotky

$$F_{A11} := |F_{A11z}| + |F_{A11y}| = 62.606 \text{ kN}$$

$$F_{A12} := |F_{A12z}| + |F_{A12y}| = 38.341 \text{ kN}$$

$$F_{A13} := |F_{A13z}| + |F_{A13y}| = 95.259 \text{ kN}$$

$$F_{B11} := |F_{B11z}| + |F_{B11y}| = 32.899 \text{ kN}$$

$$F_{B12} := |F_{B12z}| + |F_{B12y}| = 19.459 \text{ kN}$$

$$F_{B13} := |F_{B13z}| + |F_{B13y}| = 76.376 \text{ kN}$$

### 5.2.1.8. Parametry valive jednotky

HIWIN typ: RGH 65HA

$$C_0 := 572730 \text{ N}$$

...unosnost staticka

$$C := 275300 \text{ N}$$

...unosnost dynamicka

$$F_0 := 0.13 \cdot C = 35.789 \text{ kN}$$

...predpeti V3

### 5.2.1.9. Efektivní zatizení

$$F_{eA11} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } F_{A11} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } F_{A11} > 0 \\ \quad \left\| F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A11} \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{array} \right\| \\ F_{A11} \end{array} \right\| = 62.606 \text{ kN}$$

$$F_{eA12} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } F_{A12} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } F_{A12} > 0 \\ \quad \left\| F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A12} \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{array} \right\| \\ F_{A12} \end{array} \right\| = 38.341 \text{ kN}$$

$$F_{eA13} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } F_{A13} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } F_{A13} > 0 \\ \quad \left\| F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A13} \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{array} \right\| \\ F_{A13} \end{array} \right\| = 95.259 \text{ kN}$$

$$F_{eB11} := \begin{cases} \text{if } F_{B11} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{B11} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B11} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} \\ F_{B11} = 32.899 \text{ kN}$$

$$F_{eB12} := \begin{cases} \text{if } F_{B12} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{B12} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B12} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} \\ F_{B12} = 19.459 \text{ kN}$$

$$F_{eB13} := \begin{cases} \text{if } F_{B13} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{B13} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B13} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} \\ F_{B13} = 76.376 \text{ kN}$$

### 5.3. Stav 2 - Transformace sil do soustavy souřadnic vedení

#### 1. Rozměry vedení a konstrukce

$L := 1000 \text{ mm}$  ...delka vedení A, B, C ve směru Z

$\Delta z := 0 \text{ mm}$  ...pojezd

$x_{41} := -100 \text{ mm}$  ...souřadnice pohonu členu 3 v ose x

$y_{41} := -170 \text{ mm}$  ...souřadnice pohonu členu 3 v ose y

$z_{43} := 0 \cdot m$  ...souřadnice pohonu členu 3 v ose z

$\eta_v := 0.98$  ...soucinitel účinnosti vedení

#### 2. Zatížení

$F_1 = 0.72 \text{ kN}$   $y_{23} := 0.3 \cdot m$  ...Vzdálenost od gravitačního středu v ose Y tíhové složky  $G_3$

$F_2 = 0.48 \text{ kN}$   $y_{34} := 0.5 \cdot m$  ...Vzdálenost od gravitačního středu v ose Y tíhové složky  $G_4$

$F_3 = 1.34 \text{ kN}$

$G_1 = 1.177 \text{ kN}$

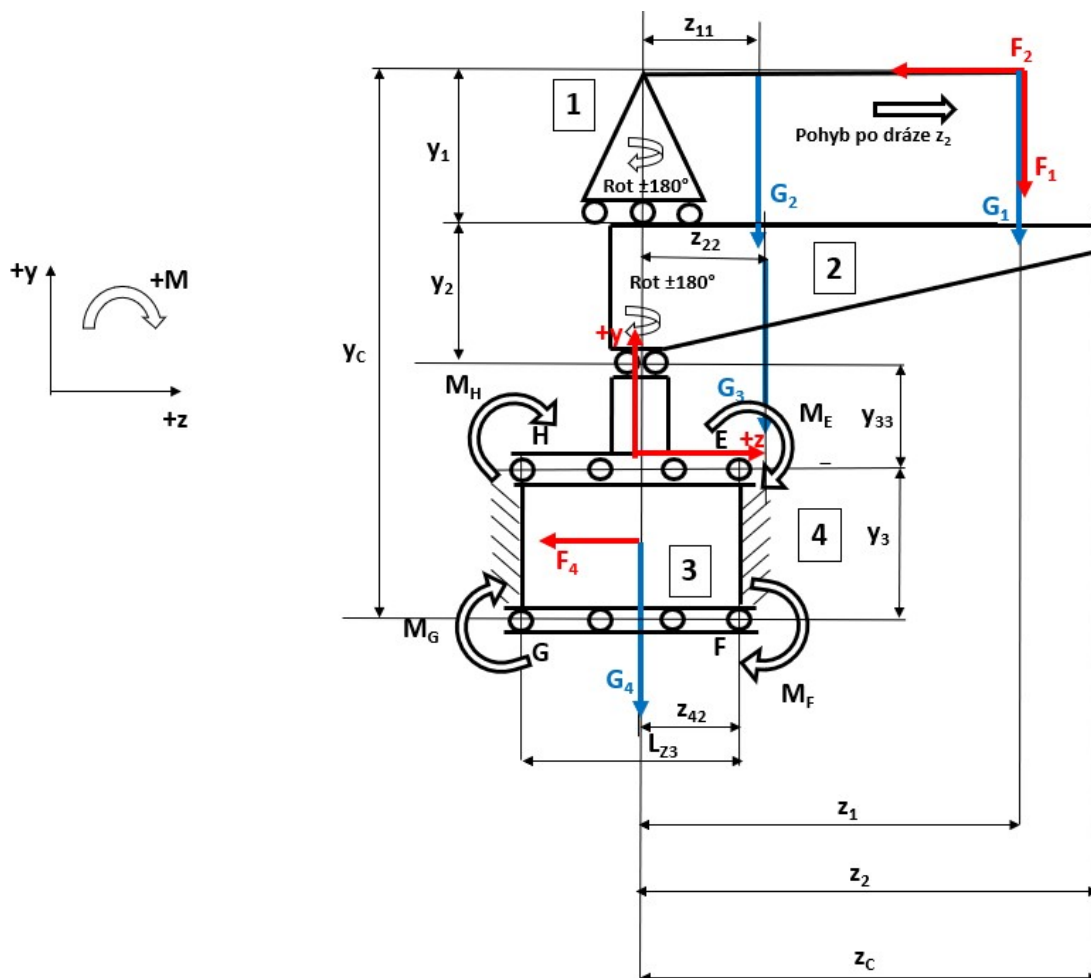
$G_2 = 13.141 \text{ kN}$

$G_3 = 8.032 \text{ kN}$

$G_4 = 11.258 \text{ kN}$

#### Stanovit

- Vektor síly a momentu v počátku souřadnic
- Reakce valivých jednotek
- Statickou a dynamickou bezpečnost valivých jednotek HIWIN



### 5.3.1. Vypocet

#### 5.3.1.1. Souradnice pusobicich sil

ORIGIN := 1 pro vypocet matic, bere vypocty od 1 ne od nula

$$z_{201} := z_1 = 3.1 \text{ m}$$

Vzdálenost silové složky  $F_1$  a tíhého složky  $G_1$  od počátku souřadného systému

$$z_{202} := z_{201}$$

Vzdálenost silové složky  $F_2$  od počátku souřadného systému

$$z_{203} := z_{11} = 0.775 \text{ m}$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_2$  od počátku souřadného systému

$$z_{204} := 0 \cdot \text{m}$$

Vzdálenost silové složky  $F_4$  od počátku souřadného systému

$$z_{205} := z_{22} = 1 \text{ m}$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_3$  od počátku souřadného systému

$$z_{206} := 0$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_4$  od počátku souřadného systému

$$y_{01} := (y_C - y_3) = 2.407 \text{ m}$$

Vzdálenost silové složky  $F_1$  a tíhého složky  $G_1$  od počátku souřadného systému

$$y_{02} := y_{01}$$

Vzdálenost silové složky  $F_2$  od počátku souřadného systému

$$y_{03} := y_{01}$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_2$  od počátku souřadného systému

$$y_{04} := \left( -\frac{y_3}{2} \right) = -0.4 \text{ m}$$

Vzdálenost silové složky  $F_4$  od počátku souřadného systému

$$y_{05} := (y_{33} + y_{23}) = 1.115 \text{ m}$$

Vzdálenost tíhého složky  $G_3$  od počátku souřadného systému

$$y_{06} := -(y_{34}) = -0.5 \text{ m}$$

Vzdálenost tíhého složky  $G_4$  od počátku souřadného systému

$$x_{101} := 0$$

Vzdálenost silové složky  $F_1$  a tíhého složky  $G_1$  od počátku souřadného systému

$$x_{102} := x_{101}$$

Vzdálenost silové složky  $F_2$  od počátku souřadného systému

$$x_{103} := x_{101}$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_2$  od počátku souřadného systému

$$x_{104} := 0$$

Vzdálenost silové složky  $F_4$  od počátku souřadného systému

$$x_{105} := 0$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_3$  od počátku souřadného systému

$$x_{106} := 0$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_4$  od počátku souřadného systému

souřadnice v ose z, při posunu vozíku robota o celou délku členu 2

$$z_{211} := z_{201} + \Delta z = 3.1 \text{ m}$$

$$z_{214} := z_{204} + \Delta z = 0 \text{ m}$$

$$z_{212} := z_{202} + \Delta z = 3.1 \text{ m}$$

$$z_{215} := z_{205} + \Delta z = 1 \text{ m}$$

$$z_{213} := z_{203} + \Delta z = 0.775 \text{ m}$$

$$z_{216} := z_{206} + \Delta z = 0 \text{ m}$$

### 5.3.1.2. Vektor síly a momentu v počátku souradnice

$$F_{I2} := \begin{bmatrix} 0 \\ -F_1 \\ -F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.72 \\ -0.48 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{II2} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.177 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{III2} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -13.141 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{IV2} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -F_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -3.307 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{V2} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -8.032 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{VI2} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_4 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -11.258 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{s02} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{-1}{\eta_v} \cdot (F_{II2} + F_{III2} + F_{V12} + F_{VI2}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 34.293 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \dots \text{pos. síla}$$

$$r_{201} := [x_{101} \ y_{01} \ z_{201}] = [0 \ 2.407 \ 3.1] \text{ m}$$

$$r_{21} := [x_{101} \ y_{01} \ z_{201}] = [0 \ 2.407 \ 3.1] \text{ m}$$

$$r_{22} := [x_{102} \ y_{02} \ z_{202}] = [0 \ 2.407 \ 3.1] \text{ m}$$

$$r_{23} := [x_{103} \ y_{03} \ z_{203}] = [0 \ 2.407 \ 0.775] \text{ m}$$

$$r_{24} := [x_{104} \ y_{04} \ z_{204}] = [0 \ -0.4 \ 0] \text{ m}$$

$$r_{25} := [x_{105} \ y_{05} \ z_{205}] = [0 \ 1.115 \ 1] \text{ m}$$

$$r_{26} := [x_{106} \ y_{06} \ z_{206}] = [0 \ -0.5 \ 0] \text{ m}$$

$$r_{S2} := [x_{41} \ y_{41} \ z_{43}] = [-0.1 \ -0.17 \ 0] \text{ m}$$

vektor posouvající síly

$$F_{c2} := F_{I2} + F_{II2} + F_{III2} + F_{IV2} + F_{V2} + F_{VI2} + F_{s02} \quad \dots \text{síla v počátku souřadnic X, Y, Z}$$

$$F_{c2}^T = [0 \ -34.327 \ 30.506] \text{ kN}$$

$$r_{21}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.407 \\ 3.1 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$M_{021} := r_{201}^T \times F_{I2} = \begin{bmatrix} 1.077 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



$$M_{202} := r_{22}^T \times F_{II2} = \begin{bmatrix} 3.648 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{201} := r_{21}^T \times F_{I2} = \begin{bmatrix} 1.077 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{203} := r_{23}^T \times F_{III2} = \begin{bmatrix} 10.184 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{204} := r_{24}^T \times F_{IV2} = \begin{bmatrix} 1.323 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{205} := r_{25}^T \times F_{V2} = \begin{bmatrix} 8.032 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{206} := r_{26}^T \times F_{VI2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{S2} := r_{S2}^T \times F_{s02} = \begin{bmatrix} -5.83 \\ 3.429 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{c2} := M_{021} + M_{201} + M_{202} + M_{203} + M_{204} + M_{205} + M_{206} + M_{S2}$$

$$M_{c2}^T = [19.51 \quad 3.429 \quad 0] \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Složky vektoru

$$F_{x2} := F_{c2_1} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{y2} := F_{c2_2} = -34.327 \text{ kN}$$

$$F_{z2} := F_{c2_3} = 30.506 \text{ kN}$$

$$M_{x2} := M_{c2_1} = 19.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y2} := M_{c2_2} = 3.429 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z2} := M_{c2_3} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### **5.3.1.3. Sily pusobici na krajni jednotky**

### **5.3.1.4. Souradnice a pocet valivych jednotek**

$$L_{z1} := 1000 \text{ mm}$$

$$L_{z2} := 380 \text{ mm}$$

$$L_{z3} := 295 \cdot \text{mm}$$

...vzdalenost lozisek paru 1 , 2 a 3

$$L_{y01} := 800 \text{ mm}$$

...vzdalenost drah

$$n := 3$$

...pocet lozisek na jedne draze

$$n_d := 2$$

...pocet drah

$$n_{..} := n \cdot n_d = 6$$

...celkovv pocet lozisek

### 5.3.1.5. Smer Z

$$F_{A21z} := -\frac{F_{z2}}{n_c} - \frac{M_{y2}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} - \frac{M_{x2}}{n_d \cdot L_{y01}} = -18.277 \text{ kN}$$

$$F_{A22z} := \frac{F_{z2}}{n_c} + \frac{M_{y2}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} - \frac{M_{x2}}{n_d \cdot L_{y01}} = -6.111 \text{ kN}$$

$$F_{A23z} := \frac{F_{z2}}{n_c} + \frac{M_{y2}}{n} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} - \frac{M_{x2}}{n_d \cdot L_{y01}} = -3.235 \text{ kN}$$

$$F_{B21z} := -\frac{F_{z2}}{n_c} - \frac{M_{y2}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = -6.083 \text{ kN}$$

$$F_{B22z} := \frac{F_{z2}}{n_c} - \frac{M_{y2}}{n} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = 4.086 \text{ kN}$$

$$F_{B23z} := \frac{F_{z2}}{n_c} - \frac{M_{y2}}{n} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} = 1.209 \text{ kN}$$

### 5.3.1.6. Smer Y

$$F_{A21y} := \frac{F_{y2}}{n_c} - \frac{M_{x2}}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = -14.245 \text{ kN} \quad F_{B21y} := F_{A21y}$$

$$F_{A22y} := \frac{F_{y2}}{n_c} + \frac{M_{x2}}{n_d} \cdot \frac{L_{z1}}{L_{z1}^2 + L_{z2}^2} = 2.803 \text{ kN} \quad F_{B22y} := F_{A22y}$$

$$F_{A23y} := \frac{F_{y2}}{n_c} + \frac{M_{x2}}{n_d} \cdot \frac{L_{z3}}{L_{z3}^2} = 27.347 \text{ kN} \quad F_{B23y} := F_{A23y}$$

### 5.3.1.7. Efektivní síly jednotky

$$F_{A21} := |F_{A21z}| + |F_{A21y}| = 32.523 \text{ kN}$$

$$F_{A22} := |F_{A22z}| + |F_{A22y}| = 8.914 \text{ kN}$$

$$F_{A23} := |F_{A23z}| + |F_{A23y}| = 30.581 \text{ kN}$$

$$F_{B21} := |F_{B21z}| + |F_{B21y}| = 20.329 \text{ kN}$$

$$F_{B22} := |F_{B22z}| + |F_{B22y}| = 6.888 \text{ kN}$$

$$F_{B23} := |F_{B23z}| + |F_{B23y}| = 28.556 \text{ kN}$$

### 5.3.1.8. Parametry valive jednotky

HIWIN typ: RGH 65HA

$$C_0 := 572730 \text{ N}$$

...unosnost staticka

$$C := 275300 \text{ N}$$

...unosnost dynamicka

$$F_0 := 0.13 \cdot C = 35.789 \text{ kN}$$

...predpeti V3

### 5.3.1.9. Efektivni zatizeni

$$F_{eA21} := \begin{cases} \text{if } F_{A21} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{A21} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A21} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 32.523 \text{ kN}$$

$$F_{eA22} := \begin{cases} \text{if } F_{A22} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{A22} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A22} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 8.914 \text{ kN}$$

$$F_{eA23} := \begin{cases} \text{if } F_{A23} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{A23} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{A23} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 30.581 \text{ kN}$$

$$F_{eB21} := \begin{cases} \text{if } F_{B21} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{B21} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B21} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 20.329 \text{ kN}$$

$$F_{eB22} := \begin{cases} \text{if } F_{B22} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{B22} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B22} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 6.888 \text{ kN}$$

$\parallel \text{ }^L B21$

$\parallel \text{ }^L B22$

$$F_{eB23} := \begin{cases} \text{if } F_{B23} < 3 \cdot F_0 \\ \quad \text{if } F_{B23} > 0 \\ \quad \quad F_0 + \frac{2}{3} \cdot F_{B23} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \\ F_{B23} \end{cases} = 28.556 \text{ } \textcolor{blue}{kN}$$

#### 5.4. Stav 1 - Transformace sil do soustavy souřadnic vedení pro člen 1

1. Rozměry vedení a konstrukce

$L := 2500 \text{ mm}$  ...delka vedení A, B, C ve směru Z  
 $\Delta z_{21} := 0 \text{ mm}$  ...pojezd členu 1 po dráze členu č. 2  
 $x_{p1} := -50 \text{ mm}$  ...sourovnice pohonu členu 3 v ose x  
 $y_{p1} := 0 \text{ mm}$  ...sourovnice pohonu členu 3 v ose y  
 $z_{p1} := -0.5 \cdot m$  ...sourovnice pohonu členu 3 v ose z  
 $\eta_v := 0.98$  ...soutinitel ucinnosti vedeni

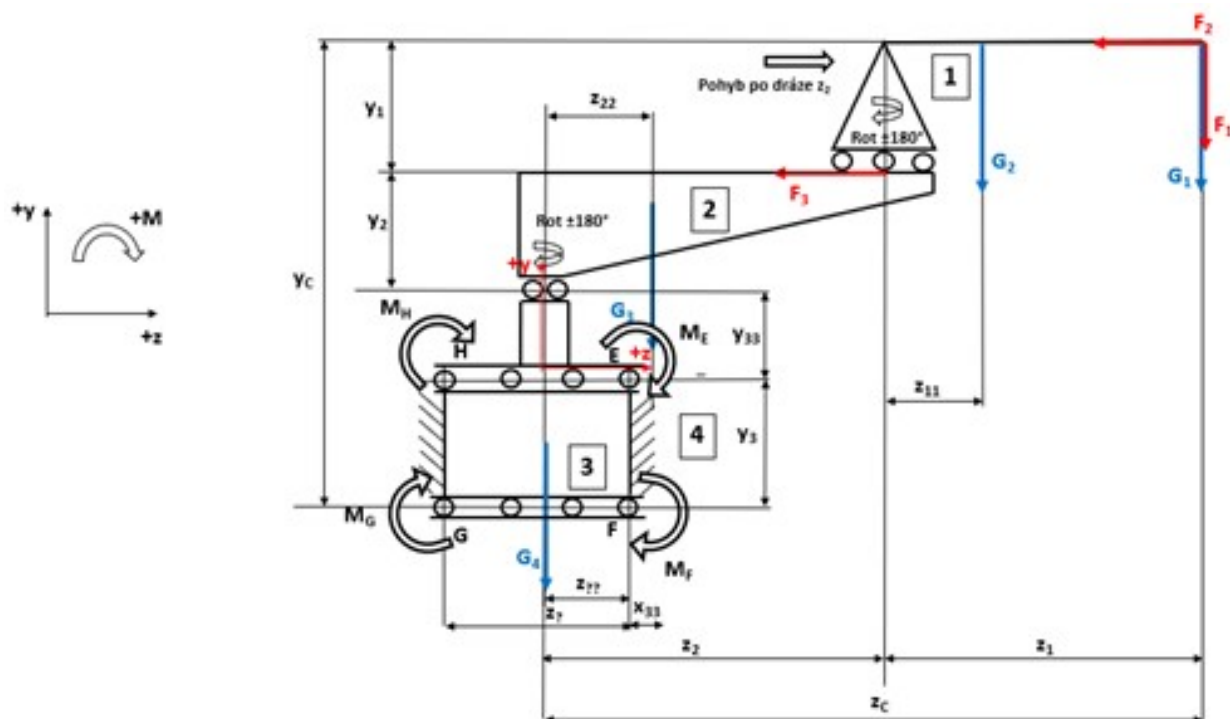
2. Zatizeni

$F_1 = 0.72 \text{ kN}$   
 $F_2 = 0.48 \text{ kN}$   
 $F_3 = 1.34 \text{ kN}$   
 $G_1 = 1.177 \text{ kN}$   
 $G_2 = 13.141 \text{ kN}$   
 $G_3 = 8.032 \text{ kN}$   
 $G_4 = 11.258 \text{ kN}$

$y_{23} := 0.3 \cdot m$  ...Vzadalenost od gravitačního středu v osed Y tíhové složky  $G_3$   
 $y_{34} := 0.5 \cdot m$  ...Vzadalenost od gravitačního středu v osed Y tíhové složky  $G_4$

Stanovit

- Vektor síly a momentu v počátku souřadnici
- Reakce valivých jednotek
- Statickou a dynamickou bezpečnost valivých jednotek HIWIN



#### 5.4.1. Vypocet

#### 5.4.2. Souradnice pusobicich sil

ORIGIN := 1 pro vypocet matic, bere vypocty od 1 ne od nula

$$z_{301} := z_1 = 3.1 \text{ m}$$

Vzdálenost silové složky  $F_1$  a tíhého složky  $G_1$  od počátku souřadného systému

$$z_{302} := z_{301}$$

Vzdálenost silové složky  $F_2$  od počátku souřadného systému

$$z_{303} := z_{11} = 0.775 \text{ m}$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_2$  od počátku souřadného systému

$$z_{304} := 0$$

Vzdálenost silové složky  $F_3$  od počátku souřadného systému

$$y_1 = 0.786 \text{ m}$$

Vzdálenost silové složky  $F_1$  a tíhého složky  $G_1$  od počátku souřadného systému

$$y_{02} := y_1$$

Vzdálenost silové složky  $F_2$  od počátku souřadného systému

$$y_{03} := y_1$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_2$  od počátku souřadného systému

$$y_{041} := 0$$

Vzdálenost silové složky  $F_3$  od počátku souřadného systému

$$x_{101} := 0$$

Vzdálenost silové složky  $F_1$  a tíhého složky  $G_1$  od počátku souřadného systému

$$x_{102} := x_{101}$$

Vzdálenost silové složky  $F_2$  od počátku souřadného systému

$$x_{103} := x_{101}$$

Vzdálenost tíhové složky  $G_2$  od počátku souřadného systému

$$x_{104} := 0$$

Vzdálenost silové složky  $F_3$  od počátku souřadného systému

souřadnice v ose z, při posunu vozíku robota o celou délku členu 2

$$z_{311} := z_{301} + \Delta z = 3.1 \text{ m}$$

$$z_{314} := z_{304} + \Delta z = 0 \text{ m}$$

$$z_{312} := z_{302} + \Delta z = 3.1 \text{ m}$$

$$z_{313} := z_{303} + \Delta z = 0.775 \text{ m}$$

#### 5.4.2.1. Vektor síly a momentu v počátku souřadnice

$$F_{I3} := \begin{bmatrix} 0 \\ -F_1 \\ -F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.72 \\ -0.48 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{II3} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.177 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{III3} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -13.141 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{IV3} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1.34 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{s03} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{-1}{\eta_v} \cdot (F_{II3_2} + F_{III3_2}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 14.61 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \dots \text{pos. síla}$$

$$r_{301} := [x_{101} \ y_1 \ z_{301}] = [0 \ 0.786 \ 3.1] \text{ m}$$

$$r_{31} := [x_{101} \ y_1 \ z_{301}] = [0 \ 0.786 \ 3.1] \text{ m}$$

$$r_{32} := [x_{102} \ y_{02} \ z_{302}] = [0 \ 0.786 \ 3.1] \text{ m}$$

$$r_{33} := [x_{103} \ y_{03} \ z_{303}] = [0 \ 0.786 \ 0.775] \text{ m}$$

$$r_{34} := [x_{104} \ y_{04} \ z_{304}] = [0 \ -0.4 \ 0] \text{ m}$$

$$r_{S3} := [x_{p1} \ y_{p1} \ z_{p1}] = [-0.05 \ 0 \ -0.5] \text{ m} \quad \text{vektor posouvající síly}$$

$$F_{c3} := F_{I3} + F_{II3} + F_{III3} + F_{IV3} + F_{s03} \quad \dots \text{síla v počátku souřadnic X, Y, Z}$$

$$F_{c3}^T = [0 \ -15.038 \ 12.79] \text{ kN}$$

$$r_{31}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.786 \\ 3.1 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$M_{031} := r_{301}^T \times F_{I3} = \begin{bmatrix} 1.855 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{302} := r_{32}^T \times F_{II3} = \begin{bmatrix} 3.648 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{301} := r_{31}^T \times F_{I3} = \begin{bmatrix} 1.855 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{303} := r_{33}^T \times F_{III3} = \begin{bmatrix} 10.184 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{304} := r_{34}^T \times F_{IV3} = \begin{bmatrix} 0.536 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{S3} := r_{S3}^T \times F_{s03} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.73 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{c3} := M_{031} + M_{301} + M_{302} + M_{303} + M_{304} + M_{S3}$$

$$M_{c3}^T = [18.078 \ 0.73 \ 0] \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Složky vektoru

$$F_{x3} := F_{c3_1} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{y3} := F_{c3_2} = -15.038 \text{ kN}$$

$$F_{z3} := F_{c3_3} = 12.79 \text{ kN}$$

$$M_{x3} := M_{c3_1} = 18.078 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y3} := M_{c3_2} = 0.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z3} := M_{c3_3} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### 5.4.2.2. Sily působící na krajní jednotky

#### 5.4.2.3. Souradnice a počet valivých jednotek

$$L_{z4} := 800 \text{ mm}$$

$$L_{z5} := 600 \text{ mm}$$

...vzdálenost ložisek paru 1 , 2

$$L_{x4} := 800 \text{ mm}$$

...vzdálenost drah

$$n_3 := 2$$

...počet ložisek na jedné dráze

$$n_{d3} := 2$$

...počet drah

$$n_{c3} := n_3 \cdot n_{d3} = 4$$

...celkový počet ložisek

#### 5.4.2.4. Smer Y

$$F_{A31y} := \frac{F_{y3}}{n_{c3}} + \frac{M_{x3}}{n_{d3}} \cdot \frac{L_{z4}}{L_{z4}^2 + L_{x4}^2} + \frac{M_{z3}}{n_3 \cdot L_{x4}} = 1.89 \text{ kN}$$

$$F_{A32y} := \frac{F_{y3}}{n_{c3}} - \frac{M_{x3}}{n_{d3}} \cdot \frac{L_{z4}}{L_{z4}^2 + L_{x4}^2} + \frac{M_{z3}}{n_3 \cdot L_{x4}} = -9.409 \text{ kN}$$

$$F_{B31y} := \frac{F_{y3}}{n_{c3}} + \frac{M_{x3}}{n_{d3}} \cdot \frac{L_{z4}}{L_{z4}^2 + L_{x4}^2} - \frac{M_{z3}}{n_3 \cdot L_{x4}} = 1.89 \text{ kN}$$

$$F_{B32y} := \frac{F_{y3}}{n_{c3}} - \frac{M_{x3}}{n_{d3}} \cdot \frac{L_{z4}}{L_{z4}^2 + L_{x4}^2} - \frac{M_{z3}}{n_3 \cdot L_{x4}} = -9.409 \text{ kN}$$



$$n_{c3} \quad n_{d3} \quad L_{z4}^2 + L_{z4}^2 \quad n_3 \cdot L_{x4}$$

#### 5.4.2.5. Smer X

$$F_{A31x} := \frac{F_{x3}}{n_c} - \frac{M_{y3}}{n_d} \cdot \frac{L_{z5}}{L_{z5}^2 + L_{z3}^2} = -0.49 \text{ kN} \quad F_{B31x} := F_{A31x}$$

$$F_{A32x} := \frac{F_{x3}}{n_c} + \frac{M_{y3}}{n_d} \cdot \frac{L_{z5}}{L_{z5}^2 + L_{z3}^2} = 0.49 \text{ kN} \quad F_{B32x} := F_{A32x}$$

#### 5.4.2.6. Efektivní síly jednotky

$$F_{A31} := |F_{A31y}| + |F_{A31x}| = 2.38 \text{ kN}$$

$$F_{A32} := |F_{A32y}| + |F_{A32x}| = 9.899 \text{ kN}$$

$$F_{B31} := |F_{B31y}| + |F_{B31x}| = 2.38 \text{ kN}$$

$$F_{B32} := |F_{B32y}| + |F_{B32x}| = 9.899 \text{ kN}$$

#### 5.4.2.7. Parametry valive jednotky

HIWIN typ: RGW 45HAC

$$C_{03} := 230900 \text{ N}$$

$$C_3 := 116000 \text{ N}$$

$$F_{03} := 0.13 \cdot C_3 = 15.08 \text{ kN}$$

...unosnost staticka

...unosnost dynamicka

...predpeti V3

#### 5.4.2.8. Efektivní zatížení

$$F_{eA31} := \begin{cases} \text{if } F_{A31} < 3 \cdot F_{03} \\ \quad \text{if } F_{A31} > 0 \\ \quad \quad F_{03} + \frac{2}{3} \cdot F_{A31} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 2.38 \text{ kN}$$

$$F_{eA32} := \begin{cases} \text{if } F_{A32} < 3 \cdot F_{03} \\ \quad \text{if } F_{A32} > 0 \\ \quad \quad F_{03} + \frac{2}{3} \cdot F_{A32} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 9.899 \text{ kN}$$

$$F_{eB31} := \begin{cases} \text{if } F_{B31} < 3 \cdot F_{03} \\ \quad \text{if } F_{B31} > 0 \\ \quad \quad F_{03} + \frac{2}{3} \cdot F_{B31} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 2.38 \text{ kN}$$

$$F_{eB32} := \begin{cases} \text{if } F_{B32} < 3 \cdot F_{03} \\ \quad \text{if } F_{B32} > 0 \\ \quad \quad F_{03} + \frac{2}{3} \cdot F_{B32} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 0 \end{cases} = 9.899 \text{ kN}$$

$\parallel \text{ }^L B31$

$\parallel \text{ }^L B32$

#### 5.4.2.9. Efektivní síly pro valivé jednotky

##### 5.4.2.10. pro valivé jednotky členu č. 1 - stav 2

$$F_{eA3} := [F_{eA31} \ F_{eA32}] = [2.38 \ 9.899] \text{ kN}$$

$$F_{eB3} := [F_{eB31} \ F_{eB32}] = [2.38 \ 9.899] \text{ kN}$$

$$F_{A31M} := \max(F_{eA31}) = (2.38 \cdot 10^3) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. A1 tělese ve stavu 2 člen 1}$$

$$F_{A32M} := \max(F_{eA32}) = (9.899 \cdot 10^3) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. A2 tělese ve stavu 2 člen 1}$$

$$F_{B31M} := \max(F_{eB31}) = (2.38 \cdot 10^3) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. B1 tělese ve stavu 2 člen 1}$$

$$F_{B32M} := \max(F_{eB32}) = (9.899 \cdot 10^3) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. B2 tělese ve stavu 2 člen 1}$$

##### 5.4.2.11. pro valivé jednotky členu č. 3 - stav 1

$$F_{eA1} := [F_{eA11} \ F_{eA12} \ F_{eA13}] = [62.606 \ 38.341 \ 95.259] \text{ kN}$$

$$F_{eB1} := [F_{eB11} \ F_{eB12} \ F_{eB13}] = [32.899 \ 19.459 \ 76.376] \text{ kN}$$

$$F_{A11M} := \max(F_{eA11}) = (6.261 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. A1 tělese ve stavu 1 člen 3}$$

$$F_{A12M} := \max(F_{eA12}) = (3.834 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. A2 tělese ve stavu 1 člen 3}$$

$$F_{A13M} := \max(F_{eA13}) = (9.526 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. A3 tělese ve stavu 1 člen 3}$$

$$F_{B11M} := \max(F_{eB11}) = (3.29 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. B1 tělese ve stavu 1 člen 3}$$

$$F_{B12M} := \max(F_{eB12}) = (1.946 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. B2 tělese ve stavu 1 člen 3}$$

$$F_{B13M} := \max(F_{eB13}) = (7.638 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{maximální síla v lož. B3 tělese ve stavu 1 člen 3}$$

#### 5.4.2.12. pro valivé jednotky členu č. 3 - stav 2 - pohyb

$$F_{eA2} := [F_{eA21} \ F_{eA22} \ F_{eA23}] = [32.523 \ 8.914 \ 30.581] \text{ kN}$$

$$F_{eB2} := [F_{eB21} \ F_{eB22} \ F_{eB23}] = [20.329 \ 6.888 \ 28.556] \text{ kN}$$

$$F_{A21M} := \max(F_{eA21}) = 32.523 \text{ kN}$$

...maximální síla v lož. A1 tělese ve stavu 2 člen 3

$$F_{A22M} := \max(F_{eA22}) = 8.914 \text{ kN}$$

...maximální síla v lož. A2 tělese ve stavu 2 člen 3

$$F_{A23M} := \max(F_{eA23}) = 30.581 \text{ kN}$$

...maximální síla v lož. A3 tělese ve stavu 2 člen 3

$$F_{B21M} := \max(F_{eB21}) = 20.329 \text{ kN}$$

...maximální síla v lož. B1 tělese ve stavu 2 člen 3

$$F_{B22M} := \max(F_{eB22}) = 6.888 \text{ kN}$$

...maximální síla v lož. B2 tělese ve stavu 2 člen 3

$$F_{B23M} := \max(F_{eB23}) = 28.556 \text{ kN}$$

...maximální síla v lož. B3 tělese ve stavu 2 člen 3

$$q_1 := 0.5$$

#### 5.5. Doba běhu, ujetá dráha při zátěžných stavech

$$T_{c1} := 8000 \text{ hr}$$

...doba běhu vedení 3, při stavu č. 2

$$T_{c2} := 4000 \text{ hr}$$

...doba běhu vedení 1, při stavu č. 1

...zátěžový stav č. 1 vs. stav č.2

$$q_2 := 1$$

...zátěžový stav č. 2 vs. stav č.1

$$v_1 := 0.5 \cdot \frac{m}{s}$$

...rychlost posuvu členu č. 1 po vedení členu č. 2

$$v_{1R} := 1 \cdot \frac{m}{s}$$

...rychloposuv členu č. 1 po vedení členu č. 2

$$v_3 := 0.98 \cdot \frac{m}{s}$$

...rychlost posuvu členu č. 3 po vedení členu č. 4

$$v_{3R} := 2 \cdot \frac{m}{s}$$

...rychloposuv členu č. 3 po vedení členu č. 4

$$a_2 = 4 \frac{m}{s^2}$$

...zrychlení členu 1 na členu 2

$$a_4 = 1 \frac{m}{s^2}$$

...zrychlení členu 3 na členu 4

### 5.5.1. zátěžový stav č. 1

$$v_{11} := v_{1R} = 1 \frac{m}{s}$$

...pohyb členu č.1 po dráze členu č.2 je prováděn rychloposuvem

$$T_{R11} := 2 \cdot T_{c2} = 8000 \text{ hr}$$

...celková doba pohybu členu č. 1 po členu č. 2 rychloposuvem

### 5.5.2. zátěžový stav č. 2

$$v_{32} := v_{3R} = 2 \frac{m}{s}$$

...pohyb členu č.3 po dráze členu č.4 je prováděn rychloposuvem

$$T_{R32} := 0.1 \cdot T_{c1} = 800 \text{ hr}$$

...celková doba pohybu členu č.3 po členu č. 4 rychloposuvem

### 5.5.3. Ujetá dráha - zátěžový stav č. 1

$$l_{s11} := T_{c2} \cdot v_1 = 7200000 \text{ m}$$

...ujetá dráha normálním posuvem člen č. 1

$$l_{R11} := T_{R11} \cdot v_{1R} = 28800000 \text{ m}$$

...ujetá dráha rychloposuvem člen č. 1

### 5.5.4. Ujetá dráha - zátěžový stav č. 2

$$l_{s32} := T_{c1} \cdot v_3 = 28224000 \text{ m}$$

...ujetá dráha normálním posuvem člen č. 3

$$l_{R32} := T_{R32} \cdot v_{3R} = 5760000 \text{ m}$$

...ujetá dráha rychloposuvem člen č. 3

## 5.6. Statická bezpečnost valivých jednotek

$$S_{OD} := 3$$

...dovolená hodnota statické bezpečnosti viz. str. 1 tab 1 - skriptu KKS/KOS

### 5.6.1. Člen 1 - stav 2

$$S_{OD12} := \left[ \frac{C_{03}}{F_{A31M}} \quad \frac{C_{03}}{F_{A32M}} \quad \frac{C_{03}}{F_{B31M}} \quad \frac{C_{03}}{F_{B32M}} \right] = [97 \quad 23.3 \quad 97 \quad 23.3]$$

$$S_{OD12min} := \min(S_{OD12}) = 23.3$$

$$S_{OD12f} := \begin{cases} \text{if } S_{OD12min} > S_{OD} \\ \quad \text{if } S_{OD12min} < S_{OD} \\ \quad \quad 0 \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 1 \end{cases} = 1$$

...vyhobuje statické bezpečnosti jednotek A1/A2 - B1/B2

### 5.6.2. Člen 3 - stav 1

$$S_{OD31} := \left[ \frac{C_0}{F_{A11M}} \quad \frac{C_0}{F_{A12M}} \quad \frac{C_0}{F_{A13M}} \quad \frac{C_0}{F_{B11M}} \quad \frac{C_0}{F_{B12M}} \quad \frac{C_0}{F_{B13M}} \right] = [9.1 \quad 14.9 \quad 6 \quad 17.4 \quad 29.4 \quad 7.5]$$

$$S_{OD31min} := \min(S_{OD31}) = 6$$

$$S_{OD31f} := \begin{cases} \text{if } S_{OD31min} > S_{OD} \\ \quad \text{if } S_{OD31min} < S_{OD} \\ \quad \quad 0 \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad 1 \end{cases} = 1$$

...vyhobuje statické bezpečnosti jednotek A1/A2/A3 - B1/B2/B3

## 5.7. Dynamická bezpečnost valivých jednotek

### 5.7.1. Dynamické ekvivalentní zatížení - stav 2 člen 1

$$F_{ekA31} := \left( \frac{F_{A31M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s11}}{l_{SC3}} \right)^{\frac{3}{10}} = 1.469 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky A1}$$

$$l_{SC3} := l_{s11} + l_{R11}$$

$$F_{ekA32} := \left( \frac{F_{A32M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s11}}{l_{SC3}} \right)^{\frac{3}{10}} = 6.108 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky A2}$$

$$F_{ekB31} := \left( \frac{F_{B31M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s11}}{l_{SC3}} \right)^{\frac{3}{10}} = 1.469 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky B1}$$

$$F_{ekB32} := \left( \frac{F_{B32M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s11}}{l_{SC3}} \right)^{\frac{3}{10}} = 6.108 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky B2}$$

### 5.7.2. Životnost valivých ložisek A1/A2/B1/B2 - stav 2 člen 1

$a_{01} := 1$  **m** ...součinitel 90% pravděpodobnosti dosažení životnosti POZN. dosazena jednotka m za účelem automatického zobrazení jednotky u  $L_{A31}$

$$L_{A31} := a_{01} \cdot \left( \frac{C_3}{F_{ekA31}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (2.114 \cdot 10^{11}) \text{ m} \quad L_{A32} := a_{01} \cdot \left( \frac{C_3}{F_{ekA32}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (1.828 \cdot 10^9) \text{ m}$$

$$L_{B31} := a_{01} \cdot \left( \frac{C_3}{F_{ekB31}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (2.114 \cdot 10^{11}) \text{ m} \quad L_{B32} := a_{01} \cdot \left( \frac{C_3}{F_{ekB32}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (1.828 \cdot 10^9) \text{ m}$$

#### 5.7.2.1. Dynamická bezpečnost k-té valivé jednotky spňující podmínku

$$S_{dyn\_A31} := \frac{L_{A31}}{l_{SC3}} = 5.873 \cdot 10^3 \quad S_{dyn\_A32} := \frac{L_{A32}}{l_{SC3}} = 50.765$$

$$S_{dyn\_B31} := S_{dyn\_A31} \quad S_{dyn\_B32} := S_{dyn\_A32}$$

$$S_{dyn\_i3i} := [S_{dyn\_A31} \ S_{dyn\_A32} \ S_{dyn\_B31} \ S_{dyn\_B32}] = [5.9 \cdot 10^3 \ 50.8 \ 5.9 \cdot 10^3 \ 50.8]$$

$$S_{dyn\_i3i} := \min(S_{dyn\_i3i}) = 50.765$$

$S_D := 2$  ...dynamická bezpečnost z tab. 1 str. 1 - podklady pro KKS/KOS

$$\min(S_{dyn\_i3i}) \geq S_D = 1$$

**Vyhovuje**

### 5.7.3. Dynamické ekvivalentní zatížení - stav 2 člen 3

$$F_{ekA21} := \left( \frac{F_{A21M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s32}}{l_{SC2}} \right)^{\frac{3}{10}} = 30.76 \text{ kN} \quad l_{SC2} := l_{s32} + l_{R32} = (3.398 \cdot 10^7) \text{ m} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky A1}$$

$$F_{ekA22} := \left( \frac{F_{A22M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s32}}{l_{SC2}} \right)^{\frac{3}{10}} = 8.431 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky A2}$$

$$F_{ekA23} := \left( \frac{F_{A23M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s32}}{l_{SC2}} \right)^{\frac{3}{10}} = 28.924 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky A3}$$

$$F_{ekB21} := \left( \frac{F_{B21M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s32}}{l_{SC2}} \right)^{\frac{3}{10}} = 19.227 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky B1}$$

$$F_{ekB22} := \left( \frac{F_{B22M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s32}}{l_{SC2}} \right)^{\frac{3}{10}} = 6.515 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky B2}$$

$$F_{ekB23} := \left( \frac{F_{B23M}^{\frac{10}{3}} \cdot l_{s32}}{l_{SC2}} \right)^{\frac{3}{10}} = 27.009 \text{ kN} \quad \dots \text{zatížení valivé jednotky B3}$$

### 5.7.3.1. Životnost valivých ložisek A1/A2/A3 / B1/B2/B3 - stav 2 člen 3

$a_{01} := 1 \text{ m}$  ...součinitel 90% pravděpodobnosti dosažení životnosti POZN. dosazena jednotka m za účelem automatického zobrazení jednotky u  $L_{A1i}$

$$L_{A21} := a_{01} \cdot \left( \frac{C}{F_{ekA21}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (1.488 \cdot 10^8) \text{ m} \quad L_{A22} := a_{01} \cdot \left( \frac{C}{F_{ekA22}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (1.113 \cdot 10^{10}) \text{ m}$$

$$L_{A23} := a_{01} \cdot \left( \frac{C}{F_{ekA23}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (1.827 \cdot 10^8) \text{ m}$$

$$L_{B21} := a_{01} \cdot \left( \frac{C}{F_{ekB21}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (7.128 \cdot 10^8) \text{ m} \quad L_{B22} := a_{01} \cdot \left( \frac{C}{F_{ekB22}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (2.628 \cdot 10^{10}) \text{ m}$$

$$L_{B23} := a_{01} \cdot \left( \frac{C}{F_{ekB23}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = (2.296 \cdot 10^8) \text{ m}$$

### **5.7.3.2. Dynamická bezpečnost k-té valivé jednotky spňující podmínku**

$$S_{dyn\_A21} := \frac{L_{A21}}{l_{SC2}} = 4.38$$

$$S_{dyn\_A22} := \frac{L_{A22}}{l_{SC2}} = 327.516$$

$$S_{dyn\_A23} := \frac{L_{A23}}{l_{SC2}} = 5.377$$

$$S_{dyn\_B21} := \frac{L_{B21}}{l_{SC2}} = 20.975$$

$$S_{dyn\_B22} := \frac{L_{B22}}{l_{SC2}} = 773.266$$

$$S_{dyn\_B23} := \frac{L_{B23}}{l_{SC2}} = 6.757$$

$$S_{dyn\_i2i} := [S_{dyn\_A21} \ S_{dyn\_A22} \ S_{dyn\_A23} \ S_{dyn\_B21} \ S_{dyn\_B22} \ S_{dyn\_B23}] = [4.4 \ 327.5 \ 5.4 \ 21 \ 773.3 \ 6.8]$$

$$S_{dyn\_i2i} := \min(S_{dyn\_i2i}) = 4.38$$

$S_D := 2$  ...dynamická bezpečnost z tab. 1 str. 1 - podklady pro KKS/KOS

$$\min(S_{dyn\_i2i}) \geq S_D = 1 \quad \text{Vyhovuje.}$$



## 6. Výpočet axiálního ložiska

### 6.1. Stav 1 - Transformace sil do soustavy souřadnic vedení - mezi členem 2 - 3

1. Rozměry vedení a konstrukce

$D_2 := 740 \cdot \text{mm}$  ...průměr vedení na střed kuliček

$\Delta z := 0 \text{ mm}$  ...pojezdy  $y_{24} = ?$

$x_{41} := 0 \text{ mm}$  ...souřadnice pohonu členu 2 v ose x

$y_{24} := 0 \text{ mm}$  ...souřadnice pohonu členu 2 v ose y

$z_{43} := -100 \cdot \text{mm}$  ...souřadnice pohonu členu 2 v ose z

$\eta_v := 0.98$  ...součinitel účinnosti vedení

2. Zatížení

$F_1 = 0.72 \text{ kN}$   $y_{23} = 0.3 \text{ m}$  ...Vzdálenost od gravitačního středu v ose Y tíhové složky  $G_3$

$F_2 = 0.48 \text{ kN}$   $y_{34} = 0.5 \text{ m}$  ...Vzdálenost od gravitačního středu v ose Y tíhové složky  $G_4$

$F_3 = 1.34 \text{ kN}$

$G_1 = 1.177 \text{ kN}$

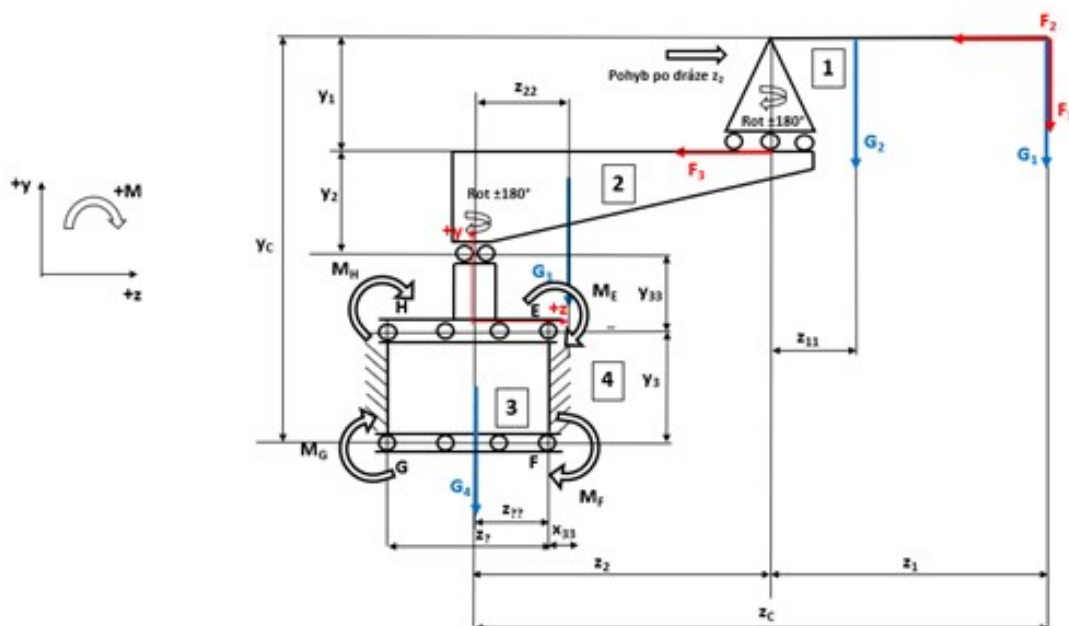
$G_2 = 13.141 \text{ kN}$

$G_3 = 8.032 \text{ kN}$

$G_4 = 11.258 \text{ kN}$

Stanovit

- Vektor síly a momentu v počátku souřadnic
- Reakce v axiálním ložisku
- Statickou a dynamickou bezpečnost axiálního ložiska



## 6.2. Vypocet

### 6.2.1. Souradnice pusobicich sil

ORIGIN := 1 pro vypocet matic, bere vypocty od 1 ne od nula

$z_{101} := z_{c1} = 5.1 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$z_{102} := z_{101}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$z_{103} := z_2 + z_{11} = 2.775 \text{ m}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$z_{104} := z_2 = 2 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$z_{105} := z_{22} = 1 \text{ m}$	Vzdálenost tíhové složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$y_{012} := (y_1 + y_2) = 1.592 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$y_{022} := y_{012}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$y_{032} := y_{012}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$y_{042} := (y_2) = 0.806 \text{ m}$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$y_{052} := (y_{23}) = 0.3 \text{ m}$	Vzdálenost tíhého složky $G_3$ od počátku souřadného systému
$x_{101} := 0$	Vzdálenost silové složky $F_1$ a tíhého složky $G_1$ od počátku souřadného systému
$x_{102} := x_{101}$	Vzdálenost silové složky $F_2$ od počátku souřadného systému
$x_{103} := x_{101}$	Vzdálenost tíhové složky $G_2$ od počátku souřadného systému
$x_{104} := 0$	Vzdálenost silové složky $F_3$ od počátku souřadného systému
$x_{105} := 0$	Vzdálenost tíhové složky $G_3$ od počátku souřadného systému

souřadnice v ose z, při posunu vozíku robota o celou délku členu 2

$z_{111} := z_{101} + \Delta z = 5.1 \text{ m}$	$z_{114} := z_{104} + \Delta z = 2 \text{ m}$
$z_{112} := z_{102} + \Delta z = 5.1 \text{ m}$	$z_{115} := z_{105} + \Delta z = 1 \text{ m}$
$z_{113} := z_{103} + \Delta z = 2.775 \text{ m}$	

### 6.2.2. Vektor síly a momentu v počátku souřadnice

$$F_{I1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -F_1 \\ -F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.72 \\ -0.48 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{II1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.177 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{III1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -13.141 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{IV1} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1.34 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad F_{V1} := \begin{bmatrix} 0 \\ -G_3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -8.032 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{s012} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{-1}{\eta_v} \cdot (F_{II1_2} + F_{III1_2} + F_{V1_2}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 22.805 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \dots \text{pos. síla}$$

$$r_{1012} := [x_{101} \ y_{012} \ z_{101}] = [0 \ 1.592 \ 5.1] \text{ m}$$

$$r_{112} := [x_{101} \ y_{012} \ z_{111}] = [0 \ 1.592 \ 5.1] \text{ m}$$

$$r_{122} := [x_{102} \ y_{022} \ z_{112}] = [0 \ 1.592 \ 5.1] \text{ m}$$

$$r_{132} := [x_{103} \ y_{032} \ z_{113}] = [0 \ 1.592 \ 2.775] \text{ m}$$

$$r_{142} := [x_{104} \ y_{042} \ z_{114}] = [0 \ 0.806 \ 2] \text{ m}$$

$$r_{152} := [x_{105} \ y_{052} \ z_{115}] = [0 \ 0.3 \ 1] \text{ m}$$

$$r_{S12} := [x_{41} \ y_{24} \ z_{43}] = [0 \ 0 \ -0.1] \text{ m} \quad \text{vektor posouvající síly}$$

$$r_{S12}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.1 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$F_{c12} := F_{I1} + F_{II1} + F_{III1} + F_{IV1} + F_{V1} + F_{s012} \quad \dots \text{síla v počátku souřadnic X, Y, Z}$$

$$F_{c12}^T = [0 \ -23.069 \ 20.985] \text{ kN}$$

$$r_{112}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.592 \\ 5.1 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$M_{021} := r_{1012}^T \times F_{I1} = \begin{bmatrix} 2.908 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{122} := r_{122}^T \times F_{II1} = \begin{bmatrix} 6.002 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{121} := r_{112}^T \times F_{I1} = \begin{bmatrix} 2.908 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{123} := r_{132}^T \times F_{III1} = \begin{bmatrix} 36.466 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{124} := r_{142}^T \times F_{IV1} = \begin{bmatrix} -1.08 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{125} := r_{152}^T \times F_{V1} = \begin{bmatrix} 8.032 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{S12} := r_{S12}^T \times F_{s012} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{c22} := M_{021} + M_{121} + M_{122} + M_{123} + M_{124} + M_{125} + M_{S12}$$

$$M_{c22}^T = \begin{bmatrix} 55.235 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### 6.2.3. Slozky vektoru k souř. syst. členu 2 - stavu 1

$$F_{x12} := F_{c12_1} = 0 \text{ kN} \quad F_{y12} := F_{c12_2} = -23.069 \text{ kN} \quad F_{z12} := F_{c12_3} = 20.985 \text{ kN}$$

$$M_{x12} := M_{c22_1} = 55.235 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y12} := M_{c22_2} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{z12} := M_{c22_3} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### 6.2.4 Zatížení, statická a dynamická bezpečnost ložiska

$$F_{r12} := \sqrt{F_{x12}^2 + F_{z12}^2} = 20.985 \text{ kN} \quad \dots \text{radiální síla působící na axiální ložisko}$$

$$F_{a12} := F_{y12} = -23.069 \text{ kN} \quad \dots \text{axiální síla působící na axiální ložisko}$$

$$M_{12} := \sqrt{M_{x12}^2 + M_{z12}^2} = 55.235 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots \text{moment kolem osy } \mathbf{y} \text{ působící na axiální ložisko}$$

### **6.2.5 Zatížení, statická a dynamická bezpečnost ložiska - axiálně radiální ložisko s křížovým uspořádáním kuliček**

$$F_{0P12} := F_{r12} + \frac{2 \cdot M_{12}}{D_2} + 0.44 \cdot F_{a12} = 160.119 \text{ kN} \quad \dots \text{Ekvivalentní statické zatížení ložiska}$$

$$C_{012} := 355514 \cdot \text{N}$$

$$S_{012} := \frac{C_{012}}{F_{0P12}} = 2.22 \quad \dots \text{Statická bezpečnost se stanoví pomocí vztahu}$$

### **6.2.6. Dynamická bezpečnost**

$$\kappa_{12} := \frac{F_{a12}}{F_{r12} + \frac{2 \cdot M_{12}}{D_2}} = -0.135$$

$$X_{12} := 0.67 \quad Y_{12} := 0.67 \quad \dots \text{pro } \kappa_{12} \leq 1.5$$

$$F_{P12} := X_{12} \cdot \left( F_{r12} + \frac{2 \cdot M_{12}}{D_2} \right) + Y_{12} \cdot F_{a12} = 98.624 \text{ kN}$$

$$q_{12} := \frac{T_{c1}}{T_{c1}} = 1 \quad \dots \text{poměrná doba běhu}$$

$$n_{12} := 60 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$n_{m12} := q_{12} \cdot n_{12} = 1 \frac{1}{s} \quad \dots \text{střední otáčky}$$

$$F_{Pm12} := \frac{F_{P12} \cdot q_{12} \cdot n_{12}}{n_{m12}} = 98.624 \text{ kN}$$

### **6.2.7. Životnost ložiska a dynamická bezpečnost**

$$L_{h12} := \left( \frac{C_{012}}{F_{Pm12}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n_{m12}} = 19950.14 \text{ hr} \quad \dots \text{vypočítaná dynamická životnost ložiska}$$

$$S_{DYN12} := \frac{L_{h12}}{T_{c1}} = 2.494 \quad \dots \text{bezpečnostní koeficient dynamické bezpečnost. Je větší než 2, pak axiální ložisko splňuje požadavky}$$

## 7. Návrh pohonů jednotlivých podsestav ramene robota

### 7.1. Návrh pohonu master sleeve posuvového mechanismu členu 1

Zatížení pastorků mechanismu M-S

$$f_v := 0.0045 \quad \dots \text{souč. tření val. vedení}$$

$$L_x := 700 \cdot \text{mm}$$

...délka vedení vozíku

$$L_c := 2 \cdot m$$

...pojezd vozíku

$$F_{c4} := F_{I1} + F_{II1} + F_{III1} + F_{IV1}$$

$$F_{c4}^T = \begin{bmatrix} 0 & -1.504 \cdot 10^4 & -1.82 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ N}$$

$$F_{c4_3} = -1.82 \text{ kN}$$

$$F_{cz1} := F_{c4_3} = -1.82 \text{ kN}$$

...posouvající síla v ose z

$$F_{cy1} := F_{c4_2} = -15.038 \text{ kN}$$

...posouvající síla v ose y

$$v_{s1} := \begin{bmatrix} v_1 & v_{1R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 \end{bmatrix} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

...Vektor rychlosti a rychlosti při rychloposuvu pohybu po vedení č. 2

$$T_1 := \begin{bmatrix} T_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ hr}$$

...Vektor doby běhu složky pohybu po vedení č. 2

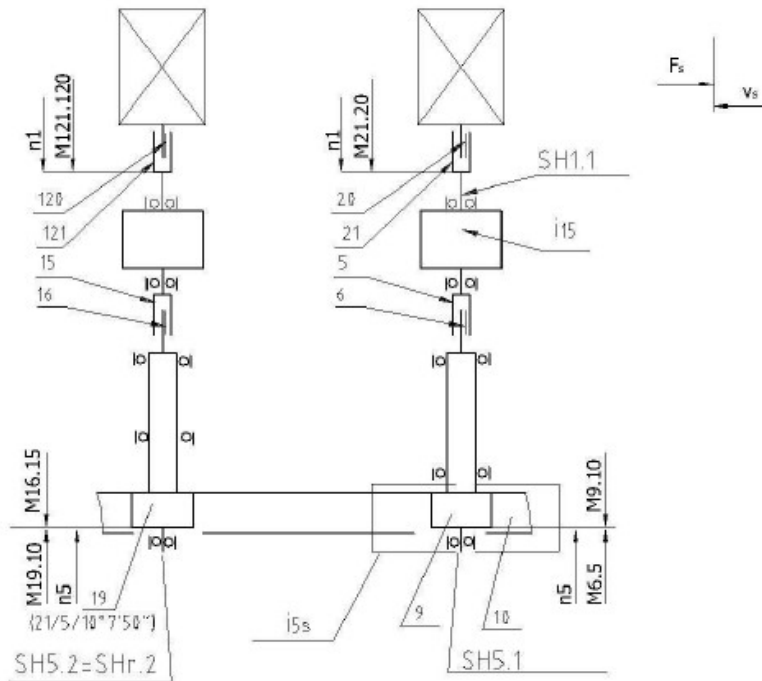
$$M_{z1} := M_{c3_1} = (1.808 \cdot 10^4) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_{R11} := \frac{-F_{c4_2}}{2} + \frac{M_{z1}}{L_x} = 33.344 \text{ kN}$$

$$F_{R12} := \frac{-F_{c4_2}}{2} - \frac{M_{z1}}{L_x} = -18.306 \text{ kN}$$

$$F_{T1} := \left( |F_{R11}| + |F_{R12}| \right) \cdot f_v = 232.428 \text{ N} \quad \dots \text{Třecí síla ve vedení valivých těles, odhad}$$

Druh zatížení je symetrický



$$F_{1s1} := \frac{-1}{\eta_v} \cdot (F_{I1_2} + F_{II1_2} + F_{III1_2} + F_{IV1_2})$$

$$F_{s11} := F_{1s1} + F_{T1} = 15.577 \text{ kN} \quad \dots \text{Vektor zatížení vodících ploch}$$

$$v_{s1} = [30 \ 60] \frac{m}{min} \quad \dots \text{Vektor rychlosti}$$

$$F_{sC1} := |F_{cz1}| + F_{T1} = 2.052 \text{ kN} \quad \dots \text{Maximální posuvová síla je největší hodnota z vektoru zatížení. V ose Z viz. dynamické síly + v ose Y je hodnota uvádějící sílu nutnou pro překonání normály valicého vedení.}$$

Setrvačné síly se neuvažují.

$$F_{M1} := \frac{F_{sC1}}{2} = 1.026 \text{ kN} \quad \dots \text{Maximální síla na pastorku } F_{M1}$$

$$F_{01} := 0.3 \cdot F_{M1} = 0.308 \text{ kN} \quad \dots \text{Předepětí pastorku}$$

$$F_{91} := F_{01} + \frac{F_{s11}}{2} = (8.096 \cdot 10^3) \text{ N} \quad \dots \text{Vektor zatížení pastorku 9}$$

$$F_{191} := F_{s11} - F_{91} = (7.481 \cdot 10^3) \text{ N} \quad \dots \text{Vektor zatížení pastorku 19}$$

$$F_{9101} := [F_{91} \ -F_{191}] = [8.096 \ -7.481] \text{ kN} \quad \dots \text{Vektory zatížení pastorků od hřebene 10, obvodová síla postorku 9}$$

$$F_{19101} := [F_{191} \ -F_{91}] = [7.481 \ -8.096] \text{ kN} \quad \dots \text{Vektory zatížení pastorků od hřebene 10, obvodová síla postorku 19}$$

$m_{sC1} := 1400 \cdot \text{kg}$  ...hmotnost robota + vozíku člen č1  
 $\eta_{rs} := 0.98$  ...účinnost finálního převodu člen č. 1

$\eta_{1s} := 0.9$  ...celková účinnost převodu člen č. 1 (převod)

$m_{g1} := 2 \cdot \text{mm}$  ...modul hřebenu a pastorku

$\beta_{g1} := 19.523^\circ$  ...úhel sklonu hřebene a pastorku

$z_{g1} := 20$  ...počet zubů pastorku člen 1

...smysl stoupání levý

$J_{rs1} := 0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  ...moment setrvačnosti cestavy

### **Stanovit:**

parametry motoru ( $P_l, n_l$ )

parametry redukční převodovky ( $i_{lr}, n_l, r_1, \eta, M_r, J_{lr}$ )

finální převod  $i_{rs}$ , celkový převod  $i_{ls}$ , celkovou účinnost  $\eta_{ls}$

analýzu setrvačných hmot mechanismu

vektory parametrů finálního převodu a převodovky ( $M_{ri}, n_{ri}, T_i$ )

$v_{s1M} := \max(v_{s1})$  ...maximální rychlost saní

$P_{11} := F_{sC1} \cdot v_{s1M} \cdot \frac{1}{\eta_{1s}} = 2.28 \text{ kW}$  ...Potřebný minimální výkon motoru

$m_{mot\_red1} := \frac{m_{sC1}}{3} = 466.667 \text{ kg}$  ...redukovaná hmota pohonu (motoru)



# VERZE 4 - statické řešení rovnováhy v rovině - revA01

$n_{rated}$	SH	$P_{rated}$ at $\Delta T=100$ K	$M_0$ at $\Delta T=100$ K	$M_{rated}$ at $\Delta T=100$ K	$I_{rated}$ at $\Delta T=100$ K		pairs	(without brake)	
rpm		kW (HP)	Nm (lbf-ft)	Nm (lbf-ft)	A	Order No.	$p$	$J$ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ( $10^{-3}$ lbf-in-s <sup>2</sup> )	$m$ kg (lb)
1FT7 Compact for DC link voltage 510 ... 720 V DC – Natural cooling									
1500	100	4.08 (5.47)	30 (22.1)	26 (19.2)	8	1FT7102-5AB7-1 ■ ■ ■	5	91.4 (80.9)	26.1 (57.5)
		6.60 (8.85)	50 (36.9)	42 (31.0)	13	1FT7105-5AB7-1 ■ ■ ■	5	178 (157)	44.2 (97.5)
		9.58 (12.8)	70 (51.6)	61 (45.0)	16	1FT7108-5AB7-1 ■ ■ ■	5	248 (219)	59 (130)
2000	80	2.39 (3.20)	13 (9.6)	11.4 (8.4)	4.9	1FT7082-5AC7-1 ■ ■ ■	5	26.5 (23.5)	14 (30.9)
		3.54 (4.75)	20 (14.8)	16.9 (12.5)	8.4	1FT7084-5AC7-1 ■ ■ ■	5	45.1 (39.9)	20.8 (45.9)
		4.71 (6.32)	28 (20.7)	22.5 (16.6)	9.2	1FT7086-5AC7-1 ■ ■ ■	5	63.6 (56.3)	27.5 (60.6)
	100	5.03 (6.75)	30 (22.1)	24 (17.7)	10	1FT7102-5AC7-1 ■ ■ ■	5	91.4 (80.9)	26.1 (57.5)
		7.96 (10.7)	50 (36.9)	38 (28.0)	15	1FT7105-5AC7-1 ■ ■ ■	5	178 (157)	44.2 (97.5)
		10.5 (14.1)	70 (51.6)	50 (36.9)	18	1FT7108-5AC7-1 ■ ■ ■	5	248 (219)	59 (130)
3000	48	0.85 (1.14)	3 (2.2)	2.7 (2.0)	2.1	1FT7042-5AF7-1 ■ ■ ■	3	2.81 (2.49)	4.6 (10.1)
		1.35 (1.81)	5 (3.7)	4.3 (3.2)	2.6	1FT7044-5AF7-1 ■ ■ ■	3	5.43 (4.81)	7.2 (15.9)
		1.76 (2.36)	7 (5.2)	5.6 (4.1)	3.5	1FT7046-5AF7-1 ■ ■ ■	3	7.52 (6.66)	9.3 (20.5)
	63	1.70 (2.28)	6 (4.4)	5.4 (4.0)	3.9	1FT7062-5AF7-1 ■ ■ ■	5	7.36 (6.51)	7.1 (15.7)
		2.39 (3.20)	9 (6.6)	7.6 (5.6)	5.2	1FT7064-5AF7-1 ■ ■ ■	5	11.9 (10.5)	9.7 (21.4)
		2.92 (3.92)	12 (8.9)	9.3 (6.9)	7.2	1FT7066-5AF7-1 ■ ■ ■	5	16.4 (14.5)	12.3 (27.1)
		3.42 (4.59)	15 (11.1)	10.9 (8.0)	6.7	1FT7068-5AF7-1 ■ ■ ■	5	23.2 (20.5)	16.3 (35.9)
	80	3.24 (4.34)	13 (9.6)	10.3 (7.6)	6.6	1FT7082-5AF7-1 ■ ■ ■	5	26.5 (23.5)	14 (30.9)
		4.55 (6.10)	20 (14.8)	14.5 (10.7)	8.5	1FT7084-5AF7-1 ■ ■ ■	5	45.1 (39.9)	20.8 (45.9)
		5.65 (7.58)	28 (20.7)	18 (13.3)	11	1FT7086-5AF7-1 ■ ■ ■	5	63.6 (56.3)	27.5 (60.6)

$J_{1m1} := 2 \cdot 23.2 \cdot 10^{-4} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2$  ...moment setrvačnosti kotvy motoru 1, pro 2 pohony M-S:  
1FT7068-5AF7

$n_{p1} := 2$  ...počet pohonů pro M-S v sestavě

$P_{rated1} := 3.42 \cdot \text{kW}$  ...tabulková hodnota výkonu pohonu 1FT7068-5AF7

$P_{mot1} := n_{p1} \cdot P_{rated1} = 6.84 \text{ kW}$   $P_{mot1} \geq P_{11} = 1$  ...Vyhovuje

$i_{1sJ} := \sqrt{\frac{m_{mot\_red1}}{J_{1m1}}} = 317.135 \frac{1}{\text{m}}$  ...min. celk. převod dle kvadratického momentu pohonu 1

$m_{poh1} := 16.3 \cdot \text{kg}$  ...hmota pohonu členu 1

$m_{poh\_celk\_1} := n_{p1} \cdot m_{poh1} = 32.6 \text{ kg}$  ...hmota pohonu celkem členu 1

### 7.1.1. Návrh převodovky

$$m_{g1} := 2 \cdot \text{mm} \quad \dots \text{modul hřebenu a pastorku}$$

$$\beta_{g1} := 19.523^\circ \quad \dots \text{úhel sklonu hřebene a pastorku}$$

$$z_{g1} := 20 \quad \dots \text{počet zubů pastorku člen 1}$$

...smysl stoupání levý

$$h_{P1} := \pi \cdot \frac{z_{g1} \cdot m_{g1}}{\cos(\beta_{g1})} = 0.133 \text{ m}$$

$$i_{rs1} := \frac{2 \cdot \pi}{h_{P1}} = 47.125 \frac{1}{\text{m}} \quad \dots \text{finální převod}$$

$$F_{s1} := F_{M1} = 1.026 \text{ kN} \quad \dots \text{síla na pastorek}$$

$$M_{r1} := F_{s1} \cdot \frac{1}{i_{rs1}} \cdot \frac{1}{\eta_{rs}} = 22.221 \text{ N}\cdot\text{m} \quad \dots \text{Maximální moment na souhmotí SHr}$$

$$M_{6.51i} := F_{9101} \cdot \frac{-1}{i_{rs1} \cdot \eta_{rs}} = [-175.311 \quad 161.979] \text{ N}\cdot\text{m} \quad \dots \text{vektor momentu na pastorku 9}$$

$$M_{16.151i} := F_{19101} \cdot \frac{-1}{i_{rs1} \cdot \eta_{rs}} = [-161.979 \quad 175.311] \text{ N}\cdot\text{m} \quad \dots \text{vektor momentu na pastorku 19}$$

$$n_{r1} := \frac{v_{s1}}{h_{P1}} = [225.007 \quad 450.014] \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{vektor otáček}$$

$$n_{11} := 3000 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{otáčky motoru} - \text{tabulková hodnota pohonu 1FT7084-5AF7}$$

$$\omega_{11} := 2 \cdot \pi \cdot n_{11} = 314.159 \frac{1}{\text{s}}$$

$$i_{1s1} := \frac{\omega_{11}}{v_{s1}} = [628.319 \quad 314.159] \frac{1}{\text{m}} \quad \dots \text{celkový převod}$$

$$M_{16.151i} := \max(M_{16.151i}) = 175.311 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{rM1} := \max(M_{16.151i}) = 175.311 \text{ N}\cdot\text{m}$$

...maximální hodnota momentu při nejrychlejším pohybu vozíku

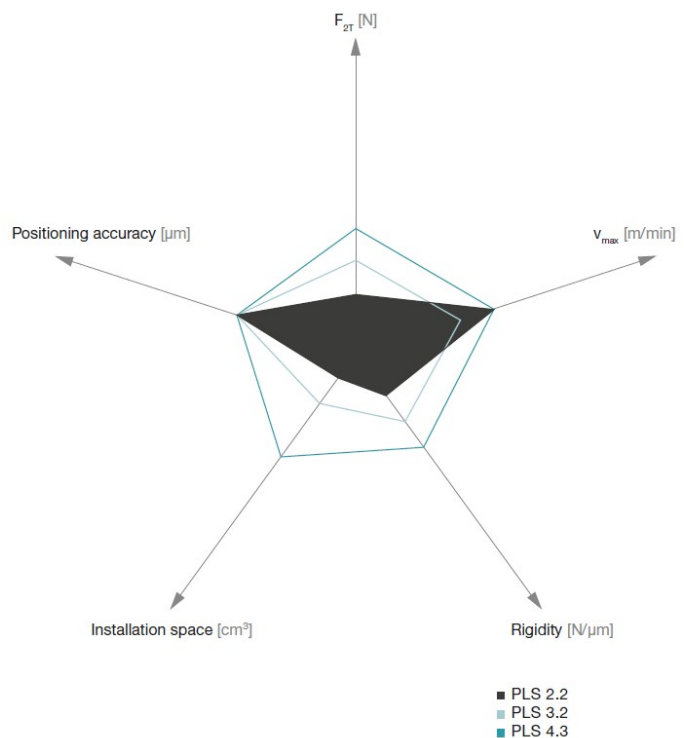
$$i_{1r1} := \frac{i_{1s1}}{i_{rs1}} = [13.333 \quad 6.666] \quad \dots \text{vstupní převod 6.66 ok}$$

## VERZE 4 - statické řešení rovnováhy v rovině - revA01

Performance Linear System 2.2		1 stage	2 stage
Max. moving force	$F_{2T}$ [N]	5300	5300
Max. movement speed <sup>1)</sup>	$v_{max}$ [m/min]	265	50
Ratios	i	3 / 4 / 5 / 7 / 10	16 / 20 / 25 / 28 / 35 / 40 / 50 / 70 / 100
Max. input speed	$n_{1max}$ [min <sup>-1</sup> ]	6000	6000
System weight (gearhead including pinion)	m [kg]	4,3	3,9
Lubrication	gearhead	lubricated for life	
	pinion/rack <sup>2)</sup>	lubrication pinion in preparation with lubricant WITTENSTEIN alpha G11 <sup>2</sup>	
Clamping hub diameter	[mm]	14 / 19 / 24	11 / 14 / 19

High Performance Preferred Pinion			
Module	$m_n$ [mm]	2	
Number of teeth	z	20	
Pressure angle	$\alpha$	20°	
Inclination angle	$\beta$	19.5283°	
Flanks form		left	

You will find additional available pinions on page 42  
 Extended information on the High Performance Rack  
 on pages 44-46



## SP+ 100 MF 1-stage

			1-stage					
Ratio	<i>i</i>		3	4	5	7	8	10
Max. torque $T_{20}$	$T_{20}$	Nm	376	495	495	428	376	376
		in.lb	3328	4381	4381	3784	3328	3328
Max. acceleration torque $T_{20}$ (max. 1000 cycles per hour)	$T_{20}$	Nm	282	378	378	378	282	282
		in.lb	2496	3346	3346	3346	2496	2496
Nominal torque (at $n_d$ )	$T_{20}$	Nm	131	171	169	166	166	174
		in.lb	1157	1510	1498	1473	1470	1538
Emergency stop torque $T_{20}$ (permitted 1000 times during the service life of the gearbox)	$T_{20}$	Nm	500	625	625	625	625	625
		in.lb	4425	5532	5532	5532	5532	5532
Permitted average input speed (at $T_{20}$ and 20 °C ambient temperature) $n_{in}$	$n_{in}$	rpm	2500	2500	2500	2800	2800	2800
Max. input speed $n_{max}$	$n_{max}$	rpm	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Mean no load running torque $T_{02}$ (at $n_1 = 3600$ rpm and 20 °C gearbox temperature)	$T_{02}$	Nm	3.1	2.4	2.1	1.3	1.0	1.0
		in.lb	28	21	18	12	9.2	9.2
Max. backlash $i_j$	$i_j$	arcmin	Standard $\leq 3$ / Reduced $\leq 1$					
Torsional rigidity $C_{01}$	$C_{01}$	Nm/arcmin	31					
		in.lb/arcmin	274					
Max. axial force $F_{XMAX}$	$F_{XMAX}$	N	5650					
		lb <sub>r</sub>	1271					
Max. lateral force $F_{YMAX}$	$F_{YMAX}$	N	8600					
		lb <sub>r</sub>	1485					
Max. tilting moment $M_{XMAX}$	$M_{XMAX}$	Nm	487					
		in.lb	4310					
Efficiency at full load $\eta$	$\eta$	%	97					
Service life $L_T$	$L_T$	h	> 20000					
Weight (incl. standard adapter plate) $m$	$m$	kg	7.7					
		lb <sub>m</sub>	17					
Operating noise (at reference ratio and reference speed – ratio-specific values available in cymsa®)	$L_{PM}$	dB(A)	≤ 58					
Max. permitted housing temperature		°C	+90					
		F	194					
Ambient temperature		°C	-15 to +40					
		F	5 to 104					

$$n_{rm1} := \frac{\sum n_{r1}}{2} = 337.511 \frac{1}{\min} \quad n_{1m1} := n_{rm1} \cdot \frac{\sum i_{1r1}}{2} = 3375 \frac{1}{\min} \quad \dots \text{střední otáčky na vstupní hřídeli}$$

$$m_{gb1} := 4.3 \cdot kg \quad \dots \text{hmota převodovky}$$

$$m_{gbc1} := n_{p1} \cdot m_{gb1} = 8.6 \, kg \quad \dots \text{hmota převodovky celkem}$$

Limitní hodnota jmenovitých otáček zvolené převodovky musí být větší

### 7.1.2. Analýza momentů setrvačnosti mechanismu:

$$J_{1r1} := 0.00116 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti převodovky}$$

$$J_{rs1} := 0.0002 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti pastorku}$$

$$J_{1m1} = 0.005 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti kotvy motoru 1}$$

$$m_{s1} := \frac{m_{sC1}}{2} = 700 \text{ kg}$$

$$i_{1r11} := i_{1r1} = [13.333 \quad 6.666]$$

$$J_{1p11} := J_{1r1} + J_{rs1} \cdot \frac{1}{\max(i_{1r1})^2} + m_{s1} \cdot \frac{1}{\max(i_{1s1})^2} = 0.003 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{1p12} := J_{1r1} + J_{rs1} \cdot \frac{1}{\min(i_{1r1})^2} + m_{s1} \cdot \frac{1}{\min(i_{1s1})^2} = 0.008 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\mu_{p1} := \frac{J_{1p11}}{J_{1m1}} = 0.632 \quad \mu_{p2} := \frac{J_{1p12}}{J_{1m1}} = 1.78$$

Vyhovuje - systémy s  $> 2 \text{ } \mu$  mají horší dynamickou stabilitu (překmity při rozjezdu a zastavení)

### 7.1.3. Celkové hmoty pohonu členu 1

$$m_{diff\_1} := (m_{gbc1} + m_{poh\_celk\_1}) \cdot 0.5 + (m_{gbc1} + m_{poh\_celk\_1}) = 61.8 \text{ kg}$$

...0.5 uvádí navýšení celkové hmoty o 50% pro nutný hardware napájení pohonů, a jejich uložení

## 7.2. Návrh pohonu master sleeve rotačního mechanismu členu 2

$$n_{sM2} := 15 \cdot \frac{1}{\min} \quad \dots \text{max. otáčky ramene členu 2}$$

$$n_{s2} := n_{sM2}$$

$$\omega_{s2} := 2 \cdot \pi \cdot n_{s2} = 1.571 \frac{1}{s} \quad \dots \text{max. úhlová rychlost}$$

$$q_{\varepsilon 2} := 0.1 \quad \dots \text{podíl doby zrychleného a zpomalovaného pohybu k celk. času natočení}$$

$$\Phi_{c2} := \pi \quad \dots \text{max. úhel natočení}$$

$$\varepsilon_{s2} := \frac{\omega_{s2}^2 \cdot (2 - q_{\varepsilon 2})}{\Phi_{c2} \cdot q_{\varepsilon 2}} = 14.923 \frac{1}{s^2}$$

$$q_{\omega 2} := \frac{\frac{\Phi_{c2} \cdot \varepsilon_{s2}}{\omega_{s2}^2} - 1}{\frac{\Phi_{c2} \cdot \varepsilon_{s2}}{\omega_{s2}^2} + 1} = 0.9 \quad \dots \text{podíl rovnoměrného pohybu}$$

$$T_{c2} := \frac{2 \cdot \omega_{s2}}{\varepsilon_{s2}} + \frac{\Phi_{c2}}{\omega_{s2}} = 2.211 s \quad \dots \text{celkový čas natočení o 180 deg}$$

$$J_{1zz} := 1.37 \cdot 10^3 \cdot kg \cdot m^2 \quad \dots \text{mom. setr. ramene}$$

$$m_R := 1362 \cdot kg \quad \dots \text{hmotnost robotu se zátěží}$$

$$a_R := 100 \cdot mm \quad \dots \text{odchylka polohy od osy rotace (fiktivní předpoklad)}$$

$$J_{mzz} := a_R^2 \cdot m_R = 13.62 kg \cdot m^2 \quad \text{Pozn.: Jrobotu = ?}$$

$$J_{zz} := J_{1zz} + J_{mzz} = (1.384 \cdot 10^3) kg \cdot m^2$$

$$M_{s2} := J_{zz} \cdot \varepsilon_{s2} = 20.647 kN \cdot m \quad \dots \text{zrychl. moment na členu s}$$

$$P_2 := M_{s2} \cdot \omega_{s2} = 32.432 kW \quad \dots \text{výkon při zrychlení na max. ot.}$$

$$J_{mot.red2} := \frac{J_{zz}}{3} = 461.207 kg \cdot m^2 \quad \dots \text{min. red. moment setrvačnosti motoru - podmínka stability regulace při polohování}$$

## SIMOTICS servomotors

### SIMOTICS S synchronous motors for SINAMICS S120

#### SIMOTICS S-1FT7 Compact motors Forced ventilation

##### Selection and ordering data

Rated speed	Shaft height	Rated power	Static torque	Rated torque	Rated current	SIMOTICS S-1FT7 Compact synchronous motors	Number of pole pairs	Moment of inertia of rotor (without brake)	Weight (without brake)
$n_{rated}$	SH	$P_{rated}$ at $\Delta T=100\text{ K}$	$M_0$ at $\Delta T=100\text{ K}$	$M_{rated}$ at $\Delta T=100\text{ K}$	$I_{rated}$ at $\Delta T=100\text{ K}$	Order No.	$p$	$J$	$m$
rpm		kW (HP)	Nm (lbf-ft)	Nm (lbf-ft)	A			$10^{-4}\text{ kgm}^2$ ( $10^{-3}\text{ lb}_f\text{-in-s}^2$ )	kg (lb)
1FT7 Compact for DC link voltage 510 ... 720 V DC – Forced ventilation									
2000	80	5.0 (6.7)	27 (19.9)	24 (17.7)	13.5	1FT7084-5SC7-1 ■■■	5	45 (39.8)	25 (55.1)
		6.7 (8.98)	36 (26.5)	32 (23.6)	17	1FT7086-5SC7-1 ■■■	5	64 (56.7)	36 (79.4)
	100	11.7 (15.7)	65 (47.9)	56 (41.3)	29	1FT7105-5SC7-1 ■■■	5	178 (157.6)	50 (110.3)
		15.3 (20.5)	91 (67.1)	73 (53.8)	33	1FT7108-5SC7-1 ■■■	5	248 (219.5)	64 (141.1)
3000	80	7.2 (9.66)	27 (19.9)	23 (17)	18.5	1FT7084-5SF7-1 ■■■	5	45 (39.8)	25 (55.1)
		9.1 (12.2)	36 (26.5)	29 (21.4)	24	1FT7086-5SF7-1 ■■■	5	64 (56.7)	36 (79.4)
	100	15.1 (20.3)	65 (47.9)	48 (35.4)	35	1FT7105-5SF7-1 ■■■	5	178 (157.6)	50 (110.3)
		18.8 (25.1)	91 (67.1)	60 (44.3)	38	1FT7108-5SF7-1 ■■■	5	248 (219.5)	64 (141.1)
4500	80	9.9 (13.3)	27 (19.9)	21 (15.5)	24.5	1FT7084-5SH7-1 ■■■	5	45 (39.8)	25 (55.1)
		11.8 (15.8)	36 (26.5)	25 (18.4)	25	1FT7086-5SH7-1 ■■■	5	64 (56.7)	36 (79.4)

$$J_{mot2} := 2 \cdot 248 \cdot 10^{-4} \cdot \text{kg} \cdot m^2 \quad \dots 2 \text{ motory M-S: } 1FT7108-5SF7$$

$$n_{p1} := 2 \quad \dots \text{počet pohonů pro M-S v sestavě}$$

$$P_{rated2} := 18.8 \cdot \text{kW} \quad \dots \text{tabulková hodnota výkonu pohonu } 1FT7108-5SF7$$

$$P_{mot2} := n_{p1} \cdot P_{rated2} = 37.6 \text{ kW} \quad P_{mot2} \geq P_2 = 1 \quad \dots \text{Vyhovuje}$$



### 7.2.1. Návrh převodovky členu 2

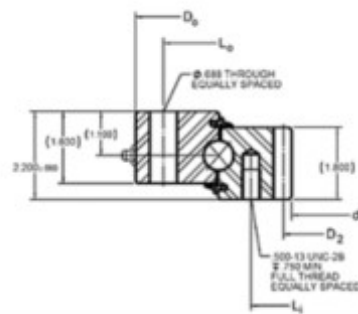
$$i_{1sJ2} := \sqrt{\frac{J_{mot.red2}}{J_{mot2}}} = 24.107 \text{ } m \quad \dots \text{min. celk. převod dle } J_{mot}$$

$$n_{1M2} := 3000 \cdot \frac{1}{min} \quad \dots \text{max. ot. motoru}$$

$$i_{1s2} := \frac{n_{1M2}}{n_{sM2}} = 200 \quad \dots \text{celk. převod}$$

$$m_{poh2} := 64 \cdot kg \quad \dots \text{hmota pohonu členu 2}$$

$$m_{poh\_celk\_2} := n_{p1} \cdot m_{poh2} = 128 \text{ } kg \quad \dots \text{hmota pohonu celkem členu 2}$$



See glossary of symbols

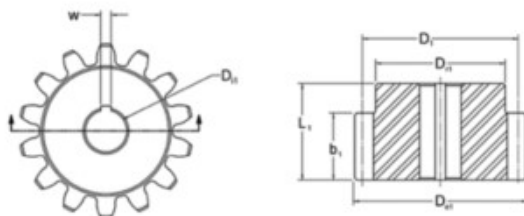
Internal gear													
Kaydon part number	Load chart	Outline dimensions & weight			Mounting holes				Gear data inv. stub, $\alpha = 20^\circ$			Max gear tooth load $F_z$ (lbs)	Moment rating $C_m$ (ft-lbs)
		$D_o$ (in)	$d_i$ (in)	G approx. (lbs)	Outer ring		Inner ring		$D_2$ (in)	$P_d$	$z_2$		
					$L_o$ (in)	$n_o$	$L_i$ (in)	$n_i$					
HS6-16N1Z		20.400	12.850	92	19.000	8	14.880	16	13.250	4	53	6,084	50,500
HS6-21N1Z		25.500	17.600	117	24.000	12	19.630	20	18.000	4	72	5,842	72,700
HS6-25N1Z		29.500	21.600	148	28.000	15	23.630	24	22.000	4	88	5,719	91,800
HS6-29N1Z		33.400	25.600	171	32.000	15	27.630	28	26.000	4	104	5,634	111,900

Obrázek 49 - HS6-29N1Z – utěsněné axiální ložisko s maznicí a vnitřním osazením, maximální moment 111900 ft-lbs

$$M_{sD2} := 111900 \cdot ft \cdot lbf = 151.716 \text{ } kN \cdot m \quad \dots \text{mezní moment věnce fin. převodu}$$



See glossary of symbols



Mating pinions												
Bearing part number	Pinion part number	Gear data ( $\alpha = 20^\circ$ )				Outline dimensions & weight						
		Tooth form	$z_1$	$P_d$ (in)	$b_1$ (in)	$L_1$ (in)	$D_1$ (in)	$D_{o1}$ (in)	$D_{f1}$ (in)	$D_{b1}$ (in)	$w$ (in)	G approx. (lbs)
RK6-16 thru RK6-29	39200001 39200002	SD	14 17	4 4	2.000 2.000	2.880 2.880	3.500 4.250	3.900 4.650	2.880 3.630	1.000 1.000	1/4	6.4 10.0
RK6-33 thru RK6-43	39200003 39200004	SD	14 17	3 3	2.000 2.000	2.880 2.880	4.667 5.667	5.200 6.200	3.880 4.880	1.250 1.250	5/16	11.4 18.3
Tolerances			Ref.		$\pm 0.15$	$\pm 0.15$	Ref.	+0.000 -0.010	Ref.	+0.002 -0.000		

Obrázek 48 - součástí vnitřního ozubení je také dodání pastorku

$$z_2 := 104 \quad z_1 := 17 \quad \eta := 0.98 \quad \dots \text{fin. převod}$$

$$i_{rs2} := \frac{z_2}{z_1} = 6.118$$

$$M_{r2} := \frac{M_{s2}}{i_{rs2} \cdot \eta} = 3.444 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots \text{moment na výstupu převodovky}$$

$$i_{1r2} := \frac{i_{1s2}}{i_{rs2}} = 32.692 \quad \dots \text{vstupní převod}$$

alfa-advanced-line

## SP<sup>+</sup> 210 MF 2-stage

			2-stage										
Ratio	<i>i</i>		16	20	25	28	32	35	40	50	64	70	100
Max. torque <sup>a) b) c)</sup>	<i>T</i> <sub>2a</sub>	Nm	3159	3159	3949	3159	3159	3840	2880	3600	2043	2457	2043
		in.lb	27958	27958	34947	27958	27958	33987	25490	31863	18081	21745	18081
Max. acceleration torque <sup>a) b) c)</sup> (max. 1000 cycles per hour)	<i>T</i> <sub>2B</sub>	Nm	2880	3000	3000	2880	2880	2880	2840	2880	2043	2457	2043
		in.lb	25490	26552	26552	25490	25490	25490	25136	25490	18081	21745	18081
Nominal torque (at <i>n</i> <sub>2N</sub> )	<i>T</i> <sub>2N</sub>	Nm	1274	1266	1567	1294	2200	1599	1358	1679	1634	1965	1634
		in.lb	11277	11205	13873	11452	19474	14150	12019	14861	14465	17396	14465
Emergency stop torque <sup>a) b) c)</sup> (permitted 1000 times during the service life of the gearbox)	<i>T</i> <sub>2Not</sub>	Nm	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
		in.lb	52220	52220	52220	52220	52220	52220	52220	52220	52220	52220	52220
Permitted average input speed (at <i>T</i> <sub>2N</sub> and 20 °C ambient temperature) <sup>a)</sup>	<i>n</i> <sub>1N</sub>	rpm	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	3000	3000
Max. input speed	<i>n</i> <sub>1Max</sub>	rpm	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
Mean no load running torque <sup>b)</sup> (at <i>n</i> <sub>1</sub> = 2000 rpm and 20 °C gearbox temperature)	<i>T</i> <sub>012</sub>	Nm	5.6	5.2	4.8	4.5	4.5	3.6	3.4	3.0	3.0	2.6	2.4
		in.lb	50	46	43	39	39	32	30	27	27	23	21
Max. backlash	<i>i</i> <sub>i</sub>	arcmin	Standard ≤ 5 / Reduced ≤ 3										
Torsional rigidity <sup>b)</sup>	<i>C</i> <sub>121</sub>	Nm/arcmin	400										
		in.lb/arcmin	3540										
Max. axial force <sup>c)</sup>	<i>F</i> <sub>2AMax</sub>	N	30000										
		lb <sub>f</sub>	6750										
Max. lateral force <sup>c)</sup>	<i>F</i> <sub>2QMax</sub>	N	21000										
		lb <sub>f</sub>	4725										
Max. tilting moment	<i>M</i> <sub>2RMMax</sub>	Nm	3100										
		in.lb	27437										
Efficiency at full load	<i>η</i>	%	94										
Service life	<i>L</i> <sub>h</sub>	h	> 20000										
Weight (incl. standard adapter plate)	<i>m</i>	kg	53										
		lb <sub>m</sub>	117										
Operating noise (at reference ratio and reference speed – ratio-specific values available in cymex <sup>®</sup> )	<i>L</i> <sub>PA</sub>	dB(A)	≤ 57										

$$m_{gb2} := 53 \cdot \text{kg}$$

...hmota převodovky

$$m_{gbc2} := n_{p1} \cdot m_{gb2} = 106 \text{ kg}$$

...hmota převodovky celkem

### 7.2.2. Celkové navýšení členu 2

$$m_{diff\_2} := (m_{gbc2} + m_{poh\_celk\_2}) \cdot 0.1 + (m_{gbc2} + m_{poh\_celk\_2}) = 257.4 \text{ kg}$$

...0.1 uvádí navýšení celkové hmoty o 10% pro nutný hardware napájení pohonů, a jejich uložení

$$F_{R11} := \frac{-F_{c4_2}}{2} + \frac{M_{z1}}{L_x} = 33.344 \text{ kN} \quad F_{R12} := \frac{-F_{c4_2}}{2} - \frac{M_{z1}}{L_x} = -18.306 \text{ kN}$$

$$F_{T1} := \left( |F_{R11}| + |F_{R12}| \right) \cdot f_v = 232.428 \text{ N} \quad \dots \text{Třecí síla ve vedení valivých těles, odhad}$$

### 7.3. Návrh pohonu master sleeve posuvového mechanismu členu 3

Zatížení pastorků mechanismu M-S

$$f_v := 0.0045 \quad \dots \text{souč. tření val. vedení}$$

$$L_{z3} := 1200 \cdot \text{mm}$$

...délka vedení vozíku

$$L_{c4} := 12.5 \cdot \text{m}$$

...celková délka lineárního vedení členu č. 4

$$L_{c3} := L_{c4} - L_{z3} = 11.3 \text{ m}$$

...pojezd vozíku na dráze členu č. 4

$$F_{c4} := F_{I1} + F_{II1} + F_{III1} + F_{IV1}$$

$$F_{c4}^T = \begin{bmatrix} 0 & -1.504 \cdot 10^4 & -1.82 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ N}$$

$$F_{c4_3} = -1.82 \text{ kN}$$

$$F_{cz1} := F_{c4_3} = -1.82 \text{ kN}$$

...posouvající síla v ose z

$$F_{cy1} := F_{c4_2} = -15.038 \text{ kN}$$

...posouvající síla v ose y

$$F_{c2} = \begin{bmatrix} 0 \\ -3.433 \cdot 10^4 \\ 3.051 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \text{ N}$$

$$F_{c2}^T = \begin{bmatrix} 0 & -3.433 \cdot 10^4 & 3.051 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \text{ N}$$

$$F_{cz3} := F_{c2_3} = 30.506 \text{ kN}$$

...posouvající síla v ose z

$$F_{cy3} := F_{c2_2} = -34.327 \text{ kN}$$

...posouvající síla v ose y

$$F_{1s3} := F_{c2_3} = 30.506 \text{ kN}$$

...Vektor posuvové složky pohybu po vedení č. 3

$$v_{s3} := \begin{bmatrix} v_3 & v_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.98 & 2 \end{bmatrix} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

...Vektor rychlosti a rychlosti při rychloposuvu pohybu po vedení č. 3

$$T_3 := \begin{bmatrix} T_{c1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ hr}$$

...Vektor doby běhu složky pohybu po vedení č. 2

$$M_{z3} := M_{c1_1} = 47.531 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{R31} := \frac{-F_{c2_2}}{3} + \frac{M_{z3}}{L_{z3}} = 51.051 \text{ kN} \quad F_{R32} := \frac{-F_{c2_2}}{3} - \frac{M_{z3}}{L_{z3}} = -28.166 \text{ kN}$$

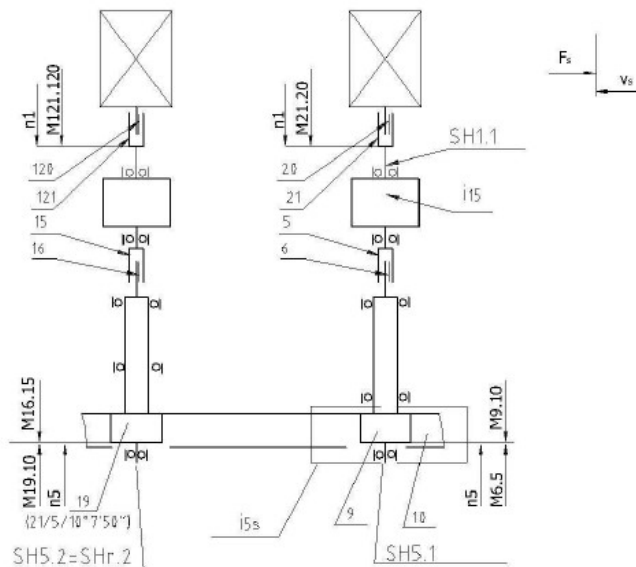
$$F_{T3} := \left( |F_{R31}| + |F_{R32}| \right) \cdot f_v = 356.48 \text{ N} \quad \dots \text{Třecí síla ve vedení valivých těles mezi členy 3 a 4, nutná k překonání aby došlo k pohybu}$$

### 7.3.1. Návrh převodovky

...Třecí síla ve vedení valivých těles, odhad

$$F_{03} := 0.3 \cdot F_{M3} \quad \dots \text{Předpětí pastorků}$$

Druh zatížení je symetrický



$$v_{s3} = [58.8 \ 120] \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad \dots \text{Vektor rychlosti}$$

$$F_{sC3} := |F_{cz3}| + F_{T3} = 30.863 \text{ kN} \quad \dots \text{Maximální posuvová síla je největší hodnota z vektoru zatížení. V ose Z viz. dynamické síly + v ose Y je hodnota uvádějící sílu nutnou pro překonání normály valicého vedení.}$$

Setrvačné síly se neuvažují.

$$F_{s13} := F_{1s3} + F_{T3} = 30.863 \text{ kN} \quad \dots \text{Vektor zatížení vodících ploch}$$

$$v_{s3} = [58.8 \ 120] \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad \dots \text{Vektor rychlosti}$$

Setrvačné síly se neuvažují.

$$F_{M3} := \frac{F_{sC3}}{2} = 15.431 \text{ kN} \quad \dots \text{Maximální síla na pastorku } F_{M1}$$

$$F_{03} := 0.3 \cdot F_{M3} = 4.629 \text{ kN} \quad \dots \text{Předepětí pastorku}$$

$$F_{93} := F_{03} + \frac{F_{s13}}{2} = (2.006 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{Vektor zatížení pastorku 9}$$

$$F_{193} := F_{s13} - F_{93} = (1.08 \cdot 10^4) \text{ N} \quad \dots \text{Vektor zatížení pastorku 19}$$

$$F_{9103} := [F_{93} \quad -F_{193}] = [20.061 \quad -10.802] \text{ kN} \quad \dots \text{Vektory zatížení pastorků od hřebene 10, obvodová síla postorku 9}$$

$$F_{19103} := [F_{193} \quad -F_{93}] = [10.802 \quad -20.061] \text{ kN} \quad \dots \text{Vektory zatížení pastorků od hřebene 10, obvodová síla postorku 19}$$

$$m_{sC3} := 2925 \cdot \text{kg} \quad \dots \text{člen 1,2,3}$$

$$\eta_{rs} := 0.98 \quad \dots \text{účinnost finálního převodu člen č. 3}$$

$$\eta_{1s} := 0.9 \quad \dots \text{celková účinnost převodu člen č. 3 (převod)}$$

$$J_{rs1} := 0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti cestavy}$$

**Stanovit:**

parametry motoru ( $P_l, n_l$ )

parametry redukční převodovky ( $i_{lr}, n_l, r_1, \eta, M_r, J_{lr}$ )

finální převod  $i_{rs}$ , celkový převod  $i_{ls}$ , celkovou účinnost  $\eta_{ls}$

analýzu setrvačných hmot mechanismu

vektory parametrů finálního převodu a převodovky ( $M_{ri}, n_{ri}, T_i$ )

$$v_{s3M} := \min(v_{s3}) = 58.8 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad \dots \text{maximální rychlost saní}$$

$$P_3 := F_{M3} \cdot v_{s3M} \cdot \frac{1}{\eta_{1s}} = 16.803 \text{ kW} \quad \dots \text{Potřebný výkon pro pohyb ramena}$$

**SIMOTICS S-1FT7 Compact motors**  
Forced ventilation

**Selection and ordering data**

Rated speed	Shaft height	Rated power	Static torque	Rated torque	Rated current	SIMOTICS S-1FT7 Compact synchronous motors	Number of pole pairs	Moment of inertia of rotor (without brake)	Weight (without brake)
$n_{rated}$	SH	$P_{rated}$ at $\Delta T=100$ K	$M_0$ at $\Delta T=100$ K	$M_{rated}$ at $\Delta T=100$ K	$I_{rated}$ at $\Delta T=100$ K	Order No.	$p$	$J$	$m$
rpm		kW (HP)	Nm (lbf-ft)	Nm (lbf-ft)	A			$10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ( $10^{-3}$ lbf-in-s <sup>2</sup> )	kg (lb)
<b>1FT7 Compact for DC link voltage 510 ... 720 V DC – Forced ventilation</b>									
<b>2000</b>	80	5.0 (6.7)	27 (19.9)	24 (17.7)	13.5	1FT7084-5SC7-1 ■■■	5	45 (39.8)	25 (55.1)
		6.7 (8.98)	36 (26.5)	32 (23.6)	17	1FT7086-5SC7-1 ■■■	5	64 (56.7)	36 (79.4)
	100	11.7 (15.7)	65 (47.9)	56 (41.3)	29	1FT7105-5SC7-1 ■■■	5	178 (157.6)	50 (110.3)
		15.3 (20.5)	91 (67.1)	73 (53.8)	33	1FT7108-5SC7-1 ■■■	5	248 (219.5)	64 (141.1)
<b>3000</b>	80	7.2 (9.66)	27 (19.9)	23 (17)	18.5	1FT7084-5SF7-1 ■■■	5	45 (39.8)	25 (55.1)
		9.1 (12.2)	36 (26.5)	29 (21.4)	24	1FT7086-5SF7-1 ■■■	5	64 (56.7)	36 (79.4)
	100	15.1 (20.3)	65 (47.9)	48 (35.4)	35	1FT7105-5SF7-1 ■■■	5	178 (157.6)	50 (110.3)
		18.8 (25.1)	91 (67.1)	60 (44.3)	38	1FT7108-5SF7-1 ■■■	5	248 (219.5)	64 (141.1)

$$J_{mot3} := 2 \cdot 64 \cdot 10^{-4} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots 2 \text{ motory M-S: 1FT7086-5SF7}$$

$$n_{p1} := 2 \quad \dots \text{počet pohonů pro M-S v sestavě}$$

$$P_{rated3} := 9.1 \cdot \text{kW} \quad \dots \text{tabulková hodnota výkonu pohonu 1FT7086-5SF7}$$

$$P_{mot3} := n_{p1} \cdot P_{rated3} = 18.2 \text{ kW} \quad P_{mot3} \geq P_3 = 1 \quad \dots \text{Vyhovuje}$$

$$m_{poh3} := 64 \cdot \text{kg} \quad \dots \text{hmota pohonu členu 1}$$

$$m_{poh\_celk\_3} := n_{p1} \cdot m_{poh3} = 128 \text{ kg} \quad \dots \text{hmota pohonu celkem členu 1}$$

### 7.3.2. Návrh převodovky k pohonu členu č. 3

$$m_{g1} := 2 \cdot \text{mm} \quad \dots \text{modul hřebenu a pastorku}$$

$$\beta_{g1} := 19.523^\circ \quad \dots \text{úhel sklonu hřebene a pastorku}$$

$$z_{g1} := 20 \quad \dots \text{počet zubů pastorku člen 3}$$

...smysl stoupání levý

$$D := \frac{z_{91} \cdot m_{91}}{\cos(\beta_{91})} = 42.44 \text{ mm} \quad \dots \text{Průměr pastorku pro pohyb členu č. 3}$$

$$h_{P3} := \pi \cdot \frac{z_{91} \cdot m_{91}}{\cos(\beta_{91})} = 0.133 \text{ m}$$

$$i_{rs3} := \frac{2 \cdot \pi}{h_{P1}} = 47.125 \frac{1}{\text{m}} \quad \dots \text{finální převod}$$

$$F_{s3} := F_{M3}$$

$$M_{r3} := F_{s3} \cdot \frac{1}{i_{rs3}} \cdot \frac{1}{\eta_{rs}} = 0.334 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots \text{Maximální moment na souhmotí SHr}$$

$$M_{6.53i} := F_{9103} \cdot \frac{-1}{i_{rs3} \cdot \eta_{rs}} = [-0.434 \ 0.234] \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots \text{vektor momentu na pastorku 9}$$

$$M_{16.153i} := F_{19103} \cdot \frac{-1}{i_{rs3} \cdot \eta_{rs}} = [-0.234 \ 0.434] \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots \text{vektor momentu na pastorku 19}$$

$$n_{r3} := \frac{v_{s3}}{h_{P3}} = [441.014 \ 900.028] \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{vektor otáček}$$

$$n_{13} := 3000 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{otáčky motoru}$$

$$\omega_{13} := 2 \cdot \pi \cdot n_{13} = 314.159 \frac{1}{\text{s}}$$

$$i_{1s3} := \frac{\omega_{13}}{v_{s3}} = [320.571 \ 157.08] \frac{1}{\text{m}} \quad \dots \text{celkový převod}$$

$$M_{16.153i} := \max(M_{16.153i}) = 0.434 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{rM3} := \max(M_{16.153i}) = 0.434 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

...maximální hodnota momentu při nejrychlejším pohybu vozíku

$$i_{1r3} := \frac{\min(i_{1s3})}{i_{rs3}} = 3.333$$

...vstupní převod

$$n_{rm3} := \frac{\sum n_{r3}}{2} = 670.521 \frac{1}{\text{min}} \quad n_{1m3} := n_{rm3} \cdot \frac{\sum i_{1r3}}{2} = ? \frac{1}{\text{min}}$$

...střední otáčky na vstupní hřídeli

## Performance Linear System – PLS 3.2

Planetary gearhead alpha® 30 with High Performance Pinion Module 2 and Performance Class Rack Module 2

Performance Linear System 3.2		1 stage	2 stage
Max. moving force	$F_{st}$ [N]	8500	8500
Max. movement speed <sup>1)</sup>	$v_{max}$ [m/min]	200	50
Ratios	$i$	3 / 4 / 5 / 7 / 10	16 / 20 / 25 / 28 / 35 / 40 / 50 / 70 / 100
Max. input speed	$n_{max}$ [min <sup>-1</sup> ]	4500	6000
System weight (gearhead including pinion)	$m$ [kg]	8,1	8,0
Lubrication	gearhead	lubricated for life	
	pinion/rack <sup>2)</sup>	lubrication pinion in preparation with lubricant WITTENSTEIN alpha G11 <sup>3)</sup>	
Clamping hub diameter	[mm]	19 / 24 / 28 / 38	14 / 19 / 24

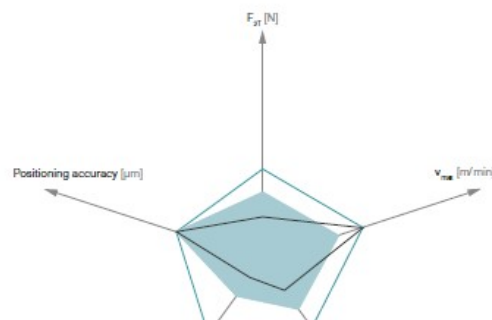
Please contact us for a detailed configuration with cymax®. Hotline: +49 7831 493-10800  
backlash gearhead ≤ 1 arcmin

<sup>1)</sup> Calculation with the smallest gearing and maximum driving speed

<sup>2)</sup> More information on the lubrication system in the complete WITTENSTEIN alpha catalog  
Alternative lubricants on request

High Performance Preferred Pinion			
Module	$m_n$ [mm]	2	
Number of teeth	$z$	20	
Pressure angle	$\alpha$	20°	
Inclination angle	$\beta$	19.5283°	
Flanks form		left	

You will find additional available pinions on page 42



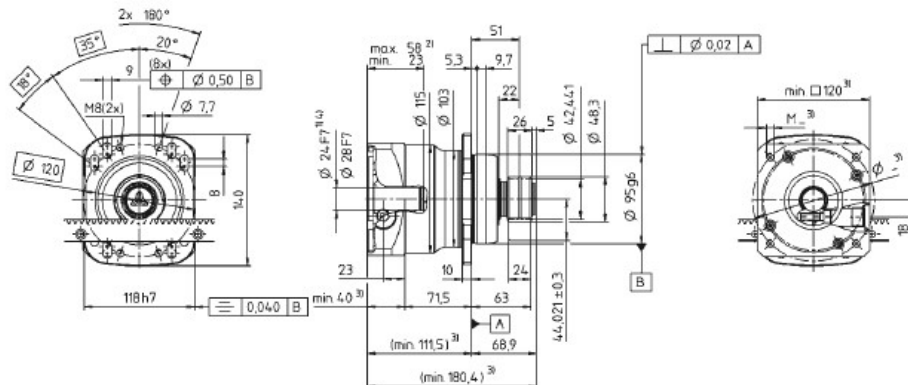
View A

View B

1 stage:

Clamping hub diameter  
24 mm (G)  
28 mm (H)

Additional available clamping hub diameters:  
19 mm (E)  
38 mm (K)



20 180°



## VERZE 4 - statické řešení rovnováhy v rovině - revA01

Volba 1 stage převodovka PLS 3.2 - 1 stage

$$m_{gb3} := 8 \cdot kg$$

...hmota převodovky

$$m_{gbc3} := n_{p1} \cdot m_{gb3} = 16 \text{ kg}$$

...hmota převodovky celkem

### SP+ 140 MC 2-stage

			2-stage										
Ratio	i		16	20	25	28	32	35	40	50	64	70	100
Max. torque <sup>4) 5)</sup>	$T_{20}$	Nm	480	480	480	480	480	480	480	480	380	480	380
		in.lb	4248	4248	4248	4248	4248	4248	4248	4248	3363	4248	3363
Max. acceleration torque <sup>5) 6)</sup> (max. 1000 cycles per hour)	$T_{25}$	Nm	480	480	480	480	480	480	480	480	380	480	380
		in.lb	4248	4248	4248	4248	4248	4248	4248	4248	3363	4248	3363
Nominal torque (at $n_{2N}$ )	$T_{2N}$	Nm	277	297	298	328	287	329	364	367	304	304	304
		in.lb	2447	2629	2636	2900	2544	2915	3219	3250	2691	2690	2691
Emergency stop torque <sup>4) 5) 6)</sup> (permitted 1000 times during the service life of the gearbox)	$T_{2Nst}$	Nm	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1250	1350	1250
		in.lb	11949	11949	11949	11949	11949	11949	11949	11949	11064	11949	11064
Permitted average input speed (at $T_{2N}$ and 20 °C ambient temperature) <sup>6)</sup>	$n_{1N}$	rpm	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
Max. input speed	$n_{1Max}$	rpm	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Mean no load running torque <sup>5)</sup> (at $n_1 = 3000$ rpm and 20 °C gearbox temperature)	$T_{012}$	Nm	1.1	1.0	0.96	0.80	0.72	0.60	0.55	0.45	0.45	0.40	0.40
		in.lb	9.7	9.2	8.5	7.1	6.4	5.3	4.9	4.0	4.0	3.5	3.5
Max. backlash	$j_1$	arcmin	Standard ≤ 6 / Reduced ≤ 4										
Torsional rigidity <sup>5)</sup>	$C_{01}$	Nm/arcmin	53										
		in.lb/arcmin	469										
Max. axial force <sup>4)</sup>	$F_{2AMax}$	N	9870										
		lb <sub>f</sub>	2221										
Max. lateral force <sup>4)</sup>	$F_{2OMax}$	N	9900										
		lb <sub>f</sub>	2228										
Max. tilting moment	$M_{2OMax}$	Nm	952										
		in.lb	8426										
Efficiency at full load	$\eta$	%	96.5										
Service life	$L_h$	h	> 30000										
Weight (incl. standard adapter plate)	m	kg	17										
		lb <sub>m</sub>	37.6										
Operating noise (at reference ratio and reference speed – ratio-specific values available in cymax®)	$L_{pA}$	dB(A)	≤ 59										
Max. permitted housing temperature		°C	+90										
		F	194										
Ambient temperature		°C	-15 to +40										
		F	5 to 104										

Limitní hodnota jmenovitých otáček zvolené převodovky musí být větší

Analýza momentů setrvačnosti mechanismu:

$$J_{1r3} := 0.00116 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti převodovky}$$

$$J_{rs3} := 0.0002 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti pastorku}$$

$$J_{mot3} = 0.013 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \dots \text{moment setrvačnosti kotvy motoru 1}$$

$$m_{s3} := \frac{m_{sC3}}{2} = (1.463 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$i_{1r13} := i_{1r3} = 3.333$$

$$J_{1p31} := J_{1r3} + J_{rs3} \cdot \frac{1}{\max(i_{1r3})^2} + m_{s3} \cdot \frac{1}{\max(i_{1s3})^2} = 0.015 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{1p32} := J_{1r3} + J_{rs3} \cdot \frac{1}{\min(i_{1r3})^2} + m_{s3} \cdot \frac{1}{\min(i_{1s3})^2} = 0.06 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\mu_{p31} := \frac{J_{1p31}}{J_{mot3}} = 1.204 \quad \mu_{p32} := \frac{J_{1p32}}{J_{mot3}} = 4.723$$

Vyhovuje - systémy s  $> 2_p \mu$  mají horší dynamickou stabilitu (překmity při rozjezdu a zastavení)

### 7.3.4 - Celkové navýšení členu 3

$$m_{diff\_3} := (m_{gbc3} + m_{poh\_celk\_3}) \cdot 0.3 + (m_{gbc3} + m_{poh\_celk\_3}) = 187.2 \text{ kg}$$

...0.3 uvádí navýšení celkové hmoty o 30% pro nutný hardware napájení pohonů, a jejich uložení

## 8. Výpočet teplotního ovlivnění lineárního vedení - člen 4

$l_{z4} := 2500 \text{ mm}$  ...celková délka čelnu 4

$n_4 := [2 \ 3 \ 4 \ 5]$

$n_4^T = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix}$  ...možné počty členů 4 v sestavě HCW

$\alpha_{4Fe} := 10.8 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$  ...koeficient lin. teplotní roztažnosti uhlíkové oceli při 20degC

$\Delta T := [10 \ 20 \ 30 \ 40] K$  ...rozdíly teploty okolí

$\Delta l_{z4} := l_{z4} \cdot \alpha_{4Fe} \cdot (\Delta T) = [0.27 \ 0.54 \ 0.81 \ 1.08] \text{ mm}$  ...dilatace při změně teploty okolí na 30, 40, 50 a 60 degC

$\Delta l_{Cz4} := n_4^T \cdot \Delta l_{z4} = \begin{bmatrix} 0.54 & 1.08 & 1.62 & 2.16 \\ 0.81 & 1.62 & 2.43 & 3.24 \\ 1.08 & 2.16 & 3.24 & 4.32 \\ 1.35 & 2.7 & 4.05 & 5.4 \end{bmatrix} \text{ mm}$  ...prodloužení celkové při daném počtu kusů členů č. 4 v sestavě HCW a změně teploty

## 9. Tuhost sestavy

$k_1 := 0$  ..tuhost členu 1

$k_2 := 37.75 \cdot \frac{kN}{mm}$  ..tuhost členu 2

$k_{A1} := 1500 \cdot \frac{kN}{mm}$  ..tuhost axiálního ložiska

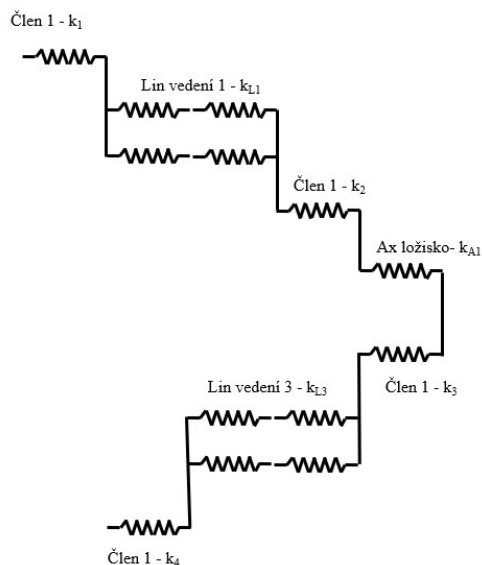
$k_3 := 385 \cdot \frac{kN}{mm}$  ..tuhost členu 3

$k_{L1} := 1845 \cdot \frac{kN}{mm}$  ..tuhost lineárního vedení RGW45HC

$k_4 := 339 \cdot \frac{kN}{mm}$  ..tuhost členu 4

$k_{L3} := 2931 \cdot \frac{kN}{mm}$  ..tuhost lineárního vedení RGH64HA

## VERZE 4 - statické řešení rovnováhy v rovině - revA01



$$k_{CL1} := \left( \frac{2}{\frac{1}{k_{L1}} + \frac{1}{k_{L1}}} \right) = (1.845 \cdot 10^3) \frac{kN}{mm}$$

...celková tuhost lin vedení - kombinace sériovo par zapojení pružin

$$k_{CL3} := \left( \frac{2}{\frac{1}{k_{L3}} + \frac{1}{k_{L3}}} \right) = (2.931 \cdot 10^3) \frac{kN}{mm}$$

...celková tuhost lin vedení - kombinace sériovo par zapojení pružin

$$k_c := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_{A1}} + \frac{1}{k_{CL1}} + \frac{1}{k_{CL3}} \right)} = 29.773 \frac{kN}{mm}$$

...Celková tuhost sestavy