



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelo-dřevěná rozhledna

Rozhledna Špulka

Steel-timber tower

Tower Špulka

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.

Bc. Jan Pecina

Praha 2017



Obsah

Zadání	3
Čestné prohlášení	4
Anotace	6
Seznam příloh	7



Zadání

Nahradit originálem zadání



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Bc. Jan Pecina

.....

7. ledna 2017



Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lukáši Blesákovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.



Anotace

Cílem diplomové práce je vypracování výpočetního modelu, statického posudku a výkresové dokumentace ocelo-dřevěné rozhledny Špulka z hlediska současných norem a požadavků.

Výpočet je proveden podle evropských norem zavedených do systému českých norem ČSN EN.

The aim of this thesis is to develop a computing model, static assessment and drawing documentation of steel-wooden tower Špulka in terms of current standards and requirements.

The calculation is done according to European standards introduced into the system of Czech standards CSN EN.



Seznam příloh

Technická zpráva

Statický výpočet

Výkresová dokumentace

Horizontální řezy	1xA2	1:100
Vertikální řezy	1xA2	1:100
Detaily A, D, E, F	1xA3	1:10
Detaily B, C	1xA3	1:10



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelo-dřevěná rozhledna

Rozhledna Špulka

Steel-timber tower

Tower Špulka

Diplomová práce

STATICKÝ VÝPOČET

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.

Bc. Jan Pecina

Praha 2017



Obsah

Obsah.....	2
Rozhledna Špulka.....	5
Zatížení.....	6
Stálé zatížení	6
Proměnné zatížení.....	7
Zatížení sněhem.....	7
Zatížení užiténé	8
Zatížení větrem.....	9
Kombinace zatížení	31
Výsledky dynamické analýzy.....	34
Vstupní údaje statického modelu.....	35
Materiálové charakteristiky	35
Průřezové charakteristiky	37
Posouzení MSÚ – ocelové pruty	45
Ztužující prstenec (3) v rovině první vyhlídkové plošiny.....	45
Ztužující prstenec (3) ve spodní části věže	47
Ztužující prstenec (3) v horní části věže.....	50
Nosné prvky (4) vyhlídkových plošin	53
Nosné prvky (5) vyhlídkových plošin	55
Vnitřní ztužující prstenec (6) ve spodní části věže	57



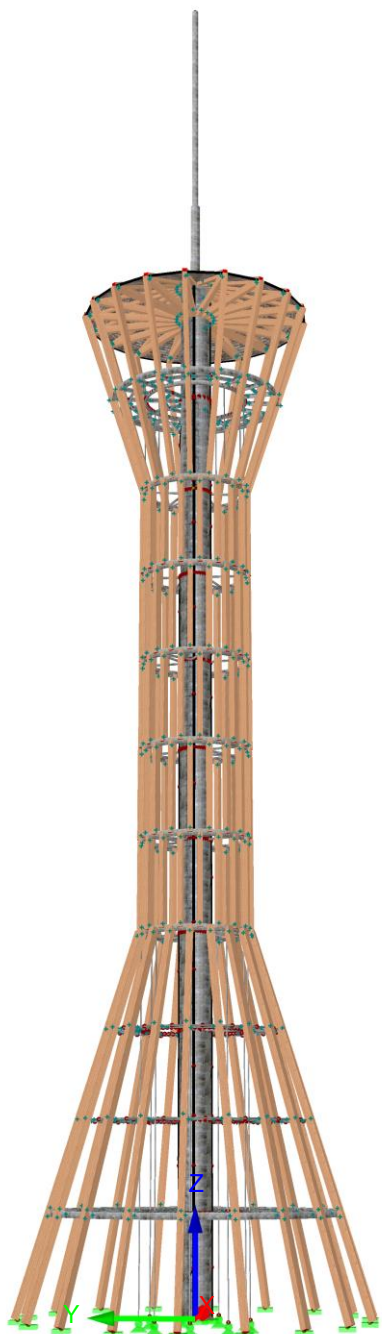
Vnější ztužující prstenec (7) ve spodní části věže	59
Nižší nosná konstrukce (8) antény	61
Vrchní nosná konstrukce (9) antény.....	63
Vnitřní ztužující prstenec (10) v horní části věže.....	65
Svislá tyčová táhla (11).....	67
Vodorovná tyčová táhla (12).....	68
Vodorovná ztužující táhla (13).....	69
Posouzení MSÚ – dřevěné pruty.....	70
Nárožníky (1) spodní části rozhledny (max. N).....	70
Nárožníky (1) spodní části rozhledny (max. M).....	72
Nárožníky (2) střední části rozhledny	73
Nárožníky (2) vrchní části rozhledny (svislé prvky – max. tlak)	74
Nárožníky (2) vrchní části rozhledny (svislé prvky – max. tah).....	76
Nárožníky (1) vrchní části rozhledny (svislé prvky – max. tah).....	77
Vodorovné prvky (2) vrchní části rozhledny (max. tlak)	78
Vodorovné prvky (2) vrchní části rozhledny (max. tah).....	80
Střešní krokve (2) (max. tah)	81
Střešní krokve (2) (max. tlak).....	83
Shrnutí posouzení ocelových prutů	85
Shrnutí posouzení dřevěných prutů	85
Posouzení MSP – deformace konstrukce	86
Posouzení MSÚ – vybrané detaily	87



Detail A – patka.....	87
Detail B – nárožník ve výši první vyhlídkové plošiny.....	93
Detail C – roh střešní konstrukce	98
Závěr	108
Seznam tabulek	109
Seznam obrázků	110
Seznam použitého softwaru	112
Seznam podkladů a použitých norem	113



Rozhledna Špulka



Obrázek 1 – Model rozhledny a reálná předloha



Zatížení

Stálé zatížení

$$\gamma_G = 1,35$$

ZS1 – Vlastní hmotnost nosných konstrukcí
generované softwarem RFEM Dlubal

ZS2 – Ostatní stálé zatížení

Schodiště – zábradlí + schodišťové stupně (ocelový rošt) – odhad

$$g_k = 1,0 \text{ kN/m}$$

Pochozí plošiny – modřínové fošny (tl. = 40 mm)

$$\gamma = 5,7 \text{ kN/m}^3$$

$$g_k = \gamma \cdot tl \cdot g = 5,7 \cdot 0,04 \cdot 9,81 = 2,24 \text{ kN/m}^2$$

Střecha

– modřínové fošny

$$tl. = 40\text{mm}$$

$$\gamma = 5,7 \text{ kN/m}^3$$

$$g_{k,1} = \gamma \cdot tl \cdot g = 5,7 \cdot 0,04 \cdot 9,81 = 2,238 \text{ kN/m}^2$$

– pojistná hydroizolace

$$g_{k,2} = 0,005 \text{ kN/m}^2$$

– plech

$$m = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$g_{k,3} = m \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 2,24 \text{ N/m}^2 = 0,002 \text{ kN/m}^2$$

– střecha celkem

$$g_k = 2,238 + 0,005 + 0,002 \cong 2,25 \text{ kN/m}^2$$

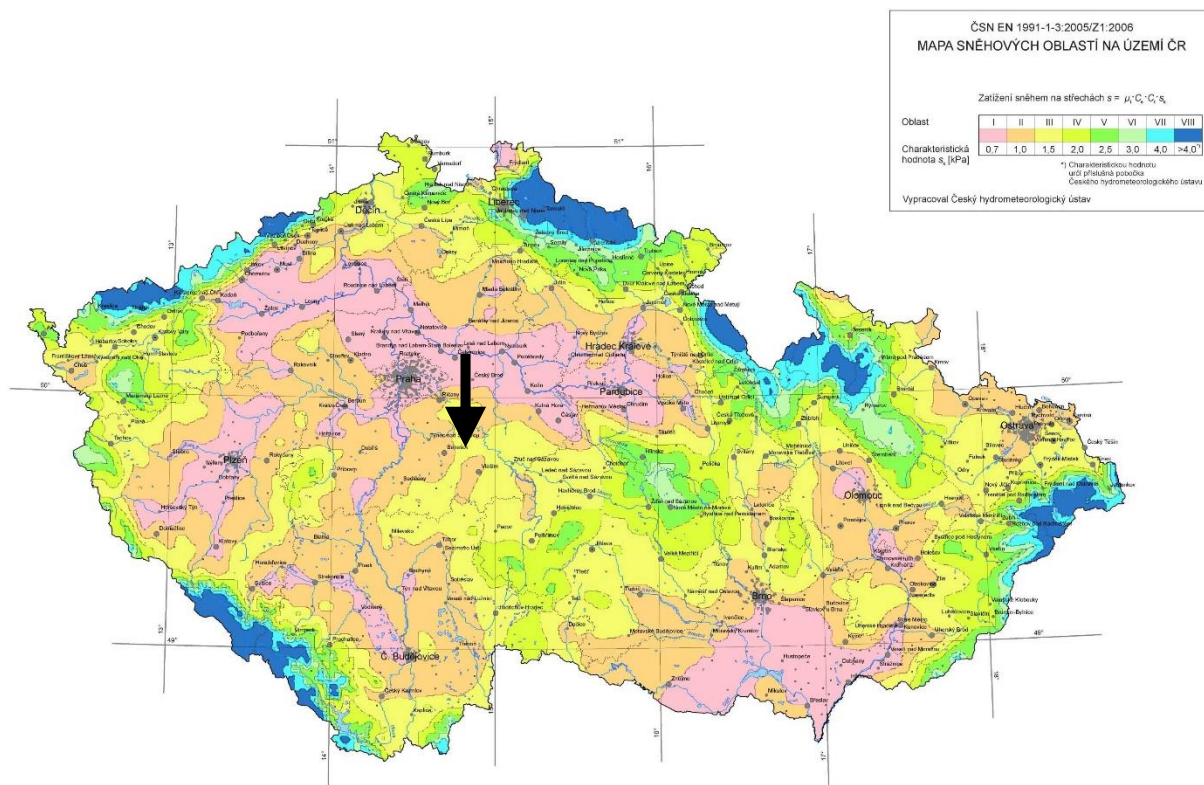


Proměnné zatížení

$$\gamma_Q = 1,5$$

Zatížení sněhem

Sněhová oblast III



Obrázek 2 – Mapa sněhových oblastí (platná od října 2006)

Sklon střechy

$$\alpha = 19,94^\circ$$

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,5 = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

tvárový součinitel

$$\mu_1 = 0,8$$

tepelný součinitel

$$C_t = 1,0$$

součinitel expozice

$$C_e = 0,8 \text{ (krajina otevřená)}$$

charakteristická hodnota zatížení sněhem

$$s_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$$



ZS3 – Sníh I

Na obou stranách střechy stejné zatížení.

ZS4 – Sníh II

Na závětrné straně střechy (vítr ze směru sloupu A) poloviční zatížení.

ZS5 – Sníh III

Na návětrné straně střechy (vítr ze směru sloupu A) poloviční zatížení.

ZS6 – Sníh IV

Na závětrné straně střechy (vítr kolmý ke směru sloupu A) poloviční zatížení.

ZS7 – Sníh V

Na návětrné straně střechy (vítr kolmý ke směru sloupu A) poloviční zatížení.

Zatížení užité

ZS8 – Užité

Schodiště

$$g_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

(ČSN EN 1991 – 1 – 1 tab. 6.1 → A – schodiště (2,0 – 4,0 kN/m²))

Pochozí plošiny

$$g_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

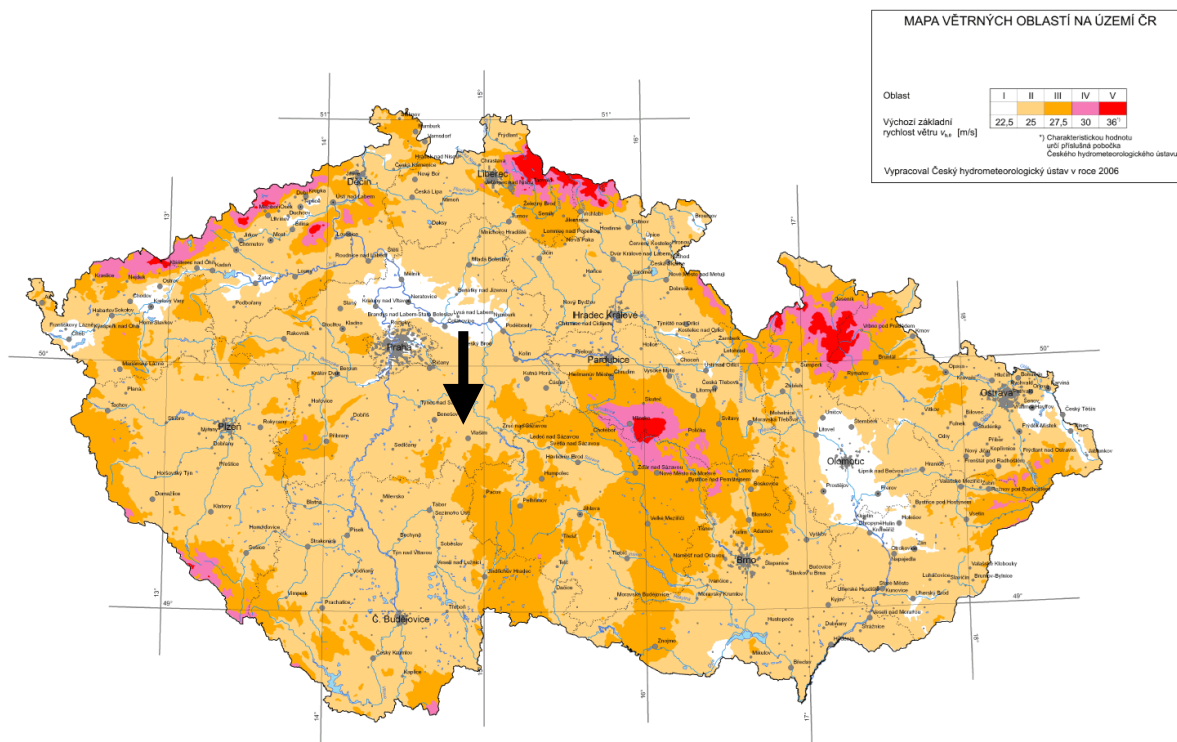
(ČSN EN 1991 – 1 – 1 tab. 6.1 → C3 (3,0 – 5,0 kN/m²))



Zatížení větrem

Kategorie terénu II

Větrová oblast II



Obrázek 3 – Mapa větrných oblastí (platná od října 2006)

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

součinitel směru větru

$$c_{dir} = 1$$

součinitel ročního období

$$c_{season} = 1$$

výchozí základní rychlost větru

$$v_{b,0} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



Charakteristická střední rychlost větru pro výšku z_s

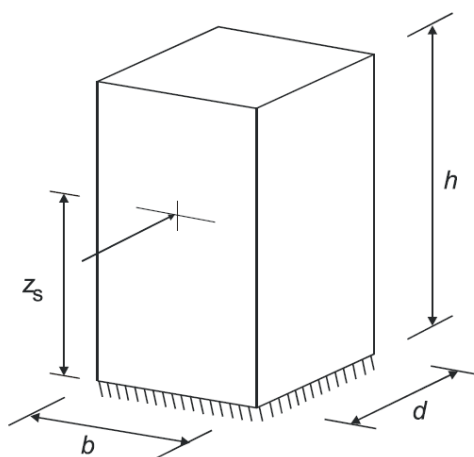
$$v_m(z_s) = c_r(z_s) \cdot c_0(z_s) \cdot v_b = 0,929 \cdot 1 \cdot 25 = 23,22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

výška konstrukce $h = 37,6 \text{ m}$

součinitel orografie $c_0(z) = 1$

součinitel drsnosti terénu $c_r(z_s) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{22,56}{0,3}\right) = 0,929$

referenční výška konstrukce $z_s = 0,6 \cdot h = 0,6 \cdot 37,6 = 22,56 \text{ m}$



Obrázek 4 – Obecný tvar konstrukce, na který se vztahuje postup navrhování

parametr drsnosti terénu $z_0 = 0,3 \text{ m}$

minimální výška a teoretická maximální výška $z_{min} = 5 \text{ m}; z_{max} = 200 \text{ m}$

k_r součinitel terénu $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$

parametr drsnosti terénu kat. II $z_{0,II} = 0,05$

Intenzita turbulence

$$I_v(z_s) = \frac{\sigma_v}{v_m(z_s)} = \frac{k_1}{c_0(z_s) \cdot \ln(z_s/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(22,56/0,3)} = 0,231$$

součinitel turbulence $k_1 = 1$

měrná hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$



Délka turbulence

$$L(z_s) = L_t \cdot \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha = 300 \cdot \left(\frac{22,56}{200}\right)^{0,61} = 79,256$$

referenční výška $z_t = 200 \text{ m}$

referenční měřítko délky $L_t = 300 \text{ m}$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \cdot \ln(z_0) = 0,67 + 0,05 \cdot \ln(0,3) = 0,610$$

Součinitel odezvy pozadí

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{3,46 + 37,6}{79,256}\right)^{0,63}} = 0,627073$$

šířka ve výšce z_s $b = 3,46 \text{ m}$

Logaritmický dekrement útlumu $\delta = 0,05$

pozn. odhad pro příhradové ocelové věže s obyčejnými šrouby – bezpečný odhad

První vlastní frekvence konstrukce

$$n_{1,x} = 1,181 \text{ Hz}$$

pozn. viz. Výsledky dynamické analýzy



Aerodynamické admitance

$$R_{h(\eta_h)} = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) = \frac{1}{8,797} - \frac{1}{2 \cdot 8,797^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 8,797}) = 0,107214$$

$$R_{b(\eta_b)} = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) = \frac{1}{0,810} - \frac{1}{2 \cdot 0,810^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 0,810}) = 0,623459$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L_{(z_s)}} \cdot f_{L(z_s, n_{1,x})} = \frac{4,6 \cdot 37,6}{79,256} \cdot 4,031 = 8,796975$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L_{(z_s)}} \cdot f_{L(z_s, n_{1,x})} = \frac{4,6 \cdot 3,46}{79,256} \cdot 4,031 = 0,809509$$

$$f_{L(z_s, n_{1,x})} = \frac{n \cdot L_{(z_s)}}{v_{m(z)}} = \frac{1,181 \cdot 79,256}{23,22} = 4,031065$$

výkonová spektrální hustota

$$S_{L(z_s, n_{1,x})} = \frac{6,8 \cdot f_{L(z_s, n_{1,x})}}{(1 + 10,2 \cdot f_{L(z_s, n_{1,x})})^{5/3}} = \frac{6,8 \cdot 4,031}{(1 + 10,2 \cdot 4,031)^{5/3}} = 0,053765$$

Rezonanční část odezvy

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_{L(z_s, n_{1,x})} \cdot R_{h(\eta_h)} \cdot R_{b(\eta_b)} = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,05} \cdot 0,054 \cdot 0,107 \cdot 0,623 = 0,353729$$

Součinitel špiček

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} = \sqrt{2 \cdot \ln(0,823 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0,823 \cdot 600)}} = 3,692227$$

frekvence přechodů s kladnou směrnici

$$v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 1,181 \cdot \sqrt{\frac{0,354}{0,627 + 0,354}} = 0,709242$$

doba integrace při stanovení střední rychlosti větru $T = 600 \text{ s}$

Součinitel konstrukce

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot l_{v(z_s)} \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot l_{v(z_s)}} = \frac{1 + 2 \cdot 3,692 \cdot 0,231 \cdot \sqrt{0,627 + 0,354}}{1 + 7 \cdot 0,231} = 1,028$$



Maximální dynamický tlak

$$v = 0 - 5,86 \text{ m}$$

$$q_p(5,94) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,336] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,98^2 \\ = 0,535 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{5,86}{0,3}\right) \cdot 1 \cdot 25 = 15,975 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(5,86/0,3)} = 0,336$$

$$v = 5,86 - 11,7 \text{ m}$$

$$q_p(11,7) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,273] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,69^2 \\ = 0,705 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{11,7}{0,3}\right) \cdot 1 \cdot 25 = 19,692 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(11,7/0,3)} = 0,273$$

$$v = 11,7 - 19,2 \text{ m}$$

$$q_p(19,2) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,240] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,35^2 \\ = 0,838 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{19,2}{0,3}\right) \cdot 1 \cdot 25 = 22,354 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(19,2/0,3)} = 0,240$$



$$v = 19,2 - 26,7 \text{ m}$$

$$q_p(26,7) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,223] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 24,13^2 \\ = 0,932 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{26,7}{0,3}\right) \cdot 1 \cdot 25 = 24,126 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(26,7/0,3)} = 0,223$$

$$v = 26,7 - 34,6 \text{ m}$$

$$q_p(34,6) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,211] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25,52^2 \\ = 1,008 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{34,6}{0,3}\right) \cdot 1 \cdot 25 = 25,520 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(34,6/0,3)} = 0,211$$

$$v = 34,6 - 45,6 \text{ m (anténa)}$$

$$q_p(45,6) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,199] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,00^2 \\ = 1,091 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

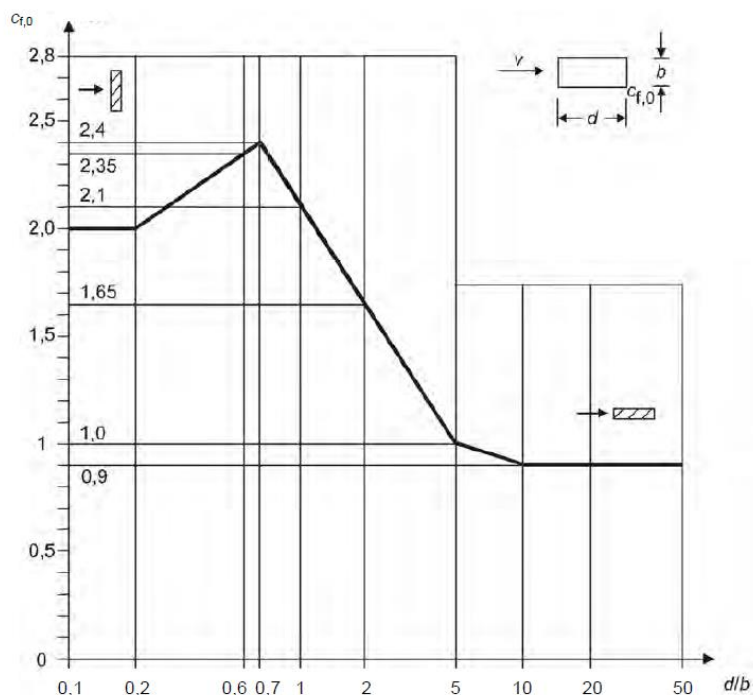
$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{45,6}{0,3}\right) \cdot 1 \cdot 25 = 27,003 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(45,6/0,3)} = 0,199$$



ZS9 – Větr X +

Výška 0 – 5,86 m:



Obrázek 5 – Součinitel síly $c_{f,0}$ pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy bez vlivu proudění kolem volných konců

Vnější dřevěné nárožníky 240x200 mm (A, B, C, H, I, J, K, L, R, S)

$$w_{e,nár.,0^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,05 \cdot 0,535 \cdot 0,2 = 0,227 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,nár.,0^\circ} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2,05 \cdot 1 \cdot 1 = 2,05$$

$$d/b = 240/200 = 1,2 \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 2,05$$

Vnější dřevěné nárožníky 200x240 mm (D, E, F, G, M, N, O, P)

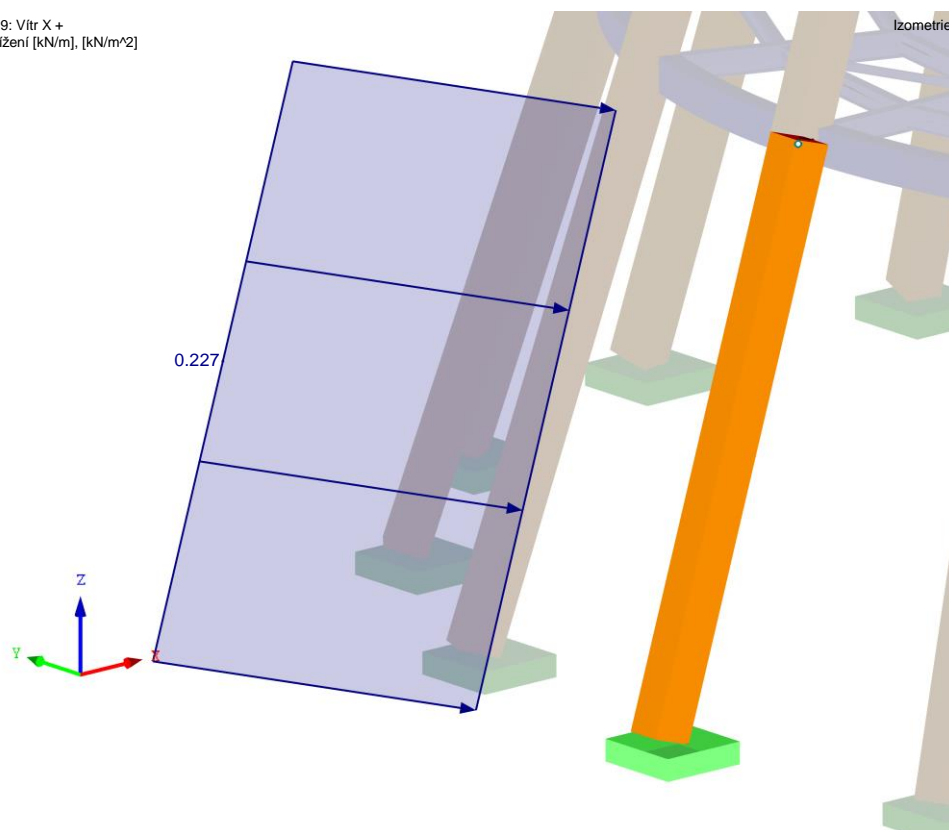
$$w_{e,nár.,90^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,30 \cdot 0,535 \cdot 0,24 = 0,305 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,nár.,90^\circ} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2,30 \cdot 1 \cdot 1 = 2,30$$

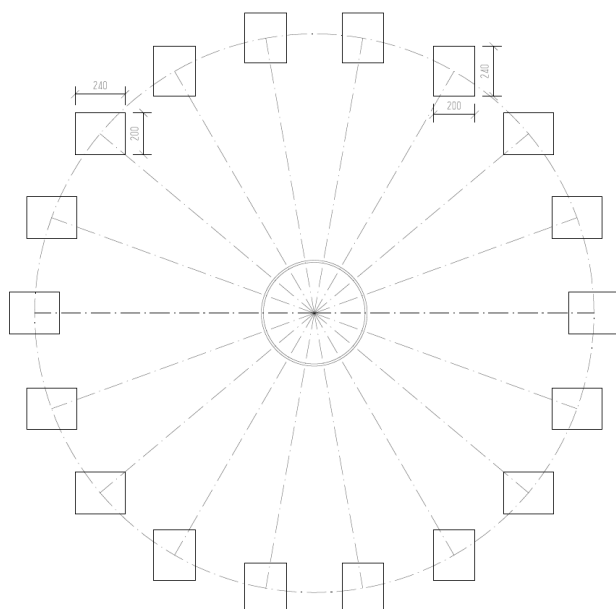
$$d/b = 200/240 = 0,83 \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 2,30$$



ZS 9: Vitr X +
Zatížení [kN/m], [kN/m²]



Obrázek 6 – Ilustrace zatížení nárožníku



Obrázek 7 – Schéma zjednodušení natáčení nárožníků



Kruhový ocelový prstenec 120x200 mm

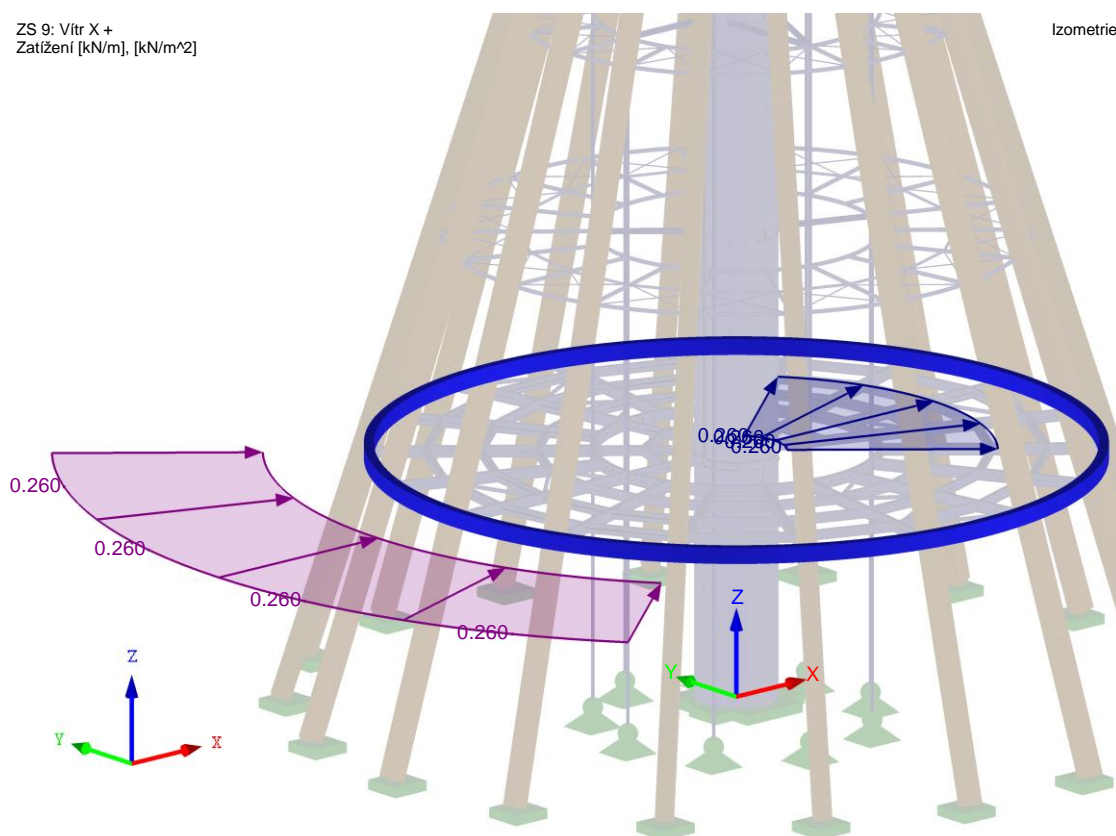
$$w_{e,prst.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,35 \cdot 0,535 \cdot 0,2 = 0,260 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,prst.} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2,35 \cdot 1 \cdot 1 = 2,35$$

$$d/b = 120/200 = 0,6 \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 2,35$$

ZS 9: Vitr X +
Zatížení [kN/m], [kN/m²]

Izometrie



Obrázek 8 – Ilustrace zatížení ztužujícího prstence

Centrální ocelová roura \varnothing 1016 mm

$$w_{e,centr.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,05 \cdot 0,535 \cdot 1,016 = 0,587 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,centr.} = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,2 \cdot 1 = 1,2$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{\nu} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{\nu} = \frac{1,016 \cdot \sqrt{2 \cdot 535 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 2,0 \cdot 10^6$$

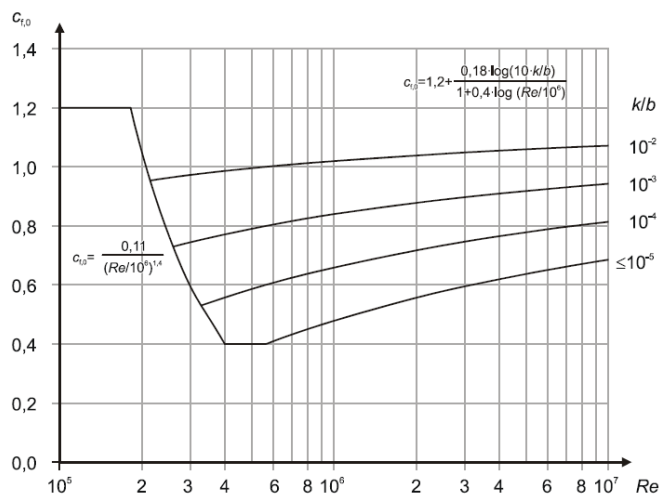


$$k/b = 0,02/1016 = 2,0 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.28} \rightarrow c_{f,0} = 1,05$$

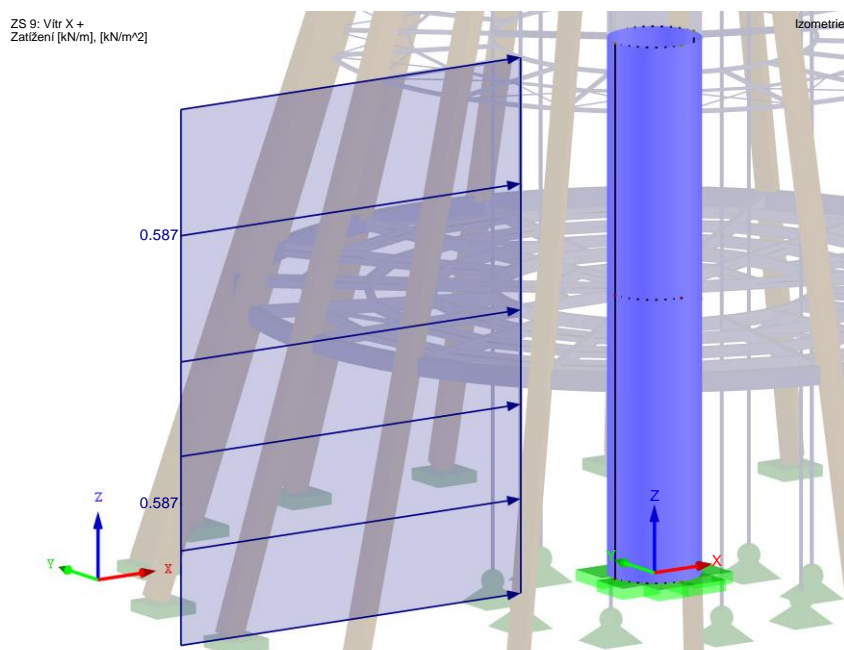
ekvivalentní drsnost povrchu $k = 0,02 \text{ mm}$

kinematická viskozita vzduchu $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

součinitel koncového efektu $\psi_\lambda = 1,0$



Obrázek 9 – Součinitel síly $c_{f,0}$ pro kruhové válce bez vlivu proudění kolem volných konců a pro různé ekvivalentní drsnosti k/b



Obrázek 10 – Ilustrace zatížení centrální trubky



Zábradlí

– madlo \varnothing 51 mm

$$w_{e,záb.mad.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,535 \cdot 0,051 = 0,036 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,centr.} = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,2 \cdot 1 = 1,2$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{\nu} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{\nu} = \frac{0,051 \cdot \sqrt{2 \cdot 538 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,0 \cdot 10^5$$

$$k/b = 0,02/51 = 3,9 \cdot 10^{-4} \rightarrow \check{C}SN \text{ EN } 1991 - 1 - 4 \text{ 7.28} \rightarrow c_{f,0} = 1,2$$

– sloupky \varnothing 42,4 mm

$$w_{e,záb.sl.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,535 \cdot 0,042 = 0,030 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{\nu} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{\nu} = \frac{0,042 \cdot \sqrt{2 \cdot 538 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 8,2 \cdot 10^4$$

$$k/b = 0,02/42,4 = 4,7 \cdot 10^{-4} \rightarrow \check{C}SN \text{ EN } 1991 - 1 - 4 \text{ 7.28} \rightarrow c_{f,0} = 1,2$$

– sloupky 12x12 mm

$$w_{e,záb.sl.2} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,1 \cdot 0,535 \cdot 0,012 = 0,015 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$d/b = 12/12 = 1 \rightarrow \check{C}SN \text{ EN } 1991 - 1 - 4 \text{ 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 2,1$$

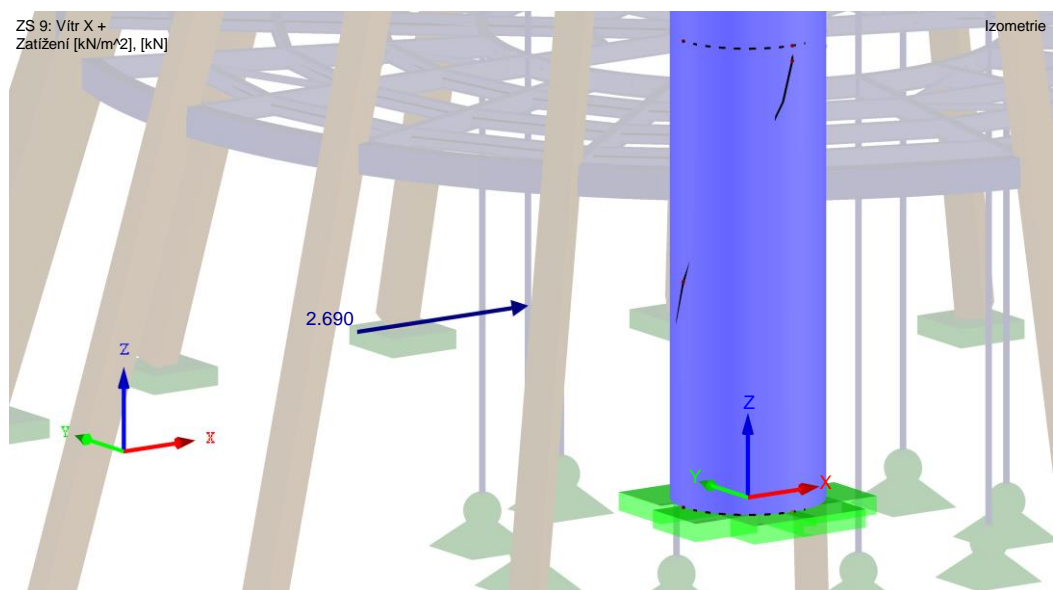
– pásovina 250x2 mm

$$w_{e,pás.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,0 \cdot 0,535 \cdot 0,25 = 0,296 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$d/b = 2/250 = 0,008 \rightarrow \check{C}SN \text{ EN } 1991 - 1 - 4 \text{ 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 2,0$$

Zábradlí celkem (zatížení na jednu půlotáčku (180°) schodiště)

$$\begin{aligned} F_{w,záb.} &= w_{e,záb.mad.} \cdot b + w_{e,záb.sl.} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n + w_{e,záb.sl.2} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n_2 + w_{e,pás.} \cdot b \\ &= 0,036 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} + 0,030 \cdot 1,2 \cdot 5 + 0,015 \cdot 1,2 \cdot 25 \\ &\quad + 0,296 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} = 2,69 \text{ kN} \end{aligned}$$



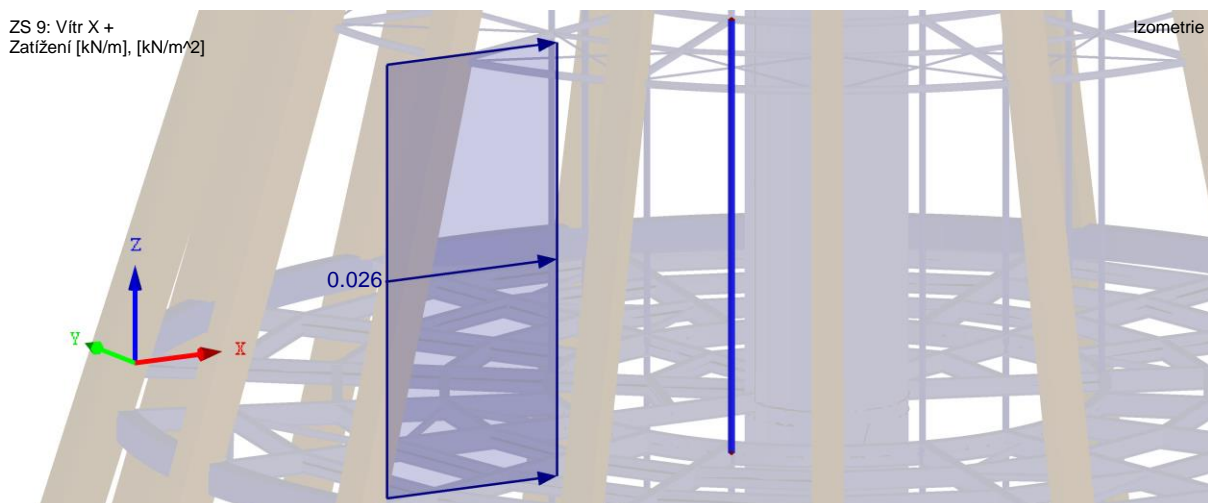
Obrázek 11 – Ilustrace zatížení od schodiště

Svislá táhla $\varnothing 36$ mm

$$w_{e,táh.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,535 \cdot 0,036 = 0,026 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{\nu} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{\nu} = \frac{0,036 \cdot \sqrt{2 \cdot 538 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 5,5 \cdot 10^4$$

$$k/b = 0,02/36 = 3,0 \cdot 10^{-2} \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.28} \rightarrow c_{f,0} = 1,2$$



Obrázek 12– Ilustrace zatížení táhel



Nosné profily plošiny IPE 140

$$w_{e,nos.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,00 \cdot 0,535 \cdot 0,14 = 0,154 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,nár.} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2,00 \cdot 1 \cdot 1 = 2,00$$

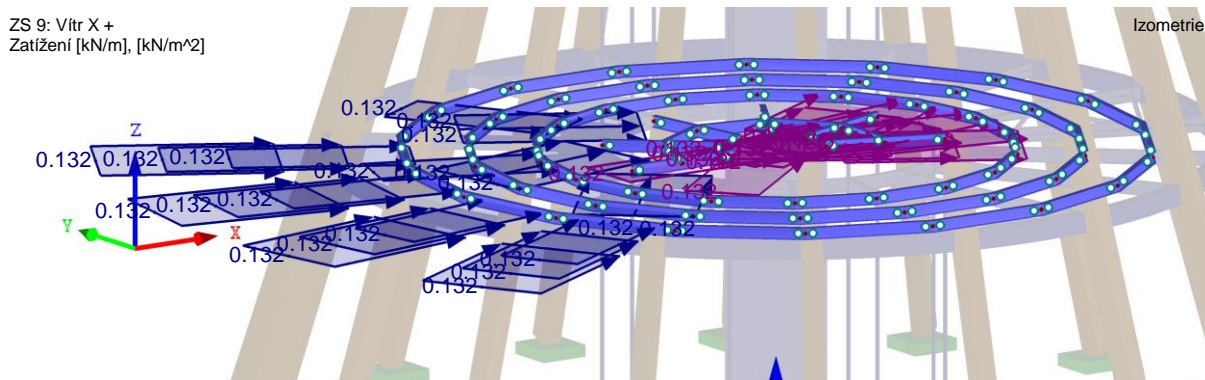
$$\check{\text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23}} \rightarrow c_{f,0} = 2,00$$

Nosné profily plošiny IPE 120

$$w_{e,nos.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,00 \cdot 0,535 \cdot 0,12 = 0,132 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,nár.} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2,00 \cdot 1 \cdot 1 = 2,00$$

$$\check{\text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23}} \rightarrow c_{f,0} = 2,00$$



Obrázek 13 – Ilustrace zatížení nosných prvků plošin

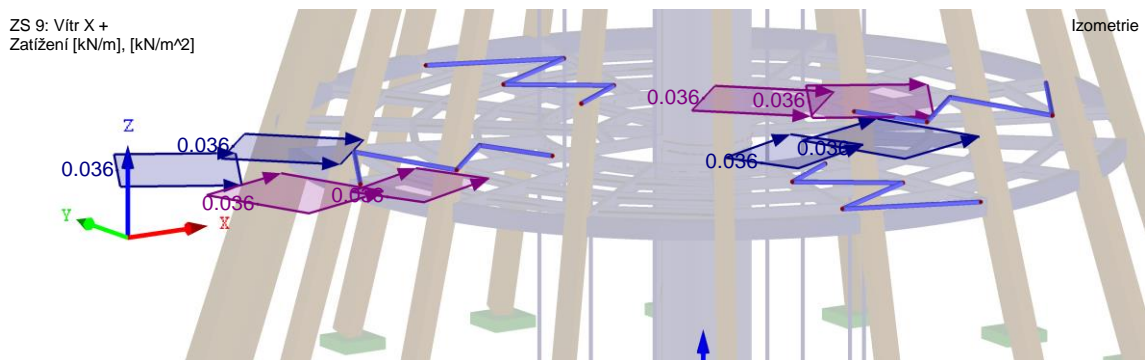
Ztužující prvky plošiny Ø 51 mm

$$w_{e,ztu.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,535 \cdot 0,051 = 0,036 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,centr.} = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,2 \cdot 1 = 1,2$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{\nu} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{\nu} = \frac{0,051 \cdot \sqrt{2 \cdot 538 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,0 \cdot 10^5$$

$$k/b = 0,02/51 = 3,9 \cdot 10^{-4} \rightarrow \check{\text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.28}} \rightarrow c_{f,0} = 1,2$$



Obrázek 14 – Ilustrace zatížení ztužujících prvků plošin

Výška 5,86 – 11,7 m:

Vnější dřevěné nárožníky 240x200 mm (A, B, C, H, I, J, K, L, R, S)

$$w_{e,nár.,0^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,05 \cdot 0,705 \cdot 0,2 = 0,297 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Vnější dřevěné nárožníky 200x240 mm (D, E, F, G, M, N, O, P)

$$w_{e,nár.,90^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,30 \cdot 0,705 \cdot 0,24 = 0,400 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Kruhový ocelový prstenec 120x200 mm

$$w_{e,prst.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,35 \cdot 0,705 \cdot 0,2 = 0,341 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Centrální ocelová roura \varnothing 1016 mm

$$w_{e,centr.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,05 \cdot 0,705 \cdot 1,016 = 0,773 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Zábradlí

– madlo \varnothing 51 mm

$$w_{e,záb.mad.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,705 \cdot 0,051 = 0,044 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky \varnothing 42,4 mm

$$w_{e,záb.sl.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,705 \cdot 0,042 = 0,037 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky 12x12 mm

$$w_{e,záb.sl.2} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,1 \cdot 0,705 \cdot 0,012 = 0,018 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– pásovina 250x2 mm



$$w_{e,pás.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,0 \cdot 0,705 \cdot 0,25 = 0,362 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\begin{aligned} F_{w,záb.} &= w_{e,záb.mad.} \cdot b + w_{e,záb.sl.} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n + w_{e,záb.sl.2} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n_2 + w_{e,pás.} \cdot b \\ &= 0,044 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} + 0,037 \cdot 1,2 \cdot 5 + 0,018 \cdot 1,2 \cdot 25 \\ &\quad + 0,362 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} = 3,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

Svislá táhla $\varnothing 36 \text{ mm}$

$$w_{e,táh.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,705 \cdot 0,036 = 0,031 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Ztužující prvky $\varnothing 51 \text{ mm}$

$$w_{e,ztu.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,705 \cdot 0,051 = 0,044 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Ztužující prvky $\varnothing 35 \text{ mm}$

$$w_{e,ztu.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,705 \cdot 0,035 = 0,030 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,centr.} = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,2 \cdot 1 = 1,2$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{\nu} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{\nu} = \frac{0,035 \cdot \sqrt{2 \cdot 705 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 0,8 \cdot 10^5$$

$$k/b = 0,02/35 = 5,7 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.28} \rightarrow c_{f,0} = 1,2$$

Výška 11,7 – 19,2 m:

Vnější dřevěné nárožníky 240x160 mm (A, B, C, H, I, J, K, L, R, S)

$$w_{e,nár.,0^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,85 \cdot 0,838 \cdot 0,16 = 0,255 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,nár.,0^\circ} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 1,85 \cdot 1 \cdot 1 = 1,85$$

$$d/b = 240/160 = 1,5 \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 1,85$$

Vnější dřevěné nárožníky 160x240 mm (D, E, F, G, M, N, O, P)

$$w_{e,nár.,90^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,38 \cdot 0,838 \cdot 0,24 = 0,492 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,nár.,90^\circ} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2,38 \cdot 1 \cdot 1 = 2,38$$

$$d/b = 160/240 = 0,67 \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 2,38$$

Kruhový ocelový prsteneč 120x200 mm



$$w_{e,prst.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,35 \cdot 0,838 \cdot 0,2 = 0,405 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Centrální ocelová roura \varnothing 1016 mm

$$w_{e,centr.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,05 \cdot 0,838 \cdot 1,016 = 0,919 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Zábradlí

– madlo \varnothing 51 mm

$$w_{e,záb.mad.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,838 \cdot 0,051 = 0,053 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky \varnothing 42,4 mm

$$w_{e,záb.sl.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,838 \cdot 0,042 = 0,043 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky 12x12 mm

$$w_{e,záb.sl.2} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,1 \cdot 0,838 \cdot 0,012 = 0,022 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– pásovina 250x2 mm

$$w_{e,pás.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,0 \cdot 0,838 \cdot 0,25 = 0,431 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\begin{aligned} F_{w,záb.} &= w_{e,záb.mad.} \cdot b + w_{e,záb.sl.} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n + w_{e,záb.sl.2} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n_2 + w_{e,pás.} \cdot b \\ &= 0,053 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} + 0,043 \cdot 1,2 \cdot 5 + 0,022 \cdot 1,2 \cdot 25 \\ &\quad + 0,431 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} = 3,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ztužující prvky \varnothing 35 mm

$$w_{e,ztu.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,838 \cdot 0,035 = 0,036 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Výška 19,2 – 26,7 m:

Vnější dřevěné nárožníky 240x160 mm (A, B, C, H, I, J, K, L, R, S)

$$w_{e,nár.,0^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,85 \cdot 0,932 \cdot 0,16 = 0,284 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Vnější dřevěné nárožníky 160x240 mm (D, E, F, G, M, N, O, P)

$$w_{e,nár.,90^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,38 \cdot 0,932 \cdot 0,24 = 0,547 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Kruhový ocelový prstenec 120x200 mm

$$w_{e,prst.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,35 \cdot 0,932 \cdot 0,2 = 0,450 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



Centrální ocelová roura \varnothing 1016 mm

$$w_{e,centr.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,05 \cdot 0,932 \cdot 1,016 = 1,022 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Zábradlí

– madlo \varnothing 51 mm

$$w_{e,záb.mad.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,932 \cdot 0,051 = 0,059 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky \varnothing 42,4 mm

$$w_{e,záb.sl.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,932 \cdot 0,042 = 0,048 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky 12x12 mm

$$w_{e,záb.sl.2} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,1 \cdot 0,932 \cdot 0,012 = 0,024 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– pásovina 250x2 mm

$$w_{e,pás.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,0 \cdot 0,932 \cdot 0,25 = 0,479 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\begin{aligned} F_{w,záb.} &= w_{e,záb.mad.} \cdot b + w_{e,záb.sl.} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n + w_{e,záb.sl.2} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n_2 + w_{e,pás.} \cdot b \\ &= 0,059 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} + 0,048 \cdot 1,2 \cdot 5 + 0,024 \cdot 1,2 \cdot 25 \\ &\quad + 0,479 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} = 4,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ztužující prvky \varnothing 35 mm

$$w_{e,ztu.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 0,932 \cdot 0,035 = 0,040 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Výška 26,7 – 34,6 m:

Vnější dřevěné nárožníky 240x160 mm (A, B, C, H, I, J, K, L, R, S)

$$w_{e,nár.,0^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,85 \cdot 1,008 \cdot 0,16 = 0,307 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Vnější dřevěné nárožníky 160x240 mm (D, E, F, G, M, N, O, P)

$$w_{e,nár.,90^\circ} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,38 \cdot 1,008 \cdot 0,24 = 0,592 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Kruhový ocelový prstenec 120x200 mm

$$w_{e,prst.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,35 \cdot 1,008 \cdot 0,2 = 0,487 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



Kruhový ocelový prstavec 80x140 mm

$$w_{e,prst.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,3 \cdot 1,008 \cdot 0,14 = 0,334 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$c_{f,prst.} = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 2,3 \cdot 1 \cdot 1 = 2,3$$

$$d/b = 80/140 = 0,57 \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.23} \rightarrow c_{f,0} = 2,3$$

Centrální ocelová roura \varnothing 1016 mm

$$w_{e,centr.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,05 \cdot 1,008 \cdot 1,016 = 1,105 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Zábradlí

– madlo \varnothing 51 mm

$$w_{e,záb.mad.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 1,008 \cdot 0,051 = 0,063 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky \varnothing 42,4 mm

$$w_{e,záb.sl.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 1,008 \cdot 0,042 = 0,052 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– sloupky 12x12 mm

$$w_{e,záb.sl.2} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,1 \cdot 1,008 \cdot 0,012 = 0,026 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

– pásovina 250x2 mm

$$w_{e,pás.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,0 \cdot 1,008 \cdot 0,25 = 0,544 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Zábradlí celkem (zatížení na jednu půlotáčku (180°) schodiště)

$$\begin{aligned} F_{w,záb.} &= w_{e,záb.mad.} \cdot b + w_{e,záb.sl.} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n + w_{e,záb.sl.2} \cdot h_{záb.sl.} \cdot n_2 + w_{e,pás.} \cdot b \\ &= 0,063 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} + 0,052 \cdot 1,2 \cdot 5 + 0,026 \cdot 1,2 \cdot 25 \\ &\quad + 0,544 \cdot \sqrt{(1,016 \cdot 2 \cdot \pi)^2 - 1,5^2} = 4,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

Svislá táhla \varnothing 36 mm

$$w_{e,táh.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 1,008 \cdot 0,036 = 0,045 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Nosné profily plošiny IPE 140

$$w_{e,nos.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,00 \cdot 1,008 \cdot 0,14 = 0,290 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Nosné profily plošiny IPE 120

$$w_{e,nos.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 2,00 \cdot 1,008 \cdot 0,12 = 0,249 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



Ztužující prvky plošiny $\varnothing 51$ mm

$$w_{e,ztu.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 1,2 \cdot 1,008 \cdot 0,051 = 0,063 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Výška 34,6 – 45,6 m (anténa):

Trubka nesoucí anténu $\varnothing 325$ mm

$$w_{e,ant.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 0,55 \cdot 1,091 \cdot 0,325 = 0,200 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{v} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{v} = \frac{0,325 \cdot \sqrt{2 \cdot 1091 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 9,1 \cdot 10^5$$

$$k/b = 0,016/325 = 4,9 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.28} \rightarrow c_{f,0} = 0,5$$

Trubka nesoucí anténu $\varnothing 220$ mm

$$w_{e,ant.} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p(z)} \cdot b = 1,028 \cdot 0,5 \cdot 1,091 \cdot 0,22 = 0,123 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$Re = \frac{b \cdot v_{(z_e)}}{v} = \frac{b \cdot \sqrt{2 \cdot q_p / \rho}}{v} = \frac{0,22 \cdot \sqrt{2 \cdot 1091 / 1,25}}{15 \cdot 10^{-6}} = 6,1 \cdot 10^5$$

$$k/b = 0,016/220 = 7,3 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{ČSN EN 1991 - 1 - 4 7.28} \rightarrow c_{f,0} = 0,5$$

Výška 33,2 – 34,6 m (střecha):

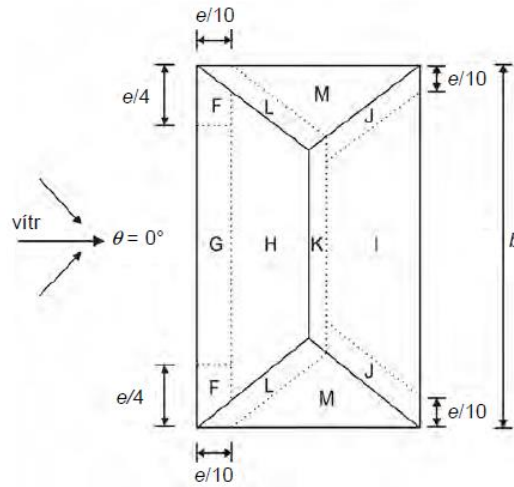
Geometrie střechy

$$e = \min(b; 2h) = \min(7,72; 2 \cdot 34,6) = 7,72 \text{ m}$$

$$b = 7,72 \text{ m}; h = 34,6 \text{ m}$$

$$\alpha = 19,94^\circ$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{7,72}{2}\right)^2 = 46,8 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10}$$



Obrázek 15 – Legenda pro valbové střechy

pozn. Pro zjednodušení střecha uvažována jako čtyřboký jehlan (valbová střecha).

pozn. Součinitel c_{pe} stanoven interpolací.

Na návětrné straně sání

$$w_{e,F} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,F} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-0,768) = -0,796 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,G} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,G} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-0,701) = -0,726 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,H} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,H} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-0,267) = -0,277 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,I} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,I} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-0,467) = -0,484 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,J} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,J} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-0,901) = -0,934 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,K} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,K} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-0,969) = -1,004 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

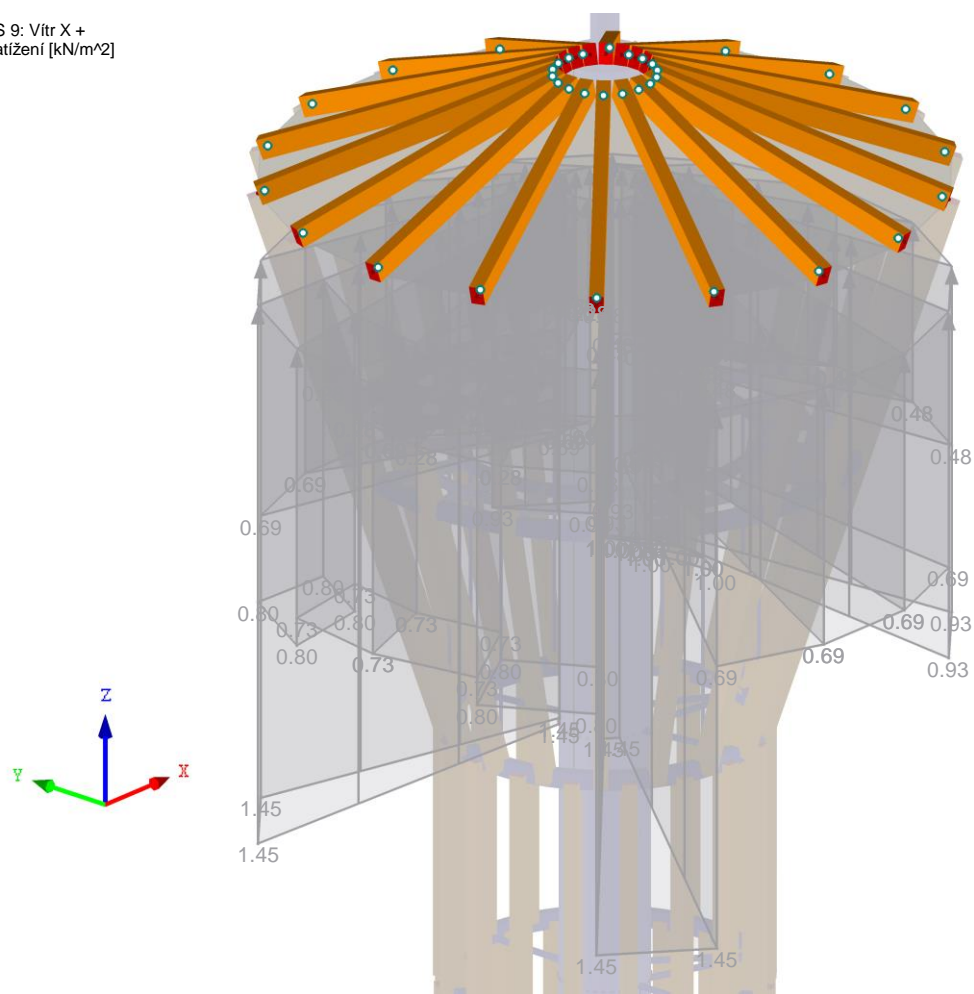
$$w_{e,L} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,L} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-1,4) = -1,451 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,M} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,M} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot (-0,666) = -0,690 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$



ZS 9: Vitr X +
Zatížení [kN/m²]

Izometrie



Obrázek 16 – Ilustrace zatížení střešní konstrukce



ZS10 – Vítr X –

pozn. Stejně zatížení jako ZS 9, pouze na návětrné straně střechy tlak.

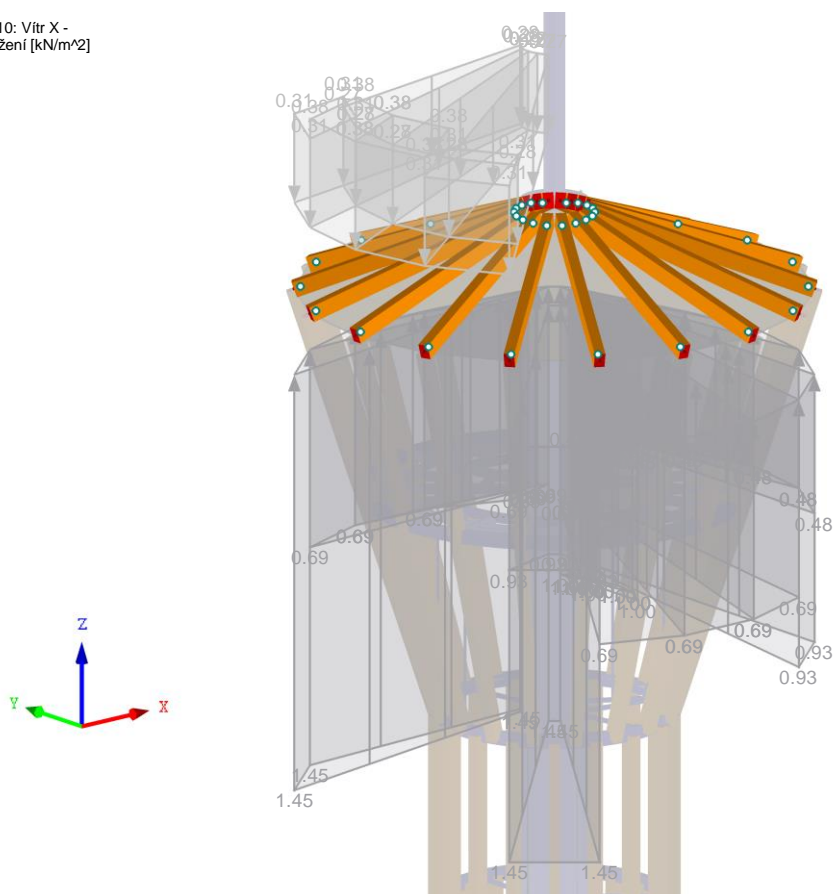
$$w_{e,F} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,F} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot 0,299 = 0,310 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,G} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,G} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot 0,365 = 0,378 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$w_{e,H} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10,H} = 1,028 \cdot 1,008 \cdot 0,266 = 0,275 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

ZS 10: Vítr X -
Zatížení [kN/m²]

Izometrie



Obrázek 17 – Ilustrace zatížení střešní konstrukce

ZS11 – Vítr Y +

pozn. Stejně velikosti zatížení na jednotlivé prvky jako ZS 9, na návětrné straně střechy sání.

ZS12 – Vítr Y -

pozn. Stejně zatížení jako ZS 11, pouze na návětrné straně střechy tlak.



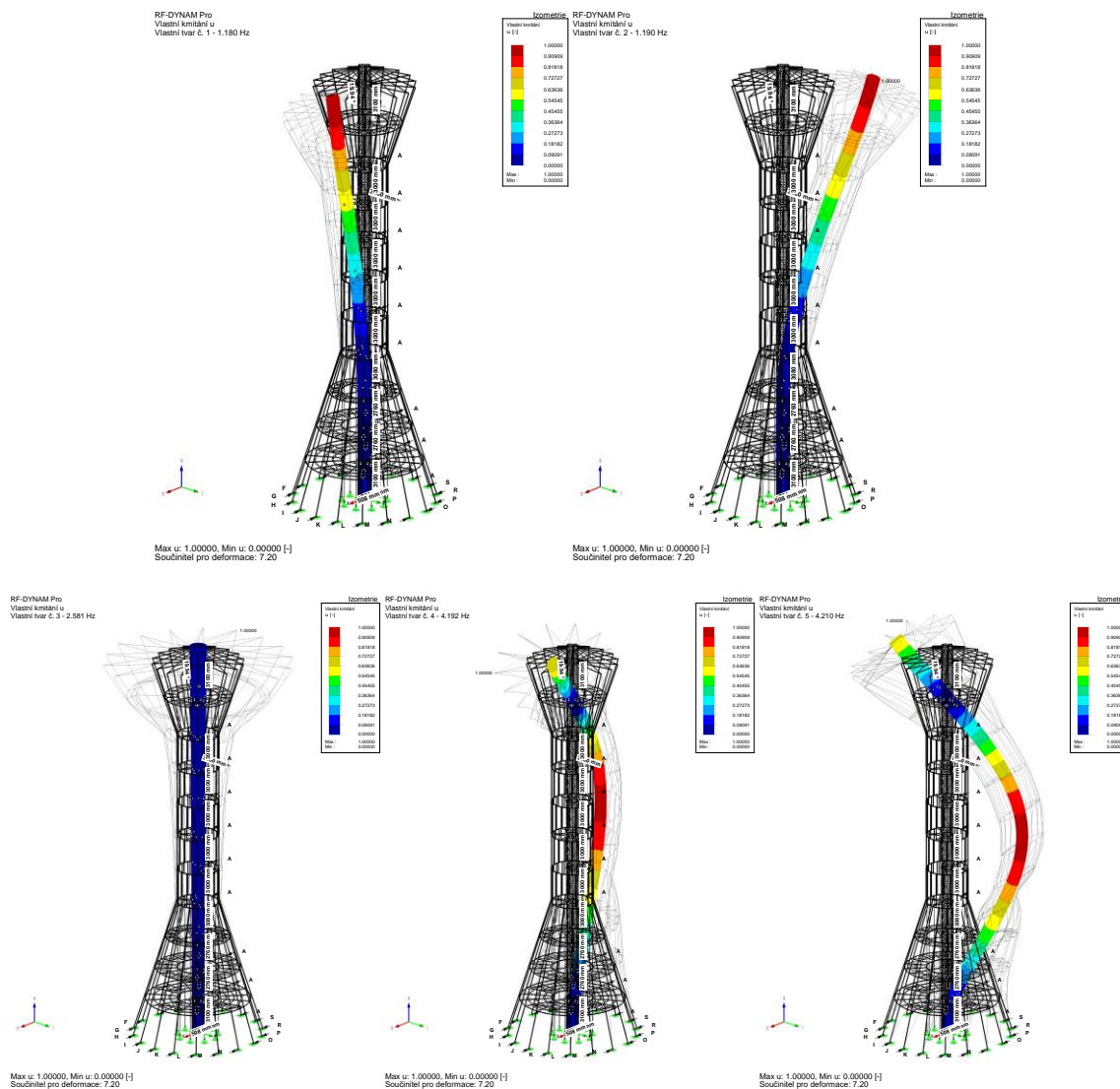
KZ67	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS10$	KZ272	$ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ68	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS11$	KZ273	$ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ69	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS12$	KZ274	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ70	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS9$	KZ275	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ71	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS10$	KZ276	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ72	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS11$	KZ277	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ73	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS12$	KZ278	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ74	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS9$	KZ279	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ75	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS10$	KZ280	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ76	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS11$	KZ281	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ77	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS12$	KZ282	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ78	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS9$	KZ283	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ79	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS10$	KZ284	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ80	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS11$	KZ285	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ81	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS8 + 0.9^*ZS12$	KZ286	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ82	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS9$	KZ287	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ83	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS10$	KZ288	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ84	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS11$	KZ289	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.7^*ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ85	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.5^*ZS12$	KZ290	$ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6^*ZS9$
KZ86	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.5^*ZS9$	KZ291	$ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6^*ZS10$
KZ87	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.5^*ZS10$	KZ292	$ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6^*ZS11$
KZ88	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.5^*ZS11$	KZ293	$ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6^*ZS12$
KZ89	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.5^*ZS12$	KZ294	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6^*ZS9$
KZ90	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.5^*ZS9$	KZ295	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6^*ZS10$
KZ91	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.5^*ZS10$	KZ296	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6^*ZS11$
KZ92	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.5^*ZS11$	KZ297	$ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6^*ZS12$
KZ93	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.5^*ZS12$	KZ298	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6^*ZS9$
KZ94	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.5^*ZS9$	KZ299	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6^*ZS10$
KZ95	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.5^*ZS10$	KZ300	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6^*ZS11$
KZ96	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.5^*ZS11$	KZ301	$ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6^*ZS12$
KZ97	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.5^*ZS12$	KZ302	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.6^*ZS9$
KZ98	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS9$	KZ303	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.6^*ZS10$
KZ99	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS10$	KZ304	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.6^*ZS11$
KZ100	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS11$	KZ305	$ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.6^*ZS12$
KZ101	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.5^*ZS12$	KZ306	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.6^*ZS9$
KZ102	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS9$	KZ307	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.6^*ZS10$
KZ103	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS10$	KZ308	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.6^*ZS11$
KZ104	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS11$	KZ309	$ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.6^*ZS12$
KZ105	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.5^*ZS12$	KZ310	$ZS1 + ZS2 + ZS8$
KZ106	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS9$	KZ311	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS3 + ZS8$
KZ107	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS10$	KZ312	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS4 + ZS8$
KZ108	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS11$	KZ313	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS5 + ZS8$
KZ109	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS3 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS12$	KZ314	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS6 + ZS8$
KZ110	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS9$	KZ315	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS7 + ZS8$
KZ111	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS10$	KZ316	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS3 + ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ112	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS11$	KZ317	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS3 + ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ113	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS4 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS12$	KZ318	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS3 + ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ114	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS9$	KZ319	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS3 + ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ115	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS10$	KZ320	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS4 + ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ116	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS11$	KZ321	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS4 + ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ117	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS5 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS12$	KZ322	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS4 + ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ118	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS9$	KZ323	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS4 + ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ119	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS10$	KZ324	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS5 + ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ120	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS11$	KZ325	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS5 + ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ121	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS6 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS12$	KZ326	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS5 + ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ122	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS9$	KZ327	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS5 + ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ123	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS10$	KZ328	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS6 + ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ124	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS11$	KZ329	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS6 + ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ125	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 0.75^*ZS7 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS12$	KZ330	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS6 + ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ126	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS9$	KZ331	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS6 + ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ127	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS10$	KZ332	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS7 + ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ128	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS11$	KZ333	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS7 + ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ129	$1.35^*ZS1 + 1.35^*ZS2 + 1.05^*ZS8 + 1.5^*ZS12$	KZ334	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS7 + ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ130	$ZS1 + ZS2$	KZ335	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS7 + ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ131	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS3$	KZ336	$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0.6^*ZS9$
KZ132	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS4$	KZ337	$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0.6^*ZS10$
KZ133	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS5$	KZ338	$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0.6^*ZS11$
KZ134	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS6$	KZ339	$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0.6^*ZS12$
KZ135	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS7$	KZ340	$ZS1 + ZS2 + ZS9$
KZ136	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS3 + 1.05^*ZS8$	KZ341	$ZS1 + ZS2 + ZS10$
KZ137	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS4 + 1.05^*ZS8$	KZ342	$ZS1 + ZS2 + ZS11$
KZ138	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS5 + 1.05^*ZS8$	KZ343	$ZS1 + ZS2 + ZS12$
KZ139	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS6 + 1.05^*ZS8$	KZ344	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS3 + ZS9$
KZ140	$ZS1 + ZS2 + 1.5^*ZS7 + 1.05^*ZS8$	KZ345	$ZS1 + ZS2 + 0.5^*ZS3 + ZS10$



KZ141	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ346	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + ZS11$
KZ142	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ347	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + ZS12$
KZ143	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ348	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS9$
KZ144	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ349	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS10$
KZ145	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ350	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS11$
KZ146	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ351	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS12$
KZ147	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ352	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS9$
KZ148	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ353	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS10$
KZ149	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ354	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS11$
KZ150	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ355	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + ZS12$
KZ151	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ356	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + ZS9$
KZ152	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ357	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + ZS10$
KZ153	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ358	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + ZS11$
KZ154	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ359	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + ZS12$
KZ155	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ360	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + ZS9$
KZ156	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ361	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + ZS10$
KZ157	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ362	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + ZS11$
KZ158	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ363	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + ZS12$
KZ159	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ364	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ160	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 1.05 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ365	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS10$
KZ161	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ366	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS11$
KZ162	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ367	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS3 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS12$
KZ163	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ368	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ164	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ369	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS10$
KZ165	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ370	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS11$
KZ166	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ371	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS4 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS12$
KZ167	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ372	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ168	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ373	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS10$
KZ169	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ374	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS11$
KZ170	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ375	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS5 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS12$
KZ171	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ376	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ172	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ377	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS10$
KZ173	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ378	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS11$
KZ174	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ379	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS6 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS12$
KZ175	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ380	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ176	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ381	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS10$
KZ177	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ382	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS11$
KZ178	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ383	$ZS1 + ZS2 + 0.5 \cdot ZS7 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS12$
KZ179	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ384	$ZS1 + ZS2 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS9$
KZ180	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ385	$ZS1 + ZS2 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS10$
KZ181	$ZS1 + ZS2 + 1.5 \cdot ZS8$	KZ386	$ZS1 + ZS2 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS11$
KZ182	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8$	KZ387	$ZS1 + ZS2 + 0.7 \cdot ZS8 + ZS12$
KZ183	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8$	KZ388	$ZS1 + ZS2$
KZ184	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8$	KZ389	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS3$
KZ185	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8$	KZ390	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS4$
KZ186	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8$	KZ391	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS5$
KZ187	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ392	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS6$
KZ188	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ393	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS7$
KZ189	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ394	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS3 + 0.6 \cdot ZS8$
KZ190	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ395	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS4 + 0.6 \cdot ZS8$
KZ191	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ396	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS5 + 0.6 \cdot ZS8$
KZ192	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ397	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS6 + 0.6 \cdot ZS8$
KZ193	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ398	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS7 + 0.6 \cdot ZS8$
KZ194	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ399	$ZS1 + ZS2 + 0.7 \cdot ZS8$
KZ195	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ400	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS9$
KZ196	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ401	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS10$
KZ197	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ402	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS11$
KZ198	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ403	$ZS1 + ZS2 + 0.2 \cdot ZS12$
KZ199	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ404	$ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS8 + 0.2 \cdot ZS9$
KZ200	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ405	$ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS8 + 0.2 \cdot ZS10$
KZ201	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$	KZ406	$ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS8 + 0.2 \cdot ZS11$
KZ202	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS12$	KZ407	$ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS8 + 0.2 \cdot ZS12$
KZ203	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS9$	KZ408	$ZS1 + ZS2$
KZ204	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$	KZ409	$ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS8$
KZ205	$ZS1 + ZS2 + 0.75 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS11$		



Výsledky dynamické analýzy



Obrázek 18 – Vlastní tvary (zleva seshora) č. 1–5

Tabulka 2 – Výsledky dynamické analýzy

Tvar č.	Vlastní číslo λ	VI. kruh. frekvence ω [rad/s]	Vlastní frekvence f [Hz]	Vlastní perioda T [s]
1	54,959	7,413	1,180	0,848
2	55,897	7,476	1,190	0,840
3	263,037	16,218	2,581	0,387
4	693,677	26,338	4,192	0,239
5	699,790	26,454	4,210	0,238



Vstupní údaje statického modelu

Materiálové charakteristiky

Tabulka 3 – Materiálové charakteristiky konstrukčního dřeva

Topolové a jehličnaté dřevo C22

γ_M	=			1,3 -
v	=			6,937 -
γ	=			4,1 kN/m ³
$f_{m,k}$	=			22,0 MPa
$f_{t,0,k}$	=			13,0 MPa
$f_{t,90,k}$	=			0,4 MPa
$f_{c,0,k}$	=			20,0 MPa
$f_{c,90,k}$	=			2,4 MPa
$f_{v,k}$	=			3,8 MPa
$E_{0,mean}$	=			10 GPa
$E_{0,05}$	=			6,7 GPa
$E_{90,mean}$	=			0,33 GPa
G_{mean}	=			0,63 GPa
$G_{0,05}$	=			464 GPa
$f_{m,d}$	=	$k_{mod} \cdot (f_{m,k}/\gamma_M)$	=	13,54 MPa
$f_{t,0,d}$	=	$k_{mod} \cdot (f_{t,0,k}/\gamma_M)$	=	8,00 MPa
$f_{t,90,d}$	=	$k_{mod} \cdot (f_{t,90,k}/\gamma_M)$	=	0,25 MPa
$f_{c,0,d}$	=	$k_{mod} \cdot (f_{c,0,k}/\gamma_M)$	=	12,31 MPa
$f_{c,90,d}$	=	$k_{mod} \cdot (f_{c,90,k}/\gamma_M)$	=	1,48 MPa
$f_{v,d}$	=	$k_{mod} \cdot (f_{v,k}/\gamma_M)$	=	2,34 MPa



Tabulka 4 – Materiálové charakteristiky konstrukční oceli

Ocel S235

E	=	210,00 Gpa
G	=	80,77 Gpa
ν	=	0,30 -
γ	=	78,50 kN/m ³
f_y	=	235,0 MPa
f_u	=	360,0 MPa

Ocel S355

E	=	210,00 Gpa
G	=	80,77 Gpa
ν	=	0,30 -
γ	=	78,50 kN/m ³
f_y	=	355,0 MPa
f_u	=	510,0 MPa

Ocel S460

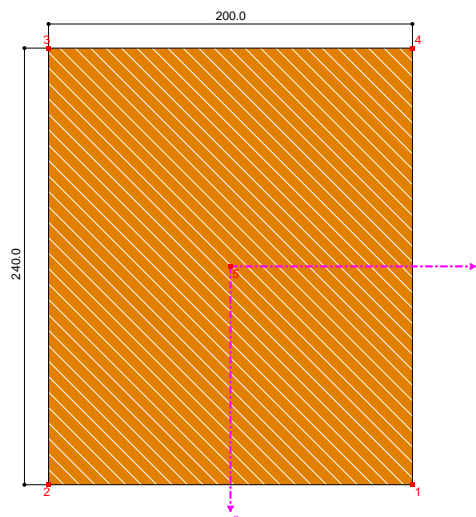
E	=	210,00 Gpa
G	=	80,77 Gpa
ν	=	0,30 -
γ	=	78,50 kN/m ³
f_y	=	460,0 MPa
f_u	=	530,0 MPa



Průřezové charakteristiky

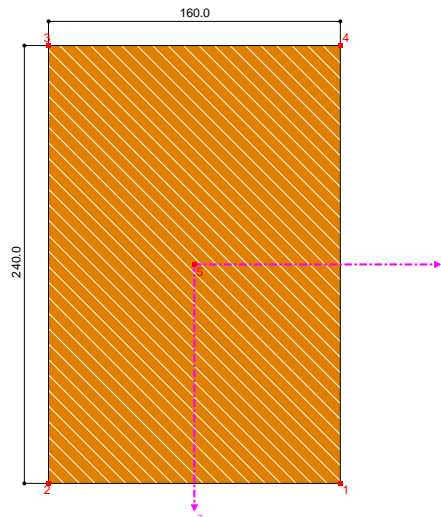
1 – Nárožníky spodní části rozhledny

Průřez		200x240 mm
dřevo		C22
b	=	200 mm
h	=	240 mm
A	=	48000 mm ²
I _y	=	2,30E+08 mm ⁴
I _z	=	1,60E+08 mm ⁴
i _y	=	69,3 mm
i _z	=	57,7 mm
G	=	19,7 kg/m
I _t	=	3,17E+08 mm ⁴
W _y	=	1920000 mm ³
W _z	=	1600000 mm ³
S _y	=	1440000 mm ³
S _z	=	1200000 mm ³



2 – Nárožníky střední a vrchní části rozhledny

Průřez		160x240 mm
dřevo		C22
b	=	160 mm
h	=	240 mm
A	=	38400 mm ²
I _y	=	1,84E+08 mm ⁴
I _z	=	8,19E+07 mm ⁴
i _y	=	69,3 mm
i _z	=	46,2 mm
G	=	15,7 kg/m
I _t	=	1,92E+08 mm ⁴
W _y	=	1536000 mm ³
W _z	=	1024000 mm ³
S _y	=	1152000 mm ³
S _z	=	768000 mm ³

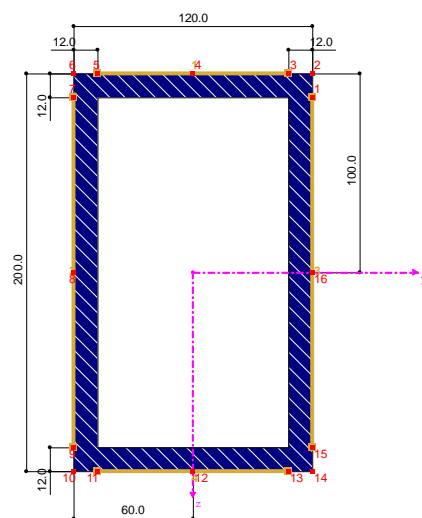


3 – Ztužující prstence

Průřez	TO 200/120/12/12
ocel	S355

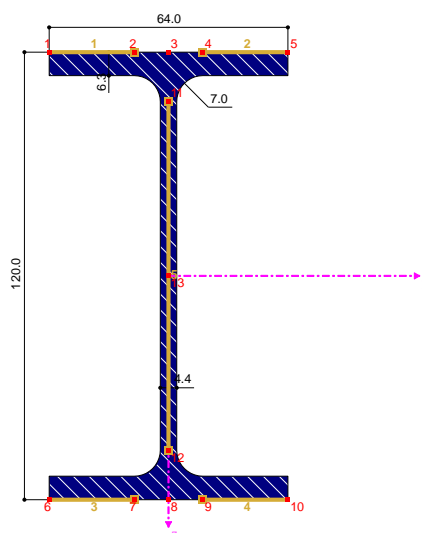


a	=	200 mm
b	=	120 mm
t _{al}	=	12 mm
t _{ar}	=	12 mm
t _{bl}	=	12 mm
t _{br}	=	12 mm
A	=	7104 mm ²
A _{v,y}	=	2880,0 mm ²
A _{v,z}	=	5068,8 mm ²
I _y	=	36385800 mm ⁴
I _z	=	15823900 mm ⁴
I _t	=	33766900 mm ⁴
i _y	=	71,6 mm
i _z	=	47,2 mm
W _{el,y}	=	363858 mm ³
W _{el,z}	=	263731 mm ³
W _{pl,y}	=	456576 mm ³
W _{pl,z}	=	314496 mm ³
I _w	=	4,457E+09 mm ⁶
S _y	=	114144 mm ³
S _z	=	78624 mm ³
KVP _y	=	c -
KVP _z	=	c -



4 – Nosné prvky vyhlídkových plošin

Průřez		IPE 120
ocel		S235
h	=	120 mm
b	=	64 mm
t _w	=	4,4 mm
t _f	=	6,3 mm
A	=	1321 mm ²
A _{v,y}	=	856,6 mm ²
A _{v,z}	=	630,5 mm ²
I _y	=	3178000 mm ⁴
I _z	=	276700 mm ⁴
I _t	=	17400 mm ⁴
i _y	=	49,0 mm
i _z	=	14,5 mm
W _{el,y}	=	52960 mm ³

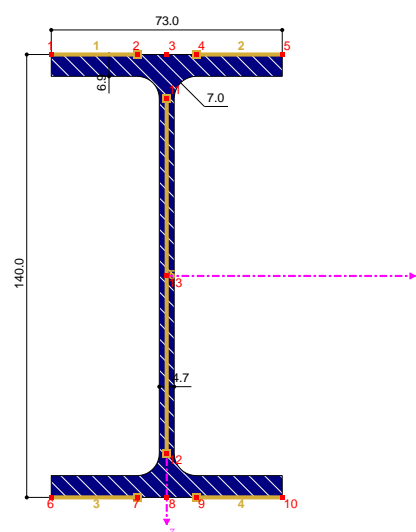




$W_{el,z}$	=	8650 mm ³
$W_{pl,y}$	=	60730 mm ³
$W_{pl,z}$	=	13580 mm ³
I_w	=	8,900E+08 mm ⁶
S_y	=	30365,0 mm ³
S_z	=	3225,6 mm ³
KVP_y	=	a -
KVP_z	=	b -

5 – Nosné prvky vyhlídkových plošin

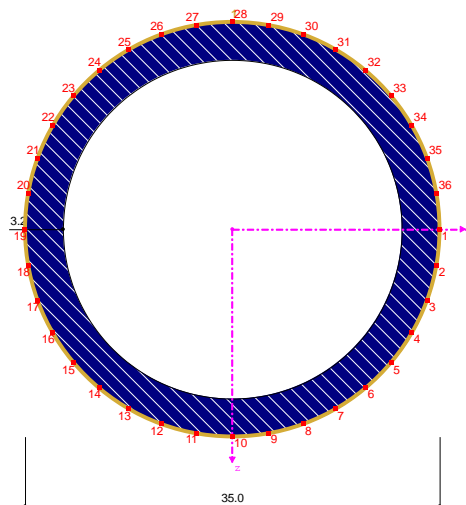
Průřez		IPE 140
ocel		S235
h	=	140 mm
b	=	73 mm
t_w	=	4,7 mm
t_f	=	6,9 mm
A	=	1643 mm ²
$A_{v,y}$	=	856,6 mm ²
$A_{v,z}$	=	630,5 mm ²
I_y	=	5412000 mm ⁴
I_z	=	449200 mm ⁴
I_t	=	24500 mm ⁴
i_y	=	57,4 mm
i_z	=	16,5 mm
$W_{el,y}$	=	77320 mm ³
$W_{el,z}$	=	12310 mm ³
$W_{pl,y}$	=	88340 mm ³
$W_{pl,z}$	=	19250 mm ³
I_w	=	1,980E+09 mm ⁶
S_y	=	44170,0 mm ³
S_z	=	4596,3 mm ³
KVP_y	=	a -
KVP_z	=	b -





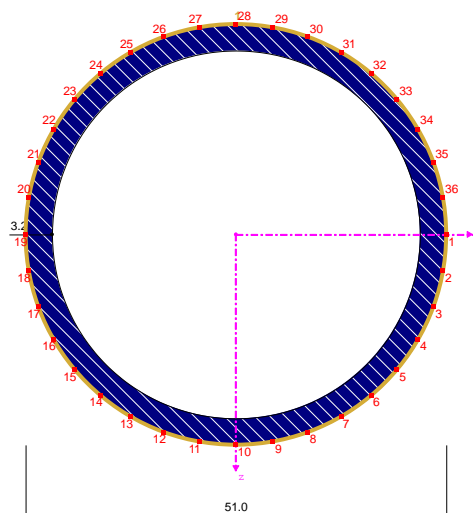
6 – Ztužidla střední a vrchní části rozhledny

Průřez		TR 35/3,2
ocel		S235
d	=	35 mm
t	=	3,2 mm
A	=	319,7 mm ²
A _{v,y}	=	203,5 mm ²
A _{v,z}	=	203,5 mm ²
I _y	=	40819,4 mm ⁴
I _z	=	40819,4 mm ⁴
I _t	=	81638,8 mm ⁴
i _y	=	11,2 mm
i _z	=	11,2 mm
W _{el,y}	=	2332,5 mm ³
W _{el,z}	=	2332,5 mm ³
W _{pl,y}	=	3246,9 mm ³
W _{pl,z}	=	3246,9 mm ³
I _w	=	0,0 mm ⁶
S _y	=	811,7 mm ³
S _z	=	811,7 mm ³
KVP _y	=	a -
KVP _z	=	a -



7 – Ztužidla spodní části rozhledny

Průřez		TR 51/3,2
ocel		S235
d	=	51 mm
t	=	3,2 mm
A	=	480,5 mm ²
A _{v,y}	=	305,9 mm ²
A _{v,z}	=	305,9 mm ²
I _y	=	137859 mm ⁴
I _z	=	137859 mm ⁴
I _t	=	275718 mm ⁴
i _y	=	16,8 mm
i _z	=	16,8 mm
W _{el,y}	=	5406,2 mm ³
W _{el,z}	=	5406,2 mm ³
W _{pl,y}	=	7322,4 mm ³

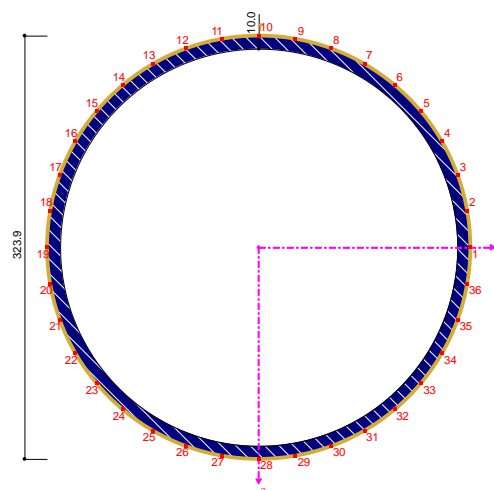




$W_{pl,z}$	=	7322,4 mm ³
I_w	=	0,0 mm ⁶
S_y	=	1830,6 mm ³
S_z	=	1830,6 mm ³
KVP_y	=	a -
KVP_z	=	a -

8 – Nižší nosná konstrukce antény

Průřez		TR 323,9/10
ocel		S235
d	=	323,9 mm
t	=	10 mm
A	=	9860,0 mm ²
$A_{v,y}$	=	6277,1 mm ²
$A_{v,z}$	=	6277,1 mm ²
I_y	=	121600000 mm ⁴
I_z	=	121600000 mm ⁴
I_t	=	243200000 mm ⁴
i_y	=	111 mm
i_z	=	111 mm
$W_{el,y}$	=	751000 mm ³
$W_{el,z}$	=	751000 mm ³
$W_{pl,y}$	=	986000 mm ³
$W_{pl,z}$	=	986000 mm ³
I_w	=	0,0 mm ⁶
S_y	=	246380 mm ³
S_z	=	246380 mm ³
KVP_y	=	a -
KVP_z	=	a -

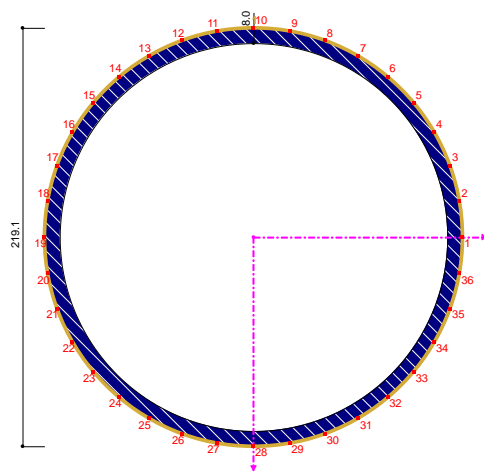


9 – Vyšší nosná konstrukce antény

Průřez		TR 219,1/8
ocel		S235
d	=	219,1 mm
t	=	8 mm
A	=	5310 mm ²
$A_{v,y}$	=	3380,5 mm ²
$A_{v,z}$	=	3380,5 mm ²
I_y	=	29600000 mm ⁴

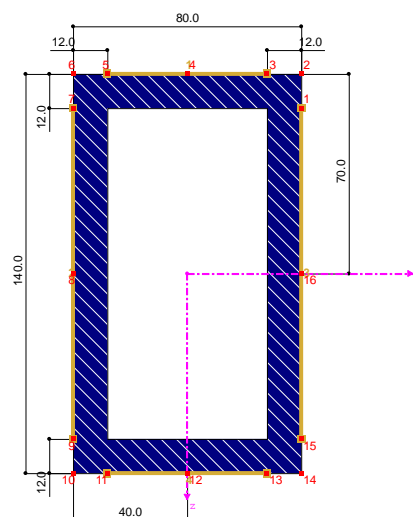


I_z	=	29600000	mm ⁴
I_t	=	59190000	mm ⁴
i_y	=	74,7	mm
i_z	=	74,7	mm
$W_{el,y}$	=	270000	mm ³
$W_{el,z}$	=	270000	mm ³
$W_{pl,y}$	=	357000	mm ³
$W_{pl,z}$	=	357000	mm ³
I_w	=	0,0	mm ⁶
S_y	=	89244,4	mm ³
S_z	=	89244,4	mm ³
KVP_y	=	a	-
KVP_z	=	a	-



10 – Ztužující prstence

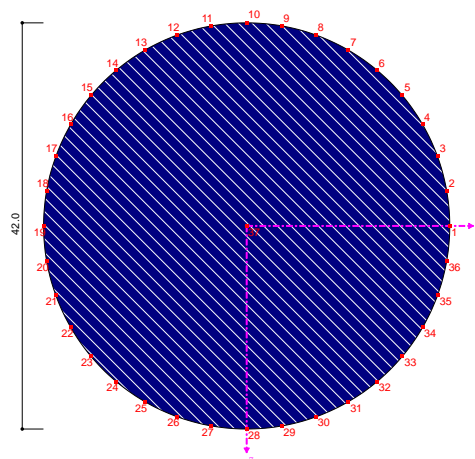
Průřez		TO 140/80/12/12
ocel		S355
a	=	140 mm
b	=	80 mm
t_{al}	=	12 mm
t_{ar}	=	12 mm
t_{bl}	=	12 mm
t_{br}	=	12 mm
A	=	4704,0 mm ²
$A_{v,y}$	=	1920,0 mm ²
$A_{v,z}$	=	3340,8 mm ²
I_y	=	11009200 mm ⁴
I_z	=	4275710 mm ⁴
I_t	=	9502480 mm ⁴
i_y	=	48,4 mm
i_z	=	30,1 mm
$W_{el,y}$	=	157274 mm ³
$W_{el,z}$	=	106893 mm ³
$W_{pl,y}$	=	203616 mm ³
$W_{pl,z}$	=	133056 mm ³
I_w	=	6,95752E+08 mm ⁶
S_y	=	50904 mm ³
S_z	=	33264 mm ³
KVP_y	=	c
KVP_z	=	c





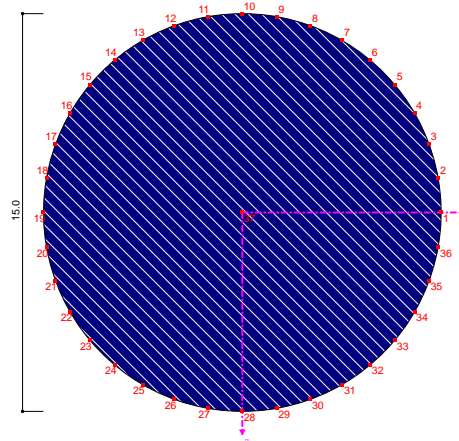
11 – Svislá tyčová táhla

Průřez		RD 42
ocel		S460
d	=	42 mm
A	=	1390,0 mm ²
A _{v,y}	=	1167,6 mm ²
A _{v,z}	=	1167,6 mm ²
I _y	=	152745 mm ⁴
I _z	=	152745 mm ⁴
I _t	=	305490 mm ⁴
i _y	=	10,5 mm
i _z	=	10,5 mm
W _{el,y}	=	7273,6 mm ³
W _{el,z}	=	7273,6 mm ³
W _{pl,y}	=	12348,0 mm ³
W _{pl,z}	=	12348,0 mm ³
I _w	=	0,0 mm ⁶
S _y	=	6174 mm ³
S _z	=	6174 mm ³
KVP _y	=	c -
KVP _z	=	c -



12 – Vodorovná ztužující tyčová táhla

Průřez		RD 15
ocel		S460
d	=	15 mm
A	=	177 mm ²
A _{v,y}	=	148,7 mm ²
A _{v,z}	=	148,7 mm ²
I _y	=	2485,0 mm ⁴
I _z	=	2485,0 mm ⁴
I _t	=	4970,1 mm ⁴
i _y	=	3,7 mm
i _z	=	3,7 mm
W _{el,y}	=	331,3 mm ³
W _{el,z}	=	331,3 mm ³
W _{pl,y}	=	562,5 mm ³
W _{pl,z}	=	562,5 mm ³
I _w	=	0,0 mm ⁶

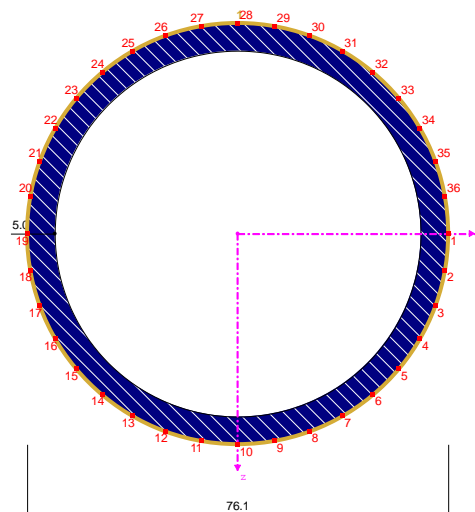




S_y	=	281,3 mm ³
S_z	=	281,3 mm ³
KVP_y	=	c -
KVP_z	=	c -

13 – Vodorovná ztužující táhla

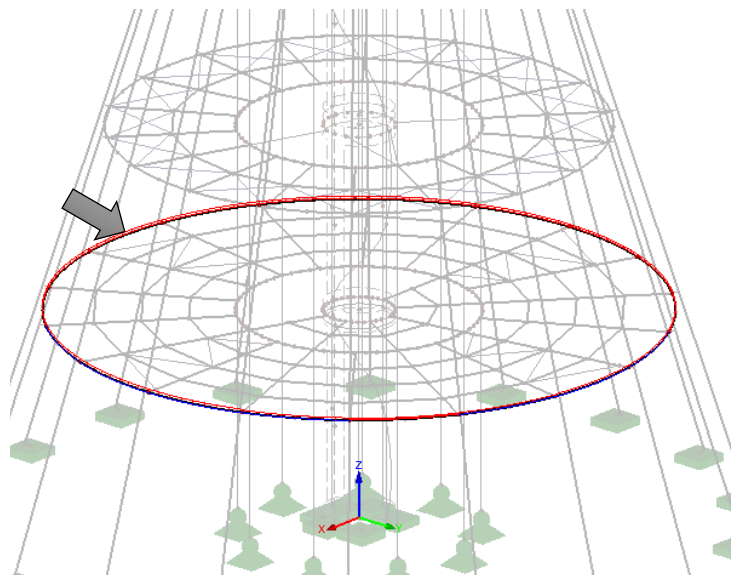
Průřez		TR 76,1/5
ocel		S355
d	=	76,1 mm
t	=	5,0 mm
A	=	1116,8 mm ²
$A_{v,y}$	=	711,0 mm ²
$A_{v,z}$	=	711,0 mm ²
I_y	=	709220,0 mm ⁴
I_z	=	709220,0 mm ⁴
I_t	=	1418440,0 mm ⁴
i_y	=	25,0 mm
i_z	=	25,0 mm
$W_{el,y}$	=	18639,2 mm ³
$W_{el,z}$	=	18639,2 mm ³
$W_{pl,y}$	=	25317,7 mm ³
$W_{pl,z}$	=	25317,7 mm ³
I_w	=	0,0 mm ⁶
S_y	=	6329,4 mm ³
S_z	=	6329,4 mm ³
KVP_y	=	a -
KVP_z	=	a -





Posouzení MSÚ – ocelové pruty

Ztužující prstenec (3) v rovině první vyhlídkové plošiny



Obrázek 19 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		116
x		1,546 m
N_d	=	-11,15 kN
$V_{y,d}$	=	-6,43 kN
$V_{z,d}$	=	-17,51 kN
T_d	=	15,30 kNm
$M_{y,d}$	=	-30,64 kNm
$M_{z,d}$	=	3,43 kNm

Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$		1,546 m
$L_{cr,z}$		1,546 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	3,16E+07 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	1,37E+07 kN



λ_y	$((A \cdot f_y)/N_{cr,y})^{1/2}$	0,28 -
λ_z	$((A \cdot f_y)/N_{cr,z})^{1/2}$	0,43 -
ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	0,55 -
ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	0,62 -
χ_y	$1/(\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,981 -
χ_z	$1/(\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,945 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	2475,264 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	2383,388 kN

posudek (6.35) **0,00**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na tlak

posudek (6.35) **0,00**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na tlak

Posudek prvku na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

pozn. Průřez neklopí

$M_{c,Rd,y}$	$(W_{pl,y} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	162,084 kNm
$M_{c,Rd,z}$	$(W_{pl,z} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	111,646 kNm

posudek (6.13) **0,19**

$$(M_{ed,y}/M_{c,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na ohyb kolem osy y

posudek (6.13) **0,03**

$$(M_{ed,z}/M_{c,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na na ohyb kolem osy z

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

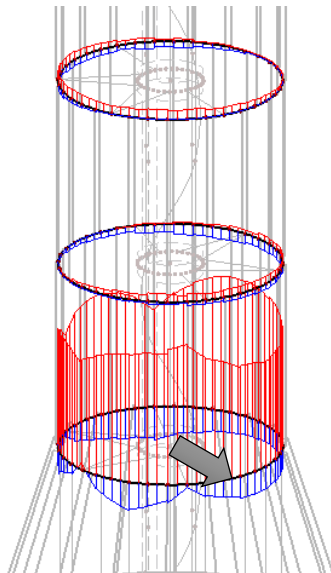
posudek (6.17) **0,22**

$$(N_{Ed}/N_{Rd}) + (M_{ed,y}/M_{Rd,y}) + (M_{ed,z}/M_{Rd,z})$$

prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu



Ztužující prsteneček (3) ve spodní části věže



Obrázek 20 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		109
x		0,302 m
N_d	=	-184,17 kN
$V_{y,d}$	=	-110,28 kN
$V_{z,d}$	=	88,46 kN
T_d	=	-10,35 kNm
$M_{y,d}$	=	72,58 kNm
$M_{z,d}$	=	-25,43 kNm



Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$		0,302 m
$L_{cr,z}$		0,302 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	3,16E+07 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	1,37E+07 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	0,28 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	0,43 -
ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	0,55 -
ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	0,62 -
χ_y	$1 / (\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,981 -
χ_z	$1 / (\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,945 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1}$	2475,264 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1}$	2383,388 kN

posudek (6.35) **0,07**

$$(N_{Ed} / N_{b,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na tlak

posudek (6.35) **0,08**

$$(N_{Ed} / N_{b,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na tlak

Posudek prvku na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

pozn. Průřez neklopí

$M_{c,Rd,y}$	$(W_{pl,y} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	162,084 kNm
$M_{c,Rd,z}$	$(W_{pl,z} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	111,646 kNm

posudek (6.13) **0,45**

$$(M_{ed,y} / M_{c,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na ohyb kolem osy y

posudek (6.13) **0,23**

$$(M_{ed,z} / M_{c,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na ohyb kolem osy z



Posudek prvku na smyk

Návrhová únosnost ve smyku

$V_{c, Rd, y}$	$(A_{v, y} \cdot (f_y/3^{1/2})/\gamma_{M0})$	590,283 kN
$V_{c, Rd, z}$	$(A_{v, z} \cdot (f_y/3^{1/2})/\gamma_{M0})$	1038,898 kN

posudek (6.17) **0,19**

$$(V_{ed, y}/V_{c, Rd, y})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose y

posudek (6.17) **0,09**

$$(V_{ed, z}/V_{c, Rd, z})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose z

Posudek prvku na kombinaci osových síly a oh. momentu

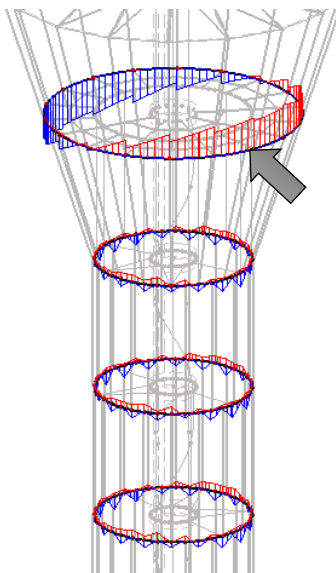
posudek (6.17) **0,75**

$$(N_{Ed}/N_{Rd})+(M_{ed, y}/M_{Rd, y})+(M_{ed, z}/M_{Rd, z})$$

prvek vyhovuje na kombinaci osových síly a ohybového momentu



Ztužující prstenec (3) v horní části věže



Obrázek 21 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – M_y (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		108
x		0,993 m
N_d	=	-11,15 kN
$V_{y,d}$	=	-6,43 kN
$V_{z,d}$	=	-17,51 kN
T_d	=	15,3 kNm
$M_{y,d}$	=	-30,64 kNm
$M_{z,d}$	=	3,43 kNm



Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$		0,993 m
$L_{cr,z}$		0,993 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	3,16E+07 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	1,37E+07 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	0,28 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	0,43 -
ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	0,55 -
ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	0,62 -
χ_y	$1 / (\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,981 -
χ_z	$1 / (\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,945 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1}$	2475,264 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1}$	2383,388 kN

posudek (6.35) **0,00**

$$(N_{Ed} / N_{b,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na tlak

posudek (6.35) **0,00**

$$(N_{Ed} / N_{b,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na tlak

Posudek prvku na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

pozn. Průřez neklopí

$M_{c,Rd,y}$	$(W_{pl,y} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	162,084 kNm
$M_{c,Rd,z}$	$(W_{pl,z} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	111,646 kNm

posudek (6.13) **0,19**

$$(M_{ed,y} / M_{c,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na ohyb kolem osy y

posudek (6.13) **0,03**

$$(M_{ed,z} / M_{c,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na ohyb kolem osy z



Posudek prvku na smyk

Návrhová únosnost ve smyku

$V_{c, Rd, y}$	$(A_{v, y} \cdot (f_y/3^{1/2})/\gamma_{M0})$	590,283 kN
$V_{c, Rd, z}$	$(A_{v, z} \cdot (f_y/3^{1/2})/\gamma_{M0})$	1038,898 kN

posudek (6.17) **0,01**

$$(V_{ed, y}/V_{c, Rd, y})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose y

posudek (6.17) **0,02**

$$(V_{ed, z}/V_{c, Rd, z})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose z

Posudek prvku na kroucení

Návrhová únosnost v kroucení

T_{Rd}	$(A \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	2521,920 kN
----------	-----------------------------	-------------

posudek (6.5) **0,01**

$$(T_{Ed}/T_{Rd})$$

prvek vyhovuje na kroucení

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

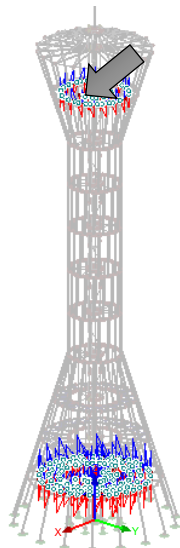
posudek (6.17) **0,22**

$$(N_{Ed}/N_{Rd})+(M_{ed, y}/M_{Rd, y})+(M_{ed, z}/M_{Rd, z})$$

prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu



Nosné prvky (4) vyhlídkových plošin



Obrázek 22 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – V_z (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		108
x		1,304 m
N_d	=	-1,36 kN
$V_{y,d}$	=	-0,01 kN
$V_{z,d}$	=	-0,32 kN
T_d	=	0,01 kNm
$M_{y,d}$	=	0 kNm
$M_{z,d}$	=	0 kNm

Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$	=	1,304 m
$L_{cr,z}$	=	1,304 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	3,87E+06 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	3,37E+05 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	0,35 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	1,18 -
ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	0,58 -



ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	1,30 -
χ_y	$1/(\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,966 -
χ_z	$1/(\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,543 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	453,017 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	254,772 kN

posudek (6.35) **0,00**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na tlak

posudek (6.35) **0,01**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na tlak

Posudek prvku na smyk

Návrhová únosnost ve smyku

$V_{c,Rd,y}$	$(A_{v,y} \cdot (f_y/3^{1/2}))/\gamma_{M0}$	175,568 kN
$V_{c,Rd,z}$	$(A_{v,z} \cdot (f_y/3^{1/2}))/\gamma_{M0}$	129,227 kN

posudek (6.17) **0,00**

$$(V_{ed,y}/V_{c,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose y

posudek (6.17) **0,00**

$$(V_{ed,z}/V_{c,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose z

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

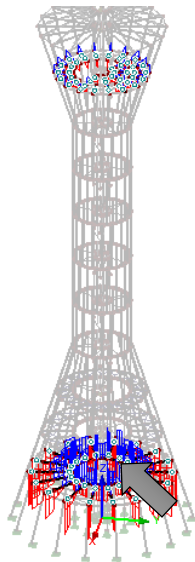
posudek (6.17) **0,01**

$$(N_{Ed}/N_{Rd}) + (M_{ed,y}/M_{Rd,y}) + (M_{ed,z}/M_{Rd,z})$$

prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu



Nosné prvky (5) vyhlídkových plošin



Obrázek 23 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – V_z (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		121
x		0,383 m
N_d	=	-1,10 kN
$V_{y,d}$	=	-0,09 kN
$V_{z,d}$	=	-1,78 kN
T_d	=	-0,08 kNm
$M_{y,d}$	=	-0,10 kNm
$M_{z,d}$	=	-0,01 kNm

Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$	=	0,383 m
$L_{cr,z}$	=	0,383 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	6,60E+06 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	5,48E+05 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	0,37 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	1,28 -
ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	0,59 -



ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	1,44 -
χ_y	$1/(\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,960 -
χ_z	$1/(\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,479 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	867,945 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	432,857 kN

posudek (6.35) **0,00**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na tlak

posudek (6.35) **0,00**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na tlak

Posudek prvku na smyk

Návrhová únosnost ve smyku

$V_{c,Rd,y}$	$(A_{v,y} \cdot (f_y/3^{1/2}))/\gamma_{M0}$	272,007 kN
$V_{c,Rd,z}$	$(A_{v,z} \cdot (f_y/3^{1/2}))/\gamma_{M0}$	200,211 kN

posudek (6.17) **0,00**

$$(V_{ed,y}/V_{c,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose y

posudek (6.17) **0,01**

$$(V_{ed,z}/V_{c,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na smyk k ose z

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

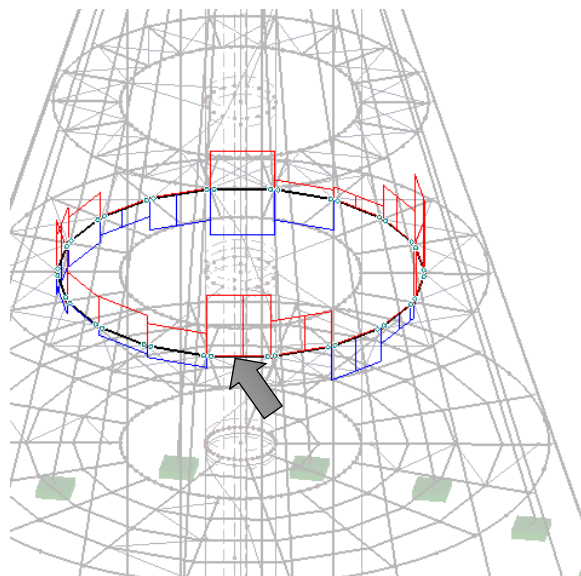
posudek (6.17) **0,01**

$$(N_{Ed}/N_{Rd}) + (M_{ed,y}/M_{Rd,y}) + (M_{ed,z}/M_{Rd,z})$$

prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu



Vnitřní ztužující prstenec (6) ve spodní části věže



Obrázek 24 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		254
x		0,941 m
N_d	=	-12,37 kN
$V_{y,d}$	=	0 kN
$V_{z,d}$	=	-0,01 kN
T_d	=	0,02 kNm
$M_{y,d}$	=	0 kNm
$M_{z,d}$	=	0 kNm

Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$	=	0,941 m
$L_{cr,z}$	=	0,941 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	9,55E+04 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	9,55E+04 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	1,36 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	1,36 -



ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	1,54 -
ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	1,54 -
χ_y	$1/(\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,440 -
χ_z	$1/(\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,440 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	77,328 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	77,328 kN

posudek (6.35)		0,16
	$(N_{Ed}/N_{b,Rd,y})$	
<i>prvek vyhovuje na tlak</i>		

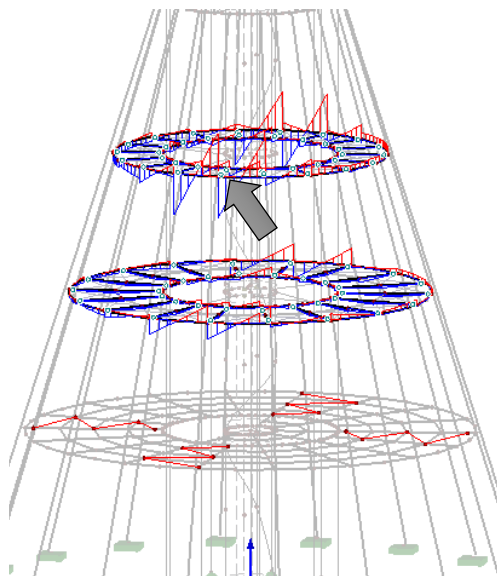
posudek (6.35)		0,16
	$(N_{Ed}/N_{b,Rd,z})$	
<i>prvek vyhovuje na tlak</i>		

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

posudek (6.17)		0,16
	$(N_{Ed}/N_{Rd})+(M_{ed,y}/M_{Rd,y})+(M_{ed,z}/M_{Rd,z})$	
<i>prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu</i>		



Vnější ztužující prstenec (7) ve spodní části věže



Obrázek 25 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – M_y (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		254
x		1,243 m
N_d	=	8,22 kN
$V_{y,d}$	=	-1,35 kN
$V_{z,d}$	=	-3,73 kN
T_d	=	0,74 kNm
$M_{y,d}$	=	1,64 kNm
$M_{z,d}$	=	-0,1 kNm

Posudek prvku na tah

Návrhová únosnost v tahu

$$N_{pl, Rd} \quad (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad 264,275 \text{ kN}$$

$$\text{posudek (6.5)} \quad \mathbf{0,03}$$

$$(N_{Ed} / N_{pl, Rd})$$

prvek vyhovuje na tah



Posudek prvku na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

pozn. Průřez neklopí

$M_{c, Rd, y}$	$(W_{pl, y} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	4,027 kNm
$M_{c, Rd, z}$	$(W_{pl, z} \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	4,027 kNm

posudek (6.13)	$(M_{ed, y} / M_{c, Rd, y})$	0,41
<i>prvek vyhovuje na ohyb kolem osy y</i>		

posudek (6.13)	$(M_{ed, z} / M_{c, Rd, z})$	0,02
<i>prvek vyhovuje na na ohyb kolem osy z</i>		

Posudek prvku na smyk

Návrhová únosnost ve smyku

$V_{c, Rd, y}$	$(A_{v, y} \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0})$	97,136 kN
$V_{c, Rd, z}$	$(A_{v, z} \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0})$	97,136 kN

posudek (6.17)	$(V_{ed, y} / V_{c, Rd, y})$	0,01
<i>prvek vyhovuje na smyk k ose y</i>		

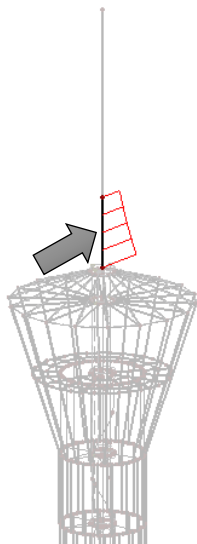
posudek (6.17)	$(V_{ed, z} / V_{c, Rd, z})$	0,04
<i>prvek vyhovuje na smyk k ose z</i>		

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

posudek (6.17)	$(N_{Ed} / N_{Rd}) + (M_{ed, y} / M_{Rd, y}) + (M_{ed, z} / M_{Rd, z})$	0,44
<i>prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu</i>		



Nižší nosná konstrukce (8) antény



Obrázek 26 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – M_z (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		120
x		3 m
N_d	=	-7,59 kN
$V_{y,d}$	=	-2,51 kN
$V_{z,d}$	=	0 kN
T_d	=	0 kNm
$M_{y,d}$	=	-0,01 kNm
$M_{z,d}$	=	-12,4 kNm

Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$	=	6,000 m
$L_{cr,z}$	=	6,000 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	7,00E+06 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	7,00E+06 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	0,58 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	0,58 -



ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	0,70 -
ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	0,70 -
χ_y	$1/(\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,899 -
χ_z	$1/(\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,899 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	2083,341 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	2083,341 kN

posudek (6.35)		0,00
	$(N_{Ed}/N_{b,Rd,y})$	
prvek vyhovuje na tlak		

posudek (6.35)		0,00
	$(N_{Ed}/N_{b,Rd,z})$	
prvek vyhovuje na tlak		

Posudek prvku na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

pozn. Průřez neklopí

$M_{c,Rd,y}$	$(W_{pl,y} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	231,710 kNm
$M_{c,Rd,z}$	$(W_{pl,z} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	231,710 kNm

posudek (6.13)		0,00
	$(M_{ed,y}/M_{c,Rd,y})$	
prvek vyhovuje na ohyb kolem osy y		

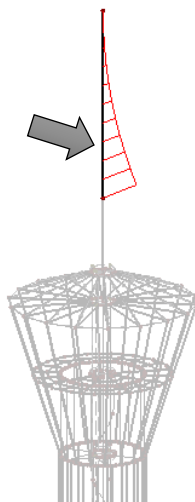
posudek (6.13)		0,05
	$(M_{ed,z}/M_{c,Rd,z})$	
prvek vyhovuje na ohyb kolem osy z		

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

posudek (6.17)		0,06
	$(N_{Ed}/N_{Rd}) + (M_{ed,y}/M_{Rd,y}) + (M_{ed,z}/M_{Rd,z})$	
prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu		



Vrchní nosná konstrukce (9) antény



Obrázek 27 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – M_z (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		114
x		6,4 m
N_d	=	-4,473 kN
$V_{y,d}$	=	0 kN
$V_{z,d}$	=	1,562 kN
T_d	=	0 kNm
$M_{y,d}$	=	-6,287 kNm
$M_{z,d}$	=	-0,001 kNm

Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$	=	12,800 m
$L_{cr,z}$	=	12,800 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	3,74E+05 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	3,74E+05 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	1,83 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	1,83 -
ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	2,56 -
ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	2,56 -



χ_y	$1/(\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,229 -
χ_z	$1/(\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,229 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	285,832 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	285,832 kN

posudek (6.35) **0,02**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na tlak

posudek (6.35) **0,02**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na tlak

Posudek prvku na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

pozn. Průřez neklopí

$M_{c,Rd,y}$	$(W_{pl,y} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	83,895 kNm
$M_{c,Rd,z}$	$(W_{pl,z} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	83,895 kNm

posudek (6.13) **0,07**

$$(M_{ed,y}/M_{c,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na ohyb kolem osy y

posudek (6.13) **0,00**

$$(M_{ed,z}/M_{c,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na na ohyb kolem osy z

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

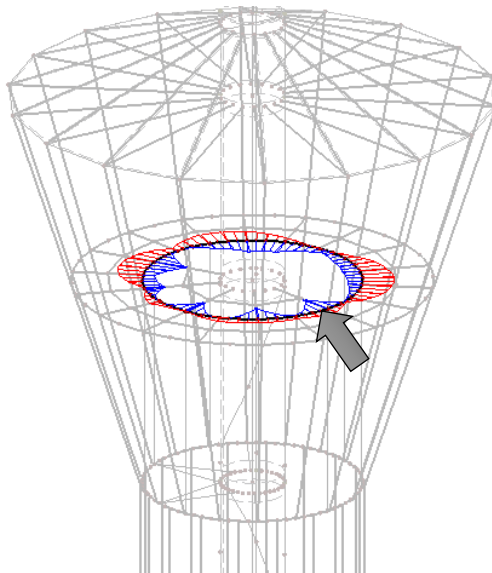
posudek (6.17) **0,09**

$$(N_{Ed}/N_{Rd})+(M_{ed,y}/M_{Rd,y})+(M_{ed,z}/M_{Rd,z})$$

prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu



Vnitřní ztužující prstenec (10) v horní části věže



Obrázek 28 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – M_z (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		11
x		0,302 m
N_d	=	-5,15 kN
$V_{y,d}$	=	-4,04 kN
$V_{z,d}$	=	-1,21 kN
T_d	=	-0,69 kNm
$M_{y,d}$	=	-0,04 kNm
$M_{z,d}$	=	2,01 kNm

Posudek prvku na vzpěrný tlak

Návrhová únosnost v tlaku

$L_{cr,y}$	=	6,000 m
$L_{cr,z}$	=	6,000 m
$N_{cr,y}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_y / L_{cr}^2)$	6,34E+05 kN
$N_{cr,z}$	$\pi^2 \cdot (E \cdot I_z / L_{cr}^2)$	2,46E+05 kN
λ_y	$((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{1/2}$	1,32 -
λ_z	$((A \cdot f_y) / N_{cr,z})^{1/2}$	2,12 -
ϕ_y	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$	1,65 -
ϕ_z	$0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$	3,22 -



χ_y	$1/(\phi_y + (\phi_y^2 - \lambda_y^2)^{1/2})$	0,380 -
χ_z	$1/(\phi_z + (\phi_z^2 - \lambda_z^2)^{1/2})$	0,177 -
$N_{b,Rd,y}$	$(\chi_y \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	420,313 kN
$N_{b,Rd,z}$	$(\chi_z \cdot A \cdot f_y)/\gamma_{M1}$	196,210 kN

posudek (6.35) **0,01**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na tlak

posudek (6.35) **0,03**

$$(N_{Ed}/N_{b,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na tlak

Posudek prvku na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

pozn. Průřez neklopí

$M_{c,Rd,y}$	$(W_{pl,y} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	47,850 kNm
$M_{c,Rd,z}$	$(W_{pl,z} \cdot f_y)/\gamma_{M0}$	31,268 kNm

posudek (6.13) **0,00**

$$(M_{ed,y}/M_{c,Rd,y})$$

prvek vyhovuje na ohyb kolem osy y

posudek (6.13) **0,06**

$$(M_{ed,z}/M_{c,Rd,z})$$

prvek vyhovuje na na ohyb kolem osy z

Posudek prvku na kombinaci osové síly a oh. momentu

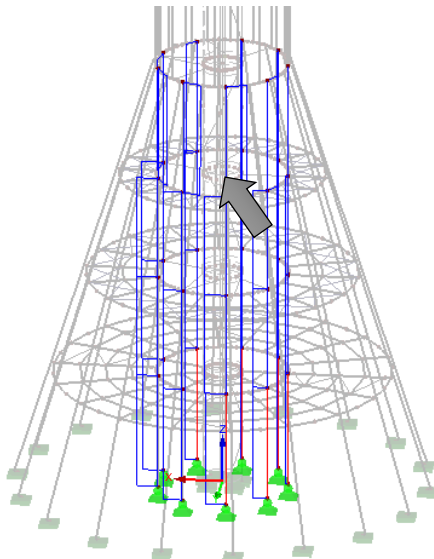
posudek (6.17) **0,09**

$$(N_{Ed}/N_{Rd}) + (M_{ed,y}/M_{Rd,y}) + (M_{ed,z}/M_{Rd,z})$$

prvek vyhovuje na kombinaci osové síly a ohybového momentu



Svislá tyčová táhla (11)



Obrázek 29 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		111
x		3,08 m
N_d	=	493,22 kN
$V_{y,d}$	=	0,00 kN
$V_{z,d}$	=	0,00 kN
T_d	=	0,00 kNm
$M_{y,d}$	=	0,00 kNm
$M_{z,d}$	=	0,00 kNm

Posudek prvku na tah

Návrhová únosnost v tahu

$$N_{pl, Rd} \quad (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad 493,450 \text{ kN}$$

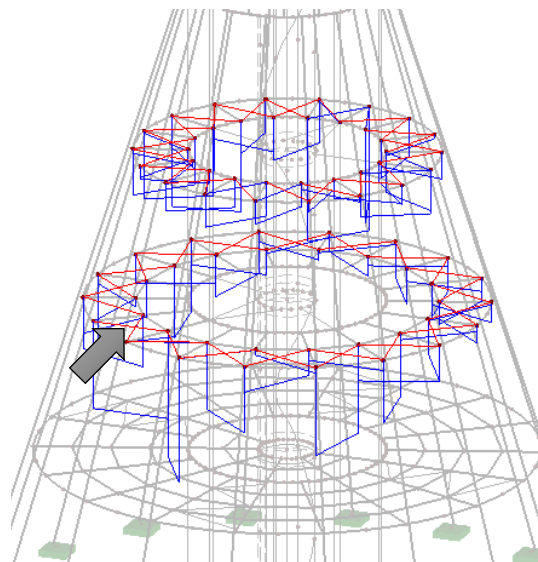
$$\text{posudek (6.5)} \quad 0,99$$

$$(N_{Ed} / N_{pl, Rd})$$

prvek vyhovuje na tah



Vodorovná tyčová táhla (12)



Obrázek 30 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		254
x		3,08 m
N_d	=	21,052 kN
$V_{y,d}$	=	0 kN
$V_{z,d}$	=	0 kN
T_d	=	0 kNm
$M_{y,d}$	=	0 kNm
$M_{z,d}$	=	0 kNm

Posudek prvku na tah

Návrhová únosnost v tahu

$N_{pl,Rd}$	$(A \cdot f_y) / \gamma_{M0}$	41,595 kN
-------------	-------------------------------	-----------

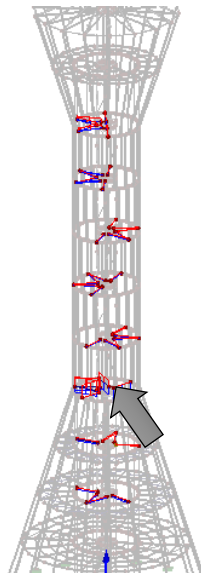
posudek (6.5) **0,51**

$$(N_{Ed} / N_{pl,Rd})$$

prvek vyhovuje na tah



Vodorovná ztužující táhla (13)



Obrázek 31 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		120
x		6,4 m
N_d	=	261,14 kN
$V_{y,d}$	=	0,70 kN
$V_{z,d}$	=	6,07 kN
T_d	=	0,00 kNm
$M_{y,d}$	=	0,00 kNm
$M_{z,d}$	=	0,00 kNm

Posudek prvku na tah

Návrhová únosnost v tahu

$$N_{pl, Rd} \quad (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad 614,240 \text{ kN}$$

$$\text{posudek (6.5)} \quad \mathbf{0,43}$$

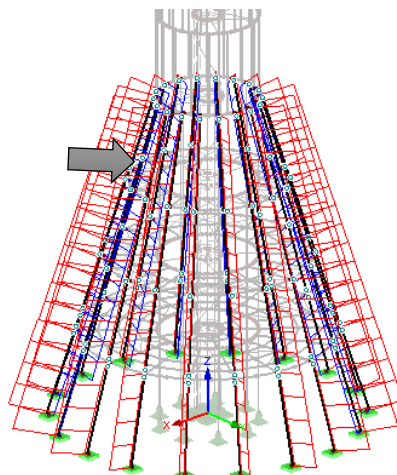
$$(N_{Ed} / N_{pl, Rd})$$

prvek vyhovuje na tah



Posouzení MSÚ – dřevěné pruty

Náročný (1) spodní částí rozhledny (max. N)



Obrázek 32 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		107
x		3,228 m
N_d	=	-331,25 kN
$V_{y,d}$	=	0,25 kN
$V_{z,d}$	=	0,81 kN
T_d	=	0,05 kNm
$M_{y,d}$	=	2,91 kNm
$M_{z,d}$	=	-1,18 kNm



Posudek prvku na kombinaci tlaku a ohybu

Vzpěr

$L_{cr,y}$	=	3,228 m
$L_{cr,z}$	=	3,228 m
k_m	=	0,7 -
λ_y	$L_{cr,y}/i_y$	46,580 -
λ_z	$L_{cr,z}/i_z$	55,945 -
$\lambda_{rel,y}$	$(\lambda_y/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	0,810 -
		<i>0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem y</i>
$\lambda_{rel,z}$	$(\lambda_z/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	0,973 -
		<i>0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem z</i>
k_y	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$	0,879 -
k_z	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$	1,041 -
$k_{c,y}$	$1/(k_y + (k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2))$	0,819 -
$k_{c,z}$	$1/(k_z + (k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2))$	0,709 -

Napětí v tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = N_d/A = -6,901 \text{ Mpa}$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = M_{y,d}/W_y = 1,516 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{z,d}/W_z = -0,737 \text{ Mpa}$$

$$\text{posudek (6.23)} = 0,83$$

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem y

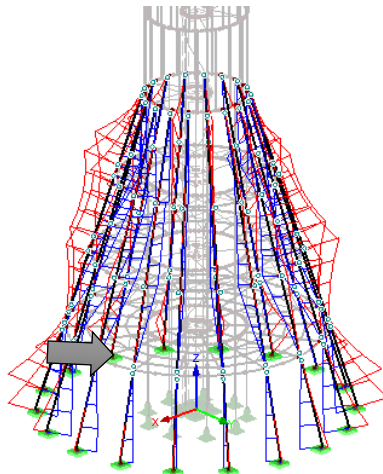
$$\text{posudek (6.24)} = 0,82$$

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem z



Náročný (1) spodní částí rozhledny (max. M)



Obrázek 33 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – M_y (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		109
x		3,249 m
N_d	=	89,90 kN
$V_{y,d}$	=	-0,40 kN
$V_{z,d}$	=	-2,51 kN
T_d	=	0,11 kNm
$M_{y,d}$	=	-4,84 kNm
$M_{z,d}$	=	0,74 kNm

Posudek prvku na kombinaci tahu a ohybu

Napětí v tahu

$$\sigma_{t,0,d} = N_d/A = 1,873 \text{ Mpa}$$

$$\text{posudek (6.17)} = 0,44$$

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu

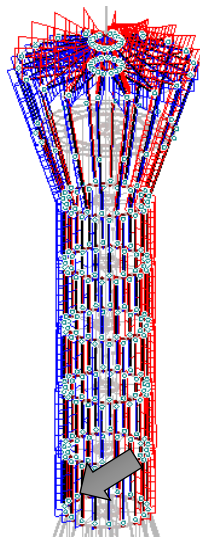
$$\text{posudek (6.18)} = 0,40$$

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu



Náročný (2) střední částí rozhledny



Obrázek 34 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		109
x		3,000 m
N_d	=	103,13 kN
$V_{y,d}$	=	-0,01 kN
$V_{z,d}$	=	0,00 kN
T_d	=	-0,11 kNm
$M_{y,d}$	=	-0,40 kNm
$M_{z,d}$	=	0,00 kNm

Posudek prvku na kombinaci tahu a ohybu

Napětí v tahu

$$\sigma_{t,0,d} = N_d/A = 2,686 \text{ Mpa}$$

$$\text{posudek (6.17)} = 0,36$$

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu

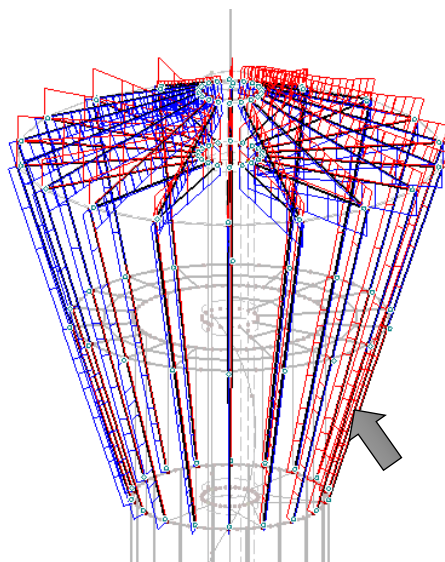
$$\text{posudek (6.18)} = 0,35$$

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu



Nárožníky (2) vrchní části rozhledny (svislé prvky – max. tlak)



Obrázek 35 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		109
x		3,578 m
N_d	=	-82,37 kN
$V_{y,d}$	=	-0,05 kN
$V_{z,d}$	=	-0,98 kN
T_d	=	0,47 kNm
$M_{y,d}$	=	11,82 kNm
$M_{z,d}$	=	-1,60 kNm



Posudek prvku na kombinaci tlaku a ohybu

Vzpěr

$L_{cr,y}$	=	3,578 m
$L_{cr,z}$	=	3,578 m
k_m	=	0,7 -
λ_y	$L_{cr,y}/i_y$	51,631 -
λ_z	$L_{cr,z}/i_z$	77,446 -
$\lambda_{rel,y}$	$(\lambda_y/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	0,898 -
		<i>0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem y</i>
$\lambda_{rel,z}$	$(\lambda_z/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	1,347 -
		<i>0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem z</i>
k_y	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$	0,963 -
k_z	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$	1,512 -
$k_{c,y}$	$1/(k_y + (k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2))$	0,763 -
$k_{c,z}$	$1/(k_z + (k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2))$	0,455 -

Napětí v tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = N_d/A = -2,145 \text{ Mpa}$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = M_{y,d}/W_y = 7,697 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{z,d}/W_z = -1,558 \text{ Mpa}$$

$$\text{posudek (6.23)} = 0,88$$

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem y

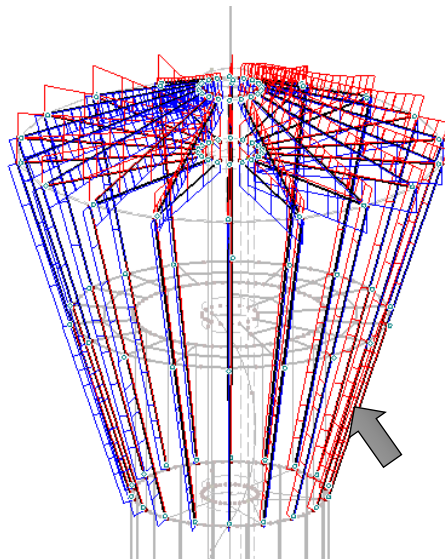
$$\text{posudek (6.24)} = 0,74$$

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem z



Náročný (2) vrchní části rozhledny (svislé prvky – max. tah)



Obrázek 36 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		120
x		3,578 m
N_d	=	97,58 kN
$V_{y,d}$	=	0,96 kN
$V_{z,d}$	=	4,32 kN
T_d	=	-0,58 kNm
$M_{y,d}$	=	-15,05 kNm
$M_{z,d}$	=	2,46 kNm

Posudek prvku na kombinaci tahu a ohybu

Napětí v tahu

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = 2,541 \text{ Mpa}$$

$$\text{posudek (6.17)} = 1,17$$

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek nevyhovuje na kombinaci tahu a ohybu



posudek (6.18)	$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$	1,00
prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu		

Posudek prvku na smyk

Napětí ve smyku

k_{cr}	=	0,67 -
$\tau_{y,d}$	$(3 \cdot V_{y,d}) / (2 \cdot A_{eff})$	0,056 Mpa
$\tau_{z,d}$	$(3 \cdot V_{z,d}) / (2 \cdot A_{eff})$	0,252 Mpa

posudek (6.13)	$\tau_{v,y,d}/f_{v,d}$	0,02
prvek vyhovuje na smyk k y		

posudek (6.13)	$\tau_{v,z,d}/f_{v,d}$	0,11
prvek vyhovuje na smyk k z		

Náročný (1) vrchní části rozhledny (svíslé prvky – max. tah)

Pozn. Průřez změněn na 200x240mm

Posudek prvku na kombinaci tahu a ohybu

Napětí v tahu

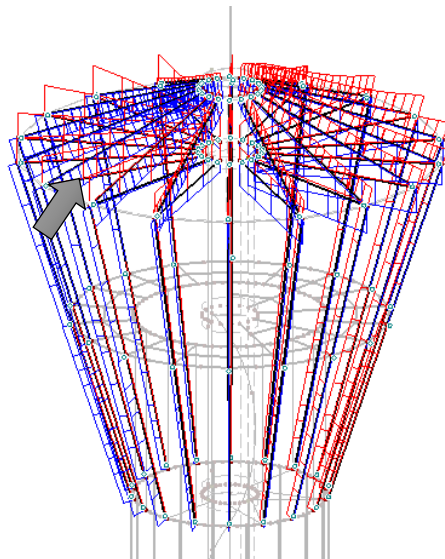
$\sigma_{t,0,d}$	N_d/A	2,033 Mpa
------------------	---------	-----------

posudek (6.17)	$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$	0,91
prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu		

posudek (6.18)	$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$	0,77
prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu		



Vodorovné prvky (2) vrchní části rozhledny (max. tlak)



Obrázek 37 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		120
x		3,352 m
N_d	=	-249,50 kN
$V_{y,d}$	=	0,00 kN
$V_{z,d}$	=	-0,43 kN
T_d	=	-0,01 kNm
$M_{y,d}$	=	0,00 kNm
$M_{z,d}$	=	0,00 kNm

Posudek prvku na kombinaci tlaku a ohybu

Vzpěr

$L_{cr,y}$	=	3,352 m
$L_{cr,z}$	=	3,352 m
k_m	=	0,7 -
λ_y	$L_{cr,y}/i_y$	48,369 -
λ_z	$L_{cr,z}/i_z$	72,554 -
$\lambda_{rel,y}$	$(\lambda_y/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	0,841 -



		<i>0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem y</i>
$\lambda_{rel,z}$	$(\lambda_z/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	1,262 -
		<i>0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem z</i>
k_y	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$	0,908 -
k_z	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$	1,392 -
$k_{c,y}$	$1/(k_y + (k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2))$	0,800 -
$k_{c,z}$	$1/(k_z + (k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2))$	0,505 -

Napětí v tlaku

$\sigma_{c,0,d}$	N_d/A	-6,497 Mpa
------------------	---------	------------

Napětí v ohybu

$\sigma_{m,y,d}$	$M_{y,d}/W_y$	0,000 Mpa
$\sigma_{m,z,d}$	$M_{z,d}/W_z$	0,000 Mpa

posudek (6.23) **0,66**

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem y

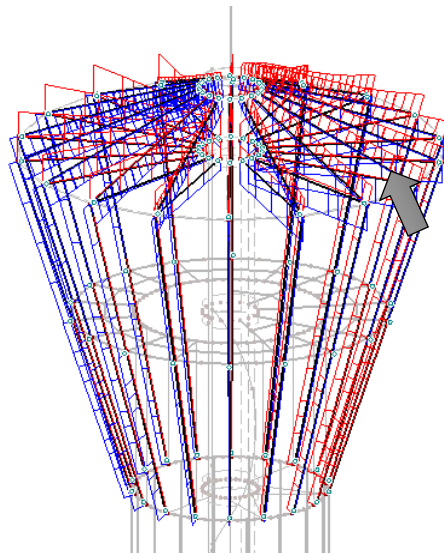
posudek (6.24) **0,66**

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem z



Vodorovné prvky (2) vrchní části rozhledny (max. tah)



Obrázek 38 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		106
x		1,676 m
N_d	=	221,67 kN
$V_{y,d}$	=	0,00 kN
$V_{z,d}$	=	0,00 kN
T_d	=	-0,01 kNm
$M_{y,d}$	=	0,25 kNm
$M_{z,d}$	=	0,00 kNm

Posudek prvku na kombinaci tahu a ohybu

Napětí v tahu

$$\sigma_{t,0,d} \quad N_d/A \quad 5,773 \text{ Mpa}$$

$$\text{posudek (6.17)} \quad \mathbf{0,73}$$

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu

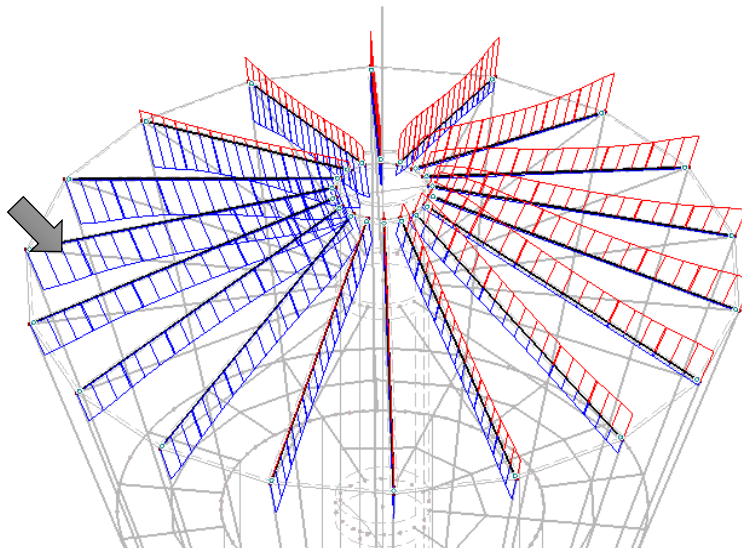
$$\text{posudek (6.18)} \quad \mathbf{0,73}$$

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu



Střešní krokve (2) (max. tah)



Obrázek 39 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		106
x		3,373 m
N_d	=	199,18 kN
$V_{y,d}$	=	-0,01 kN
$V_{z,d}$	=	-5,13 kN
T_d	=	-0,01 kNm
$M_{y,d}$	=	2,56 kNm
$M_{z,d}$	=	0,00 kNm

Posudek prvku na kombinaci tahu a ohybu

Napětí v tahu

$\sigma_{t,0,d}$	N_d/A	5,187 Mpa
------------------	---------	-----------

posudek (6.17) **0,77**

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu



posudek (6.18) **0,73**

$$(\sigma_{t,0,d}/F_{t,0,d}) + km \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na kombinaci tahu a ohybu

Posudek prvku na smyk

Napětí ve smyku

k_{cr}	=	0,67 -
$\tau_{y,d}$	$(3 \cdot V_{y,d})/(2 \cdot A_{eff})$	0,000 Mpa
$\tau_{z,d}$	$(3 \cdot V_{z,d})/(2 \cdot A_{eff})$	-0,299 Mpa

posudek (6.13) **0,00**

$$\tau_{v,y,d}/f_{v,d}$$

prvek vyhovuje na smyk k y

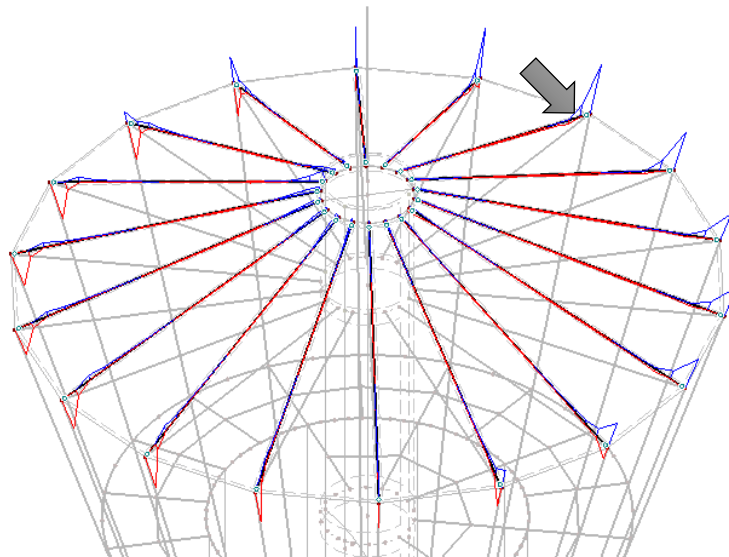
posudek (6.13) **0,13**

$$\tau_{v,z,d}/f_{v,d}$$

prvek vyhovuje na smyk k z



Střešní krokve (2) (max. tlak)



Obrázek 40 – Posuzovaný prvek (rozhodující vnitřní síly – N (MSÚ))

Návrhové vnitřní síly

KZ		108
x		3,566 m
N_d	=	-162,42 kN
$V_{y,d}$	=	-0,92 kN
$V_{z,d}$	=	31,73 kN
T_d	=	-0,25 kNm
$M_{y,d}$	=	0,00 kNm
$M_{z,d}$	=	0,00 kNm

Posudek prvku na kombinaci tlaku a ohybu

Vzpěr

$L_{cr,y}$	=	3,352 m
$L_{cr,z}$	=	3,352 m
k_m	=	0,7 -
λ_y	$L_{cr,y}/i_y$	48,369 -
λ_z	$L_{cr,z}/i_z$	72,554 -
$\lambda_{rel,y}$	$(\lambda_y/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	0,841 -

0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem y



$\lambda_{rel,z}$	$(\lambda_z/\pi) \cdot (f_{c,0,k}/E_{0,05})^{1/2}$	1,262 -
		<i>0,3 < posuzujeme na vzpěr kolem z</i>
k_y	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$	0,908 -
k_z	$0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$	1,392 -
$k_{c,y}$	$1/(k_y + (k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2))$	0,800 -
$k_{c,z}$	$1/(k_z + (k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2))$	0,505 -

Napětí v tlaku

$\sigma_{c,0,d}$	N_d/A	-4,230 Mpa
------------------	---------	------------

Napětí v ohybu

$\sigma_{m,y,d}$	$M_{y,d}/W_y$	0,000 Mpa
$\sigma_{m,z,d}$	$M_{z,d}/W_z$	0,004 Mpa

posudek (6.23) **0,43**

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem y

posudek (6.24) **0,43**

$$(\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot F_{c,0,d})) + (\sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d})$$

prvek vyhovuje na vzpěr kolem z

Posudek prvku na smyk

Napětí ve smyku

k_{cr}	=	0,67 -
$\tau_{y,d}$	$(3 \cdot V_{y,d})/(2 \cdot A_{eff})$	-0,053 Mpa
$\tau_{z,d}$	$(3 \cdot V_{z,d})/(2 \cdot A_{eff})$	1,850 Mpa

posudek (6.13) **0,02**

$$\tau_{v,y,d}/f_{v,d}$$

prvek vyhovuje na smyk k y

posudek (6.13) **0,79**

$$\tau_{v,z,d}/f_{v,d}$$

prvek vyhovuje na smyk k z



Shrnutí posouzení ocelových prutů

Tabulka 5 – Shrnutí posudků – ocel

prvek	průřez	maximální využití
3 – Ztužující prstence	TO 200/120/12/12	0,75
4 – Nosné prvky vyhlídkových plošin	IPE 120	0,01
5 – Nosné prvky vyhlídkových plošin	IPE 140	0,01
6 – Ztužidla střední a vrchní části rozhledny	TR 35/3,2	0,16
7 – Ztužidla spodní části rozhledny	TR 51/3,2	0,44
8 – Nižší nosná konstrukce antény	TR 323,9/10	0,06
9 – Vyšší nosná konstrukce antény	TR 219,1/8	0,09
10 – Ztužující prstence	TO 140/80/12/12	0,09
11 – Svislá tyčová táhla	RD 42	0,99
12 – Vodorovná ztužující tyčová táhla	RD 15	0,51
13 – Vodorovná ztužující táhla	TR 76,1/5	0,43

Shrnutí posouzení dřevěných prutů

Tabulka 6 – Shrnutí posudků – dřevo

prvek	průřez	maximální využití
1 – Nárožníky spodní části rozhledny	200x240	0,82
2 – Nárožníky střední části rozhledny	160x240	0,36
2 – Nárožníky vrchní části rozhledny	160x240 (200x240)	1,17 (0,91)
2 – Vodorovné prvky vrchní části rozhledny	160x240	0,73
2 – Střešní krokve	160x240	0,79



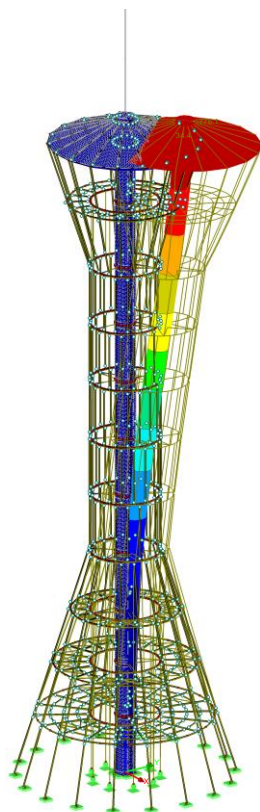
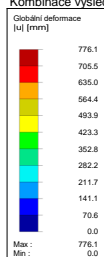
Posouzení MSP – deformace konstrukce

Max celková deformace vrchní části věže (bez antény)

Vypočtená deformace od charakteristických hodnot zatížení (originální konstrukce)

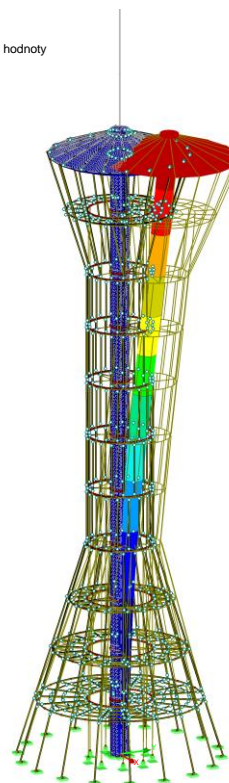
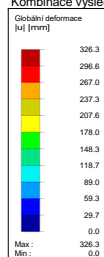
$$\delta_k = 776,1 \text{ mm} < 346 \text{ mm} = \frac{34600}{100} = \frac{h}{100} \rightarrow \text{deformace nevyhovuje}$$

KV 2: MSP - charakteristická
Globální deformace u
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



Max u: 776.1, Min u: 0.0 mm
Součinitel pro deformace: 3.90

Izometrie KV 2: MSP - charakteristická
Globální deformace u
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



Max u: 326.3, Min u: 0.0 mm
Součinitel pro deformace: 8.50

Obrázek 41 – Grafický výstup z programu RFEM – celková deformace konstrukce
(vlevo – originální konstrukce, vpravo – po úpravě tloušťky středové trubky)

Z důvodu nevyhovující maximální deformace konstrukce byla v modelu změněna tloušťka stěny středové nosné trubky na 40 mm a 35 mm (v horní části věže).

pozn. Snahou bylo co nejvěrněji zachovat geometrii rozhledny, proto byla provedena pouze změna tloušťky stěny a ne např. její průměr.

$$\delta_k = 326,3 \text{ mm} < 346 \text{ mm} = \frac{34600}{100} = \frac{h}{100}$$



Posouzení MSÚ – vybrané detaily

Detail A – patka



Obrázek 42 – Fotografie – detail A – patka



1 - Posouzení spoje dle ČSN EN

návrhová únosnost svorníků

$$\begin{aligned} F_{v,ef,Rd} &= k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = \\ &= 0,8 \cdot 2,742 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,234 \cdot \frac{1}{1,3} = 183,837 \text{ kN} \end{aligned}$$

účinný počet svorníků v jedné řadě

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(2,742 \right) = 2,742$$

charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho svorníku

$$\begin{aligned} F_{v,Rk} &= \min \left(\frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}}} \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right) = \\ &= \min \left(\frac{22,304 \cdot 95 \cdot 20}{2,3 \cdot \sqrt{579280,9 \cdot 22,304 \cdot 20} \cdot \left(1 + \frac{1}{16}\right)} \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 579280,9}{22,304 \cdot 20 \cdot 95^2}} - 1 \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{16}\right) \right) = \\ &= \min \left(\begin{array}{l} 42,378 \\ 27,234 \\ 39,283 \end{array} \right) = 27,234 \text{ kN} \end{aligned}$$

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 579280,9 \text{ Nmm}$$

mez pevnosti materiálu svorníku

$$f_u = 800 \text{ N/mm}^2$$

příspěvek od účinků sepnutí

$$F_{ax,Rk} = 25\%$$



charakteristická únosnost svorníků v otláčení

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 340 = 22,304 \text{ MPa}$$

charakteristická hustota dřeva C22

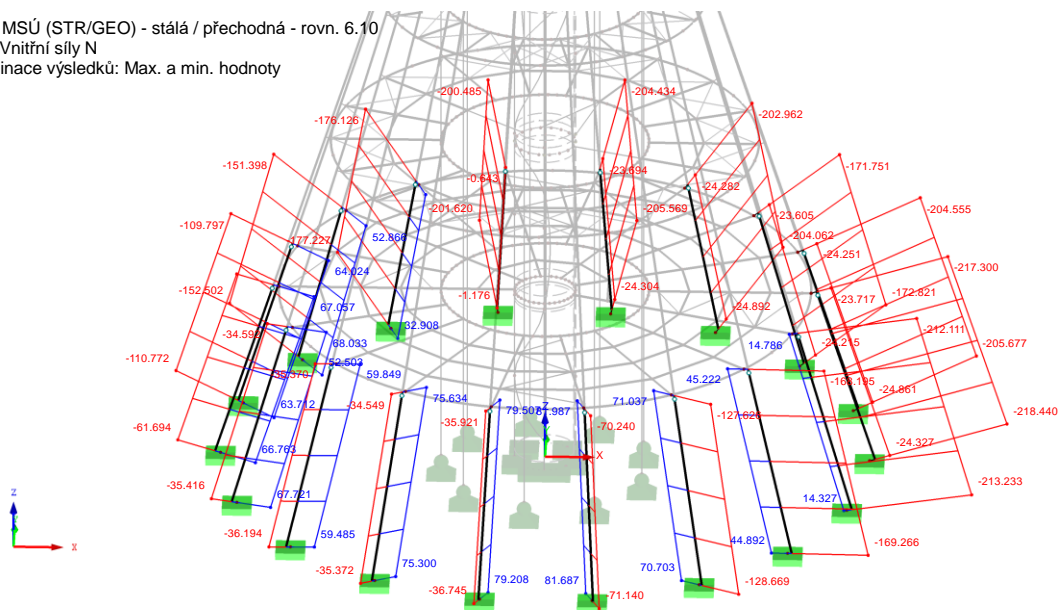
$$\rho_k = 340 \text{ kg/m}^3$$

průměr svorníku

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

KV 1: MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná - rovn. 6.10
Pruty Vnitřní síly N
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Max N: 81.987, Min N: -218.440 kN

Obrázek 43 – Návrhové vnitřní síly (po změně geometrie)

Návrhová únosnost spoje

$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} = 183,837 \text{ kN} < 218,44 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj nevyhovuje}$$



Změna počtu svorníků o +2

$$F_{v,ef,Rd} = k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} =$$
$$= 0,8 \cdot 3,352 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,234 \cdot \frac{1}{1,3} = 224,726 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(5^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(3,352 \right) = 3,352$$

$$F_{v,Rk} = \min \left(\frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}}} \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right) =$$
$$= \min \left(\frac{22,304 \cdot 95 \cdot 20}{2,3 \cdot \sqrt{579280,9 \cdot 22,304 \cdot 20}} \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \right) =$$
$$= \min \begin{pmatrix} 42,378 \\ 27,234 \\ 39,283 \end{pmatrix} = 27,234 \text{ kN}$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 340 = 22,304 \text{ MPa}$$

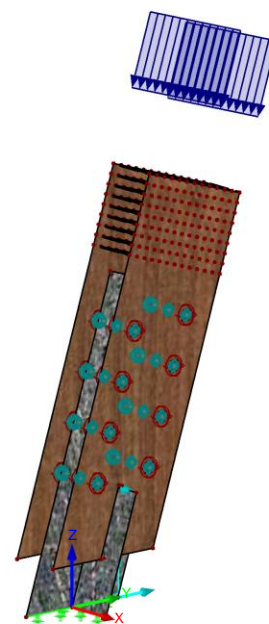
$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} = 224,726 \text{ kN} < 218,44 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj vyhovuje}$$



2 - Výpočet vnitřních sil programem RFEM

Deskový model:

tloušťka dřevěných desek:	95 mm
tloušťka plechu:	10 mm
svorníky:	8.8 Ø20 mm
zatížení:	↓ 455,08 kN/m ← 0 kN/m

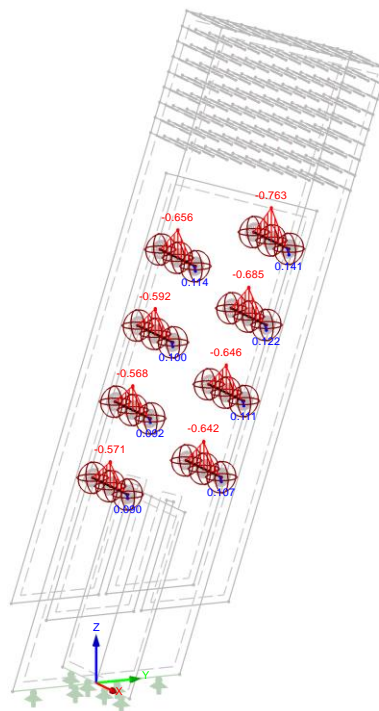


Únosnost svorníku v ohybu:

Obrázek 44 – Model – detail A

ZS 1
Pruty Vnitřní síly M-y

Izometrie



Max M-y: 0.141, Min M-y: -0.763 kNm

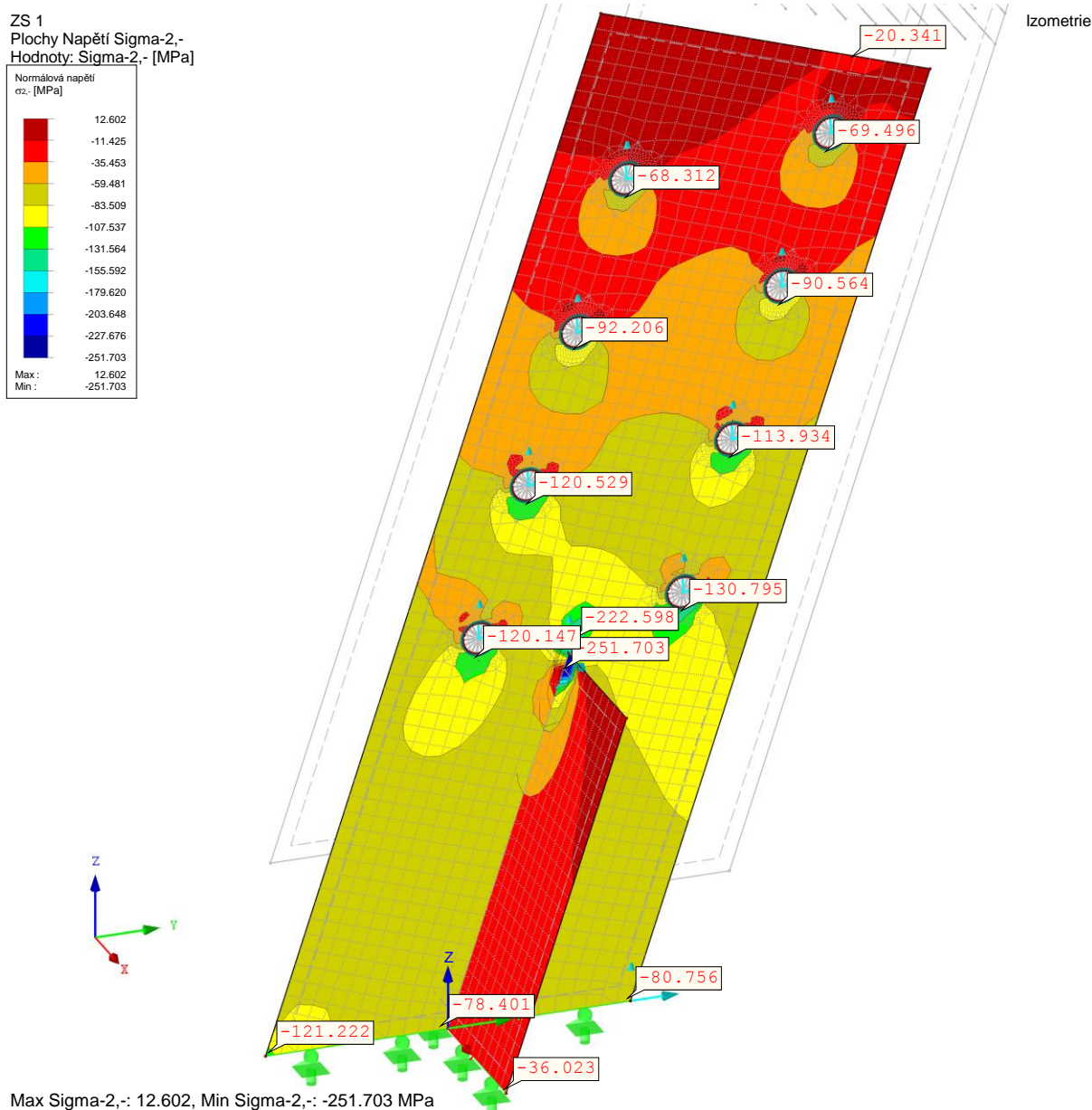
Obrázek 45 – Ohybový moment ve svornících podle výpočetního modelu

$$\sigma_{m,y,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} = \frac{0,763}{1333,3} = 572,26 \text{ MPa} < \sigma_{m,y,Rd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_M} = \frac{640}{1,0} = 640 \text{ MPa} \rightarrow$$

svorník vyhovuje



Maximální napětí na deskách:



Obrázek 46 – Napětí na ocelové desce (rozměr konečného prvku 10 mm, v zahuštění 1 mm) – hodnoty bez vlivu špiček

$$\sigma_{max} = 251,7 \text{ MPa}$$



Detail B – nárožník ve výši první vyhlídkové plošiny



Obrázek 47 – Fotografie – detail B – napojení nárožníků



1 - Posouzení spoje dle ČSN EN

návrhová únosnost svorníků

$$F_{v,ef,Rd} = k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} =$$
$$= 0,8 \cdot 2,742 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,234 \cdot \frac{1}{1,3} = 183,837 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(2,742 \right) = 2,742$$

$$F_{v,Rk} = \min \left(\begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right) =$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 22,304 \cdot 95 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 579280,9}{22,304 \cdot 20 \cdot 95^2}} - 1 \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \\ 2,3 \cdot \sqrt{579280,9 \cdot 22,304 \cdot 20} \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \end{array} \right) =$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 42,378 \\ 27,234 \\ 39,283 \end{array} \right) = 27,234 \text{ kN}$$

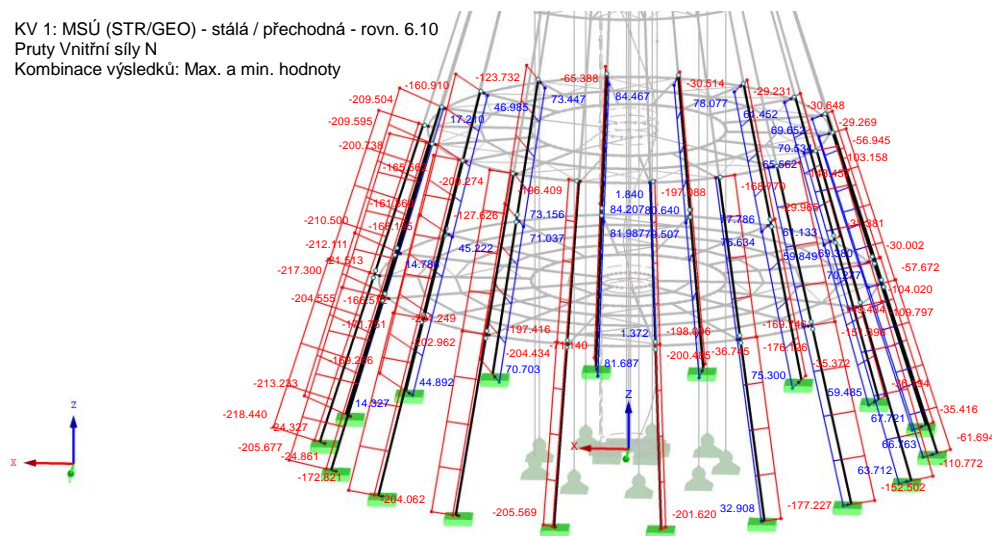
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 579280,9 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 340 = 22,304 \text{ MPa}$$



KV 1: MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná - rovn. 6.10
Pruty Vnitřní síly N
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Max N: 84.467, Min N: -218.440

Obrázek 48 – Návrhové vnitřní síly (po změně geometrie)

Návrhová únosnost spoje (směrem nahoru)

$$F_{Rd\uparrow} = F_{v,ef,Rd} = 183,837 \text{ kN} < 210,67 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj nevyhovuje}$$

Návrhová únosnost spoje (směrem dolů)

$$F_{Rd\downarrow} = F_{v,ef,Rd} = 183,837 \text{ kN} < 217,30 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj nevyhovuje}$$

Změna počtu svorníků o +2

$$\begin{aligned} F_{v,ef,Rd} &= k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = \\ &= 0,8 \cdot 3,352 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,234 \cdot \frac{1}{1,3} = 224,726 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(5^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(3,352 \right) = 3,352$$

$$F_{Rd\uparrow} = F_{v,ef,Rd} = 224,726 \text{ kN} > 210,67 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj vyhovuje}$$

$$F_{Rd\downarrow} = F_{v,ef,Rd} = 224,726 \text{ kN} > 217,30 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj vyhovuje}$$

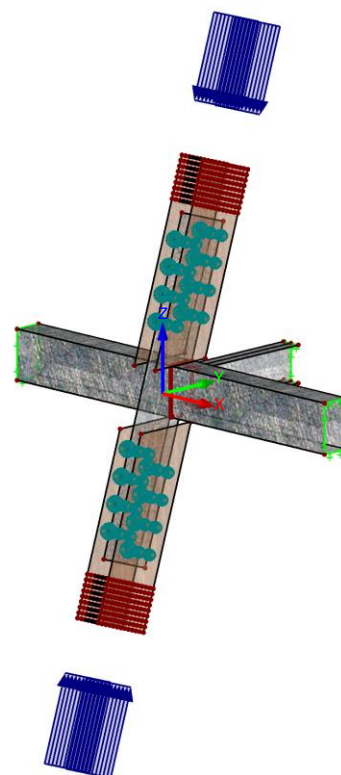


2 - Výpočet vnitřních sil programem RFEM

Deskový model:

tloušťka dřevěných desek:	95 mm
tloušťka plechu:	10 mm
svorníky:	8.8 Ø20 mm
zatížení:	↓ 452,71 kN/m ↑ 455,08 kN/m
délka přesahujících ocel. částí	773 mm

pozn. 773 mm = ½ vzdálenosti nárožníků



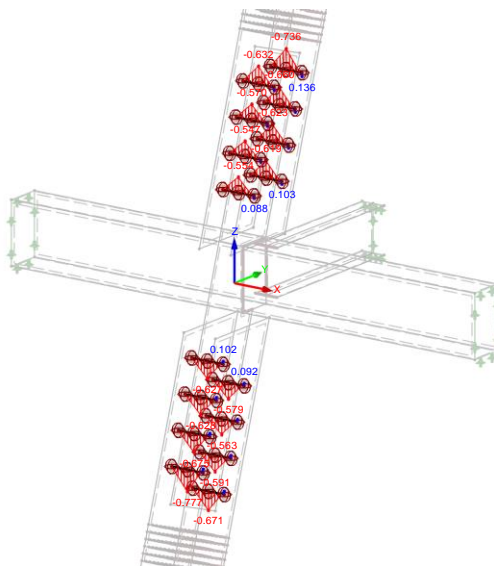
Obrázek 49 – Model – detail B

Únosnost svorníku v ohybu:

ZS 1
Pruty Vnitřní síly M-y



Max M-y: 0.139, Min M-y: -0.777 kNm



Izometrie

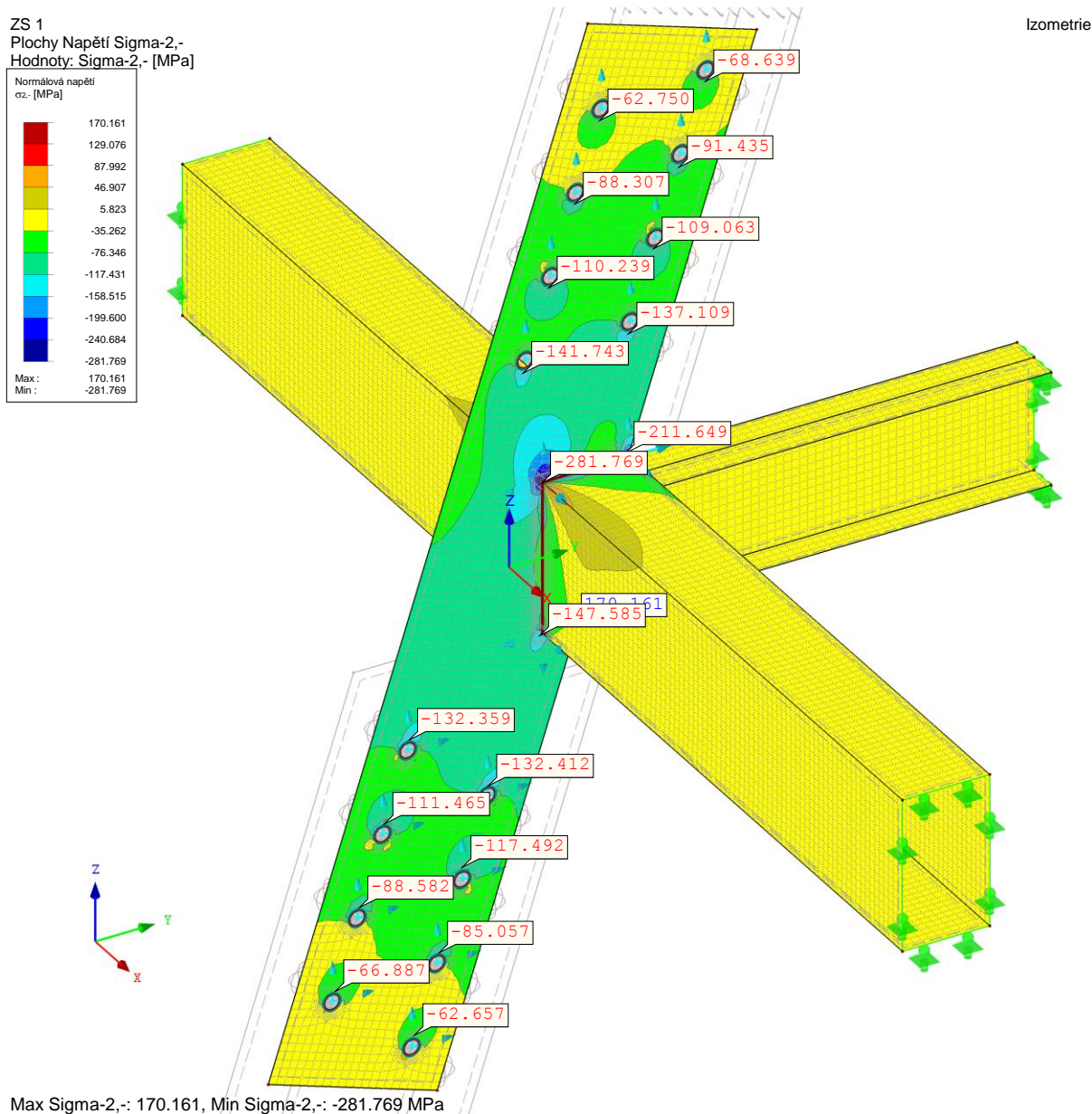
Obrázek 50 – Ohybový moment ve svornících podle výpočetního modelu

$$M_{y,Ed} = 0,777 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} = \frac{0,777}{1333,3} = 582,76 \text{ MPa} < \sigma_{m,y,Rd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_M} = \frac{640}{1,0} = 640 \text{ MPa} \rightarrow \text{svorník vyhovuje}$$



Maximální napětí na deskách:



Obrázek 51 – Napětí na ocelové desce (rozměr konečného prvku 10 mm, v zahuštění 1 mm) – hodnoty bez vlivu špiček

$$\sigma_{max} = 281,7 \text{ MPa}$$



Detail C – roh střešní konstrukce



Obrázek 52 – Fotografie – detail C – roh střešní konstrukce



1 - Posouzení spoje dle ČSN EN

Svislý prvek

návrhová únosnost svorníků

$$\begin{aligned} F_{v,ef,Rd} &= k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = \\ &= 0,8 \cdot 2,117 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,234 \cdot \frac{1}{1,3} = 141,902 \text{ kN} \end{aligned}$$

účinný počet svorníků v jedné řadě

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(2,117 \right) = 2,117$$

charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho svorníku

$$\begin{aligned} F_{v,Rk} &= \min \left(\begin{array}{l} 22,304 \cdot 95 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 579280,9}{22,303 \cdot 20 \cdot 95^2}} - 1 \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \\ 2,3 \cdot \sqrt{579280,9 \cdot 22,303 \cdot 20} \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \end{array} \right) = \\ &= \min \left(\begin{array}{l} 42,378 \\ 27,234 \\ 39,283 \end{array} \right) = 27,234 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 579280,9 \text{ Nmm}$$

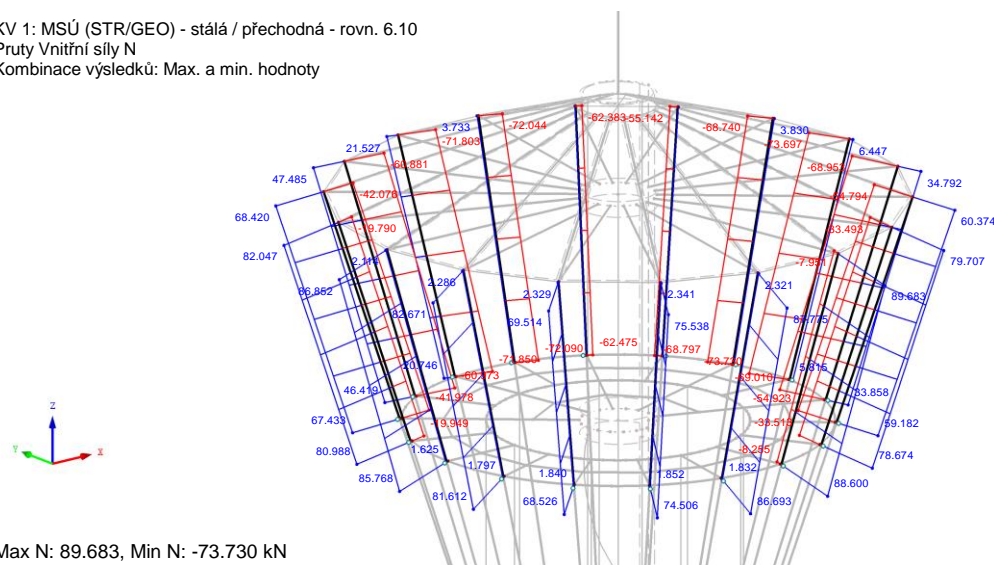
$$\begin{aligned} f_{h,\alpha,k} &= \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{(1,35 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 0,362^\circ + \cos^2 0,362^\circ} \\ &= \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 340}{(1,35 + 0,015 \cdot 20) \cdot \sin^2 0,362^\circ + \cos^2 0,362^\circ} = 22,303 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{V_{y,Ed}}{N_{Ed}} = \text{tg}^{-1} \frac{0,566}{89,683} = 0,362^\circ$$



KV 1: MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná - rovn. 6.10
Pruty Vnitřní síly N
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Max N: 89.683, Min N: -73.730 kN

Obrázek 53 – Návrhové vnitřní síly (po změně geometrie)

$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} = 141,902 \text{ kN} > 89,683 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{svislý prvek vyhovuje}$$



Vodorovný prvek

návrhová únosnost svorníků

$$F_{v,ef,Rd} = k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = \\ = 0,8 \cdot 2,742 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,120 \cdot \frac{1}{1,3} = 183,069 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(2,742 \right) = 2,742$$

$$F_{v,Rk} = \min \left(\begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right) = \\ = \min \left(\begin{array}{l} 22,172 \cdot 95 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 579280,9}{22,304 \cdot 20 \cdot 95^2}} - 1 \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \\ 2,3 \cdot \sqrt{579280,9 \cdot 22,172 \cdot 20} \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \end{array} \right) = \\ = \min \left(\begin{array}{l} 42,126 \\ 27,120 \\ 39,167 \end{array} \right) = 27,120 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 579280,9 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{(1,35 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 0,096^\circ + \cos^2 0,096^\circ} \\ = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 340}{(1,35 + 0,015 \cdot 20) \cdot \sin^2 0,096^\circ + \cos^2 0,096^\circ} = 22,172 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{V_{y,Ed}}{N_{Ed}} = \text{tg}^{-1} \frac{0,434}{259,231} = 0,096^\circ$$

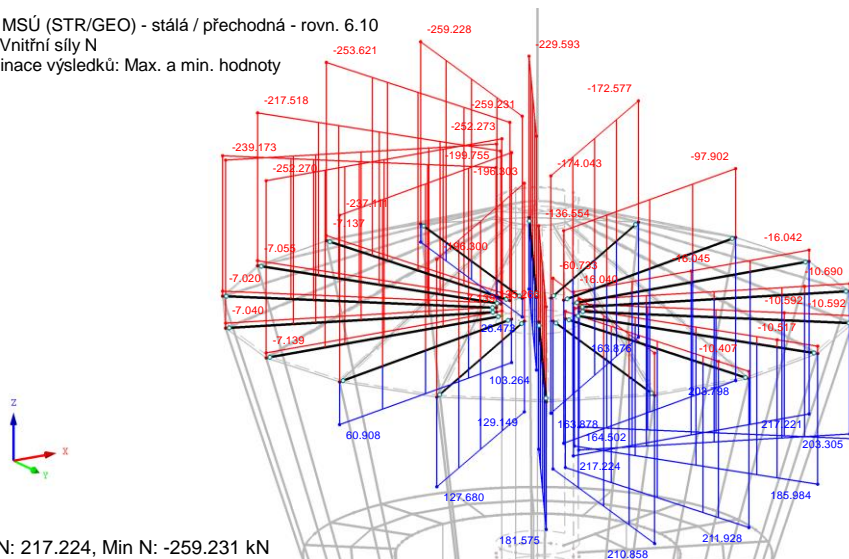


$$F_{c,Rd} = k_{mod} \cdot A \cdot f_{c,0,k} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = 0,8 \cdot (10 \cdot 240) \cdot 20 \cdot \frac{1}{1,3} = 29,538 \text{ kN}$$

KV 1: MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná - rovn. 6.10

Pruty Vnitřní síly N

Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



Izometrie

Obrázek 54 – Návrhové vnitřní síly (po změně geometrie)

Návrhová únosnost spoje

$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} = 183,837 \text{ kN} < 259,231 \text{ kN} \rightarrow \text{spoj nevyhovuje}$$

Změna počtu svorníků o +4

$$F_{v,ef,Rd} = k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} =$$
$$= 0,8 \cdot 3,950 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,120 \cdot \frac{1}{1,3} = 264,799 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n, n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(6, 6^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(6, 3,950 \right) = 3,950$$

$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} = 264,799 \text{ kN} > 259,231 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj vyhovuje}$$



Krokov

návrhová únosnost svorníků

$$F_{v,ef,Rd} = k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = \\ = 0,8 \cdot 2,742 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,175 \cdot \frac{1}{1,3} = 183,438 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(2,742 \right) = 2,742$$

$$F_{v,Rk} = \min \left(\begin{array}{l} 22,235 \cdot 95 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 579280,9}{22,235 \cdot 20 \cdot 95^2}} - 1 \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \\ 2,3 \cdot \sqrt{579280,9 \cdot 22,235 \cdot 20} \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \right) \end{array} \right) = \\ = \min \left(\begin{array}{l} 42,126 \\ 27,120 \\ 39,167 \end{array} \right) = 27,175 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 579280,9 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{(1,35 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 0,096^\circ + \cos^2 0,096^\circ} \\ = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 340}{(1,35 + 0,015 \cdot 20) \cdot \sin^2 3,956^\circ + \cos^2 3,956^\circ} = 22,235 \text{ MPa}$$

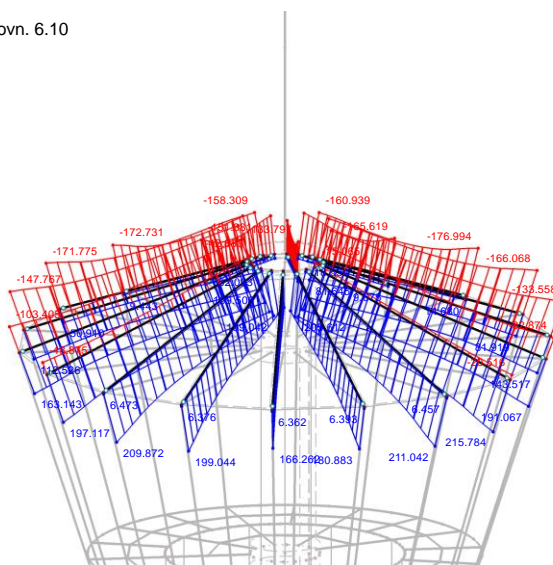
$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{V_{y,Ed}}{N_{Ed}} = \text{tg}^{-1} \frac{14,921}{215,784} = 3,956^\circ$$

$$F_{c,Rd} = k_{mod} \cdot A \cdot f_{c,0,k} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = 0,8 \cdot (10 \cdot 240) \cdot 20 \cdot \frac{1}{1,3} = 29,538 \text{ kN}$$



KV 1: MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná - rovn. 6.10
Pruty Vnitřní síly N
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Max N: 215.784, Min N: -176.994 kN

Obrázek 55 – Návrhové vnitřní síly (po změně geometrie)

Návrhová únosnost spoje

$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} = 183,838 \text{ kN} < 215,784 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj nevyhovuje}$$

Změna počtu svorníků o +2

$$\begin{aligned} F_{v,ef,Rd} &= k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot \text{počet řad} \cdot \text{počet stříhů} \cdot F_{v,Rk} \cdot \frac{1}{\gamma_M} = \\ &= 0,8 \cdot 3,352 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27,175 \cdot \frac{1}{1,3} = 224,238 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$n_{ef} = \min \left(n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) = \min \left(5^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 20}} \right) = \min \left(3,352 \right) = 3,352$$

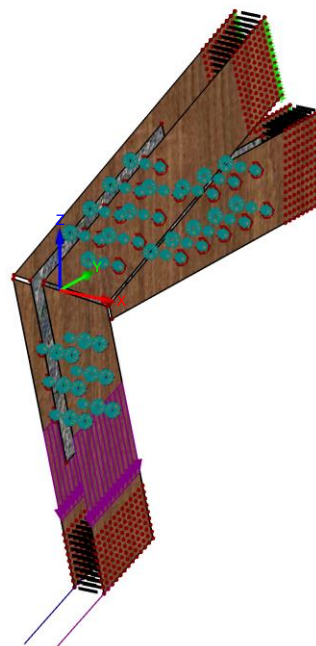
$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} = 224,2379 \text{ kN} > 215,784 \text{ kN} = F_{Ed} \rightarrow \text{spoj vyhovuje}$$



2 - Výpočet vnitřních sil programem RFEM

Deskový model:

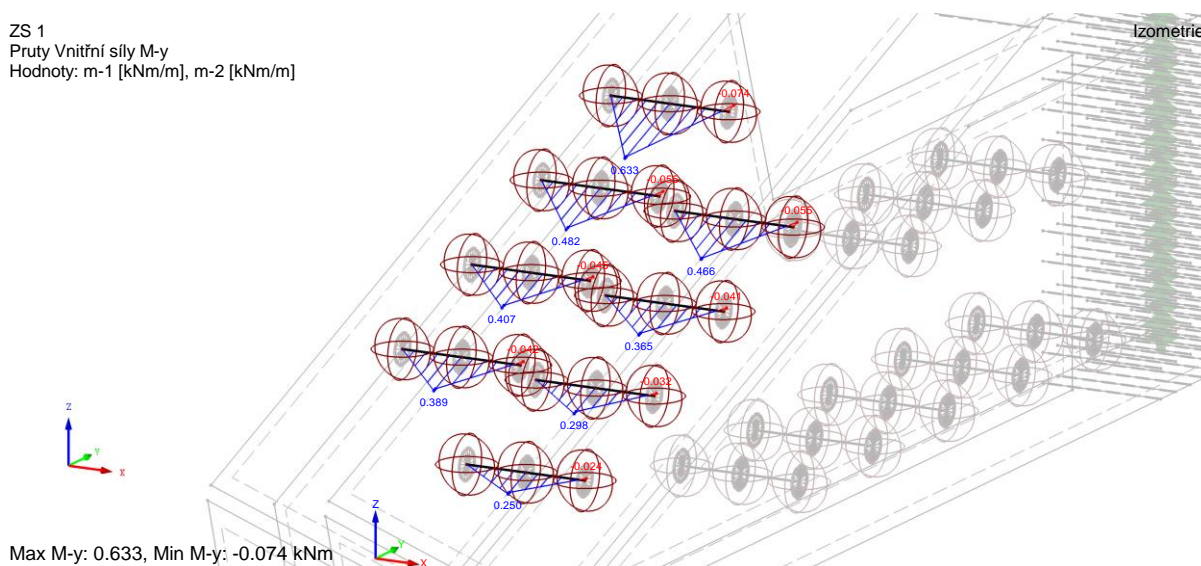
tloušťka dřevěných desek:	75 mm
tloušťka plechu:	10 mm
svorníky:	8.8 Ø20 mm
zatížení:	↓ 153,604 kN/m → 2,263 kN/m



Únosnost svorníku v ohybu (svislý prvek):

Obrázek 56 – Model – detail C

ZS 1
Pruty Vnitřní síly M-y
Hodnoty: m-1 [kNm/m], m-2 [kNm/m]



Obrázek 57 – Ohybový moment ve svornících podle výpočetního modelu

$$M_{y,Ed} = 0,633 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} = \frac{0,633}{1333,3} = 474,762 \text{ MPa} < \sigma_{m,y,Rd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_M} = \frac{640}{1,0} = 640 \text{ MPa} \rightarrow \text{svorník vyhovuje}$$



Únosnost svorníku v ohybu (vodorovný prvek):

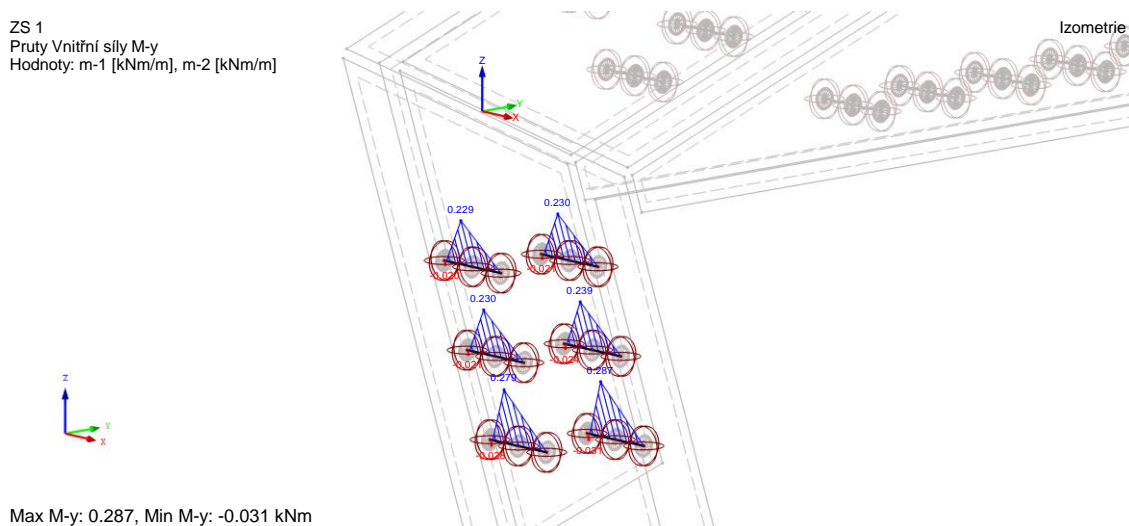


Obrázek 58 – Ohybový moment ve svornících podle výpočetního modelu

$$M_{y,Ed} = 0,633 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} = \frac{0,633}{1333,3} = 474,762 \text{ MPa} < \sigma_{m,y,Rd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_M} = \frac{640}{1,0} = 640 \text{ MPa} \rightarrow \text{svorník vyhovuje}$$

Únosnost svorníku v ohybu (krokov):



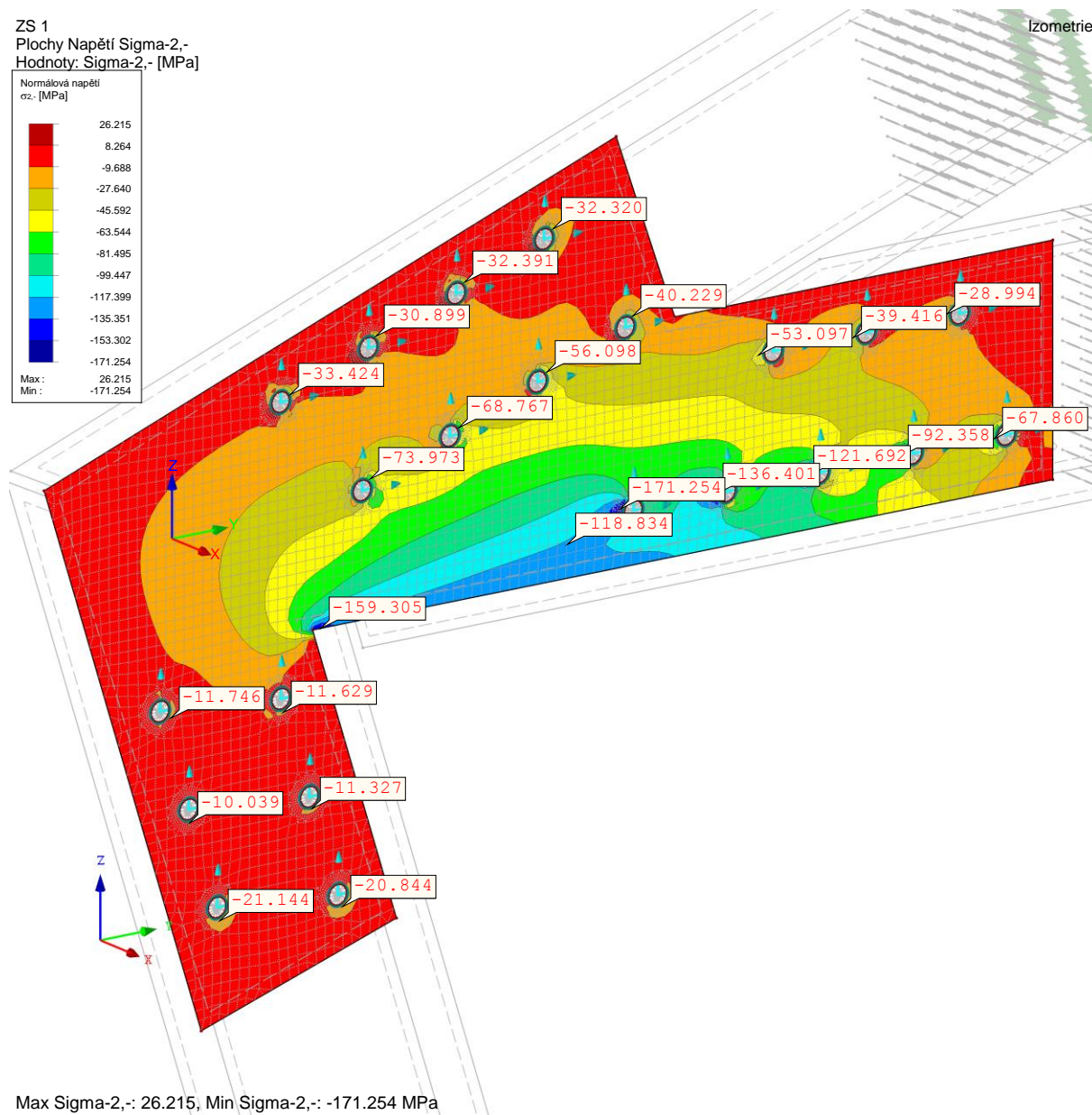
Obrázek 59 – Ohybový moment ve svornících podle výpočetního modelu

$$M_{y,Ed} = 0,287 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} = \frac{0,287}{1333,3} = 215,256 \text{ MPa} < \sigma_{m,y,Rd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_M} = \frac{640}{1,0} = 640 \text{ MPa} \rightarrow \text{svorník vyhovuje}$$



Maximální napětí na deskách:



Obrázek 60 – Napětí na ocelové desce (rozměr konečného prvku 10 mm, v zahuštění 1 mm) – hodnoty bez vlivu špiček

$$\sigma_{max} = 171,3 \text{ MPa}$$



Závěr

Tato diplomová práce se věnuje tvorbě výpočtového modelu a statického posouzení rozhledny Špulka.

Celá práce vychází z pořízených fotografií a měření na místě stavby, a z veřejně dostupné dokumentace.

Zatížení bylo stanoveno dle platných evropských norem ČSN EN. Byla provedena dynamická analýza konstrukce.

Výsledky potvrdily, že rozhledna vyhovuje současným normovým požadavkům z hlediska mezního stavu únosnosti. Výjimku tvoří nárožníky v horní části rozhledny, jímž byla adekvátně změněna geometrie průřezu.

Věž nevyhovuje z hlediska mezního stavu použitelnosti. Ve vrchní části dochází k nadměrným deformacím.

Pro potřeby práce byla modifikována tloušťka stěny centrální trubky. Snaha zachovat dispoziční rozvržení rozhledny byla rozhodujícím faktorem pro toto řešení.

Výsledek se pravděpodobně liší, vlivem méně konzervativního a více informovaného, realizovaného návrhu.



Seznam tabulek

TABULKA 1 – VÝPIS KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ	31
TABULKA 2 – VÝSLEDKY DYNAMICKÉ ANALÝZY	34
TABULKA 3 – MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY KONSTRUKČNÍHO DŘEVA	35
TABULKA 4 – MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY KONSTRUKČNÍ OCELI	36
TABULKA 5 – SHRnutí POSUDKŮ – OCEL	85
TABULKA 6 – SHRnutí POSUDKŮ – DŘEVO	85



Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 – MODEL ROZHLEDNY A REÁLNÁ PŘEDLOHA.....	5
OBRÁZEK 2 – MAPA SNĚHOVÝCH OBLASTÍ (PLATNÁ OD ŘÍJNA 2006).....	7
OBRÁZEK 3 – MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ (PLATNÁ OD ŘÍJNA 2006).....	9
OBRÁZEK 4 – OBECNÝ TVAR KONSTRUKCE, NA KTERÝ SE VZTAHUJE POSTUP NAVRHOVÁNÍ.....	10
OBRÁZEK 5 – SOUČINTEL SÍLY $C_{F,0}$ PRO OBDÉLNÍKOVÉ PRŮŘEZY.....	15
OBRÁZEK 6 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ NÁROŽNÍKU.....	16
OBRÁZEK 7 – SCHÉMA ZJEDNODUŠENÍ NATÁČENÍ NÁROŽNÍKŮ.....	16
OBRÁZEK 8 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ ZTUŽUJÍCÍHO PRSTENCE.....	17
OBRÁZEK 9 – SOUČINTEL SÍLY $C_{F,0}$ PRO KRUHOVÉ VÁLCE.....	18
OBRÁZEK 10 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ CENTRÁLNÍ TRUBKY.....	18
OBRÁZEK 11 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ OD SCHODIŠTĚ.....	20
OBRÁZEK 12– ILUSTRACE ZATÍŽENÍ TÁHEL.....	20
OBRÁZEK 13 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ NOSNÝCH PRVKŮ PLOŠIN.....	21
OBRÁZEK 14 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ ZTUŽUJÍCÍCH PRVKŮ PLOŠIN.....	22
OBRÁZEK 15 – LEGENDA PRO VALBOVÉ STŘECHY.....	28
OBRÁZEK 16 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE.....	29
OBRÁZEK 17 – ILUSTRACE ZATÍŽENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE.....	30
OBRÁZEK 18 – VLASTNÍ TVARY (ZLEVA SESHORA) Č. 1–5.....	34
OBRÁZEK 19 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	45
OBRÁZEK 20 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	47
OBRÁZEK 21 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – M_y (MSÚ)).....	50
OBRÁZEK 22 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – V_z (MSÚ)).....	53
OBRÁZEK 23 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – V_z (MSÚ)).....	55
OBRÁZEK 24 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	57
OBRÁZEK 25 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – M_y (MSÚ)).....	59
OBRÁZEK 26 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – M_z (MSÚ)).....	61
OBRÁZEK 27 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – M_z (MSÚ)).....	63
OBRÁZEK 28 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – M_z (MSÚ)).....	65
OBRÁZEK 29 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	67
OBRÁZEK 30 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	68



OBRÁZEK 31 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	69
OBRÁZEK 32 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	70
OBRÁZEK 33 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – MY (MSÚ)).....	72
OBRÁZEK 34 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	73
OBRÁZEK 35 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	74
OBRÁZEK 36 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	76
OBRÁZEK 37 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	78
OBRÁZEK 38 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	80
OBRÁZEK 39 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	81
OBRÁZEK 40 – POSUZOVANÝ PRVEK (ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY – N (MSÚ)).....	83
OBRÁZEK 41 – GRAFICKÝ VÝSTUP Z PROGRAMU RFEM – CELKOVÁ DEFORMACE KONSTRUKCE	86
OBRÁZEK 42 – FOTOGRAFIE – DETAIL A – PATKA.....	87
OBRÁZEK 43 – NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY (PO ZMĚNĚ GEOMETRIE)	89
OBRÁZEK 44 – MODEL – DETAIL A.....	91
OBRÁZEK 45 – OHYBOVÝ MOMENT VE SVORNÍCÍCH PODLE VÝPOČETNÍHO MODELU	91
OBRÁZEK 46 – NAPĚTÍ NA OCELOVÉ DESCE.....	92
OBRÁZEK 47 – FOTOGRAFIE – DETAIL B – NAPOJENÍ NÁROŽNÍKŮ	93
OBRÁZEK 48 – NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY (PO ZMĚNĚ GEOMETRIE)	95
OBRÁZEK 49 – MODEL – DETAIL B.....	96
OBRÁZEK 50 – OHYBOVÝ MOMENT VE SVORNÍCÍCH PODLE VÝPOČETNÍHO MODELU	96
OBRÁZEK 51 – NAPĚTÍ NA OCELOVÉ DESCE.....	97
OBRÁZEK 52 – FOTOGRAFIE – DETAIL C – ROH STŘEŠNÍ KONSTRUKCE.....	98
OBRÁZEK 53 – NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY (PO ZMĚNĚ GEOMETRIE)	100
OBRÁZEK 54 – NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY (PO ZMĚNĚ GEOMETRIE)	102
OBRÁZEK 55 – NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY (PO ZMĚNĚ GEOMETRIE)	104
OBRÁZEK 56 – MODEL – DETAIL C.....	105
OBRÁZEK 57 – OHYBOVÝ MOMENT VE SVORNÍCÍCH PODLE VÝPOČETNÍHO MODELU	105
OBRÁZEK 58 – OHYBOVÝ MOMENT VE SVORNÍCÍCH PODLE VÝPOČETNÍHO MODELU	106
OBRÁZEK 59 – OHYBOVÝ MOMENT VE SVORNÍCÍCH PODLE VÝPOČETNÍHO MODELU	106
OBRÁZEK 60 – NAPĚTÍ NA OCELOVÉ DESCE.....	107



Seznam použitého softwaru

- [1] Dlubal: *RFEM 5.07* – studentská verze
- [2] Dlubal: *RF – TIMBER Pro*
- [3] Dlubal: *RF – STEEL EC3*
- [4] Dlubal: *RF – STABILITY*
- [5] Dlubal: *RF – DYNAM Pro*
- [6] Autodesk: *Autocad 2017* – studentská verze
- [7] Microsoft: *MS Office Word*
- [8] Microsoft: *MS Office Excel*
- [9] Adobe: *Lightroom CC 2015* – zkušební verze



Seznam podkladů a použitých norem

- [1] Angst, V., M. Augustin, K. Bell, A. S. Hansen, P. Kuklík. *Dřevěné konstrukce – příručka 1*, Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS, 2008
- [2] Angst, V., M. Augustin, K. Bell, A. S. Hansen, P. Kuklík. *Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5 – příručka 2*, Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS, 2008
- [3] Kolb, Josef. *Dřevostavby, Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2011
- [4] Kuklík, Petr, Anna Kuklíková, Karel Mikeš. *Dřevěné konstrukce 1 – cvičení*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2013
- [5] Jandera, Michal, Martina Eliášová, Tomáš Vraný. *Ocelové konstrukce 01 – cvičení*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2015
- [6] Koželuh, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5 – STEP 1*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004
- [7] Koželuh, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5 – STEP 2*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004
- [8] ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí
- [9] ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí
- [10] ČSN EN 1993 – Navrhování ocelových konstrukcí
- [11] ČSN EN 1995 – Navrhování dřevěných konstrukcí
- [12] Systém konstrukčních táhel 460. *Systém konstrukčních táhel Macalloy* [online]. Praha: Tension Systems, 2014 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://www.tension.cz/www/media/files/dwg_29/Macalloy-460_88.zip



- [13] Rozhledna Špulka. *Dřevěné konstrukce – realizace 2016* [online]. Chotýšany: 2T engineering, s.r.o., 2014 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://www.drevoprozivot.cz/drevena-stavba-roku/drevene-konstrukce-realizace-2016/rozhledna_spulka
- [14] Rozhledna Špulka na Benešovsku. *Časopis Stavebnictví: Realizace staveb* [online]. Brno: EXPO DATA spol. s r.o., 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/rozhledna-spulka-na-benesovsku_N5437
- [15] Rozhledna Špulka s naučnou stezkou. *MDS projekt s.r.o.* [online]. Vysoké Mýto: MDS projekt, 2014 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.mdsprojekt.cz/pozemni-stavby/454-2013-rozhledna-spulka-s-naucnou-stezkou/>
- [16] Rozhledna Špulka – ocel a dřevo v jednom. *KONSTRUKCE: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2015 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/rozhledna-spulka-ocel-a-drevo-v-jednom/>
- [17] Rozhledna Špulka. *Rozhledna Špulka* [online]. Chotýšany: svazek obcí CHOPOS, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.rozhlednaspulka.cz/>
- [18] Rozhledna Špulka. *2T engineering s.r.o.* [online]. Praha: 2T engineering, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.2te.cz/projektDetail.asp?p=11>



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelo-dřevěná rozhledna

Rozhledna Špulka

Steel-timber tower

Tower Špulka

Diplomová práce

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.

Bc. Jan Pecina

Praha 2017



Obsah

Obsah	2
Identifikační údaje	3
Údaje o stavbě	3
Údaje o původním projektu.....	3
Celkový popis stavby	4
Popis konstrukce.....	4
Výroba	6
Dynamická analýza konstrukce	7
Použité materiály.....	8
Dřevěné prvky konstrukce	8
Ocelové prvky konstrukce	8
Zatížení.....	9
Stálé zatížení	9
Proměnné zatížení	9
Kombinace zatížení	9
Kombinace výsledků.....	9
Posouzení prvků	10
Mezní stav únosnosti	10
Mezní stav použitelnosti	10
Posouzení detailů	10



Identifikační údaje

Údaje o stavbě

Název stavby

Rozhledna Špulka

Místo stavby

Objekt se nachází na vrchu Březák (49.7934633N, 14.8257139E) u obce Lbosín. Spadá pod obec Divišov v okrese Benešov. Celá stavba se nachází na parcele č. 974 v k.ú. Lbosín.

Předmět dokumentace

Statické posouzení stávajícího stavu konstrukce Ocelo-dřevěné rozhledny Špulka.

Údaje o původním projektu

Investor

21 obcí sdružených ve svazku mikroregionu CHOPOS

Architektonické řešení

Ing. arch. Iveta Torkoniaková

Projekce ocelových konstrukcí

Ing. Vladimír Janata, CSc., EXCON, a. s.; Ing. Jiří Lahodný, EXCON, a. s.

Popis původního projektu

Stavba byla spolufinancována z Evropského zemědělského fondu pro rozvoj venkova v rámci osy IV Leader, dále firmou WIFCOM a.s. a regionálním Rádiem Sázava, které mají na rozhledně svá technologická zařízení, a velkou skupinou drobných dárců.

Výstavba započala 27. dubna 2013, rozhledna byla otevřena 26. dubna 2014.



Celkový popis stavby

Předmět řešení

Projektová dokumentace řeší rozhlednu Špulka u obce Lbosín.

Venkovní půdorysné rozměry objektu tvoří kruh o průměru 10,8 m. Výška konstrukce (bez konstrukce antény) 34,6 m. Celková výška konstrukce 45,6 m.

Rozsah dokumentace

Obsah a rozsah dokumentace je vypracovaný na úrovni „projekt pro stavební povolení“.

Dokumentace definuje nosnou konstrukci ze specifikovaných stavebních materiálů z pohledu statické únosnosti konstrukčních prvků a posouzení celkové stability objektu.

Popis konstrukce

Vertikální prvky

Hlavní nosná konstrukce je tvořena středovou ocelovou trubkou o průměru 1016 mm tloušťky stěny 8 mm, 14 mm a 16 mm z oceli S235 po celé výšce rozhledny a vnějšími dřevěnými nárožníky 200x240 mm a 160x240 mm z hraněného řeziva třídy C22.

Tloušťka středové ocelové trubky byla po výpočtu celkových deformací od zatížení stanoveného ve statickém výpočtu této práce změněna na tloušťky stěny 40 mm a 35 mm. Tento rozdíl je pravděpodobně způsoben vyšší informovaností statika skutečného projektu o místních povětrnostních podmínkách. Z toho plyne rozdílná uvažovaná hodnota zatížení větrem.

Do výšky 11,6 m tvoří vnější nosnou konstrukci 18 nárožníků o rozměrech 200x240 mm z hraněného řeziva třídy C22 ve tvaru komolého kužele na kruhové základně o průměru 10,8 m. Dále rozhledna pokračuje válcovým tělesem délky 15 m o průměru 3,46 m, jehož nosný plášť je tvořen 18 dřevěnými hranoly o rozměrech 160x240 mm z hraněného řeziva třídy C22. Poloha těchto nárožníků se každé 3,0 m střídá. Na vrcholu má rozhledna tvar obráceného komolého kužele až do výšky 33,1 m. Do výšky 34,5 m je pak rozhledna tvořena šikmou konstrukcí střechy ze stejných dřevěných prvků o rozměrech 160x240 mm.

Nosnou konstrukci doplňuje do výšky 11,6 m 9 předpjatých tyčových táhel o průměru 42 mm z oceli S460, uspořádaných do tvaru válce o průměru základny 3,46 m. Táhla jsou ukotvena do základové konstrukce a do nosné ocelové konstrukce.



Ztužující prvky

Po celé výšce rozhledny (s výjimkou prostoru mezi první vyhlídkovou plošinou a střední válcovou částí rozhledny) po cca 3 m jsou umístěny ztužující prstence TO 200/120/12/12 z konstrukční oceli S355.

Další ztužující prvky tvoří, ve vrchní části rozhledny prvky TR 35/3,2, ve spodní části prvky TR 51/3,2 a tyčová táhla o průměru 15 mm. Ve střední části rozhledny tvoří ztužení prvky TR 76,1/5.

Ztužení v rovině vyhlídkové plošiny tvoří prvky TR 51/3,2.

Horizontální prvky

V konstrukci rozhledny jsou dvě vyhlídkové plošiny. Nižší ve výšce 3,0 m je tvořena ocelovými profily IPE 120 a IPE 140. Průměr kruhové nižší plošiny je přibližně 8,9 m. Vyšší plošina se nachází ve výšce 30,0 m a je rovněž tvořena profily IPE 120 a IPE 140. Dále se na nesení plošiny podílí i vnitřní prsteneček TO 140/80/12/12 o průměru 3,46 m. Pochozí vrstvu obou vyhlídkových plošin tvoří dřevěné fošny tloušťky 40 mm.

Nosnou konstrukci zastřešení rozhledny tvoří prvky z dřevěných profilů 160x240 mm.

Schodiště a technické zařízení rozhledny

Schodiště je točité se středem tvořeným centrální trubkou o průměru 1016 mm. Stupně schodiště s podestami jsou vetknuty do středové trubky a jsou spojeny na vnější straně plechem šířky 250 mm, ke kterému jsou připojeny sloupky zábradlí z profilu TR 42,4/3,2 s madlem z profilu TR 51/3,2 a výplňovými prvky TR 12x12. Na středové trubce je umístěno vnitřní madlo z profilu schodiště TR 51/3,2. Prvky schodiště jsou provedeny z oceli S235. Zábradlí má výšku minimálně 1200 mm. Na vyhlídkových plošinách je po obvodu provedeno zábradlí ve výšce 1200 mm, madlo zábradlí je tvořeno fošnou 40x200 mm ze dřeva třídy C24 (modřínové). Svislá výplň je provedena mřížovinou ze svislých tyčí TR 12x12 z oceli S235. Zábradlí je kotveno do obvodových nosných dřevěných hranolů.

Středová trubka slouží jako prostor pro vedení elektrických kabelů a napáječů pro antény a vysílače umístěné na vrcholu rozhledny.

Jako střešní krytina je použit asfaltový šindel v červené barvě. Všechny prvky krytiny jsou provedeny typové systémové. Oplechování střechy je zhotoveno z plechu TiZn. Nosný podklad střešní krytiny je prkenný záklop z horní strany střešních trámů a je tvořen prkny tloušťky 40 mm.

Na nižší vyhlídkové plošině jsou umístěny modřínové lavičky. Nosná konstrukce laviček je tvořena ocelovými profily U60 a TR 60x40 ukotvenými do nosné ocelové konstrukce plošiny. Sedací část laviček je z fošen 60x300 mm.



Výroba

Konstrukce je zařazena do třídy provedení EXC3 dle ČSN EN 1090-2. Pro konstrukci byl navržen stupeň jakosti svarů B, resp. C dle ČSN EN ISO 5817. Pro plechy namáhané kolmo k rovině válcování jsou navrženy třídy jakosti Z25 dle ČSN EN 10164. Šrouby jsou navrženy kvality 8.8.

Před nátěry byla konstrukce otryskána na stupeň SA 2.5, dle ČSN ISO 8501 1. Střední drsnost povrchu byla zkontrolována etalonem.

Konstrukce je zároveň zinkována a natřena. Středová trubka je natřena pouze z vnější strany. Skladba nátěrového systému ocelových konstrukcí byla navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 5. Spojovací materiál byl dodán zároveň pozinkovaný. V dílně se konstrukce natřela základním a finálním nátěrem. Pro veškeré konstrukce byla uvažována korozní expozice C3, životnost vysoká (H) – více než 15 let.

Dřevo bylo tlakově impregnováno proti houbám a dřevokaznému hmyzu.



Dynamická analýza konstrukce

Výpočetní model

Model byl dynamicky analyzován programem Dlubal RFEM. Hmotnostní a geometrické charakteristiky byly použity ze statického výpočtového modelu. Ručně byla přidána soustředěná hmota nahrazující vyhlídkové plošiny a hmoty modelující schodiště. Námraza byla zanedbána.

Výsledky byly použity pro výpočet dynamického součinitele konstrukce c_{sCd} .

Grafické výstupy dynamické analýzy jsou součástí statického výpočtu (str. 34).

Tvar č.	Vlastní číslo λ	VI. kruh. frekvence ω [rad/s]	Vlastní frekvence f [Hz]	Vlastní perioda T [s]
1	54,959	7,413	1,180	0,848
2	55,897	7,476	1,190	0,840
3	263,037	16,218	2,581	0,387
4	693,677	26,338	4,192	0,239
5	699,790	26,454	4,210	0,238



Použité materiály

Dřevěné prvky konstrukce

Konstrukční dřevo pevnostní třídy C22 – veškeré dřevěné prvky

Ocelové prvky konstrukce

Ocel S235 – středová nosná trubka, nosné prvky vyhlídkových plošin, nosná konstrukce antény a některá ztužidla

Ocel S355 – ztužidla a ztužující prstence

Ocel S460 – předpjatá táhla

Materiálové charakteristiky a kompletní výpis prvků a materiálů viz. statický výpočet.



Zatížení

Stálé zatížení

$$\gamma_G = 1,35$$

ZS1 – Vlastní hmotnost nosných konstrukcí

ZS2 – Ostatní stálé

Proměnné zatížení

$$\gamma_G = 1,5$$

ZS3 – Sníh I

ZS4 – Sníh II

ZS5 – Sníh III

ZS6 – Sníh IV

ZS7 – Sníh V

ZS8 – Užitné

ZS9 – Vítr X

ZS10 – Vítr X –

ZS11 – Vítr Y +

ZS12 – Vítr Y -

Kombinace zatížení

Viz. statický výpočet str. 31

Kombinace výsledků

KV1 – MSÚ – stálá/přechodná

KV2 – MSP – charakteristická

KV3 – MSP – častá

KV4 – MSP – kvazistálá

Pozn. Námraza byla zanedbána



Posouzení prvků

Mezní stav únosnosti

Ze skupiny prvků o stejné geometrii průřezu a umístění byly vždy posouzeny nejvíce namáhané prvky na základě předběžného posouzení přídatnými moduly RF-STEEL EC3 a RF-TIMBER Pro.

Ocelové prvky byly posouzeny zjednodušeným výpočtem podle ČSN EN 1993.

Dřevěné prvky byly posouzeny podle ČSN EN 1995.

Nevyhovujícím prvkům byla adekvátně upravena geometrie průřezu, viz. statický výpočet.

Ve výpočtu nebyla uvažována námraza ani reklamní panely.

Mezní stav použitelnosti

Byla porovnána celková deformace, způsobená charakteristickými hodnotami zatížení (KV2), ve vrchním bodě konstrukce s jednou sto-padesátinou výšky konstrukce.

Konstrukce věže toto kritérium nesplňuje, pravděpodobně v důsledku nadměrného (konzervativního) zatížení větrem v závětrných oblastech konstrukce. Při návrhu skutečné konstrukce měl statik pravděpodobně přesnější informace o vlivu větru v konkrétní lokalitě.

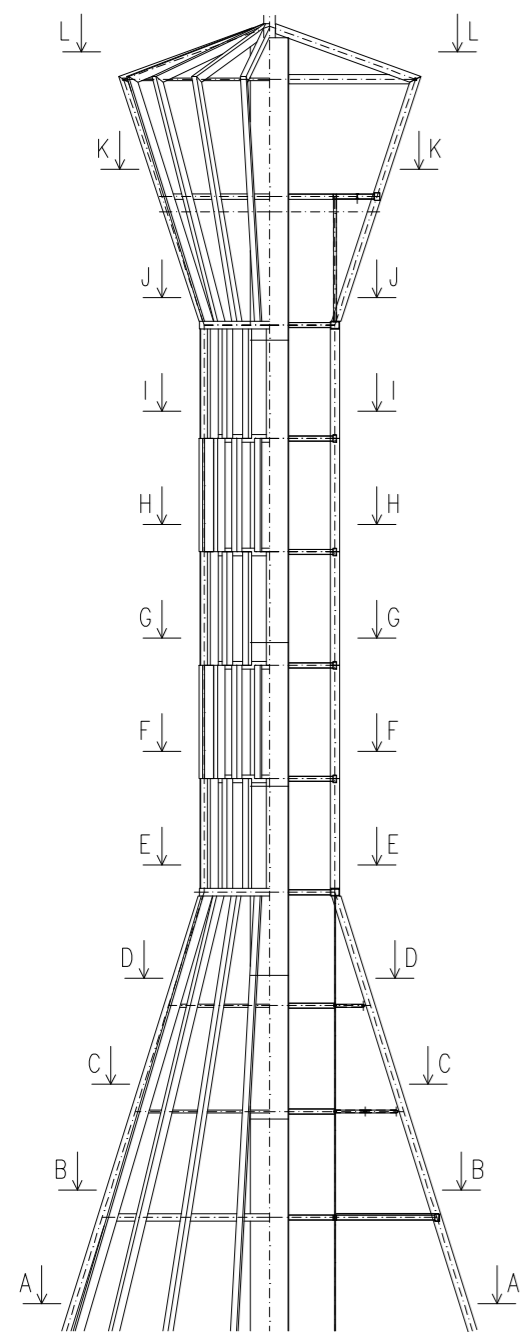
Na základě tohoto výsledku byla postupně změněna tloušťka centrální nosné ocelové trubky až na hodnotu 40 mm, 35 mm. Při této hodnotě je celková deformace ve vyhovujících hodnotách.

Ve výpočtu nebyla uvažována námraza ani reklamní panely.

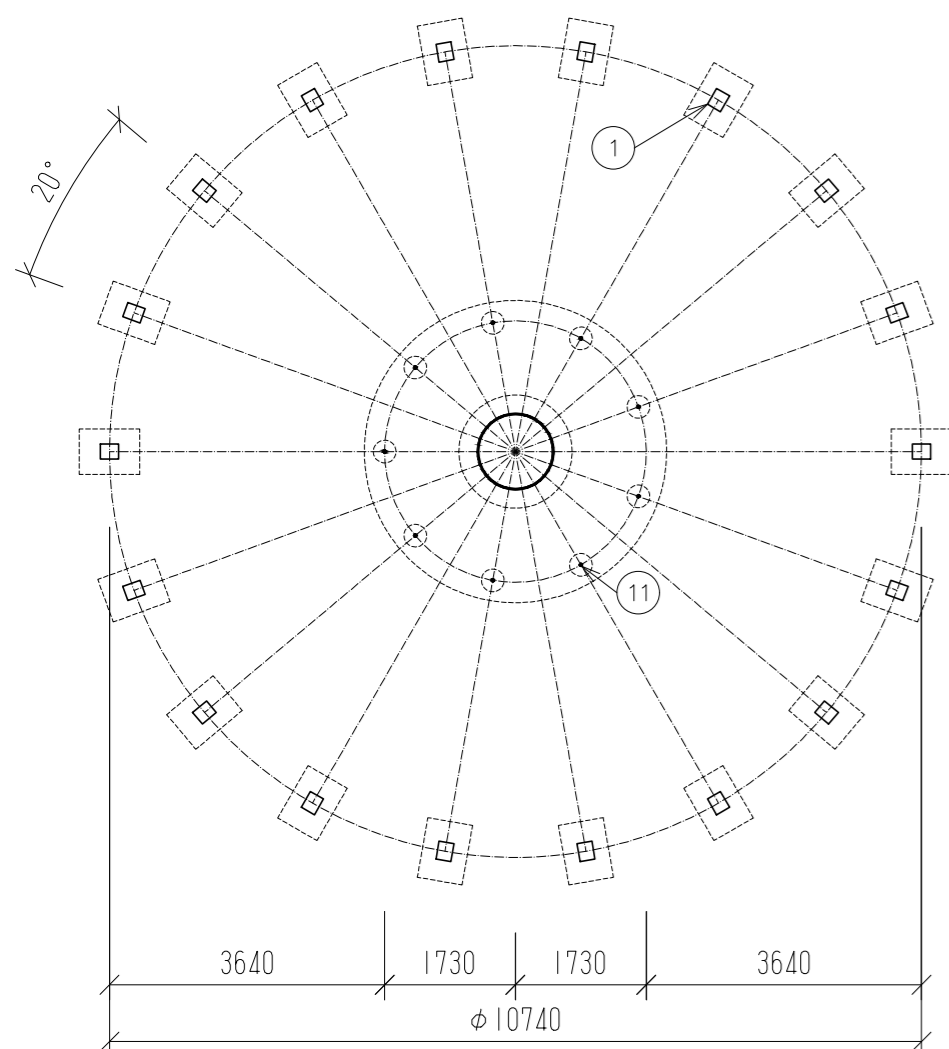
Posouzení detailů

Byly zvoleny tři kritické detaily (styk ocel-dřevo) a posouzeny dle ČSN EN. Následně byl pro každý vytvořen deskový model v programu RFEM a byly posouzeny maximální vnitřní síly na spojovacích prostředcích a napětí v ocelových a dřevěných deskách.

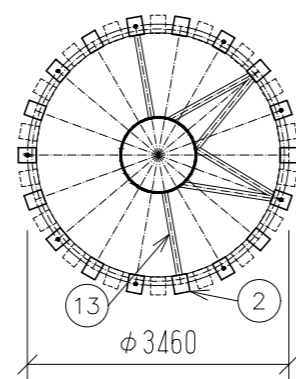
POHLED – SCHÉMA
1:50



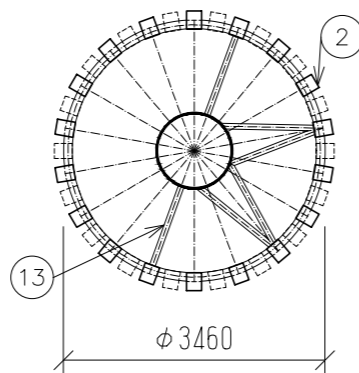
ŘEZ A – A



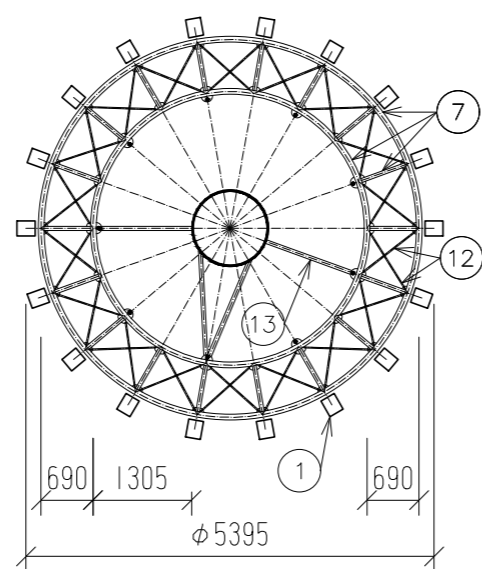
ŘEZ J – J



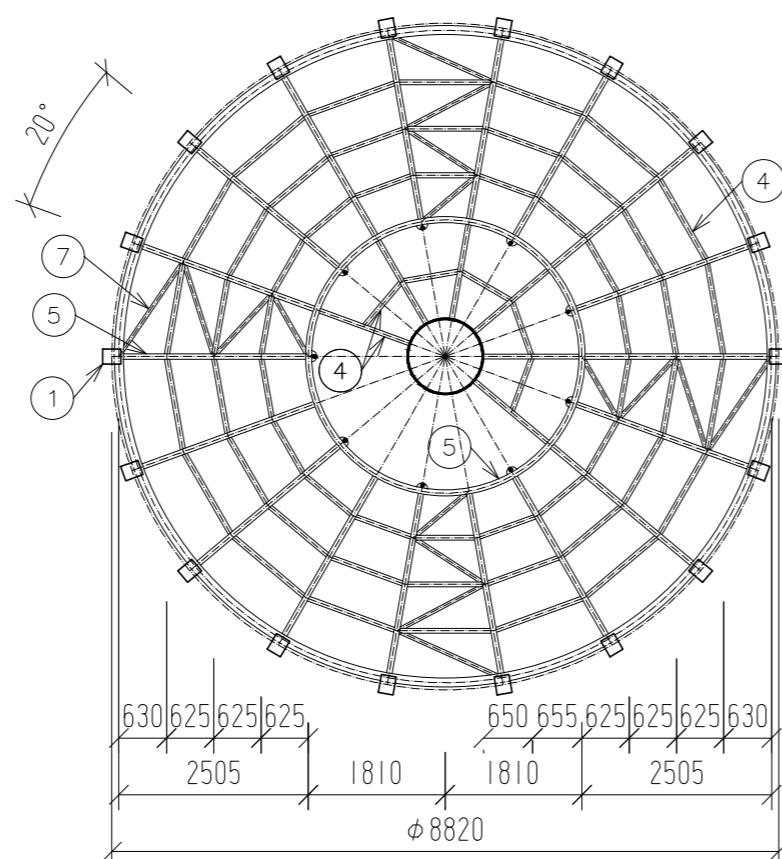
ŘEZ G – G



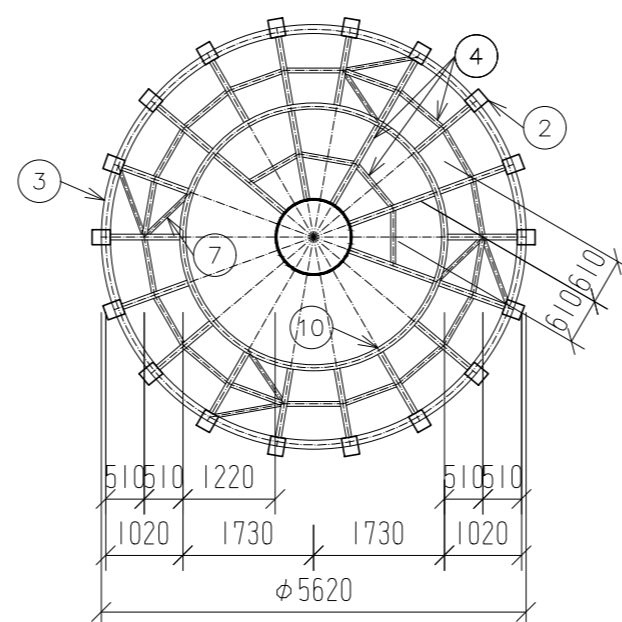
ŘEZ D – D



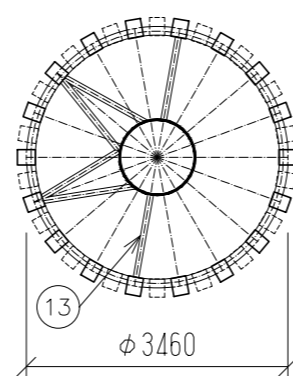
ŘEZ B – B



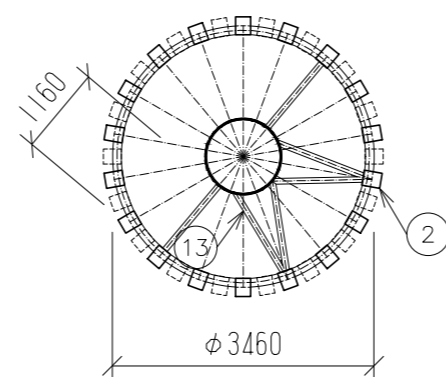
ŘEZ K – K



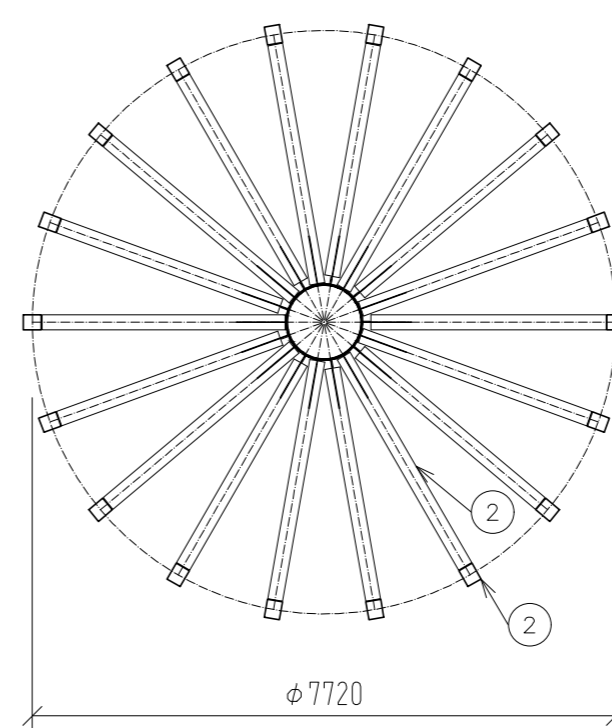
ŘEZ H – H



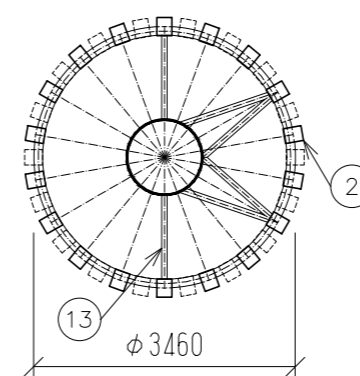
ŘEZ E – E



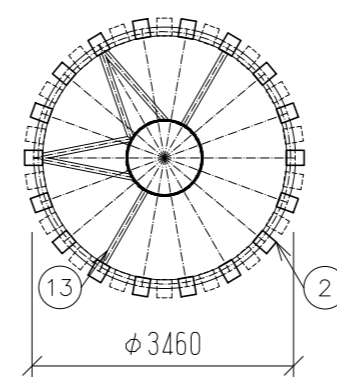
ŘEZ L – L



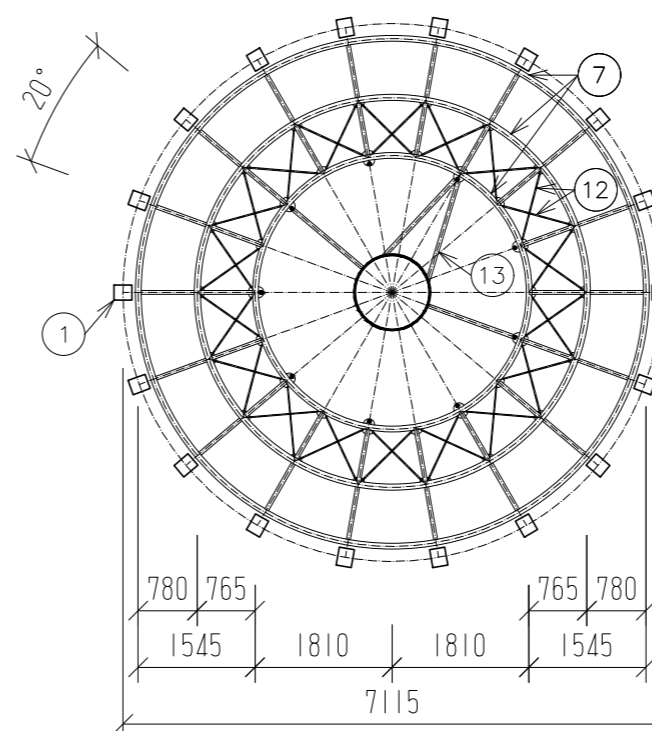
ŘEZ I – I



ŘEZ F – F



ŘEZ C – C



PROFILY:

- 1	- 200x240 mm	C22
- 2	- 160x240 mm	C22
- 3	- TO 200/120/12/12	S355
- 4	- IPE 120	S235
- 5	- IPE 140	S235
- 6	- TR 35/3,2	S235
- 7	- TR 51/3,2	S235
- 8	- TR 323,9/10	S235
- 9	- TR 219,1/8	S235
- 10	- TO 140/80/12/12	S355
- 11	- RD 42	S460
- 12	- RD 15	S460
- 13	- TR 76,1/5	S355

POZNÁMKY:

- POVRCHOVÁ ÚPRAVA DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE: TLAKOVÁ IMPREGNACE
- TŘÍDA PROVOZU: 2
- POVRCHOVÁ ÚPRAVA OCELOVÉ KONSTRUKCE: ŽÁROVÉ ZINKOVÁNÍ
- PŘED PROVEDENÍM NUTNÉ OTRYSKÁNÍ
- STUPEŇ KOROZNÍ OCHRANY: C3
- TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC3 DLE ČSN EN 1090-2
- STUPEŇ JAKOSTI SVARŮ B, RESP. C DLE ČSN EN 25 817

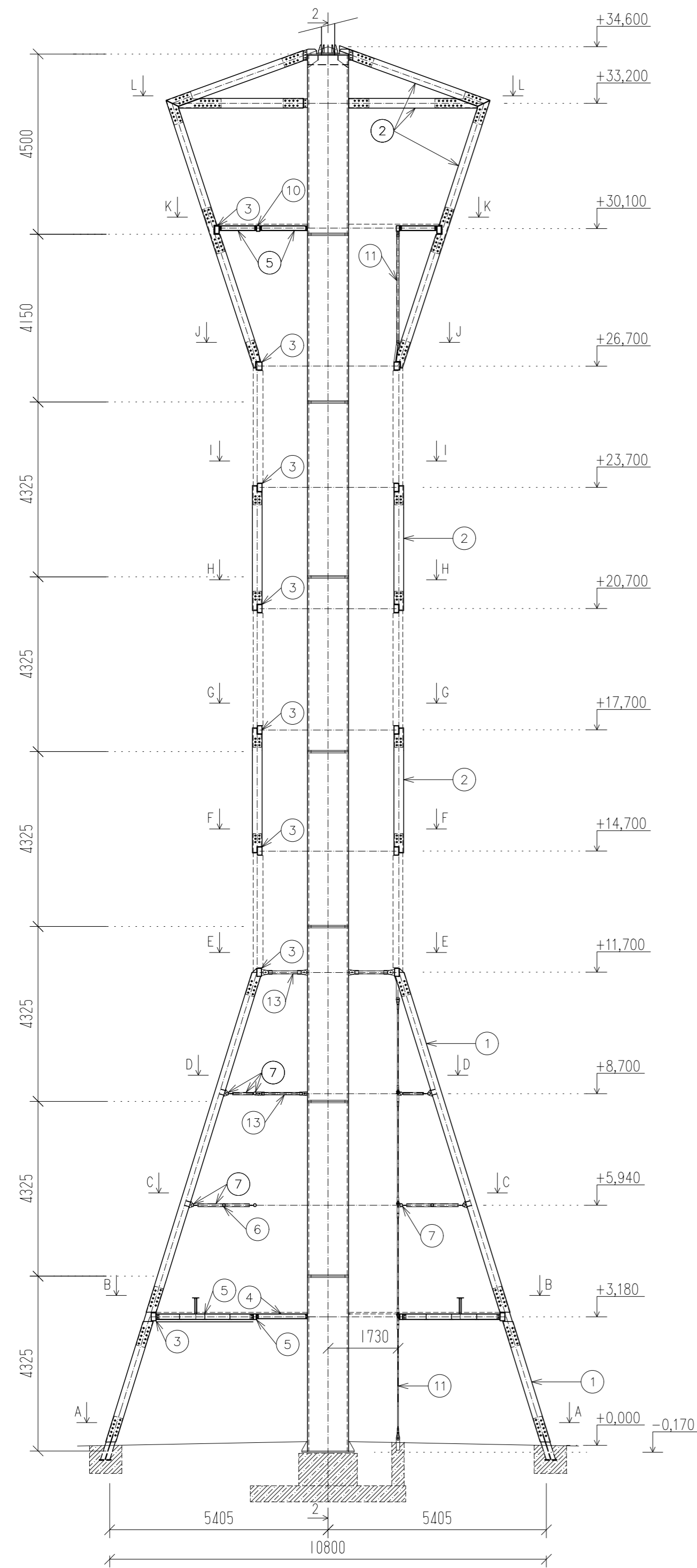
LEGENDA MATERIÁLŮ:

DŘEVO:	C22
OCEL:	S235
- PROFILY:	4, 5, 6, 7, 8, 9, PLECHY SPOJŮ S355
- PROFILY:	3, 10, 13, PLECHY SPOJŮ S460
- PROFILY:	11, 12
SVORNÍKY:	8.8
ŠROUBY:	8.8

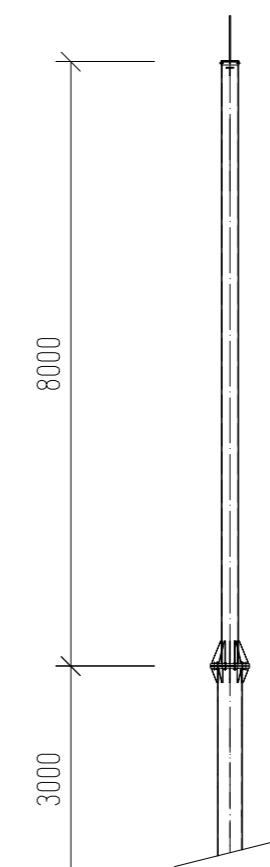
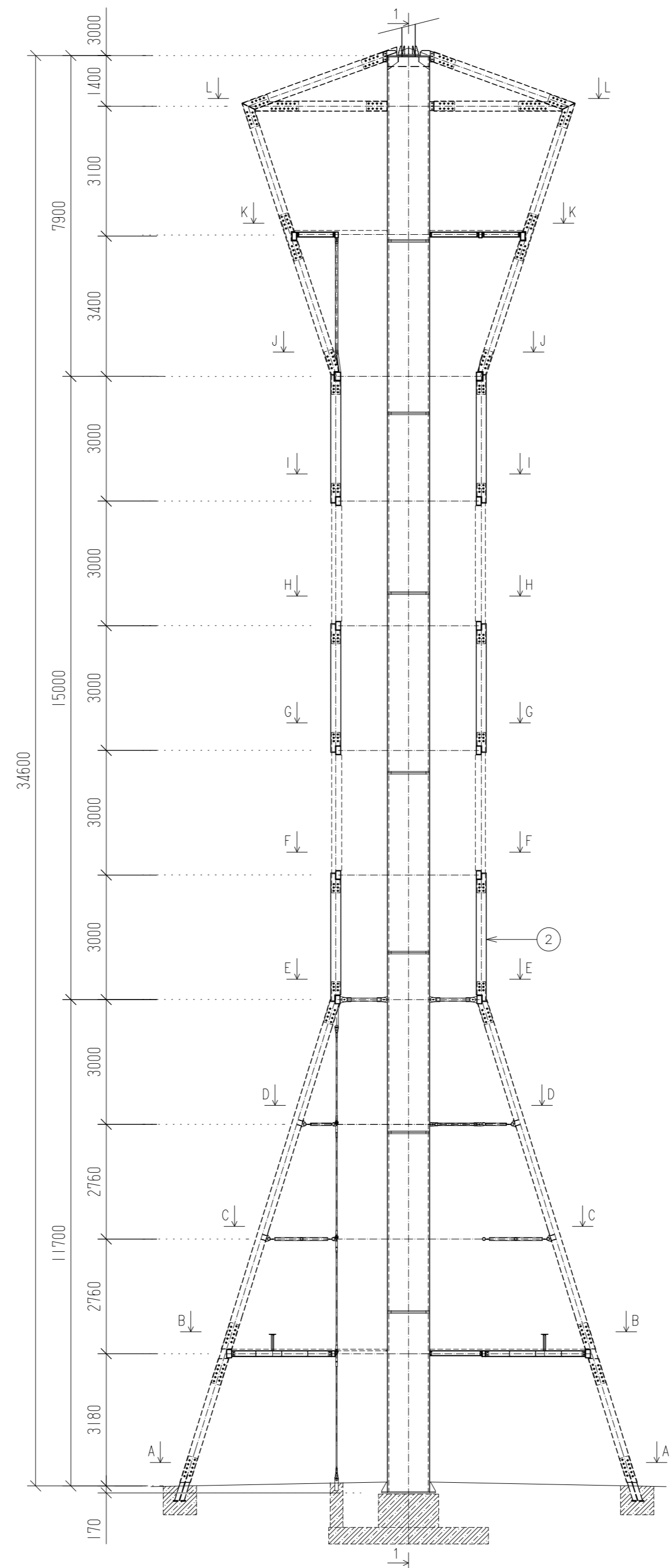
+0,000=532,000m.n.m. VÝŠKOVÝ SYSTÉM BpV

ZPRACOVAL: Bc. Jan Pecina	KONZULTANT Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.	ŠKOLNÍ ROK: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
PŘEDMĚT: DIPLOMOVÁ PRÁCE			DATUM: 3/1/2017
ÚLOHA: ROZHLEDNA ŠPULKA - HORIZONTÁLNÍ ŘEZY			MĚŘITKO: 1:100
			ČÍSLO VÝKR. 1

VERTIKÁLNÍ ŘEZ 1 - 1



VERTIKÁLNÍ ŘEZ 2 - 2



PROFILY:

- 1	- 200x240 mm	C22
- 2	- 160x240 mm	C22
- 3	- TO 200/120/12/12	S355
- 4	- IPE 120	S235
- 5	- IPE 140	S235
- 6	- TR 35/3,2	S235
- 7	- TR 51/3,2	S235
- 8	- TR 323,9/10	S235
- 9	- TR 219,1/8	S235
- 10	- TO 140/80/12/12	S355
- 11	- RD 42	S460
- 12	- RD 15	S460
- 13	- TR 76,1/5	S355

POZNÁMKY:

- POVRCHOVÁ ÚPRAVA DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE: TLAKOVÁ IMPREGNACE
- TŘÍDA PROVOZU: 2
- POVRCHOVÁ ÚPRAVA OCELOVÉ KONSTRUKCE: ŽÁROVÉ ZINKOVÁNÍ
- PŘED PROVEDENÍM NUTNÉ OTRYSKÁNÍ
- STUPEŇ KOROZNÍ OCHRANY: C3
- TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC3 DLE ČSN EN 1090-2
- STUPEŇ JAKOSTI SVARŮ B, RESP. C DLE ČSN EN 25 817

LEGENDA MATERIÁLŮ:

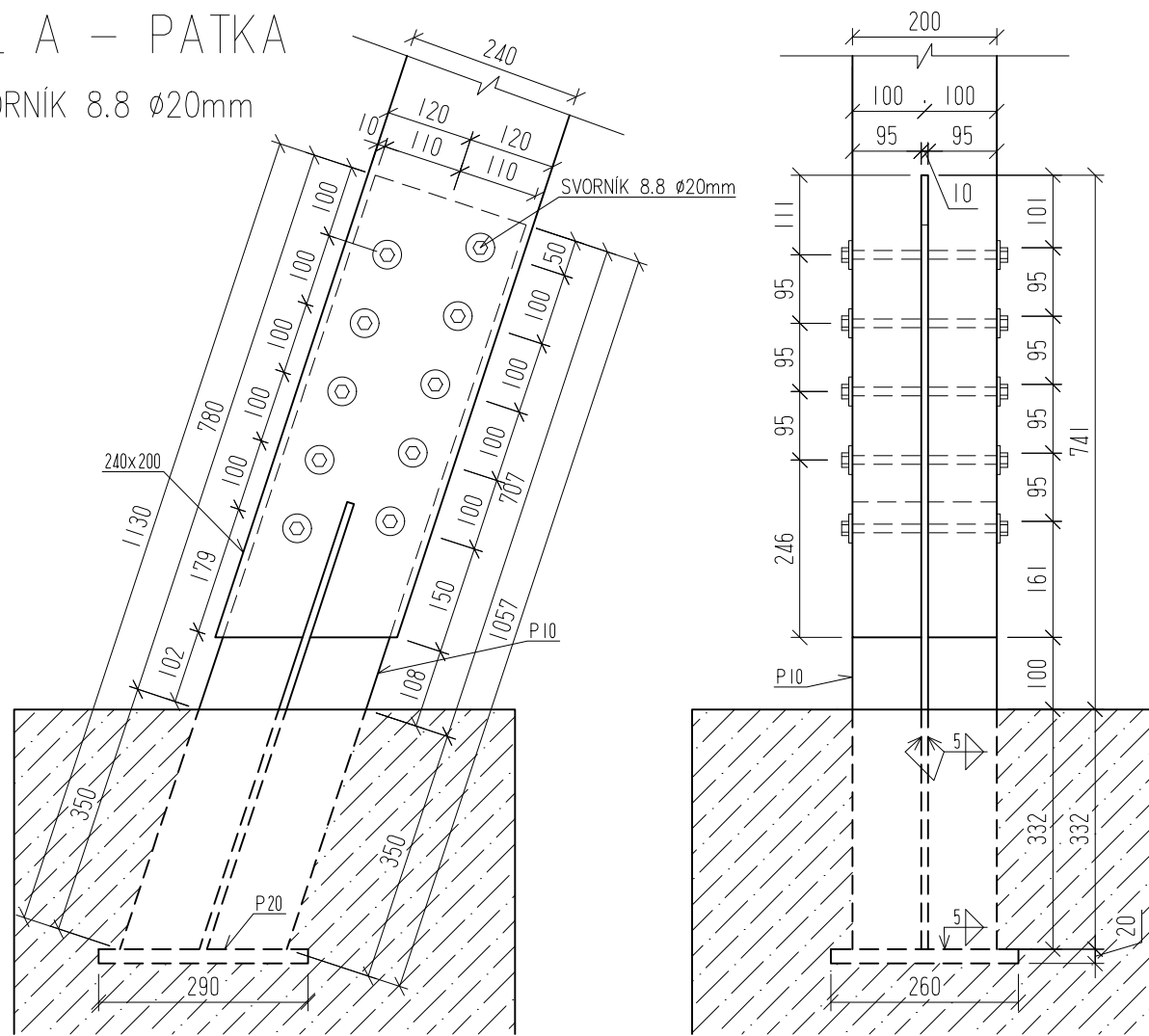
DŘEVO:	C22
OCEL:	S235
	- PROFILY: 4, 5, 6, 7, 8, 9, PLECHY SPOJŮ
	S355
	- PROFILY: 3, 10, 13, PLECHY SPOJŮ
	S460
	- PROFILY: 11, 12
SVORNÍKY:	8.8
ŠROUBY:	8.8

+0,000=532,000m.n.m. VÝŠKOVÝ SYSTÉM BpV

ZPRACOVAL: Bc. Jan Pecina	KONZULTANT Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.	ŠKOLNÍ ROK: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
PŘEDMĚT: DIPLOMOVÁ PRÁCE			DATUM: 3/1/2017
ÚLOHA: ROZHLEDNA ŠPULKA - VERTIKÁLNÍ ŘEZY			MĚŘÍTKO: 1:100
			ČÍSLO VÝKR. 2

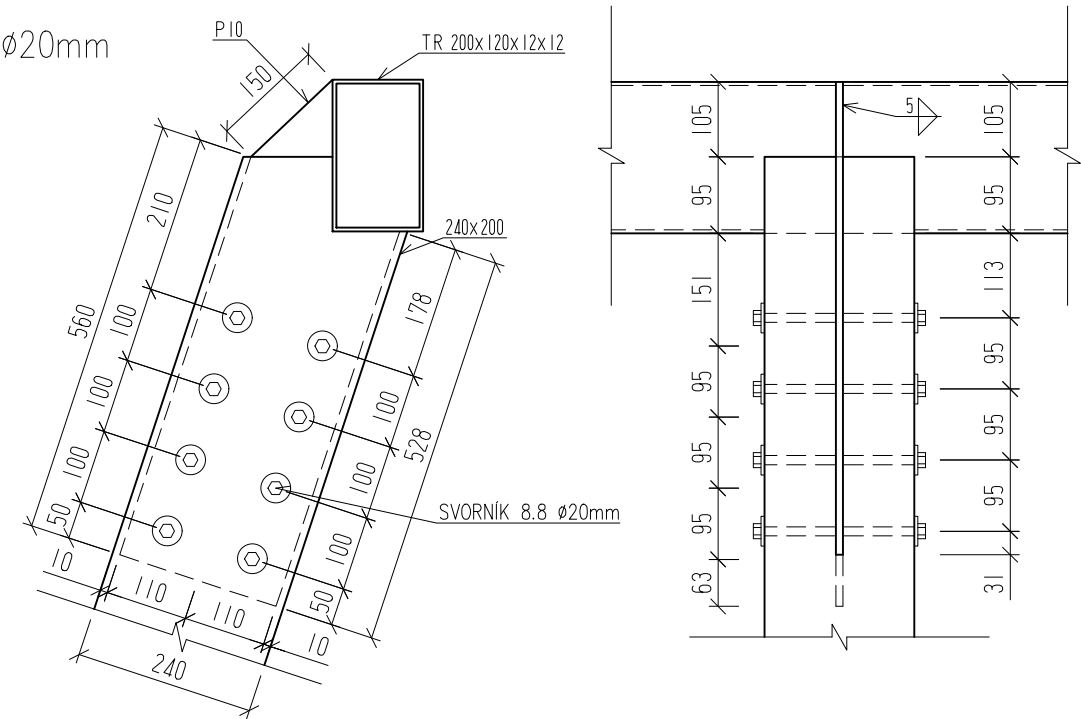
DETAIL A – PATKA

10 x SVORNÍK 8.8 ϕ 20mm



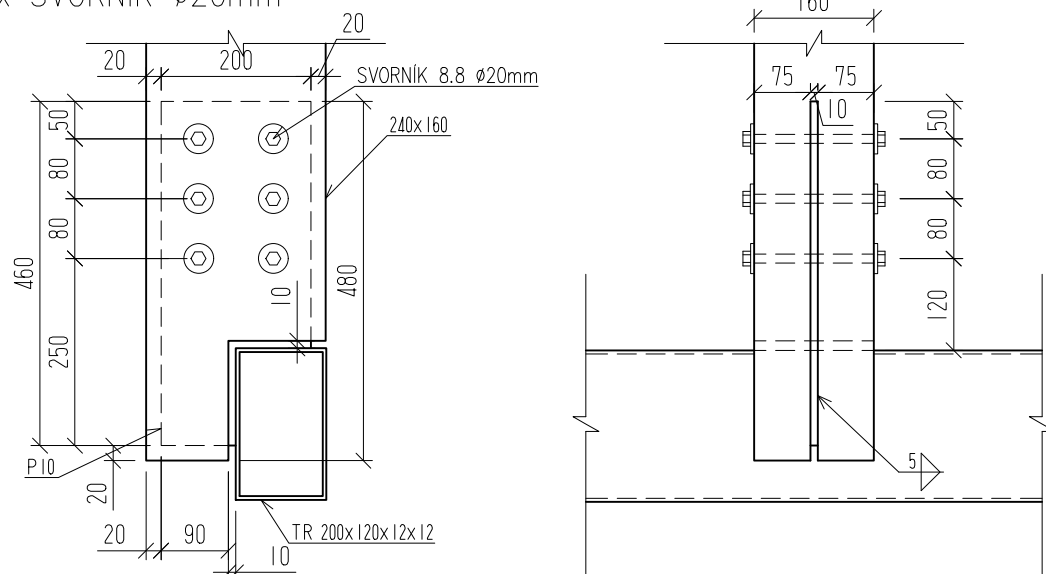
DETAIL E – NAPOJENÍ NÁROŽNÍKU

8 x SVORNÍK ϕ 20mm



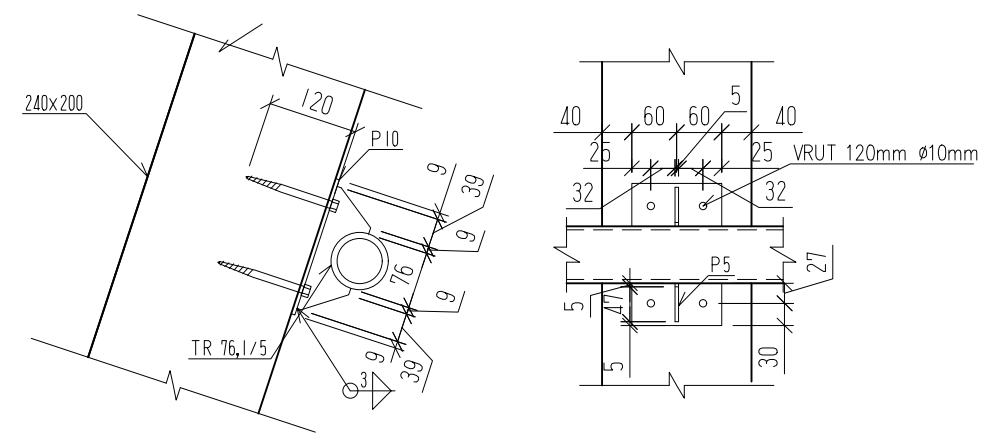
DETAIL F – NAPOJENÍ NÁROŽNÍKU

6 x SVORNÍK ϕ 20mm



DETAIL D – NAPOJENÍ ZTUŽUJÍCÍHO PRSTENCE

4 x VRUT ϕ 10mm



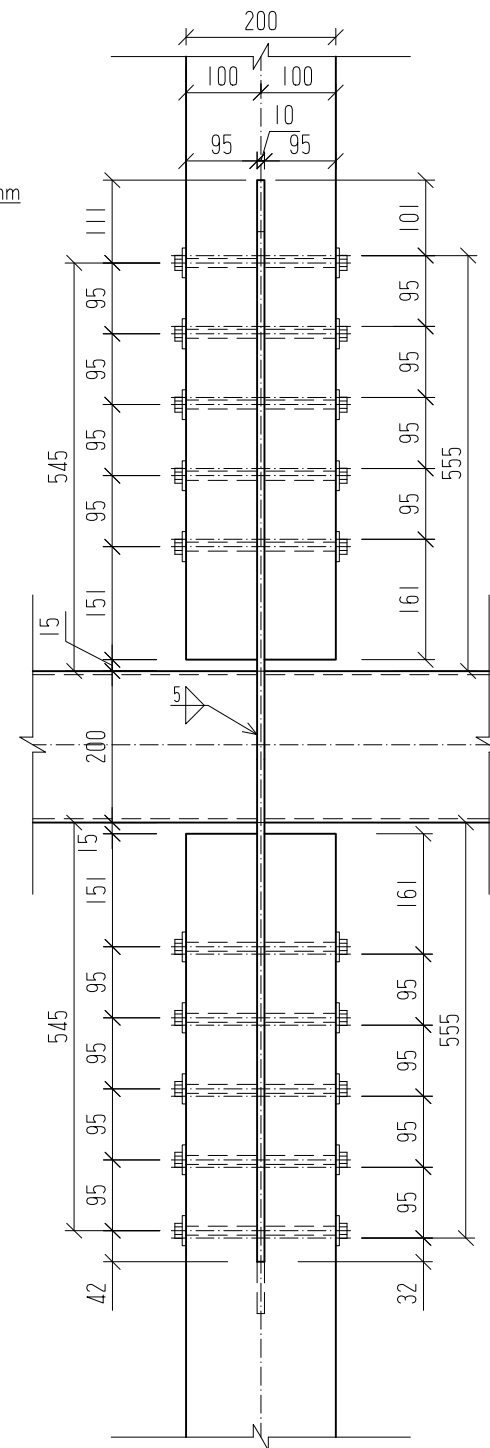
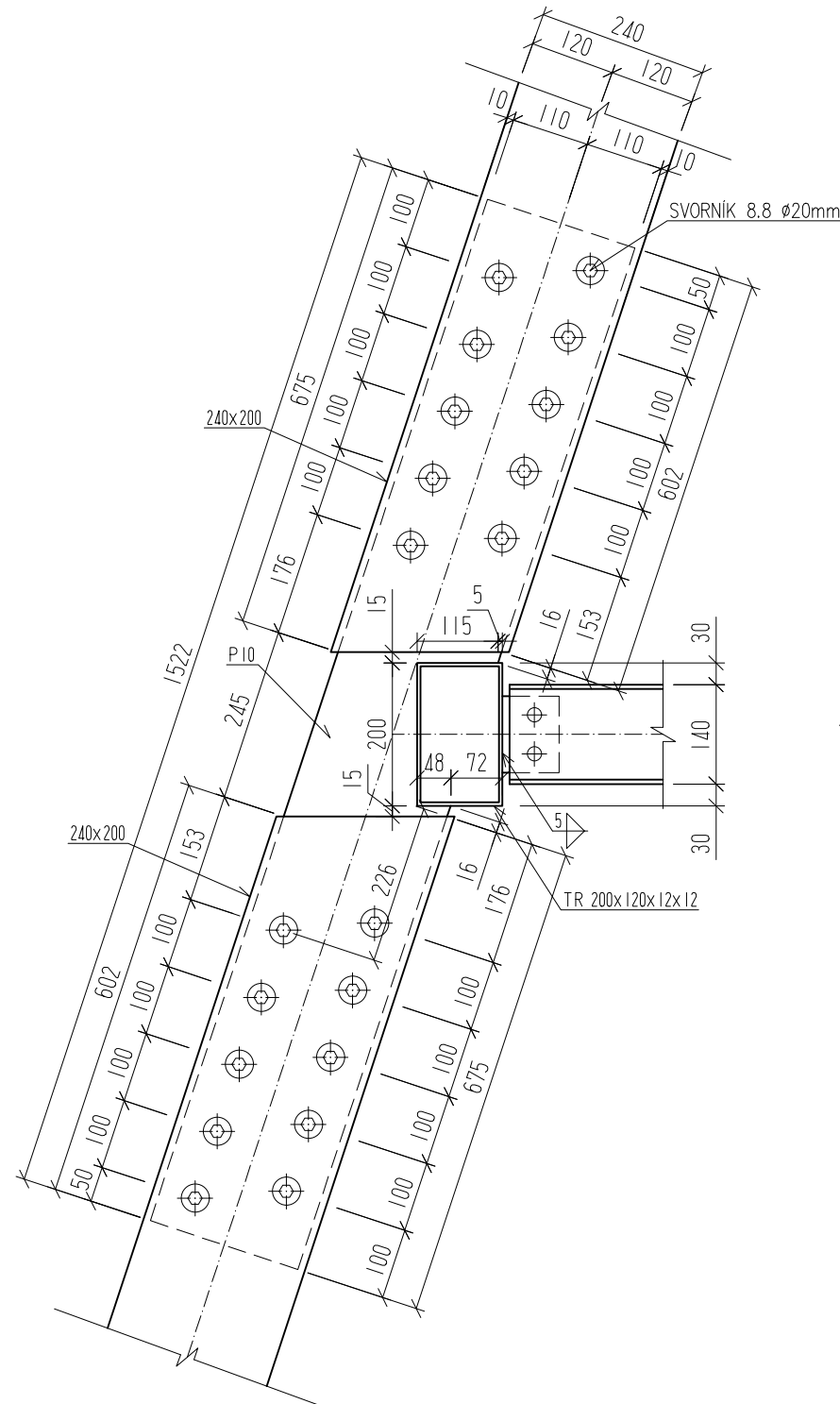
DŘEVO: C22
 OCEL: S355
 SVORNÍKY 8.8

+0,000=532,000m.n.m. VÝŠKOVÝ SYSTÉM BpV

ZPRACOVAL: Bc. Jan Pecina	KONZULTANT Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.	ŠKOLNÍ ROK: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
PŘEDMĚT: DIPLOMOVÁ PRÁCE			DATUM: 3/1/2017
ÚLOHA: ROZHLEDNA ŠPULKA - DETAILS A, D, E, F			MĚŘÍTKO: 1:10
			ČÍSLO VÝKR. 3

DETAIL B – NÁROŽNÍK VE VÝŠI PRVNÍ VYHLÍDKOVÉ PLOŠINY

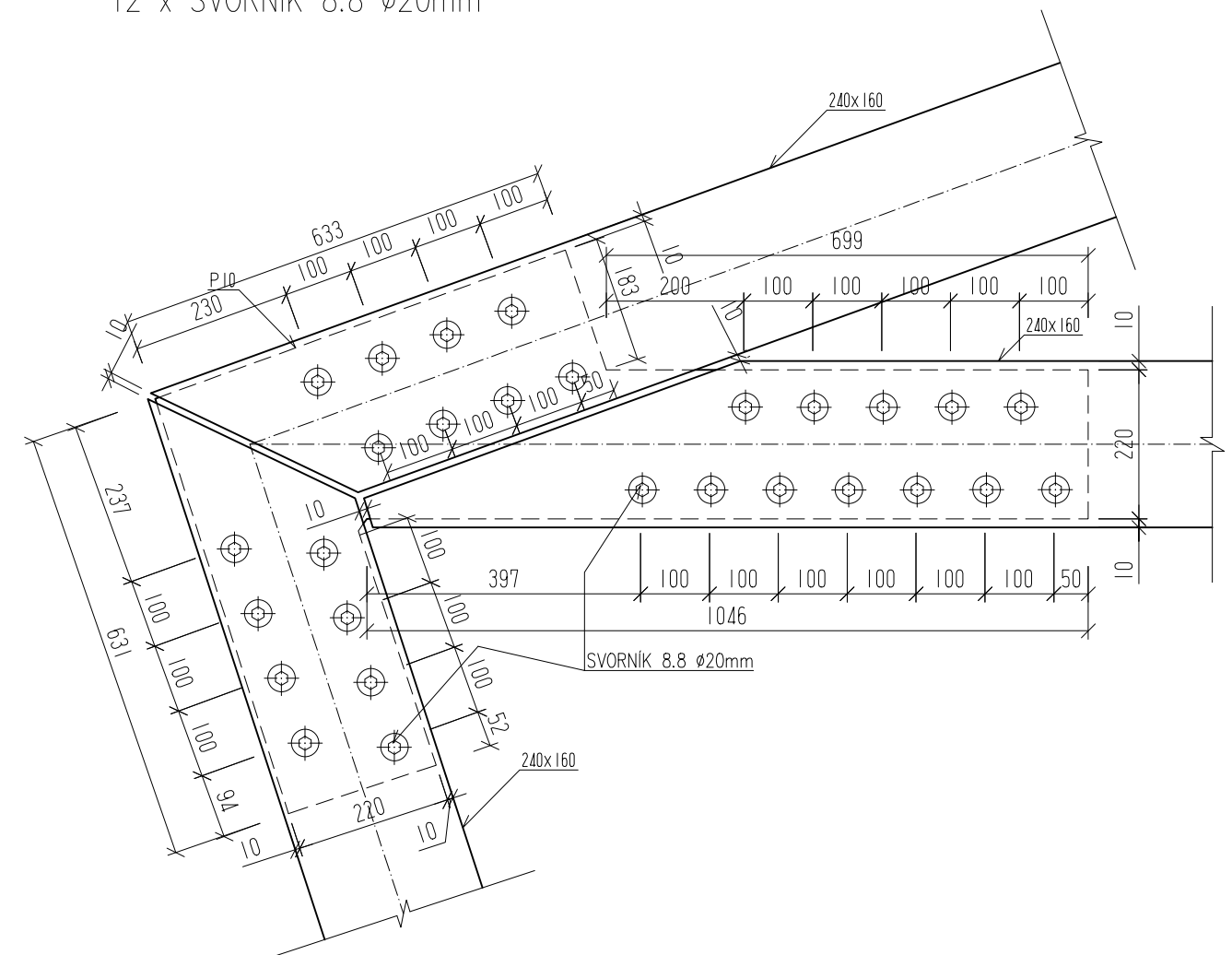
2 x 10 x SVORNÍK 8.8 Ø20mm



DETAIL C – ROH STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

2 x 8 x SVORNÍK 8.8 Ø20mm

12 x SVORNÍK 8.8 Ø20mm



DŘEVO: C22

OCEL: S355

SVORNÍKY 8.8

+0,000=532,000m.n.m. VÝŠKOVÝ SYSTÉM BpV

ZPRACOVAL: Bc. Jan Pecina	KONZULTANT Ing. Lukáš Blesák, Ph.D.	ŠKOLNÍ ROK: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
PŘEDMĚT: DIPLOMOVÁ PRÁCE			DATUM: 3/1/2017
ÚLOHA: ROZHLEDNA ŠPULKA - DETAILS B, C			MĚŘÍTKO: 1:10
			ČÍSLO VÝKR. 4