
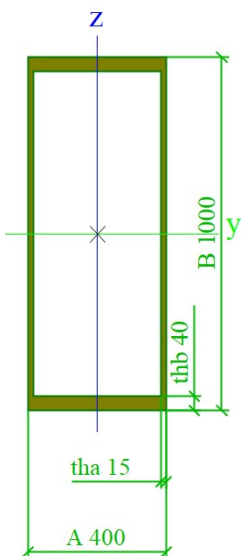


České vysoké učení technické v Praze			
Fakulta stavební - Katedra ocelových konstrukcí			
Vypracoval: Bc. Johanka Drábková		Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.	
Téma diplomové práce Visutá lávka přes Labe u obce Hradištko		Měřítko:	
		Datum:	Leden 2021
Název přílohy: Diplomový seminář		Číslo přílohy: 009	

OBLOUKOVÝ MOST

Geometrie a materiál

Profil HN a oblouku



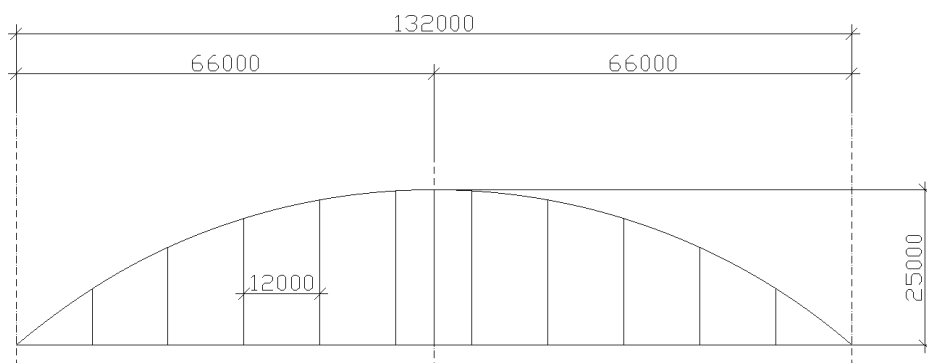
$$A := 0.0596 \text{ m}^2$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

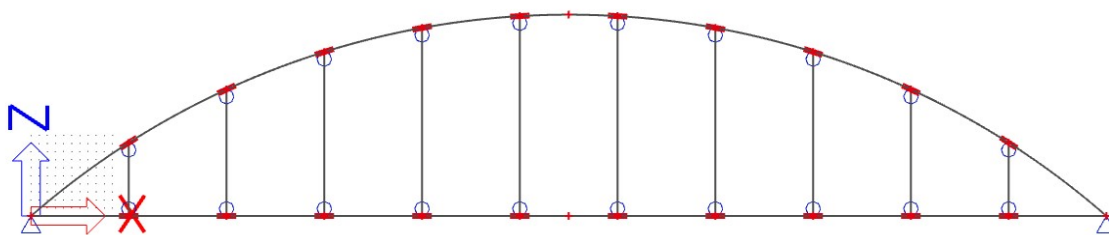
$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$G := 80 \text{ GPa}$$

Dispozice



Statické schéma



Zatížení

$$q_{ost} := 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

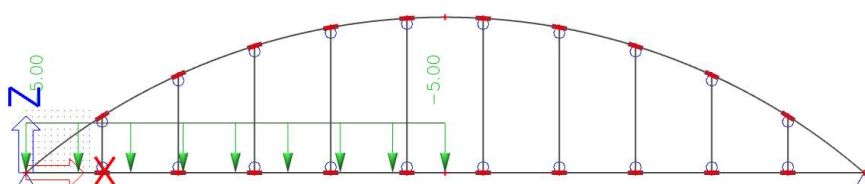
$$L := 132 \text{ m}$$

$$q_{fk} := \left(2 + \frac{120}{\frac{L}{m} + 30} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 2,5 \text{ kN/m}^2$$

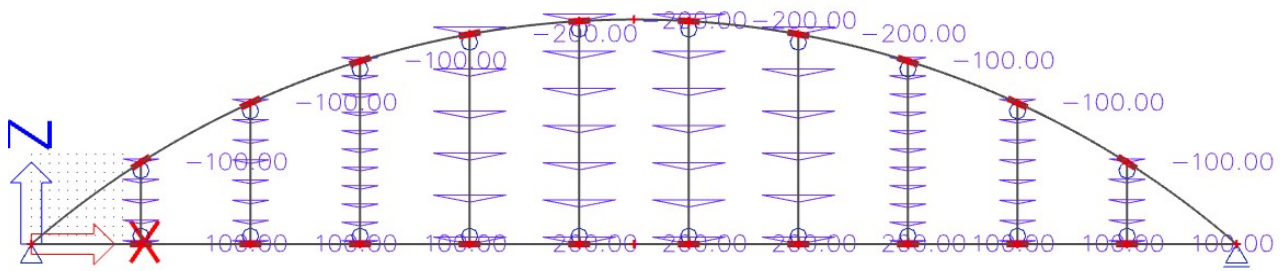
$$b := 2 \text{ m}$$

$$q_{fk,n} := q_{fk} \cdot b = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zatížení chodci ve dvou zat. stavech na polovinu mostu.

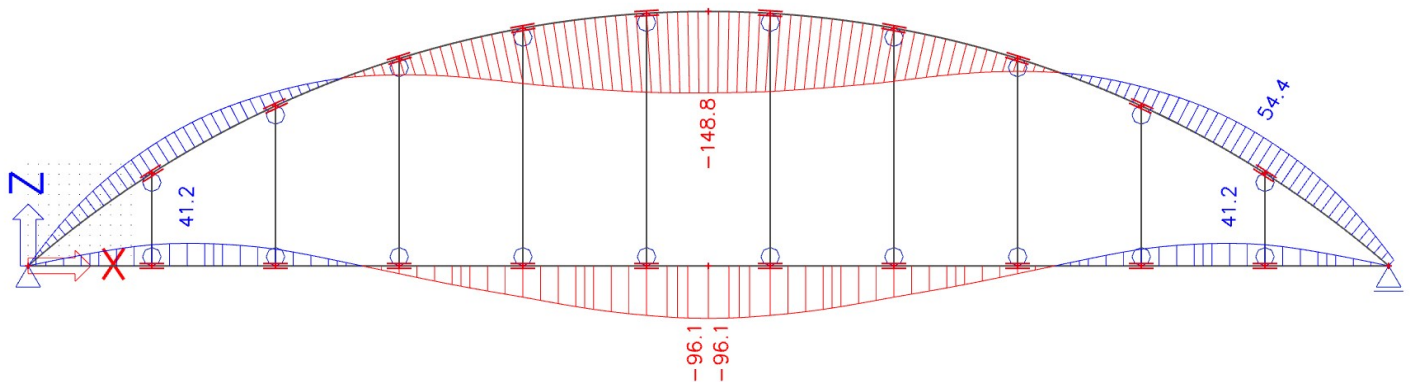


Předpětí táhel



Deformace

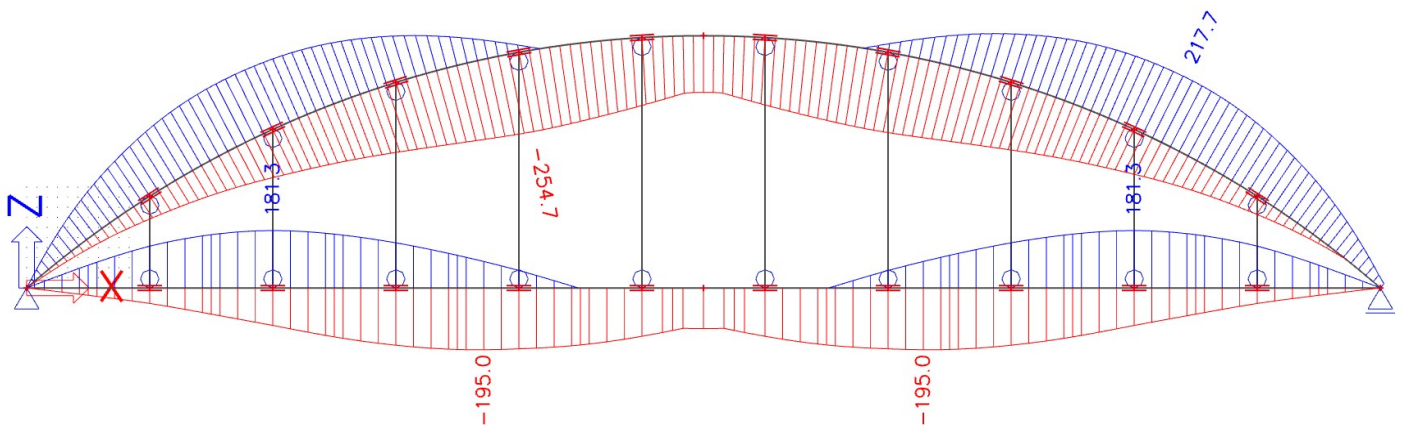
MSP_stálé



Oblouk $u_o := 149 \text{ mm}$
 $L = 132 \text{ m}$ $\frac{u_o}{L} = 0.0011$

Trám $u_t := 96 \text{ mm}$
 $L = 132 \text{ m}$ $\frac{u_t}{L} = 0.0007$

MSP

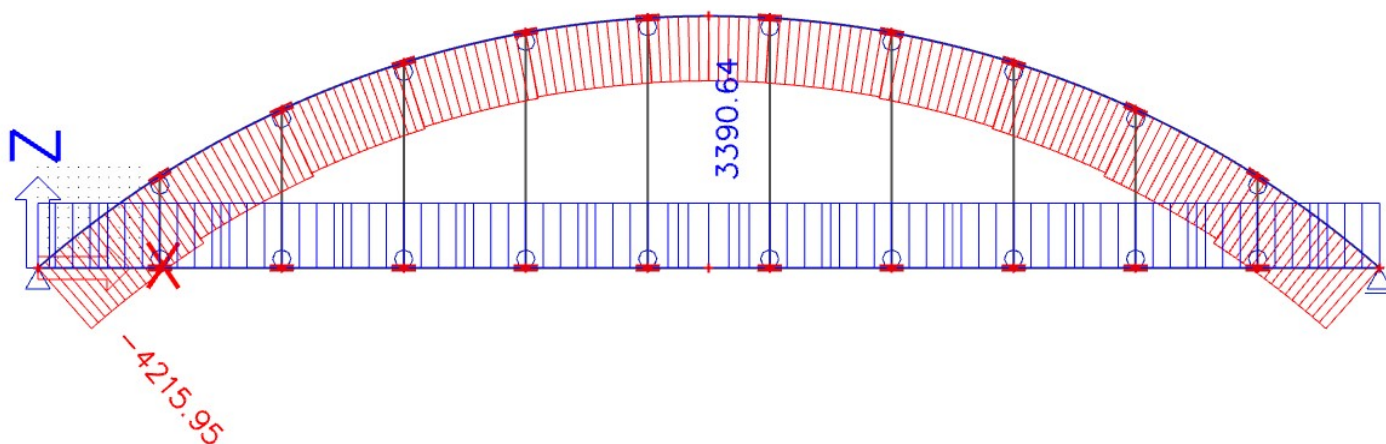


Oblouk $u_o := 255 \text{ mm}$
 $L = 132 \text{ m}$ $\frac{u_o}{L} = 0.0019$

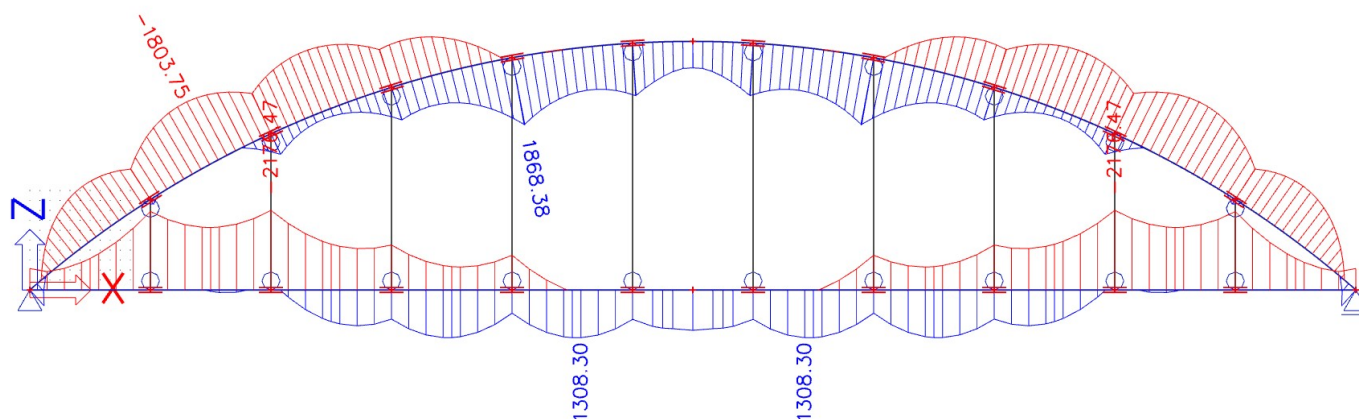
Trám $u_t := 195 \text{ mm}$
 $L = 132 \text{ m}$ $\frac{u_t}{L} = 0.0015$

Vnitřní síly

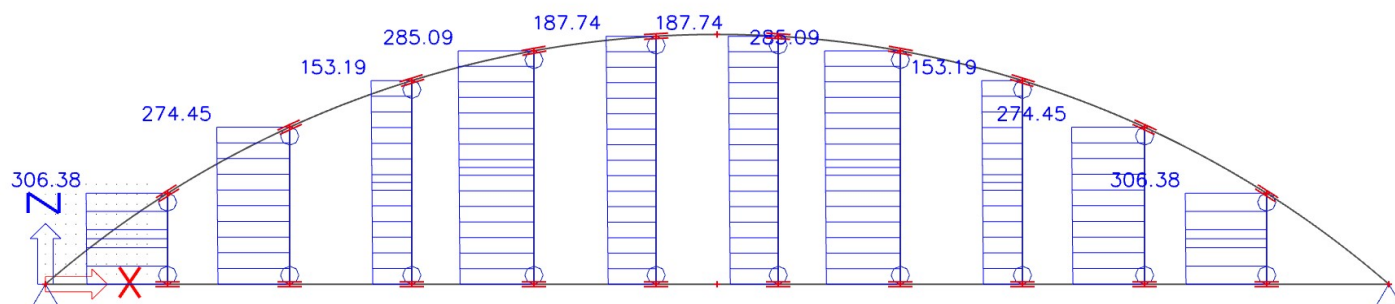
N - MSÚ



M - MSÚ



N - MSP_stálé



VNITŘNÍ SÍLY MSÚ PRO OBLOUK

css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
CS7 - O	66.138	MSÚ/5	-2749.13	-128.61	971.1
CS7 - O	54.043	MSÚ/8	-3165.94	235.38	1868.38
CS7 - O	22.909	MSÚ/7	-3495.76	13.2	-1803.75
CS7 - O	0	MSÚ/10	-4215.95	-351.34	584.25
CS7 - O	144.284	MSÚ/10	-4215.95	351.34	584.25

$$N_{Ed.o.1} := -4216 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$

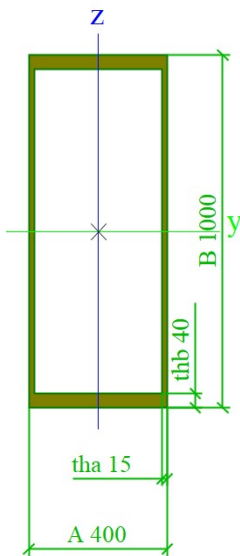
$$M_{Ed.o.1} := 584.3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed.o.2} := -3166 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$

$$M_{Ed.o.2} := 1868.4 \text{ kNm}$$

OBLOUK - posouzení**Průřez - tř. 4**

=> nutno stanovit efektivní průřez



$$A := 0.0596 \text{ m}^2$$

$$h := 1000 \text{ mm}$$

$$b_f := 400 \text{ mm}$$

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

$$t_w := 15 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 \cdot t_f = 920 \text{ mm}$$

$$I_y := 0.0093238 \text{ m}^4$$

$$i_y := 396 \text{ mm}$$

$$I_z := 0.0014499 \text{ m}^4$$

$$i_z := 156 \text{ mm}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0.8136$$

A	[m ²]	= 5.9600e-02
Ay	[m ²]	= 3.1082e-02
Az	[m ²]	= 2.9229e-02
AL	[m ² /m]	= 2.8000e+00
AD	[m ² /m]	= 5.3800e+00
cYUCS	[mm]	= 200
cZUCS	[mm]	= 500
α	[deg]	= 0.00
Iy	[m ⁴]	= 9.3238e-03
Iz	[m ⁴]	= 1.4499e-03
iy	[mm]	= 396
iz	[mm]	= 156
Wely	[m ³]	= 1.8648e-02
Welz	[m ³]	= 7.2497e-03
Wply	[m ³]	= 2.1708e-02
Wplz	[m ³]	= 8.5130e-03
Mply+	[Nm]	= 7.71e+06
Mply-	[Nm]	= 7.71e+06
Mplz+	[Nm]	= 3.02e+06
Mplz-	[Nm]	= 3.02e+06
dy	[mm]	= 0
dz	[mm]	= 0
It	[m ⁴]	= 3.5066e-03
Iw	[m ⁶]	= 9.6406e-05
βy	[mm]	= 0
βz	[mm]	= 0

1. KOMBINACE ZATÍŽENÍ**1) Efektivní průřez pro první kombinaci zat.**

$$N_{Ed.O.1} = -4216 \text{ kN}$$

$$M_{Ed.O.1} = 584.3 \text{ kN m}$$

Poměr koncových napětí

$$e_{h.w} := -\frac{h_w}{2} = -460 \text{ mm}$$

$$e_{d.w} := -e_{h.w} = 460 \text{ mm}$$

$$\sigma_c := \frac{N_{Ed.O.1}}{A} = -70.74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h := \frac{M_{Ed.O.1}}{I_y} \cdot e_{h.w} = -28.83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d := \frac{M_{Ed.O.1}}{I_y} \cdot e_{d.w} = 28.83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 := \sigma_c + \sigma_h = -99.57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 := \sigma_c + \sigma_d = -41.91 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0.4209$$

$$k_\sigma := \frac{8.2}{1.05 + \psi} = 5.5747$$

$$b_{e1} := \frac{2}{5 - \psi} \cdot b_{eff}$$

$$b_{e2} := b_{eff} - b_{e1}$$

Tabulka 4.1 – Vnitřní tlačené části

Průběh napětí (tlak označen kladně)	Účinná ^p šířka b_{eff}
	$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0.5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0.5 b_{eff}$
	$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$
	$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0.4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0.6 b_{eff}$
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ 1 $1 > \psi > 0$ 0	$0 > \psi > -1$ -1 $-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0 $8,2 / (1,05 + \psi)$ 7,81 $7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$ 23,9 $5,98 (1 - \psi)^2$

Poměrná štíhlost stěny

$$b' := h_w = 920 \text{ mm}$$

$$\lambda'_p := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad \lambda'_p := \frac{b'}{t_w} = 1.1242$$

Redukční součinitel ρ

$$\rho := \frac{\lambda'_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)}{\lambda'_p{}^2} = 0.7406$$

Efektivní průřez

$$b_{eff} := \rho \cdot b' = 681.3878 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = 297.6104 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = 383.7774 \text{ mm}$$

$$A_{eff} := 2 \cdot b_f \cdot t_f + 2 \cdot t_w \cdot (b_{e1} + b_{e2}) = 52441.6354 \text{ mm}^2$$

$$e_{d,eff} := 494.12 \text{ mm}$$

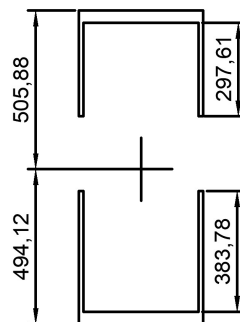
$$e_{h,eff} := h - e_{d,eff} = 505.88 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} := 9274721775.6763 \text{ mm}^4$$

$$i_{y,eff} := 420.5446 \text{ mm}$$

$$I_{z,eff} := 1184542694.1666 \text{ mm}^4$$

$$i_{z,eff} := 150.2924 \text{ mm}$$



$$W_{h,eff} := \frac{I_{y,eff}}{e_{h,eff}} = 1.83 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$W_{d,eff} := \frac{I_{y,eff}}{e_{d,eff}} = 1.88 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

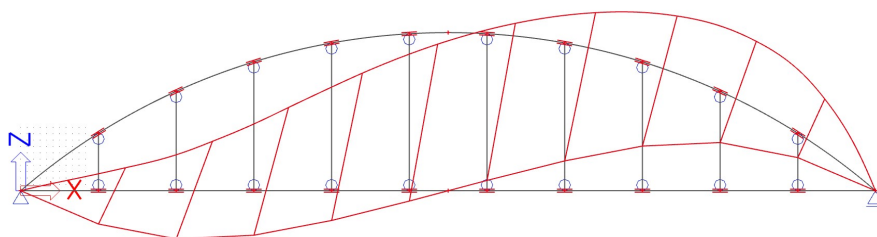
2) Posouzení**a) Vzpěrný tlak**

vzpěrné křivky d $\alpha := 0.76$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.4$$

Vzpěrné délky

$$\alpha_{cr} := 16.59$$

**V rovině oblouku: y-y**

$$L_{cr,y,\alpha} := \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{|N_{Ed,0.1}| \cdot \alpha_{cr}}} = 16.622 \text{ m}$$

Z roviny oblouku: z-z

Délka oblouku mezi příčným ztužením

Uvažuji ztužení v místech závěsů

$$L_{cr,z} := 15071 \text{ mm}$$

Pro oblouk oboustranně vetknutý

$$L_0 := 144285 \text{ mm} \quad \text{délka oblouku}$$

$$L_{cr,y,e} := 0.36 \cdot L_0 = 51942.6 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} := L_{cr,y,\alpha} = 16.62 \text{ m}$$

$$\lambda_{-y} := \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = 0.52$$

$$\lambda_{-z} := \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot \lambda_1} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = 1.19$$

$$\phi_y := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-y} - 0.2) + \lambda_{-y}^2 \right) = 0.75$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-z} - 0.2) + \lambda_{-z}^2 \right) = 1.58$$

$$\chi_y := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_{-y}^2}} \right] \right) = 0.77$$

$$\chi_z := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_{-z}^2}} \right] \right) = 0.38$$

$$\chi := \min \left(\left[\begin{array}{c} \chi_y \\ \chi_z \end{array} \right] \right) = 0.38$$

$$N_{b,Rd.1} := \chi \cdot A_{eff} \cdot f_y = 7107.46 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,0.1} = -4216 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed,0.1}|}{N_{b,Rd.1}} = 0.59$$

VYHOVUJE

b) Ohyb

Průřez je tuhý v kroucení ==> neklopí

$$M_{Ed.0.1} = 584.3 \text{ kN m}$$

$$W_{y. eff} := \min \left(\begin{array}{l} W_{d. eff} \\ W_{h. eff} \end{array} \right) = 1.83 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd.1} := W_{y. eff} \cdot f_y = 6508.51 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed.0.1}}{M_{Rd.1}} = 0.09$$

VYHOVUJE**c) Interakce tlak + ohyb**

$$N_{Ed.0.1} = -4216 \text{ kN}$$

$$N_{Rk.1} := f_y \cdot A_{eff} = 18616.78 \text{ kN}$$

$$\chi_y = 0.77$$

$$\chi_z = 0.38$$

$$M_{Ed.0.1} = 584.3 \text{ kN m}$$

$$M_{Rk.1} := f_y \cdot W_{y. eff} = 6508.51 \text{ kN m}$$

$$e_{N.y} := \frac{h}{2} - e_{d. eff} = 5.88 \text{ mm}$$

$$\Delta M_{Ed.1} := e_{N.y} \cdot N_{Ed.0.1} = -24.79 \text{ kN m}$$

Interakční součinitele

Souč. ekvivalentního konst. momentu

$$C_{my} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.77 > 0.4$$

$$\lambda_{-y} = 0.52 < 1$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \lambda_{-y} \cdot \frac{N_{Ed.0.1}}{\chi_y \cdot N_{Rk.1}} \right) = 0.698$$

$$k_{zy} := 0.8 \cdot k_{yy} = 0.559$$

Posouzení

$$\frac{\left| \frac{N_{Ed.0.1}}{\chi_y \cdot N_{Rk.1}} \right| + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed.0.1} + \left| \Delta M_{Ed.1} \right|}{M_{Rk.1}}}{1} = 0.36$$

$$\frac{\left| \frac{N_{Ed.0.1}}{\chi_z \cdot N_{Rk.1}} \right| + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed.0.1} + \left| \Delta M_{Ed.1} \right|}{M_{Rk.1}}}{1} = 0.65$$

VYHOVUJE

2. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

1) Efektivní průřez pro DRUHOU kombinaci zat.

$$N_{Ed.O.2} = -3166 \text{ kN}$$

$$M_{Ed.O.2} = 1868.4 \text{ kN m}$$

Poměr koncových napětí

$$e_{h.w} := -\frac{h_w}{2} = -460 \text{ mm}$$

$$e_{d.w} := -e_{h.w} = 460 \text{ mm}$$

$$\sigma_c := \frac{N_{Ed.O.1}}{A} = -70.7383 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h := \frac{M_{Ed.O.2}}{I_y} \cdot e_{h.w} = -92.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d := \frac{M_{Ed.O.2}}{I_y} \cdot e_{d.w} = 92.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 := \sigma_c + \sigma_h = -162.92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 := \sigma_c + \sigma_d = 21.44 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -0.1316$$

Tabulka 4.1 – Vnitřní tlačené části

Průběh napětí (tlak označen kladně)		Účinná šířka b_{eff}					
		$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$					
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5-\psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$					
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$					
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$		1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ		4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma := 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \cdot \psi^2 = 8.8072$$

Poměrná štíhlost stěny

$$b' := h_w = 920 \text{ mm}$$

$$\lambda'_p := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad \lambda'_p := \frac{b'}{t_w} = 0.8944$$

Redukční součinitel ρ

$$\rho := \frac{\lambda'_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)}{\lambda'_p^2} = 0.9208$$

Efektivní průřez

$$b_{eff} := \frac{\rho \cdot b'}{1 - \psi} = 748.65 \text{ mm} \quad b_c := \frac{b'}{1 - \psi} = 813 \text{ mm}$$

$$b_{e1} := 0.4 \cdot b_{eff} = 299.46 \text{ mm} \quad b_t := b' - b_c = 107 \text{ mm}$$

$$b_{e2} := 0.6 \cdot b_{eff} = 449.19 \text{ mm}$$

$$A_{eff} := 2 \cdot b_f \cdot t_f + 2 \cdot t_w \cdot (b_{e1} + b_{e2} + b_t) = 57669.32 \text{ mm}^2$$

$$e_{d,eff} := 495.7030 \text{ mm}$$

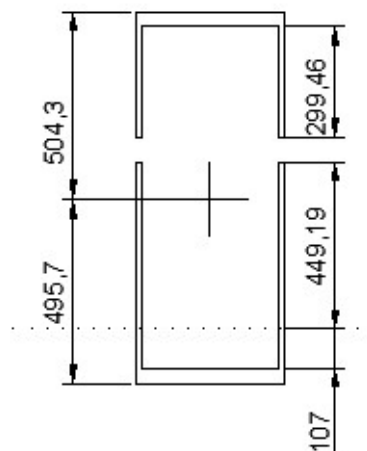
$$e_{h,eff} := h - e_{d,eff} = 504.297 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} := 9290245694.9619 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,eff} := 1378363379.1663 \text{ mm}^4$$

$$W_{h,eff} := \frac{I_{y,eff}}{e_{h,eff}} = 1.8391 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$W_{d,eff} := \frac{I_{y,eff}}{e_{d,eff}} = 1.8742 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$



2) Posouzení

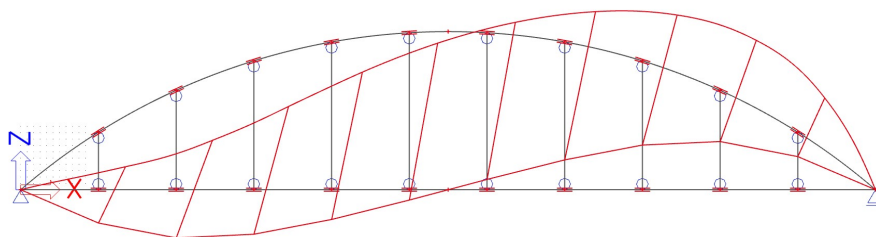
a) Vzpěrný tlak

vzpěrné křivky d $\alpha := 0.76$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.3986$$

Vzpěrné délky

$$\alpha_{cr} := 16.59$$



V rovině oblouku: y-y

Z roviny oblouku: z-z

Délka oblouku mezi příčným ztužením

Uvažuji ztužení v místech závěsů

$$L_{cr.z} := 15071 \text{ mm}$$

$$L_{cr.y.\alpha} := \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{|N_{Ed.o.1}| \cdot \alpha_{cr}}} = 16.622 \text{ m}$$

Pro oblouk oboustranně vetknutý

$$L_o := 144285 \text{ mm} \quad \text{délka oblouku}$$

$$L_{cr.y.e} := 0.36 \cdot L_o = 51942.6 \text{ mm}$$

$$L_{cr.y} := L_{cr.y.\alpha} = 16.622 \text{ m}$$

$$\lambda_{-y} := \frac{L_{cr.y}}{i_y \cdot \lambda_1} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = 0.5404$$

$$\lambda_{-z} := \frac{L_{cr.z}}{i_z \cdot \lambda_1} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = 1.2439$$

$$\phi_y := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-y} - 0.2) + \lambda_{-y}^2 \right) = 0.775$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-z} - 0.2) + \lambda_{-z}^2 \right) = 1.67$$

$$\chi_y := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_{-y}^2}} \right] \right) = 0.751$$

$$\chi_z := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_{-z}^2}} \right] \right) = 0.359$$

$$\chi := \min \left(\left[\chi_y \right] \right) = 0.36$$

$$N_{b.Rd.2} := \chi \cdot A_{eff} \cdot f_y = 7350.88 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.o.2} = -3166 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed.o.2}|}{N_{b.Rd.2}} = 0.43$$

VYHOVUJE

b) Ohyb

Průřez je tuhý v kroucení ==> neklopí

$$M_{Ed.o.2} = 1868.4 \text{ kN m}$$

$$W_{y.eff} := \min \left(\left[\begin{array}{l} W_{d.eff} \\ W_{h.eff} \end{array} \right] \right) = 1.8391 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd.2} := W_{y.eff} \cdot f_y = 6528.94 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed.o.2}}{M_{Rd.2}} = 0.29$$

VYHOVUJE

c) Interakce tlak + ohyb

$$N_{Ed.O.2} = -3166 \text{ kN} \quad N_{Rk.2} := f_y \cdot A_{eff} = 20472.6095 \text{ kN} \quad \chi_y = 0.7511 \quad \chi_z = 0.3591$$

$$M_{Ed.O.2} = 1868.4 \text{ kN m} \quad M_{Rk.2} := f_y \cdot W_{y.eff} = 6528.9427 \text{ kN m}$$

$$e_{N.y} := \frac{h}{2} - e_{d.eff} = 4.3 \text{ mm} \quad \Delta M_{Ed.2} := e_{N.y} \cdot N_{Ed.O.2} = -13.6043 \text{ kN m}$$

Interakční součinitele

Souč. ekvivalentního konst. momentu

$$C_{my} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.547 > 0,4$$

$$\lambda_{-y} = 0.54 < 1$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \lambda_{-y} \cdot \frac{N_{Ed.O.1}}{\chi_y \cdot N_{Rk.1}} \right) = 0.494$$

$$k_{zy} := 0.8 \cdot k_{yy} = 0.395$$

Posouzení

$$\frac{|N_{Ed.O.2}|}{\chi_y \cdot N_{Rk.2}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed.O.2} + |\Delta M_{Ed.2}|}{M_{Rk.2}} = 0.35$$

$$\frac{|N_{Ed.O.2}|}{\chi_z \cdot N_{Rk.2}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed.O.2} + |\Delta M_{Ed.2}|}{M_{Rk.2}} = 0.54$$

VYHOVUJE

VNITŘNÍ SÍLY MSÚ PRO TRÁM

css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
CS7 - O	0	MSÚ/2	3390.64	105.79	-584.25
CS7 - O	54.857	MSÚ/4	3071.23	-13.89	1308.3
CS7 - O	12	MSÚ/3	3071.23	-289	-2144.04
CS7 - O	24	MSÚ/3	3071.23	-153.28	-2176.48
CS7 - O	54	MSÚ/4	3071.23	289	-2144.04
CS7 - O	0	MSÚ/1	2751.82	73.11	-411.9

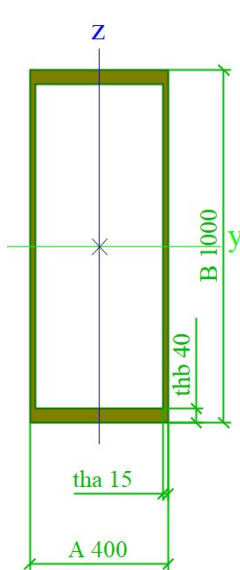
$$N_{Ed.T} := 3391 \text{ kN} \quad \text{TAH}$$

$$M_{Ed.T} := -2176.5 \text{ kN m}$$

$$N_{Ed.T.M} := 3071.2 \text{ kN}$$

TRÁM - posouzení

Průřez - tř. 4 ==> nutno stanovit efektivní průřez



$$A := 0.0596 \text{ m}^2$$

$$h := 1000 \text{ mm}$$

$$b_f := 400 \text{ mm}$$

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

$$t_w := 15 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 \cdot t_f = 920 \text{ mm}$$

$$I_y := 0.0093238 \text{ m}^4 \quad i_y := 396 \text{ mm}$$

$$I_z := 0.0014499 \text{ m}^4 \quad i_z := 156 \text{ mm}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0.8136$$

1) Tah

$$N_{Ed.T} = 3391 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.T} := A \cdot f_y = 21158 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed.T}}{N_{Rd.T}} = 0.16$$

VYHOVUJE

2) Ohyb

Efektivní průřez pro kombinaci zat.

$$N_{Ed.T.M} = 3071.2 \text{ kN}$$

$$M_{Ed.T} = -2176.5 \text{ kN m}$$

Poměr koncových napětí

$$e_{h.w} := -\frac{h_w}{2} = -460 \text{ mm}$$

$$e_{d.w} := -e_{h.w} = 460 \text{ mm}$$

$$\sigma_t := \frac{N_{Ed.T.M}}{A} = 51.53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h := \frac{M_{Ed.T}}{I_y} \cdot e_{h.w} = 107.38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d := \frac{M_{Ed.T}}{I_y} \cdot e_{d.w} = -107.38 \text{ MPa}$$

Tabulka 4.1 – Vnitřní tlačené části

Průběh napětí (tlak označen kladně)				Účinná ^p šířka b_{eff}		
				$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma := 5,98 \cdot (1 - \psi)^2 = 88,423$$

Poměrná štíhlost stěny

$$b' := h_w = 920 \text{ mm}$$

$$\lambda'_{p'} := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad \lambda'_{p'} := \frac{b'}{t_w} \cdot \frac{1}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0,282$$

Redukční součinitel ρ

$$\rho := \frac{\lambda'_{p'} - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\lambda'_{p'}^2} = 3,436 > 1$$

$$\rho := 1$$

Efektivní průřez = plný průřez ==> elastický posudek

Posouzení na ohyb

$$W_{el} := \frac{I_y}{\frac{h}{2}} = 1,8648 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed.T} = -2176,5 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd.T} := f_y \cdot W_{el} = 6619,9 \text{ kN m}$$

$$\frac{|M_{Ed.T}|}{M_{Rd.T}} = 0,33$$

VYHOVUJE

3) Interakce TAH + OHYB

$$\frac{N_{Ed.T.M}}{N_{Rd.T}} + \frac{|M_{Ed.T}|}{M_{Rd.T}} = 0,47$$

VYHOVUJE

NÁVRH A POSOUZENÍ TÁHEL

$$N_{Ed} := 511.6 \text{ kN}$$

System ocelových konstrukčních táhel Macalloy 460

Tyče

Tyč Macalloy 460 má následující mechanické vlastnosti:

mez kluzu	460 MPa
mez pevnosti	610 MPa
minimální tažnost	19%
min. hodnota vrub. houževnatosti	27J @ -20 °C
modul pružnosti	205x10 ⁹ MPa

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

Závit	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70	58,00



Navrhují táhla Macalloy 460 M48

$$N_{y.Rd} := 660 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y.Rd}} = 0.78$$

CELKOVÉ ZHODNOCENÍ:

OBLOUK je využit asi na 65% a **TRÁM** na necelých 50%. Bylo by vhodné navrhnout efektivnější průřezy. Na druhou stranu, z hlediska MSP je stávající návrh výhodný. Zajišťuje dobrou tuhost a malé deformace kce.

ZAVĚŠENÝ MOST

vzd. závěsů 22m

$$L_z := 22 \text{ m}$$

$$g_{ost} := 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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

$$L := 33 \text{ m}$$

$$q_{fk} := \left(2 + \frac{120}{\frac{L}{m} + 30} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{fk.n} := q_{fk} \cdot b = 7.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

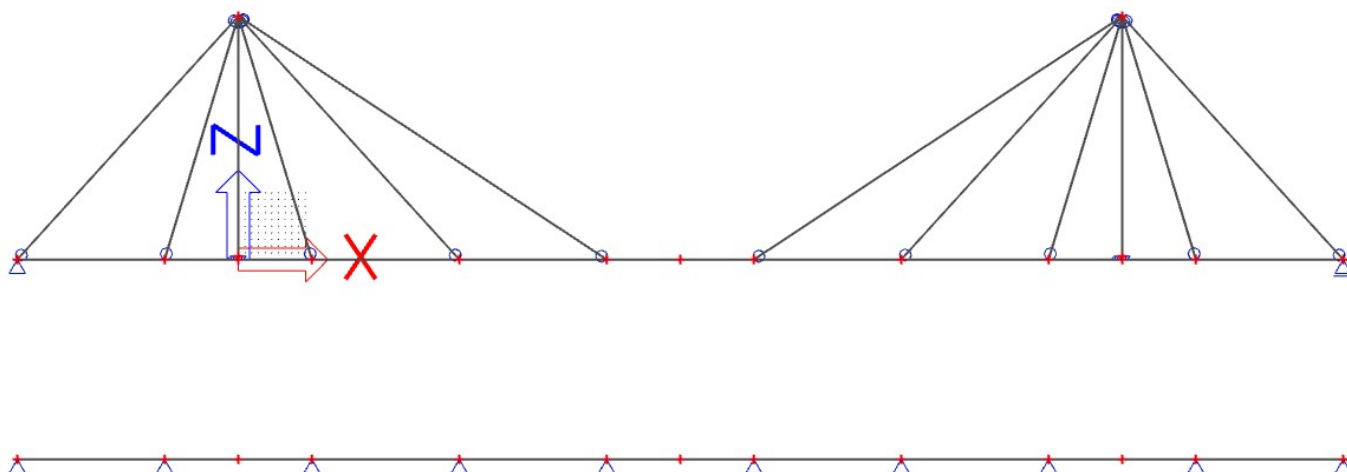
$$M_{Ed} := \frac{1}{8} \cdot (g_{ost} + q_{fk.n}) \cdot L_z^2 = 1319.48 \text{ kN m}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

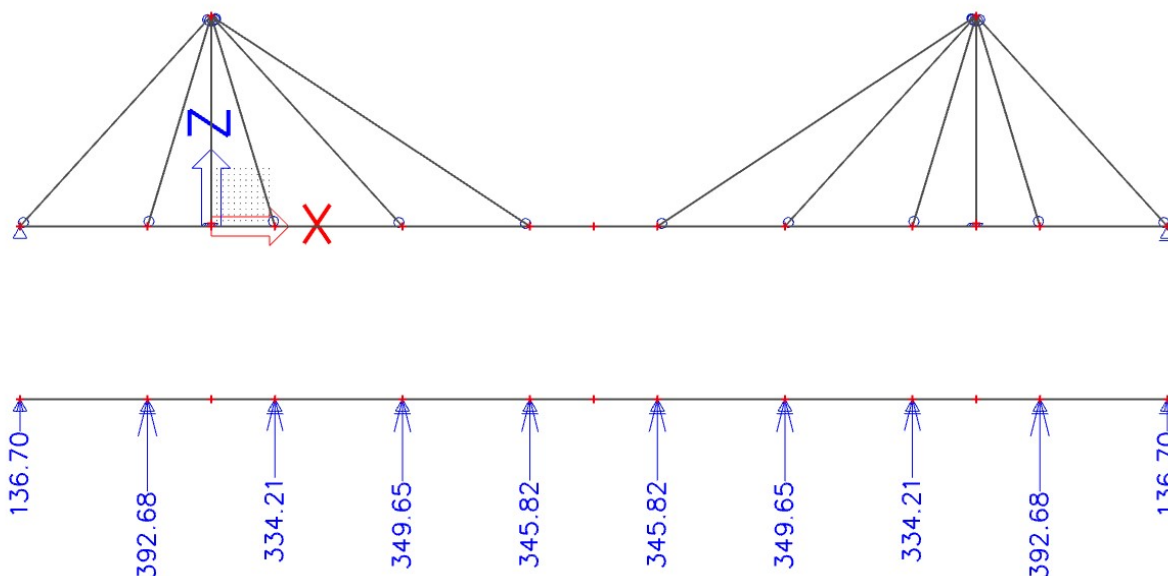
$$W_{pl.min} := \frac{M_{Ed}}{f_y} = 3.72 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

HEA 600

$$W_{pl} := 5.35 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$



Reakce na spojitém nosníku - stálé + ost. stálé



Model - tyče Rd70

$$A := \pi \cdot (35 \text{ mm})^2 = 3848.45 \text{ mm}^2$$

$$S := E \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot A$$

$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$\alpha := 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

REAKCE

Vedlejší pole

$$R_1 := 137 \text{ kN}$$

$$\alpha_1 := \text{atan}\left(\frac{36.5}{33}\right) = 47.88^\circ$$

$$S_1 := \frac{R_1}{\sin(\alpha_1)} = 184.69 \text{ kN}$$

$$\Delta T_1 := \frac{S_1}{E \cdot \alpha \cdot A} = 19.04 \frac{\text{K}}{1}$$

$$R_2 := 393 \text{ kN}$$

$$\alpha_2 := \text{atan}\left(\frac{36.5}{11}\right) = 73.23^\circ$$

$$S_2 := \frac{R_2}{\sin(\alpha_2)} = 410.46 \text{ kN}$$

$$\Delta T_2 := \frac{S_2}{E \cdot \alpha \cdot A} = 42.32 \frac{\text{K}}{1}$$

Hlavní pole

$$R_3 := 334 \text{ kN}$$

$$\alpha_3 := \alpha_2 = 73.23^\circ$$

$$S_3 := \frac{R_3}{\sin(\alpha_3)} = 348.84 \text{ kN}$$

$$\Delta T_3 := \frac{S_3}{E \cdot \alpha \cdot A} = 35.97 \frac{\text{K}}{1}$$

$$R_4 := 350 \text{ kN}$$

$$\alpha_4 := \alpha_3 = 73.23^\circ$$

$$S_4 := \frac{R_4}{\sin(\alpha_4)} = 365.55 \text{ kN}$$

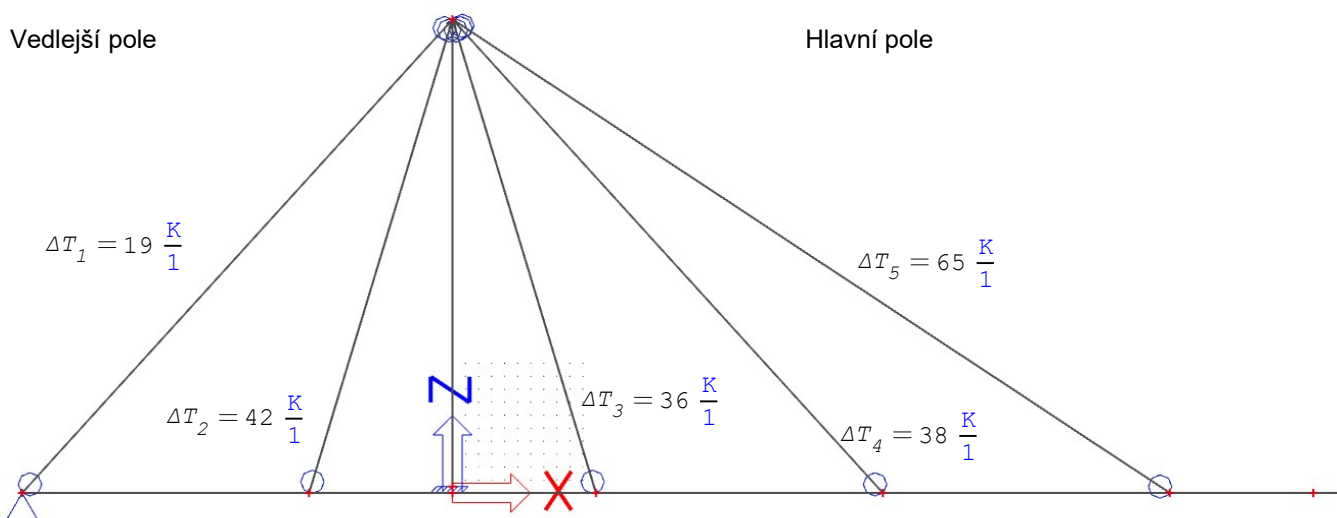
$$\Delta T_4 := \frac{S_4}{E \cdot \alpha \cdot A} = 37.69 \frac{\text{K}}{1}$$

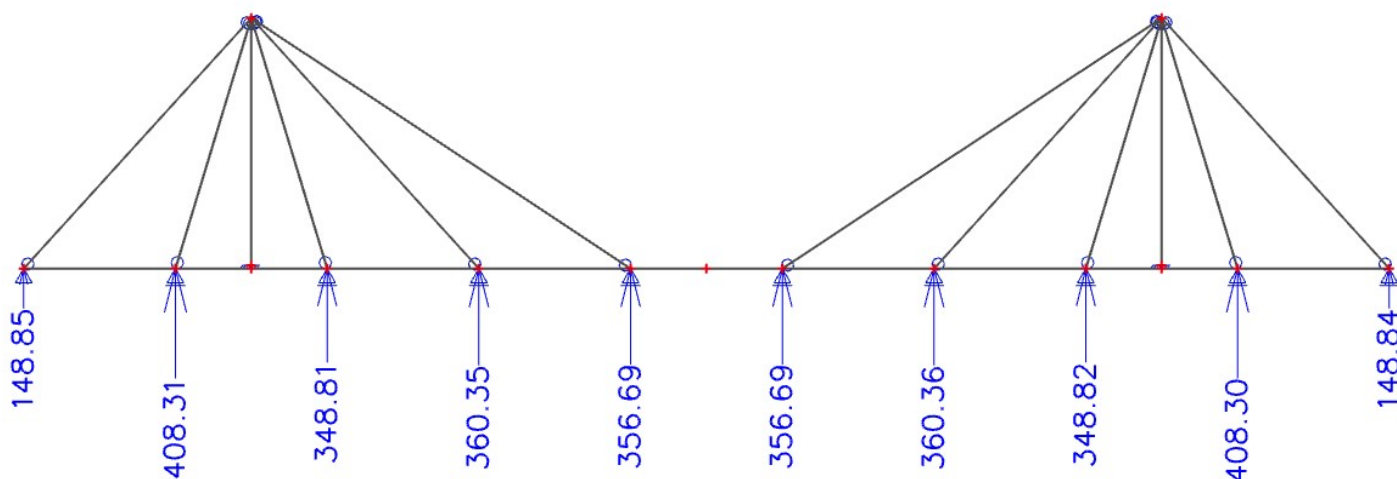
$$R_5 := 346 \text{ kN}$$

$$\alpha_5 := \text{atan}\left(\frac{36.5}{55}\right) = 33.57^\circ$$

$$S_5 := \frac{R_5}{\sin(\alpha_5)} = 625.73 \text{ kN}$$

$$\Delta T_5 := \frac{S_5}{E \cdot \alpha \cdot A} = 64.52 \frac{\text{K}}{1}$$





REAKCE

Vedlejší pole

$$R_1 := 149 \text{ kN}$$

$$\alpha_1 := \text{atan}\left(\frac{36.5}{33}\right) = 47.88^\circ$$

$$S_1 := \frac{R_1}{\sin(\alpha_1)} = 200.87 \text{ kN}$$

$$\Delta T_1 := \frac{S_1}{E \cdot \alpha \cdot A} = 20.71 \frac{\text{K}}{\text{l}}$$

$$R_2 := 408 \text{ kN}$$

$$\alpha_2 := \text{atan}\left(\frac{36.5}{11}\right) = 73.23^\circ$$

$$S_2 := \frac{R_2}{\sin(\alpha_2)} = 426.13 \text{ kN}$$

$$\Delta T_2 := \frac{S_2}{E \cdot \alpha \cdot A} = 43.94 \frac{\text{K}}{\text{l}}$$

Hlavní pole

$$R_3 := 349 \text{ kN}$$

$$\alpha_3 := \alpha_2 = 73.23^\circ$$

$$S_3 := \frac{R_3}{\sin(\alpha_3)} = 364.5 \text{ kN}$$

$$\Delta T_3 := \frac{S_3}{E \cdot \alpha \cdot A} = 37.59 \frac{\text{K}}{\text{l}}$$

$$R_4 := 360 \text{ kN}$$

$$\alpha_4 := \alpha_3 = 73.23^\circ$$

$$S_4 := \frac{R_4}{\sin(\alpha_4)} = 375.99 \text{ kN}$$

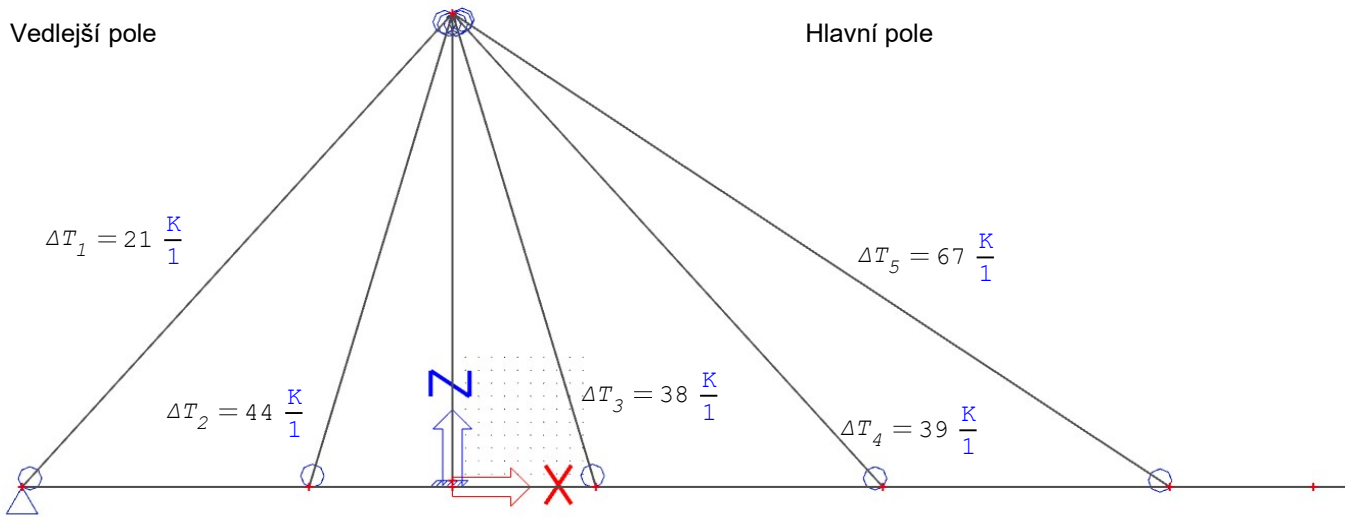
$$\Delta T_4 := \frac{S_4}{E \cdot \alpha \cdot A} = 38.77 \frac{\text{K}}{\text{l}}$$

$$R_5 := 357 \text{ kN}$$

$$\alpha_5 := \text{atan}\left(\frac{36.5}{55}\right) = 33.57^\circ$$

$$S_5 := \frac{R_5}{\sin(\alpha_5)} = 645.63 \text{ kN}$$

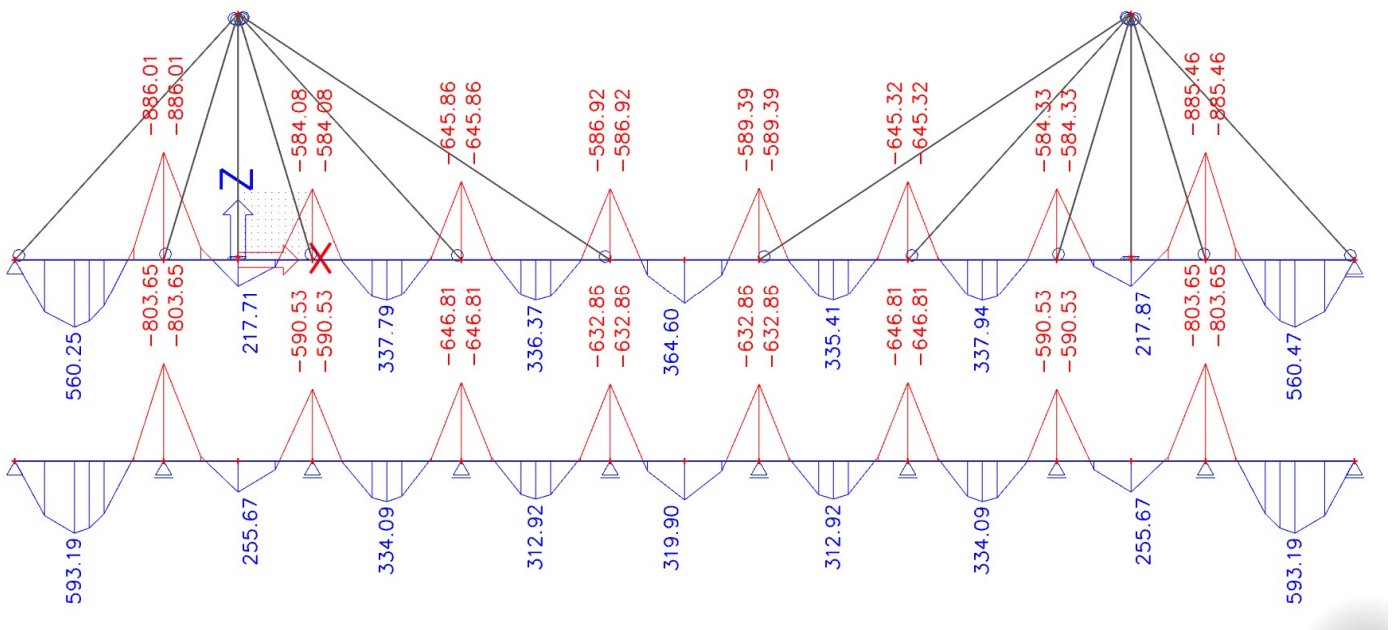
$$\Delta T_5 := \frac{S_5}{E \cdot \alpha \cdot A} = 66.57 \frac{\text{K}}{\text{l}}$$



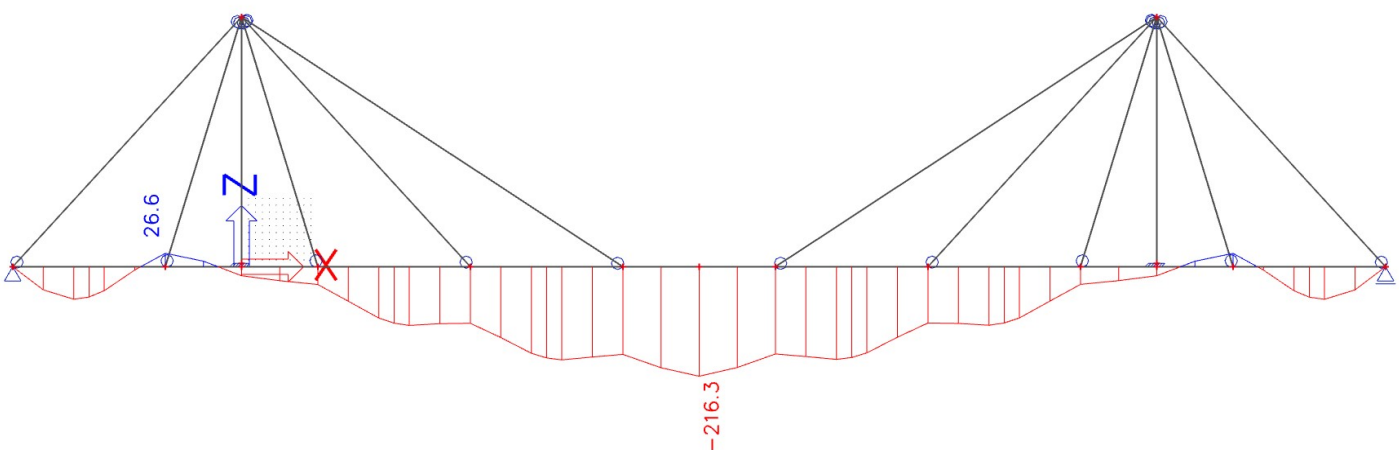
VÝSLEDNÉ POROVNÁNÍ MOMENTŮ

1) VARIANTA TEPLIT

M - MSP_stálé

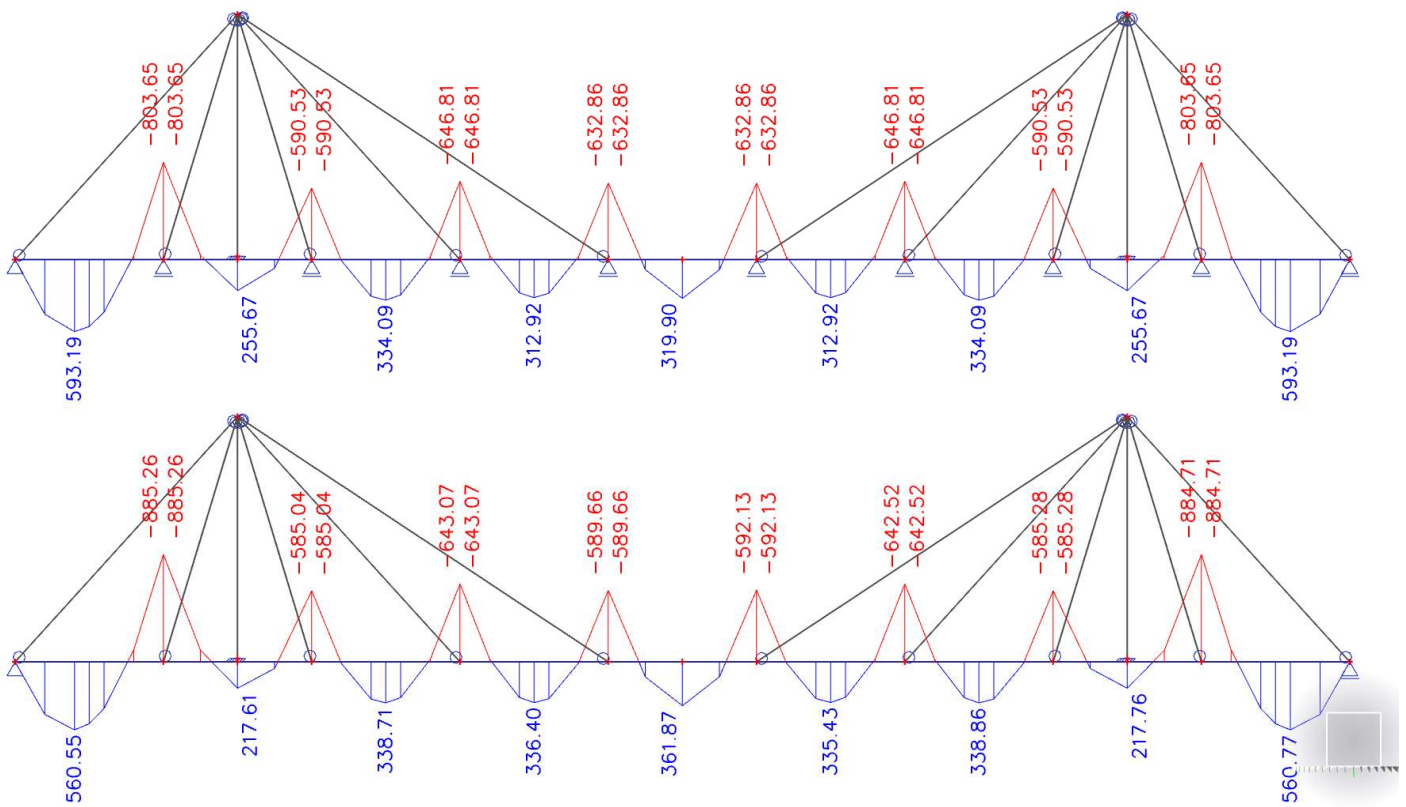


Odpovídající deformace MSP_stálé

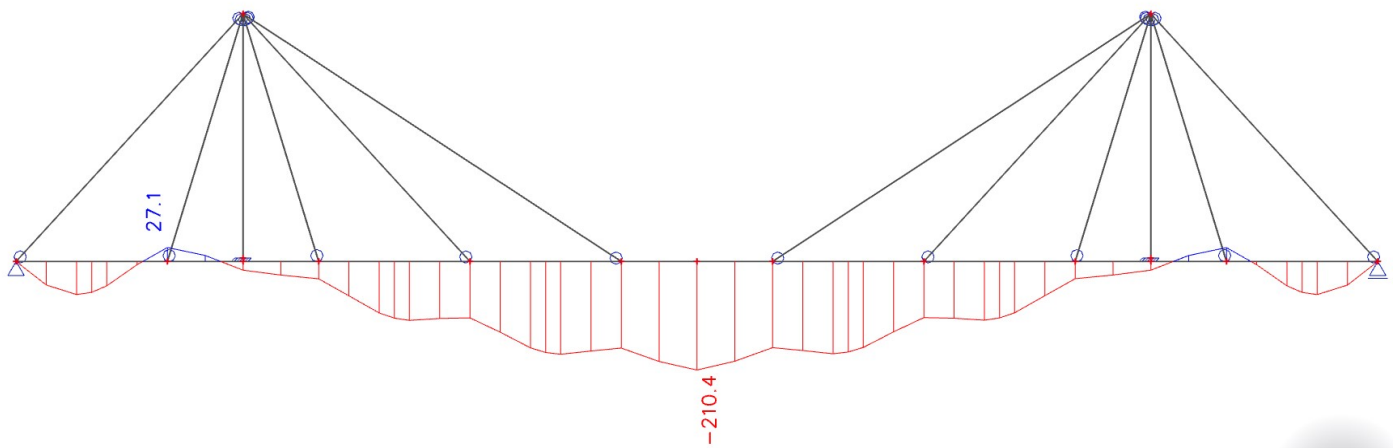


2) VARIANTA TEPLŮT

M - MSP_stálé

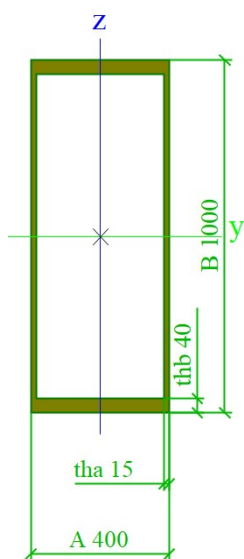


Odpovídající deformace MSP_stálé



ZAVĚŠENÉ

Profil HN



Zatížení

$$g_{ost} = 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L := 33 \text{ m}$$

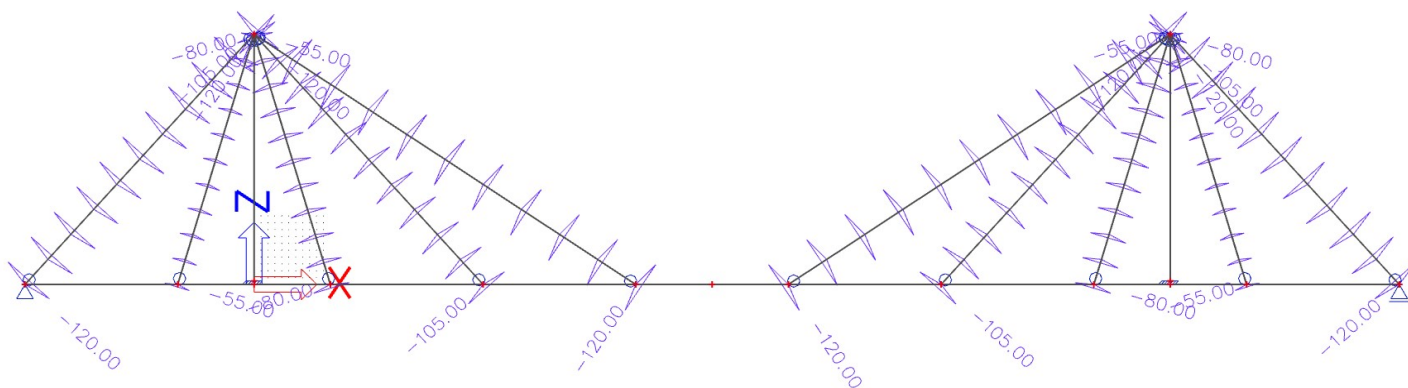
$$q_{fk} := \left(2 + \frac{120}{\frac{L}{m} + 30} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{fk.n} := q_{fk} \cdot b = 8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

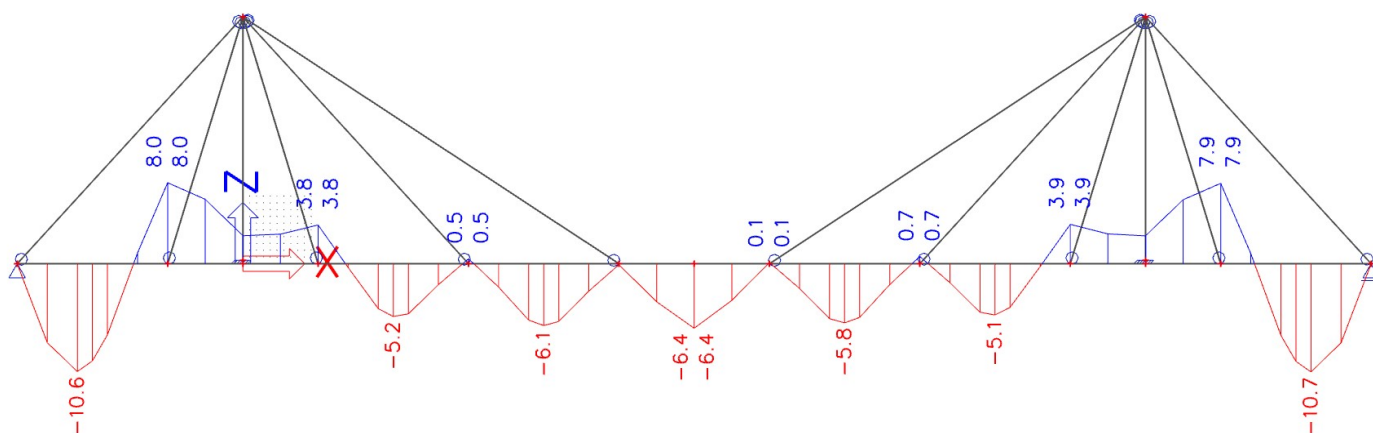
Chodci - 4 ZS - krajní pole, 1/2 hlavního pole

1) ZÁVĚSY á 22m

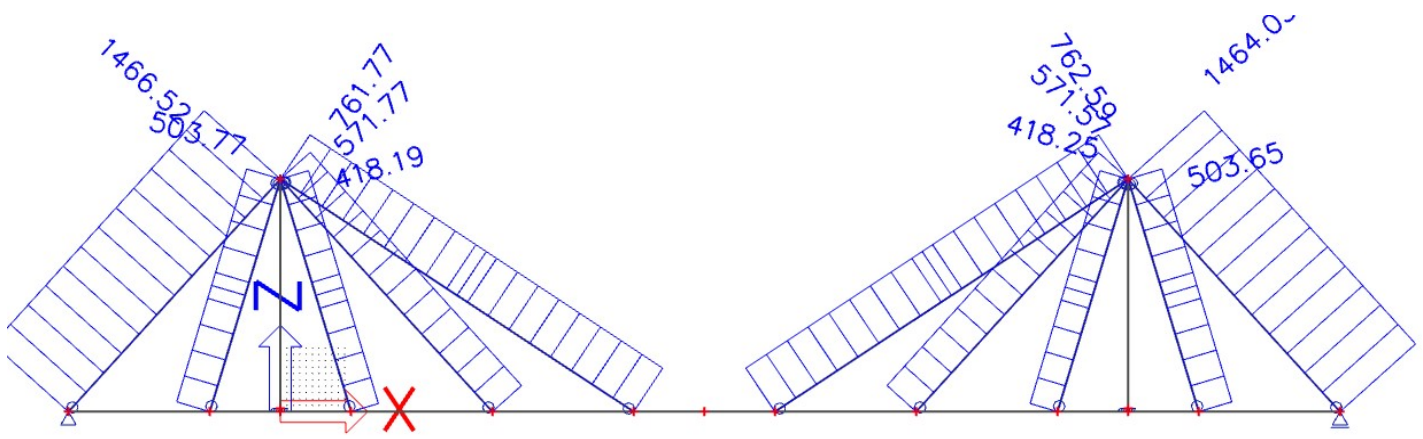
Předpětí



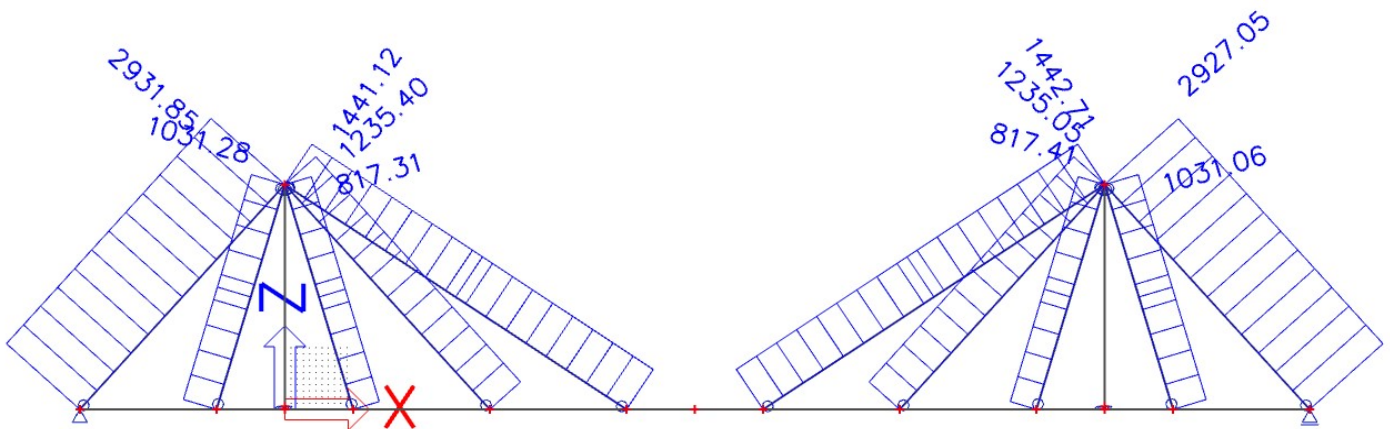
Průhyby - MSP_stálé



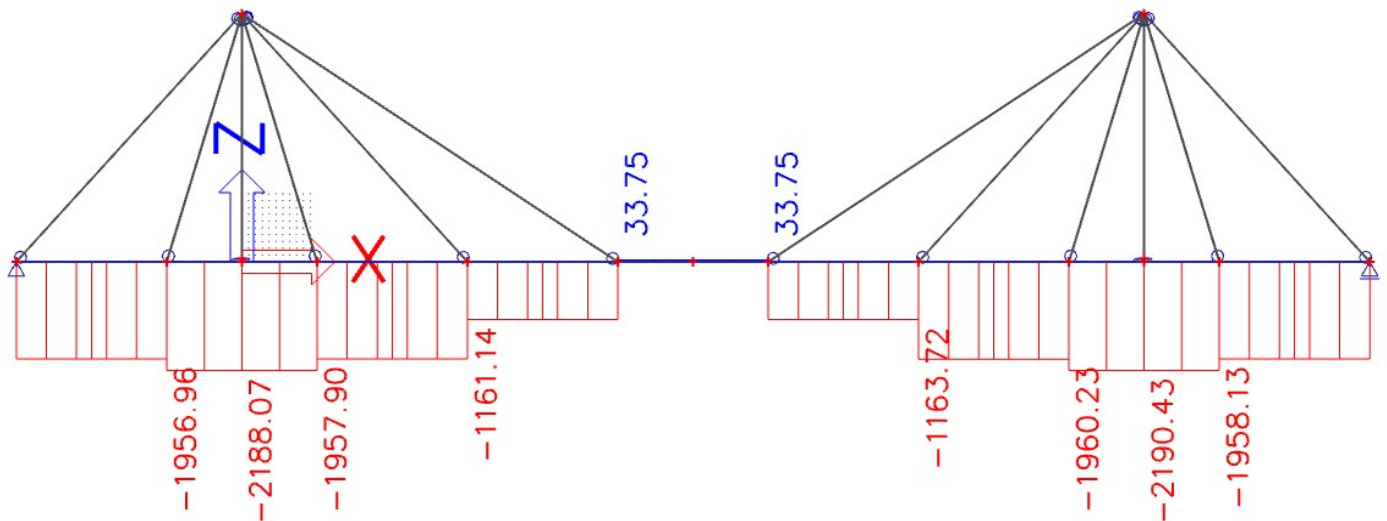
N - MSP_stálé



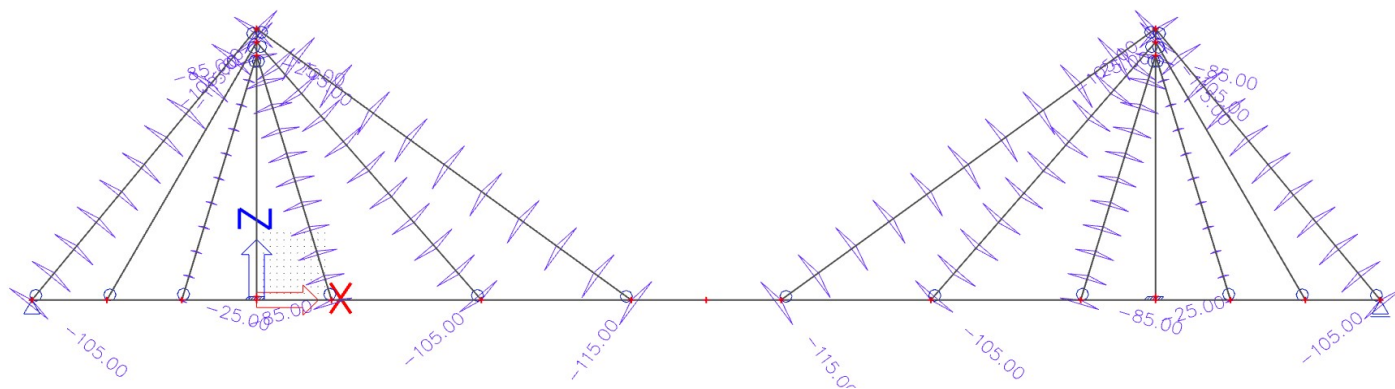
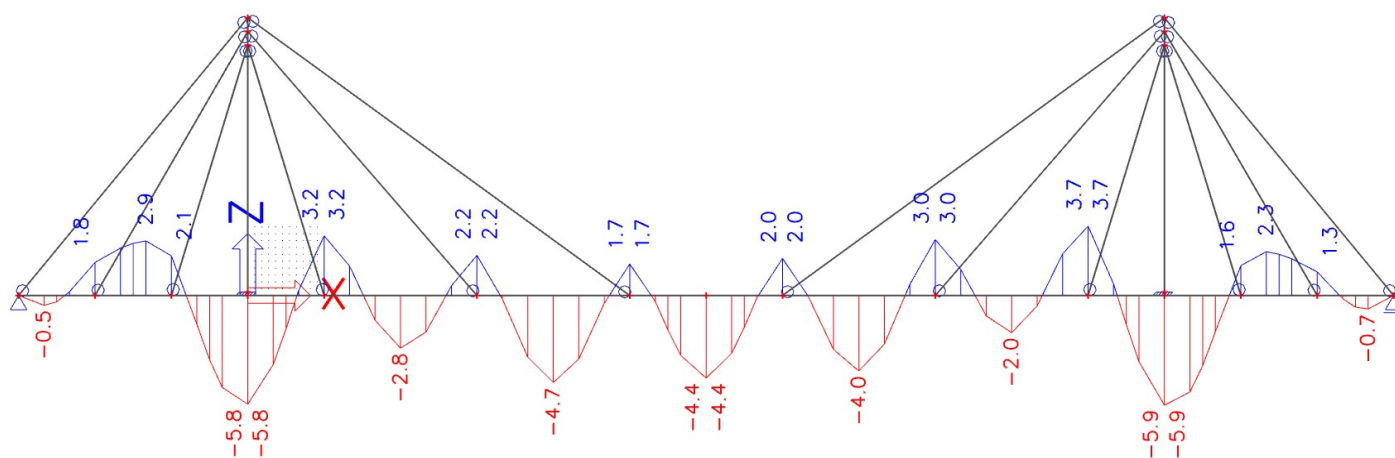
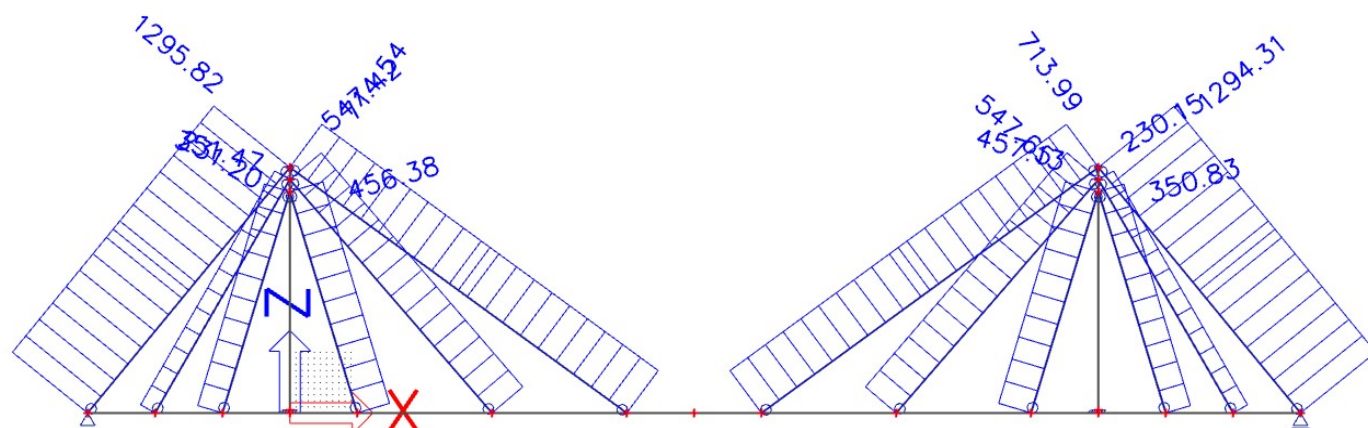
N - MSÚ



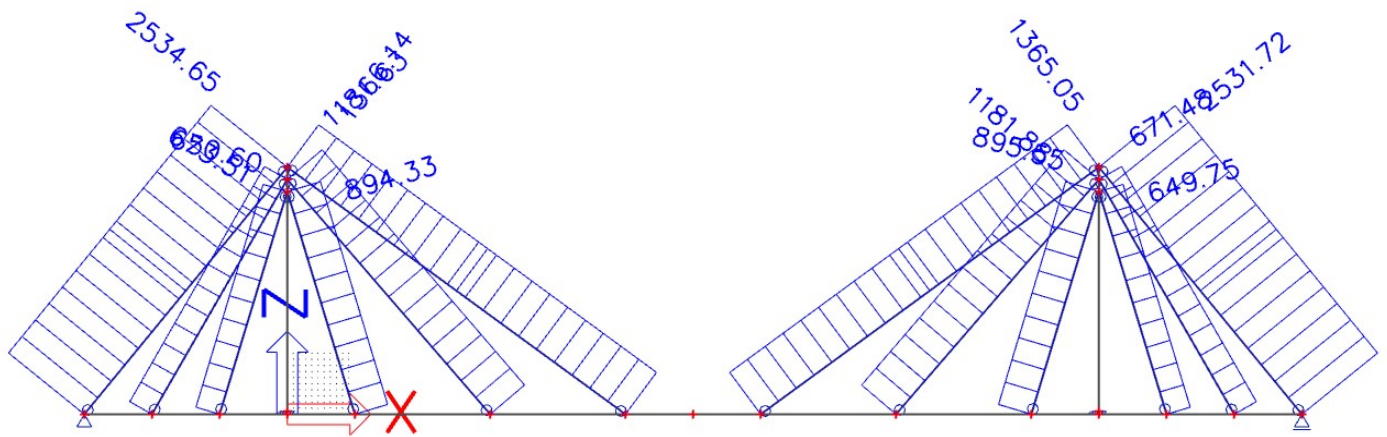
$S_{Ed.1} := 2.93 \text{ MN}$



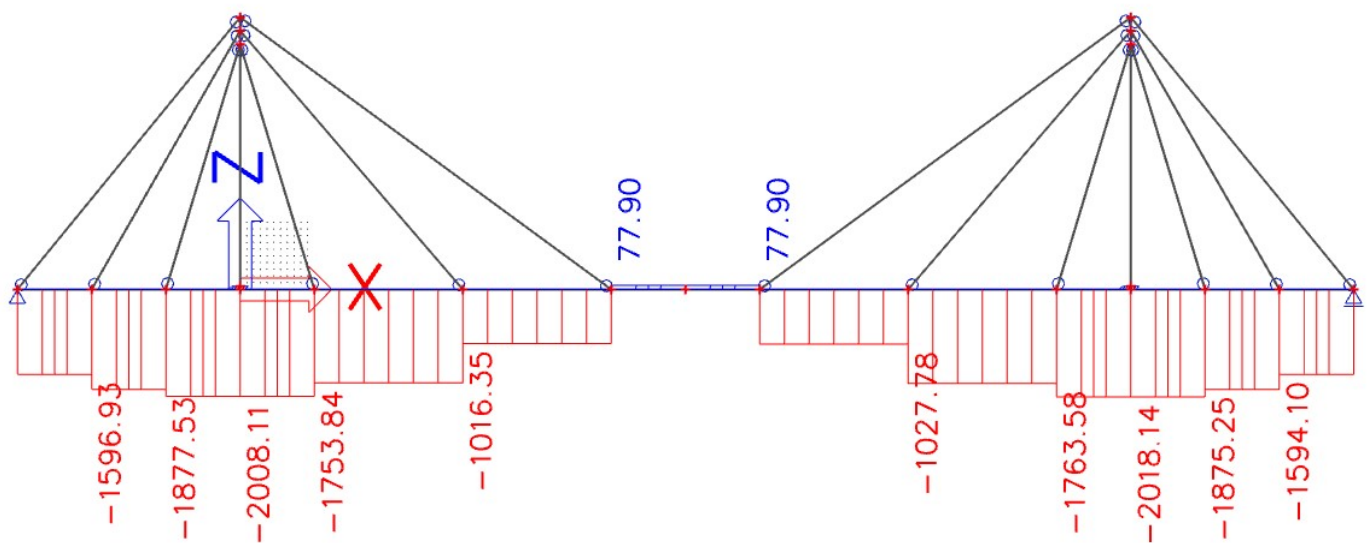
$N_{Ed.1} := 2.19 \text{ MN}$

2) ZÁVĚSY á 22m, vedlejší pole á 11m**Předpětí****Průhyby - MSP_stálé****N - MSP_stálé**

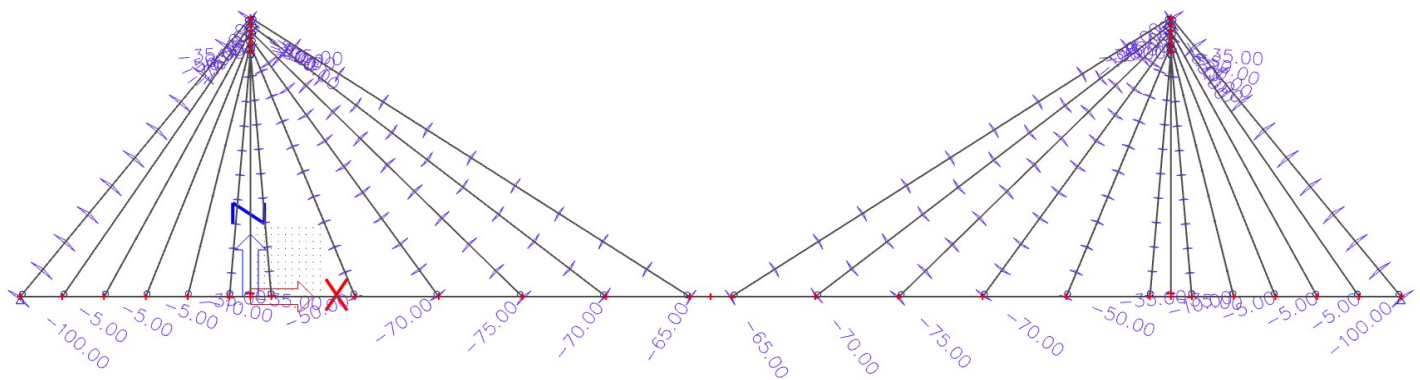
N - MSÚ



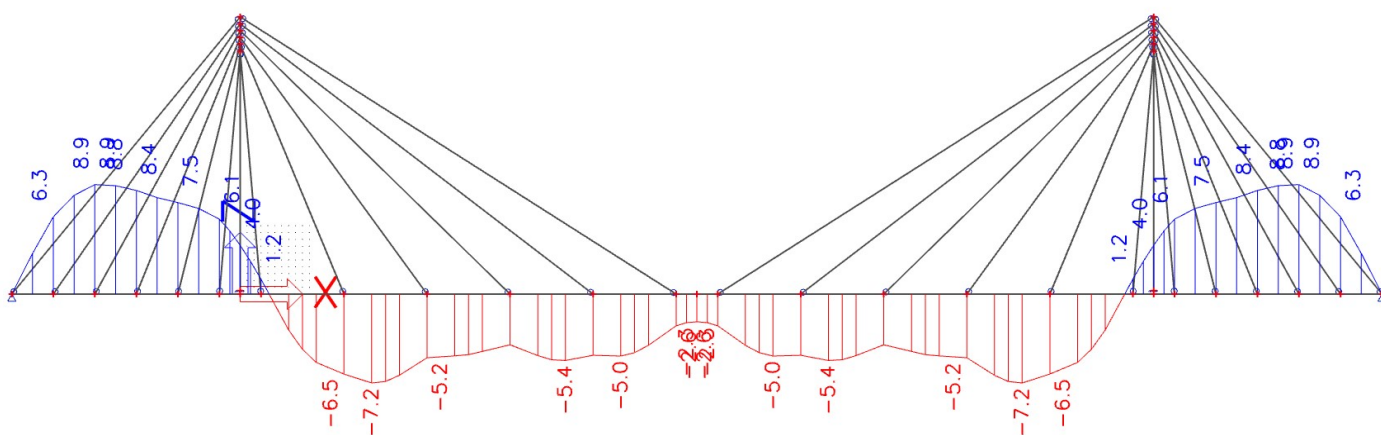
$$S_{Ed.2} := 2.53 \text{ MN}$$



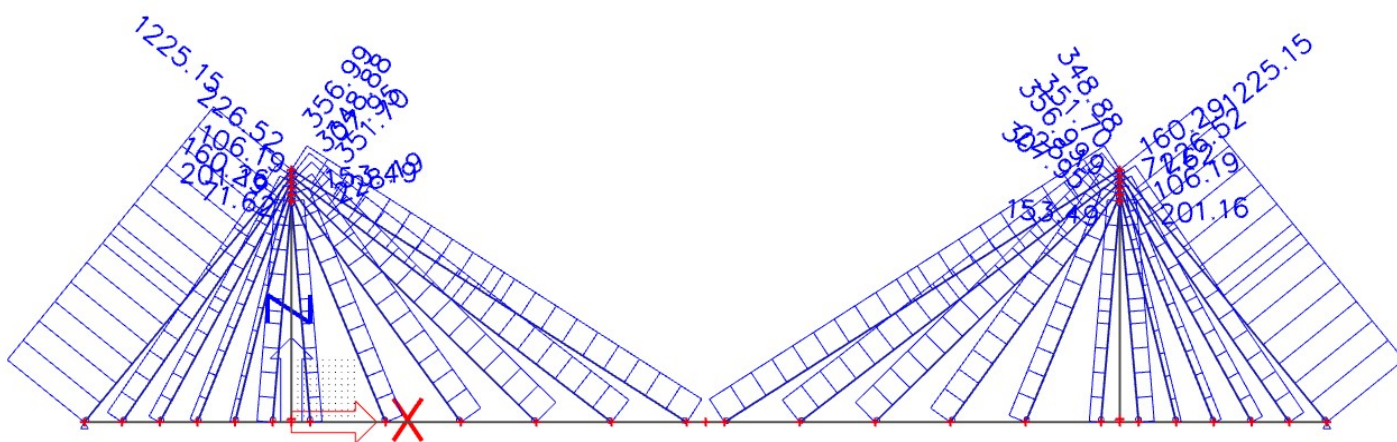
$$N_{Ed.2} := 2.02 \text{ MN}$$

3) ZÁVĚSY á 12m, vedlejší pole á 6m
Předpětí


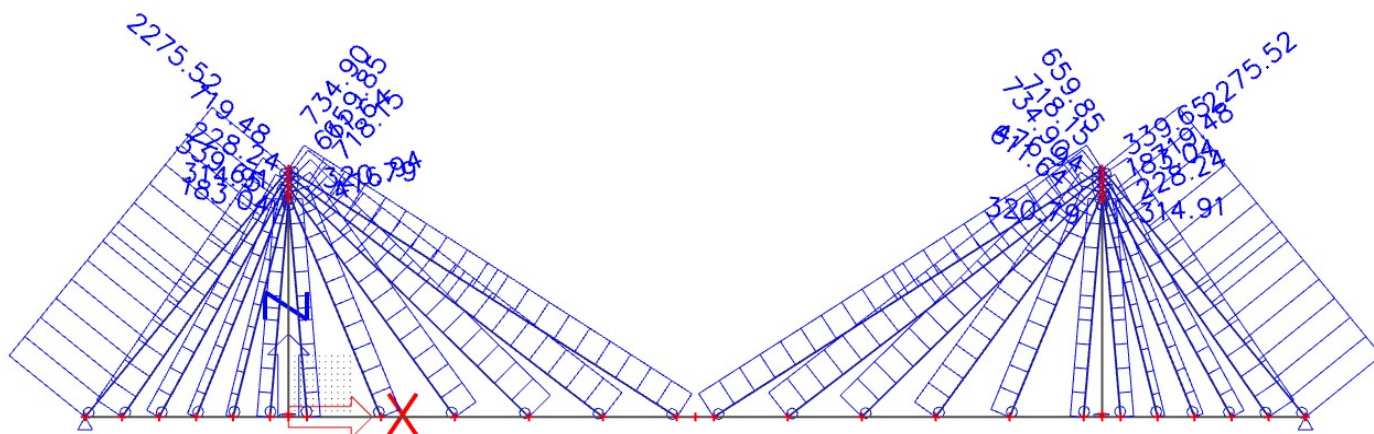
Průhyby - MSP_stálé



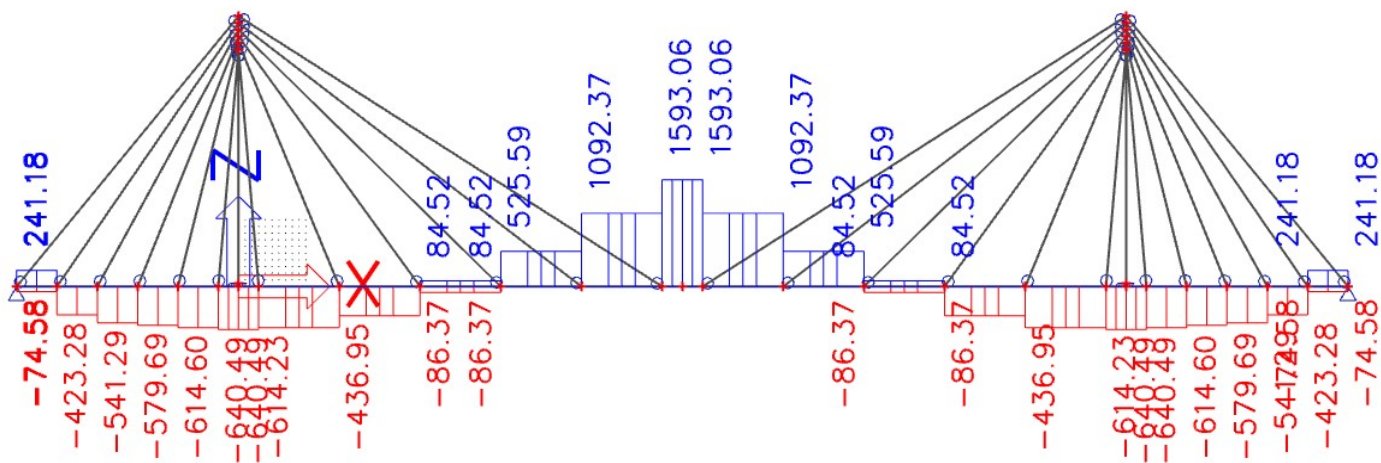
N - MSP_stálé



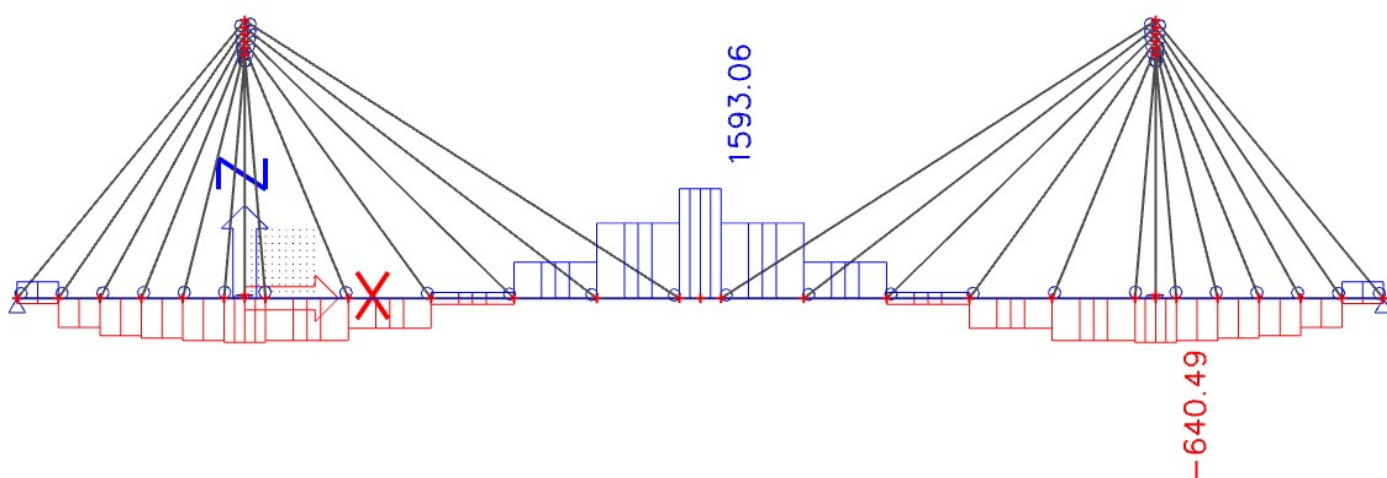
N - MSÚ



$$S_{Ed.3} := 2.53 \text{ MN}$$

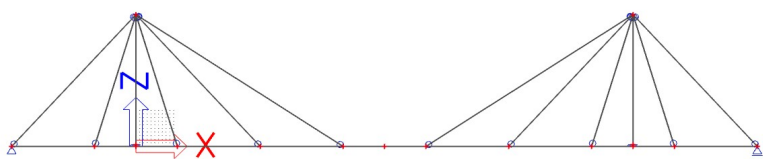


$$N_{Ed.3} := 1.59 \text{ MN}$$



Přehled

1) ZÁVĚSY á 22m

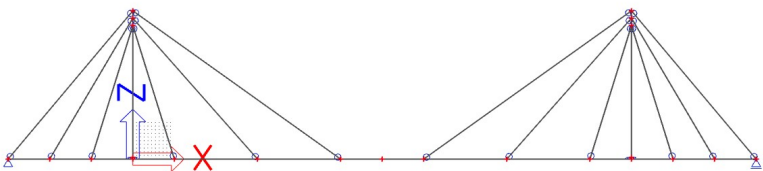


$$S_{Ed.1} = 2.93 \text{ MN}$$

$$N_{Ed.1} = 2.19 \text{ MN} \text{ tlak}$$

Estetika, problém s průhybem mezi krajními závěsy

2) ZÁVĚSY á 22m, vedlejší pole á 11m

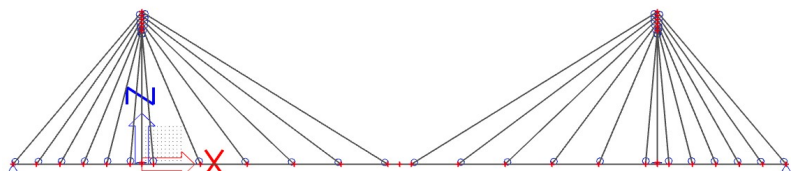


$$S_{Ed.2} = 2.53 \text{ MN}$$

$$N_{Ed.2} = 2.02 \text{ MN} \text{ tlak}$$

Nejjednodušší ladění, dobré fungování, malé průhyby

3) ZÁVĚSY á 12m, vedlejší pole á 6m

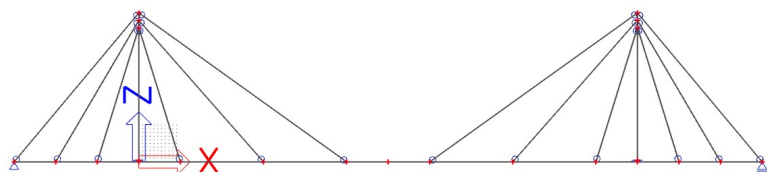


$$S_{Ed.3} = 2.53 \text{ MN}$$

$$N_{Ed.3} = 1.59 \text{ MN} \text{ tah}$$

Složitější ladění, malé tlaky do trámu

PODROBNĚJŠÍ NÁVRH A POSOUZENÍ VARIANTY 2 ZAVĚŠENÉHO MOSTU



Ve variantách modelován betonový pylon

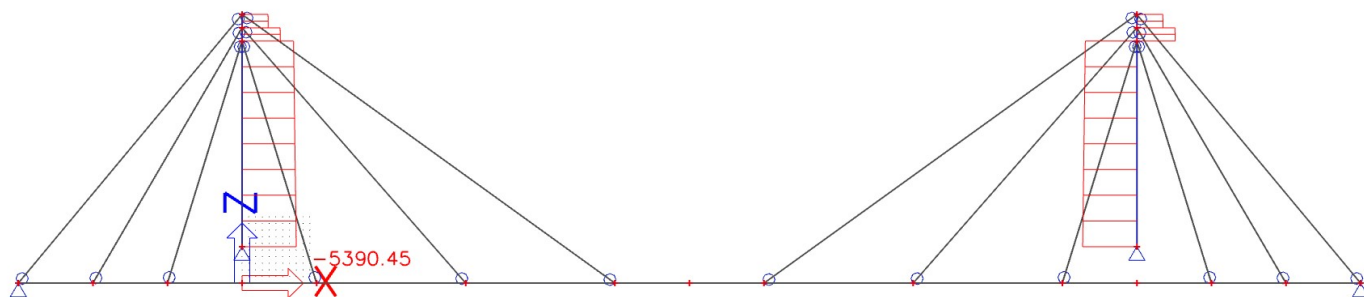
Návrh ocelového pylonu

$$A_{min} := \frac{5000 \text{ kN}}{f_y} = 0.01 \text{ m}^2$$

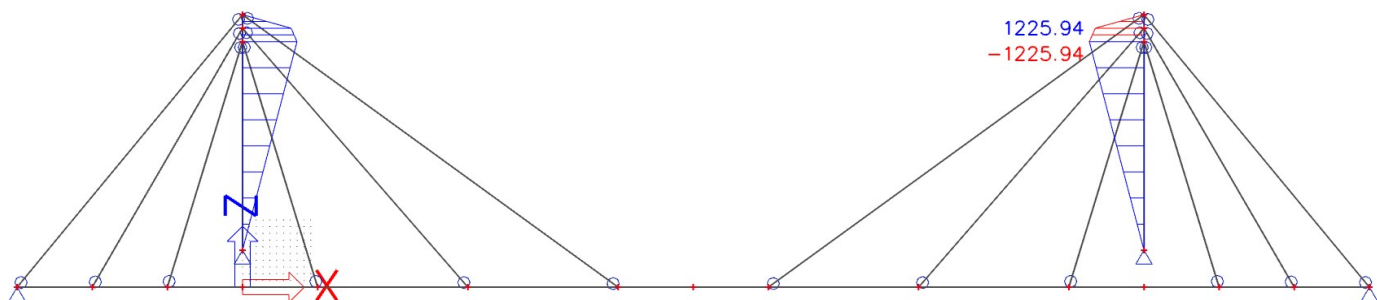
PYLON

Vnitřní síly

N - MSÚ



M - MSÚ



css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
CS8 - CHSC	2	MSÚ/2	-1782.31	234.29	0
CS8 - CHSC	0	MSÚ/4	-2565.69	578.03	-1156.05
CS8 - CHSC	0	MSÚ/3	-2566.32	-576.91	1153.82
CS8 - CHSC	0	MSÚ/4	-3976.07	77.53	-1311.12
CS8 - CHSC	31	MSÚ/4	-5182.18	42.29	1311.12
CS8 - CHSC	0	MSÚ/1	-5919.1	31.68	0

$$N_{Ed.a} := 2566 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$

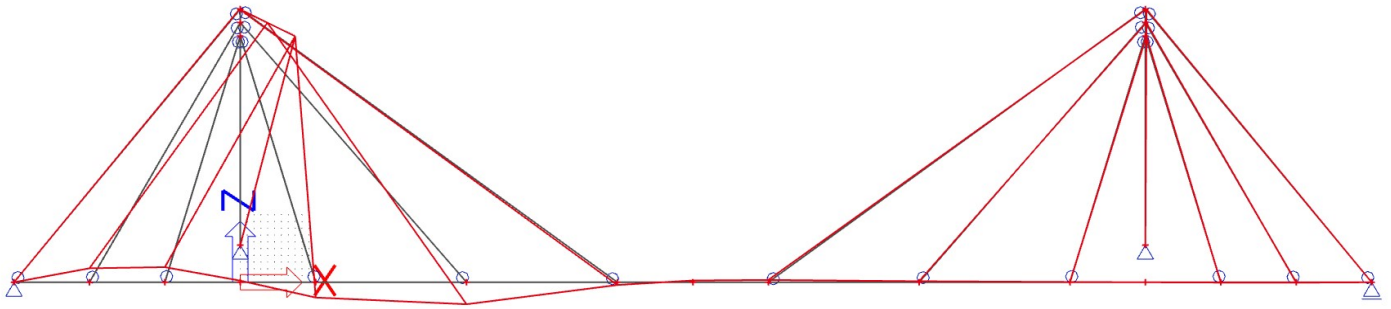
$$N_{Ed.b} := 5182.2 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$

$$N_{Ed} := 5919.1 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$

$$M_{Ed.a} := 1156 \text{ kNm}$$

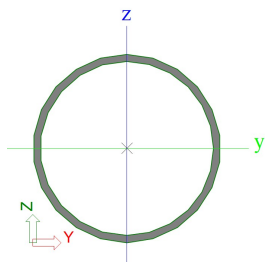
$$M_{Ed.b} := 1311.1 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} := \max \left(\begin{matrix} M_{Ed.a} \\ M_{Ed.b} \end{matrix} \right) = 1311.1 \text{ kNm}$$

Stabilitní výpočet $\alpha_{cr} := 3.13$ 

Průřez pylonu

TR 914/30



A	8.3300e-02	m^2
Ay	5.3040e-02	m^2
Az	5.3040e-02	m^2
AL	2.8700e+00	m^2/m
AD	5.5541e+00	m^2/m
cYUCS	457	mm
cZUCS	457	mm
α	0.00	deg
ly	8.1478e-03	m^4
lz	8.1478e-03	m^4
iy	313	mm
iz	313	mm
Wely	1.7829e-02	m^3
Welz	1.7829e-02	m^3
Wply	2.3083e-02	m^3
Wplz	2.3083e-02	m^3
Mply+	8.32e+06	Nm
Mply-	8.32e+06	Nm
Mplz+	8.32e+06	Nm
Mplz-	8.32e+06	Nm
dy	0	mm
dz	0	mm
It	1.6296e-02	m^4
Iw	3.2049e-36	m^6
β_y	0	mm
β_z	0	mm

Třída 1 ==> plastický posudek

$$A := 0.0833 \text{ m}^2$$

$$I_y := 8.1478 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_z := I_y$$

$$i_y := 313 \text{ mm}$$

$$i_z := i_y$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$W_{pl} := 2.3083 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

a) Vzpěrný tlak

vzpěrné křivky c

$$\alpha := 0.49$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0.814$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.4$$

Vzpěrné délky

$$\alpha_{cr} = 3.13$$

V rovině závěsů: y-y

$$L_{cr,y} := \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{|N_{Ed}| \cdot \alpha_{cr}}} = 30.19 \text{ m}$$

$$\lambda_{-y} := \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = 1.26$$

$$\phi_y := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-y} - 0.2) + \lambda_{-y}^2 \right) = 1.56$$

Z roviny závěsů: z-z

$$L_{cr,z} := 35 \text{ m}$$

$$\lambda_{-z} := \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot \lambda_1} = 1.46$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-z} - 0.2) + \lambda_{-z}^2 \right) = 1.88$$

$$\chi_y := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_{-y}^2}} \right] \right) = 0.405$$

$$\chi_z := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_{-z}^2}} \right] \right) = 0.327$$

$$\chi := \min \left(\left[\begin{array}{c} \chi_y \\ \chi_z \end{array} \right] \right) = 0.327$$

$$N_{b.Rd} := \chi \cdot A \cdot f_y = 9658.24 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 5919.1 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b.Rd}} = 0.61$$

VYHOVUJE**b) Ohyb**

$$M_{Ed} = 1311.1 \text{ kN m}$$

$$W_{pl} = 0.02 \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} := f_y \cdot W_{pl} = 8194.46 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 0.16$$

VYHOVUJE**c) Interakce tlak + ohyb**

$$N_{Ed.a} = 2566 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.b} = 5182.2 \text{ kN}$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 29571.5 \text{ kN}$$

$$\chi_y = 0.405$$

$$M_{Ed.a} = 1156 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed.b} = 1311.1 \text{ kN m}$$

$$M_{Rk} := f_y \cdot W_{pl} = 8194.465 \text{ kN m}$$

$$\chi_z = 0.3266$$

Interakční součinitele

Souč. ekvivalentního konst. momentu

$$\psi := 0$$

$$C_{my} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.6 > 0.4$$

$$\lambda_{-y} = 1.263 > 1$$

$$k_{yy.a} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed.a}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) = 0.677$$

$$k_{yy.b} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed.b}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) = 0.756$$

$$k_{zy.a} := 0.8 \cdot k_{yy.a} = 0.542$$

$$k_{zy.b} := 0.8 \cdot k_{yy.b} = 0.605$$

Posouzení

Kombinace a

$$\frac{N_{Ed.a}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy.a} \cdot \frac{M_{Ed.a}}{M_{Rk}} = 0.31$$

$$\frac{N_{Ed.a}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy.a} \cdot \frac{M_{Ed.a}}{M_{Rk}} = 0.34$$

Kombinace b

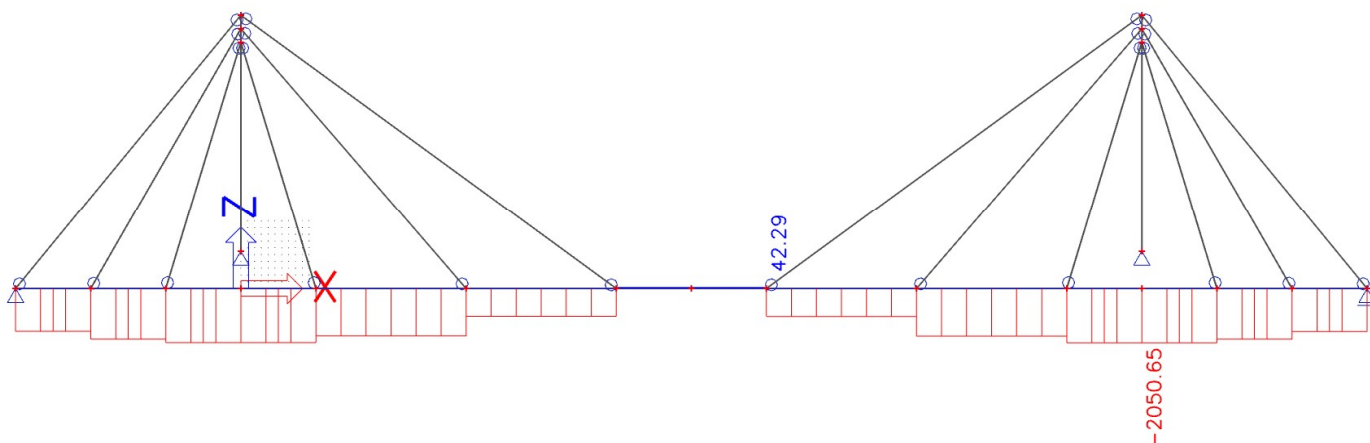
$$\frac{N_{Ed.b}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy.b} \cdot \frac{M_{Ed.b}}{M_{Rk}} = 0.55$$

$$\frac{N_{Ed.b}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy.b} \cdot \frac{M_{Ed.b}}{M_{Rk}} = 0.63$$

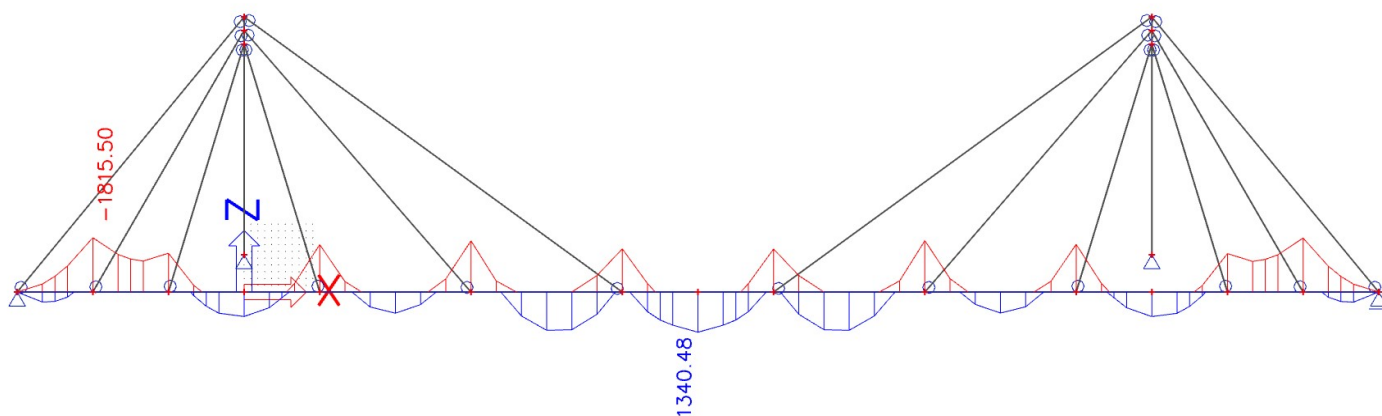
VYHOVUJE

TRÁM**Vnitřní síly**

N - MSÚ



M - MSÚ



css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
CS7 - O	0	MSÚ/2	42.29	362.2	-1443.16
CS7 - O	11	MSÚ/4	40.33	0.23	1340.48
CS7 - O	0	MSÚ/2	-881.95	471.1	-1660.94
CS7 - O	11	MSÚ/4	-1910.83	-198.4	-1815.5
CS7 - O	11	MSÚ/3	-1917.6	-423.12	-1592.6
CS7 - O	0	MSÚ/1	-2050.65	-12.78	818.73

$$N_{Ed.a} := (-1911) \text{ kN TLAK}$$

$$N_{Ed.b} := (-2051) \text{ kN TLAK}$$

$$N_{Ed} := \max \left(\begin{bmatrix} N_{Ed.a} \\ N_{Ed.b} \end{bmatrix} \right) = -1911 \text{ kN TLAK}$$

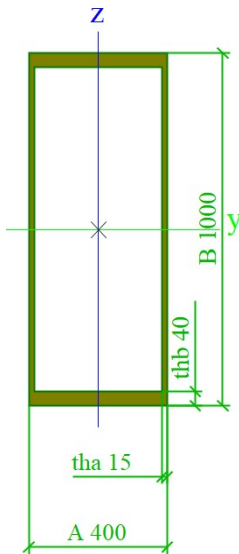
$$M_{Ed.a} := 1816 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed.b} := 819 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} := \max \left(\begin{bmatrix} M_{Ed.a} \\ M_{Ed.b} \end{bmatrix} \right) = 1816 \text{ kN m}$$

Průřez - tř. 4

=> nutno stanovit efektivní průřez



$$A := 0.0596 \text{ m}^2$$

$$h := 1000 \text{ mm}$$

$$b_f := 400 \text{ mm}$$

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

$$t_w := 15 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 \cdot t_f = 920 \text{ mm}$$

$$I_Y := 0.0093238 \text{ m}^4$$

$$I_Z := 0.0014499 \text{ m}^4$$

$$f_Y := 355 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_Y}} = 0.8136$$

$$i_Y := 396 \text{ mm}$$

$$i_Z := 156 \text{ mm}$$

$$W_{Y,e1} := 0.018648 \text{ m}^3$$

$$W_{Z,e1} := 0.0072497 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} A & [\text{m}^2] = 5.9600\text{e-}02 \\ A_y & [\text{m}^2] = 3.1082\text{e-}02 \\ A_z & [\text{m}^2] = 2.9229\text{e-}02 \\ AL & [\text{m}^2/\text{m}] = 2.8000\text{e+}00 \\ AD & [\text{m}^2/\text{m}] = 5.3800\text{e+}00 \\ cYUCS & [\text{mm}] = 200 \\ cZUCS & [\text{mm}] = 500 \\ \alpha & [\text{deg}] = 0.00 \\ I_y & [\text{m}^4] = 9.3238\text{e-}03 \\ I_z & [\text{m}^4] = 1.4499\text{e-}03 \\ i_y & [\text{mm}] = 396 \\ i_z & [\text{mm}] = 156 \\ W_{ely} & [\text{m}^3] = 1.8648\text{e-}02 \\ W_{elz} & [\text{m}^3] = 7.2497\text{e-}03 \\ W_{ply} & [\text{m}^3] = 2.1708\text{e-}02 \\ W_{plz} & [\text{m}^3] = 8.5130\text{e-}03 \\ M_{ply+} & [\text{Nm}] = 7.71\text{e+}06 \\ M_{ply-} & [\text{Nm}] = 7.71\text{e+}06 \\ M_{plz+} & [\text{Nm}] = 3.02\text{e+}06 \\ M_{plz-} & [\text{Nm}] = 3.02\text{e+}06 \\ d_y & [\text{mm}] = 0 \\ d_z & [\text{mm}] = 0 \\ I_t & [\text{m}^4] = 3.5066\text{e-}03 \\ I_w & [\text{m}^6] = 9.6406\text{e-}05 \\ \beta_y & [\text{mm}] = 0 \\ \beta_z & [\text{mm}] = 0 \end{aligned}$$

1. KOMBINACE ZATÍŽENÍ a

1) Efektivní průřez pro první kombinaci zat.

$$N_{Ed,a} = -1911 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,a} = 1816 \text{ kN m}$$

Poměr koncových napětí

$$e_{h,w} := -\frac{h_w}{2} = -460 \text{ mm}$$

$$e_{d,w} := -e_{h,w} = 460 \text{ mm}$$

$$\sigma_c := \frac{N_{Ed,a}}{A} = -32.06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h := \frac{M_{Ed,a}}{I_Y} \cdot e_{h,w} = -89.59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d := \frac{M_{Ed,a}}{I_Y} \cdot e_{d,w} = 89.59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 := \sigma_c + \sigma_h = -121.66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 := \sigma_c + \sigma_d = 57.53 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -0.47$$

Tabulka 4.1 – Vnitřní tlačené části

Průběh napětí (tlak označen kladně)			Účinná šířka b_{eff}			
			$\psi = 1:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$			
			$1 > \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$			
			$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma := 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \cdot \psi^2 = 12.97$$

Poměrná štíhlost stěny

$$b' := h_w = 920 \text{ mm}$$

$$\lambda'_{p'} := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad \lambda'_{p'} := \frac{b'}{t_w} = 0.74$$

Redukční součinitel ρ

$$\rho := \frac{\lambda'_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)}{\lambda'_p{}^2} = 1.101 > 1$$

$$\rho := 1$$

Efektivní průřez = plný průřez

2. KOMBINACE ZATÍŽENÍ b

1) Efektivní průřez pro druhou kombinaci zat.

$$N_{Ed.b} = -2051 \text{ kN}$$

$$M_{Ed.b} = 819 \text{ kN m}$$

Poměr koncových napětí

$$e_{h.w} := -\frac{h_w}{2} = -460 \text{ mm}$$

$$e_{d.w} := -e_{h.w} = 460 \text{ mm}$$

$$\sigma_c := \frac{N_{Ed.a}}{A} = -32.06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h := \frac{M_{Ed.a}}{I_y} \cdot e_{h.w} = -89.59 \text{ MPa}$$

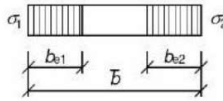
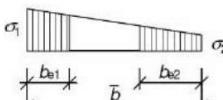
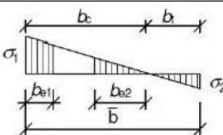
$$\sigma_d := \frac{M_{Ed.a}}{I_y} \cdot e_{d.w} = 89.59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 := \sigma_c + \sigma_h = -121.66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 := \sigma_c + \sigma_d = 57.53 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -0.47$$

Tabulka 4.1 – Vnitřní tlačené části

Průběh napětí (tlak označen kladně)				Účinná ^b šířka b_{eff}		
				$\psi = 1:$		
				$b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$		
				$b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}}$	$b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$	
				$1 > \psi \geq 0:$		
				$b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$		
				$b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{\text{eff}}$	$b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$	
				$\psi < 0:$		
				$b_{\text{eff}} = \rho b_e = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$		
				$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$	$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$	
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

$$k_\sigma := 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \cdot \psi^2 = 12.9715$$

Poměrná štíhlost stěny

$$b' := h_w = 920 \text{ mm}$$

$$\lambda'_p := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad \lambda'_p := \frac{\frac{b'}{t_w}}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.737$$

Redukční součinitel ρ

$$\rho := \frac{\lambda'_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)}{\lambda'_p{}^2} = 1.101 > 1$$

$$\rho := 1$$

2. Posouzení

a) Vzpěrný tlak

$$\text{vzpěrné křivky } d \quad \alpha := 0.76 \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0.814$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.4$$

Vzpěrné délky

$$\alpha_{cr} = 3.13$$

V rovině závěsů: y-y

$$L_{cr.y} := \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{|N_{Ed}| \cdot \alpha_{cr}}} = 56.84 \text{ m}$$

$$\lambda_{-y} := \frac{L_{cr.y}}{i_y \cdot \lambda_1} = 1.88$$

$$\phi_y := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-y} - 0.2) + \lambda_{-y}^2 \right) = 2.9$$

$$\chi_y := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_{-y}^2}} \right] \right) = 0.2$$

$$\chi := \min \left(\left[\begin{array}{c} \chi_y \\ \chi_z \end{array} \right] \right) = 0.195 \quad \boxed{N_{b.Rd} := \chi \cdot A \cdot f_y = 4135.95 \text{ kN}} \\ N_{Ed} = -1911 \text{ kN}$$

Z roviny závěsů: z-z

Vzd. příčníků

$$L_{cr.z} := \frac{22}{8} \text{ m} = 2.75 \text{ m}$$

$$\lambda_{-z} := \frac{L_{cr.z}}{i_z \cdot \lambda_1} = 0.23$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-z} - 0.2) + \lambda_{-z}^2 \right) = 0.54$$

$$\chi_z := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_{-z}^2}} \right] \right) = 0.98$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b.Rd}} = 0.46$$

VYHOVUJE

b) Ohyb

$$M_{Ed} = 1816 \text{ kN m}$$

$$W_{pl} = 0.0231 \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} := f_y \cdot W_{pl} = 8194.46 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 0.22$$

VYHOVUJE

c) Interakce tlak + ohyb

$$N_{Ed.a} = -1911 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.b} = -2051 \text{ kN}$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 21158 \text{ kN}$$

$$\chi_y = 0.2$$

$$M_{Ed.a} = 1816 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed.b} = 819 \text{ kN m}$$

$$M_{y.Rk} := f_y \cdot W_{y.e1} = 6620.04 \text{ kN m}$$

$$\chi_z = 0.98$$

$$M_{z.Rk} := f_y \cdot W_{z.e1} = 2573.64 \text{ kN m}$$

Interakční součinitele

Souč. ekvivalentního konst. momentu

$$\psi = -0.47$$

$$C_{my} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.411 > 0,4$$

$$\lambda_{-y} = 1.879 > 1$$

$$k_{yy.a} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed.a}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) = 0.297$$

$$k_{yy.b} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed.b}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) = 0.289$$

$$k_{zy.a} := 0.8 \cdot k_{yy.a} = 0.238$$

$$k_{zy.b} := 0.8 \cdot k_{yy.b} = 0.231$$

Posouzení

Kombinace a

$$\frac{|N_{Ed.a}|}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy.a} \cdot \frac{M_{Ed.a}}{M_{y.Rk}} = 0.54$$

$$\frac{|N_{Ed.a}|}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy.a} \cdot \frac{M_{Ed.a}}{M_{z.Rk}} = 0.26$$

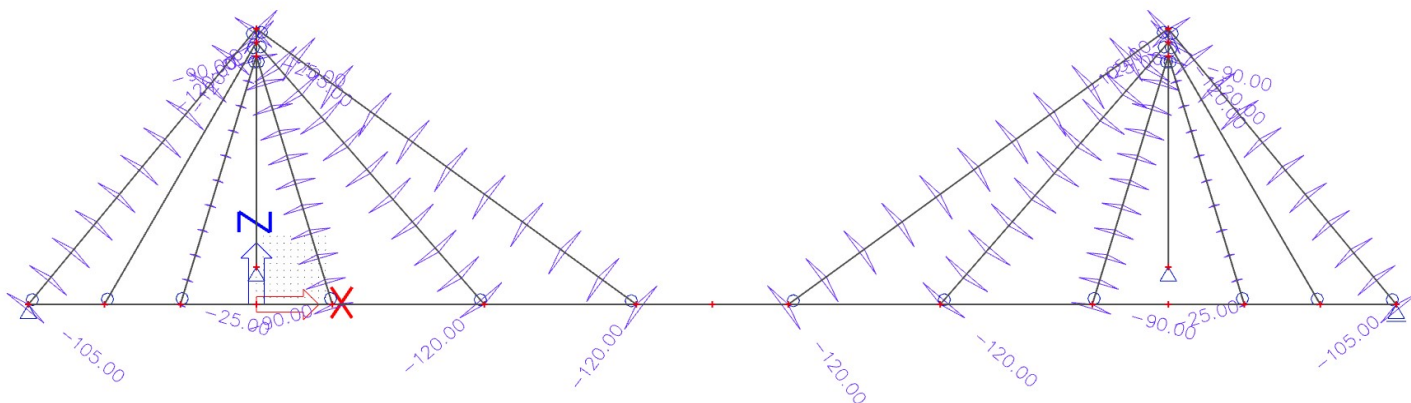
Kombinace b

$$\frac{|N_{Ed.b}|}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy.b} \cdot \frac{M_{Ed.b}}{M_{y.Rk}} = 0.53$$

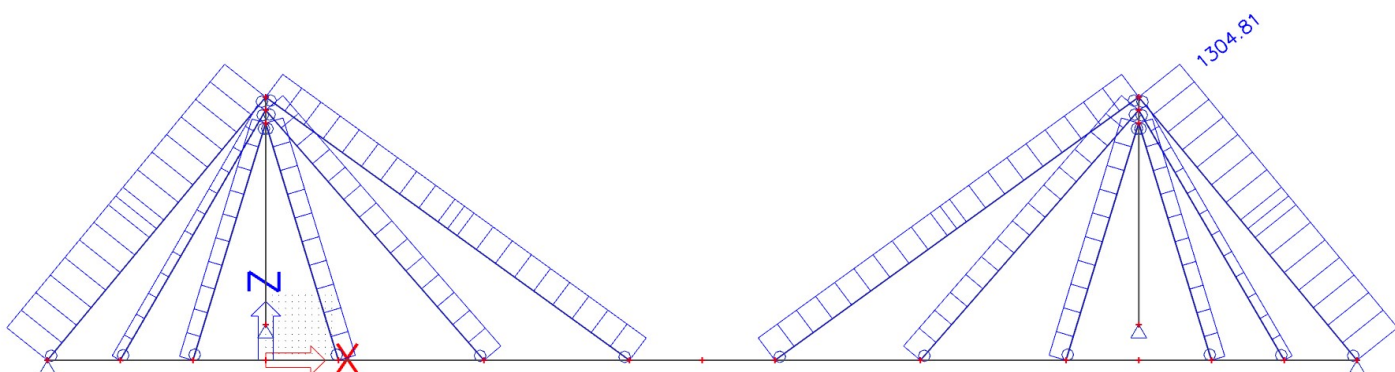
$$\frac{|N_{Ed.b}|}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy.b} \cdot \frac{M_{Ed.b}}{M_{z.Rk}} = 0.17$$

VYHOVUJE

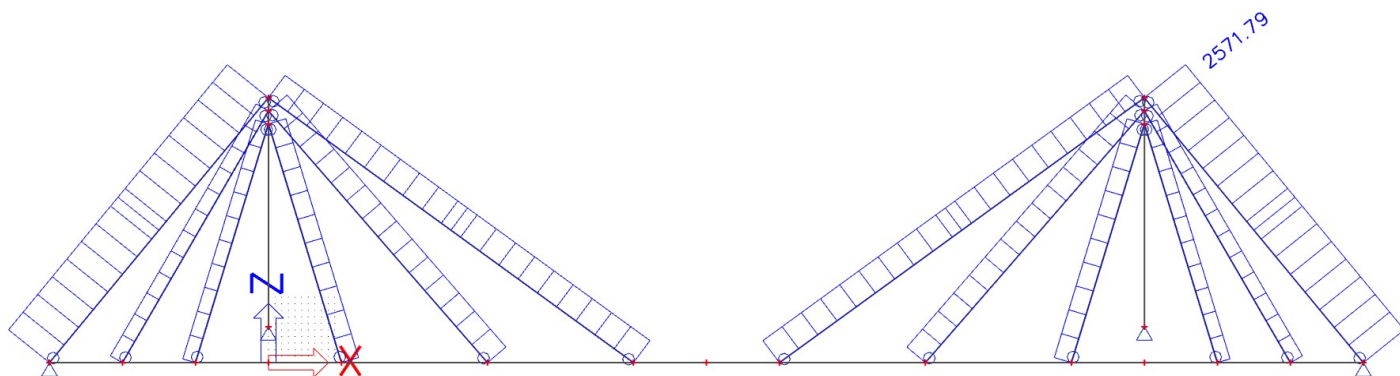
Vysoká výška trámu je navržena zejména s ohledem na deformace v MSP. V modelu ovšem není zahrnuta tuhost mostovky. Lze tedy předpokládat, že při podrobnějším výpočtu bude možné profil trámu značně zmenšit.

NÁVRH A POSOUZENÍ TÁHEL**Předpětí****Vnitřní síly**

N - MSP_stálé



N - MSÚ



$$N_{Ed} := 2572 \text{ kN}$$

Systém ocelových konstrukčních táhel Macalloy 460

Tyče

Tyč Macalloy 460 má následující mechanické vlastnosti:

mez kluzu	460 MPa
mez pevnosti	610 MPa
minimální tažnost	19%
min. hodnota vrub. houževnatosti	27J @ -20 °C
modul pružnosti	205x10 ³ MPa

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

Závit	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70	58,00



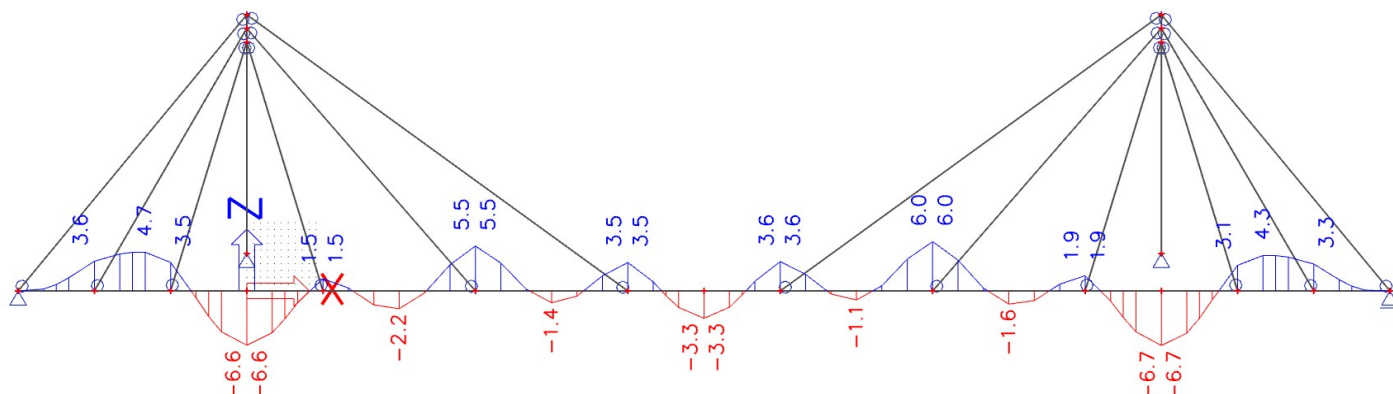
Navrhuj táhla Macalloy 460 M100

$$N_{y.Rd} := 3172 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y.Rd}} = 0.81$$

DEFORMACE

MSP_ stálé



VISUTÝ MOST

Zatížení

$$L := 99 \text{ m}$$

Ostatní stálé

příčník á 3 m - IPE180

$$G := 18.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad g := 10 \text{ m s}^{-2} \quad a_p := 3 \text{ m} \quad L_p := 3 \text{ m}$$

$$g_p := \frac{G \cdot g}{a_p} = 0.0627 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

mostovka

$$g_d := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \left(\frac{150 + 190}{2} \right) \text{ mm} = 4.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

zábradlí

$$g_z := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zatěžovací šířka - 1/2 PR

$$b := 1.5 \text{ m}$$

Na HN

$$g_{ost} := (g_p + g_d) \cdot b + g_z = 7.47 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na příčník

$$g_p := (g_p + g_d) \cdot a_p = 12.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Chodci

Na HN

$$L_z := L = 99 \text{ m}$$

zatěžovací délka - na celé rozpětí

$$q_{fk} := \left(2 + \frac{120}{\frac{L_z}{\text{m}} + 30} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 2.93 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{fk.n} := q_{fk} \cdot b = 4.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_z := \frac{L}{2} = 49.5 \text{ m}$$

zatěžovací délka - na 1/2 rozpětí

$$q_{fk} := \left(2 + \frac{120}{\frac{L_z}{\text{m}} + 30} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 3.51 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{fk.n} := q_{fk} \cdot b = 5.26 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na příčník

$$q_{fk} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{fk.p} := q_{fk} \cdot a_p = 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Příčník MEd

$$M_{Ed.p} := \frac{1}{8} \cdot (1.35 \cdot g_p + 1.5 \cdot q_{fk.p}) \cdot L_p^2 = 44.96 \text{ kN m}$$

$$W_{min} := \frac{M_{Ed.p}}{355 \text{ MPa}} = 1.27 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

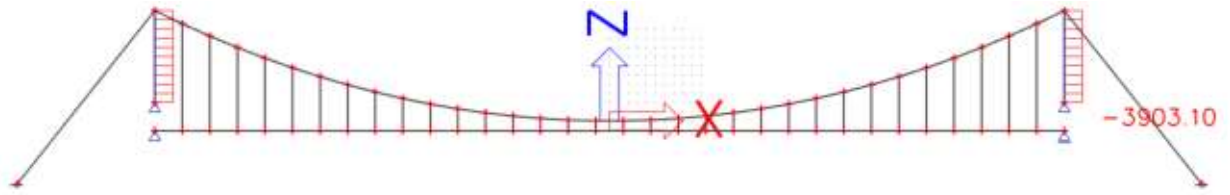
IPE 180

$$W_{pl.y} := 166.4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrh pylonu

N [kN] - třída MSÚ_nelin.

Prvotně navržená kce



$$\text{NC4: } N_{Ed.1} := 3903 \text{ kN}$$

$$+10\text{m vl. tíha pylonu } N_{Ed.VT} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 10 \text{ m} = 50 \text{ kN}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$+ \text{ odhad reakce navazující rampy } N_{Ed.R} := 1.2 \cdot (g_{ost} + q_{fk} \cdot b) \cdot 4 \text{ m} = 71.85 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.P} := N_{Ed.1} + N_{Ed.VT} + N_{Ed.R} = 4024.85 \text{ kN}$$

$$A_{min} := \frac{N_{Ed.P}}{f_y} = 11337.61 \text{ mm}^2$$

např. TR 457/20

$$A_p := 27460 \text{ mm}^2$$

Návrh průřezu TRÁMU

Při volbě výšky nosníku je rozhodující deformace

Rozhodují se mezi tl. plechu 15 a 20 mm.

Zatřídění pro ohyb

a) tl. 20mm

$$t_a := 20 \text{ mm}$$

$$c_a := 500 \text{ mm} - 2 \cdot t_a = 460 \text{ mm}$$

$$\frac{c_a}{t_a} = 23$$

b) tl. 15mm

$$t_b := 15 \text{ mm}$$

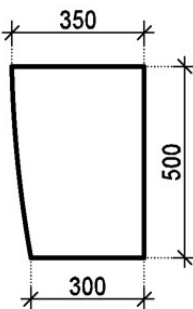
$$c_b := 500 \text{ mm} - 2 \cdot t_b = 470 \text{ mm}$$

$$\frac{c_b}{t_b} = 31.33$$

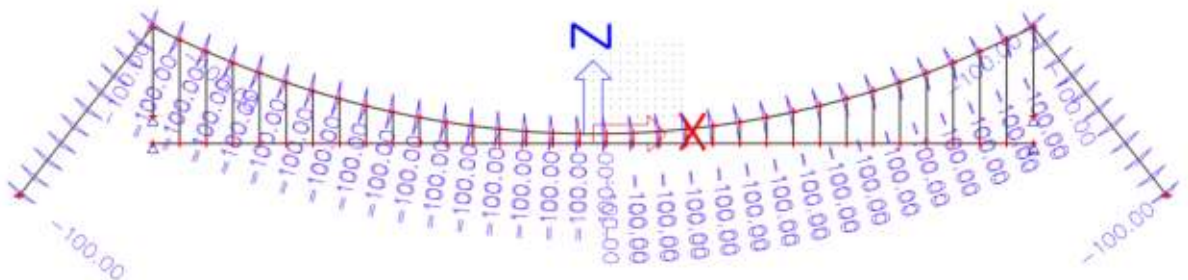
$$< 72 \cdot \varepsilon = 58.58$$

obojí 1. třída

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0.81$$

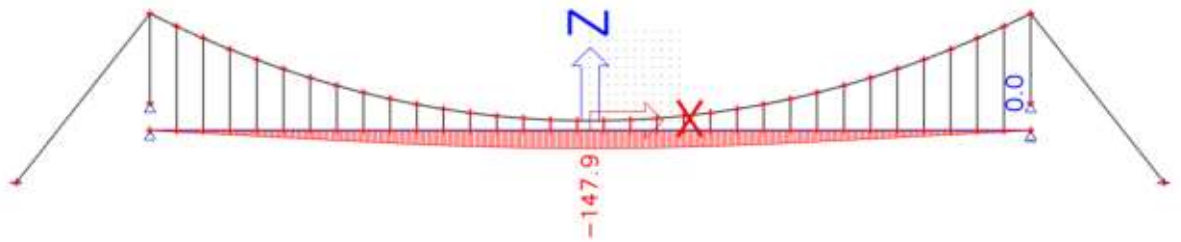


wz trámu

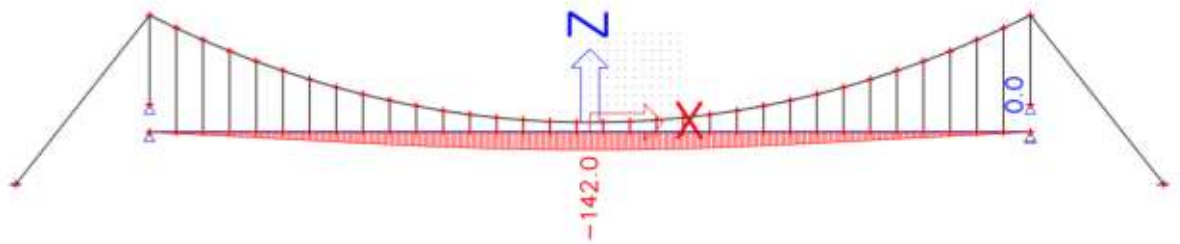
při předpětí $\Delta T = 100\text{K}$ 

wz [mm] trámu

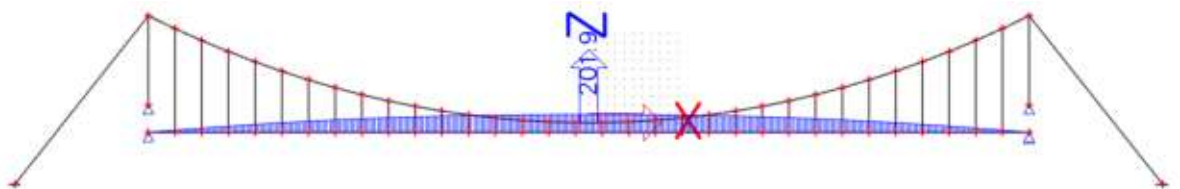
G a) tl. 20mm



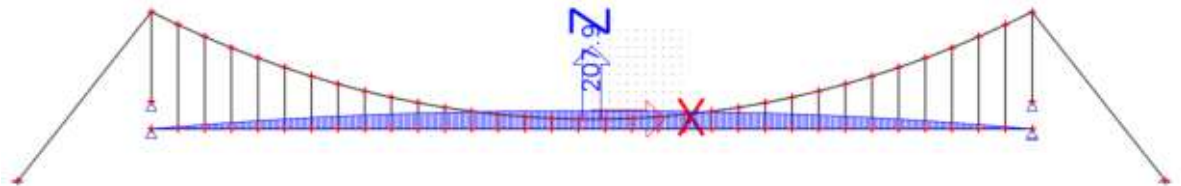
G b) tl. 15mm



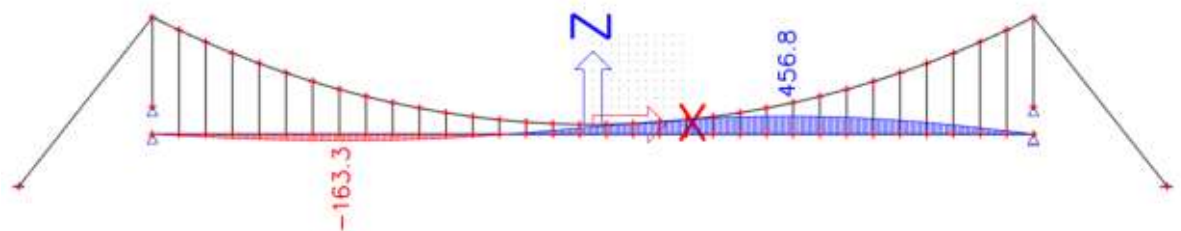
G + P a) tl. 20mm



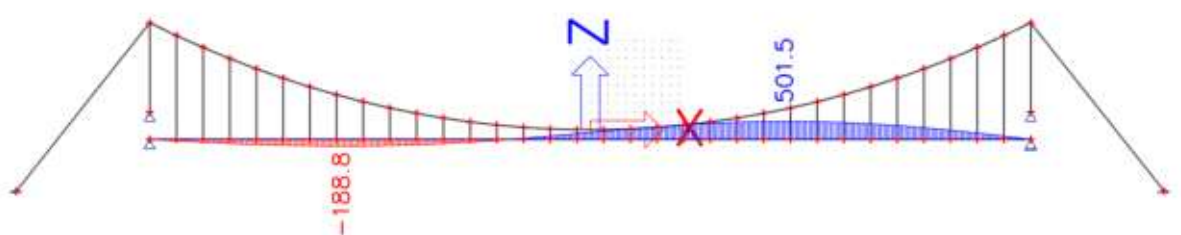
G + P b) tl. 15mm



G + P + qfk_1_1/2_pole a) tl. 20mm



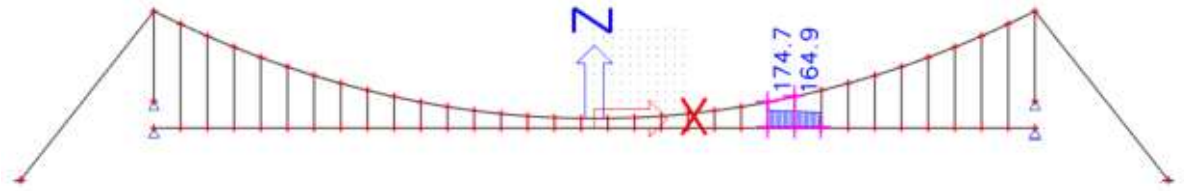
G + P + qfk_1_1/2_pole b) tl. 15mm



Kritický průhyb od chodců

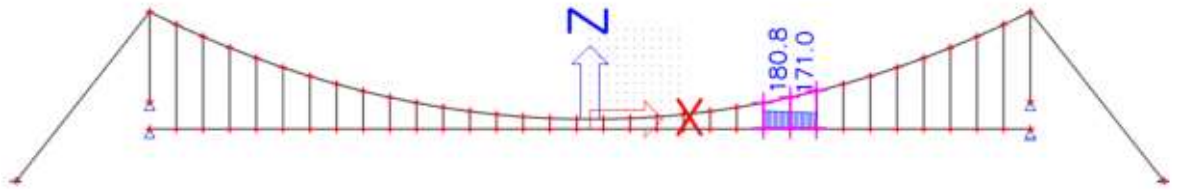
a) tl. 20mm

G + P $w_{kr.20} := (456.8 - 165) \text{ mm} = 291.8 \text{ mm}$ $w_{kr.20.2} := (163 + 174) \text{ mm} = 337 \text{ mm}$

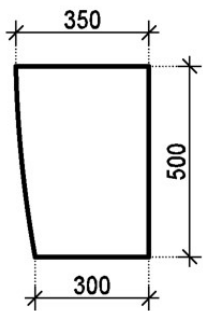


b) tl. 15mm

G + P $w_{kr.15} := (501.5 - 171) \text{ mm} = 330.5 \text{ mm}$ $w_{kr.15.2} := (189 + 158.5) \text{ mm} = 347.5 \text{ mm}$



$L := 99 \text{ m}$



Max. povolený průhyb od chodců

$w_{max} := \frac{L}{250} = 396 \text{ mm}$ $w_{kr.15} - w_{kr.20} = 38.7 \text{ mm}$ $w_{kr.15.2} - w_{kr.20.2} = 10.5 \text{ mm}$

$w_{kr.20.2} + w_{kr.20} = 628.8 \text{ mm}$ $w_{kr.15.2} + w_{kr.15} = 678 \text{ mm}$

Volím tl. plechu $t := 20 \text{ mm}$

z důvodu lepšího komfortu chodců

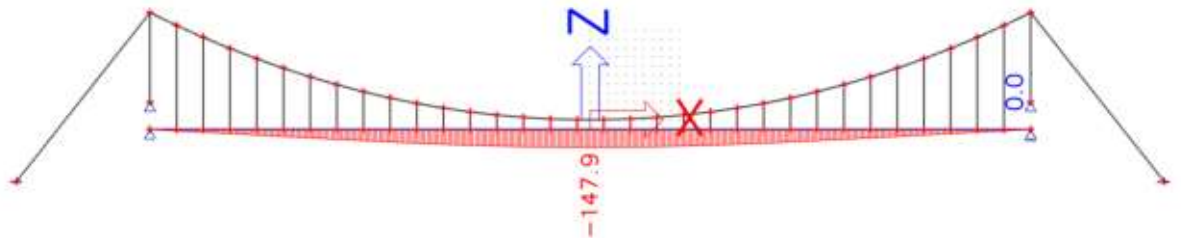
Ladění předpětí NOSNÉHO LANA

v závislosti na deformaci mostovky

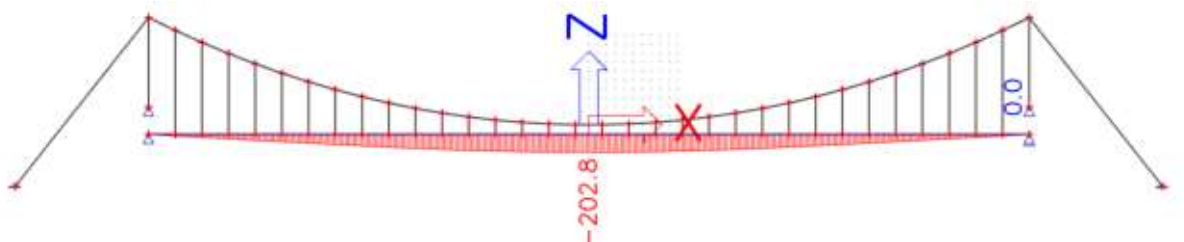
1) Předpětí nulové $\Delta T = 0K$

wz [mm] - G

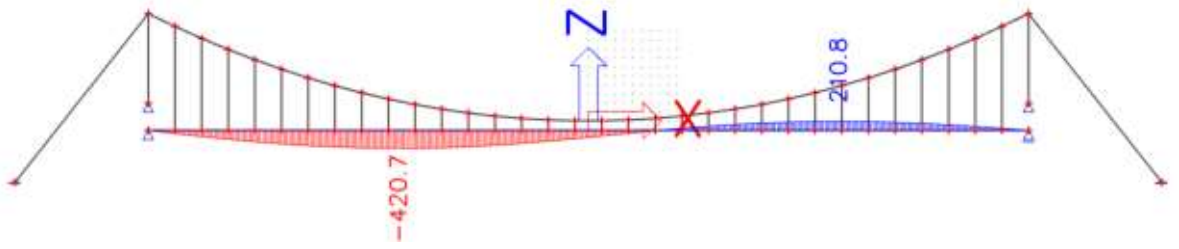
$w_{z.G} := 148 \text{ mm}$



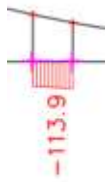
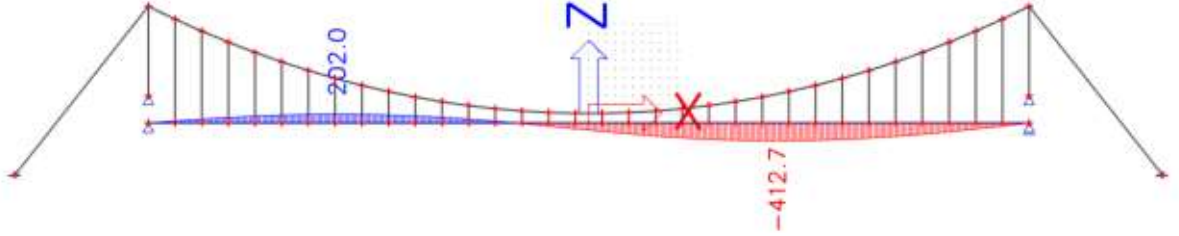
wz [mm] - G + qfk_cele_pole



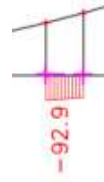
wz [mm] - G + qfk_1_1/2_pole



wz [mm] - G + qfk_2_1/2_pole

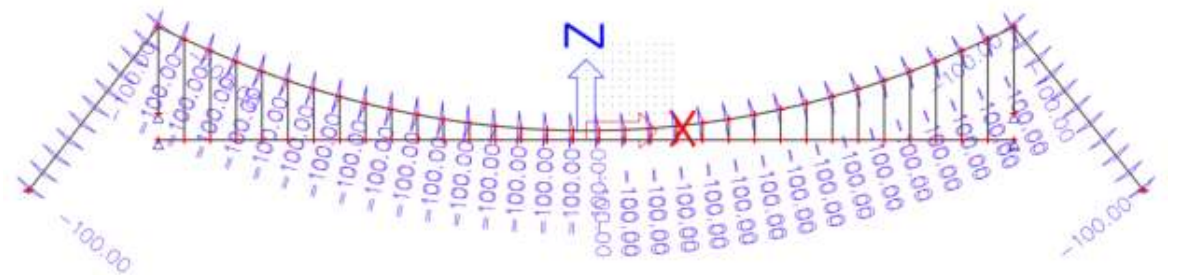


$$w_{kr.1} := (421 - 114) \text{ mm} = 307 \text{ mm}$$

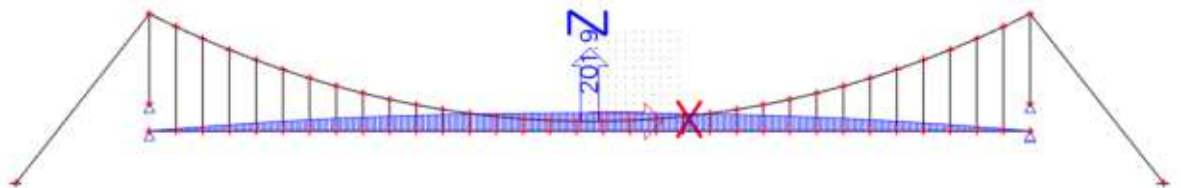


$$w_{kr.2} := (211 + 92) \text{ mm} = 303 \text{ mm}$$

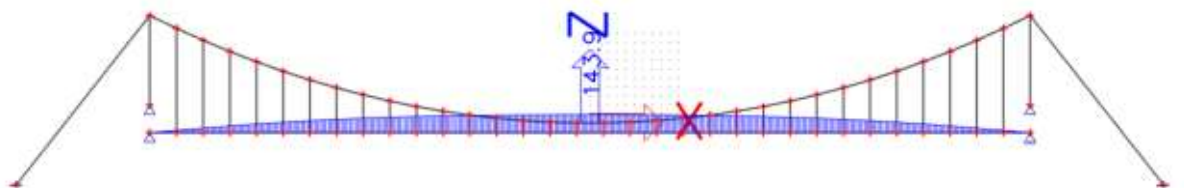
2) Předpětí NL $\Delta T = -100K$



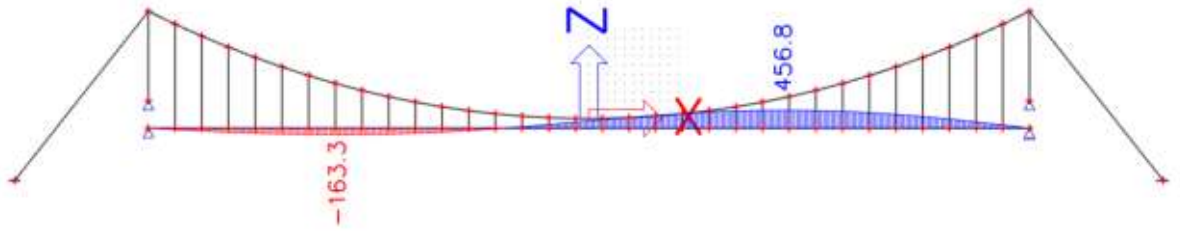
wz [mm] - G+P



wz [mm] - G + P + qfk_cele_pole

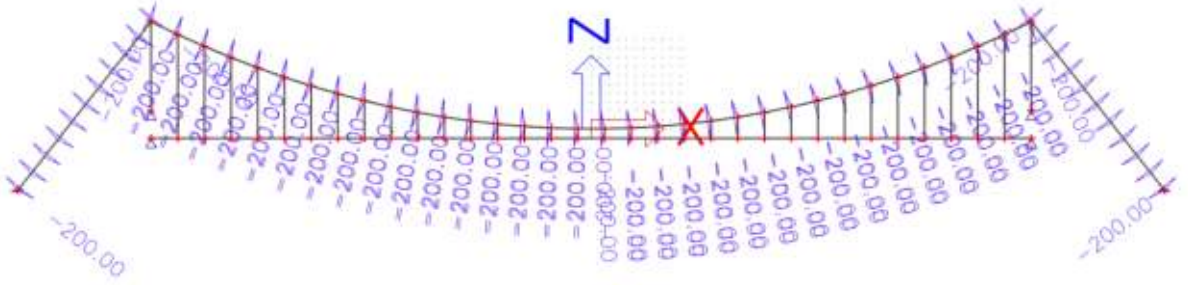


wz [mm] - G + P + qfk_1_1/2_pole

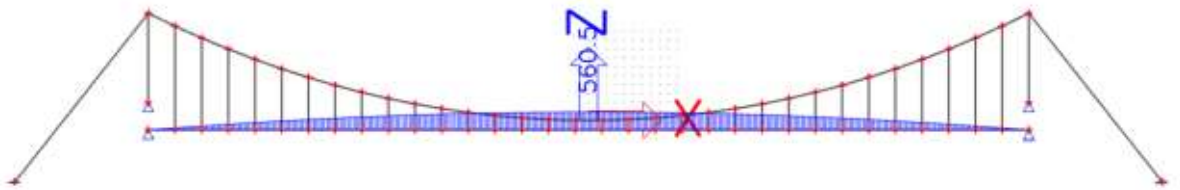


$$w_{kr.2.100} := w_{kr.20.2} = 337 \text{ mm}$$

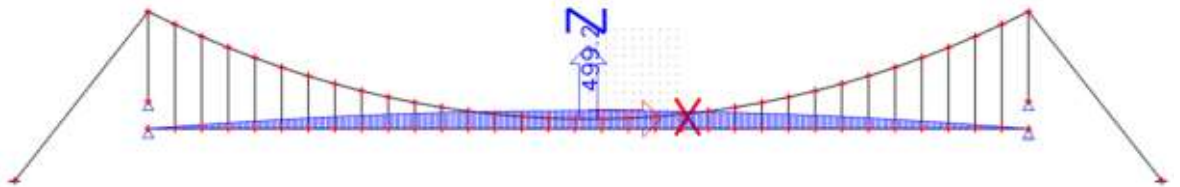
3) Předpětí NL $\Delta T = -200K$



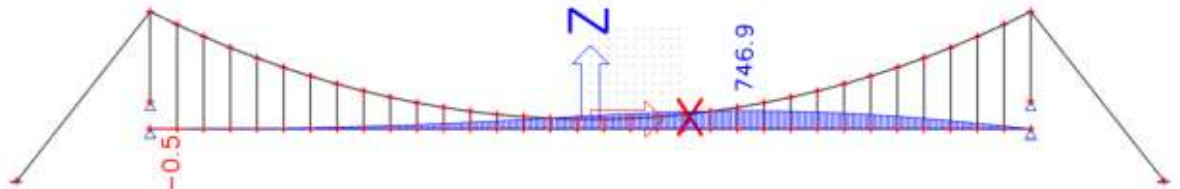
wz [mm] - G+P



wz [mm] - G + P + qfk_cele_pole



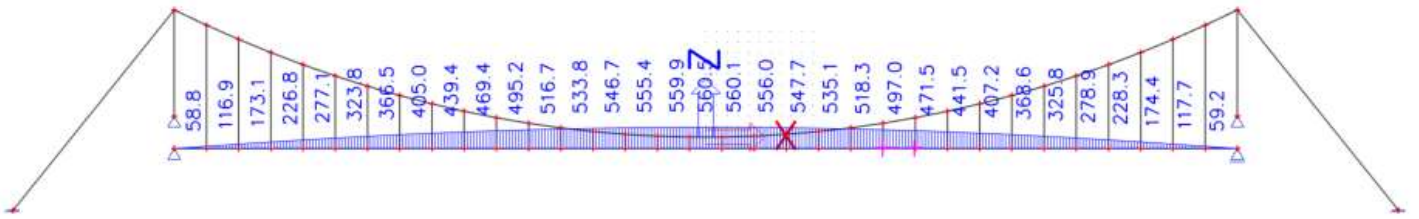
wz [mm] - G + P + qfk_1_1/2_pole



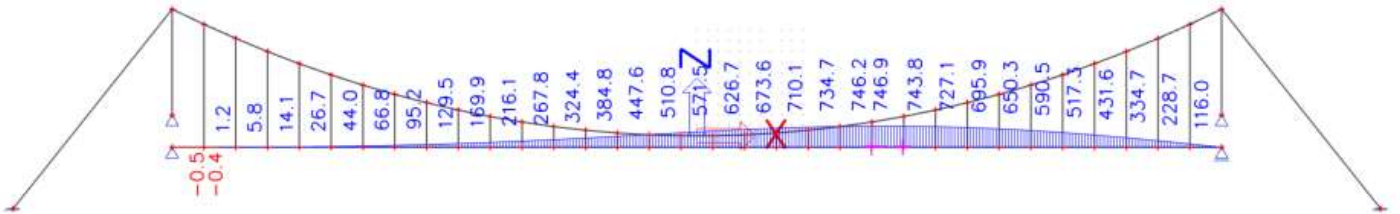
$$w_{kr.200.2} := (747 - 497) \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$



wz [mm] - G+P



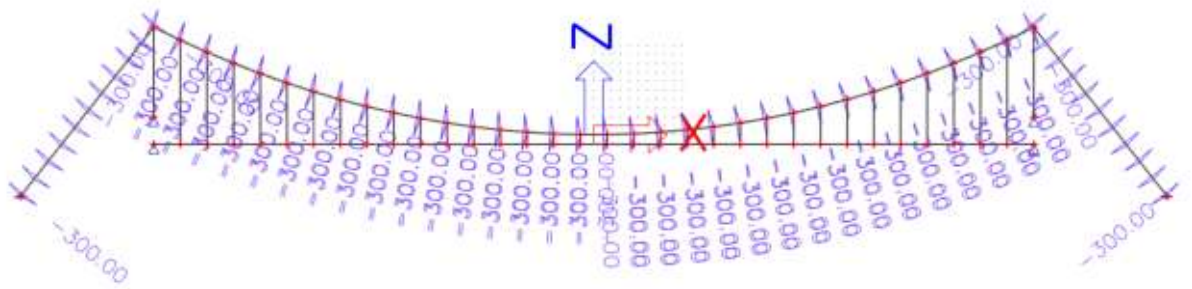
wz [mm] - G + P + qfk_1_1/2_pole



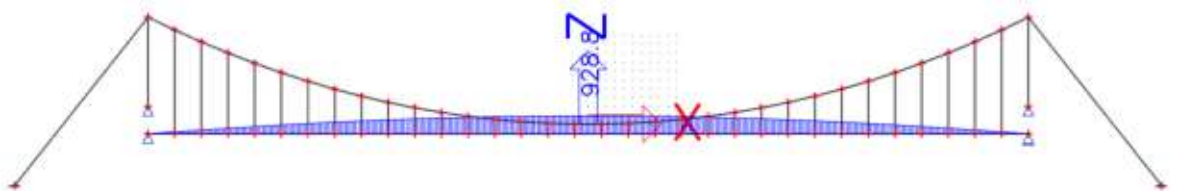
$w_{kr.200.1} := (405 - 95) \text{ mm} = 310 \text{ mm}$

$\frac{99 \text{ m}}{2 \cdot 250} = 0.2 \text{ m}$

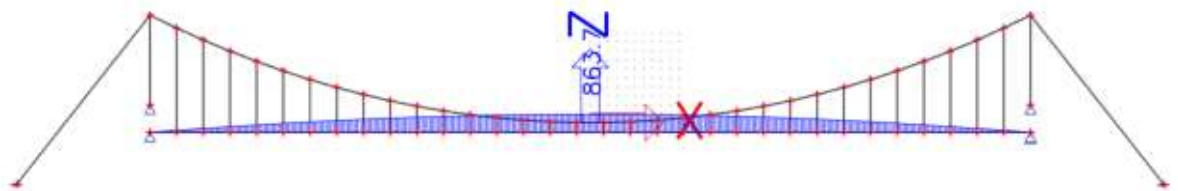
4) Předpětí NL $\Delta T = -300K$



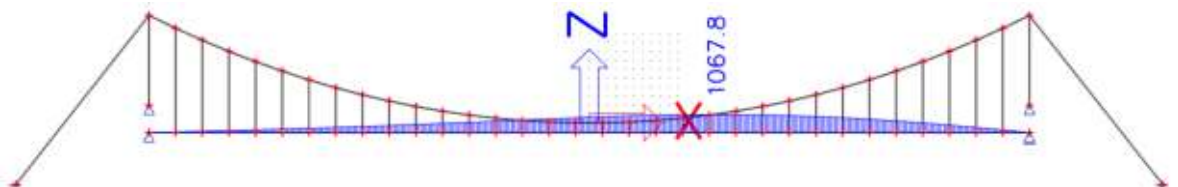
wz [mm] - G+P



wz [mm] - G + P + qfk_cele_pole



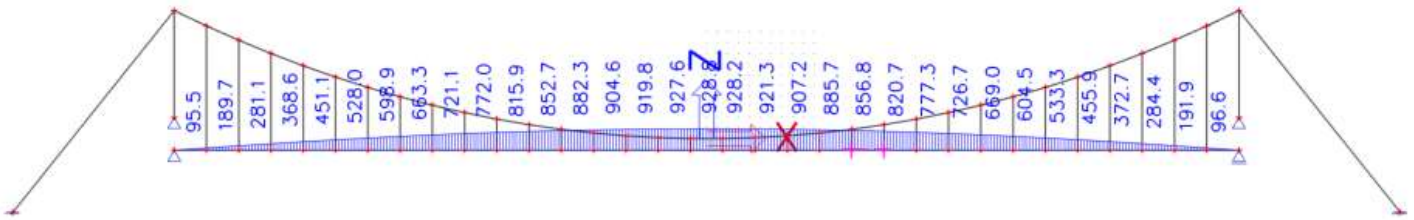
wz [mm] - G + P + qfk_1_1/2_pole



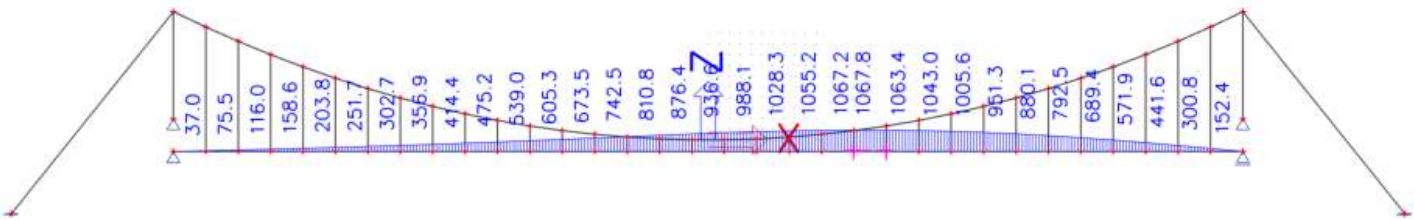
$$w_{kr.300.2} := (1068 - 857) \text{ mm} = 211 \text{ mm}$$



wz [mm] - G+P



wz [mm] - G + P + qfk_1_1/2_pole



$$w_{kr.300.1} := (721 - 414) \text{ mm} = 307 \text{ mm}$$

Pro tento případ je podélný sklon HN <0.5% na cca 9 m ve středu rozpětí, což je řešitelné.

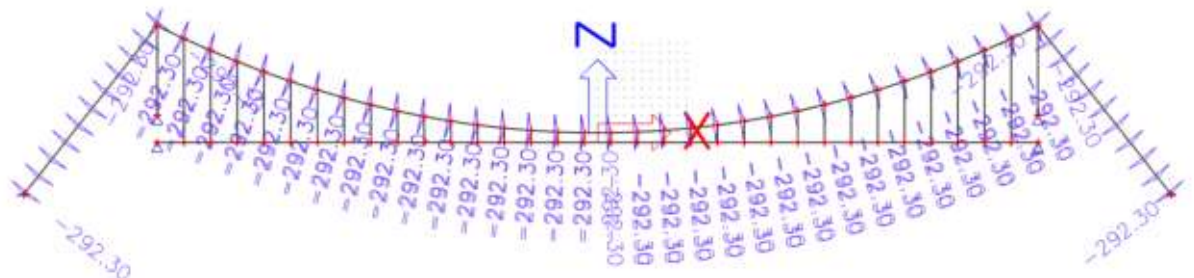
Hledám předpětí takové, aby vzepětí HN v projektované poloze bylo 900mm.

Projektovaný stav - stálé zatížení + předpětí

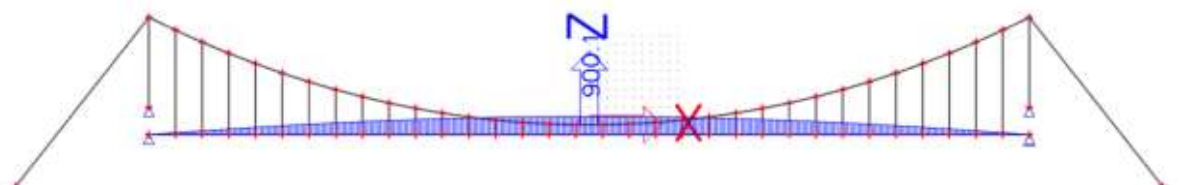
Předpětí NL a výsledné vzepětí HN ve středu rozpětí

ΔT [°C]	wz [mm]
-300	929
-290	891.5
-292	899
-292.1	899.3
-292.3	900.1

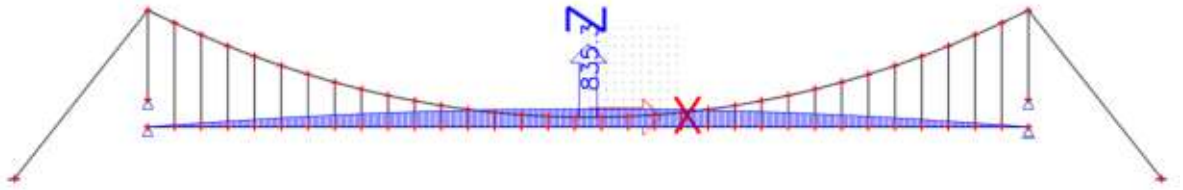
5) Předpětí NL $\Delta T = -292.3K$ - zvolené výsledné předpětí



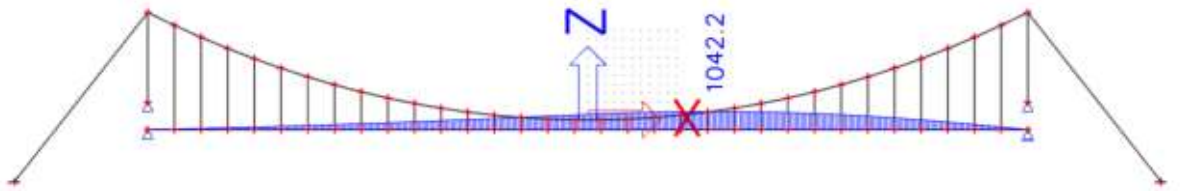
wz [mm] - G+P



wz [mm] - G + P + qfk_cele_pole



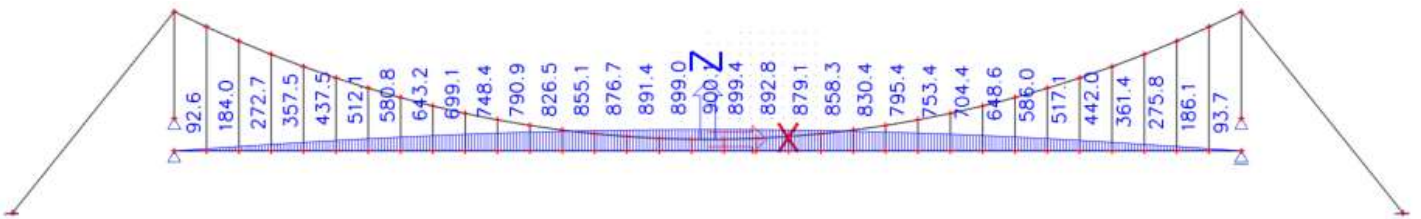
wz [mm] - G + P + qfk_1_1/2_pole



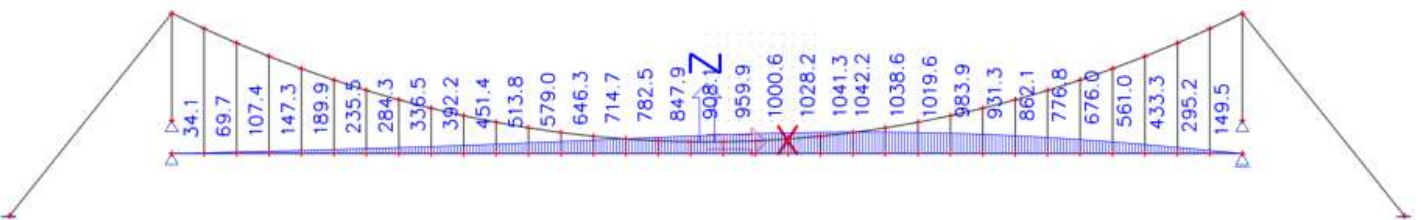
$$w_{kr.292.2} := (1042 - 830) \text{ mm} = 212 \text{ mm}$$



wz [mm] - G+P



wz [mm] - G + P + qfk_1_1/2_pole



$$w_{kr.292.1} := (699 - 392) \text{ mm} = 307 \text{ mm}$$

$$w_{kr.292.2} := (931.3 - 648.6) \text{ mm} = 282.7 \text{ mm}$$

$$< w_{max} = 396 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

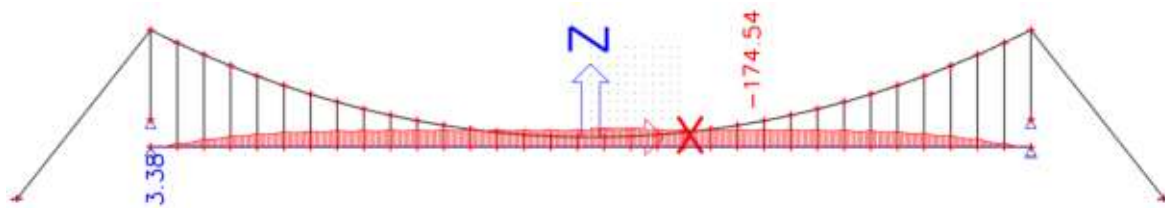
Vnitřní síly

1) Hlavní nosník - trám

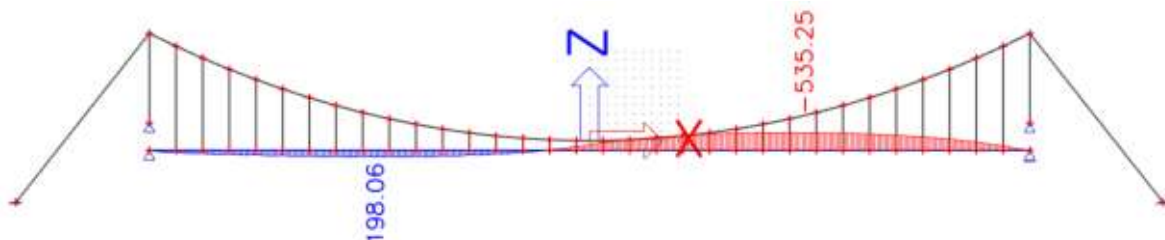
css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
CS9 - HN	3	NC8	77.74	-57.99	-113.63
CS9 - HN	3	NC14	76.81	-65.05	-150.4
CS9 - HN	3	NC14	52.85	-15.7	-604.67
CS9 - HN	0	NC13	2.14	59.91	-135.11
CS9 - HN	1.5	NC13	-52.65	0.42	198.06
CS9 - HN	0	NC7	-59.91	49.83	0

Ohybový moment

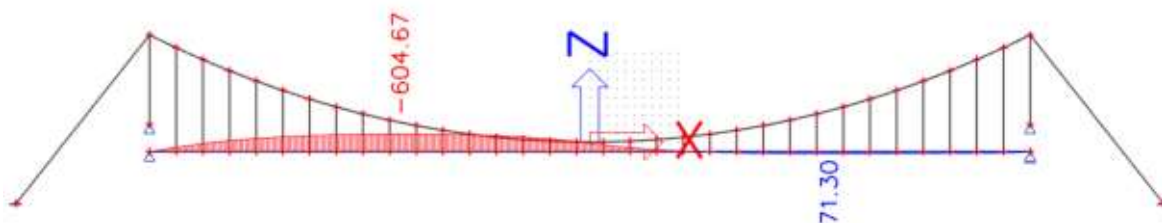
My [kNm] - NC3 - G + P + qfk_cele_pole



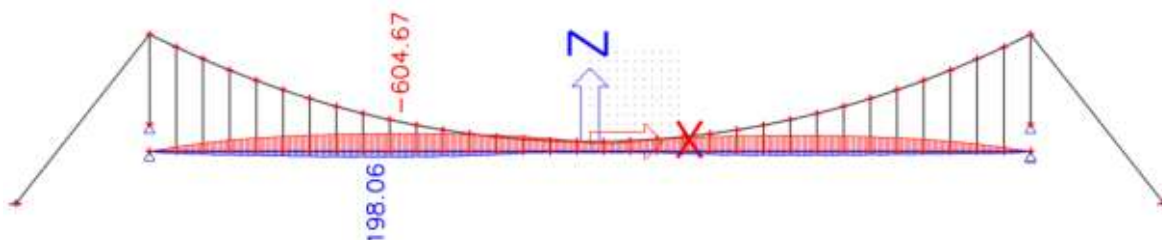
My [kNm] - NC13 - 1xG + 1xP + 1,5xqfk_1_1/2_pole



My [kNm] - NC14 - 1xG + 1xP + 1,5xqfk_1_2/2_pole

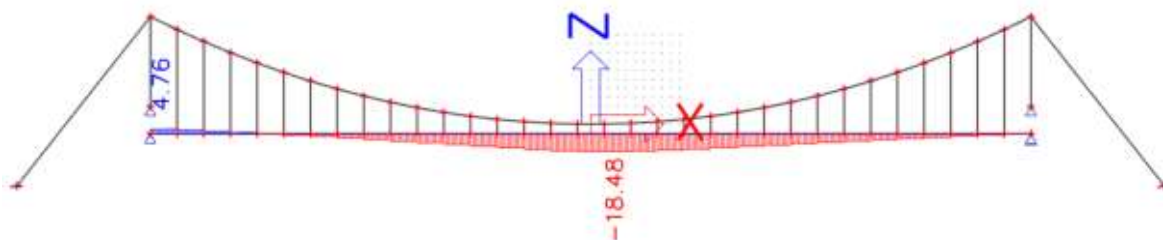


My [kNm] - obálka - MSÚ

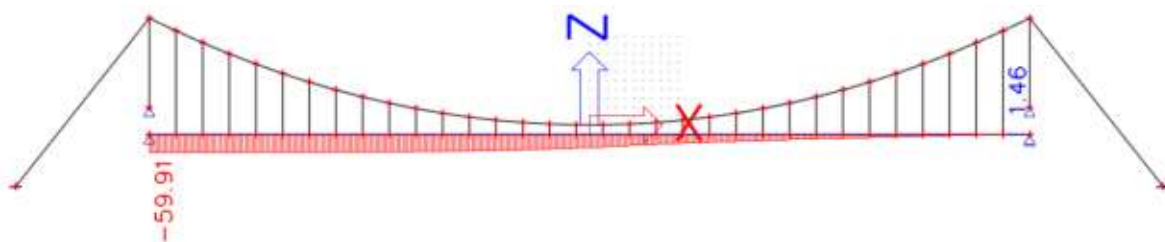


Normálová síla

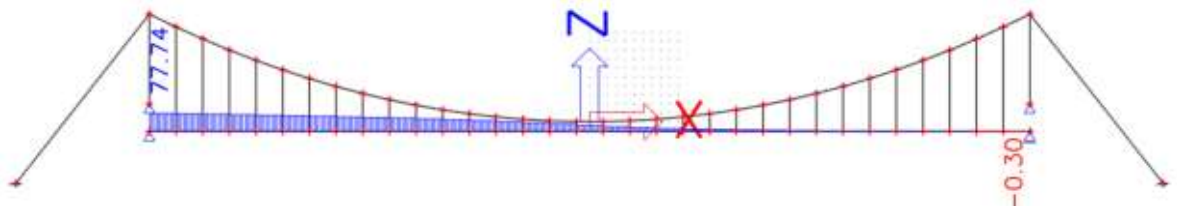
N [kN] - NC4 - 1,35xG + 1xP + 1,5xqfk_cele_pole



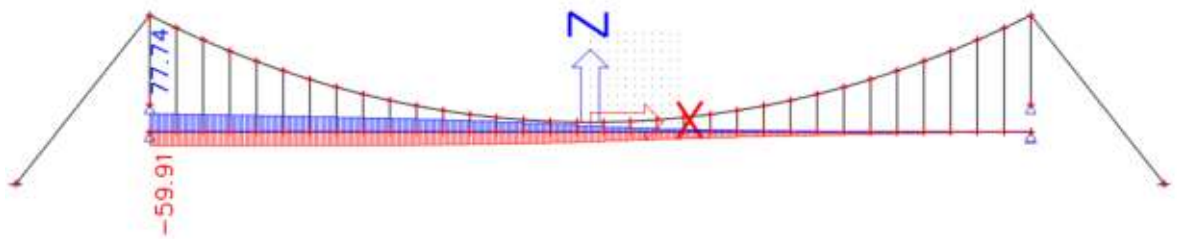
N [kN] - NC7 - 1,35xG + 1xP + 1,5xqfk_1_1/2_pole



N [kN] - NC8 - 1,35xG + 1xP + 1,5xqfk_2_1/2_pole

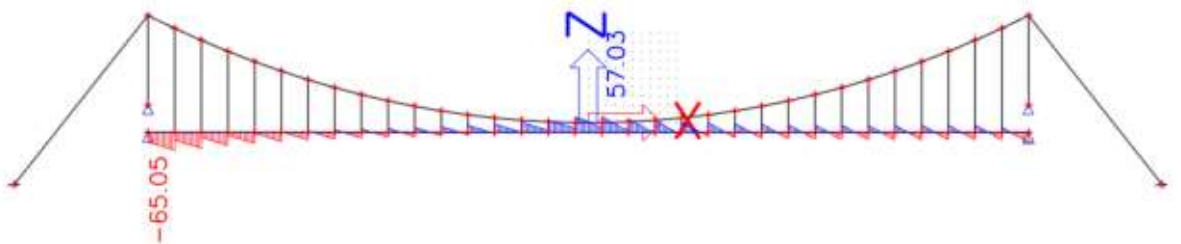


N [kN] - obálka - MSÚ

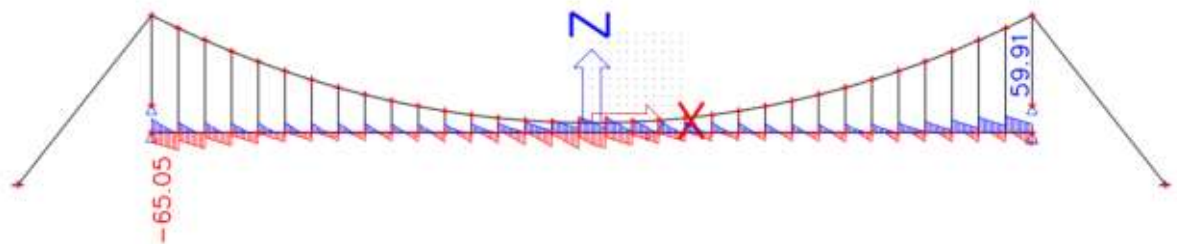


Posouvající síla

Vz [kN] - NC14 - 1xG + 1xP + 1,5xqfk_1_2/2_pole

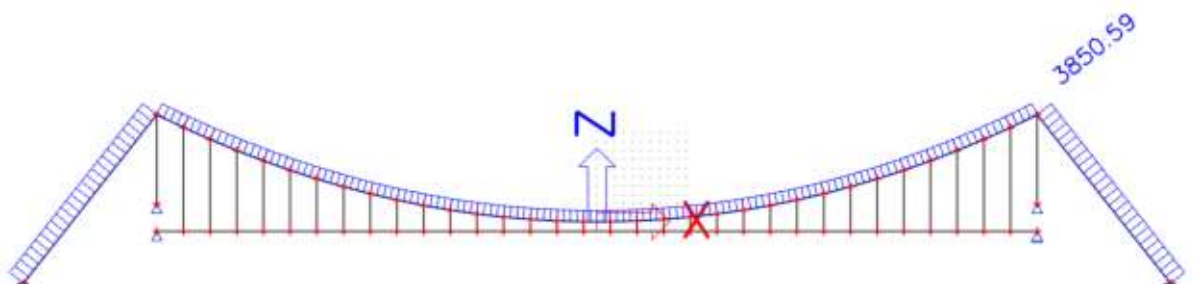


Vz [kN] - obálka - MSÚ



2) Nosné lano

N [kN] - obálka - MSÚ

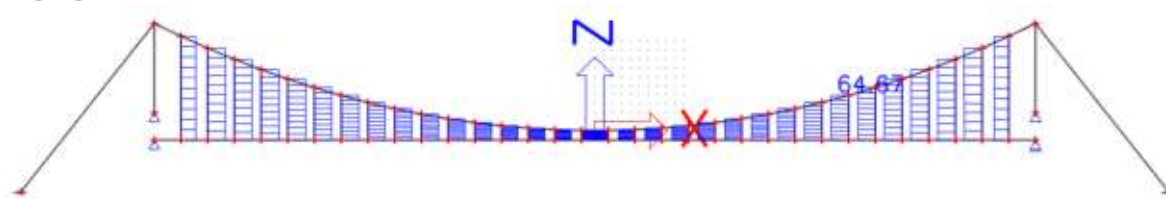


Extrém vzniká při NC4 - 1,35xG + 1xP + 1,5xqfk_cele_pole

$$N_{Ed.NL} := 3850.6 \text{ kN}$$

3) Závěsy

N [kN] - obálka - MSÚ

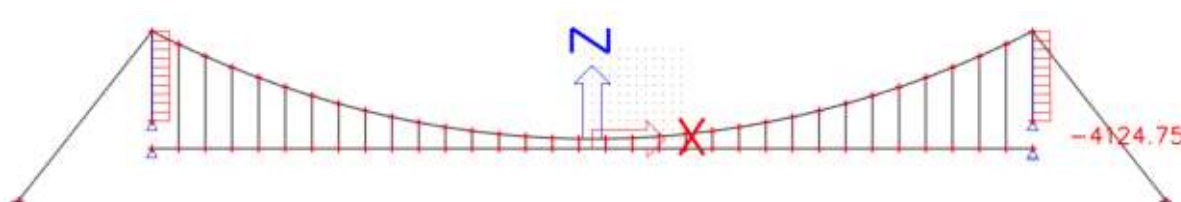


Extrém vzniká při NC8 - 1,35xG + 1xP + 1,5xqfk_2_1/2_pole

$$N_{Ed.Z} := 64.7 \text{ kN}$$

4) Pylony

N [kN] - obálka - MSÚ



Extrém vzniká při NC4 - 1,35xG + 1xP + 1,5xqfk_cele_pole

$$N_{Ed.P.1} := 4125 \text{ kN}$$

$$+10\text{m vl. tíha pylonu} \quad N_{Ed.VT} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 10 \text{ m} = 50 \text{ kN}$$

$$+ \text{odhad reakce navazující rampy} \quad N_{Ed.R} := 1.2 \cdot (g_{ost} + q_{fk} \cdot b) \cdot 4 \text{ m} = 72 \text{ kN}$$

$$+ \text{reakce od mostovky} \quad R_p := 50.14 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.P} := N_{Ed.1} + N_{Ed.VT} + N_{Ed.R} + R_p = 4075 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.P.2} := N_{Ed.1} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4 \text{ m} = 3923 \text{ kN}$$

Posouzení - MSÚ**1) Hlavní nosník - trám**

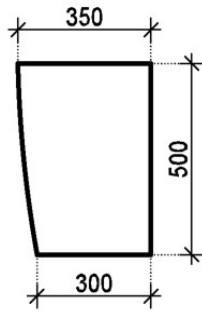
Vnitřní síly

$$M_{Ed.HN} := 604.7 \text{ kN m}$$

$$N_{Ed.HN.1} := 52.9 \text{ kN}$$

css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
CS9 - HN	3	NC8	77.74	-57.99	-113.63
CS9 - HN	3	NC14	76.81	-65.05	-150.4
CS9 - HN	3	NC14	52.85	-15.7	-604.67
CS9 - HN	0	NC13	2.14	59.91	-135.11
CS9 - HN	1.5	NC13	-52.65	0.42	198.06
CS9 - HN	0	NC7	-59.91	49.83	0

Průřez



$$t = 20 \text{ mm}$$

třída 1

$$W_{pl.y.HN} := 5.2375 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_{HN} := 0.03144 \text{ m}^2$$

A	3.1440e-02	m ²
Ay	1.3705e-02	m ²
Az	1.9506e-02	m ²
AL	1.6530e+00	m ² /m
AD	3.1485e+00	m ² /m
cYUCS	165	mm
cZUCS	257	mm
α	0.00	deg
Iy	1.0735e-03	m ⁴
Iz	5.6859e-04	m ⁴
Iy	185	mm
Iz	134	mm
Wely	4.1743e-03	m ³
Welz	3.0742e-03	m ³
Wply	5.2375e-03	m ³
Wplz	3.9423e-03	m ³
Mply+	1.86e+06	Nm
Mply-	1.86e+06	Nm
Mplz+	1.40e+06	Nm
Mplz-	1.40e+06	Nm
dy	3	mm
dz	0	mm
It	1.1124e-03	m ⁴
Iw	6.9301e-07	m ⁶
βy	-2	mm
βz	-6	mm

Posouzení - extrémní My

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$M_{Ed.HN} = 604.7 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd.HN} := f_y \cdot W_{pl.y.HN} = 1859.31 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed.HN}}{M_{Rd.HN}} = 32.5 \%$$

VYHOVUJE

$$N_{Ed.HN.1} = 52.9 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.HN} := A_{HN} \cdot f_y = 11161.2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed.HN.1}}{N_{Rd.HN}} = 0.5 \%$$

2) Nosné lano

$$N_{Ed.NL} = 3850.6 \text{ kN}$$

DYWIDAG Multistrand Stay Cable Systems**DYNA Grip® Anchorage – Technical Data**

(forces calculated with strands 0.62" St 1660/1860)

Cable type*	DG-P4	DG-P7	DG-P12	DG-P19	DG-P31
No. of strands	4	7	12	19	31
Forces [kN]**					
Ultimate load at 100% GUTS	1,116	1,953	3,348	5,301	8,649
Service load at 50% GUTS for stay cables	558	977	1,674	2,651	4,325
Service load at 60% GUTS for extradosed tendons	670	1,172	2,009	3,181	5,189

3) Závěsy

$$N_{Ed.z} = 64.7 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.z.fy} := 108 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed.z}}{N_{Rd.z.fy}} = 59.9 \%$$

**Systém konstrukčních táhel
Macalloy 460****M20**

mez kluzu	460 MPa
mez pevnosti	610 MPa
minimální tažnost	15 %
modul pružnosti	190 x 10 ³ MPa

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

Závít	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70	58,00



4) Pylony

$$N_{Ed.P} = 4074.99 \text{ kN}$$

Průřez TR 457/20

$$A_p := 27460 \text{ mm}^2$$

$$I := 6.568 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_p := 155 \text{ mm}$$

$$H_p := 20 \text{ m}$$

Odhad vzpěrné délky

Spojité nosník o dvou polích

$$H_{p.1} := 6 \text{ m}$$

$$H_{p.2} := 14 \text{ m}$$

Konzervativně

$$L_{cr.p.1} := H_{p.1} = 6 \text{ m}$$

$$L_{cr.p.2} := H_{p.2} = 14 \text{ m}$$

A	2.7500e-02	m ²
Ay	1.7480e-02	m ²
Az	1.7480e-02	m ²
AL	1.4400e+00	m ² /m
AD	2.7456e+00	m ² /m
cYUCS	229	mm
cZUCS	229	mm
α	0.00	deg
Iy	6.5680e-04	m ⁴
Iz	6.5680e-04	m ⁴
Iy	155	mm
Iz	155	mm
Wely	2.8740e-03	m ³
Welz	2.8740e-03	m ³
Wply	3.7618e-03	m ³
Wplz	3.7618e-03	m ³
Mply+	1.36e+06	Nm
Mply-	1.36e+06	Nm
Mplz+	1.36e+06	Nm
Mplz-	1.36e+06	Nm
dy	0	mm
dz	0	mm
It	1.3140e-03	m ⁴
Iw	3.4317e-38	m ⁶
βy	0	mm
βz	0	mm

$$\varepsilon = 0.81$$

vzpěrné křivky a

$$\alpha := 0.21$$

Posouzení

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.3986$$

Pole 2 - nad uložením mostovky

$$\lambda_{-2} := \frac{L_{cr.p.2}}{i_p \cdot \lambda_1} = 1.1823$$

$$\phi_2 := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-2} - 0.2) + \lambda_{-2}^2 \right) = 1.3$$

$$\chi_2 := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_2 + \sqrt{\phi_2^2 - \lambda_{-2}^2}} \right] \right) = 0.541$$

$$N_{b.Rd.P} := \chi_2 \cdot A_p \cdot f_y = 5276.73 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.P.2} = 3923 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed.P.2}}{N_{b.Rd.P}} = 0.44$$

YHOVUJE

Pole 1 - v podepření pylonu

$$\lambda_{-1} := \frac{L_{cr.p.1}}{i_p \cdot \lambda_1} = 0.5067$$

$$\phi_1 := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-1} - 0.2) + \lambda_{-1}^2 \right) = 0.66$$

$$\chi_1 := \min \left(\left[\frac{1}{\phi_1 + \sqrt{\phi_1^2 - \lambda_{-1}^2}} \right] \right) = 0.922$$

$$N_{b.Rd.P} := \chi_1 \cdot A_p \cdot f_y = 8989.75 \text{ kN}$$

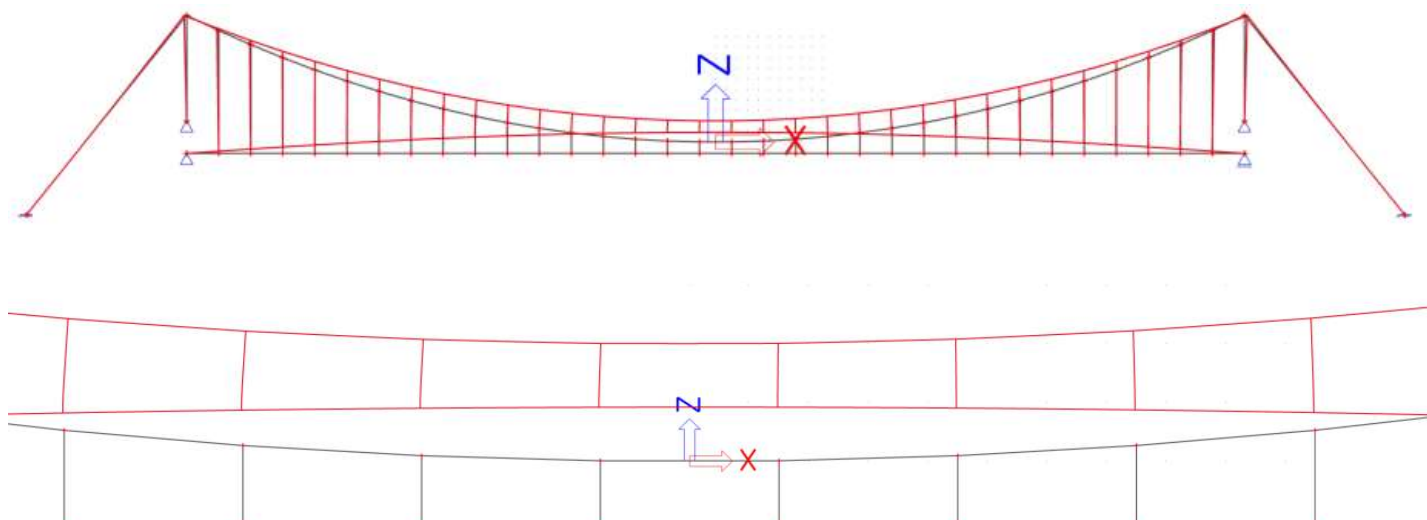
$$N_{Ed.P.2} = 3923 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed.P.2}}{N_{b.Rd.P}} = 0.44$$

YHOVUJE

DEFORMOVANÁ KCE

Projektovaný stav



MOSTOVKA NÁVRH

Zatížení

$$a_p := 3 \text{ m}$$

$$l_p := 3 \text{ m}$$

Vlastní tíha

Příčnick

$$g_p := \frac{G \cdot g}{a_p} = 0.0627 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Deska $h_d := 180 \text{ mm}$

$$g_d := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_d = 4.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

zábradlí

$$g_z := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Doprava

a) chodci

$$q_{fk} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

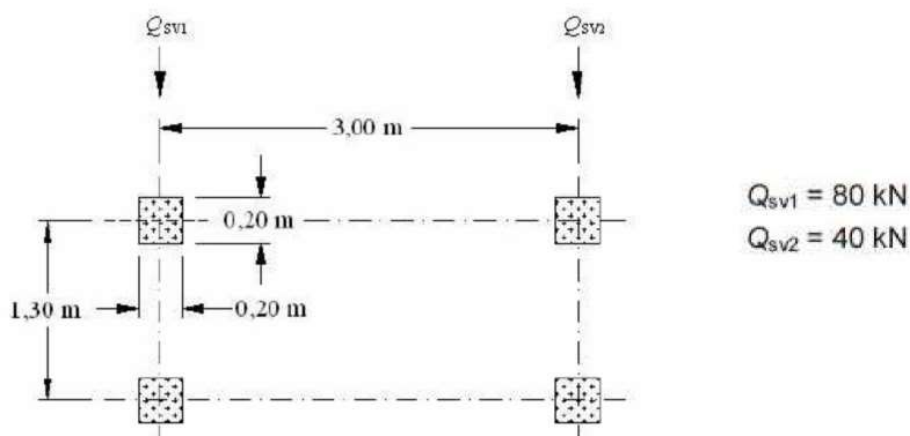
Na příčnick

$$q_{fk.p} := q_{fk} \cdot a_p = 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zatížení na 3m šířky desky $b_d := 3 \text{ m}$

$$f_{d.g.d} := 1.35 \cdot g_d \cdot b_d = 18.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{d.q.d} := 1.5 \cdot q_{fk} \cdot b_d = 22.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$Q_{sv1} = 80 \text{ kN}$$

$$Q_{sv2} = 40 \text{ kN}$$

b) servisní vozidlo

$$Q_{sv1} := 80 \text{ kN}$$

$$Q_{sv1.d} := 1.5 \cdot Q_{sv1} = 120 \text{ kN}$$

Návrhový moment - zjednodušeně jako prostý nosník - na 3m šířky desky

a) chodci

$$M_{Ed.q} := \frac{1}{8} \cdot (f_{d.g.d} + f_{d.q.d}) \cdot a_p^2 = 50.62 \text{ kN m}$$

b) servisní vozidlo

$$M_{Ed.Q} := \frac{1}{8} \cdot f_{d.g.d} \cdot a_p^2 + \frac{1}{4} \cdot Q_{sv1.d} \cdot a_p = 110.5 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed.d} := \max \left(\begin{array}{l} M_{Ed.q} \\ M_{Ed.Q} \end{array} \right) = 110.5 \text{ kN m}$$

Vyztužení desky $h_d = 0.18 \text{ m}$ $b_d = 3 \text{ m}$

Beton

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.5} = 20 \text{ MPa}$$

Výztuž B500B

$$f_{ys.k} := 500 \text{ MPa}$$

$$f_{ys.d} := \frac{f_{ys.k}}{1.15} = 435 \text{ MPa}$$

$$c := 50 \text{ mm} \quad \phi_{sw} := 8 \text{ mm} \quad \phi_s := 16 \text{ mm}$$

$$A_{s.1} := \frac{\pi \cdot \phi_s^2}{4} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$d := h_d - c - \phi_{sw} - \frac{\phi_s}{2} = 114 \text{ mm}$$

$$A_{s.req} := b_d \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{ys.d}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed.d}}{b_d \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) = 2414.78 \text{ mm}^2$$

$$n_{min} := \frac{A_{s.req}}{A_{s.1}} = 12.01$$

$$n := 16$$

$$s := \frac{3 \text{ m} - 2 \cdot c - \phi_s - 2 \cdot 20 \text{ mm}}{n - 1} = 189.6 \text{ mm}$$

$$A_s := n \cdot A_{s.1} = 3216.99 \text{ mm}^2$$

$$M_{Rd.d} := A_s \cdot f_{ys.d} \cdot \left(d - \frac{A_s}{2 \cdot b_d} \cdot \frac{f_{ys.d}}{f_{cd}} \right) = 143.15 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed.d} = 110.5 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed.d}}{M_{Rd.d}} = 0.77$$

Konstrukční zásady - výztuž při obou površích

$$d_g := 22 \text{ mm}$$

$$s_{v.} := h_d - 2 \cdot (c + \phi_{sw}) - \phi_s = 48 \text{ mm}$$

$$s_{v.o} := h_d - 2 \cdot (c + \phi_{sw}) - 2 \cdot \phi_s = 32 \text{ mm}$$

$$s_{o.min} := \max \left(\begin{array}{l} 1.2 \cdot \phi_s \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right) = 27 \text{ mm}$$

Příčnick

a) Montážní stav

$$a_p = 3 \text{ m} \quad \text{vzd. příčnicků}$$

$$L_p = 3 \text{ m} \quad \text{délka př.}$$

Zatížení

$$\text{Mokrý beton} \quad g_c := 26.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot h_d \cdot a_p = 14.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Příčnick} \quad g_s := g_p \cdot a_p = 0.19 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{m.k} := g_c + g_s = 14.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{m.d} := g_{m.k} \cdot 1.35 = 19.57 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed.p.m} := \frac{1}{8} \cdot g_{m.d} \cdot L_p^2 = 22.02 \text{ kN m}$$

b) Provozní stav

Servisní vozidlo

$$Q_{sv1} = 80 \text{ kN}$$

$$Q_{sv1.d} = 120 \text{ kN}$$

$$M_{Ed.p.Q} := \frac{1}{4} \cdot Q_{sv1.d} \cdot L_p = 90 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed.p} := M_{Ed.p.m} + M_{Ed.p.Q} = 112.02 \text{ kN m}$$

$$W_{min} := \frac{M_{Ed.p}}{355 \text{ MPa}} = 3.1555 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

IPE 180

$$W_{pl.y} := 166.4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Vyšší tl. desky

$$g_{d.1} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{200 + 238}{2} \right) \text{ mm} = 5.48 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_p = 0.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$b = 1.5 \text{ m} \quad g_z = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na HN

$$g_{ost} := (g_p + g_{d.1}) \cdot b + g_z = 9.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$