

Zatížení:

Vlastní tíha a ostatní stálé zatížení: [ZS1]

Pvc-P fólie: $1,85 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 0,019 \text{ kN/m}^2$

Skleněné rouno: $120 \text{ g/m}^2 \rightarrow 0,001 \text{ kN/m}^2$

Tep. izolace (300 mm): $1,65 \text{ kN/m}^3 \rightarrow 1,65 \cdot 0,3 = 0,495 \text{ kN/m}^2$

Hydroizolace: $3,5 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 0,035 \text{ kN/m}^2$

Skořepina (150 mm): $25 \text{ kN/m}^3 \rightarrow 25 \cdot 0,15 = 3,750 \text{ kN/m}^2$

Omítka (10 mm): $18 \text{ kN/m}^3 \rightarrow 18 \cdot 0,01 = 0,180 \text{ kN/m}^2$

$\Sigma g_k = 4,480 \text{ kN/m}^2$

- Přepočet na tloušťku konstrukce:

$$t = \Sigma g_k / \gamma_c = 4,480 / 25 = 0,1792 \text{ mm}$$

Užitné zatížení: [ZS2 – ZS6]

Kategorie zatěžovaných ploch: H (střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav)

$q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Zatížení q_k působí na ploše A. Doporučená hodnota je 10 m^2 .

$A = 10 \text{ m}^2 \rightarrow a = \sqrt{10} = 3,16 \text{ m}$

Zatížení bude modelováno jako volné zatížení na předem zvolených místech skořepiny.

Zatížení sněhem: [ZS7 – ZS22]

Navrhovaný objekt se nachází v intravilánu města Brno. Pro tuto lokalitu je stanovena sněhová oblast II.

$s_k = 1,0 \text{ kPa}$

$C_e = 1,0 \rightarrow \text{normální typ krajiny}$

$C_t = 1,0$

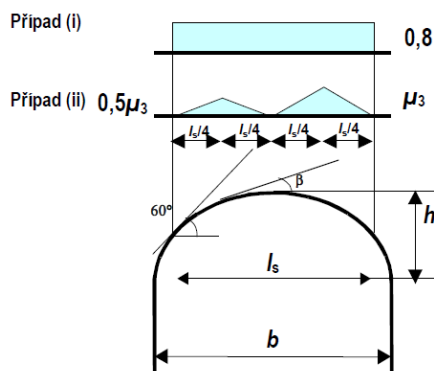
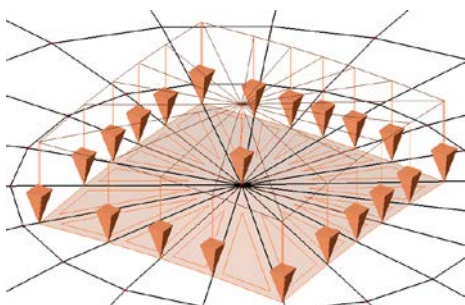
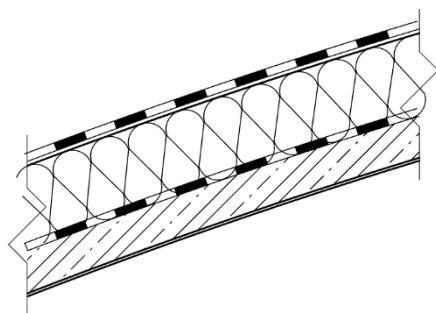
$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kPa}$

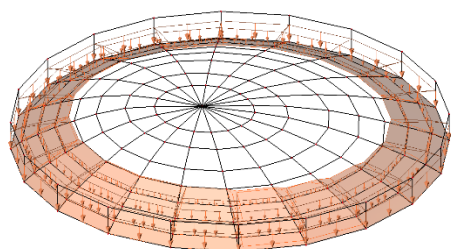
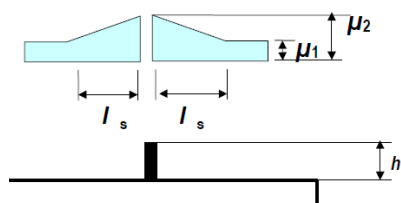
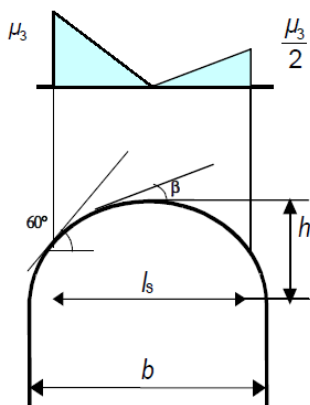
Případ 1: sníh plný [ZS7 – ZS11]

Případ 2: trojúhelníkové zatížení [ZS12 – ZS14]

$\mu_3 = 2,0 \rightarrow \text{doporučená horní hodnota}$

$s_{\mu_3} = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ kPa}$





$$s_{0,5\mu_3} = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ kPa}$$

Případ 3: trojúhelníkové zatížení pro obloukové střechy dle národní přílohy [ZS15 – ZS17]

Případ 4: návěje [ZS18 – ZS22]

objem. tíha sněhu $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$

$$\mu_2 = \gamma \cdot h / s_k = 2,0 \cdot 1,5 / 1,0 = 3,0 \rightarrow \text{omezeno na } \mu_2 = 2,0$$

$$s_{\mu_2} = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ kPa}$$

$$\text{Pouze trojúhelník: } s = s_{\mu_2} - s_{\mu_1} = 2,0 - 0,8 = 1,2 \text{ kPa}$$

$$l_s = 2h = 2 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ m}$$

Zatížení návějemi bude modelováno jako volné zatížení v samostatných zatěžovacích stavech

Zatížení větrem: [ZS23 – ZS26]

Pro lokalitu navrhované stavby je stanovena větrná oblast II.

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Základní rychlost větru:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel drsnosti terénu:

$$z = 23,6 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

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

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{23,6}{0,3} \right) = 0,938$$

Součinitel orografie:

$$c_0(z) = 1,0$$

Charakteristická střední rychlost větru:

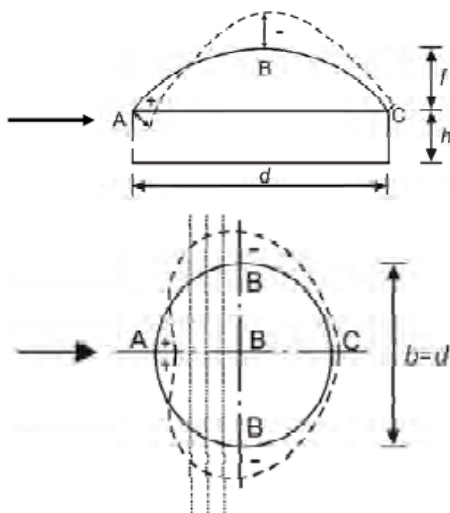
$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,938 \cdot 1,0 \cdot 25 = 23,450 \text{ m/s}$$

Maximální dynamický tlak:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(23,6/0,3)} = 0,229$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) =$$

$$= [1 + 7 \cdot 0,229] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 23,450^2 = 894 \text{ N/m}^2$$



Součinitelé tlaků:

$$h/d = 18,7/22,7 = 0,823$$

$$f/d = 3,3/22,7 = 0,145$$

$$A: c_{pe,10} = -1,523$$

$$B: c_{pe,10} = -0,900$$

$$C: c_{pe,10} = -0,500$$

Tlak větru:

$$A: w_e = c_{pe,10} \cdot q_p(z) = -1,523 \cdot 894 = -1\,361,160 \text{ N/m}^2$$

$$B: w_e = c_{pe,10} \cdot q_p(z) = -0,900 \cdot 894 = -804,600 \text{ N/m}^2$$

$$C: w_e = c_{pe,10} \cdot q_p(z) = -0,500 \cdot 894 = -447,000 \text{ N/m}^2$$

Ostatní stálé zatížení – Atika: [ZS27]

Tepelná izolace: $1,5 \text{ kN/m}^3$

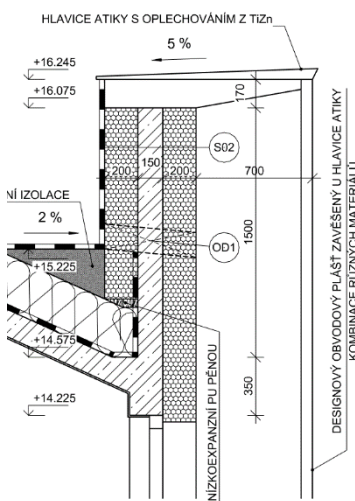
$$g_k = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

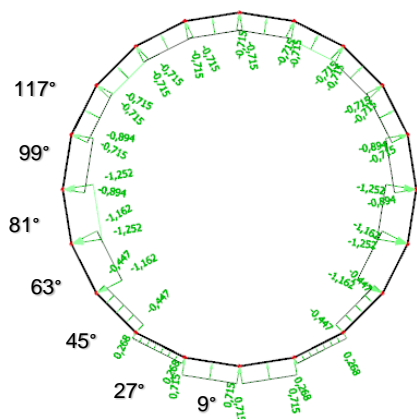
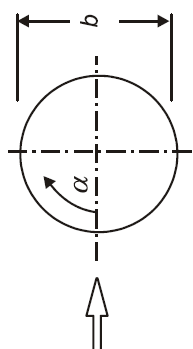
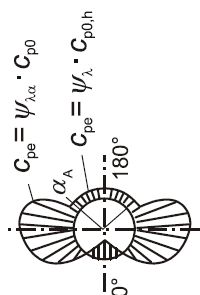
Omítka, lepidlo: 18 kN/m^3

$$g_k = 0,008 \cdot 18 = 0,144 \text{ kN/m}^2$$

Ostatní stálé zatížení celkem:

$$g_k = 0,744 \text{ kN/m}^2$$





Zatížení větrem na atiku: [ZS28 – ZS31]

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,938 \cdot 1,0 \cdot 25 = 23,450 \text{ m/s}$$

Průměr:

$$b = 22,960 \text{ m}$$

Reynoldsovo číslo:

$$R_e = \frac{b \cdot v_m(z)}{v} = \frac{22,96 \cdot 23,45}{15 \cdot 10^{-6}} = 35,89 \cdot 10^6 \rightarrow R_e = 10^7$$

$$\alpha_{min} = 75^\circ$$

$$c_{p0,min} = -1,5$$

$$\alpha_A = 105^\circ$$

$$c_{p0,h} = -0,8$$

Hodnoty zatížení na stěnách atiky budou vypočteny k úhlu alfa na kolmici ke stěně vzhledem ke směru zatížení. Jedná se o 20ti úhelník, zatížení bude vypočteno pro každých 18 stupňů.

Hodnoty Cpe budou odečteny z grafu.

$$c_{p0}(0^\circ) = 1$$

$$\psi_{\lambda\alpha}(0^\circ) = 1$$

$$c_{pe} = 1$$

$$q_p(z) = 894 \text{ N/m}^2$$

$$w_e(0^\circ) = 894 \text{ N/m}^2$$

$$c_{p0}(9^\circ) = 0,8$$

$$\psi_{\lambda\alpha}(9^\circ) = 1$$

$$c_{pe} = 0,8$$

$$w_e(9^\circ) = 0,8 \cdot 894 = 715,2 \text{ N/m}^2$$

$$c_{p0}(27^\circ) = 0,3$$

$$\psi_{\lambda\alpha}(27^\circ) = 1$$

$$c_{pe} = 0,3$$

$$w_e(27^\circ) = 0,3 \cdot 894 = 268,2 \text{ N/m}^2$$

$$c_{p0}(45^\circ) = -0,5$$

$$\psi_{\lambda\alpha}(45^\circ) = 1$$

$$c_{pe} = -0,5$$

$$w_e(45^\circ) = -0,5 \cdot 894 = -447 \text{ N/m}^2$$

$$c_{p0}(63^\circ) = -1,3$$

$$\psi_{\lambda\alpha}(63^\circ) = 1$$

$$c_{pe} = -1,3$$

$$w_e(63^\circ) = -1,3 \cdot 894 = -1162,2 \text{ N/m}^2$$

$$c_{p0}(81^\circ) = -1,4$$

$$\psi_{\lambda\alpha}(81^\circ) = 1$$

$$c_{pe} = -1,4$$

$$w_e(81^\circ) = -1,4 \cdot 894 = -1251,6 \text{ N/m}^2$$

$$c_{p0}(99^\circ) = -1$$

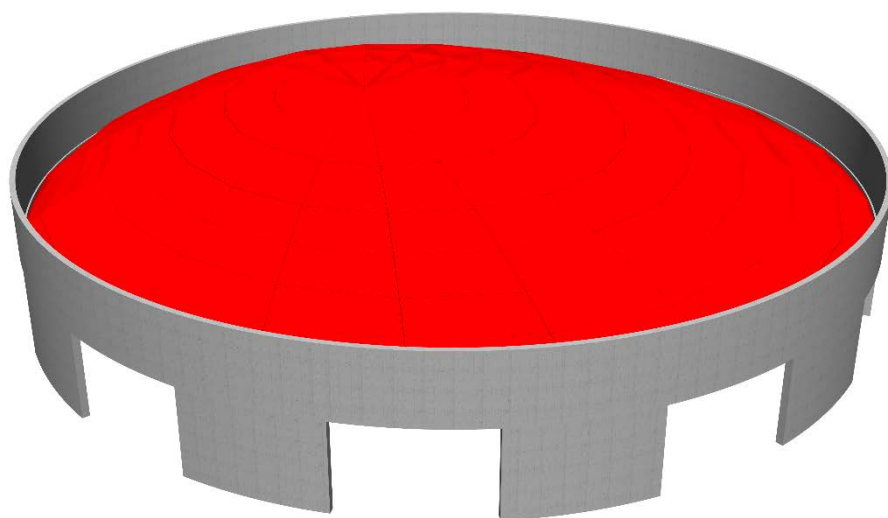
$$w_e(99^\circ) = 894 \text{ N/m}^2$$

$$c_{p0}(117^\circ) = -0,8$$

$$w_e(117^\circ) = -0,8 \cdot 894 = -715,2 \text{ N/m}^2$$

V dalších krocích je zatížení větrem lineární.

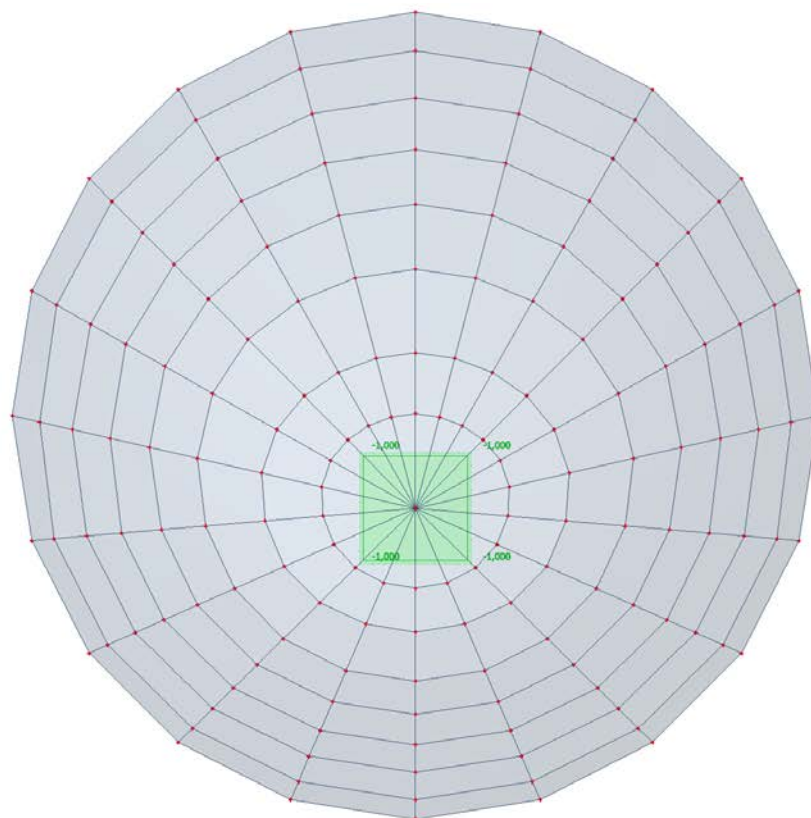
Skořepina



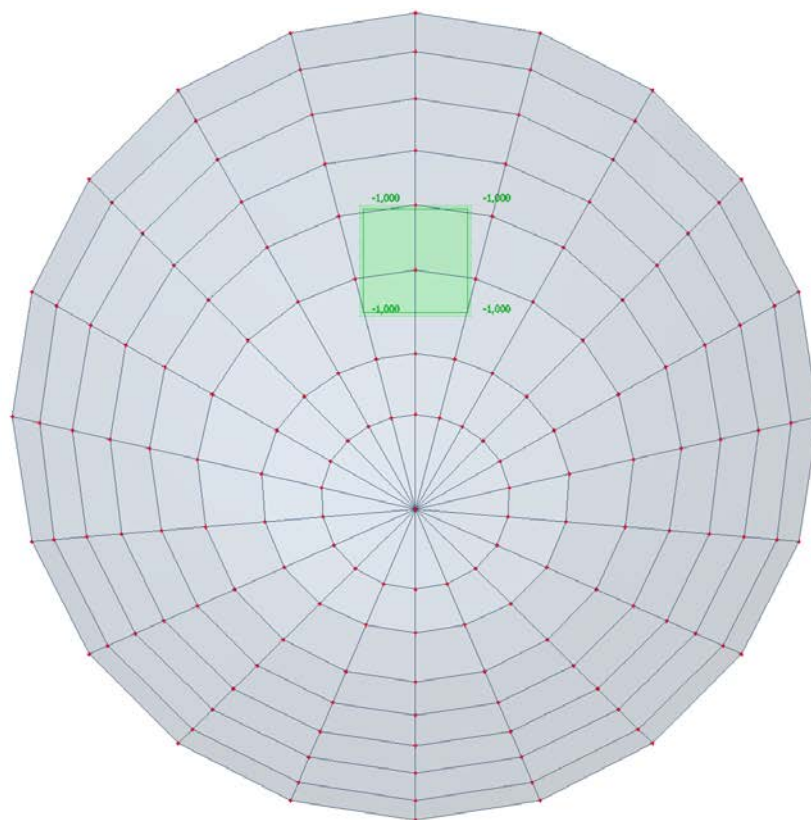
Skořepina

Zatěžovací stavy

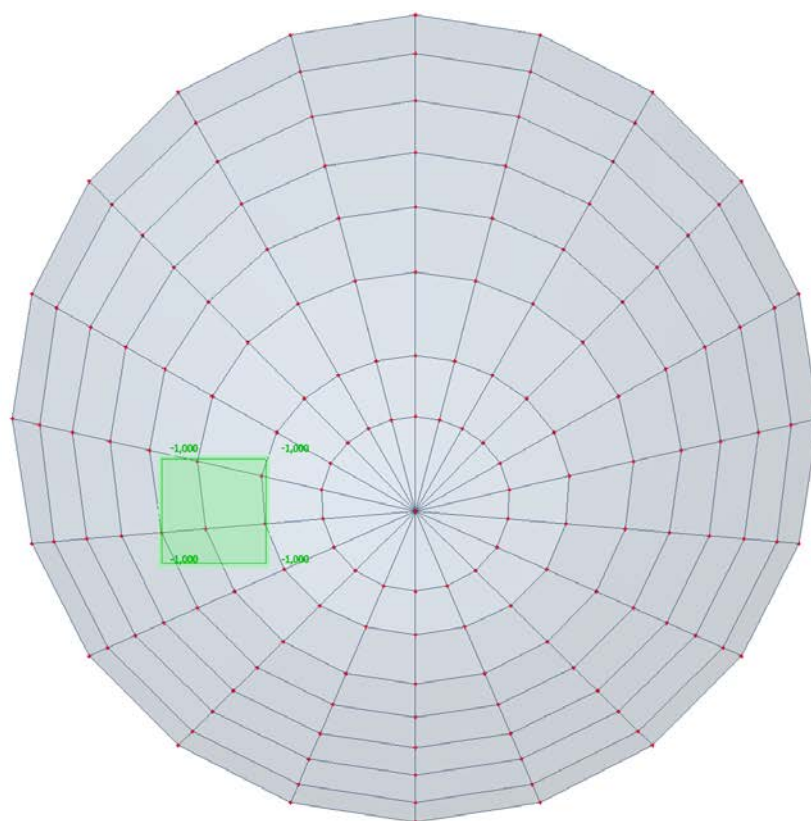
ZS2 – Užité zátížení I [kN/m²]



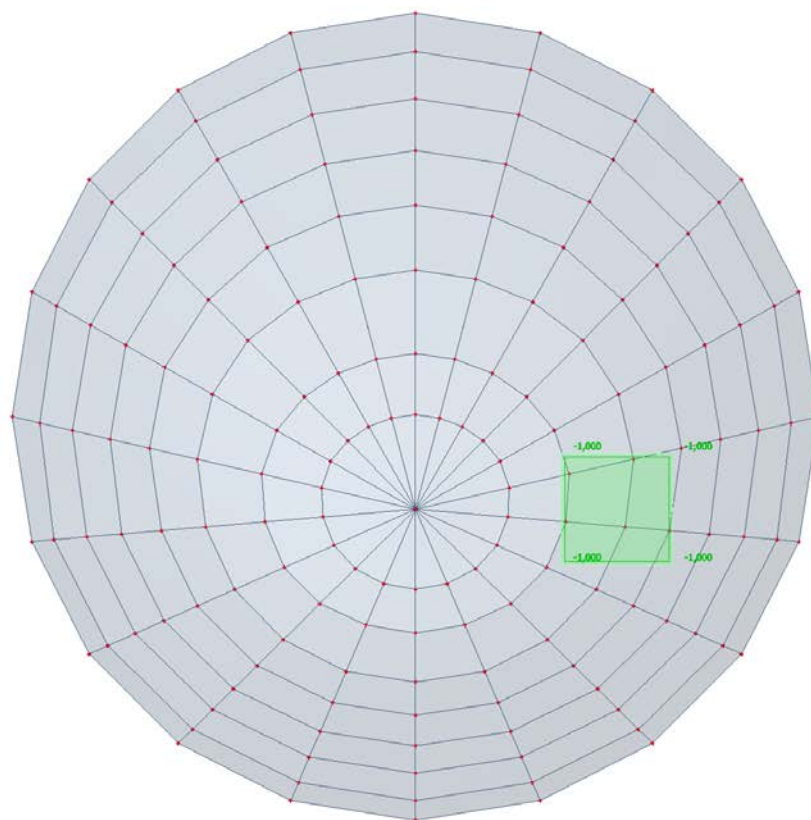
ZS3 – Užité zátížení II [kN/m²]



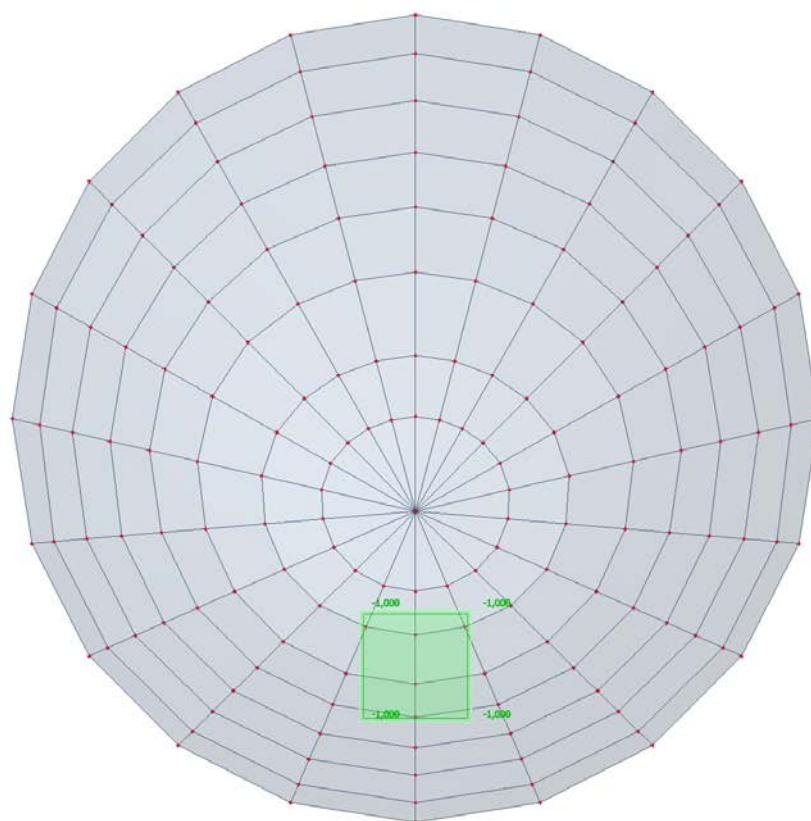
ZS4 – Užité zatížení III [kN/m²]



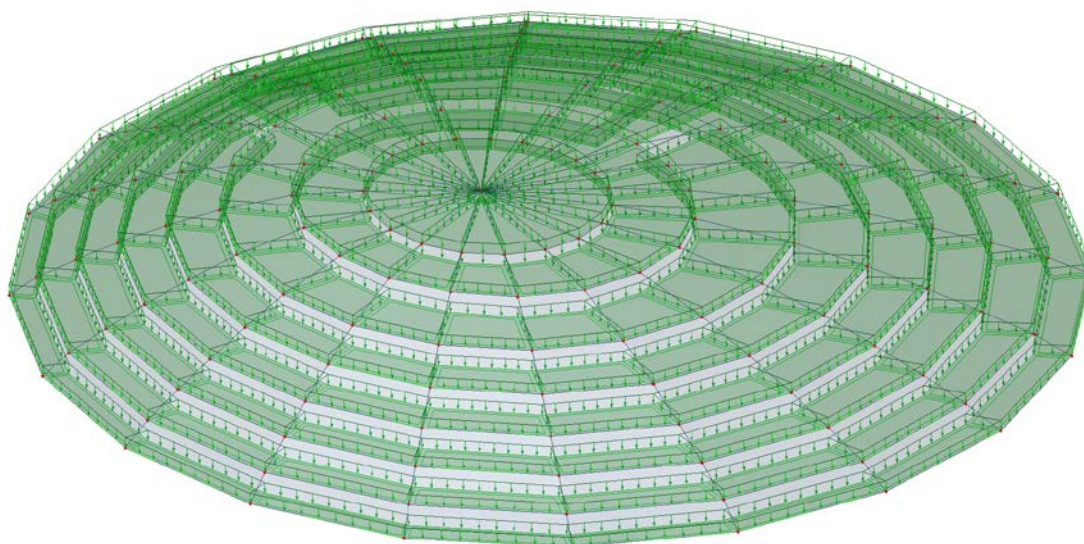
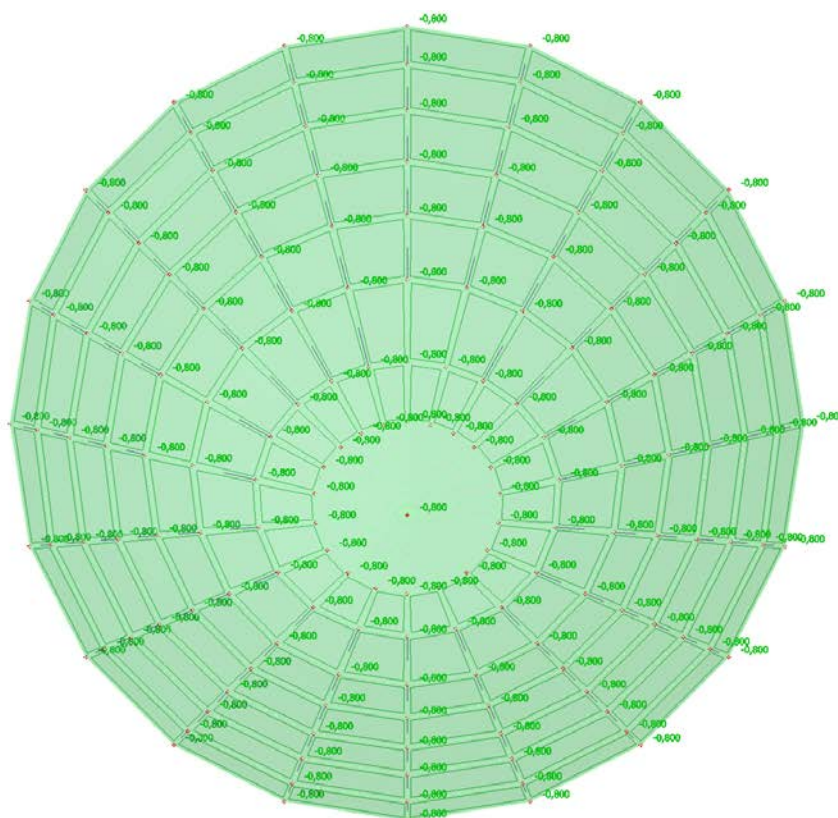
ZS5 – Užité zatížení IV [kN/m²]



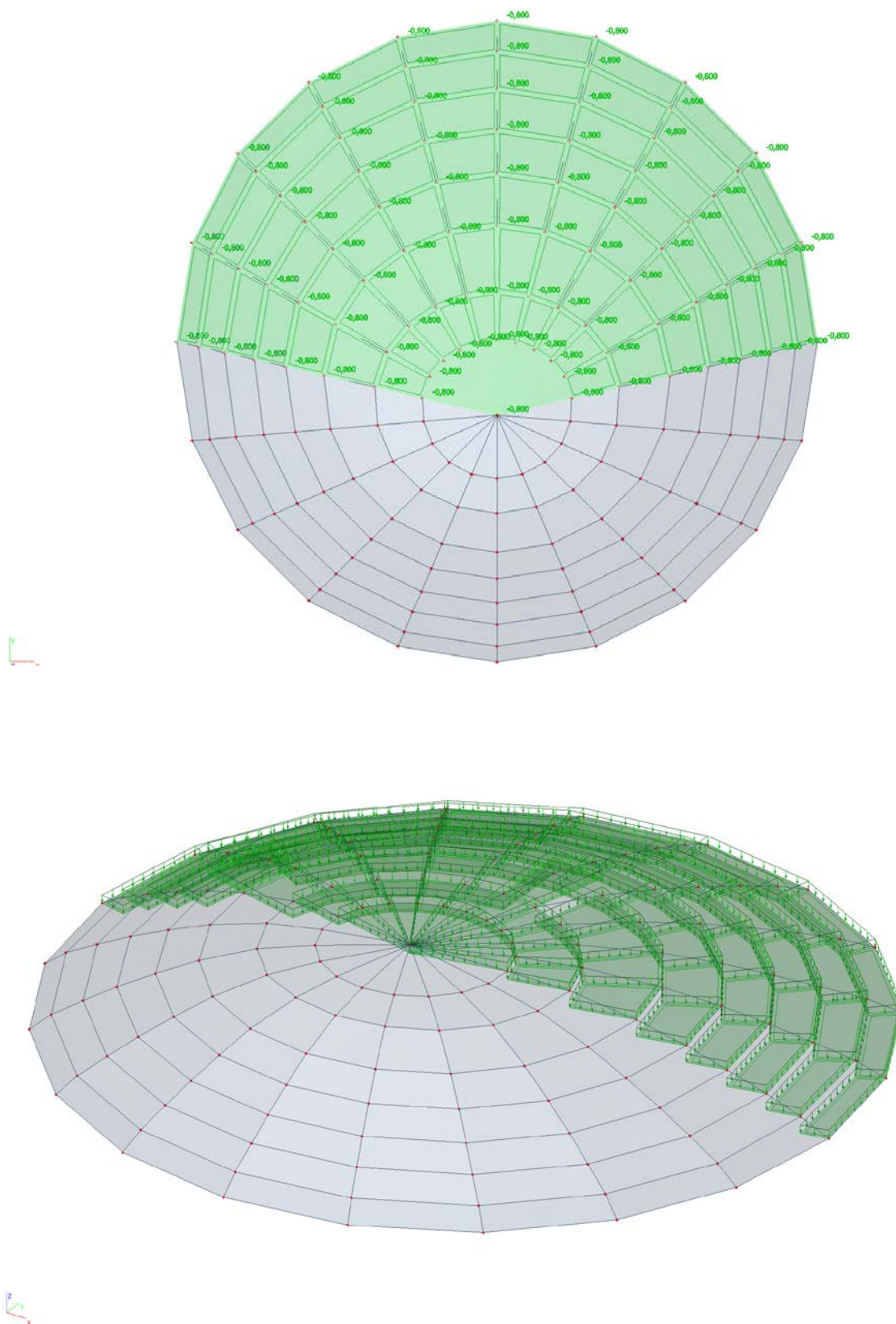
ZS6 – Užitné zatížení V [kN/m²]



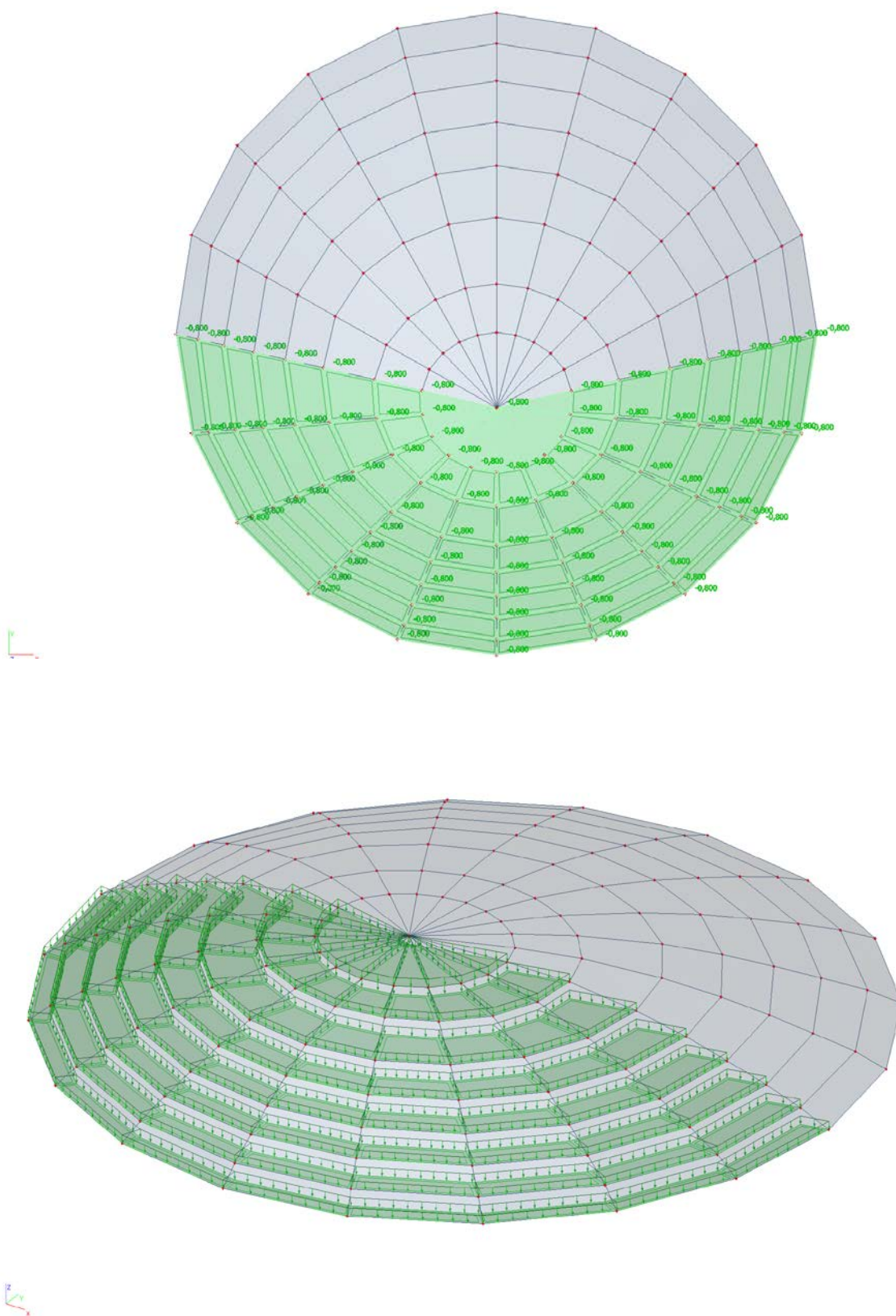
ZS7 – Zatížení sněhem I [kN/m²]



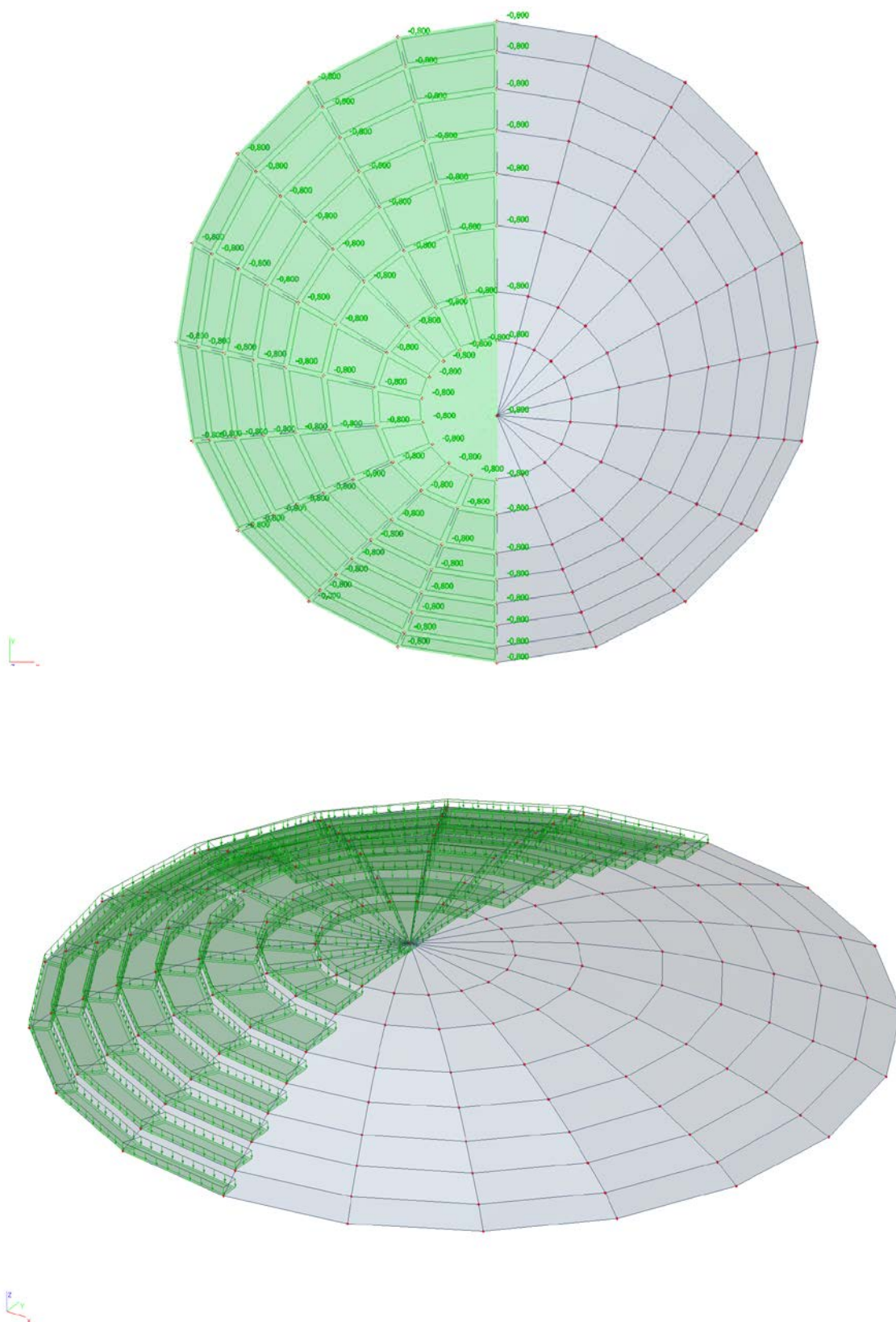
ZS8 – Zatížení sněhem II [kN/m²]



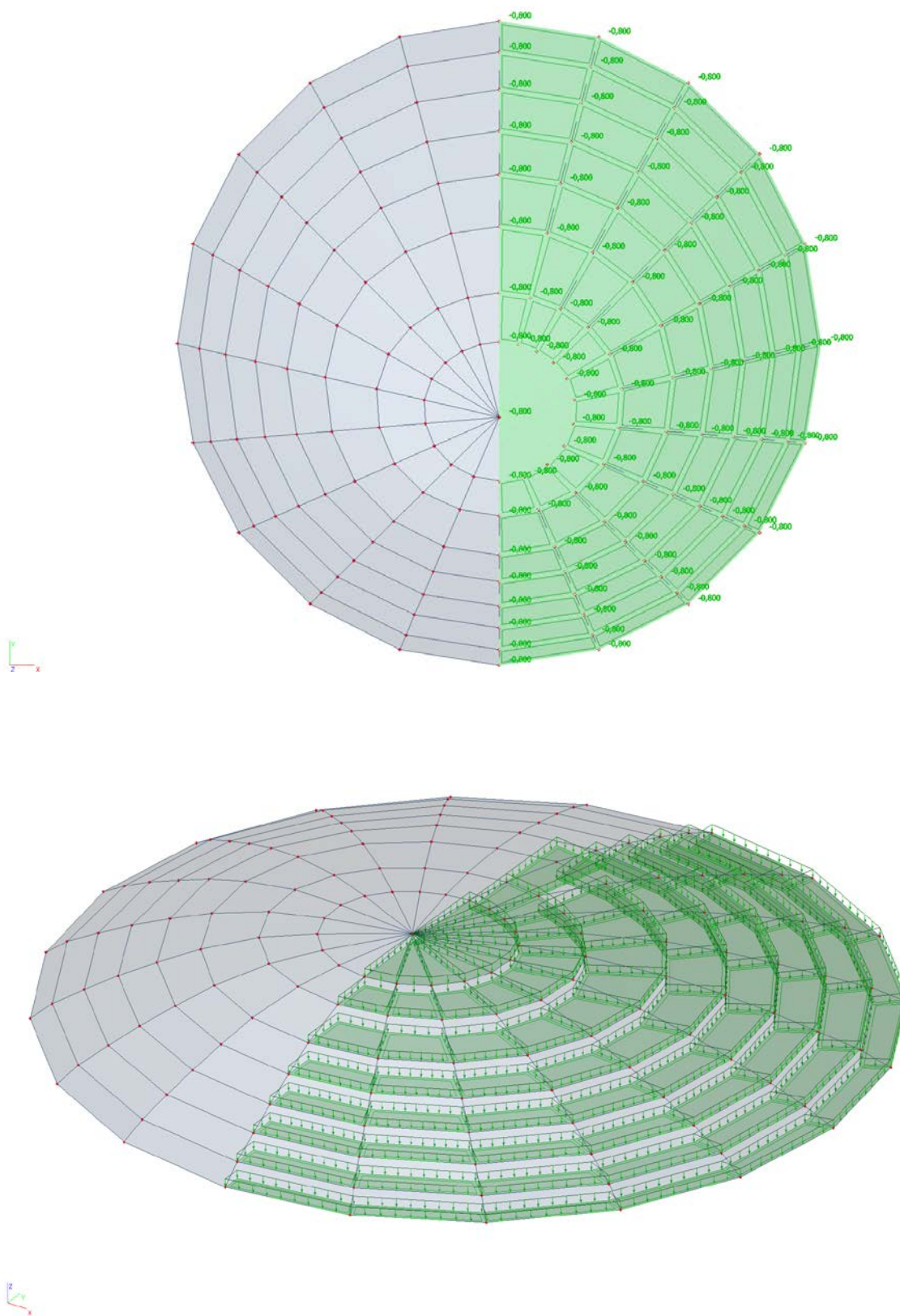
ZS9 – Zatížení sněhem III [kN/m²]



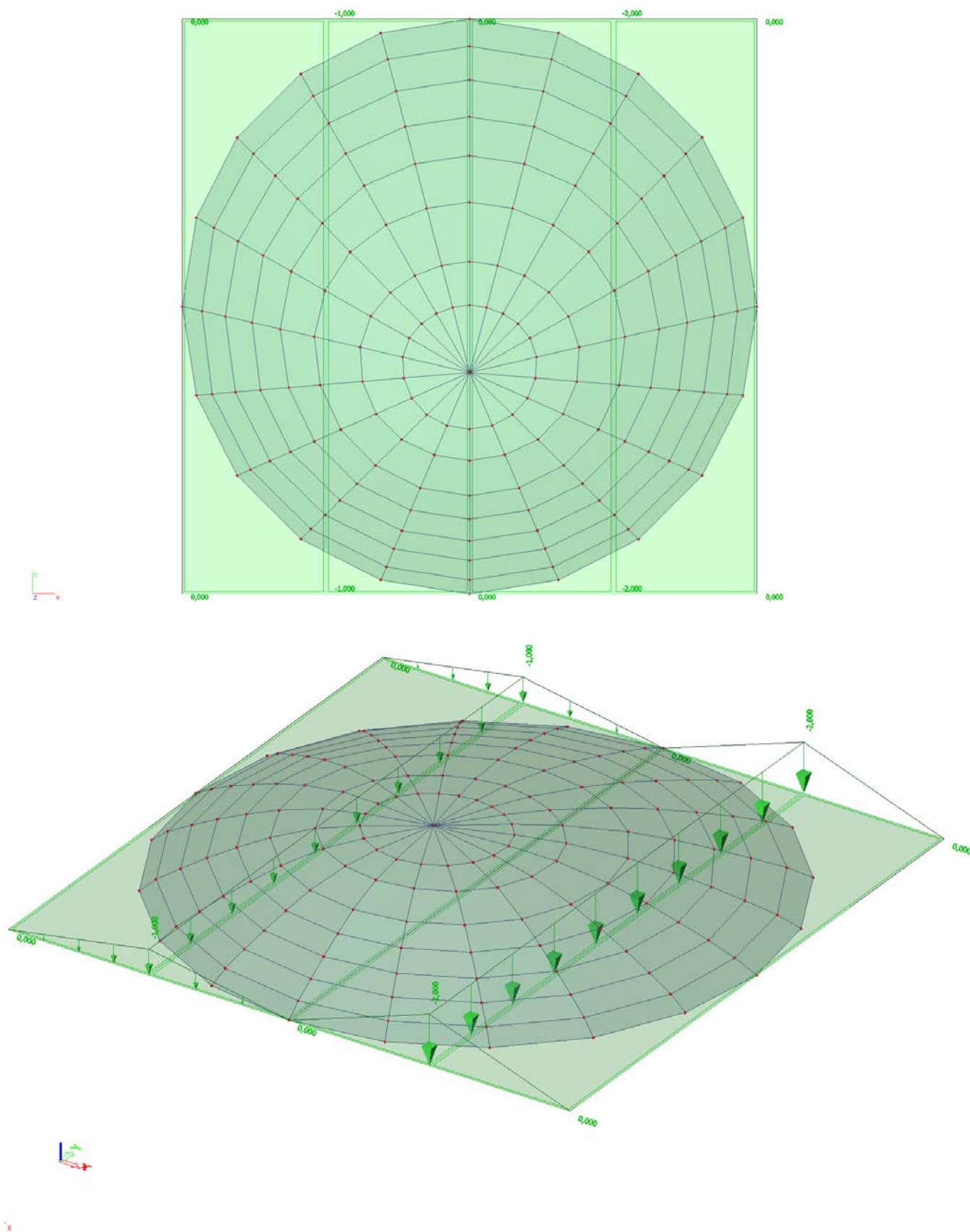
ZS10 – Zatížení sněhem IV [kN/m²]



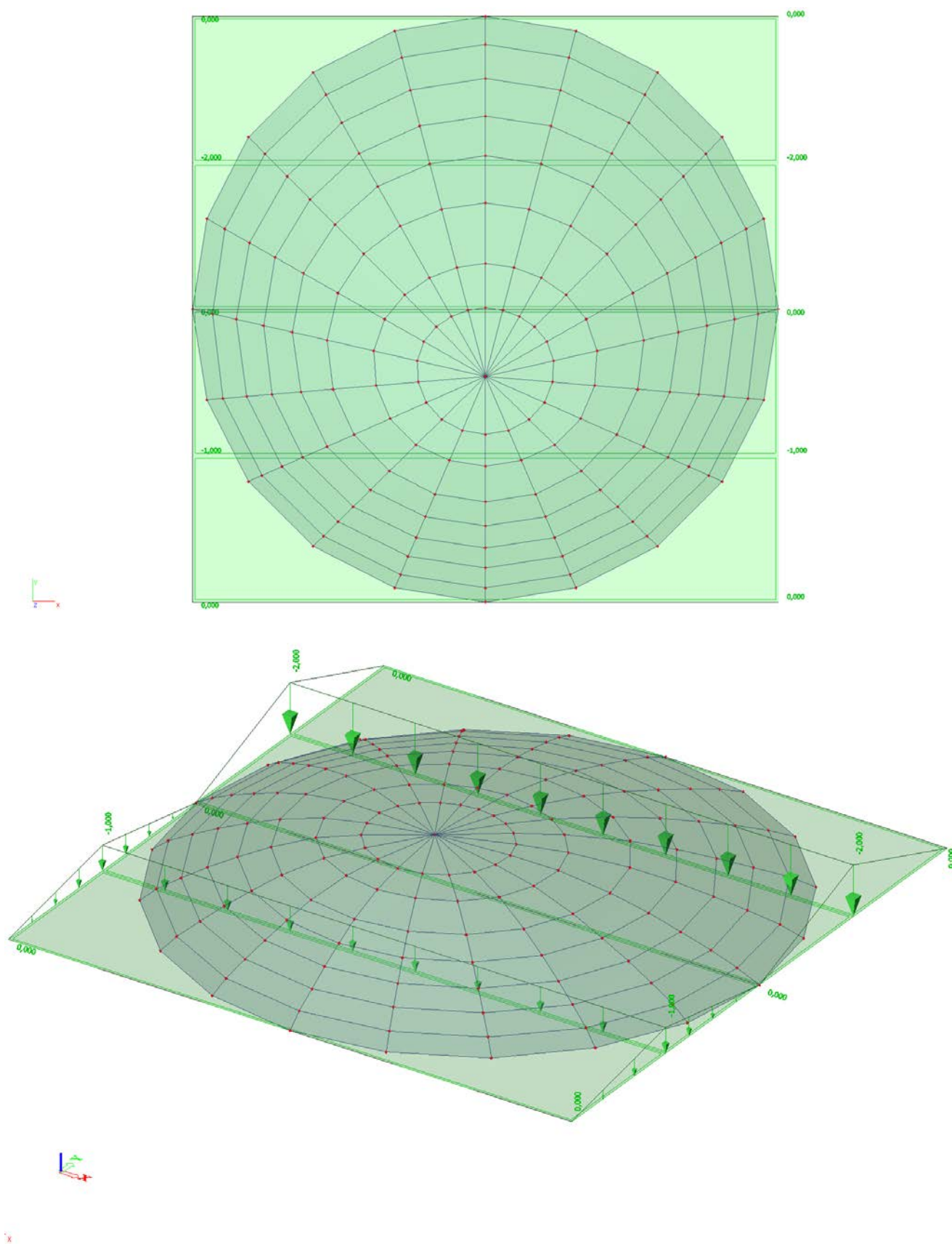
ZS11 – Zatížení sněhem V [kN/m²]



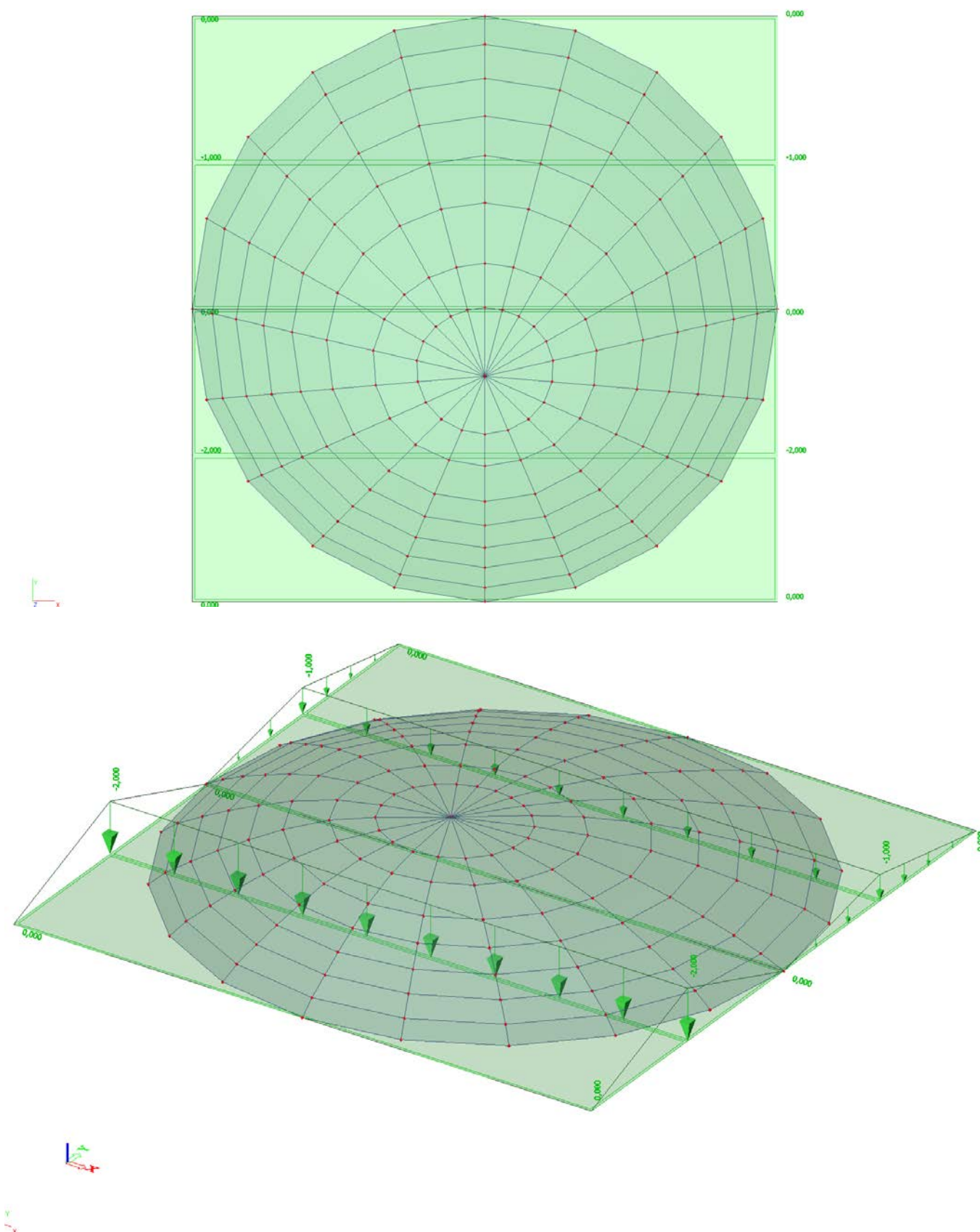
ZS12 – Zatížení sněhem VI [kN/m²]



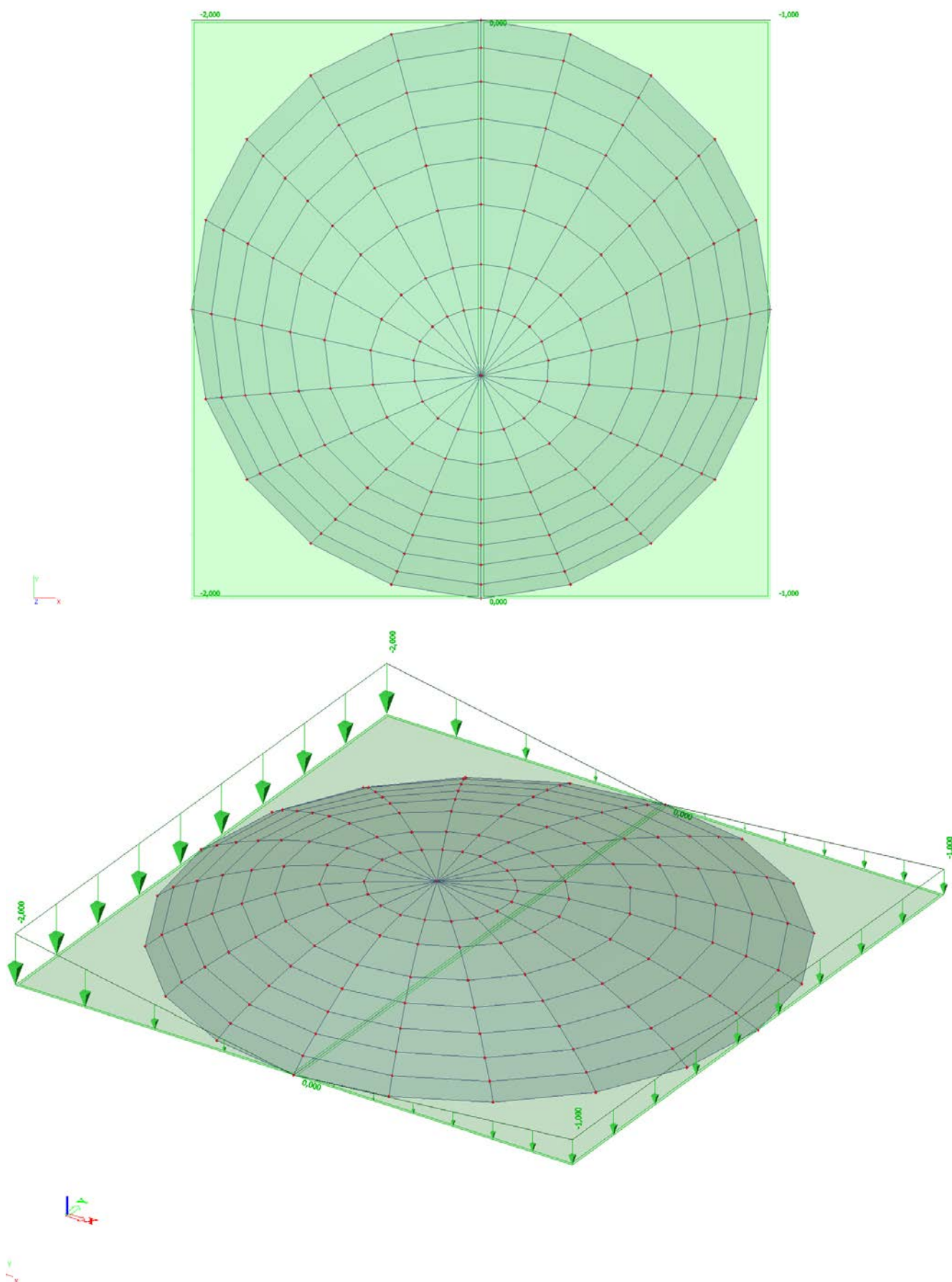
ZS13 – Zatížení sněhem VII [kN/m²]



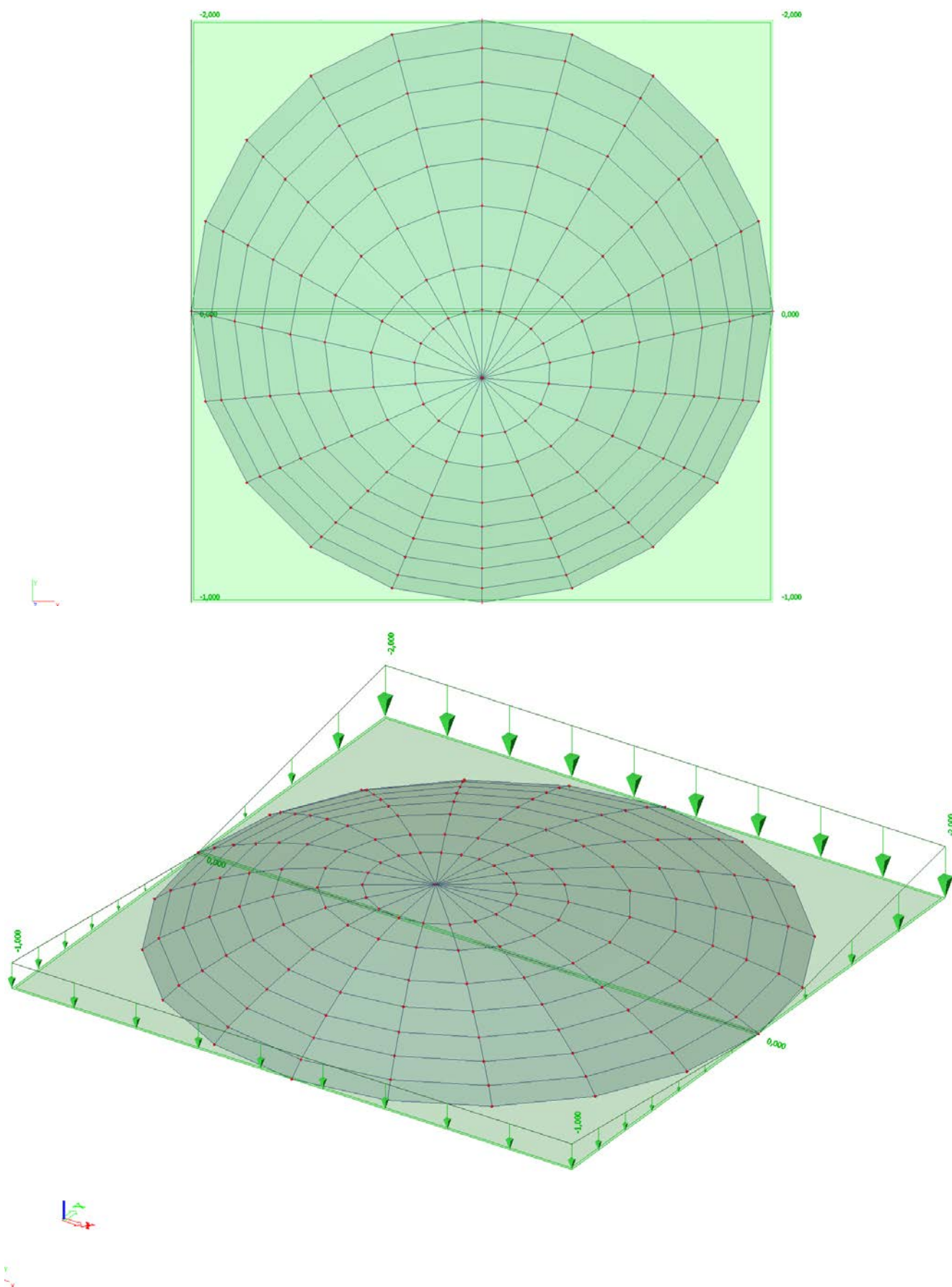
ZS14 – Zatížení sněhem VIII [kN/m²]



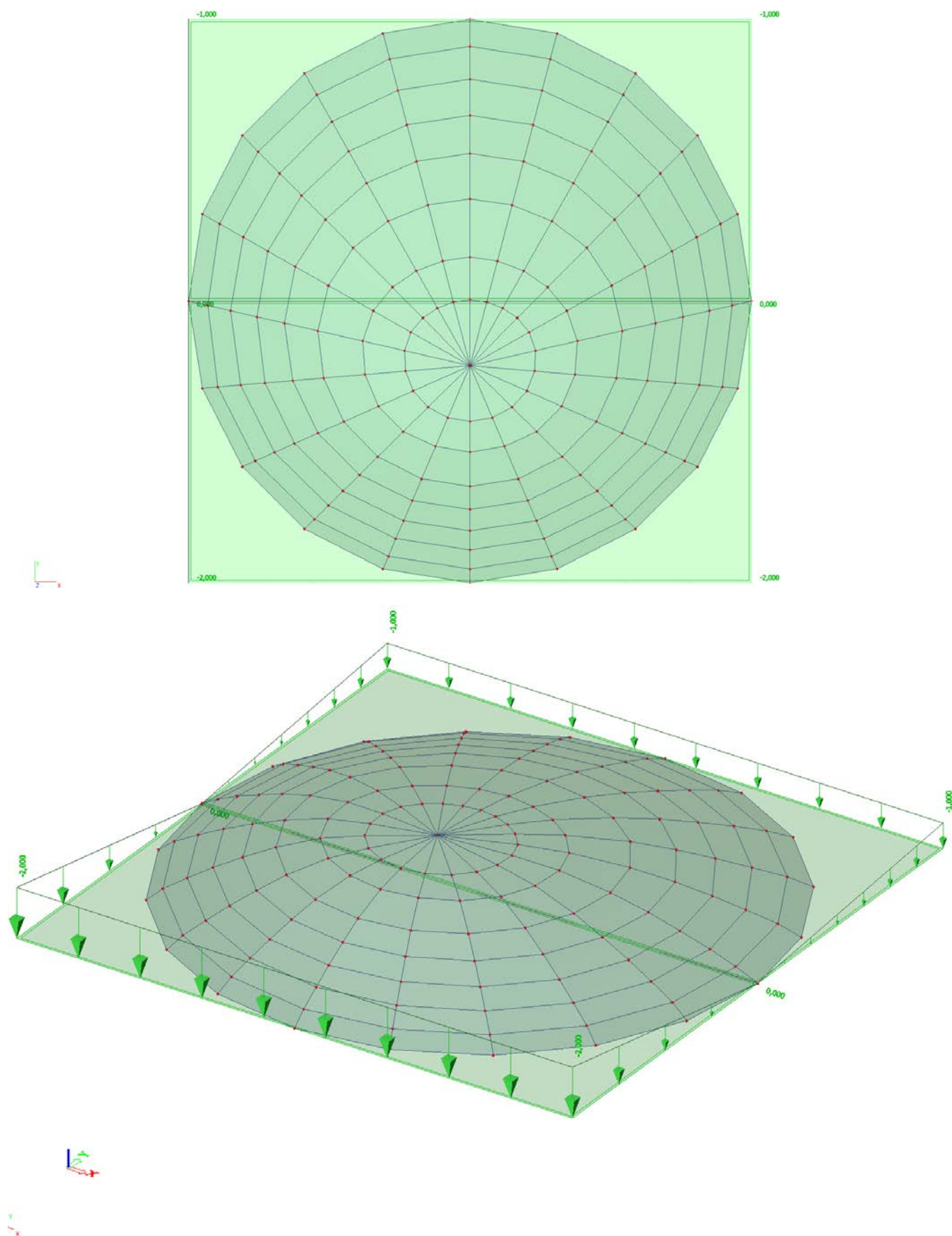
ZS15 – Zatížení sněhem IX [kN/m²]



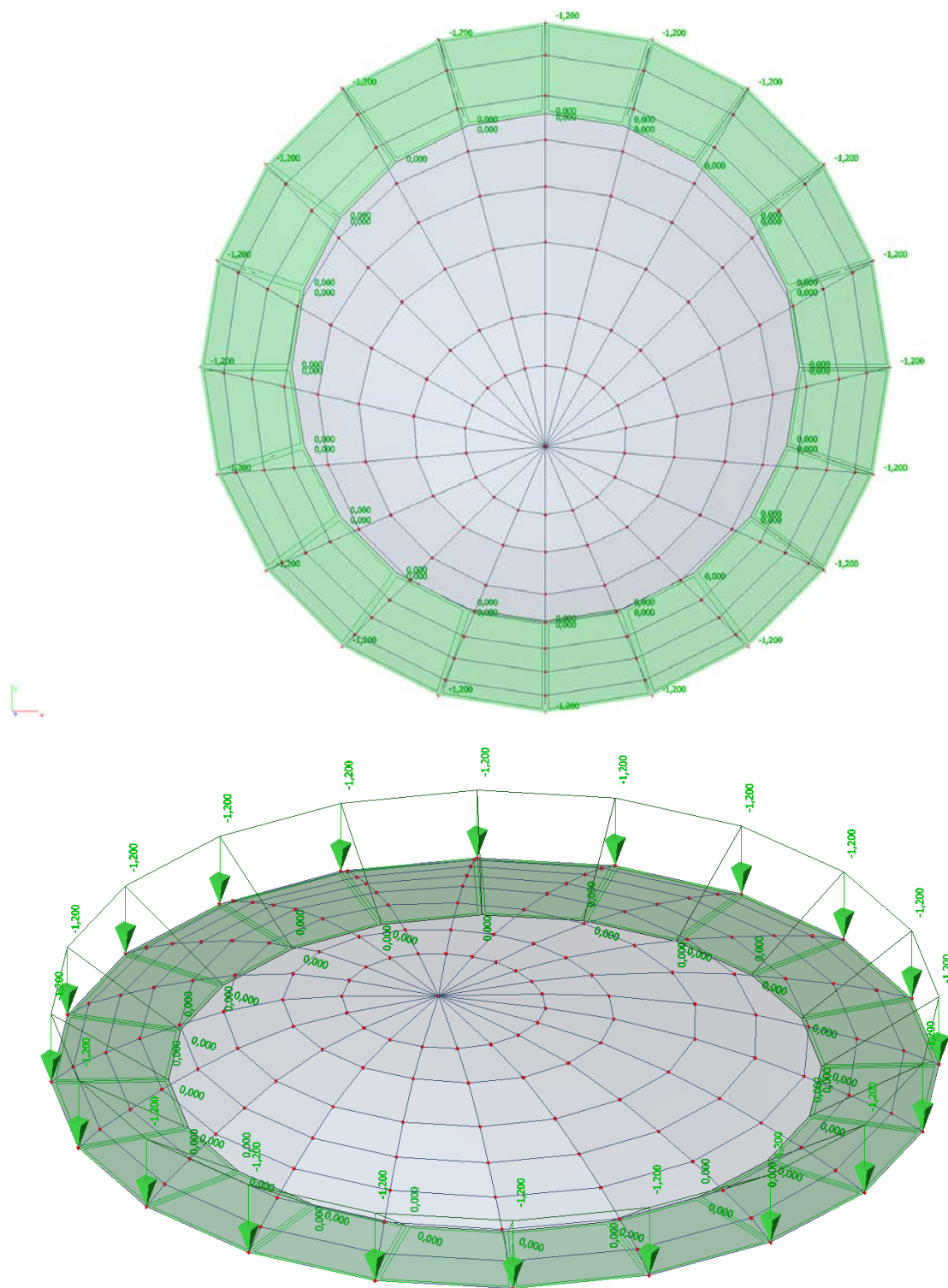
ZS16 – Zatížení sněhem X [kN/m²]



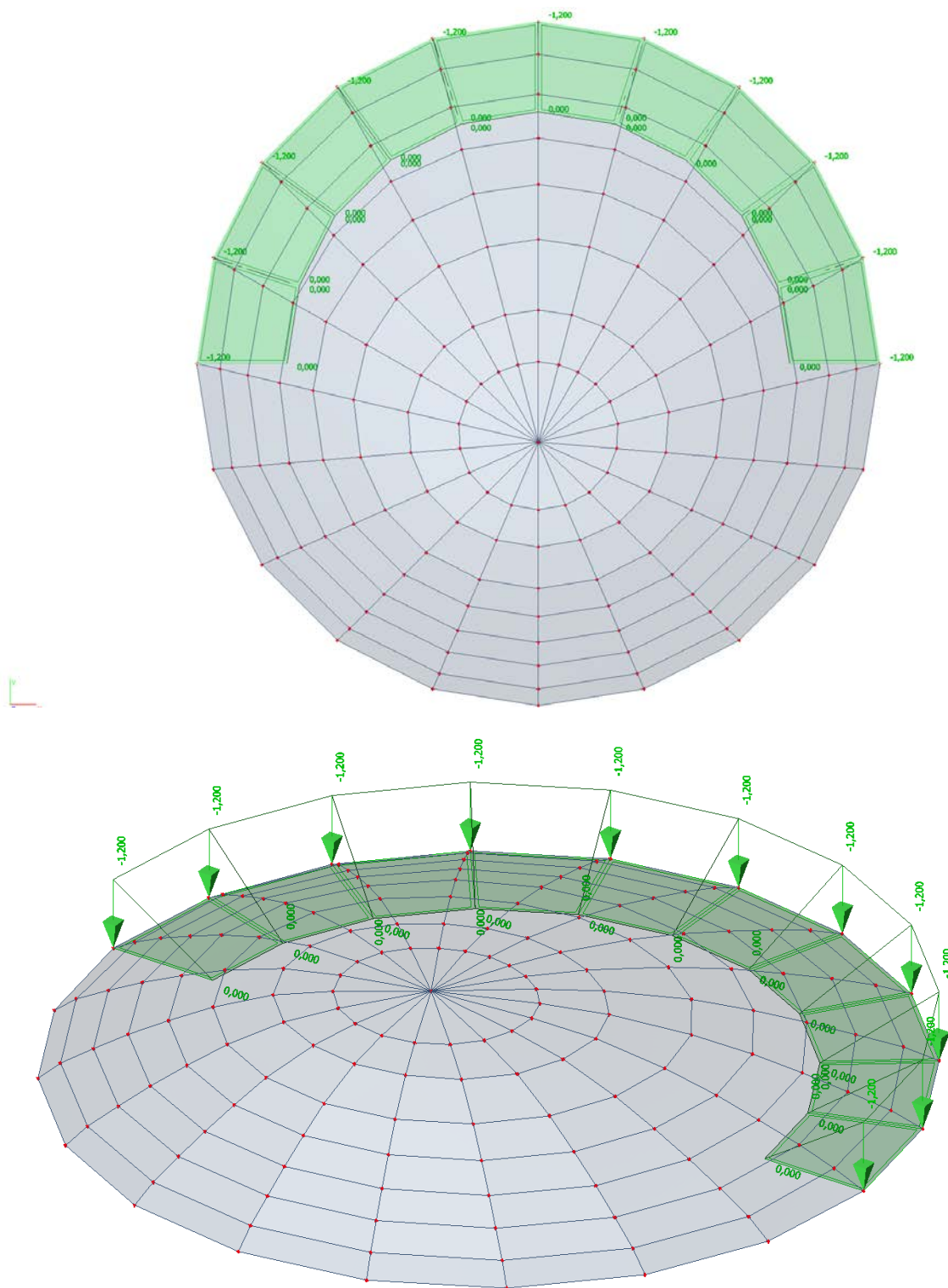
ZS17 – Zatížení sněhem XI [kN/m²]



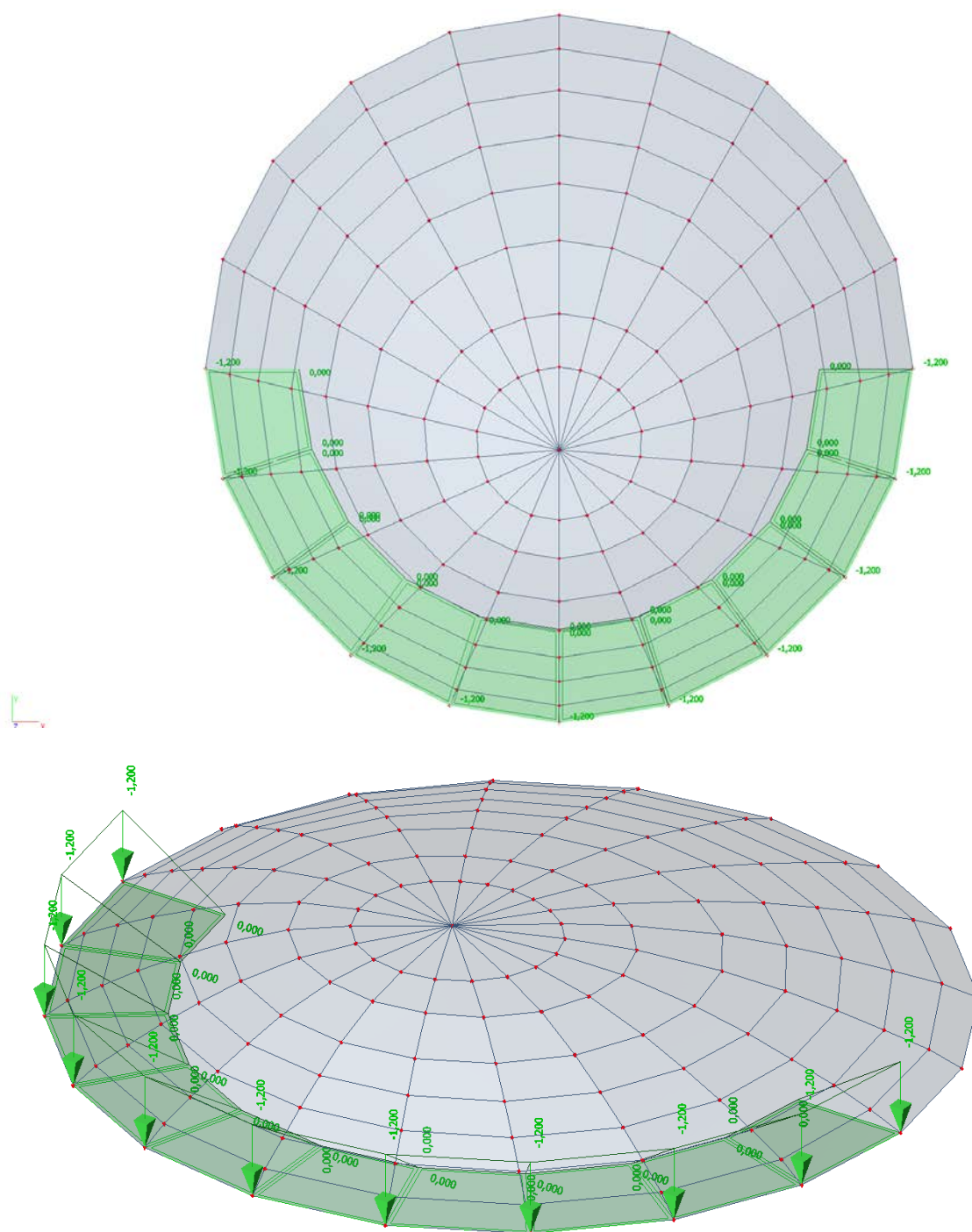
ZS18 – Návěje I [kN/m²]

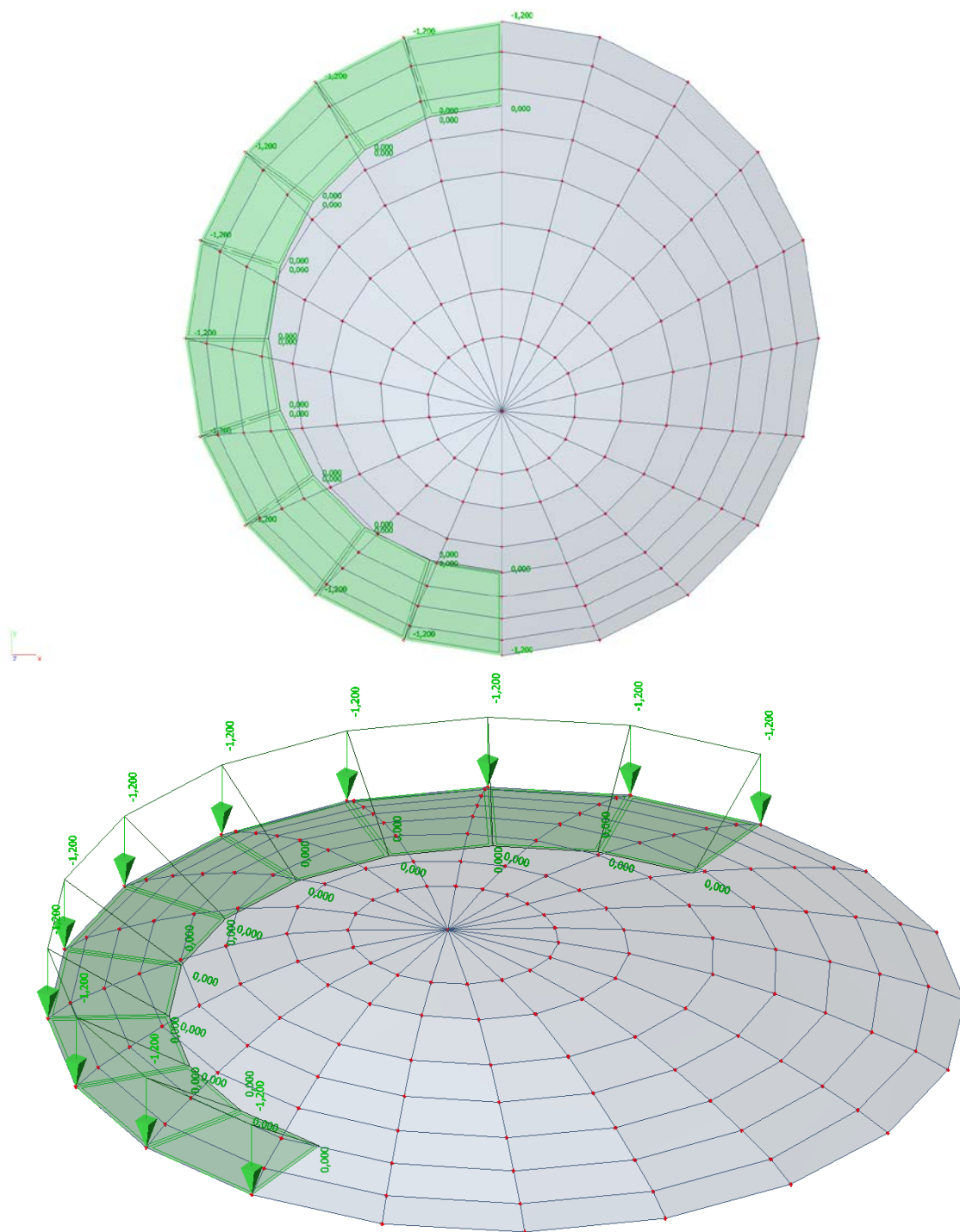


ZS19 – Návěje II [kN/m²]

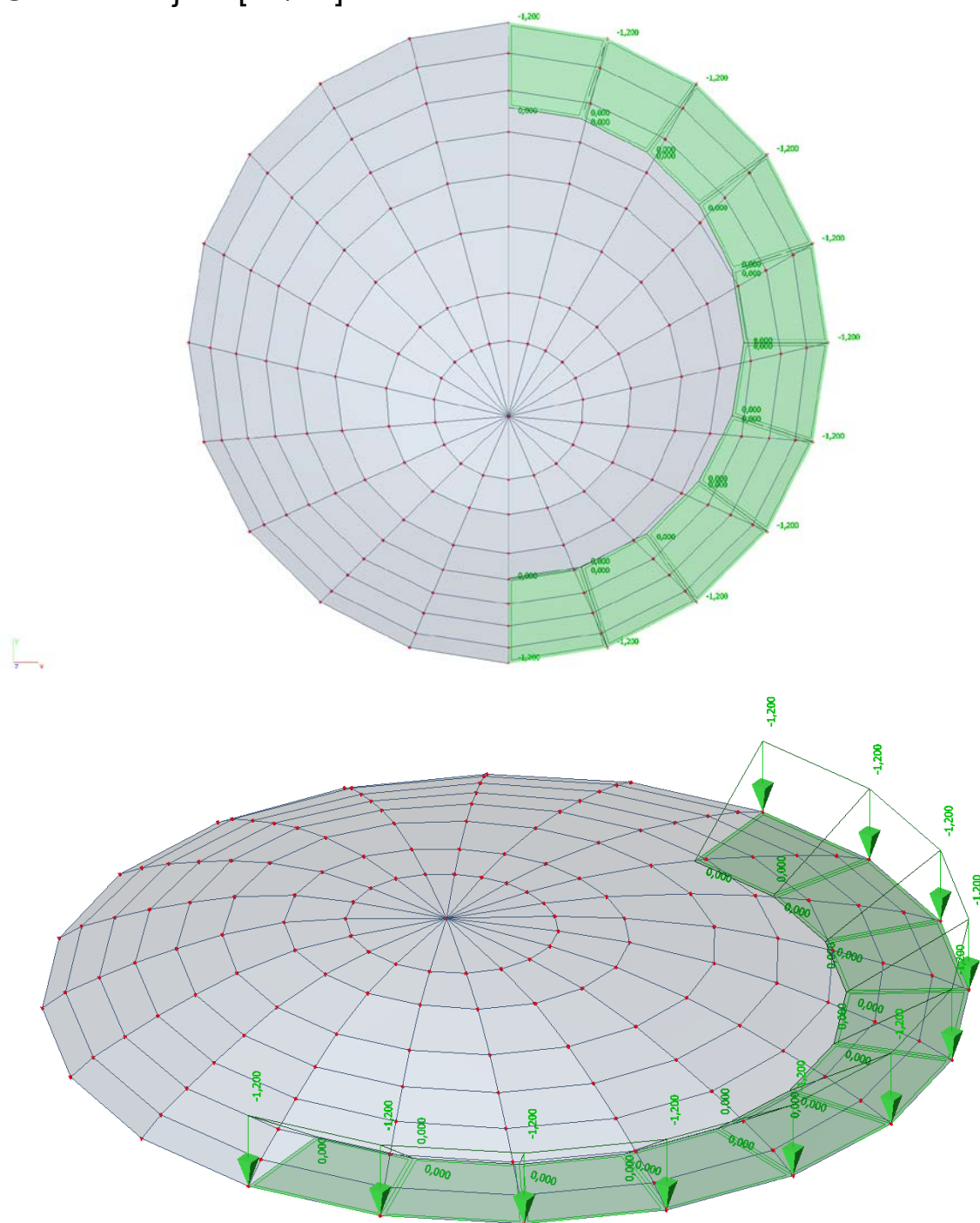


ZS20 – Návěje III [kN/m²]

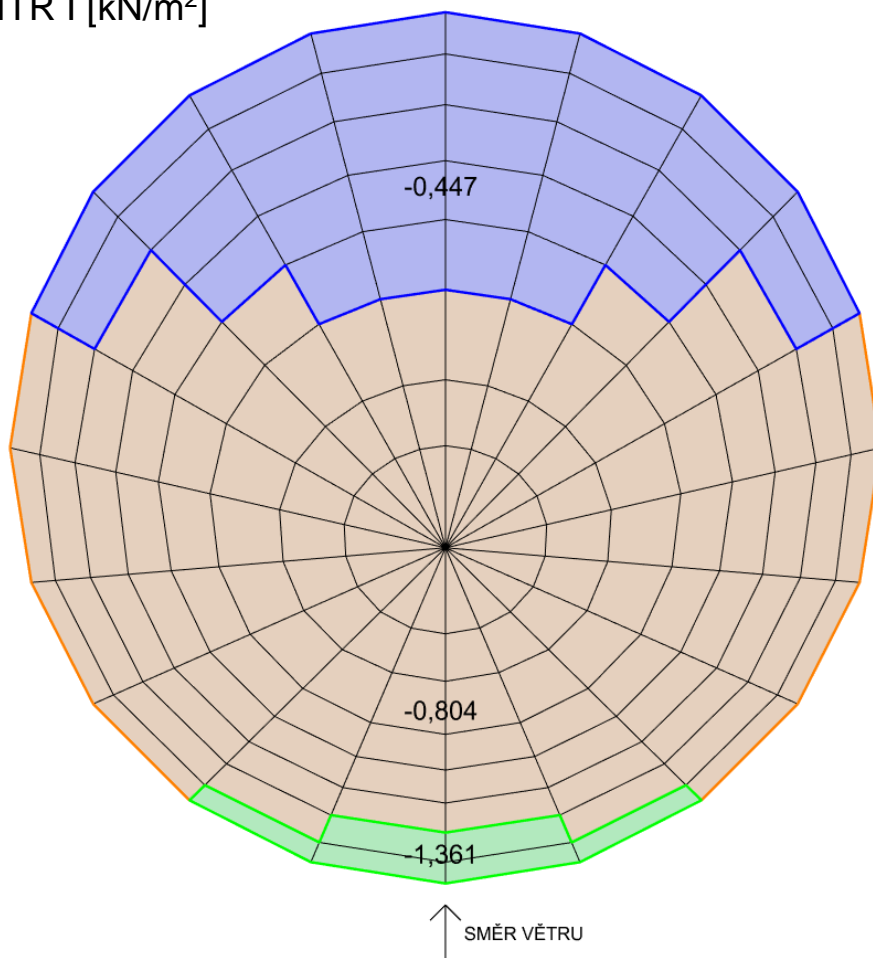


ZS21 – Návěje IV [kN/m²]

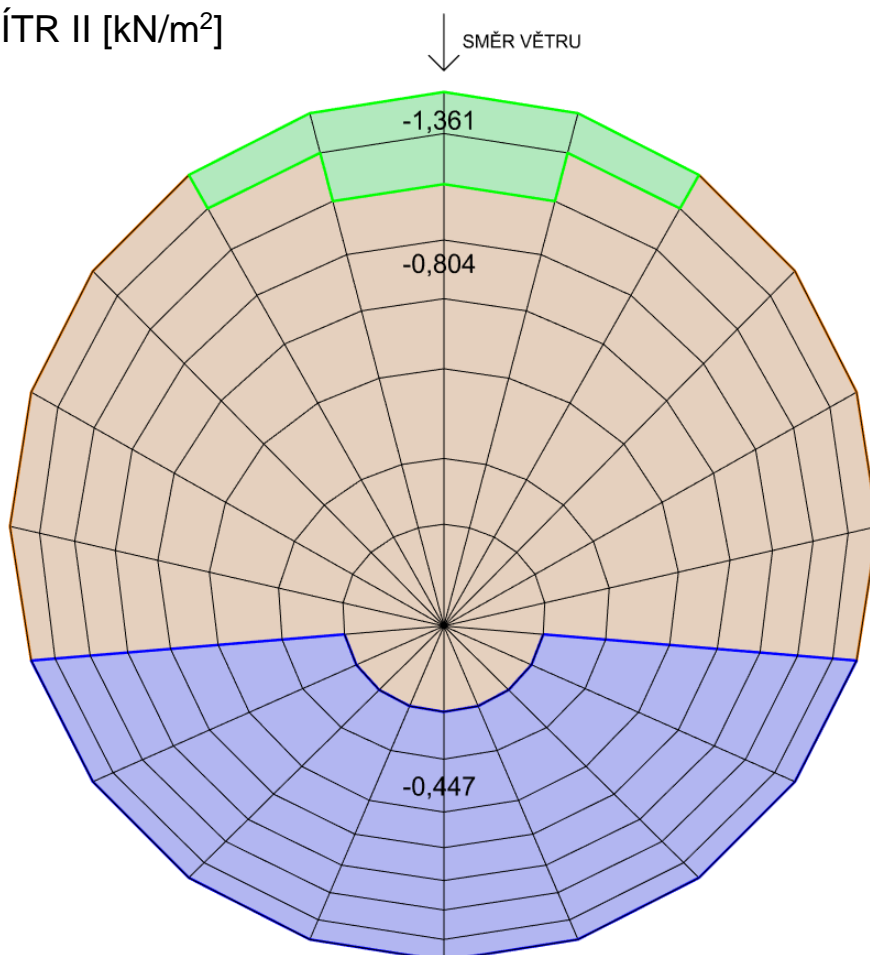
ZS22 – Návěje V [kN/m²]



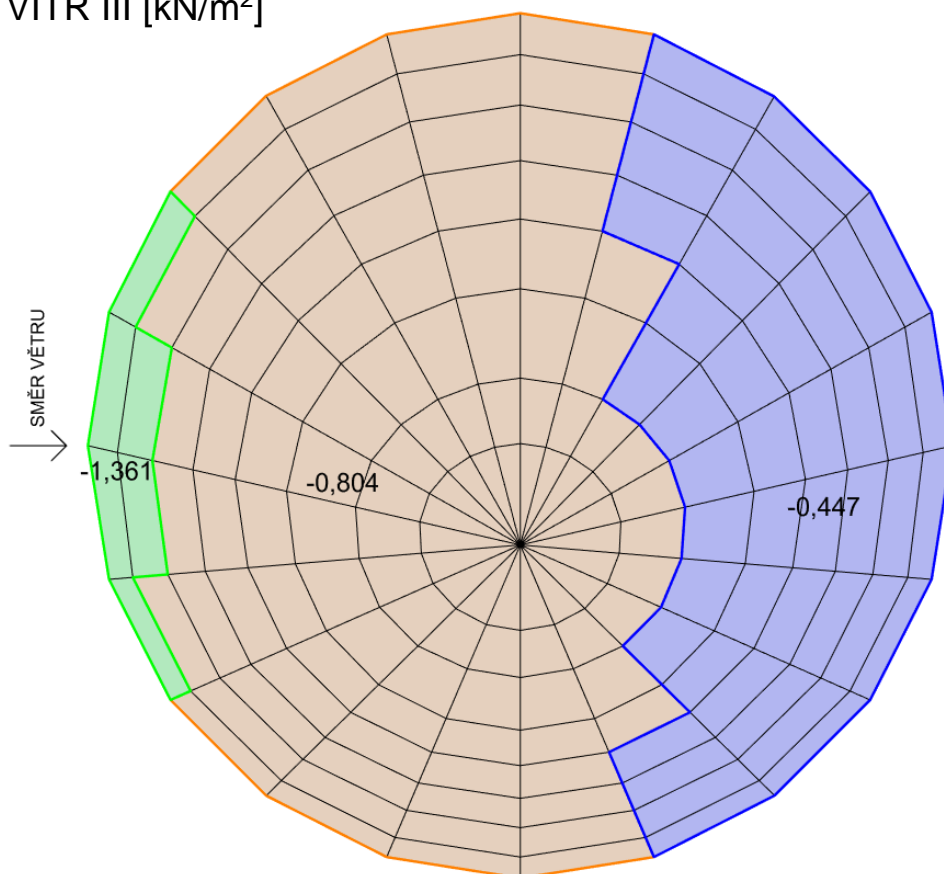
ZS23 – VÍTR I [kN/m²]



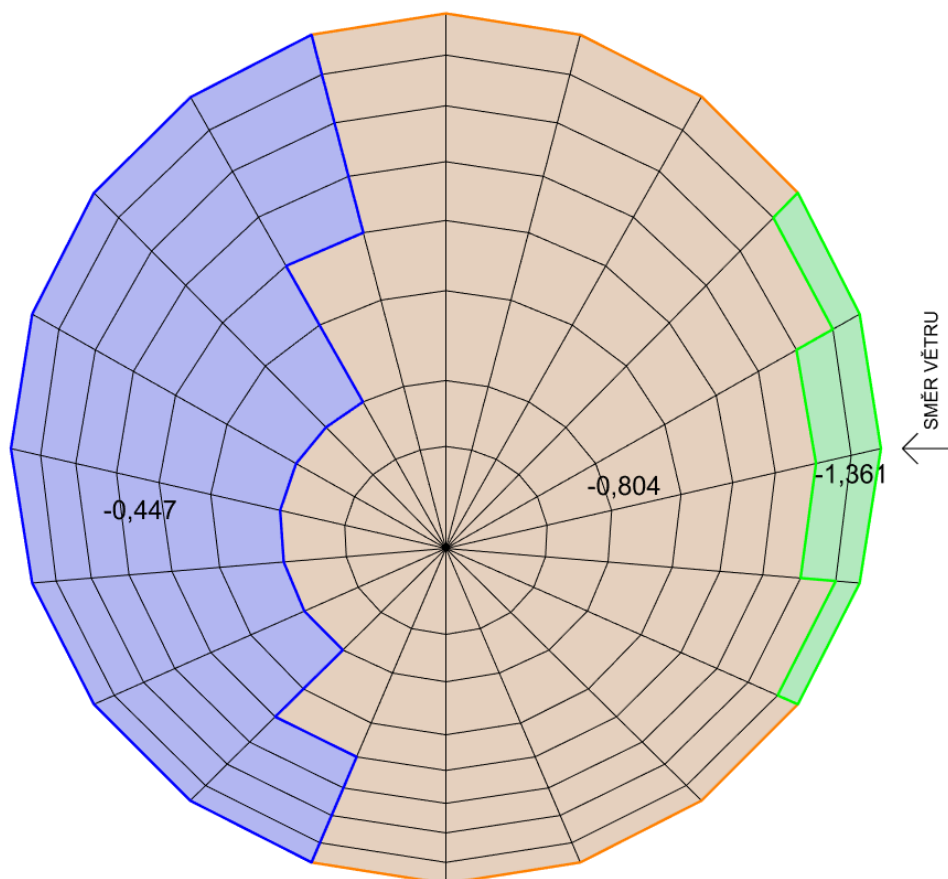
ZS24 – VÍTR II [kN/m²]



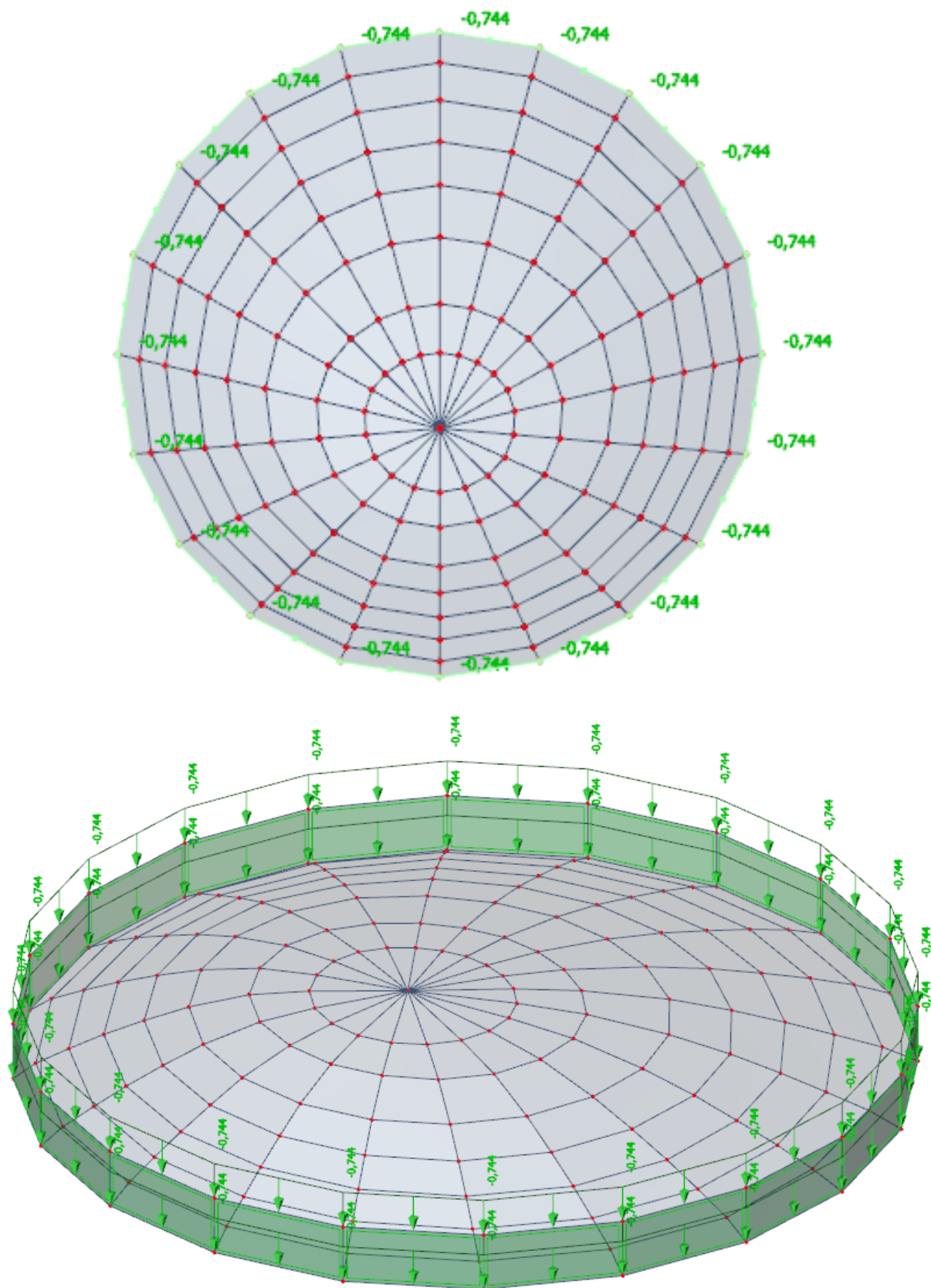
ZS25 – VÍTR III [kN/m²]



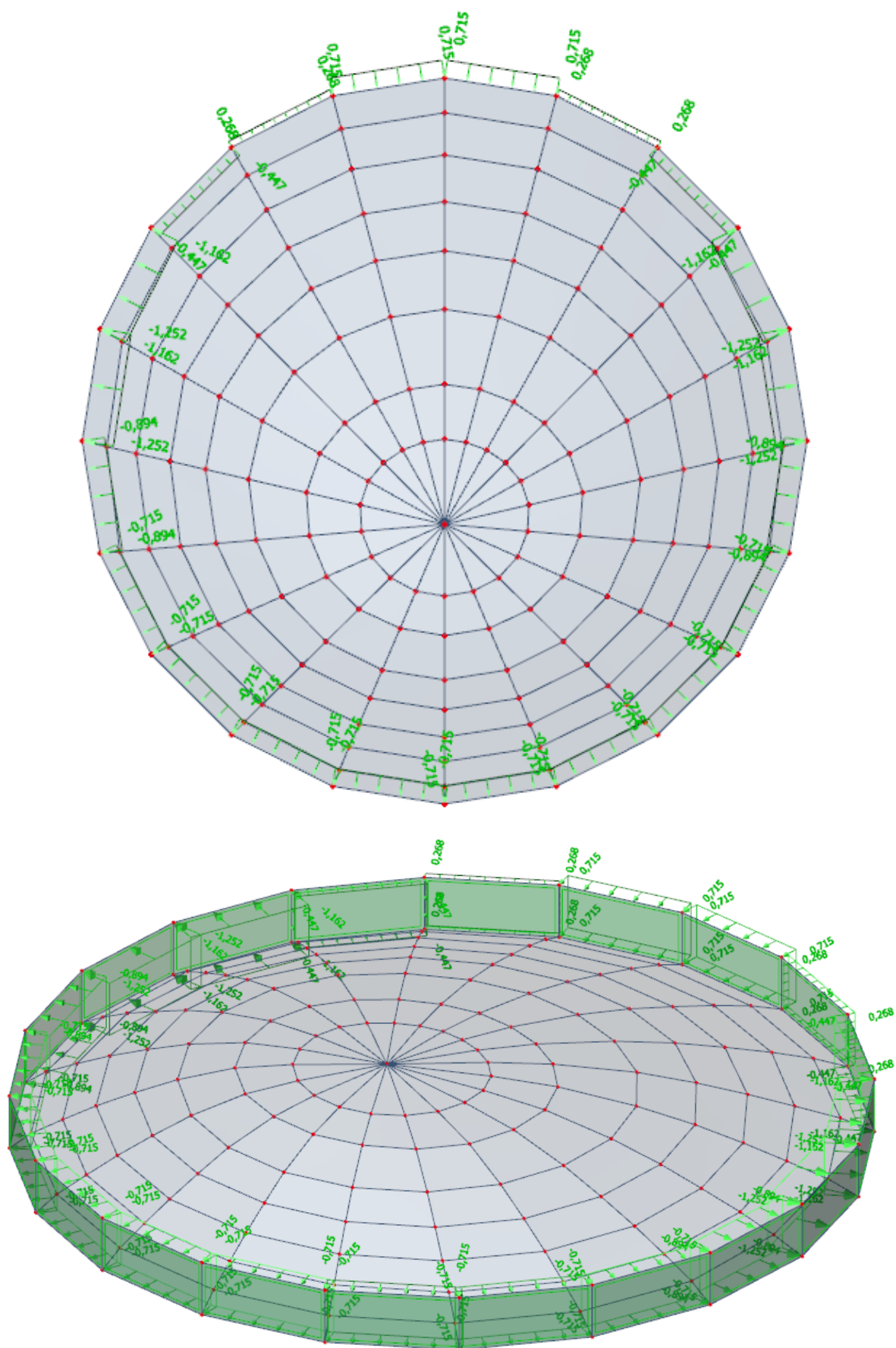
ZS26 – VÍTR IV [kN/m²]



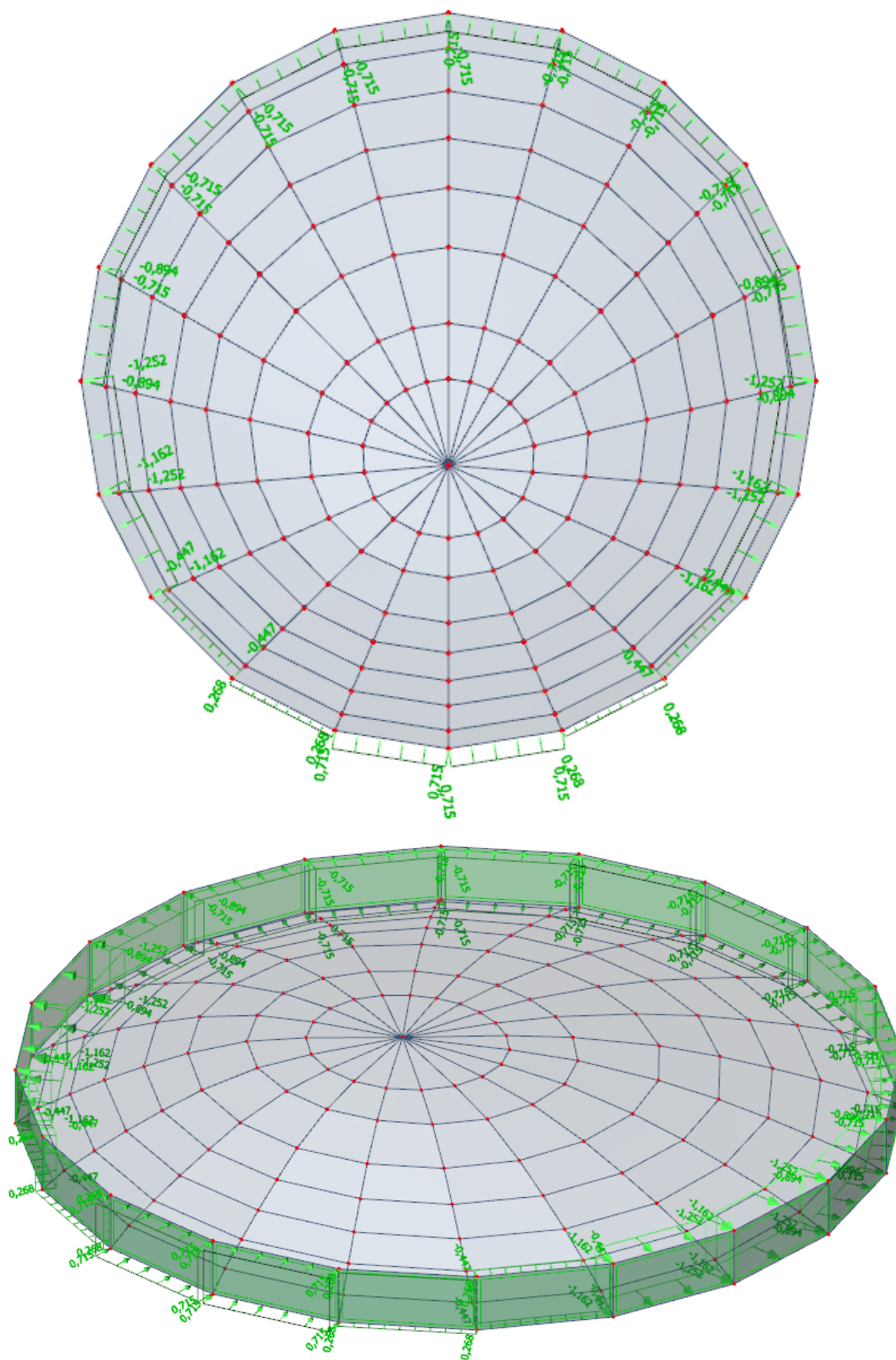
ZS27 – OSTATNÍ STÁLÉ [kN/m²]



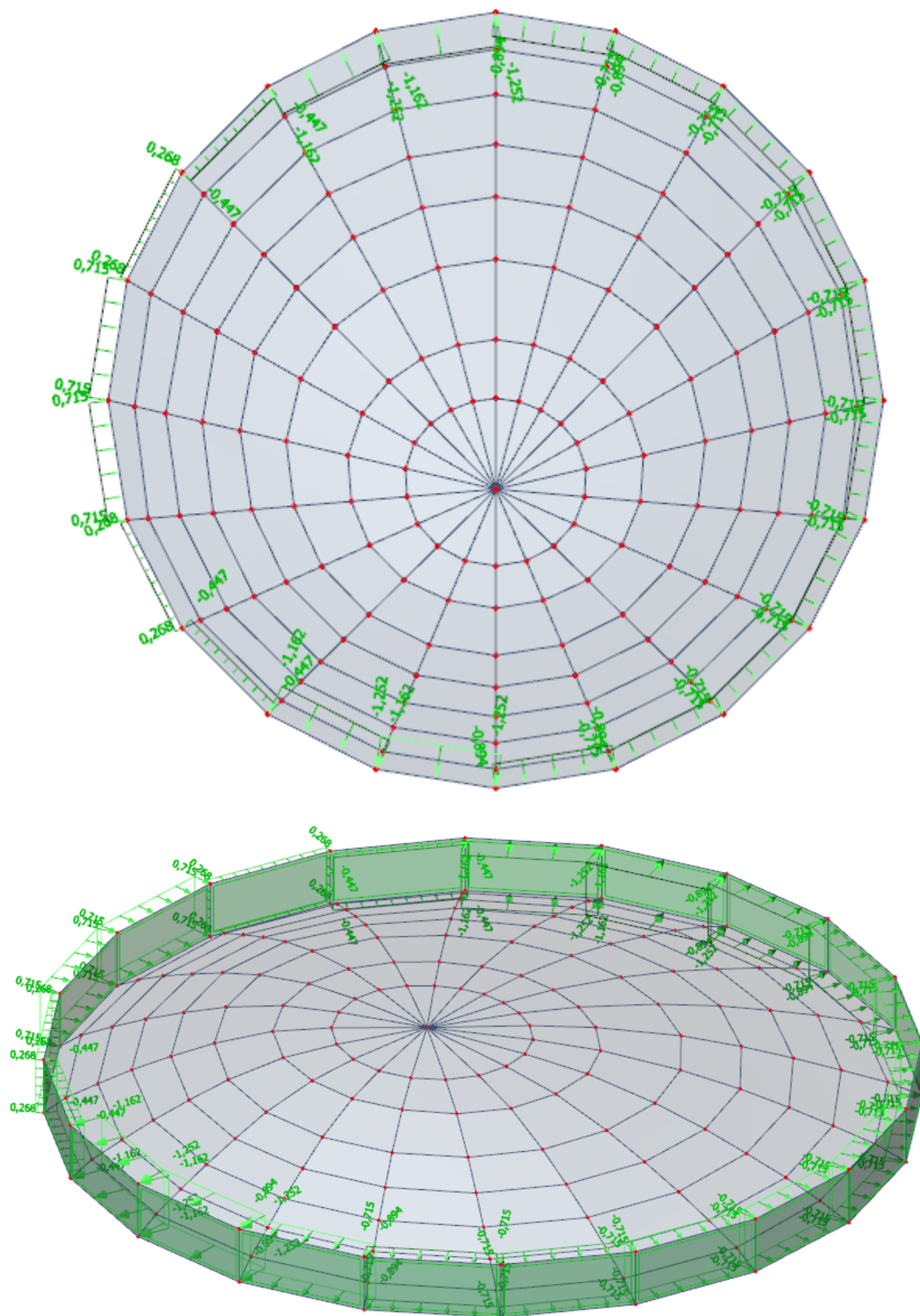
ZS28 – VÍTR ATIKA I [kN/m²]



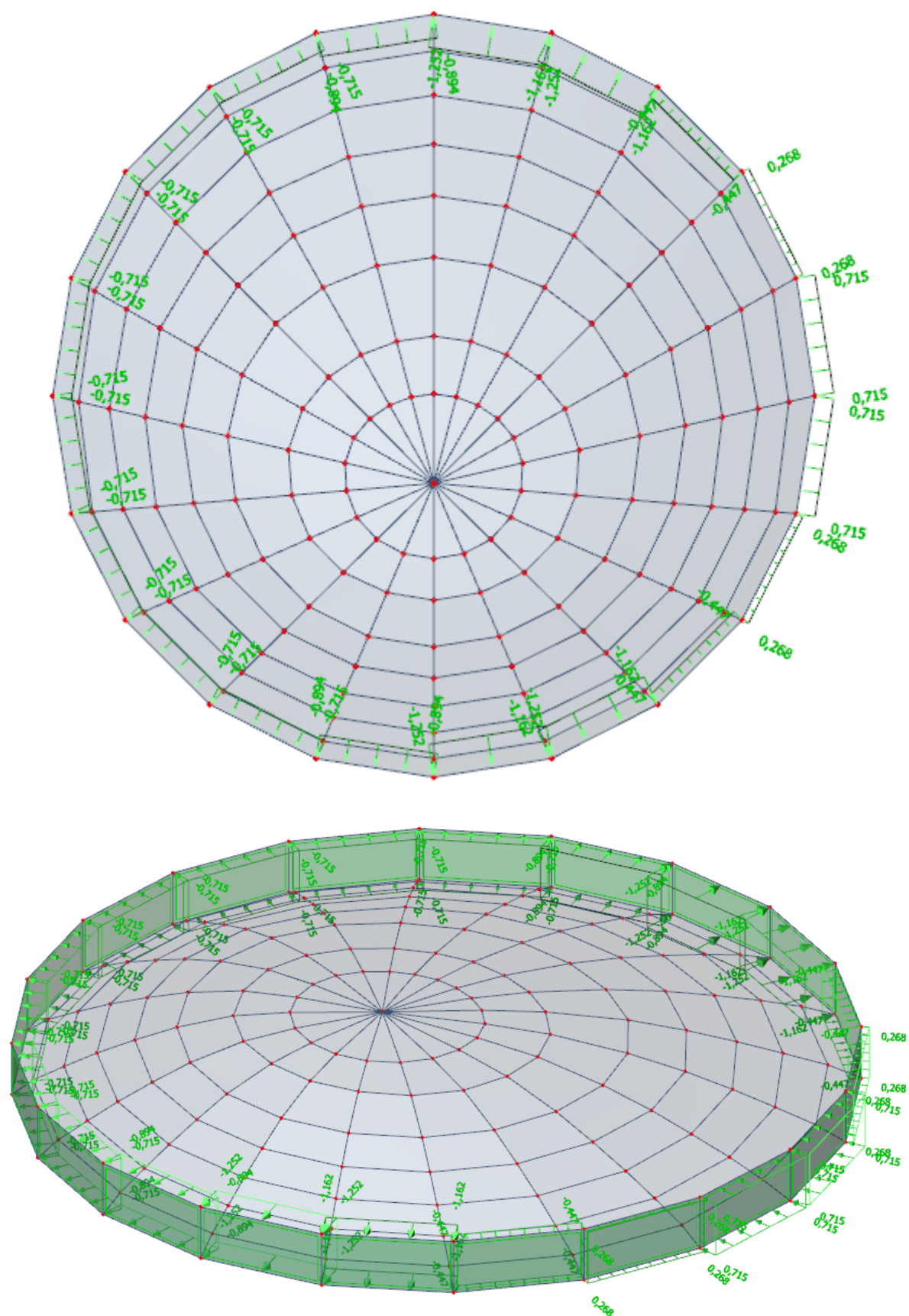
ZS29 – VÍTR ATIKA II [kN/m²]



ZS30 – VÍTR ATIKA III [kN/m²]



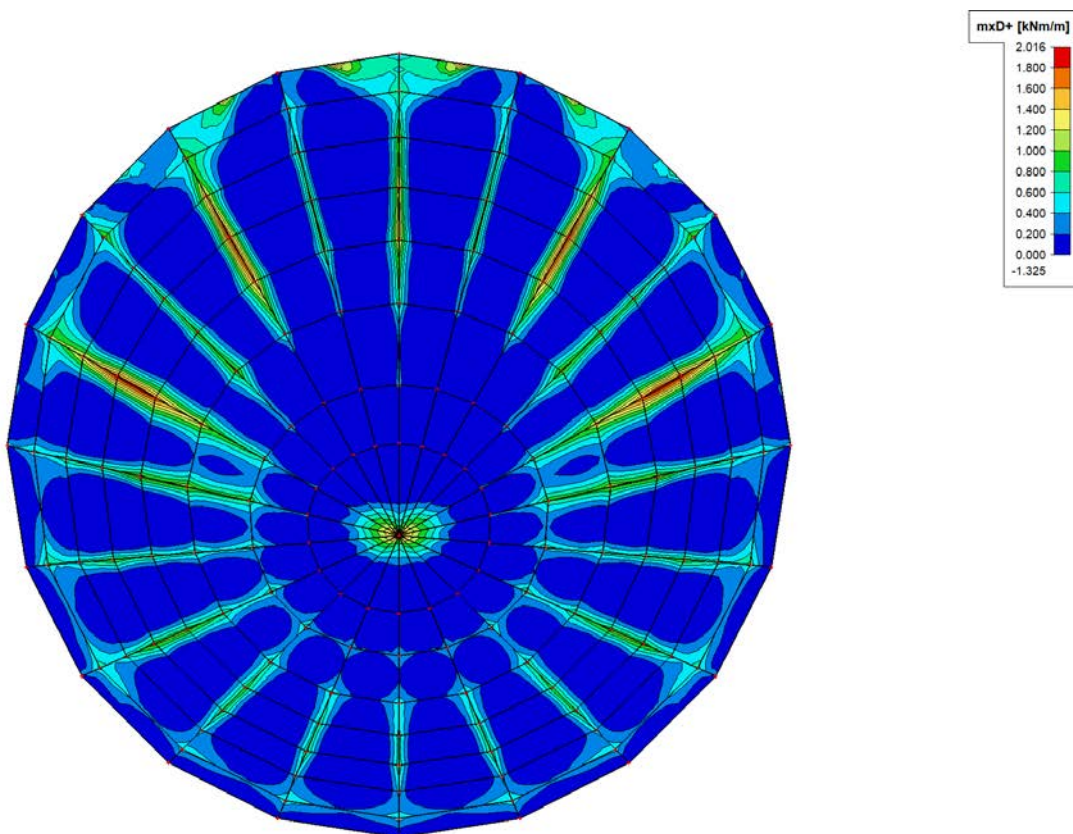
ZS31 – VÍTR ATIKA IV [kN/m²]



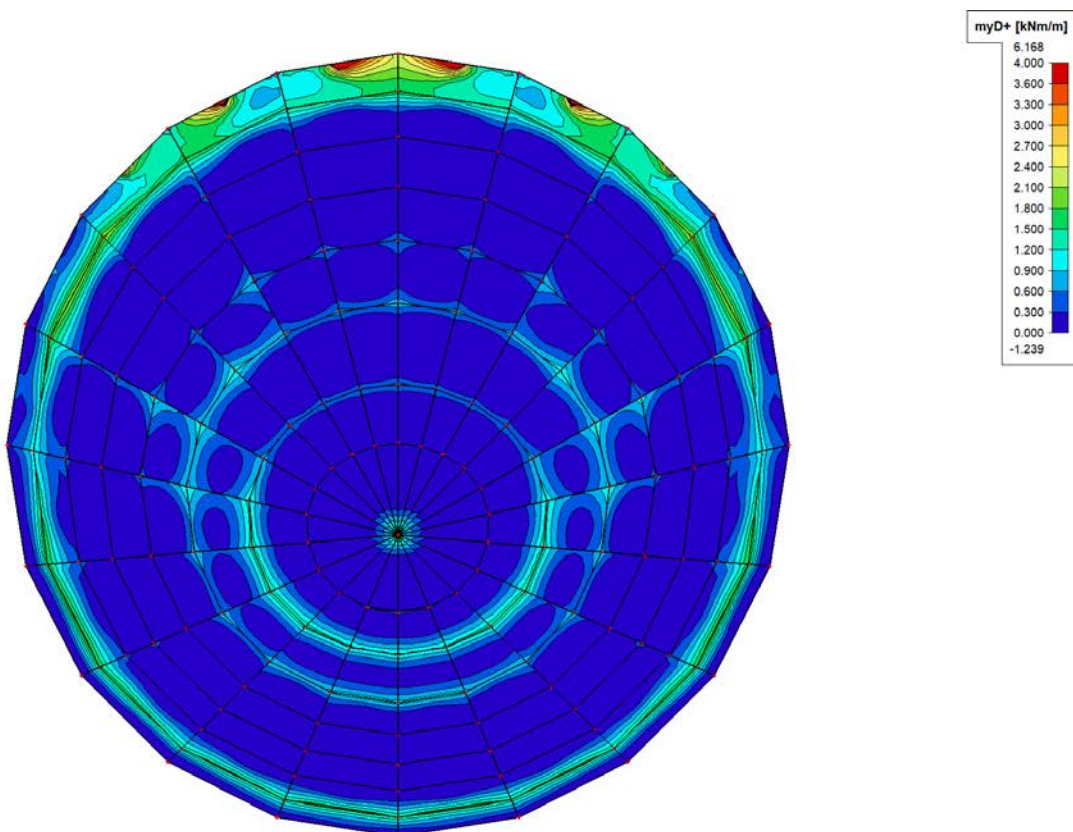
Skořepina

Vnitřní síly

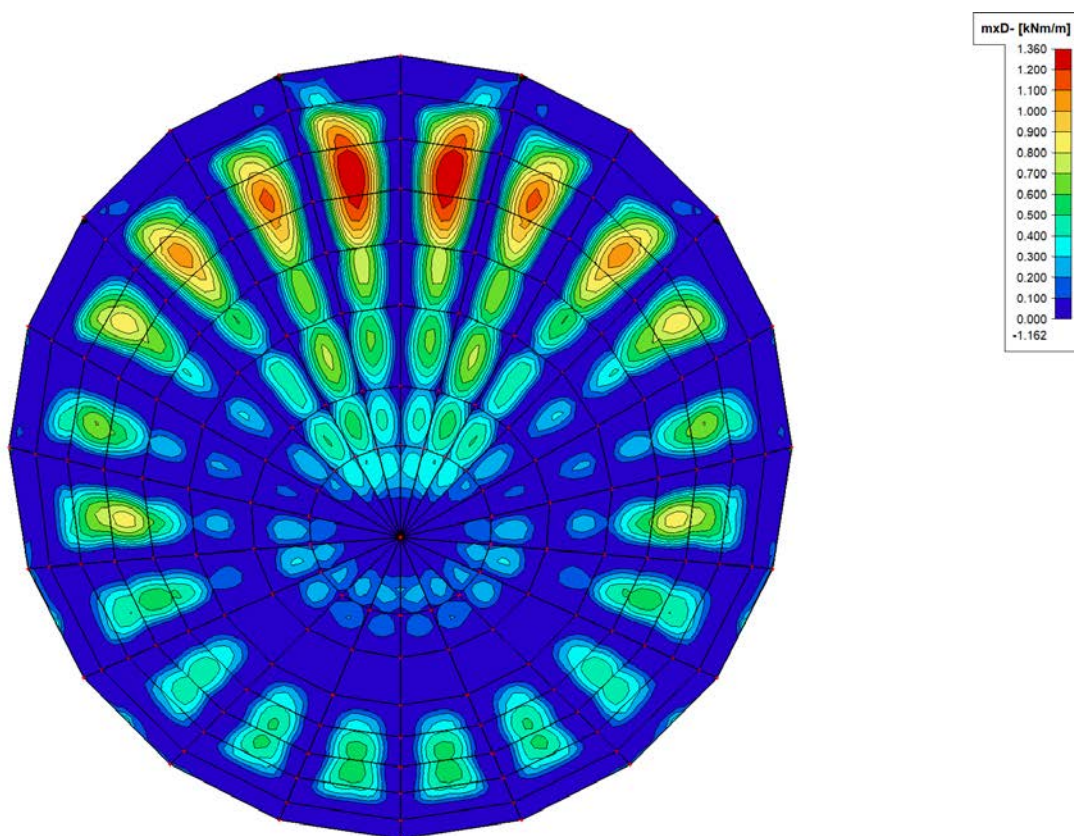
ZS1 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



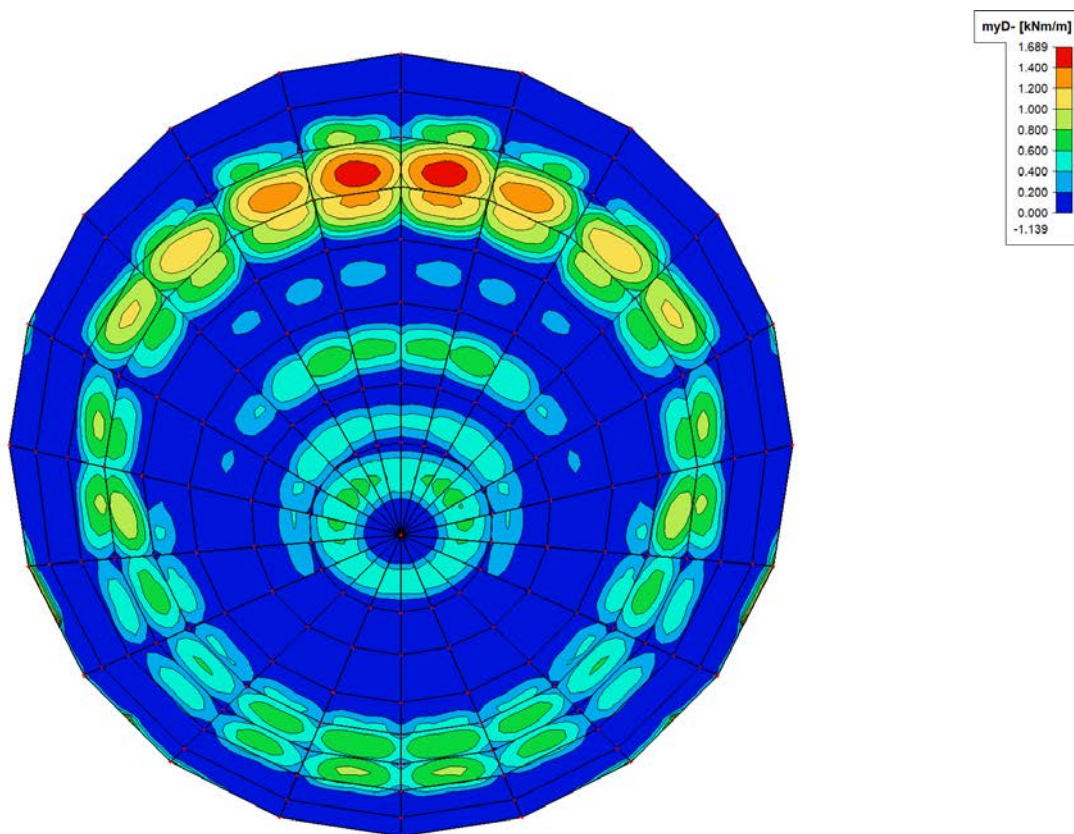
ZS1 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



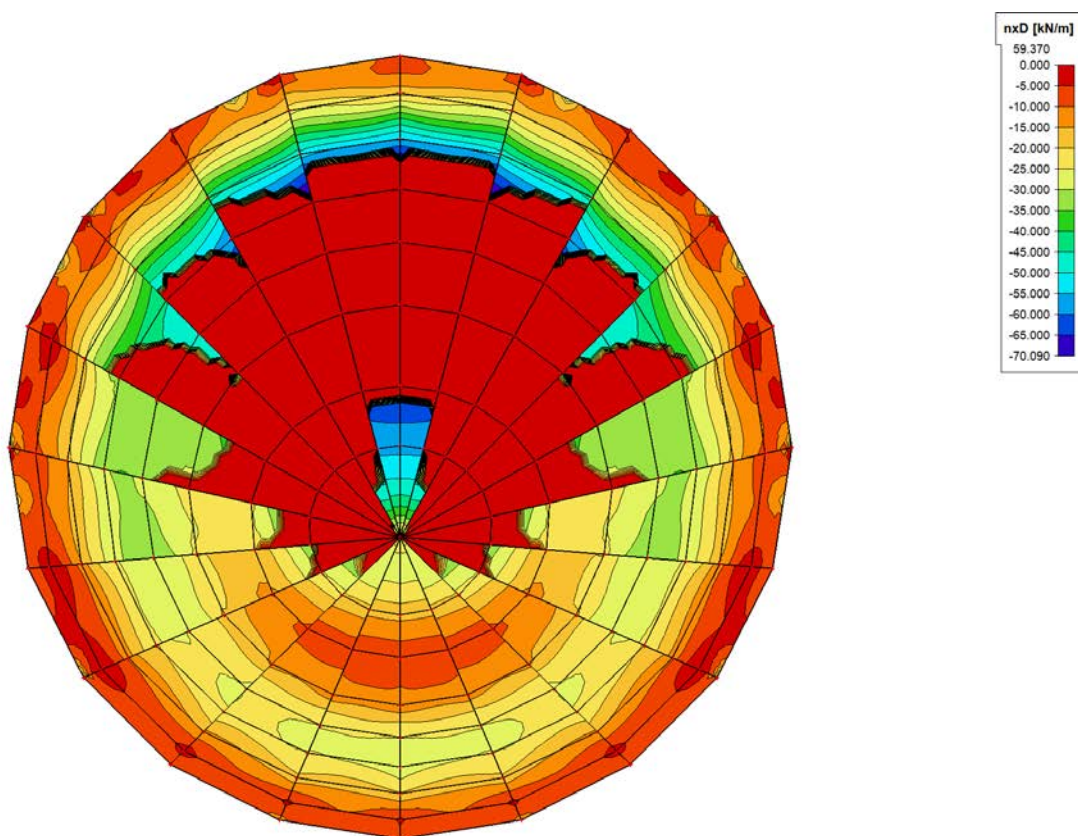
ZS1 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



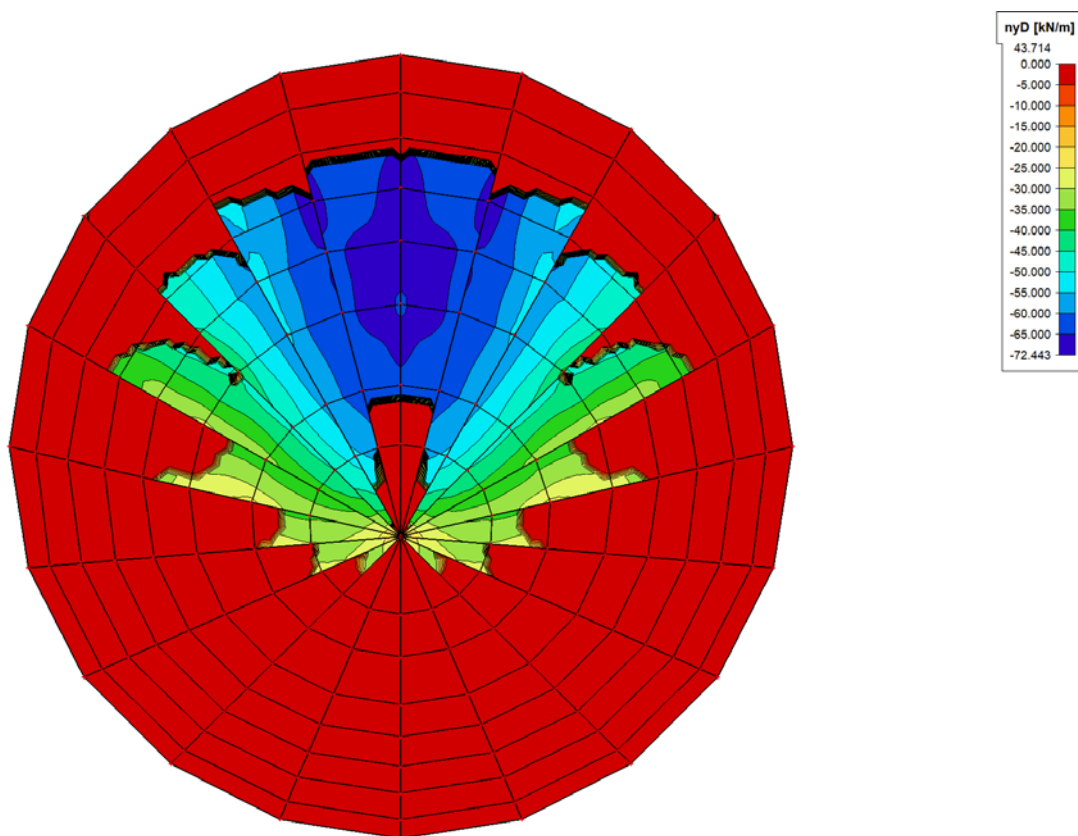
ZS1 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



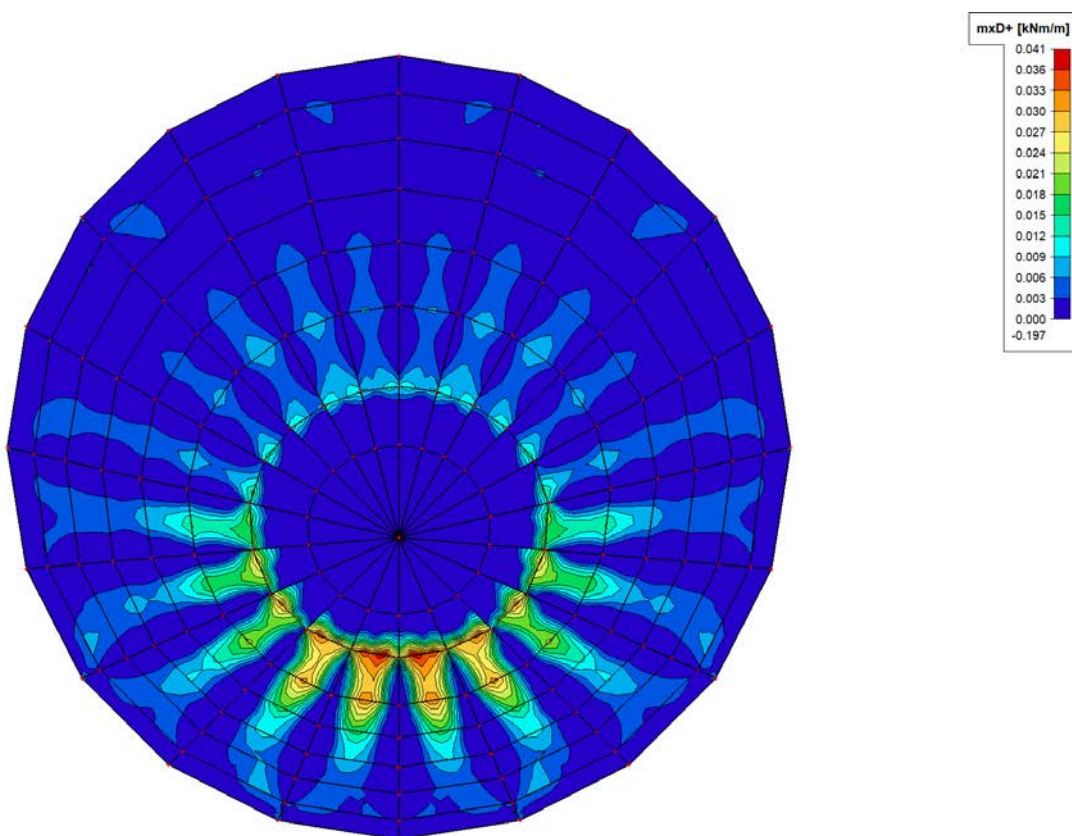
ZS1 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



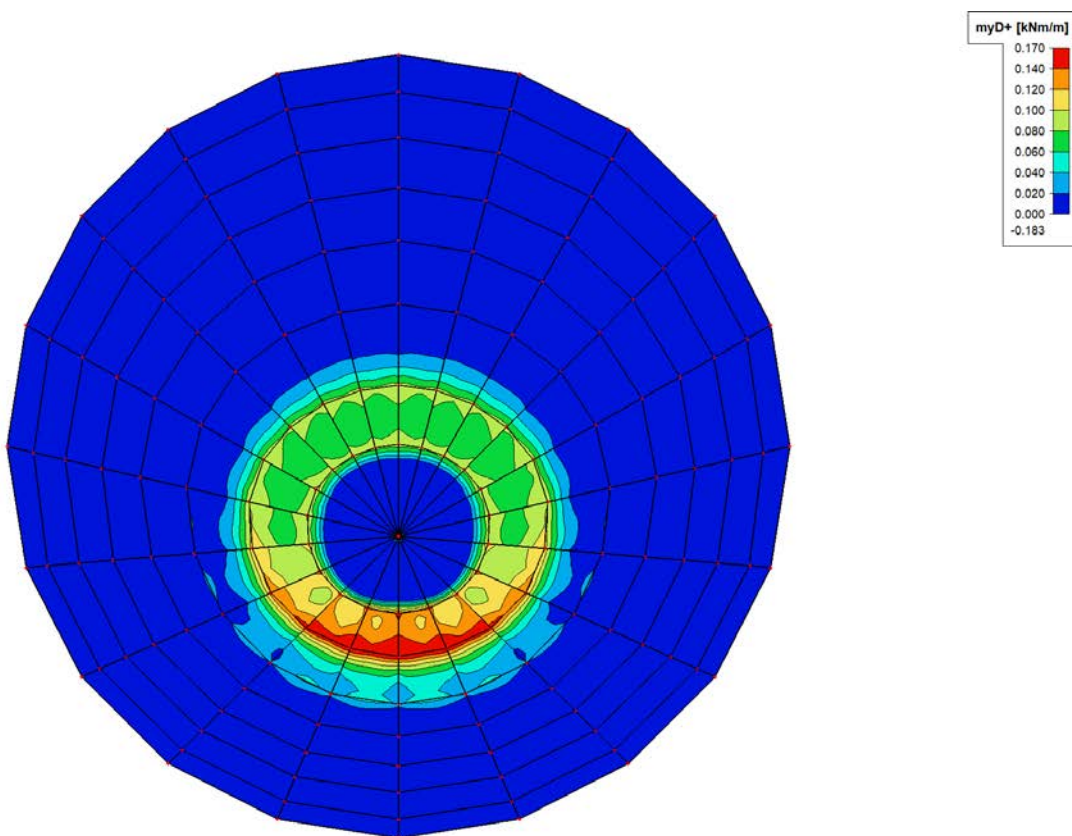
ZS1 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



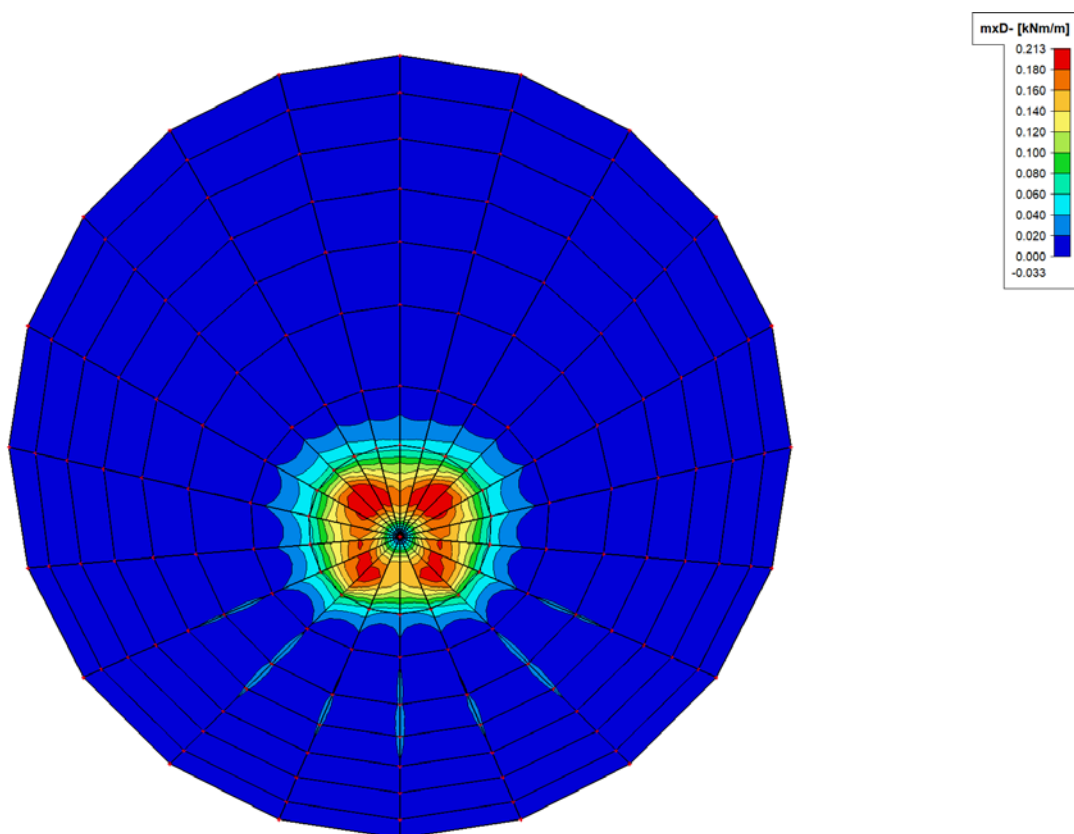
ZS2 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



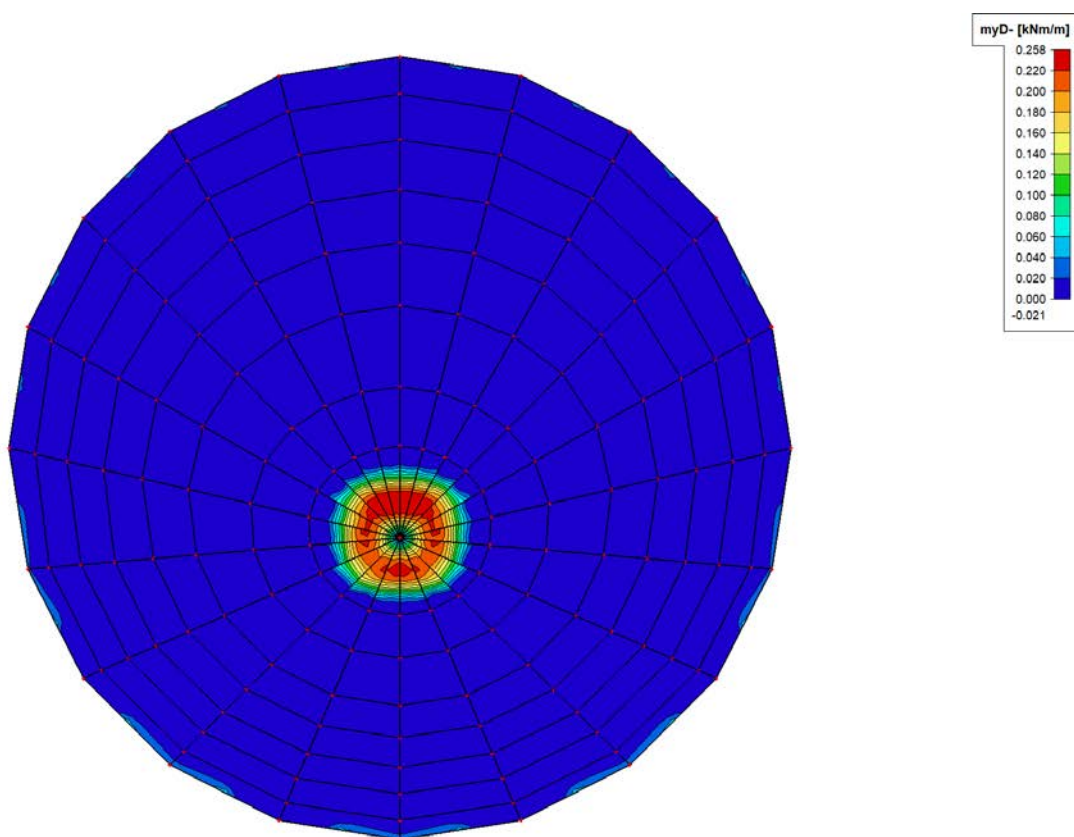
ZS2 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



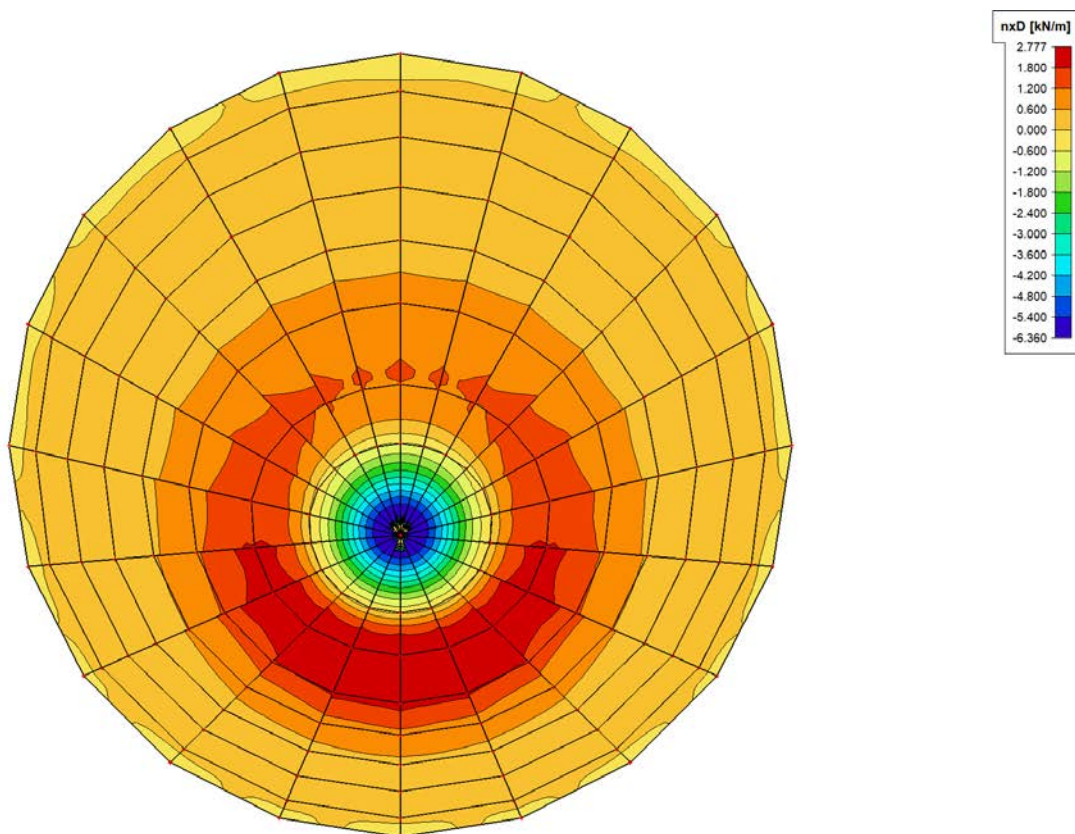
ZS2 – $mxD-$ [kNm/m] – tangenciální směr



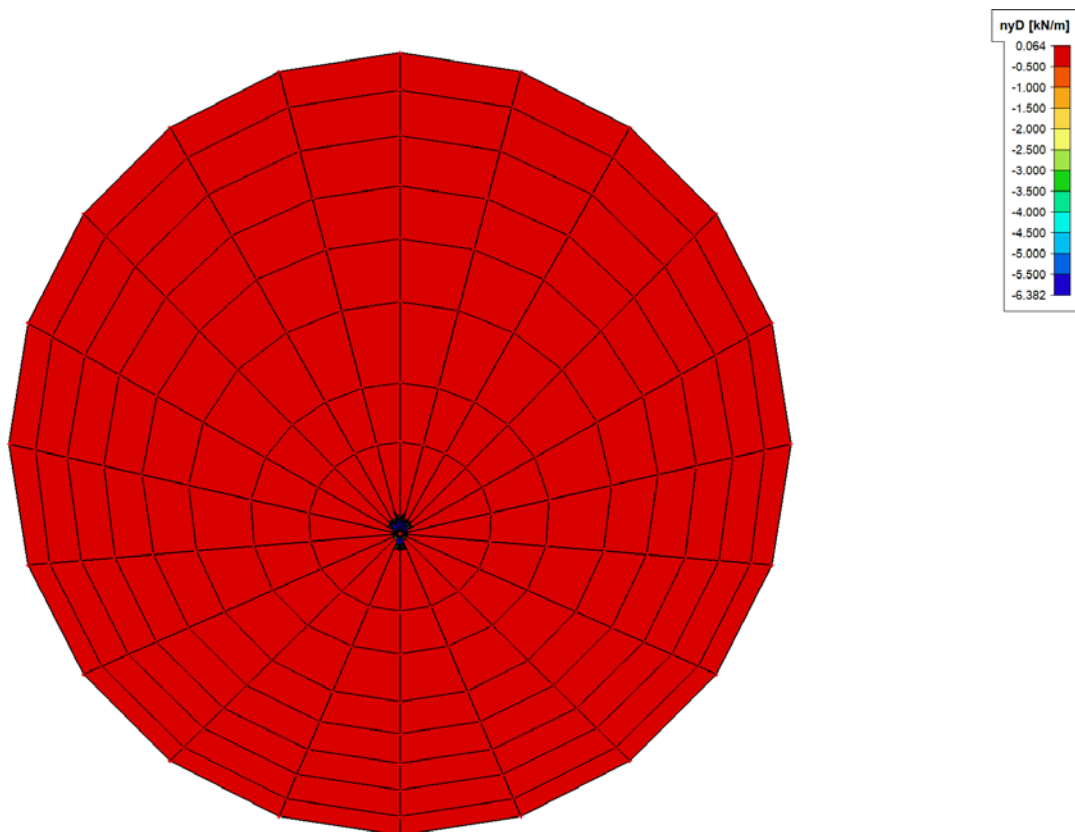
ZS2 – $myD-$ [kNm/m] – radiální směr



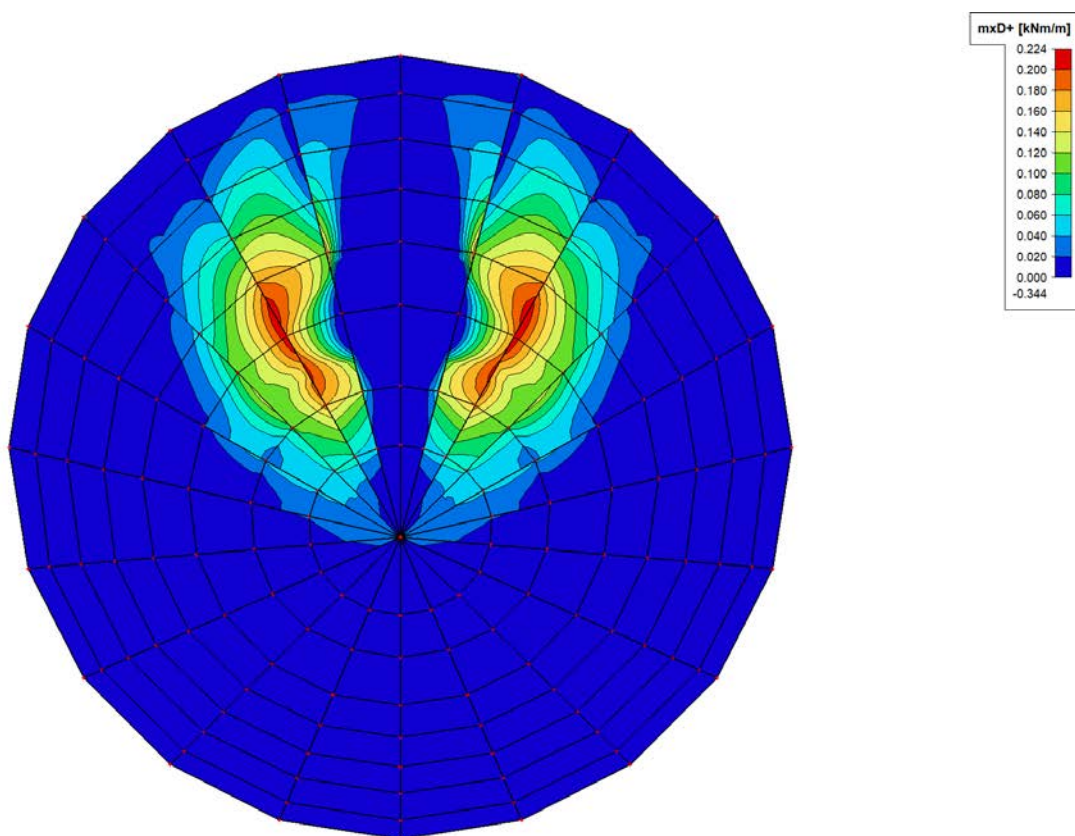
ZS2 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



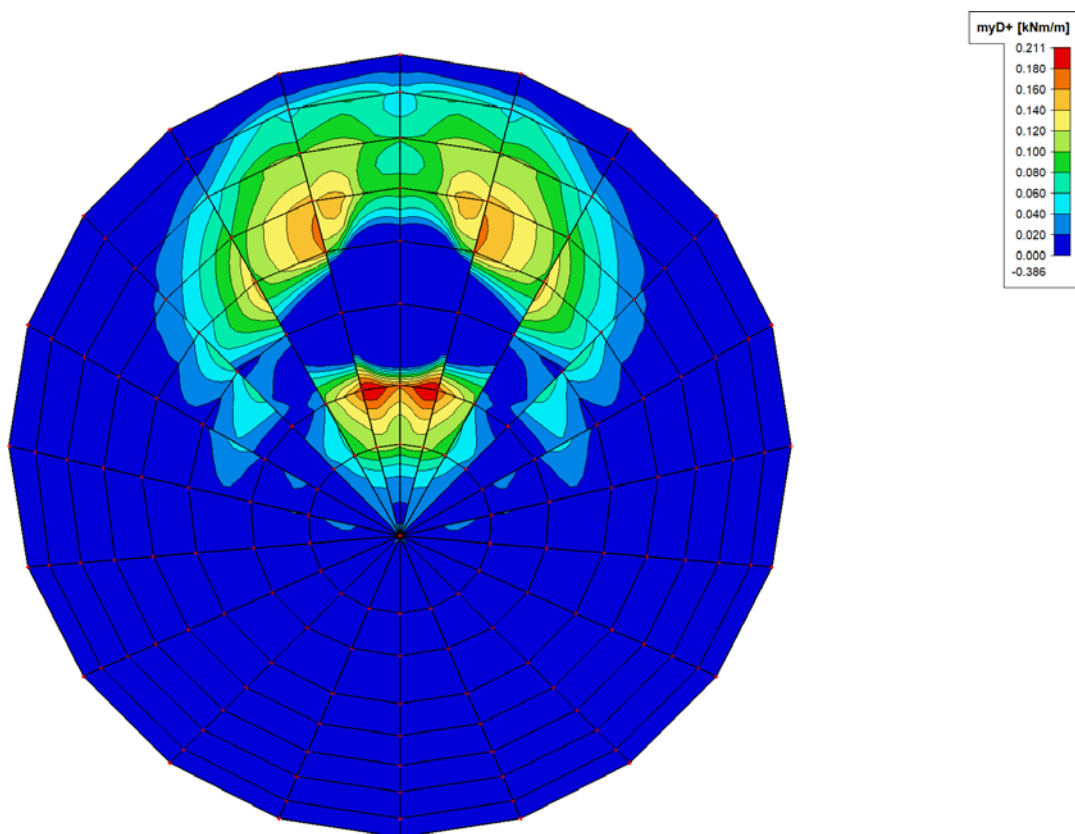
ZS2 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



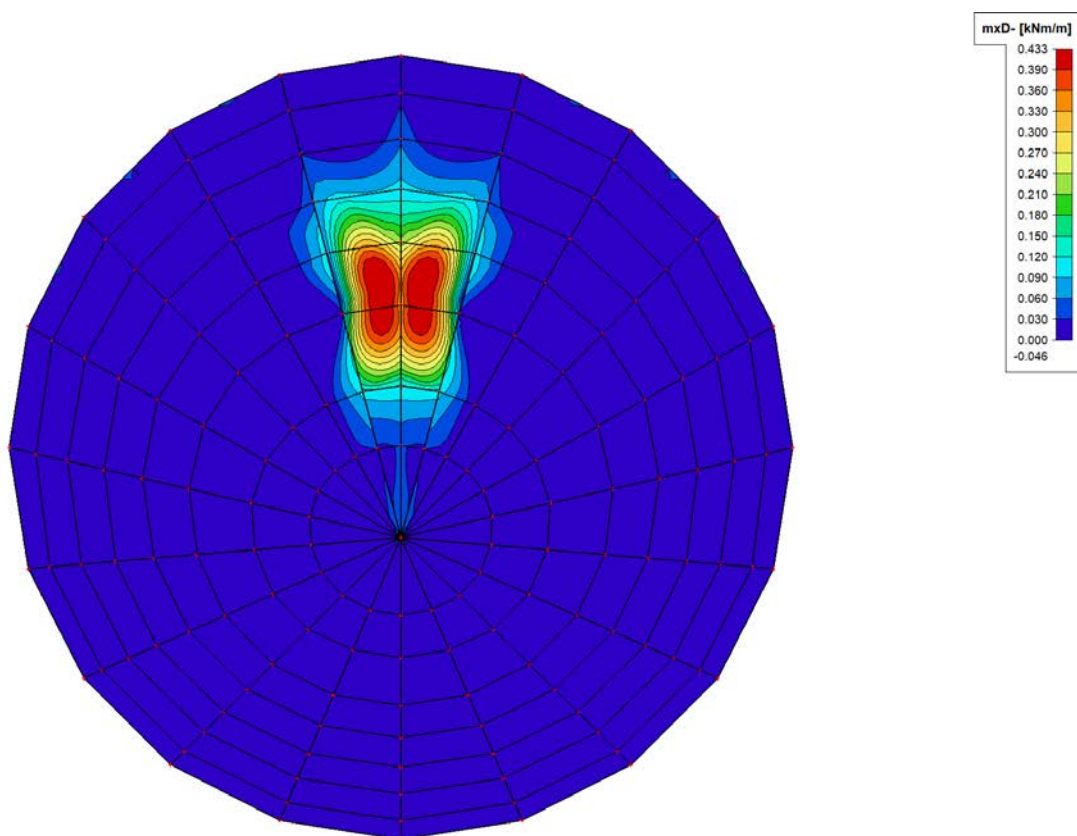
ZS3 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



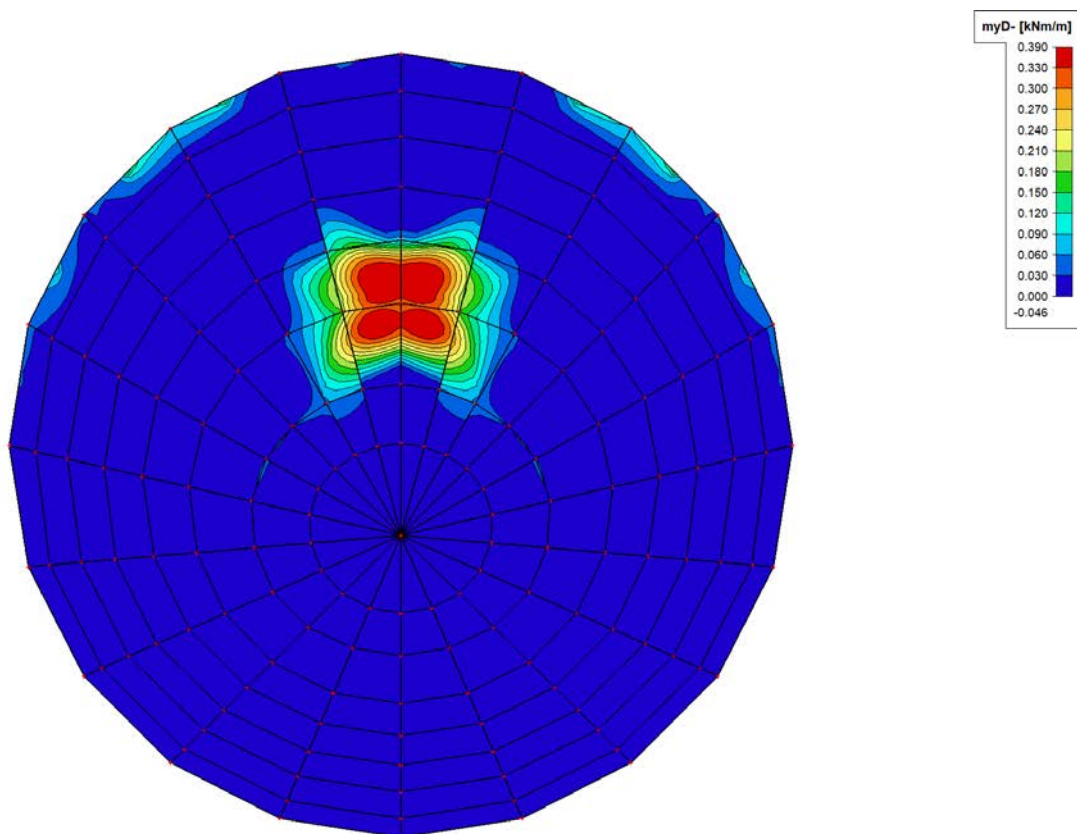
ZS3 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



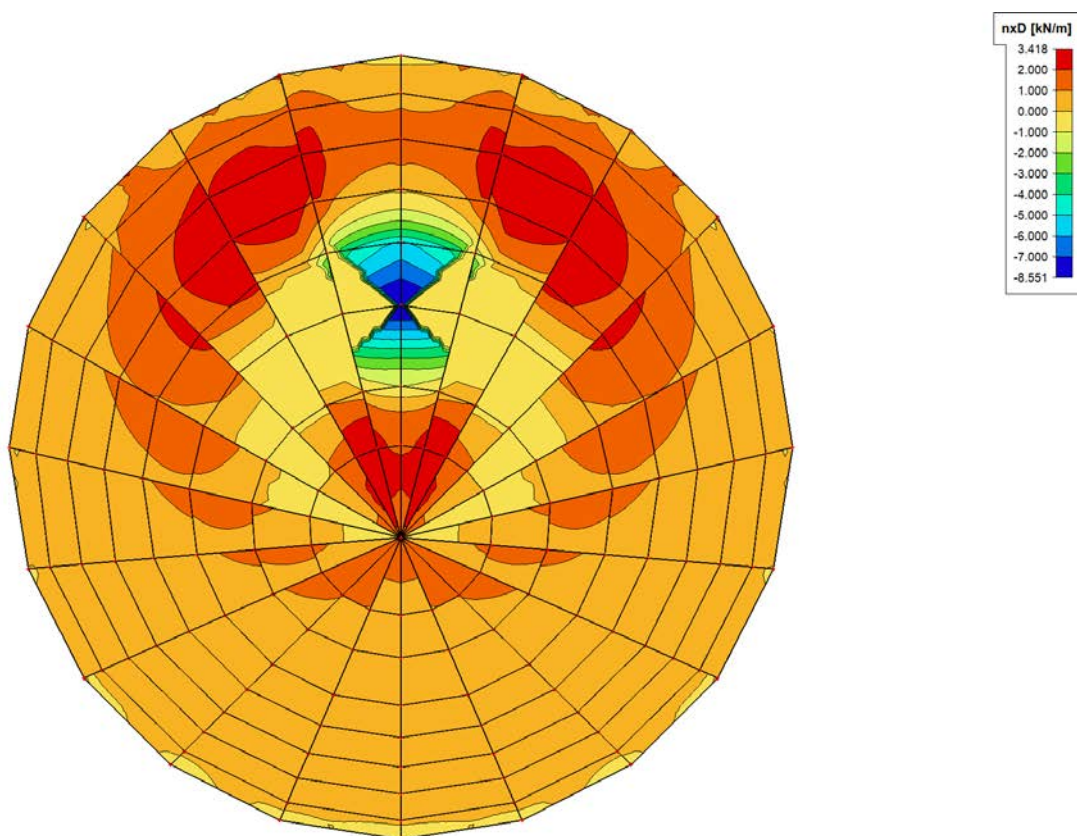
ZS3 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



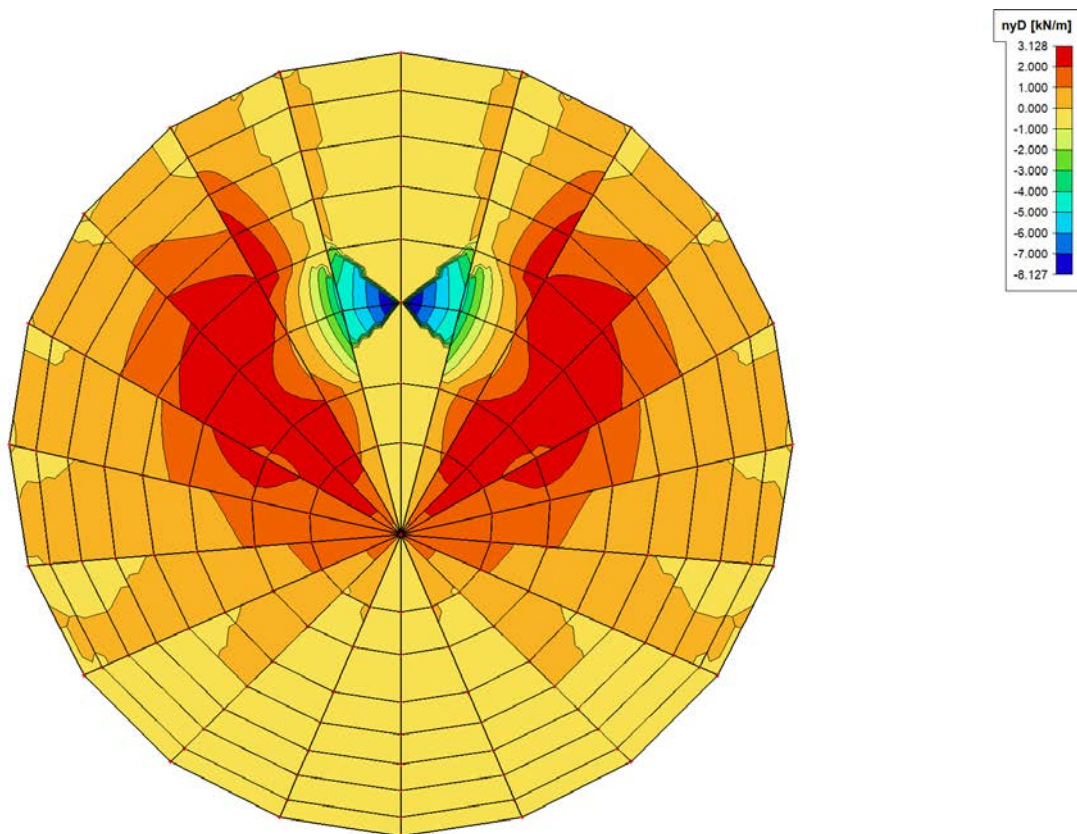
ZS3 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



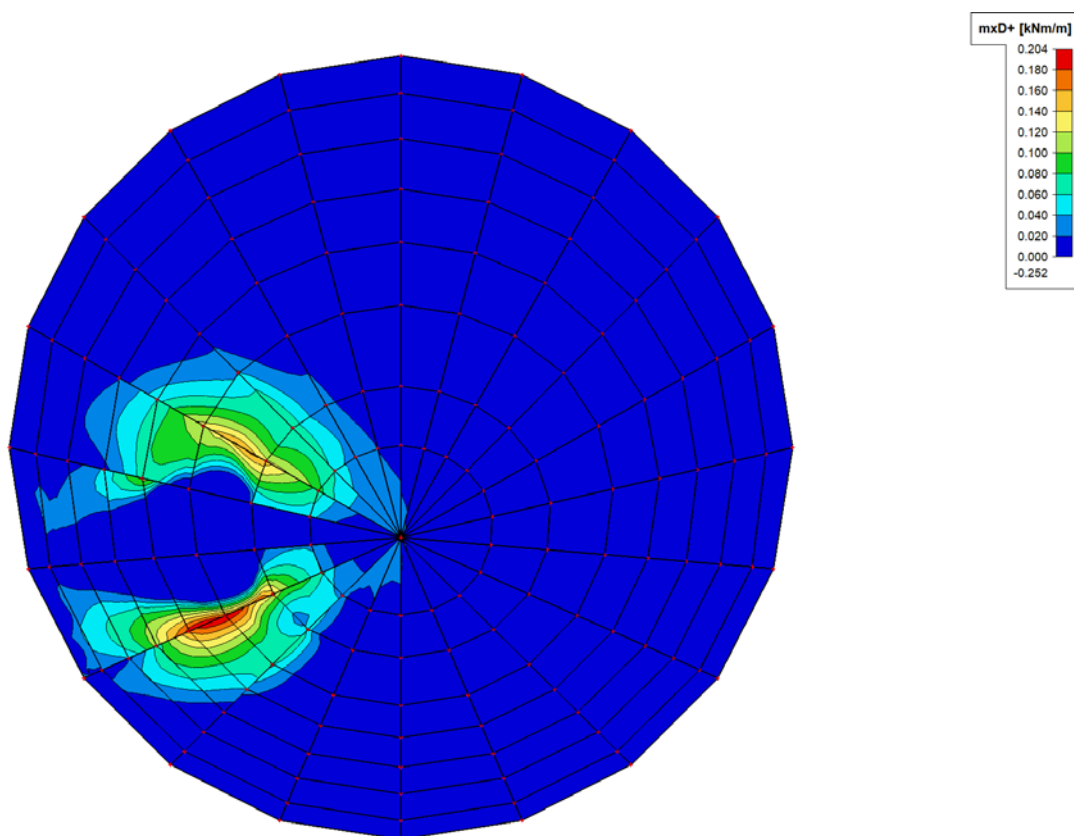
ZS3 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



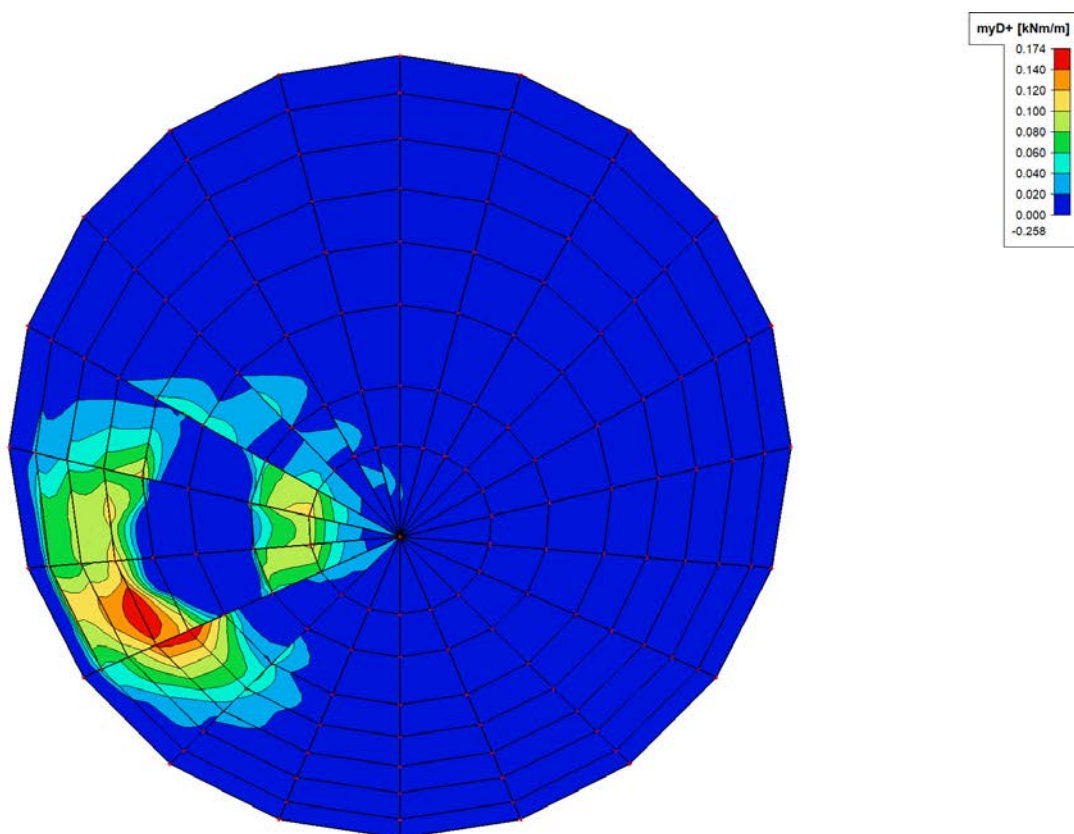
ZS3 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



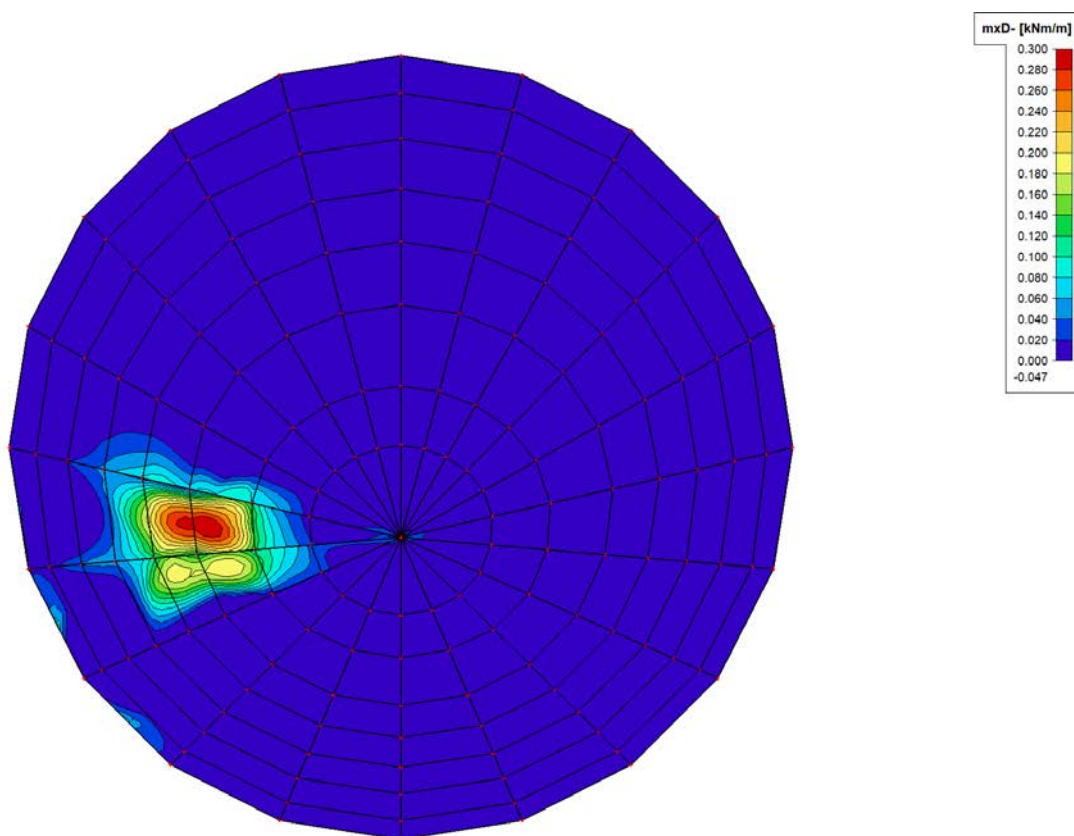
ZS4 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



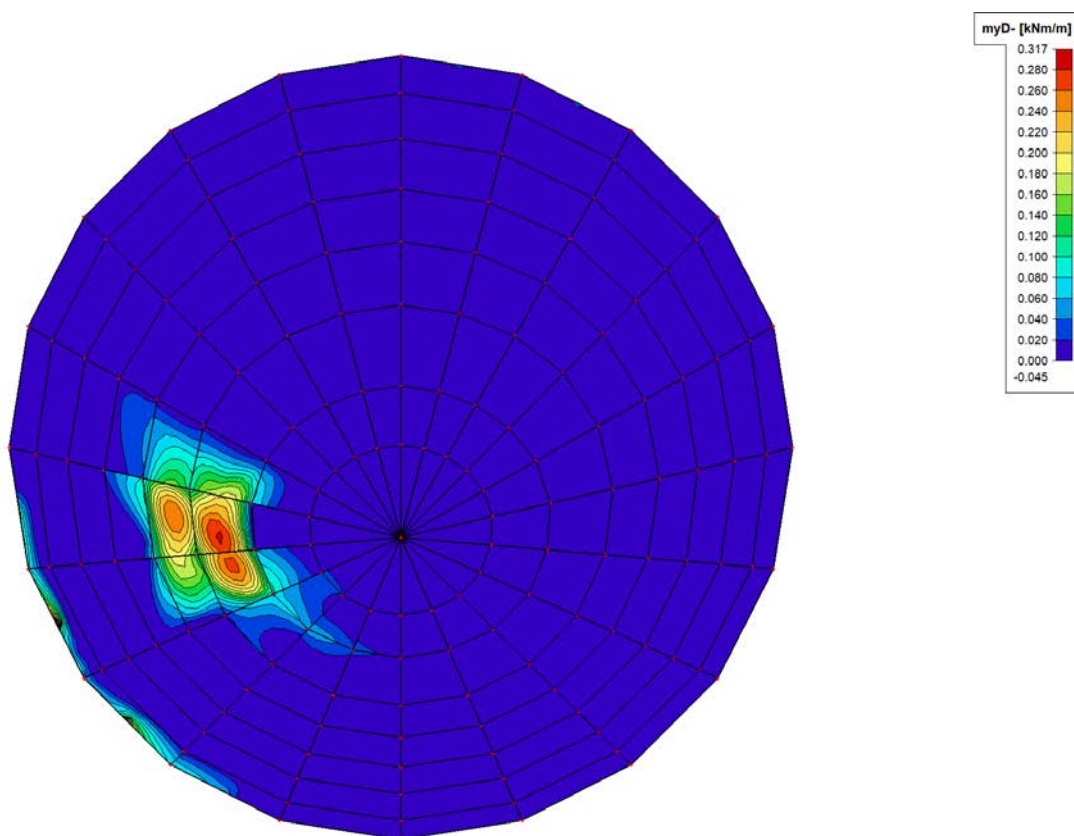
ZS4 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



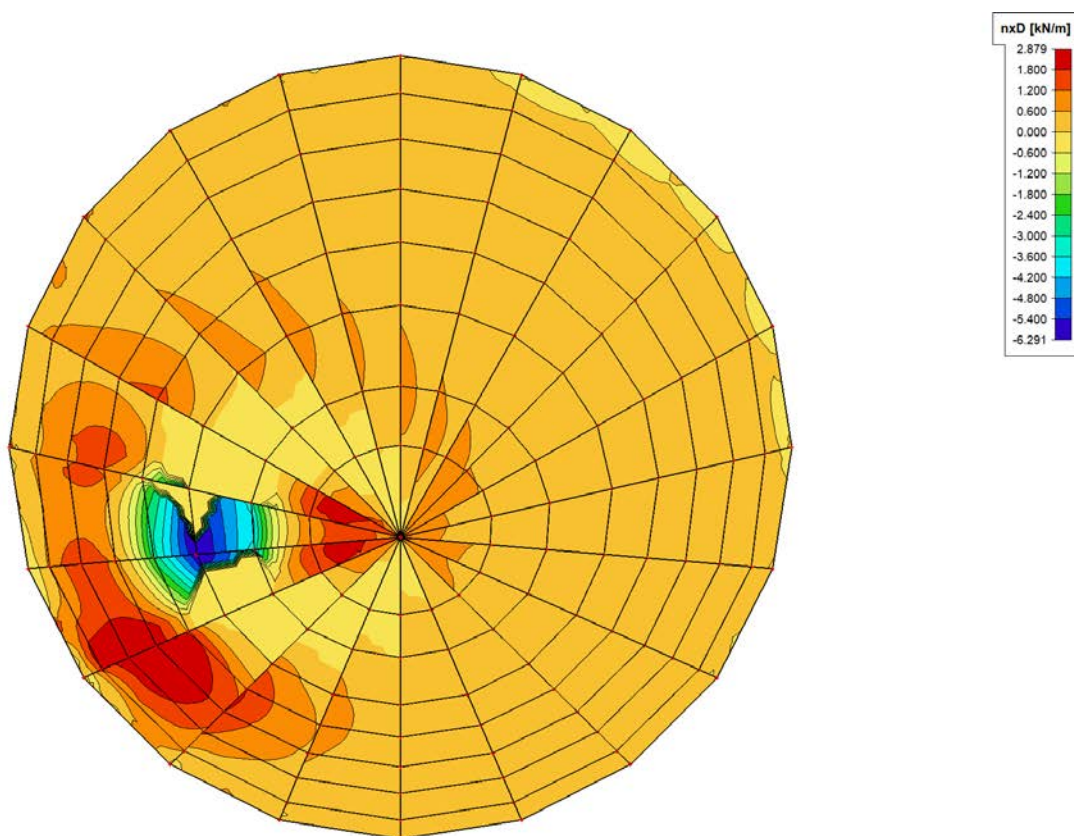
ZS4 – $mxD-$ [kNm/m] – tangenciální směr



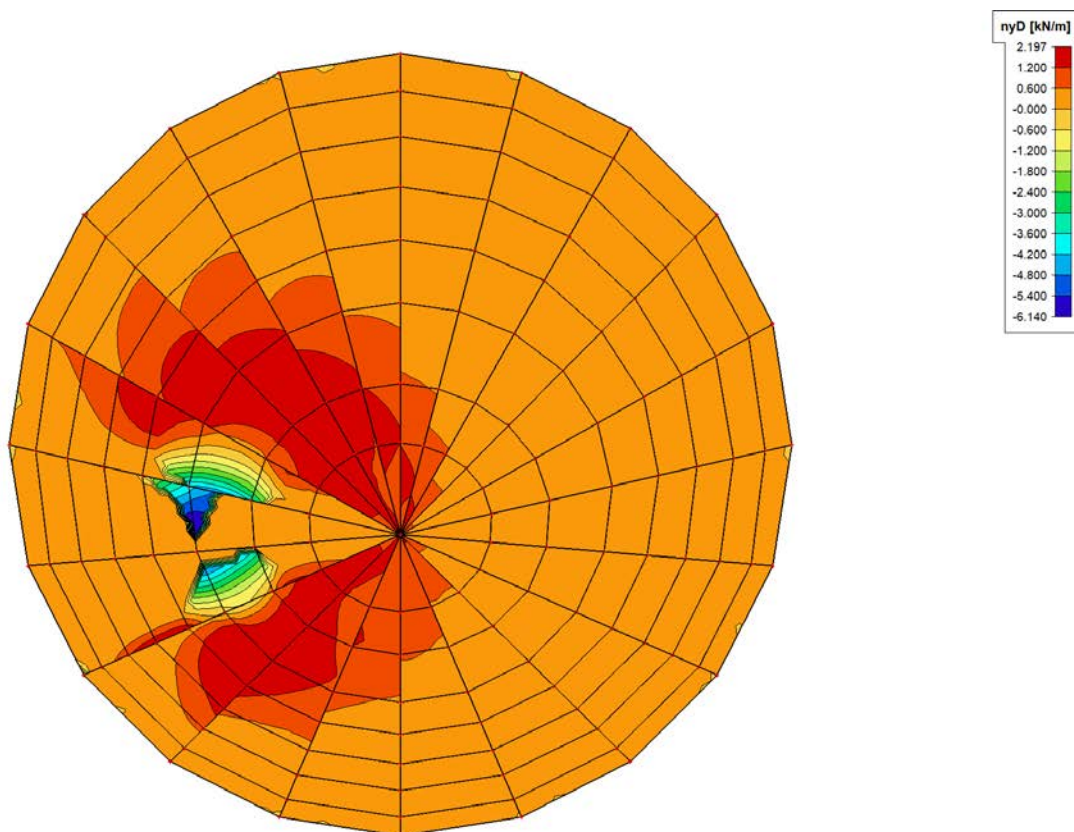
ZS4 – $myD-$ [kNm/m] – radiální směr



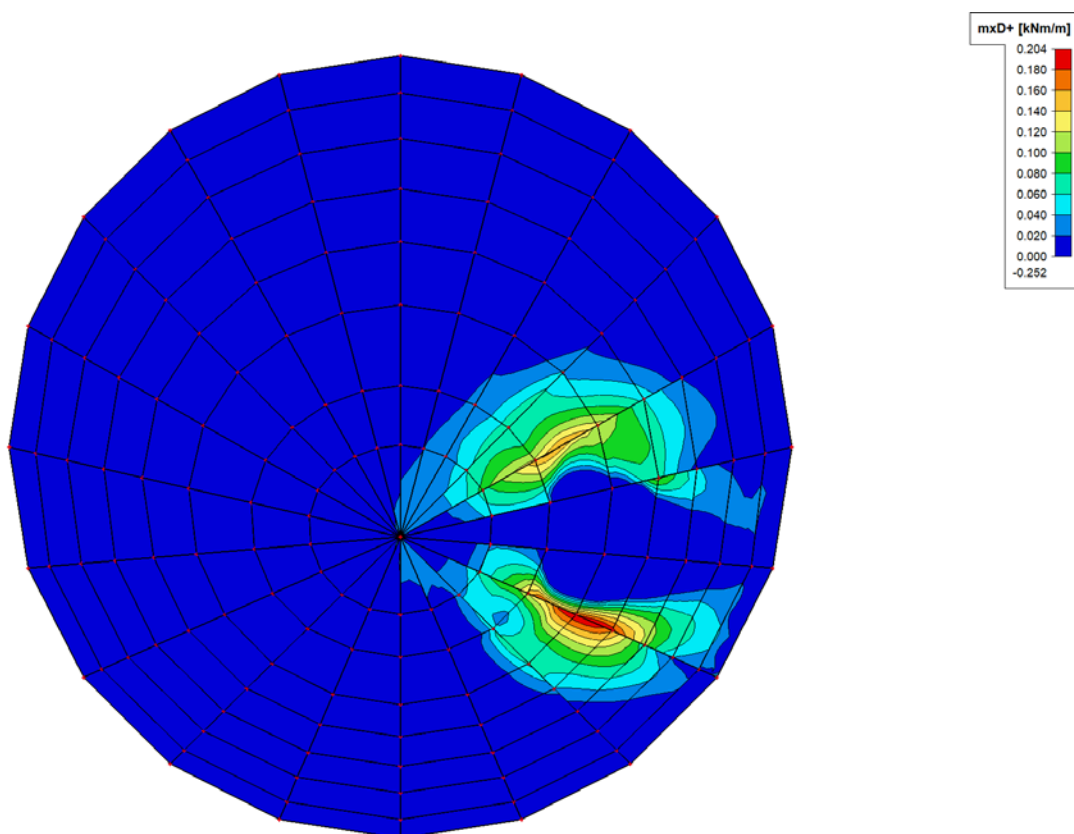
ZS4 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



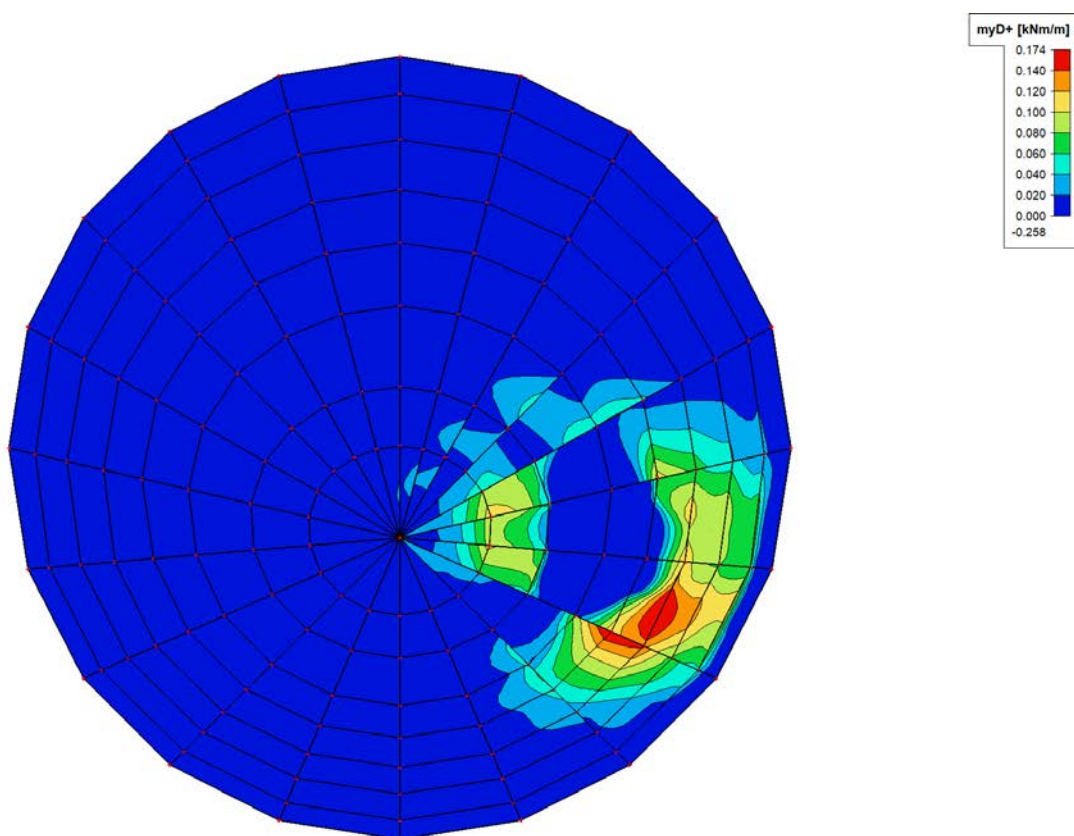
ZS4 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



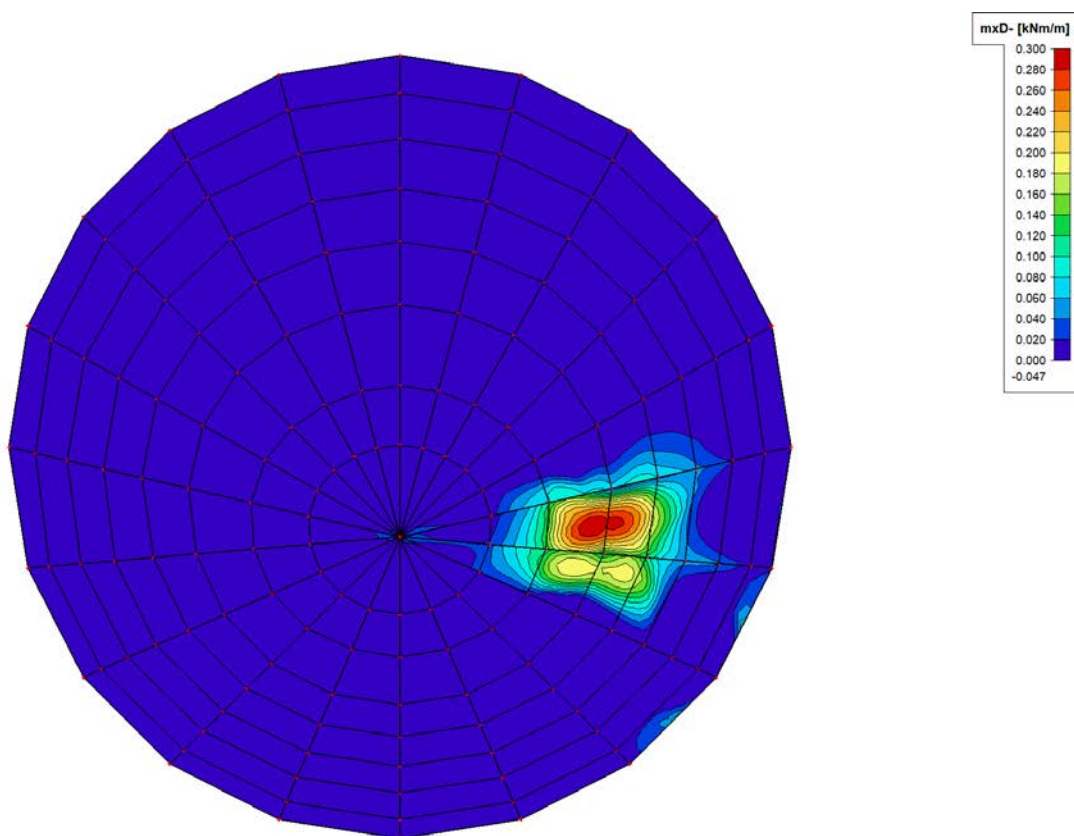
ZS5 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



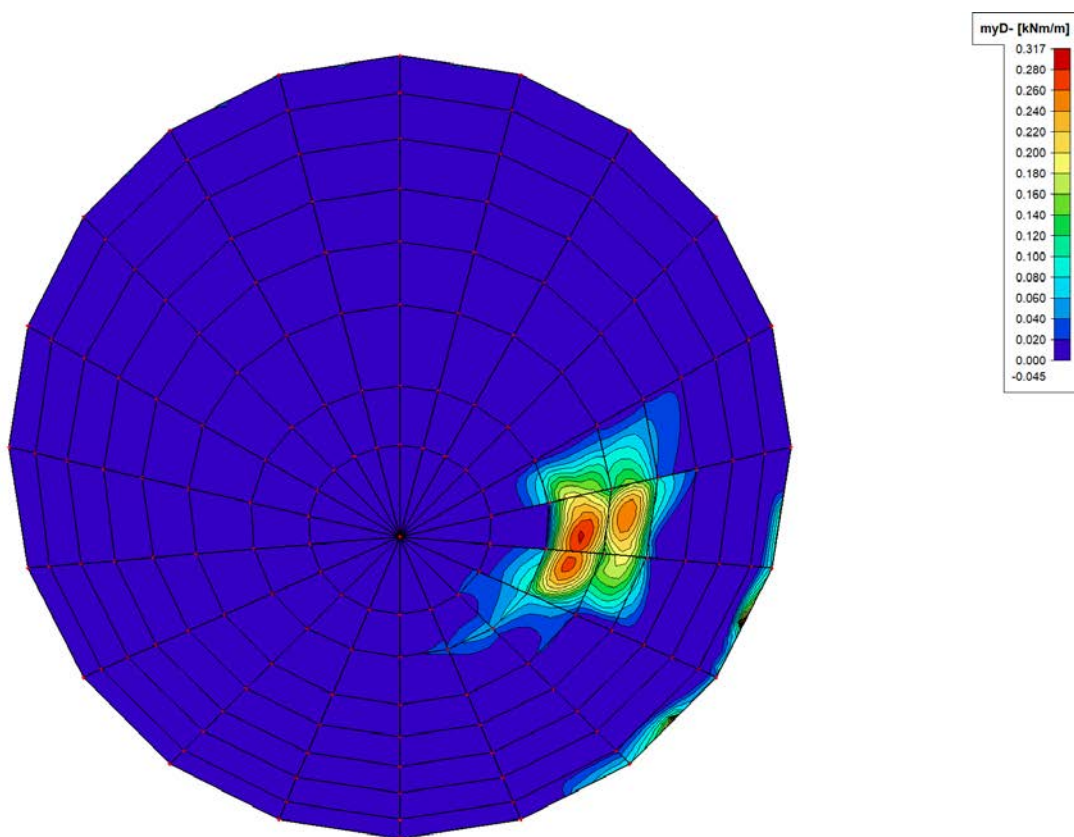
ZS5 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



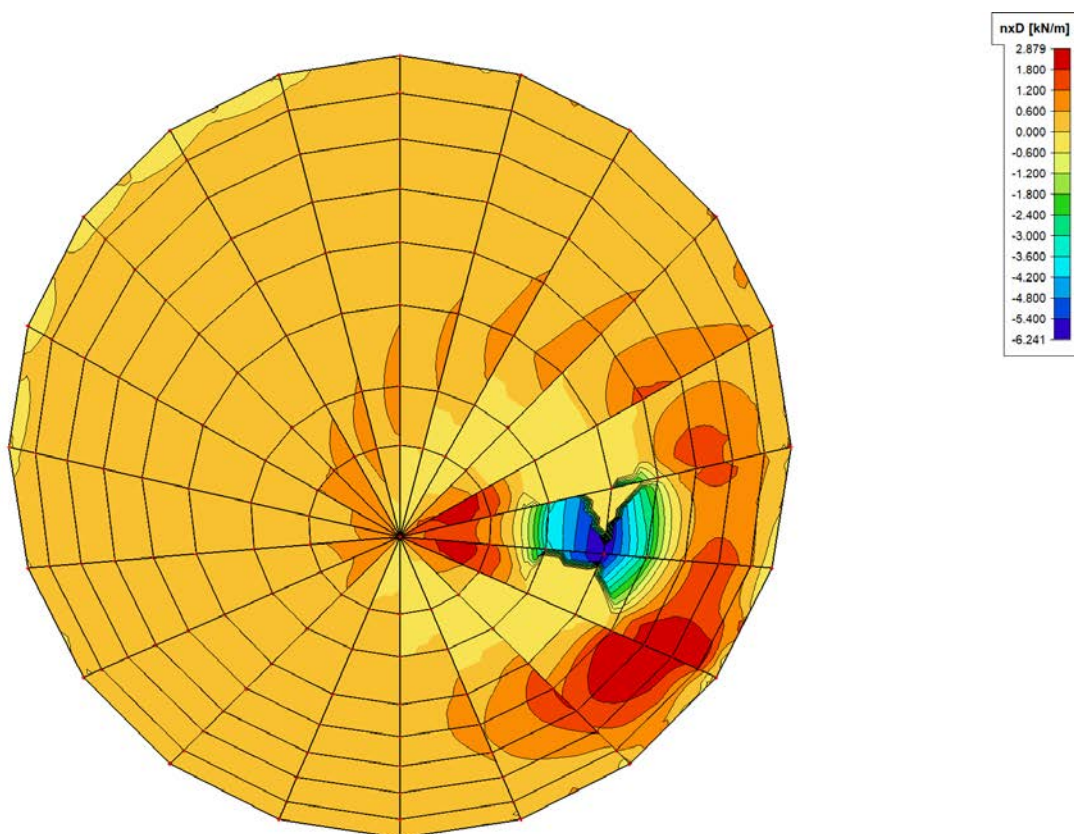
ZS5 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



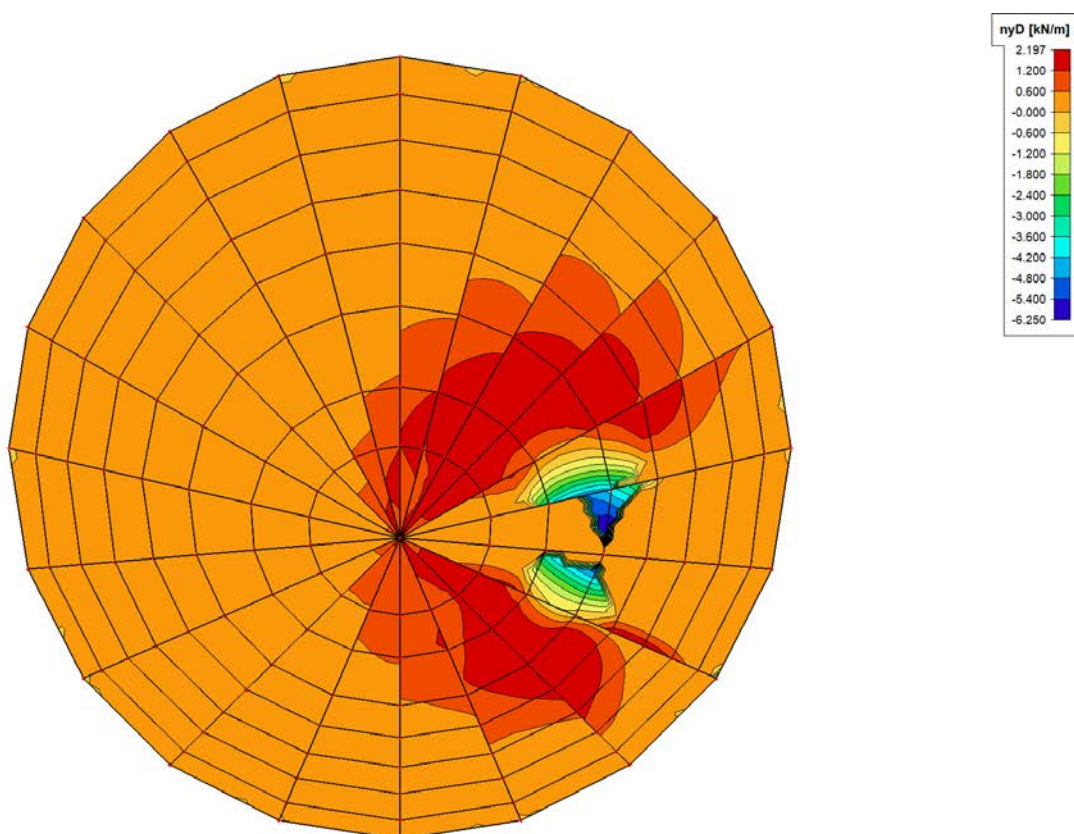
ZS5 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



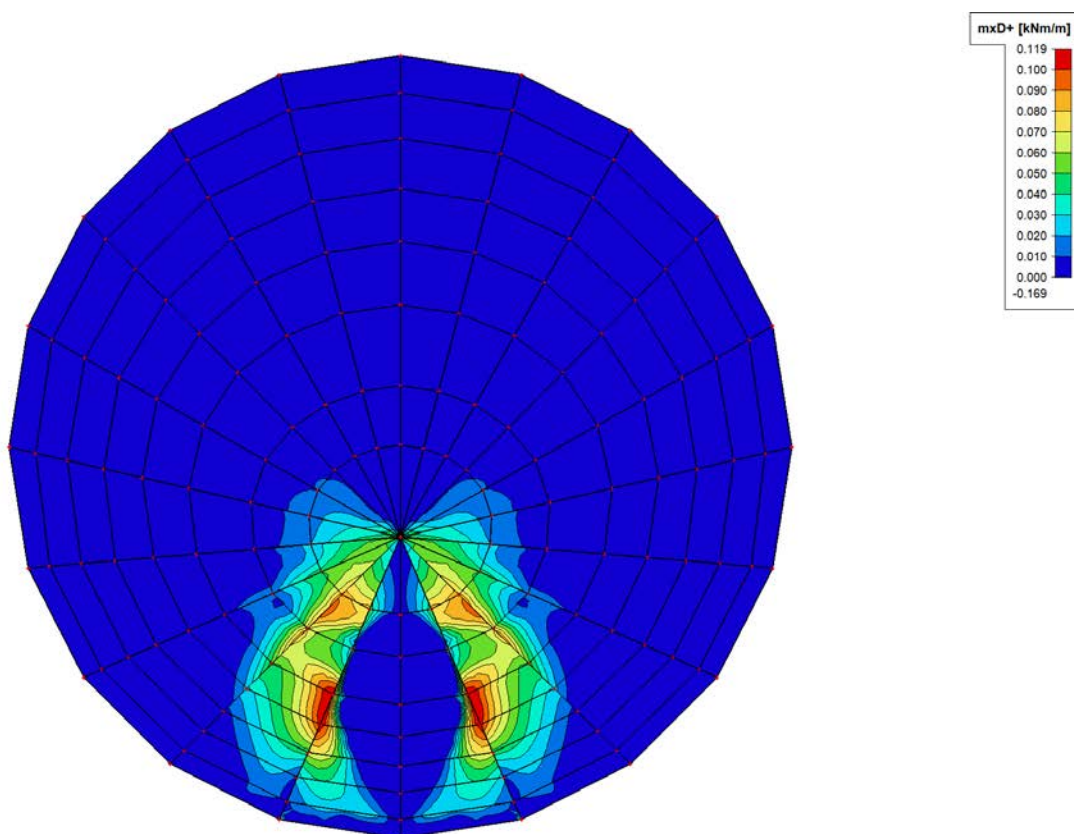
ZS5 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



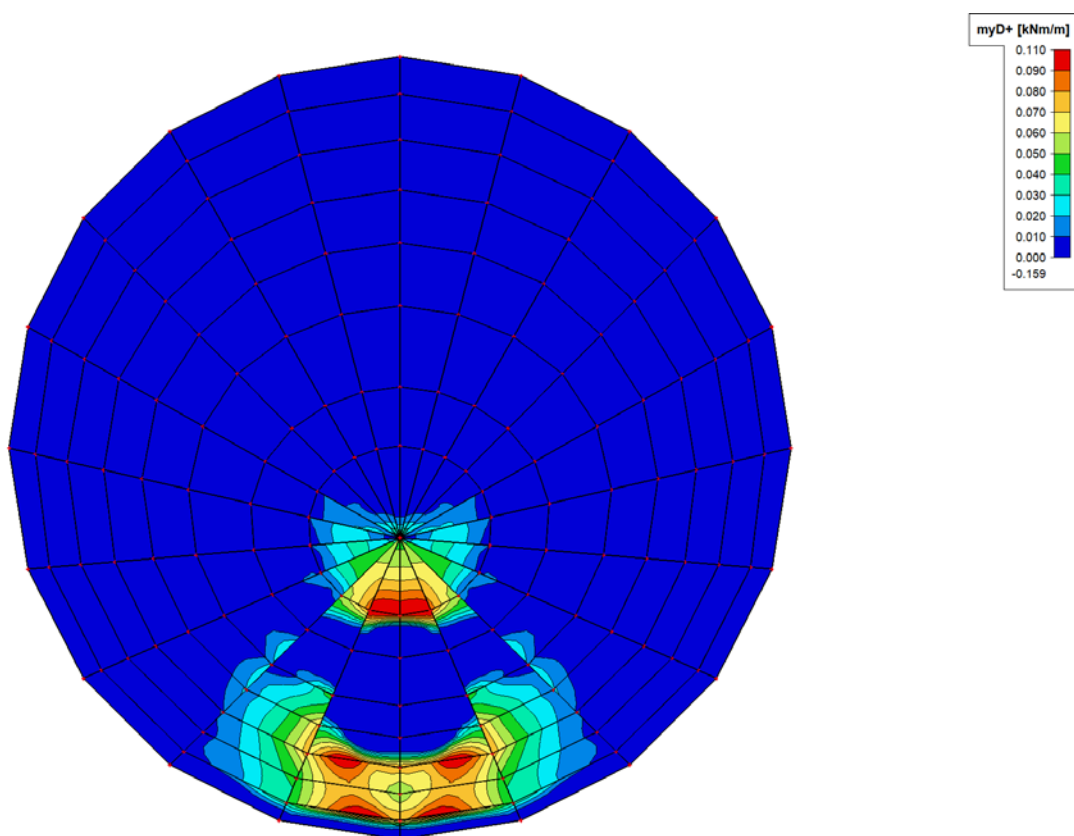
ZS5 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



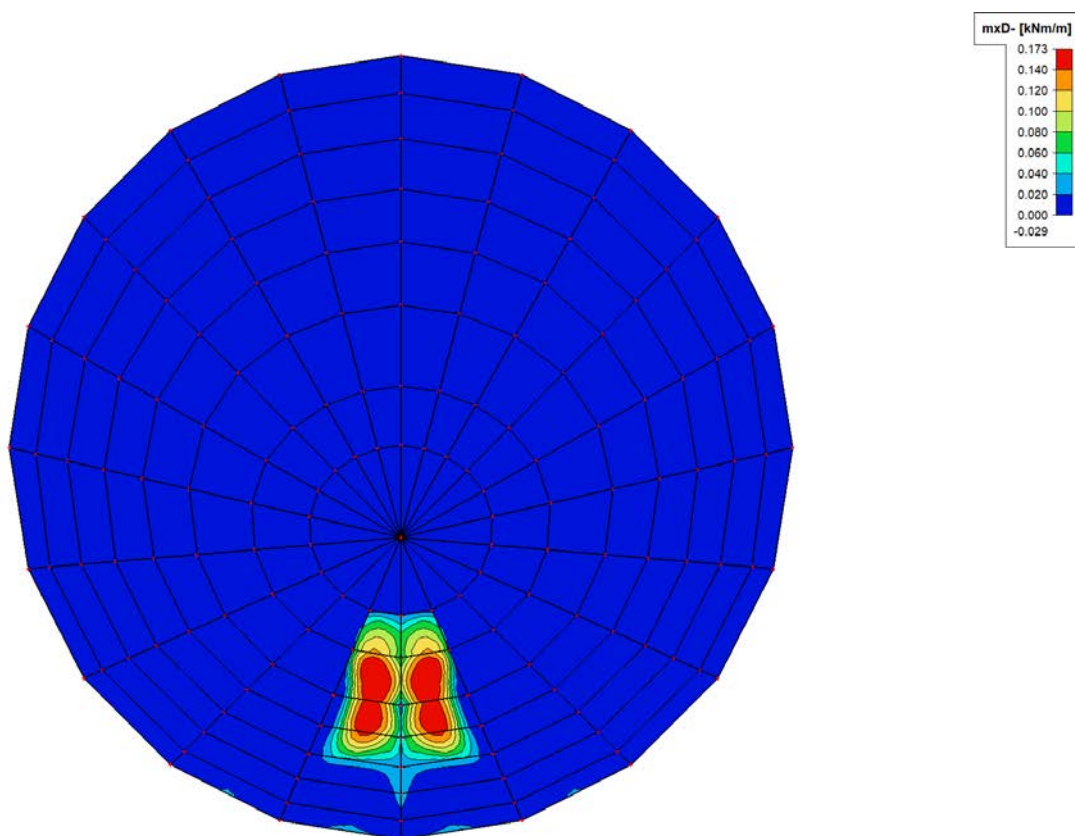
ZS6 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



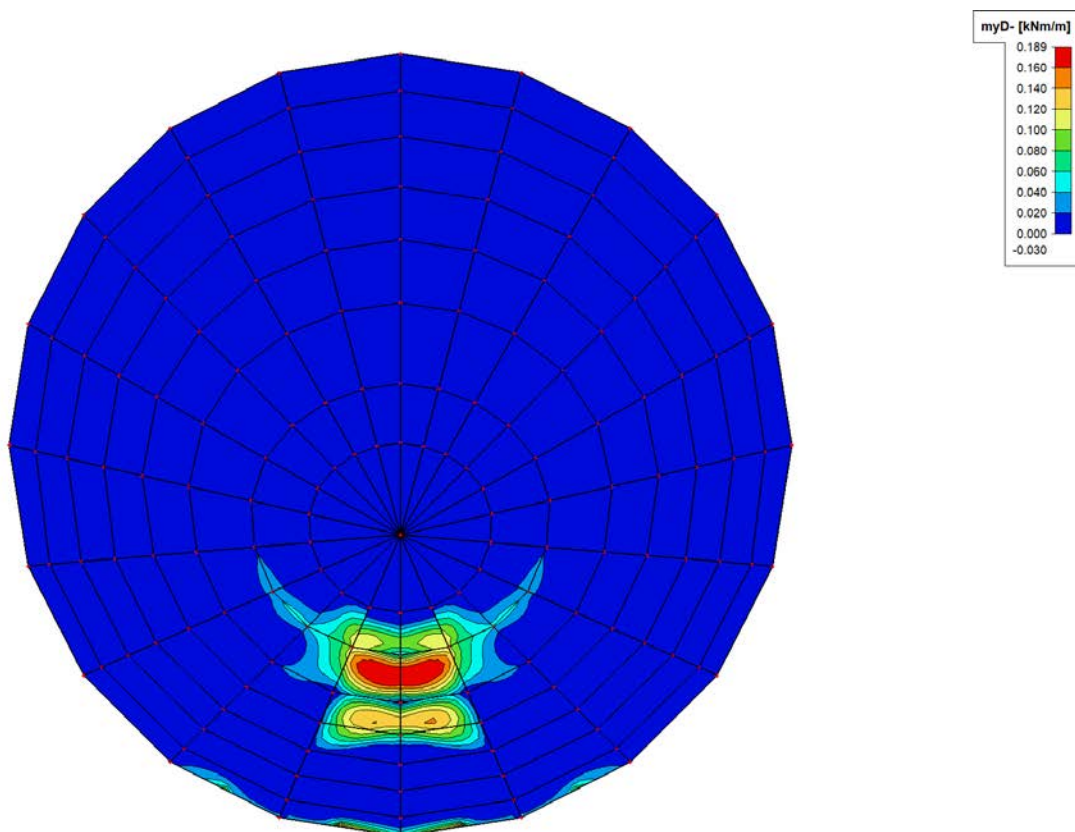
ZS6 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



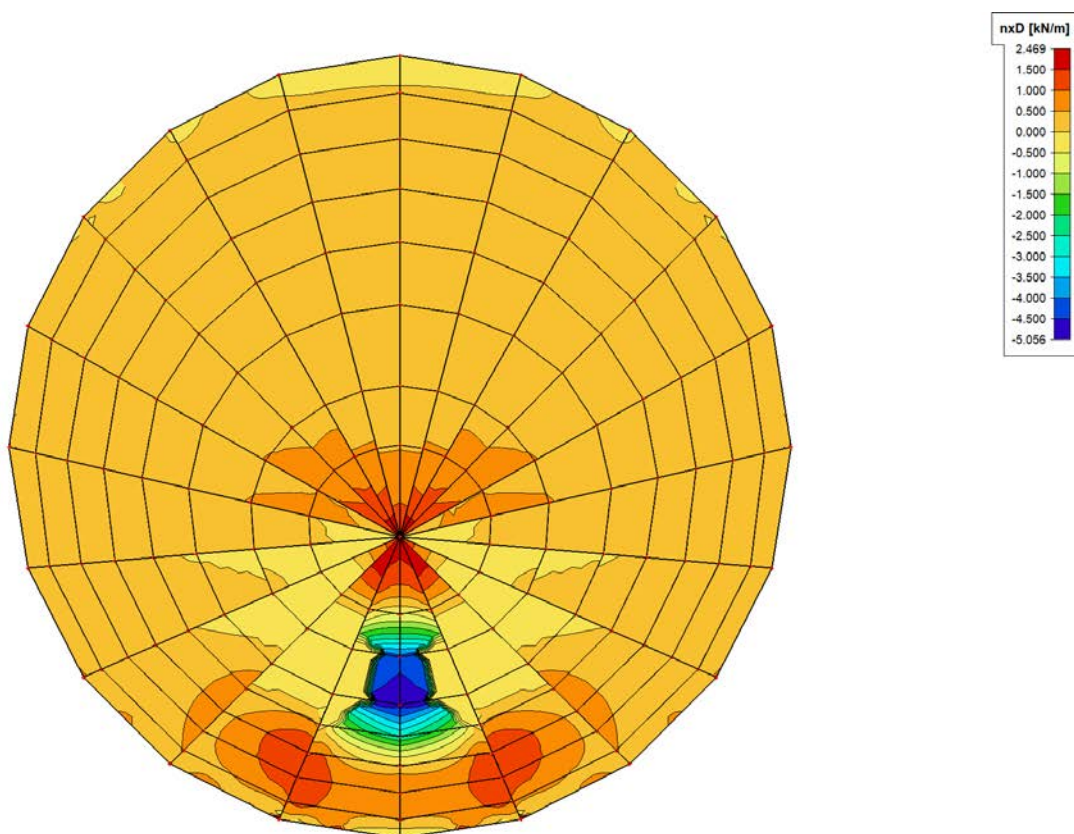
ZS6 – m_{xD} – [kNm/m] – tangenciální směr



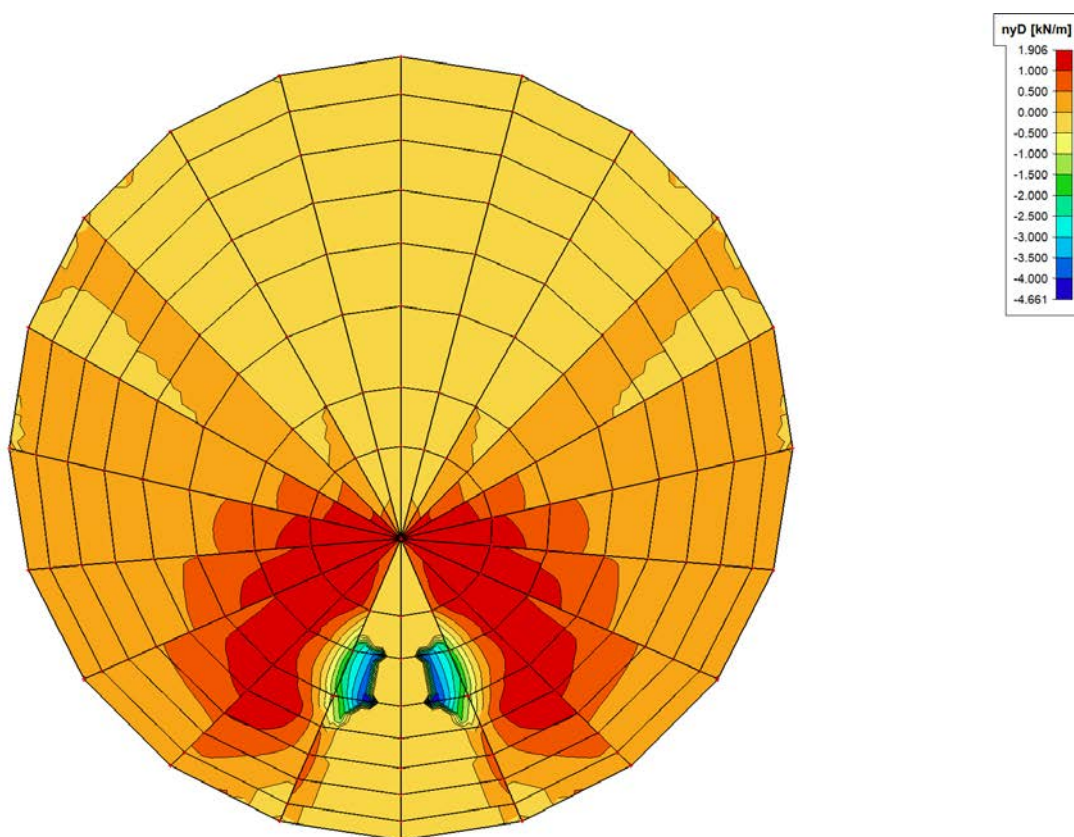
ZS6 – m_{yD} – [kNm/m] – radiální směr



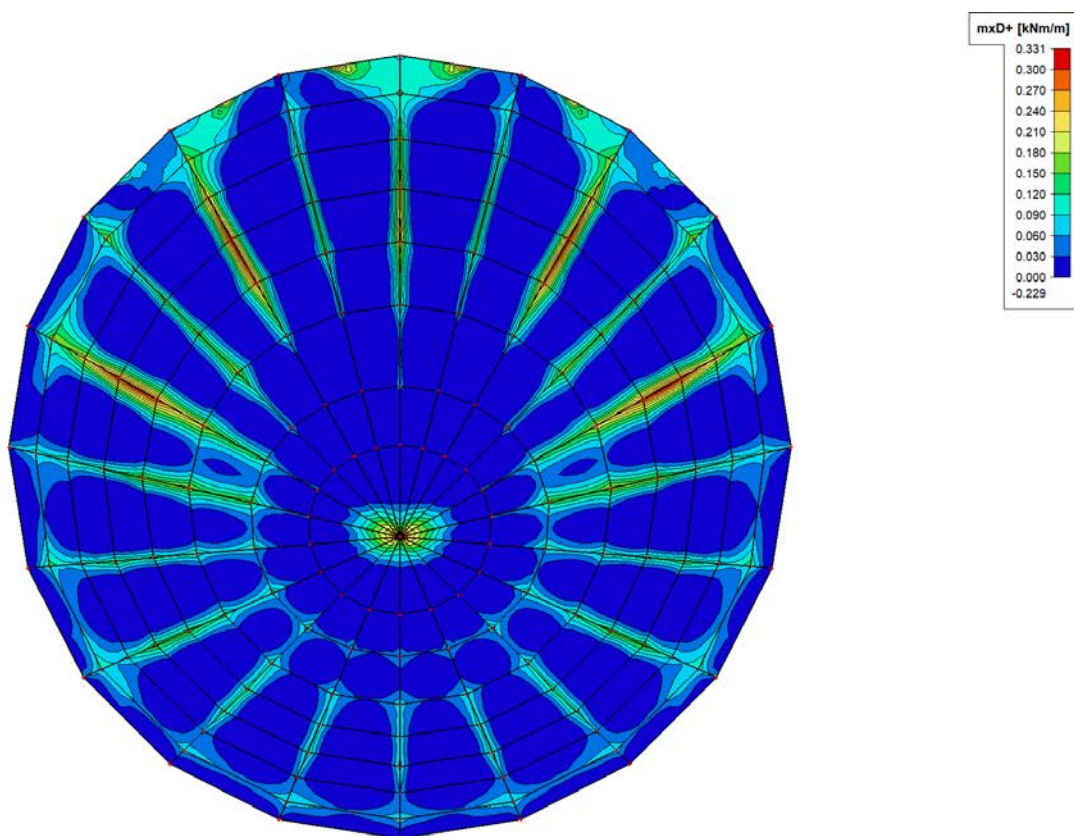
ZS6 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



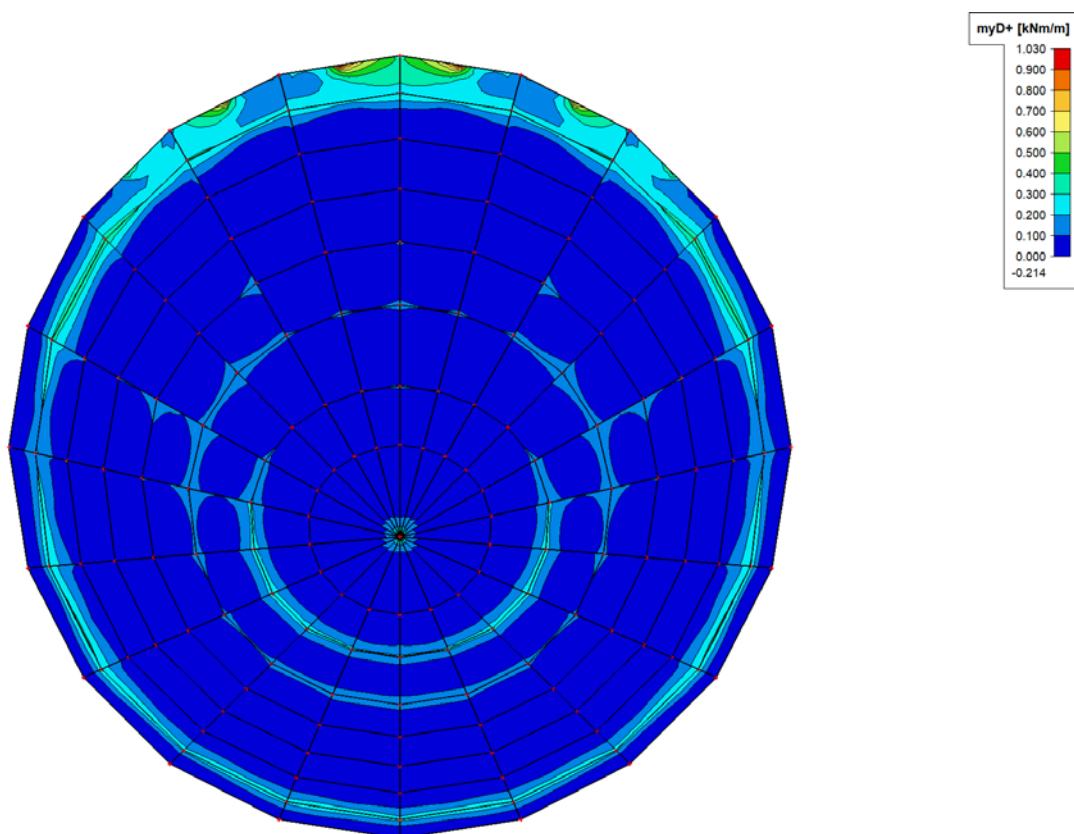
ZS6 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



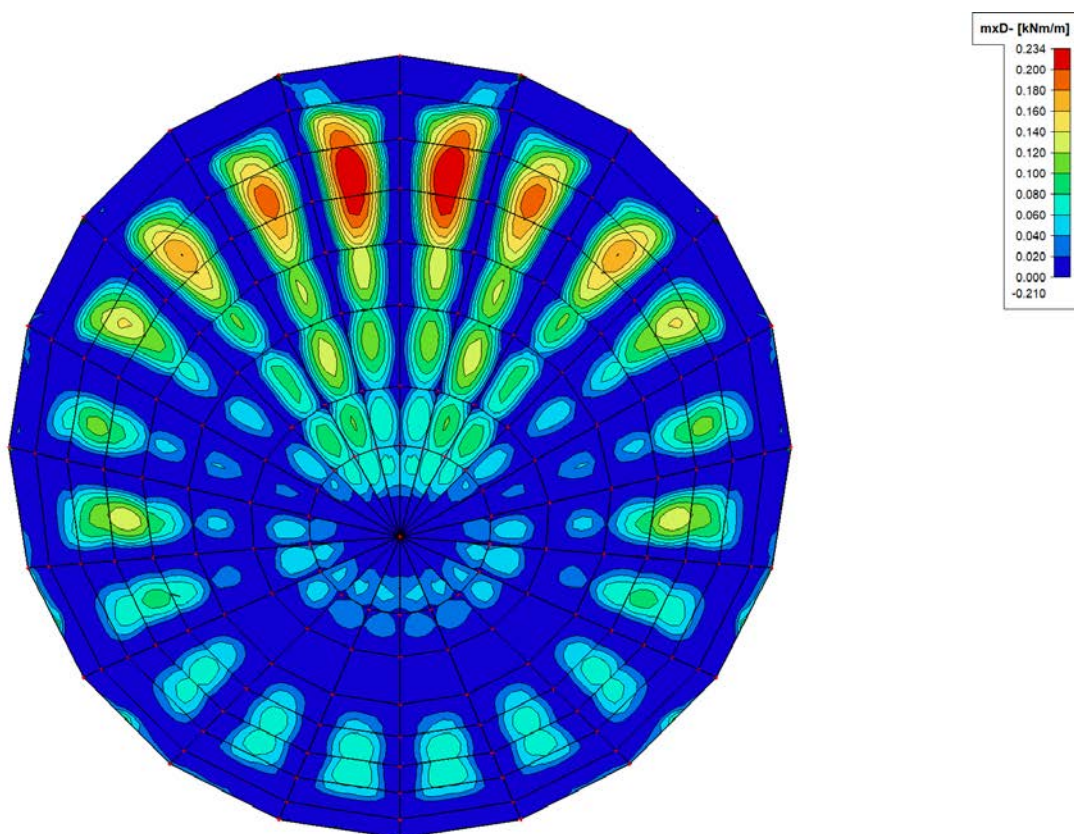
ZS7 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



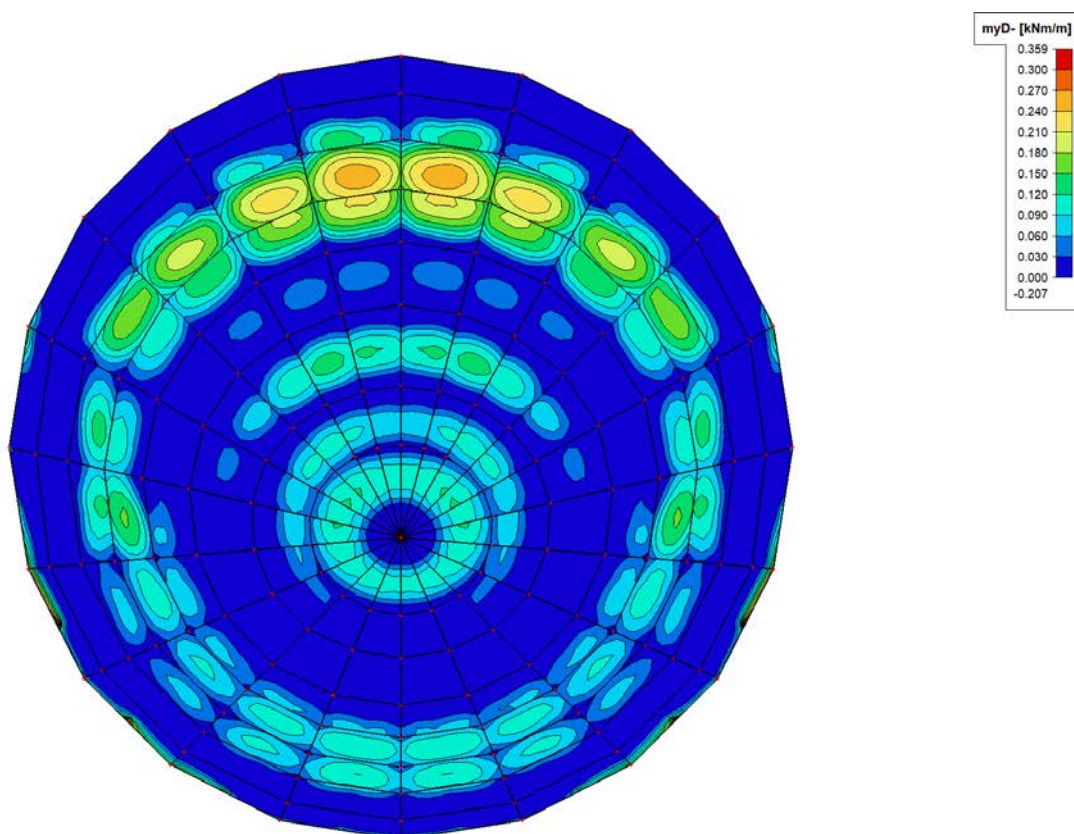
ZS7 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



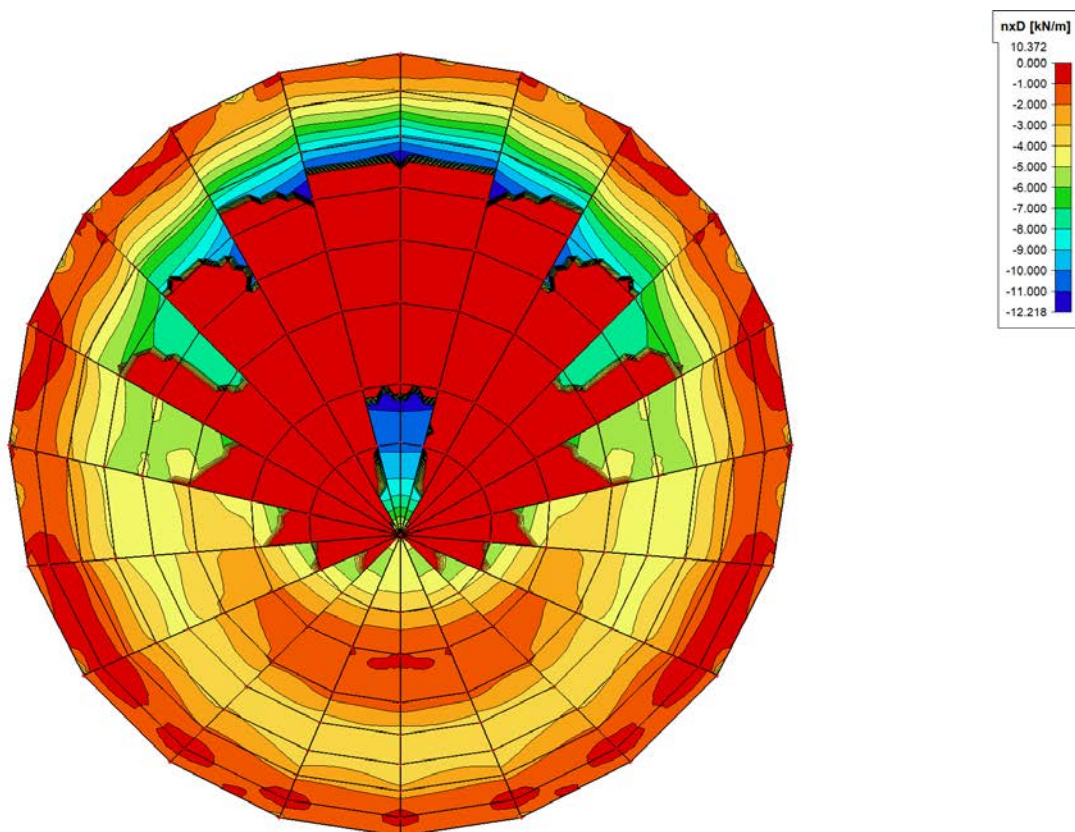
ZS7 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



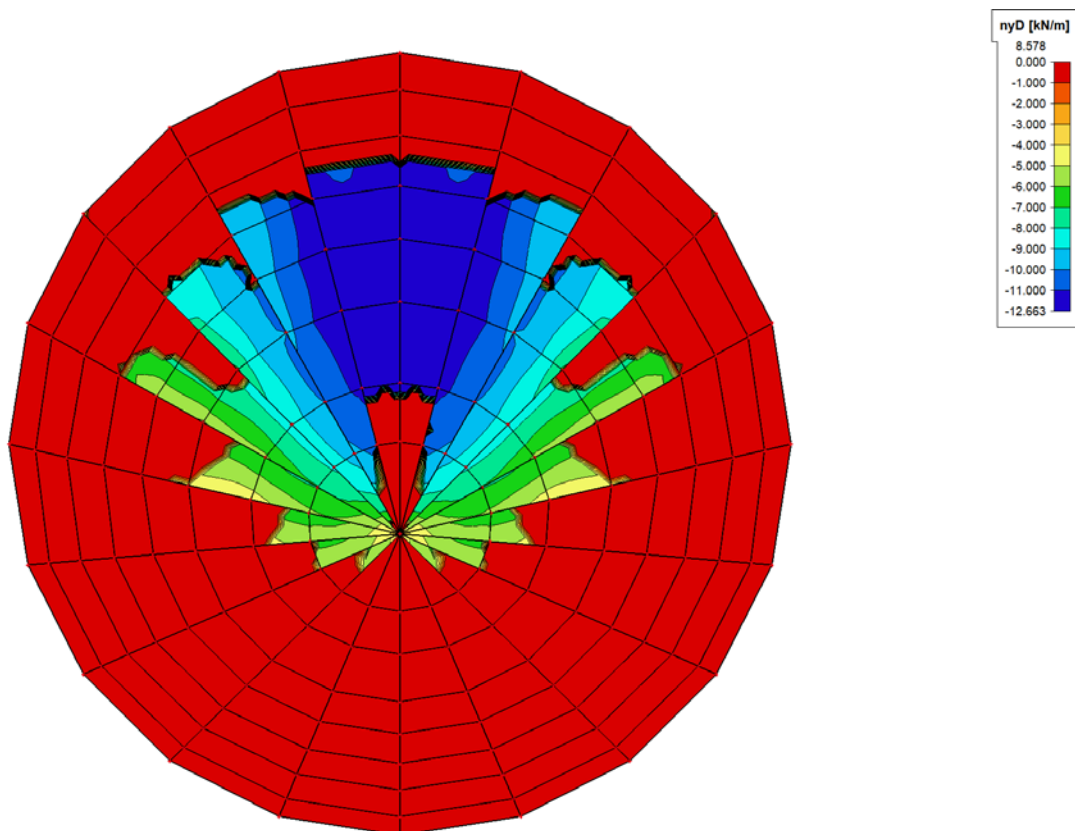
ZS7 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



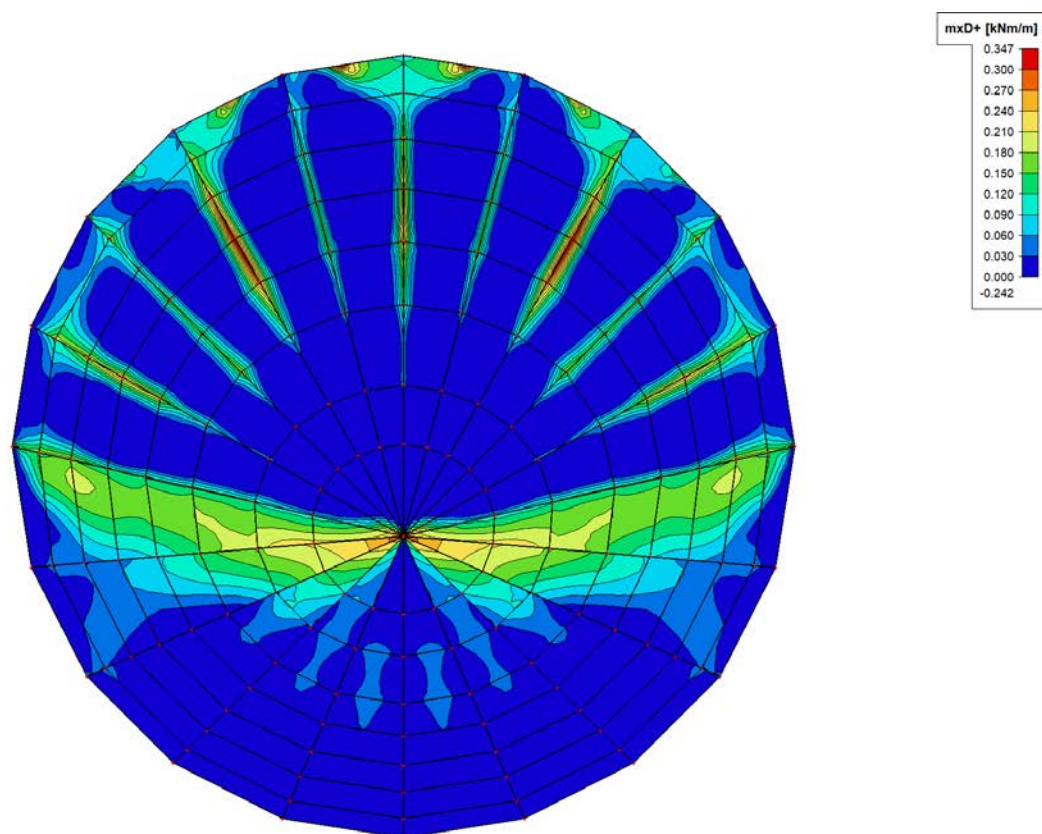
ZS7 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



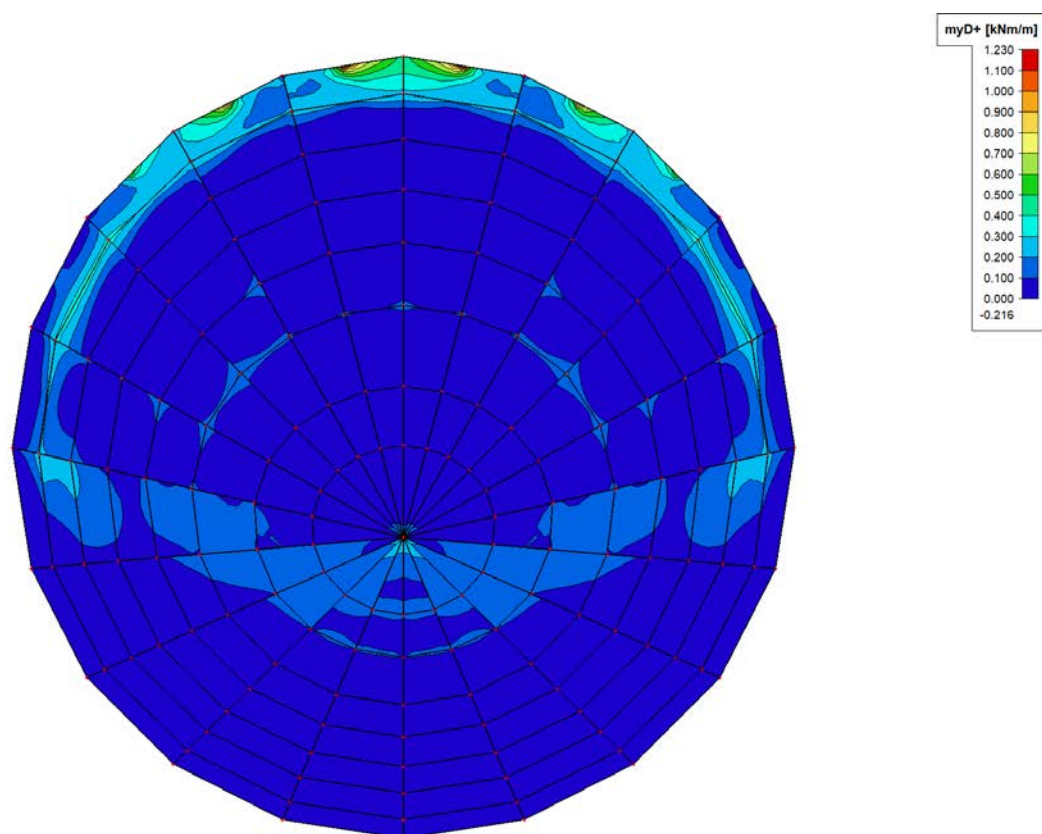
ZS7 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



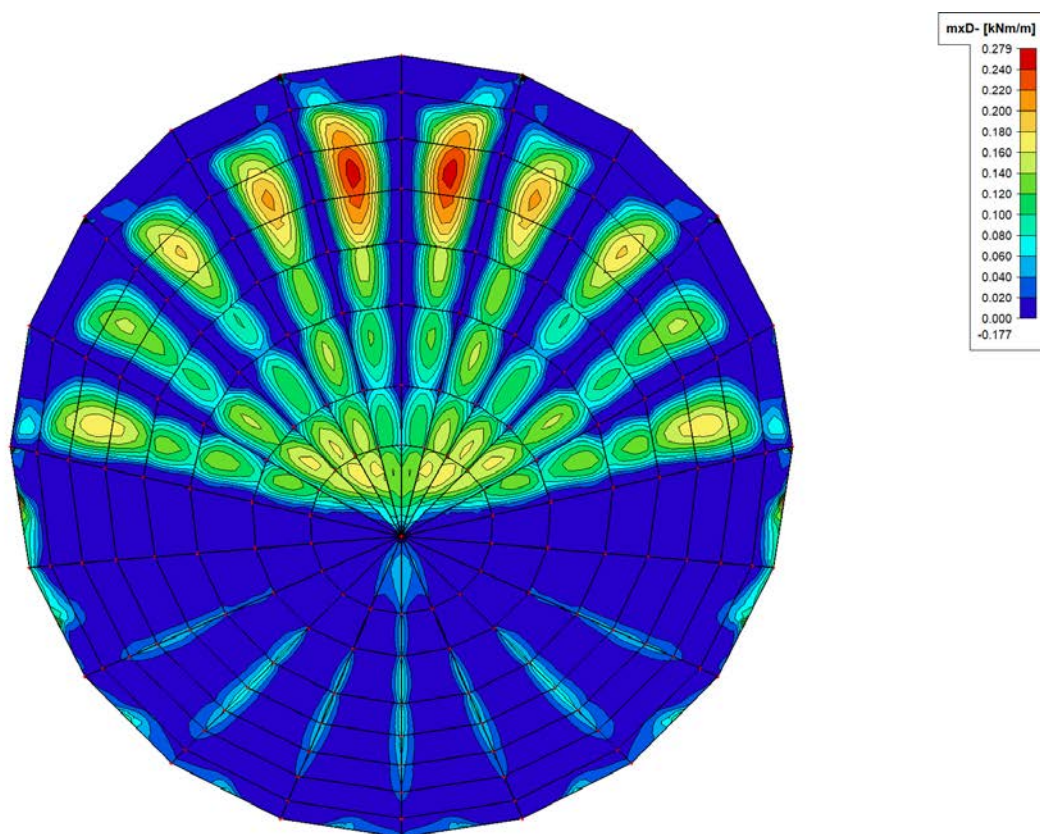
ZS8 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



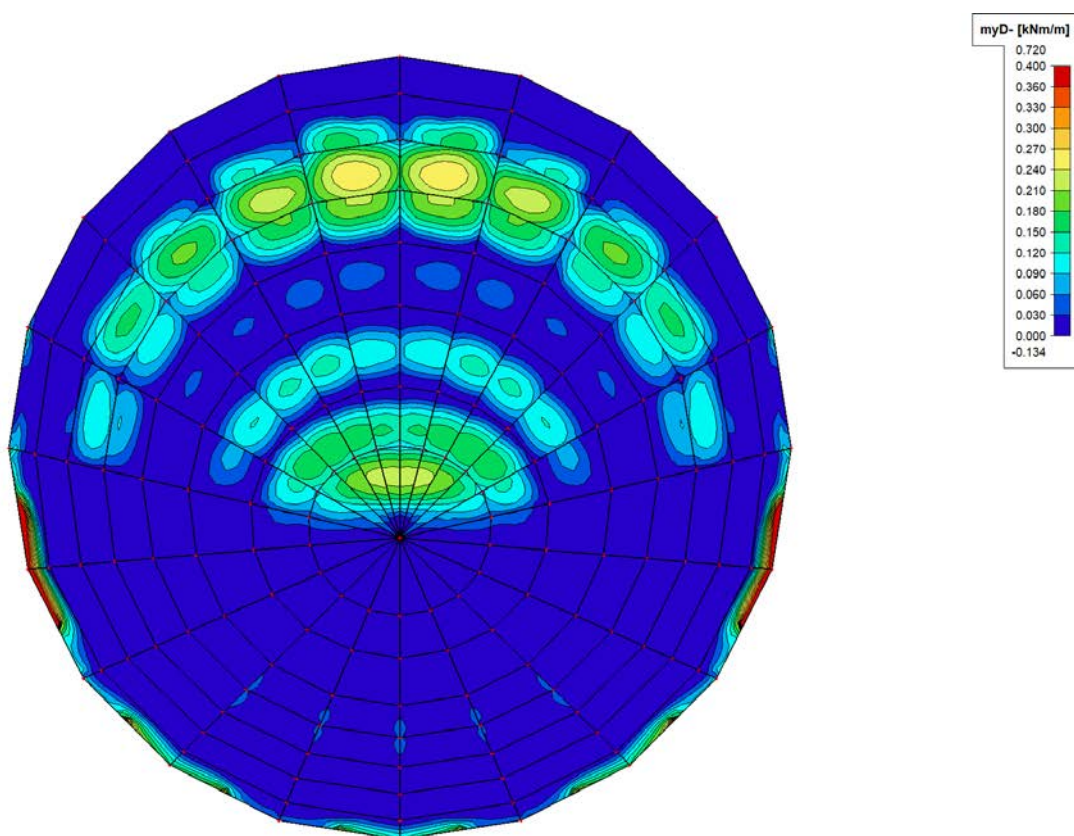
ZS8 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



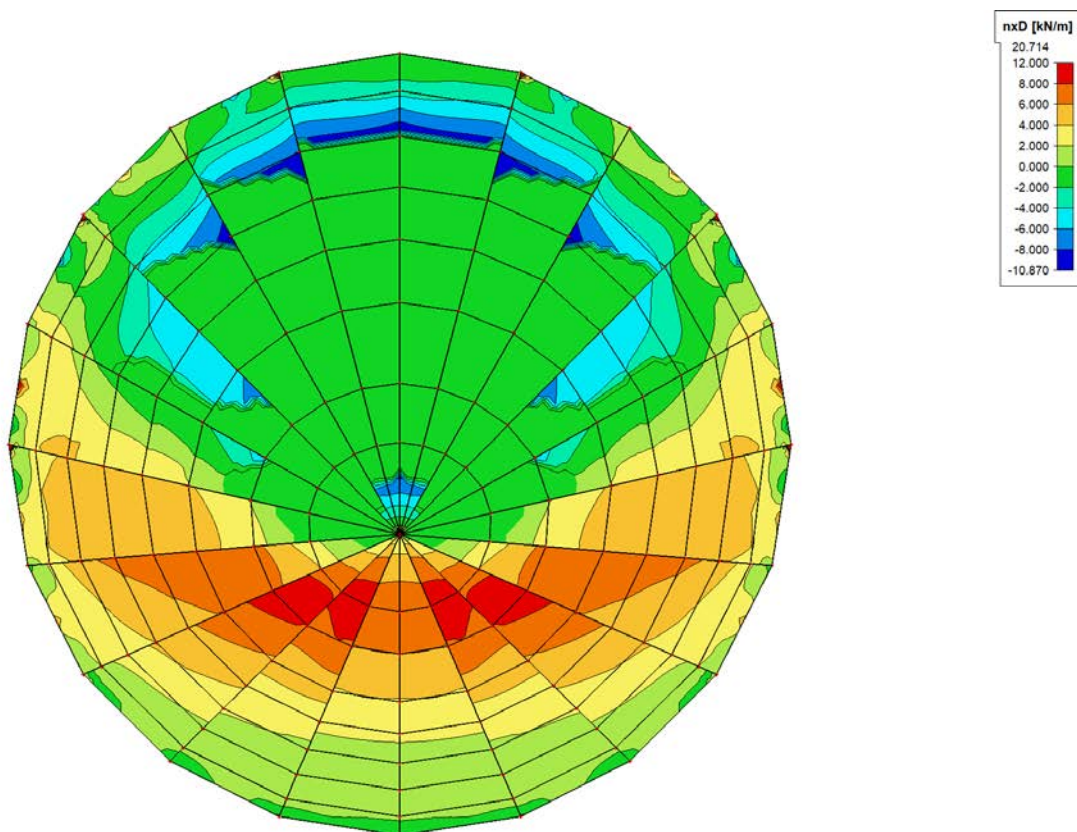
ZS8 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



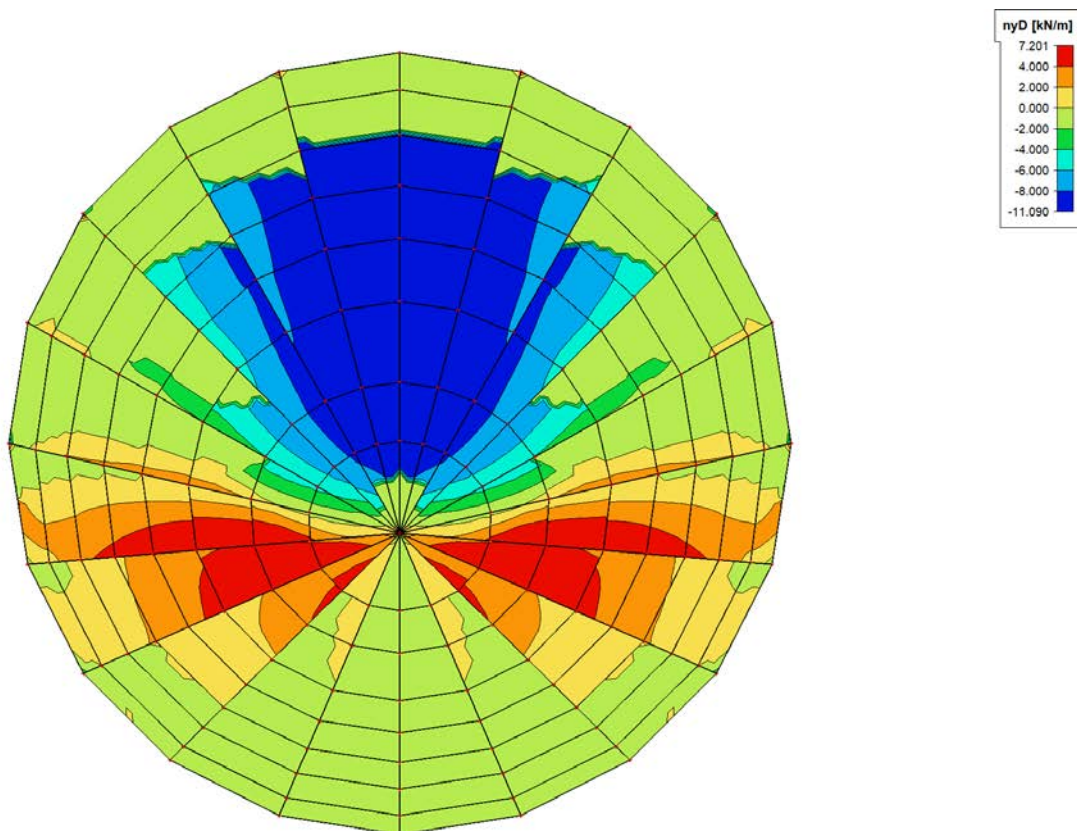
ZS8 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



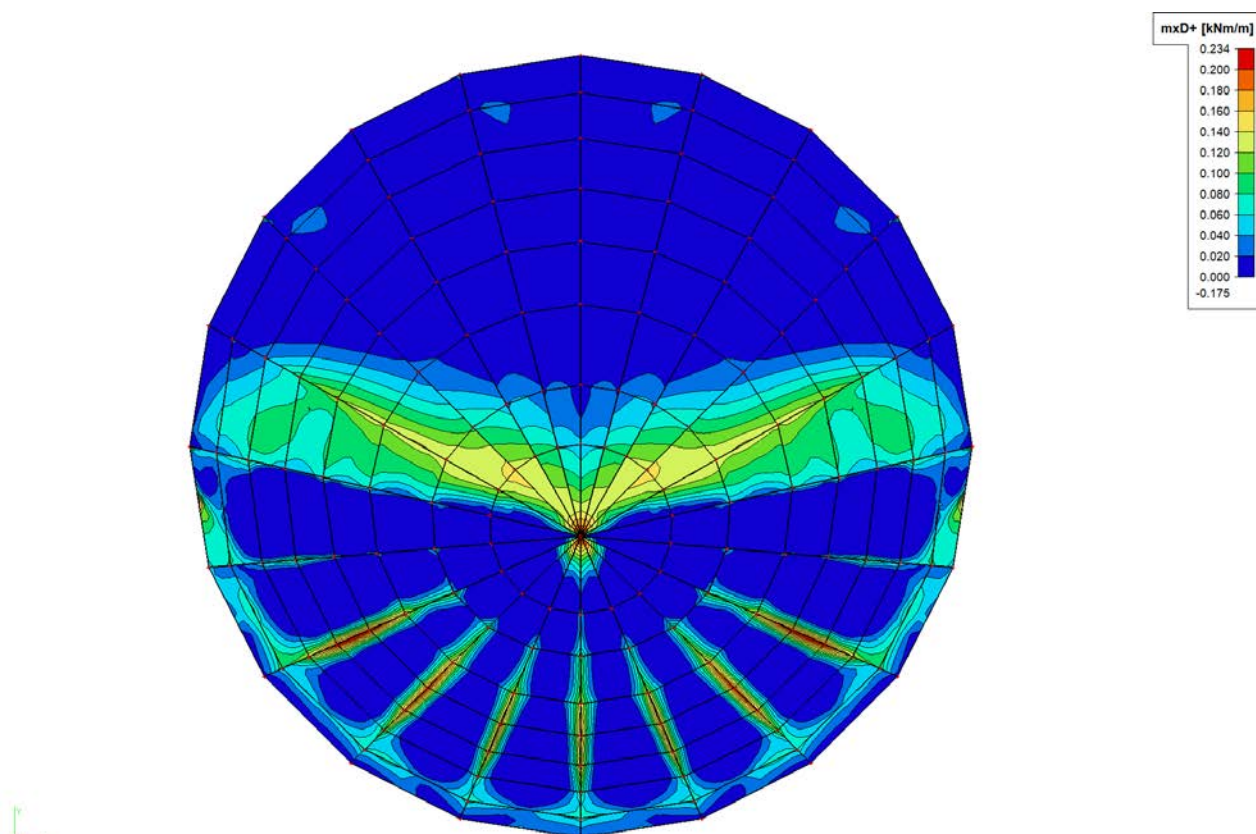
ZS8 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



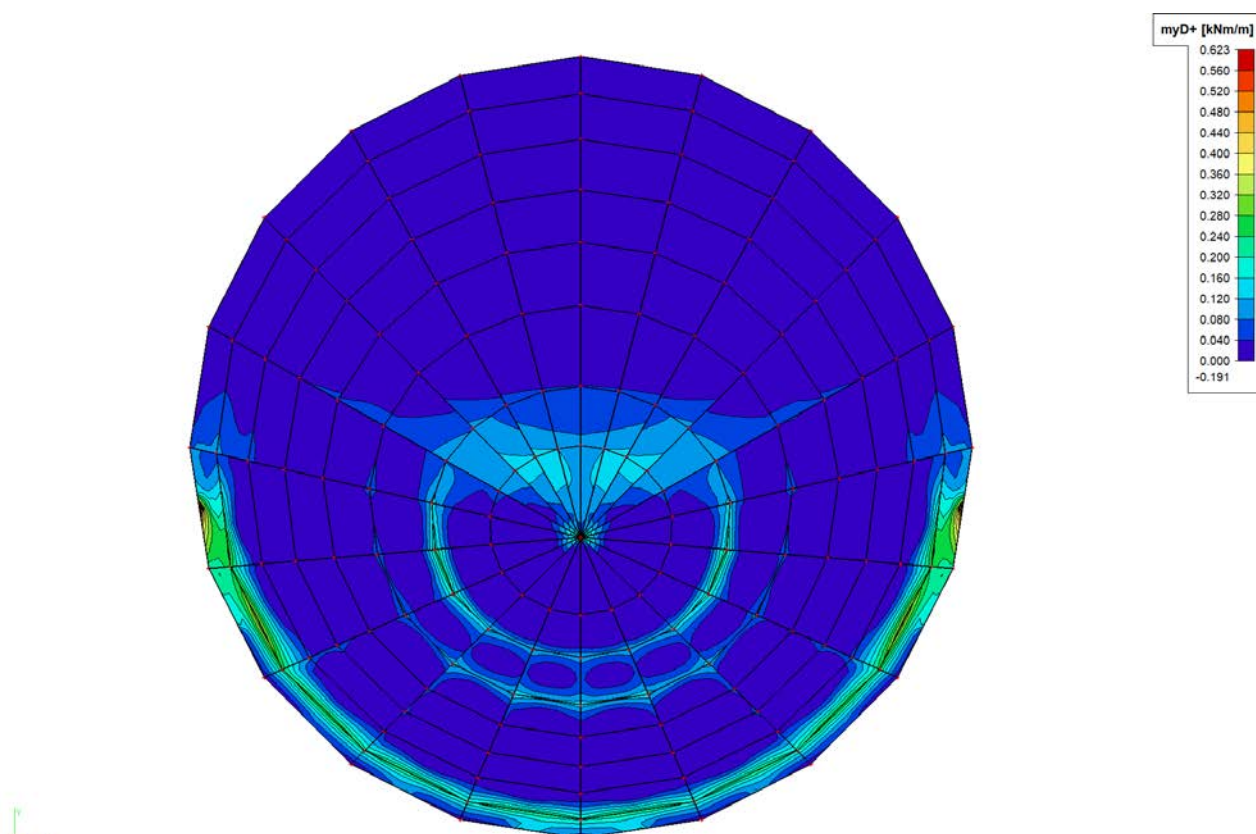
ZS8 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



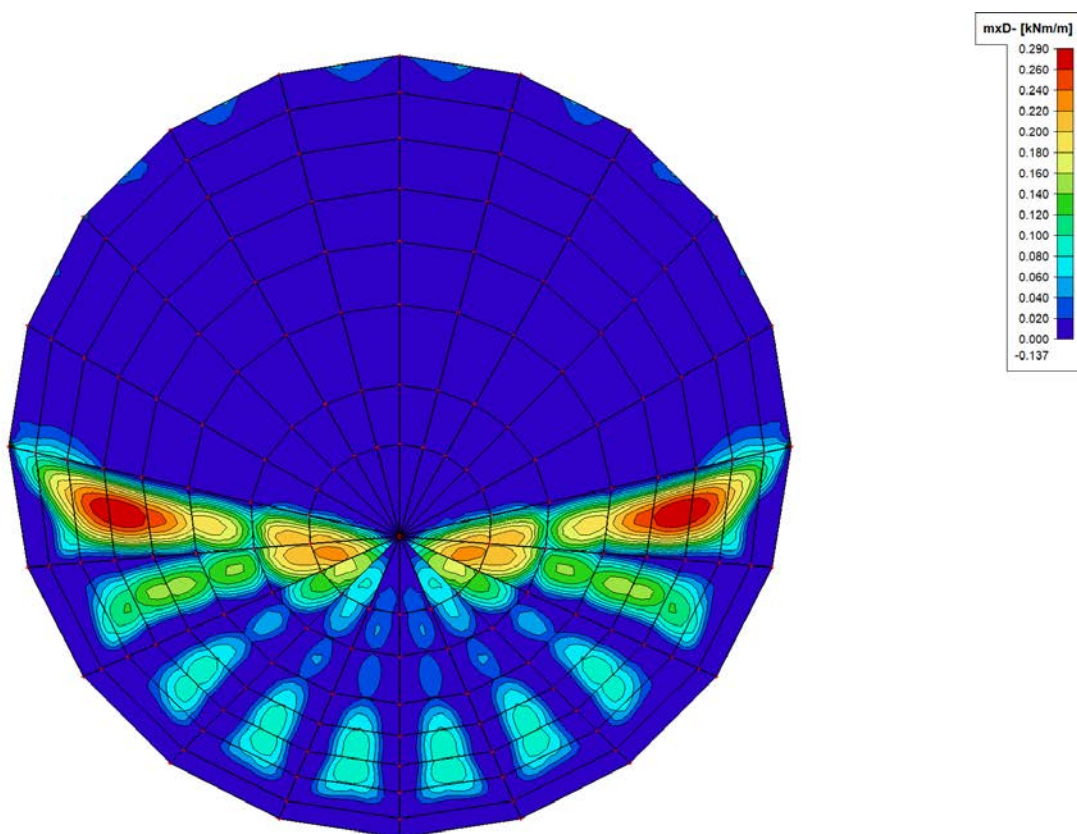
ZS9 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



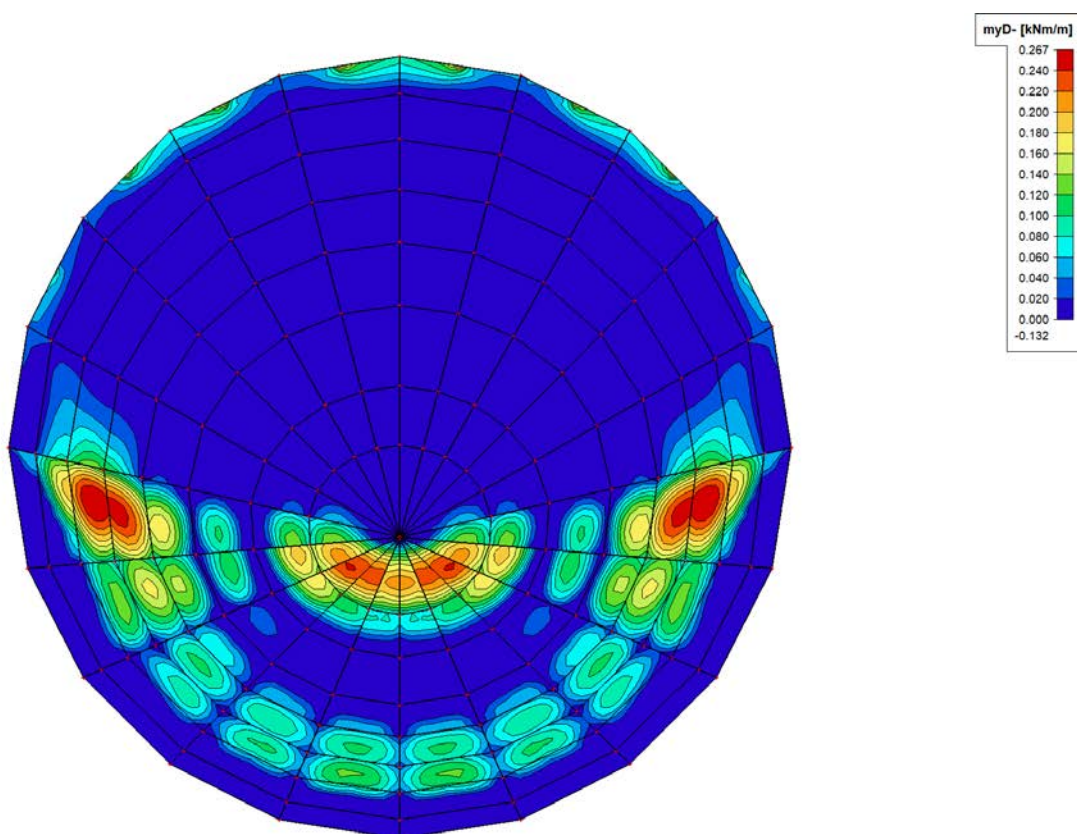
ZS9 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



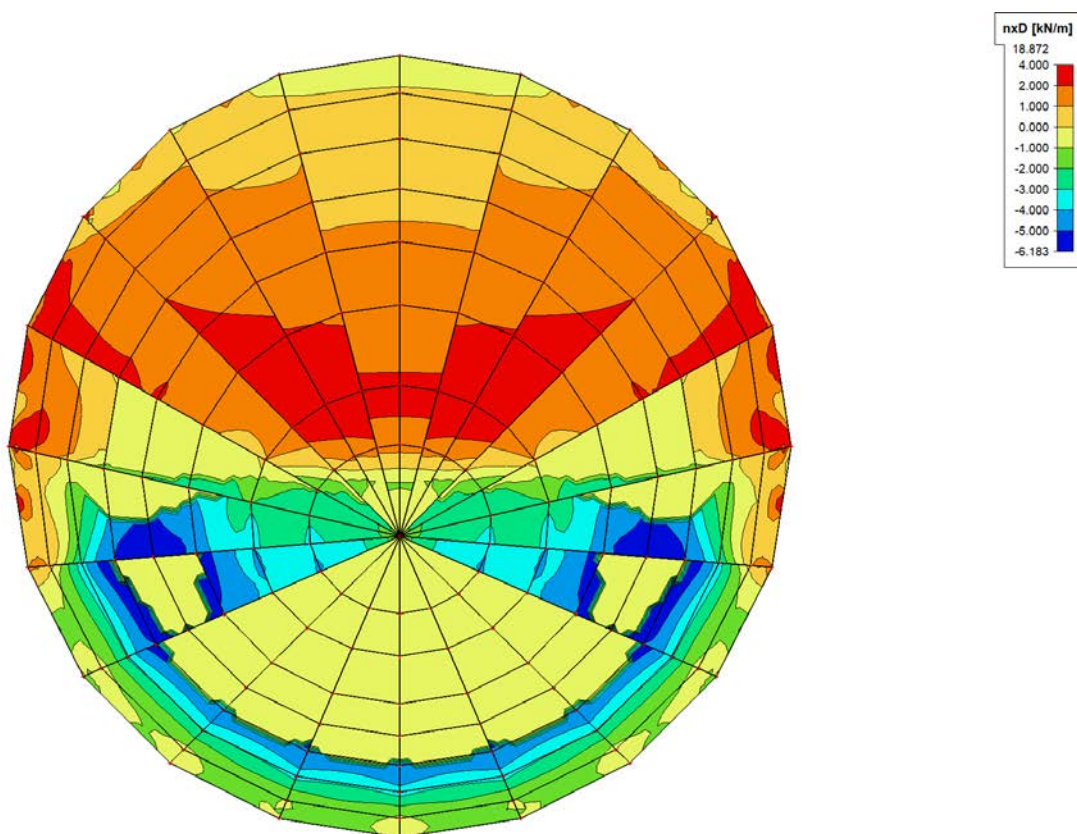
ZS9 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



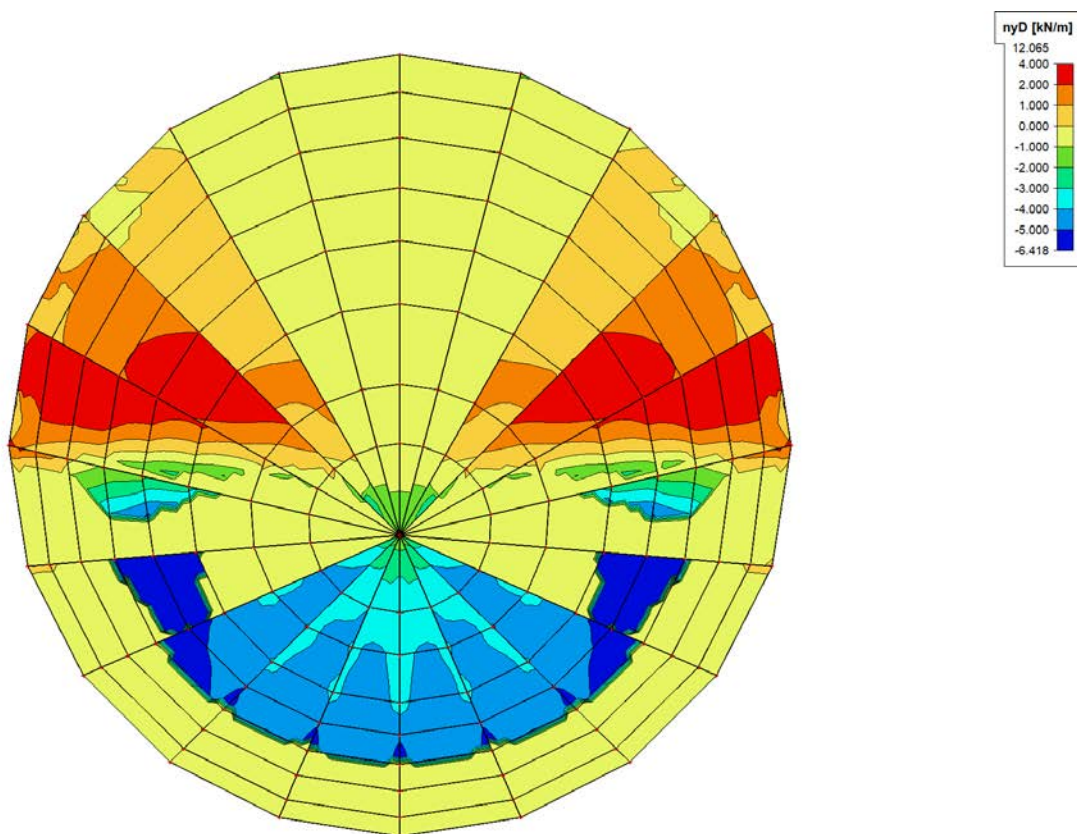
ZS9 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



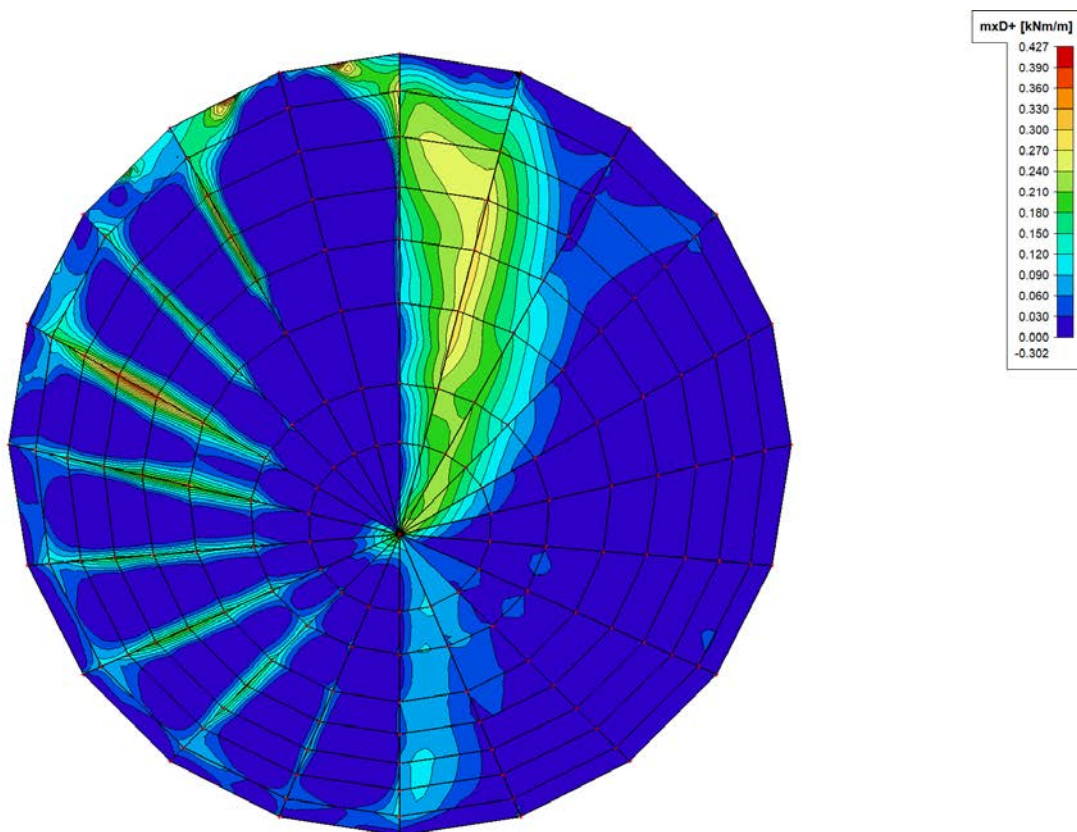
ZS9 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



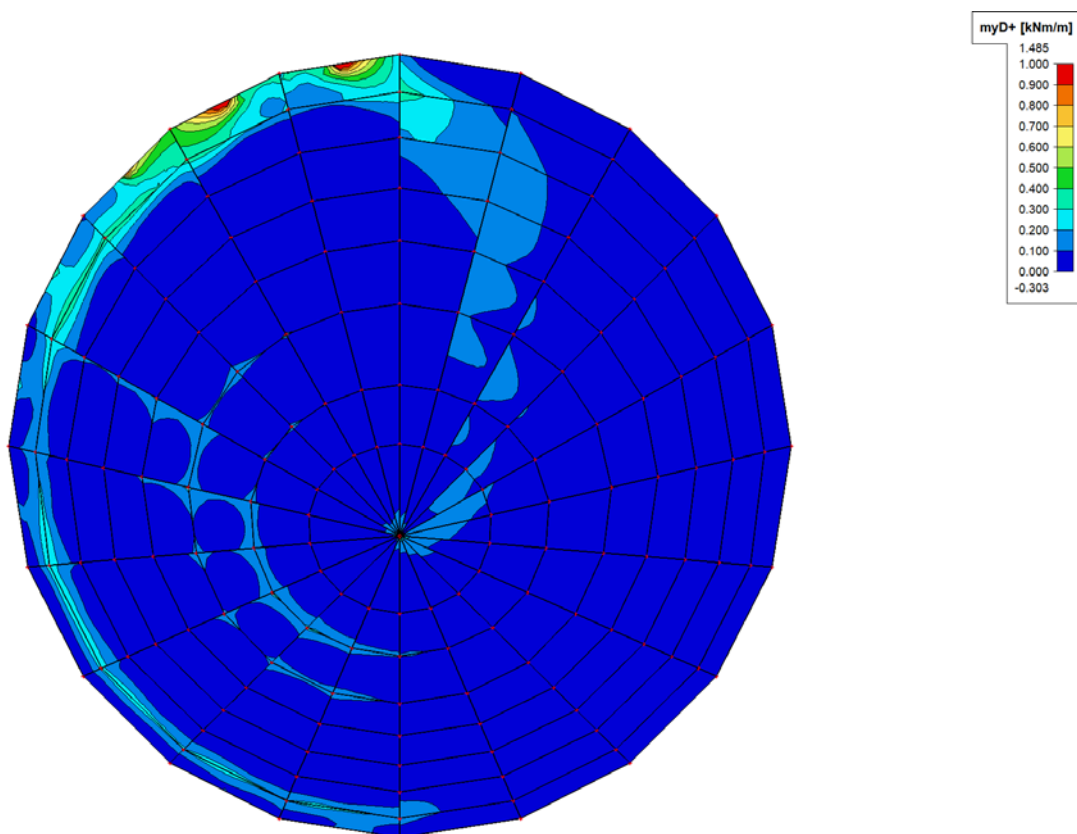
ZS9 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



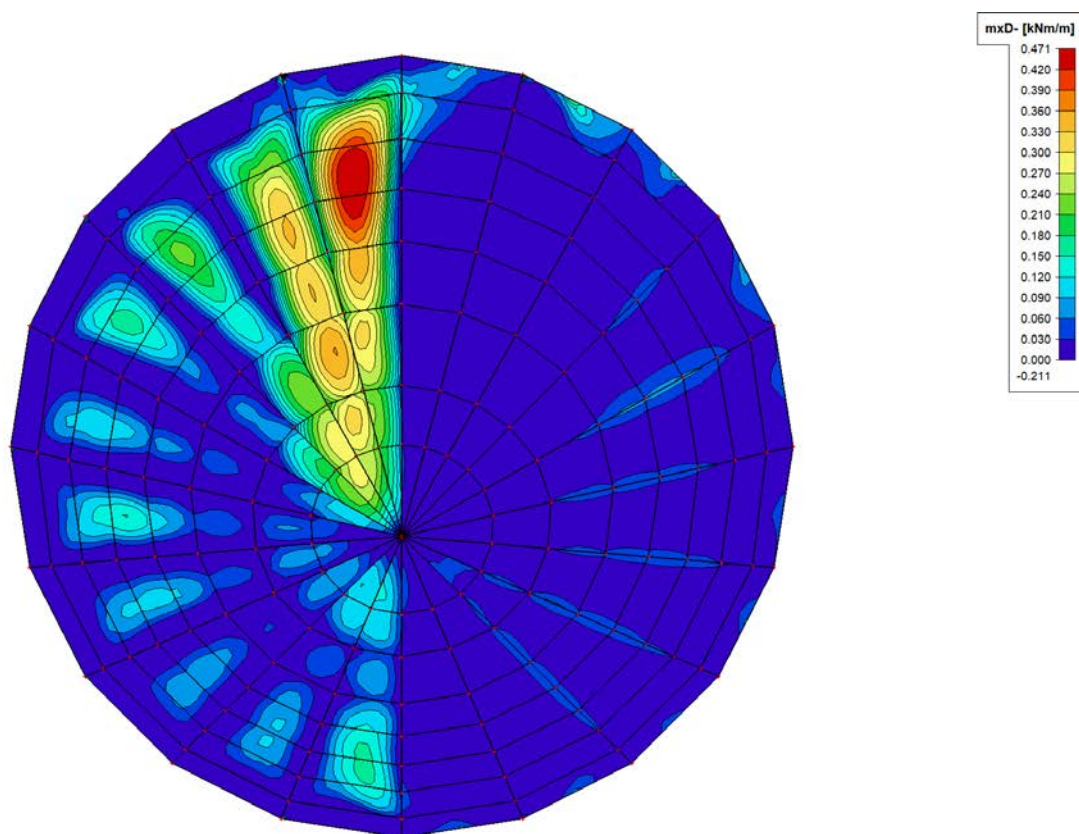
ZS10 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



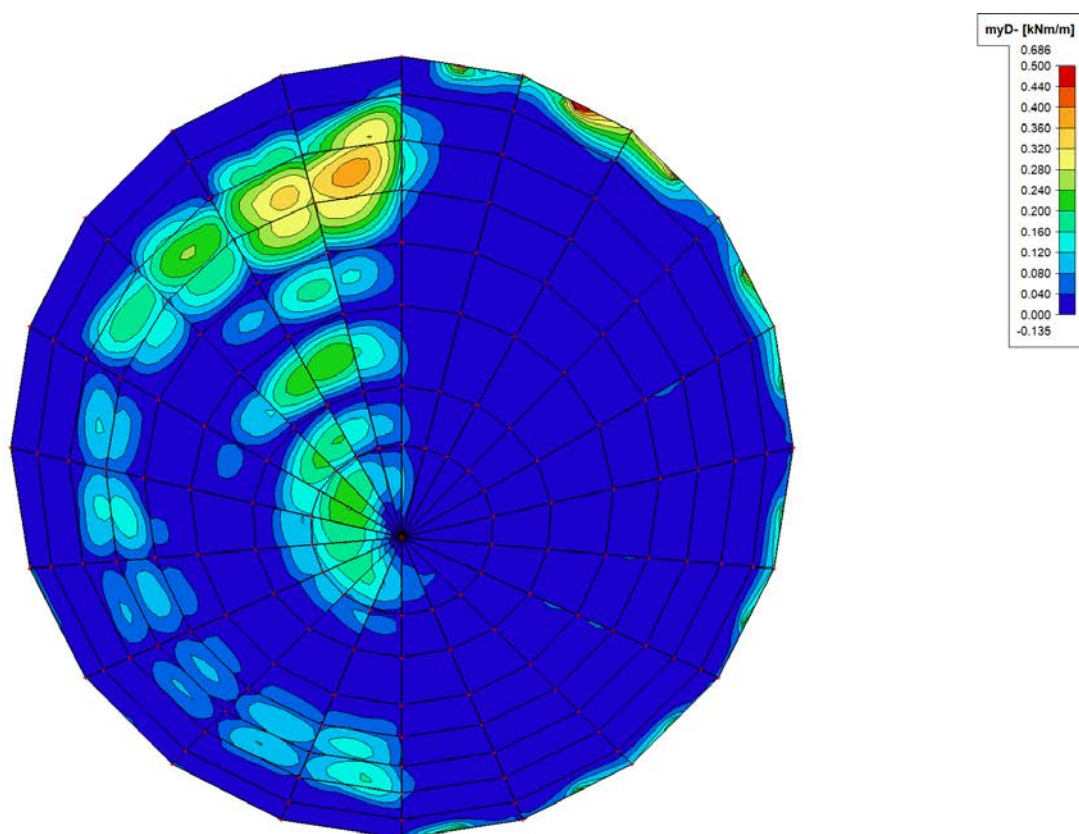
ZS10 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



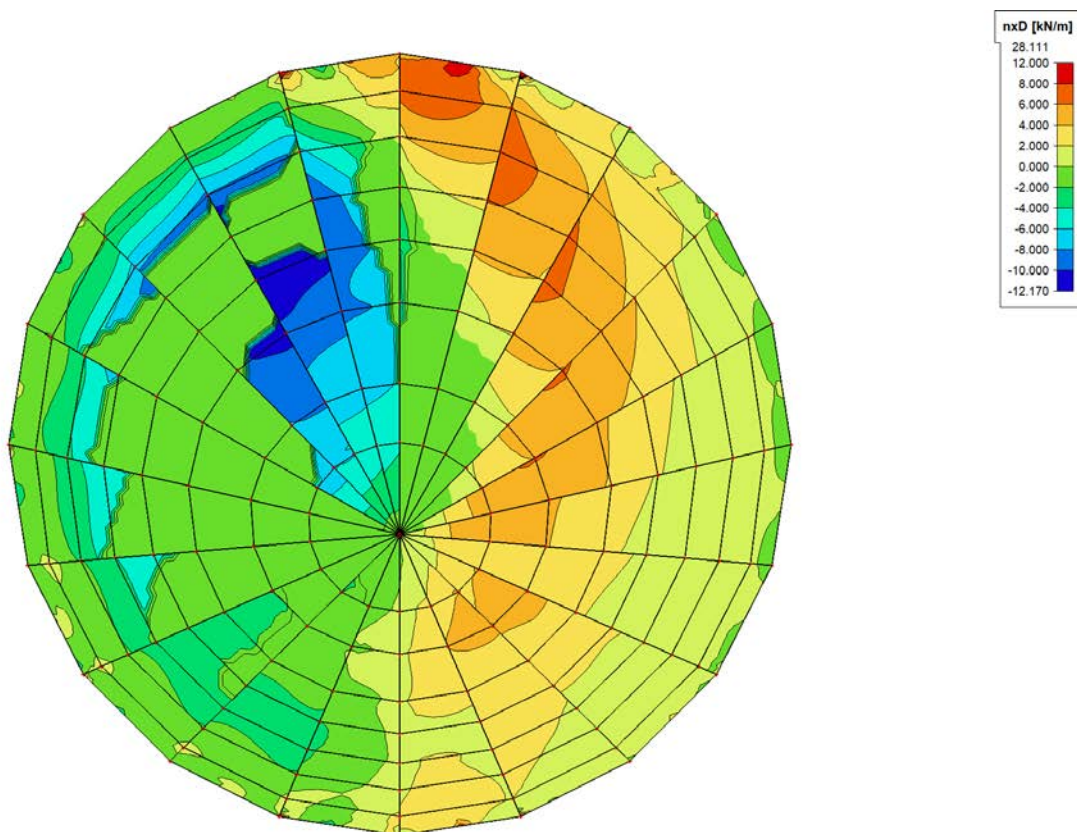
ZS10 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



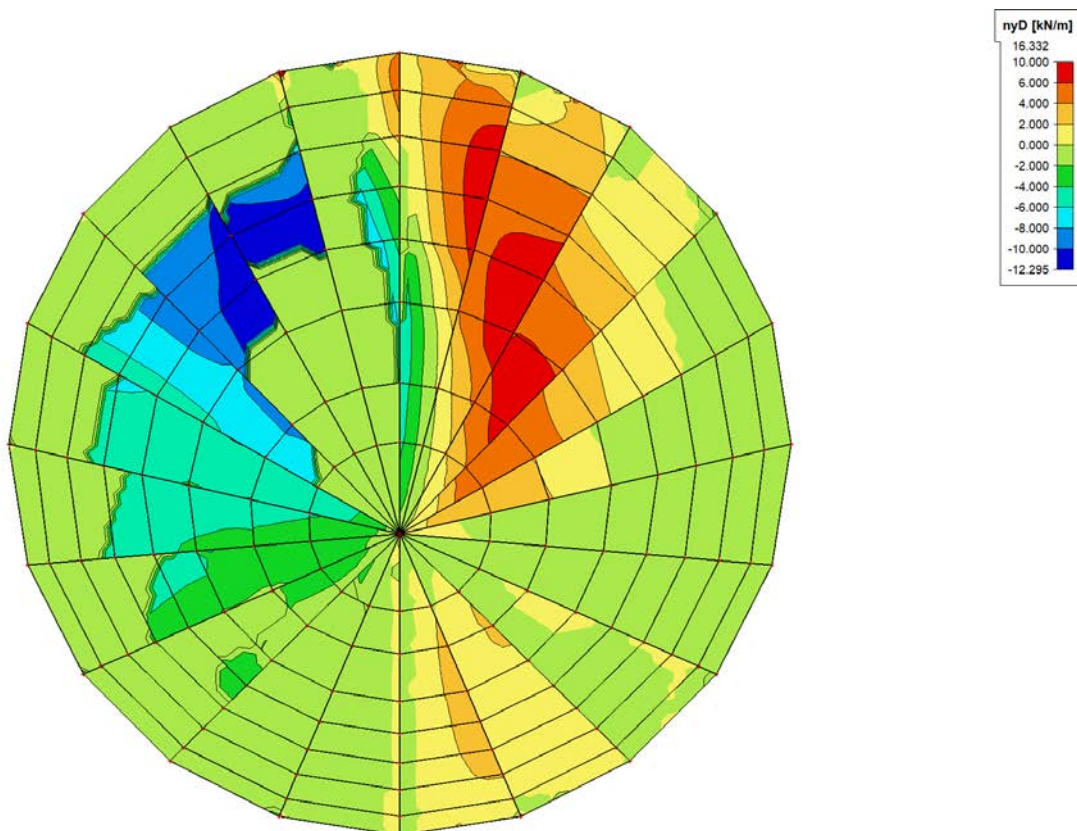
ZS10 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



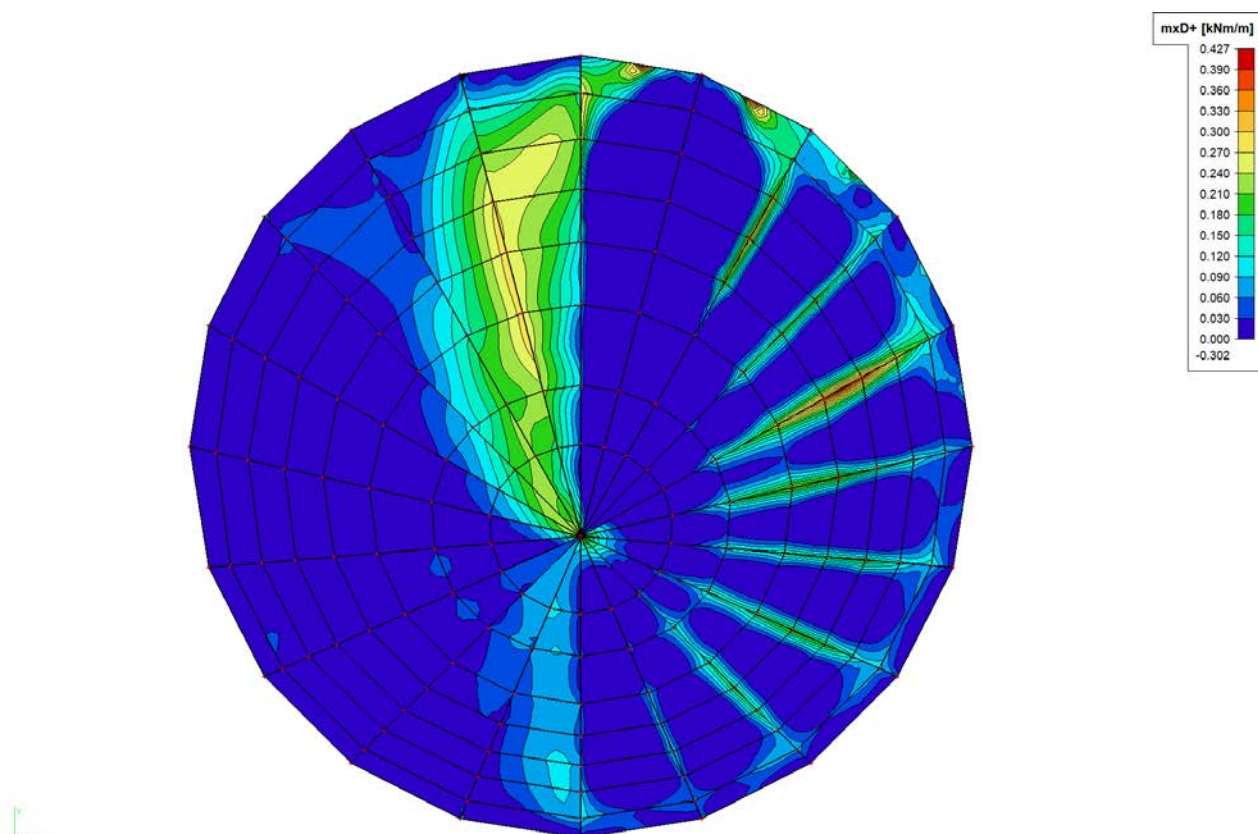
ZS10 – nxD [kN/m] – tangenciální směr



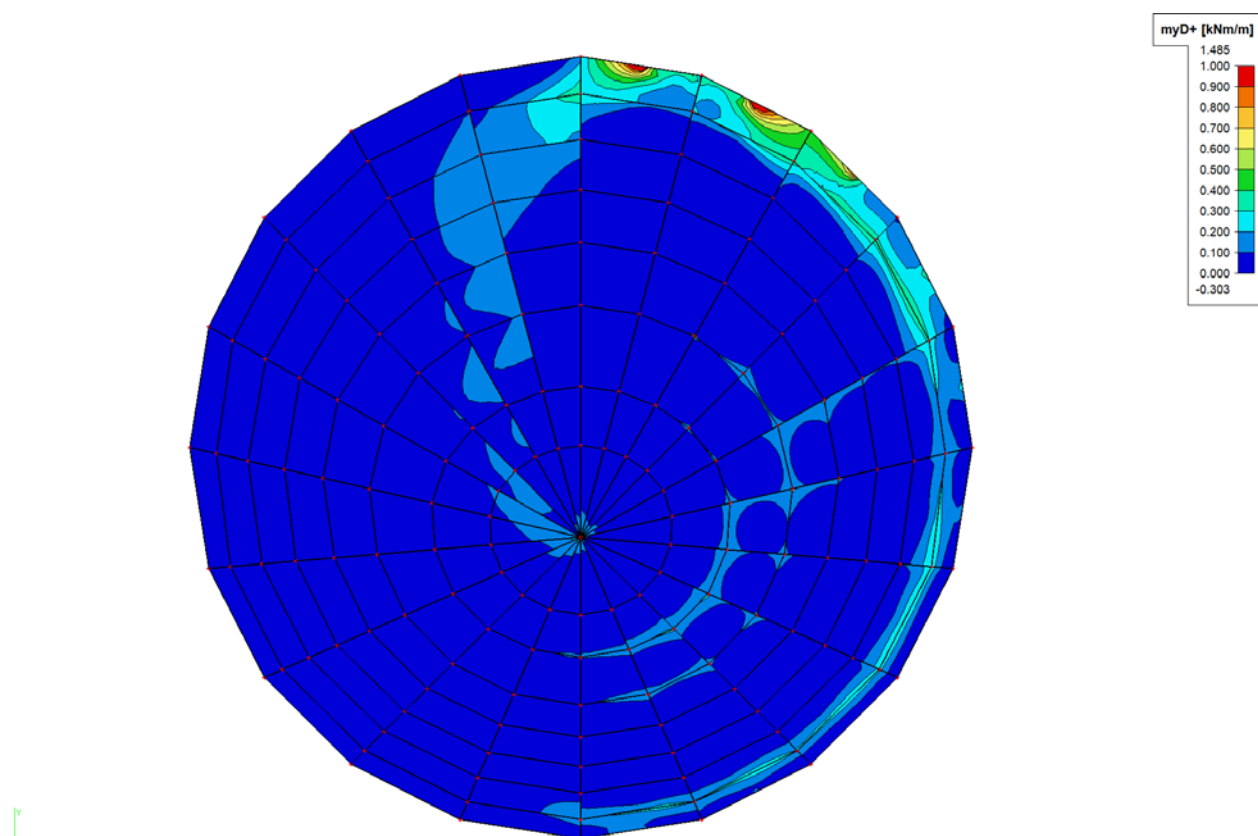
ZS10 – nyD [kN/m] – radiální směr



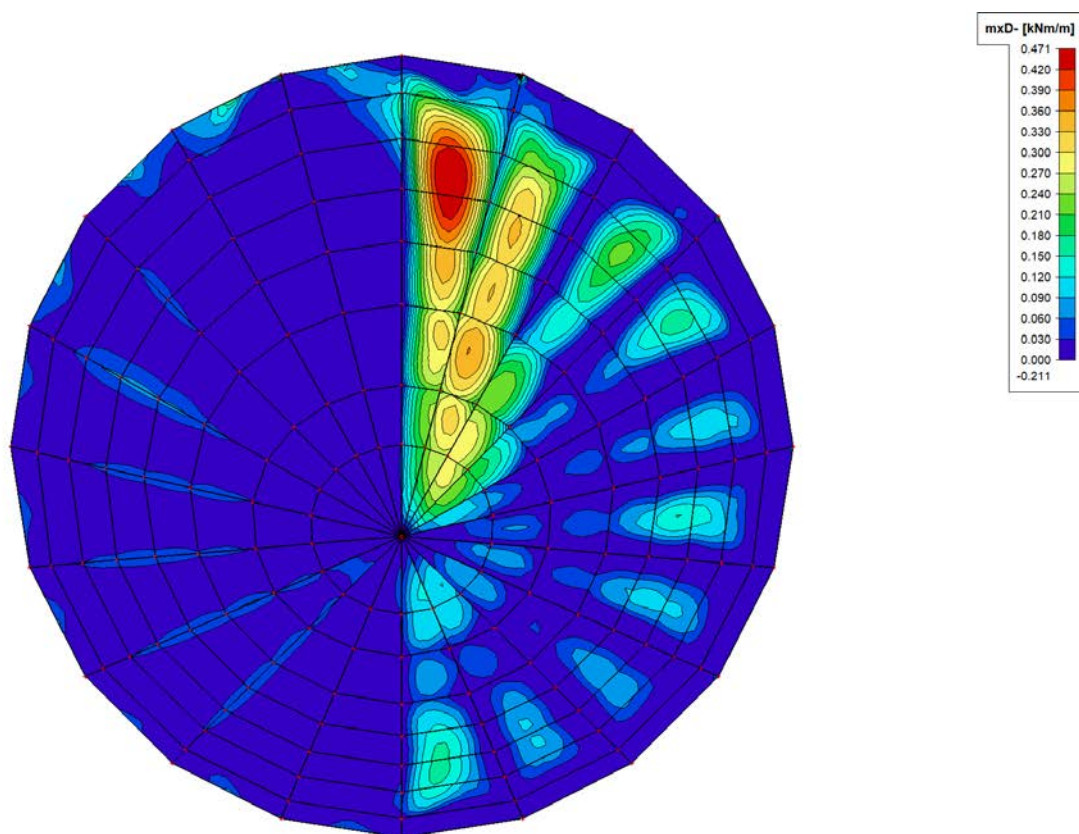
ZS11 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



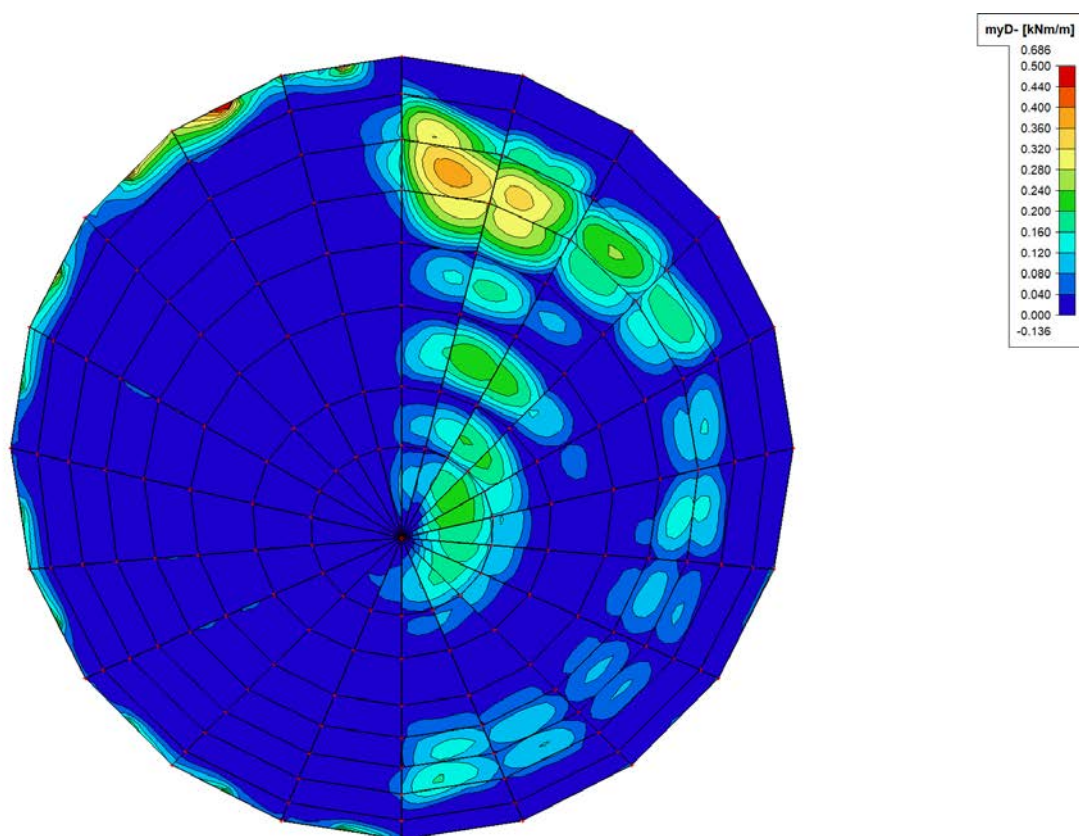
ZS11 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



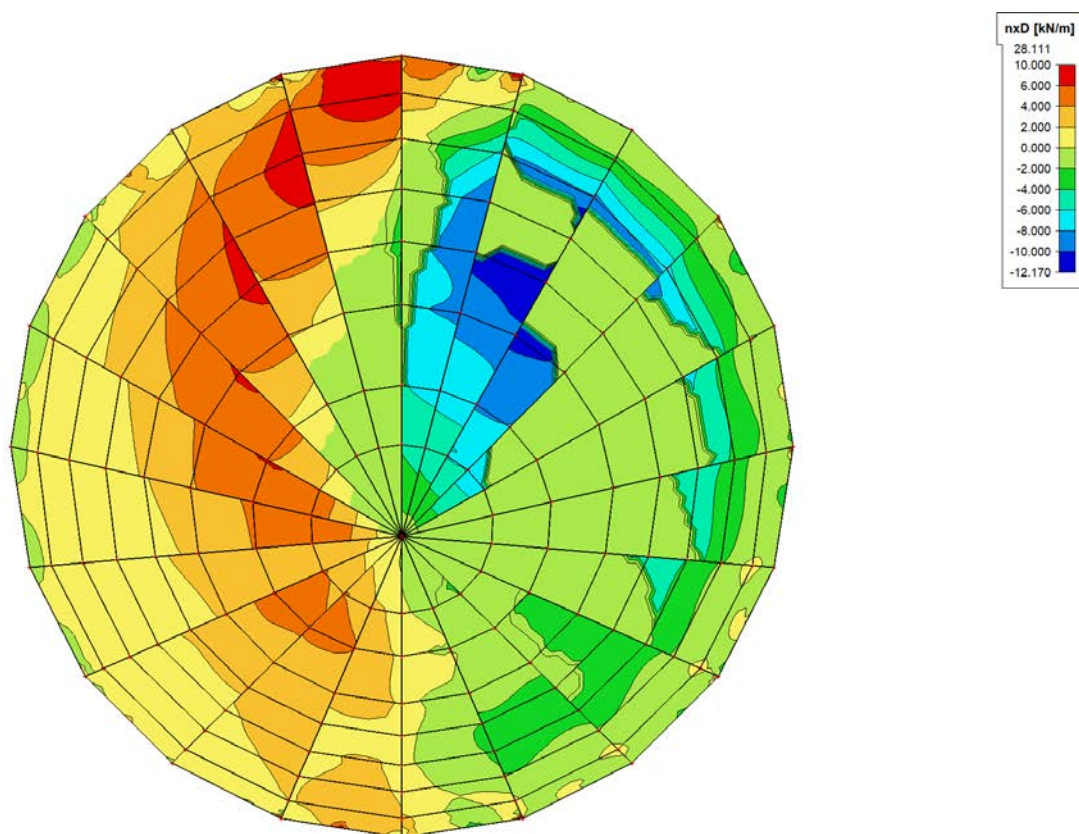
ZS11 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



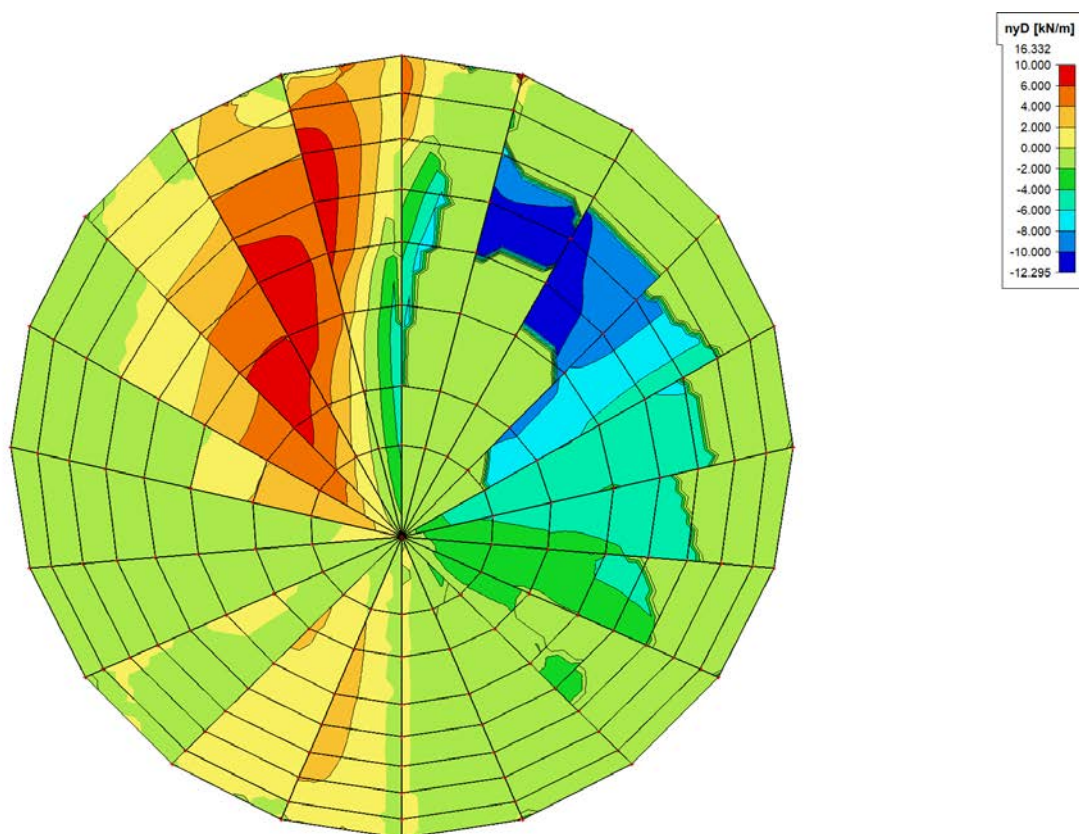
ZS11 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



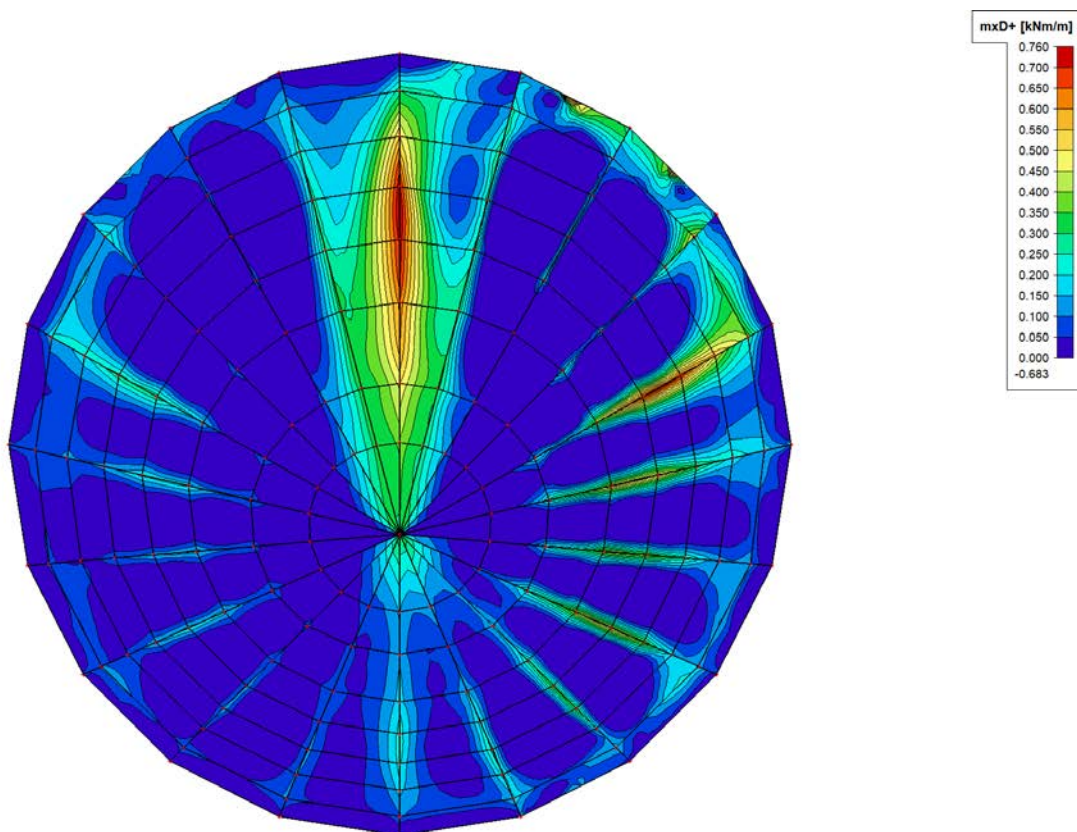
ZS11 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



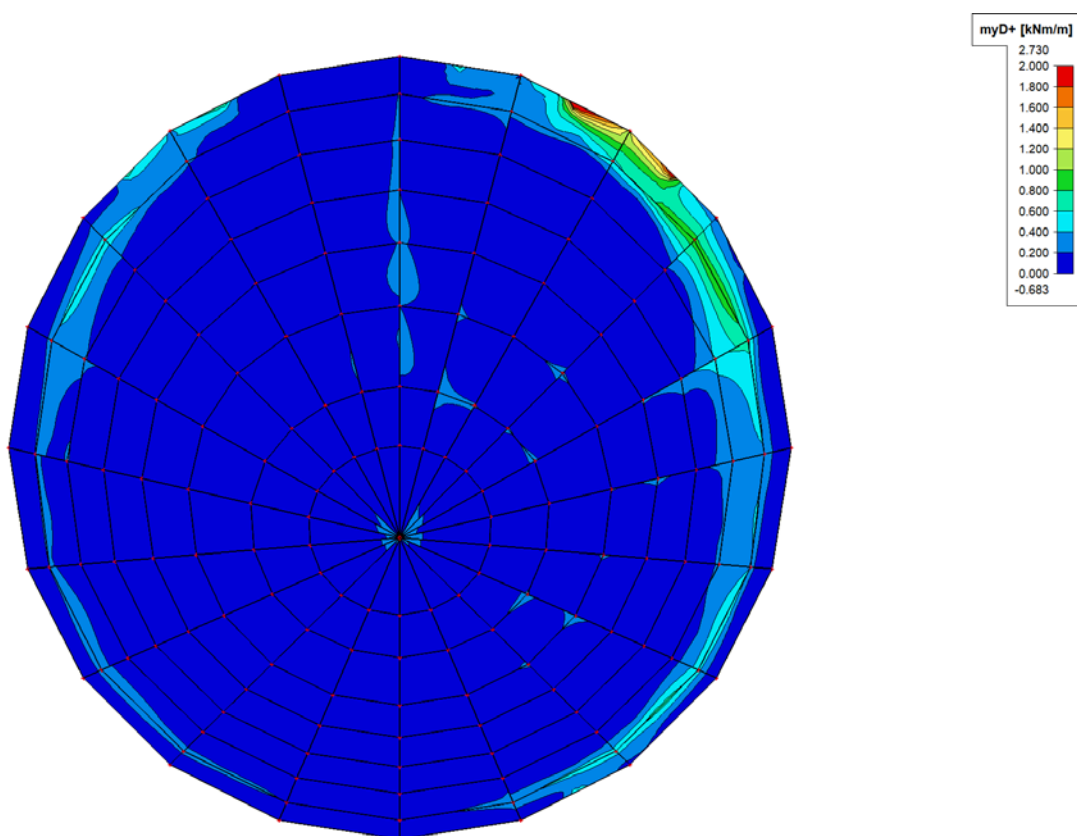
ZS11 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



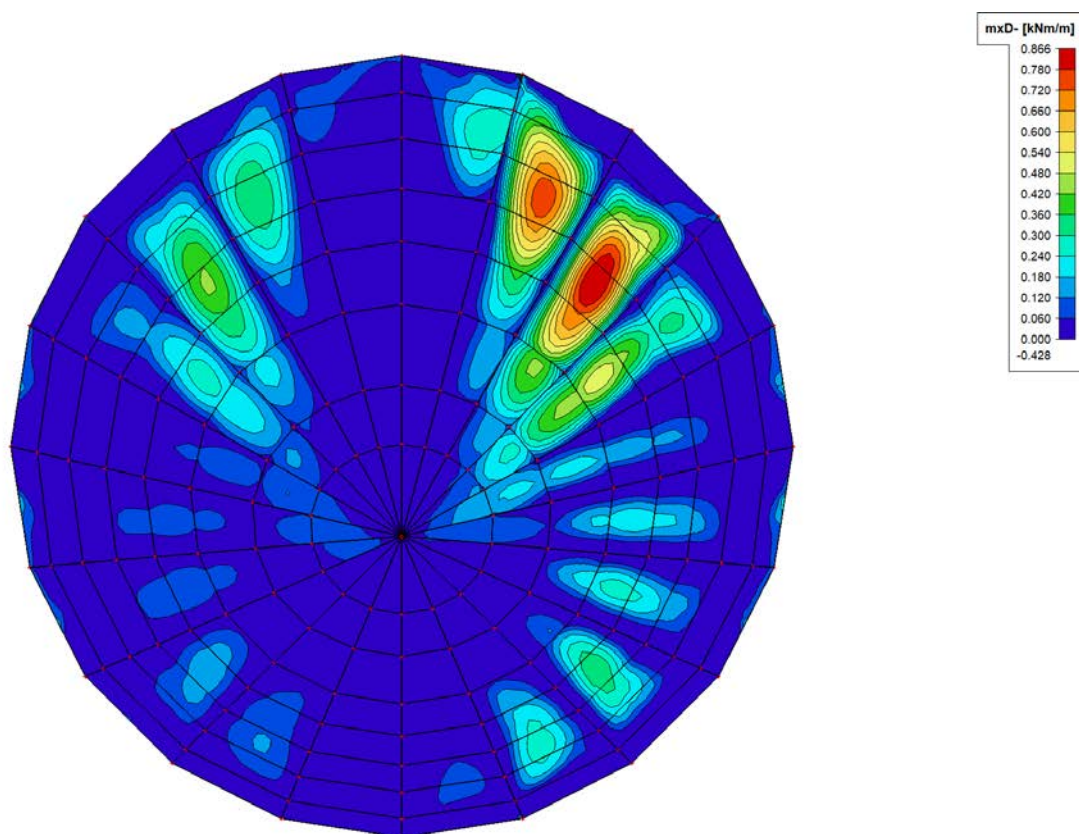
ZS12 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



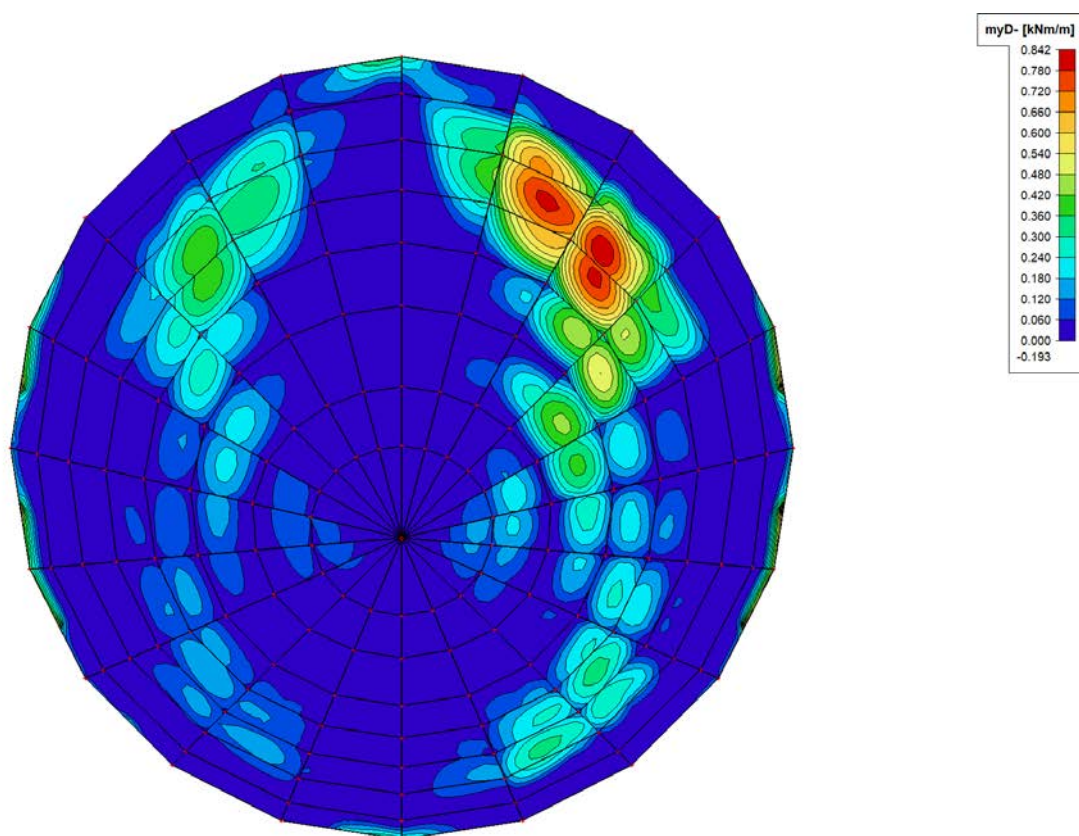
ZS12 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



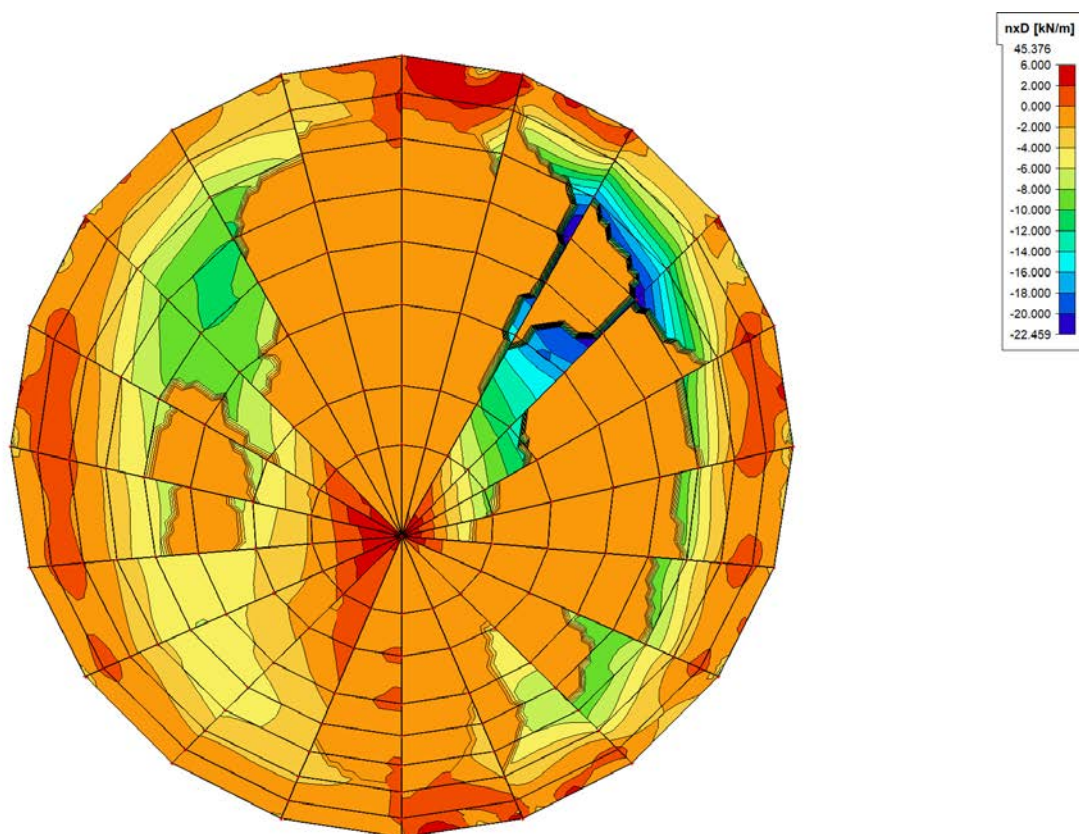
ZS12 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



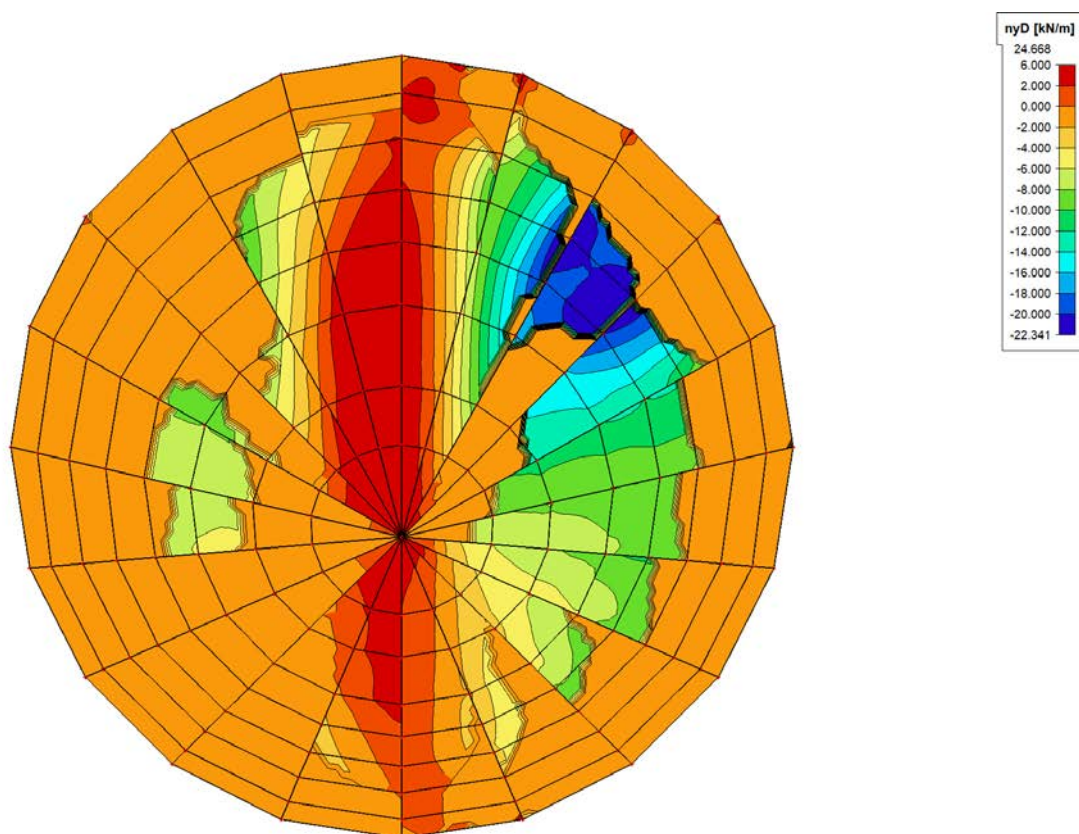
ZS12 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



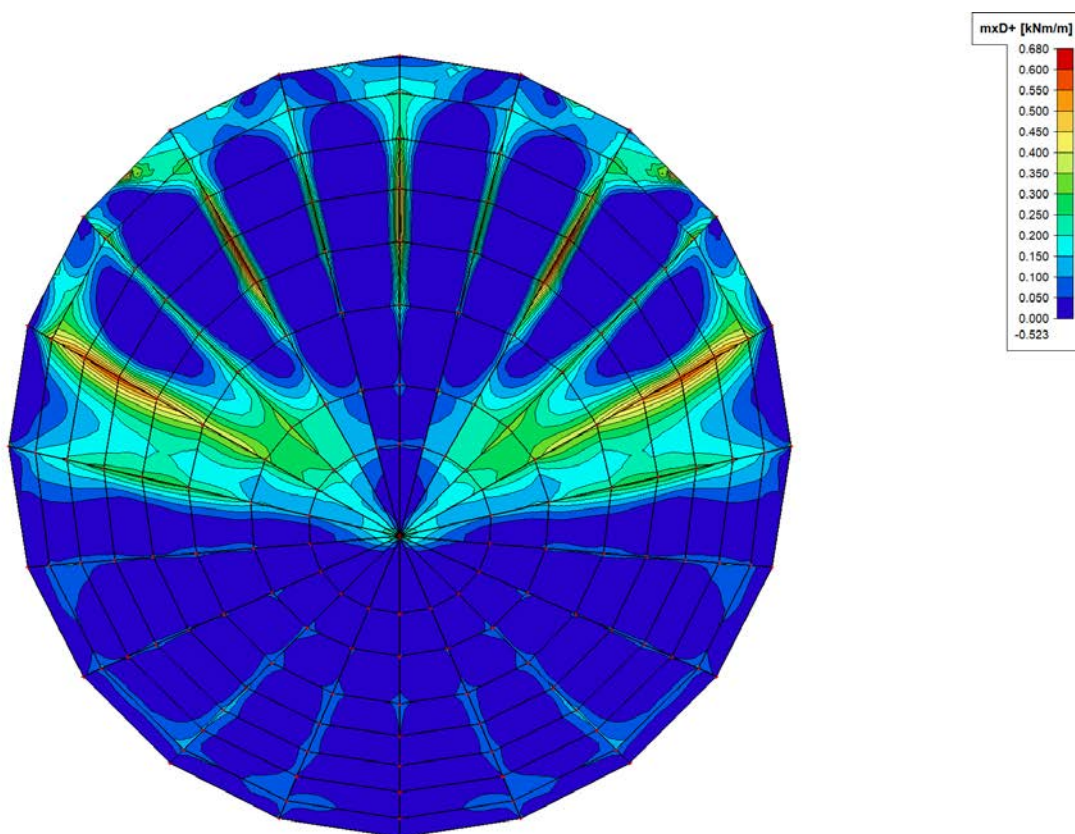
ZS12 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



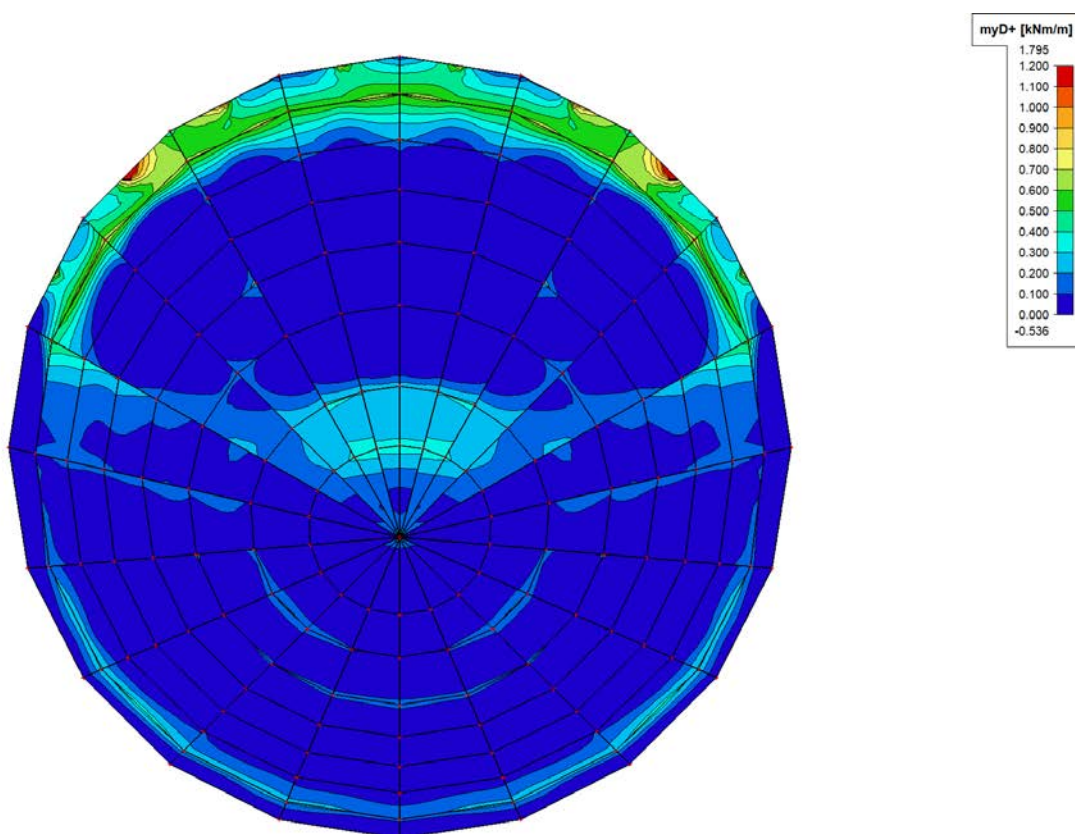
ZS12 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



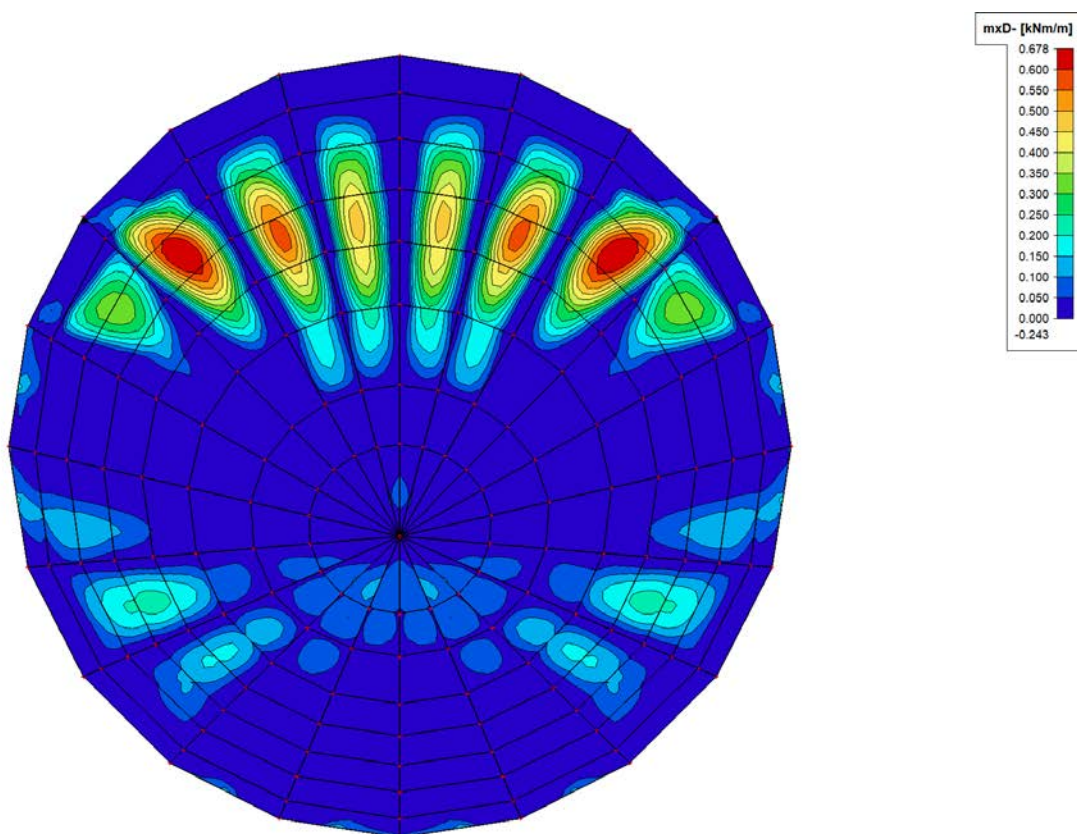
ZS13 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



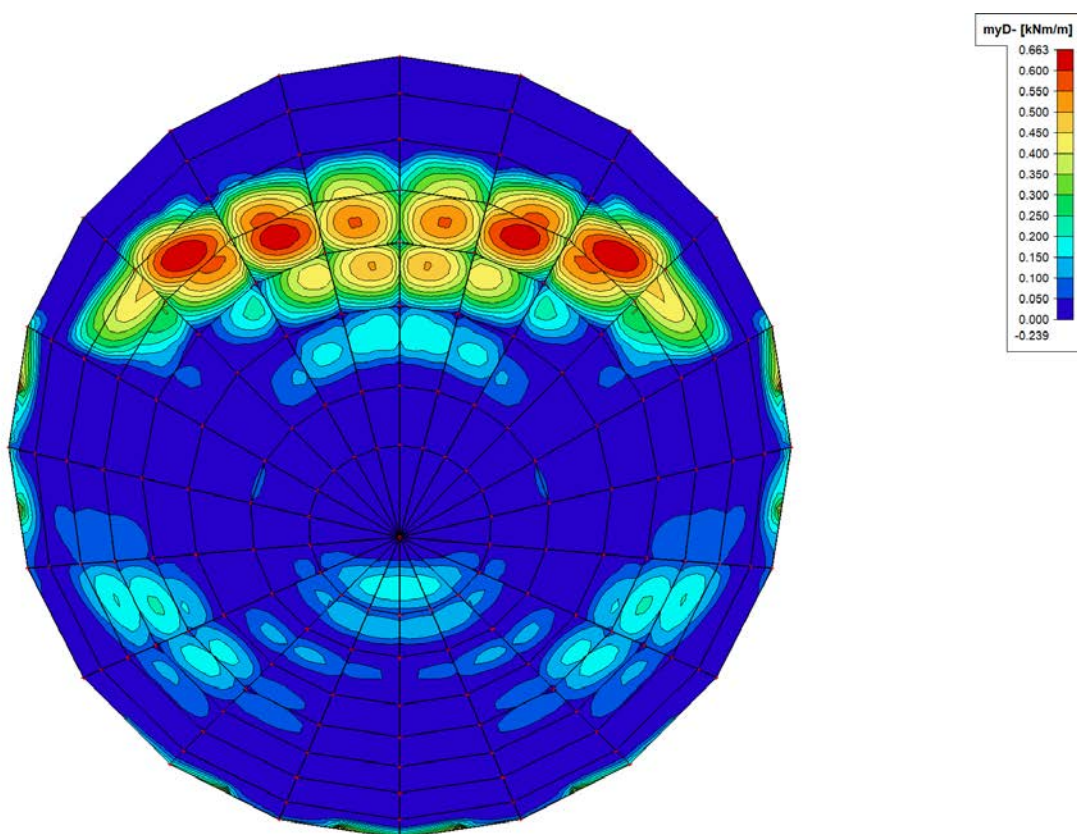
ZS13 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



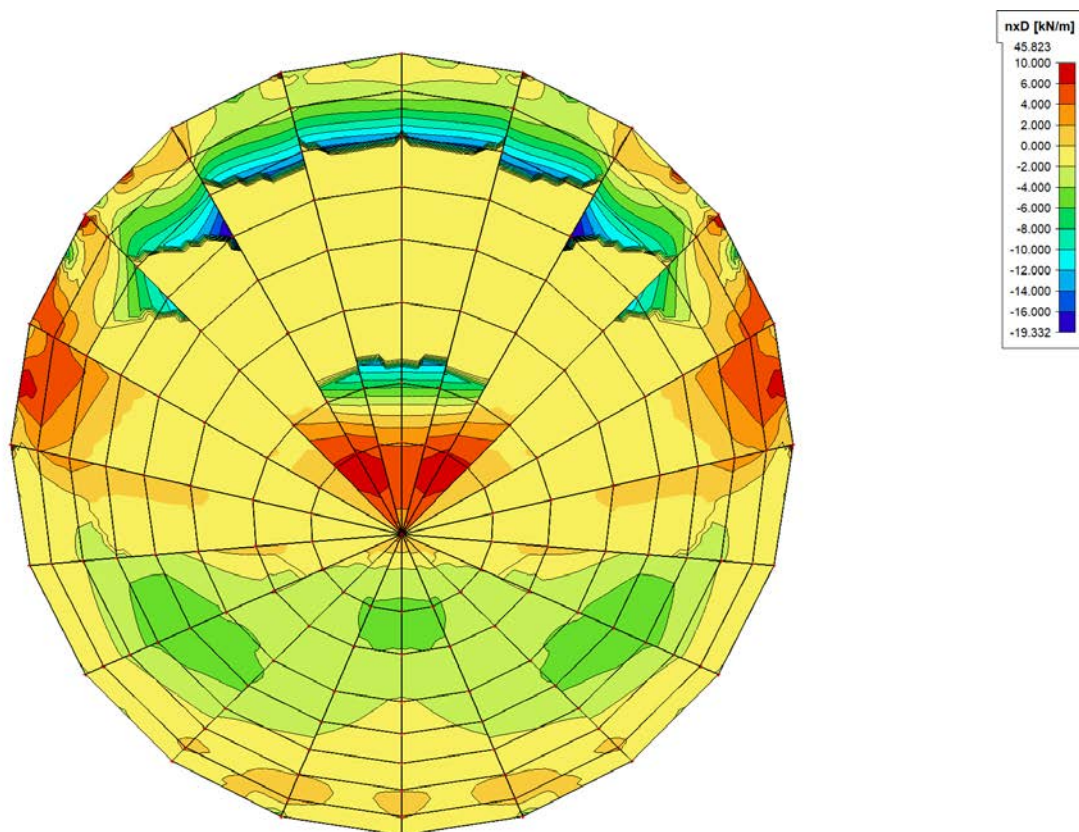
ZS13 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



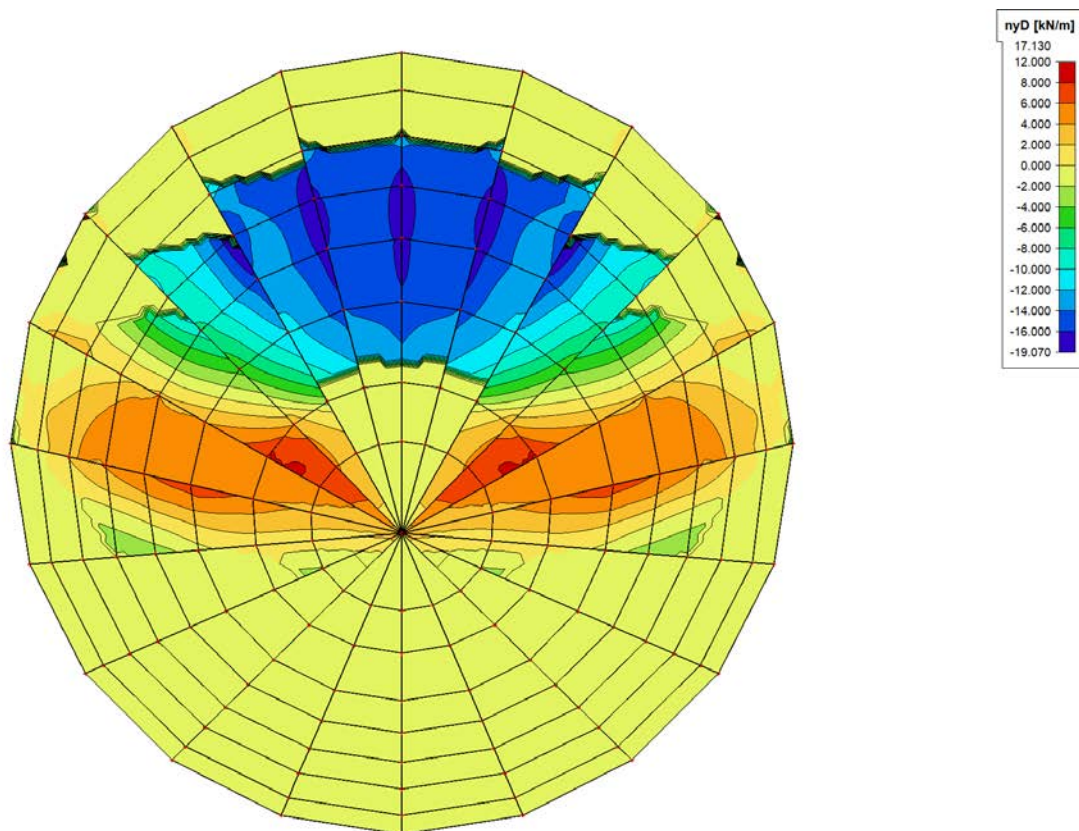
ZS13 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



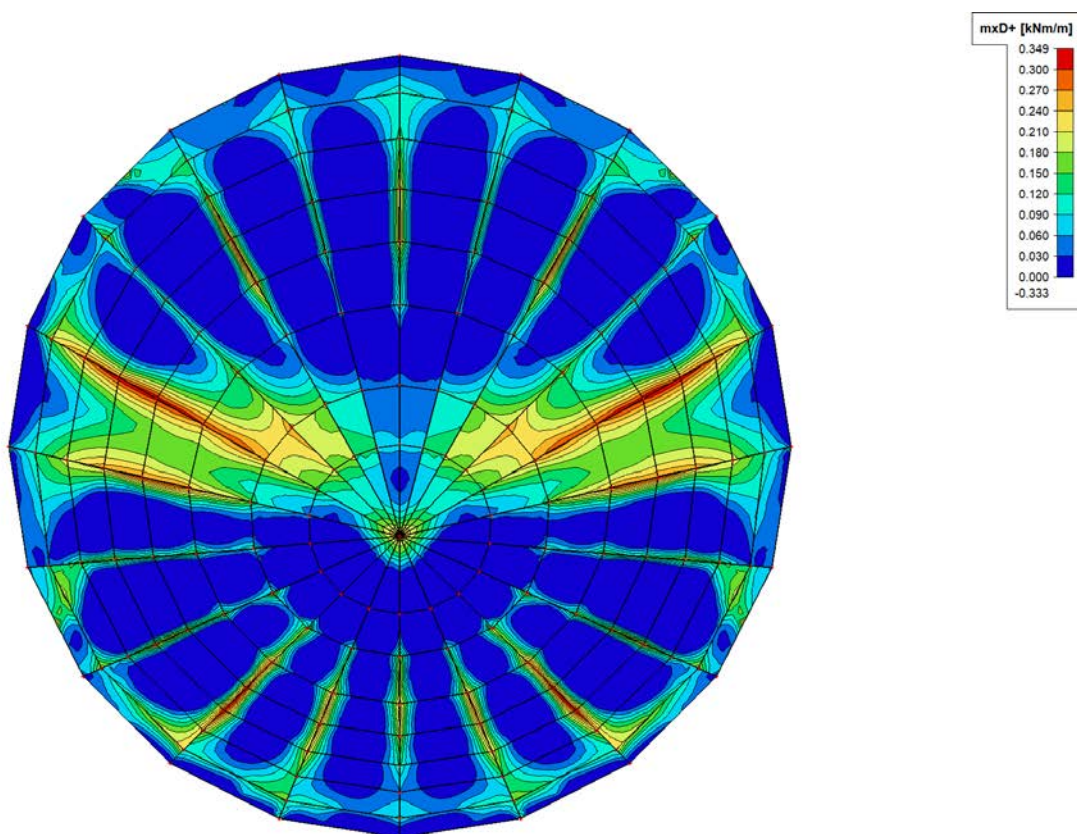
ZS13 – nxD [kN/m] – tangenciální směr



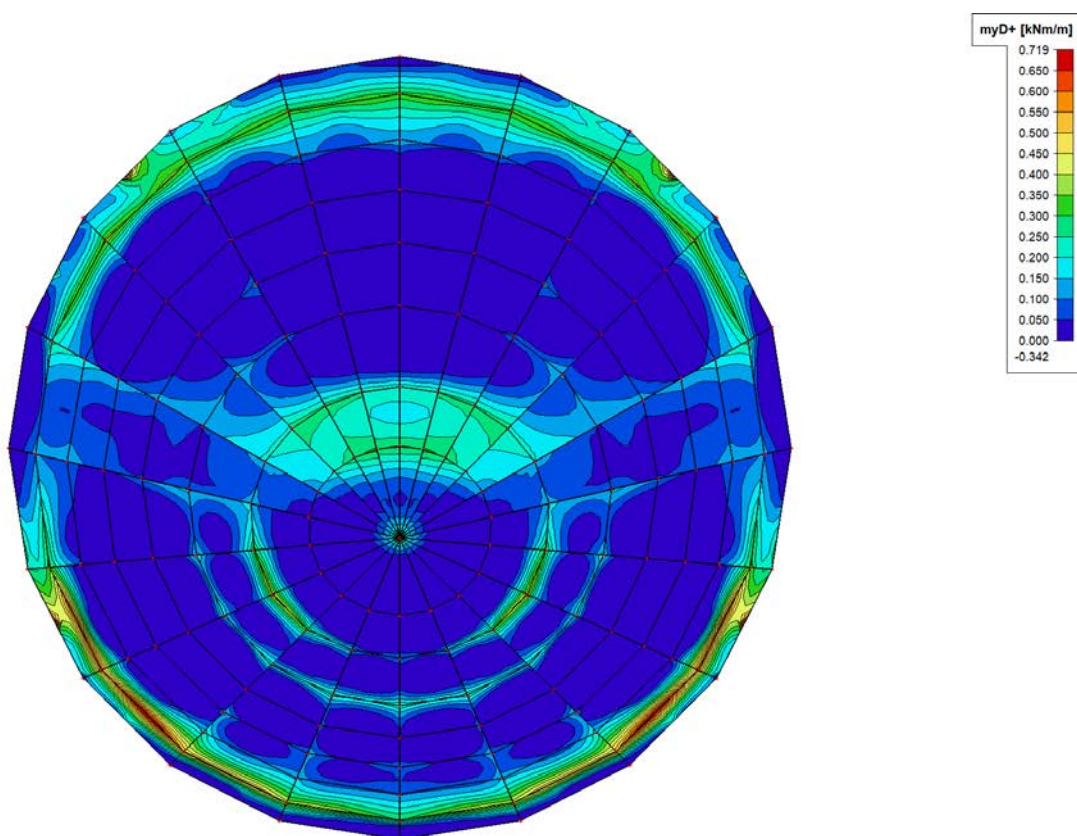
ZS13 – nyD [kN/m] – radiální směr



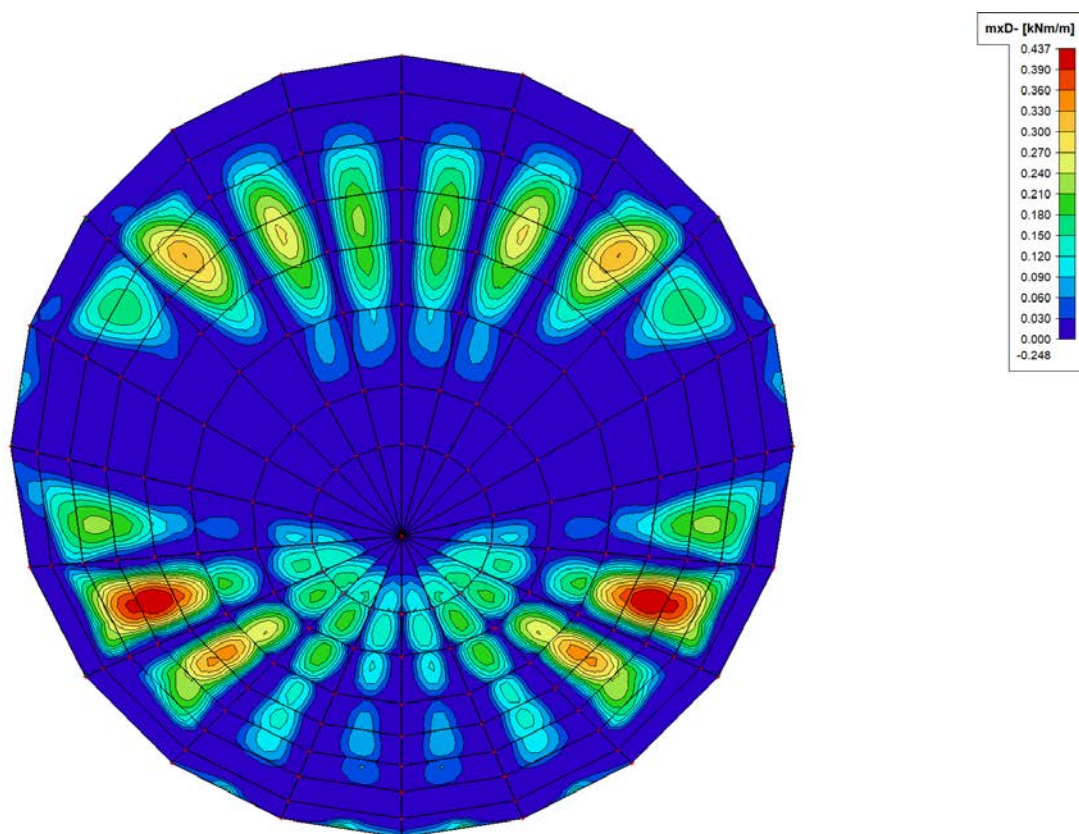
ZS14 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



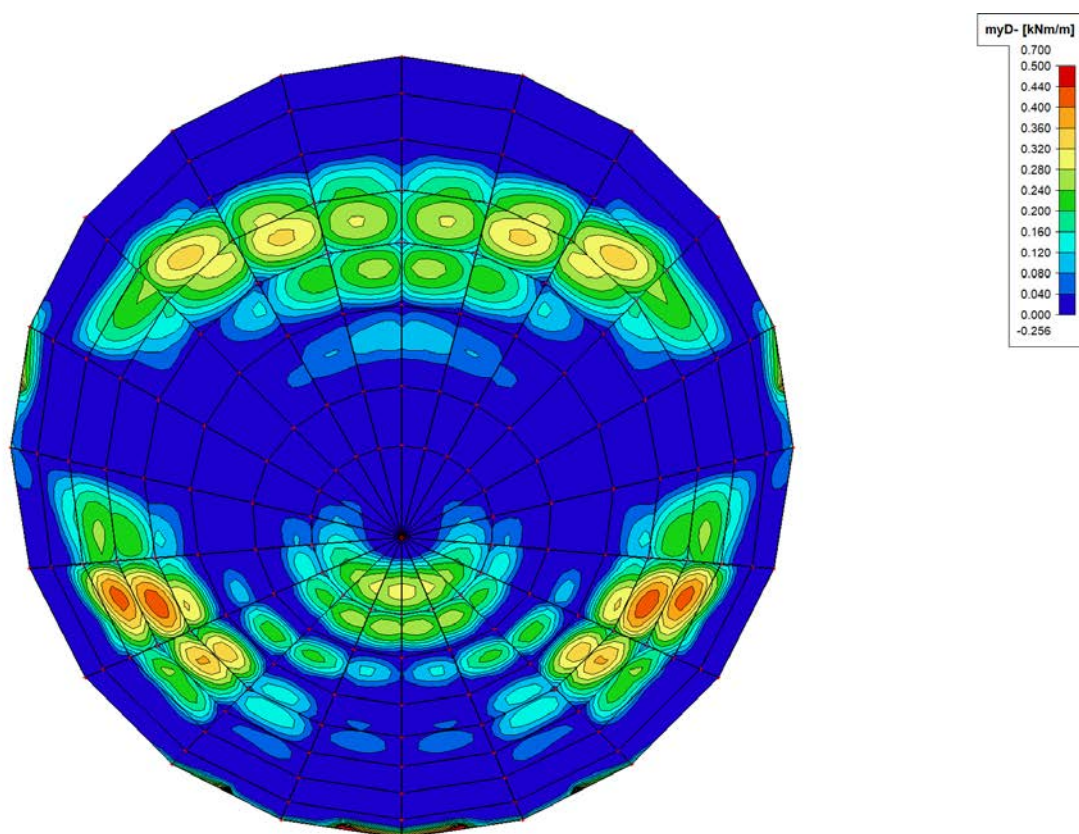
ZS14 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



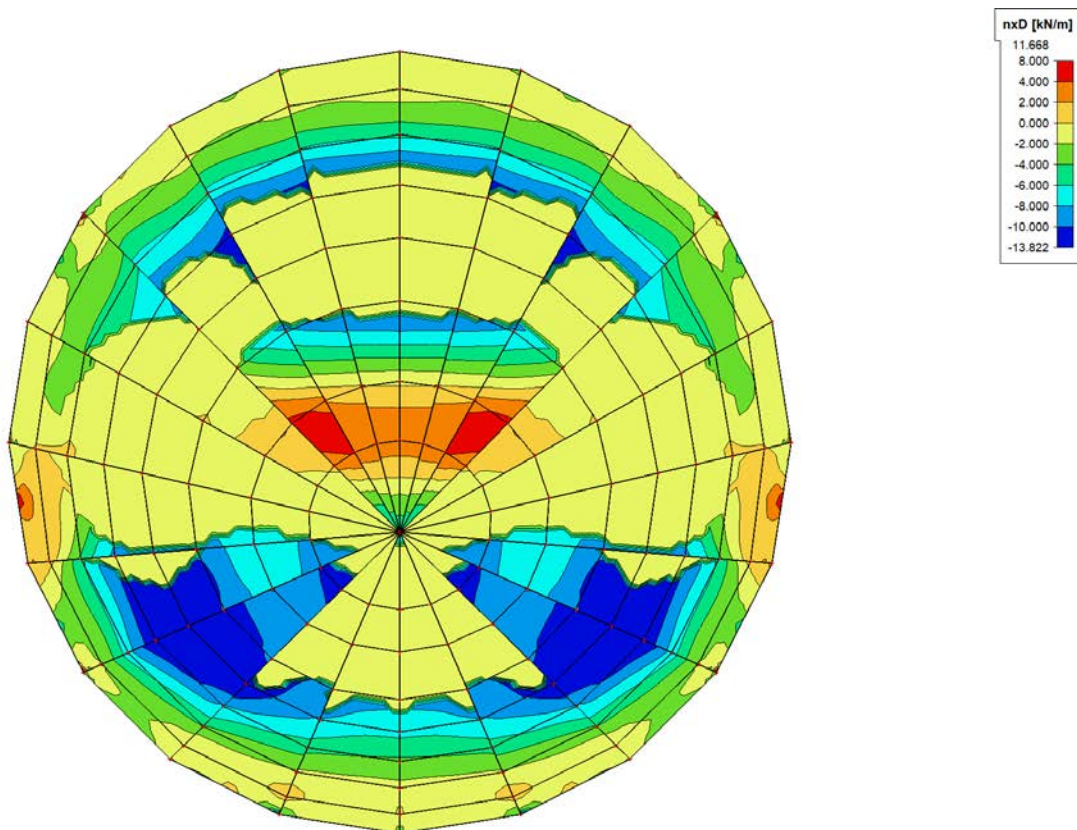
ZS14 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



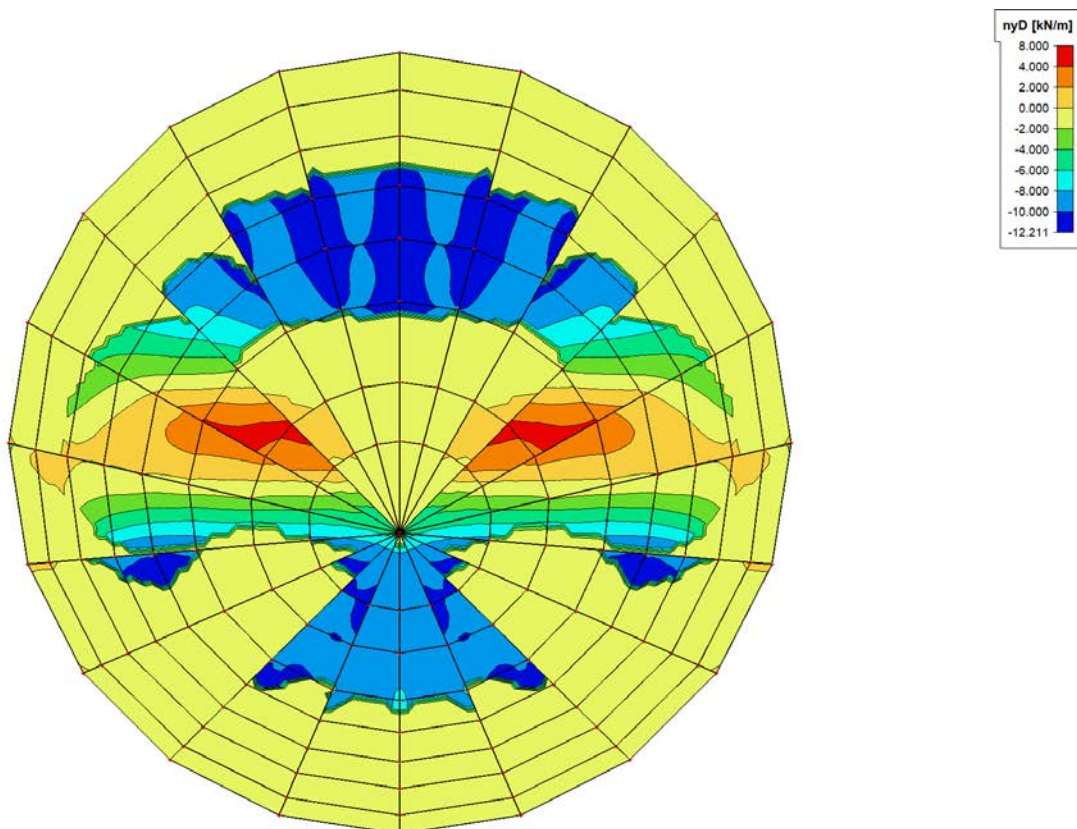
ZS14 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



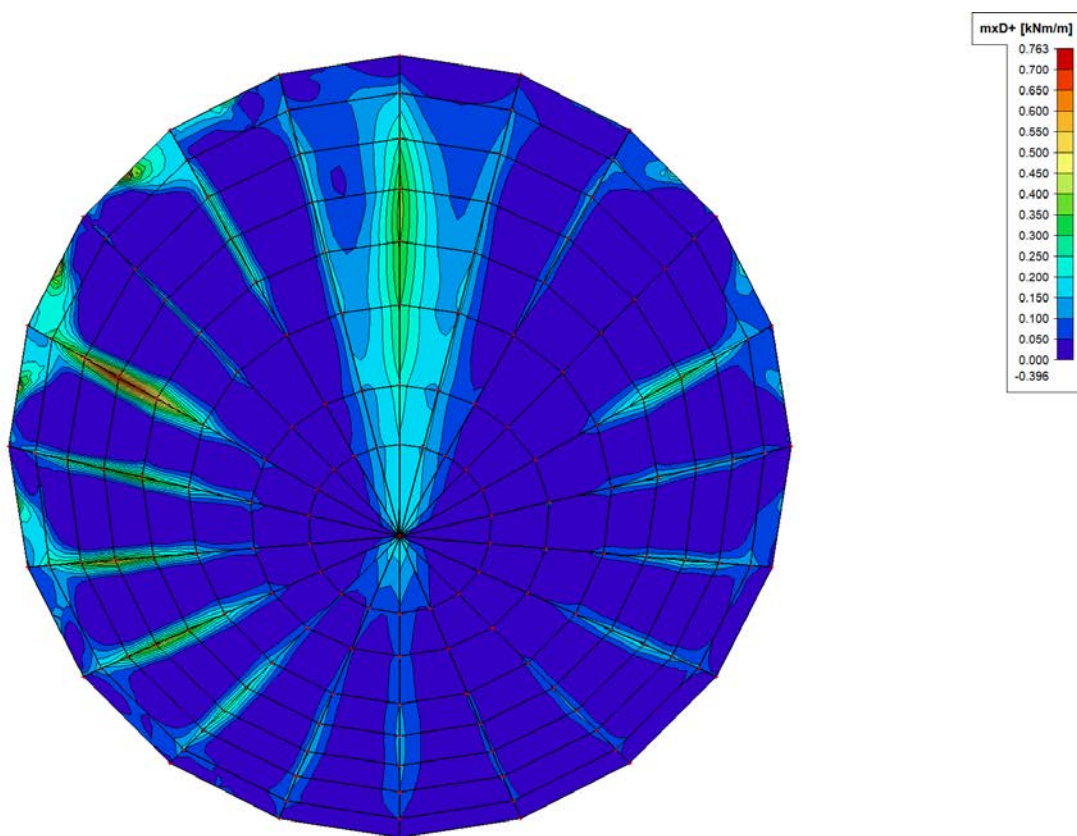
ZS14 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



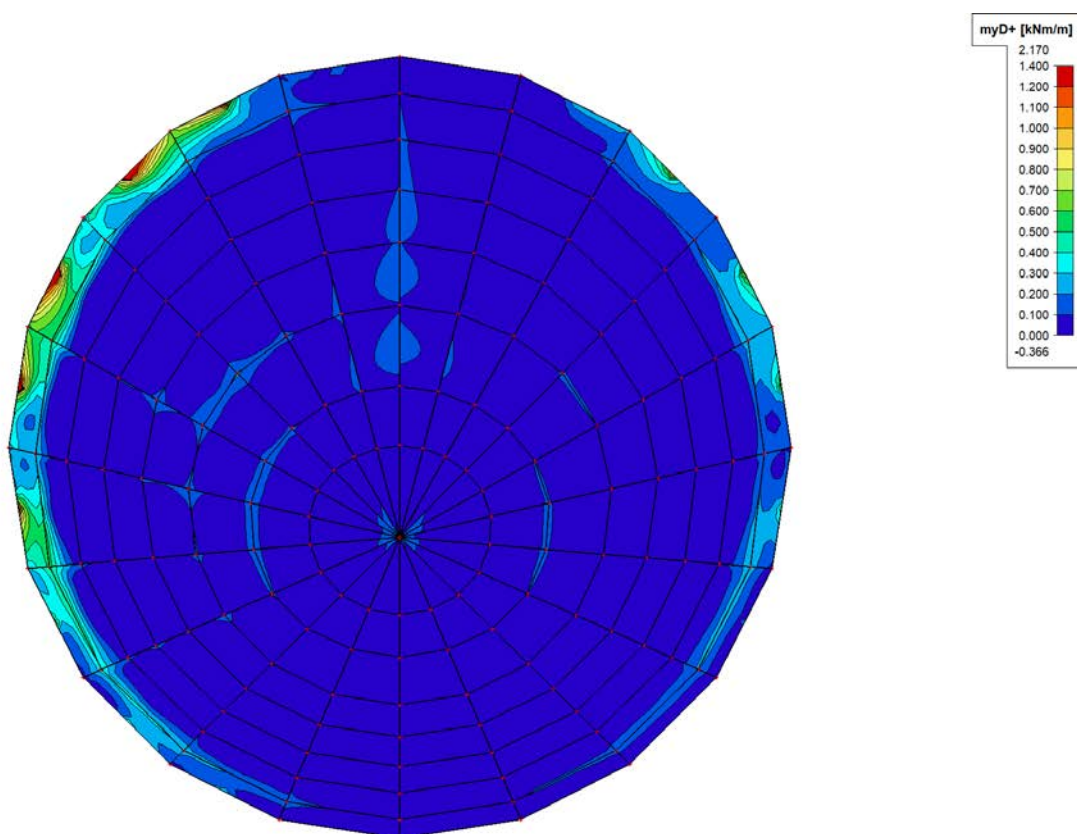
ZS14 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



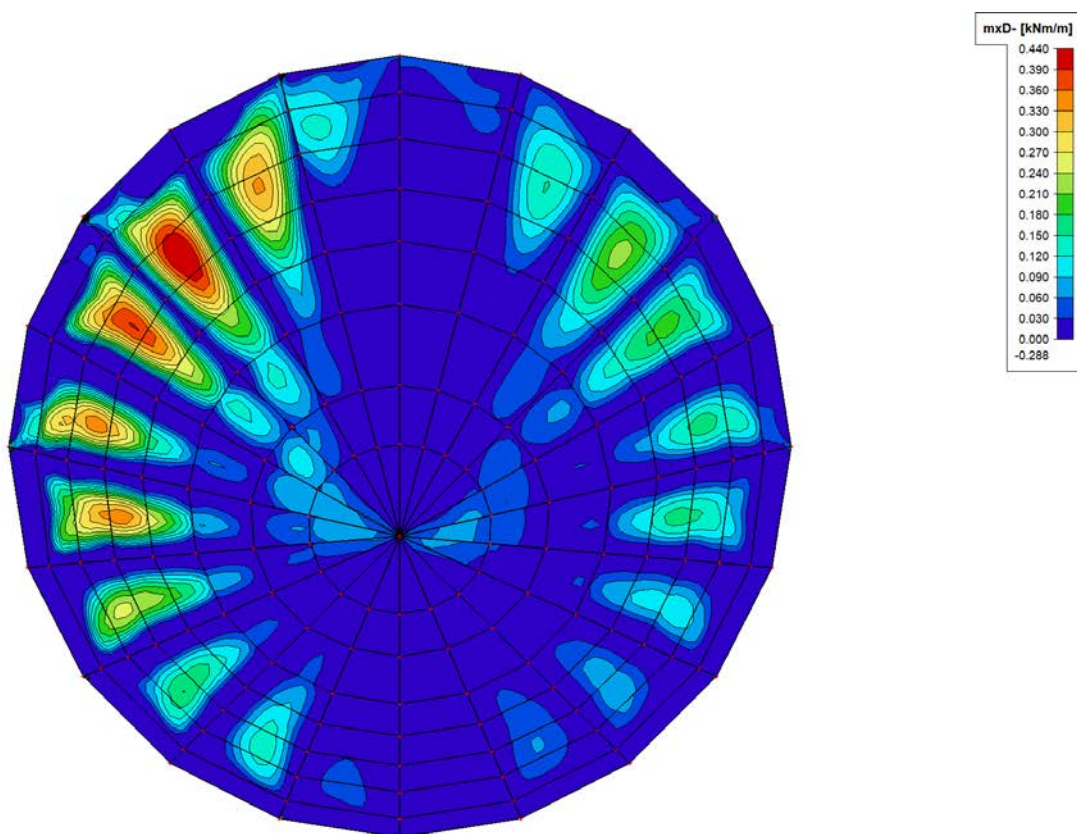
ZS15 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



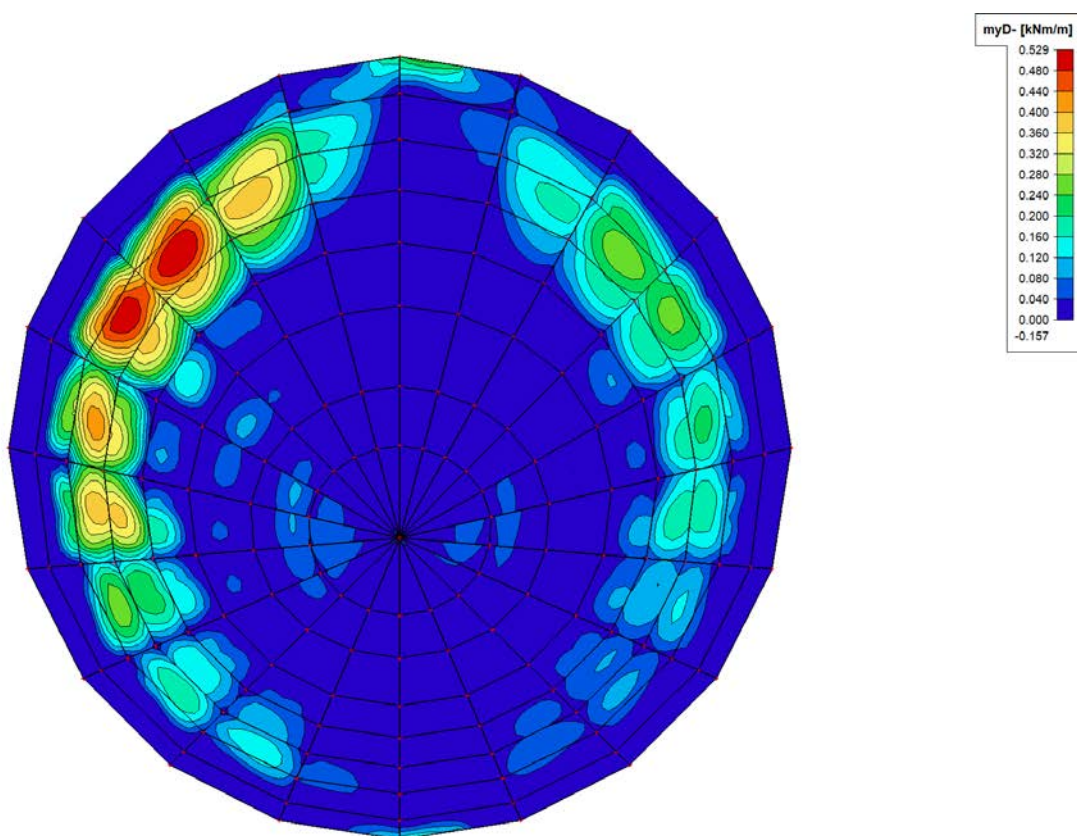
ZS15 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



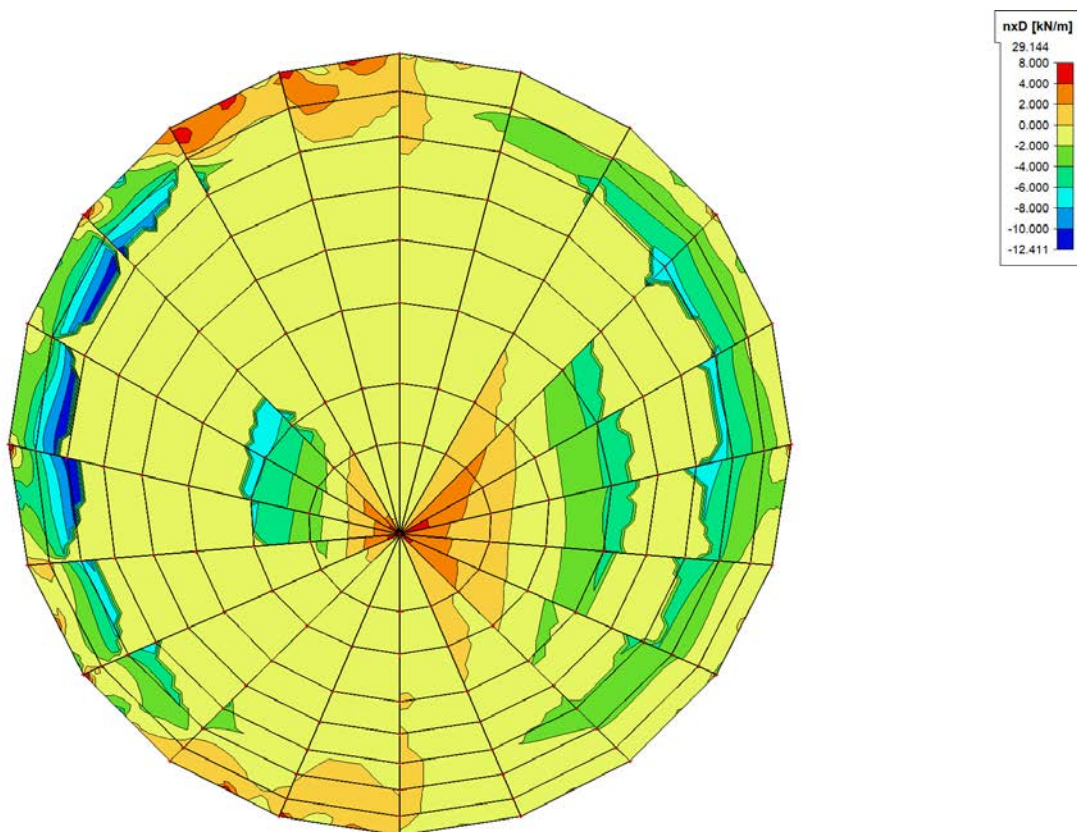
ZS15 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



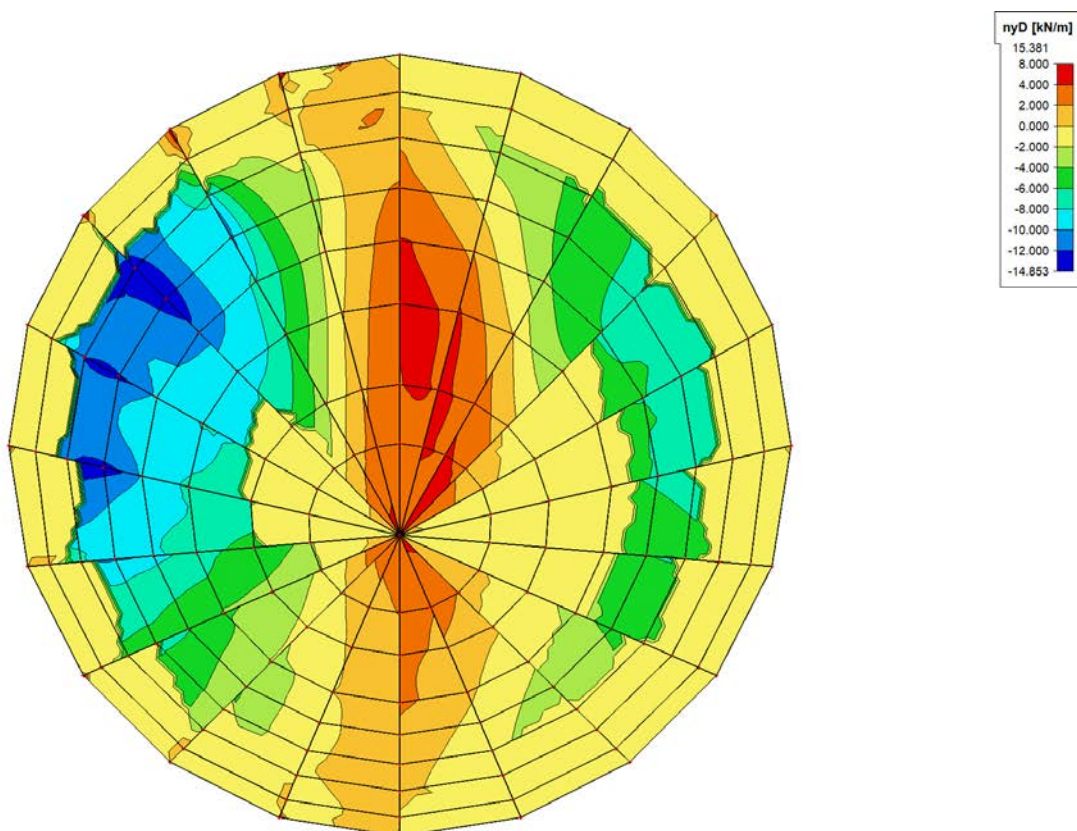
ZS15 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



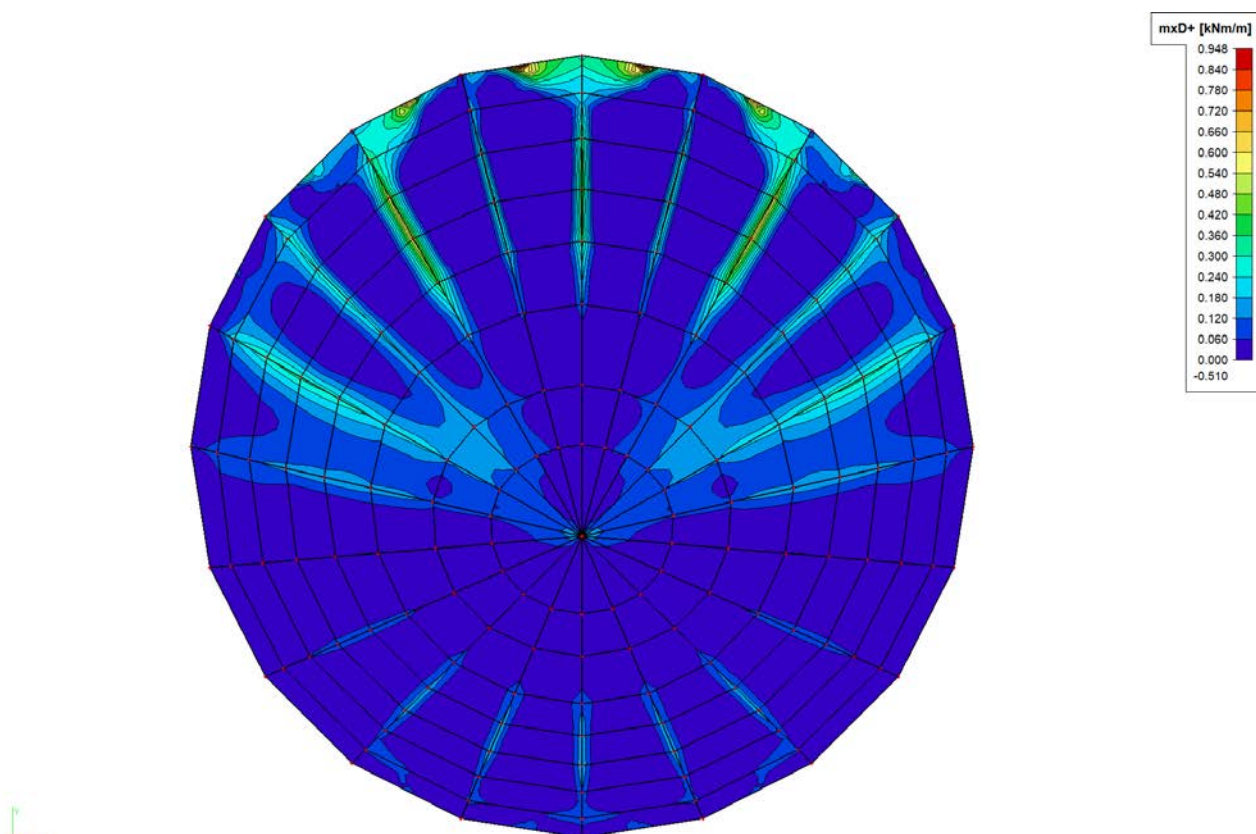
ZS15 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



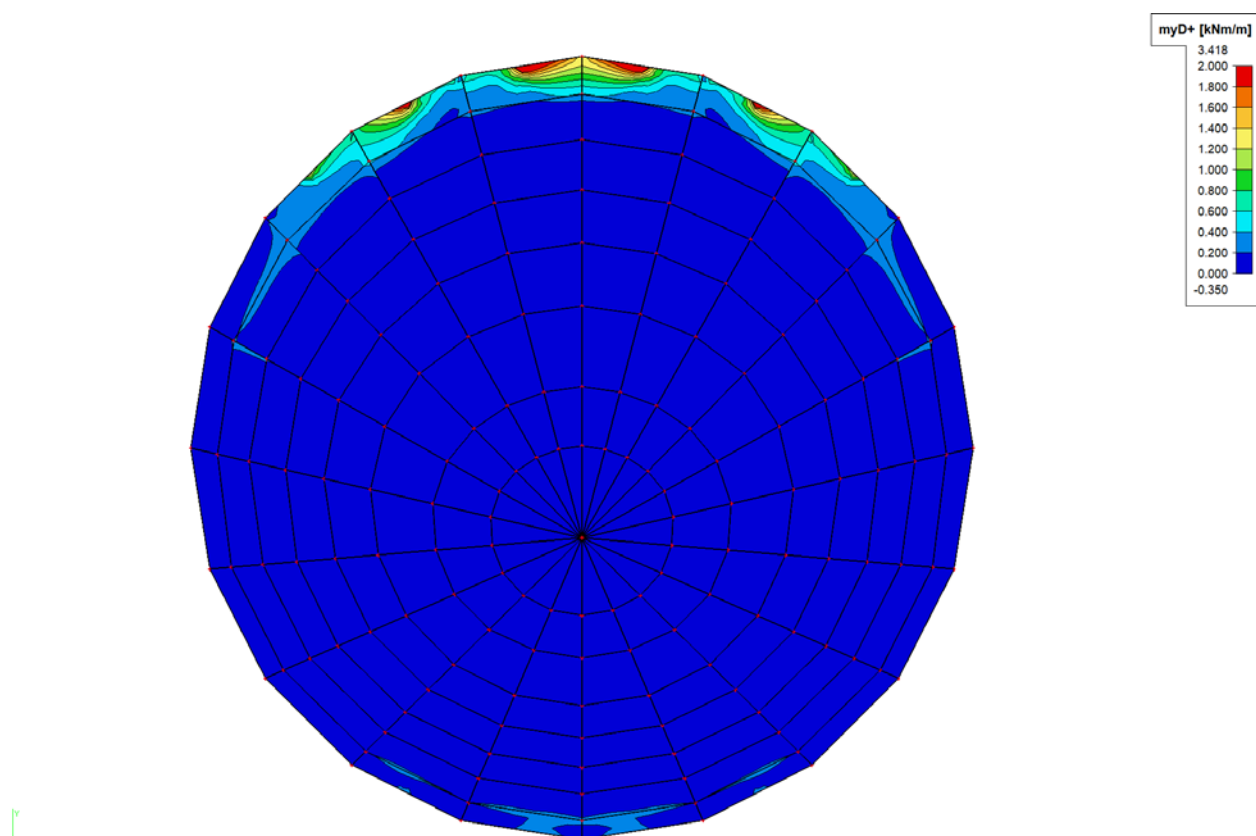
ZS15 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



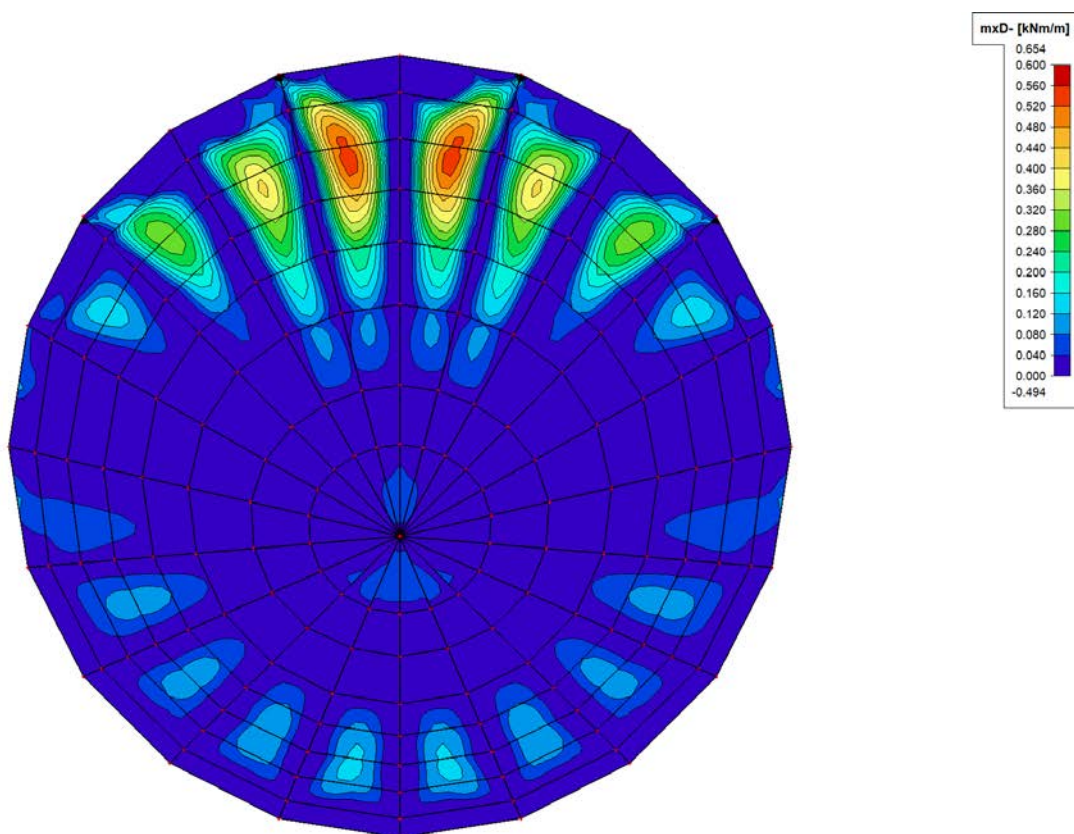
ZS16 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



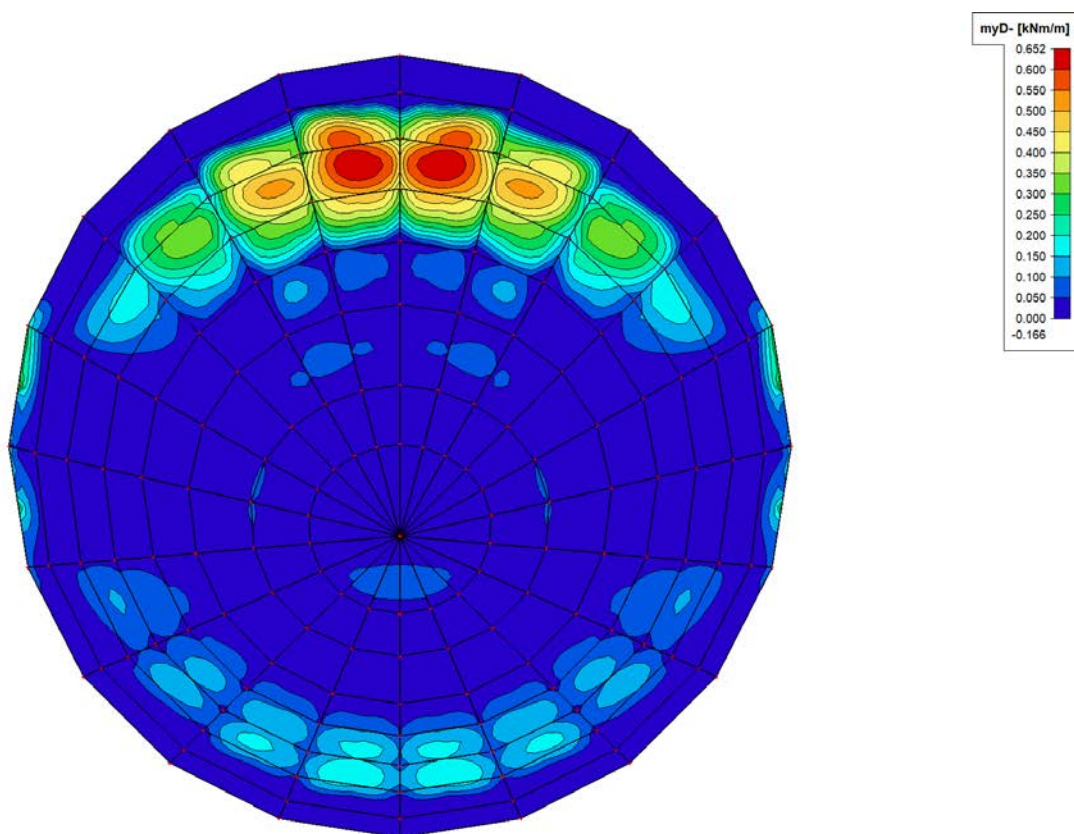
ZS16 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



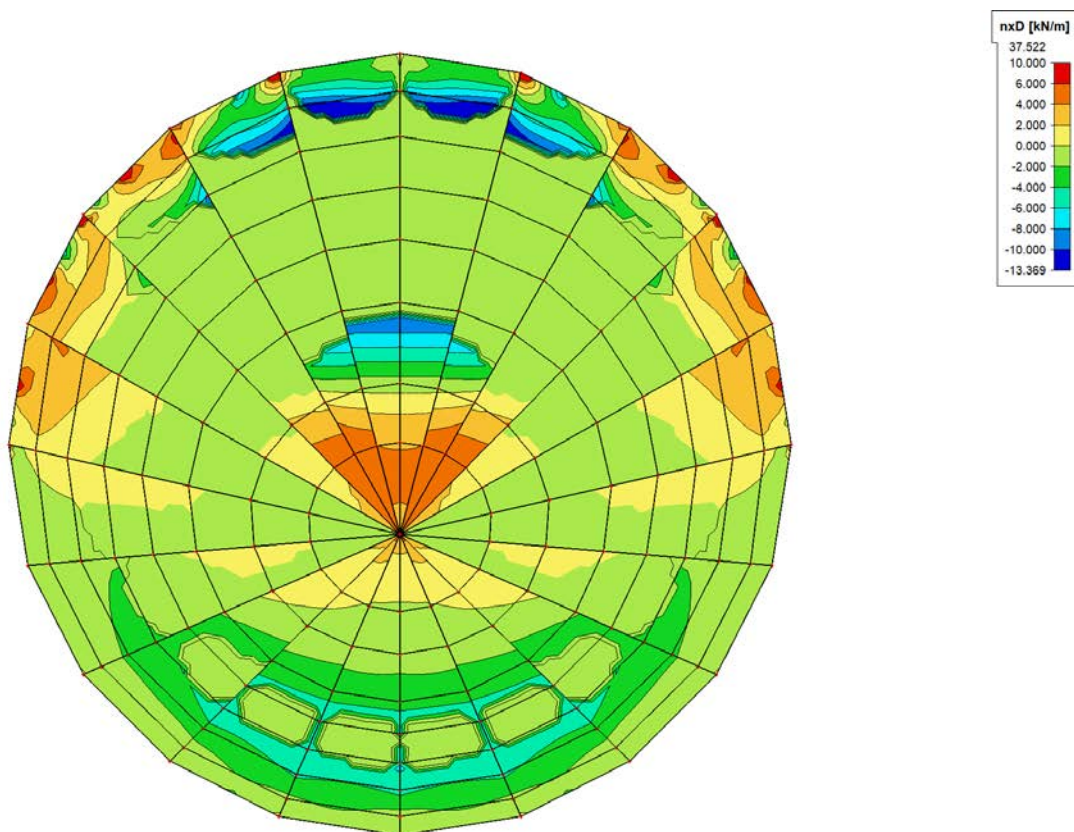
ZS16 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



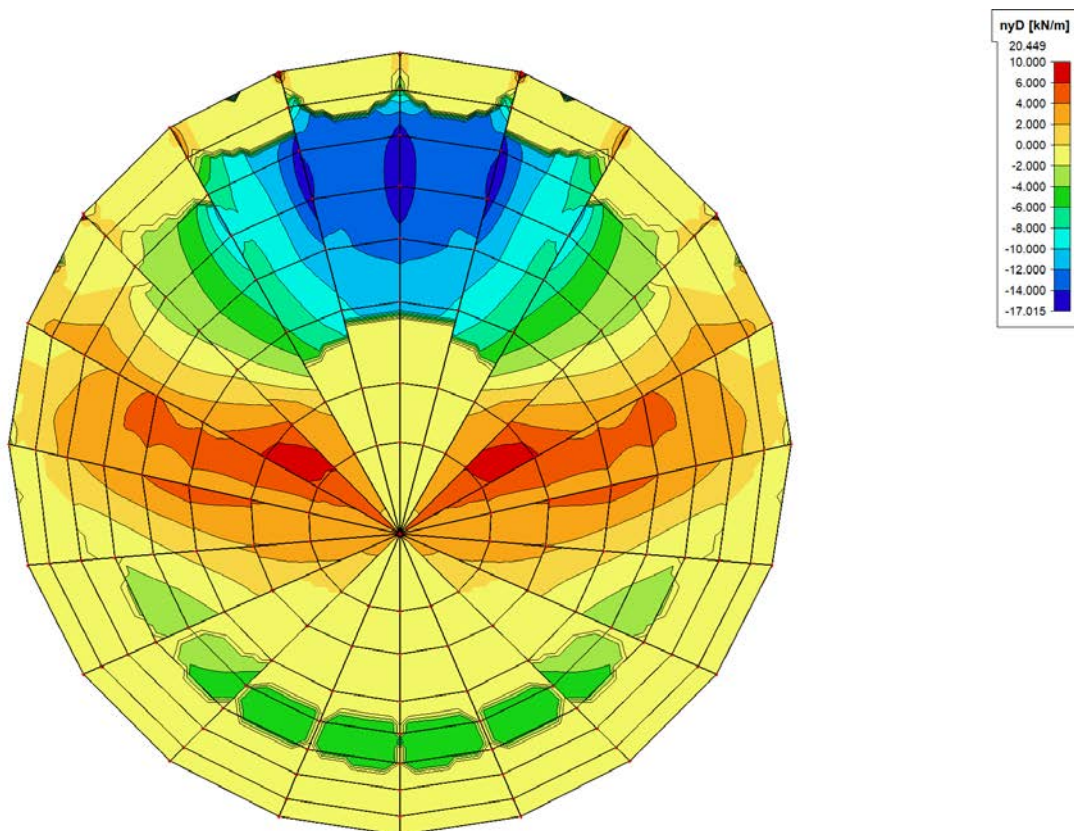
ZS16 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



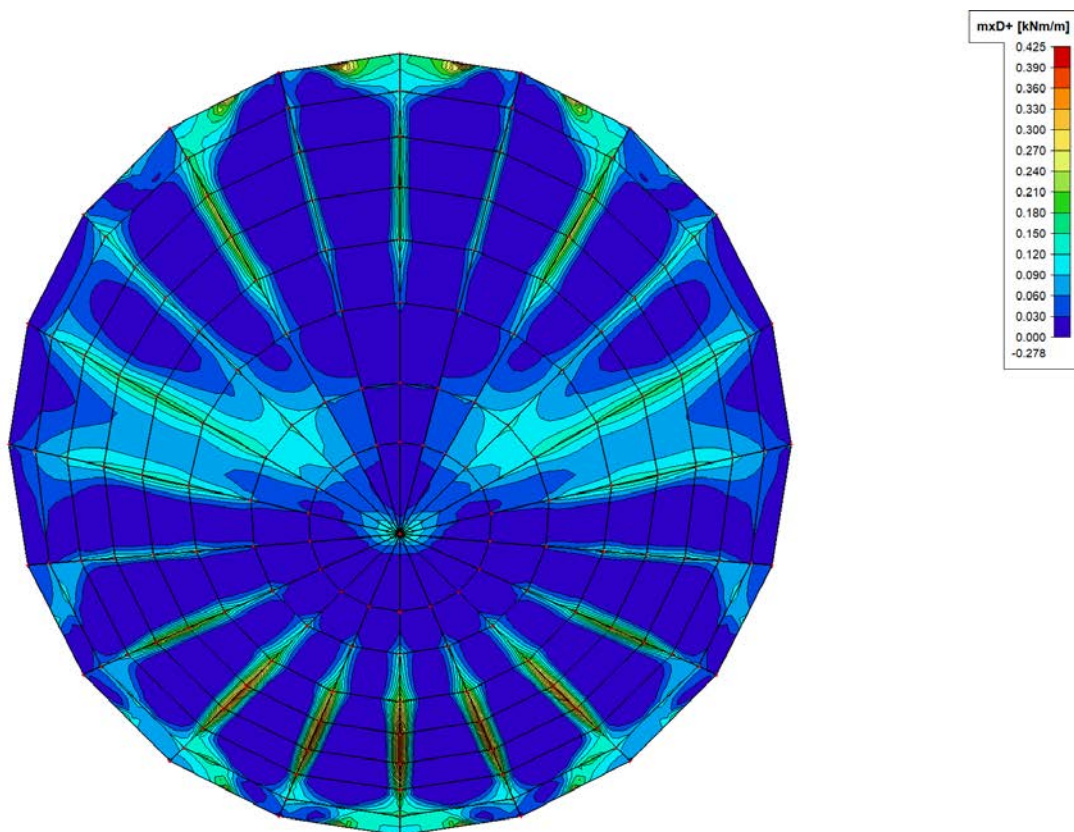
ZS16 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



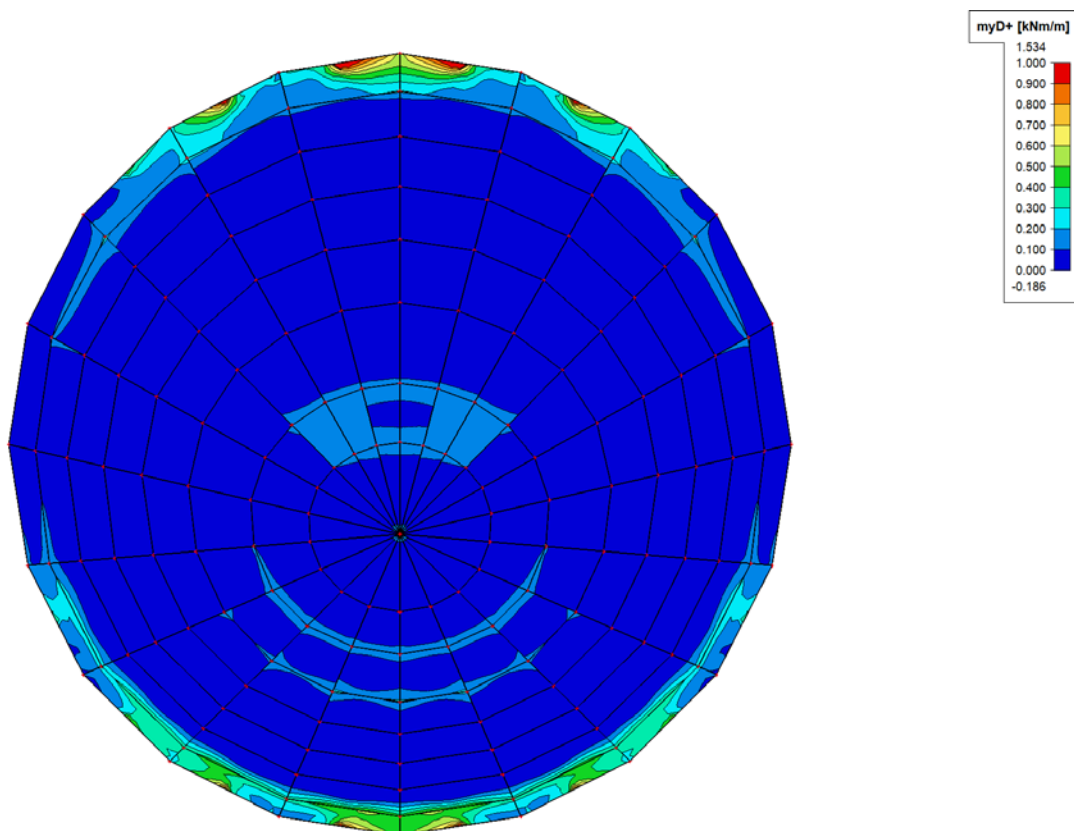
ZS16 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



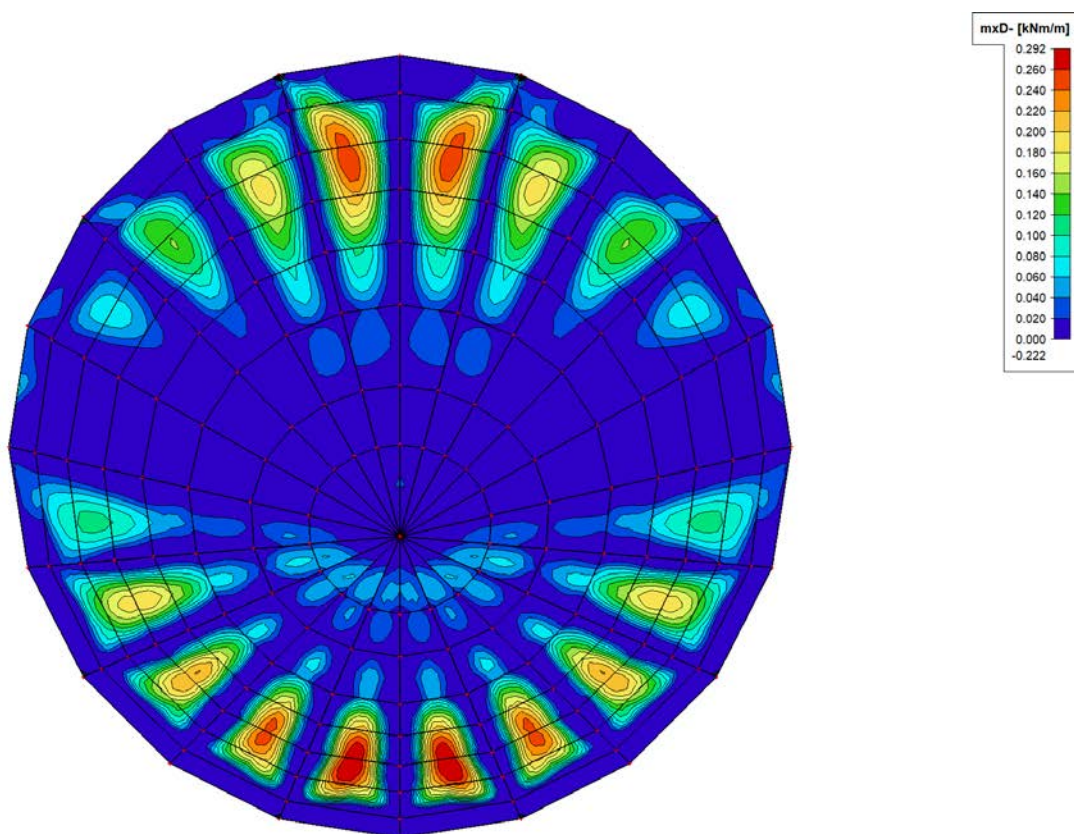
ZS17 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



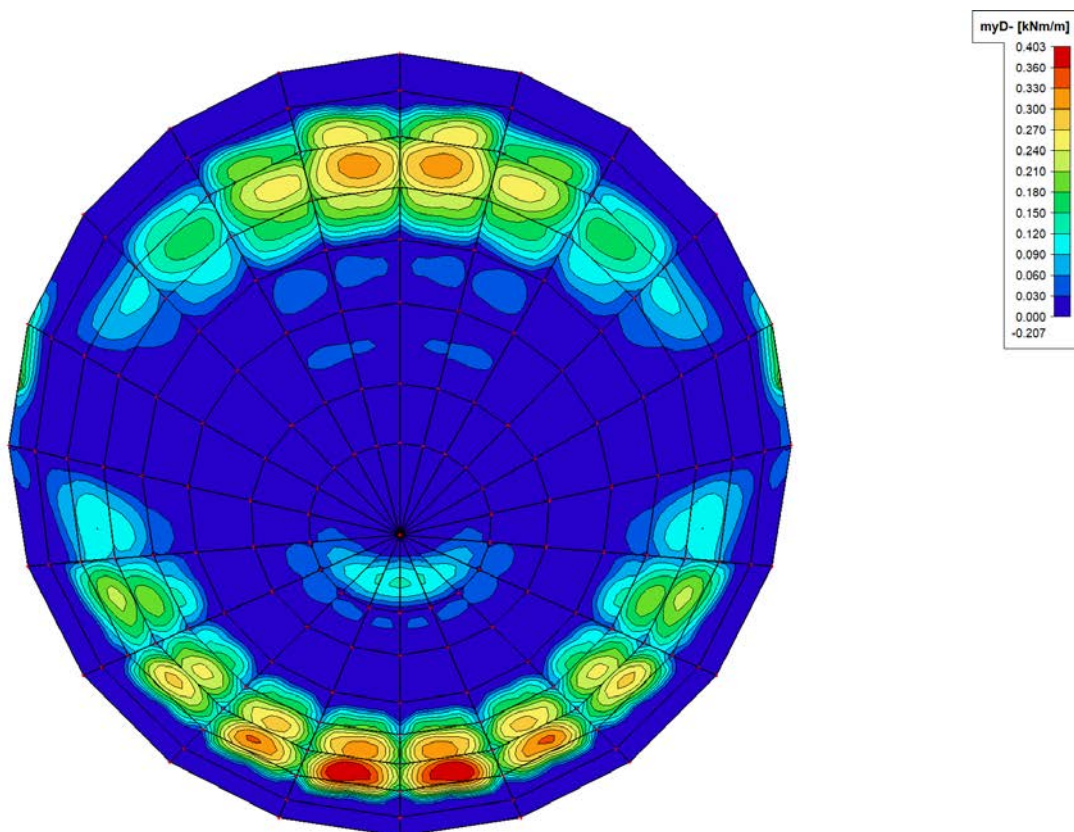
ZS17 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



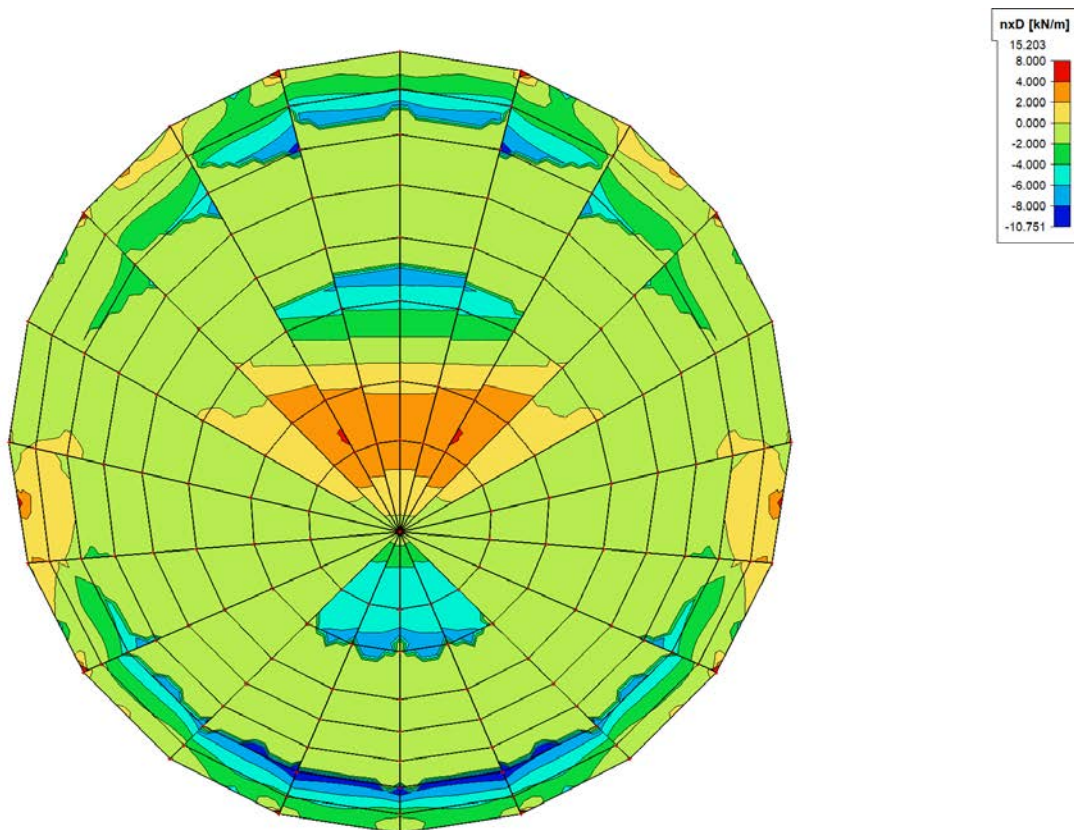
ZS17 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



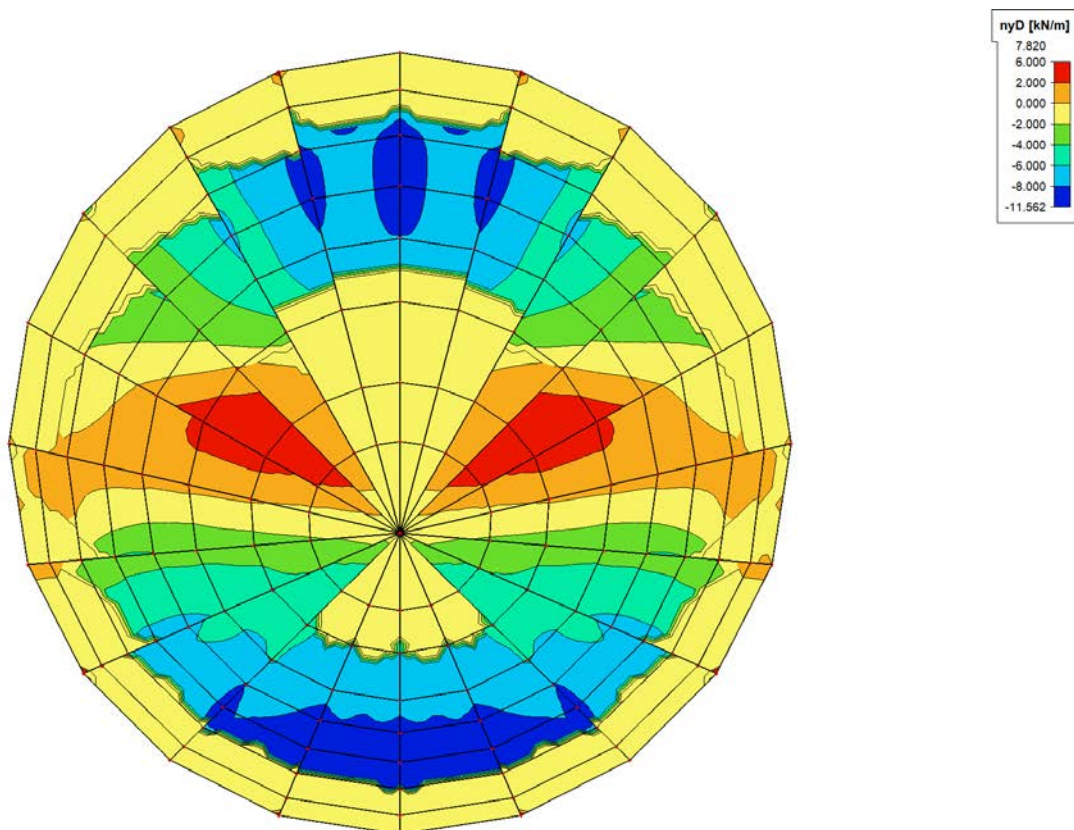
ZS17 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



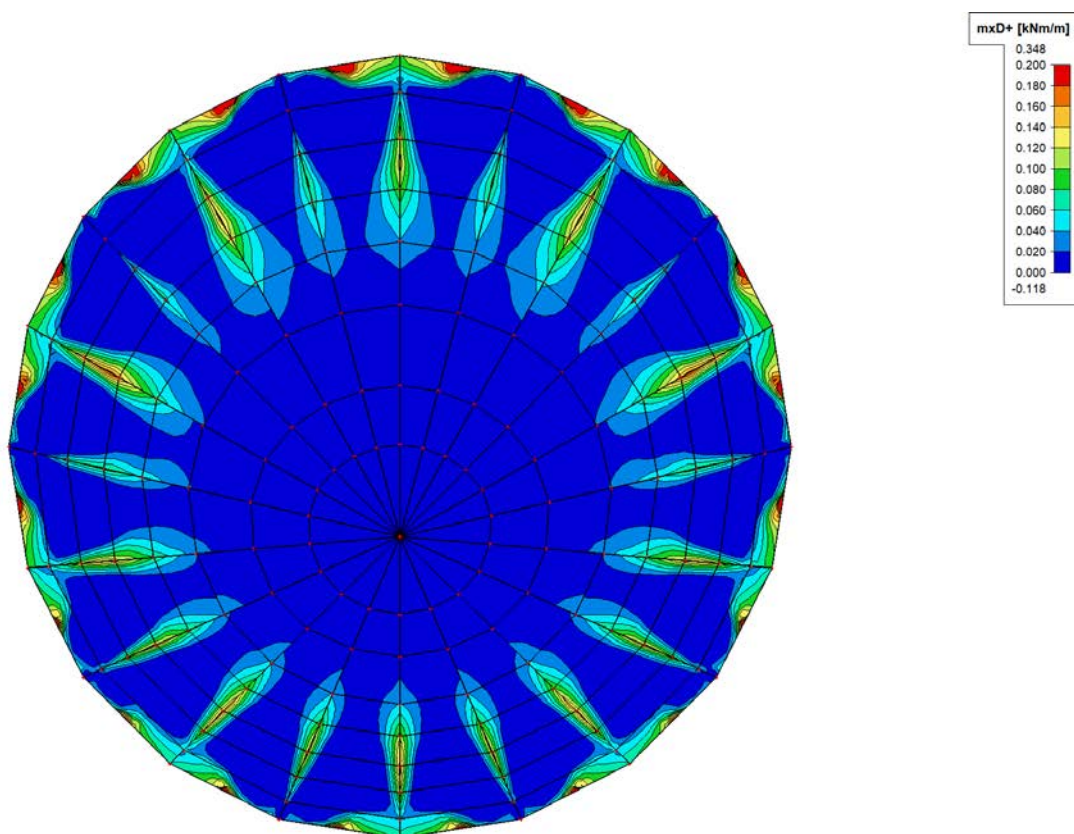
ZS17 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



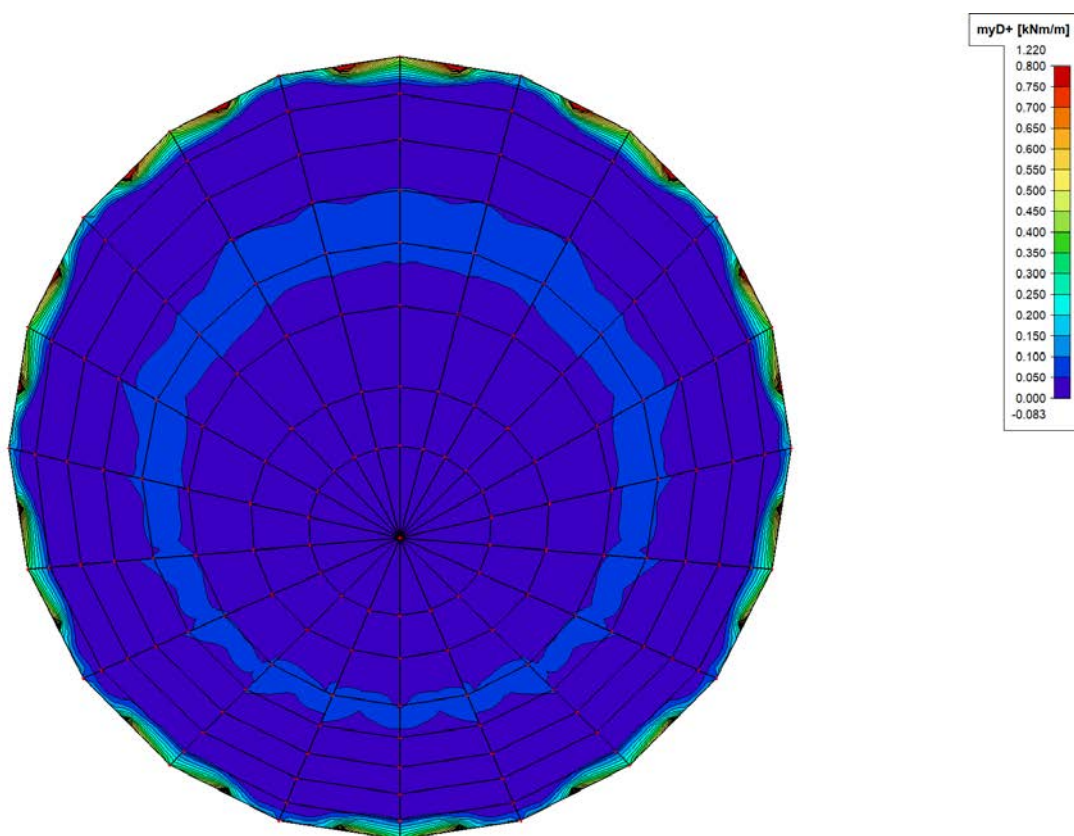
ZS17 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



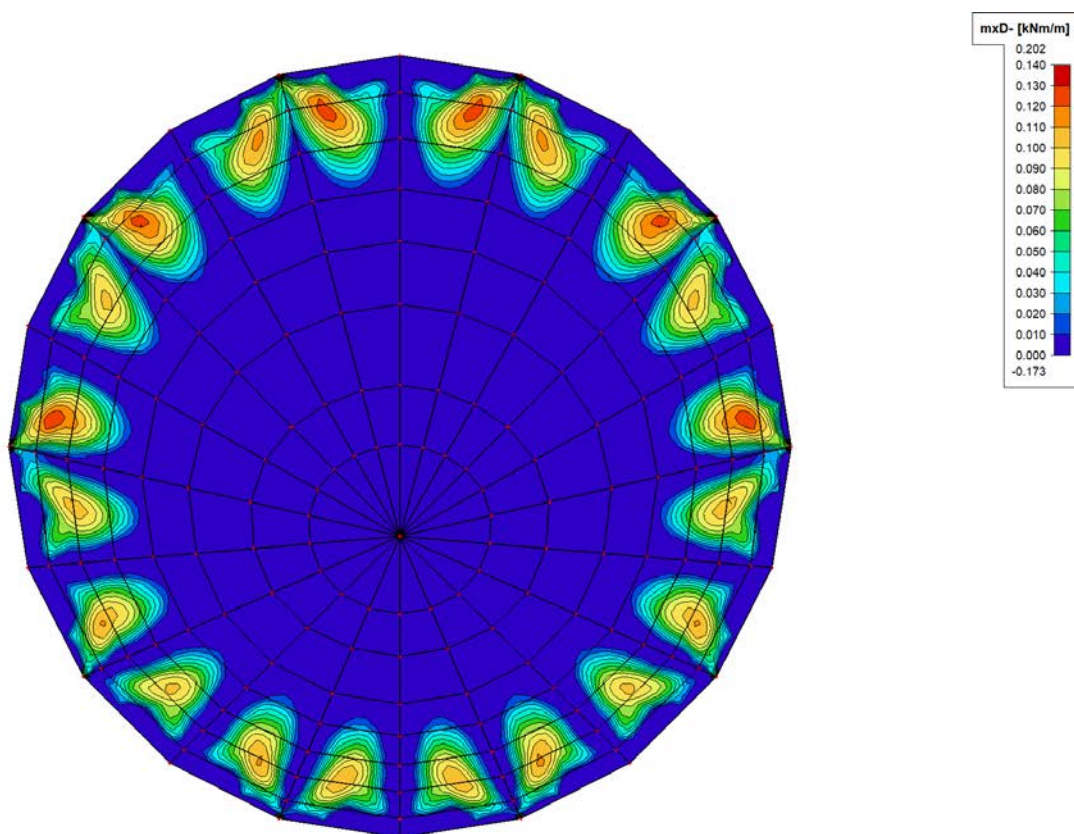
ZS18 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



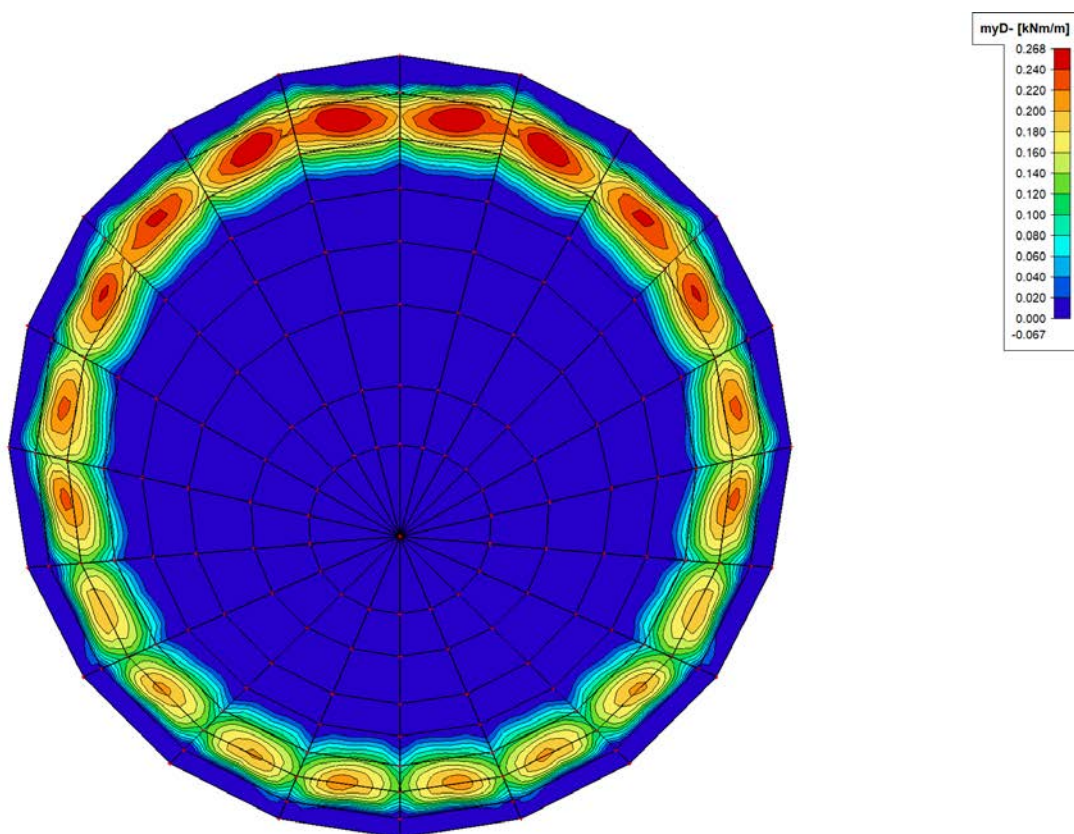
ZS18 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



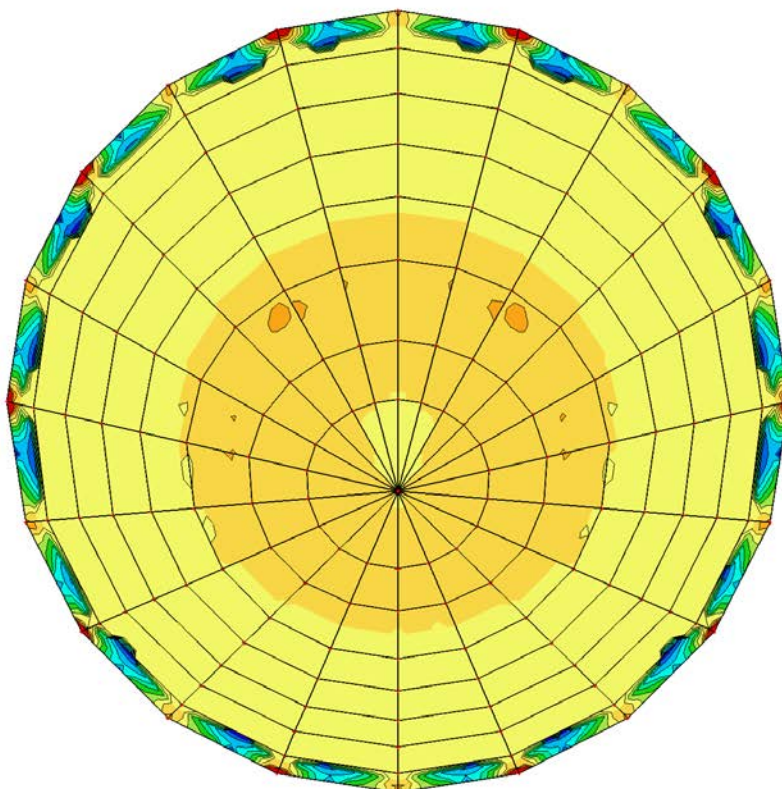
ZS18 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



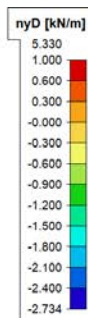
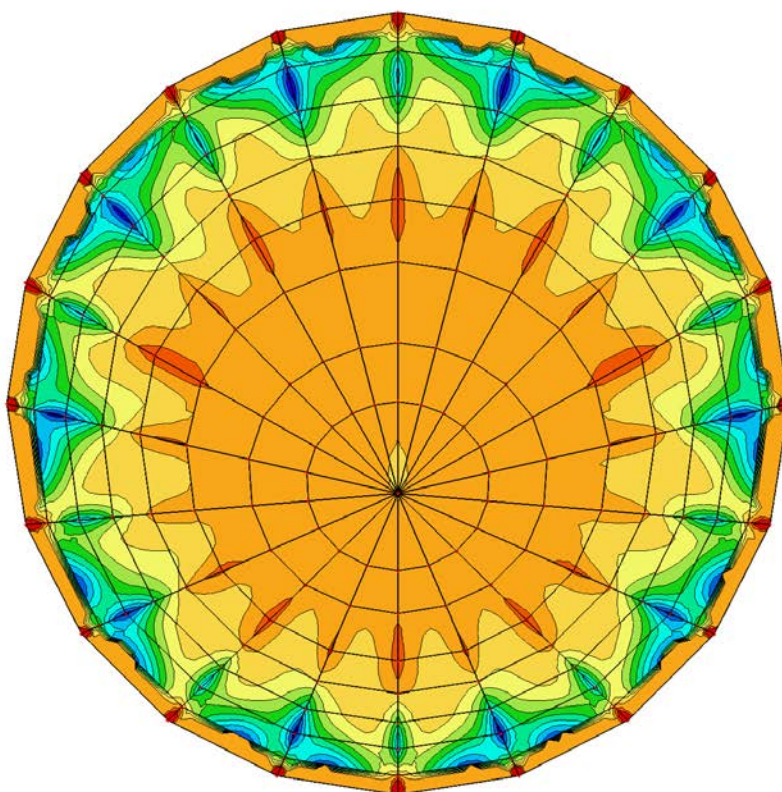
ZS18 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



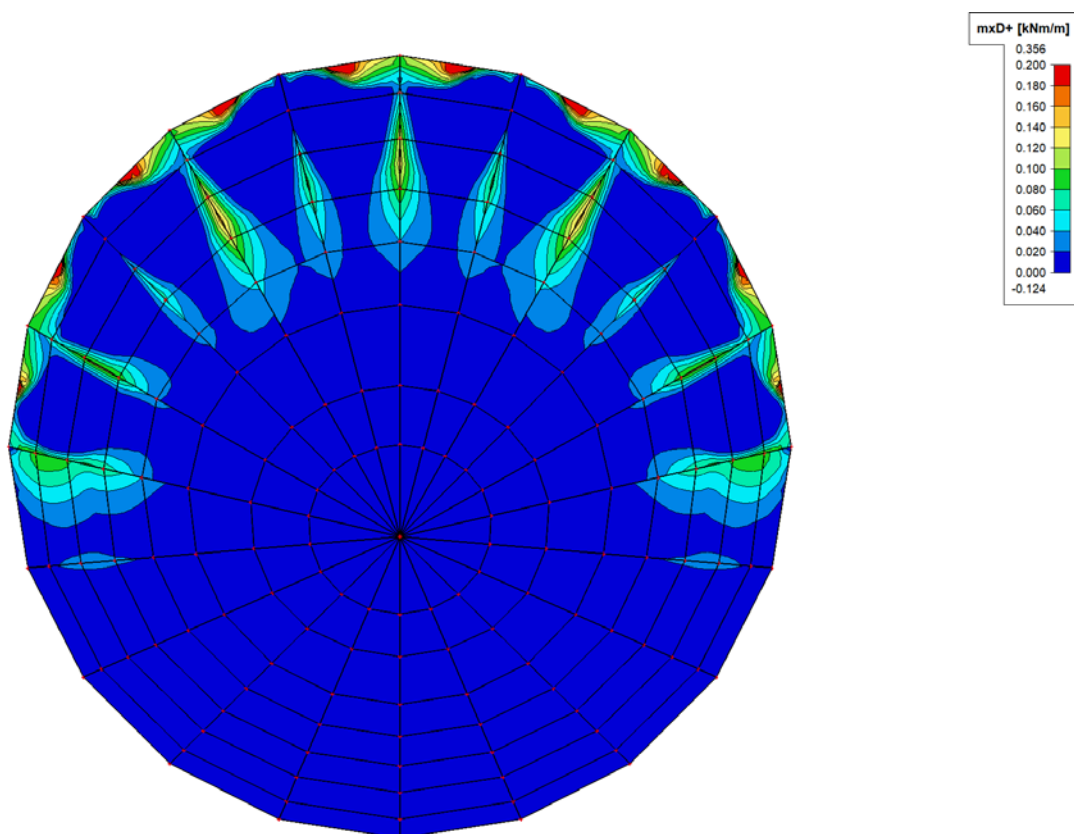
ZS18 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



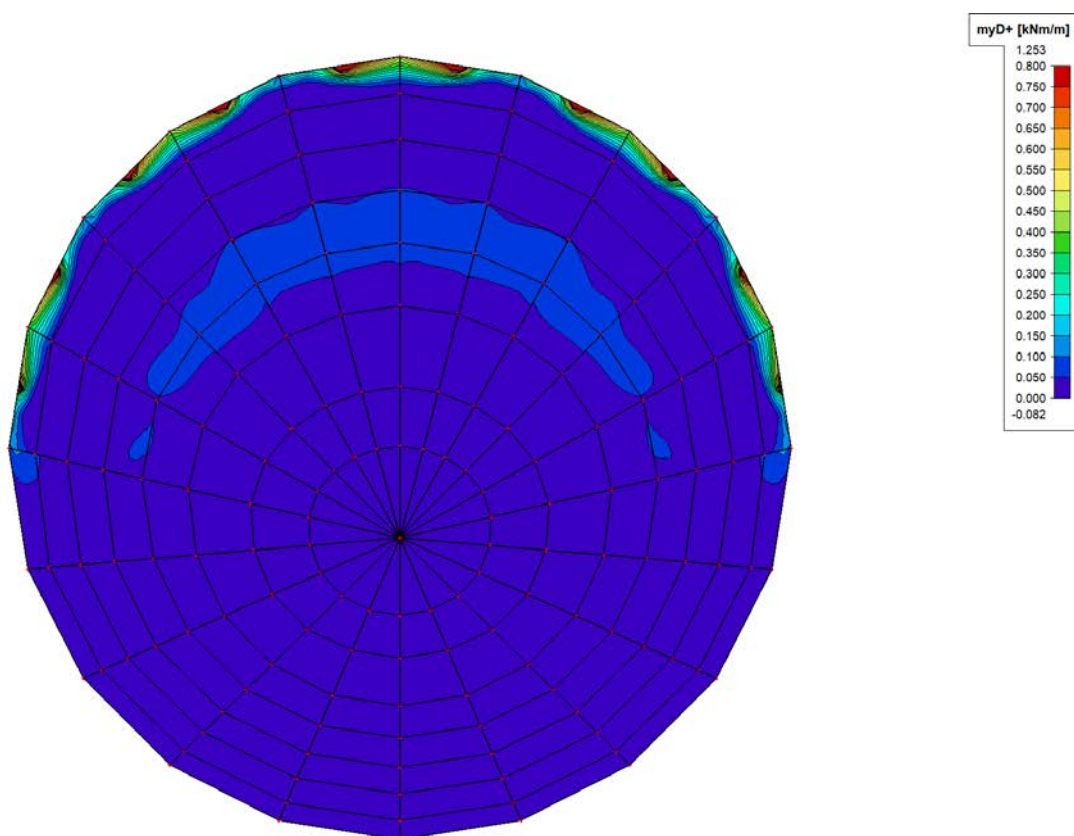
ZS18 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



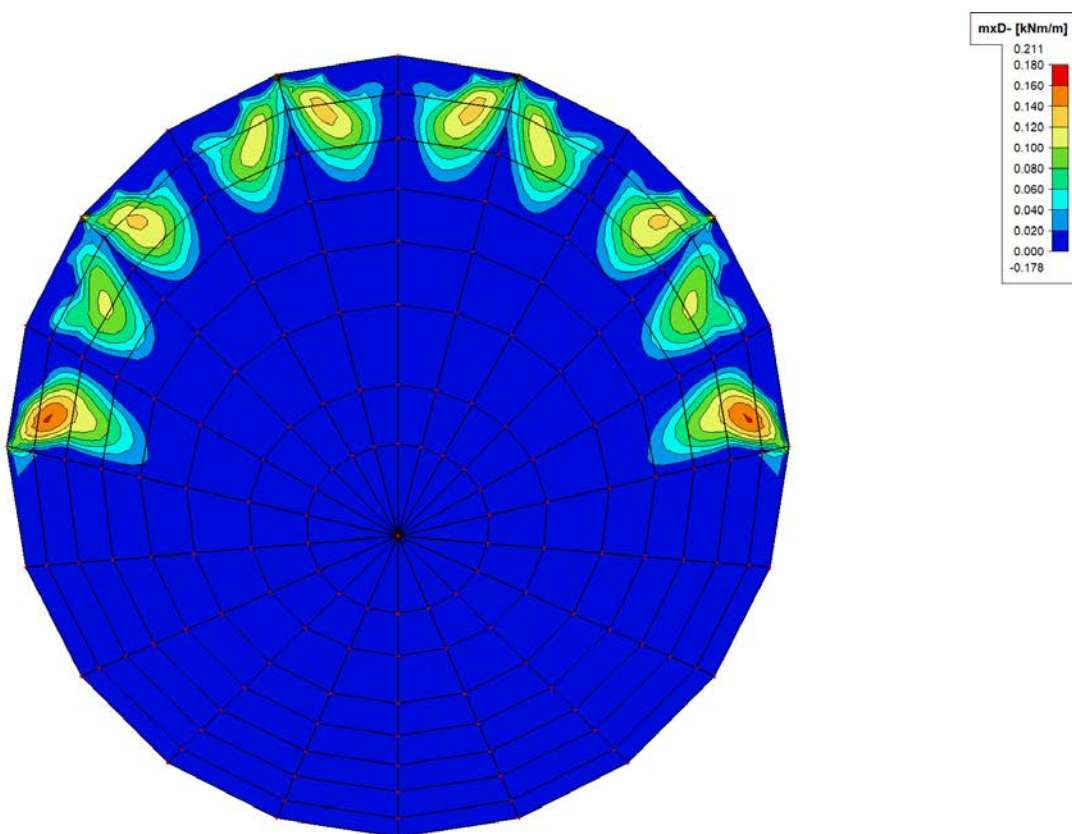
ZS19 – $mxD+$ [kNm/m] – tangenciální směr



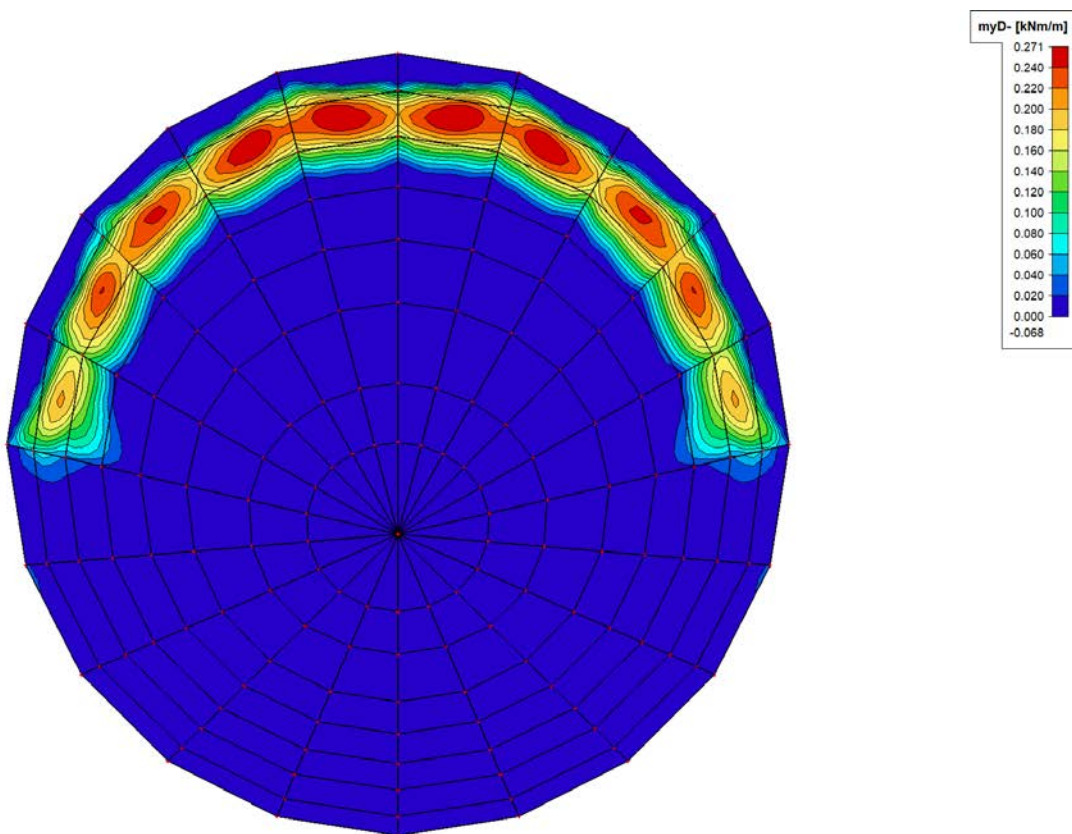
ZS19 – $myD+$ [kNm/m] – radiální směr



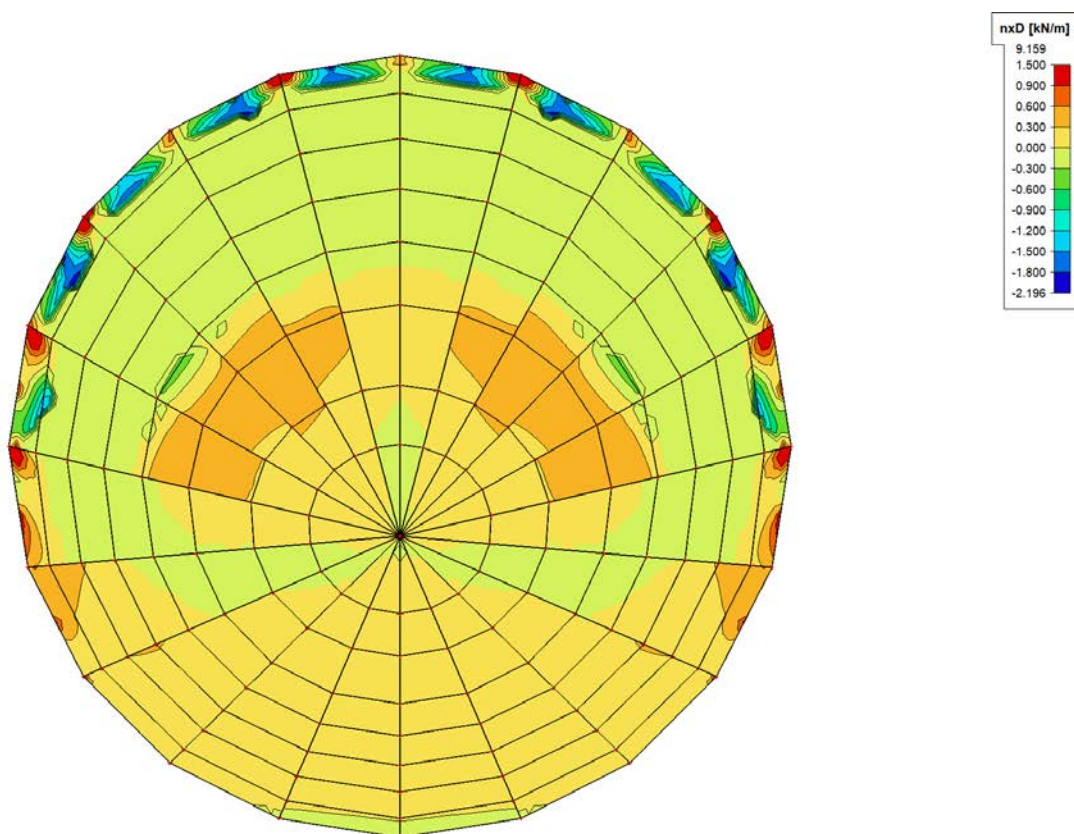
ZS19 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



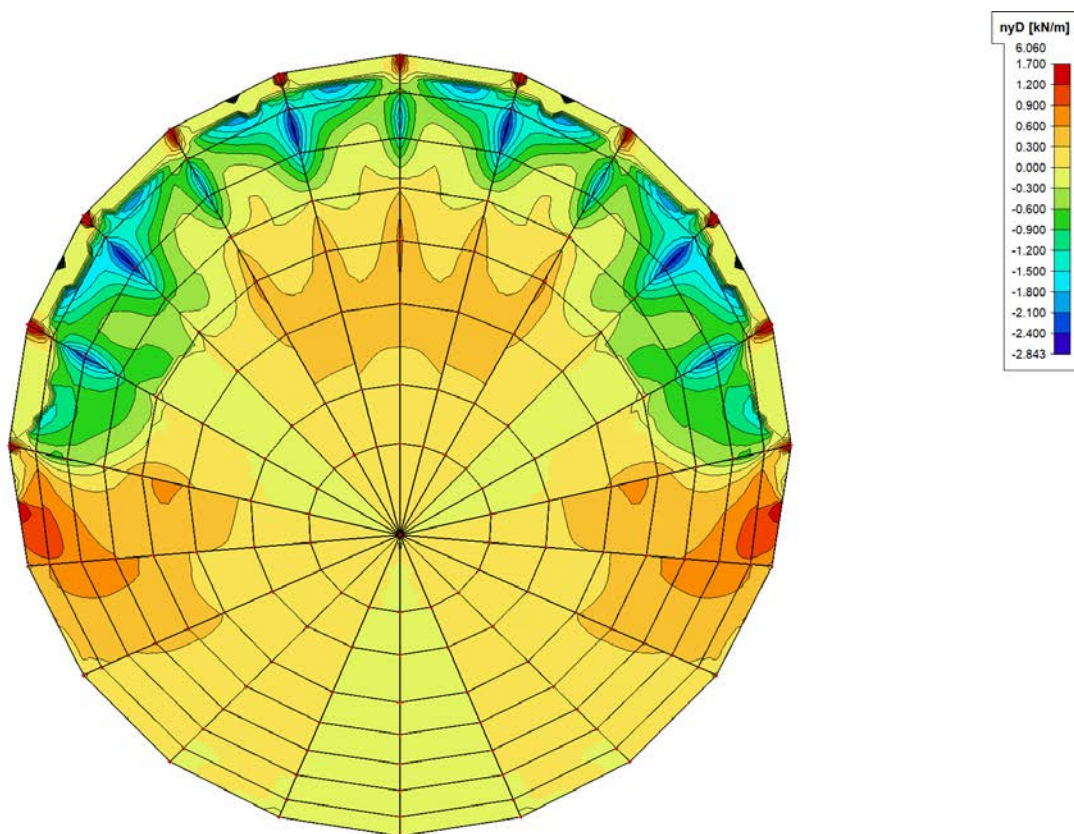
ZS19 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



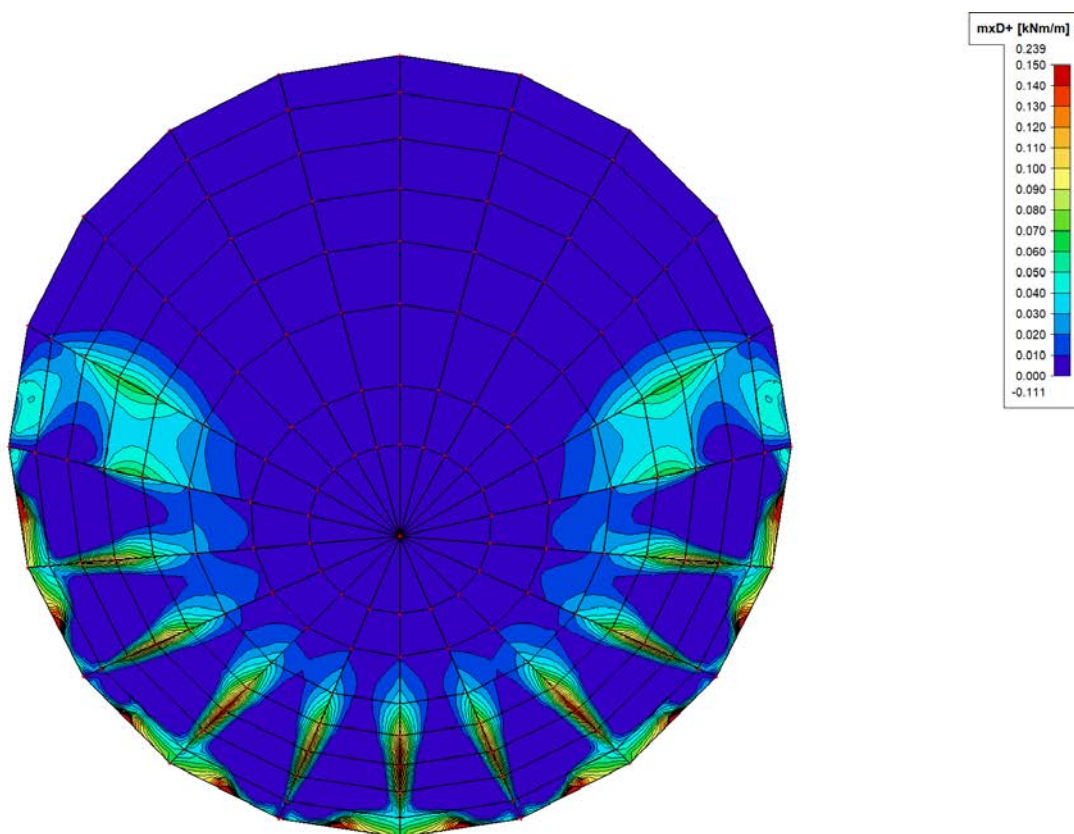
ZS19 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



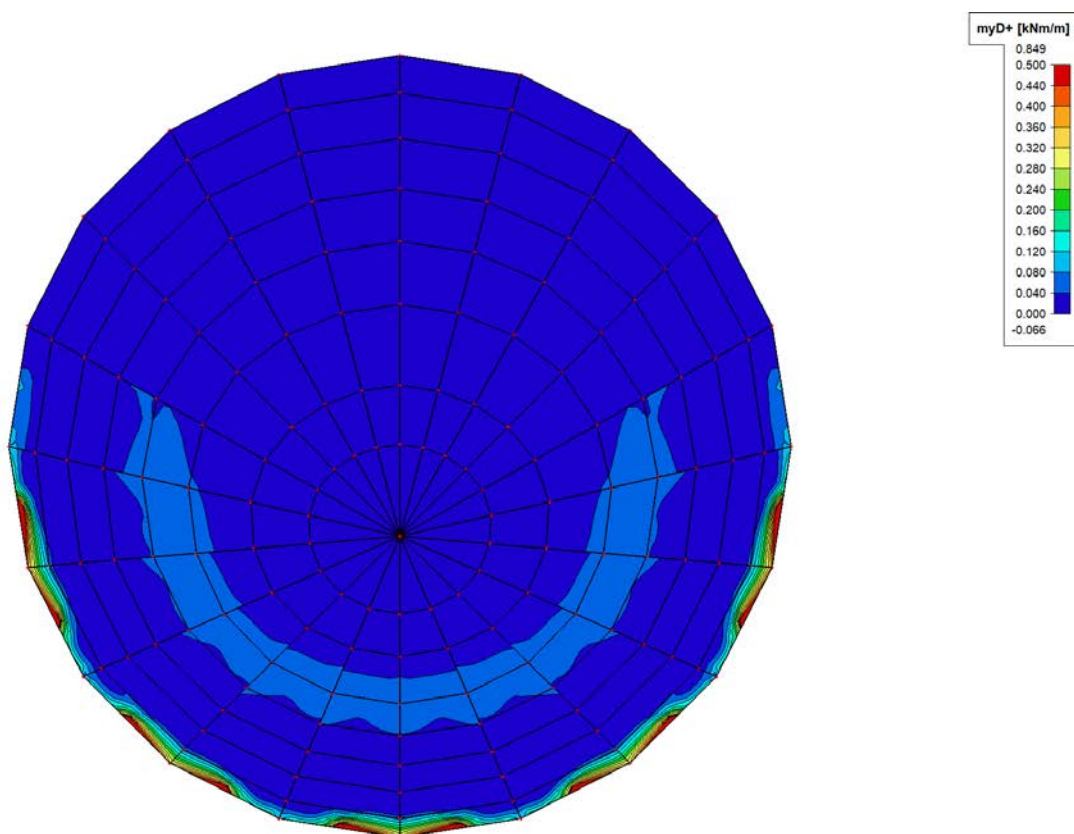
ZS19 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



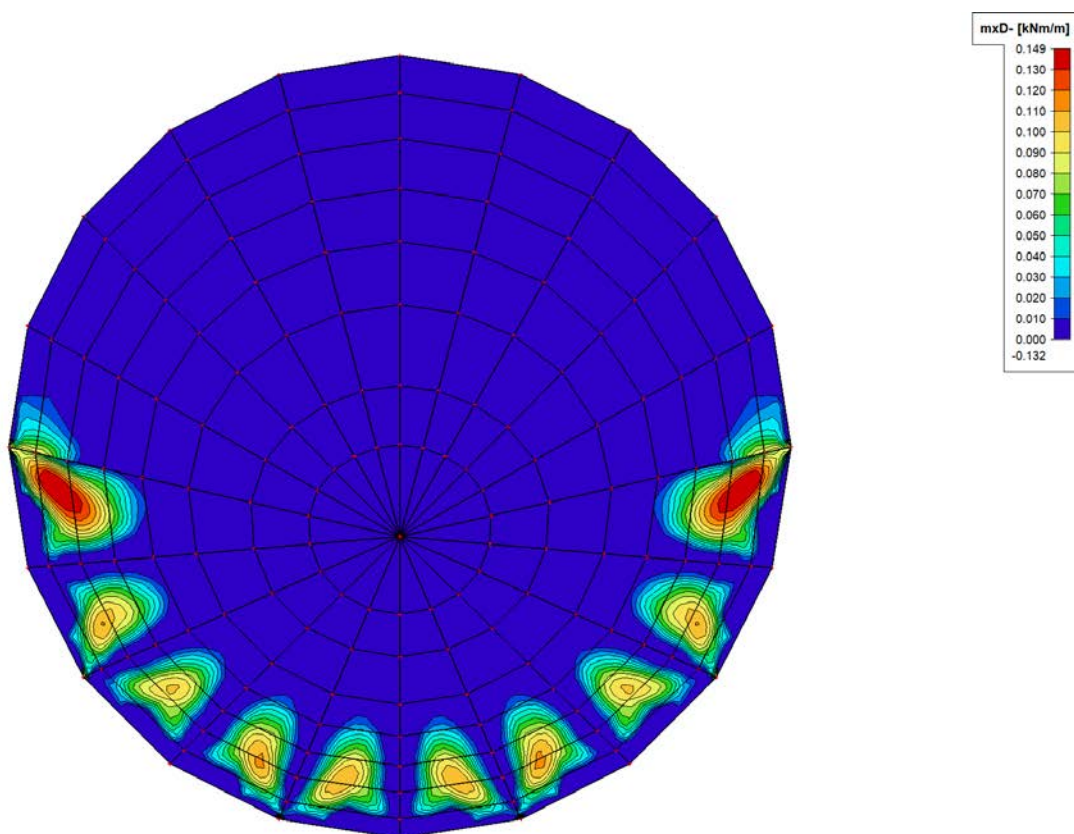
ZS20 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



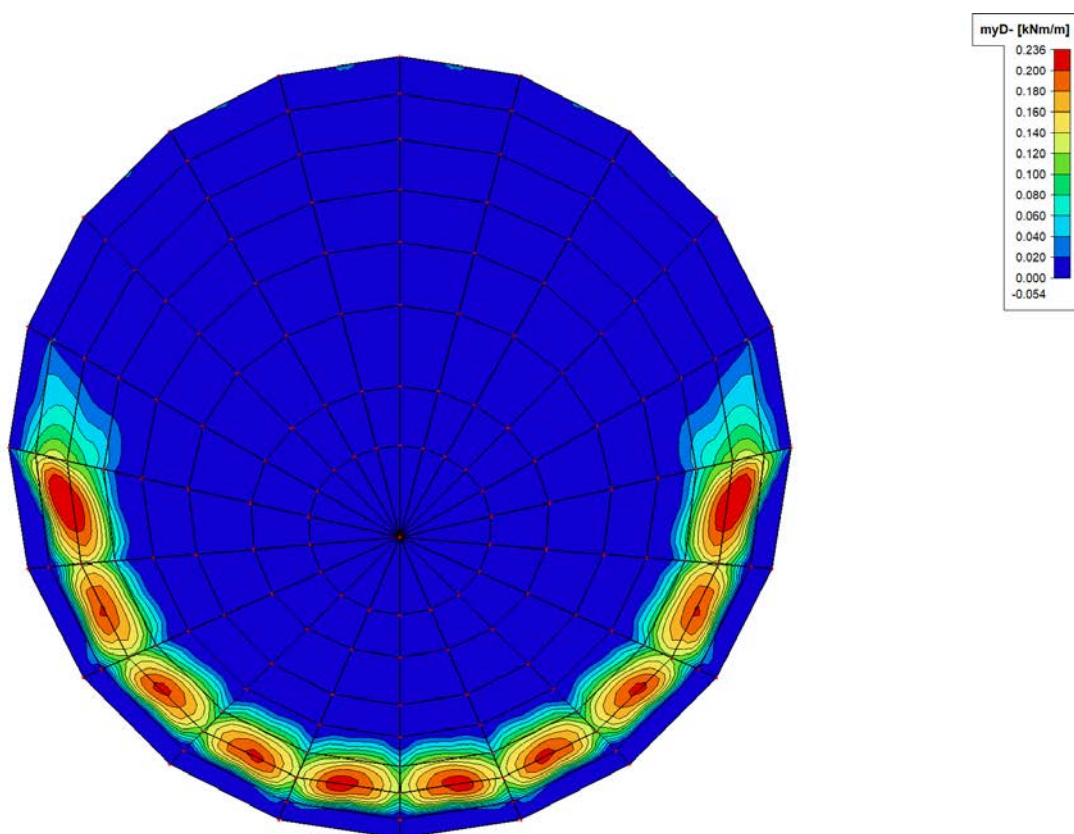
ZS20 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



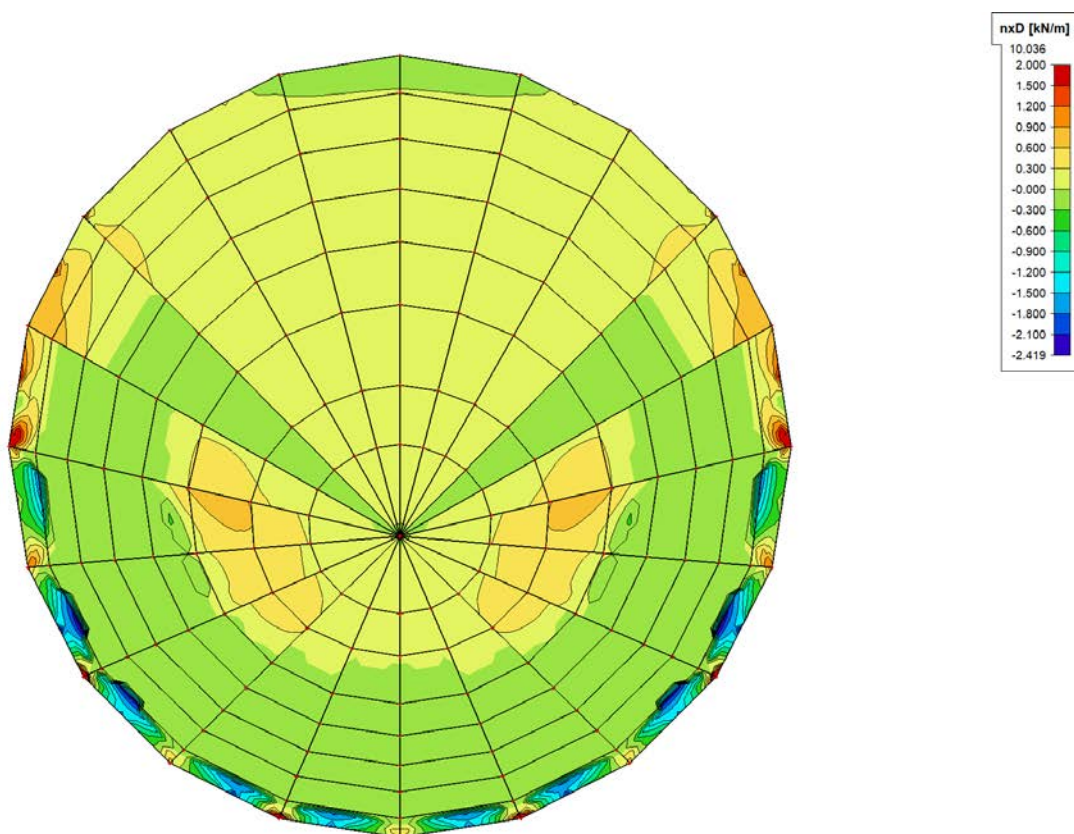
ZS20 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



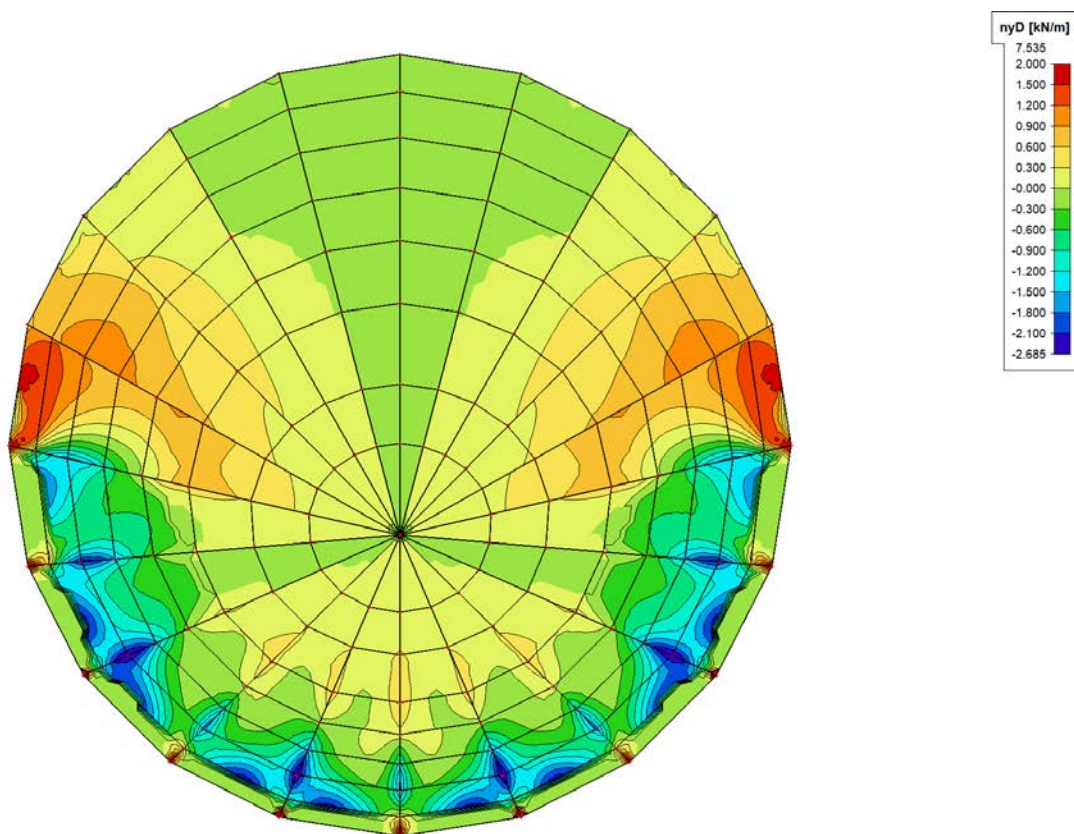
ZS20 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



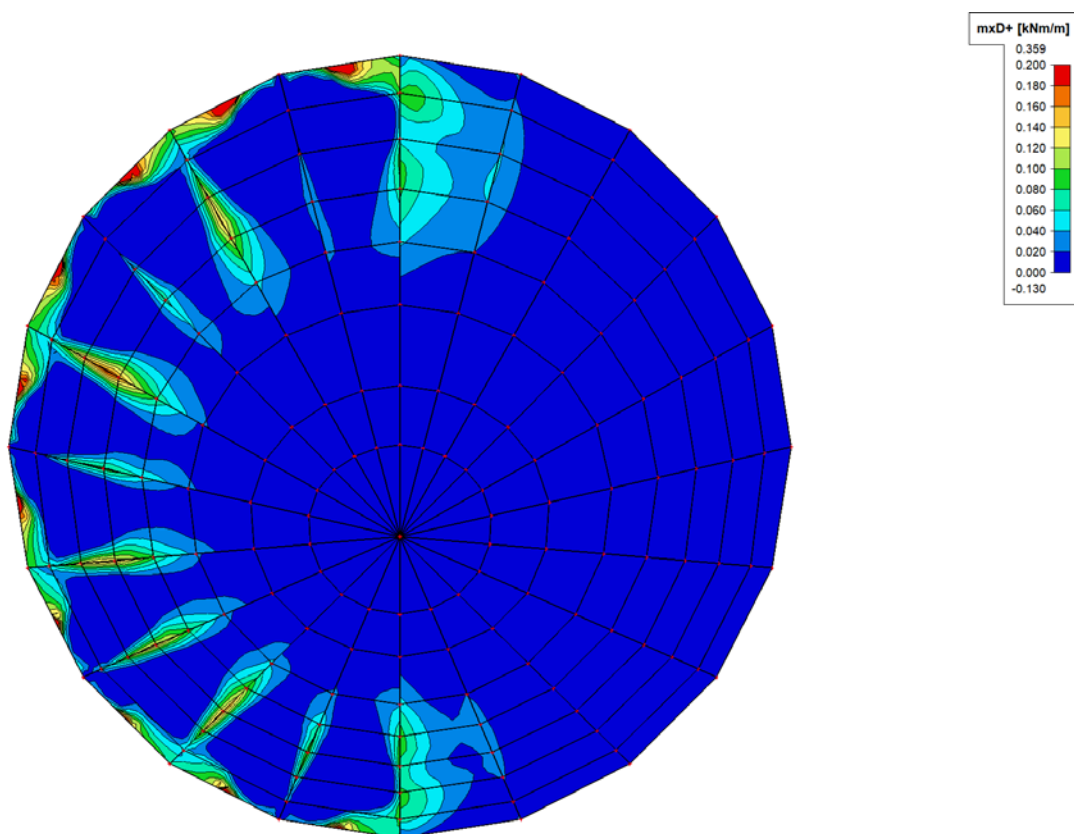
ZS20 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



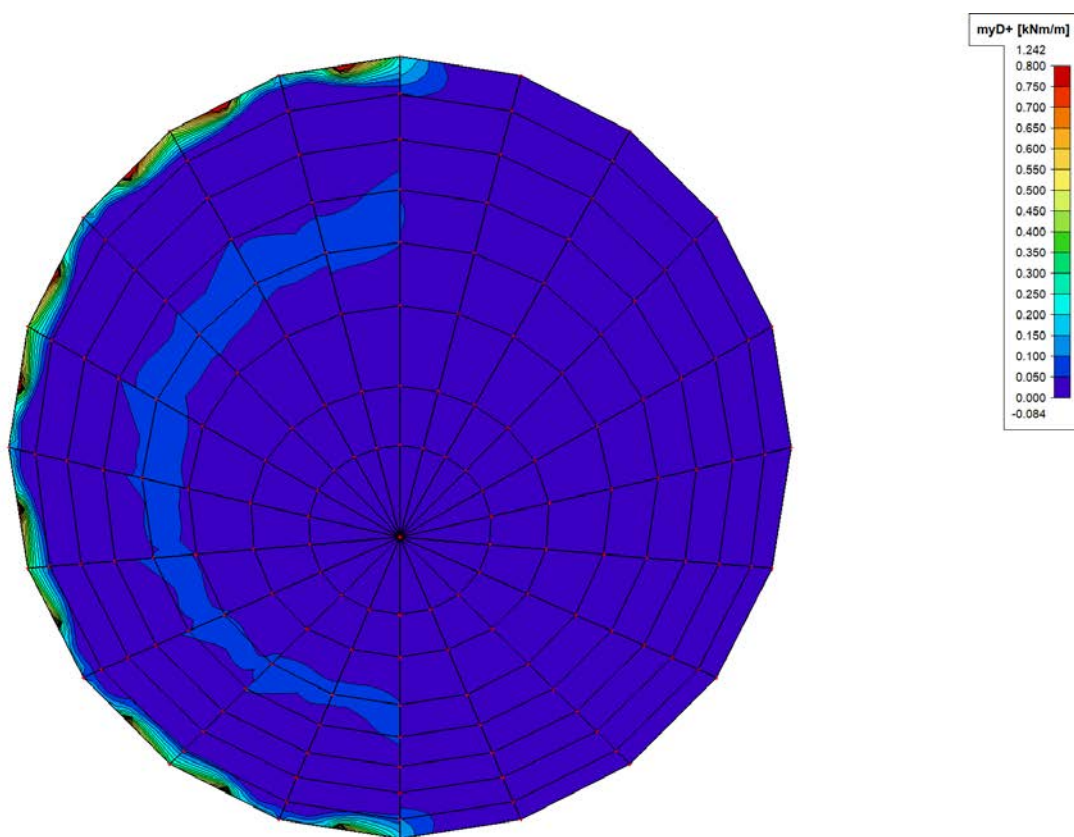
ZS20 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



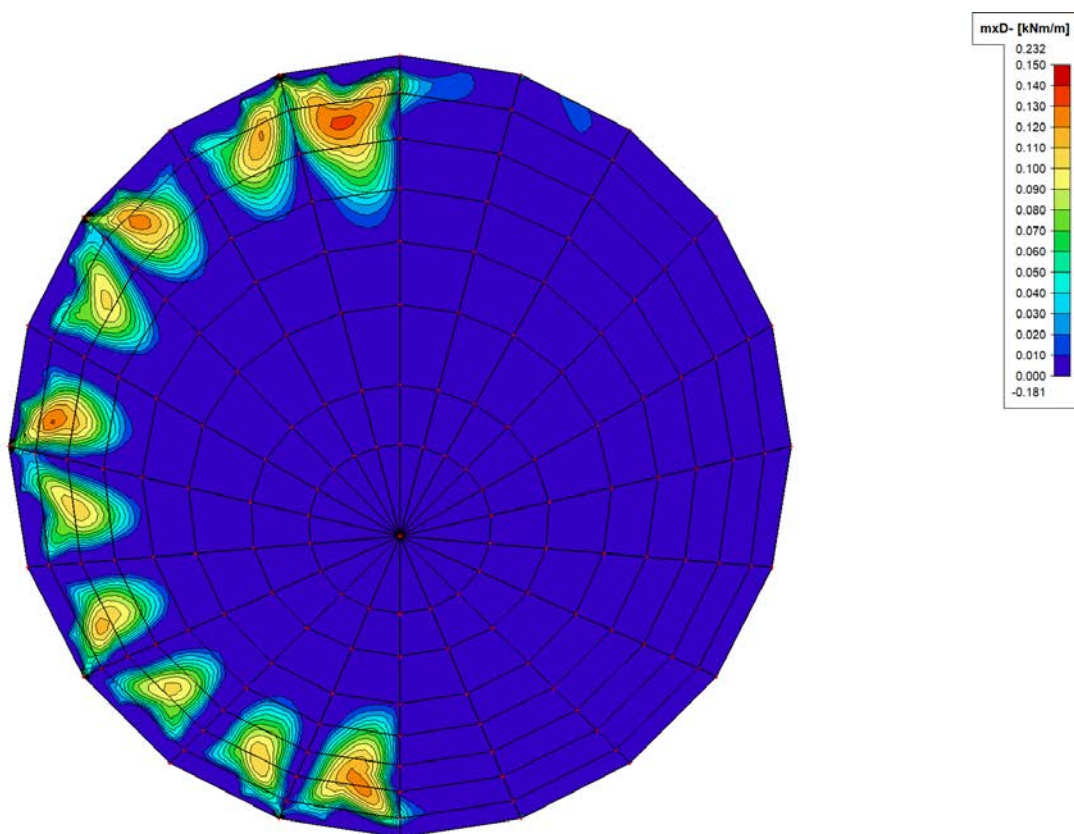
ZS21 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



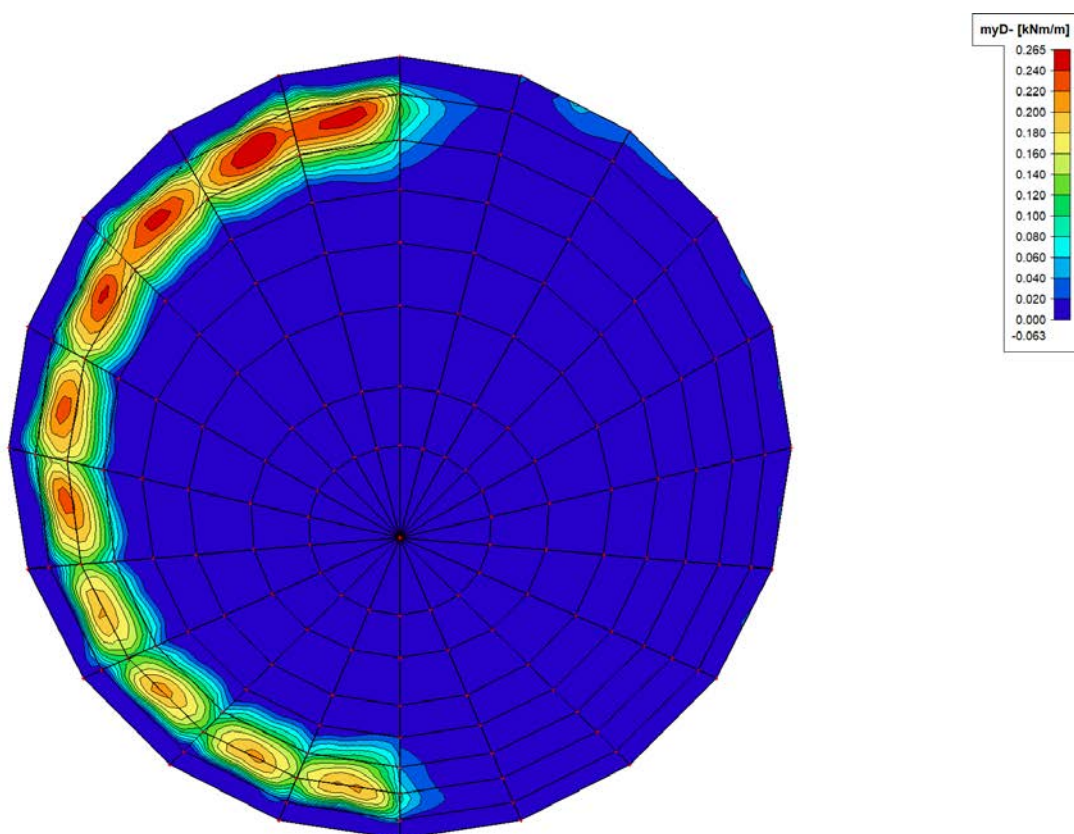
ZS21 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



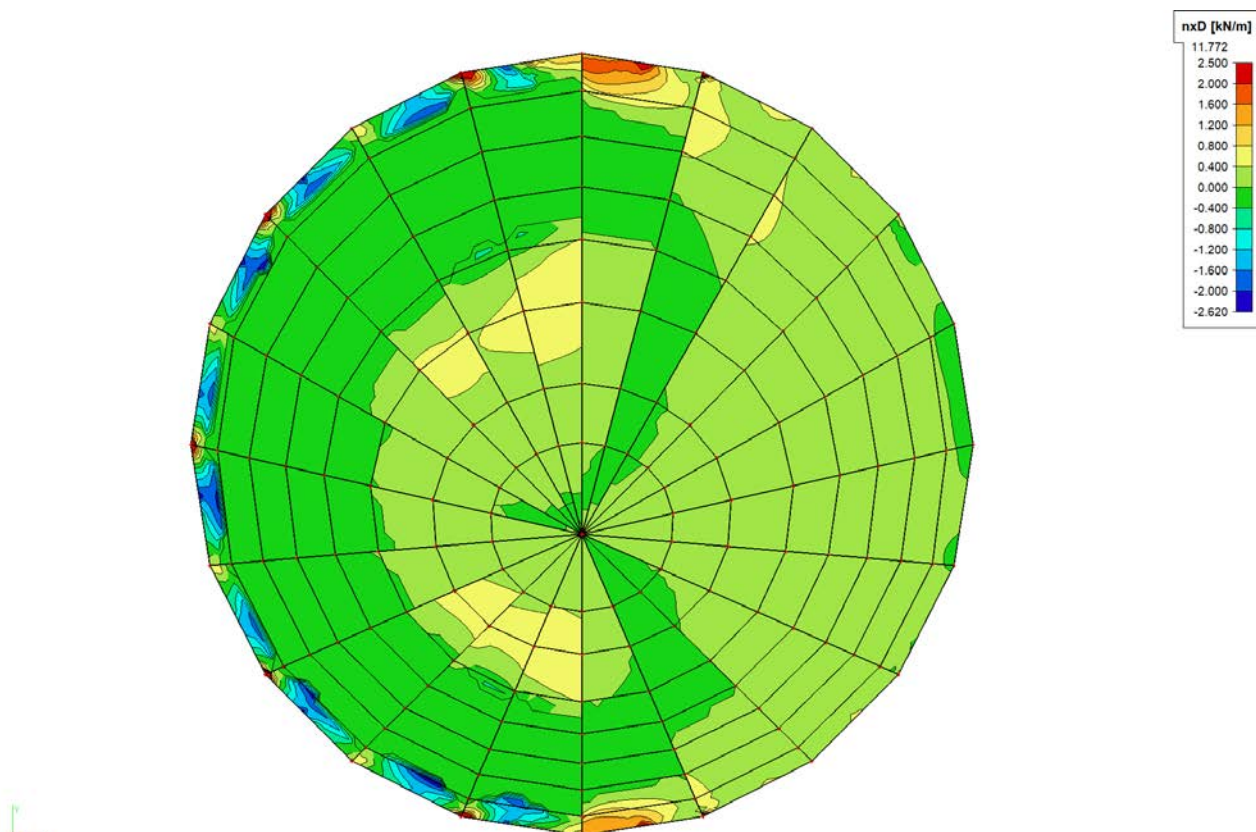
ZS21 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



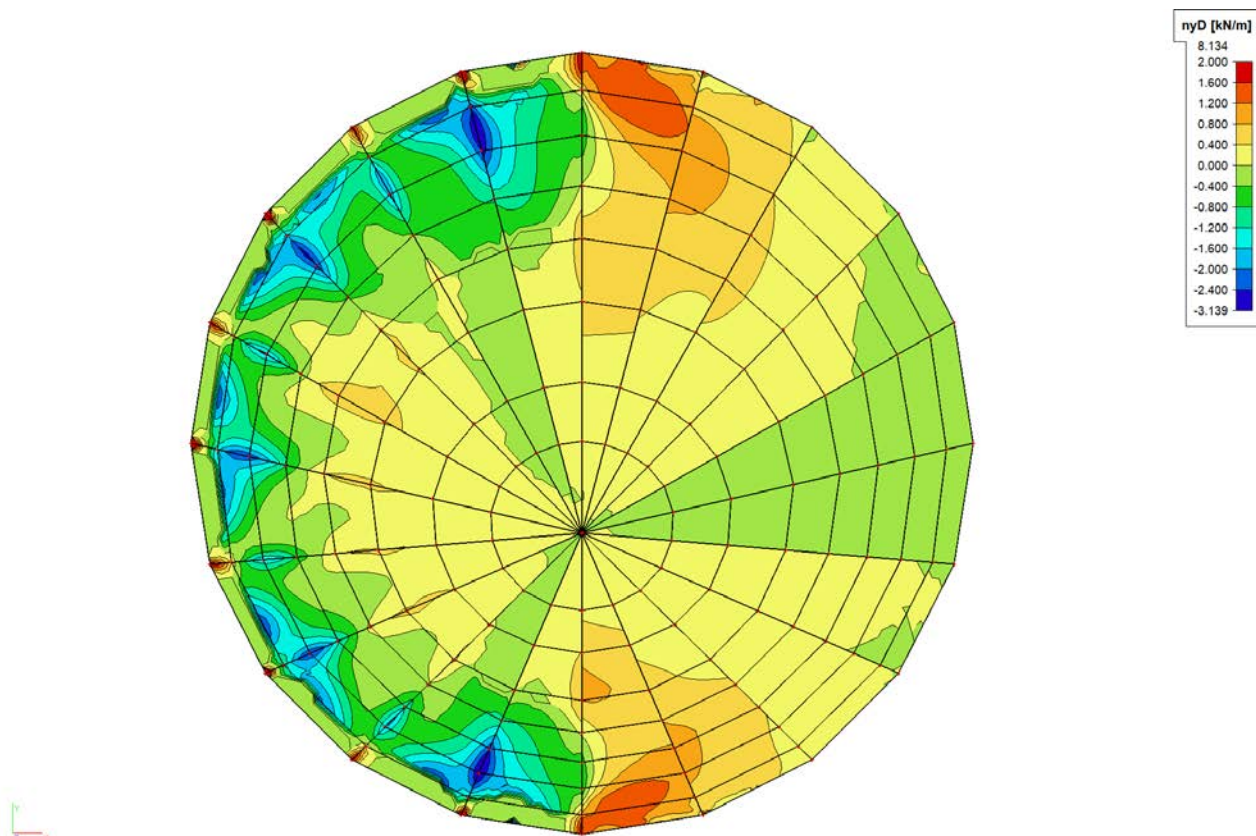
ZS21 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



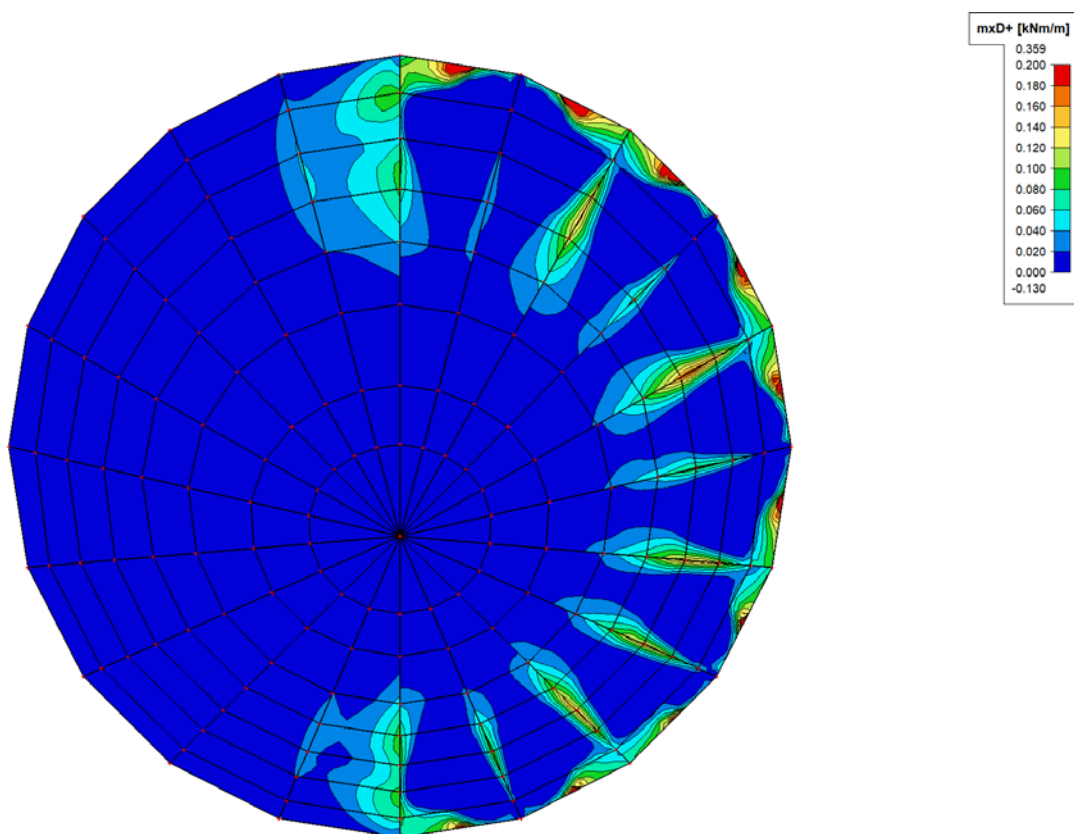
ZS21 – nxD [kN/m] – tangenciální směr



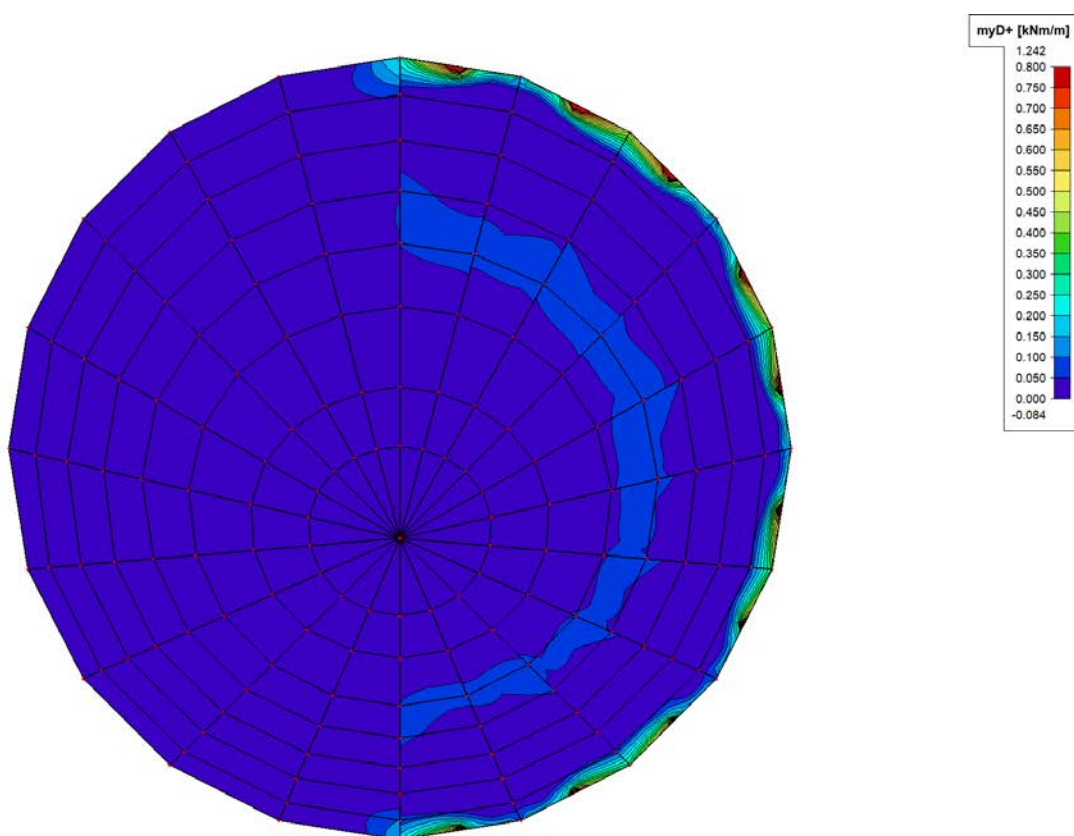
ZS21 – nyD [kN/m] – radiální směr



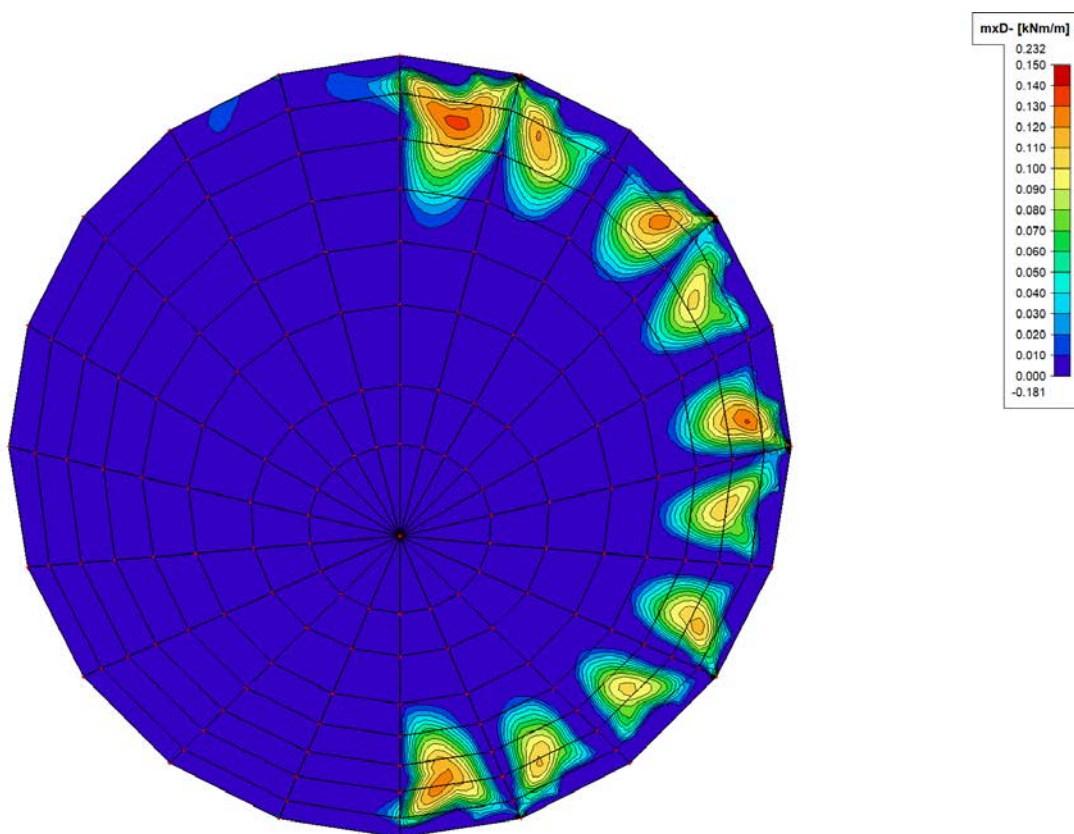
ZS22 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



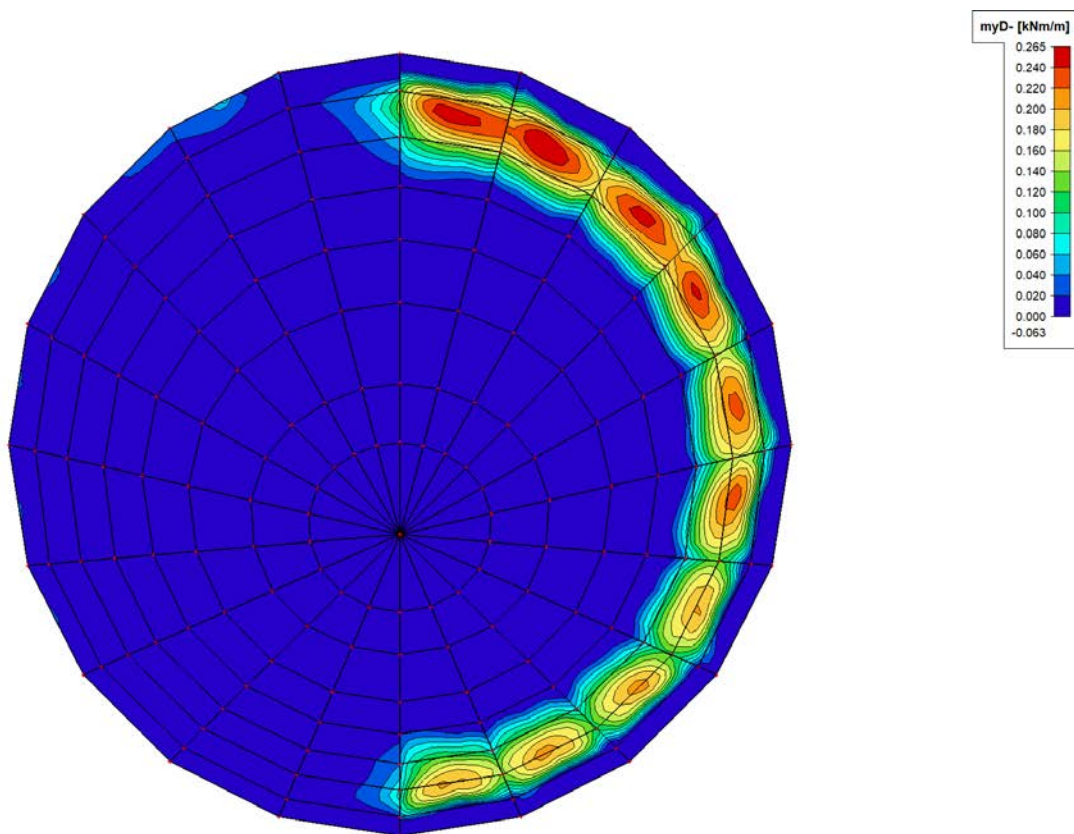
ZS22 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



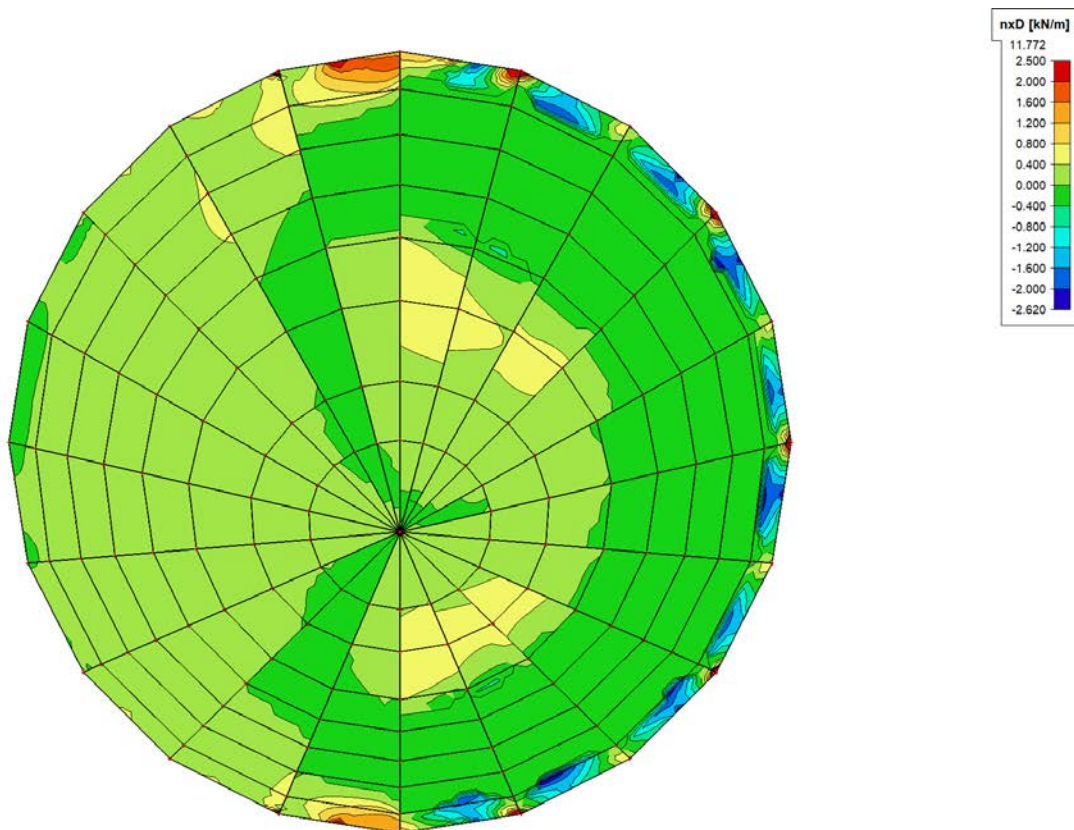
ZS22 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



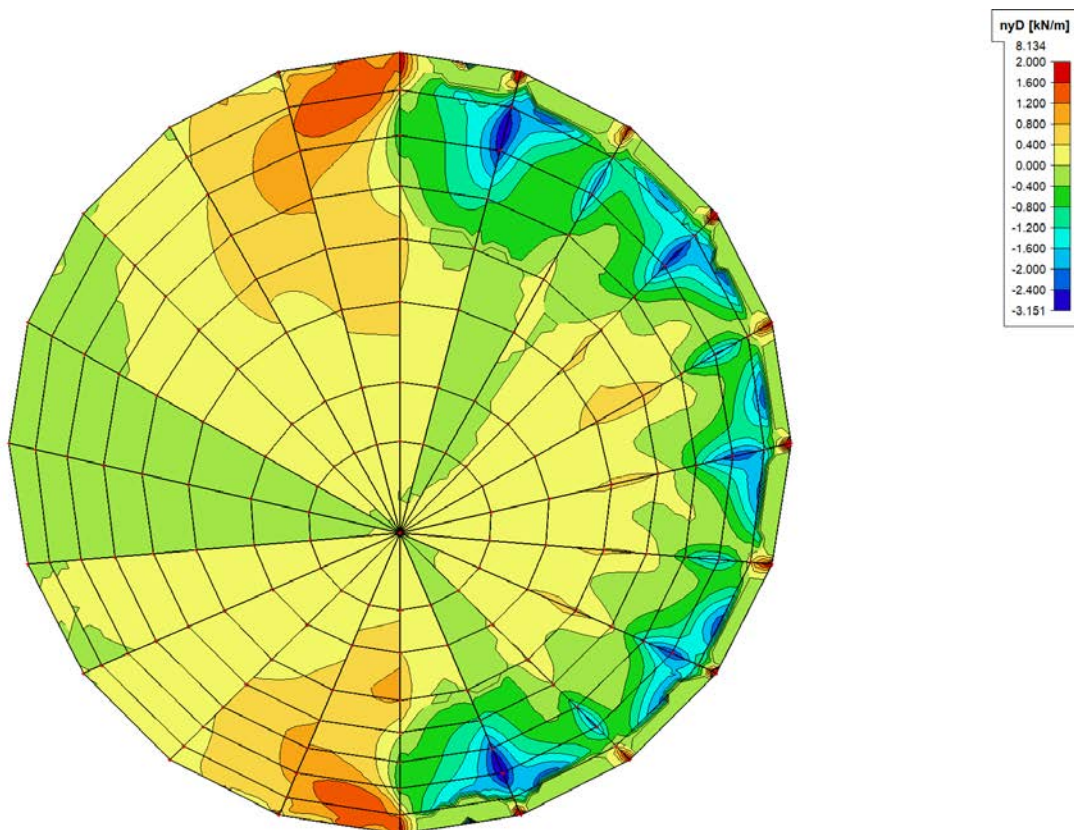
ZS22 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



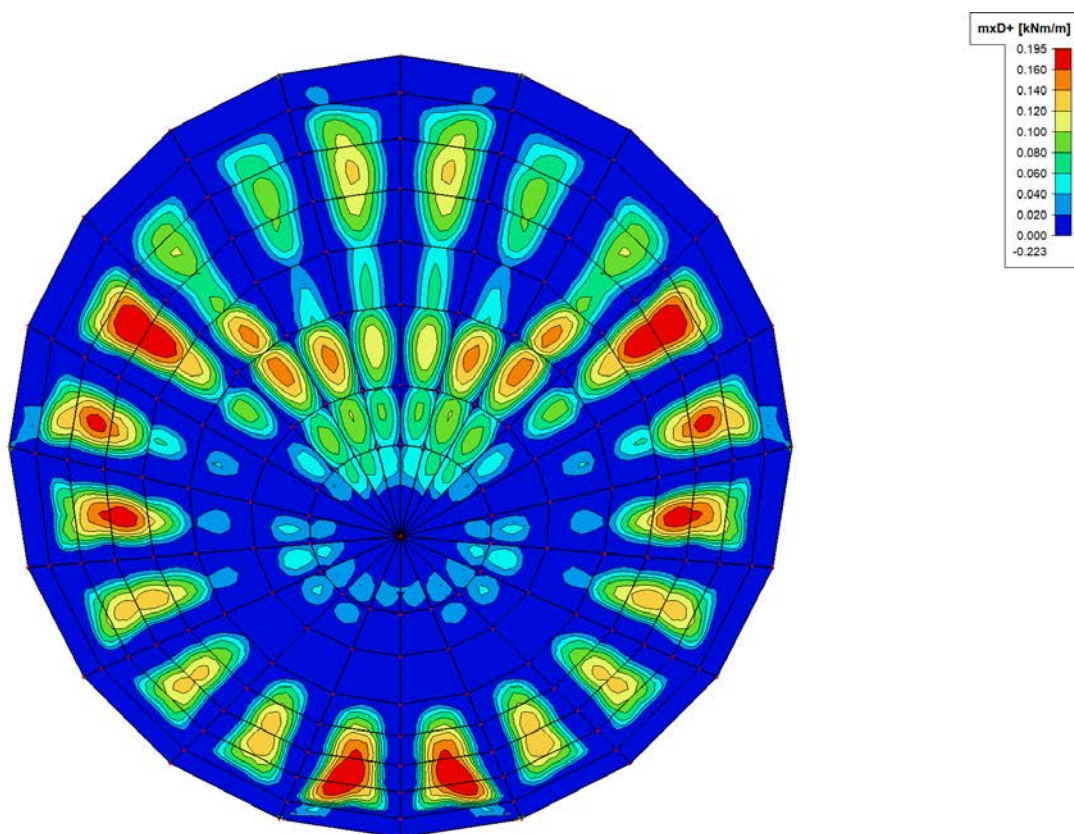
ZS22 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



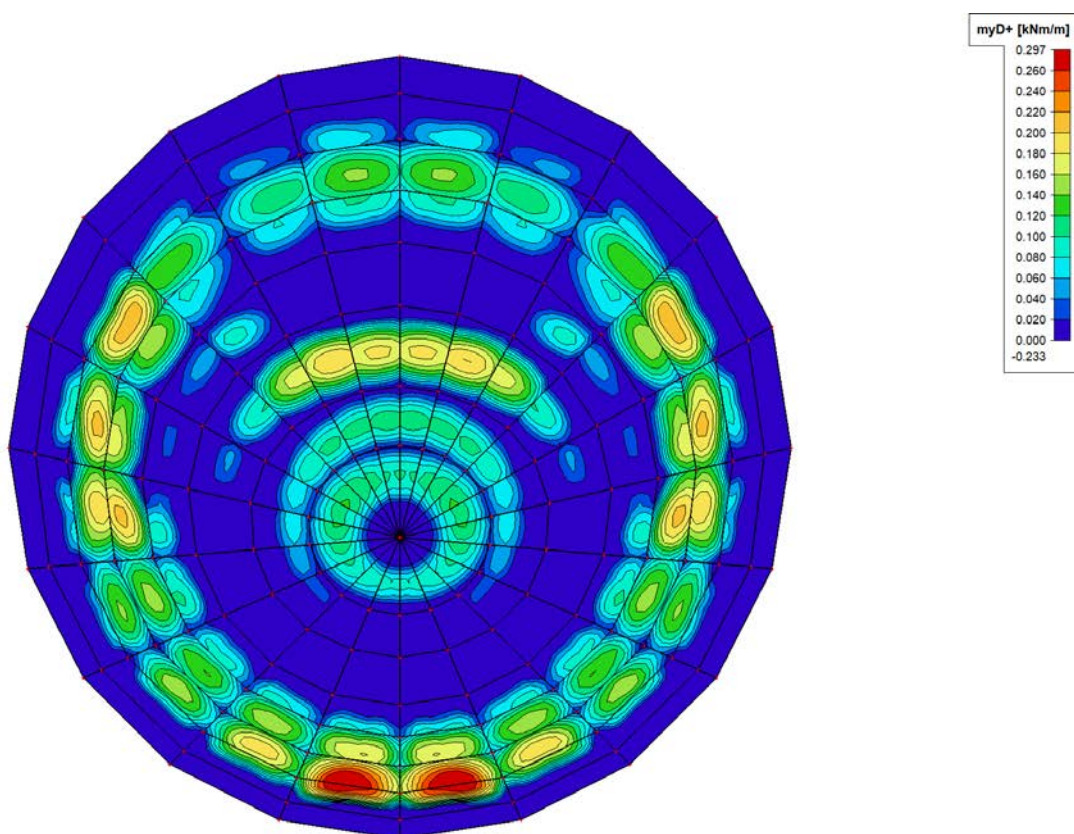
ZS22 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



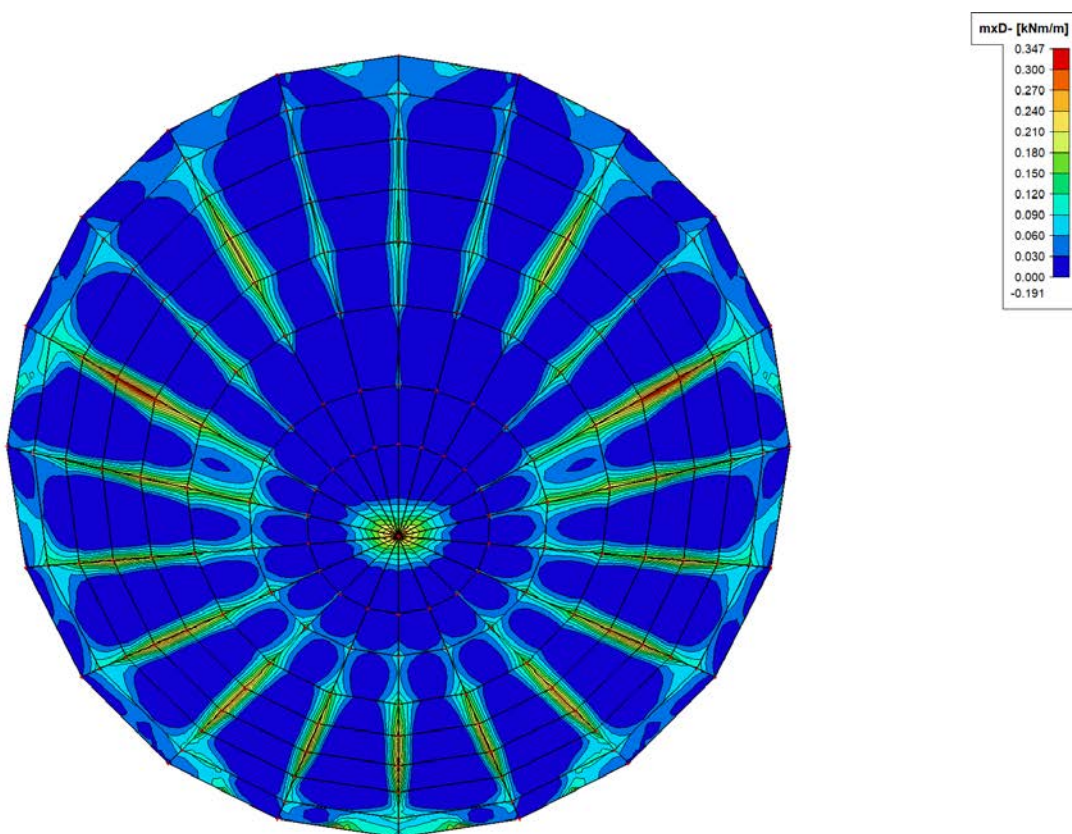
ZS23 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



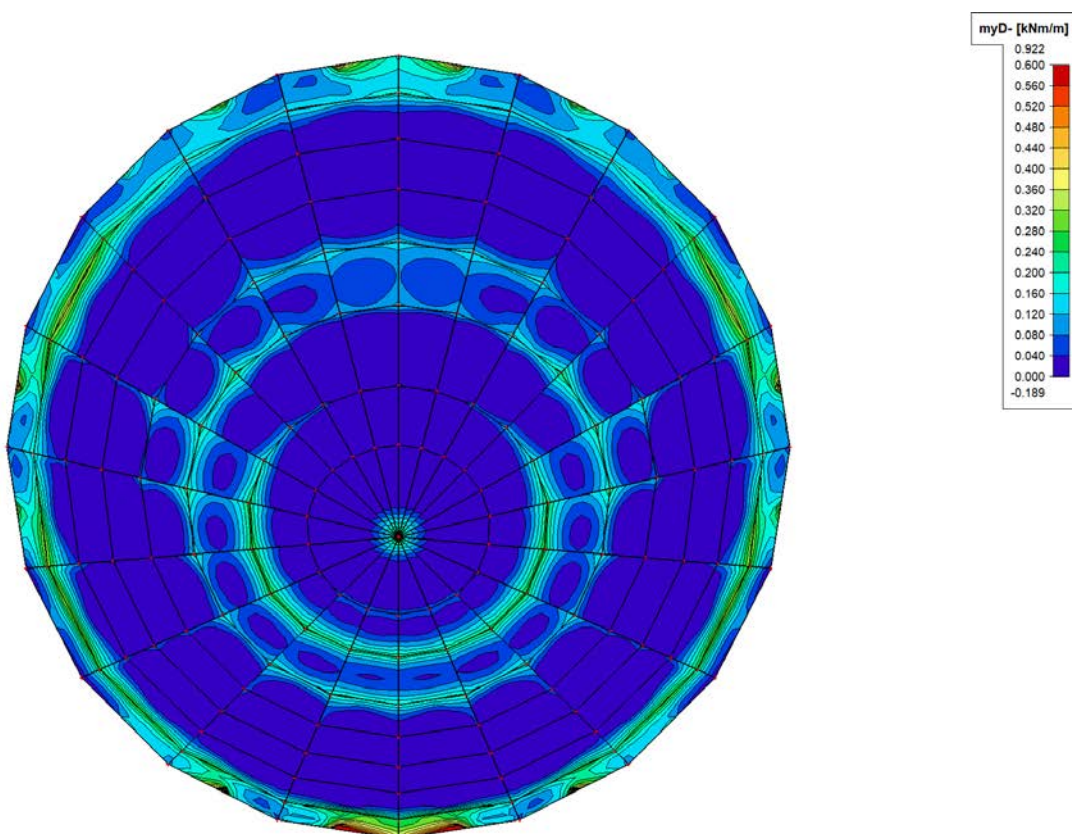
ZS23 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



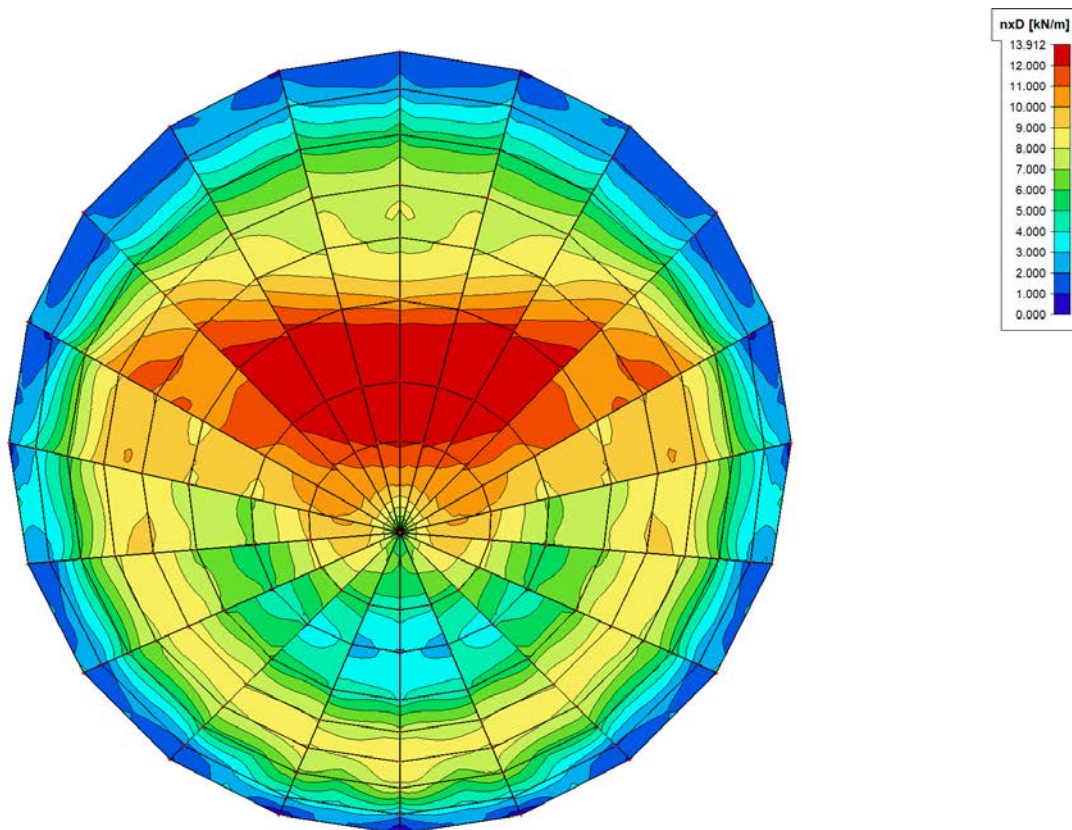
ZS23 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



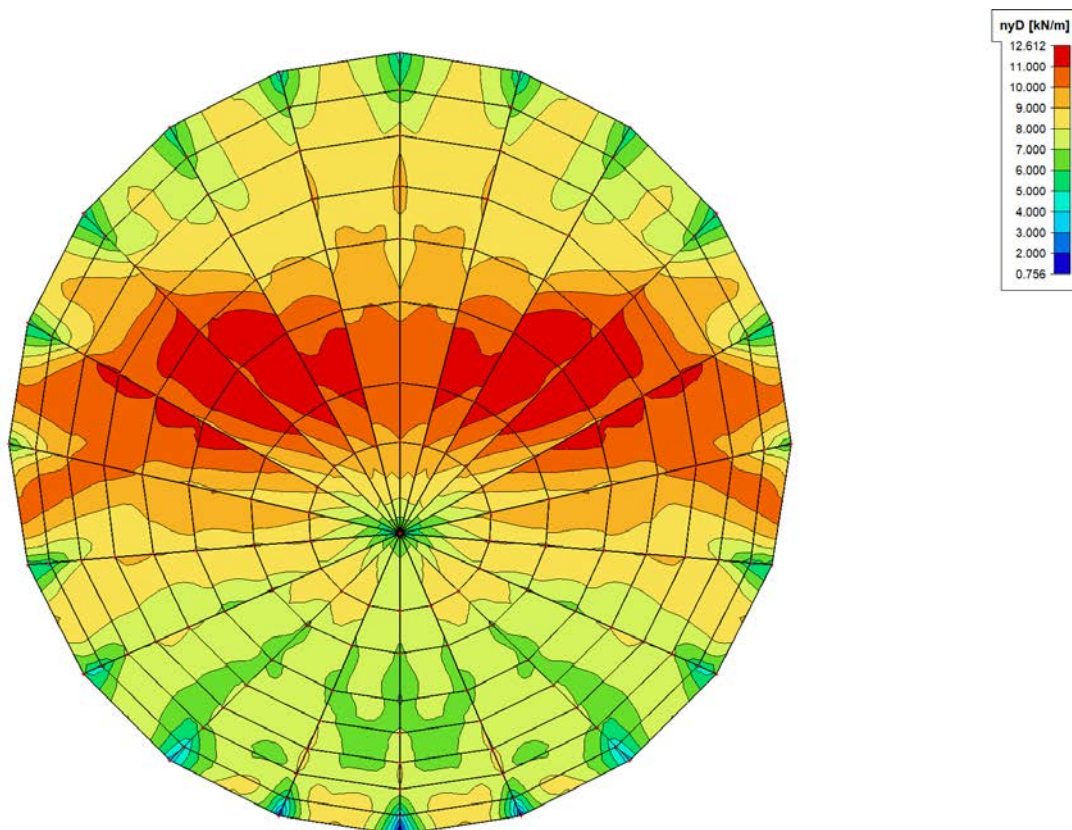
ZS23 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



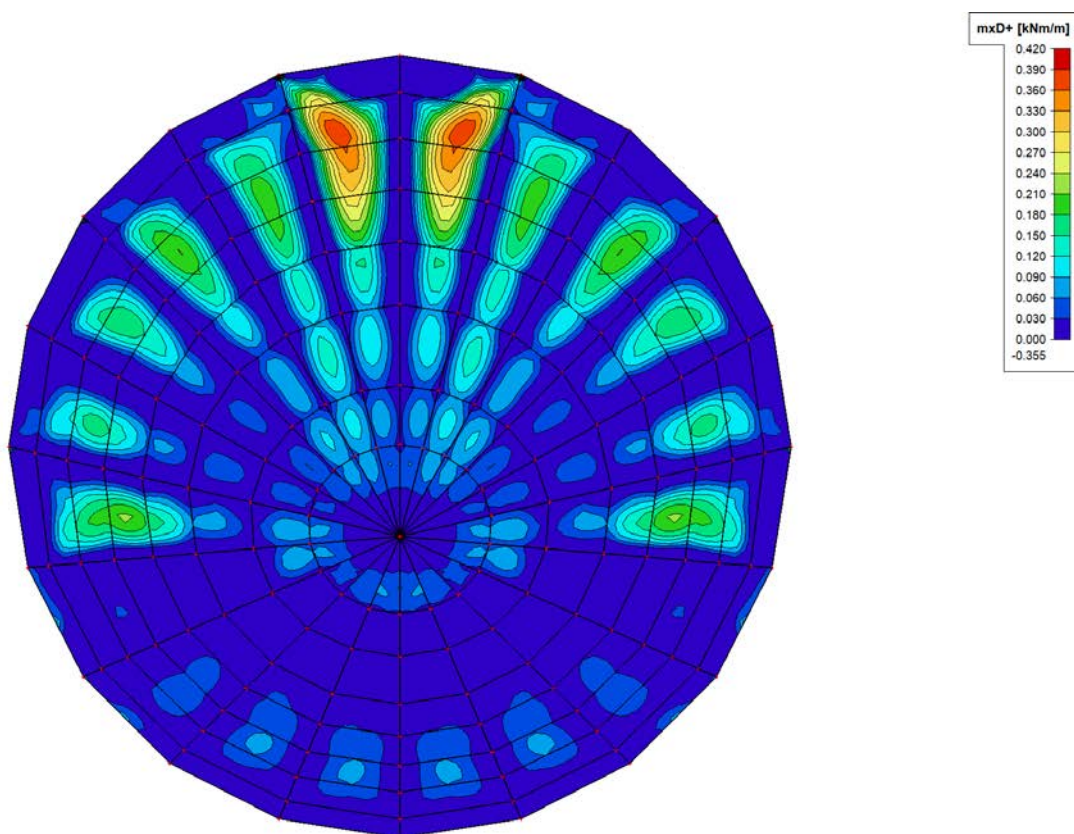
ZS23 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



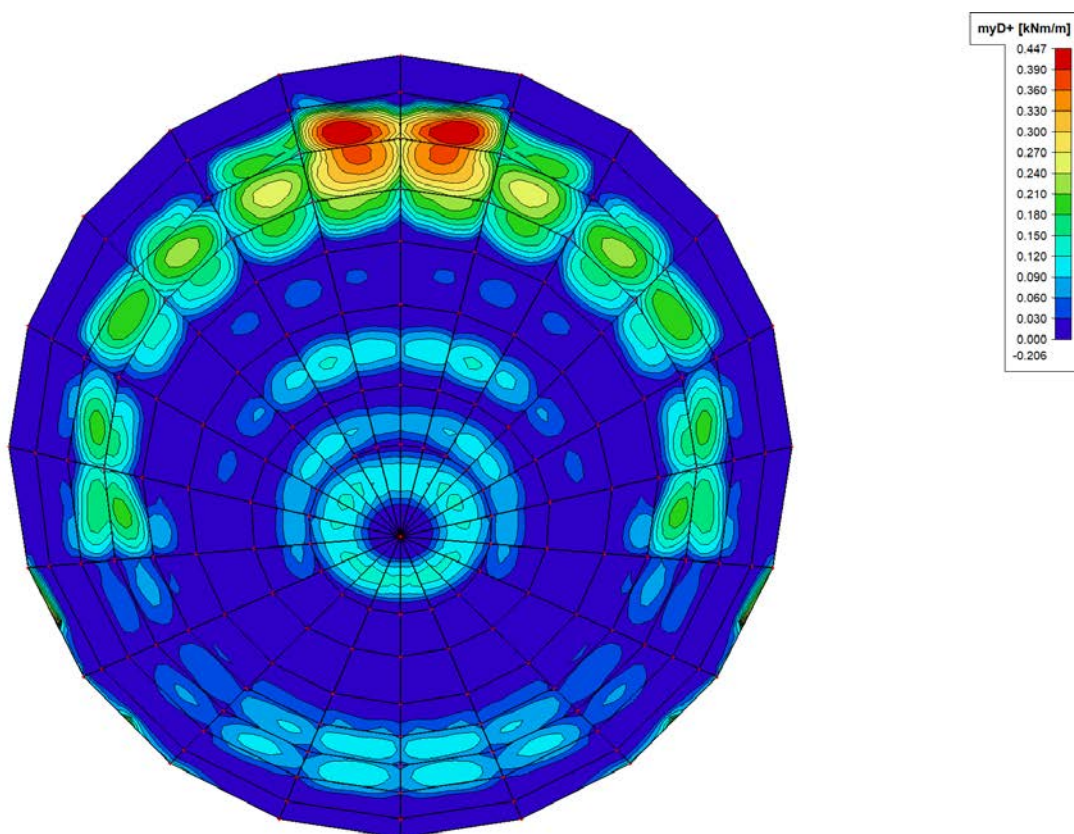
ZS23 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



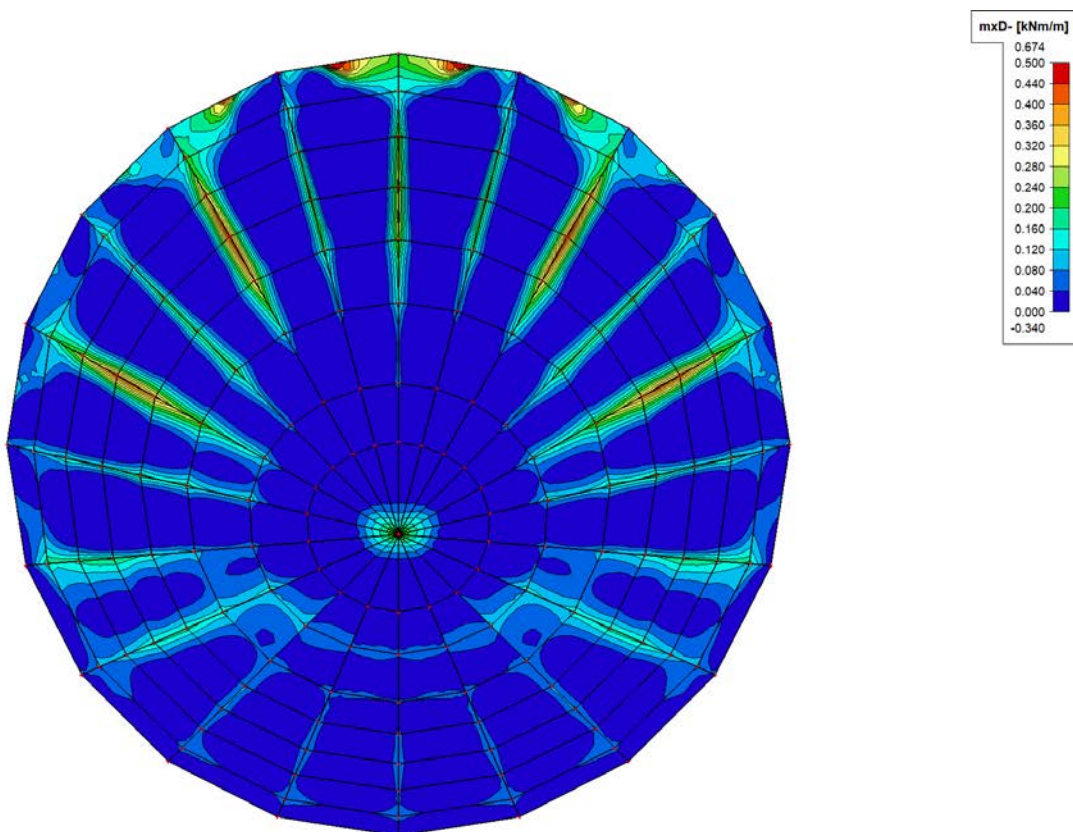
ZS24 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



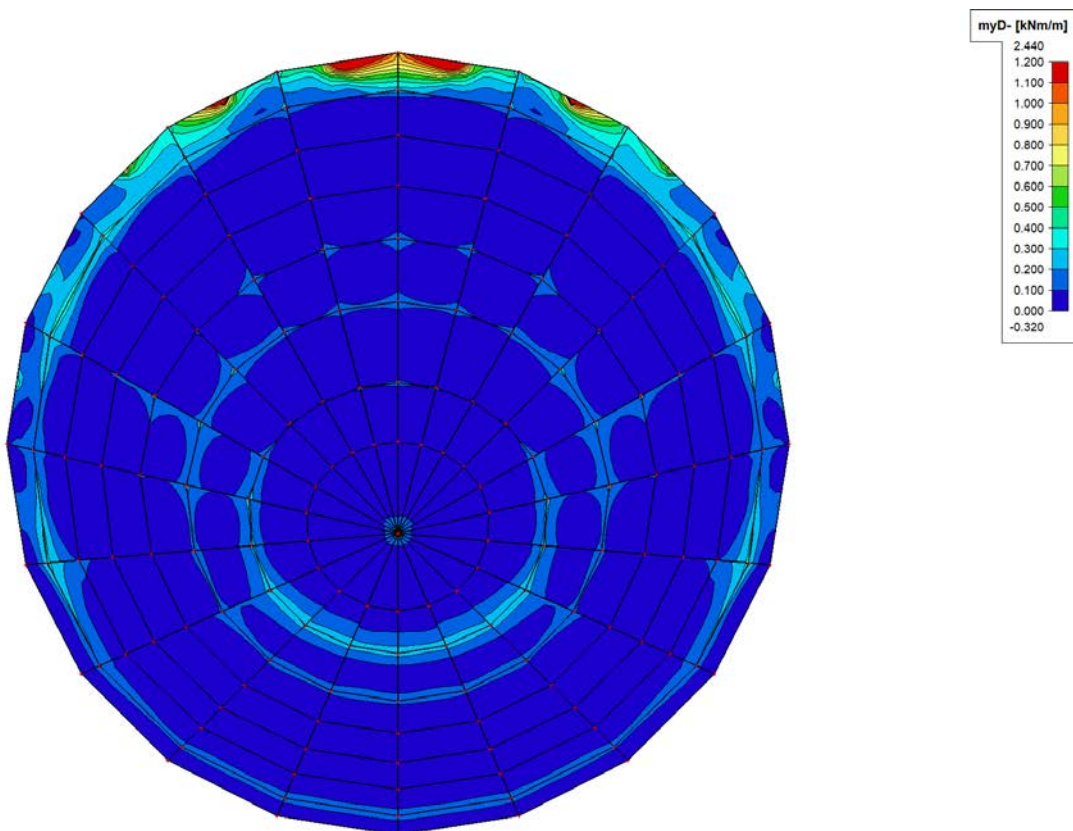
ZS24 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



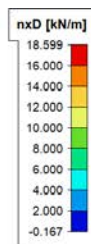
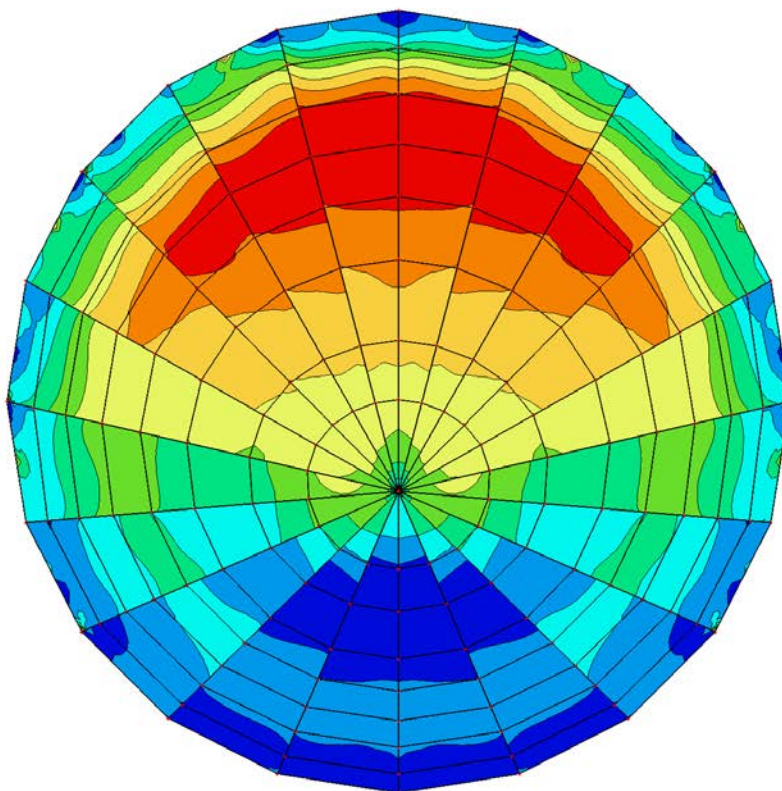
ZS24 – $mxD-$ [kNm/m] – tangenciální směr



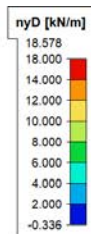
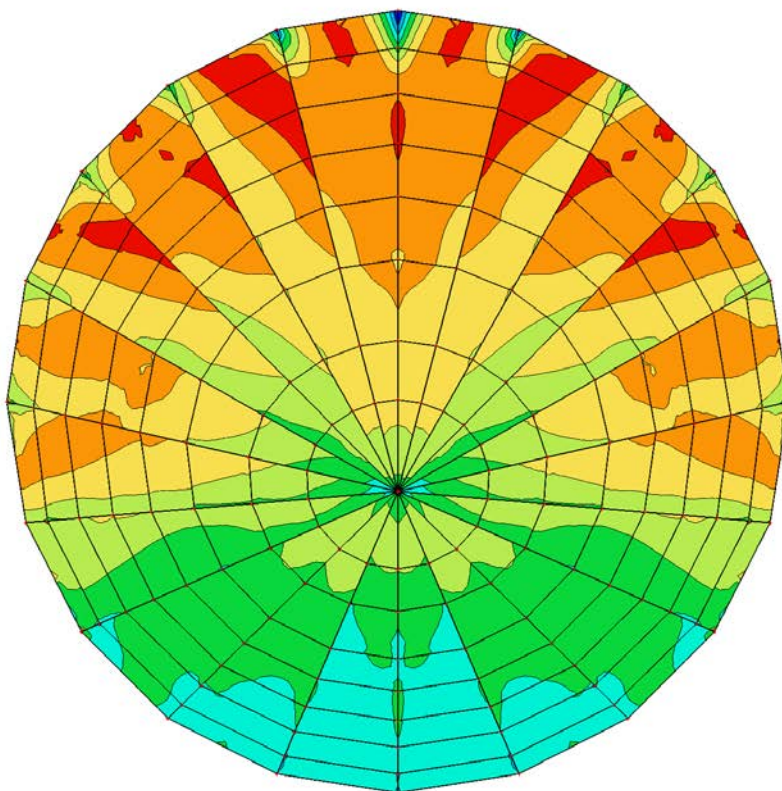
ZS24 – $myD-$ [kNm/m] – radiální směr



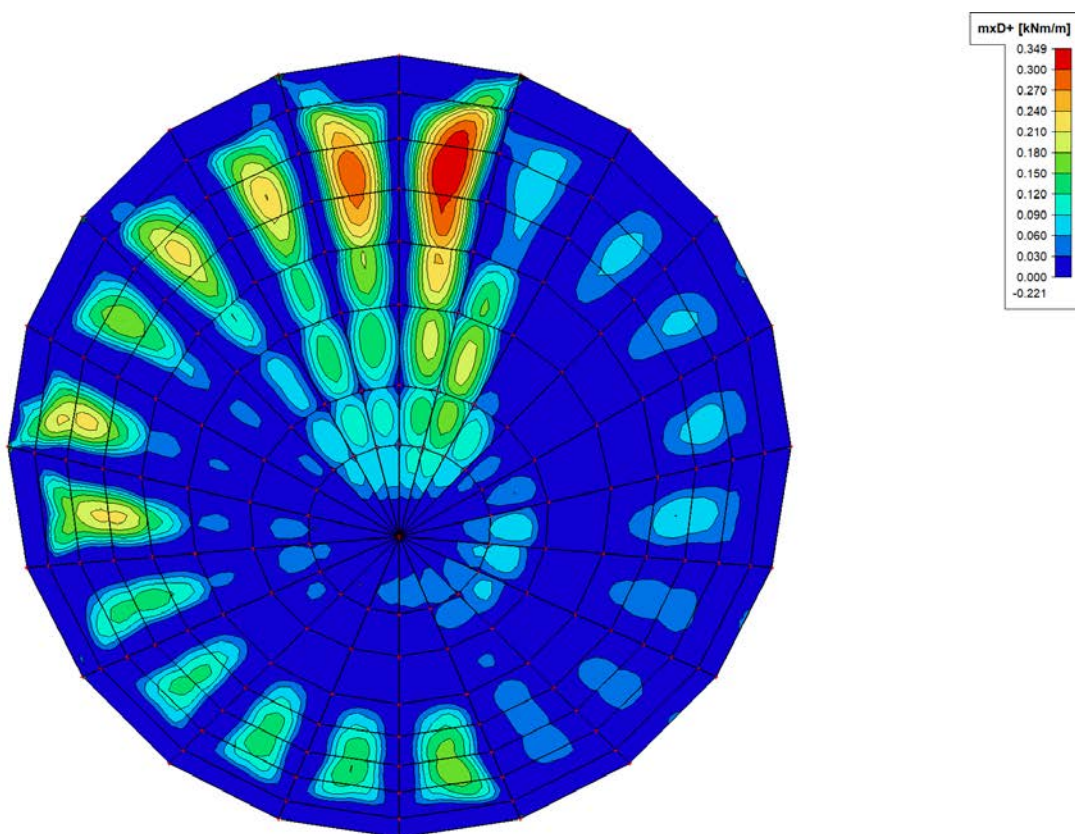
ZS24 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



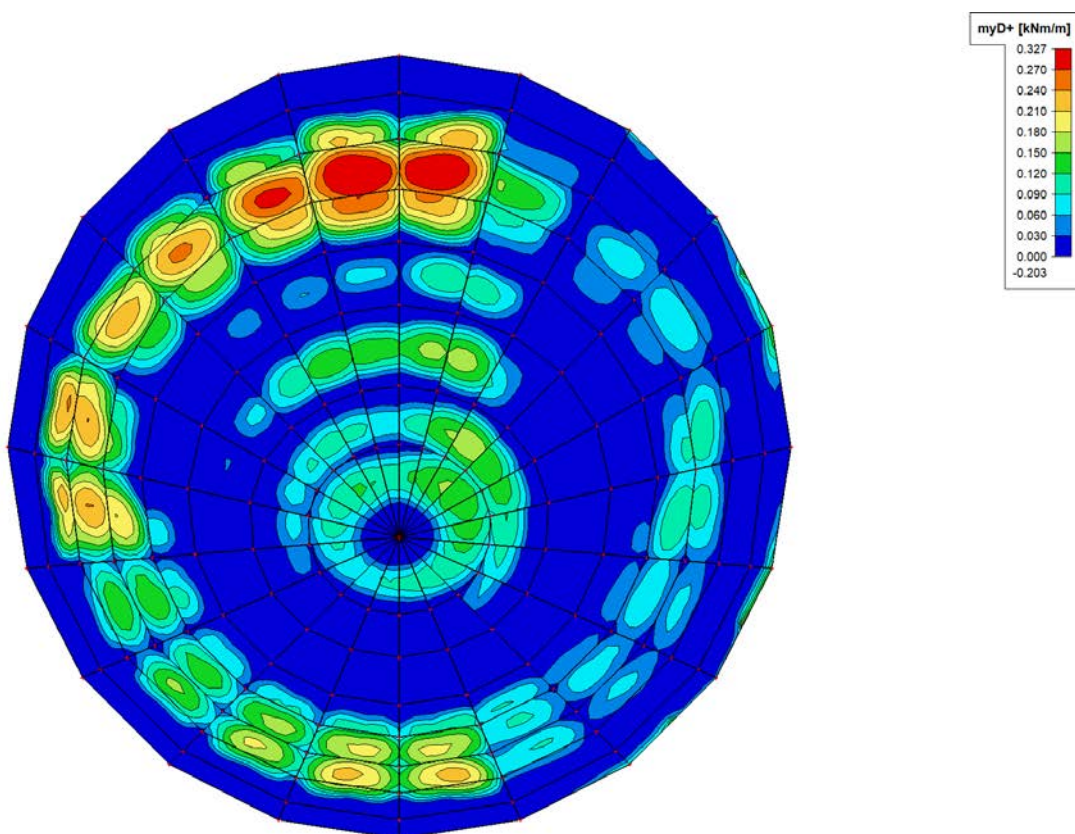
ZS24 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



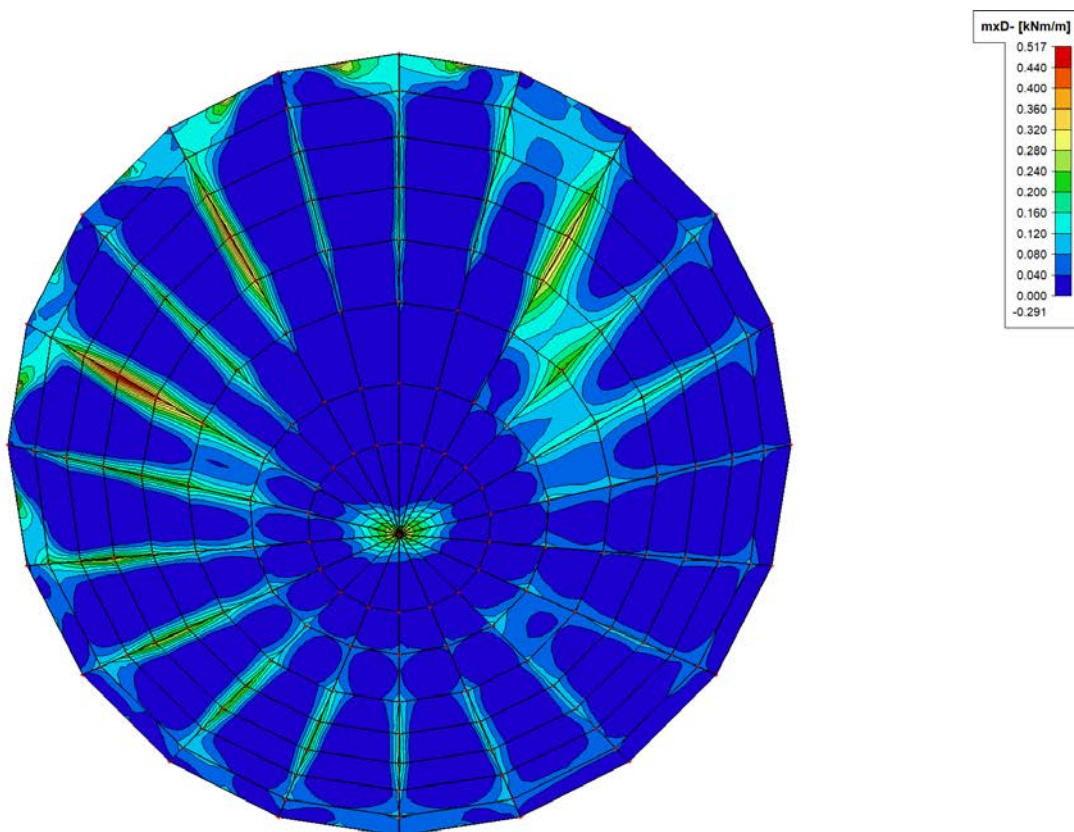
ZS25 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



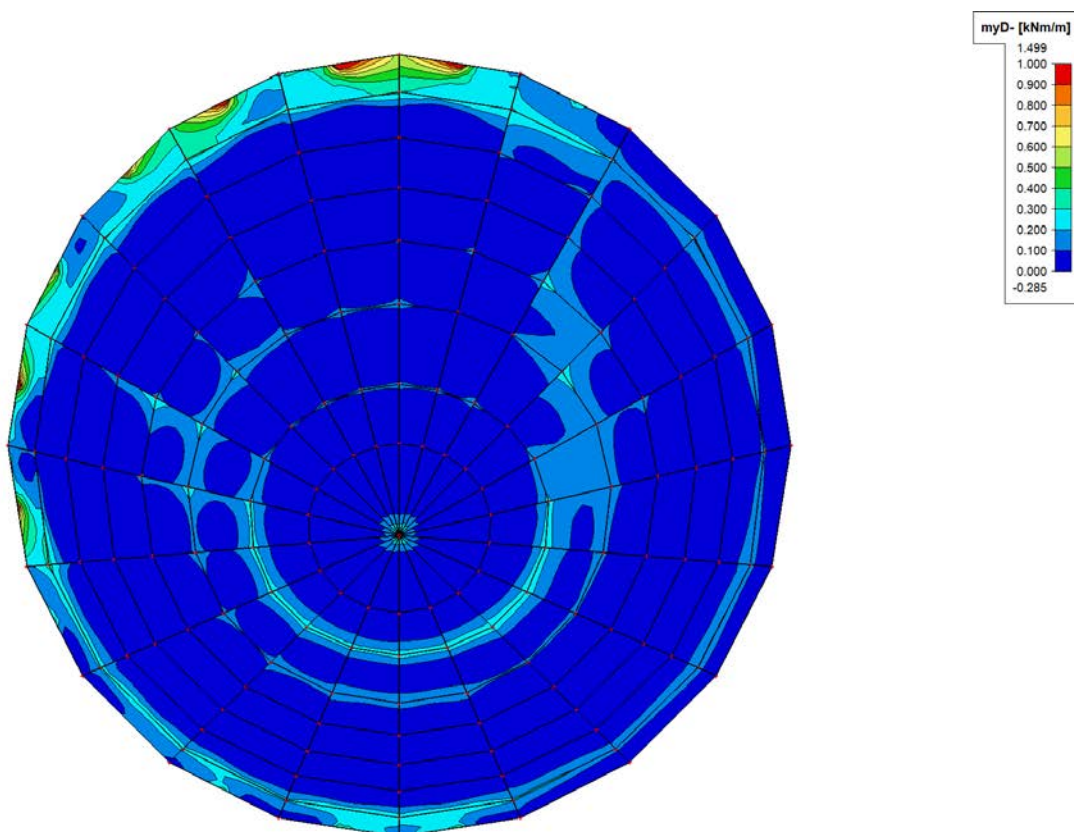
ZS25 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



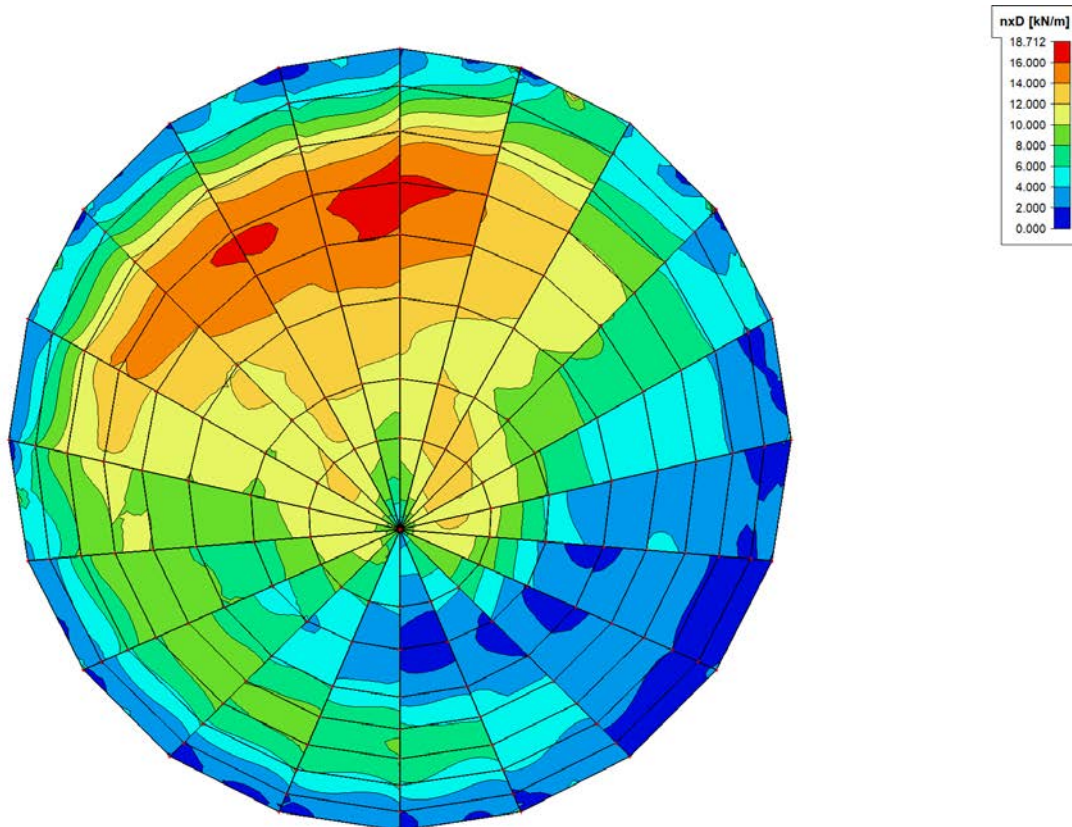
ZS25 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



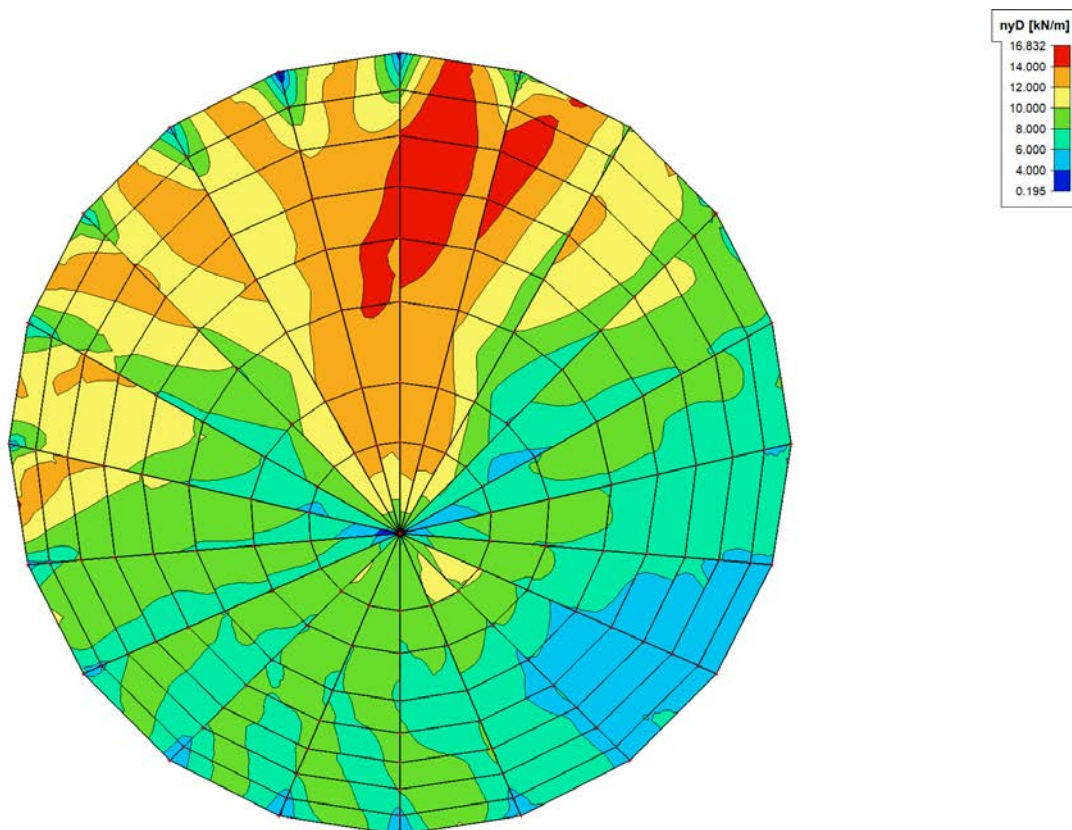
ZS25 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



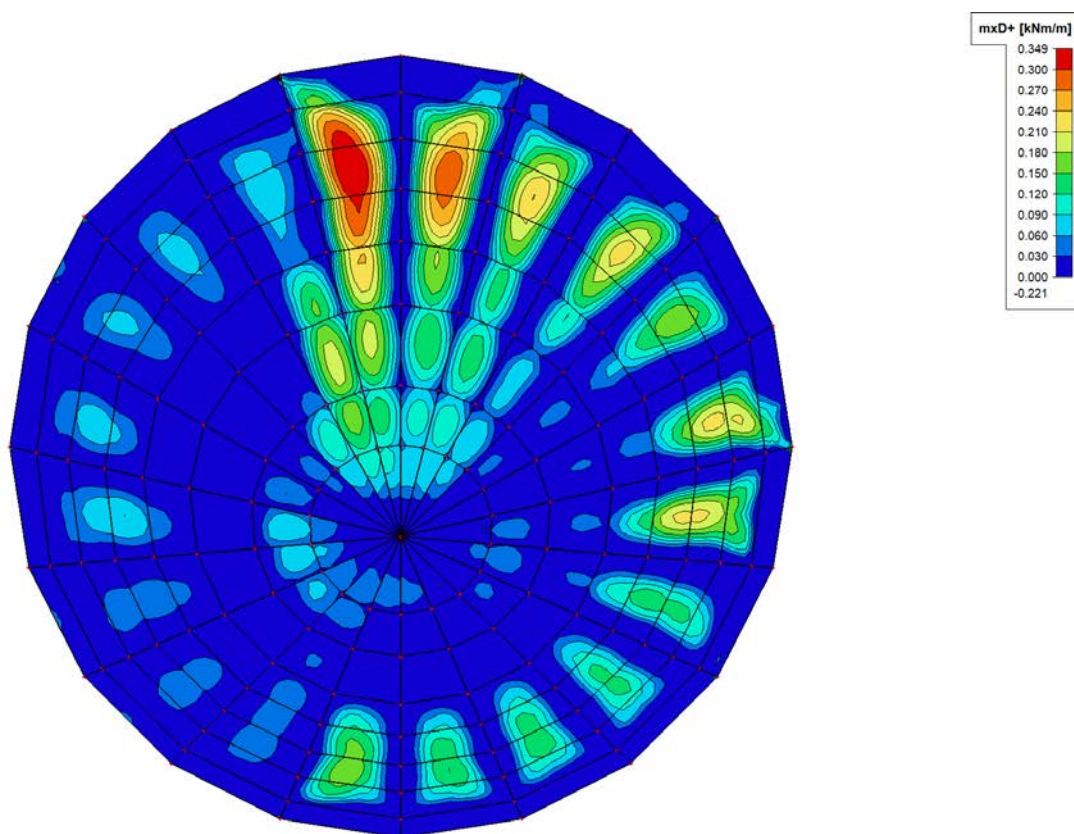
ZS25 – $n_x D$ [kN/m] – tangenciální směr



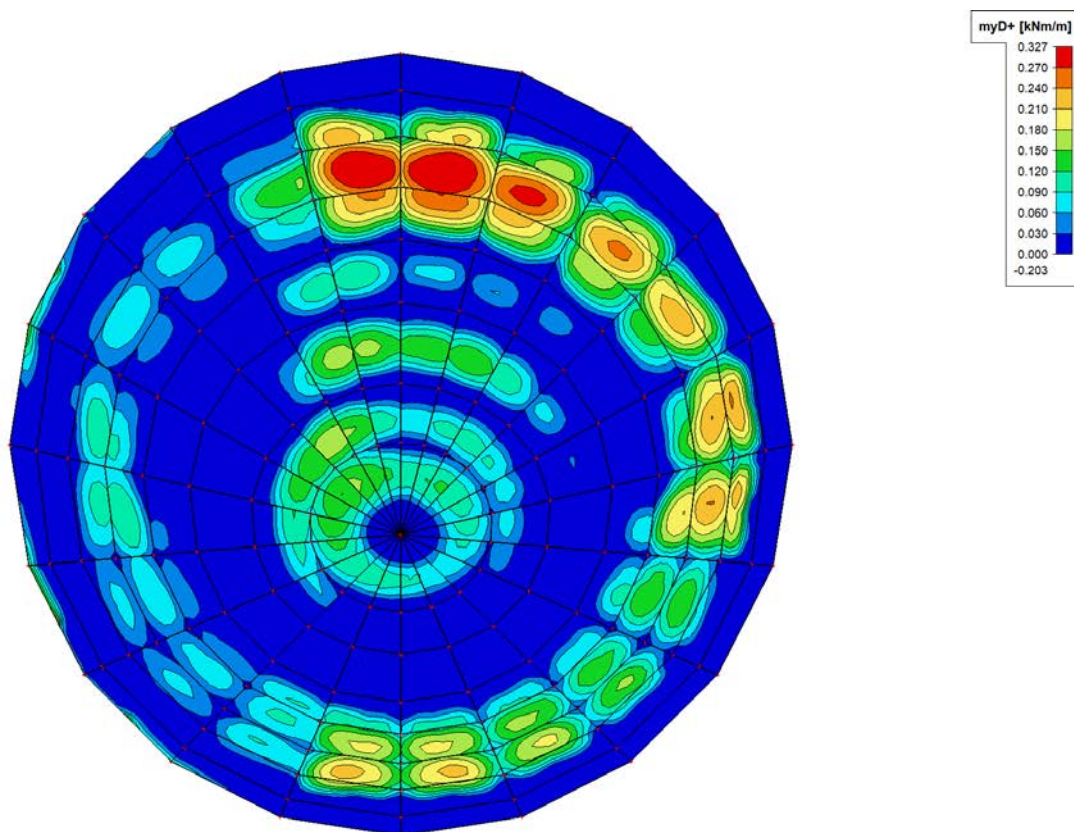
ZS25 – $n_y D$ [kN/m] – radiální směr



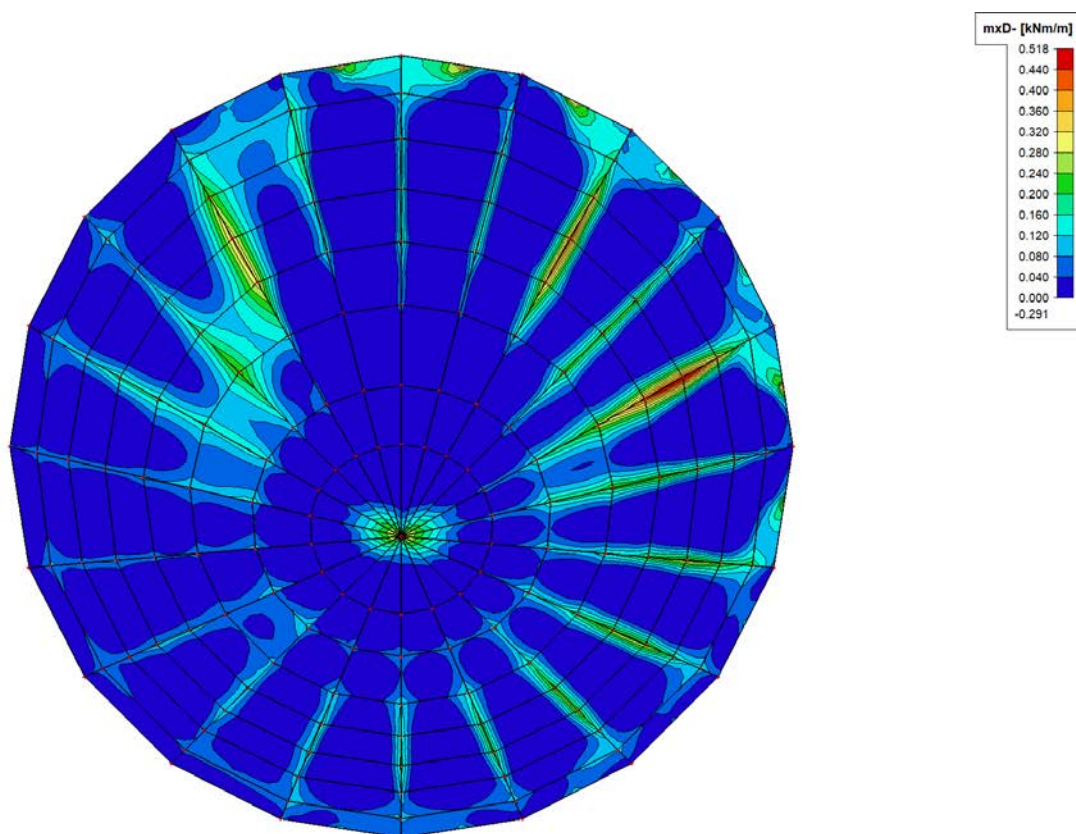
ZS26 – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



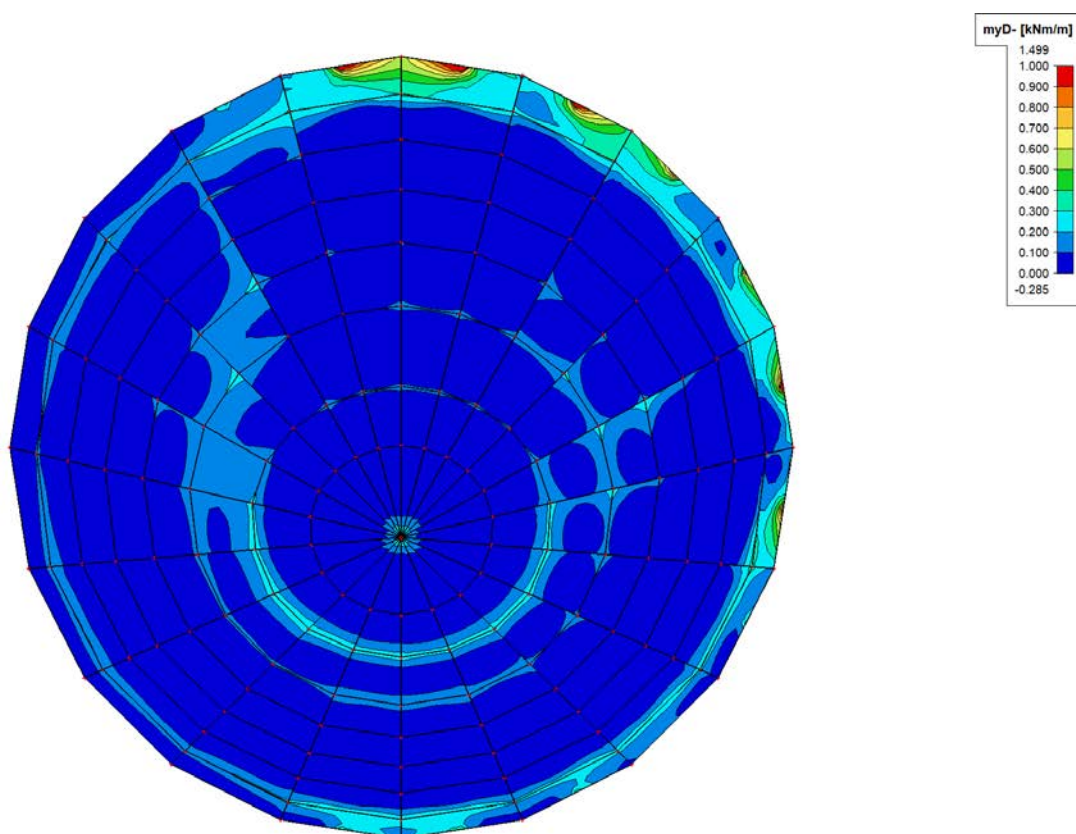
ZS26 – m_{yD+} [kNm/m] – radiální směr



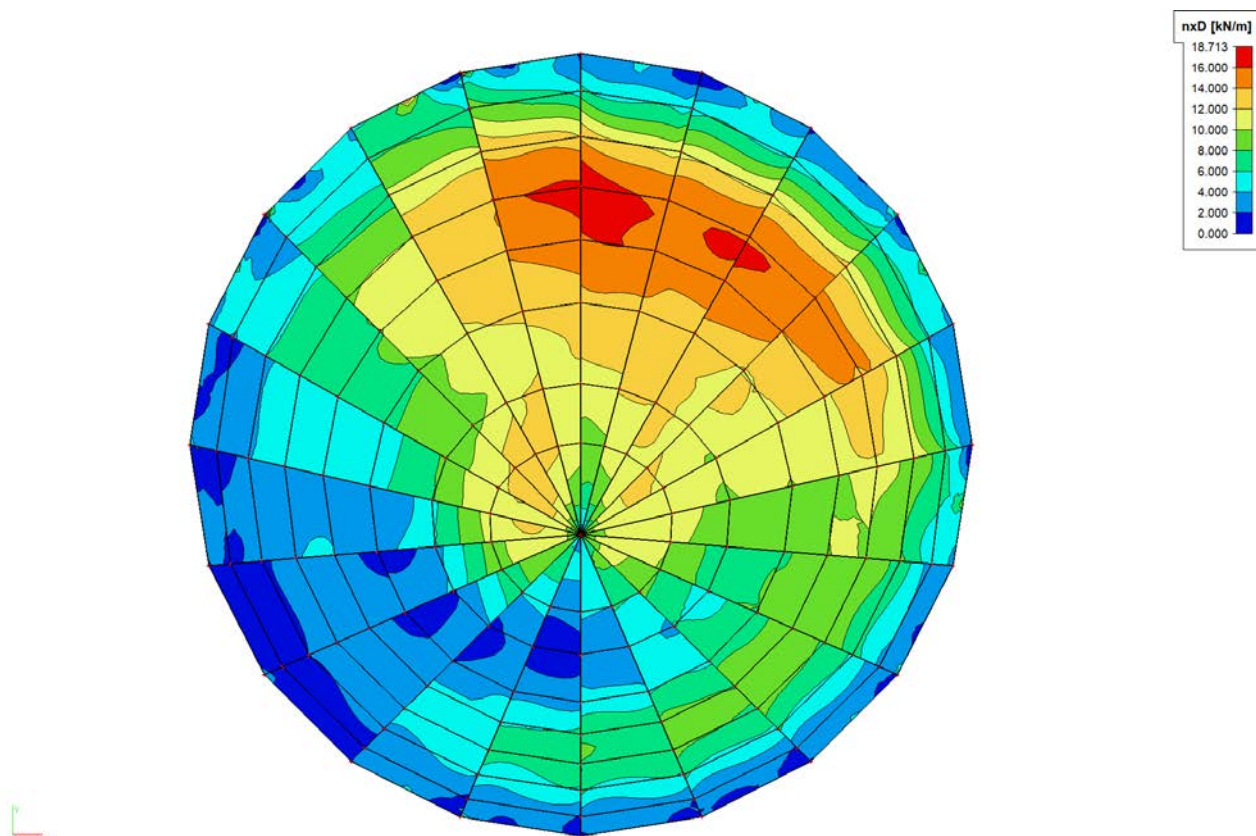
ZS26 – m_{xD} - [kNm/m] – tangenciální směr



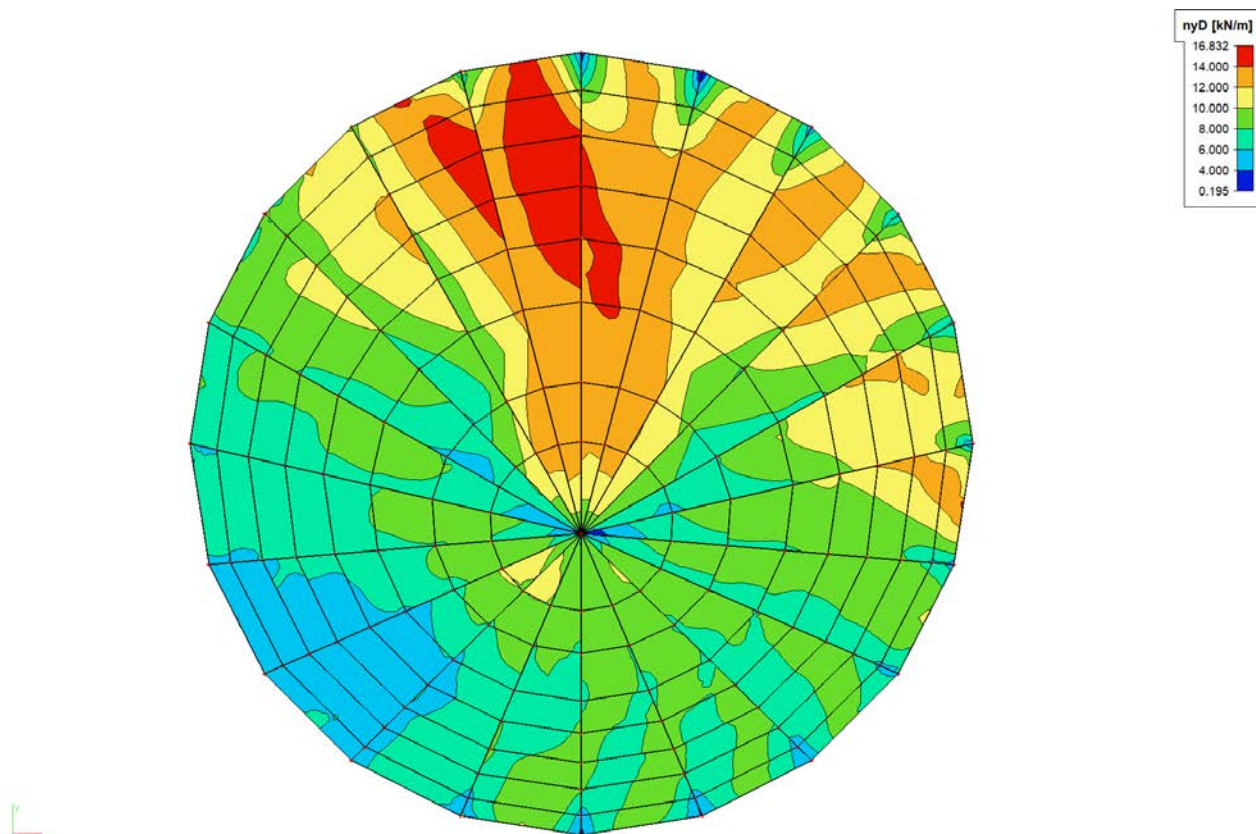
ZS26 – m_{yD} - [kNm/m] – radiální směr



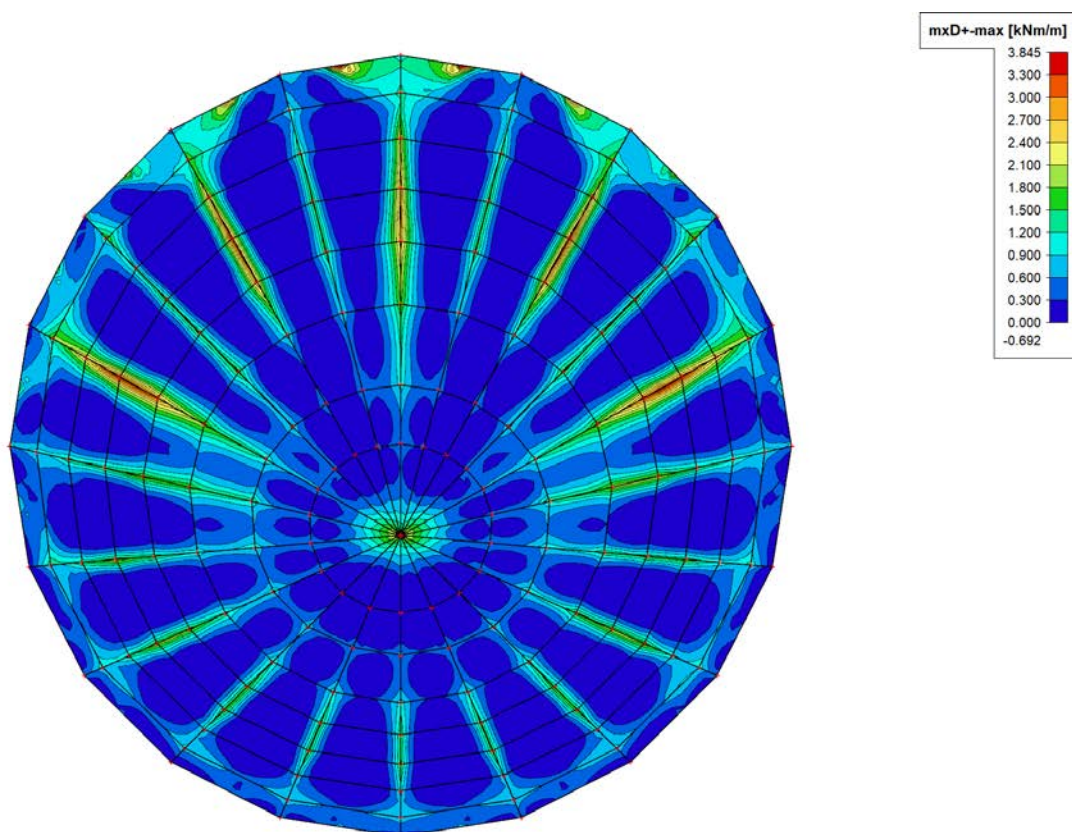
ZS26 – nxD [kN/m] – tangenciální směr



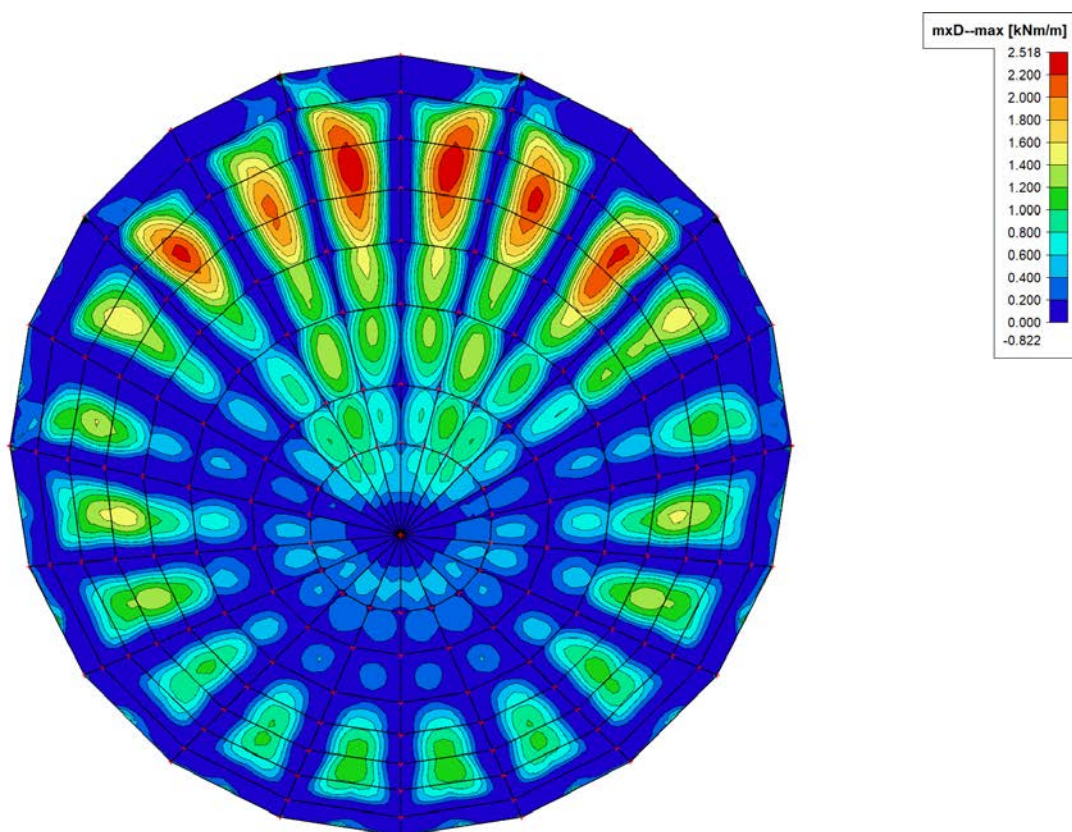
ZS26 – nyD [kN/m] – radiální směr



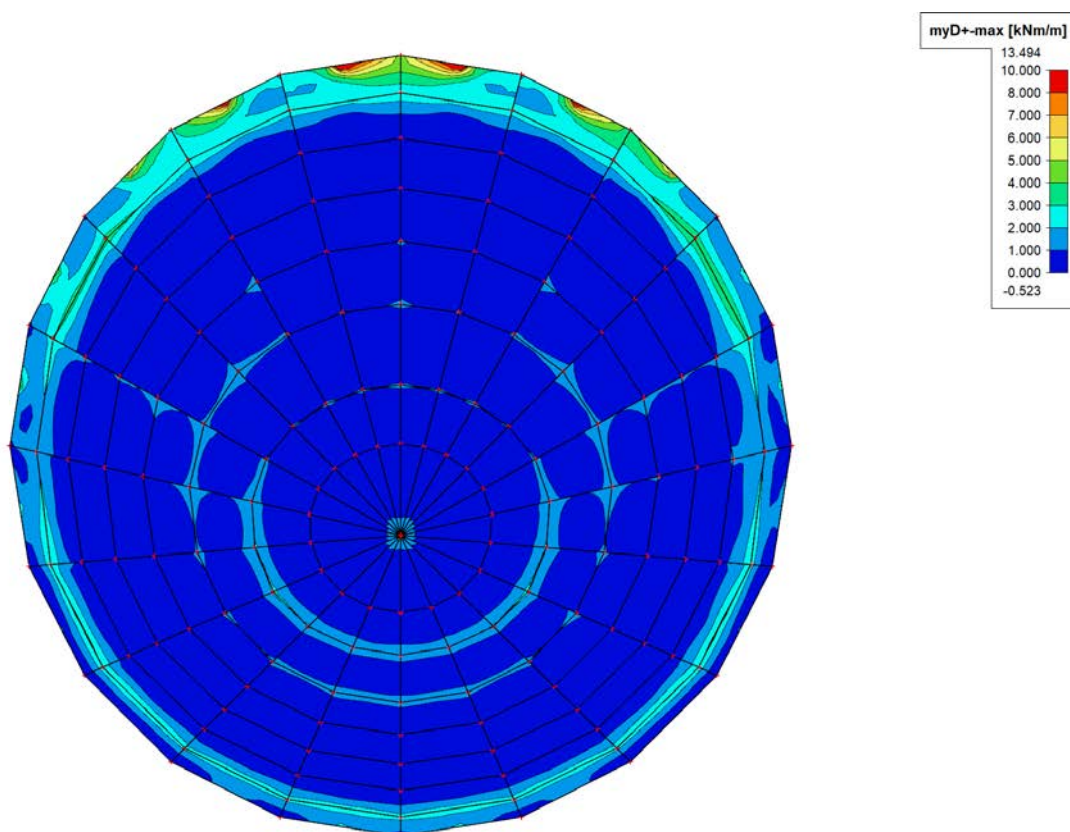
MSU – m_{xD+} [kNm/m] – tangenciální směr



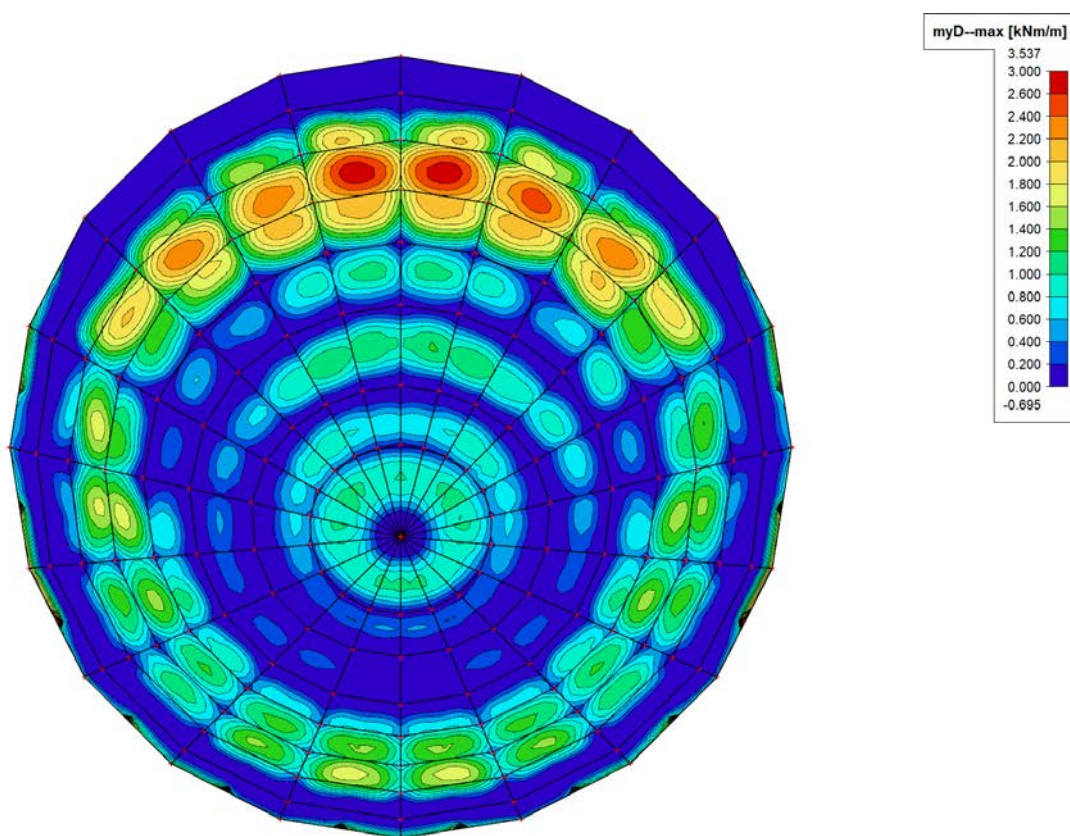
MSU – m_{xD-} [kNm/m] – tangenciální směr



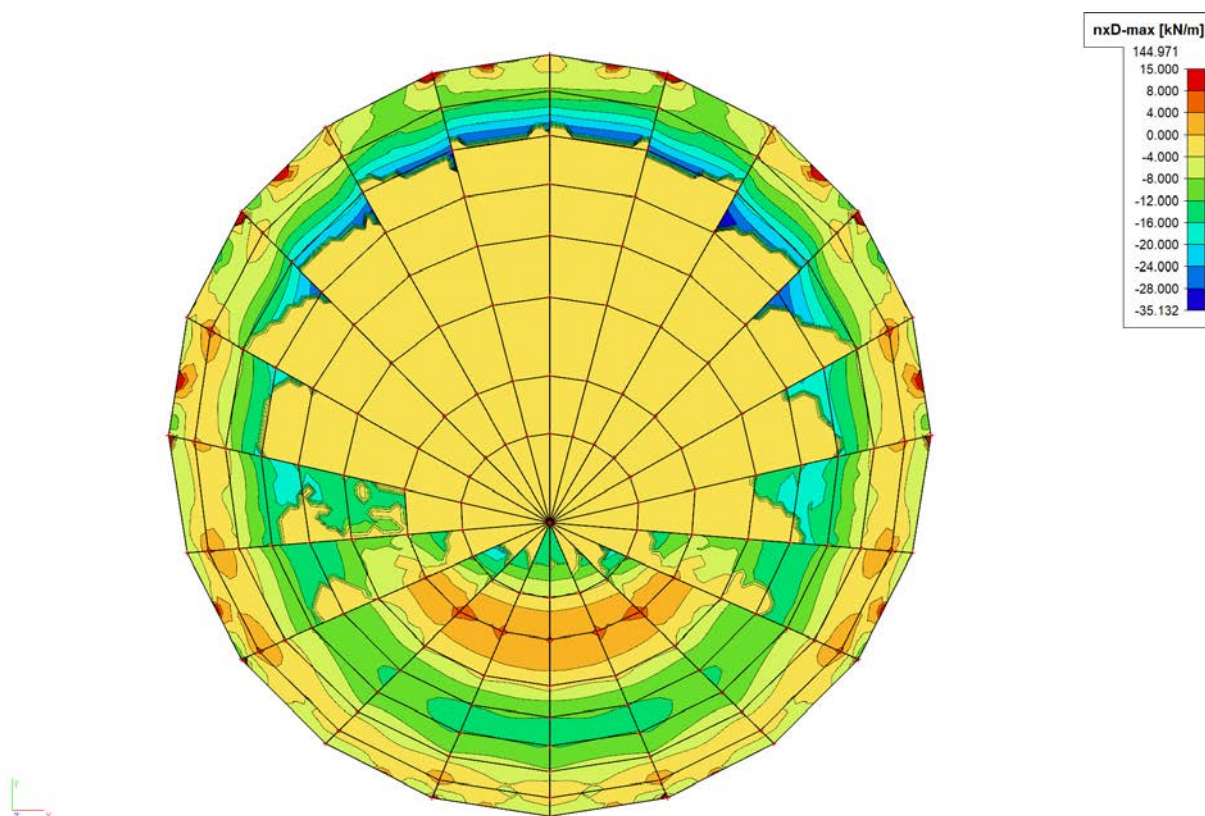
MSU – myD+ [kNm/m] – radiální směr



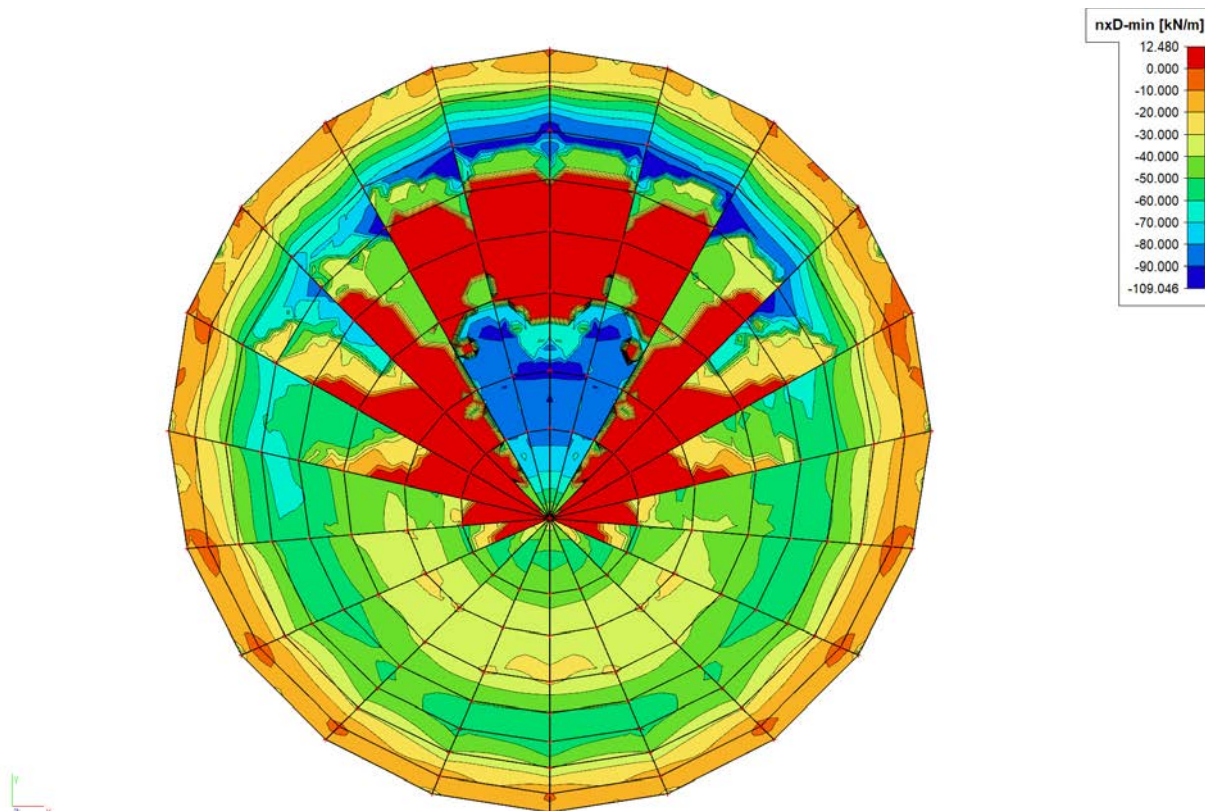
MSU – myD- [kNm/m] – radiální směr



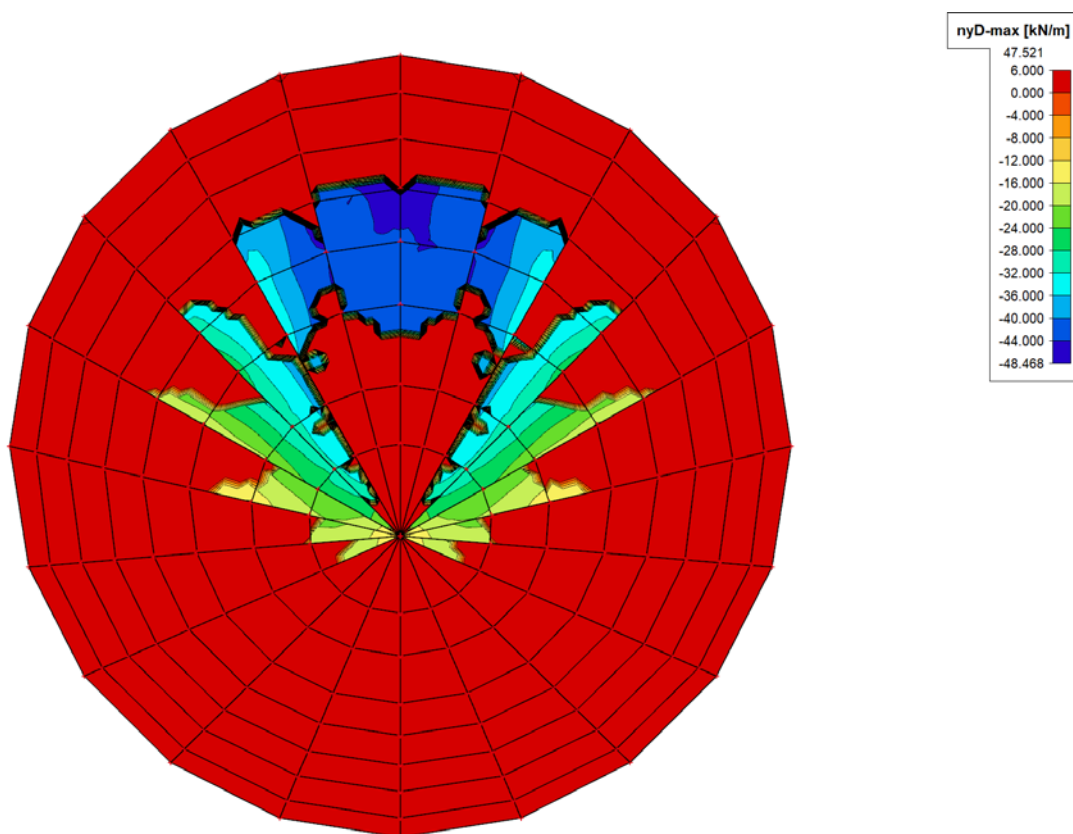
MSU – nxD max [kN/m] – tangenciální směr



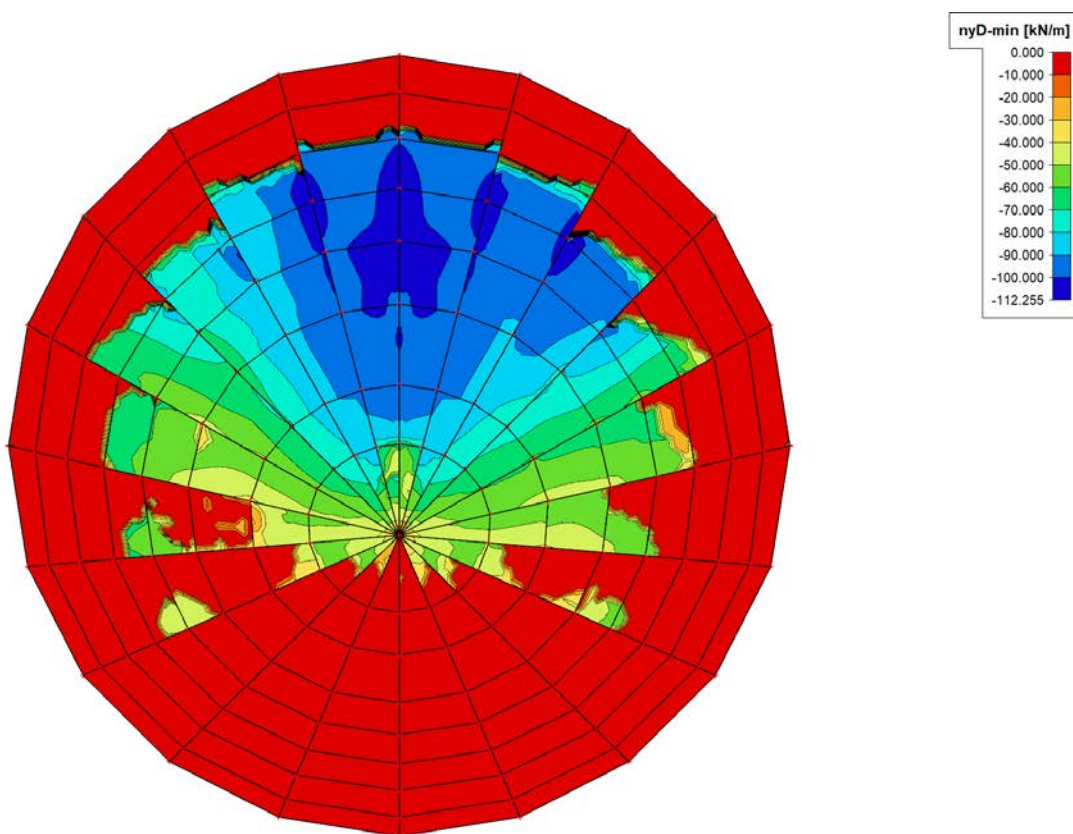
MSU – nxD min [kN/m] – tangenciální směr



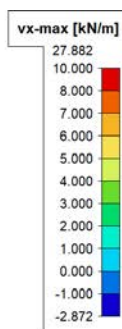
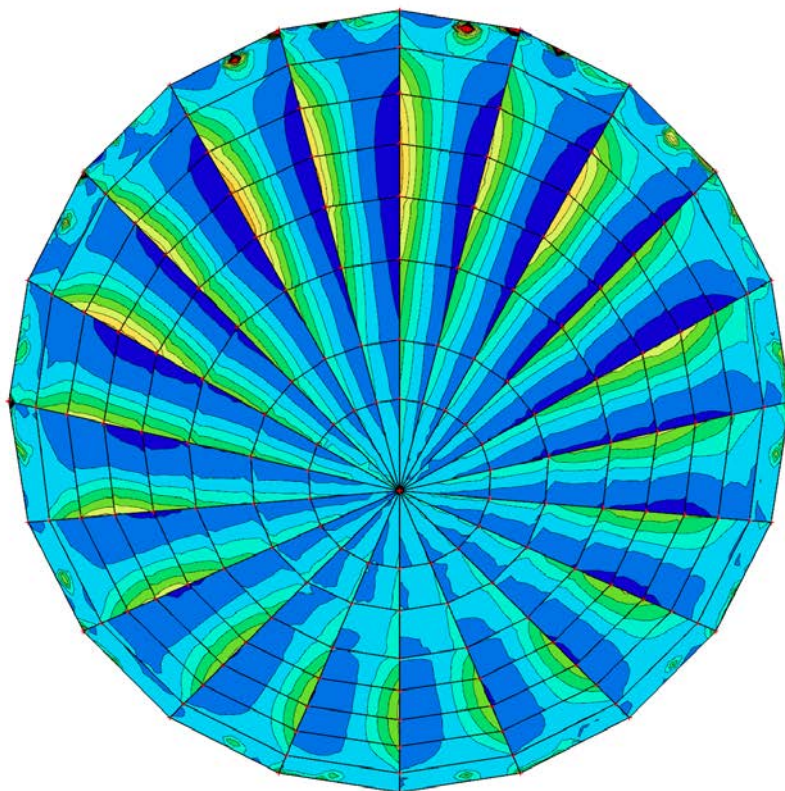
MSU – nyD max [kN/m] – radiální směr



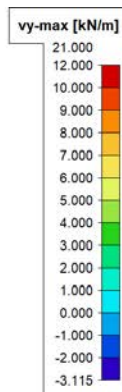
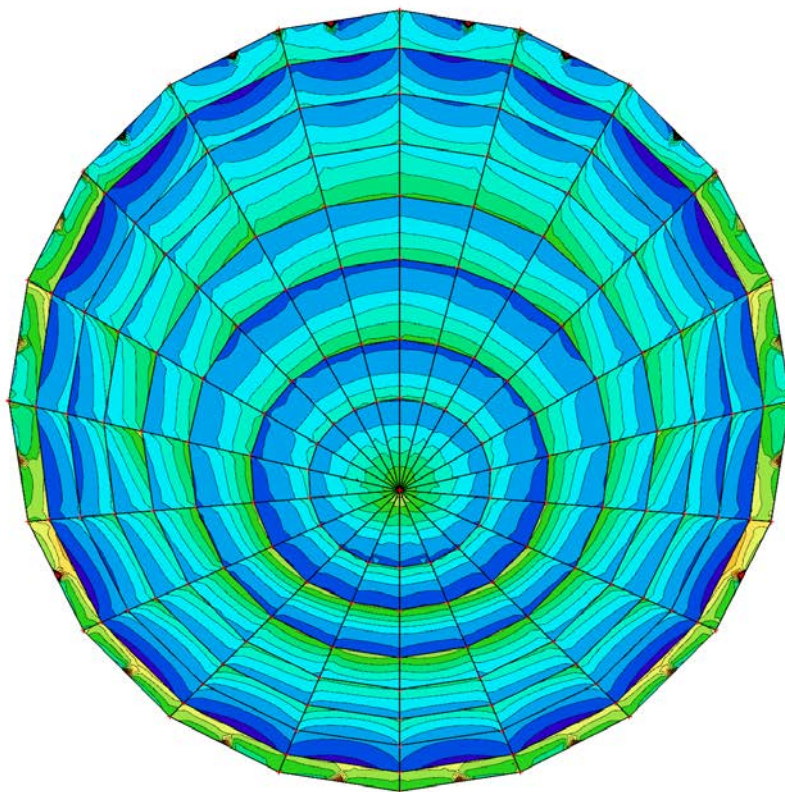
MSU – nyD min [kN/m] – radiální směr



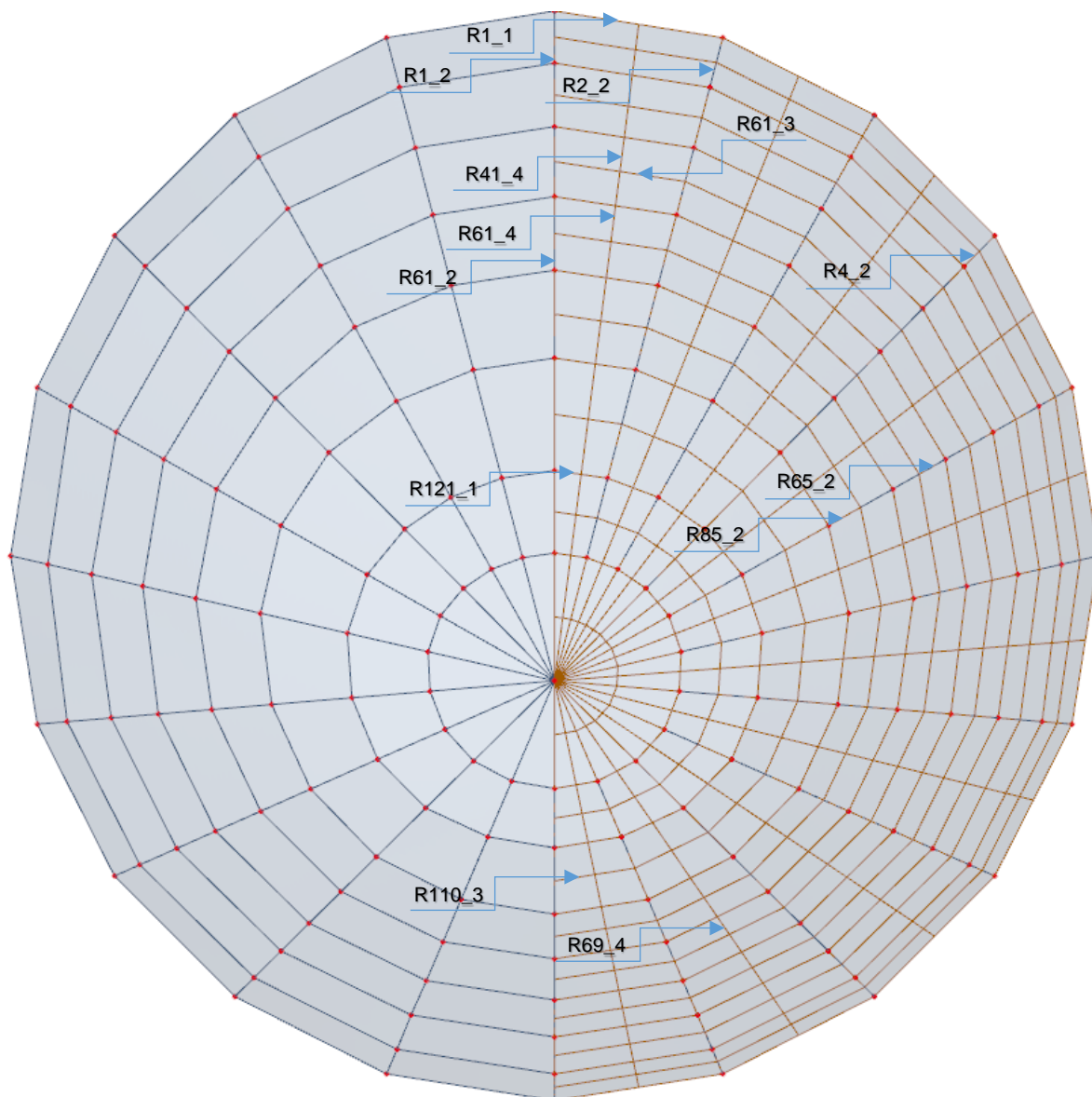
MSU – v_x [kN/m] – tangenciální směr



MSU – v_y [kN/m] – radiální směr



MSU – průměrované výsledky na řezech



Jsou vytvořeny řezy v radiálních a tangenciálních směrech. Řezy jsou vedeny hranami mezi jednotlivými plochami a dále středy ploch.

Řez	prvek	Stav	mxD+ [kNm/m]	myD+ [kNm/m]	mcD+ [kNm/m]	mxD- [kNm/m]	myD- [kNm/m]	mcD- [kNm/m]	nxD [kN/m]	nyD [kN/m]	ncD [kN/m]
R41_4	782	MSU	-2,045	-0,850	-2,429	0,692	0,812	-0,380	-45,029	-95,855	-120,636
R65_2	7247	MSU	3,234	0,852	-0,287	0,000	0,025	-0,977	-9,494	-2,586	-36,663
R61_4	1602	MSU	-1,115	-1,598	-1,889	0,518	0,464	-0,202	0,000	-98,973	-143,305
R1_1	575	MSU	1,558	6,057	-0,058	0,006	0,015	-0,733	1,112	0,769	-39,444
R110_3	5306	MSU	0,210	0,213	-0,002	0,172	0,156	-0,033	1,225	0,000	-26,024
R1_1	575	MSU	0,169	0,741	-1,051	-0,992	-0,014	-5,694	-20,205	-1,041	-86,625
R41_4	782	MSU	-0,336	-0,011	-0,799	2,304	2,494	-0,027	0,000	-10,905	-47,306
R85_2	7284	MSU	0,888	0,356	-0,722	-0,049	-0,640	-2,221	-27,473	-59,738	-82,862
R69_4	5724	MSU	-0,211	0,000	-0,370	0,938	1,099	-0,003	-11,713	0,000	-28,497
R121_1	2235	MSU	0,019	0,416	-0,420	-0,360	-0,171	-1,090	-92,411	-93,210	-97,946
R4_2	56	MSU	1,032	2,208	-0,240	-0,003	0,037	-0,642	6,976	2,125	-32,788
R61_2	2071	MSU	0,857	0,029	-1,113	0,000	0,000	-2,479	-4,014	-107,647	-143,719
R2_2	462	MSU	0,622	2,072	-0,064	0,291	0,018	-0,504	4,888	3,453	-26,993
R61_3	1548	MSU	-0,781	-0,697	-1,624	0,189	0,440	-0,612	0,000	-100,544	-144,788
R1_2	644	MSU	1,175	3,761	-0,026	-0,232	0,000	-0,814	-4,296	0,000	-22,175

Body zatížení pro interakční diagram:

MS1: (M_{\max} záporné a odpovídající N pro tangenciální směr – x)

$$M_{xD} += 3,234 \text{ kNm} \rightarrow -3,234 \text{ kNm (tah při horním líci)}$$

$$N_{xD} = -9,494 \text{ kN}$$

MS2: (M_{\max} kladné a odpovídající N pro tangenciální směr – x)

$$M_{xD} -= 2,304 \text{ kNm (tah při spodním líci)}$$

$$N_{xD} = 0,000 \text{ kN}$$

MS3: (N_{\max} kladné a odpovídající M pro tangenciální směr – x)

$$N_{xD} = 6,976 \text{ kN}$$

$$M_{xD} += -1,032 \text{ kNm}$$

$$M_{xD} -= 0,000 \text{ kNm}$$

MS4: (N_{\max} záporné a odpovídající M pro tangenciální směr – x)

$$N_{xD} = -92,411 \text{ kN}$$

$$M_{xD} += -0,019 \text{ kNm}$$

$$M_{xD} -= 0,000 \text{ kNm}$$

MS5: (M_{\max} záporné a odpovídající N pro radiální směr – y)

$$M_{yD} += 6,057 \text{ kNm} \rightarrow -6,057 \text{ kNm (tah při horním líci)}$$

$$N_{yD} = 0,769 \text{ kN}$$

MS6: (M_{\max} kladné a odpovídající N pro radiální směr – y)

$$M_{yD} -= 2,494 \text{ kNm (tah při spodním líci)}$$

$$N_{yD} = -10,905 \text{ kN}$$

MS7: (N_{\max} kladné a odpovídající M pro radiální směr – y)

$$N_{yD} = 3,453 \text{ kN}$$

$$M_{yD} += -2,072 \text{ kNm}$$

$$M_{yD} -= 0,018 \text{ kNm}$$

MS8: (N_{\max} záporné a odpovídající M pro radiální směr – y)

$$N_{yD} = -107,647 \text{ kN}$$

$$M_{yD} += -0,029 \text{ kNm}$$

$$M_{yD} -= 0,000 \text{ kNm}$$

MSP – Charakteristická kombinace

Řez	prvek	Stav	mxD+ [kNm/m]	myD+ [kNm/m]	mcD+ [kNm/m]	mxD- [kNm/m]	myD- [kNm/m]	mcD- [kNm/m]	nxD [kN/m]	nyD [kN/m]	ncD [kN/m]
R41_4	782	CHATAKTERISTICKÁ	-1,635	-0,743	-1,932	0,890	0,988	-0,272	-35,649	-77,989	-96,652
R65_2	7247	CHATAKTERISTICKÁ	2,587	0,668	-0,363	0,000	-0,014	-1,203	-11,819	-8,373	-41,854
R61_4	1602	CHATAKTERISTICKÁ	-0,746	-1,251	-1,506	0,694	0,576	-0,135	0,000	-79,875	-114,501
R1_1	575	CHATAKTERISTICKÁ	1,199	4,679	-0,189	-0,136	0,001	-1,331	-3,006	0,107	-44,322
R110_3	5306	CHATAKTERISTICKÁ	0,151	0,168	-0,002	0,109	0,072	-0,034	-2,214	0,000	-30,063
R1_1	575	CHATAKTERISTICKÁ	0,342	1,404	-0,805	-0,758	0,000	-4,399	-15,924	-0,818	-69,646
R41_4	782	CHATAKTERISTICKÁ	-0,441	-0,028	-0,978	1,838	1,978	-0,039	0,000	-20,942	-54,589
R85_2	7284	CHATAKTERISTICKÁ	1,070	0,435	-0,556	0,000	-0,507	-1,786	-21,121	-43,239	-66,045
R70_4	5231	CHATAKTERISTICKÁ	-0,239	0,000	-0,497	0,795	0,988	-0,002	-16,609	0,000	-31,136
R121_1	2235	CHATAKTERISTICKÁ	0,022	0,477	-0,309	-0,225	-0,056	-0,868	-71,722	-73,599	-78,596
R4_2	56	CHATAKTERISTICKÁ	0,822	1,719	-0,310	-0,080	0,030	-0,746	3,415	1,413	-36,983
R61_2	2071	CHATAKTERISTICKÁ	1,010	0,050	-0,877	0,000	0,139	-1,942	0,000	-87,549	-114,951
R2_2	462	CHATAKTERISTICKÁ	0,479	1,622	-0,119	0,172	0,002	-0,638	-0,641	1,852	-29,751
R61_3	1548	CHATAKTERISTICKÁ	-0,522	-0,571	-1,277	0,303	0,576	-0,460	0,000	-81,370	-115,651
R1_2	644	CHATAKTERISTICKÁ	0,927	2,961	-0,082	-0,294	0,000	-1,132	-6,997	0,000	-24,920

MSP – Častá kombinace

Řez	prvek	Stav	mxD+ [kNm/m]	myD+ [kNm/m]	mcD+ [kNm/m]	mxD- [kNm/m]	myD- [kNm/m]	mcD- [kNm/m]	nxD [kN/m]	nyD [kN/m]	ncD [kN/m]
R41_4	782	ČASTÁ	-1,036	-0,324	-1,455	1,219	1,275	-0,113	-15,417	-49,745	-75,031
R65_2	7247	ČASTÁ	1,976	0,472	-0,497	0,000	-0,079	-1,574	-15,645	-16,538	-51,183
R61_4	1602	ČASTÁ	-0,440	-0,869	-1,142	1,005	0,771	-0,049	0,000	-67,620	-87,312
R1_1	575	ČASTÁ	0,766	3,035	-0,420	-0,355	0,000	-2,359	-9,388	0,000	-52,692
R110_4	5327	ČASTÁ	0,058	0,474	-0,010	-0,006	0,000	-0,417	-8,280	0,000	-37,914
R1_1	575	ČASTÁ	0,633	2,508	-0,507	-0,453	0,000	-2,855	-11,255	0,000	-57,471
R41_4	782	ČASTÁ	-0,869	-0,223	-1,279	1,388	1,463	-0,037	-13,554	-45,668	-67,121
R85_2	7284	ČASTÁ	1,370	0,575	-0,394	0,000	-0,401	-1,394	-18,404	-16,753	-52,572
R47_4	6401	ČASTÁ	-0,115	-0,112	-0,417	0,497	0,450	-0,002	-17,268	0,000	-43,195
R121_3	2368	ČASTÁ	-0,278	-0,194	-0,428	0,293	0,364	-0,056	-63,112	-61,476	-63,941
R147_4	6619	ČASTÁ	0,381	0,211	-0,370	0,064	0,066	-0,503	0,000	-30,190	-46,492
R61_2	2071	ČASTÁ	1,259	0,085	-0,638	0,000	0,367	-1,367	0,000	-73,294	-87,993
R2_2	462	ČASTÁ	0,295	1,125	-0,317	0,008	0,000	-0,891	-8,770	0,560	-36,336
R61_3	1548	ČASTÁ	-0,091	-0,347	-0,923	0,533	0,806	-0,297	0,000	-68,574	-88,101
SE104	4841	ČASTÁ	0,248	0,638	-0,082	-0,166	0,049	-0,495	-5,776	0,000	-29,516

MSP – Kvazistálá kombinace

Řez	prvek	Stav	mxD+ [kNm/m]	myD+ [kNm/m]	mcD+ [kNm/m]	mxD- [kNm/m]	myD- [kNm/m]	mcD- [kNm/m]	nxD [kN/m]	nyD [kN/m]	ncD [kN/m]
R41_4	782	KVAZISTÁLÁ	-0,915	-0,292	-1,344	1,286	1,343	-0,078	-14,306	-47,468	-70,284
R65_2	7247	KVAZISTÁLÁ	1,840	0,433	-0,528	0,000	-0,090	-1,656	-16,444	-17,395	-53,400
R61_4	1602	KVAZISTÁLÁ	-0,246	-0,534	-1,054	1,062	0,807	-0,034	0,000	-64,644	-80,714
R1_1	575	KVAZISTÁLÁ	0,689	2,728	-0,456	-0,395	0,000	-2,566	-10,198	0,000	-54,805
R110_4	5327	KVAZISTÁLÁ	0,047	0,454	-0,017	-0,036	0,000	-0,449	-9,254	0,000	-39,484
R1_2	644	KVAZISTÁLÁ	0,611	1,931	-0,359	-0,412	0,000	-1,771	-10,707	0,000	-30,536
R85_2	7284	KVAZISTÁLÁ	1,437	0,608	-0,362	0,000	-0,380	-1,302	-16,036	-15,027	-49,764
R48_4	6048	KVAZISTÁLÁ	-0,327	-0,053	-0,444	0,419	0,418	-0,012	-17,545	0,000	-42,716
R121_3	2368	KVAZISTÁLÁ	-0,229	-0,090	-0,398	0,347	0,404	-0,034	-60,580	0,000	-61,691
R147_4	6619	KVAZISTÁLÁ	0,418	0,227	-0,339	0,070	0,092	-0,467	0,000	-28,421	-44,587
R61_2	2071	KVAZISTÁLÁ	1,316	0,096	-0,581	0,000	0,401	-1,232	0,000	-69,767	-81,459
R2_2	462	KVAZISTÁLÁ	0,274	1,039	-0,361	-0,016	0,000	-0,935	-10,001	0,355	-38,008
SE104	4841	KVAZISTÁLÁ	0,224	0,567	-0,107	-0,180	0,036	-0,540	-6,029	0,000	-30,243

Dimenzování skořepiny:

Vstupní informace:

- Kategorie návrhové životnosti: 6 [120 let] (monumentální stavby)
- Třída konstrukce: S6
- Stupně vlivů prostředí: XC1
- Třída betonu: C 25/30
- Výztuž B500B
- Tloušťka skořepiny: 150 mm

Návrh krytí výztuže:

- Předpokládaný průměr výztuže: 6 mm

$$c_{min,b} \geq \emptyset + 5 = 6 + 5 = 11 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{11 \text{ mm}; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm} = c$$

- Bude prováděna řádná kontrola krytí výztuže
- Budou použity kvalitní distanční tělíska

Pro krytí spodní výztuže budou použity liniové betonové distančníky W-BET pro krytí výztuže 30 mm. Pro zajištění horní výztuže budou použity ocelové distančníky UTH 06 výšky 60 mm.

$$c_{horní} = h - 4\emptyset - c_{dolní} - h_{distančník} = 150 - 4 \cdot 6 - 30 - 60$$

$$c_{horní} = 36 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$

Minimální plocha výztuže:

$$d = h - c - \emptyset/2 = 0,15 - 0,030 - 0,006/2 = 0,117 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,117$$

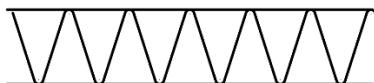
$$A_{s,min} = 1,582 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} > 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,117 = 1,521 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

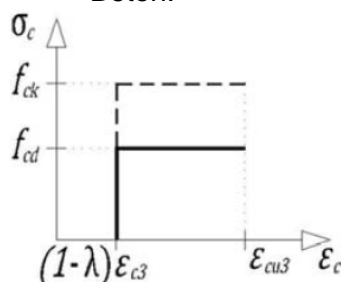
Navržená výztuž:

$$A_s = 1,885 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \emptyset 6/150 \text{ mm}$$

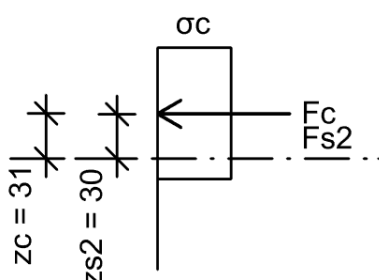
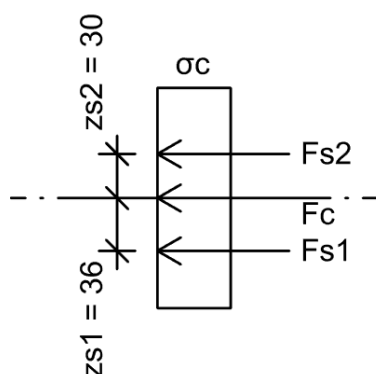
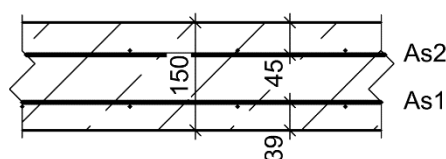
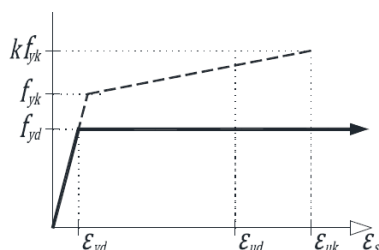
UTH 06:



Beton:



Ocel:



Minimální a maximální vzdálenost výztuže:

$$s_{max} \leq 2 \cdot h = 2 \cdot 150 = 300 \text{ mm}$$

$$s_{max} \leq 300 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max\{1,2 \cdot \varnothing; d_g + 5; 20\} = \max\{1,2 \cdot 6; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

Mezní stav únosnosti:

Výpočet bodů interakčního diagramu – posouzení na M+N – radiální směr (směr y):

Bude proveden výpočet pro průřez s minimální výztuží ($\varnothing 6/150$) při spodním a při vrchním povrchu. $A_{s1} = A_{s2}$.

$$A_{s1} = 0,0001885 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 0,0001885 \text{ m}^2$$

$$d_1 = 39 \text{ mm}$$

$$d_2 = 45 \text{ mm}$$

$$d = 111 \text{ mm}$$

$$d = 105 \text{ mm}$$

$$z_{s1} = 36 \text{ mm}$$

$$z_{s2} = 30 \text{ mm}$$

beton:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16,667 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

ocel:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$e_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

Bod 0: (tlačený průřez)

$$\epsilon_s = \epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = \epsilon_s \cdot E = 1,75 \cdot 200 = 350 \text{ MPa}$$

$$F_1 = F_2 = \sigma_s \cdot A_s = 350 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 65,975 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_c \cdot A_c = 16,667 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 0,15 = 2500 \text{ kN}$$

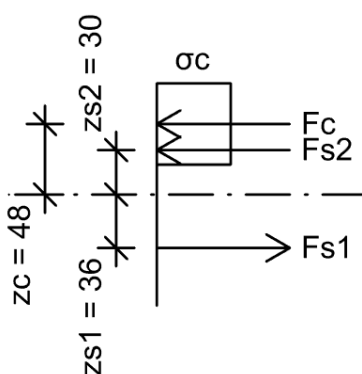
$$N_{Rd} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = -2500 - 2 \cdot 65,975 = -2631,950 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} = 65,975 \cdot 0,030 - 65,975 \cdot 0,036 = -0,395 \text{ kNm}$$

Bod 1: (neutrálná osa prochází spodní výztuží)

$$\epsilon_{s1} = 0 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_{cu3} / d \cdot (d - d_2) = 3,5 / 111 \cdot (111 - 45) = 2,081 \text{ ‰}$$



$$F_{s1} = 0,000 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 2,081 \cdot 200 = 416,216 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 416,216 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 78,456 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,111 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 1\,480,029 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,111/2 = 0,0306 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s2} = -1480,029 - 78,456 = -1\,558,485 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} = 1480,029 \cdot 0,0306 + 78,456 \cdot 0,030 = 47,642 \text{ kNm}$$

Bod 2: (v tlačенých vláknech ε_{cu3} ; spodní výztuž na mezi kluzu)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal}/\varepsilon_{cu3} = d - x_{bal}/\varepsilon_{s1}$$

$$x_{bal} = \varepsilon_{cu3}/\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{s1} \cdot d = 3,5/3,5 + 2,17 \cdot 0,111 = 0,06852 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu3}/x_{bal} \cdot (x_{bal} - d_2) = 3,5/0,06852 \cdot (0,06852 - 0,045) = 1,2014 \text{ ‰}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,06852 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 913,618 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 1,2014 \cdot 200 = 240,28 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 240,28 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 45,293 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal}/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,06852/2 = 0,0476 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s2} + F_{s1} = -913,618 - 45,293 + 81,956 = -876,955 \text{ kN}$$

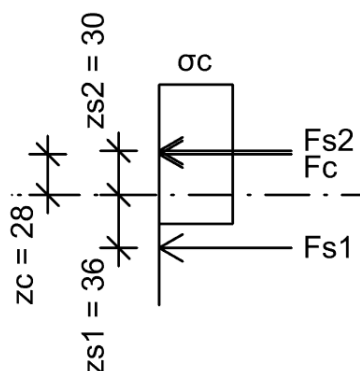
$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = 913,618 \cdot 0,0476 + 45,293 \cdot 0,030 + 81,956 \cdot 0,036 = 47,797 \text{ kNm}$$

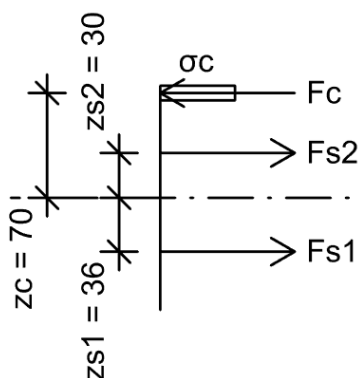
Bod Z: (v tlačенých vláknech ε_{cu3} ; horní výztuž na mezi kluzu)

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal}/\varepsilon_{cu3} = x_{bal} - d_2/\varepsilon_{s2}$$

$$x_{bal} = \varepsilon_{cu3}/\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{s2} \cdot d_2 = 3,5/3,5 - 2,17 \cdot 0,045 = 0,1184 \text{ m}$$





$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{cu3} / x_{bal} \cdot (d - x_{bal}) = 3,5 / 0,1184 \cdot (0,111 - 0,1184)$$

$$= -0,21875 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 0,21875 \cdot 200 = 43,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 43,75 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 8,247 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,1184 \cdot 16,667 \cdot 10^3$$

$$= 1\,578,698 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal}/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,1184/2 = 0,0276 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s2} - F_{s1} = -1578,698 - 81,956 - 8,247 =$$

$$= \underline{\underline{-1\,668,901 \text{ kN}}}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} =$$

$$= 1578,698 \cdot 0,027 + 81,956 \cdot 0,030 - 8,247 \cdot 0,036 = \underline{\underline{45,734 \text{ kNm}}}$$

Bod 3: (v tlačných vláknech betonu dosaženo ε_{cu3} ; prostý ohyb)

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_{s1} + F_{s2}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 81,956}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 16,667 \cdot 10^3} = 0,01229 \text{ m}$$

$$\frac{\varepsilon_{cu3}}{x} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - x}$$

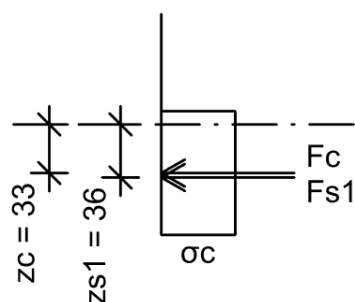
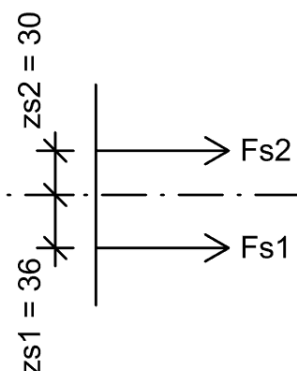
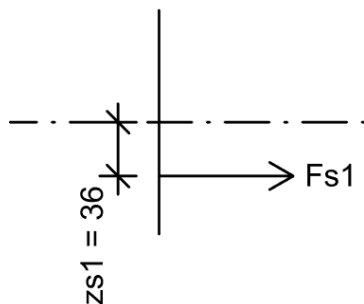
$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,111 - 0,01229) = 28,11 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_2 - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,045 - 0,01229) = 9,31 \text{ ‰}$$

Předpoklad plného využití spodní i horní výztuže je správný. Obě vrstvy výztuže jsou taženy.

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,01229 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 163,869 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,01229/2 = 0,0701 \text{ m}$$



$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} - F_{s2} \cdot z_{s2} =$$

$$= 163,869 \cdot 0,0701 + 81,956 \cdot 0,036 - 81,956 \cdot 0,030 =$$

$$= \underline{11,979 \text{ kNm}}$$

Bod 4: (ve spodní výztuži dosaženo ε_{yd} , n.o prochází horní výztuží)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{s2} = 0 \text{ ‰}$$

$$\frac{\varepsilon_{s1}}{h - d_1 - d_2} = \frac{\varepsilon_c}{d_2}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{s1} \cdot d_2}{h - d_1 - d_2} = \frac{2,17 \cdot 0,045}{0,150 - 0,039 - 0,045} = 1,479 \text{ ‰}$$

V betonu není překročeno přetvoření ε_{c3} ,

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} = \underline{81,956 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot z_{s1} = 81,956 \cdot 0,036 = \underline{2,950 \text{ kNm}}$$

Bod 5: (tahové porušení průřezu)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} + F_{s2} = 81,956 + 81,956 = \underline{163,912 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = -F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = -81,956 \cdot 0,030 + 81,956 \cdot 0,036 =$$

$$= \underline{0,492 \text{ kNm}}$$

Bod 1': (neutrální osa prochází horní výztuží, spodní vlákna bet. Průřezu jsou tlačena)

$$\varepsilon_{s2} = 0 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{cu3} / d \cdot (d - d_1) = 3,5 / 105 \cdot (105 - 39) = 2,200 \text{ ‰}$$

$$F_{s2} = 0,000 \text{ kN}$$

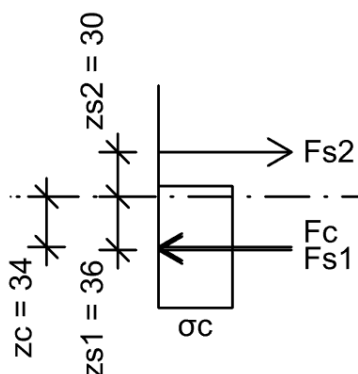
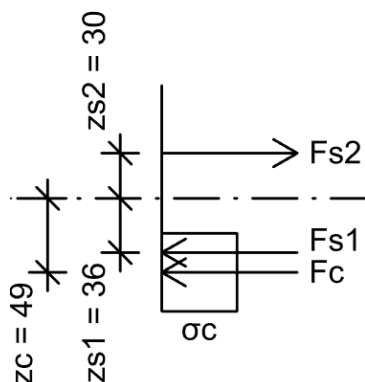
$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,105 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 1\,400,028 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,105/2 = 0,033 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s1} = -1400,028 - 81,956 = \underline{-1\,481,984 \text{ kN}}$$



$$M_{Rd} = -F_c \cdot z_c + -F_{s1} \cdot z_{s1} = -1400,028 \cdot 0,033 - 81,956 \cdot 0,036 = -49,151 \text{ kNm}$$

Bod 2': (v tlačných vláknech ϵ_{cu3} ; horní výztuž na mezi kluzu)

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal}/\epsilon_{cu3} = d - x_{bal}/\epsilon_{s2}$$

$$x_{bal} = \epsilon_{cu3}/\epsilon_{cu3} + \epsilon_{s2} \cdot d = 3,5/3,5 + 2,17 \cdot 0,105 = 0,0648 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_{cu3}/x_{bal} \cdot (x_{bal} - d_1) = 3,5/0,0648 \cdot (0,0648 - 0,039) = 1,394 \text{ ‰} \rightarrow \text{spodní výztuž je tlačená}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,0648 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 864,017 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s2} = \epsilon_{s2} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} = \epsilon_{s1} \cdot E = 1,394 \cdot 200 = 278,80 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 278,80 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 52,554 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal}/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,0648/2 = 0,04908 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c + F_{s2} - F_{s1} = -864,017 + 81,956 - 52,554 = -834,615 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = -F_c \cdot z_c - F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} =$$

$$= -864,017 \cdot 0,04908 - 81,956 \cdot 0,030 - 52,554 \cdot 0,036$$

$$= -46,756 \text{ kNm}$$

Bod Z': (v tlačných vláknech ϵ_{cu3} ; dolní výztuž na mezi kluzu)

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal}/\epsilon_{cu3} = x_{bal} - d_1/\epsilon_{s1}$$

$$x_{bal} = \epsilon_{cu3}/\epsilon_{cu3} - \epsilon_{s1} \cdot d_1 = 3,5/3,5 - 2,17 \cdot 0,039 = 0,1026 \text{ m}$$

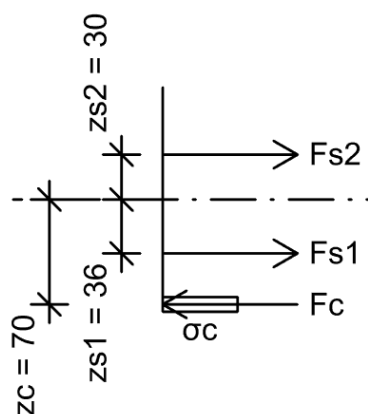
$$\epsilon_{s2} = \epsilon_{cu3}/x_{bal} \cdot (d - x_{bal}) = 3,5/0,1026 \cdot (0,105 - 0,1026)$$

$$0,0807 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s2} = \epsilon_{s2} \cdot E = 0,0807 \cdot 200 = 16,154 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} = \epsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 16,154 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 3,045 \text{ kN}$$



$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,1026 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 1\,368,027 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal}/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,1026/2 = 0,03396 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c + F_{s2} - F_{s1} = -1368,027 + 3,045 - 81,956 = -1\,446,938 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = -F_c \cdot z_c - F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} = -1368,027 \cdot 0,03396 - 3,045 \cdot 0,030 - 81,956 \cdot 0,036 = -49,499 \text{ kNm}$$

Bod 3': (v tlačení vláknech betonu dosaženo ε_{cu3} ; prostý ohyb)

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_{s1} + F_{s2}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 81,956}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 16,667 \cdot 10^3} = 0,01229 \text{ m}$$

$$\frac{\varepsilon_{cu3}}{x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{d - x}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,105 - 0,01229) = 26,402 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_1 - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,039 - 0,01229) = 7,606 \text{ ‰}$$

Předpoklad plného využití spodní i horní výztuže je správný. Obě vrstvy výztuže jsou taženy.

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,01229 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 163,869 \text{ kN}$$

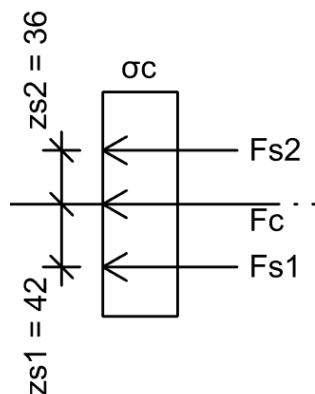
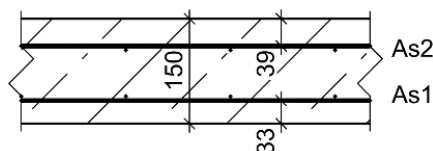
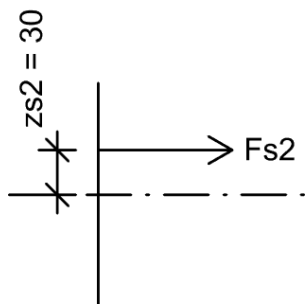
$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,01229/2 = 0,0701 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = -F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} - F_{s2} \cdot z_{s2} = -163,869 \cdot 0,0701 + 81,956 \cdot 0,036 - 81,956 \cdot 0,030 = -10,995 \text{ kNm}$$

Bod 4': (v horní výztuži dosaženo ε_{yd} , n.o. prochází spodní výztuží)

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = 0 \text{ ‰}$$



$$\frac{\varepsilon_{s2}}{h - d_1 - d_2} = \frac{\varepsilon_c}{d_1}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{s2} \cdot d_1}{h - d_1 - d_2} = \frac{2,17 \cdot 0,039}{0,150 - 0,039 - 0,045} = 1,282 \text{ ‰}$$

V betonu není překročeno přetvoření ε_{c3} ,

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s2} = \underline{81,956 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = -F_{s2} \cdot z_{s2} = -81,956 \cdot 0,030 =$$

$$= \underline{-2,458 \text{ kNm}}$$

Výpočet bodů interakčního diagramu – posouzení na M+N – tangenciální směr (směr x):

Bude proveden výpočet pro průřez s minimální výztuží ($\varnothing 6/150$) při spodním a při vrchním povrchu. $A_{s1} = A_{s2}$.

$$A_{s1} = 0,0001885 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 0,0001885 \text{ m}^2$$

$$d_1 = 33 \text{ mm}$$

$$d_2 = 39 \text{ mm}$$

$$d = 117 \text{ mm}$$

$$d = 111 \text{ mm}$$

$$z_{s1} = 42 \text{ mm}$$

$$z_{s2} = 36 \text{ mm}$$

beton:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16,667 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

ocel:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$e_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

Bod 0: (tlačený průřez)

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

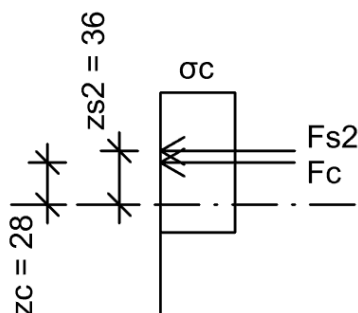
$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E = 1,75 \cdot 200 = 350 \text{ MPa}$$

$$F_1 = F_2 = \sigma_s \cdot A_s = 350 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 65,975 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_c \cdot A_c = 16,667 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 0,15 = 2\,500 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = -2500 - 2 \cdot 65,975 = \underline{-2\,631,950 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} = 65,975 \cdot 0,036 - 65,975 \cdot 0,042$$



$$M_{Rd} = F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} = 65,975 \cdot 0,036 - 65,975 \cdot 0,042 = -0,395 \text{ kNm}$$

Bod 1: (neutrální osa prochází spodní výztuží)

$$\varepsilon_{s1} = 0 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu3} / d \cdot (d - d_2) = 3,5 / 117 \cdot (117 - 39) = 2,333 \text{ ‰}$$

$$F_{s1} = 0,000 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,117 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 1\,560,031 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,117/2 = 0,0282 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s2} = -1560,031 - 81,956 = -1\,641,987 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} = 1560,031 \cdot 0,0282 + 81,956 \cdot 0,036 = 46,943 \text{ kNm}$$

Bod 2: (v tlačенých vláknech ε_{cu3} ; spodní výztuž na mezi kluzu)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal} / \varepsilon_{cu3} = d - x_{bal} / \varepsilon_{s1}$$

$$x_{bal} = \varepsilon_{cu3} / (\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{s1}) \cdot d = 3,5 / (3,5 + 2,17) \cdot 0,117 = 0,0722 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu3} / x_{bal} \cdot (x_{bal} - d_2) = 3,5 / 0,0722 \cdot (0,0722 - 0,039) = 1,6094 \text{ ‰}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,0722 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 962,979 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 1,6094 \cdot 200 = 321,88 \text{ MPa}$$

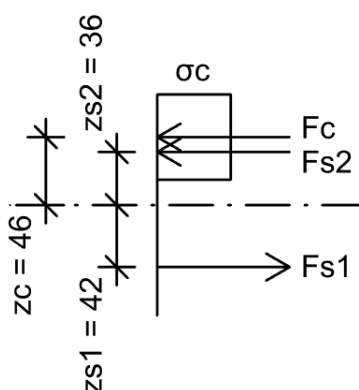
$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

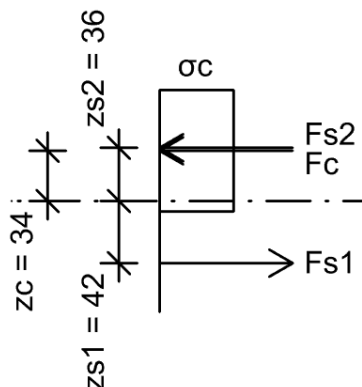
$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 321,88 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 60,674 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal} / 2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,0722 / 2 = 0,0461 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s2} + F_{s1} = -962,979 - 60,674 + 81,956 = -941,697 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} =$$





$$= 962,979 \cdot 0,0461 + 60,674 \cdot 0,036 + 81,956 \cdot 0,042 = \underline{50,019 \text{ kNm}}$$

Bod Z: (v tlačeneých vláknech ϵ_{cu3} ; horní výztuž na mezi kluzu)

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal}/\epsilon_{cu3} = x_{bal} - d_2/\epsilon_{s2}$$

$$x_{bal} = \epsilon_{cu3}/\epsilon_{cu3} - \epsilon_{s2} \cdot d_2 = 3,5/3,5 - 2,17 \cdot 0,039 = 0,1026 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_{cu3}/x_{bal} \cdot (d - x_{bal}) = 3,5/0,1026 \cdot (0,117 - 0,1026)$$

$$= 0,4912 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s1} = \epsilon_{s1} \cdot E = 0,4912 \cdot 200 = 98,245 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2} = \epsilon_{s2} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 98,245 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 18,519 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,1026 \cdot 16,667 \cdot 10^3$$

$$= 1\,368,027 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal}/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,1026/2 = 0,03396 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s2} + F_{s1} = -1368,027 - 81,956 + 18,519 =$$

$$= \underline{-1\,431,464 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} =$$

$$= 1368,027 \cdot 0,03396 + 81,956 \cdot 0,036 + 8,247 \cdot 0,042 =$$

$$= \underline{49,755 \text{ kNm}}$$

Bod 3: (v tlačeneých vláknech betonu dosaženo ϵ_{cu3} ; prostý ohyb)

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2} > \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

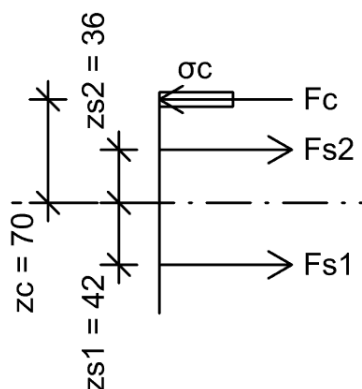
$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

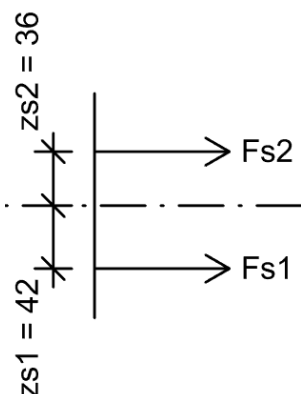
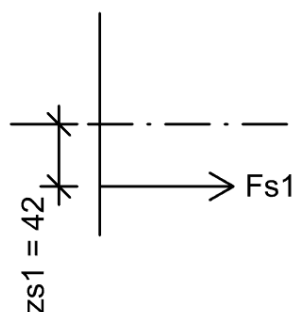
$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_{s1} + F_{s2}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 81,956}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 16,667 \cdot 10^3} = 0,01229 \text{ m}$$

$$\frac{\epsilon_{cu3}}{x} = \frac{\epsilon_{s1}}{d - x}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,117 - 0,01229) = 29,819 \text{ ‰}$$





$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_2 - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,039 - 0,01229) = 7,606 \text{ ‰}$$

Předpoklad plného využití spodní i horní výztuže je správný. Obě vrstvy výztuže jsou taženy.

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,01229 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 163,869 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,01229/2 = 0,0701 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} - F_{s2} \cdot z_{s2} = \\ &= 163,869 \cdot 0,0701 + 81,956 \cdot 0,042 - 81,956 \cdot 0,036 = \\ &= \underline{11,979 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

Bod 4: (ve spodní výztuži dosaženo ε_{yd} , n.o. prochází horní výztuží)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{s2} = 0 \text{ ‰}$$

$$\frac{\varepsilon_{s1}}{h - d_1 - d_2} = \frac{\varepsilon_c}{d_2}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{s1} \cdot d_2}{h - d_1 - d_2} = \frac{2,17 \cdot 0,039}{0,150 - 0,033 - 0,039} = 1,085 \text{ ‰}$$

V betonu není překročeno přetvoření ε_{c3} ,

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} = \underline{81,956 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot z_{s1} = 81,956 \cdot 0,042 = \underline{3,442 \text{ kNm}}$$

Bod 5: (tahové porušení průřezu)

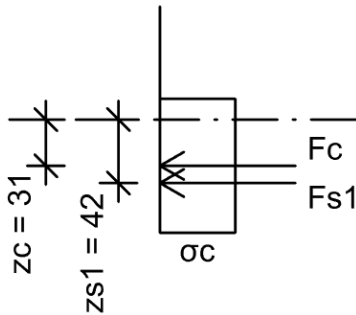
$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} + F_{s2} = 81,956 + 81,956 = \underline{163,912 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= -F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = -81,956 \cdot 0,036 + 81,956 \cdot 0,042 = \\ &= \underline{0,492 \text{ kNm}} \end{aligned}$$



Bod 1': (neutrálná osa prochází horní výztuží, spodní vlákna bet. Průřezu jsou tlačena)

$$\varepsilon_{s2} = 0 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{cu3} / d \cdot (d - d_1) = 3,5 / 111 \cdot (111 - 33) = 2,459 \text{ ‰}$$

$$F_{s2} = 0,000 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,111 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 1\,480,029 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,111/2 = 0,0306 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c - F_{s1} = -1480,029 - 81,956 = -1\,561,985 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = -F_c \cdot z_c + -F_{s1} \cdot z_{s1} = -1480,029 \cdot 0,0306 - 81,956 \cdot 0,042 = -48,731 \text{ kNm}$$

Bod 2': (v tlačенých vláknech ε_{cu3} ; horní výztuž na mezi kluzu)

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal} / \varepsilon_{cu3} = d - x_{bal} / \varepsilon_{s2}$$

$$x_{bal} = \varepsilon_{cu3} / \varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{s2} \cdot d = 3,5 / 3,5 + 2,17 \cdot 0,111 = 0,0685 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{cu3} / x_{bal} \cdot (x_{bal} - d_1) = 3,5 / 0,0685 \cdot (0,0685 - 0,033) = 1,813 \text{ ‰} \rightarrow \text{spodní výztuž je tlačena}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,0685 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 913,352 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 1,813 \cdot 200 = 362,60 \text{ MPa}$$

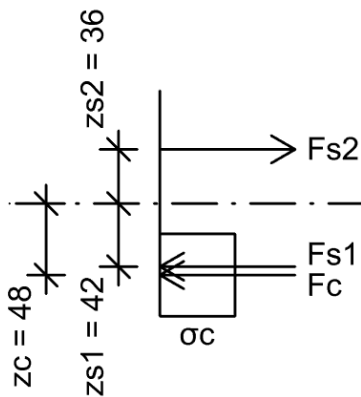
$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

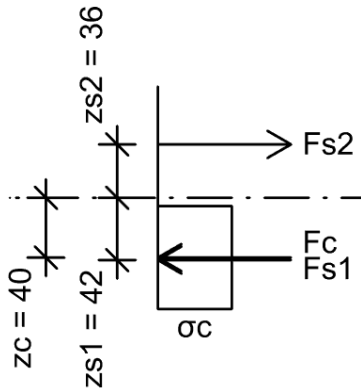
$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 362,60 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 68,350 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal} / 2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,0685 / 2 = 0,0476 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c + F_{s2} - F_{s1} = -913,352 + 81,956 - 68,350 = -899,746 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = -F_c \cdot z_c - F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} = -913,352 \cdot 0,0476 - 81,956 \cdot 0,036 - 68,350 \cdot 0,042 = -49,297 \text{ kNm}$$





Bod Z': (v tlačných vláknech ϵ_{cu3} ; dolní výztuž na mezi kluzu)

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$x_{bal}/\epsilon_{cu3} = x_{bal} - d_1/\epsilon_{s1}$$

$$x_{bal} = \epsilon_{cu3}/\epsilon_{cu3} - \epsilon_{s1} \cdot d_1 = 3,5/3,5 - 2,17 \cdot 0,033 = 0,0868 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_{cu3}/x_{bal} \cdot (d - x_{bal}) = 3,5/0,0868 \cdot (0,111 - 0,0868)$$

$$0,9736 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s2} = \epsilon_{s2} \cdot E = 0,9736 \cdot 200 = 194,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} = \epsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 194,72 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 36,705 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,0868 \cdot 16,667 \cdot 10^3$$

$$= 1\,157,356 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x_{bal}/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,0868/2 = 0,04028 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = -F_c + F_{s2} - F_{s1} = -1157,356 + 36,705 - 81,956 =$$

$$= -1\,202,607 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = -F_c \cdot z_c - F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} =$$

$$= -1157,356 \cdot 0,04028 - 36,705 \cdot 0,036 - 81,956 \cdot 0,042 =$$

$$= -51,382 \text{ kNm}$$

Bod 3': (v tlačných vláknech betonu dosaženo ϵ_{cu3} ; prostý ohyb)

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2} > \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

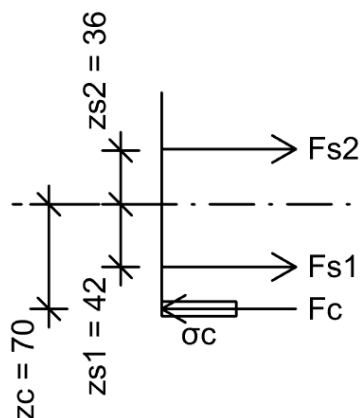
$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

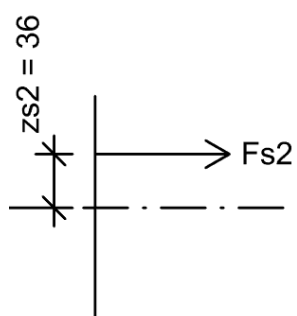
$$x = \frac{F_{s1} + F_{s2}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 81,956}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 16,667 \cdot 10^3} = 0,01229 \text{ m}$$

$$\frac{\epsilon_{cu3}}{x} = \frac{\epsilon_{s2}}{d - x}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,111 - 0,01229) = 28,111 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_1 - x) = \frac{3,5}{0,01229} \cdot (0,033 - 0,01229) = 5,897 \text{ ‰}$$





Předpoklad plného využití spodní i horní výztuže je správný. Obě vrstvy výztuže jsou taženy.

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,01229 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 163,869 \text{ kN}$$

$$z_c = h/2 - \lambda \cdot x/2 = 0,075 - 0,8 \cdot 0,01229/2 = 0,0701 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= -F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} - F_{s2} \cdot z_{s2} = \\ &= -163,869 \cdot 0,0701 + 81,956 \cdot 0,042 - 81,956 \cdot 0,036 = \\ &= \underline{-10,995 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

Bod 4': (v horní výztuži dosaženo ε_{yd} , n.o. prochází spodní výztuží)

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{s1} = 0 \text{ ‰}$$

$$\frac{\varepsilon_{s2}}{h - d_1 - d_2} = \frac{\varepsilon_c}{d_1}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{s2} \cdot d_1}{h - d_1 - d_2} = \frac{2,17 \cdot 0,033}{0,150 - 0,033 - 0,039} = 0,918 \text{ ‰}$$

V betonu není překročeno přetvoření ε_{c3} ,

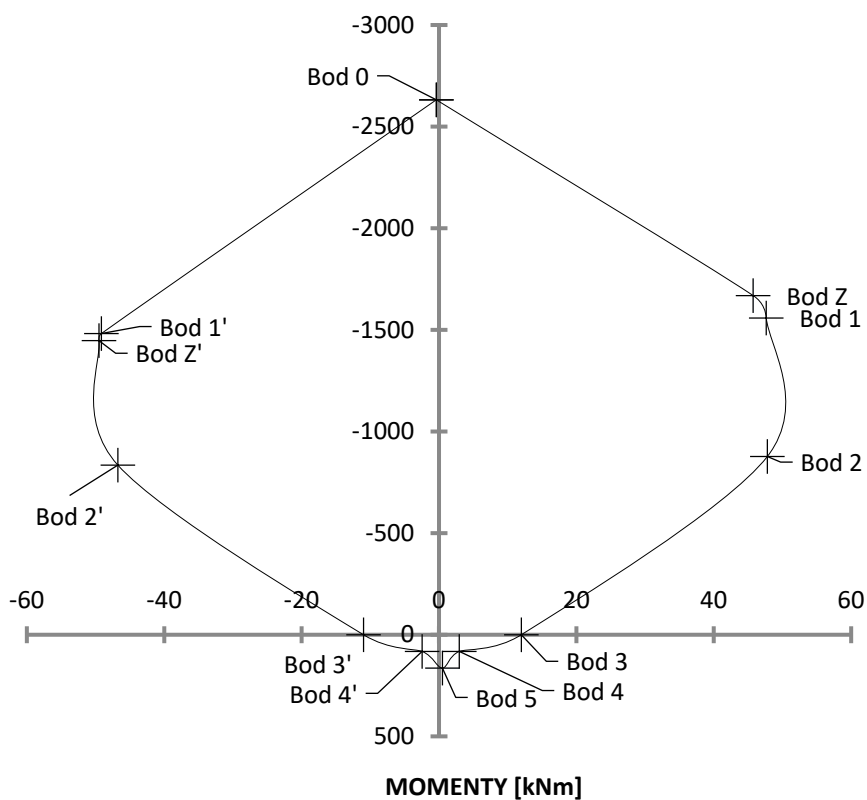
$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s2} \cdot A_{s2} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0001885 = 81,956 \text{ kN}$$

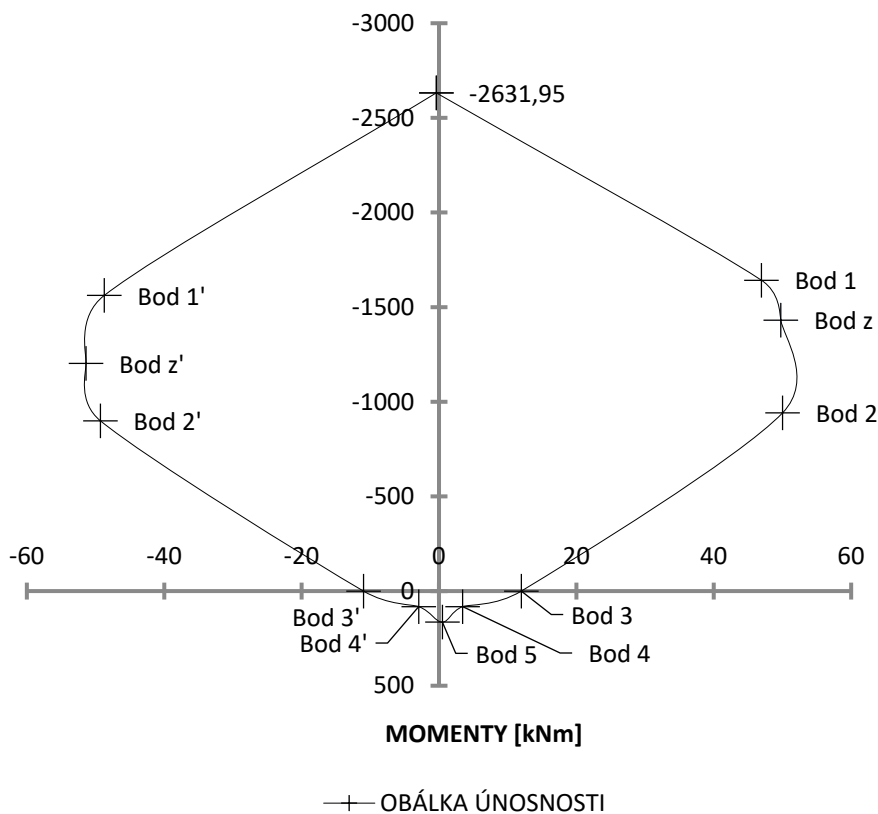
$$N_{Rd} = F_{s2} = \underline{81,956 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= -F_{s2} \cdot z_{s2} = -81,956 \cdot 0,036 = \\ &= \underline{-2,950 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

OBÁLKA ÚNOSNOSTI – RADIÁLNÍ SMĚR (Y)



OBÁLKA ÚNOSNOSTI – TANGENCIÁLNÍ SMĚR (X)



Do interakčních diagramů budou zaneseny pouze body s M_{\max} a N_{\max} a jejich odpovídající hodnoty N a M .

Body zatížení:

MS1: (M_{\max} záporné a odpovídající N pro tangenciální směr – x)

$$M_{xD} += 3,234 \text{ kNm} \rightarrow -3,234 \text{ kNm (tah při horním líci)}$$

$$N_{xD} = -9,494 \text{ kN}$$

MS2: (M_{\max} kladné a odpovídající N pro tangenciální směr – x)

$$M_{xD} -= 2,304 \text{ kNm (tah při spodním líci)}$$

$$N_{xD} = 0,000 \text{ kN}$$

MS3: (N_{\max} kladné a odpovídající M pro tangenciální směr – x)

$$N_{xD} = 6,976 \text{ kN}$$

$$M_{xD} += -1,032 \text{ kNm}$$

$$M_{xD} -= 0,000 \text{ kNm}$$

MS4: (N_{\max} záporné a odpovídající M pro tangenciální směr – x)

$$N_{xD} = -92,411 \text{ kN}$$

$$M_{xD} += -0,019 \text{ kNm}$$

$$M_{xD} -= 0,000 \text{ kNm}$$

MS5: (M_{\max} záporné a odpovídající N pro radiální směr – y)

$$M_{yD} += 6,057 \text{ kNm} \rightarrow -6,057 \text{ kNm (tah při horním líci)}$$

$$N_{yD} = 0,769 \text{ kN}$$

MS6: (M_{\max} kladné a odpovídající N pro radiální směr – y)

$$M_{yD} -= 2,494 \text{ kNm (tah při spodním líci)}$$

$$N_{yD} = -10,905 \text{ kN}$$

MS7: (N_{\max} kladné a odpovídající M pro radiální směr – y)

$$N_{yD} = 3,453 \text{ kN}$$

$$M_{yD} += -2,072 \text{ kNm}$$

$$M_{yD} -= 0,018 \text{ kNm}$$

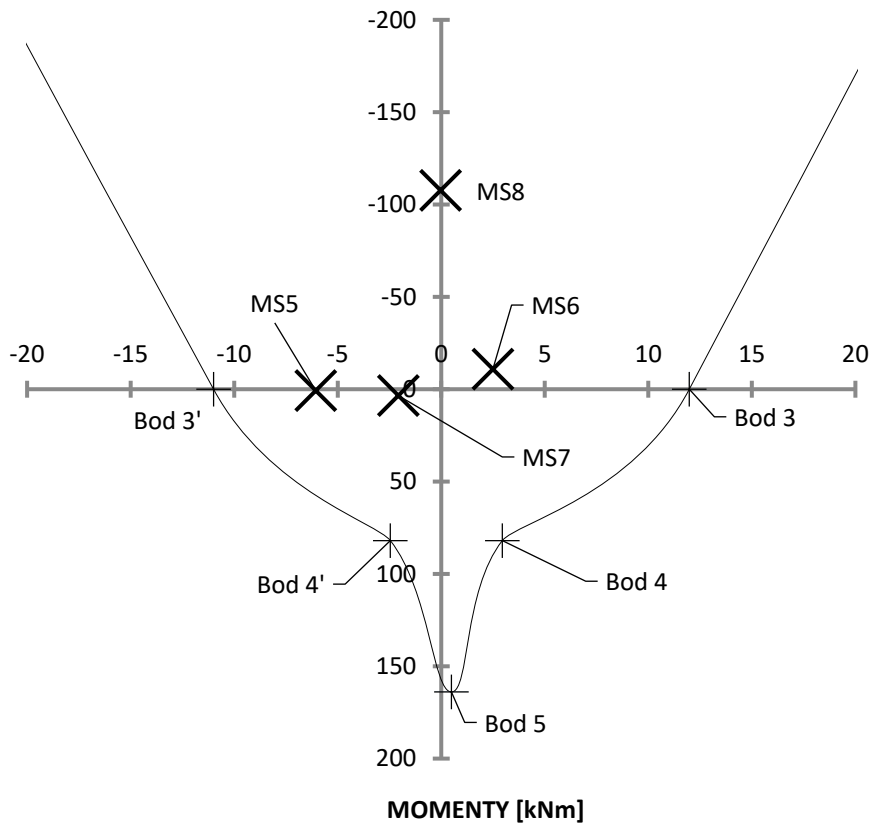
MS8: (N_{\max} záporné a odpovídající M pro radiální směr – y)

$$N_{yD} = -107,647 \text{ kN}$$

$$M_{yD} += -0,029 \text{ kNm}$$

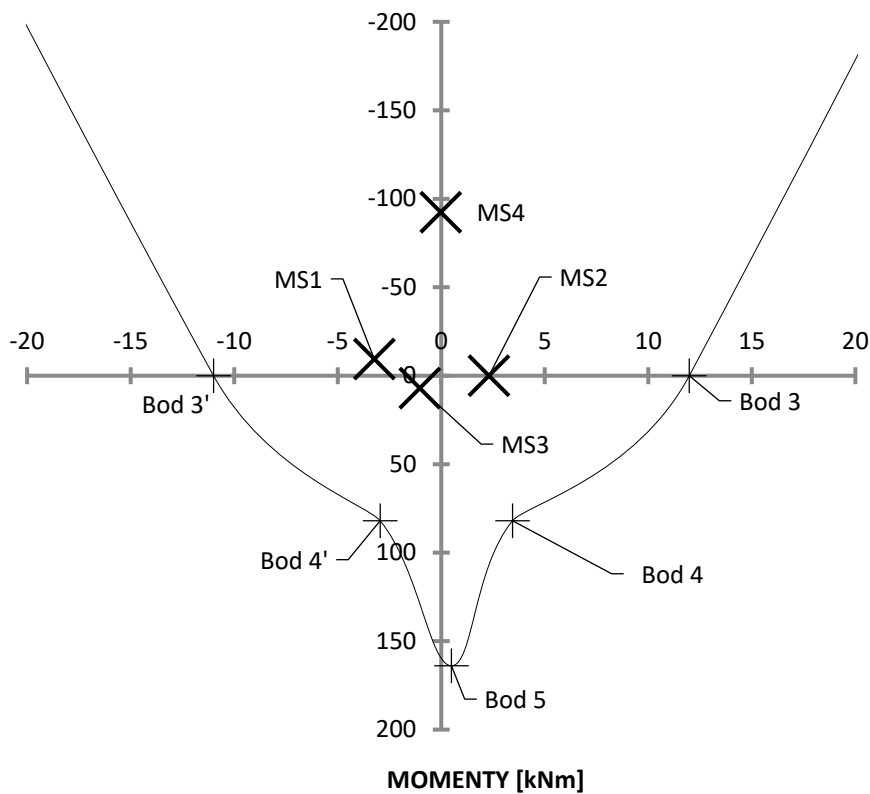
$$M_{yD} -= 0,000 \text{ kNm}$$

OBÁLKA ÚNOSNOSTI – RADIÁLNÍ SMĚR (Y)



—+— OBÁLKA ÚNOSNOSTI

OBÁLKA ÚNOSNOSTI – TANGENCIÁLNÍ SMĚR (X)



—+— OBÁLKA ÚNOSNOSTI

Skořepina na kombinaci ohybu a normálové síly vyhovuje.
Vypsane hodnoty zatížení (M a N) jsou hodnoty průměrované na
řezech, které jsou součástí výsledků.

Posouzení skořepiny na smyk:

Pro bezpečnost bude smyková únosnost vypočtena bez vlivu tlakové normálové síly.

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{111}} = 2,342 \leq \underline{2,0}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{0,0001885}{1,0 \cdot 0,111} = 0,001698 \leq 0,02$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= \left(0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,001698 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right) \cdot 1,0 \cdot 0,111 = \\ &= 0,043135 \text{ MN} = 43,135 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{min} &= 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,495 \text{ MPa} \end{aligned}$$

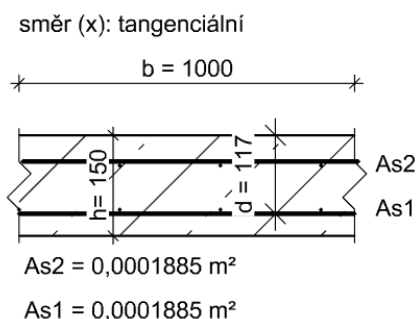
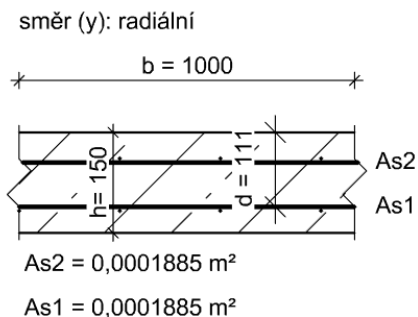
$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = 0,495 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 0,111 = \\ &= \underline{54,945 \text{ kN}} \end{aligned}$$

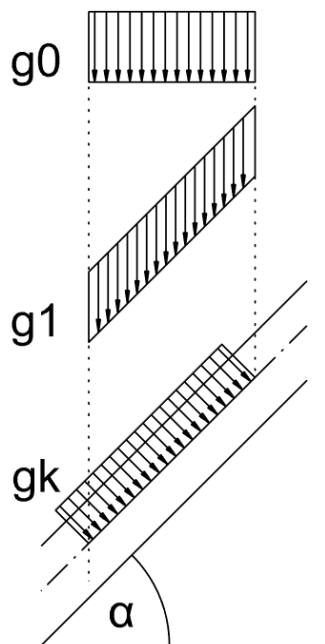
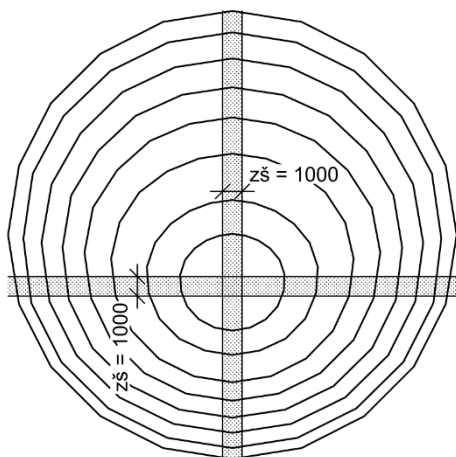
$$V_{x,max} = 3,354 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 54,945 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$V_{y,max} = 9,282 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 54,945 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Konstrukce skořepiny na smyk vyhovuje. Hodnoty posouvajících sil v jednotlivých směrech jsou hodnoty průměrované na řezech.

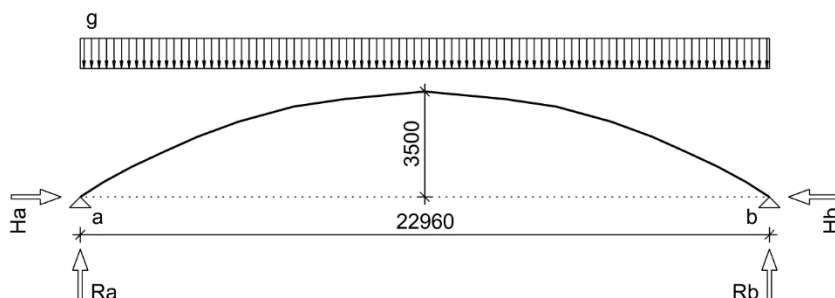
Konstrukce je na mezní stav únosnosti vyhovující.



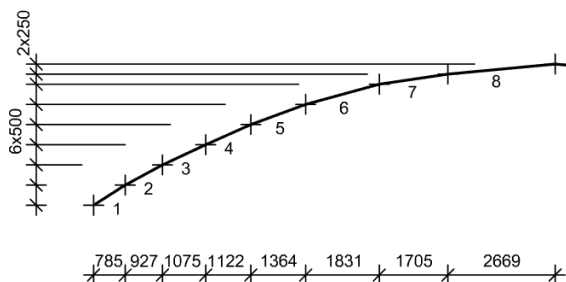


Přibližné ověření vnitřních sil výpočtem:

Pro výpočet bude zanedbán vliv nesymetrického oblouku v jednom směru. Bude uvažován výpočet pro symetrický oblouk v jednom i druhém směru, zatížení tedy bude shodně rozděleno do těchto směrů.



ZS1: vlastní tíha skořepiny



$$\alpha_1 = \arctg(500/785) = 32,495^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctg(500/927) = 28,341^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctg(500/1075) = 24,944^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctg(500/1122) = 24,019^\circ$$

$$\alpha_5 = \arctg(500/1364) = 20,131^\circ$$

$$\alpha_6 = \arctg(500/1831) = 15,274^\circ$$

$$\alpha_7 = \arctg(250/1705) = 8,342^\circ$$

$$\alpha_8 = \arctg(250/2669) = 5,351^\circ$$

$$zš = 1,000 \text{ m}$$

$$g_k = 4,480 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{1.1} = g_k / \cos \alpha_1 = 4,480 / \cos 32,495 = 5,312 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{1.0} = g_{1.1} / \cos \alpha_1 = 5,312 / \cos 32,495 = \underline{6,298 \text{ kN/m}^2}$$

$$g_{2.1} = g_k / \cos \alpha_2 = 4,480 / \cos 28,341 = 5,090 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{2.0} = g_{2.1} / \cos \alpha_2 = 5,090 / \cos 28,341 = \underline{5,783 \text{ kN/m}^2}$$

$$g_{3.1} = g_k / \cos \alpha_3 = 4,480 / \cos 24,944 = 4,941 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{3.0} = g_{3.1} / \cos \alpha_3 = 4,941 / \cos 24,944 = 5,449 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{4.1} = g_k / \cos \alpha_4 = 4,480 / \cos 24,019 = 4,905 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{4.0} = g_{4.1} / \cos \alpha_4 = 4,905 / \cos 24,019 = 5,370 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{5.1} = g_k / \cos \alpha_5 = 4,480 / \cos 20,131 = 4,771 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{5.0} = g_{5.1} / \cos \alpha_5 = 4,771 / \cos 20,131 = 5,082 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{6.1} = g_k / \cos \alpha_6 = 4,480 / \cos 15,274 = 4,644 \text{ kN/m}^2$$

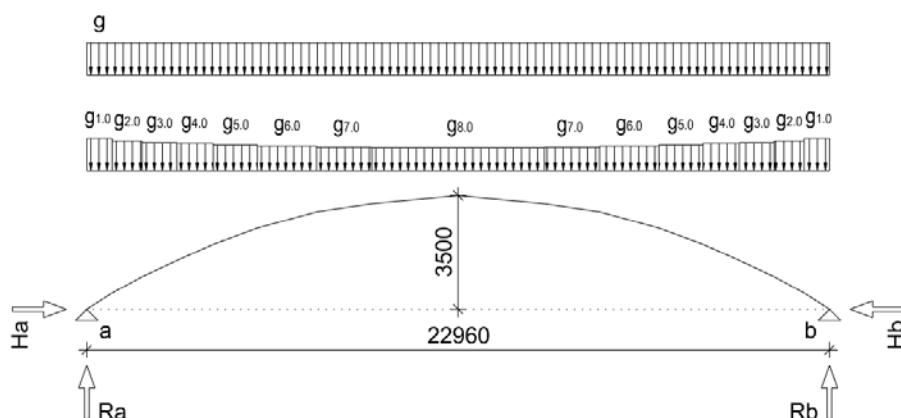
$$g_{6.0} = g_{6.1} / \cos \alpha_6 = 4,644 / \cos 15,274 = 4,814 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{7.1} = g_k / \cos \alpha_7 = 4,480 / \cos 8,342 = 4,528 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{7.0} = g_{7.1} / \cos \alpha_7 = 4,528 / \cos 8,342 = 4,576 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{8.1} = g_k / \cos \alpha_8 = 4,480 / \cos 5,351 = 4,500 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{8.0} = g_{8.1} / \cos \alpha_8 = 4,500 / \cos 5,351 = 4,519 \text{ kN/m}^2$$



$$g = \frac{g_{n.0} \cdot l_n}{l/2} =$$

$$= \frac{6,298 \cdot 0,785 + 5,783 \cdot 0,927 + 5,449 \cdot 1,075 + 5,370 \cdot 1,122 + 5,082 \cdot 1,364 + 4,814 \cdot 1,831 + 4,576 \cdot 1,705 + 4,519 \cdot 2,669}{\frac{22,960}{2}}$$

$$= 5,035 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení, které přenáší jeden směr:

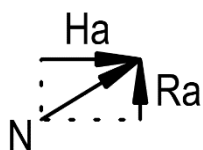
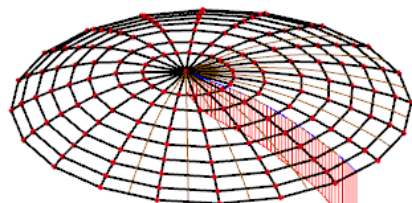
$$g = 1/2 \cdot 5,035 = 2,517 \text{ kN/m}$$

$$R_a = R_b = 1/2 \cdot g \cdot l = 1/2 \cdot 2,517 \cdot 22,960 = 28,898 \text{ kN}$$

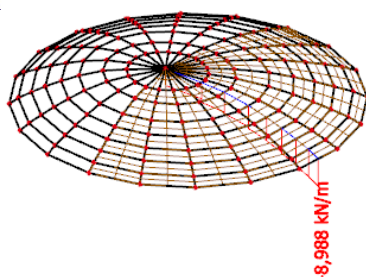
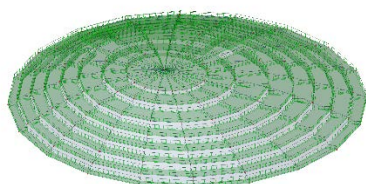
$$M = 1/8 \cdot g \cdot l^2$$

$$f = M/H$$

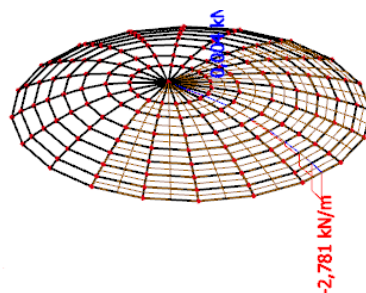
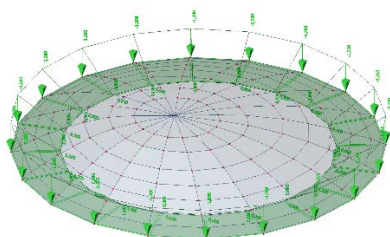
Normálové síly ny:
(radiální směr)



ZS7 – sníh plný:



ZS18 – návěj:



$$H = M/f = g \cdot l^2 / 8 \cdot f = 2,517 \cdot 22,96^2 / 8 \cdot 3,5 = 47,394 \text{ kN}$$

$$H_a = H_b = 47,394 \text{ kN}$$

$$N = \sqrt{H_a^2 + R_a^2} = \sqrt{47,394^2 + 28,898^2} = \underline{55,509 \text{ kN}}$$

V místě uložení oblouku je normálová síla 55,509 kN od vlastní tíhy. Normálové síly vypočtené na modelu programem scia dosahují hodnot 55,012 kN. Výsledky tedy můžeme považovat za věrohodné.

Pro další ověření bude vypočtena Normálová síla kombinace 6.10a (ZS1+ZS7+ZS18)

ZS8: Sníh plný

$$q = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení, které přenáší jeden směr:

$$g = 1/2 \cdot 0,8 = 0,400 \text{ kN/m}$$

$$R_a = R_b = 1/2 \cdot q \cdot l = 1/2 \cdot 0,400 \cdot 22,960 = 4,592 \text{ kN}$$

$$M = 1/8 \cdot g \cdot l^2$$

$$f = M/H$$

$$H = M/f = g \cdot l^2 / 8 \cdot f = 0,400 \cdot 22,96^2 / 8 \cdot 3,5 = 7,531 \text{ kN}$$

$$H_a = H_b = 7,531 \text{ kN}$$

$$N = \sqrt{H_a^2 + R_a^2} = \sqrt{7,531^2 + 4,592^2} = \underline{8,821 \text{ kN}}$$

ZS18: Návěj

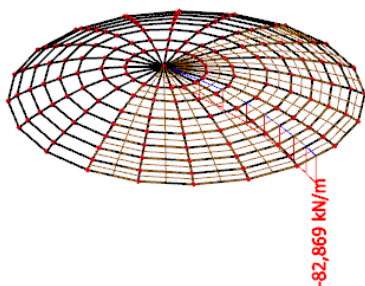
$$q = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$l_s = 3,0 \text{ m}$$

$$R_a = R_b = 1/2 \cdot q \cdot l_s = 1/2 \cdot 1,2 \cdot 3,0 = 1,800 \text{ kN}$$

$$N = \frac{R_a}{\sin \alpha_1} = \frac{1,800}{\sin 32,495} = \underline{3,350 \text{ kN}}$$

Normálová síla
kombinace MSU:



Kombinace 6.10a:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (ZS8 + ZS18) =$$

$$= 1,35 \cdot 55,509 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot (8,821 + 3,350) = 84,065 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = \underline{84,065 \text{ kN}} \text{ (tlak)}$$

V místě uložení oblouku je normálová síla 84,065 kN od kombinace 6.10a. Normálové síly vypočtené na modelu programem scia dosahují hodnot 82,869 kN. Tato normálová síla vychází z generované, obálkové kombinace MSU STR/GEO Souboru B.

Srovnání bylo provedeno z důvodu ověření modelu a kvůli rozdílných hodnot dimenzačních normálových sil, které se pohybují od -112 kN/m do +144 kN/m. Vysoké tahové hodnoty se vyskytují v malých oblastech v uložení, jedná se o chybu modelu. Algoritmy výpočtů dimenzačních veličin nebudou ověřovány.

Mezní stav použitelnosti:

Vnitřní síly na řezech – char. kombinace:

Směr	Bod	veličina	hodnota
Tangenciální (x)	MP1	$M_{xD+ \max}$ [kNm]	2,587
		N_{xD} [kN]	-11,819
	MP2	$M_{xD- \max}$ [kNm]	1,838
		N_{xD} [kN]	0,000
	MP3	$N_{xD \max}$ [kN]	3,415
		M_{xD+} [kNm]	0,822
	MP4	$N_{xD \min}$ [kN]	-71,722
		M_{xD+} [kNm]	0,022
Radiální (y)	MP5	$M_{yD+ \max}$ [kNm]	4,679
		N_{yD} [kN]	0,107
	MP6	$M_{yD- \max}$ [kNm]	1,978
		N_{yD} [kN]	-20,942
	MP7	$N_{yD \max}$ [kN]	1,852
		M_{yD+} [kNm]	1,622
	MP8	$N_{yD \min}$ [kN]	-87,549
		M_{yD-} [kNm]	0,139

Vnitřní síly na řezech – častá. kombinace:

Směr	Bod	veličina	hodnota
Tangenciální (x)	MP1	$M_{xD+ \max}$ [kNm]	1,976
		N_{xD} [kN]	-15,645
	MP2	$M_{xD- \max}$ [kNm]	1,388
		N_{xD} [kN]	-13,554
	MP3	$N_{xD \max}$ [kN]	0,000
		M_{xD+} [kNm]	0,381
	MP4	$N_{xD \min}$ [kN]	-63,112
		M_{xD-} [kNm]	0,293
Radiální (y)	MP5	$M_{yD+ \max}$ [kNm]	3,035
		N_{yD} [kN]	0,000
	MP6	$M_{yD- \max}$ [kNm]	1,463
		N_{yD} [kN]	-45,668
	MP7	$N_{yD \max}$ [kN]	0,560
		M_{yD+} [kNm]	1,125
	MP8	$N_{yD \min}$ [kN]	-73,294
		M_{yD-} [kNm]	0,367

Vnitřní síly na řezech – kvazistálá. Kombinace (pouze vl. tíha):

Směr	Bod	veličina	hodnota
Tangenciální (x)	MP1	$M_{xD+ \max}$ [kNm]	1,840
		N_{xD} [kN]	-16,444
	MP2	$M_{xD- \max}$ [kNm]	1,286
		N_{xD} [kN]	-14,306
	MP3	$N_{xD \max}$ [kN]	0,000
		M_{xD+} [kNm]	1,317
	MP4	$N_{xD \min}$ [kN]	-60,580
		M_{xD-} [kNm]	0,347
Radiální (y)	MP5	$M_{yD+ \max}$ [kNm]	2,727
		N_{yD} [kN]	0,000
	MP6	$M_{yD- \max}$ [kNm]	1,343
		N_{yD} [kN]	-47,468
	MP7	$N_{yD \max}$ [kN]	0,356
		M_{yD+} [kNm]	1,037
	MP8	$N_{yD \min}$ [kN]	-69,766
		M_{yD-} [kNm]	0,401

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu – radiální směr (y):

Pracovní součinitel:

$$\alpha = E_s / E_{cm} = 200 / 31 = 6,4516$$

Moment setrvačnosti betonového průřezu:

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,000 \cdot 0,15^3 = 0,00028125 \text{ m}^4$$

Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 1,0 \cdot 0,15 = 0,15 \text{ m}^2$$

Plocha výztuže: 2 řady $\varnothing 6/150 \text{ mm}$

$$A_s = 2 \cdot 0,0001885 = 0,000377 \text{ m}^2$$

Plocha ideálního průřezu:

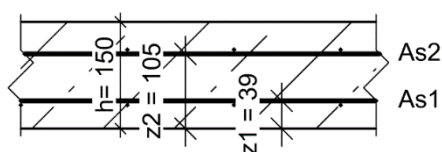
$$A_i = A_c + A_s \cdot \alpha = 0,15 + 0,000377 \cdot 6,4516 = 0,152 \text{ m}^2$$

Těžiště betonového průřezu:

$$T_c = 1/2 \cdot h = 0,5 \cdot 0,15 = 0,075 \text{ m}$$

směr (y): radiální

$b = 1000$



Těžiště ideálního průřezu:

$$T_i = \frac{A_c \cdot z_c + (A_{s1} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot z_2) \cdot \alpha}{A_c + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \alpha} =$$

$$\frac{0,15 \cdot 0,075 + (0,0001885 \cdot 0,039 + 0,0001885 \cdot 0,105) \cdot 6,4516}{0,15 + 2 \cdot 0,0001885 \cdot 6,4516} =$$

$$= 0,07495 \text{ m}$$

Vzdálenost těžišť betonového a ideálního průřezu:

$$t_c = T_c - T_i = 0,075 - 0,0749 = 0,000048 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu ke spodní výztuži:

$$t_{s1} = T_i - z_1 = 0,07495 - 0,039 = 0,036 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu k vrchní výztuži:

$$t_{s2} = z_2 - T_i = 0,105 - 0,07495 = 0,030 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_{ci} = I_c + A_c \cdot t_c^2 + \alpha \cdot A_{s1} \cdot t_{s1}^2 + \alpha \cdot A_{s2} \cdot t_{s2}^2 =$$

$$0,00028125 + 0,15 \cdot 0,000048^2 + 6,4516 \cdot 0,0001885 \cdot$$

$$\cdot (0,036^2 + 0,03005^2) = 0,0002839 \text{ m}^4$$

Tuhost plně působícího průřezu:

$$B = I_{ci} \cdot E_{cm} = 0,0002839 \cdot 31 \cdot 10^6 = 8\,800,900 \text{ kNm}^2$$

Průřezový modul ideálního průřezu ke spodním vláknům:

$$W_d = \frac{I_{ci}}{T_i} = \frac{0,0002839}{0,07495} = 0,003788 \text{ m}^3$$

Průřezový modul ideálního průřezu k horním vláknům:

$$W_h = \frac{I_{ci}}{h - T_i} = \frac{0,0002839}{0,150 - 0,07495} = 0,003783 \text{ m}^3$$

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu – tangenciální směr (x):

Pracovní součinitel:

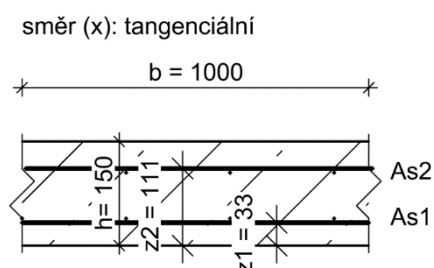
$$\alpha = E_s / E_{cm} = 200 / 31 = 6,4516$$

Moment setrvačnosti betonového průřezu:

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,000 \cdot 0,15^3 = 0,00028125 \text{ m}^4$$

Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 1,0 \cdot 0,15 = 0,15 \text{ m}^2$$



Plocha výztuže: 2 řady $\varnothing 6/150 \text{ mm}$

$$A_s = 2 \cdot 0,0001885 = 0,000377 \text{ m}^2$$

Plocha ideálního průřezu:

$$A_i = A_c + A_s \cdot \alpha = 0,15 + 0,000377 \cdot 6,4516 = 0,152 \text{ m}^2$$

Těžiště betonového průřezu:

$$T_c = 1/2 \cdot h = 0,5 \cdot 0,15 = 0,075 \text{ m}$$

Těžiště ideálního průřezu:

$$T_i = \frac{A_c \cdot z_c + (A_{s1} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot z_2) \cdot \alpha}{A_c + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \alpha} =$$

$$\frac{0,15 \cdot 0,075 + (0,0001885 \cdot 0,033 + 0,0001885 \cdot 0,111) \cdot 6,4516}{0,15 + 2 \cdot 0,0001885 \cdot 6,4516} =$$

$$= 0,07495 \text{ m}$$

Vzdálenost těžišť betonového a ideálního průřezu:

$$t_c = T_c - T_i = 0,075 - 0,0749 = 0,000048 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu ke spodní výztuži:

$$t_{s1} = T_i - z_1 = 0,07495 - 0,033 = 0,042 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu k vrchní výztuži:

$$t_{s2} = z_2 - T_i = 0,111 - 0,07495 = 0,036 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_{ci} = I_c + A_c \cdot t_c^2 + \alpha \cdot A_{s1} \cdot t_{s1}^2 + \alpha \cdot A_{s2} \cdot t_{s2}^2 =$$

$$0,00028125 + 0,15 \cdot 0,000048^2 + 6,4516 \cdot 0,0001885 \cdot$$

$$\cdot (0,042^2 + 0,036^2) = 0,0002849 \text{ m}^4$$

Tuhost plně působícího průřezu:

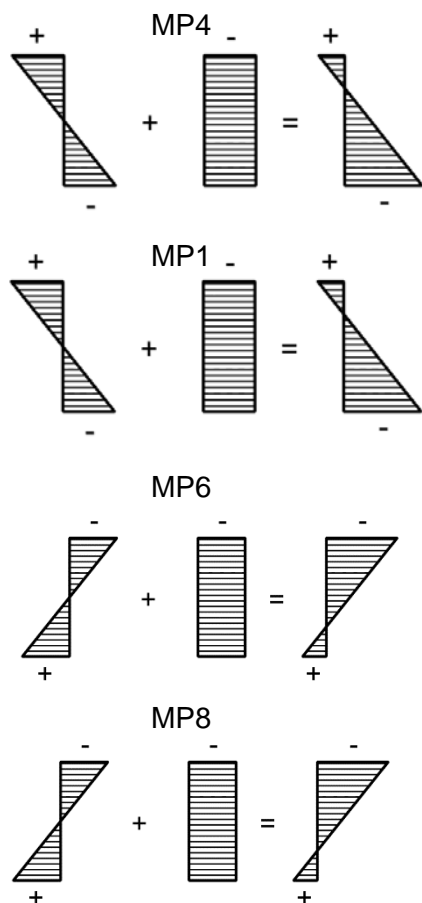
$$B = I_{ci} \cdot E_{cm} = 0,0002849 \cdot 31 \cdot 10^6 = 8\,831,900 \text{ kNm}^2$$

Průřezový modul ideálního průřezu ke spodním vláknům:

$$W_d = \frac{I_{ci}}{T_i} = \frac{0,0002849}{0,07495} = 0,003801 \text{ m}^3$$

Průřezový modul ideálního průřezu k horním vláknům:

$$W_h = \frac{I_{ci}}{h - T_i} = \frac{0,0002849}{0,150 - 0,07495} = 0,003796 \text{ m}^3$$



Mezní stav omezení napětí:

*Tlakové napětí v betonu: (omezení podélných trhlin)
[charakteristická kombinace]*

Tangenciální směr (x):

$$|\sigma_c| < k_1 \cdot f_{ck}(t)$$

$$\begin{aligned} MP4: \sigma_d &= -\frac{N_{xD,min}}{A} - \frac{M_{xD+,odp}}{W_d} = -\frac{71,722}{0,152} - \frac{0,022}{0,003801} = \\ &= -477,643 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$k_1 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 10\,500 \text{ kPa}$$

489,964 kPa < 10 500 kPa ... **vyhovuje**

$$MP1: \sigma_d = -\frac{N_{xD,odp}}{A} - \frac{M_{xD+,max}}{W_d} = -\frac{11,819}{0,152} - \frac{2,587}{0,003801} =$$

$$\sigma_h = -758,367 \text{ kPa}$$

758,367 kPa < 10 500 kPa ... **vyhovuje**

Radiální směr (y):

$$MP6: \sigma_h = -\frac{N_{yD,odp}}{A} - \frac{M_{yD-,max}}{W_h} = -\frac{20,942}{0,152} - \frac{1,978}{0,003783} =$$

$$= -660,641 \text{ kPa}$$

660,641 < 10 500 kPa ... **vyhovuje**

$$MP8: \sigma_h = -\frac{N_{yD,max}}{A} - \frac{M_{yD-,odp}}{W_h} = -\frac{87,549}{0,152} - \frac{0,139}{0,003783} =$$

$$= -612,723 \text{ kPa}$$

612,723 < 10 500 kPa ... **vyhovuje**

*Tlakové napětí v betonu: (lineární dotvarování betonu)
[charakteristická kombinace]*

Tangenciální směr (x):

$$|\sigma_c| < k_2 \cdot f_{ck}$$

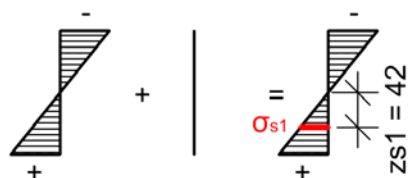
$$k_2 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 25 \cdot 10^3 = 11\,250 \text{ kPa}$$

758,367 kPa < 11 250 kPa ... **vyhovuje**

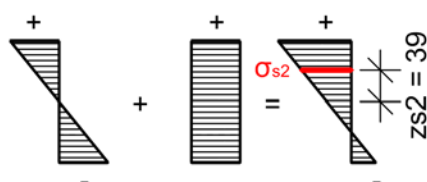
Radiální směr (y):

660,641 kPa < 11 250 kPa ... **vyhovuje**

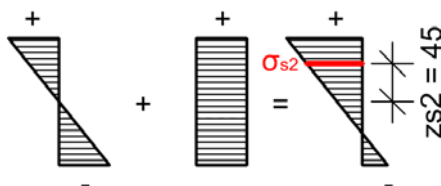
MP2:



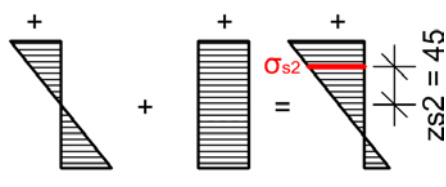
MP3:



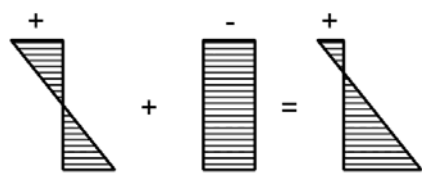
MP5:



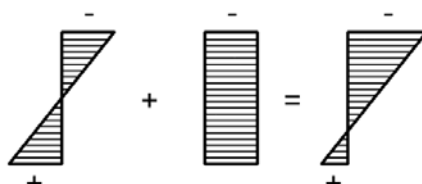
MP7:



MP1



MP2



Tahové napětí ve výztuži: [charakteristická kombinace]

Tangenciální směr (x):

$$\sigma_s < k_3 \cdot f_{yk}$$

$$MP2: \sigma_{s1} = \left(+ \frac{N_{xD,odp}}{A} + \frac{M_{xD-,max}}{I_{ci}} \cdot z_{s1} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{0,000}{0,152} + \frac{1,838}{0,0002849} \cdot 0,042 \right) \cdot 6,4516 = 1\,748 \text{ kPa}$$

$$k_3 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 \cdot 10^3 = 400\,000 \text{ kPa}$$

$$1\,748 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$MP3: \sigma_{s2} = \left(+ \frac{N_{xD,max}}{A} + \frac{M_{xD,odp}}{I_{ci}} \cdot z_{s2} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{3,415}{0,152} + \frac{0,822}{0,0002849} \cdot 0,039 \right) \cdot 6,4516 = 870 \text{ kPa}$$

$$870 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Radiální směr (y):

$$MP5: \sigma_{s2} = \left(+ \frac{N_{yD,odp}}{A} + \frac{M_{yD+,max}}{I_{ci}} \cdot z_{s2} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{0,107}{0,152} + \frac{4,679}{0,0002839} \cdot 0,045 \right) \cdot 6,4516 = 4\,789 \text{ kPa}$$

$$4\,789 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$MP7: \sigma_{s2} = \left(+ \frac{N_{yD,max}}{A} + \frac{M_{yD+}}{I_{ci}} \cdot z_{s2} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{1,852}{0,07985} + \frac{1,622}{0,0002839} \cdot 0,045 \right) \cdot 6,4516 = 1\,808 \text{ kPa}$$

$$1\,808 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Mezní stav vzniku trhlin t_0 :

Tahové napětí v betonu: [kvazistálá kombinace]

$$t_0 = 70\% \text{ pevnost} \rightarrow 8 \text{ dní}$$

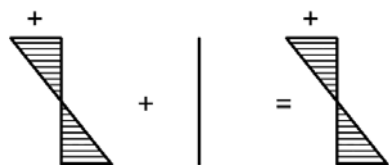
Tangenciální směr (x):

$$\sigma_c < f_{ctm}(t)$$

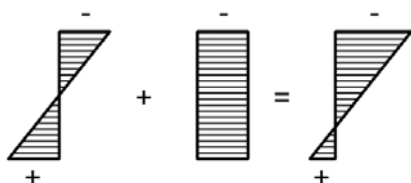
$$MP1: \sigma_h = \frac{M_{xD+}}{W_h} - \frac{N_{xD,odp}}{A_i} = \frac{1,840}{0,003796} - \frac{16,444}{0,152} = 376,536 \text{ kPa}$$

$$MP2: \sigma_d = \frac{M_{xD-}}{W_d} - \frac{N_{xD,odp}}{A_i} = \frac{1,286}{0,003801} - \frac{14,306}{0,152} = 244,213 \text{ kPa}$$

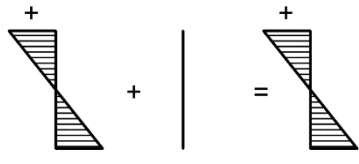
MP3



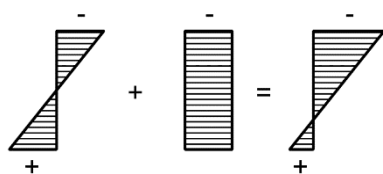
MP4



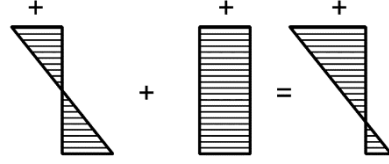
MP5



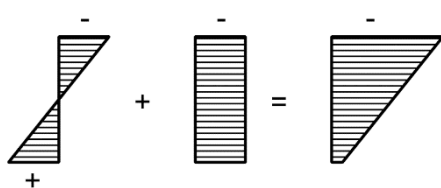
MP6



MP7



MP8



$$MP3: \sigma_h = \frac{M_{xD+;odp}}{W_h} = \frac{1,317}{0,003796} = 346,944 \text{ kPa}$$

$$MP4: \sigma_d = \frac{M_{xD-;odp}}{W_d} - \frac{N_{xD}}{A_i} = \frac{0,347}{0,003801} - \frac{60,580}{0,152} = -307,260 \text{ kPa}$$

$$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm}(t) = 2,6 \cdot 0,7 = 1,82 \text{ MPa} > MP1, MP2, MP3, MP4$$

Radiální směr (y):

$$MP5: \sigma_h = \frac{M_{yD+}}{W_h} = \frac{2,727}{0,003783} = 720,856 \text{ kPa}$$

$$MP6: \sigma_d = \frac{M_{yD-}}{W_d} - \frac{N_{yD;odp}}{A_i} = \frac{1,343}{0,003788} - \frac{47,468}{0,152} = 42,251 \text{ kPa}$$

$$MP7: \sigma_h = \frac{M_{yD+;odp}}{W_h} + \frac{N_{yD}}{A_i} = \frac{1,037}{0,003783} + \frac{0,356}{0,152} = 276,463 \text{ kPa}$$

$$MP8: \sigma_d = \frac{M_{yD-;odp}}{W_d} - \frac{N_{yD}}{A_i} = \frac{0,401}{0,003788} - \frac{69,766}{0,152} = -353,126 \text{ kPa}$$

$$f_{ctm}(t) = 2,6 \cdot 0,7 = 1,82 \text{ MPa} > MP5, MP6, MP7, MP8$$

Ve skořepině nevzniknou žádné trhliny od kvazistálé kombinace.

Tahové napětí v betonu: [častá kombinace]

$$t_0 = 70\% \text{ pevnost} \rightarrow 8 \text{ dní}$$

Tangenciální směr (x):

$$\sigma_c < f_{ctm}(t)$$

$$MP1: \sigma_h = \frac{M_{xD+}}{W_h} - \frac{N_{xD;odp}}{A_i} = \frac{1,976}{0,003796} - \frac{15,645}{0,152} = 417,620 \text{ kPa}$$

$$MP2: \sigma_d = \frac{M_{xD-}}{W_d} - \frac{N_{xD;odp}}{A_i} = \frac{1,388}{0,003801} - \frac{13,554}{0,152} = 275,996 \text{ kPa}$$

$$MP3: \sigma_h = \frac{M_{xD+;odp}}{W_h} = \frac{0,381}{0,003796} = 100,368 \text{ kPa}$$

$$MP4: \sigma_d = \frac{M_{xD-;odp}}{W_d} - \frac{N_{xD}}{A_i} = \frac{0,293}{0,003801} - \frac{63,112}{0,152} = -338,125 \text{ kPa}$$

Radiální směr (y):

$$MP5: \sigma_h = \frac{M_{yD+}}{W_h} = \frac{3,035}{0,003783} = 802,273 \text{ kPa}$$

$$MP6: \sigma_d = \frac{M_{yD-}}{W_d} - \frac{N_{yD;odp}}{A_i} = \frac{1,463}{0,003788} - \frac{45,668}{0,152} = 85,772 \text{ kPa}$$

$$MP7: \sigma_h = \frac{M_{yD+;odp}}{W_h} + \frac{N_{yD}}{A_i} = \frac{1,125}{0,003783} + \frac{0,560}{0,152} = 301,067 \text{ kPa}$$

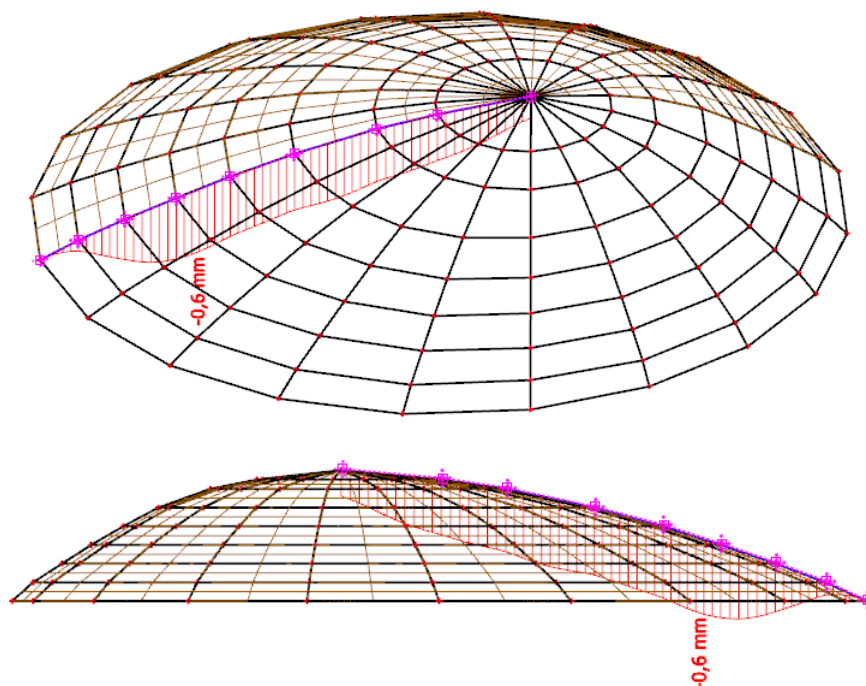
$$MP8: \sigma_d = \frac{M_{yD-;odp}}{W_d} - \frac{N_{yD}}{A_i} = \frac{0,367}{0,003788} - \frac{73,294}{0,152} = -385,312 \text{ kPa}$$

$$f_{ctm}(t) = 2,6 \cdot 0,7 = 1,82 \text{ MPa} > MP5, MP6, MP7, MP8$$

Ve skořepině nevzniknou žádné trhliny od časté kombinace.

Mezní stav přetvoření v okamžiku dokončení:

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0,3} \cdot E_{cm} = (0,7/1)^{0,3} \cdot 31 = 27,854 \text{ GPa}$$



K maximálnímu průhybu dochází v oblasti nízkého sklonu klenby v nesymetrickém řezu. Průhyb 0,6 mm je vyhovující.

Mezní stav přetvoření celkový:

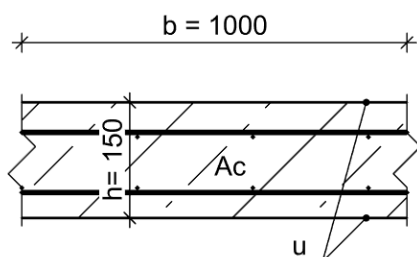
Použit cement třídy CEM 32,5 N → třída S

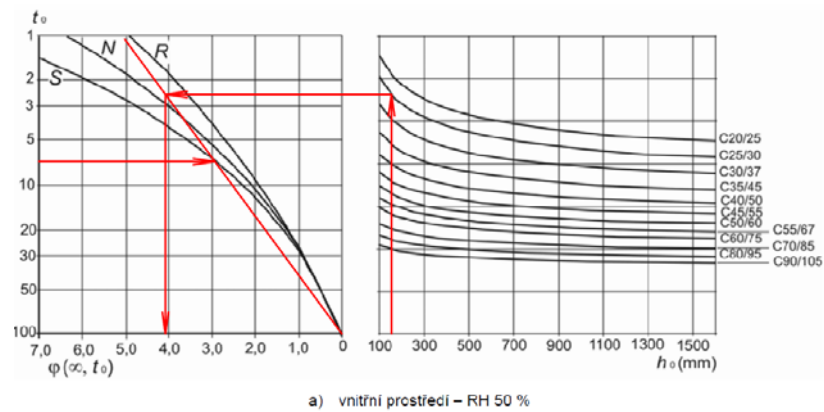
Stáří betonu v okamžiku zatížení (odstranění bednění):

$$t_0 = 8 \text{ dní}$$

Náhradní rozměr průřezu:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,15}{2} = 0,15 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$



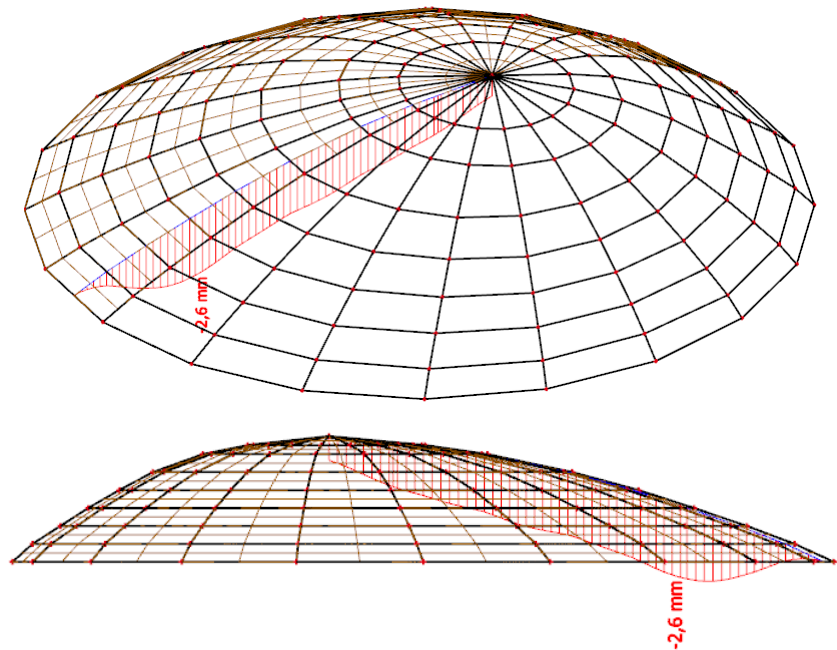


Součinitel dotvarování:

$$\varphi(t_{\infty}; t_0) = 4,1$$

Efektivní modul pružnosti:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t_{\infty}; t_0)} = \frac{31}{1 + 4,1} = 6,078 \text{ GPa}$$



Ruční přepočet průhybu:

$$E_{cm}(t) = 27,854 \text{ GPa}$$

$$E_{c,eff} = 6,078 \text{ GPa}$$

$$u_{počáteční} = 0,6 \text{ mm}$$

$$\frac{u_{celkové}}{u_{počáteční}} = \frac{E_{cm}(t)}{E_{c,eff}}$$

$$\frac{u_{celkové}}{0,6} = \frac{27,854}{6,078} \rightarrow u_{celkové} = 0,6 \cdot \frac{27,854}{6,078} = 2,7 \text{ mm} \approx 2,6 \text{ mm}$$

Kotevní délky – kotvení radiální výztuže do podpor (směr y):

$$F_c = F_s$$

$$\pi \cdot d \cdot l_{b,rqd} \cdot f_{bd} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot f_{yd}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{d}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ct;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{6}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 241,54 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 241,54 =$$

$$l_{bd} = \underline{250 \text{ mm}}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,6 \cdot l_{b,rqd}; 10\emptyset; 100 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{0,6 \cdot 241,54; 10 \cdot 6; 100 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{\underline{144,92 \text{ mm}}; 60 \text{ mm}; 100 \text{ mm}\}$$

Veškerá výztuž bude zavedena do podpor.

Kotevní délky – stykování tangenciální výztuže přesahem (směr x):

$$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5} = (100/25)^{0,5} = 2,0 \rightarrow \underline{1,5}$$

$$l_{0d} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 241,54 =$$

$$l_{0d} = 362,31 \text{ mm} \rightarrow \underline{500 \text{ mm}}$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\emptyset; 200 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{0,3 \cdot 1,42 \cdot 241,54; 15 \cdot 6; 200 \text{ mm}\} =$$

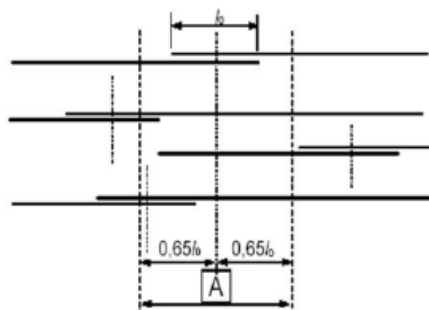
$$= \max\{102,89 \text{ mm}; 90 \text{ mm}; \underline{200 \text{ mm}}\}$$

$$\text{Vzdálenost středů přesahu: } 1,3 \cdot l_{0d} = 1,3 \cdot 362,31 = 471 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\rightarrow \underline{500 \text{ mm}}$$

Bude stykováno 100 % výztuže.

Pro krytí spodní výztuže budou použity liniové betonové distančníky W-BET pro krytí výztuže 30 mm. Pro zajištění horní výztuže budou použity ocelové distančníky UTH 06 výšky 60 mm.



Kotevní délky – stykování radiální výztuže přesahem (směr y):

$$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5} = (100/25)^{0,5} = 2,0 \rightarrow \underline{1,5}$$

$$l_{0d} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 241,54 =$$

$$l_{0d} = 362,31 \text{ mm} \rightarrow \underline{500 \text{ mm}}$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{0,3 \cdot 1,42 \cdot 241,54; 15 \cdot 6; 200 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{102,89 \text{ mm}; 90 \text{ mm}; \underline{200 \text{ mm}}\}$$

$$\text{Vzdálenost středů přesahu: } 1,3 \cdot l_{0d} = 1,3 \cdot 362,31 = 471 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\rightarrow \underline{500 \text{ mm}}$$

Vrchol skořepiny bude vyztužen kari výztuží KD 35 (5/100/100)

$$A_s = \pi \cdot \frac{0,005^2}{4} \cdot \frac{1000}{100} = 1,963 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 1,521 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s = 1,963 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$l_{b,rqd} = \frac{5}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 201,287 \text{ mm}$$

$$l_{0d} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 201,287$$

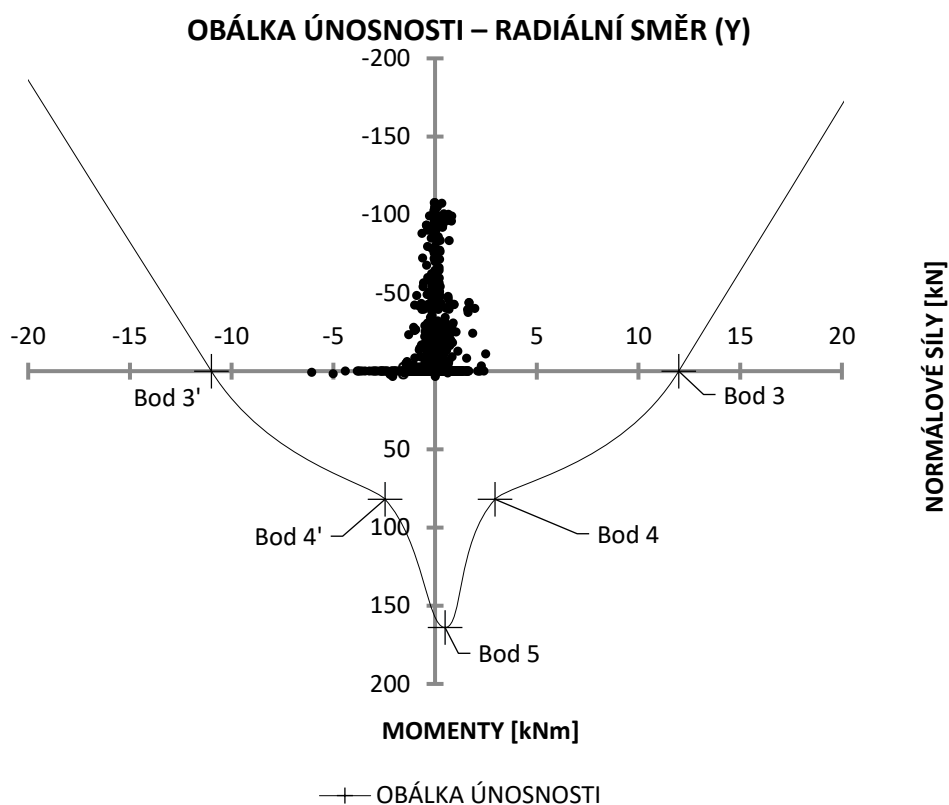
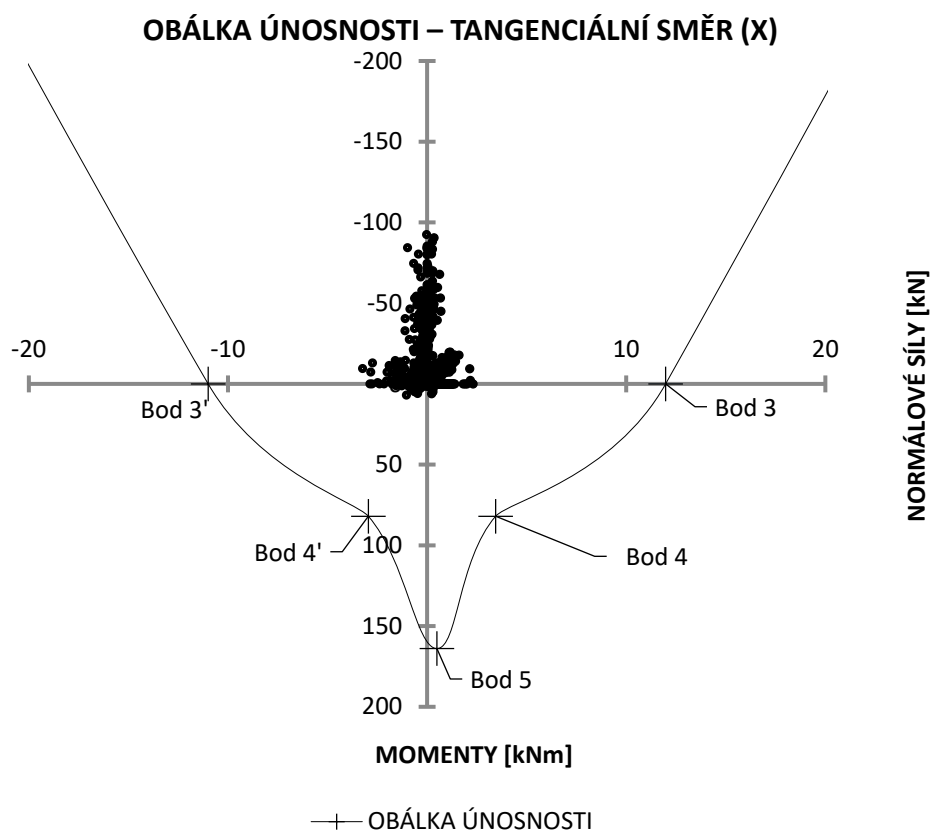
$$= 402,574 \text{ mm} \rightarrow \underline{450 \text{ mm}}$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\} =$$

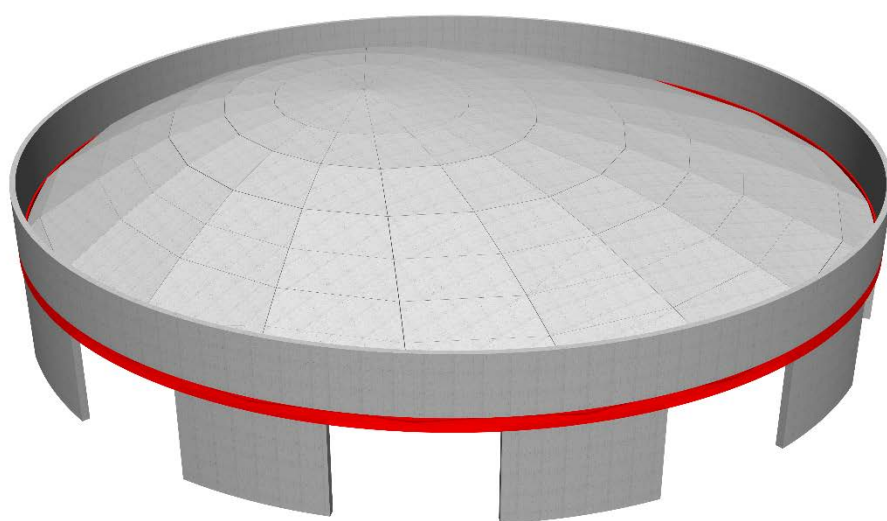
$$= \max\{0,3 \cdot 2,0 \cdot 201,287; 15 \cdot 4; 200 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{120,772 \text{ mm}; 60 \text{ mm}; \underline{200 \text{ mm}}\}$$

**Doplnění interakčních diagramů o všechny body na řezech –
průměrované hodnoty:**



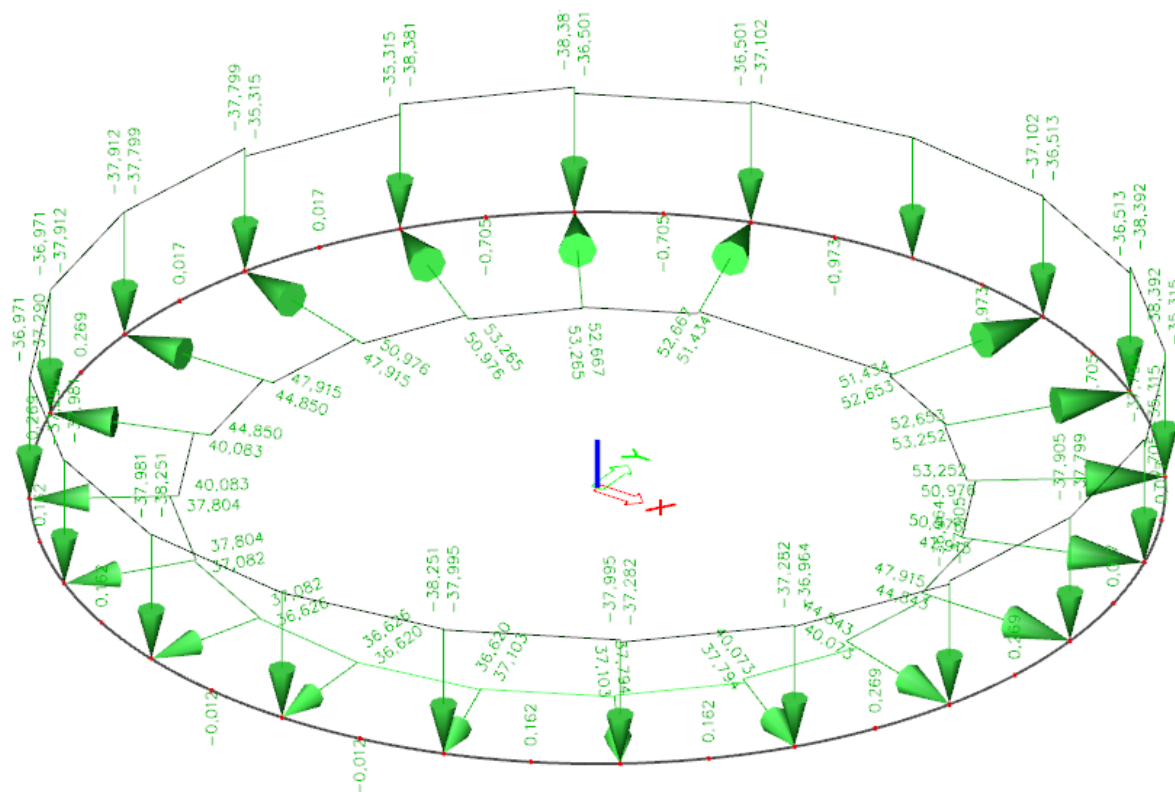
Prstenec



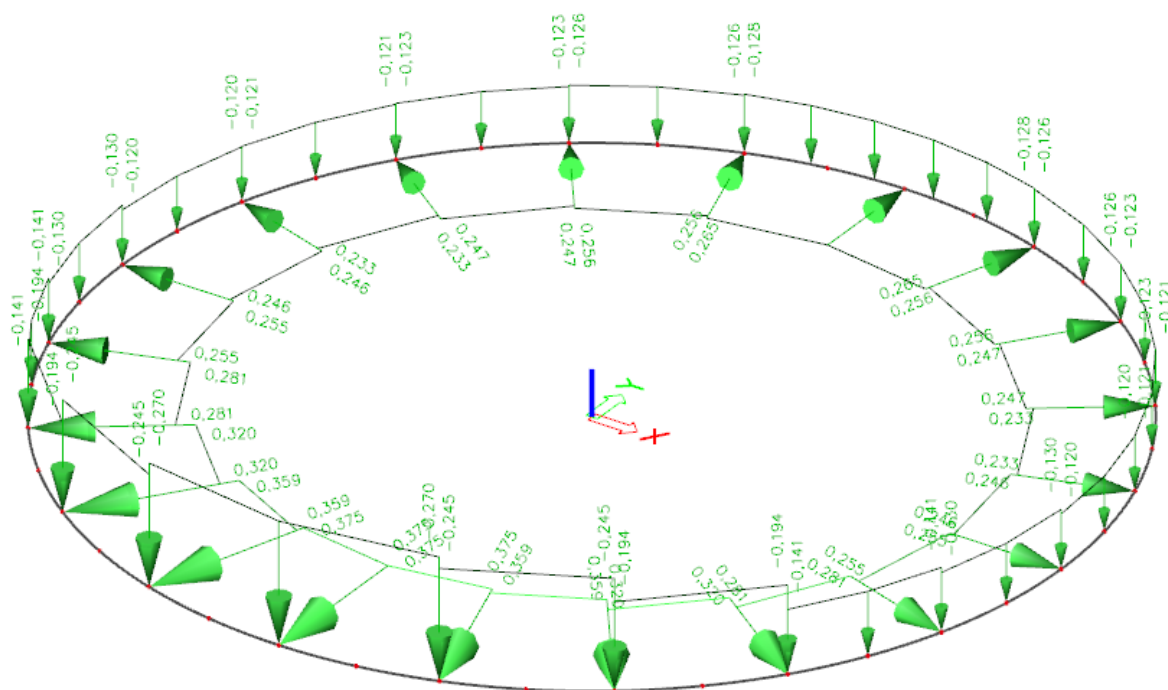
Prstenec

Zatěžovací stavy

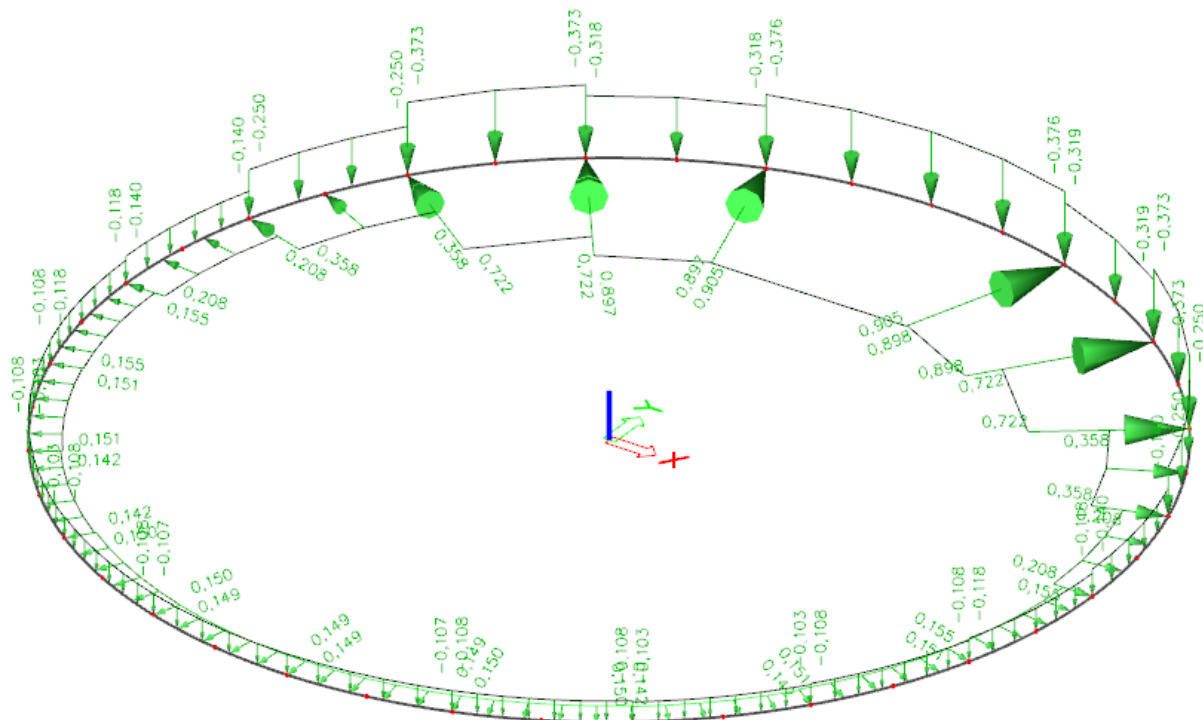
ZS1 – Skořepina [kN/m]



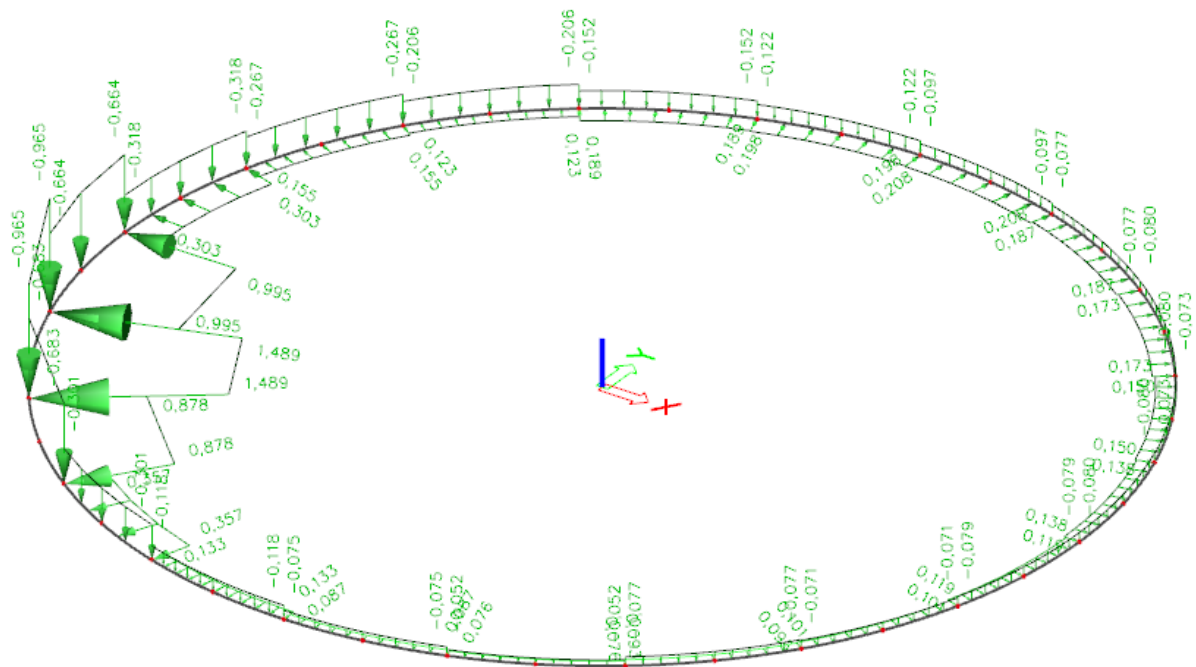
ZS2 – Užité zatížení I [kN/m]



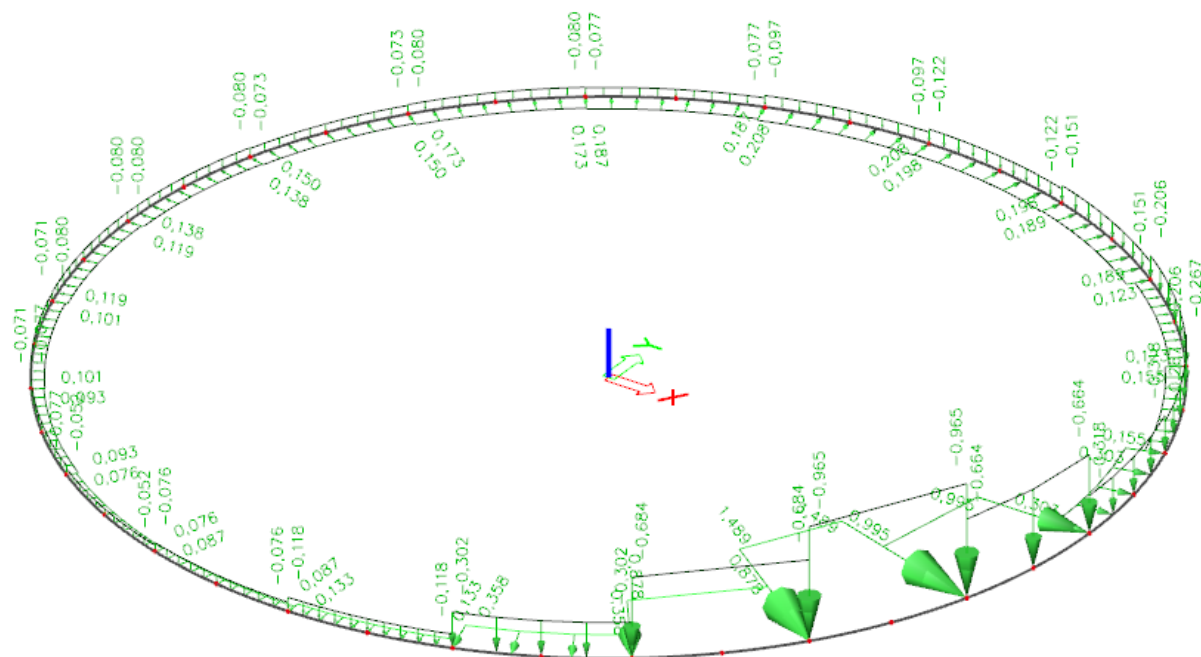
ZS3 – Užité zatížení II [kN/m]



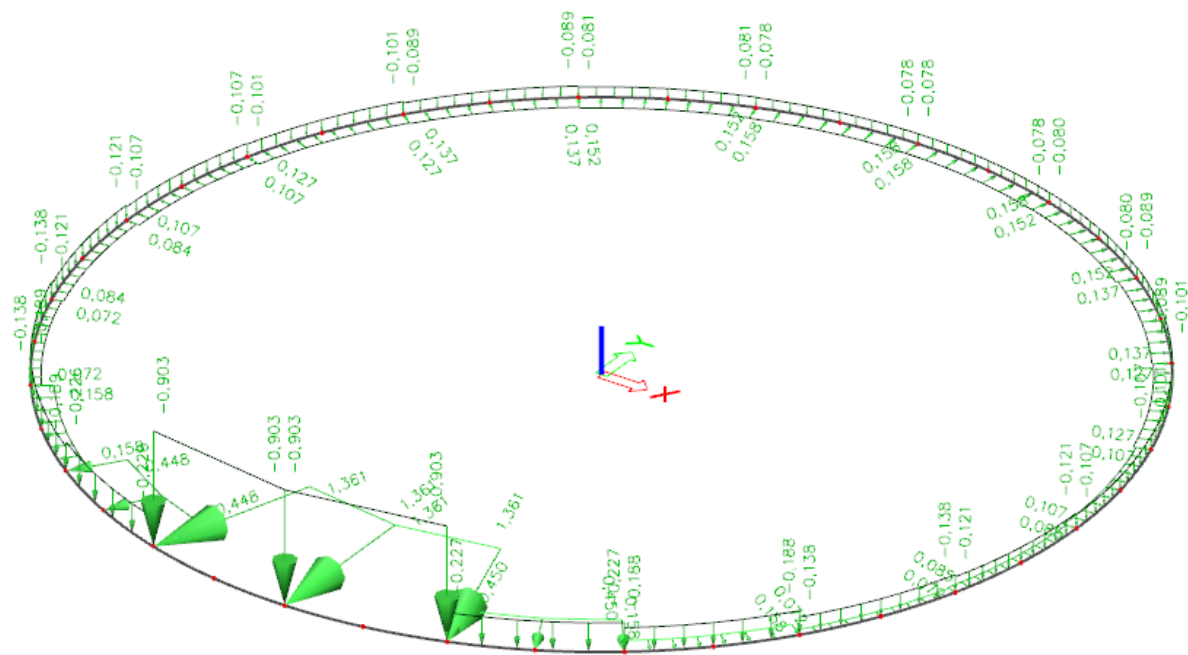
ZS4 – Užité zatížení III [kN/m]



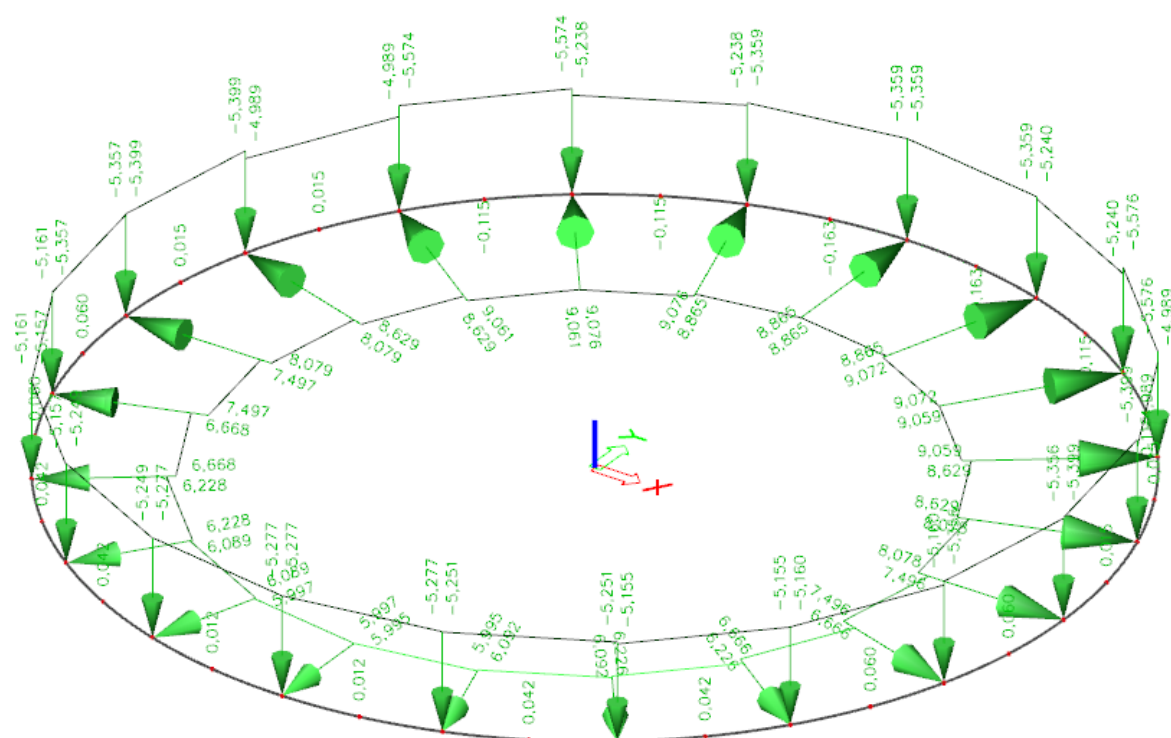
ZS5 – Užité zatížení IV [kN/m]



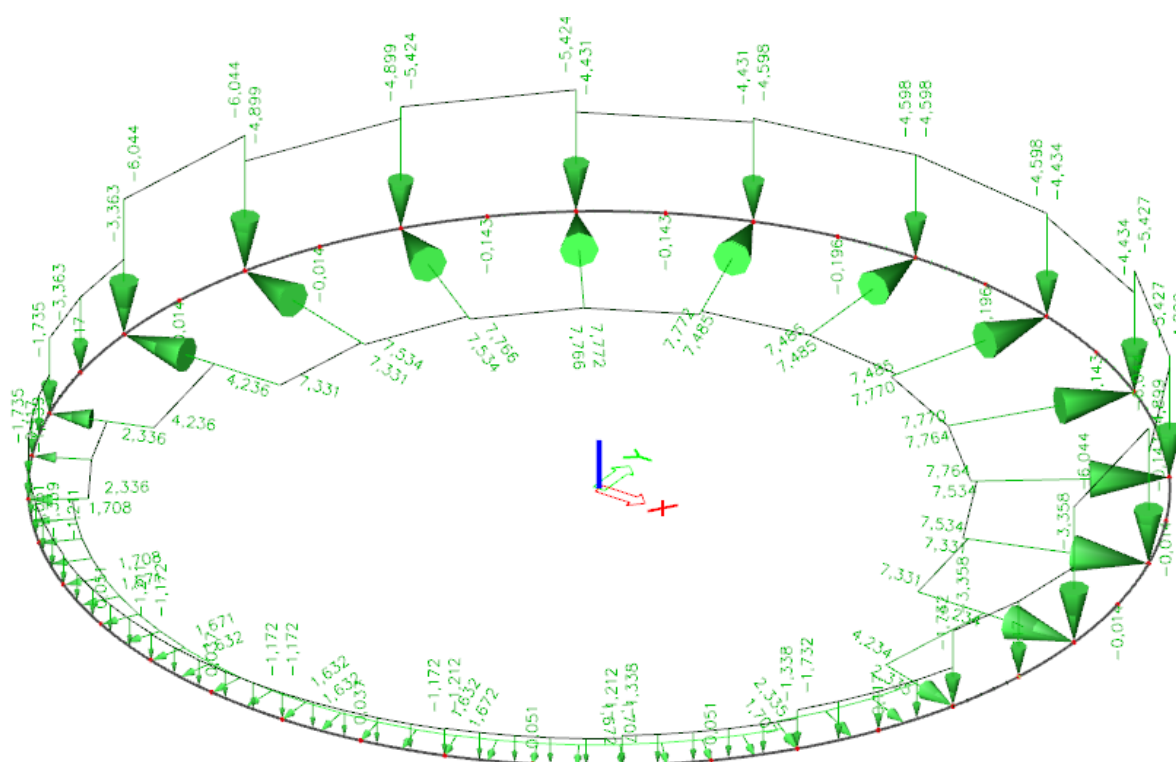
ZS6 – Užité zatížení V [kN/m]



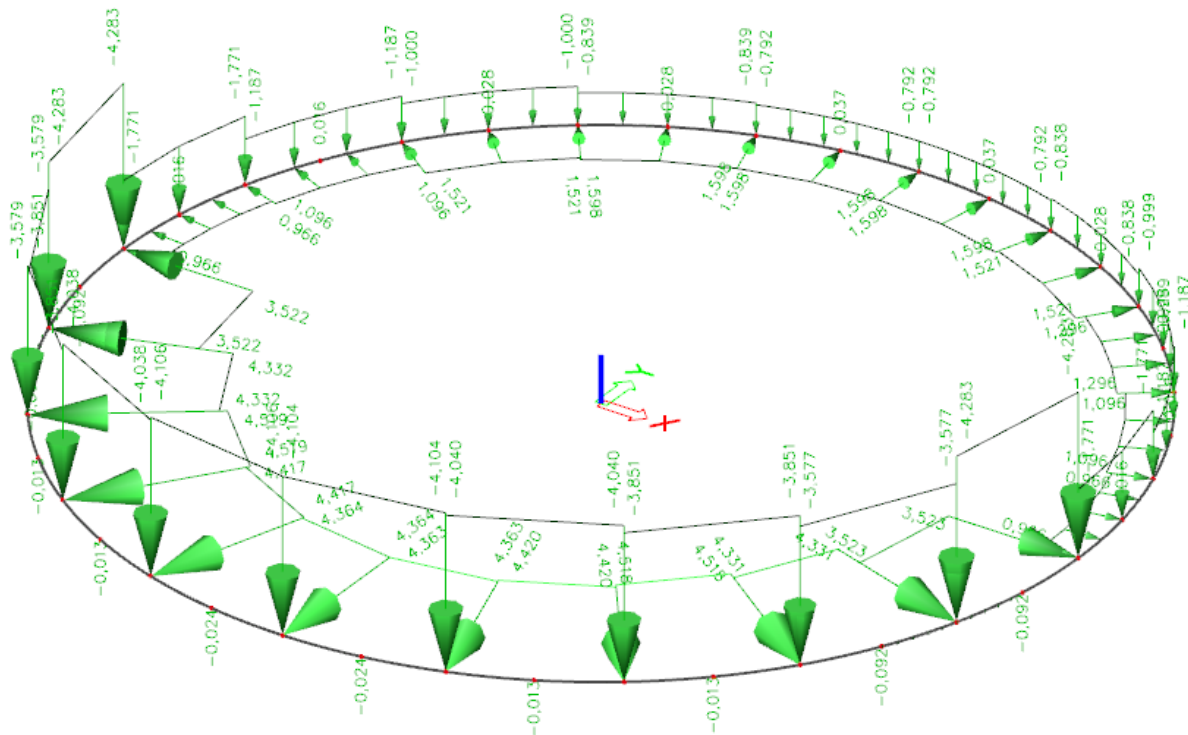
ZS7 – Zatížení sněhem I [kN/m]



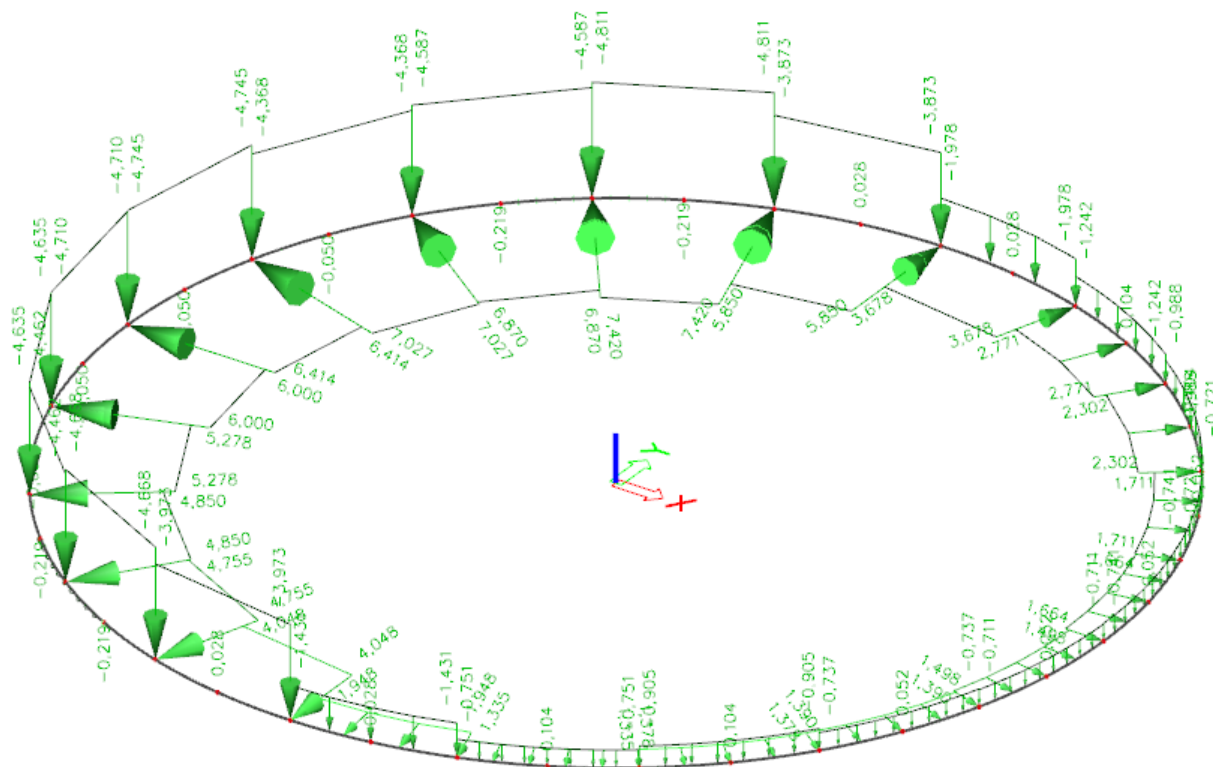
ZS8 – Zatížení sněhem II [kN/m]



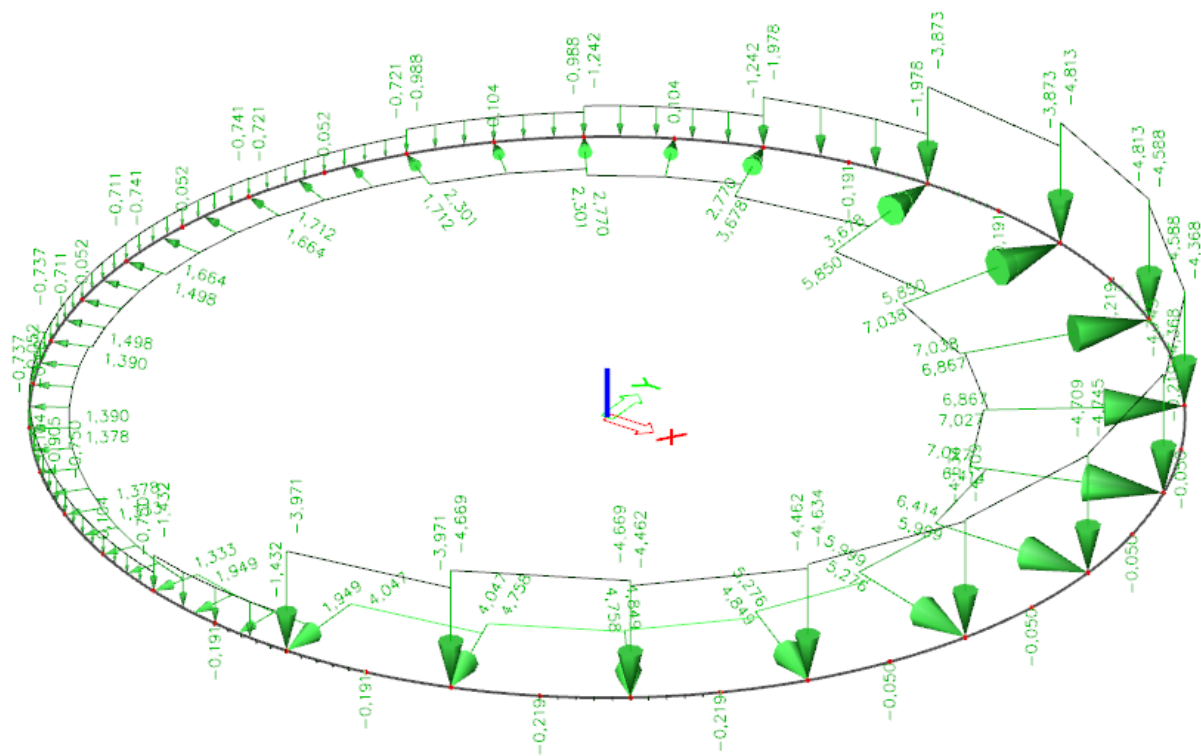
ZS9 – Zatížení sněhem III [kN/m]



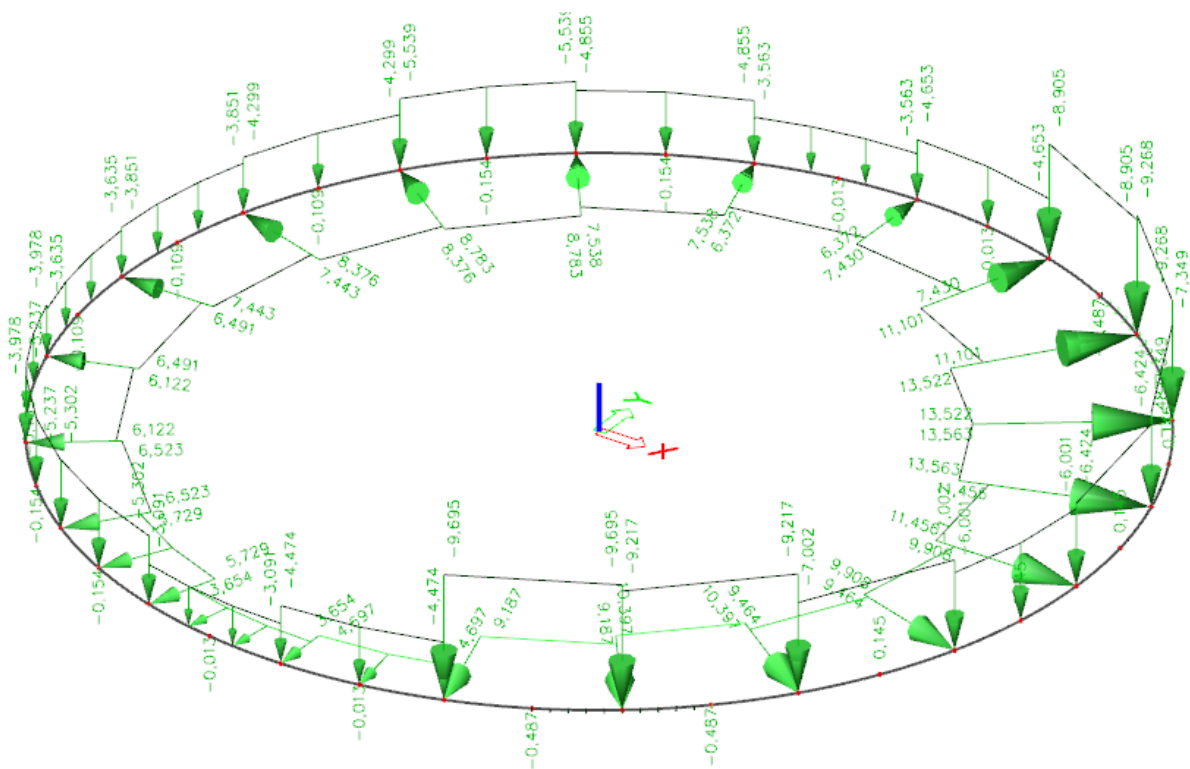
ZS10 – Zatížení sněhem IV [kN/m]



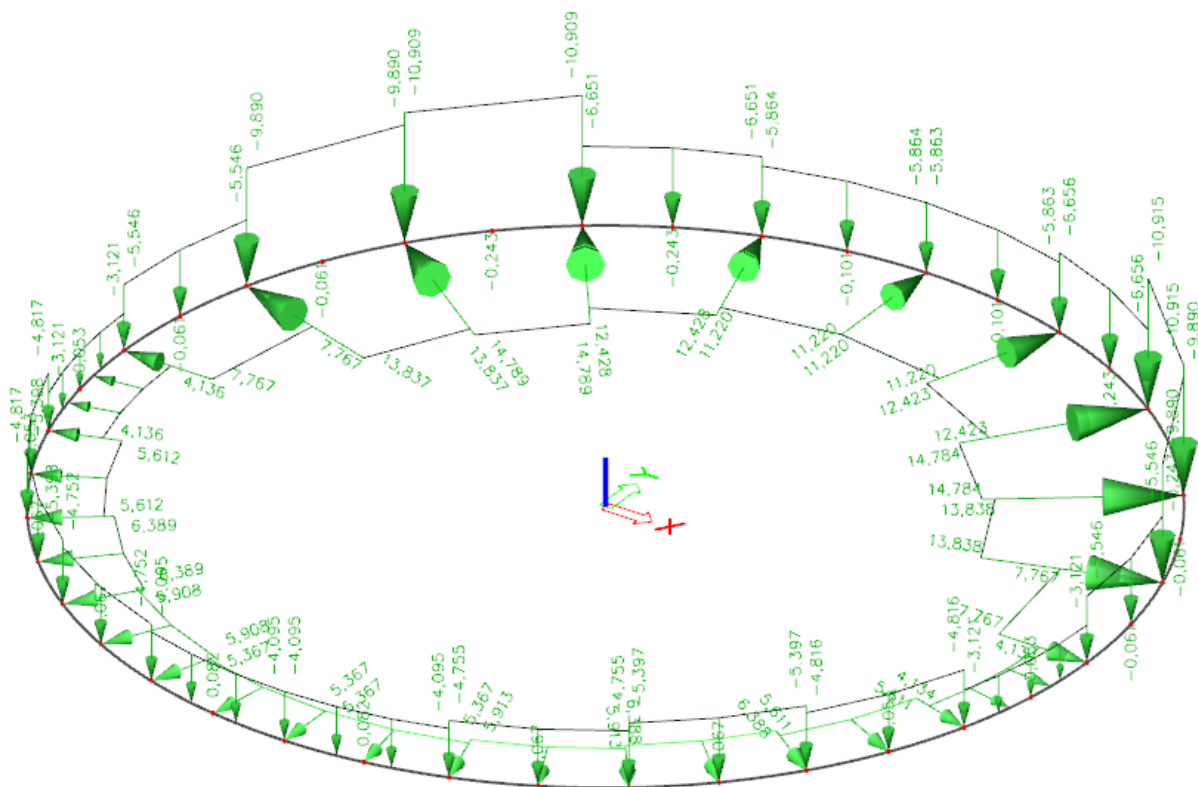
ZS11 – Zatížení sněhem V [kN/m]



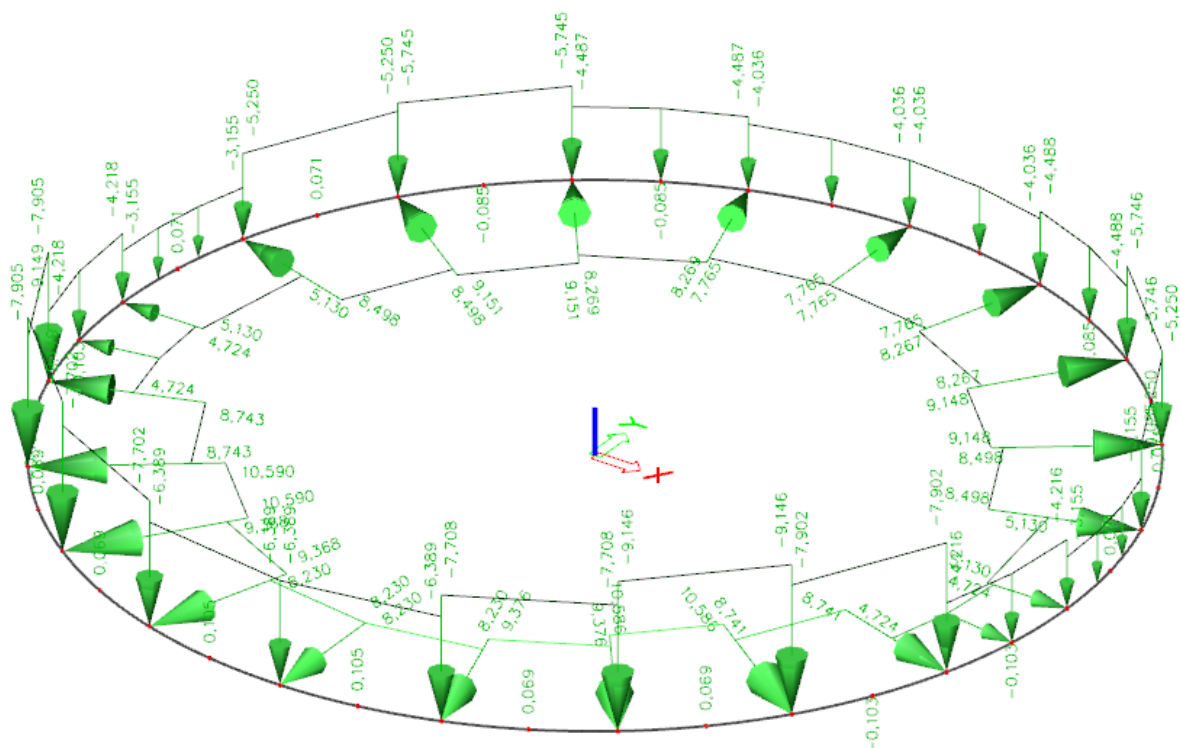
ZS12 – Zatížení sněhem VI [kN/m]



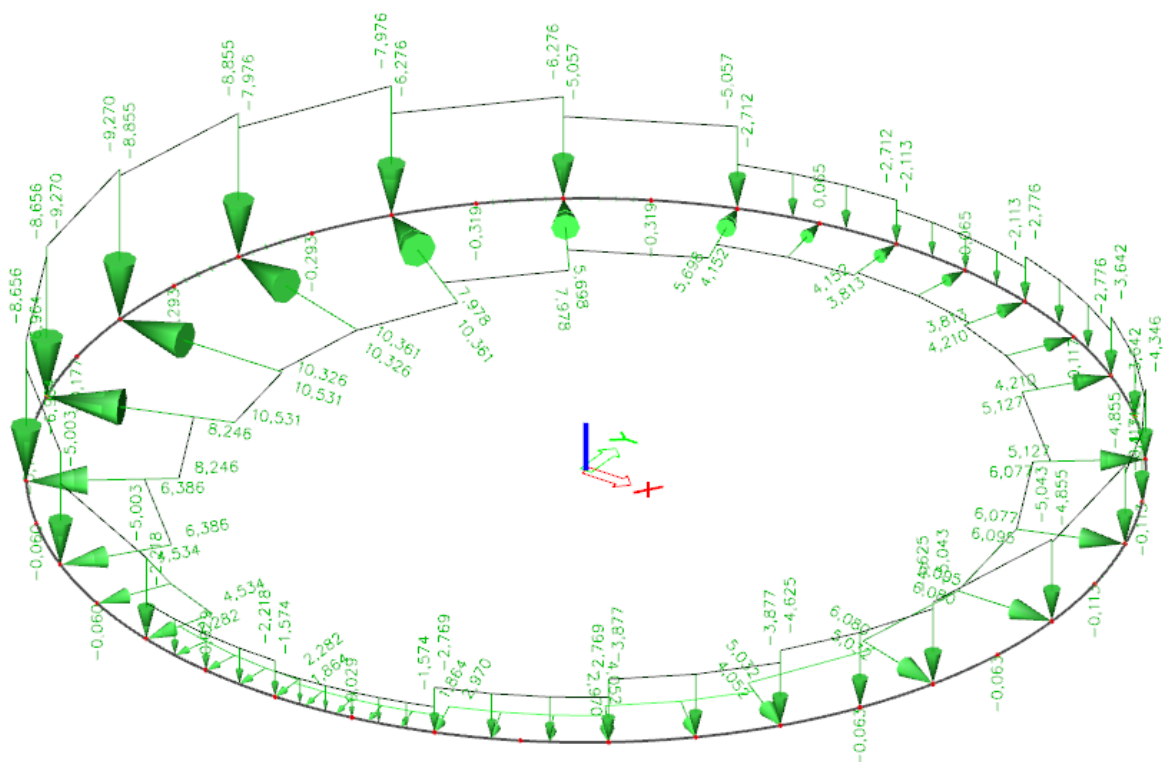
ZS13 – Zatížení sněhem VII [kN/m]



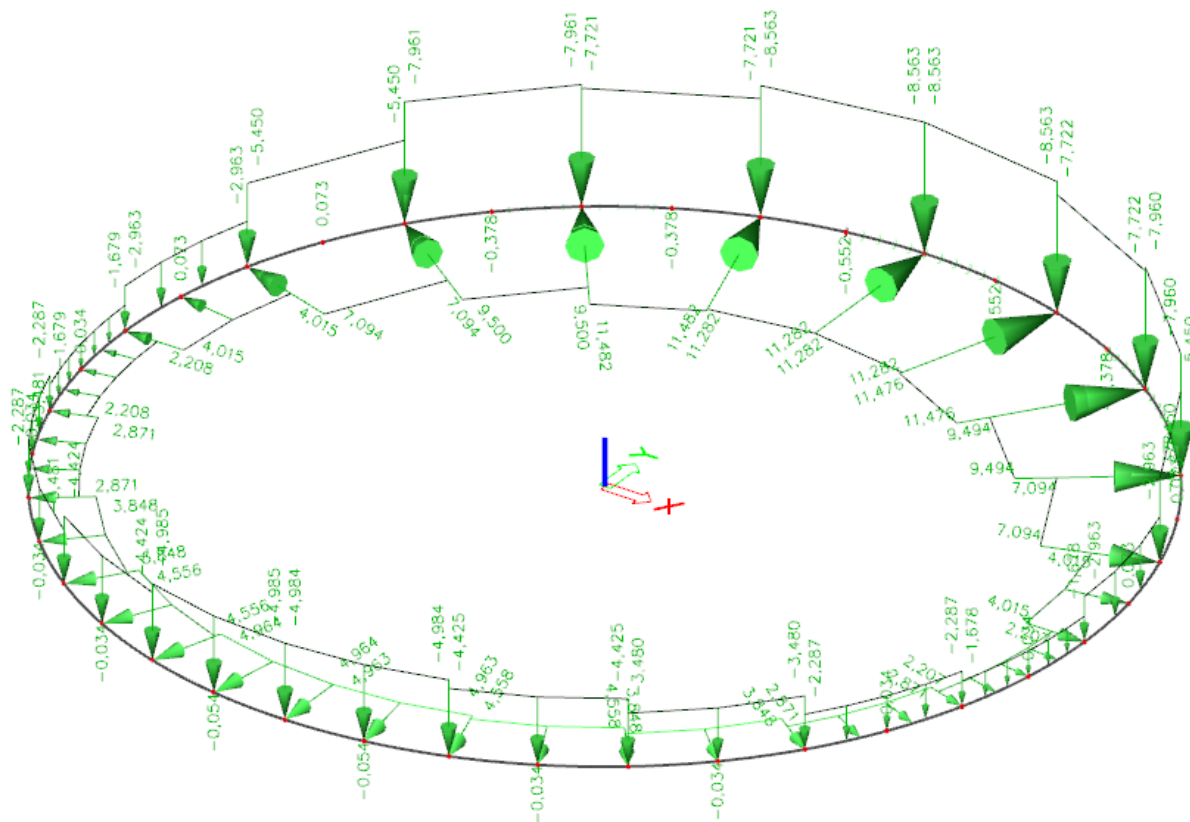
ZS14 – Zatížení sněhem VIII [kN/m]



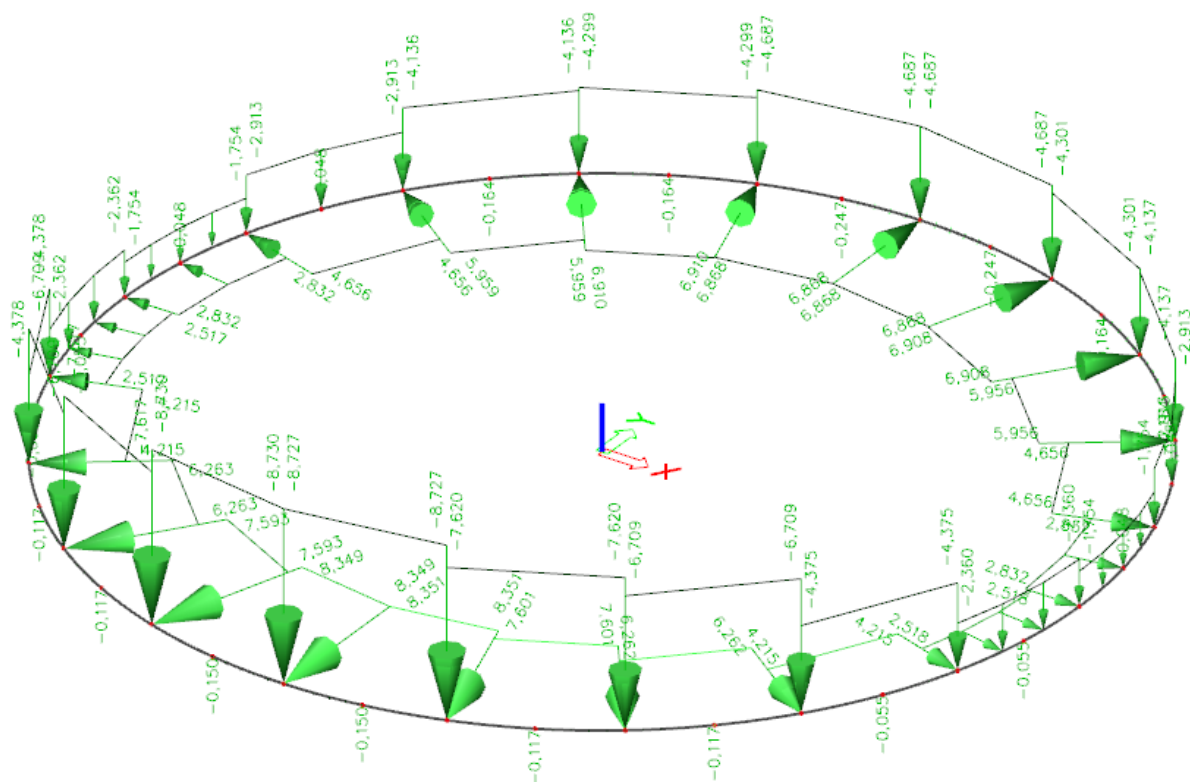
ZS15 – Zatížení sněhem IX [kN/m]



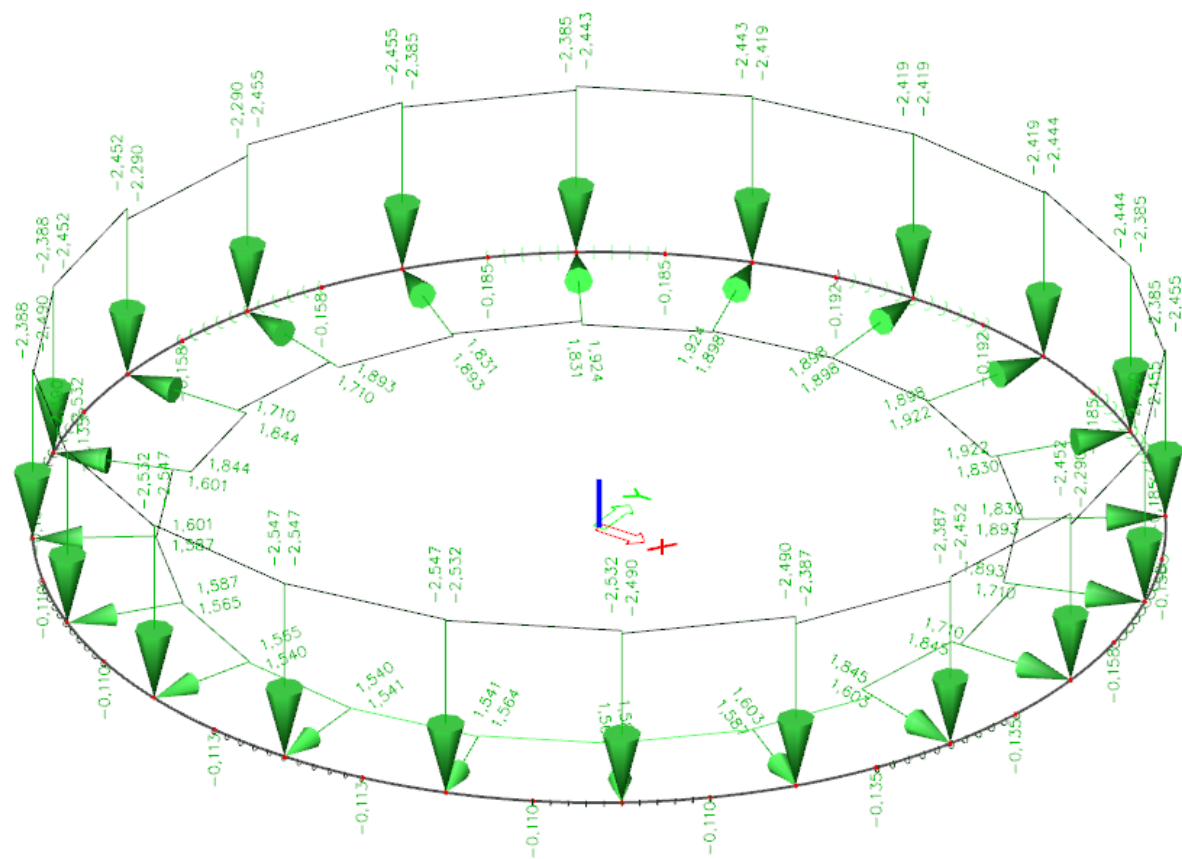
ZS16 – Zatížení sněhem X [kN/m]



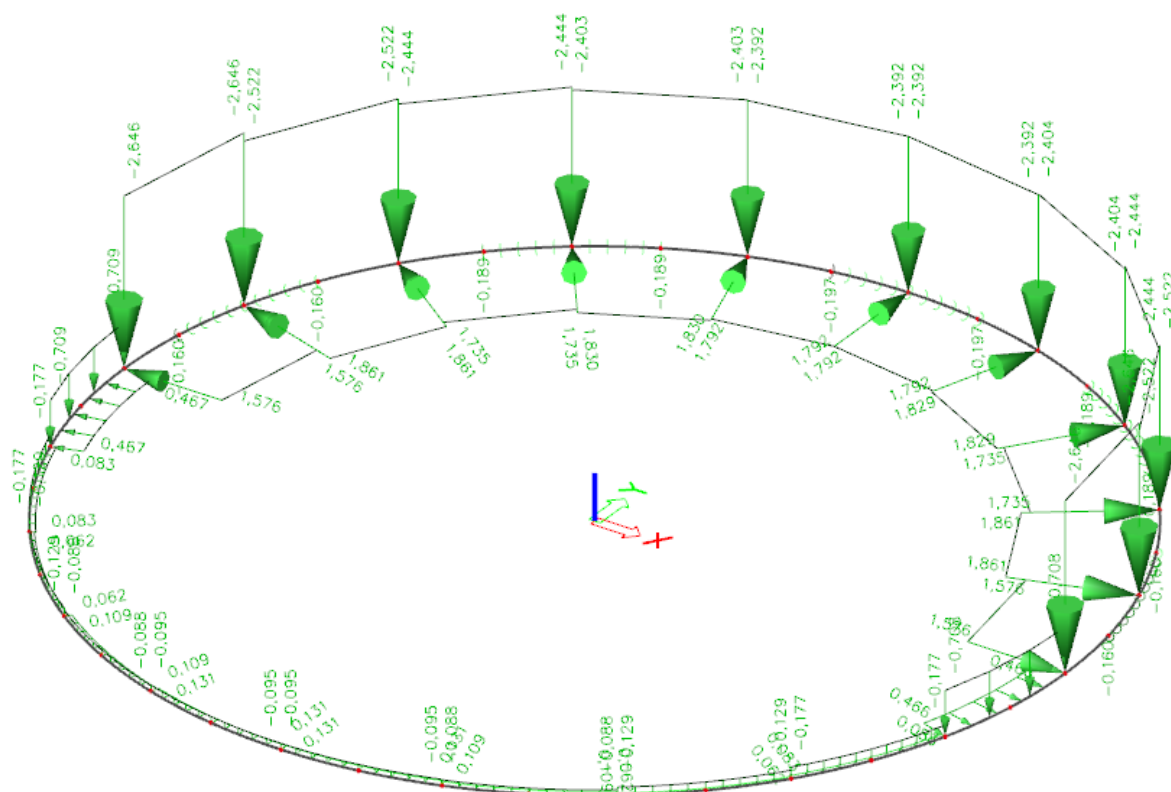
ZS17 – Zatížení sněhem XI [kN/m]



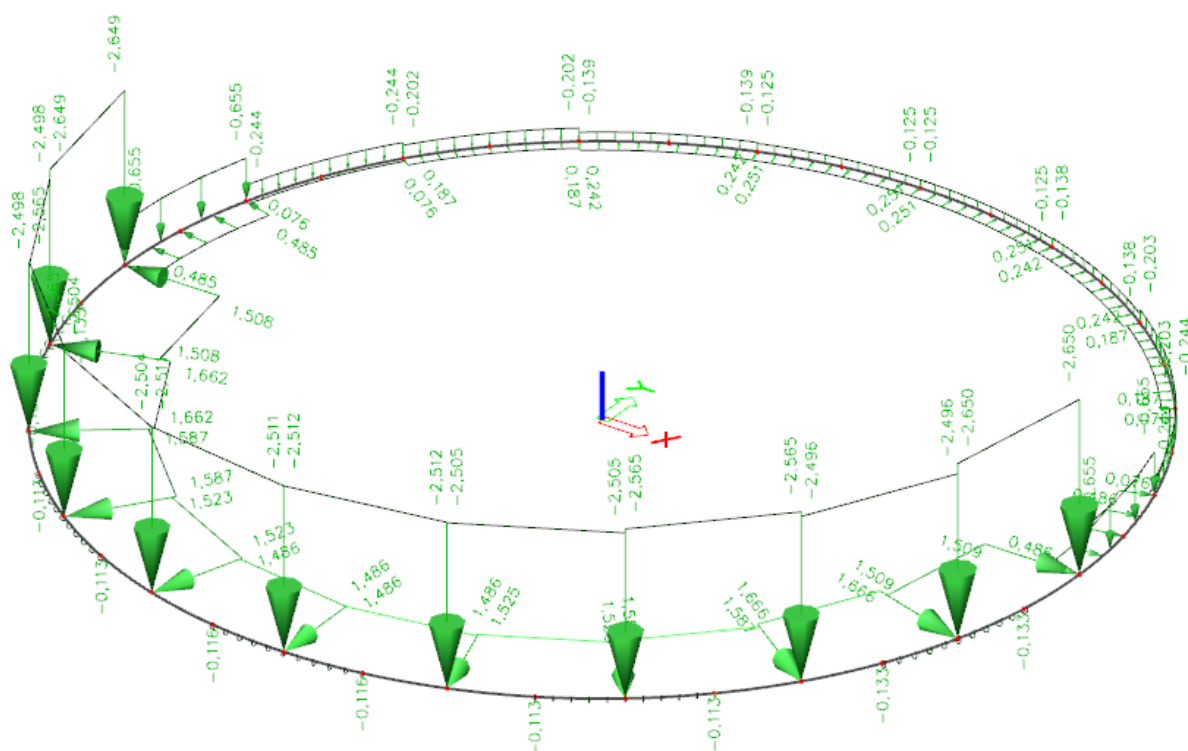
ZS18 – Návěje I [kN/m]



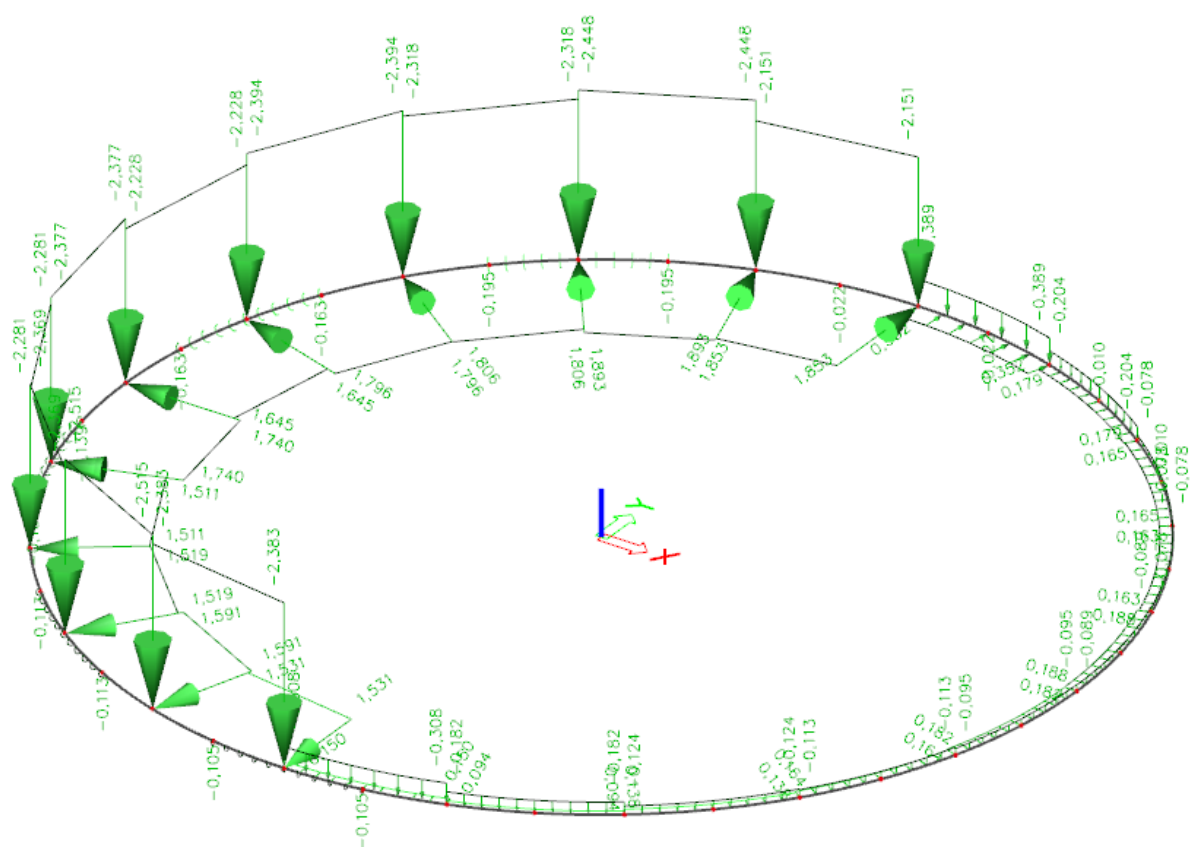
ZS19 – Návěje II [kN/m]



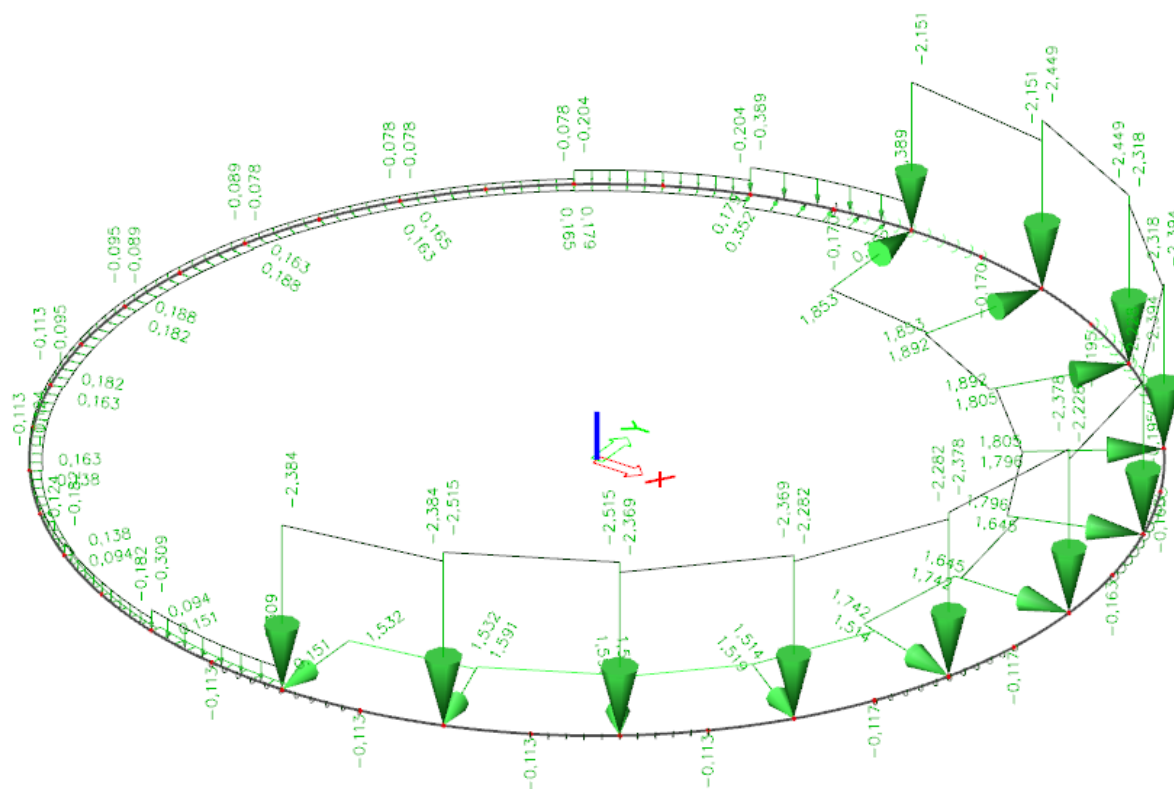
ZS20 – Návěje III [kN/m]



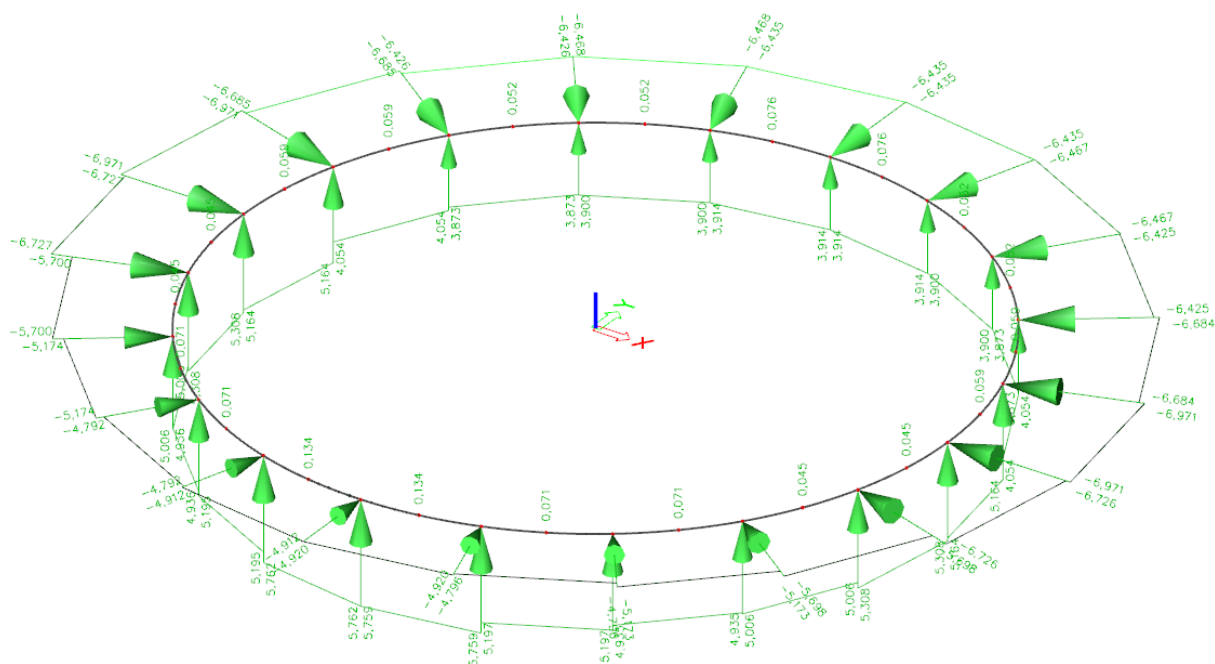
ZS21 – Návěje IV [kN/m]



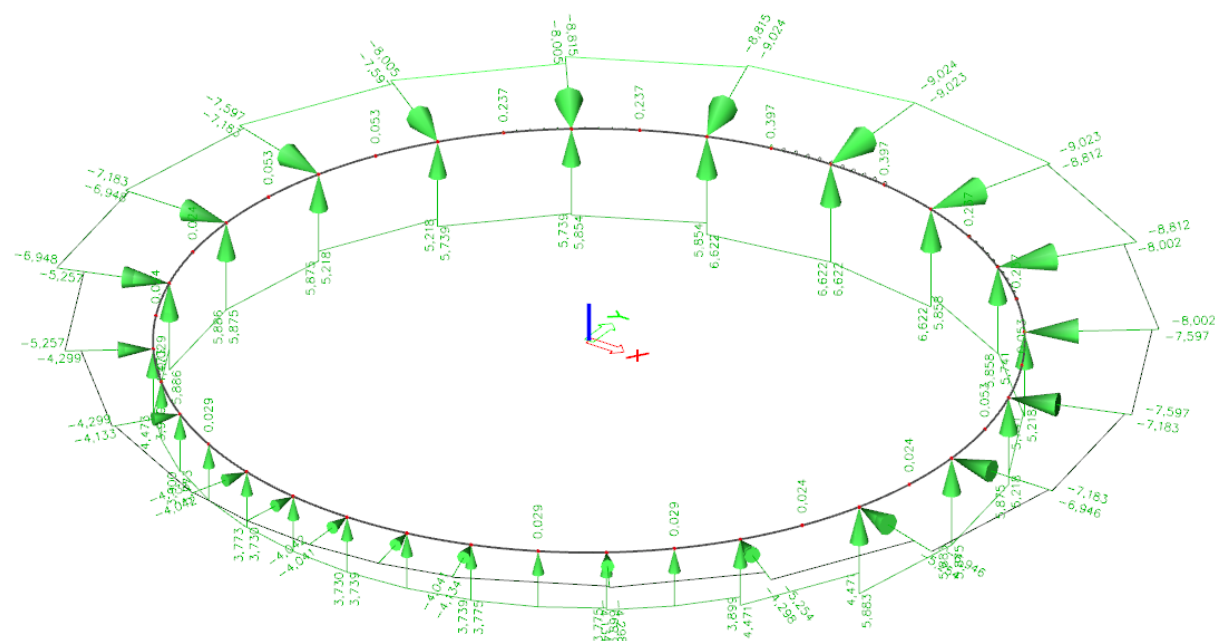
ZS22 – Návěje V [kN/m]



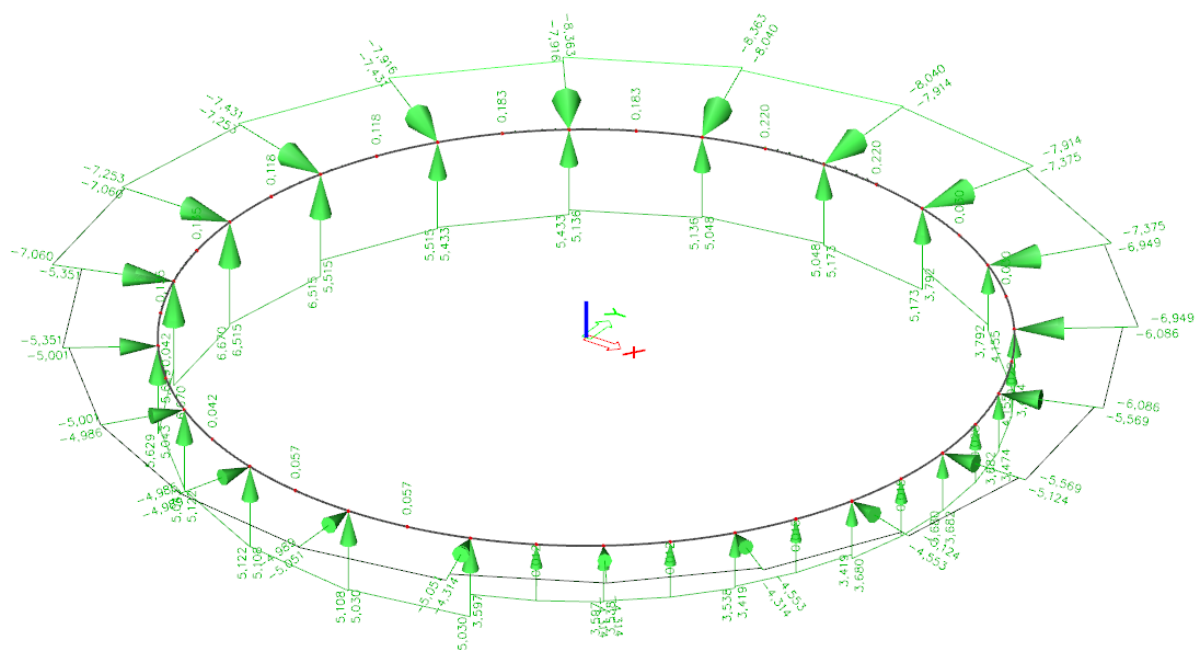
ZS23 – VÍTR I [kN/m]



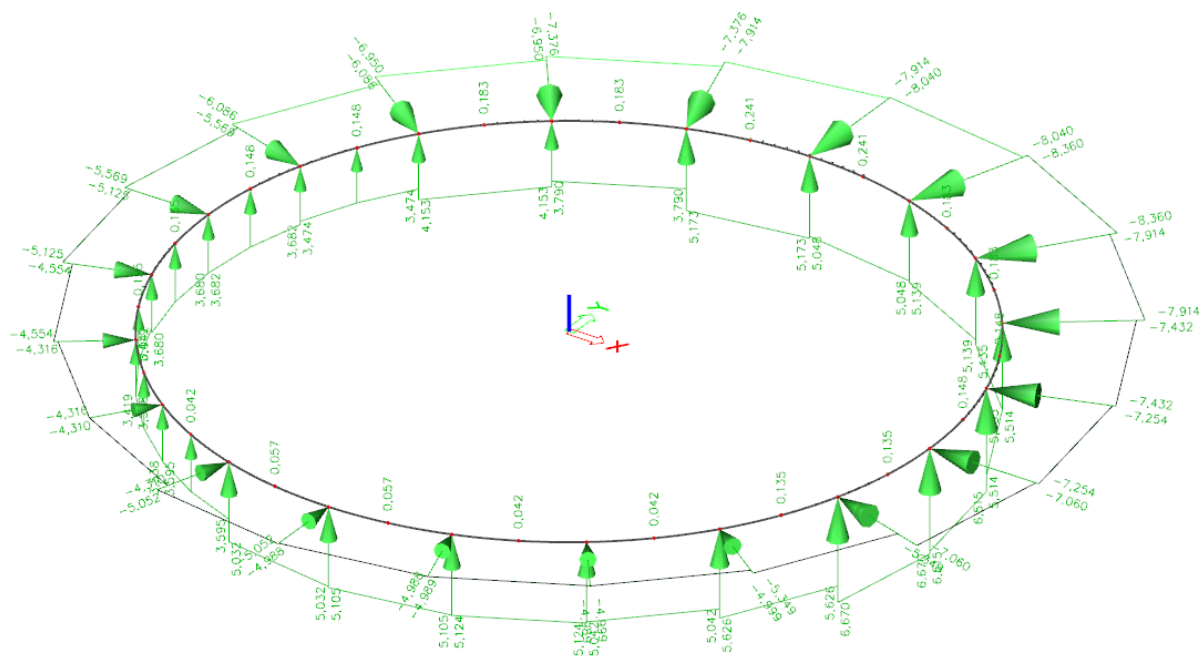
ZS24 – VÍTR II [kN/m]



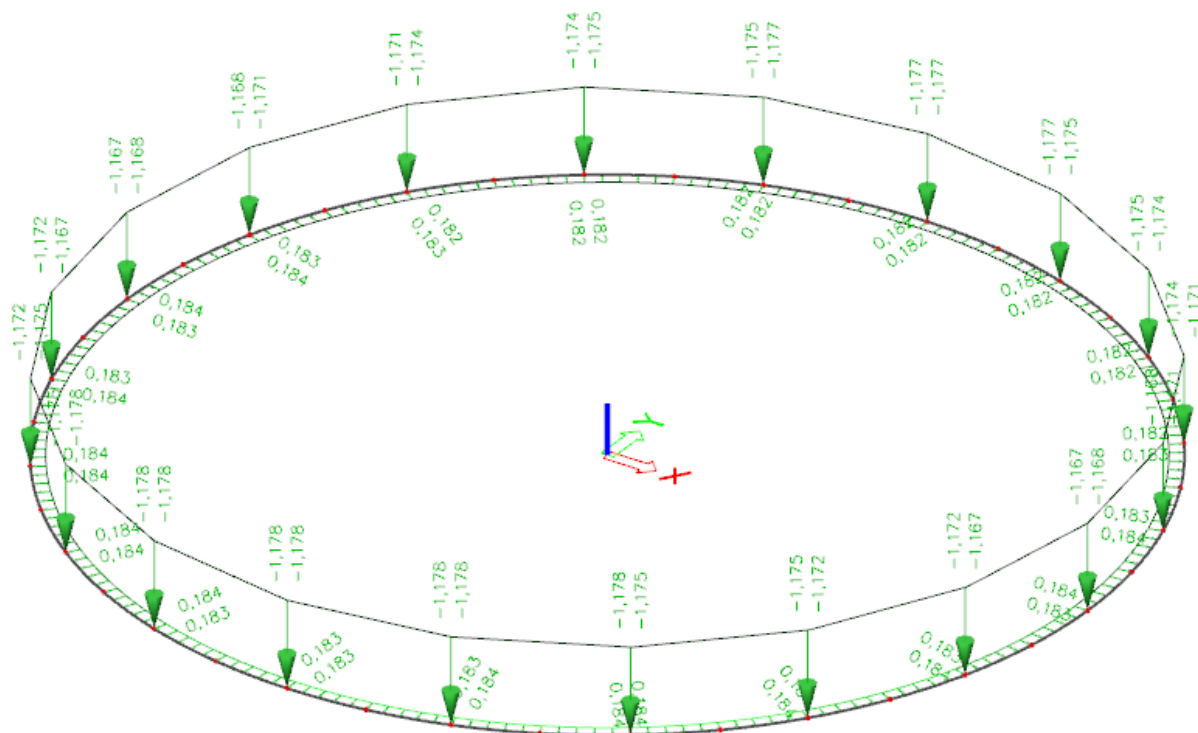
ZS25 – VÍTR III [kN/m]



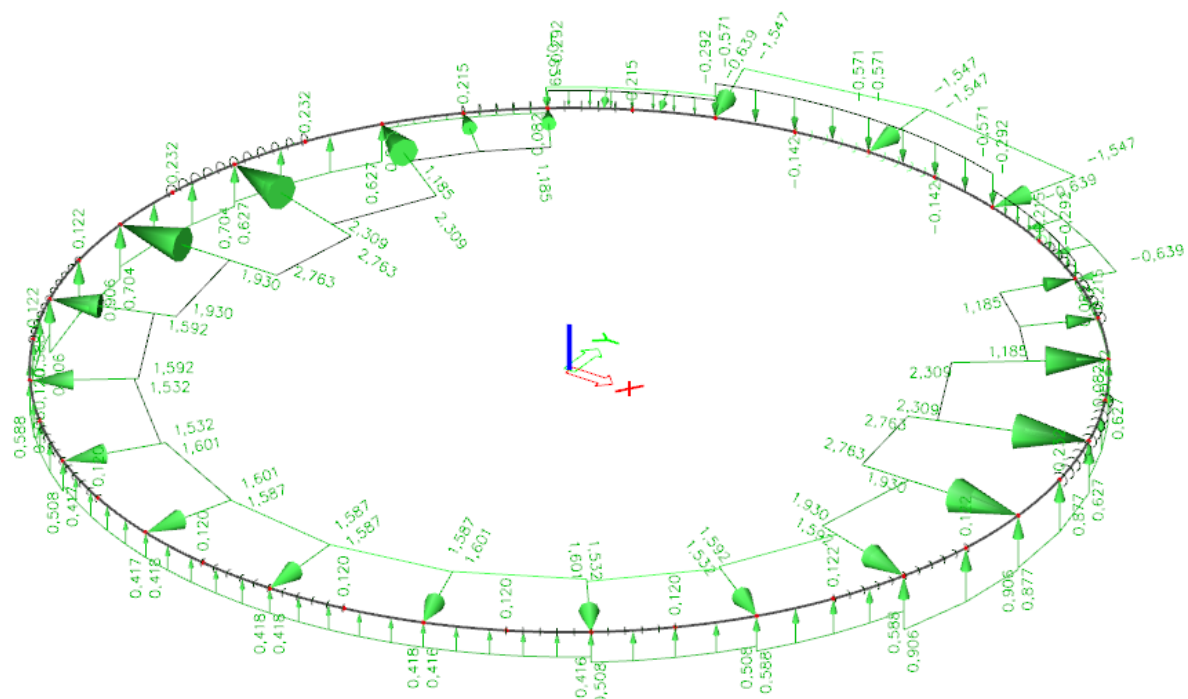
ZS26 – VÍTR IV [kN/m]



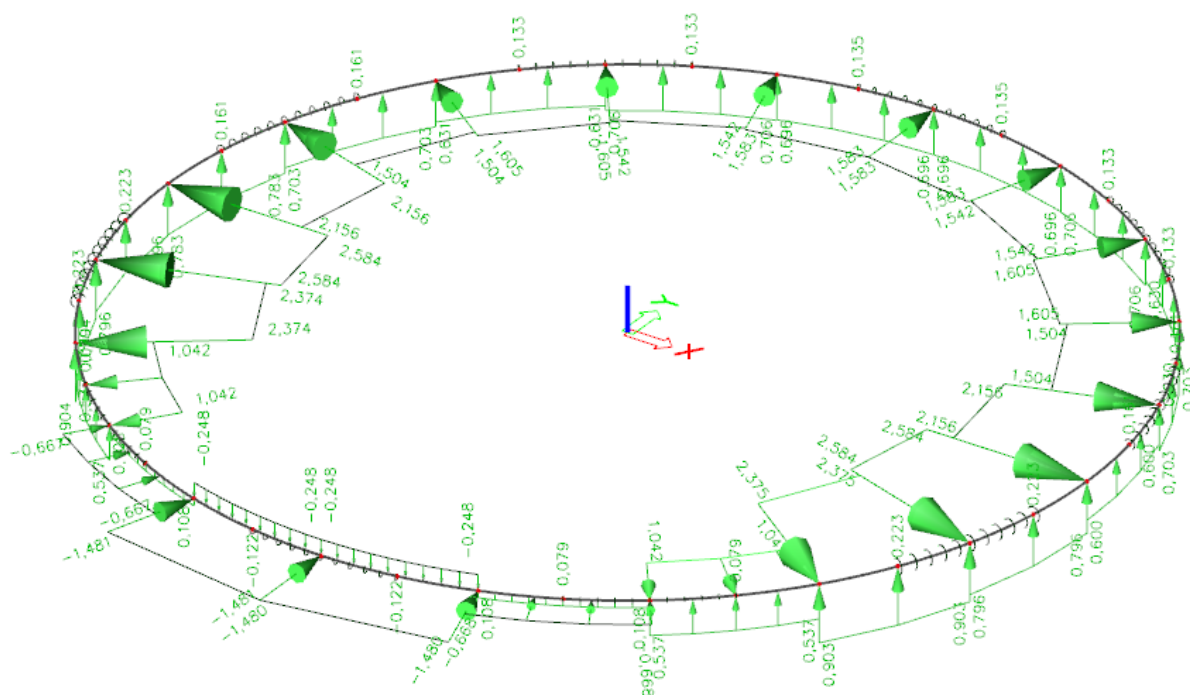
ZS27 – OSTATNÍ STÁLÉ [kN/m]



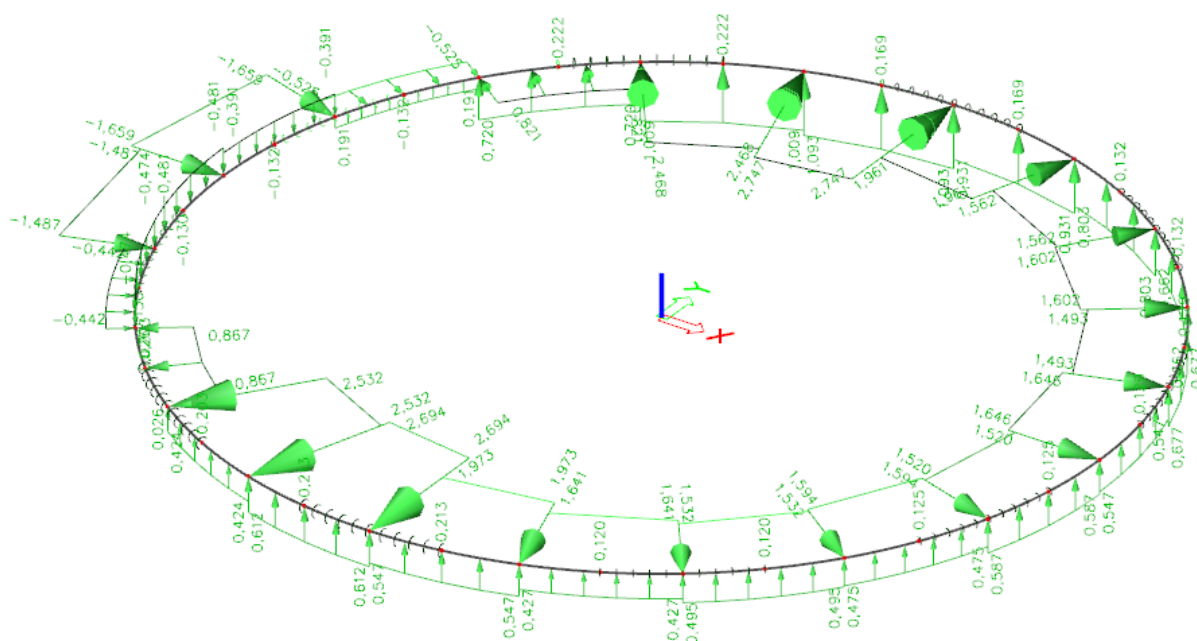
ZS28 – VÍTR ATIKA I [kN/m]



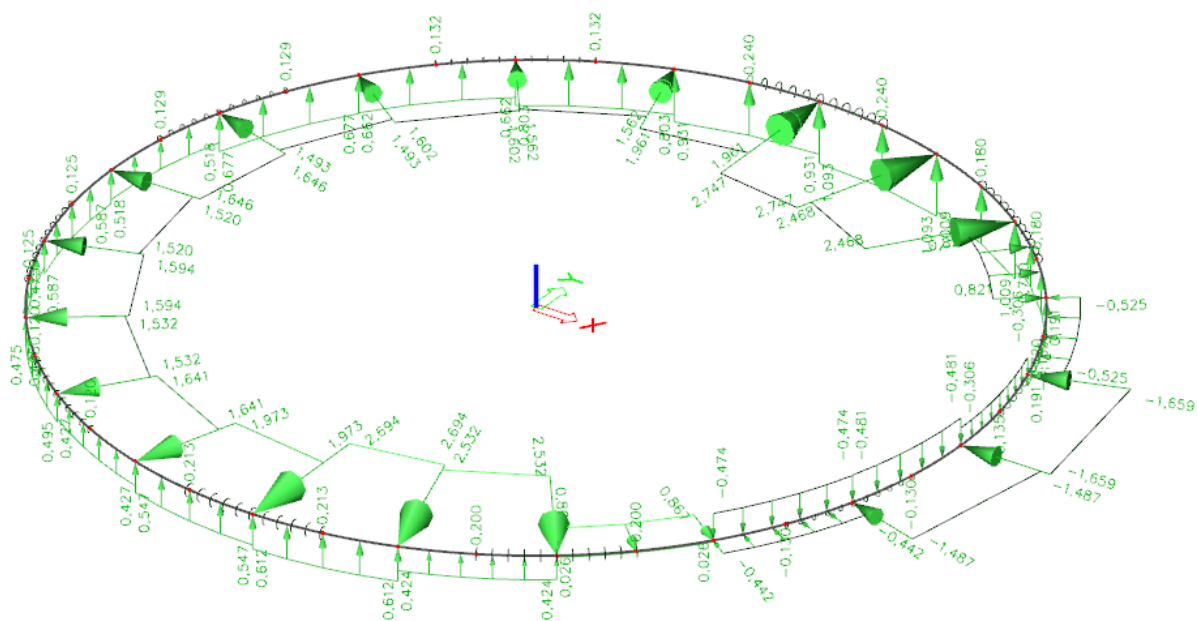
ZS29 – VÍTR ATIKA II [kN/m]



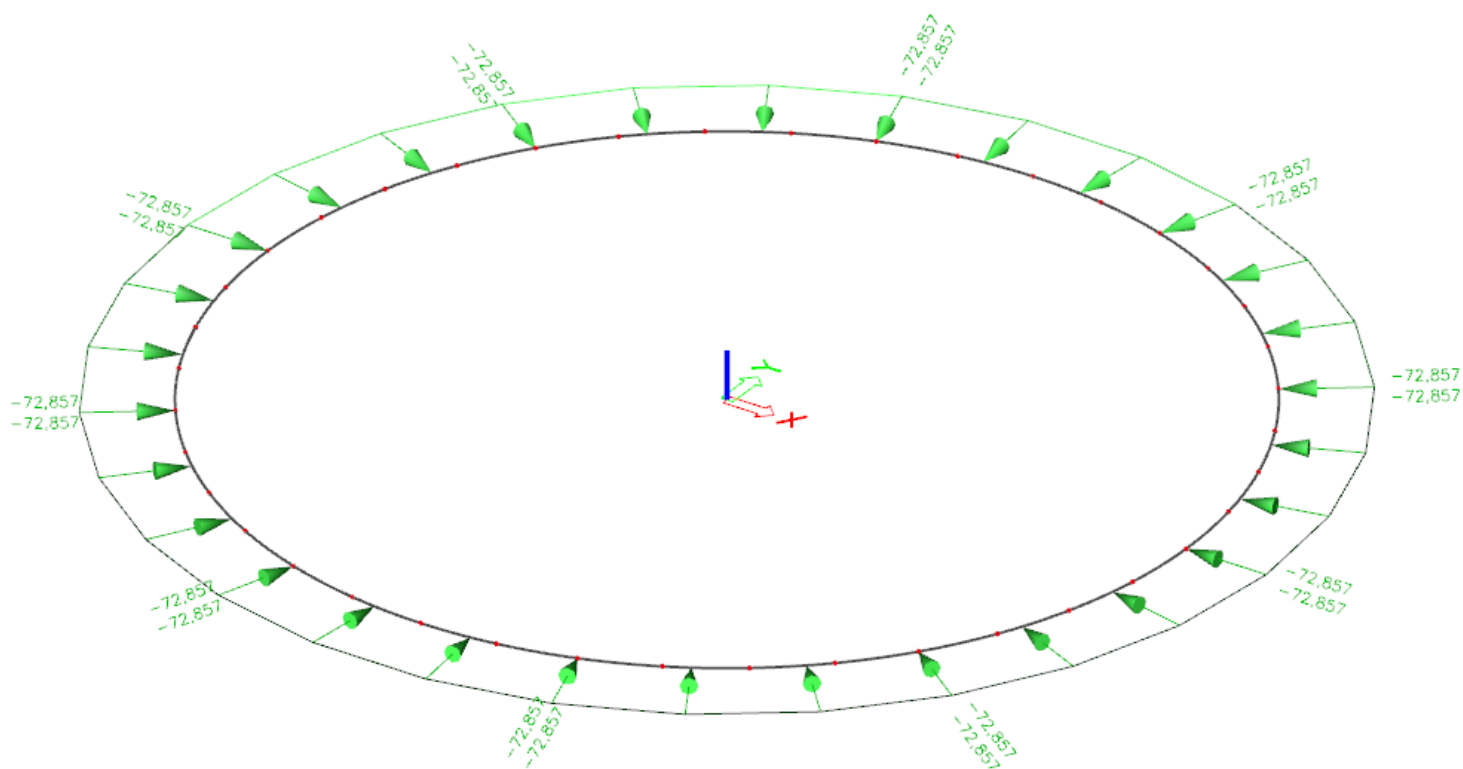
ZS30 – VÍTR ATIKA III [kN/m]



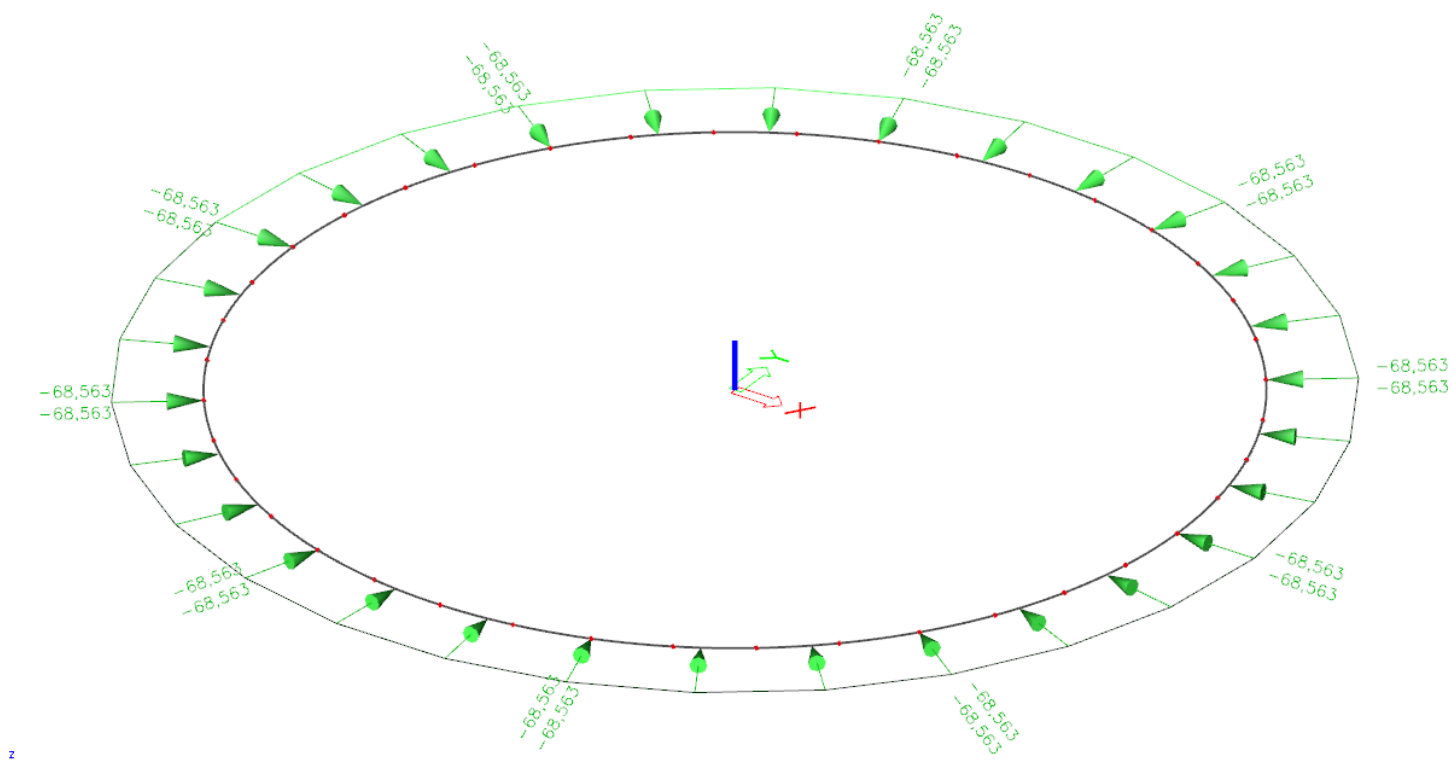
ZS31 – VÍTR ATIKA IV [kN/m]



ZS32 – PŘEDPĚTÍ [kN/m] – t_0 – po předpokládané ztrátě 5 %.



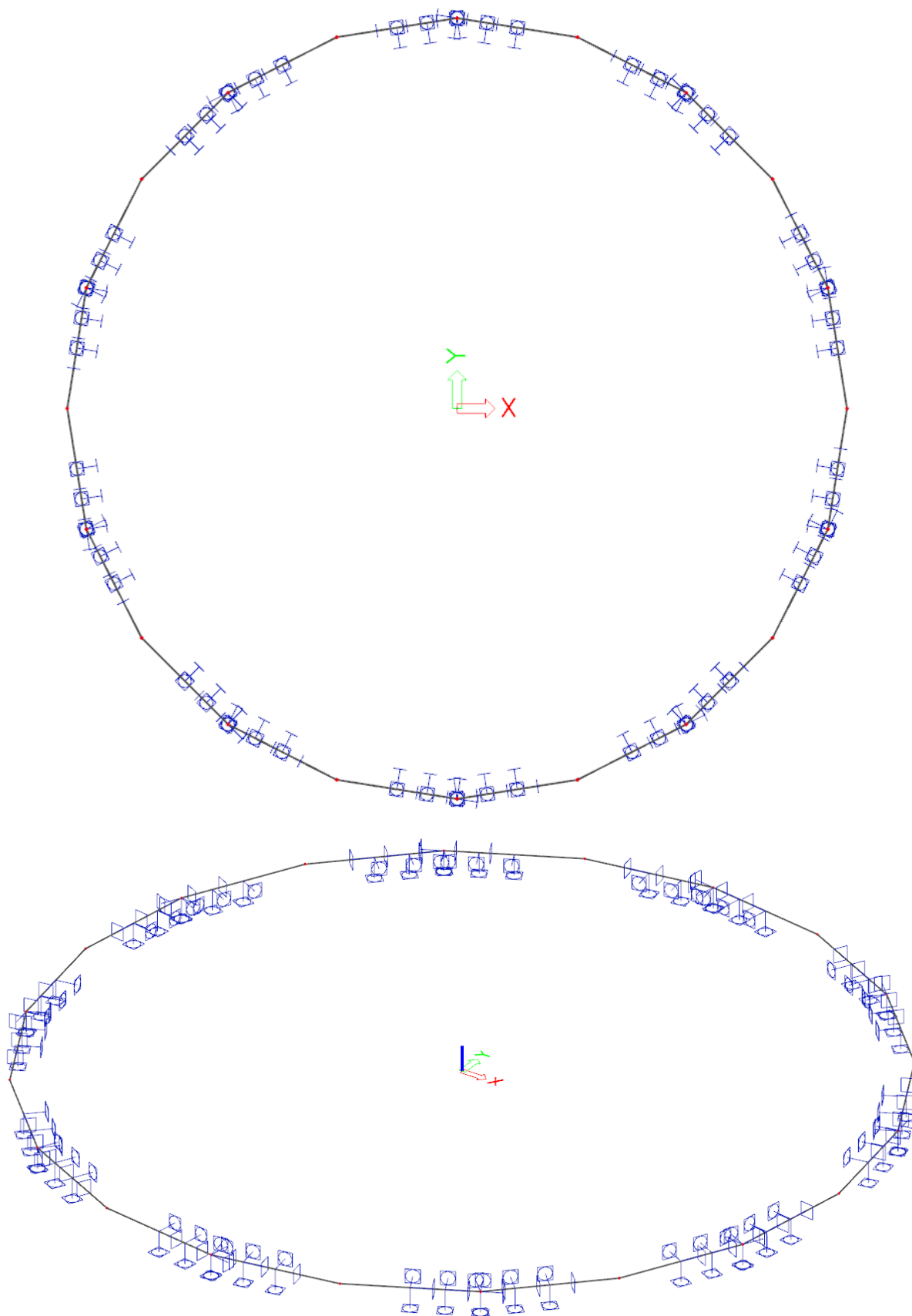
ZS32 – PŘEDPĚTÍ [kN/m] – t_0 – po vypočtené ztrátě 11,12 %.



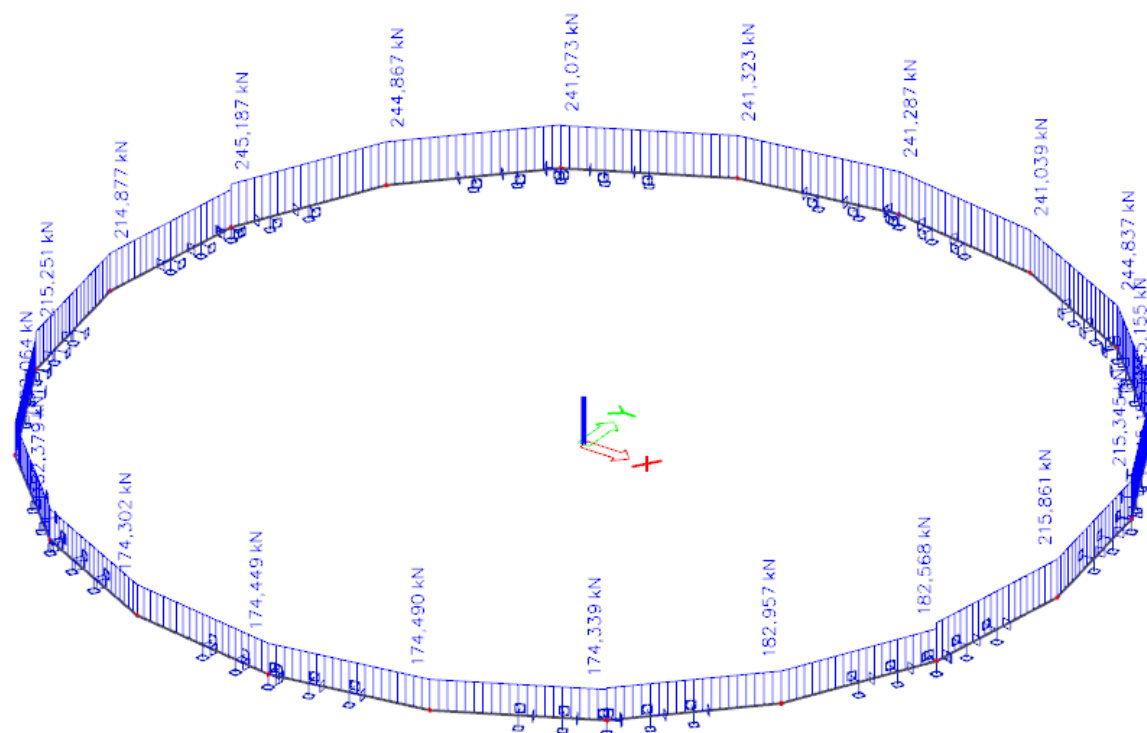
Prstenec

Vnitřní síly

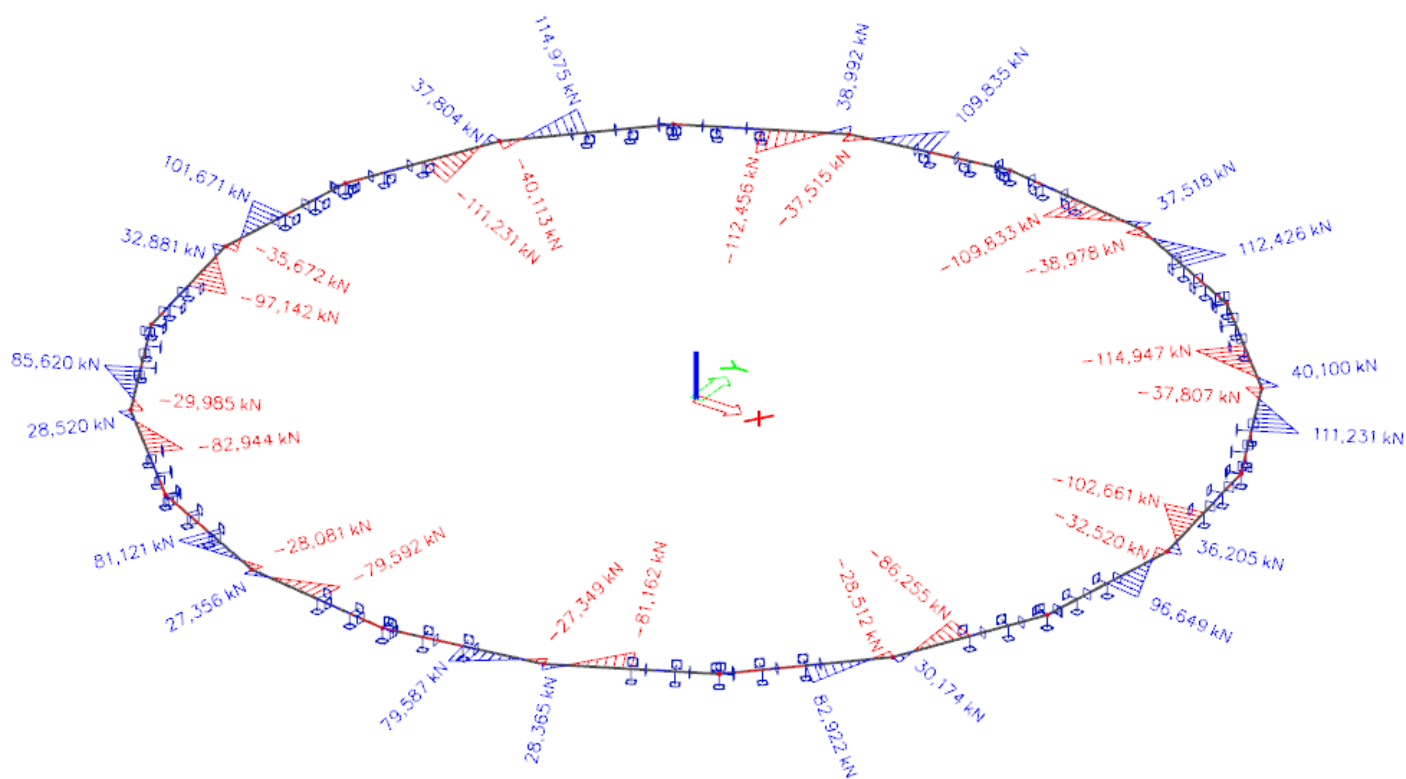
Model 1: tuhé vetknutí



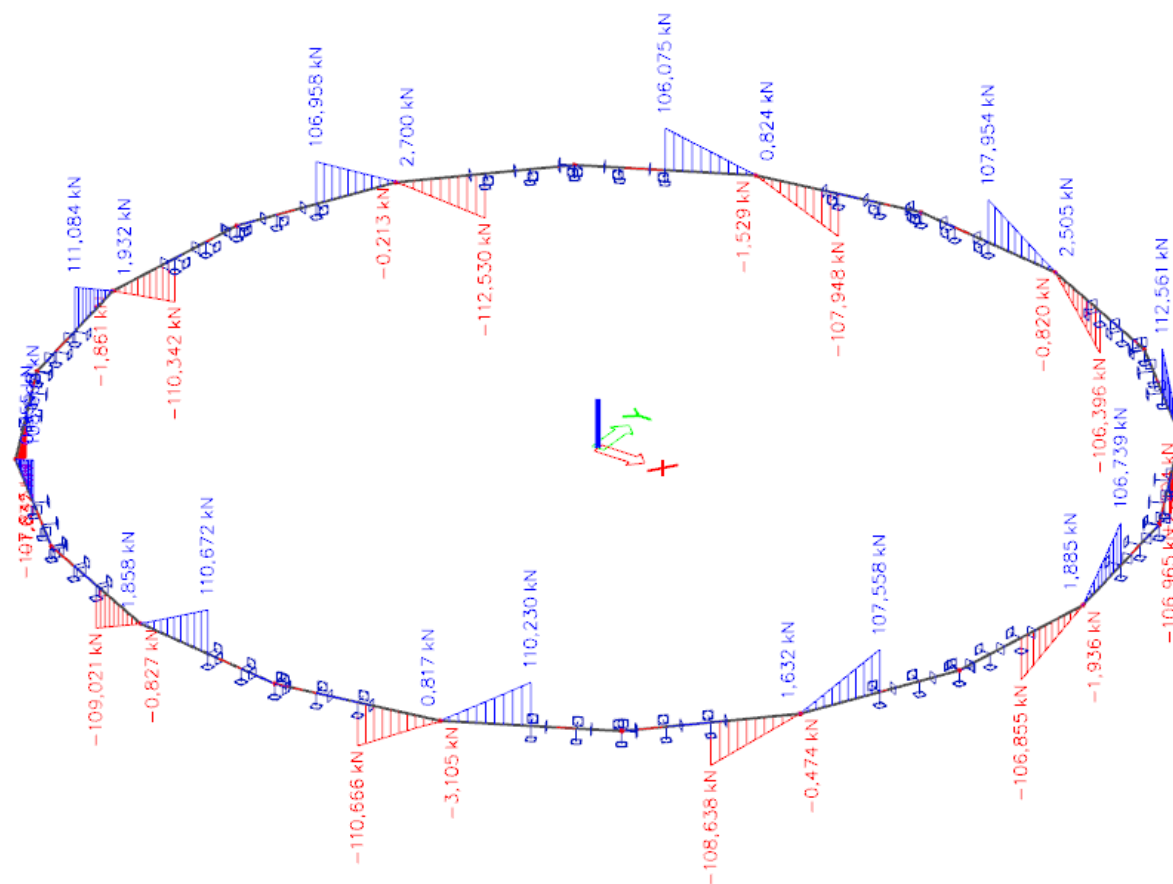
MSU – N [kN]



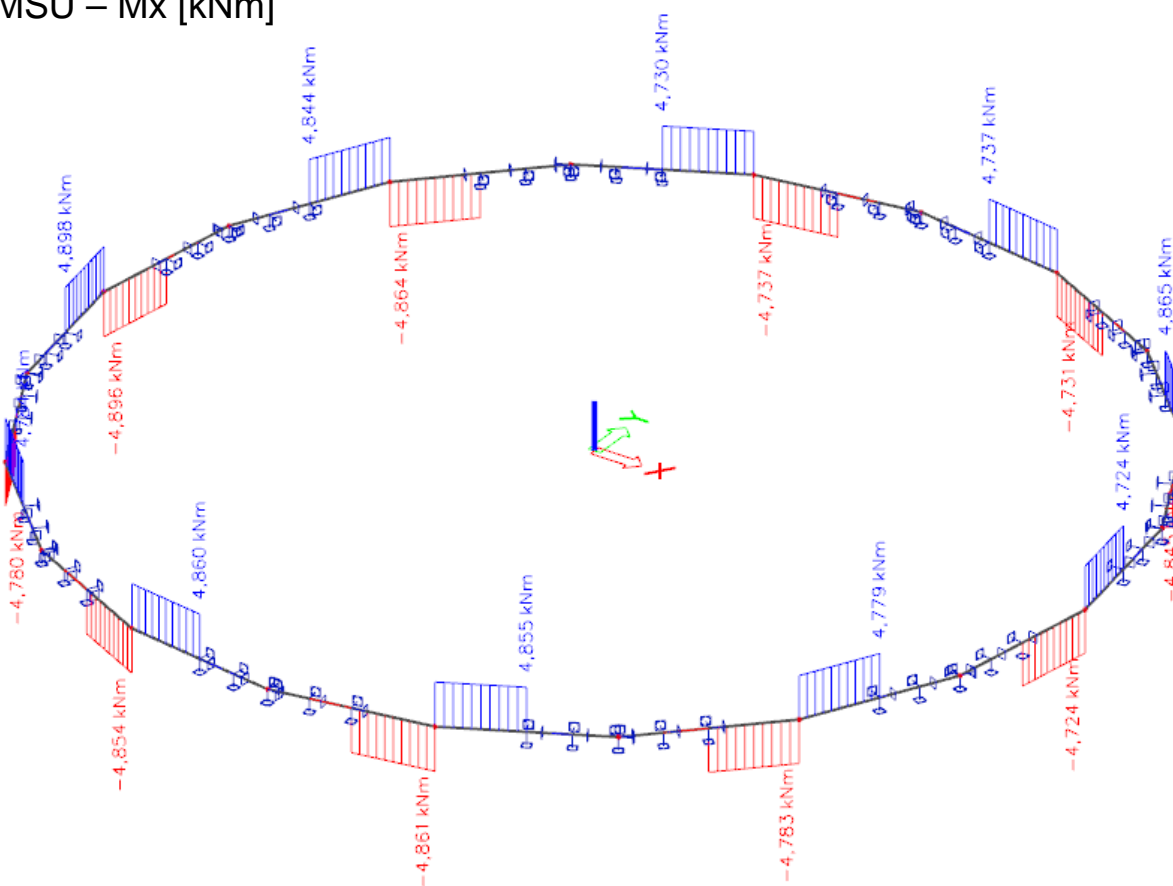
MSU – Vy [kN]



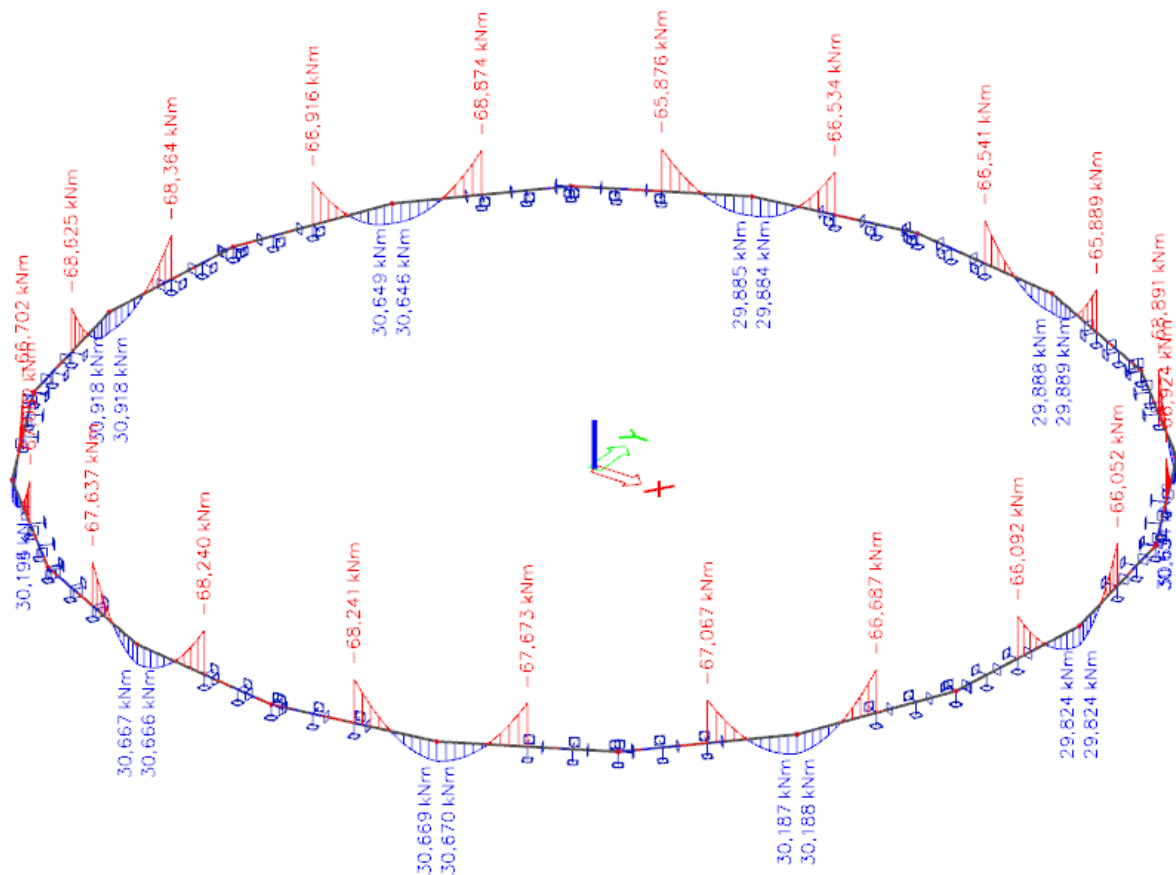
MSU – Vz [kN]



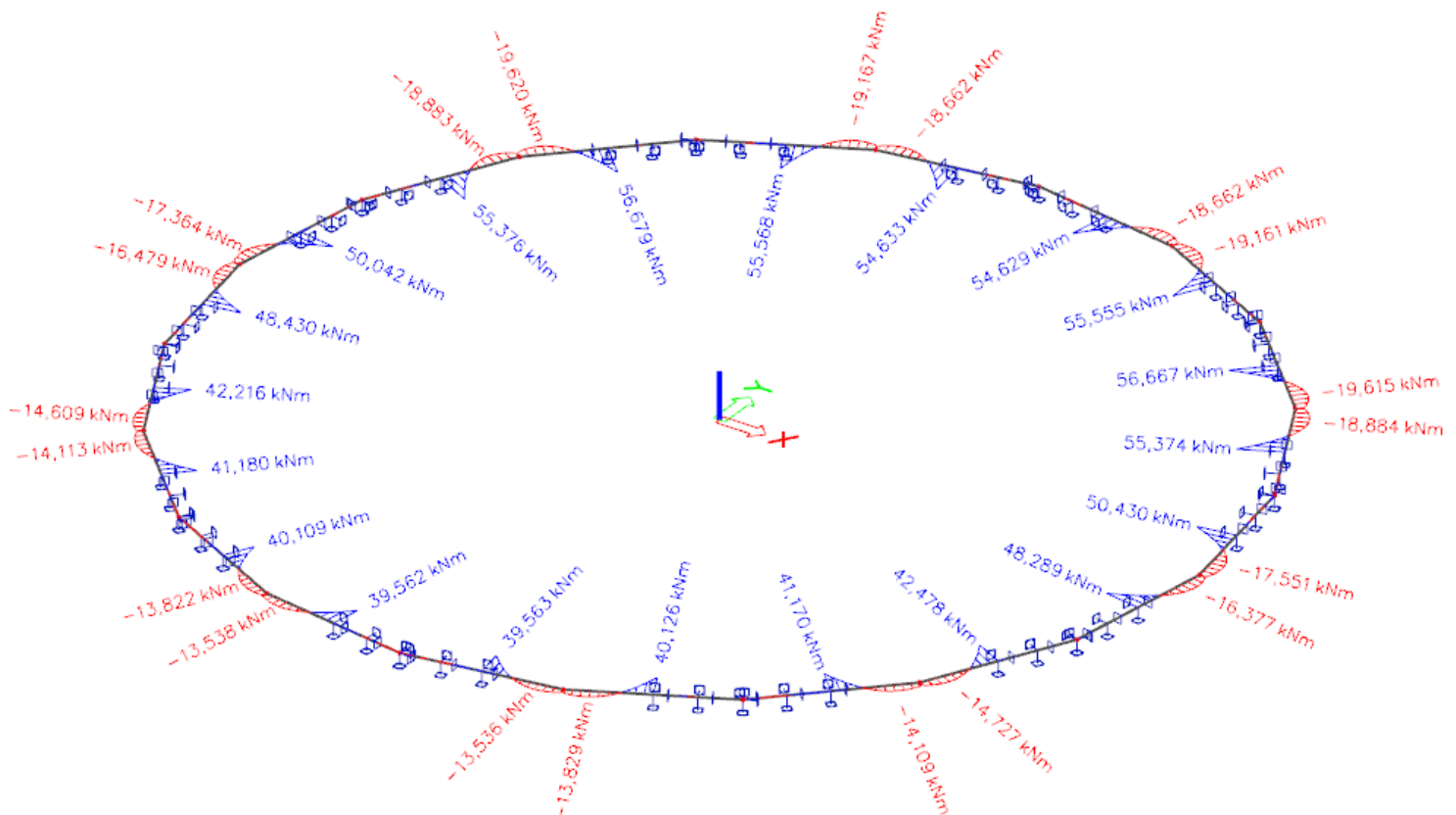
MSU – Mx [kNm]



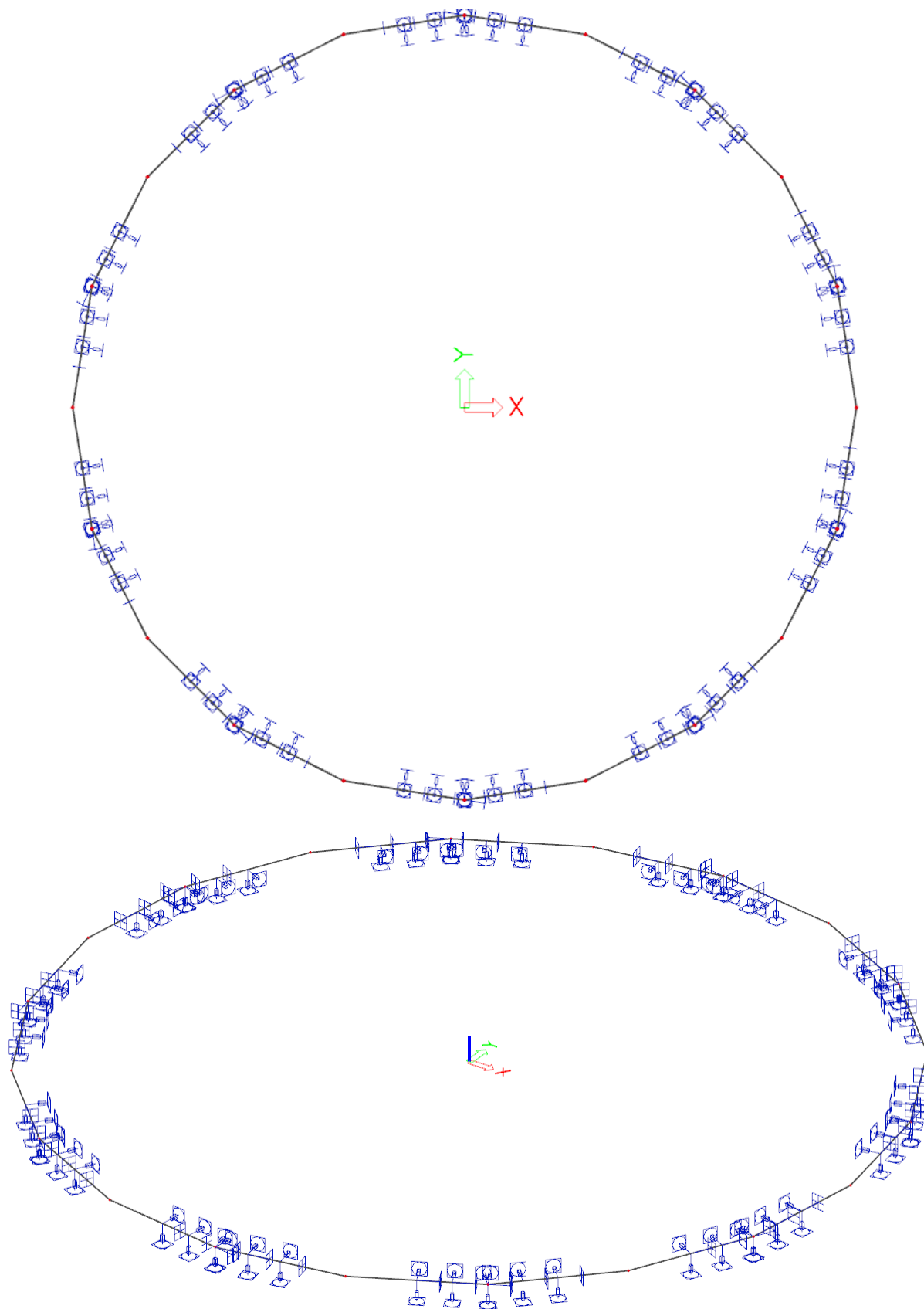
MSU – My [kNm]



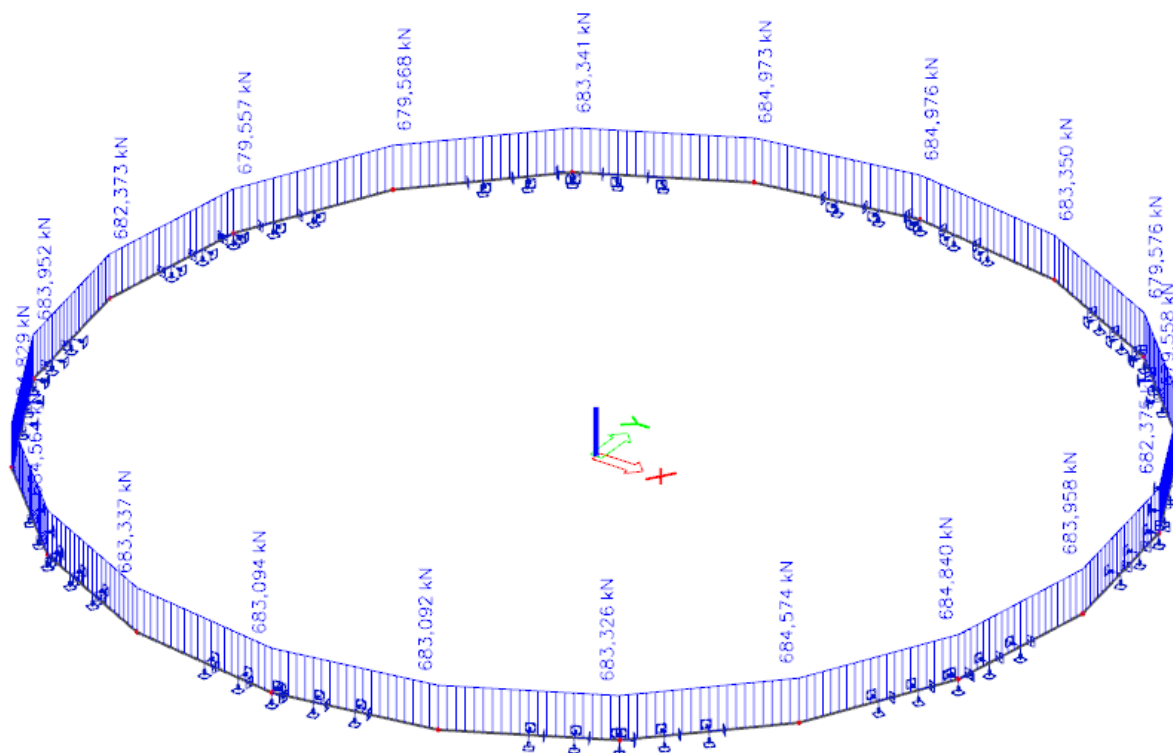
MSU – Mz [kNm]



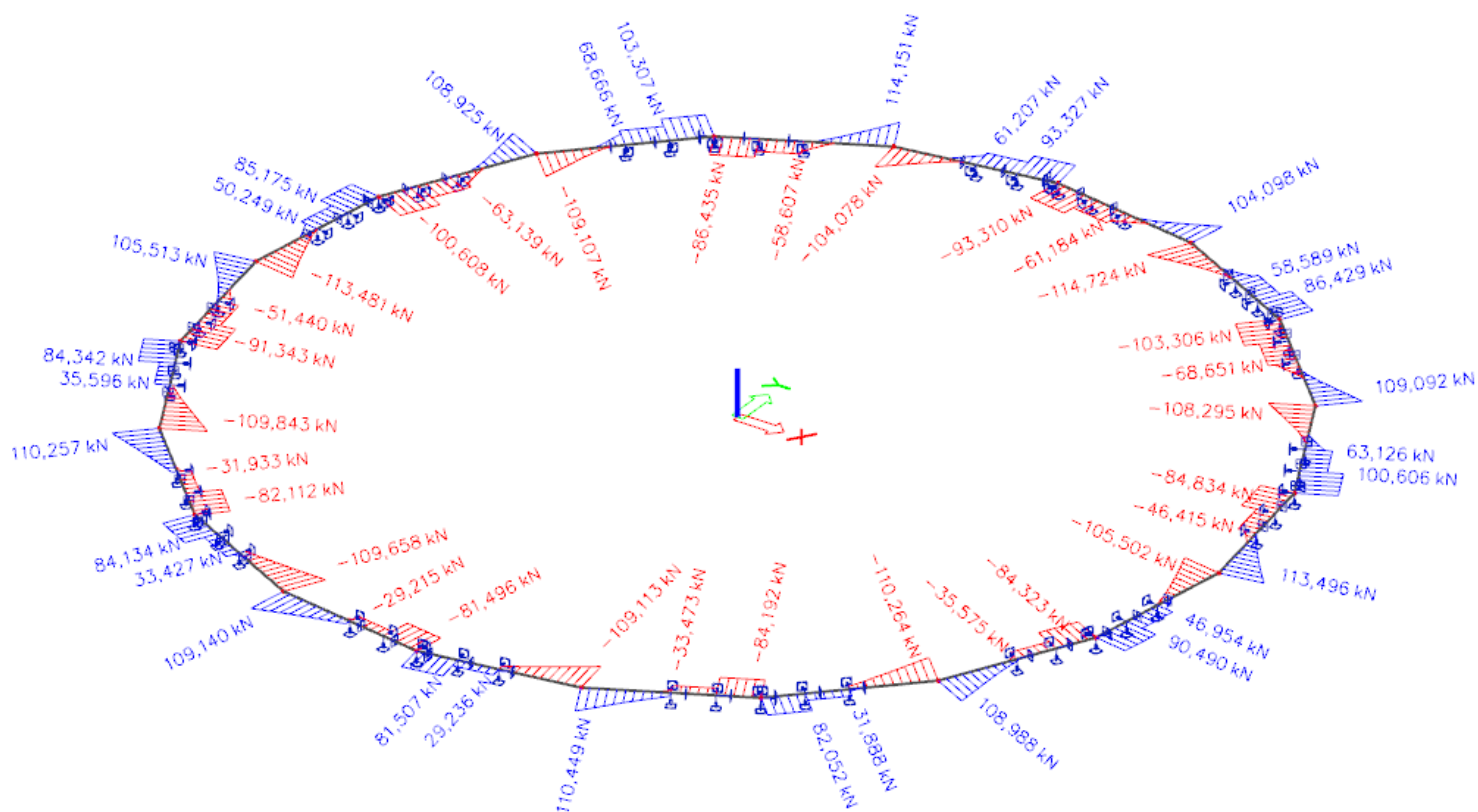
Model 2: pružné uložení



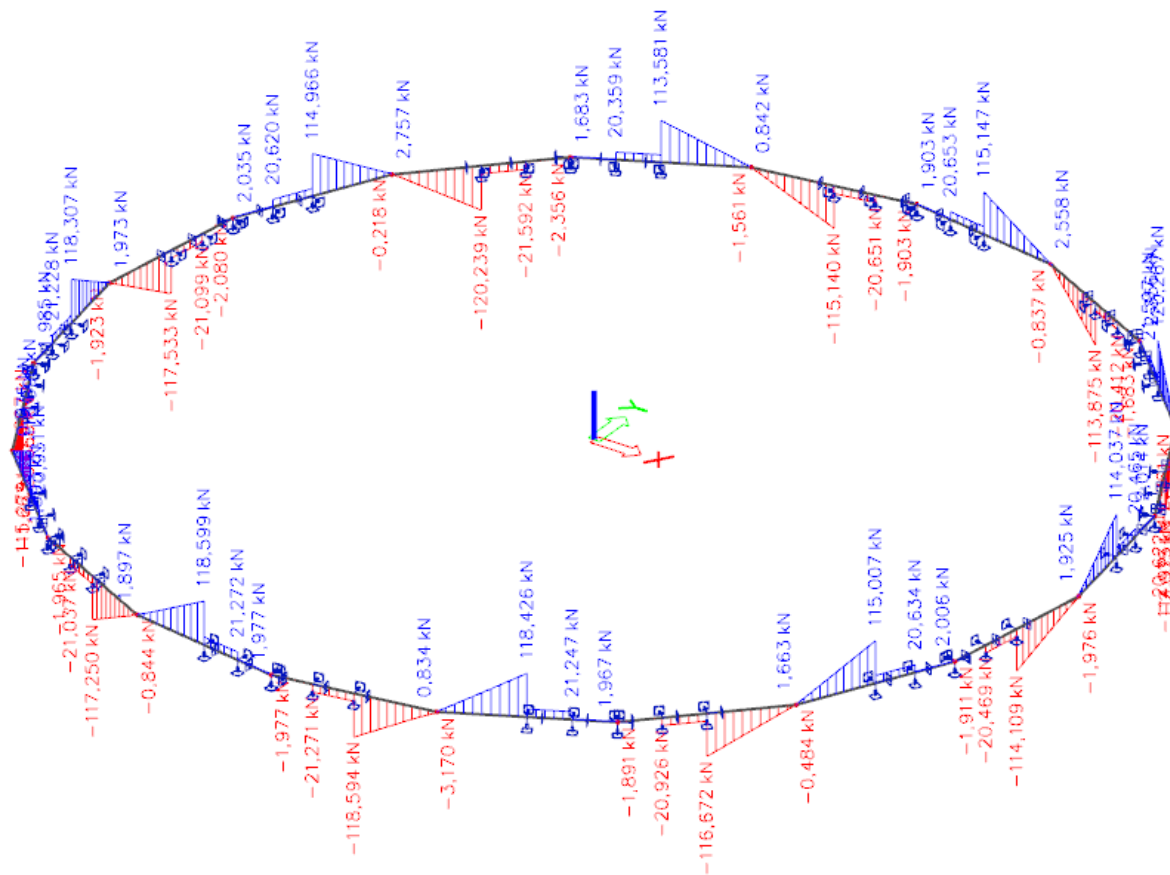
MSU – N [kN]



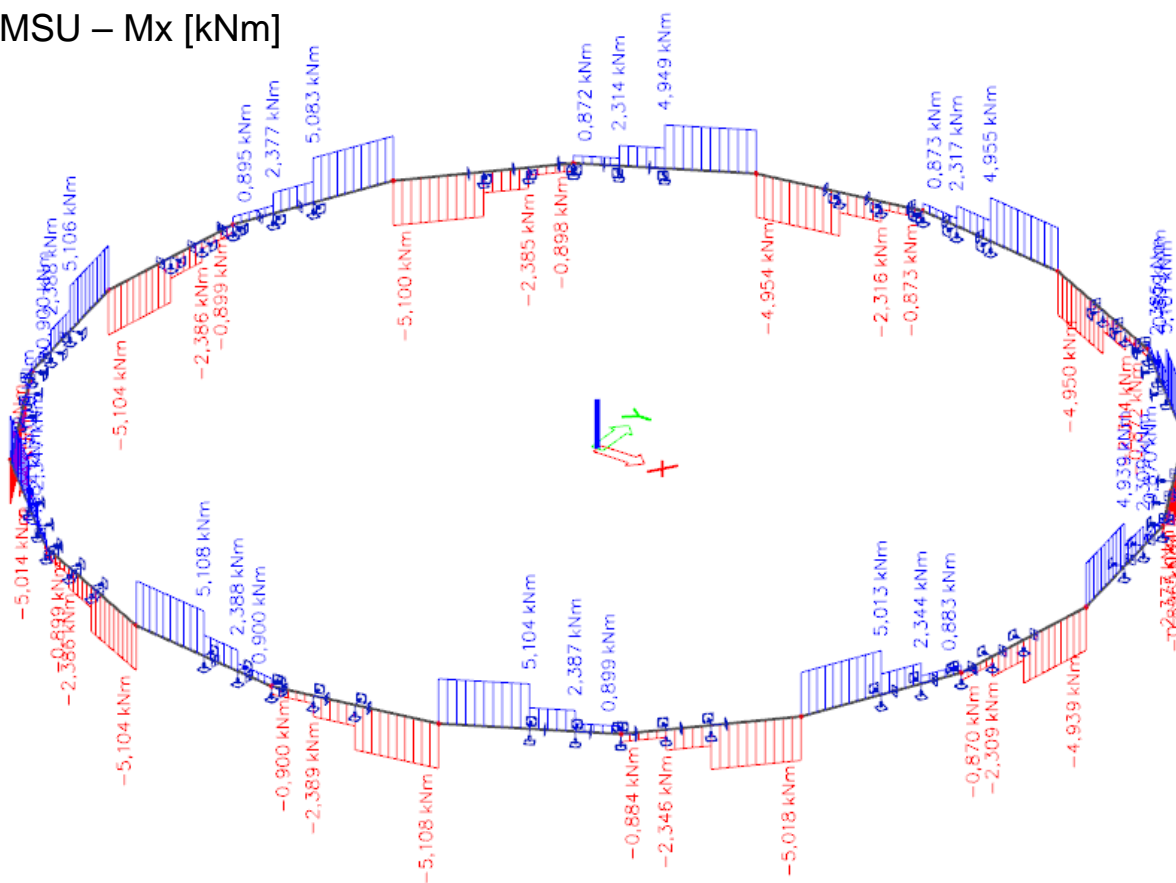
MSU – V_y [kN]



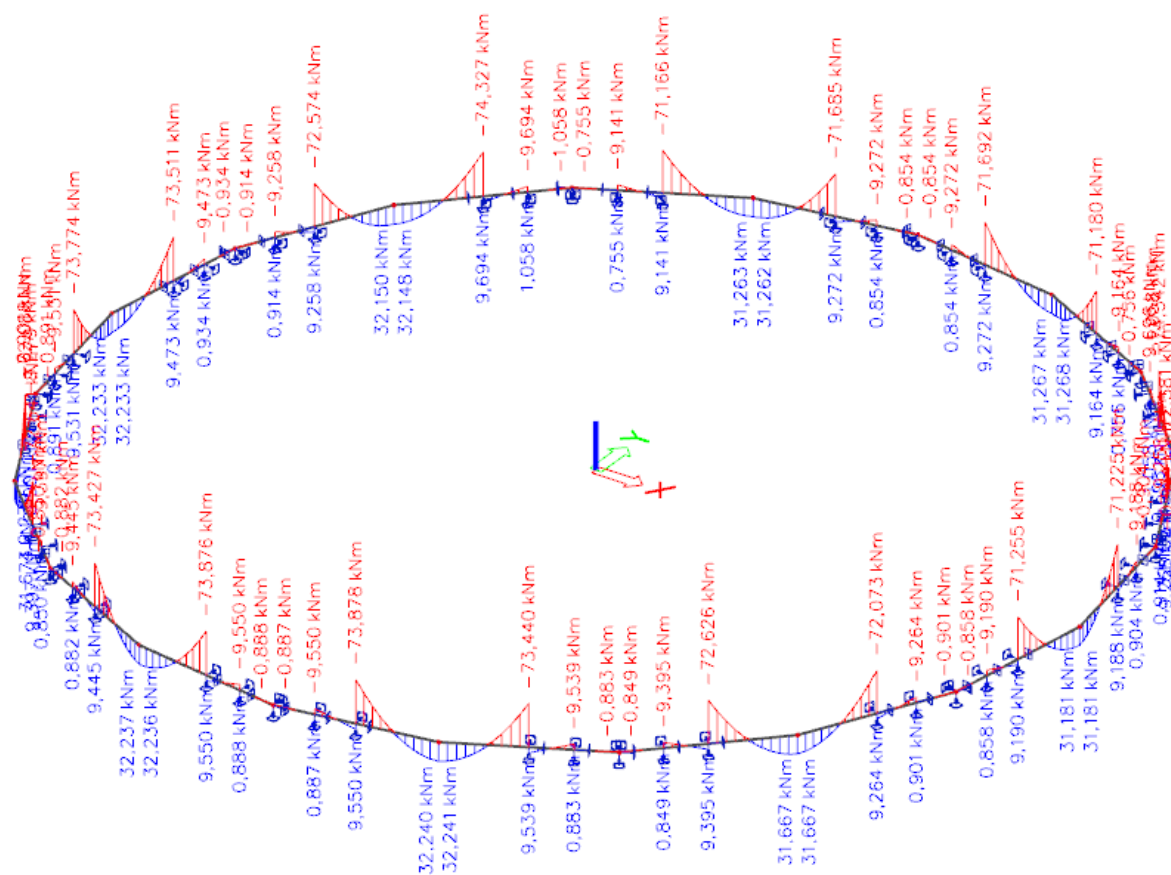
MSU – Vz [kN]



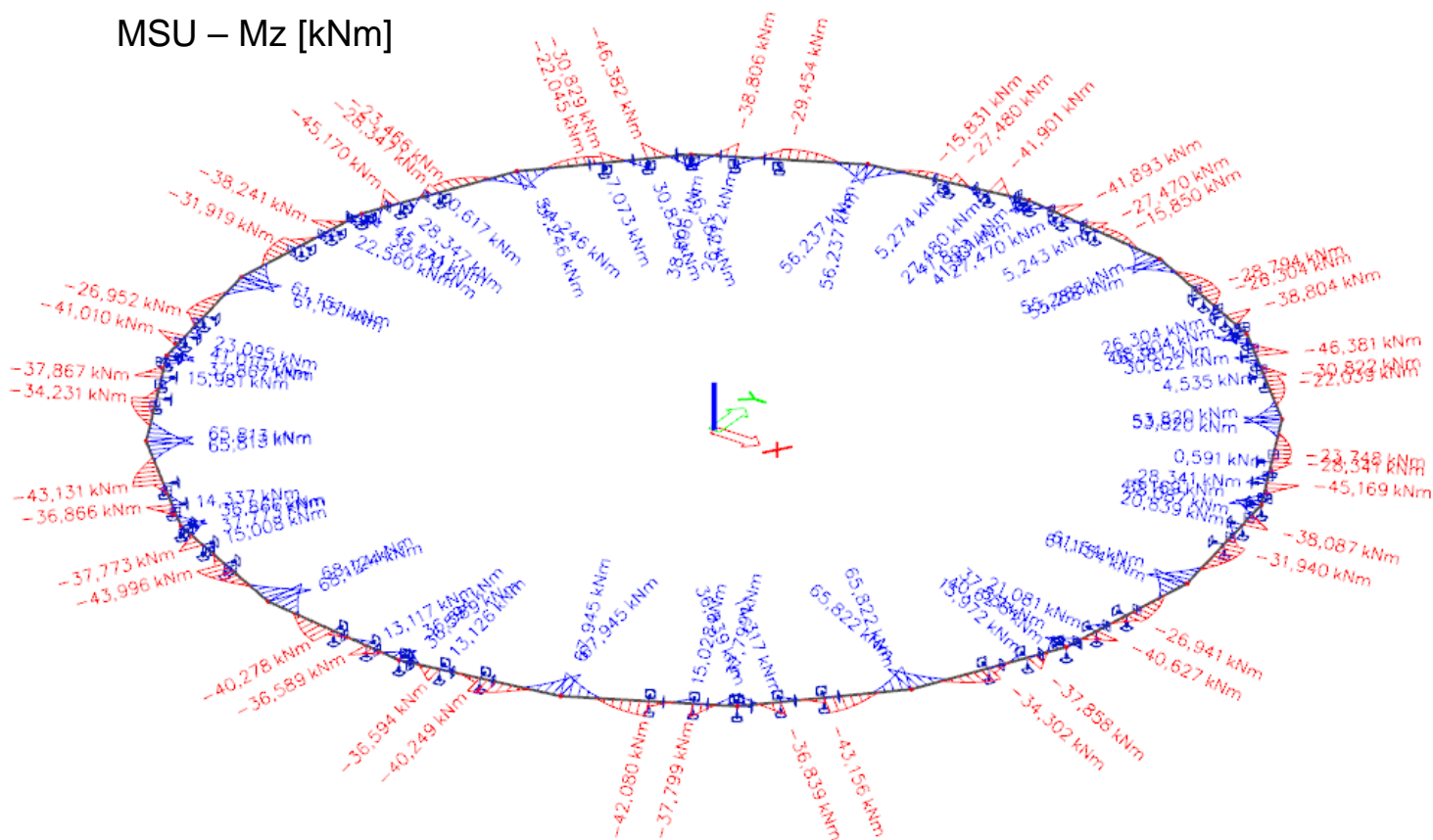
MSU – Mx [kNm]



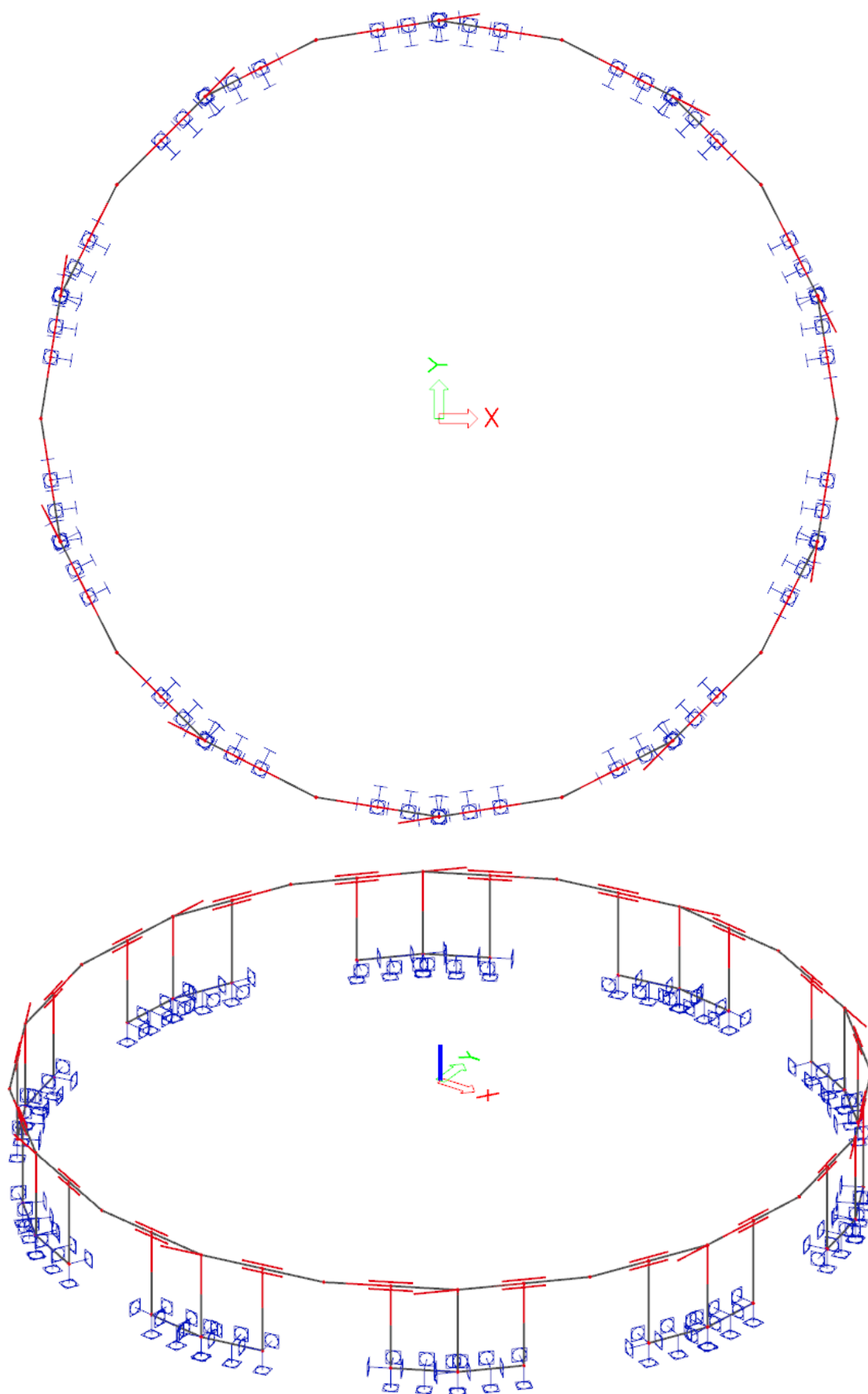
MSU – My [kNm]



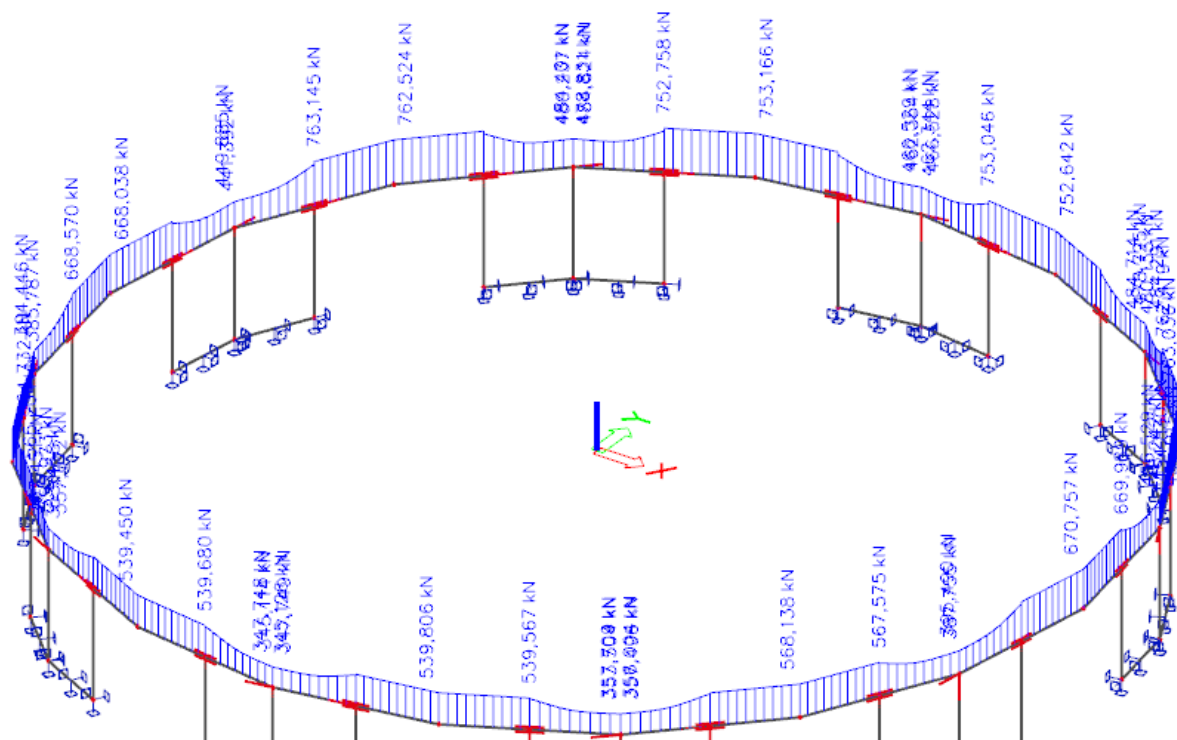
MSU – Mz [kNm]



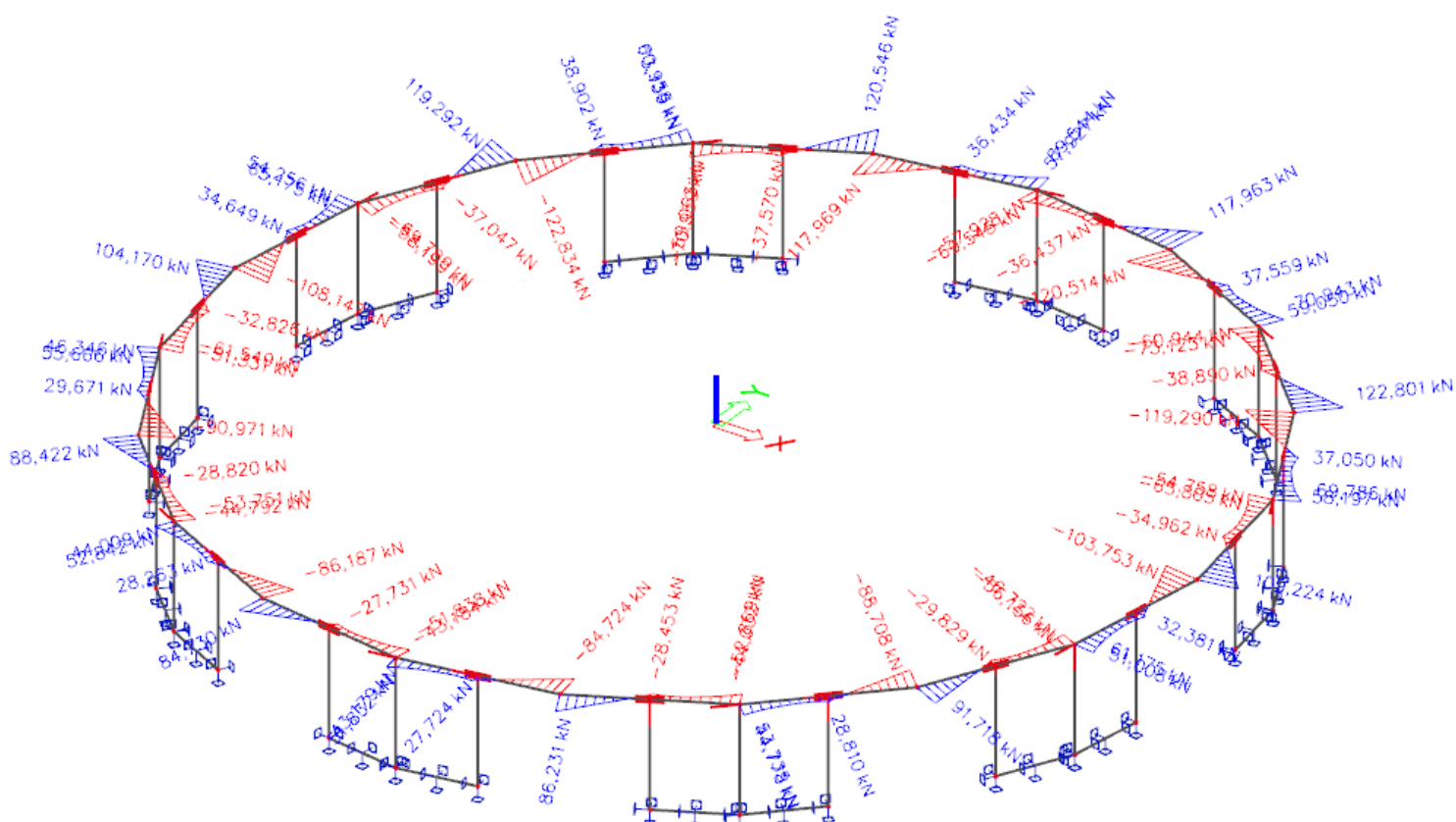
Model 3: uložení na stěnách



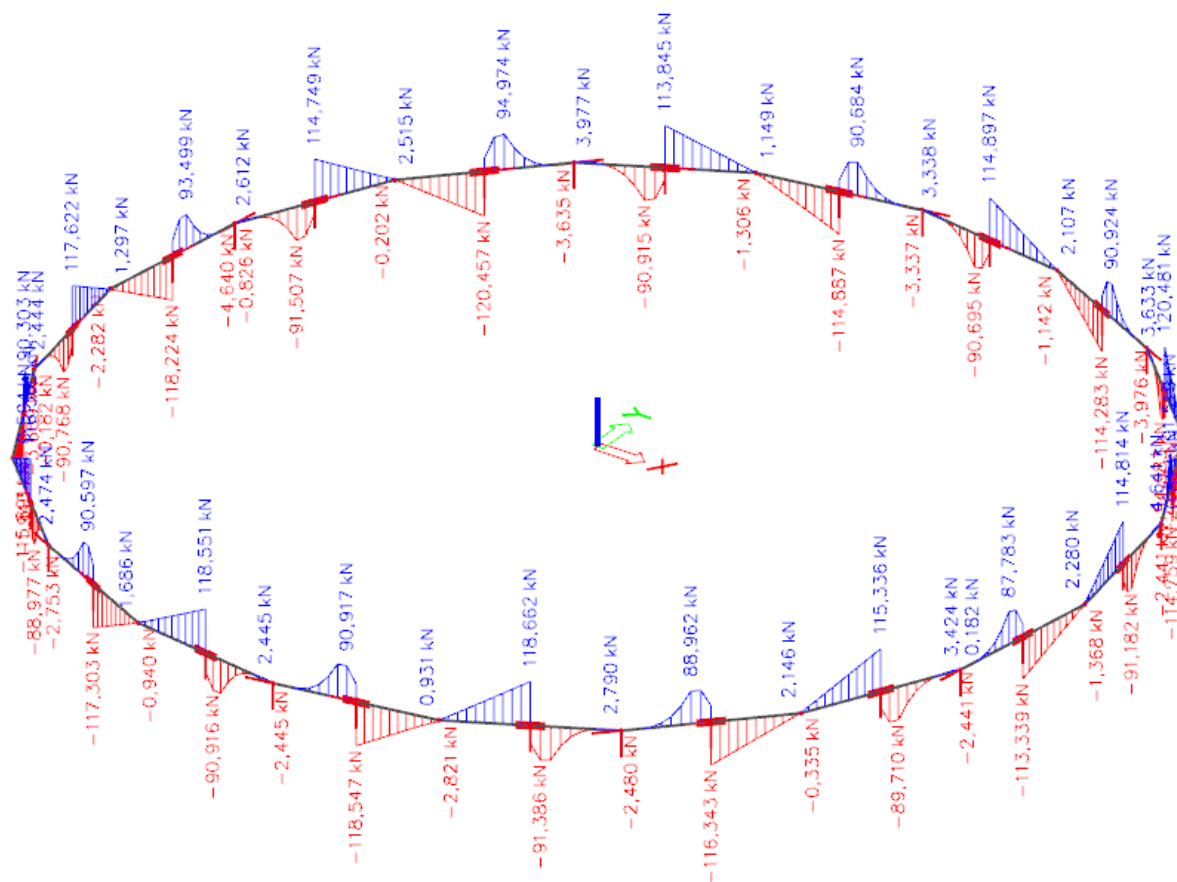
MSU – N [kN]



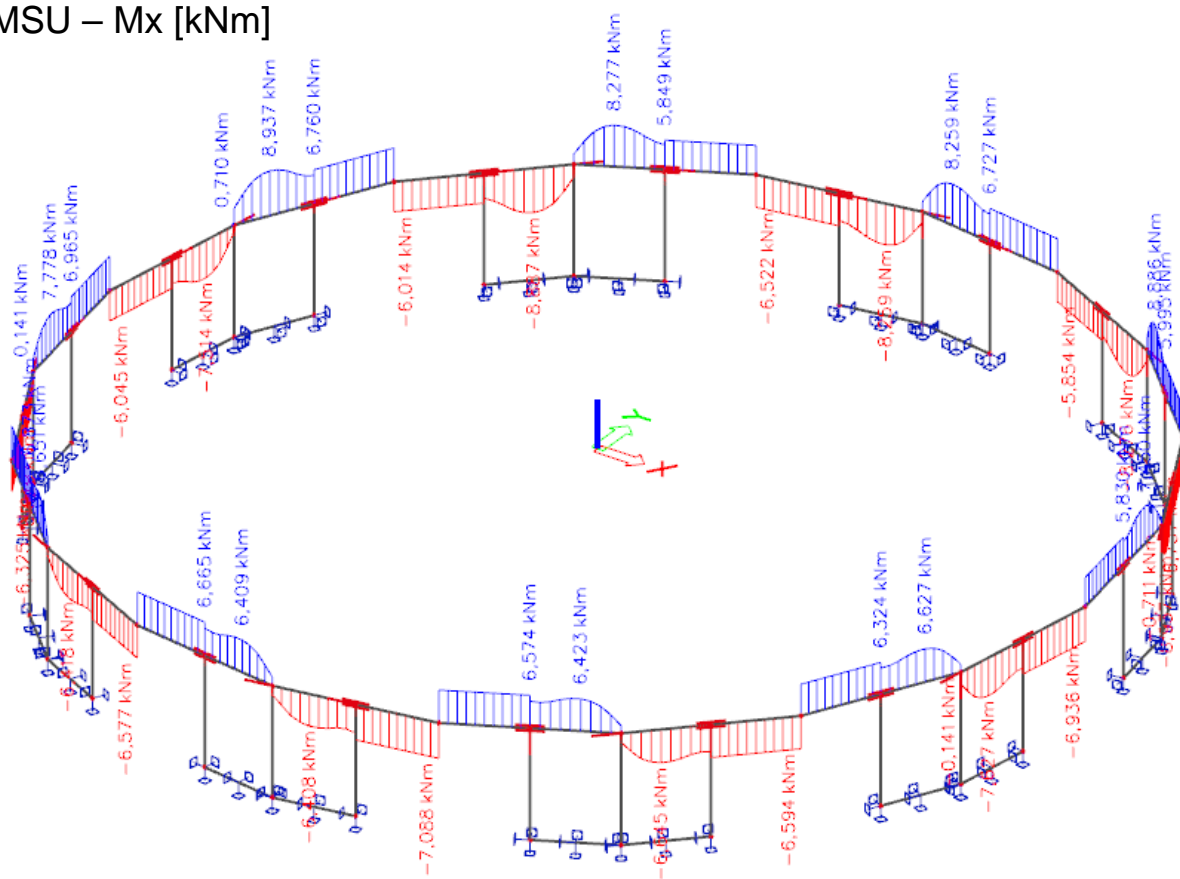
MSU – V_y [kN]



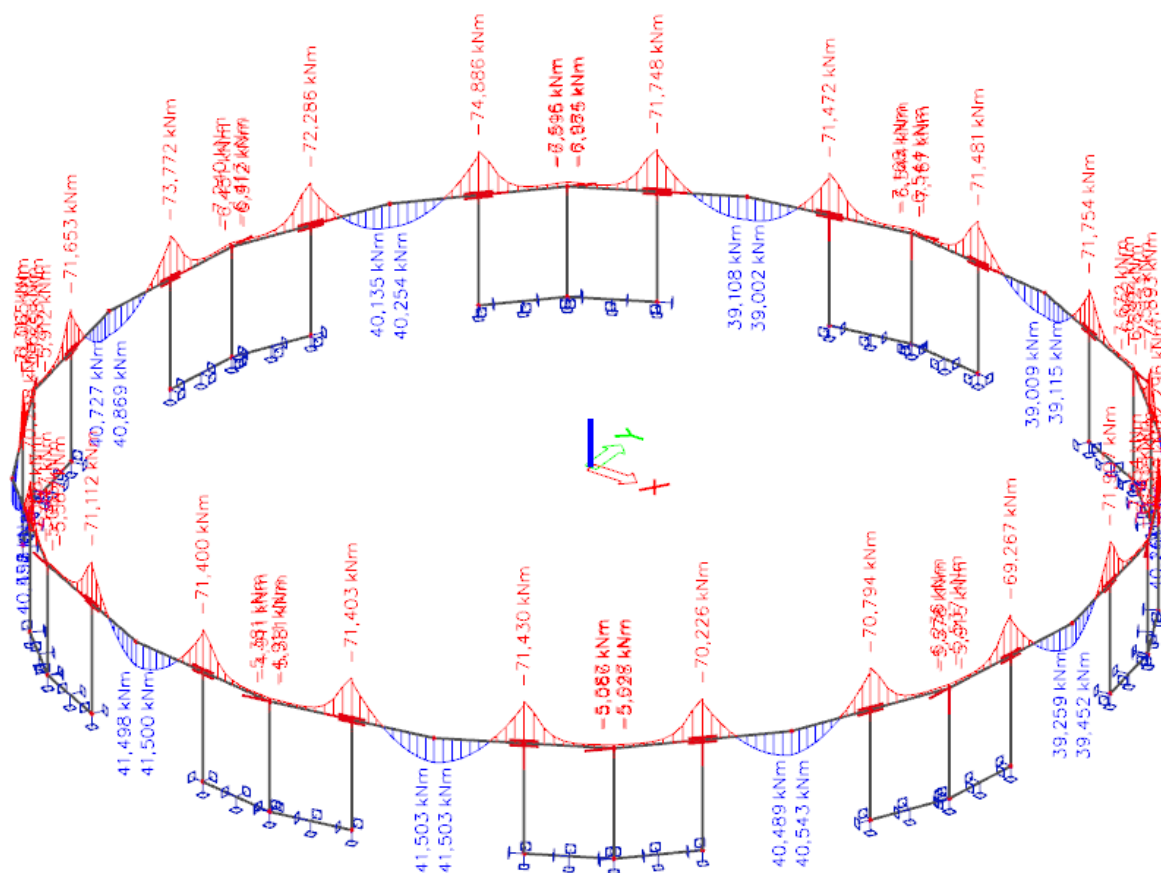
MSU – Vz [kN]



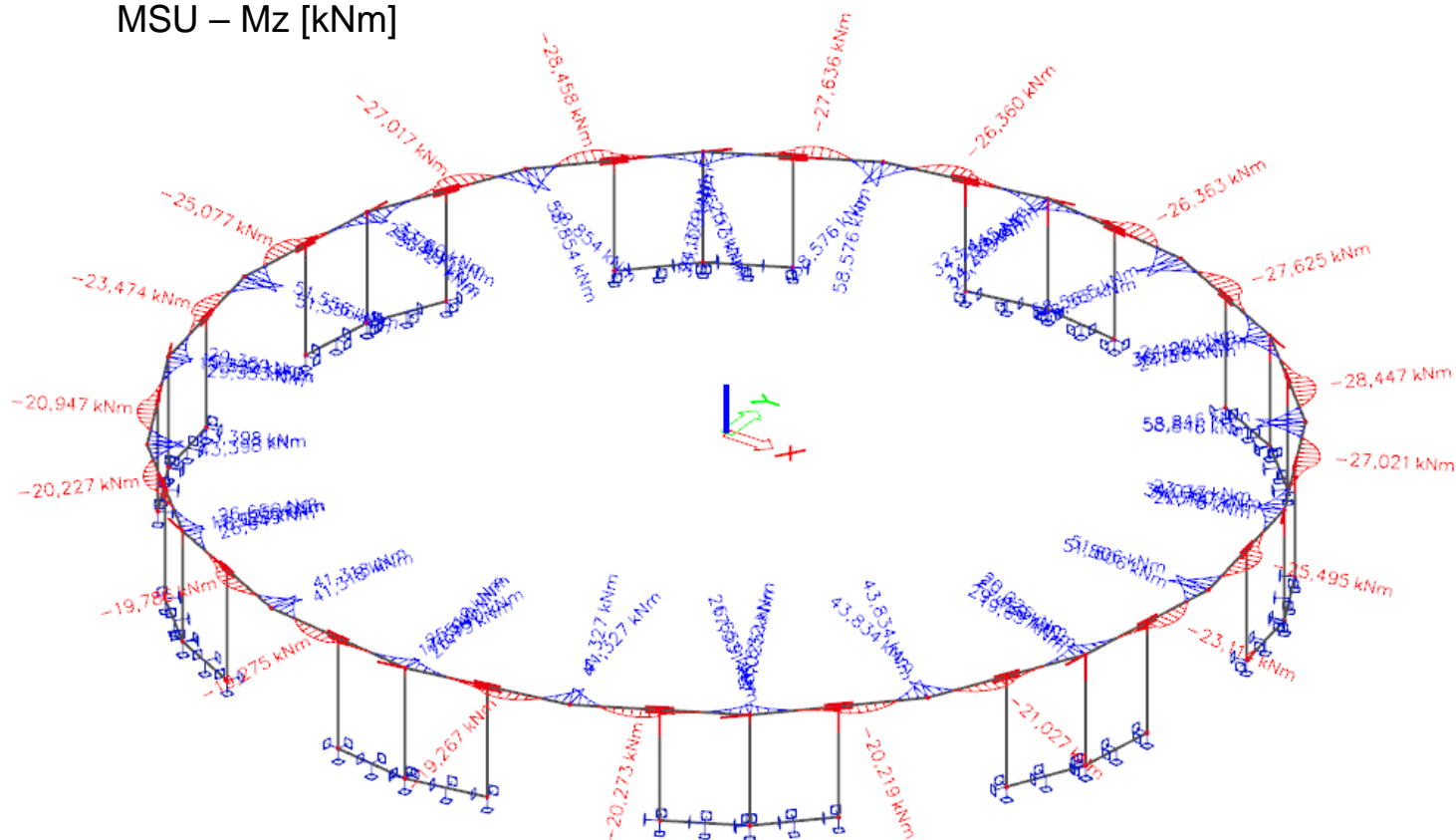
MSU – Mx [kNm]



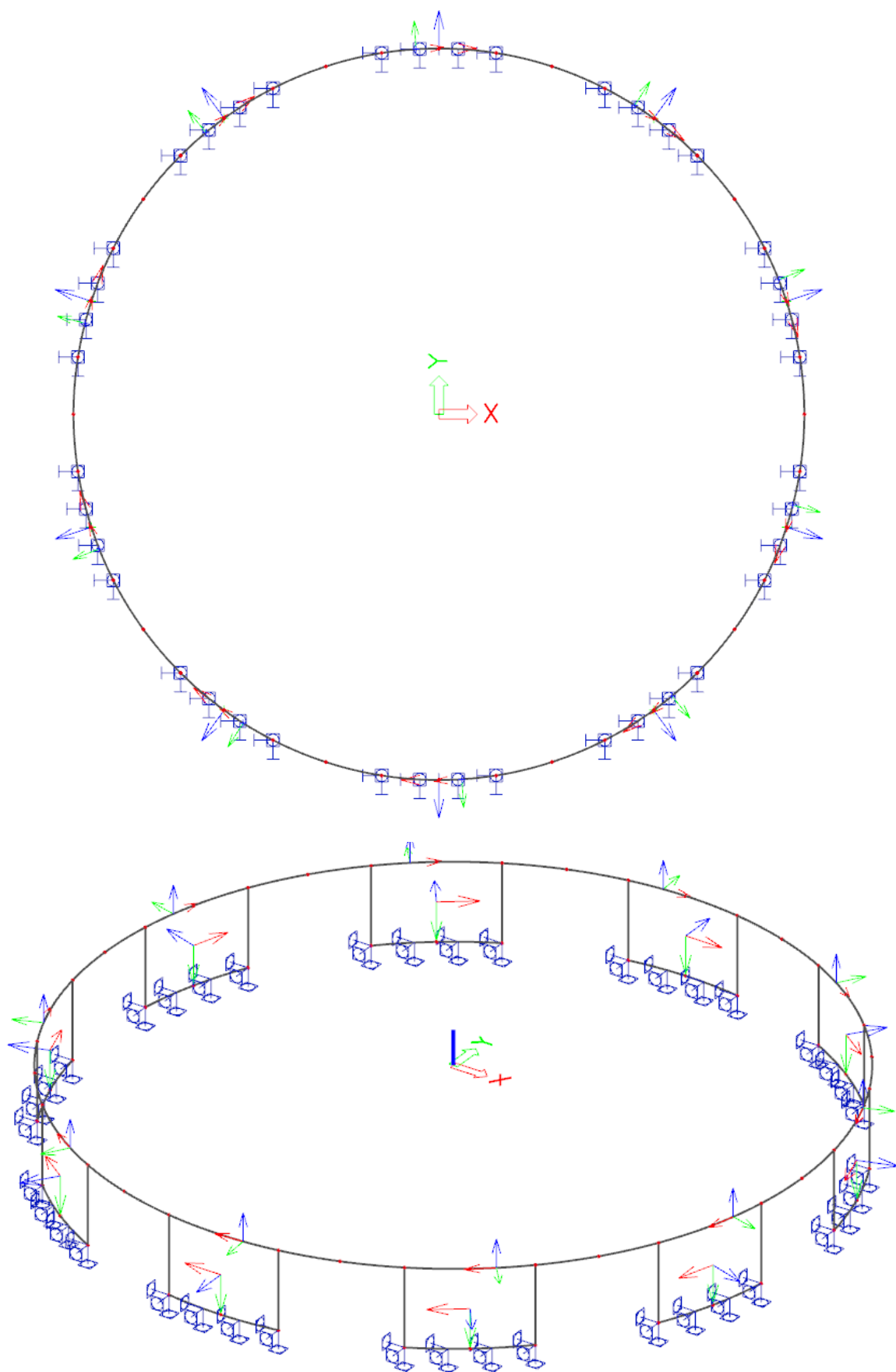
MSU – My [kNm]



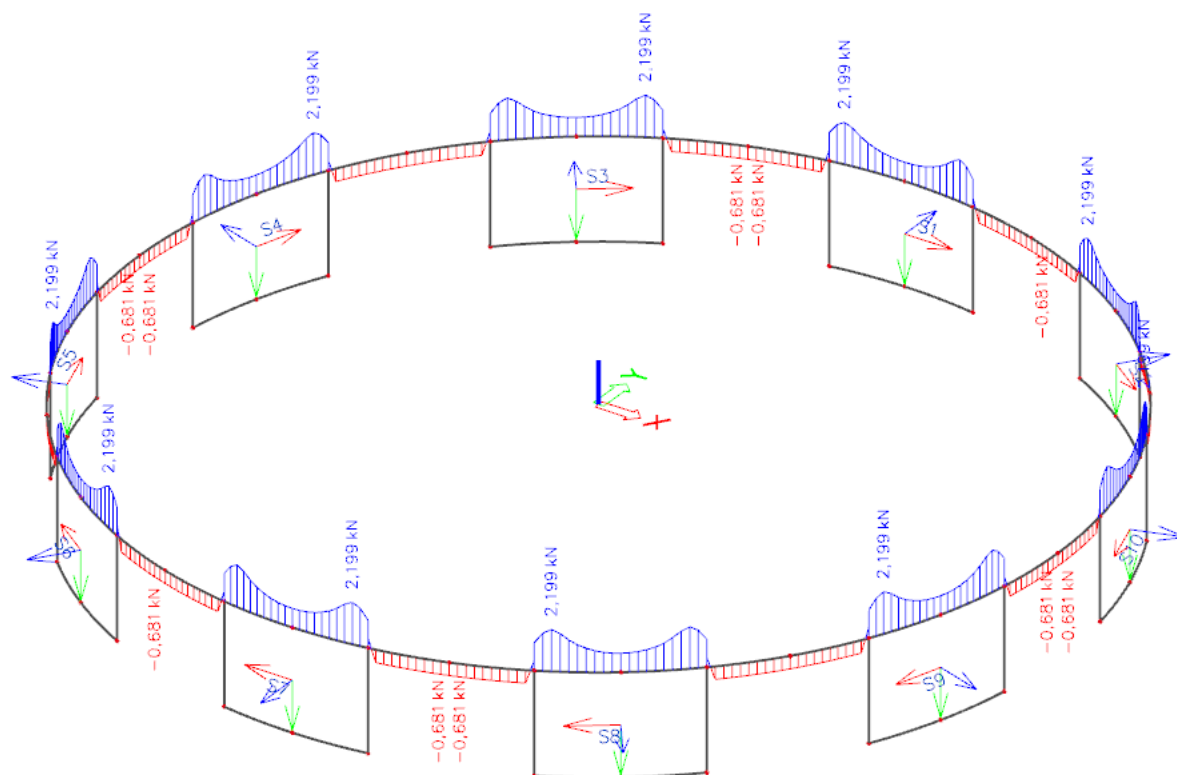
MSU – Mz [kNm]



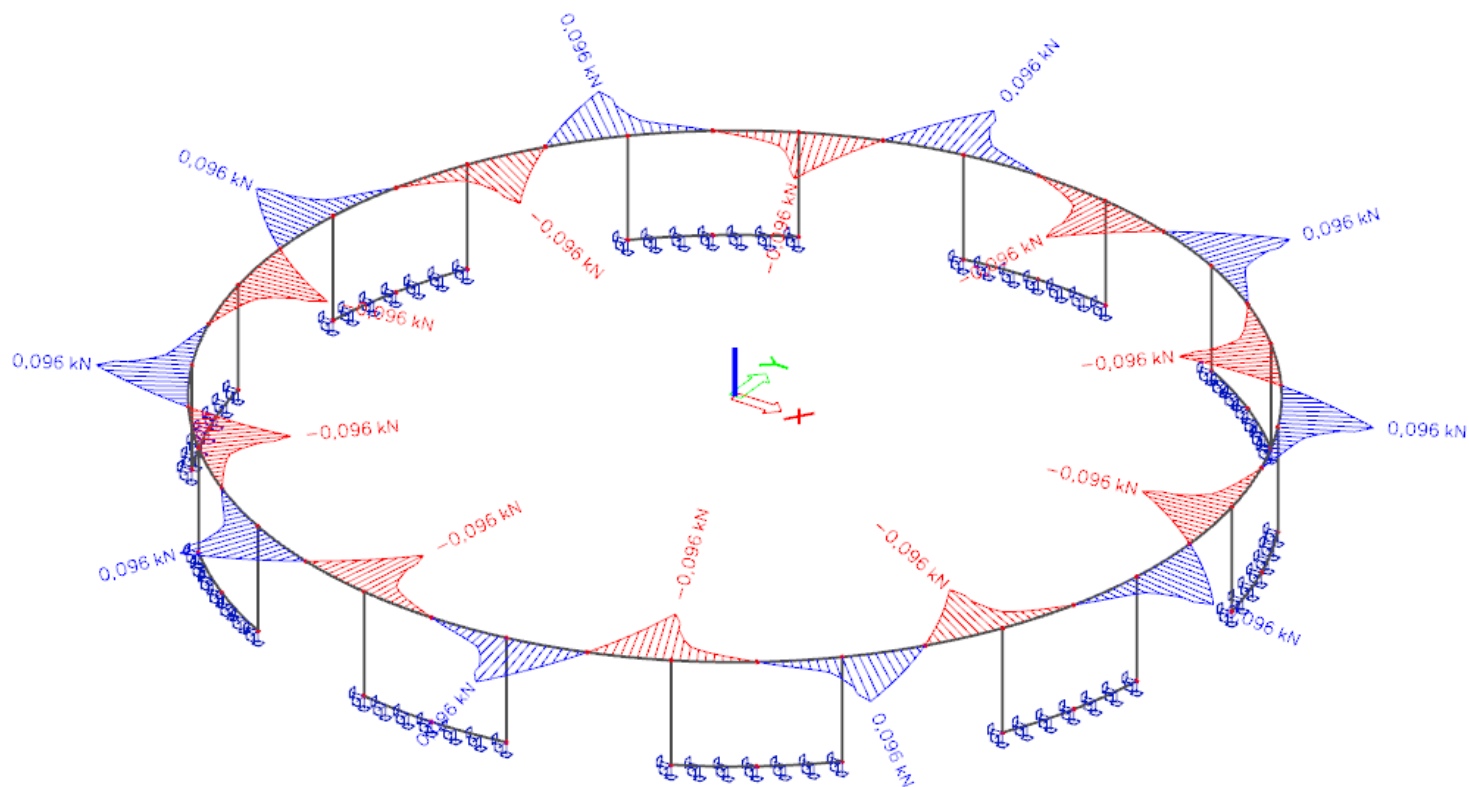
Model 4: skutečná kruhová konstrukce na stěnách



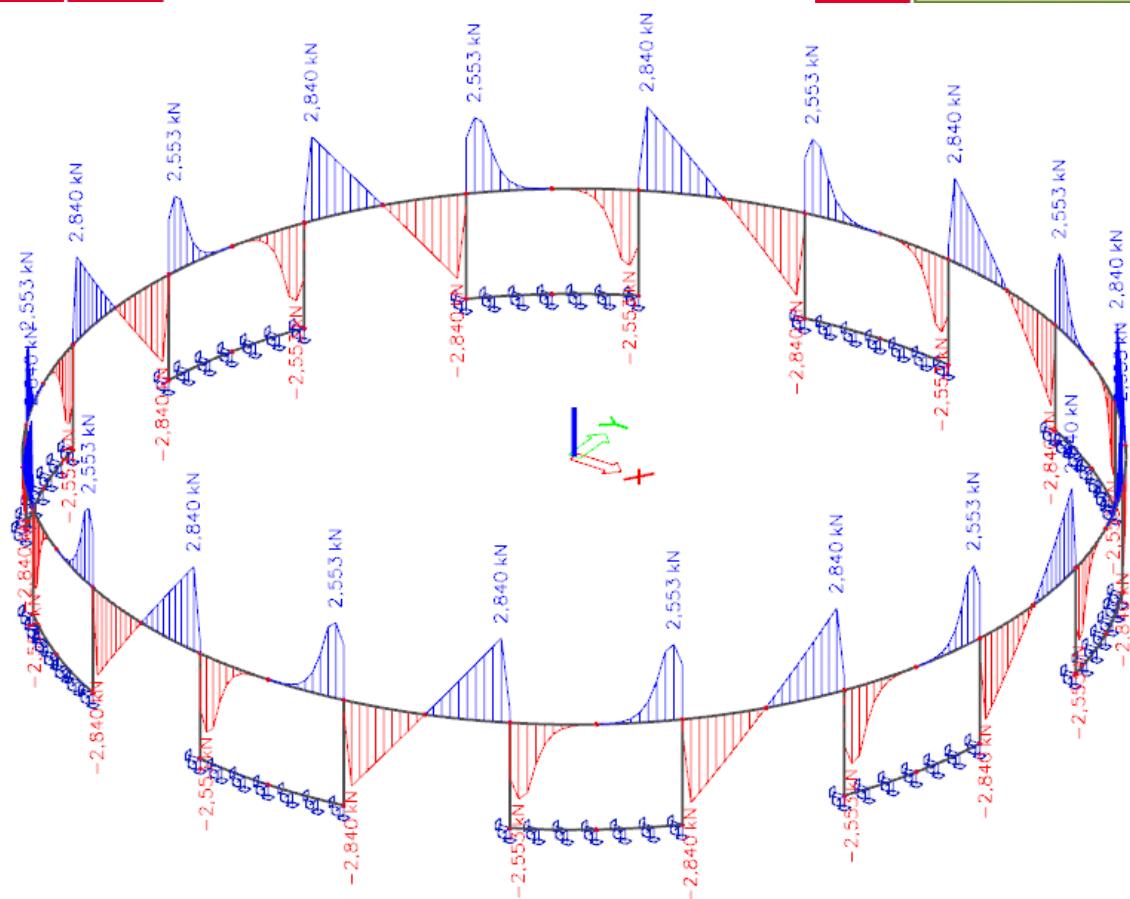
ZS0 – Prstenec – N [kN]



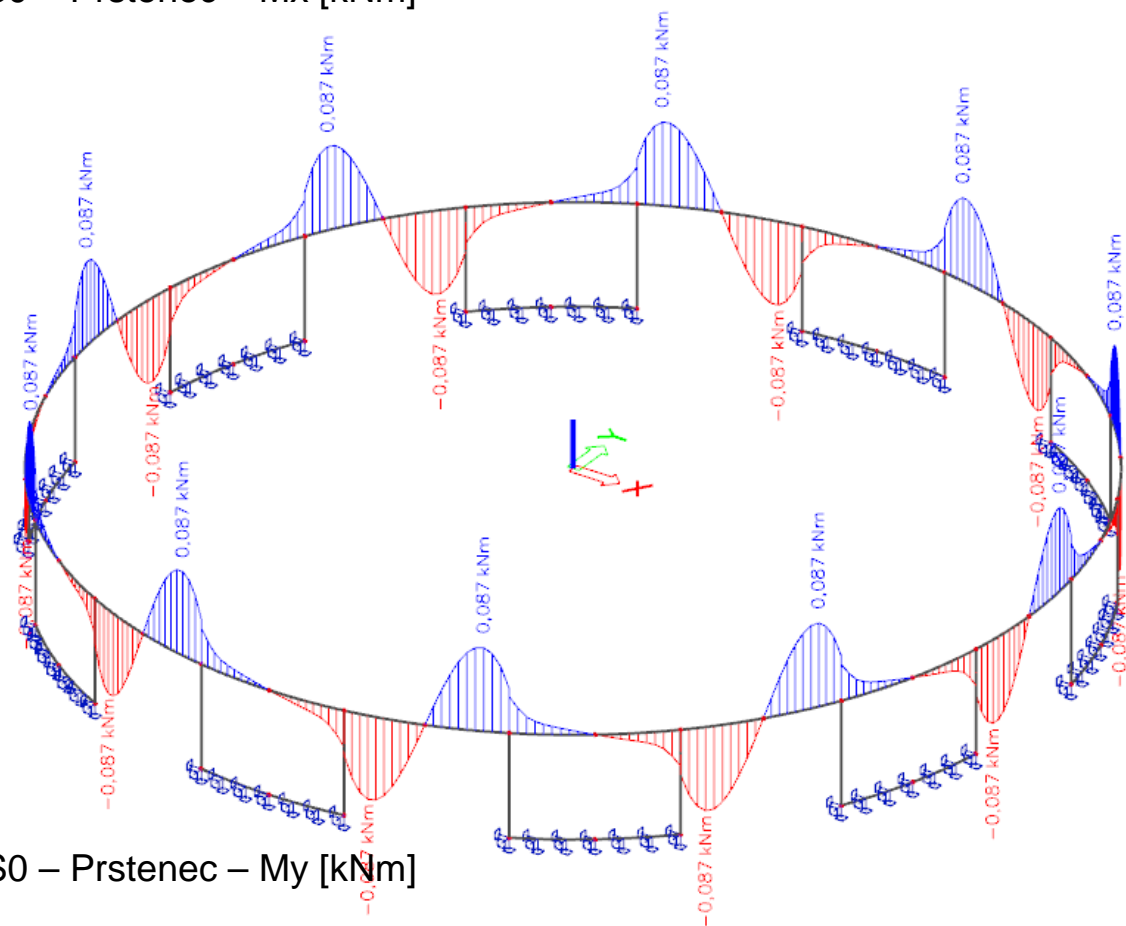
ZS0 – Prstenec – Vy [kN]



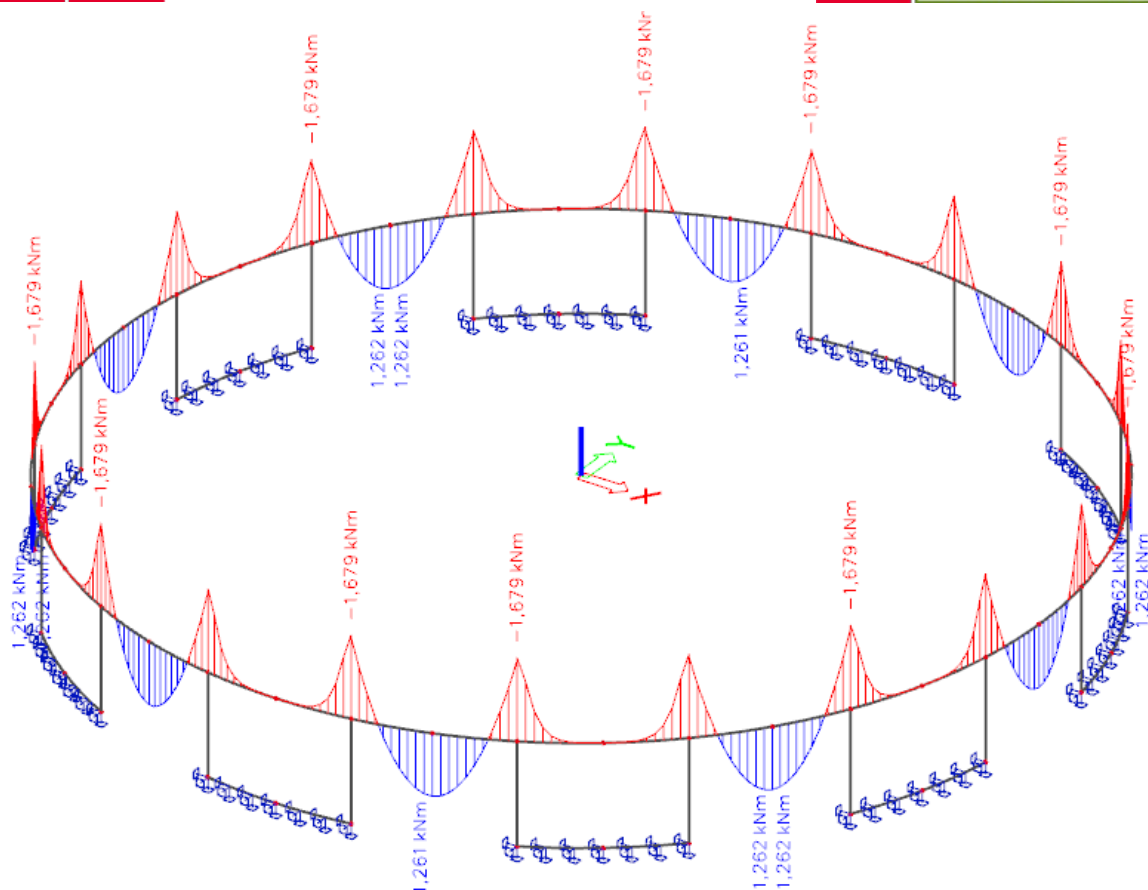
ZS0 – Prstenec – Vz [kN]



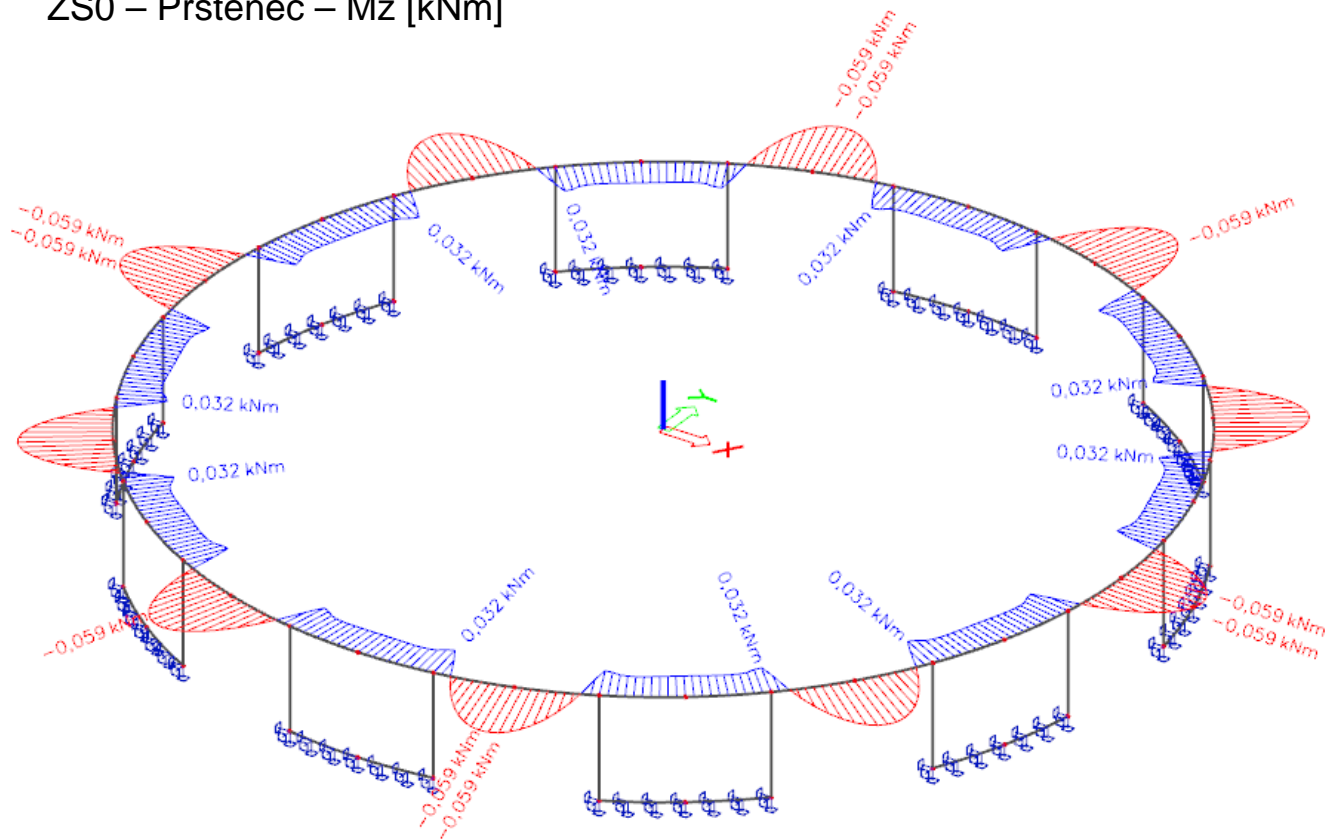
ZS0 – Prstenec – M_x [kNm]



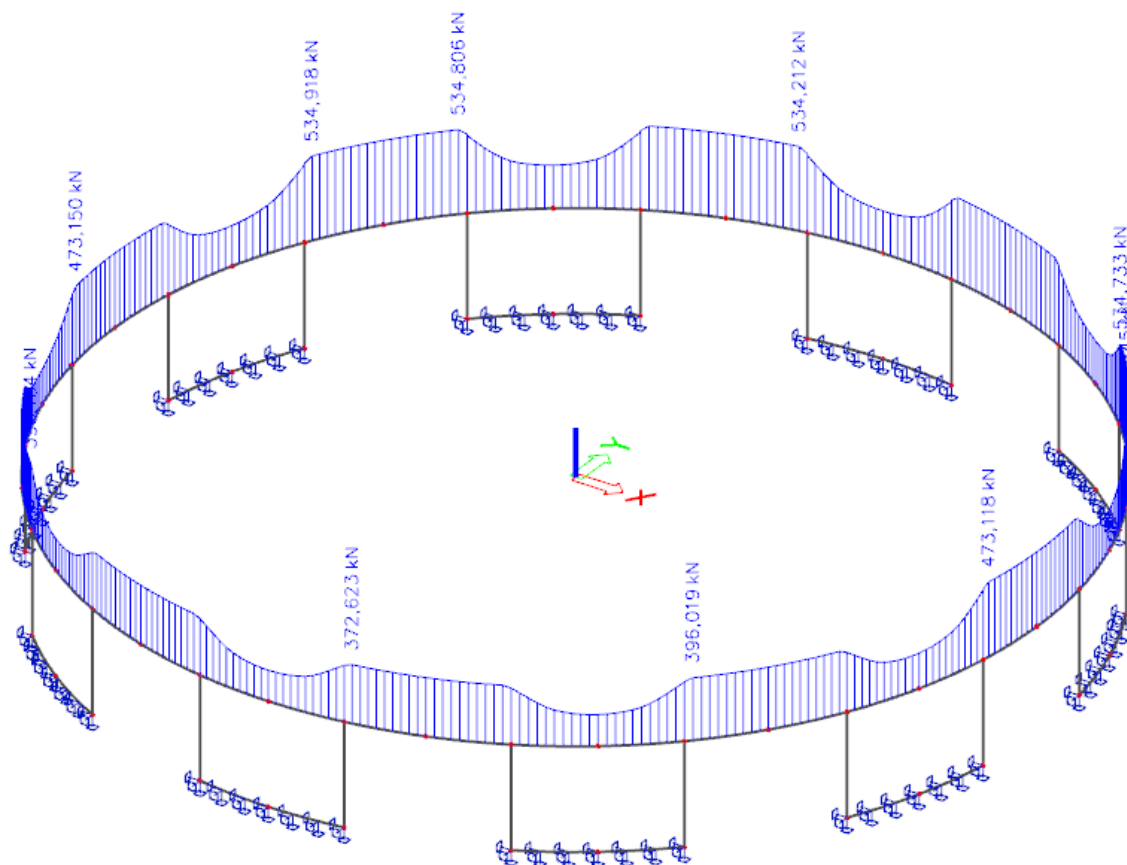
ZS0 – Prstenec – M_y [kNm]



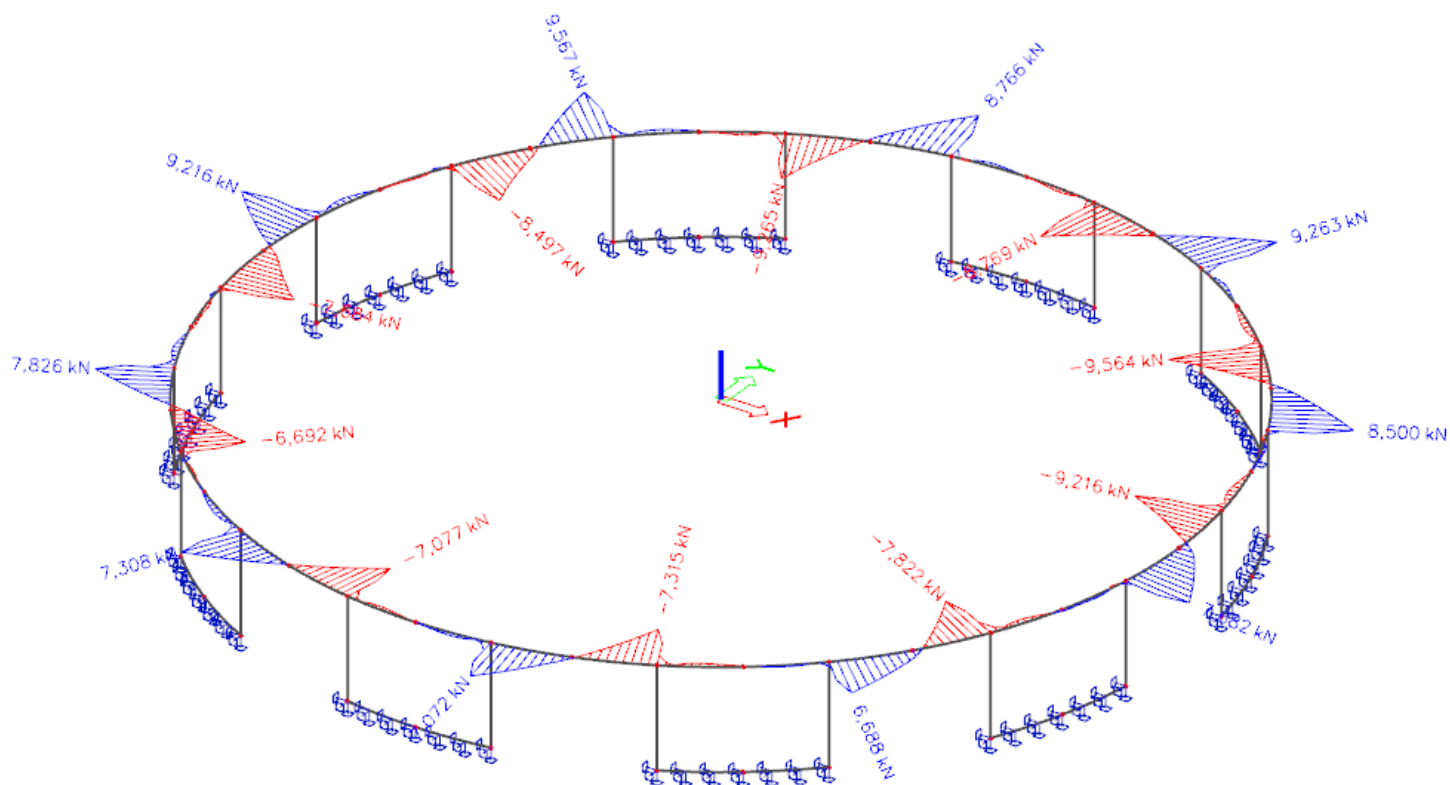
ZS0 – Prstenec – M_z [kNm]



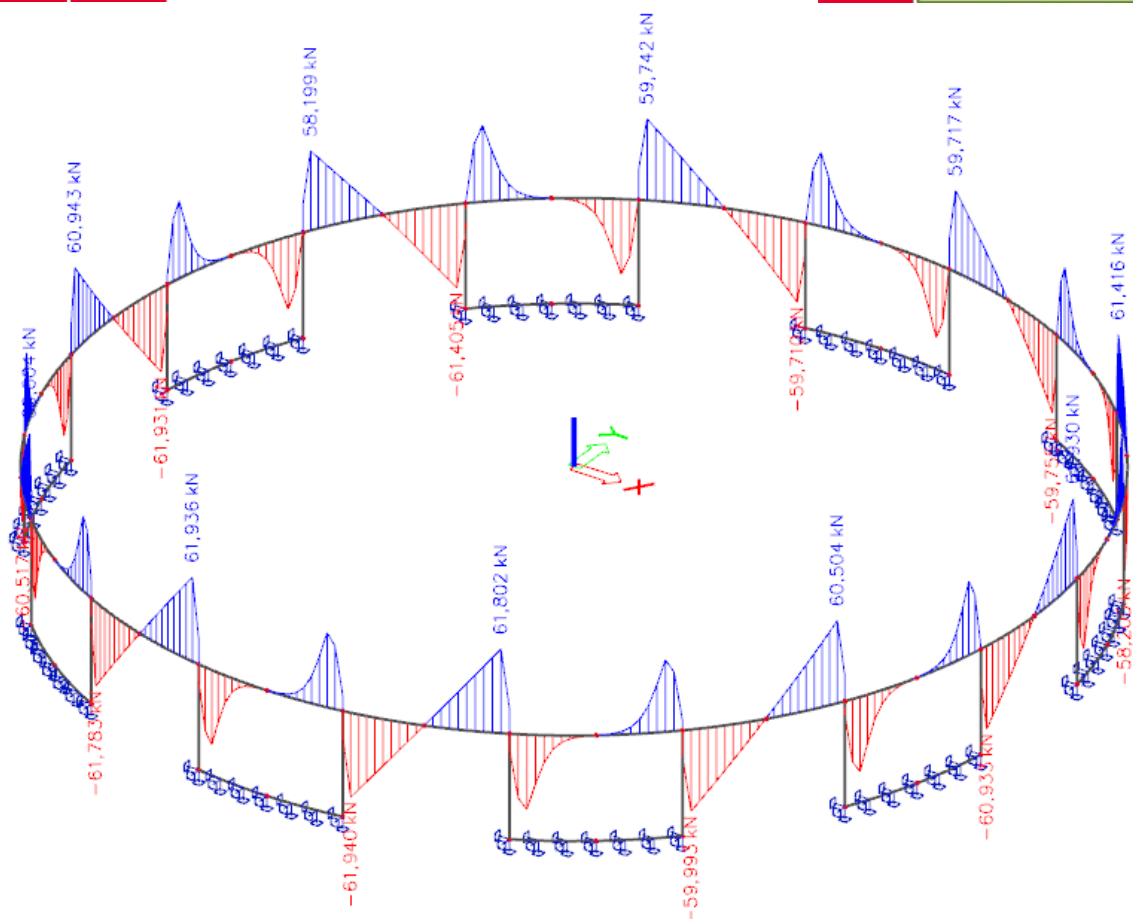
ZS1 – Skořepina – N [kN]



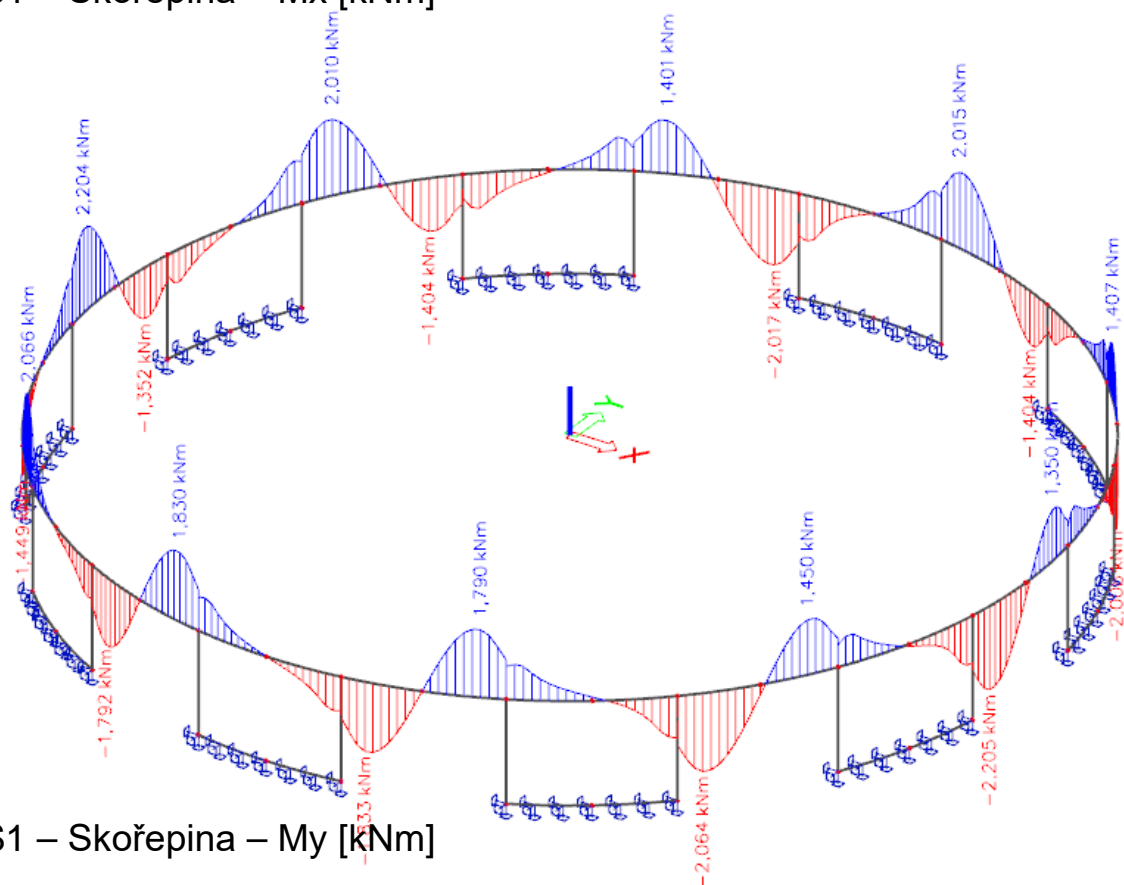
ZS1 – Skořepina – V_y [kN]



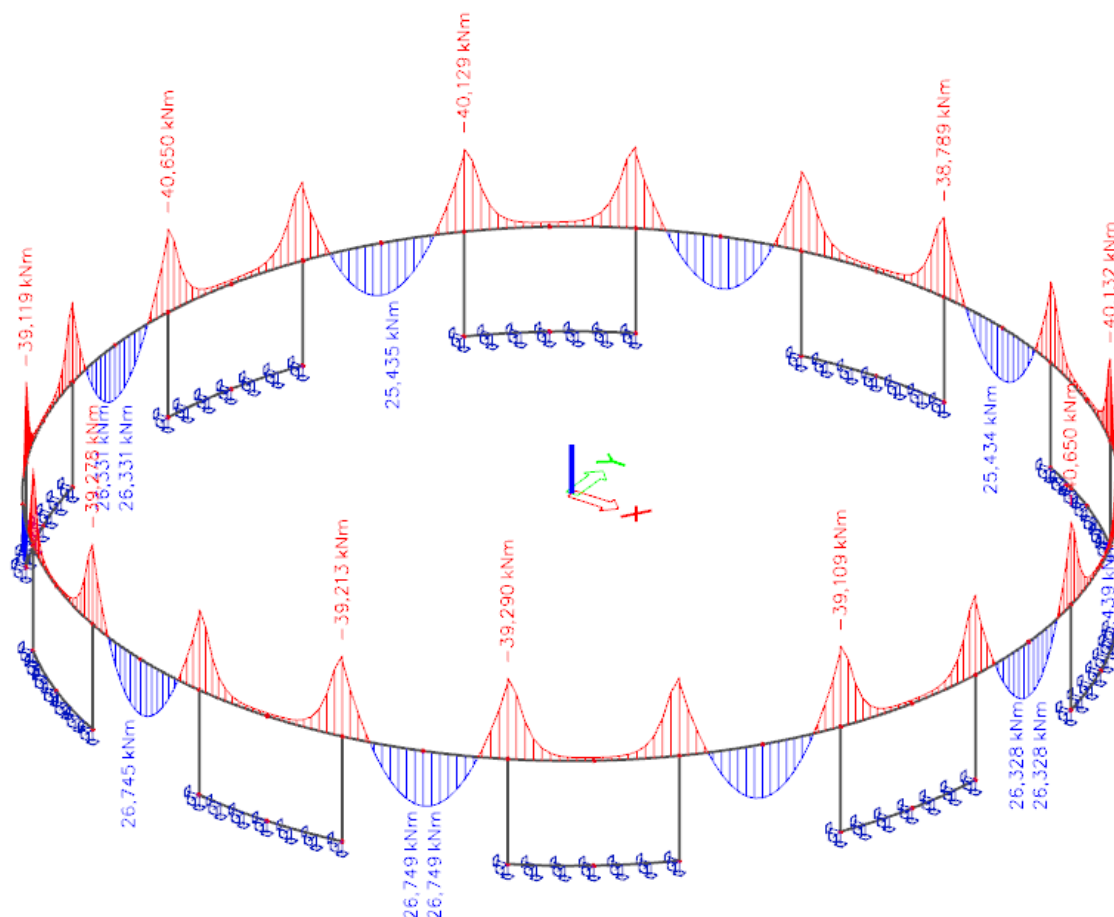
ZS1 – Skořepina – V_z [kN]



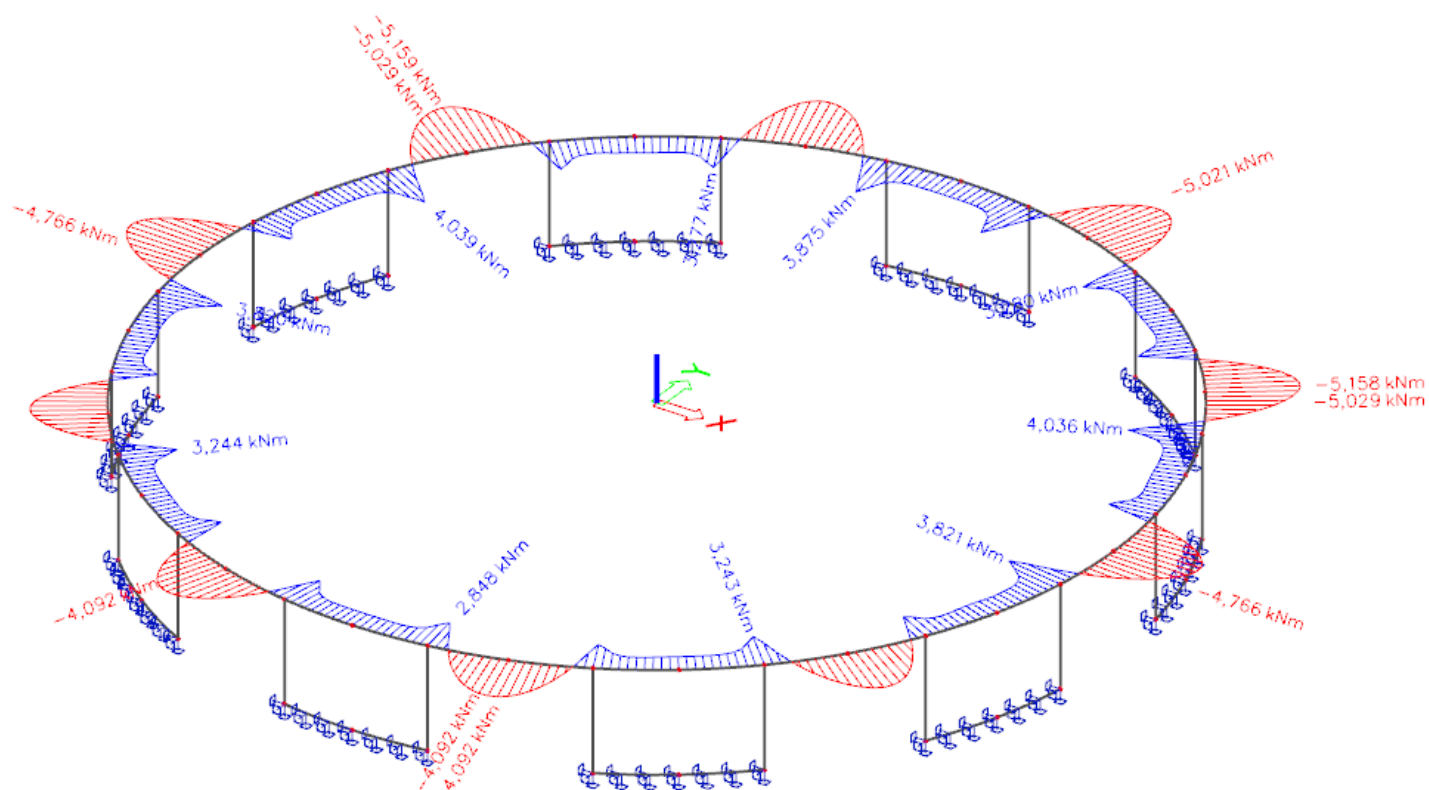
ZS1 – Skořepina – M_x [kNm]



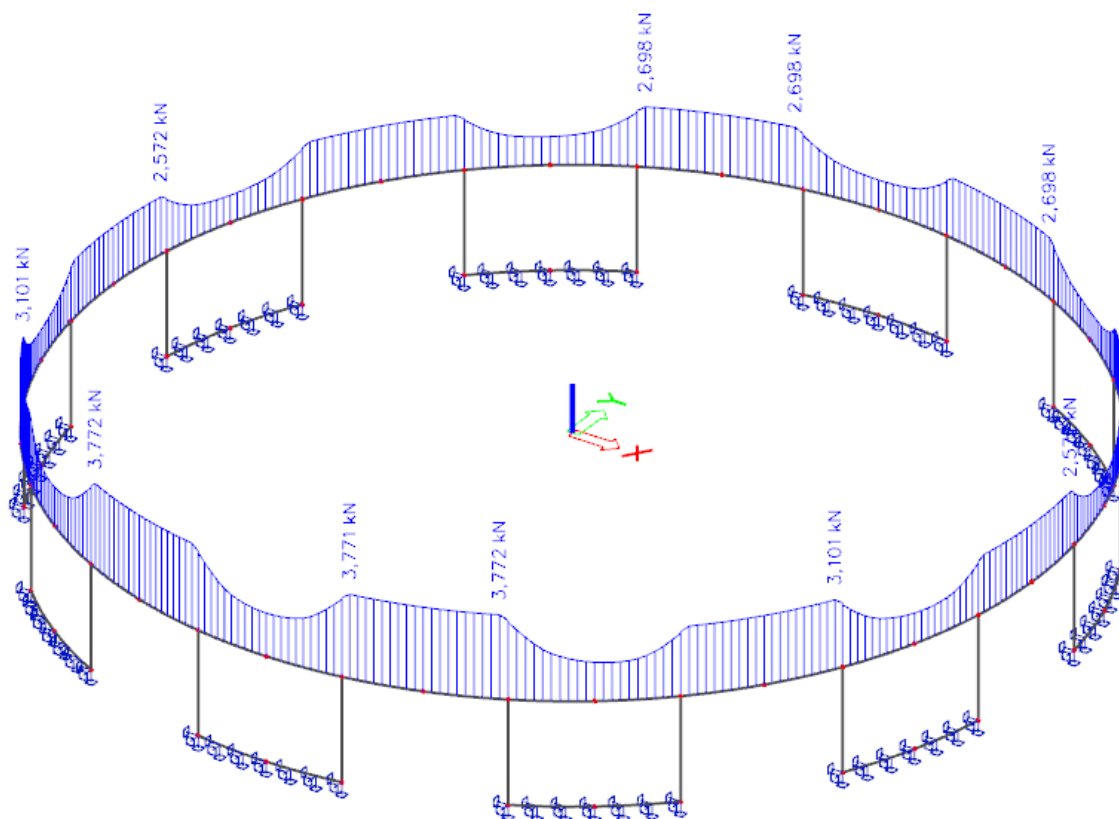
ZS1 – Skořepina – M_y [kNm]



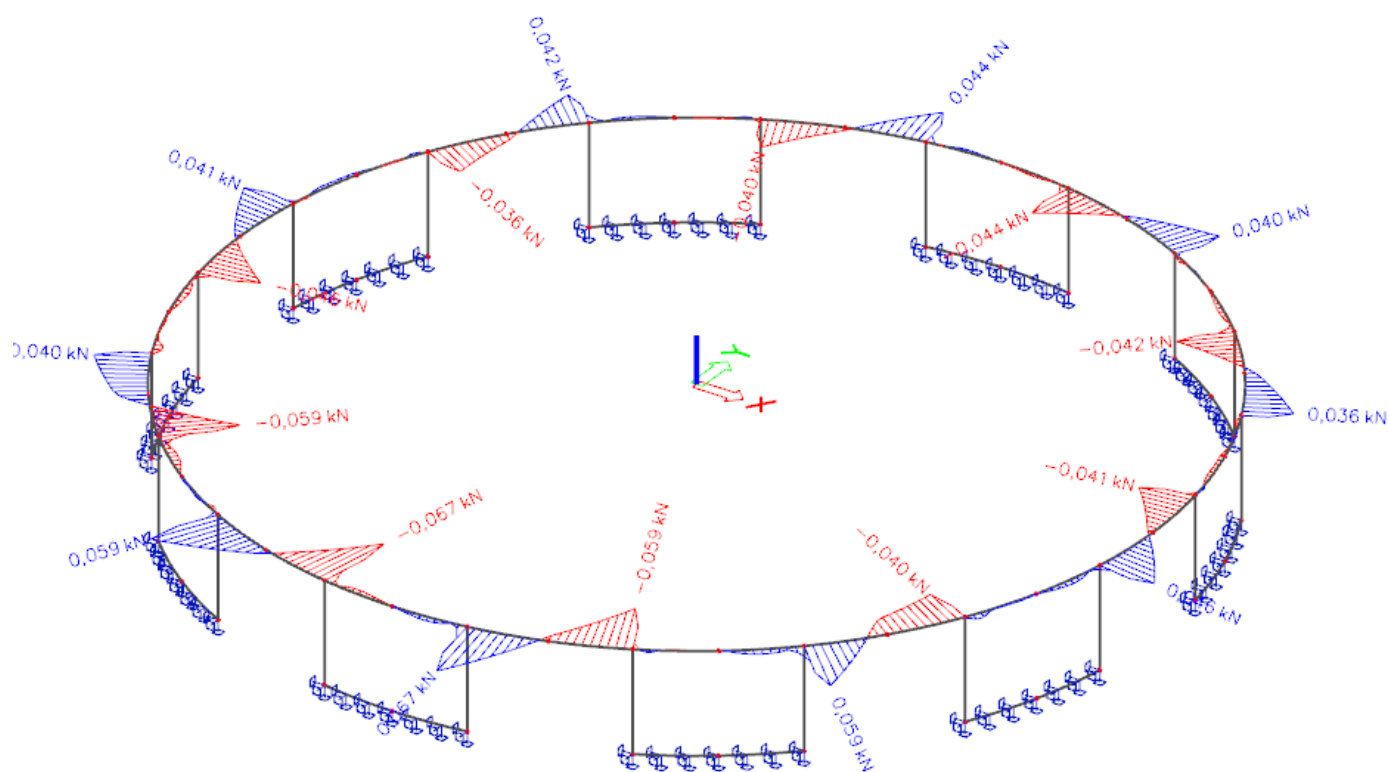
ZS1 – Skořepina – M_z [kNm]



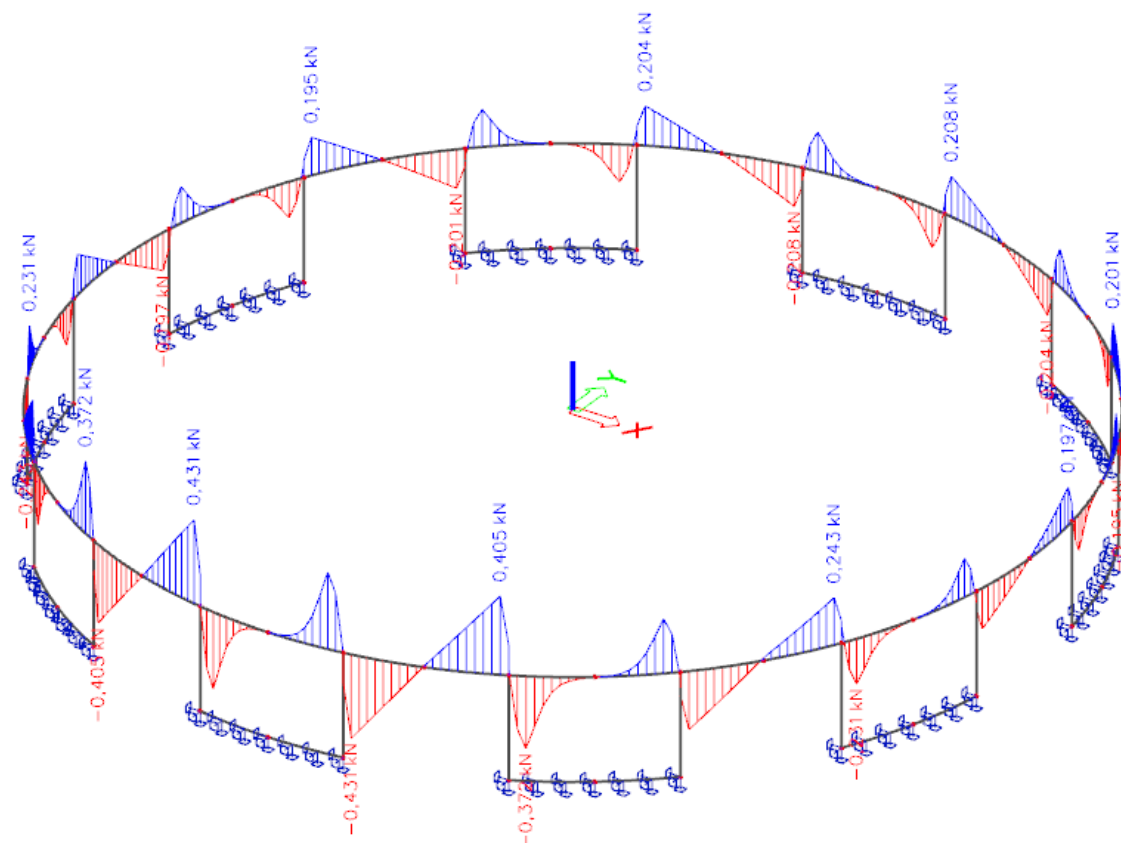
ZS2 – Užitné I – N [kN]



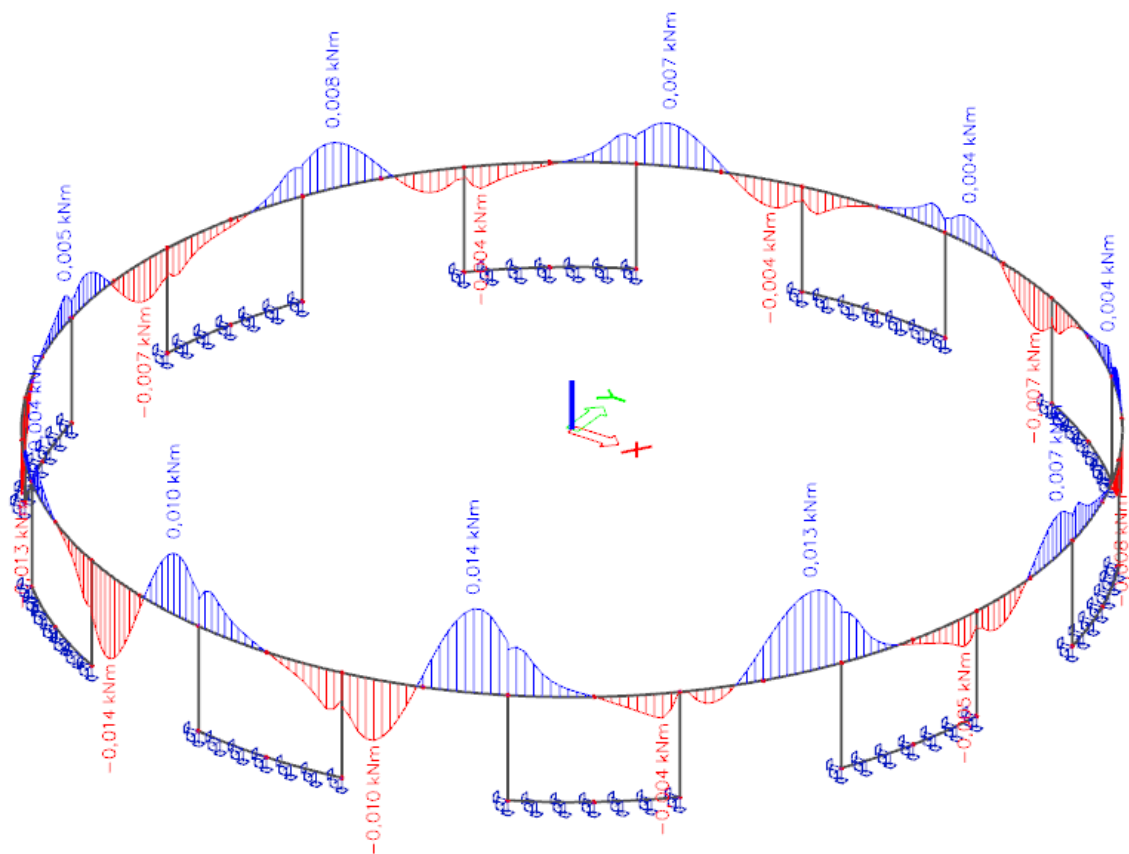
ZS2 – Užité I – V_y [kN]



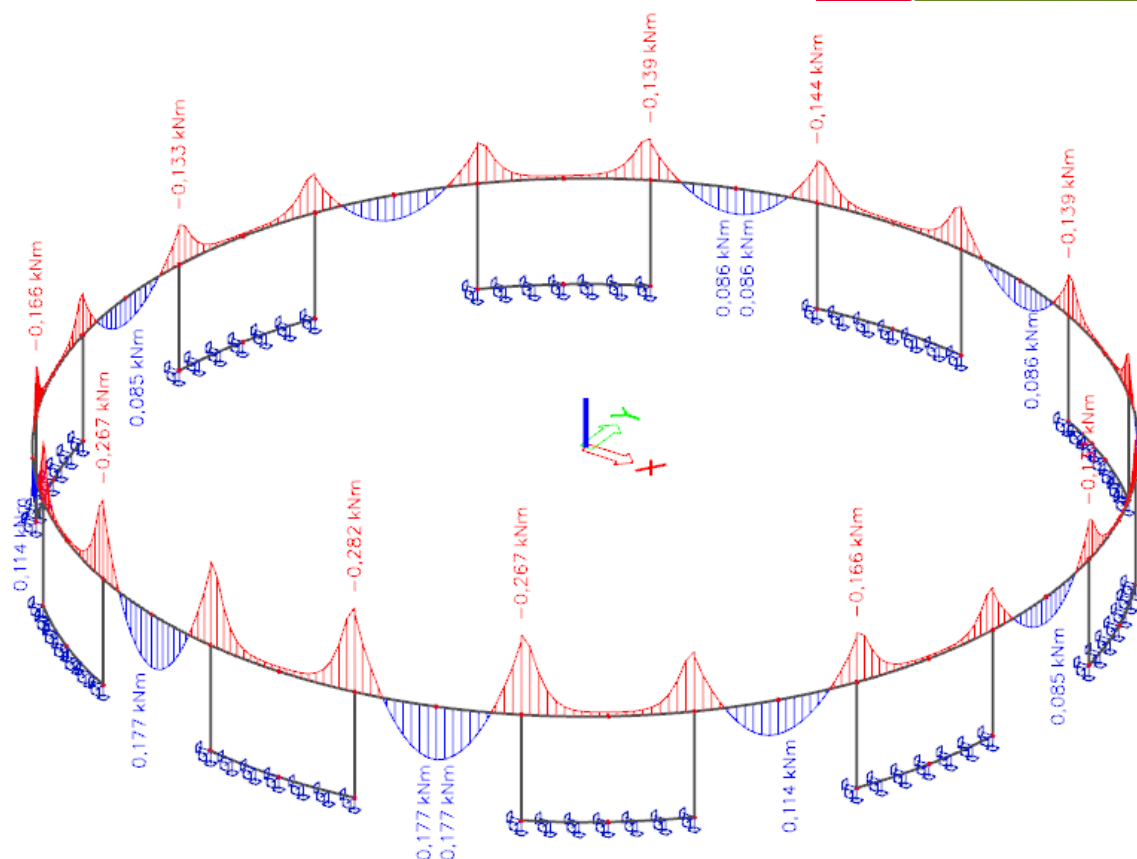
ZS2 – Užité I – V_z [kN]



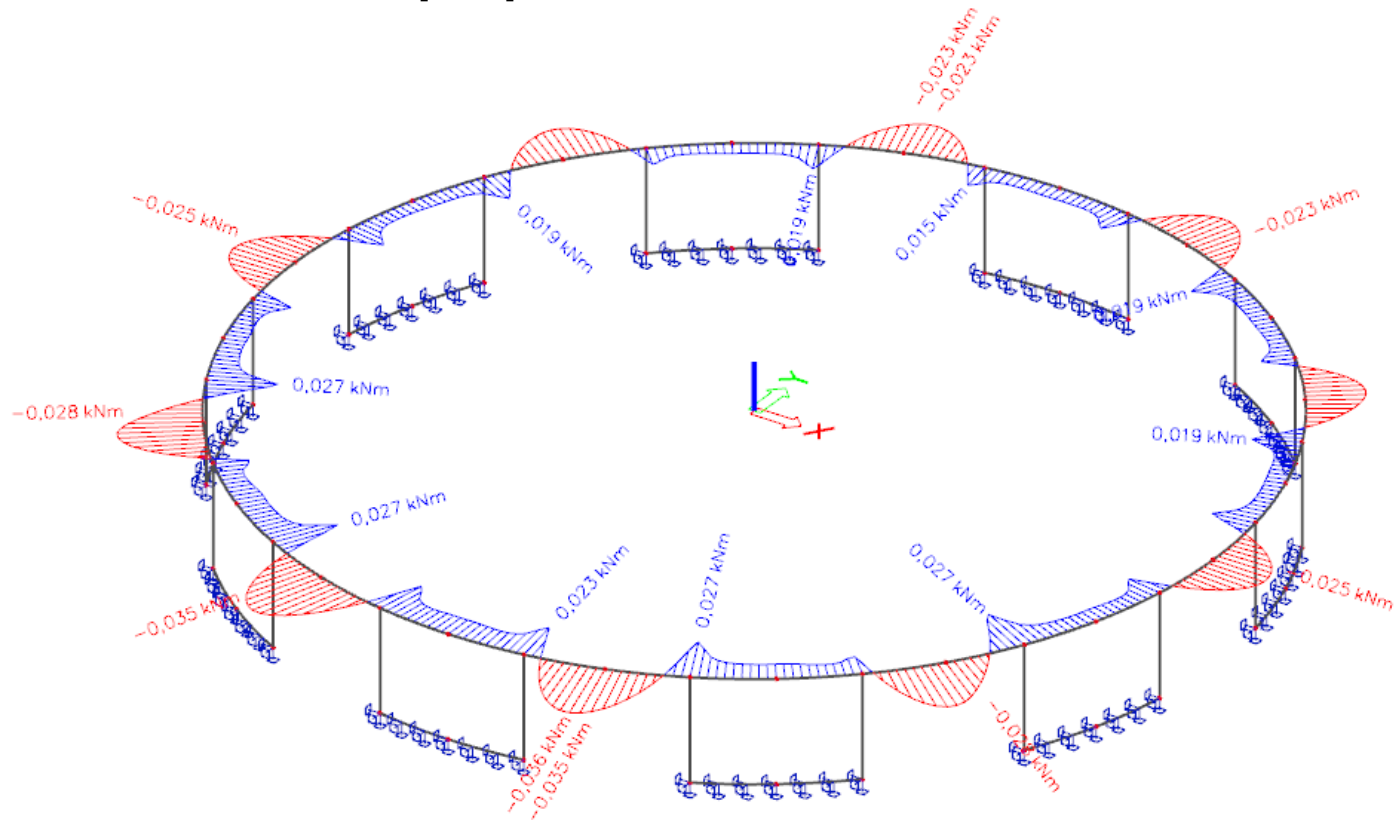
ZS2 – Užitné I – Mx [kNm]



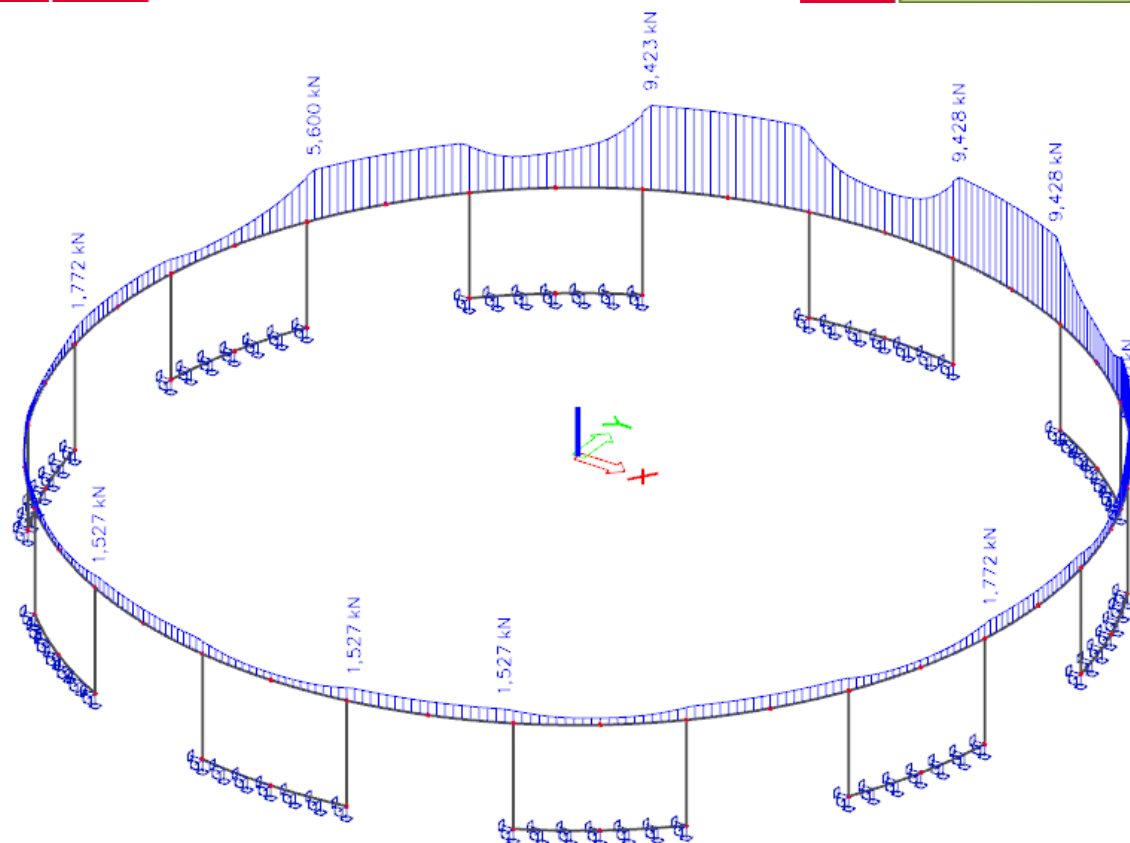
ZS2 – Užitné I – My [kNm]



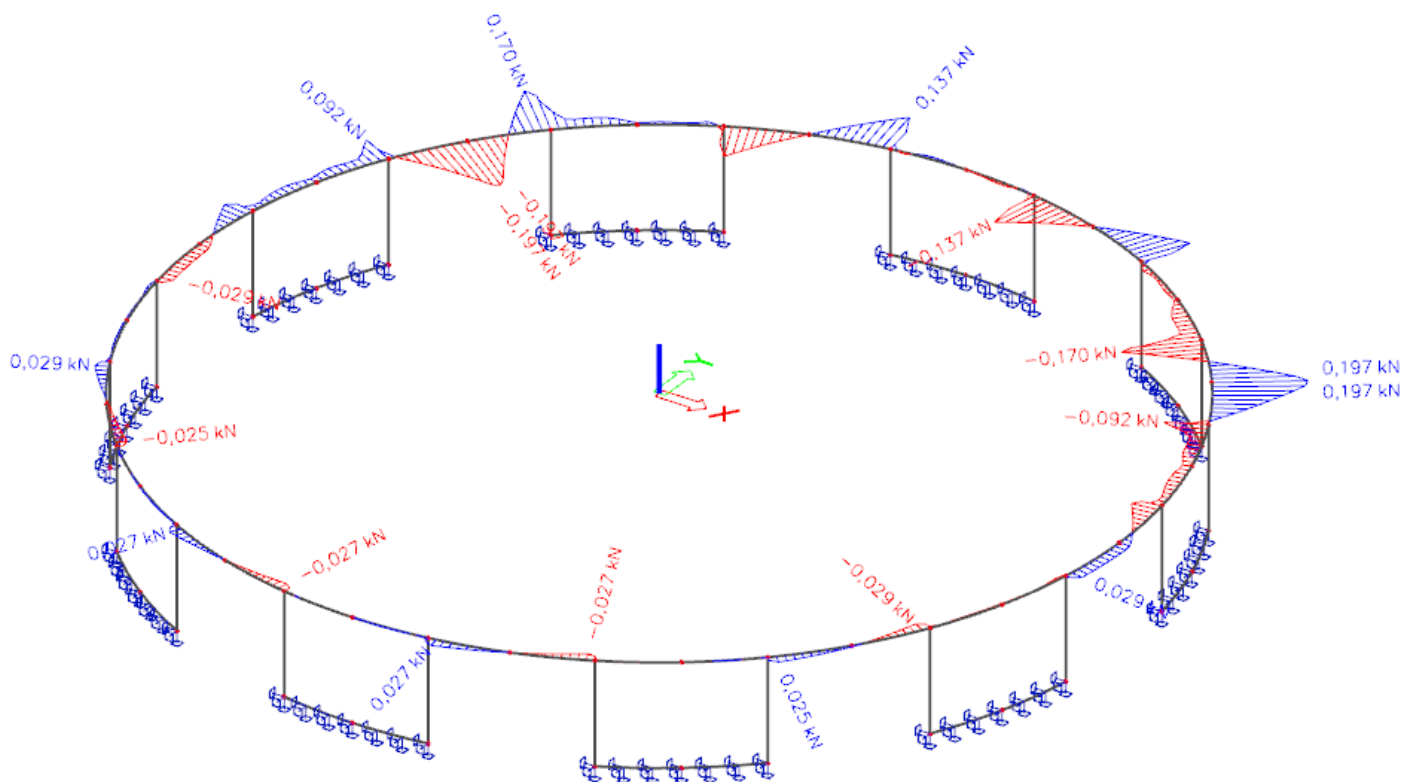
ZS2 – Užitné I – M_z [kNm]



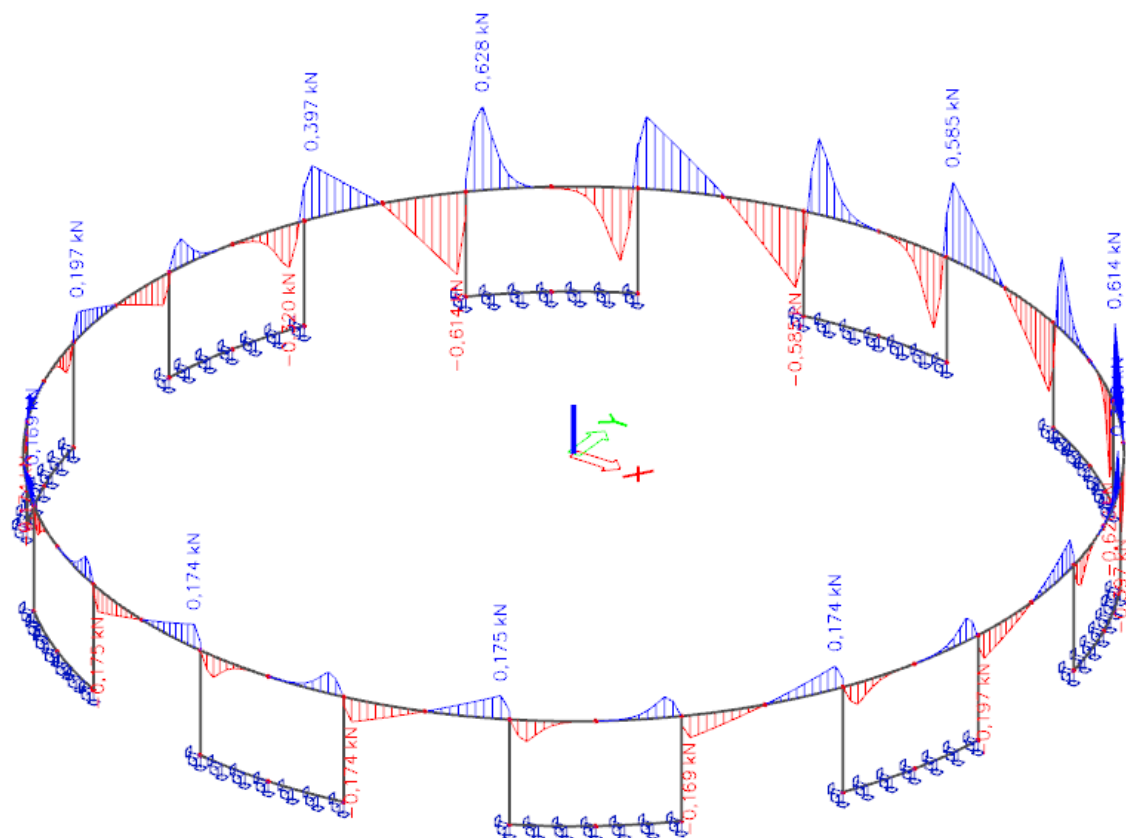
ZS3 – Užitné II – N [kN]



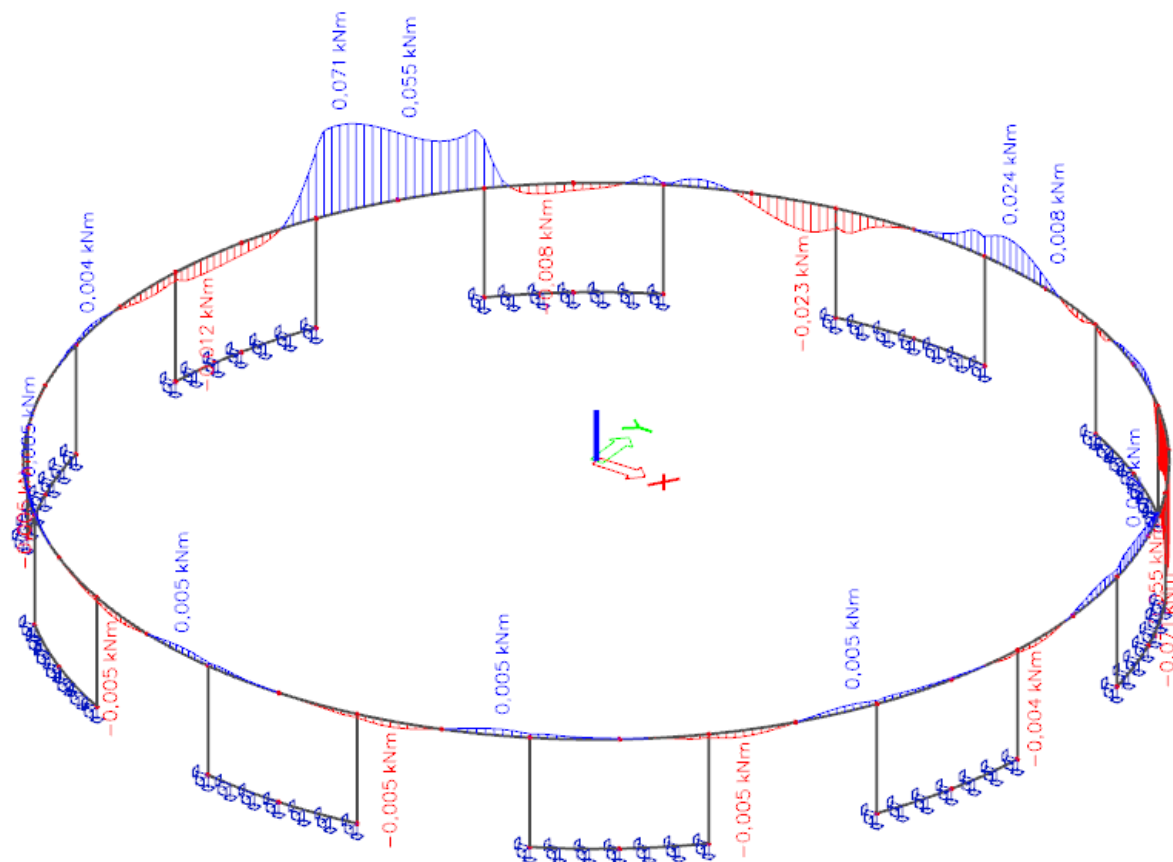
ZS3 – Užité II – V_y [kN]



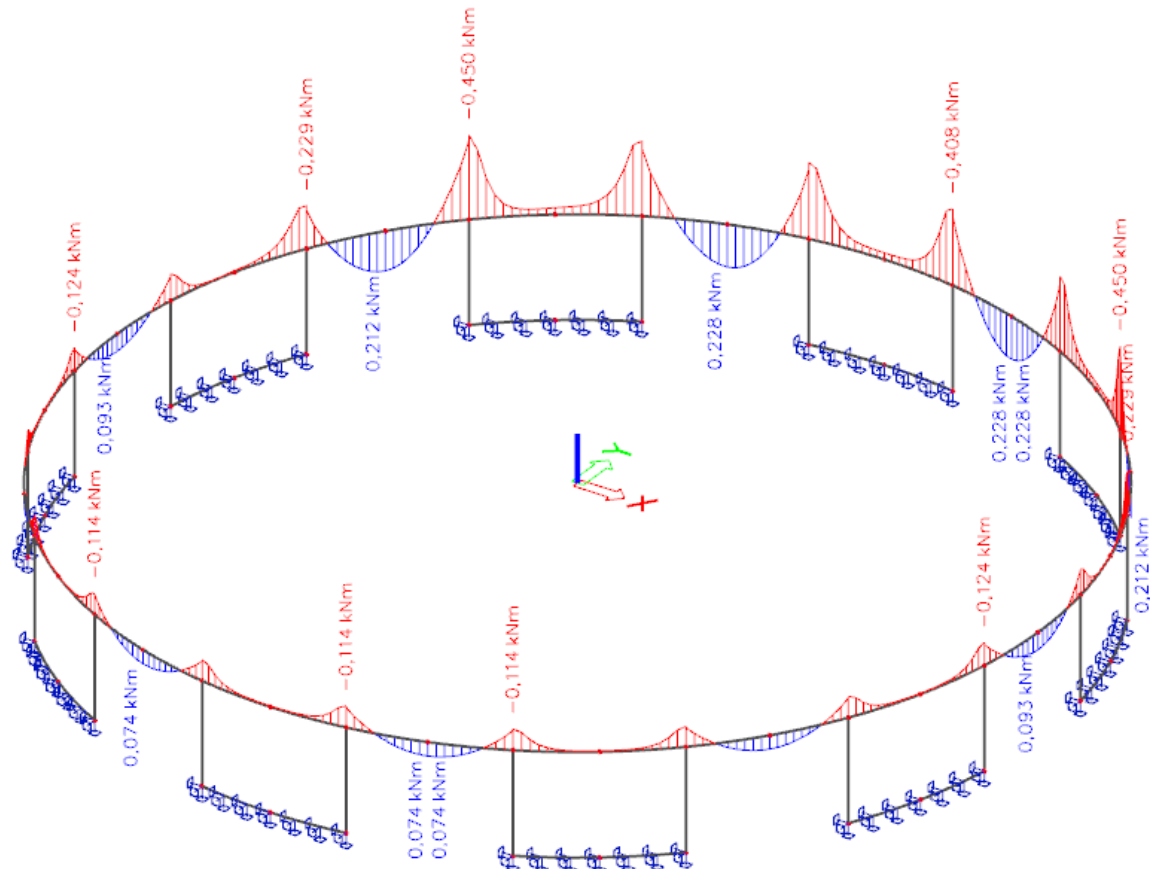
ZS3 – Užité II – V_z [kN]



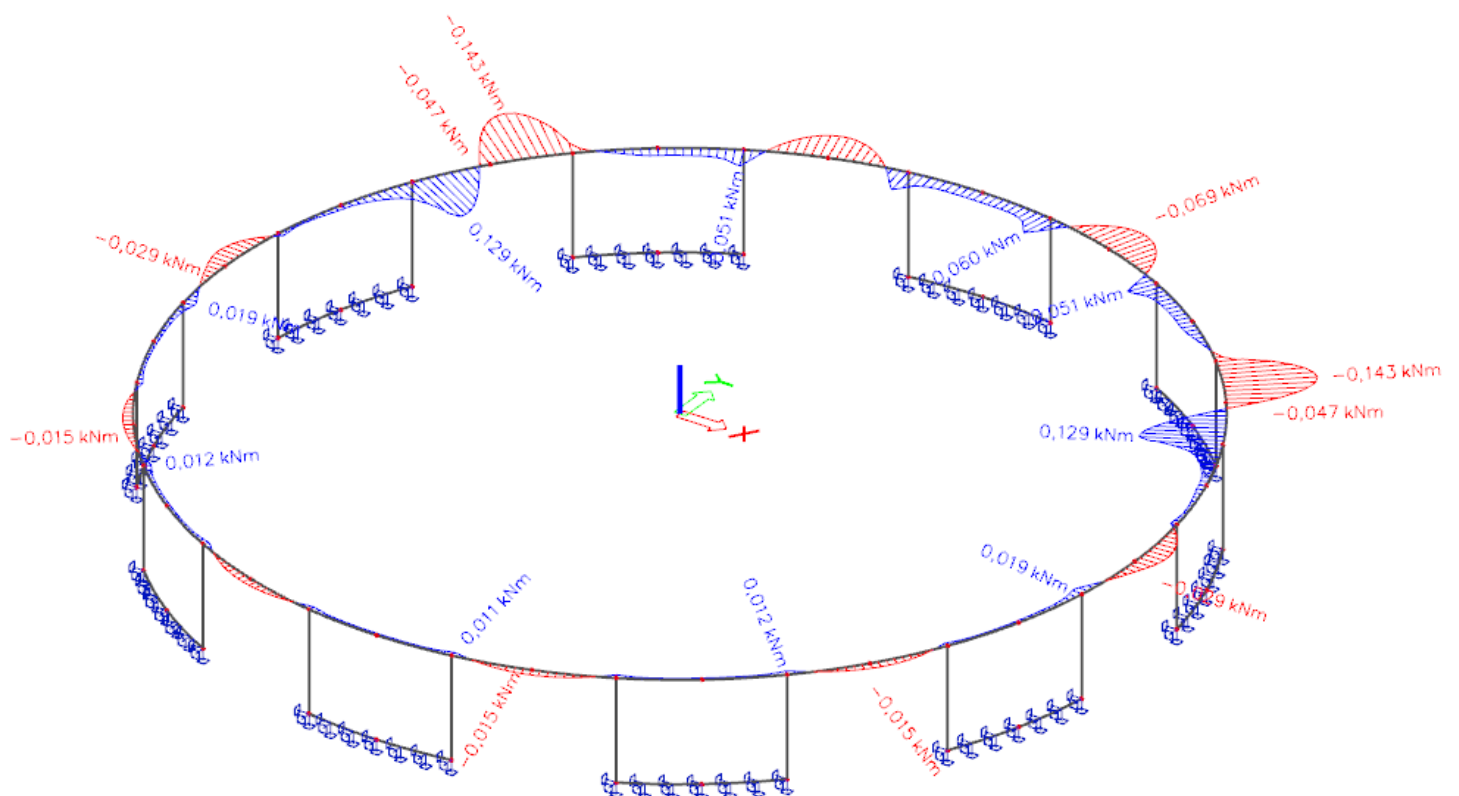
ZS3 – Užitné II – Mx [kNm]



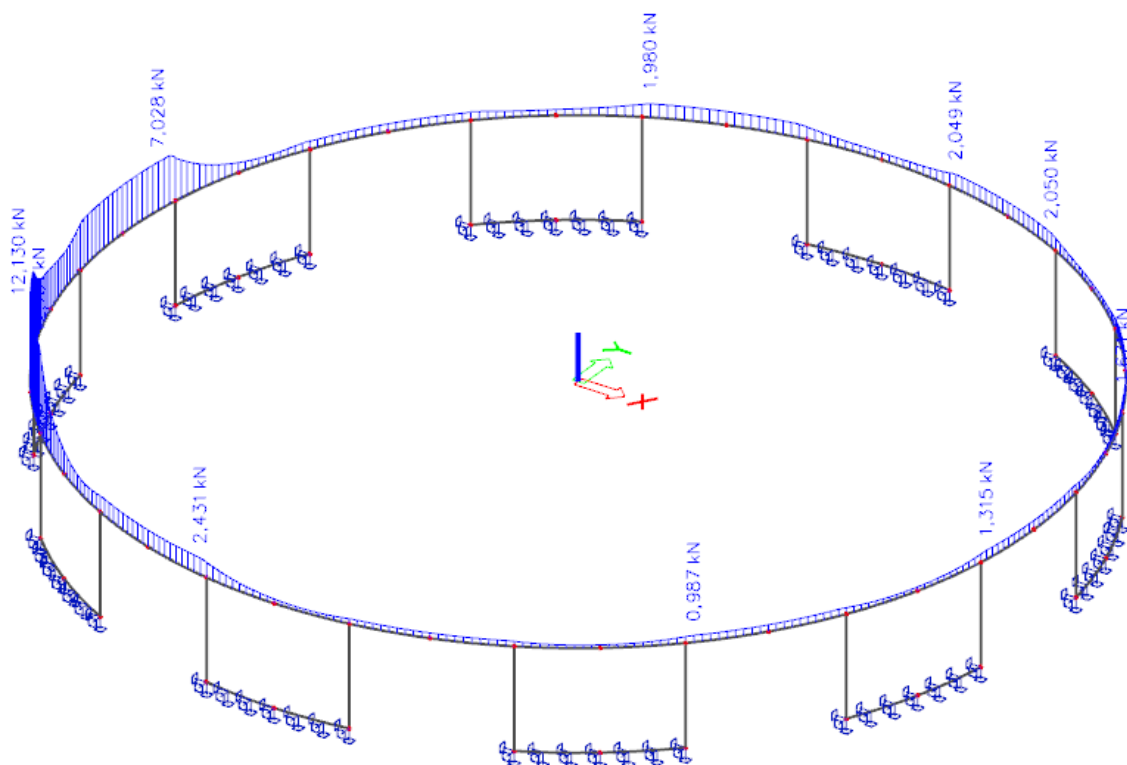
ZS3 – Užitné II – My [kNm]



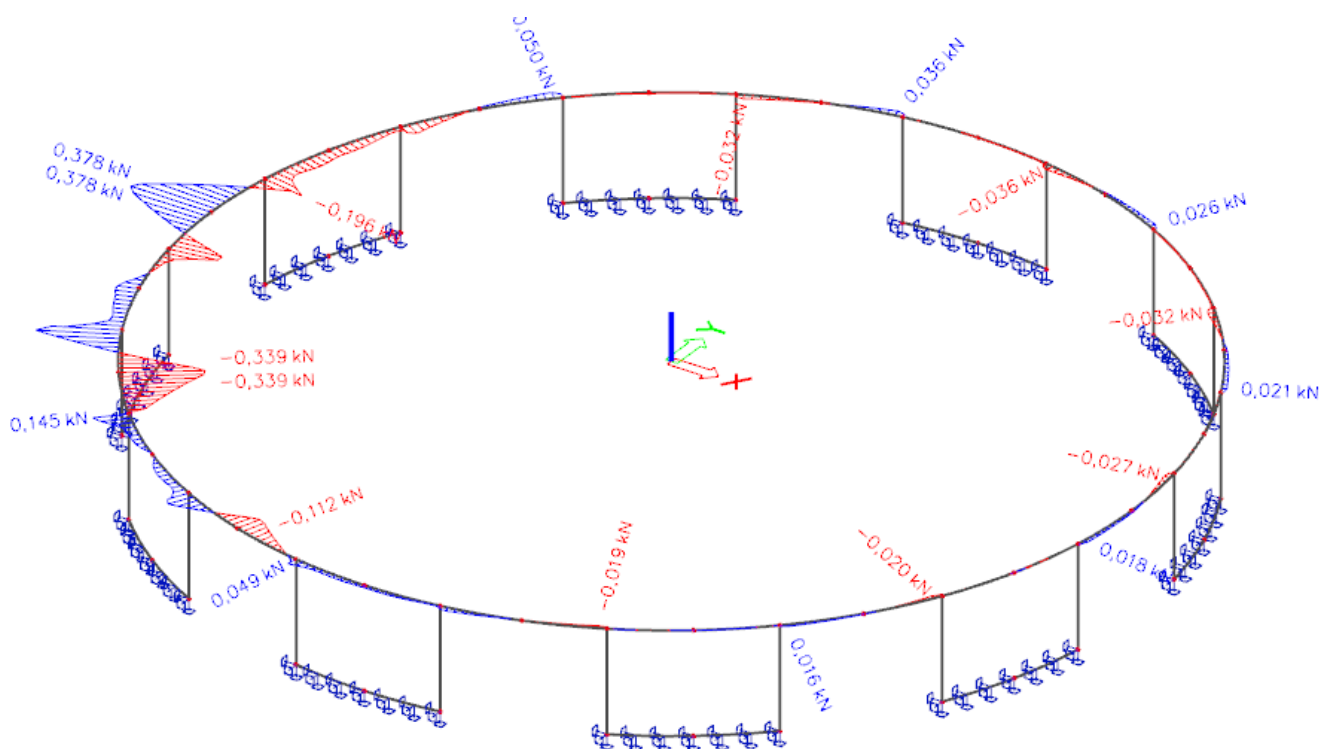
ZS3 – Užitné II – Mz [kNm]



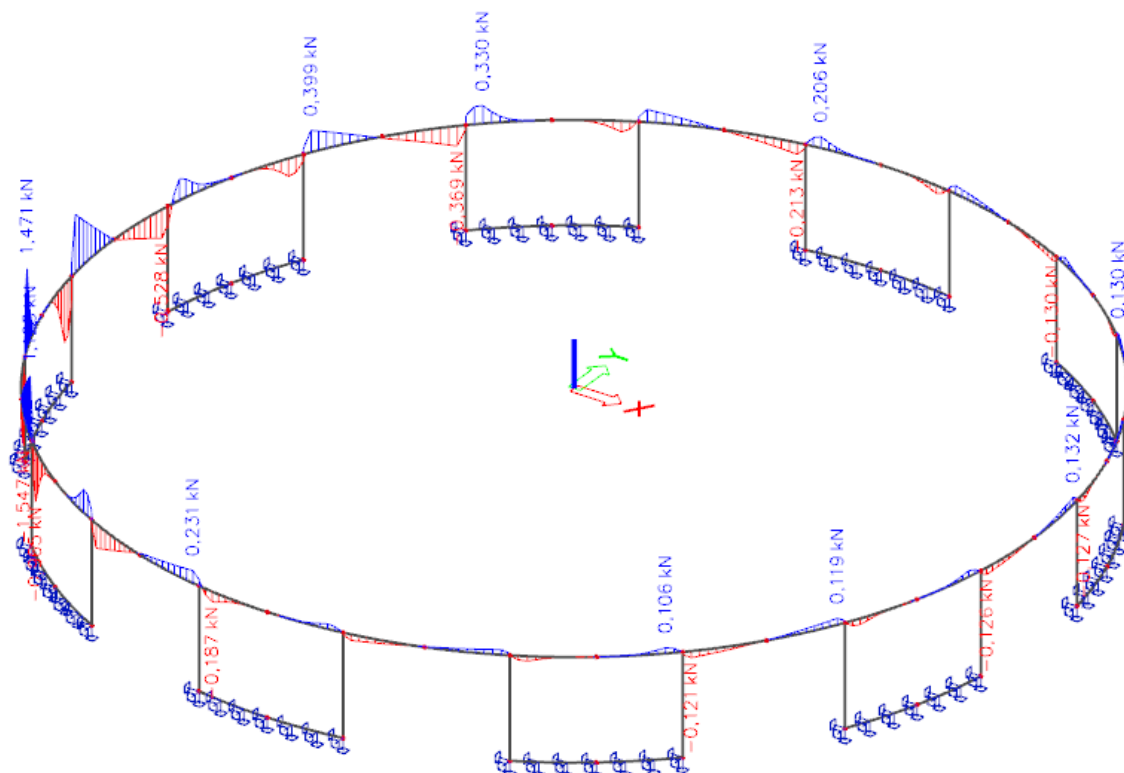
ZS4 – Užitné III – N [kN]



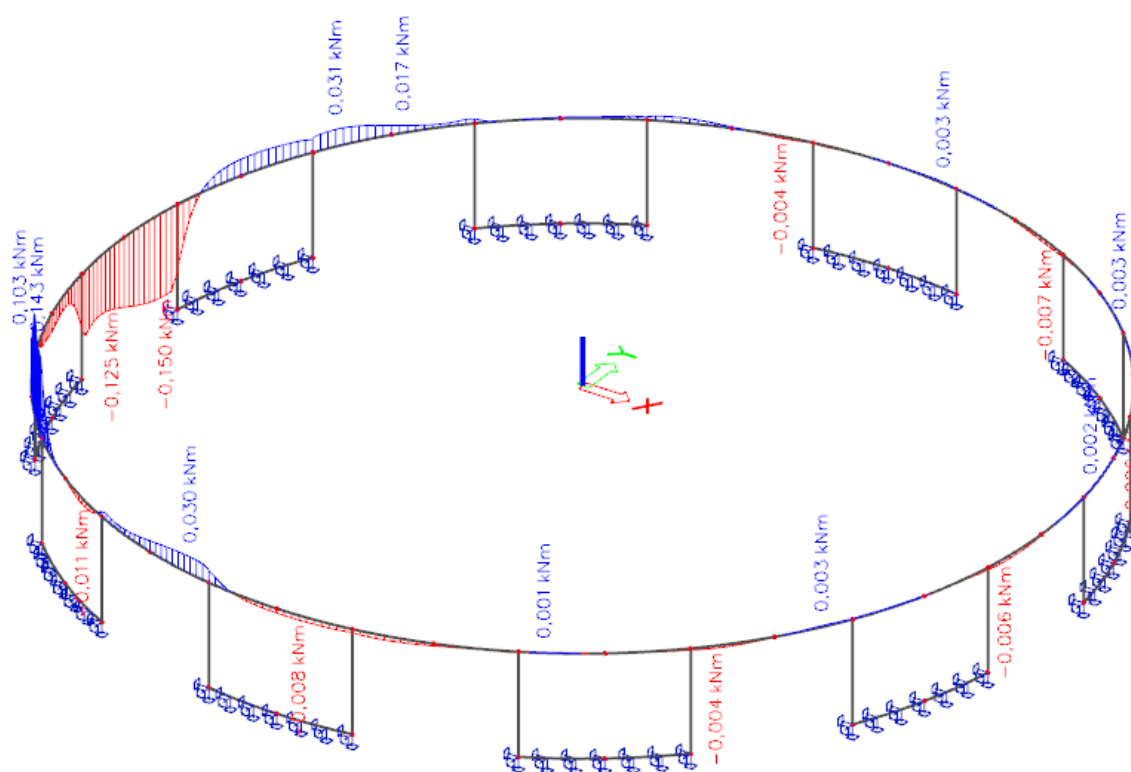
ZS4 – Užité III – V_y [kN]



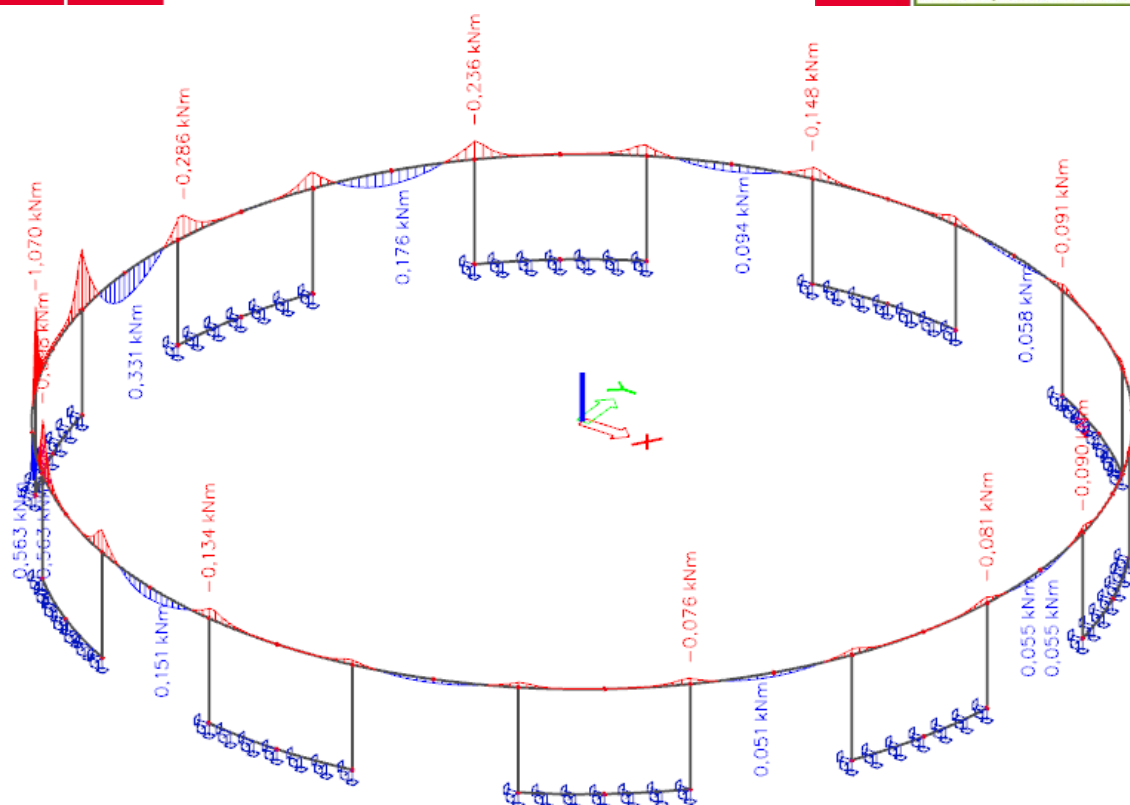
ZS4 – Užité III – V_z [kN]



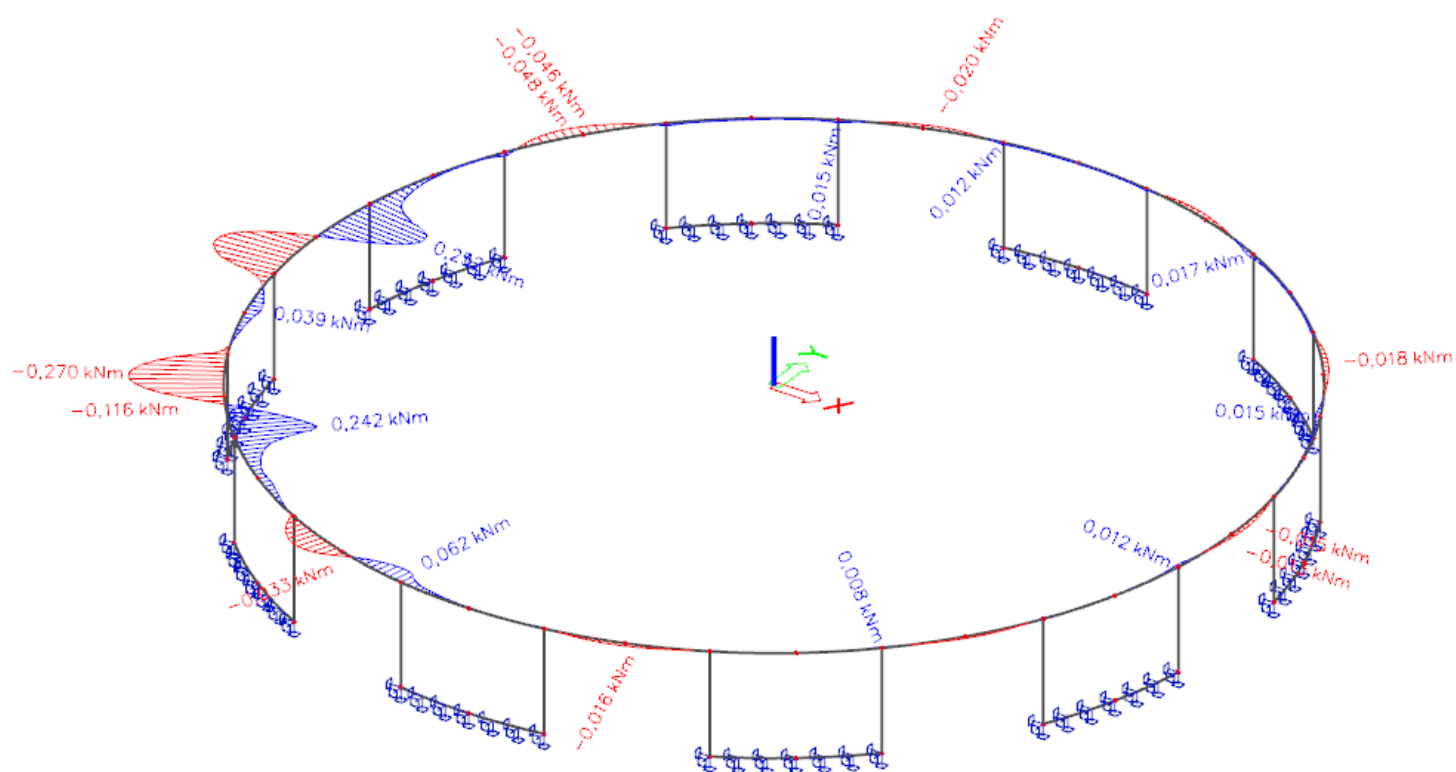
ZS4 – Užitné III – Mx [kNm]



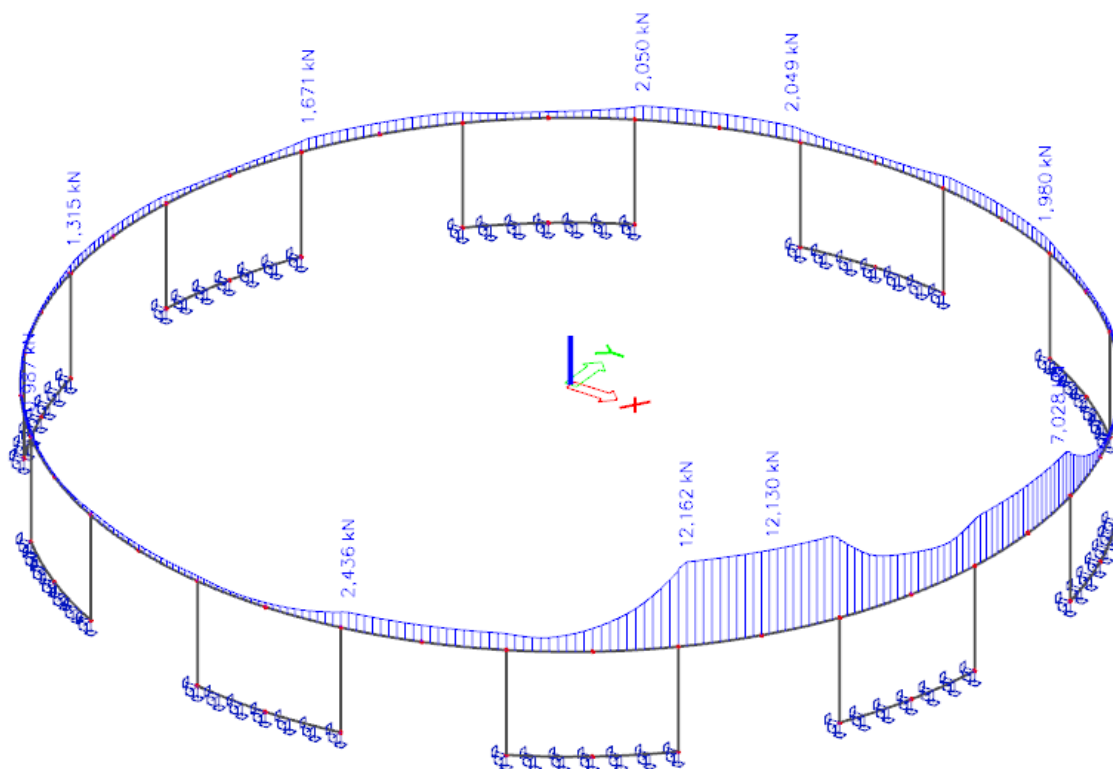
ZS4 – Užitné III – My [kNm]



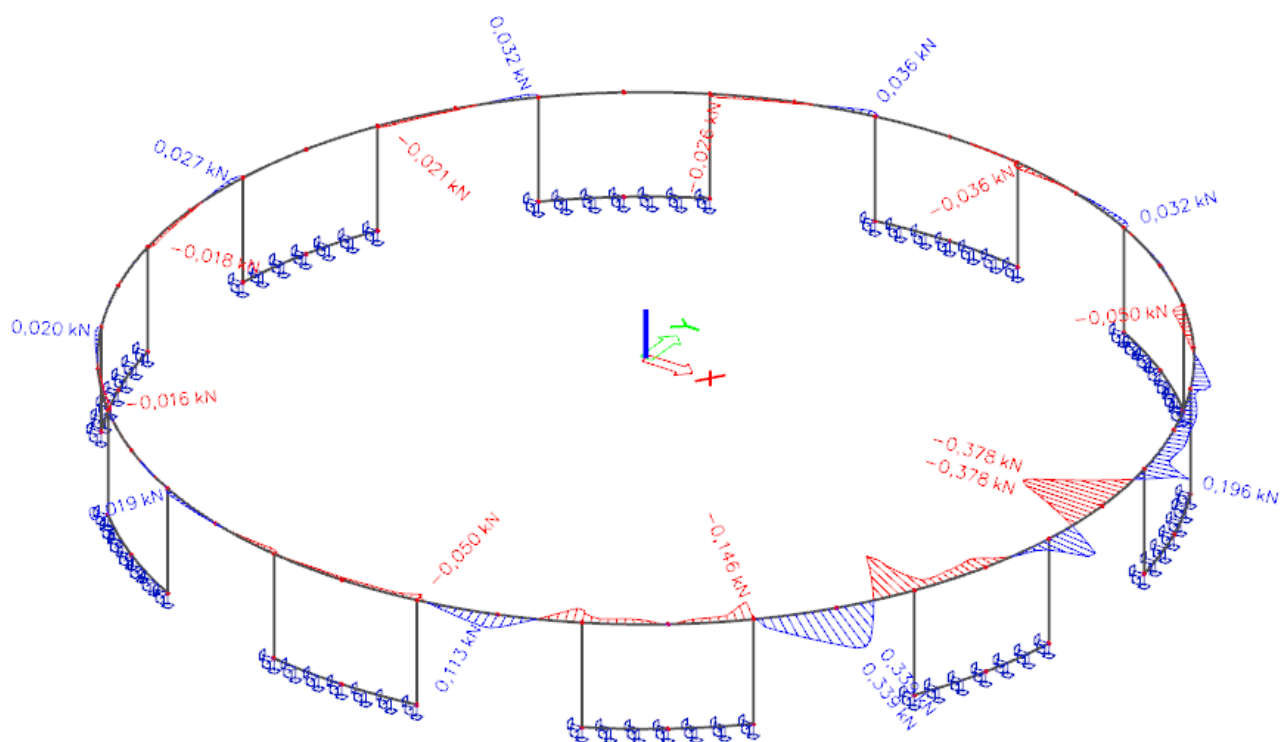
ZS4 – Užitné III – Mz [kNm]



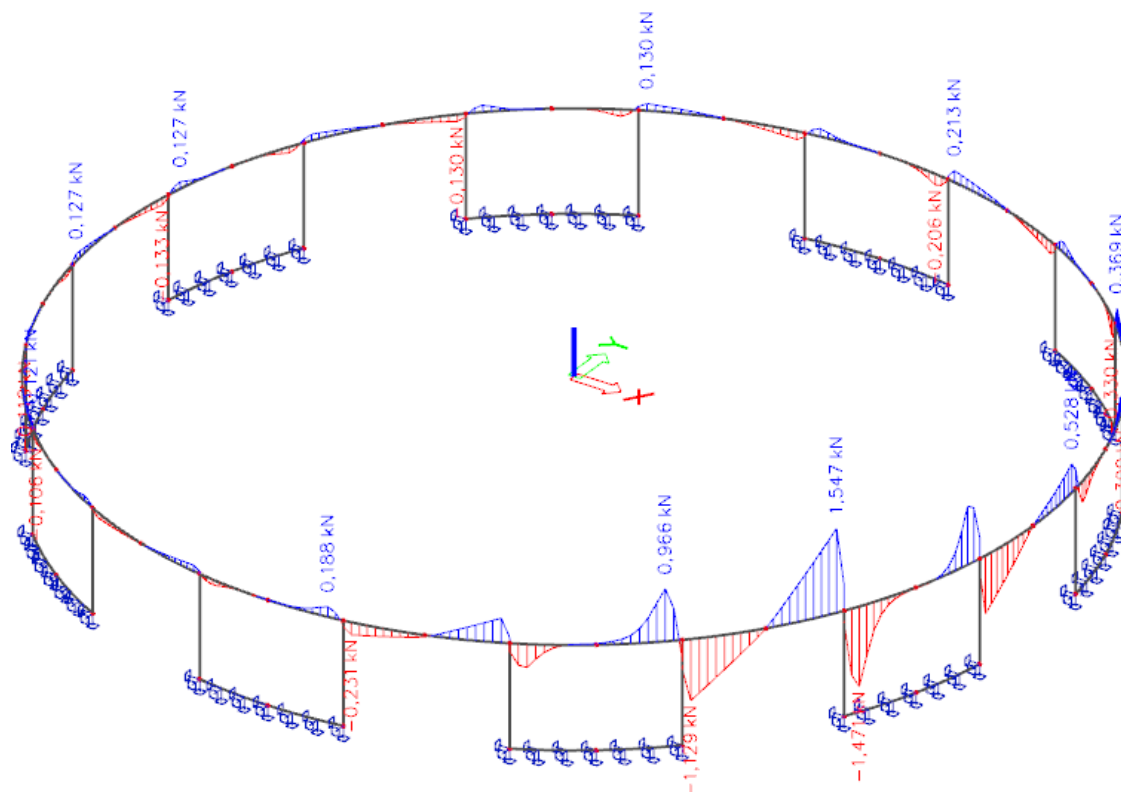
ZS5 – Užitné IV – N [kN]



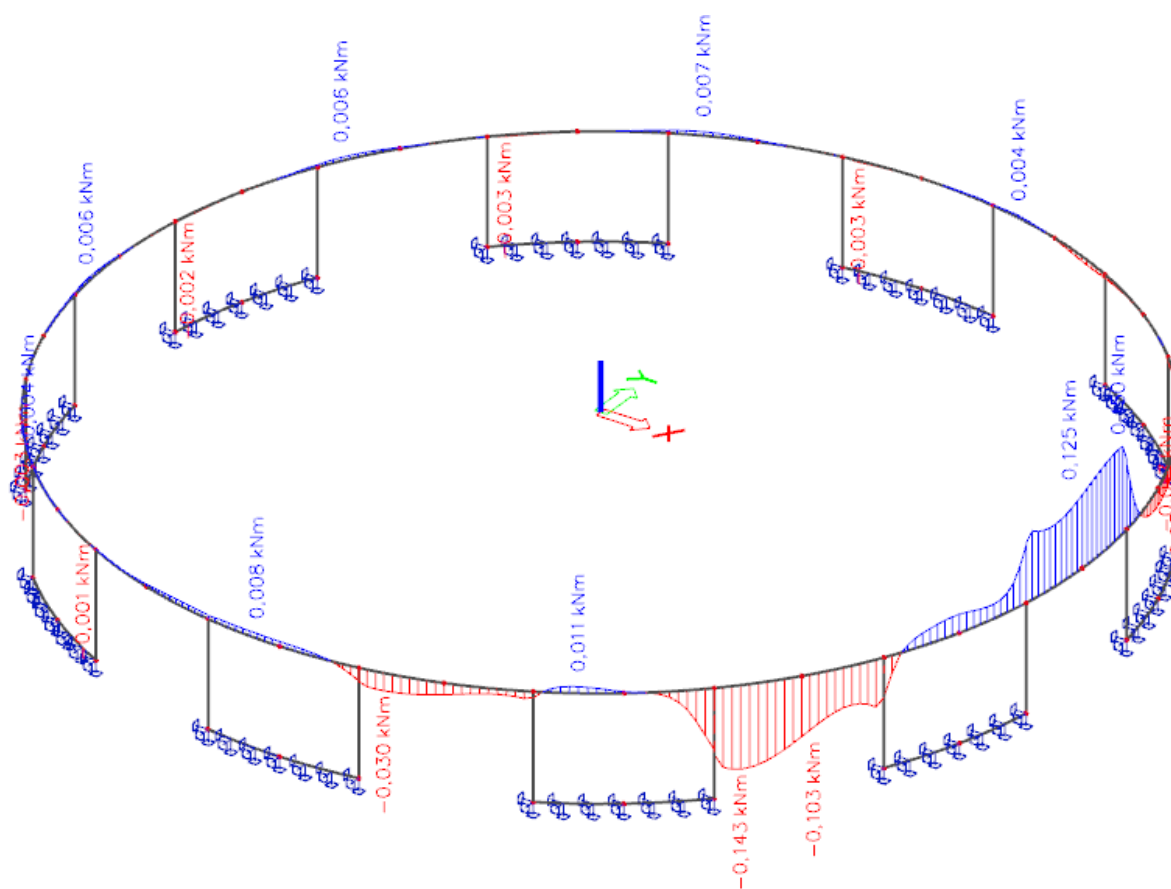
ZS5 – Užitné IV – V_y [kN]



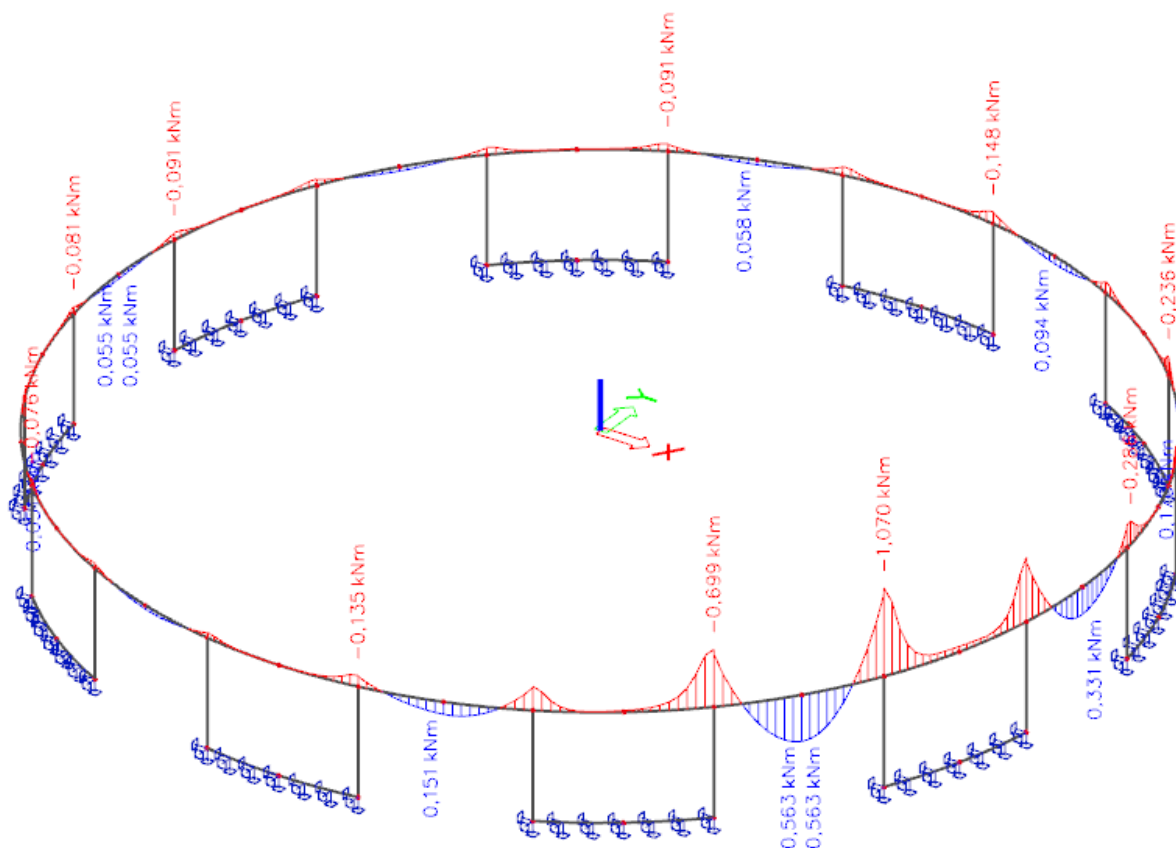
ZS5 – Užitné IV – V_z [kN]



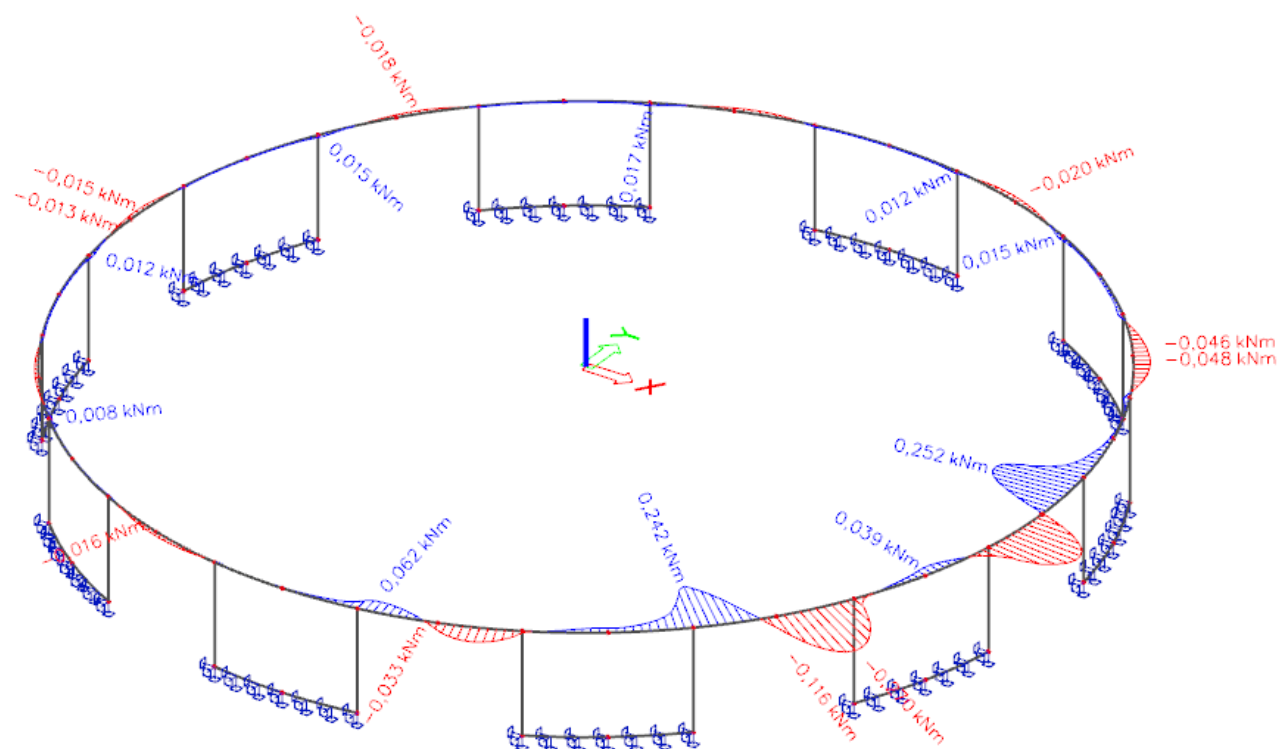
ZS5 – Užitné IV – Mx [kNm]



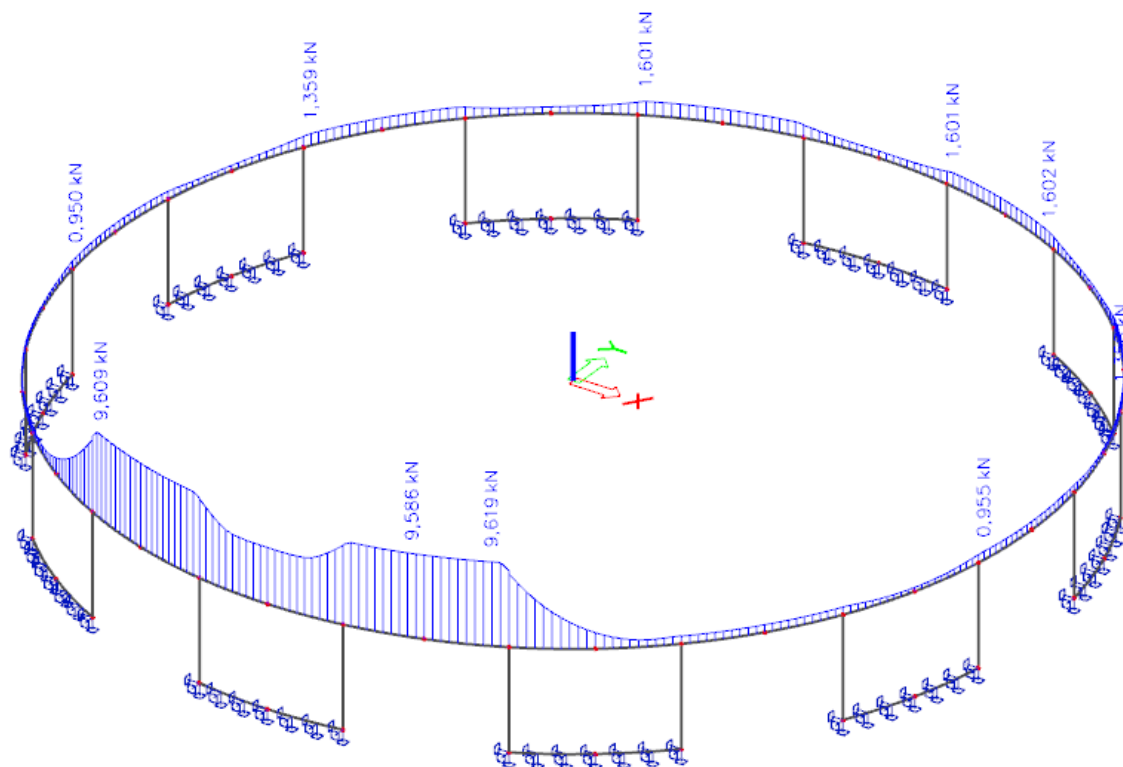
ZS5 – Užitné IV – My [kNm]



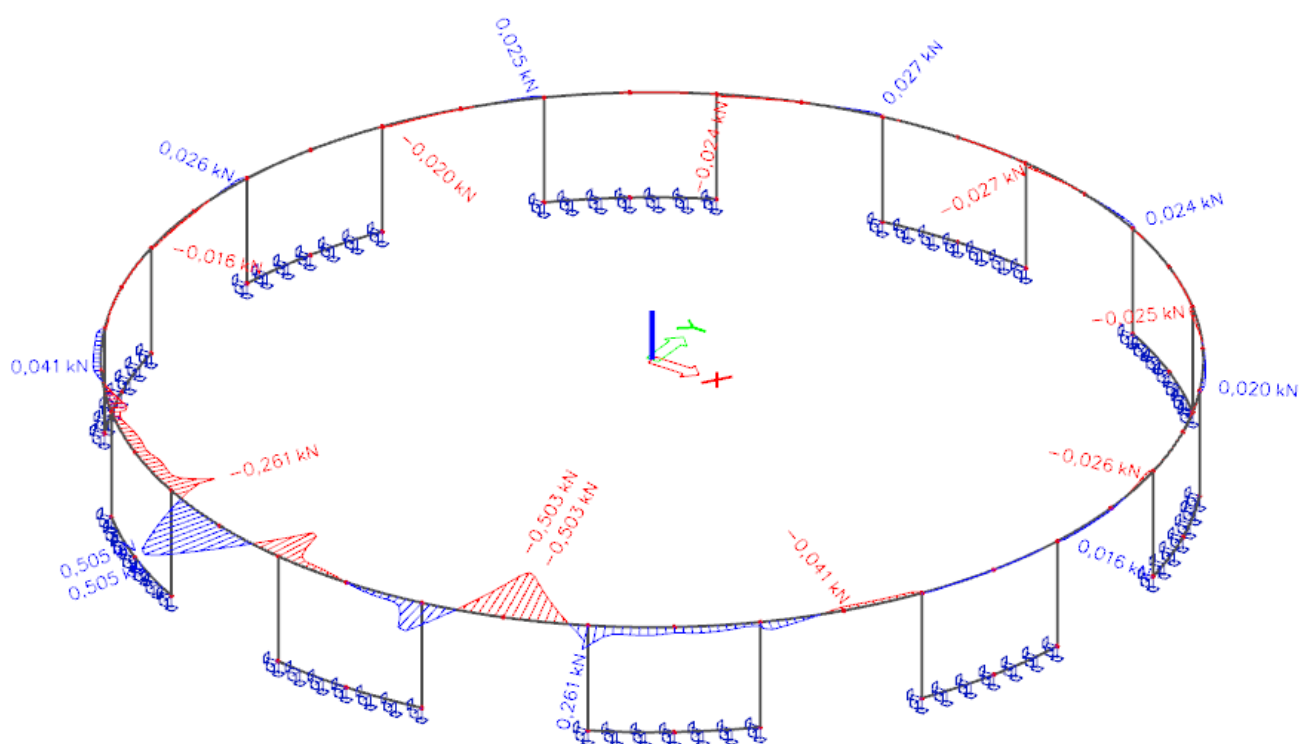
ZS5 – Užitné IV – M_z [kNm]



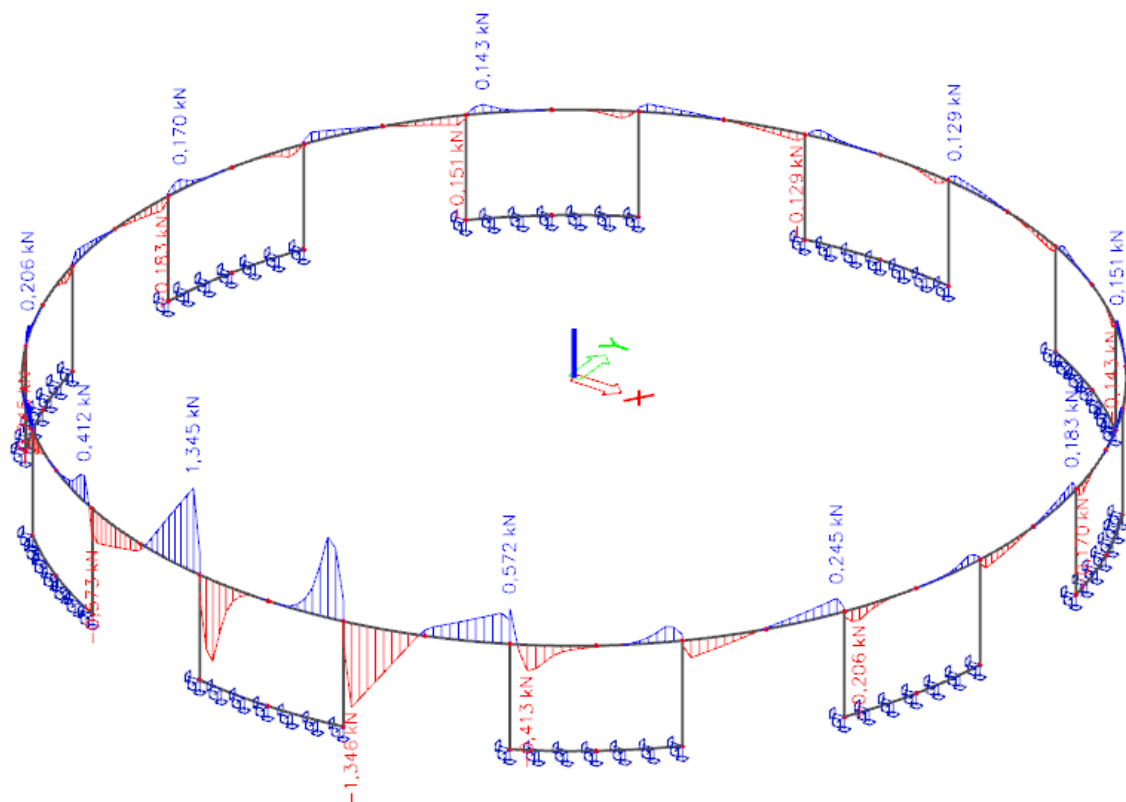
ZS6 – Užitné V – N [kN]



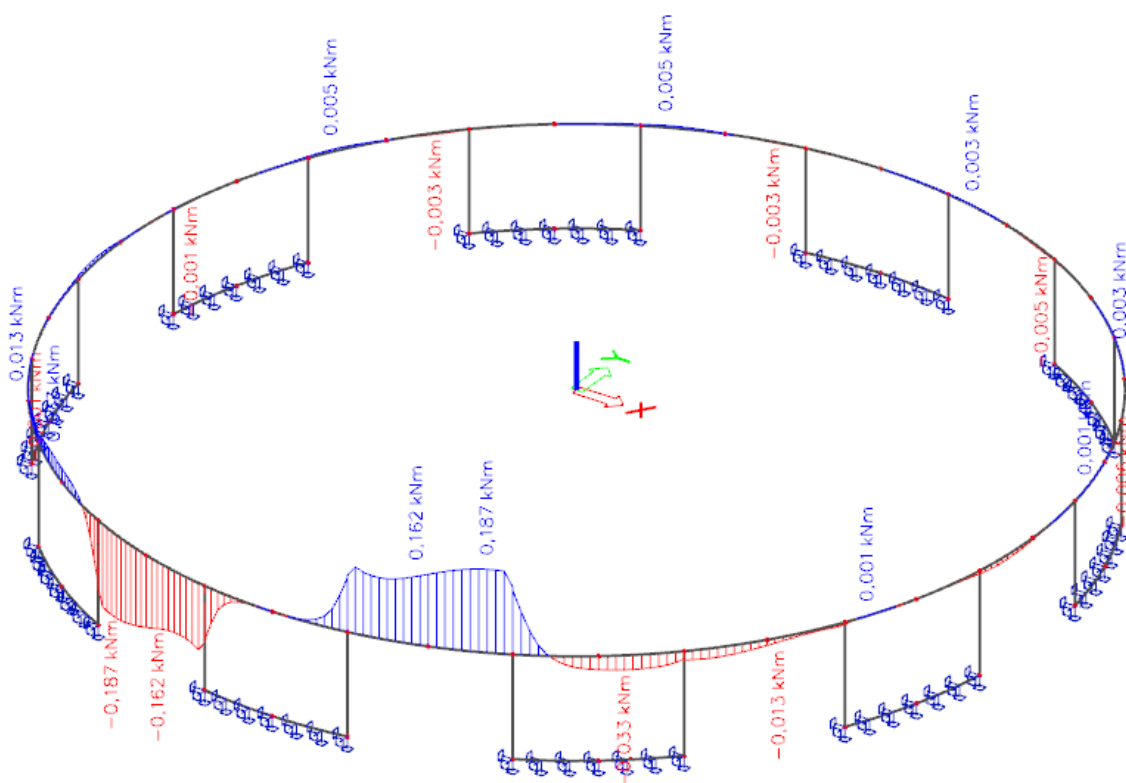
ZS6 – Užité V – Vy [kN]



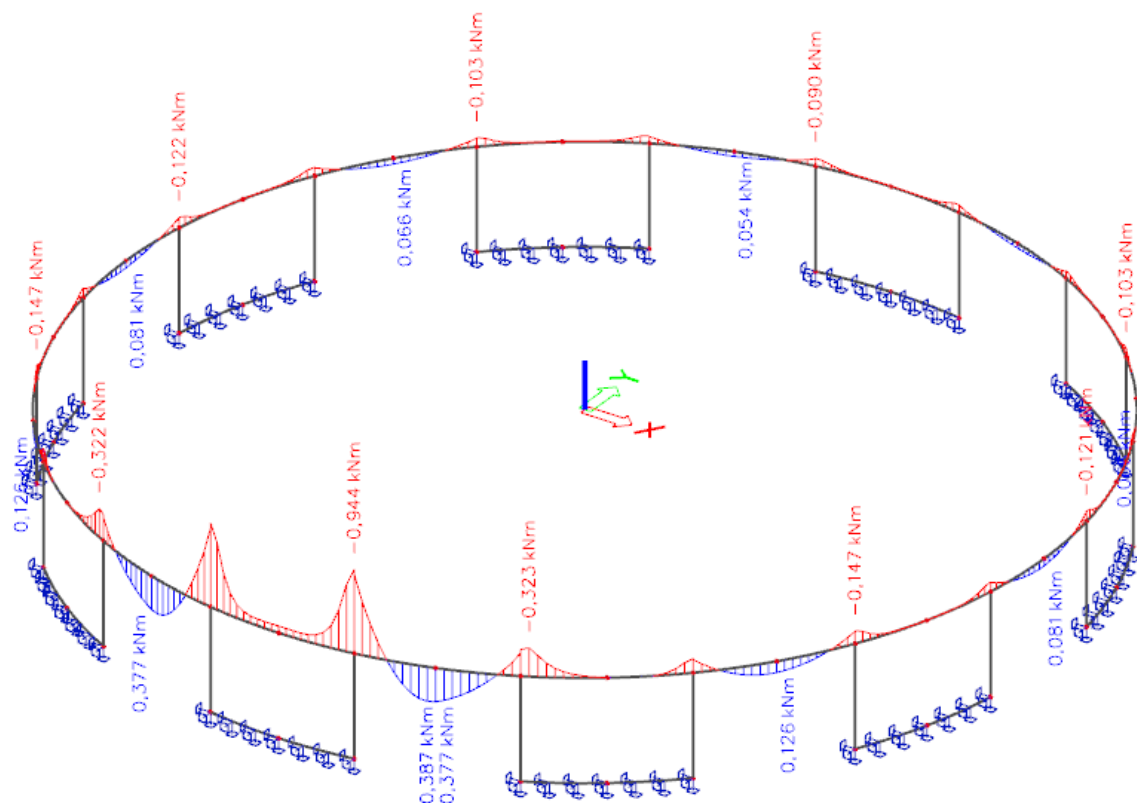
ZS6 – Užité V – Vz [kN]



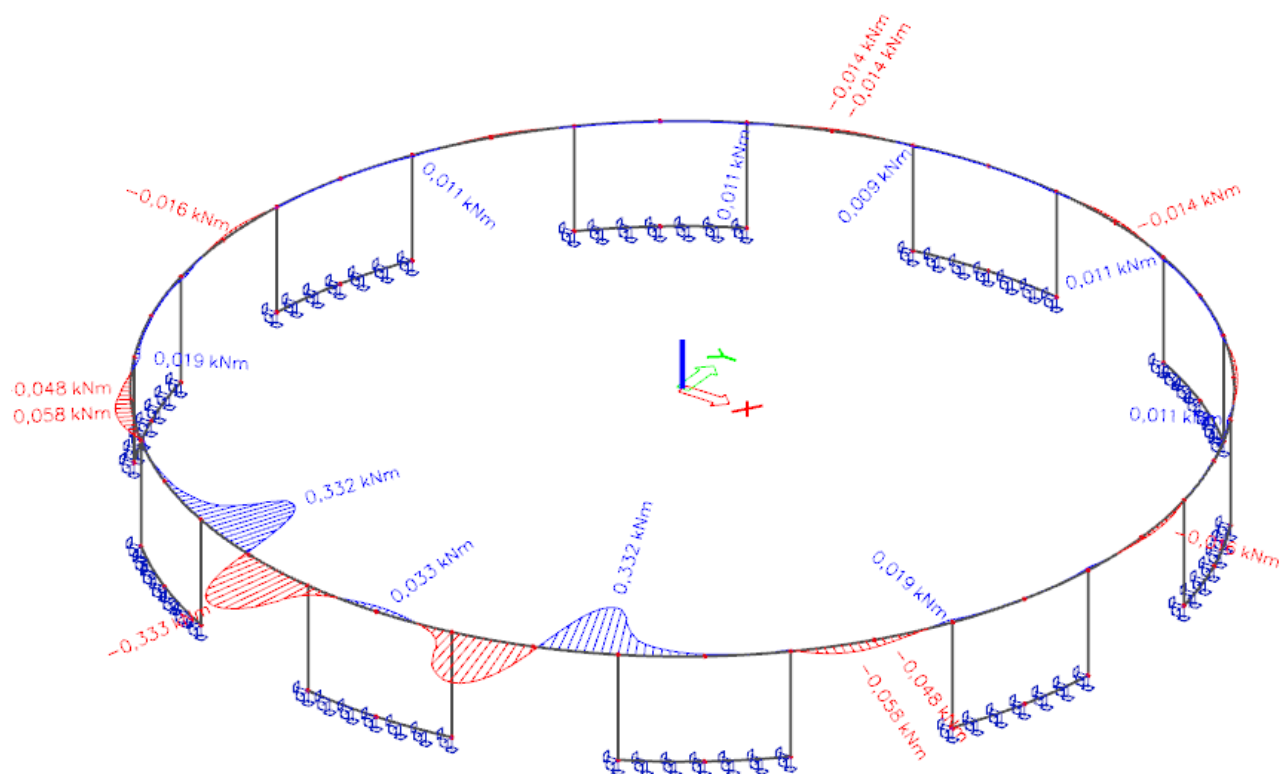
ZS6 – Užité V – Mx [kNm]



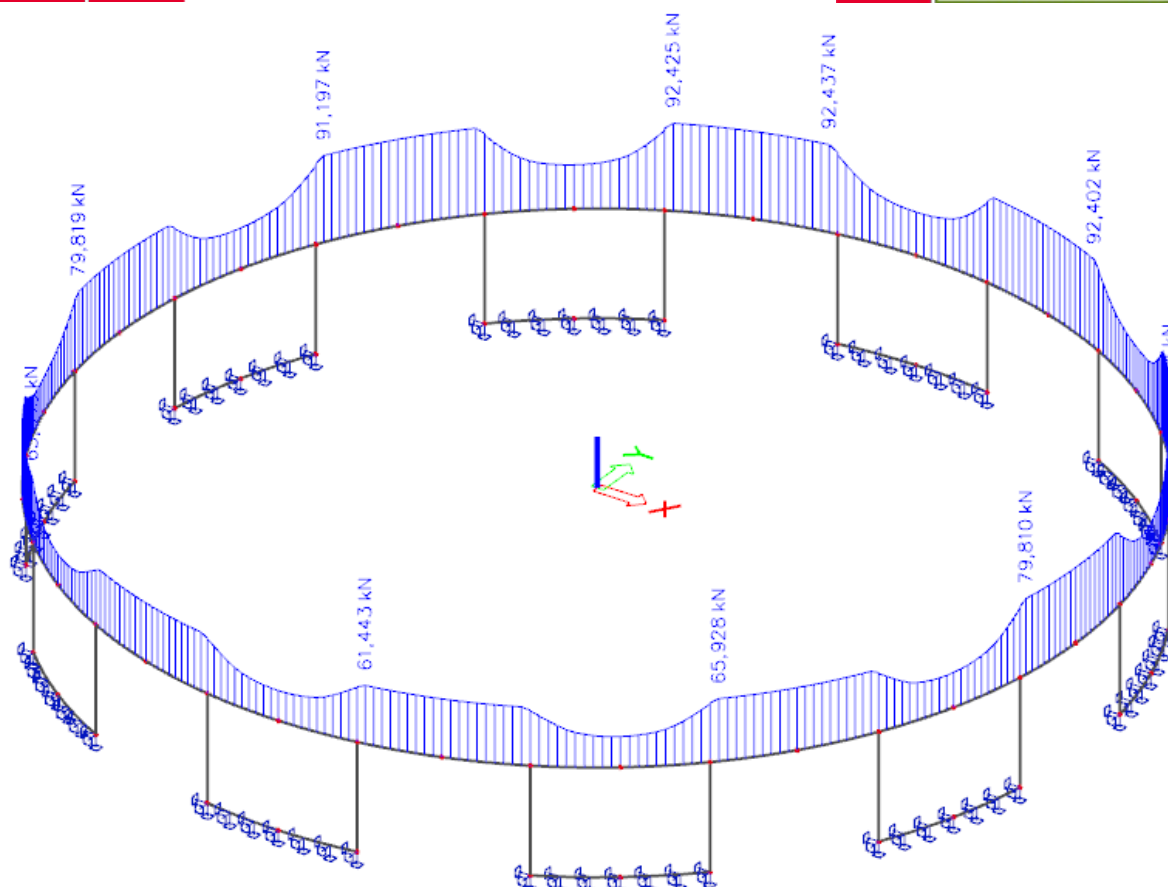
ZS6 – Užité V – My [kNm]



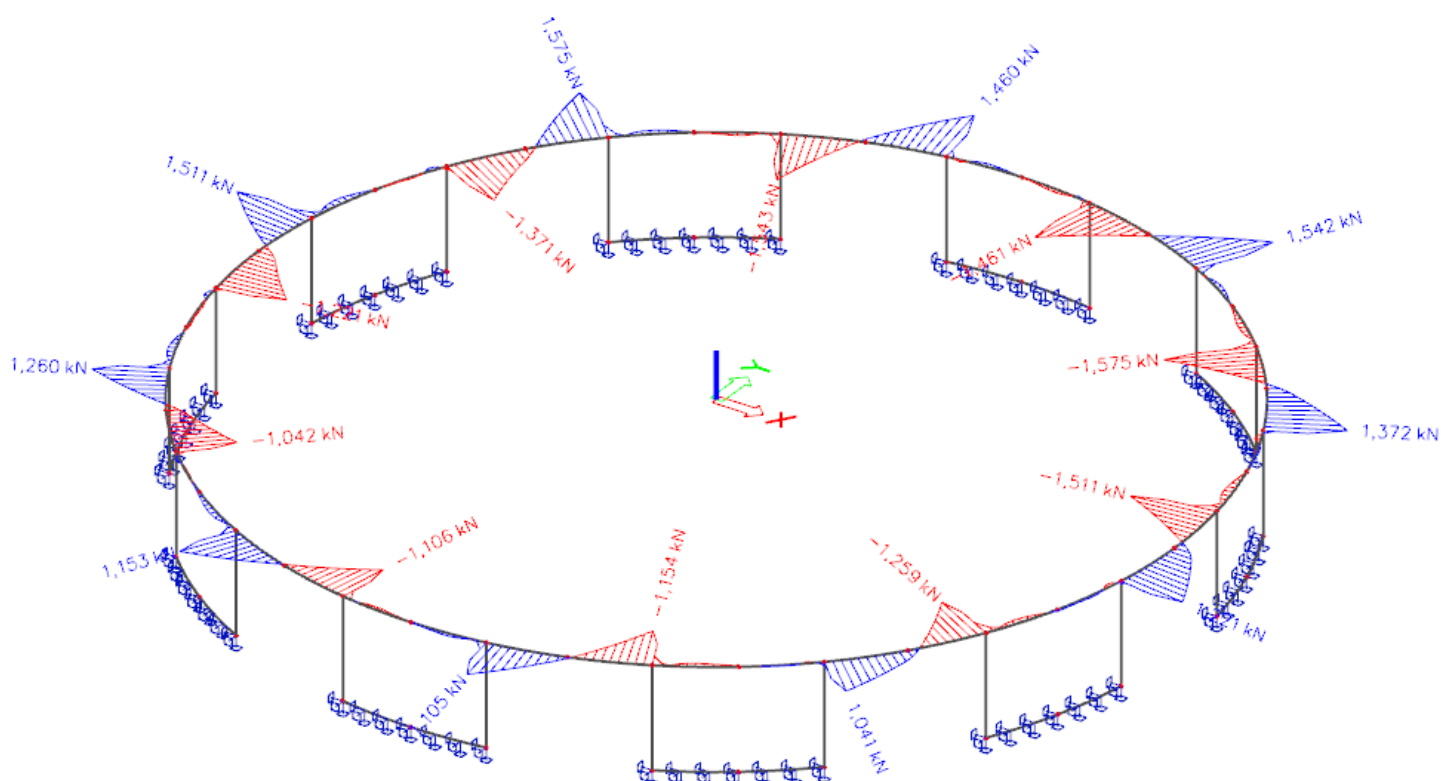
ZS6 – Užité V – M_z [kNm]



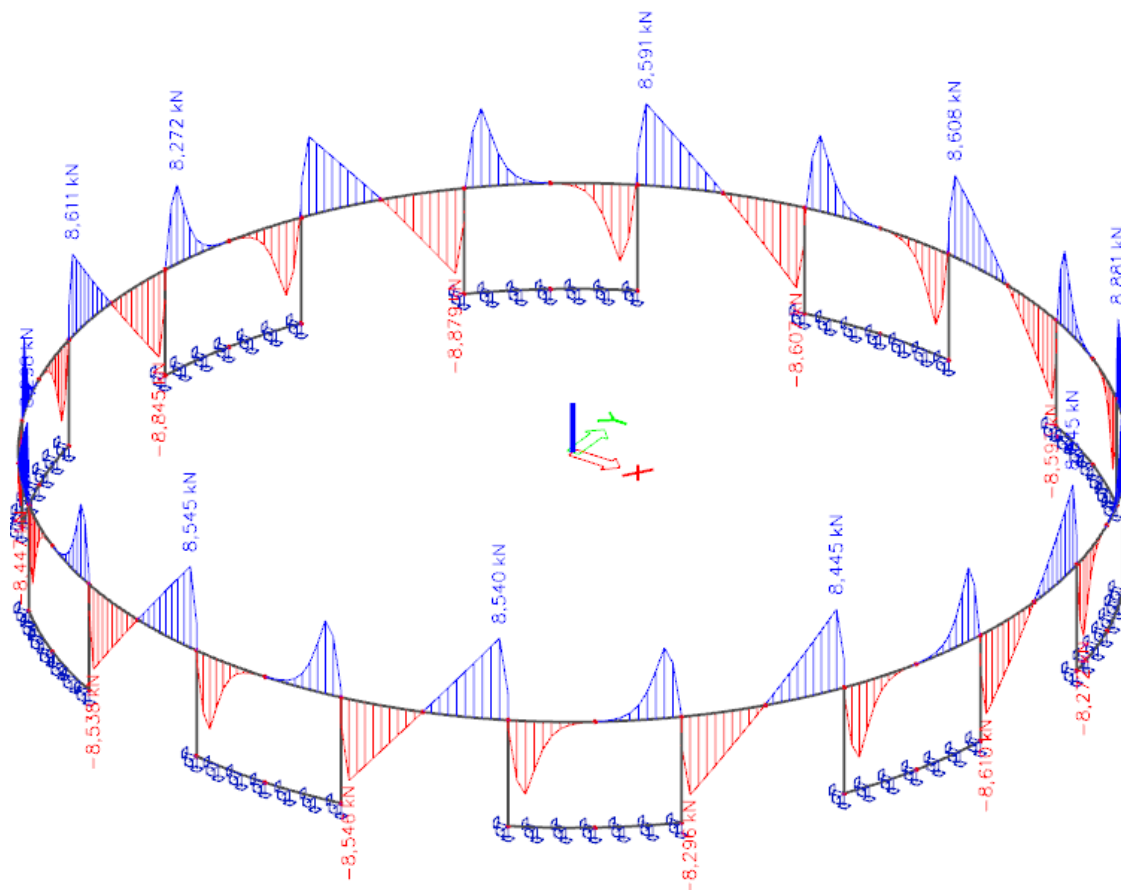
ZS7 – Sníh I – N [kN]



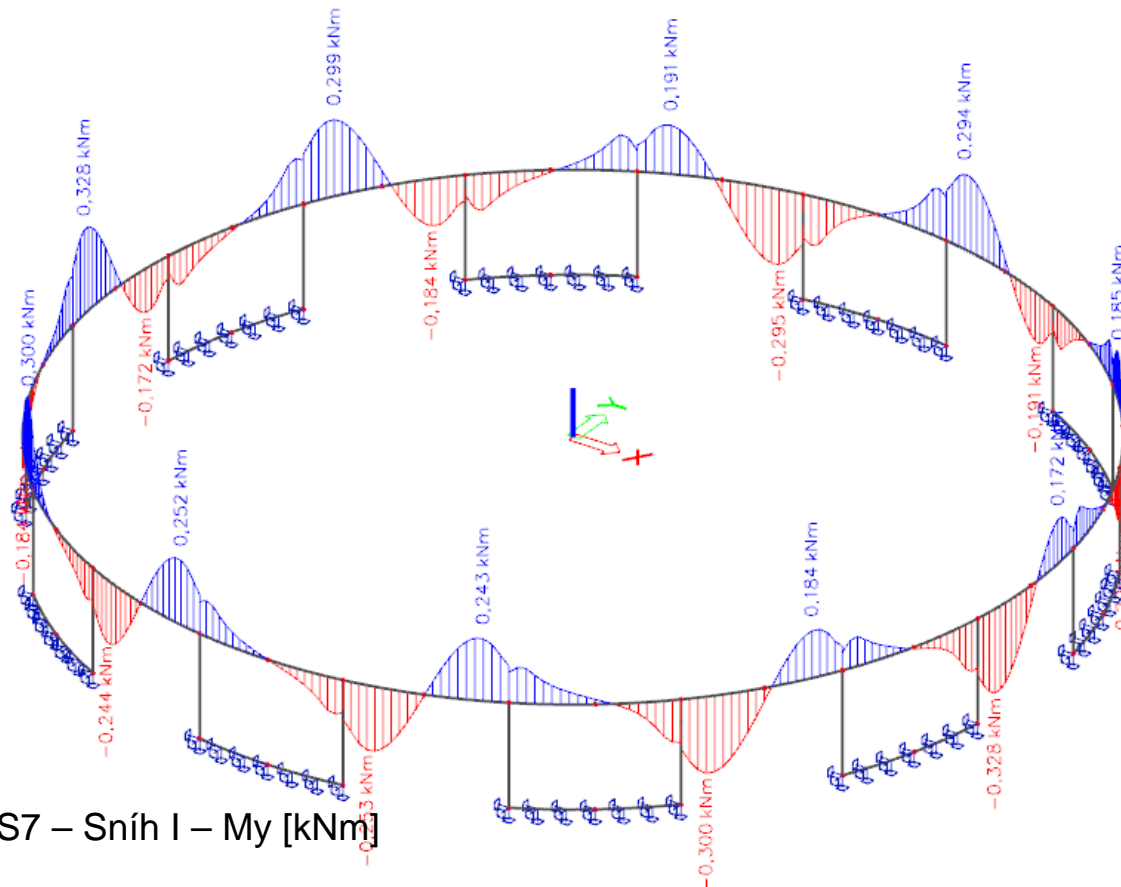
ZS7 – Sníh I – V_y [kN]



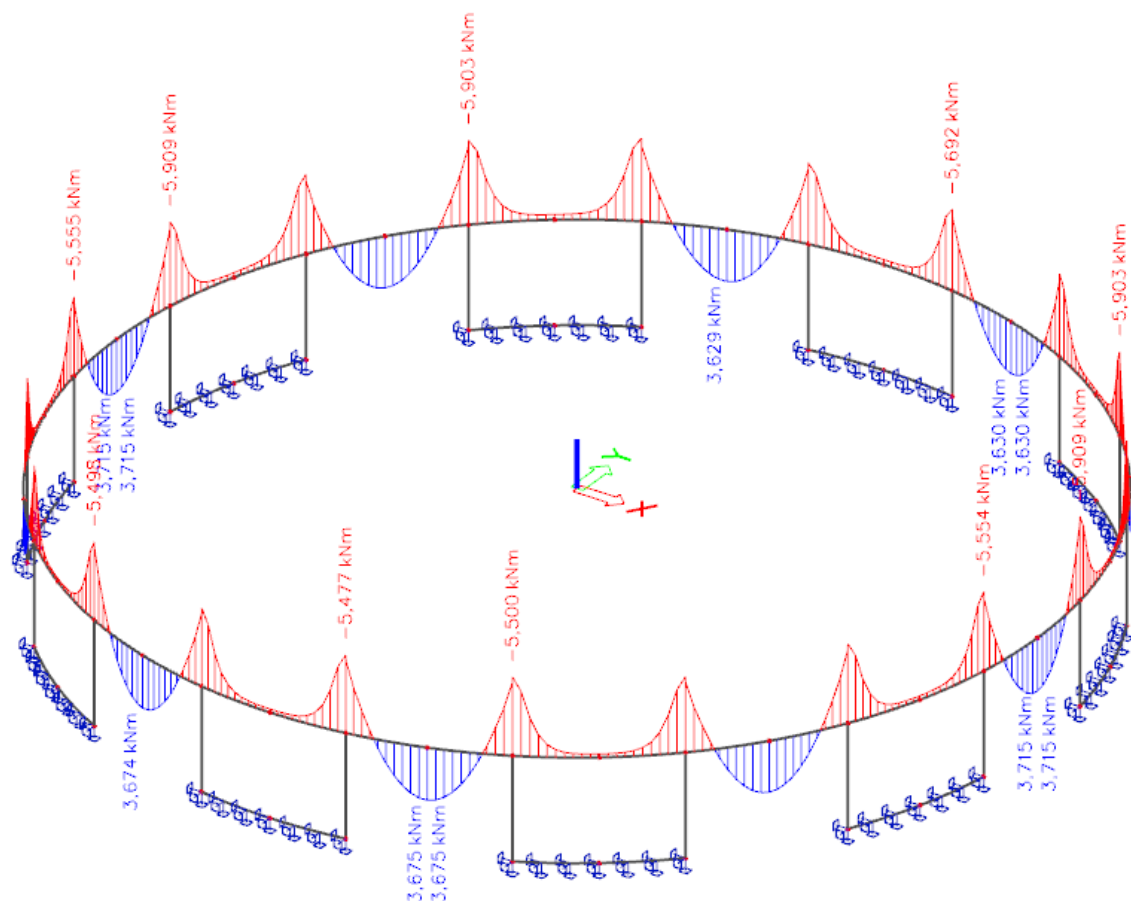
ZS7 – Sníh I – V_z [kN]



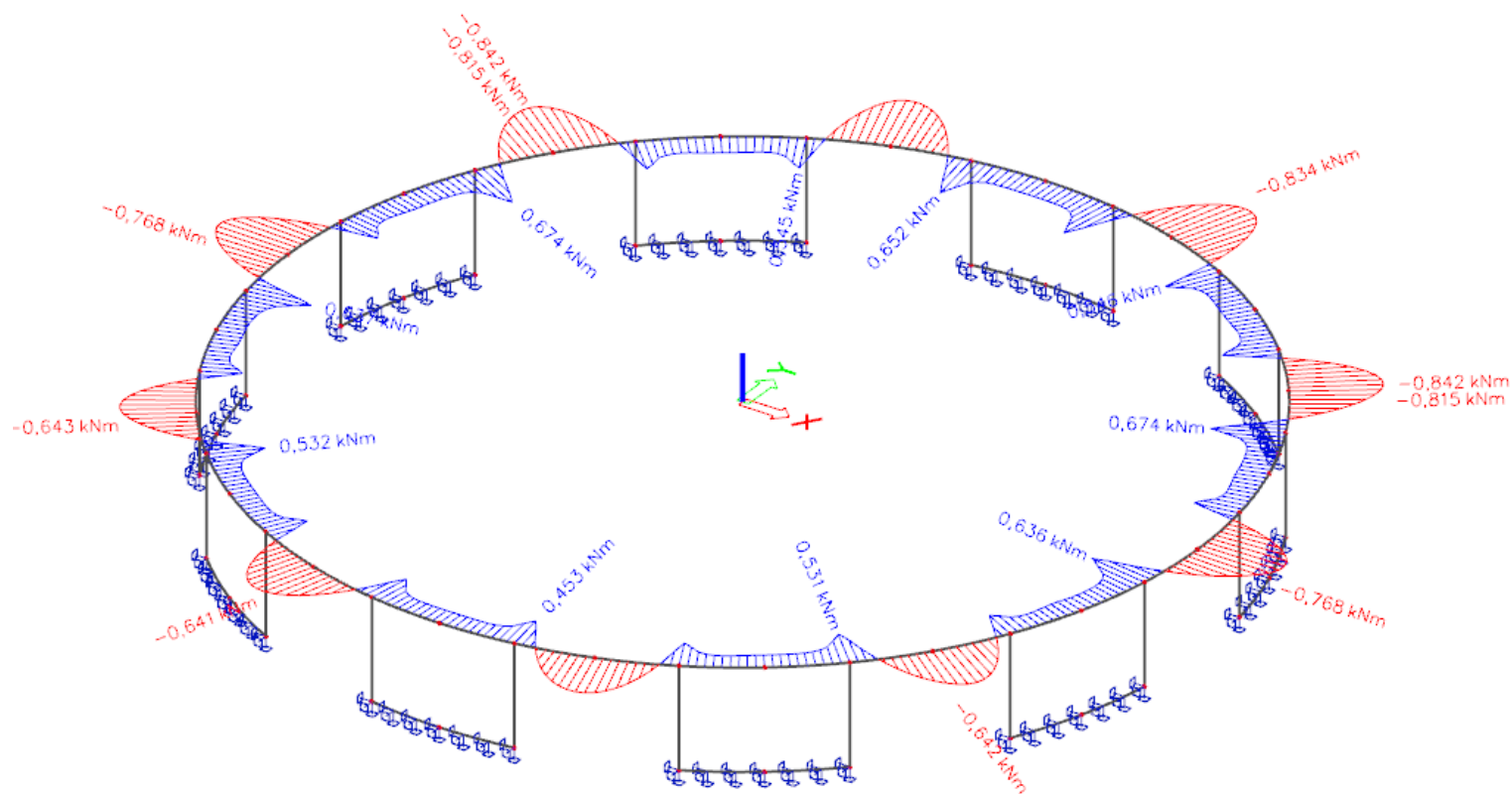
ZS7 – Sníh I – M_x [kNm]



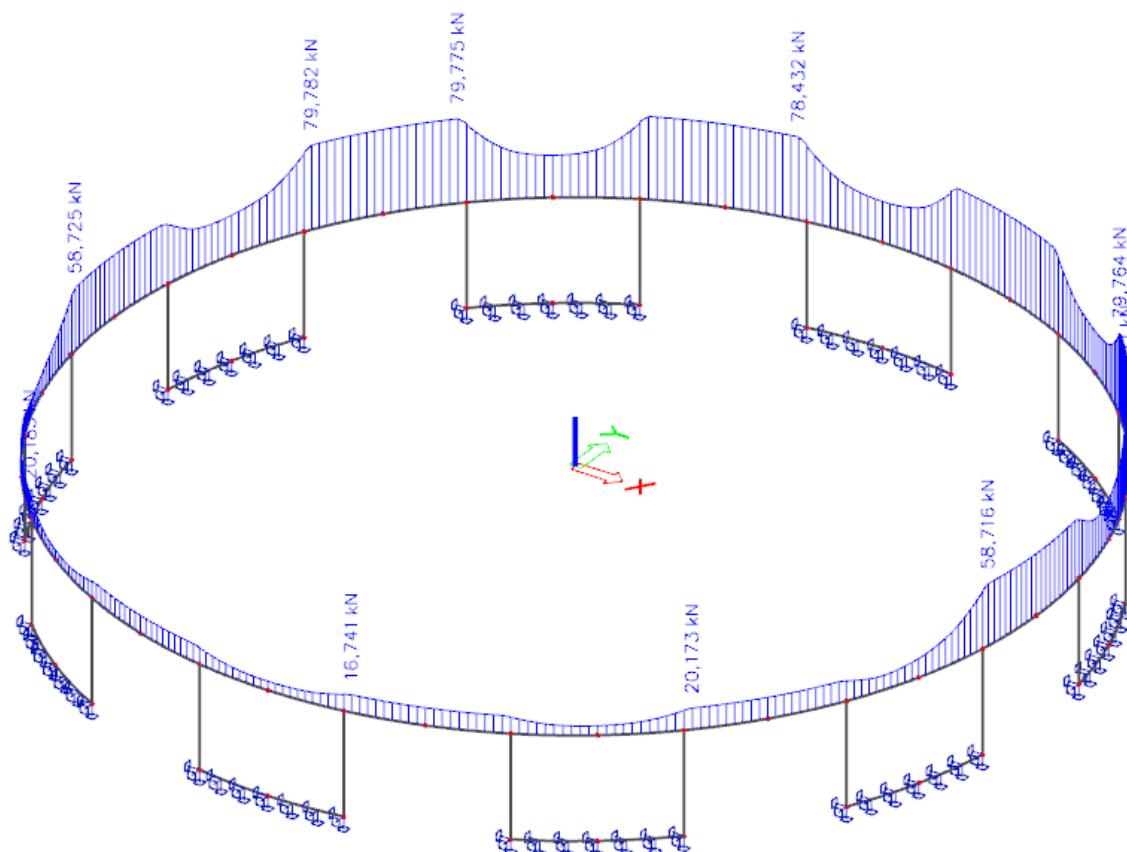
ZS7 – Sníh I – M_y [kNm]



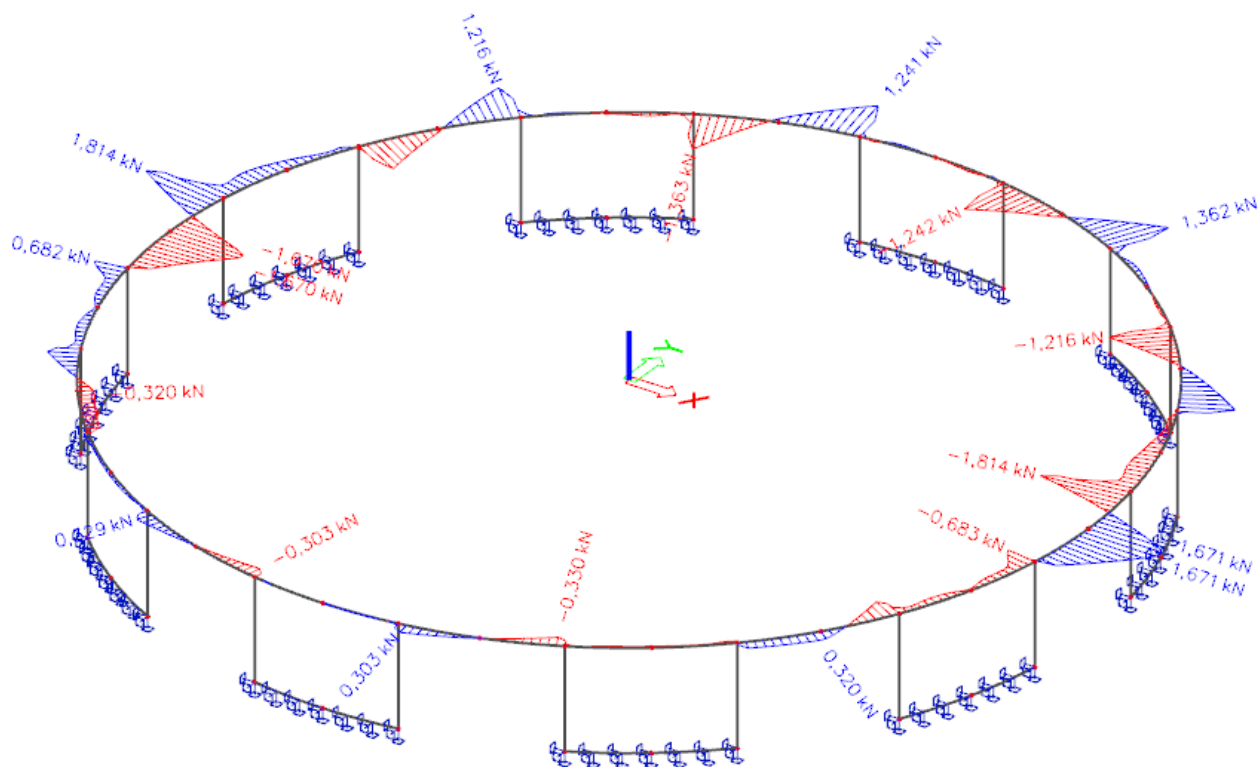
ZS7 – Sníh I – M_z [kNm]



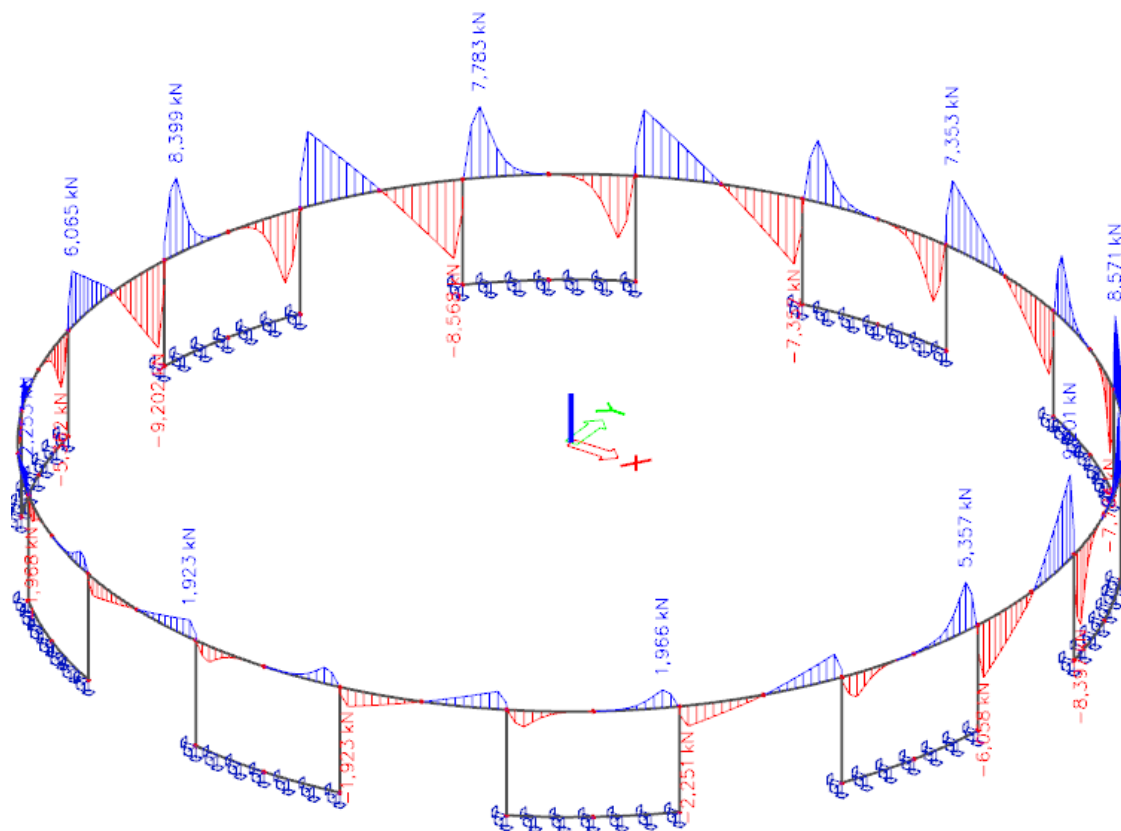
ZS8 – Sníh II – N [kN]



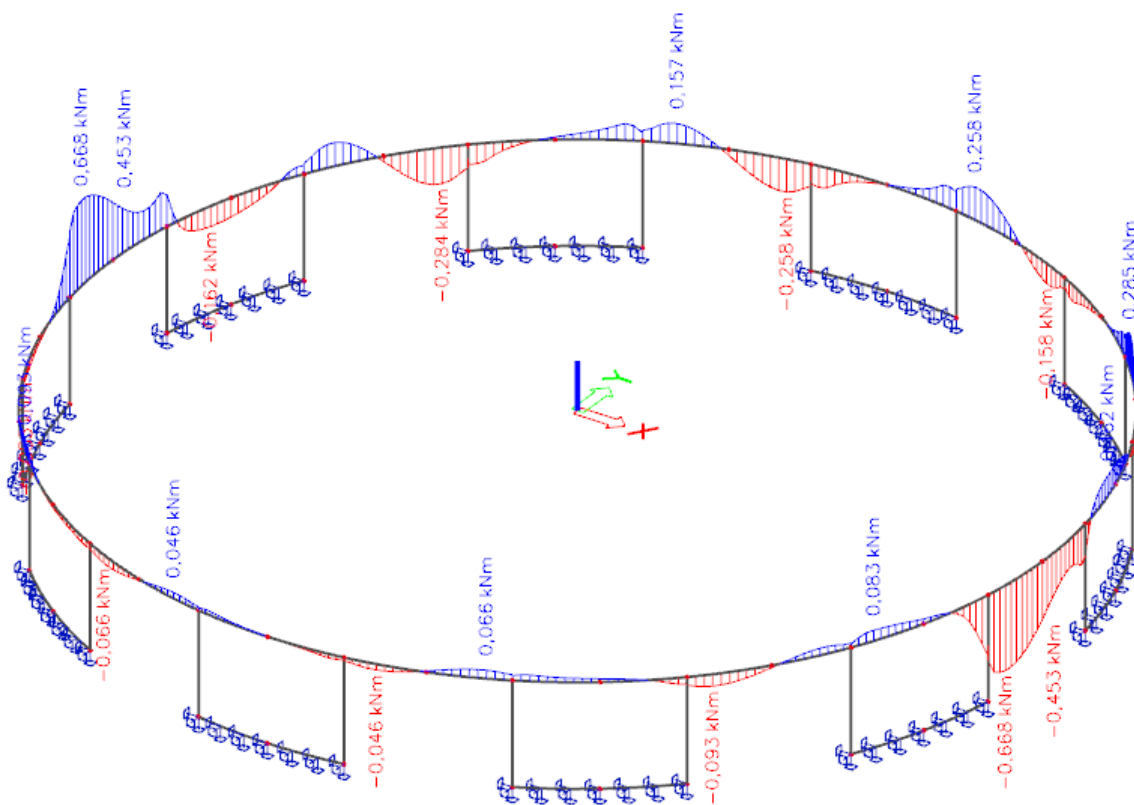
ZS8 – Sníh II – V_y [kN]



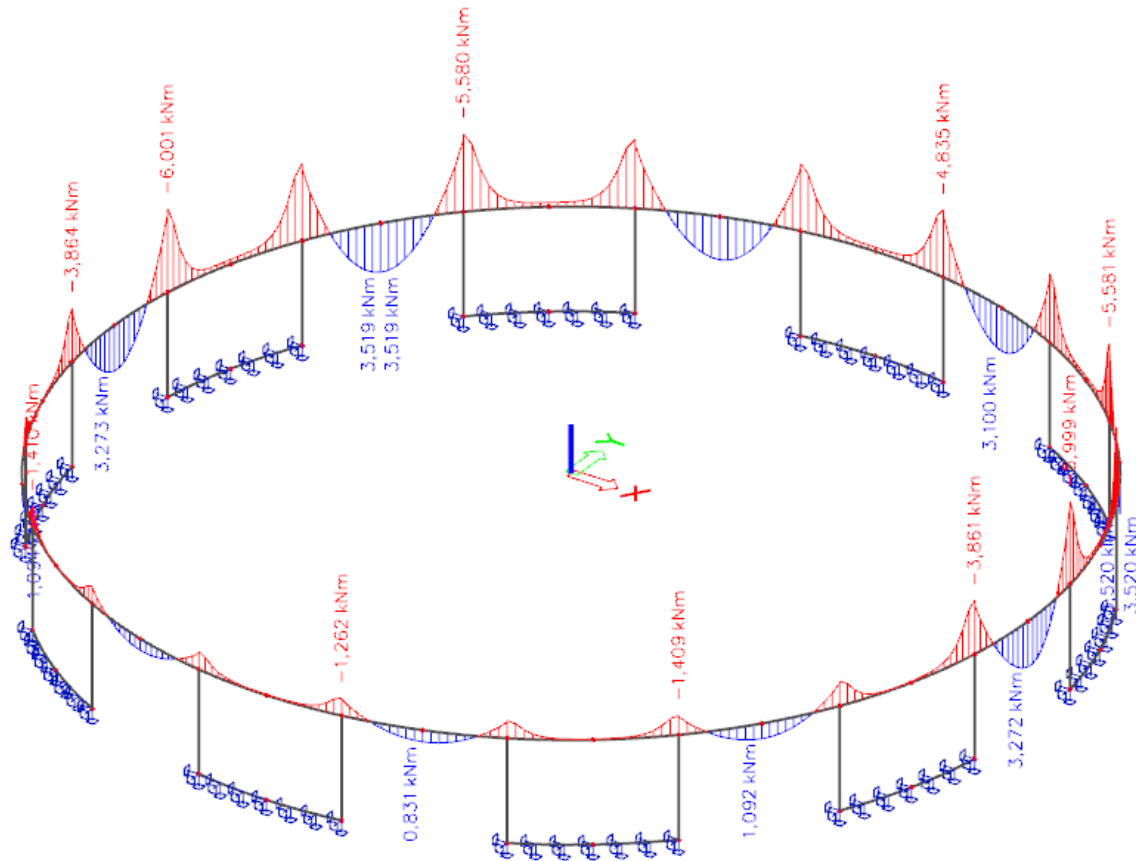
ZS8 – Sníh II – V_z [kN]



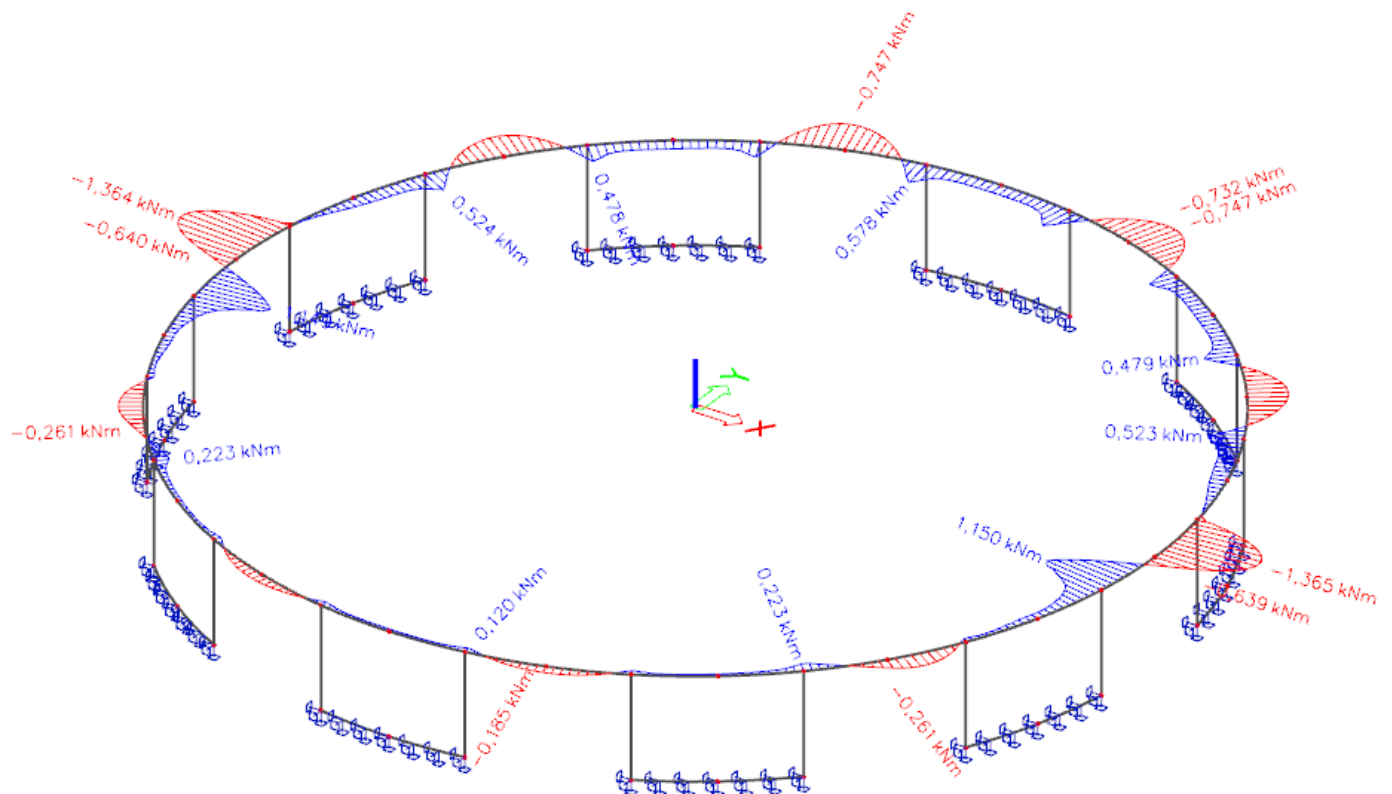
ZS8 – Sníh II – M_x [kNm]



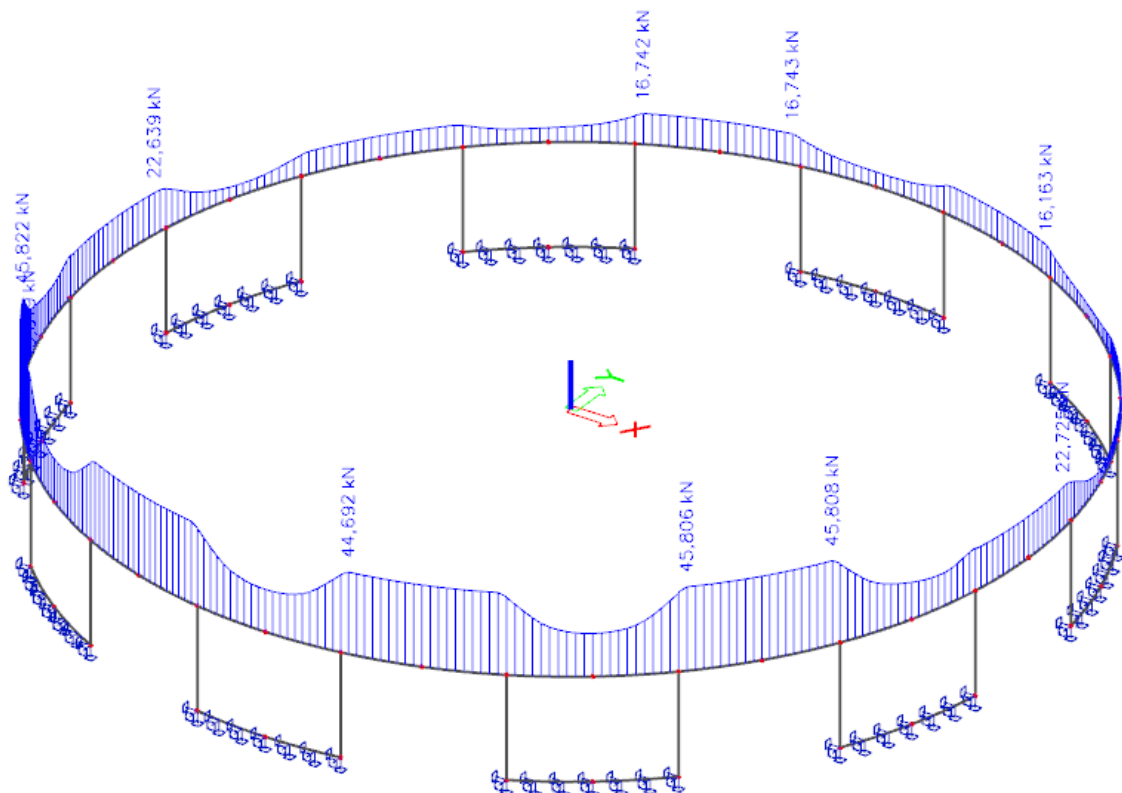
ZS8 – Sníh II – M_y [kNm]



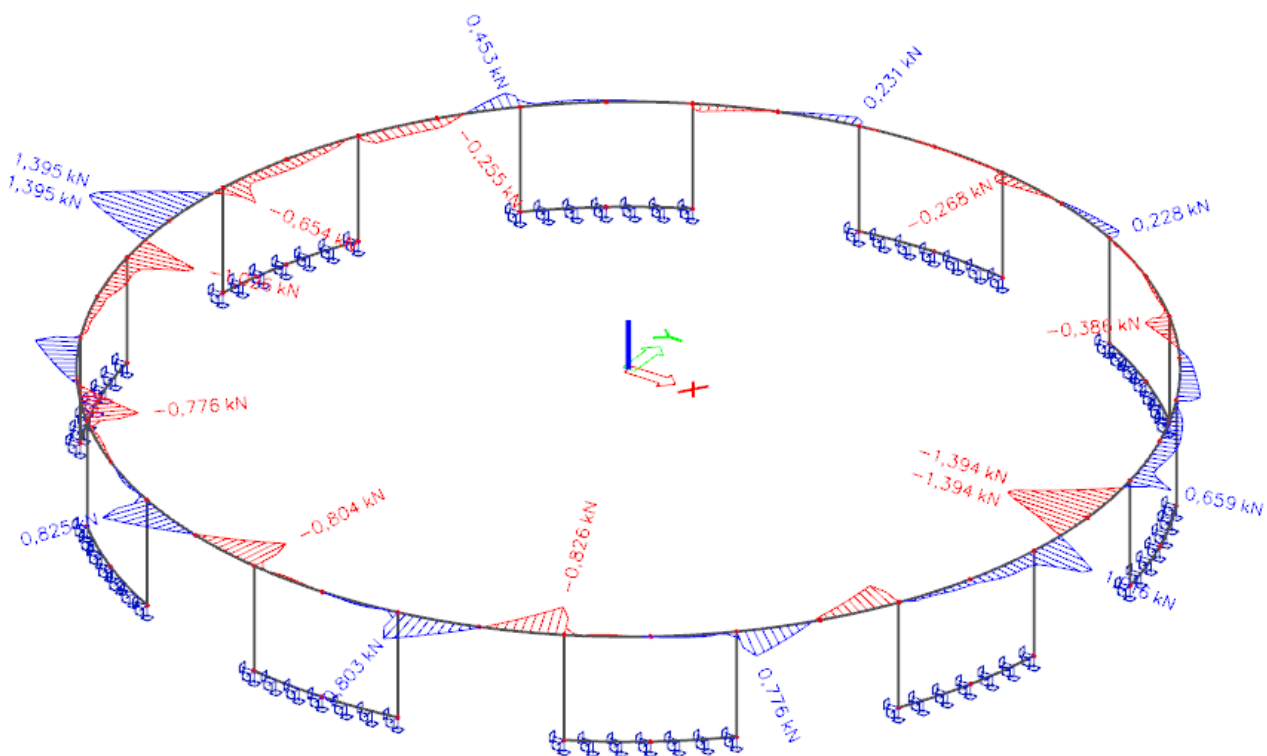
ZS8 – Sníh II – Mz [kNm]



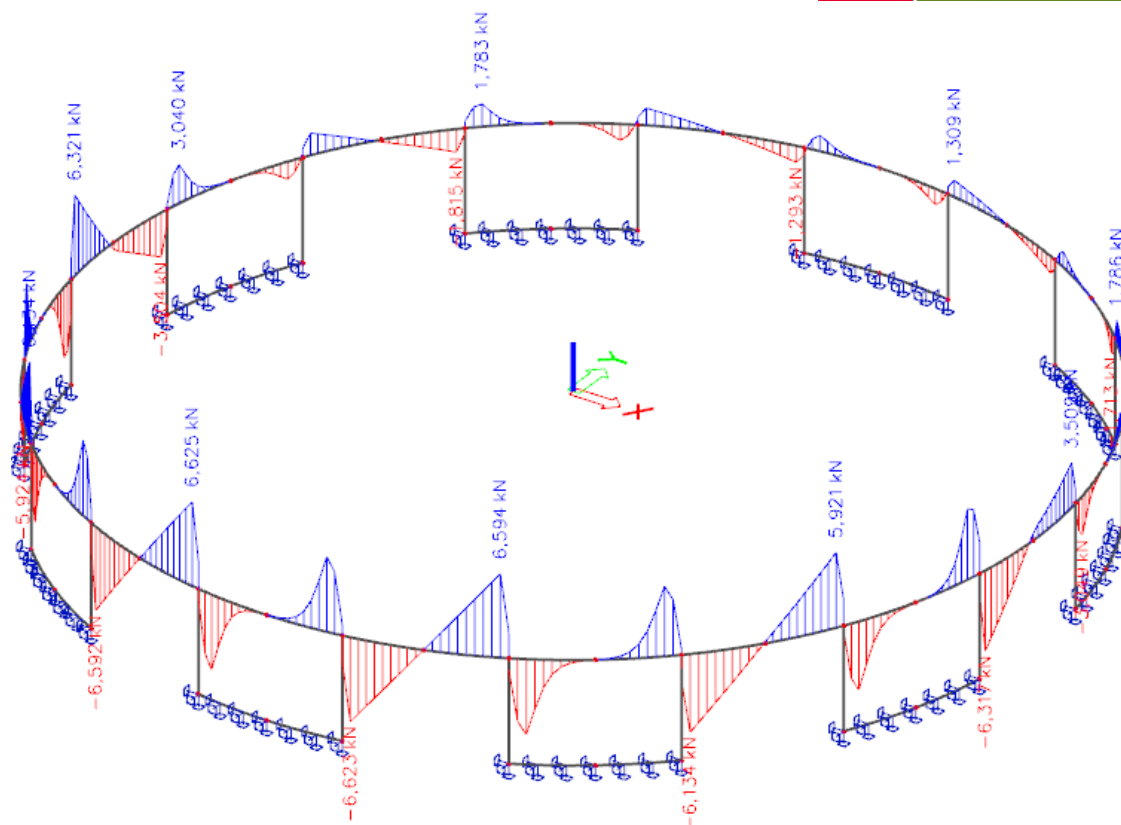
ZS9 – Sníh III – N [kN]



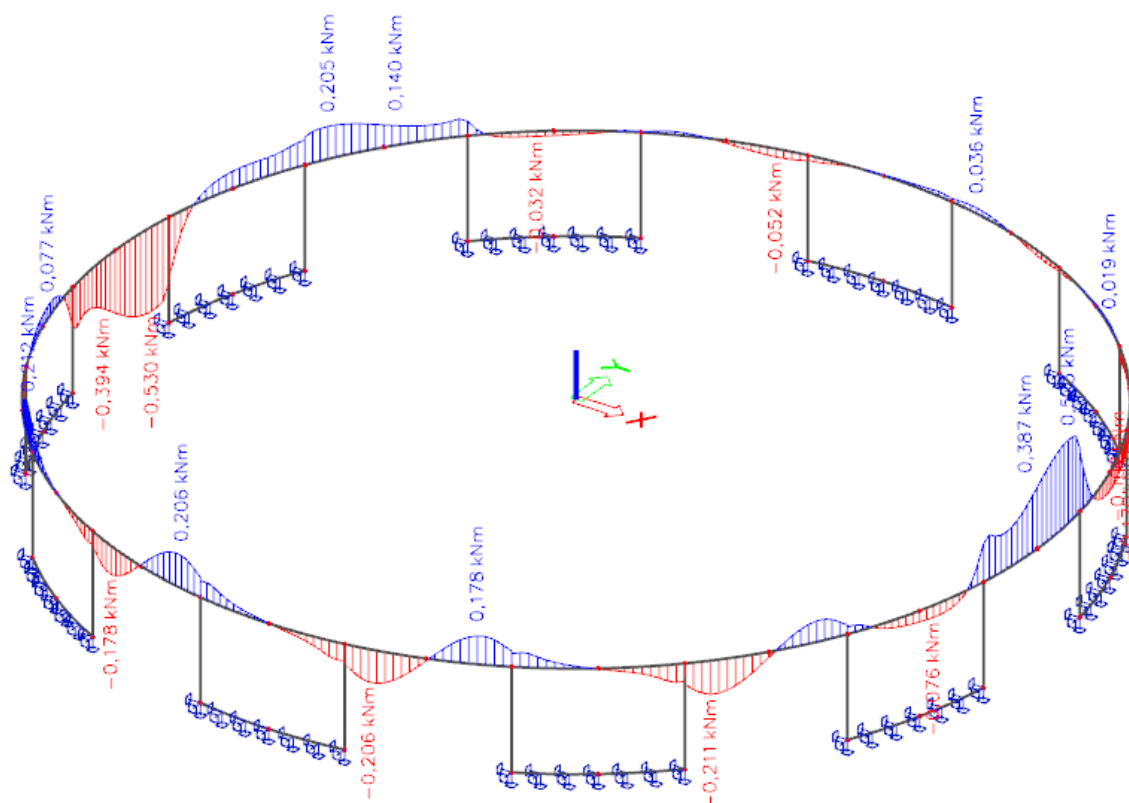
ZS9 – Sníh III – V_y [kN]



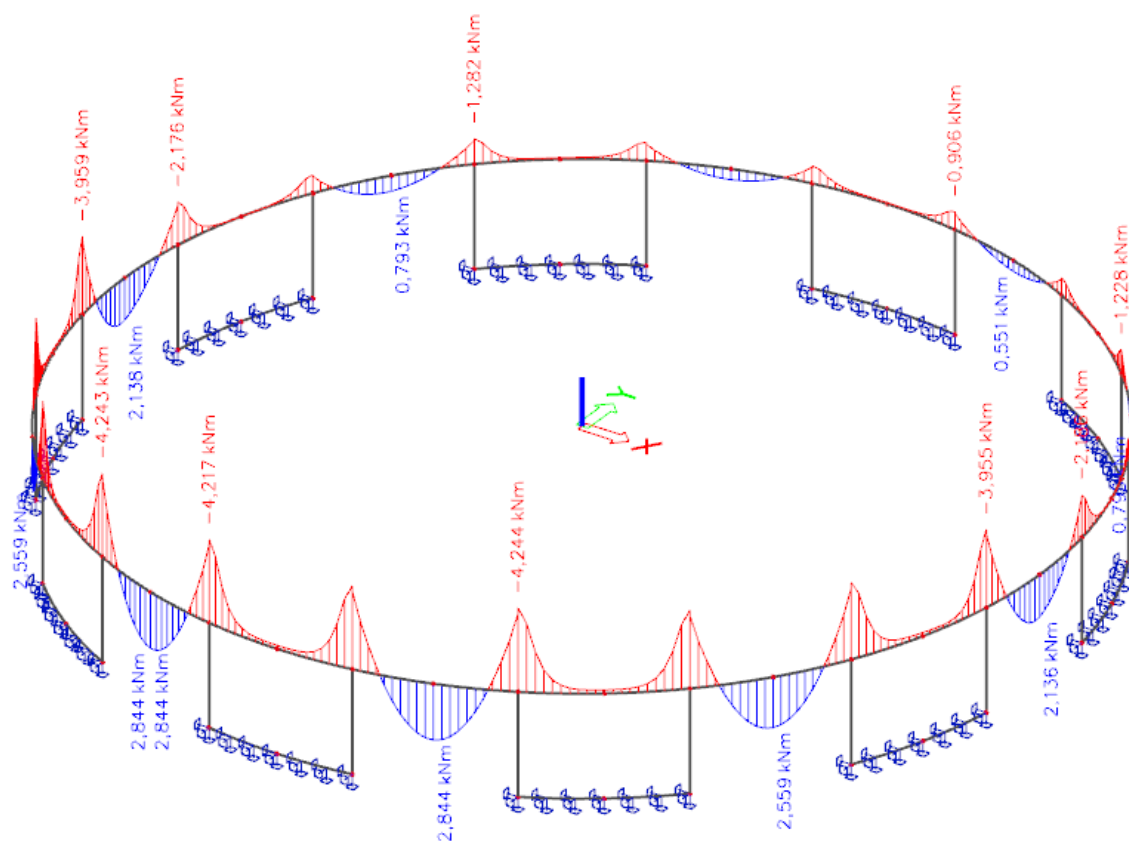
ZS9 – Sníh III – V_z [kN]



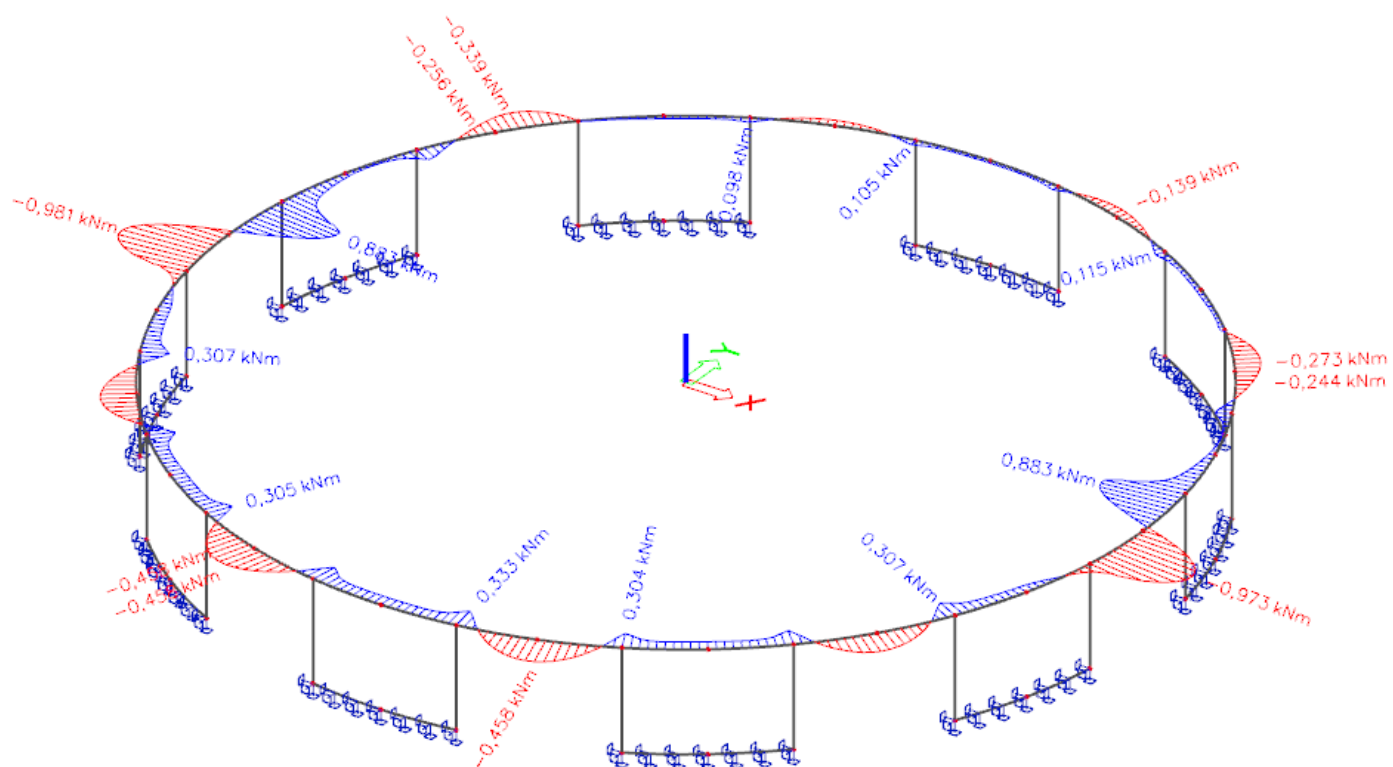
ZS9 – Sněh III – M_x [kNm]



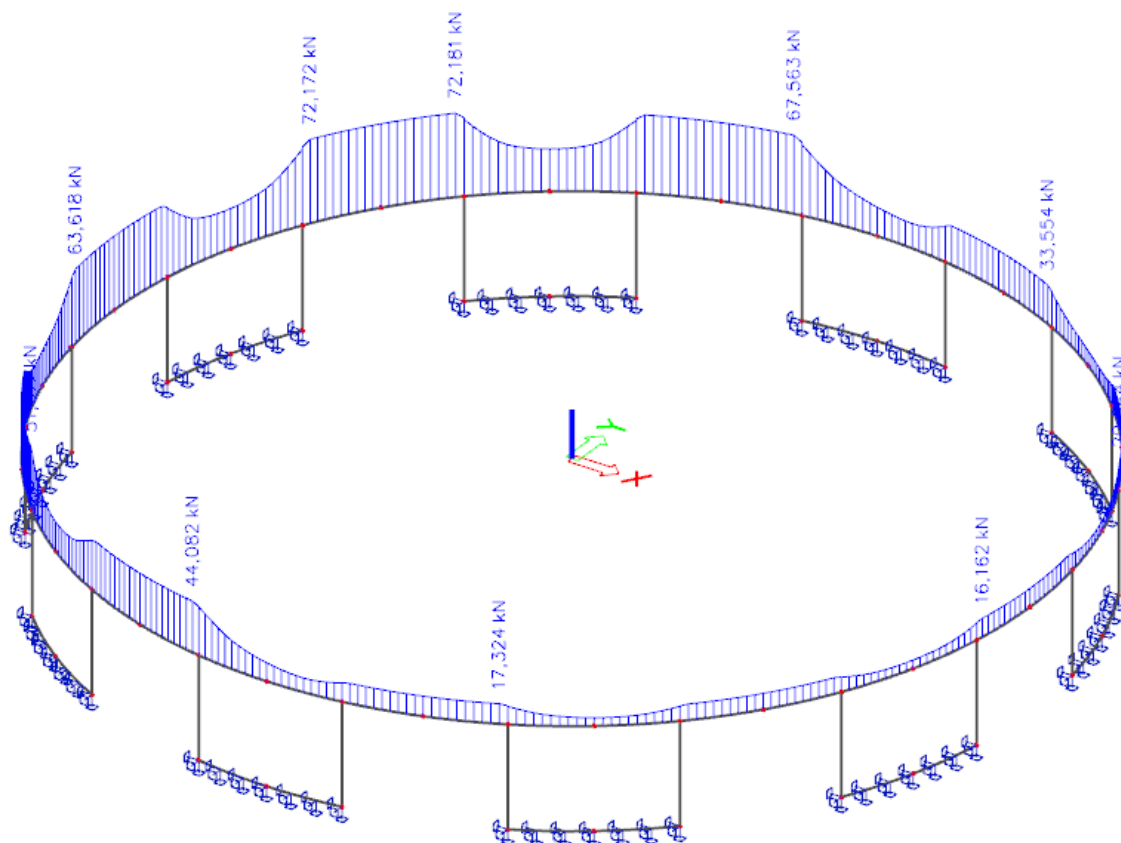
ZS9 – Sněh III – M_y [kNm]



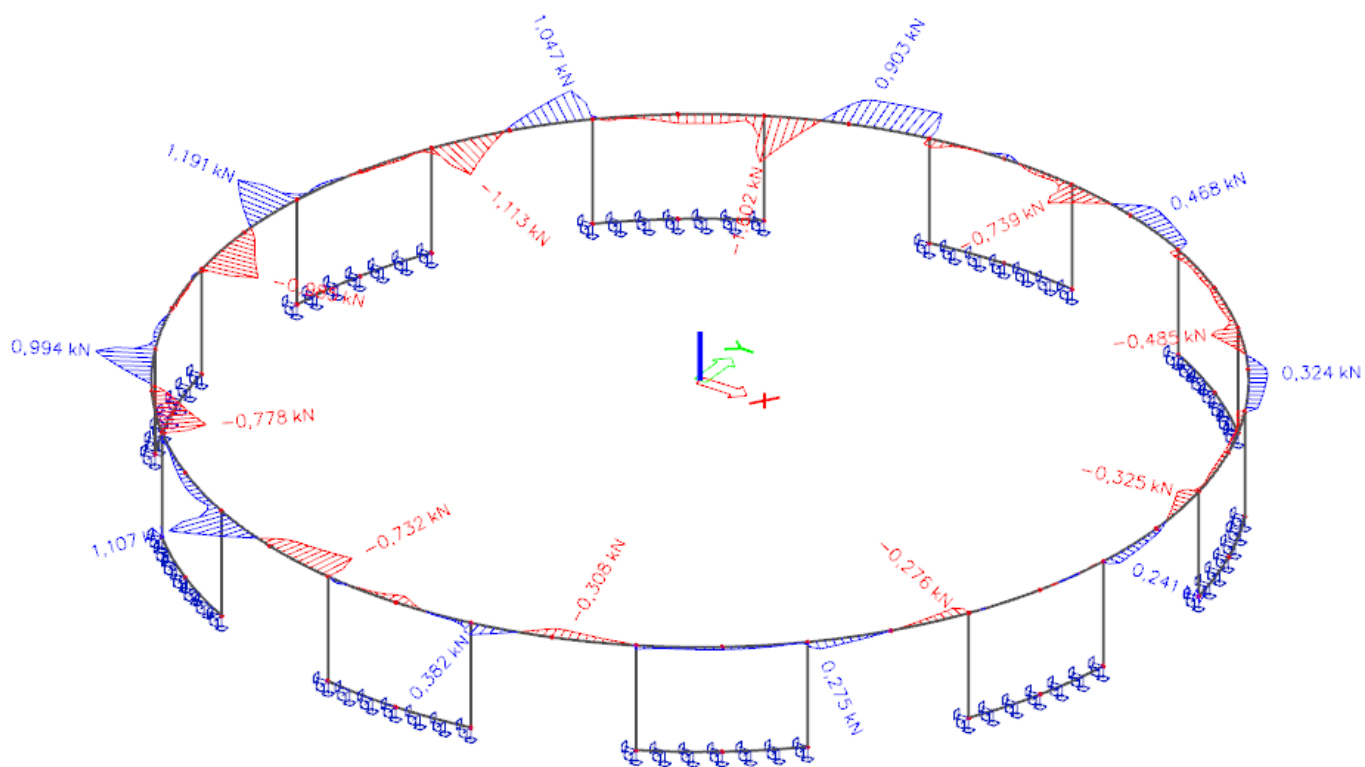
ZS9 – Sníh III – Mz [kNm]



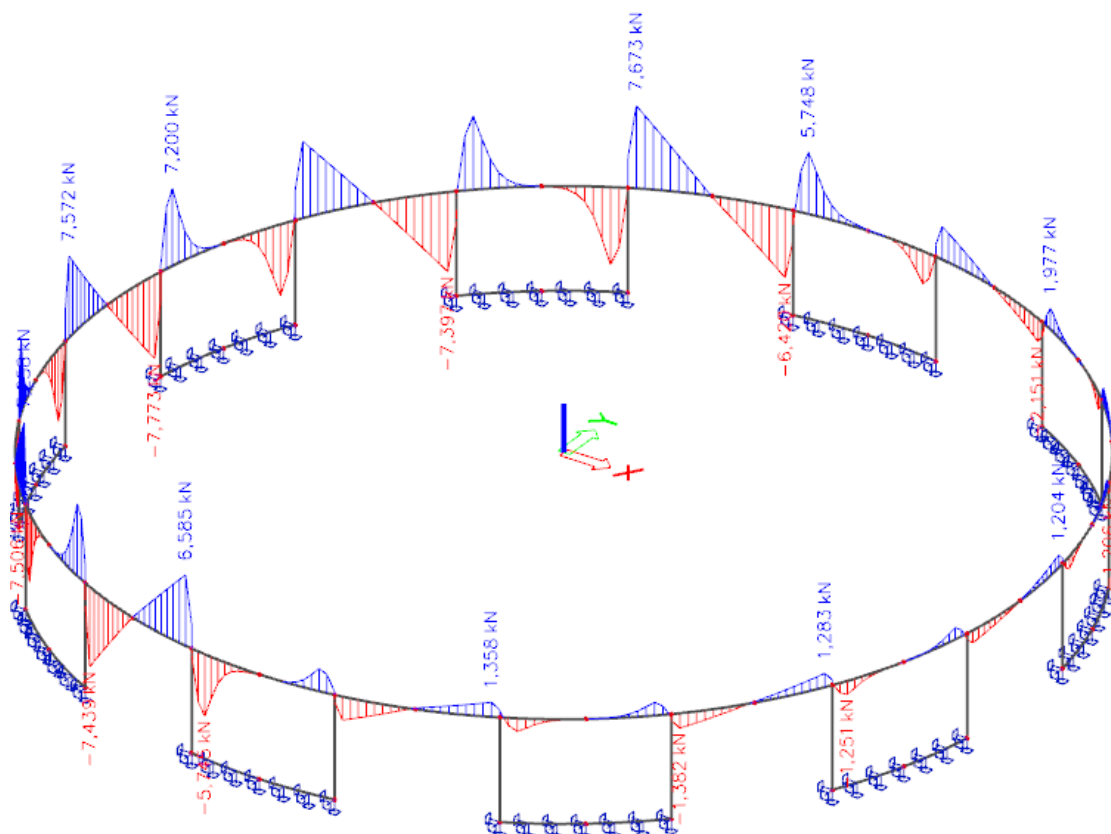
ZS10 – Sníh IV – N [kN]



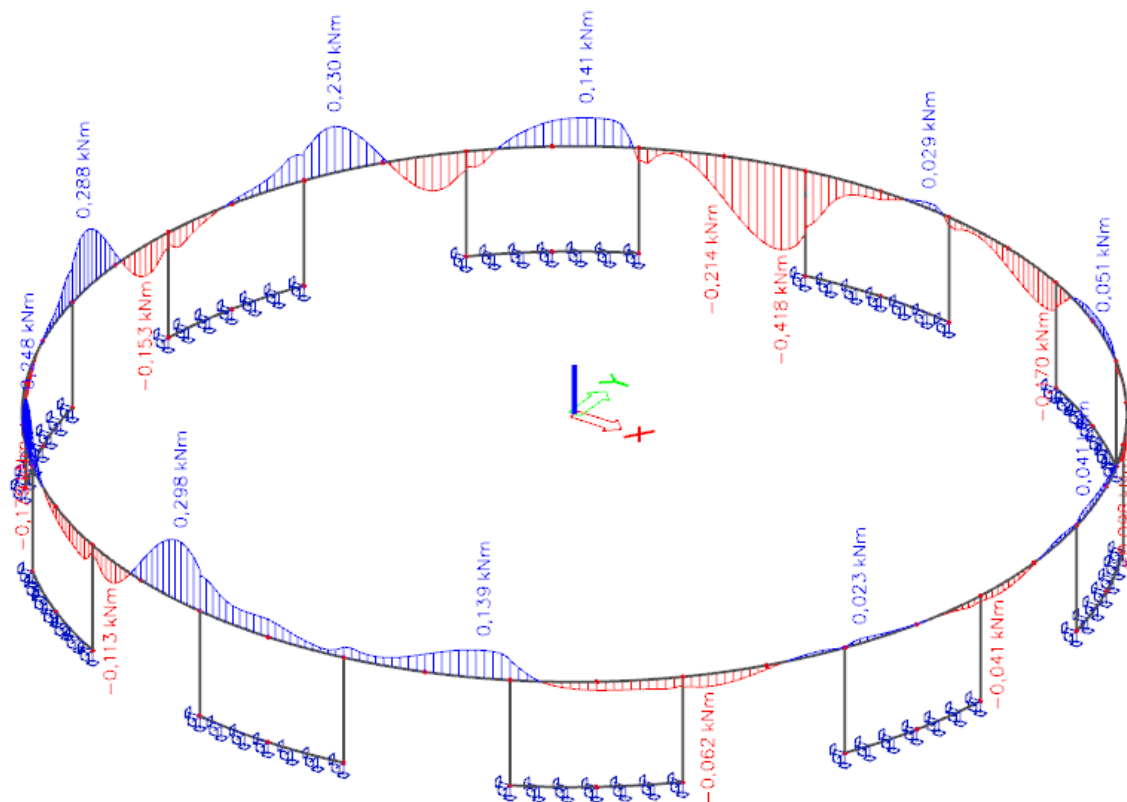
ZS10 – Sníh IV – V_y [kN]



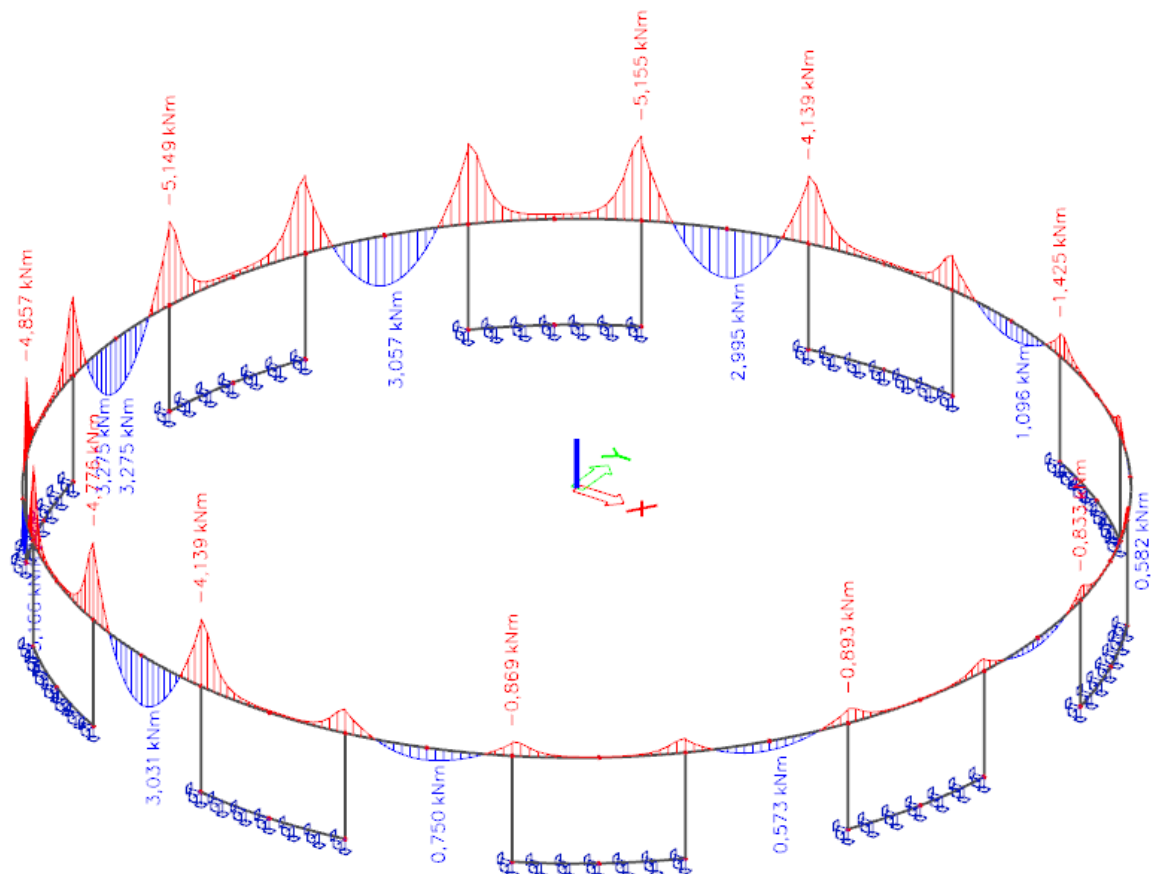
ZS10 – Sníh IV – V_z [kN]



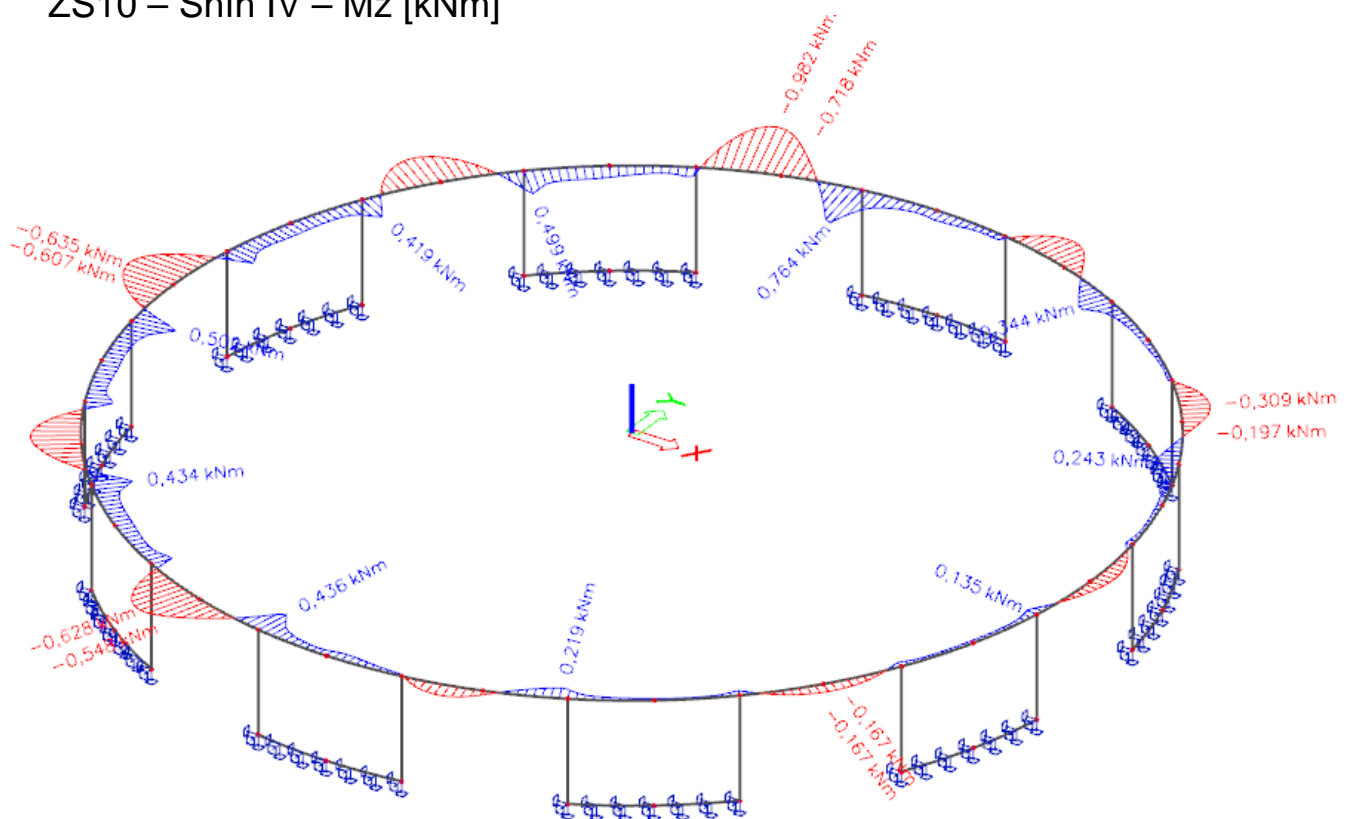
ZS10 – Sníh IV – Mx [kNm]



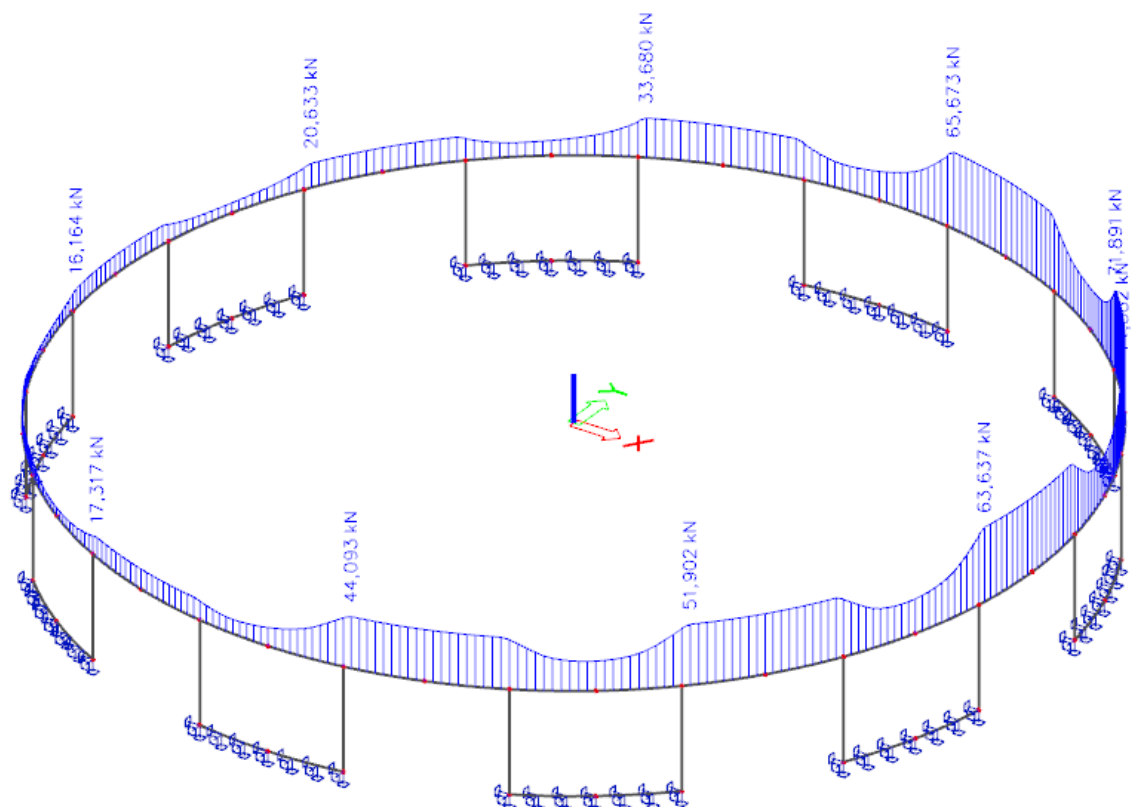
ZS10 – Sníh IV – My [kNm]



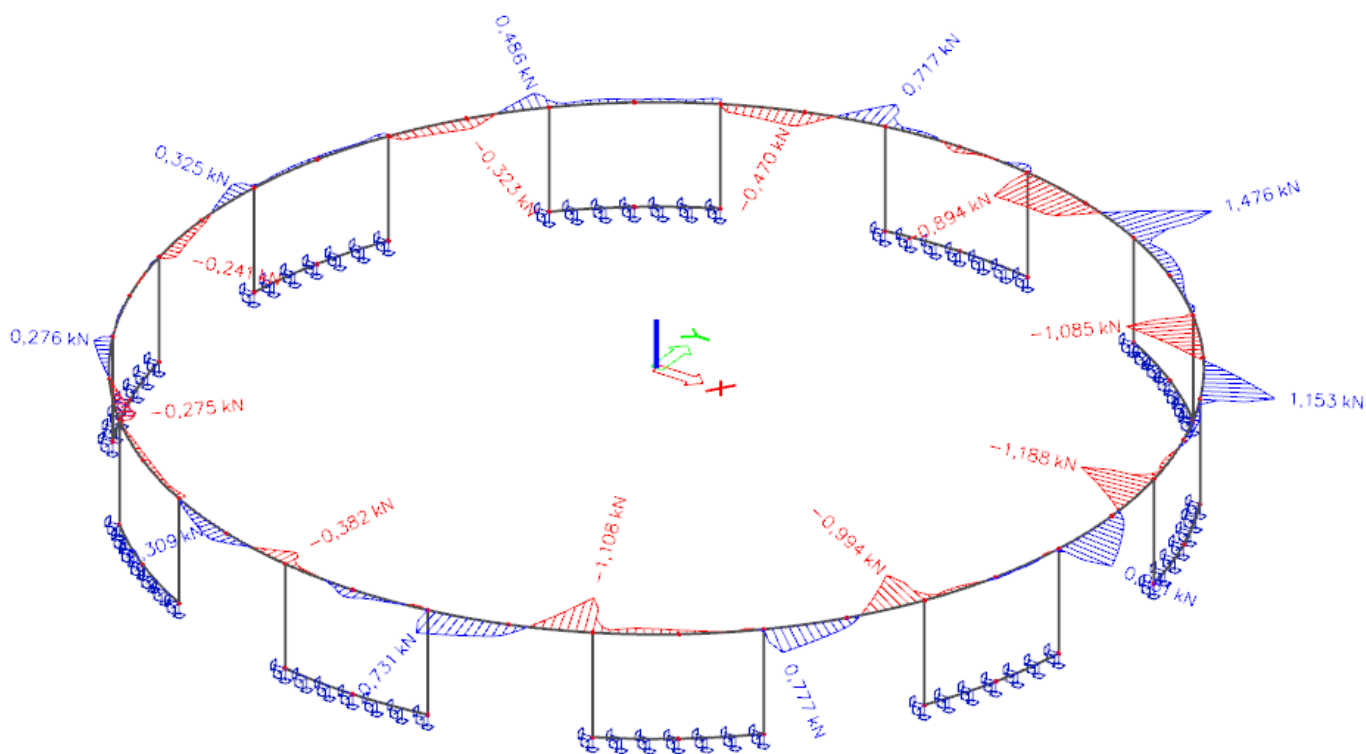
ZS10 – Sníh IV – M_z [kNm]



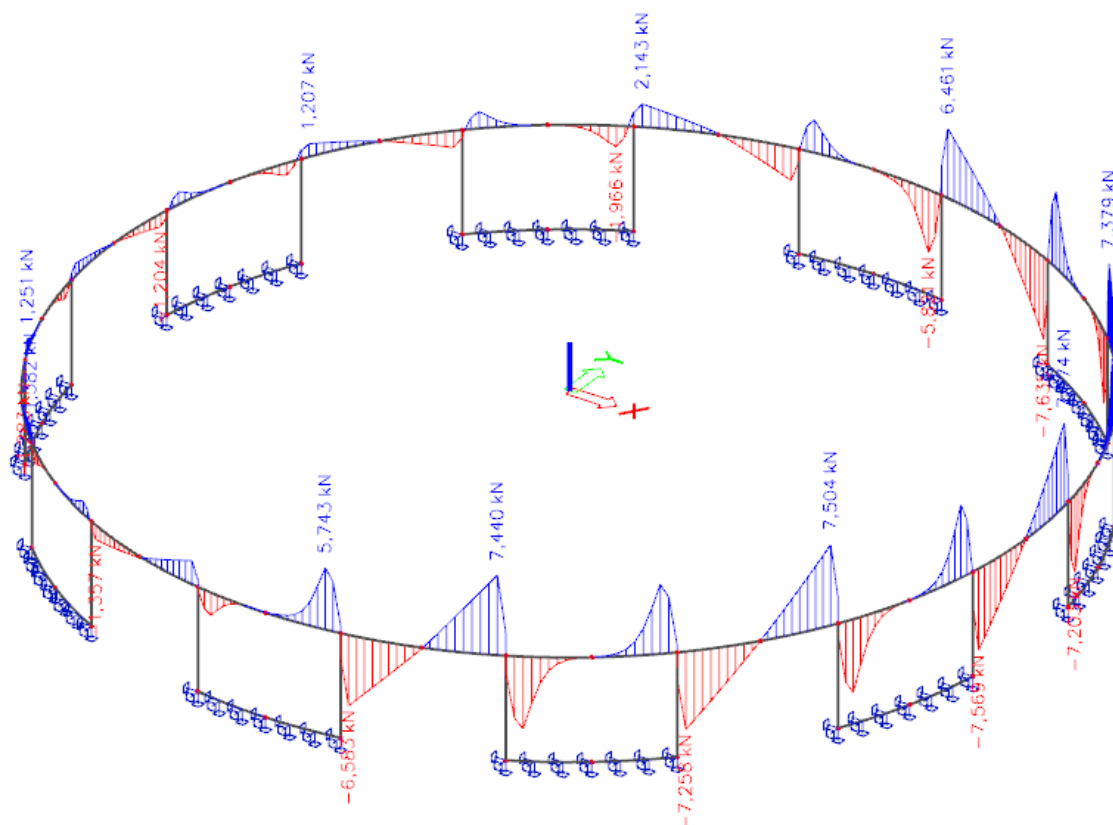
ZS11 – Sníh V – N [kN]



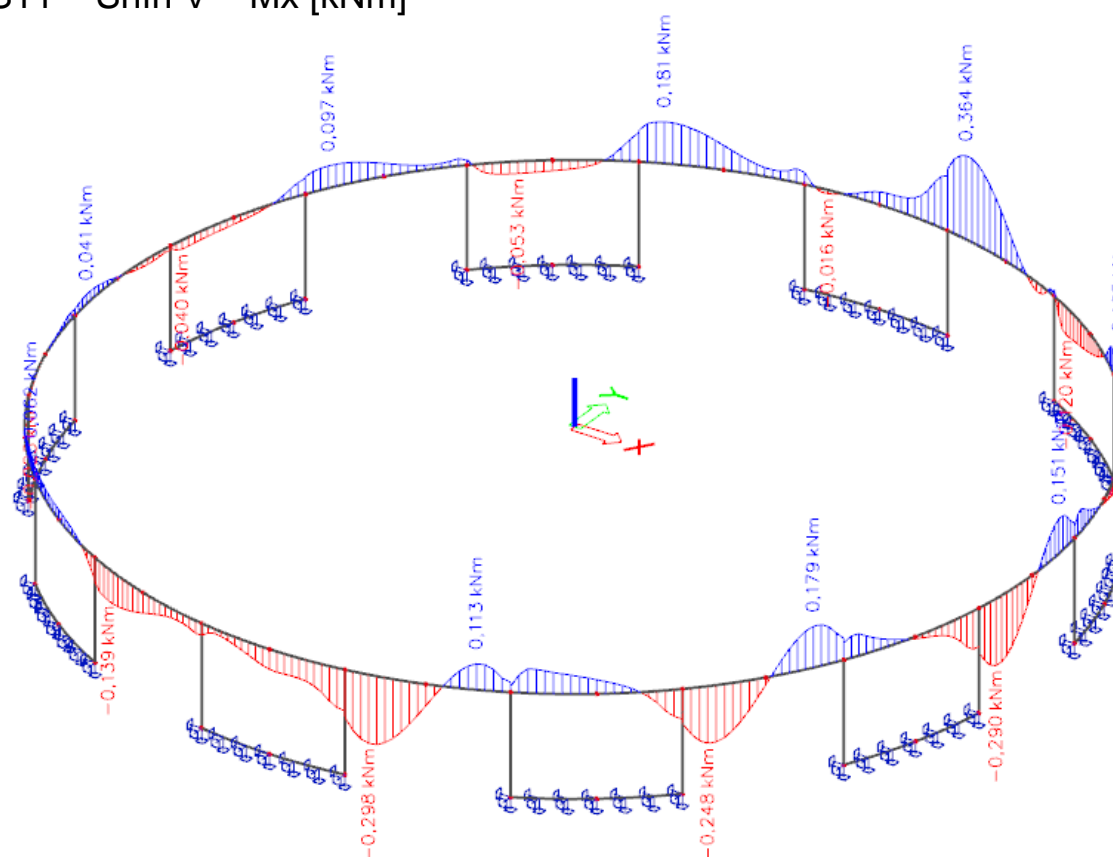
ZS11 – Sníh V – V_y [kN]



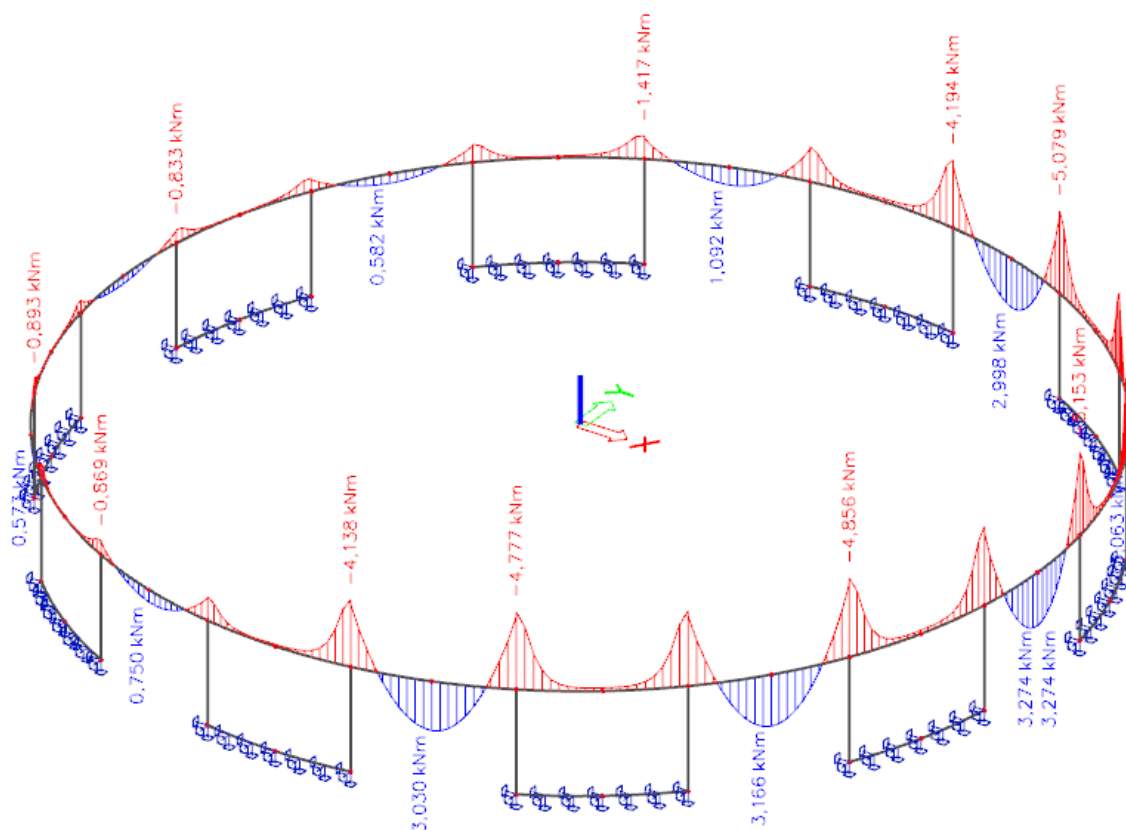
ZS11 – Sníh V – V_z [kN]



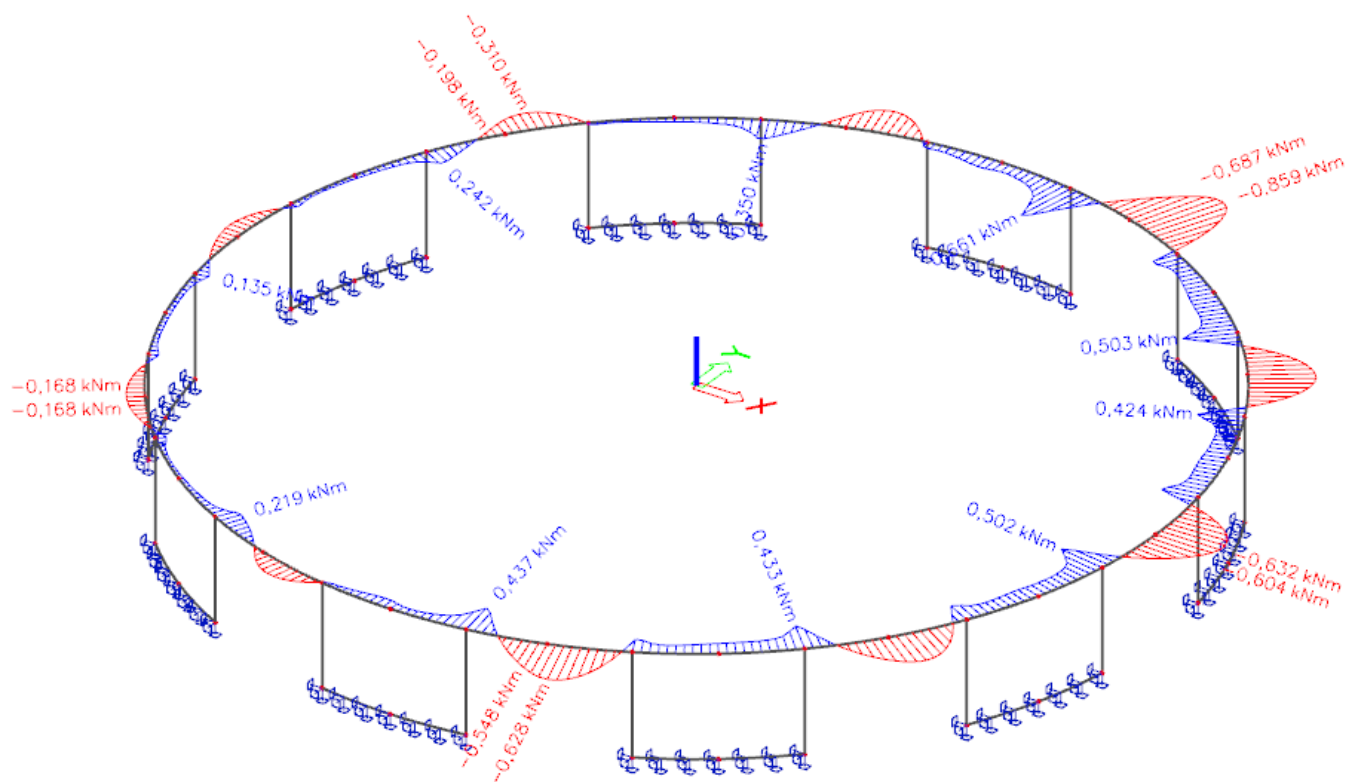
ZS11 – Sníh V – Mx [kNm]



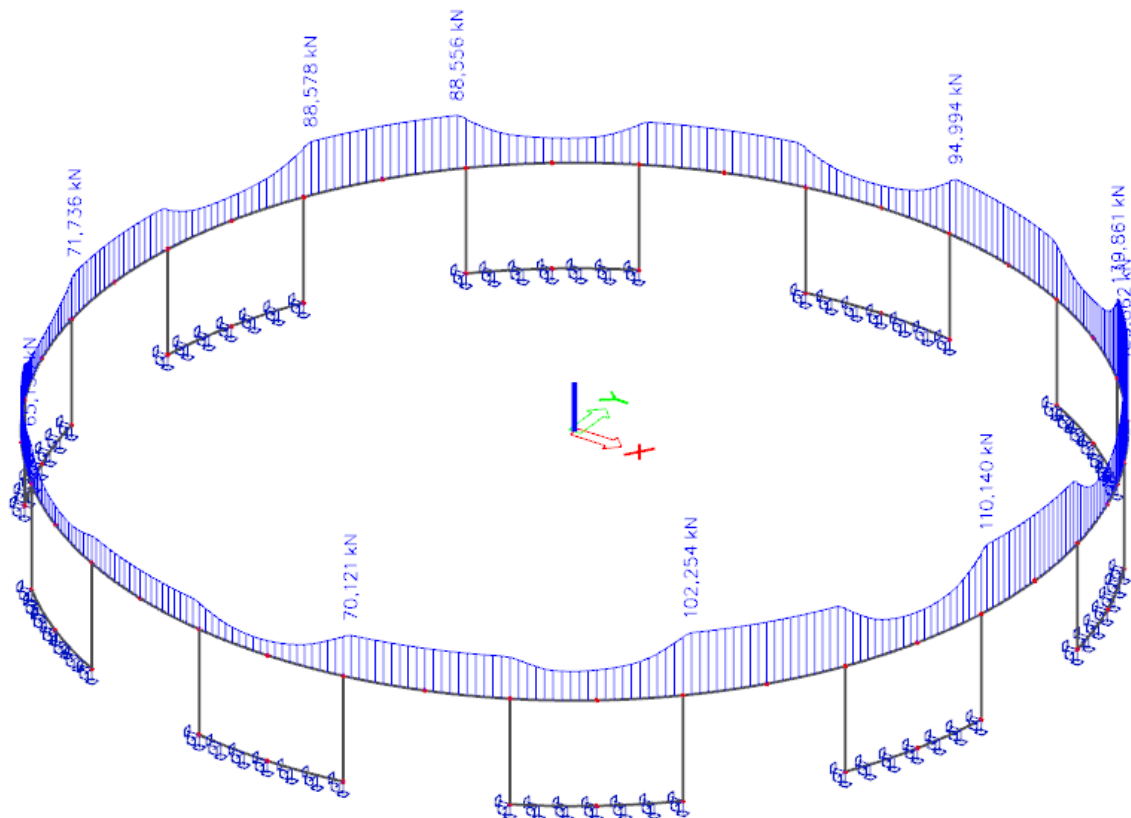
ZS11 – Sníh V – My [kNm]



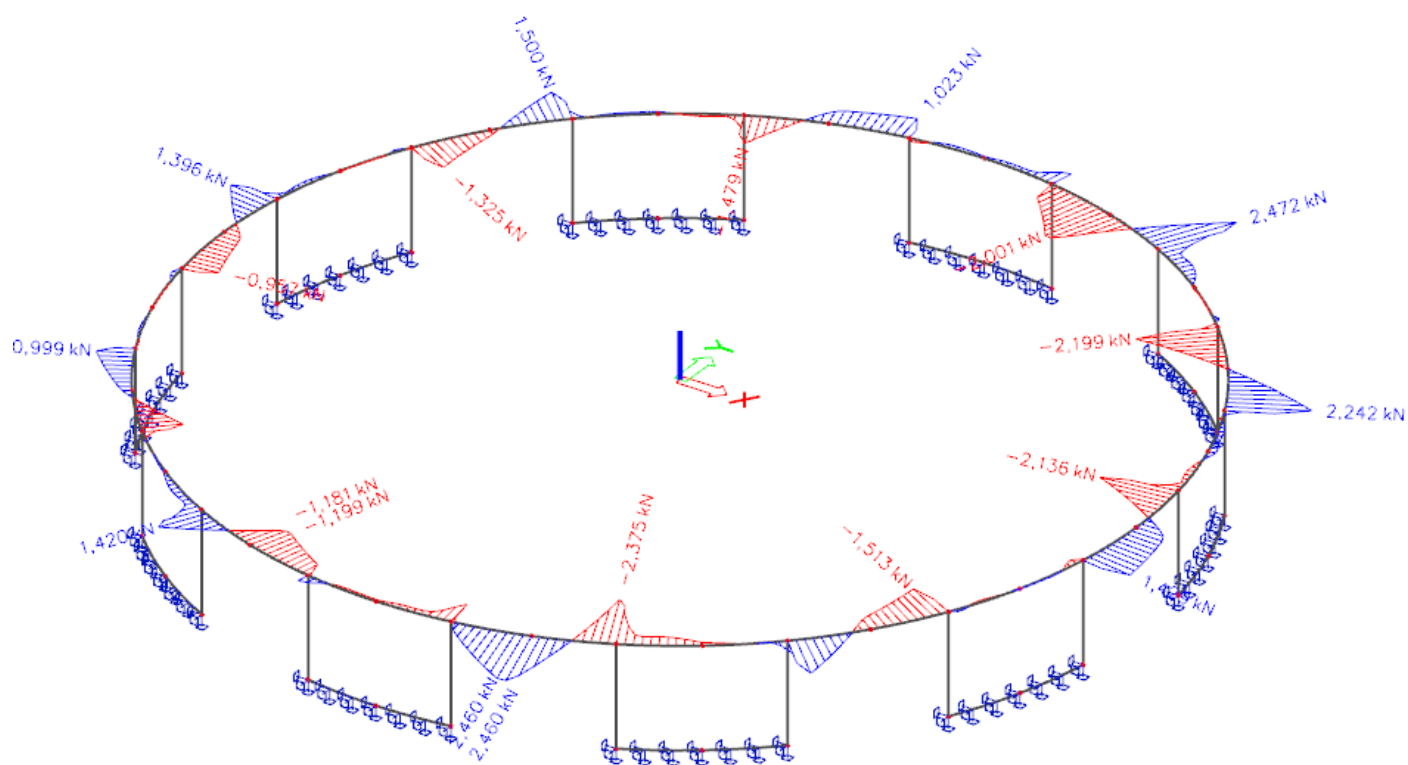
ZS11 – Sníh V – Mz [kNm]



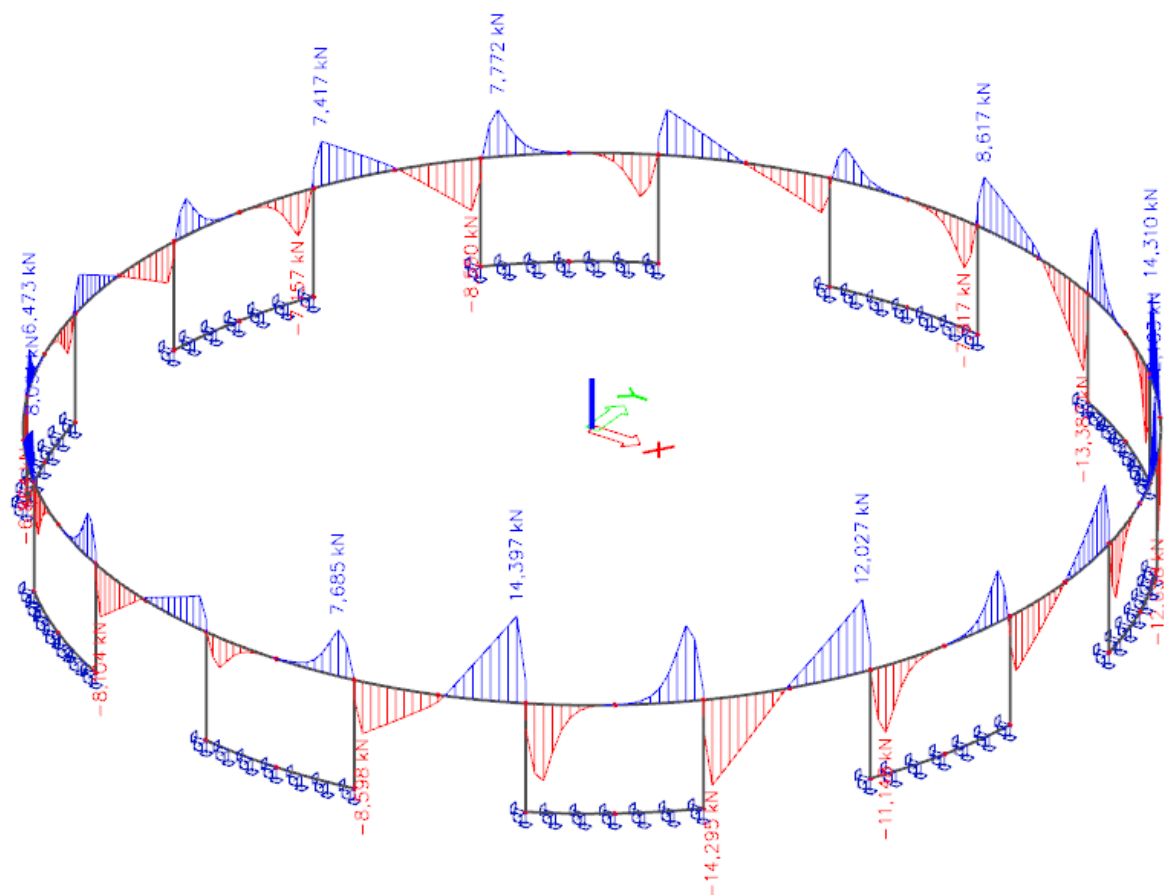
ZS12 – Sníh VI – N [kN]



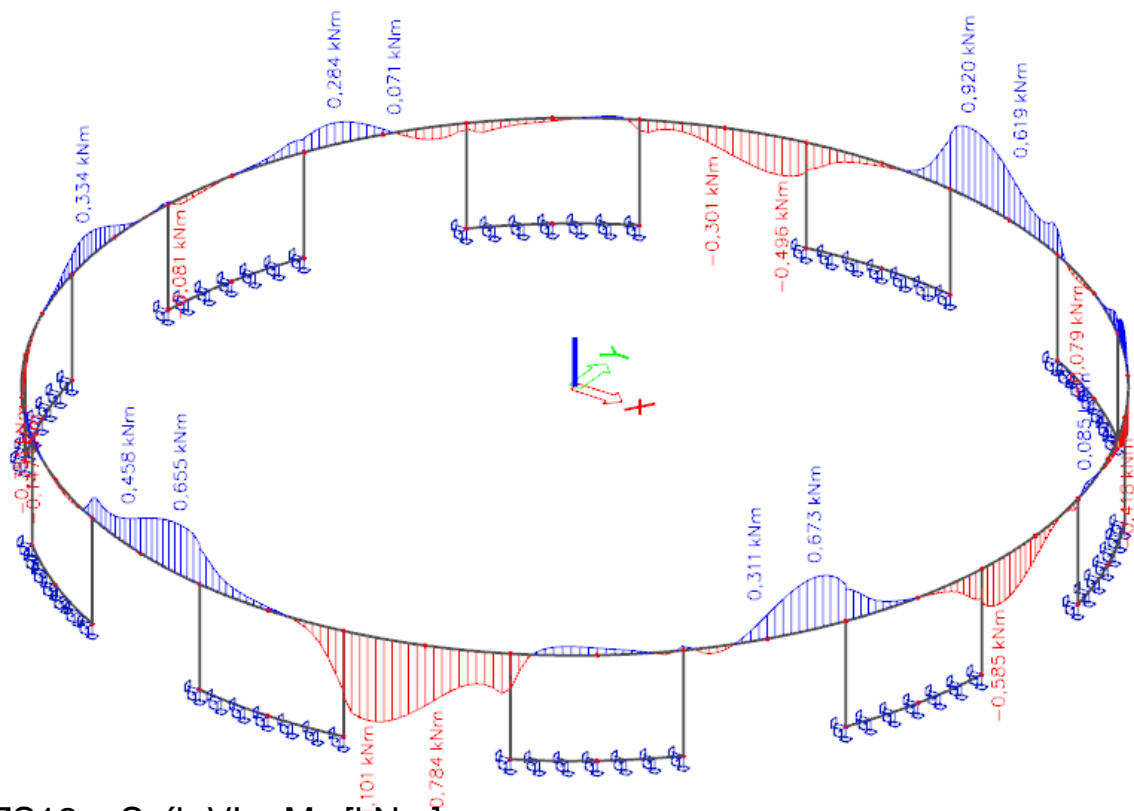
ZS12 – Sníh VI – V_y [kN]



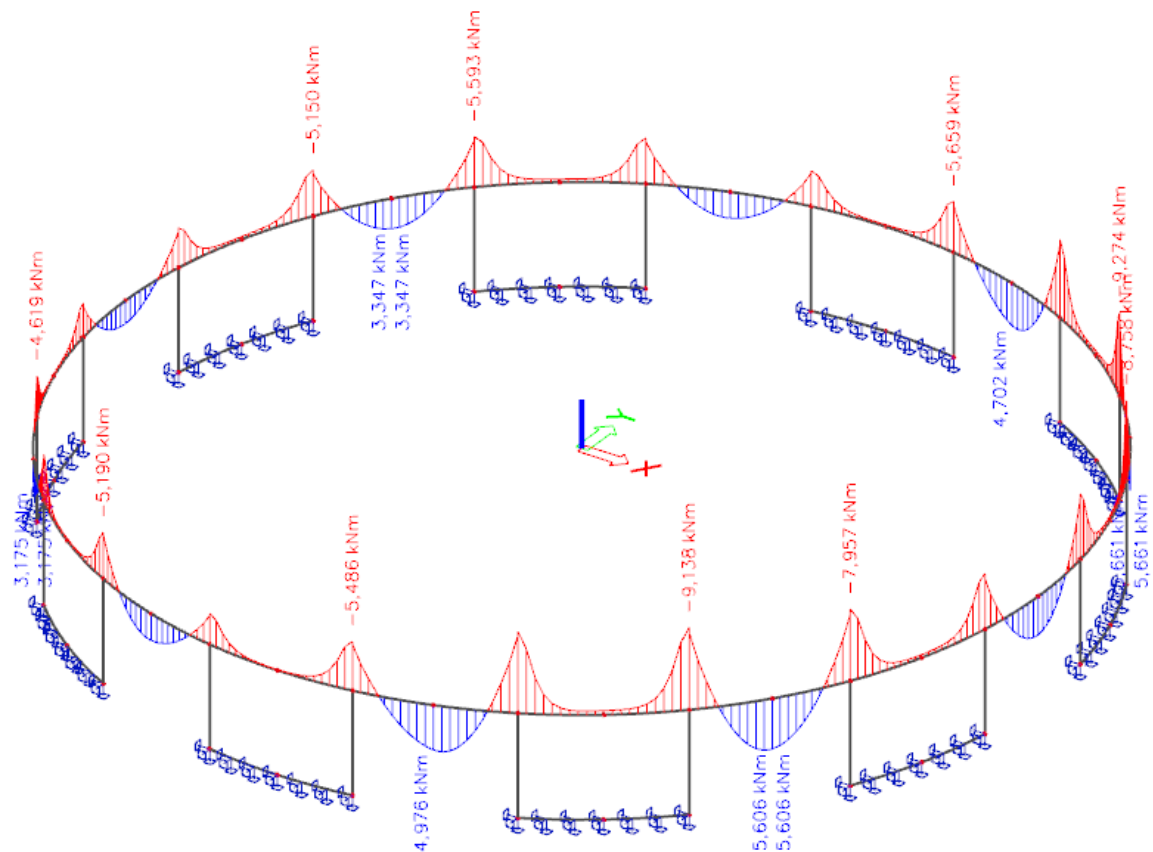
ZS12 – Sníh VI – V_z [kN]



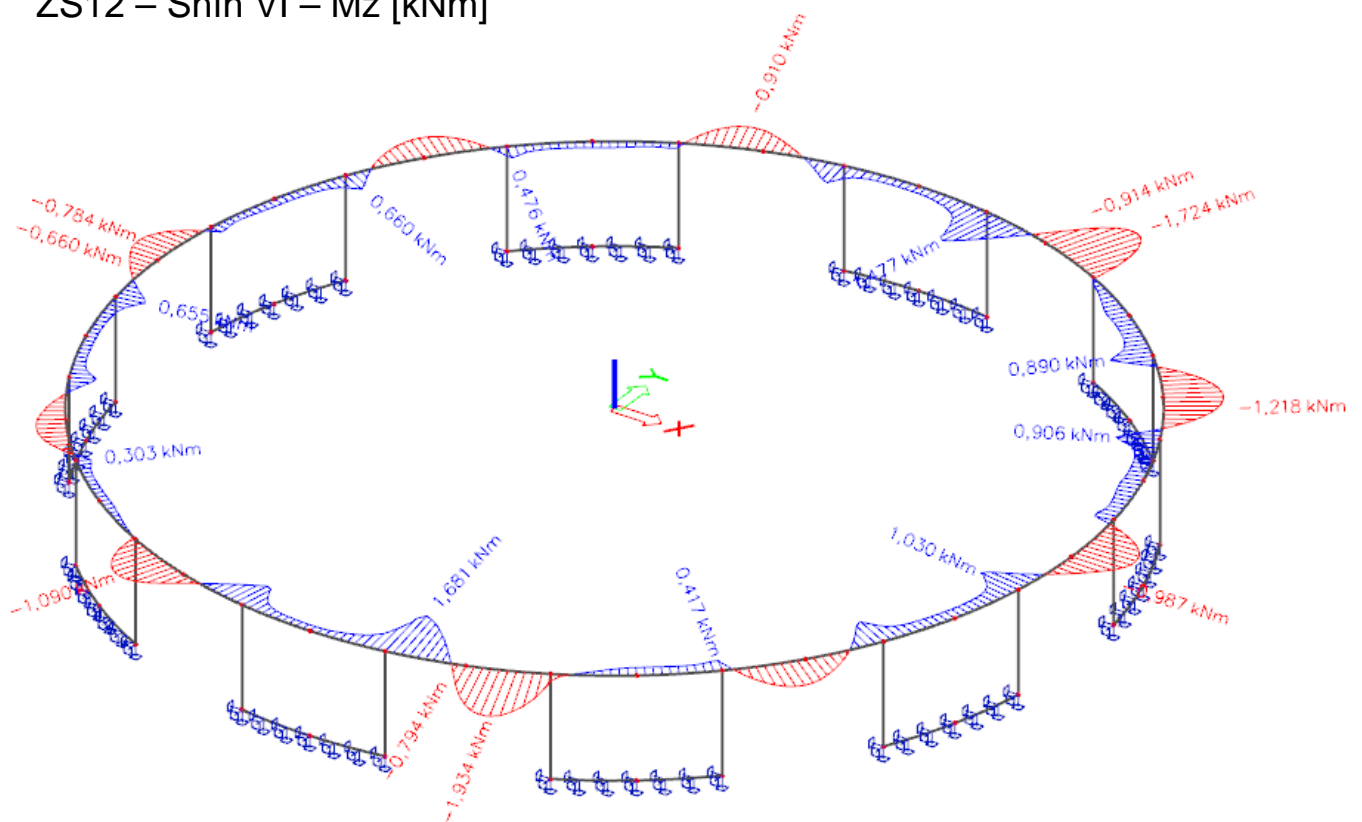
ZS12 – Sníh VI – M_x [kNm]



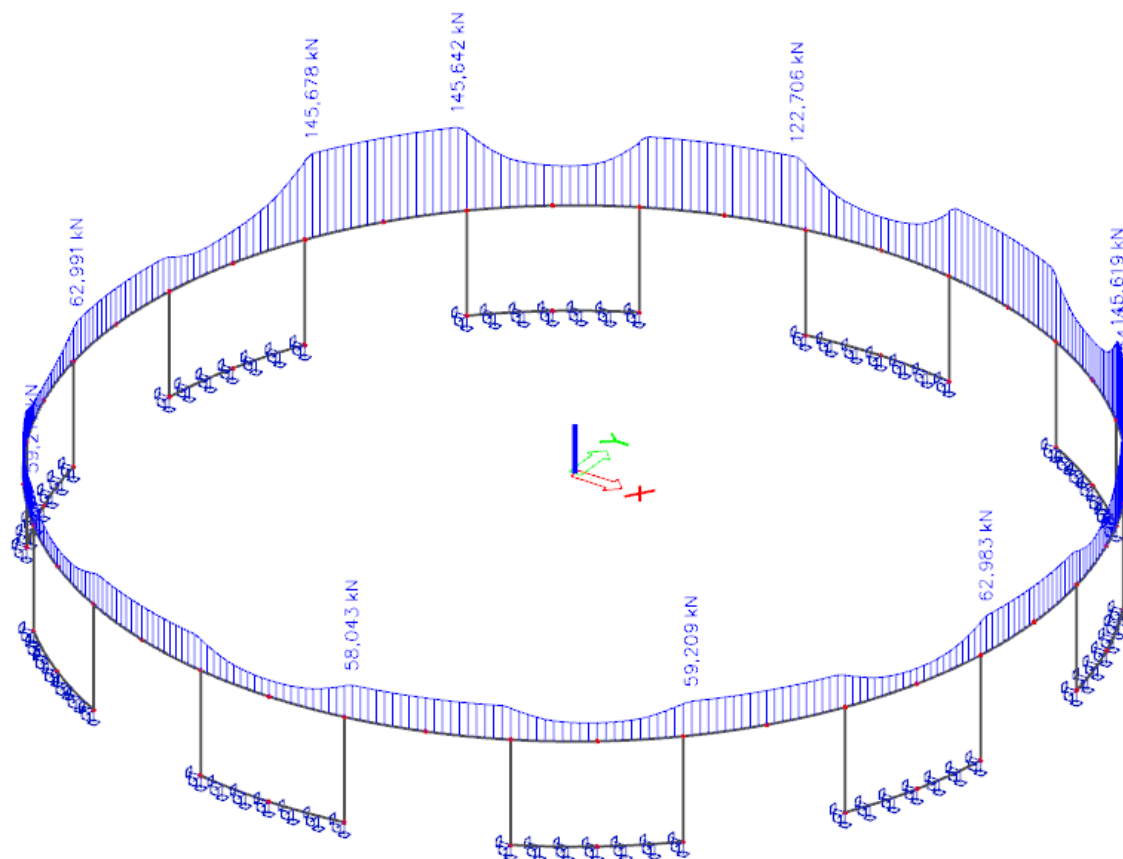
ZS12 – Sníh VI – M_y [kNm]



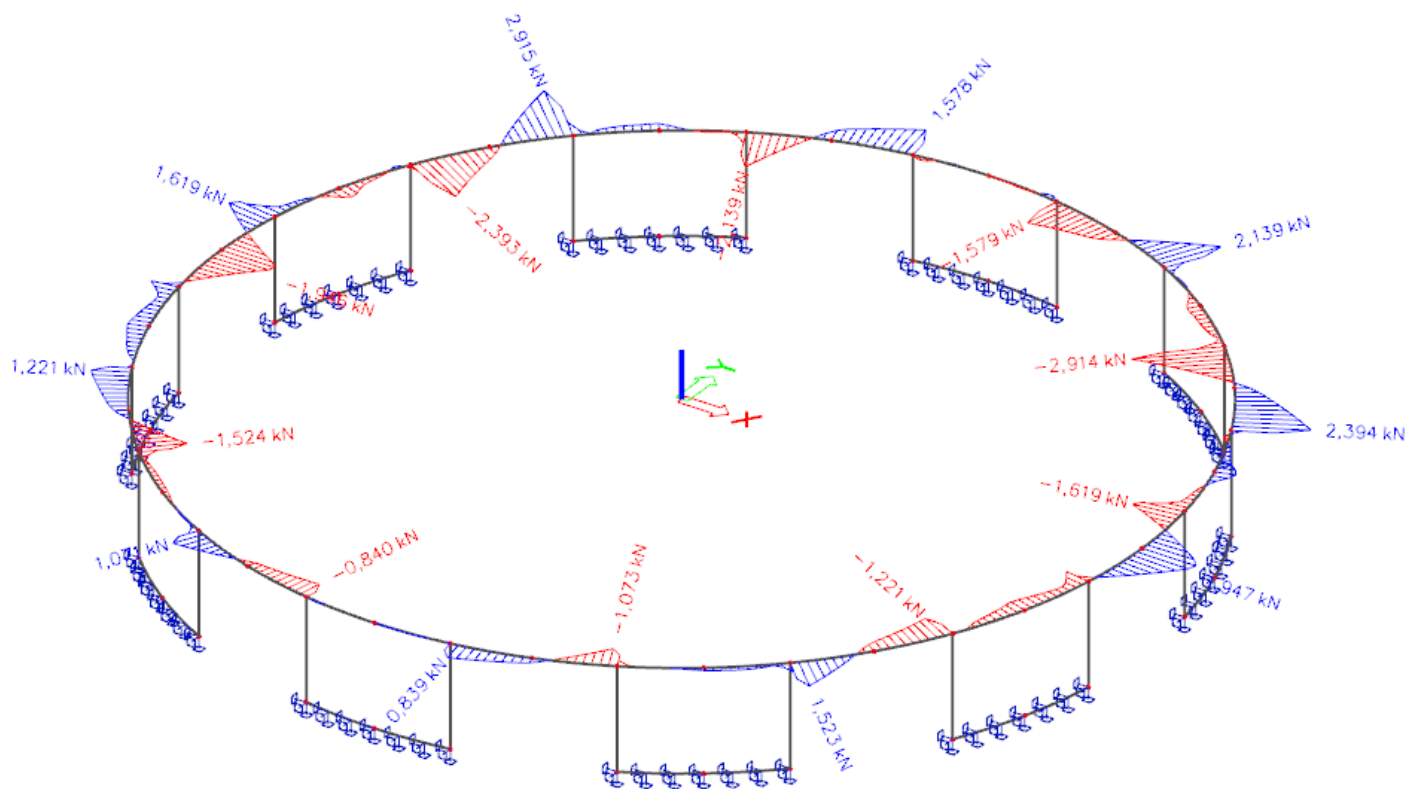
ZS12 – Sníh VI – Mz [kNm]



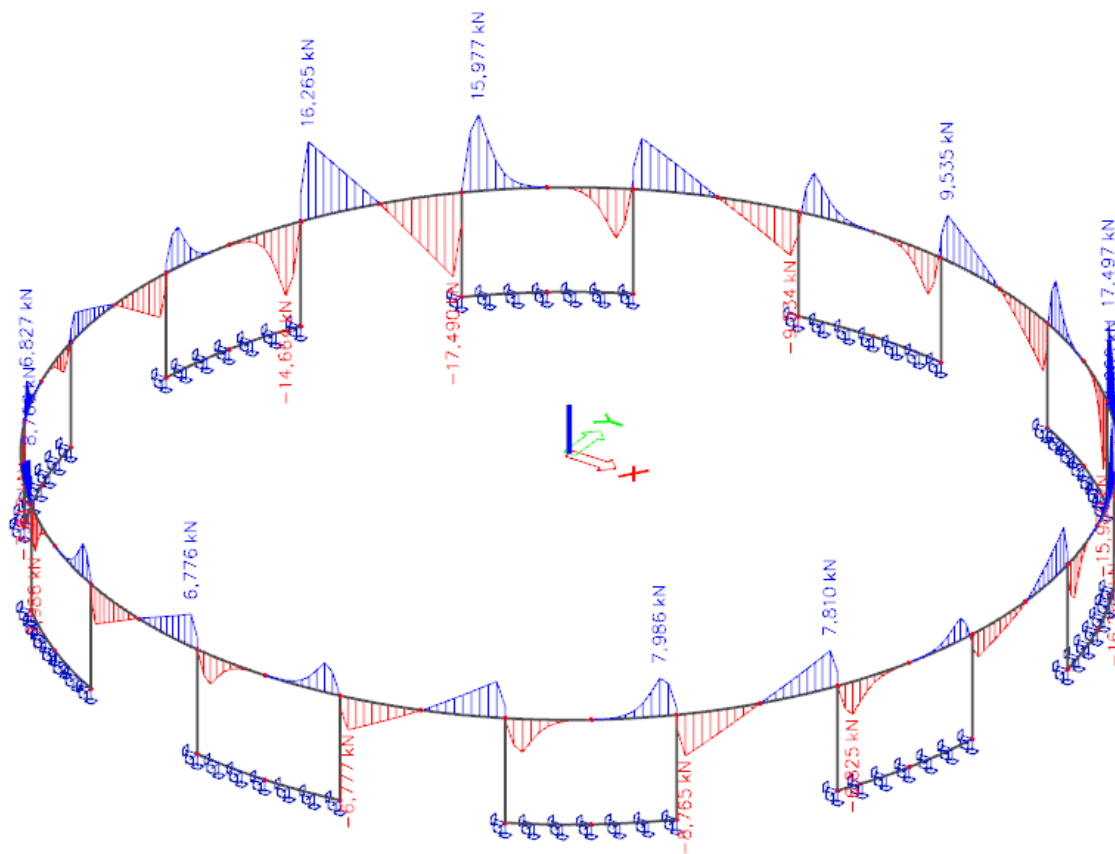
ZS13 – Sníh VII – N [kN]



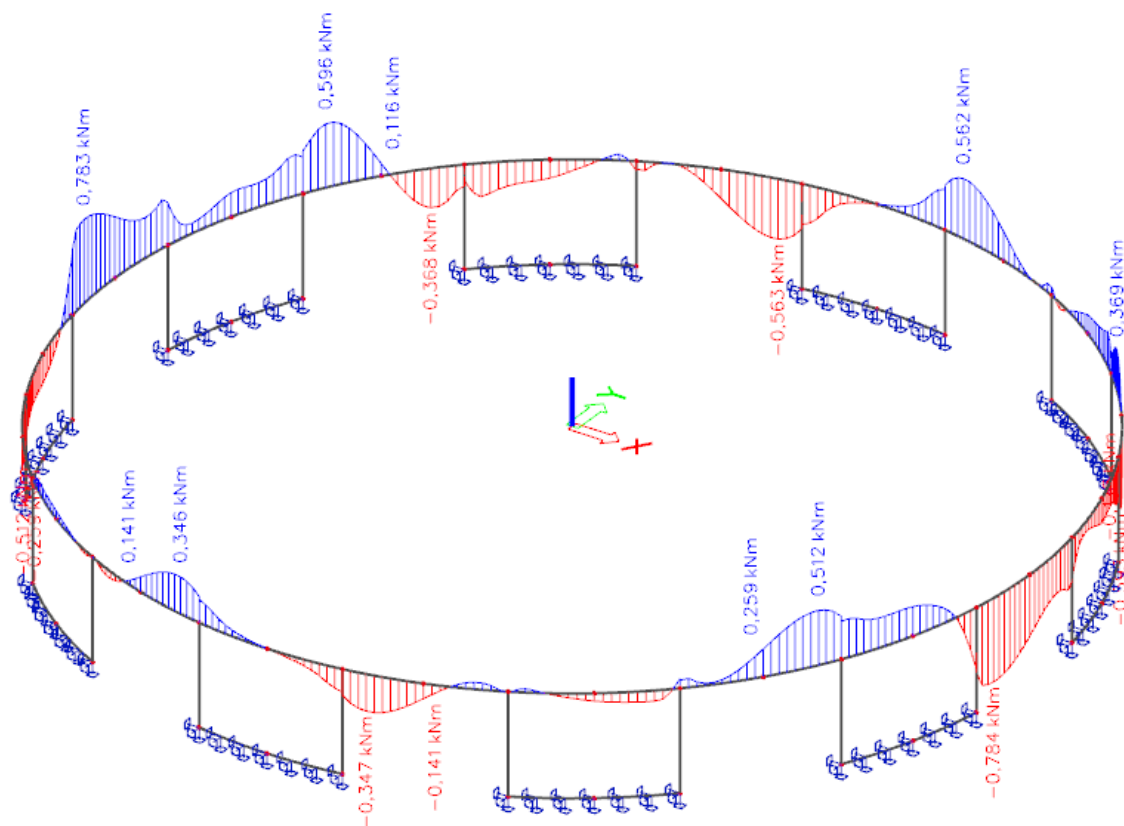
ZS13 – Sníh VII – V_y [kN]



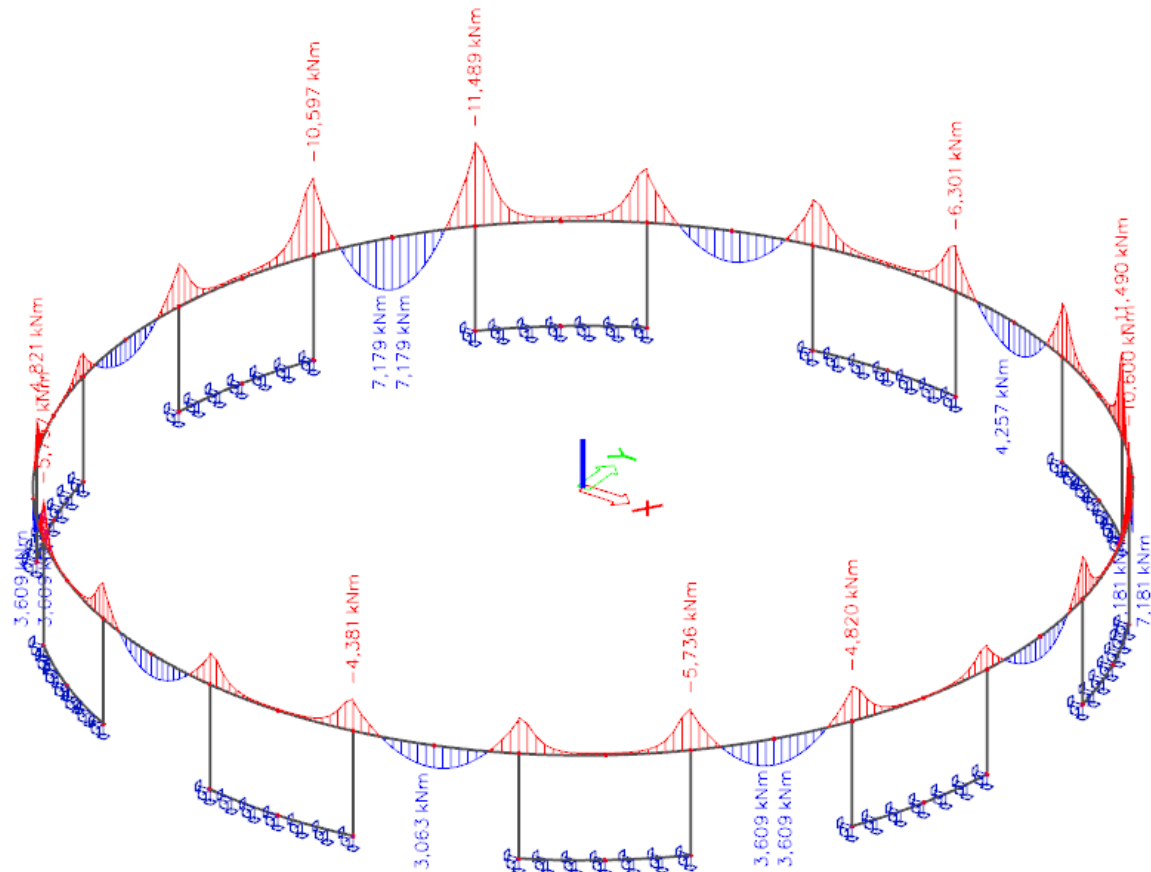
ZS13 – Sníh VII – V_z [kN]



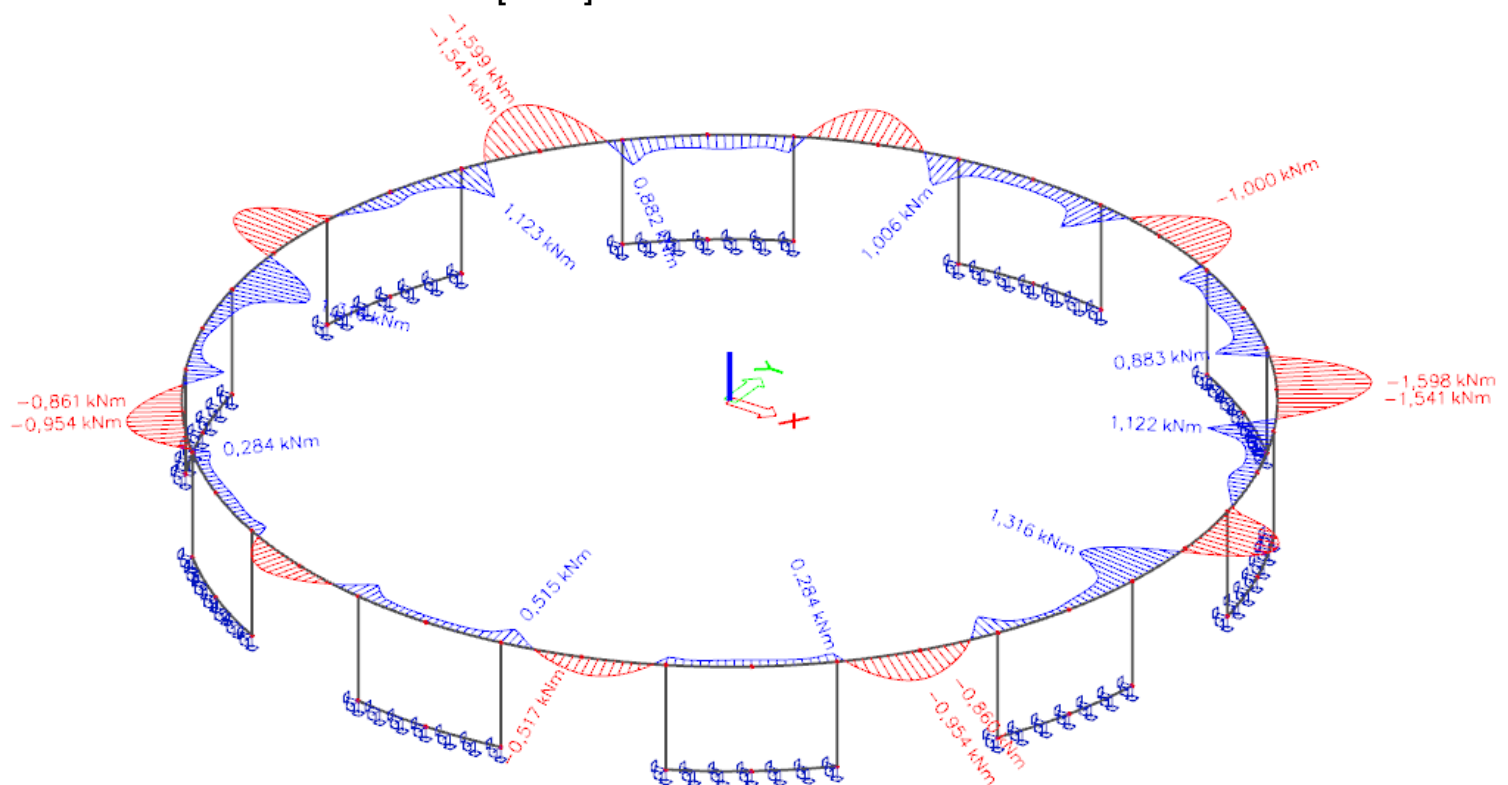
ZS13 – Sníh VII – M_x [kNm]



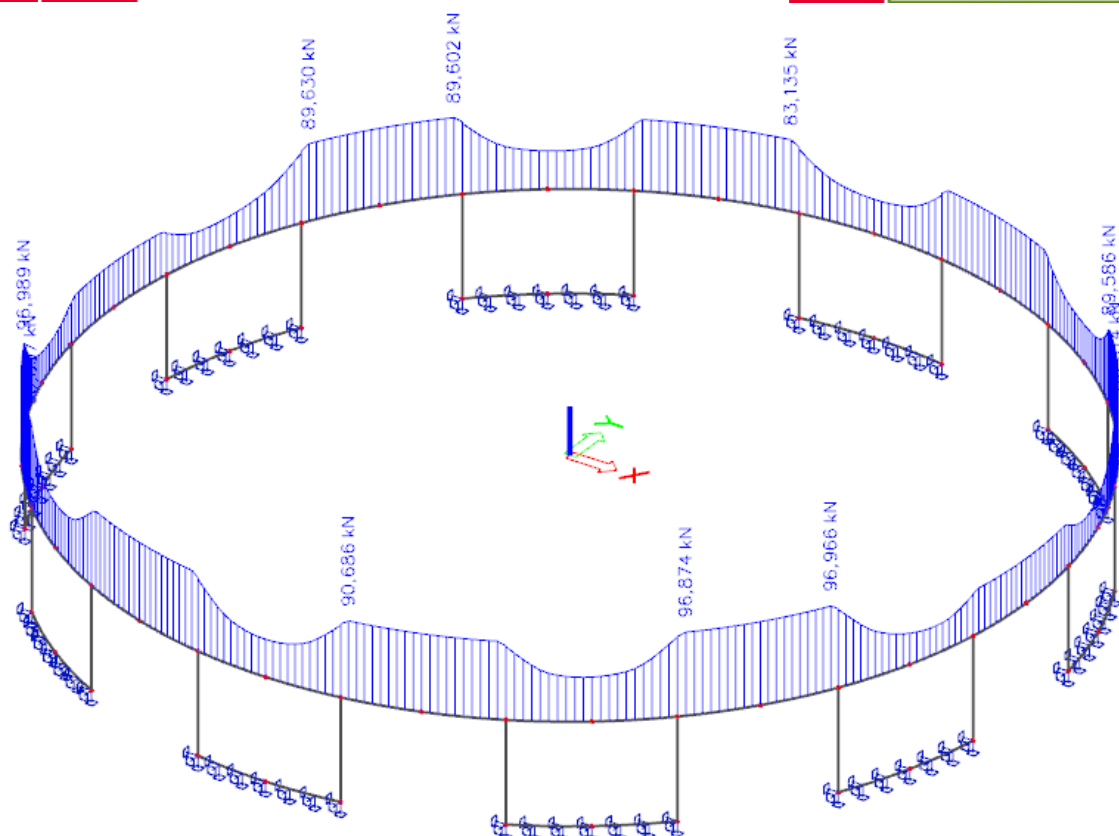
ZS13 – Sníh VII – M_y [kNm]



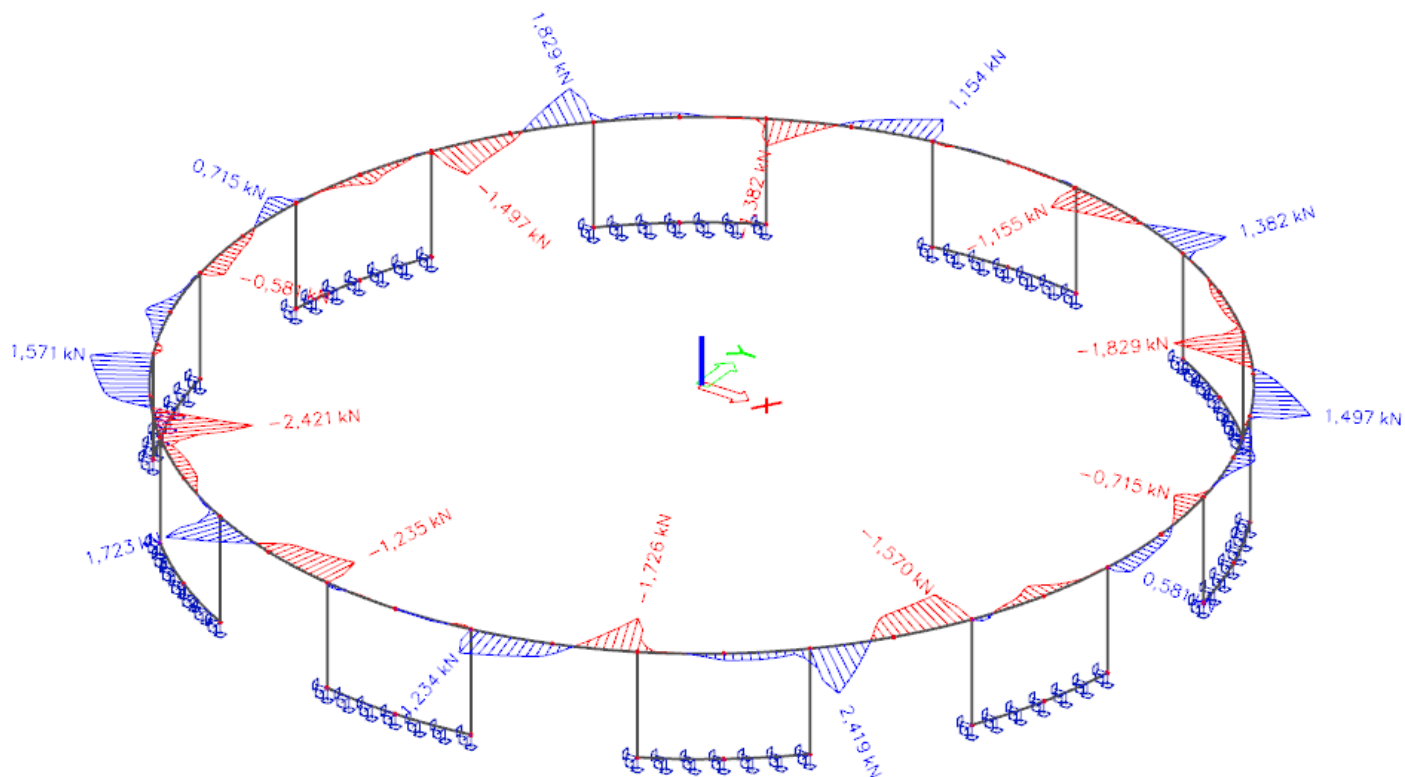
ZS13 – Sníh VII – Mz [kNm]



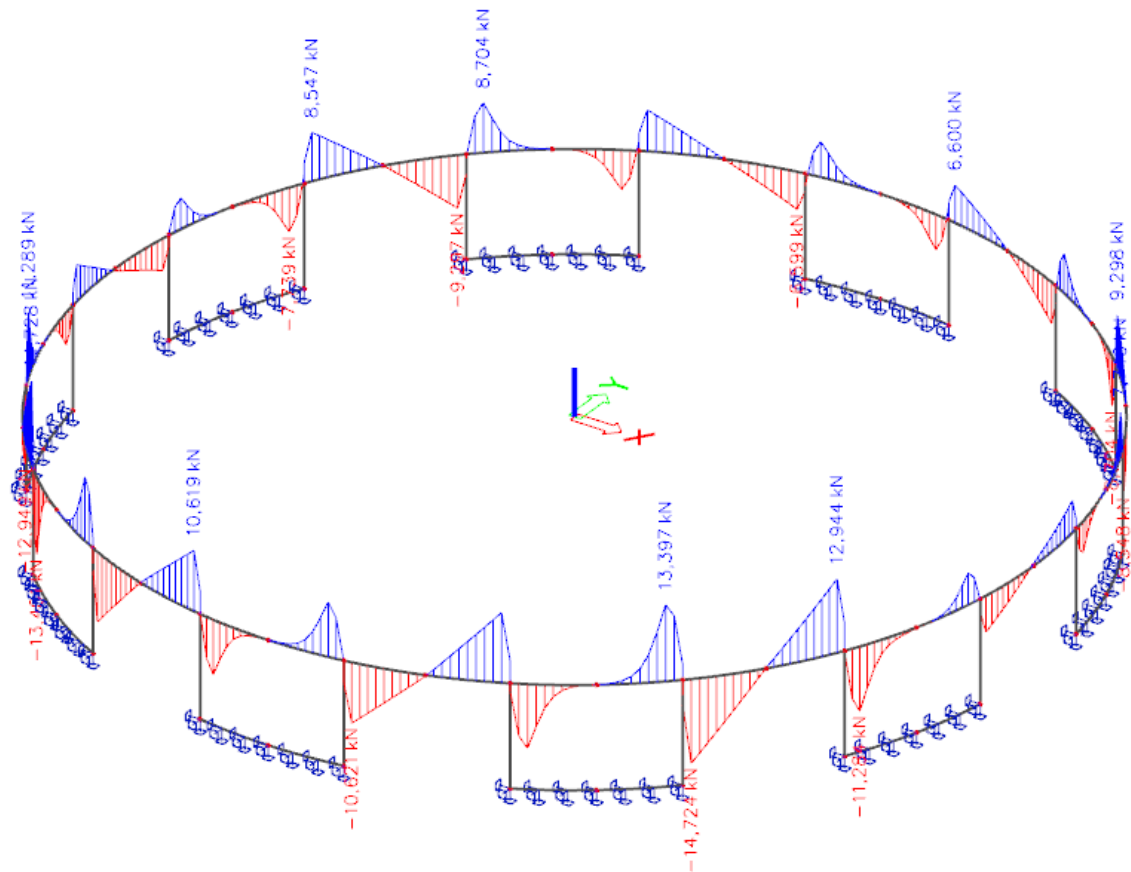
ZS14 – Sníh VIII – N [kN]



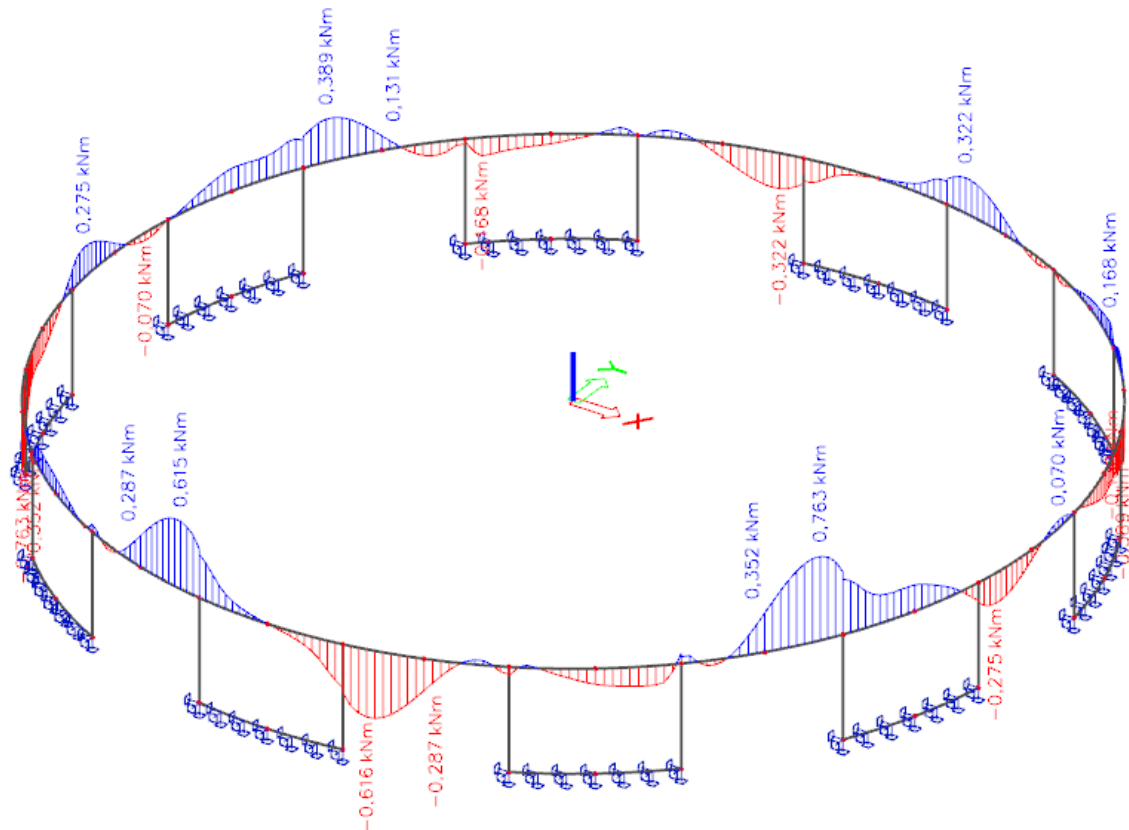
ZS14 – Sníh VIII – V_y [kN]



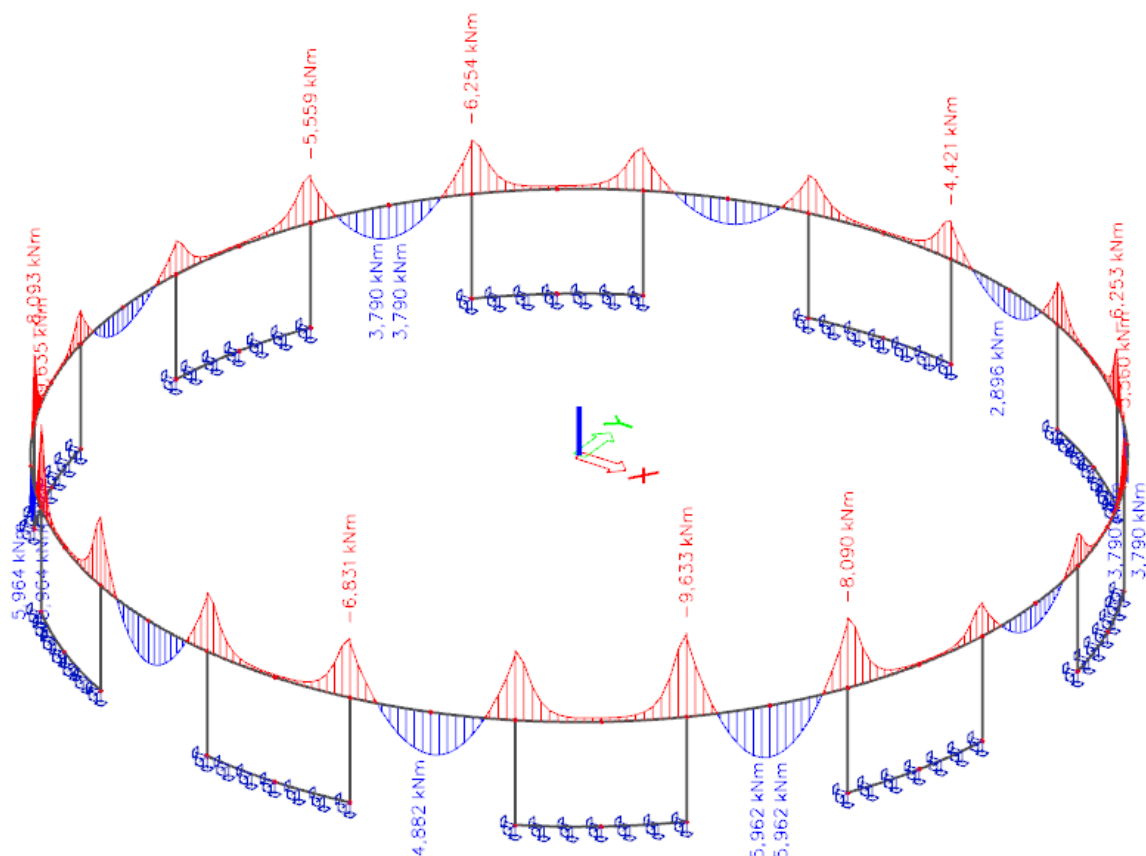
ZS14 – Sníh VIII – V_z [kN]



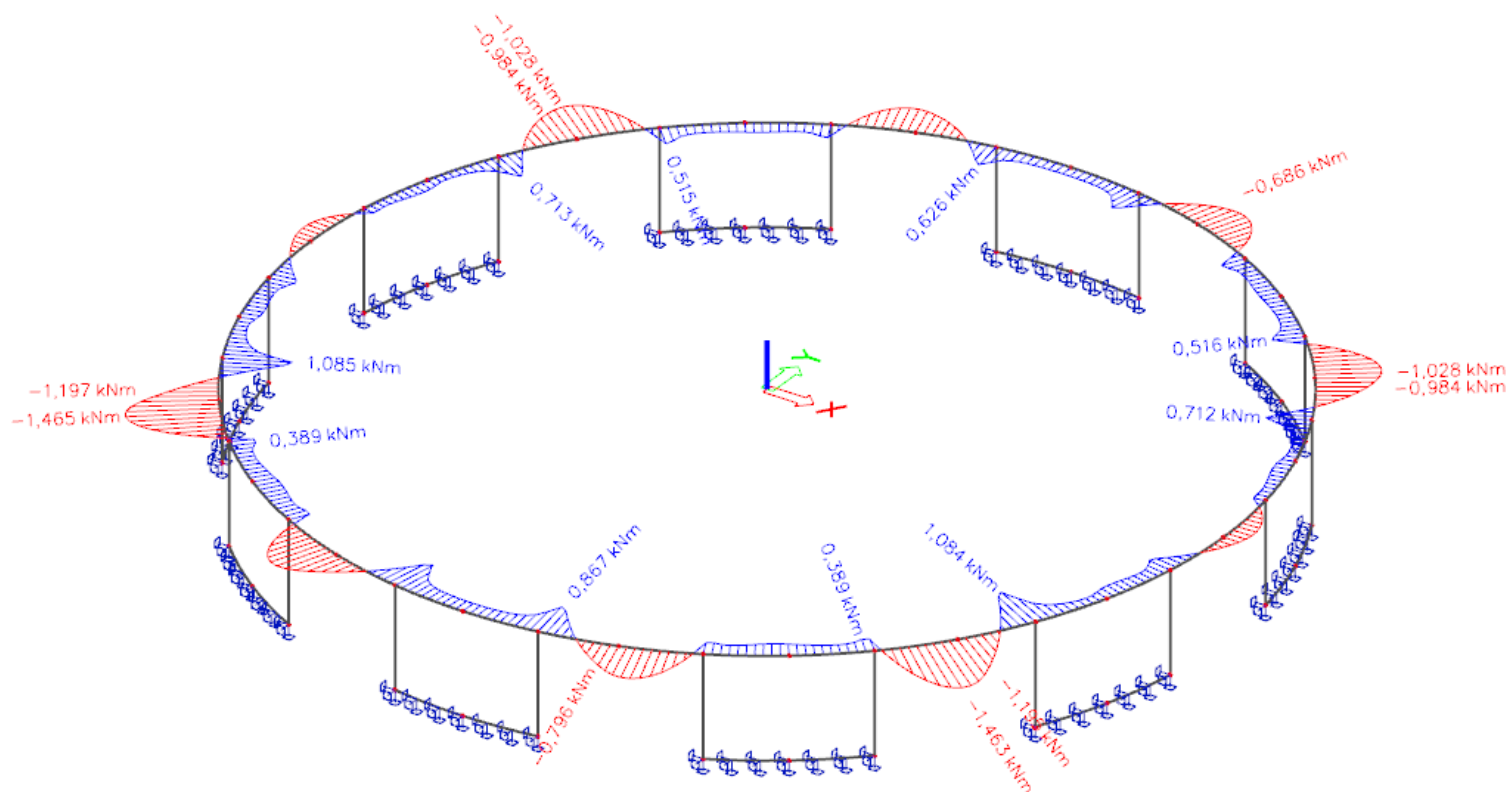
ZS14 – Sníh VIII – M_x [kNm]



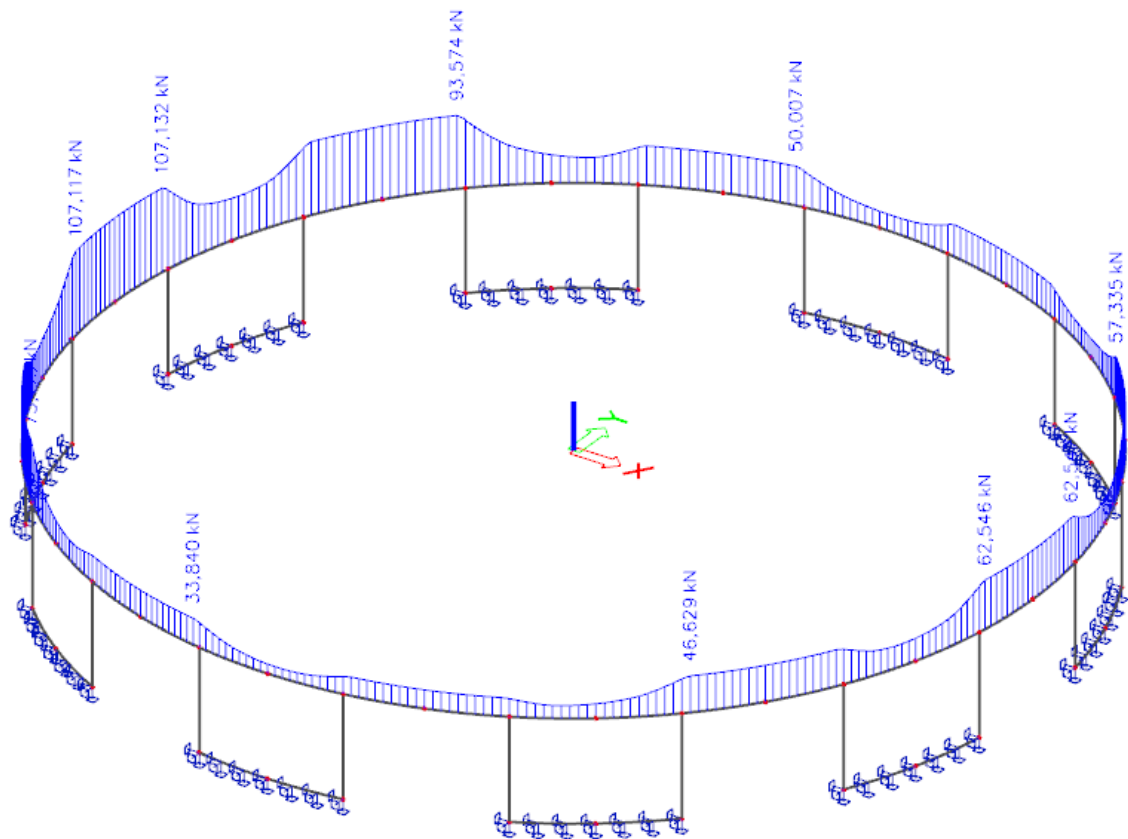
ZS14 – Sníh VIII – M_y [kNm]



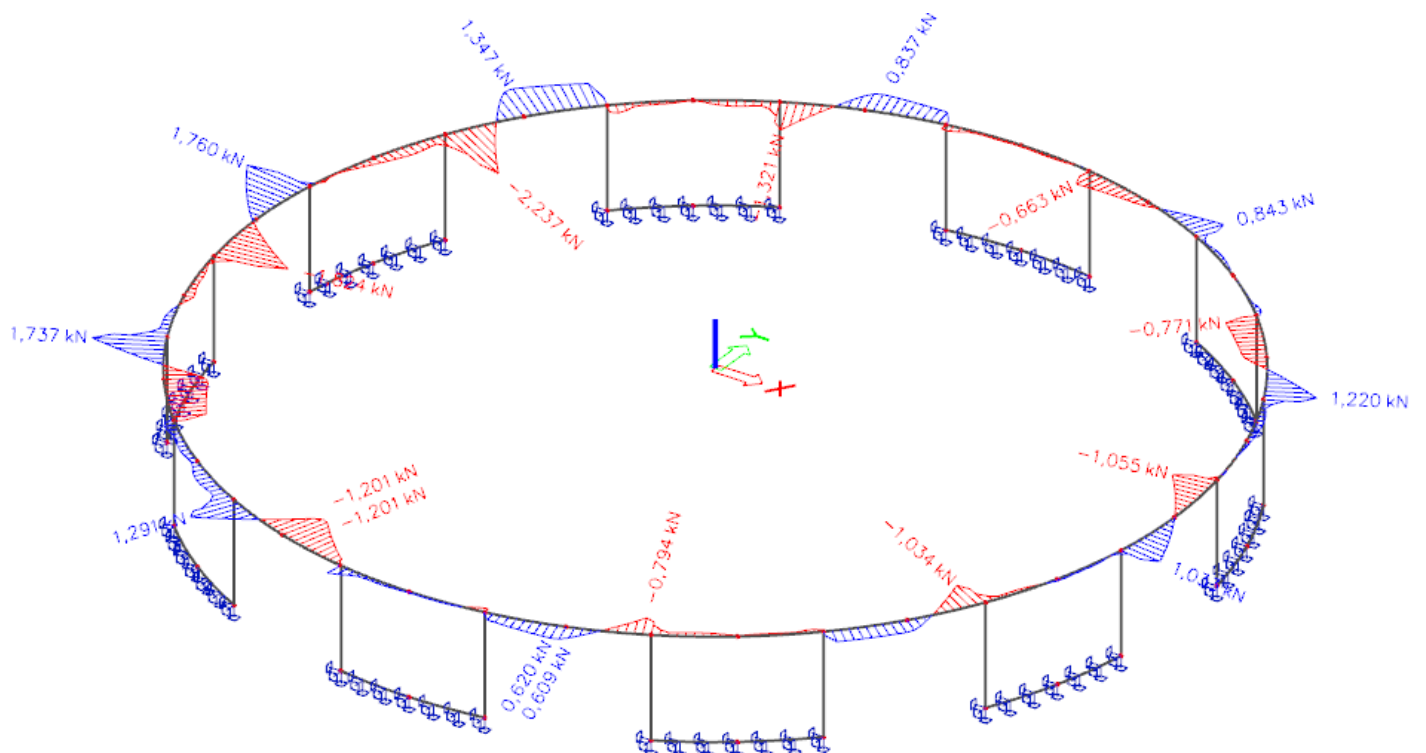
ZS14 – Sníh VIII – Mz [kNm]



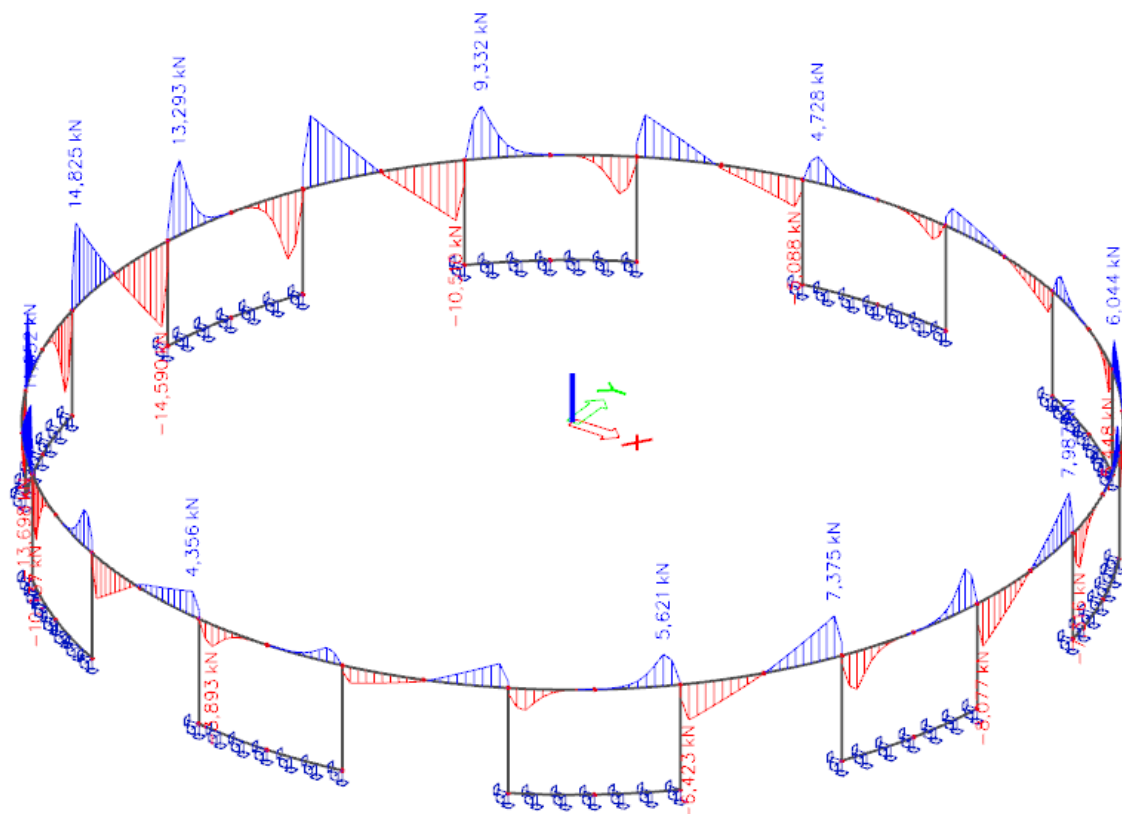
ZS15 – Sníh IX – N [kN]



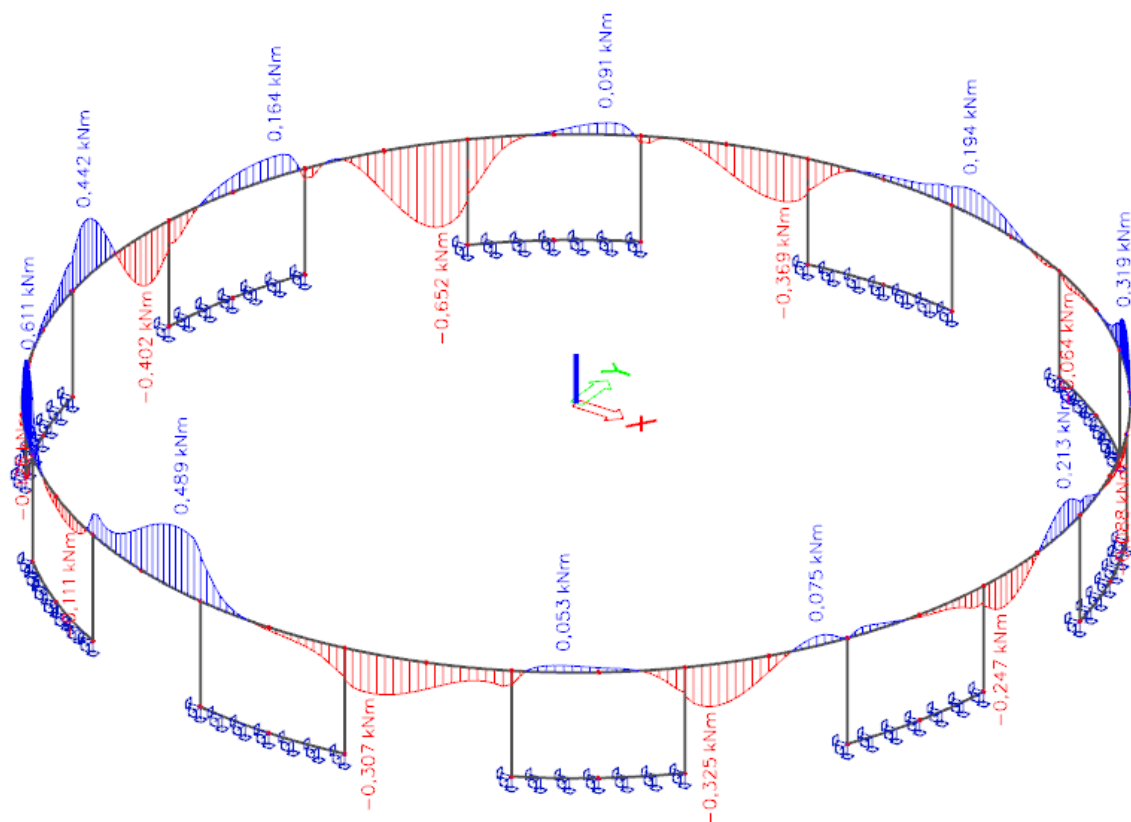
ZS15 – Sníh IX – Vy [kN]



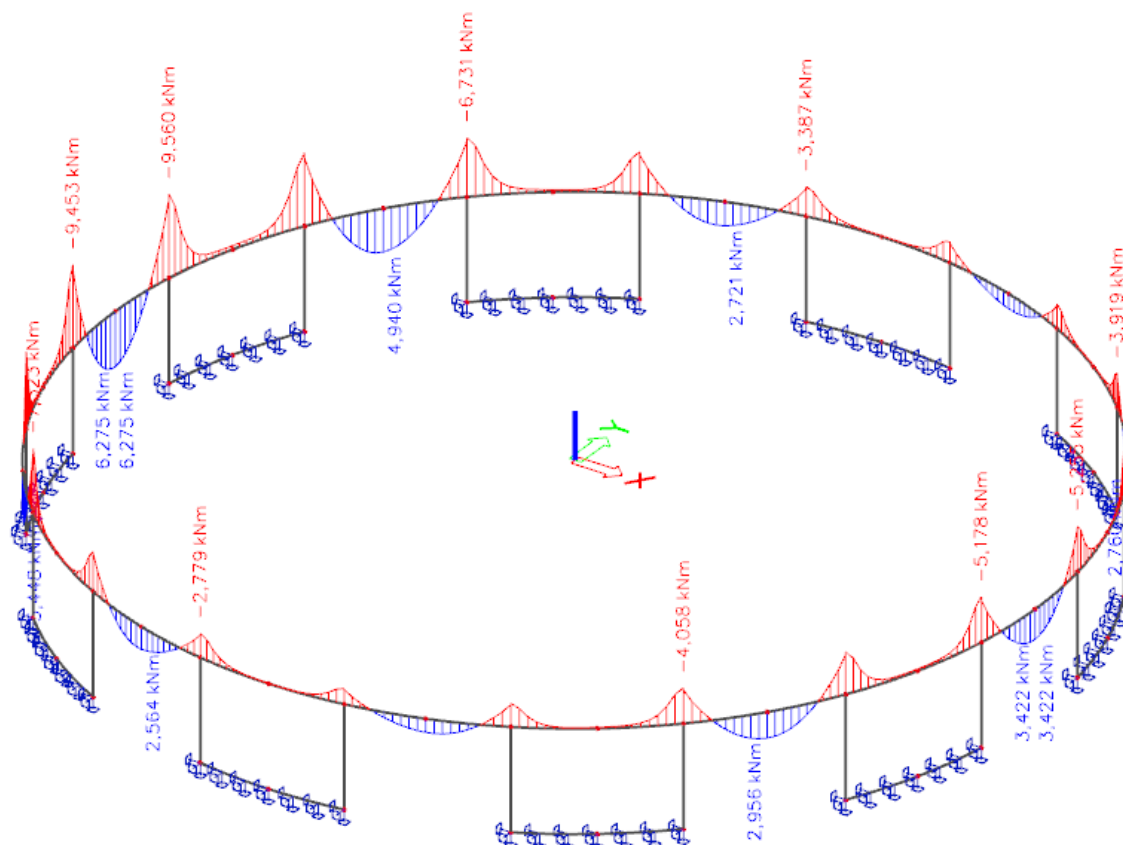
ZS15 – Sníh IX – Vz [kN]



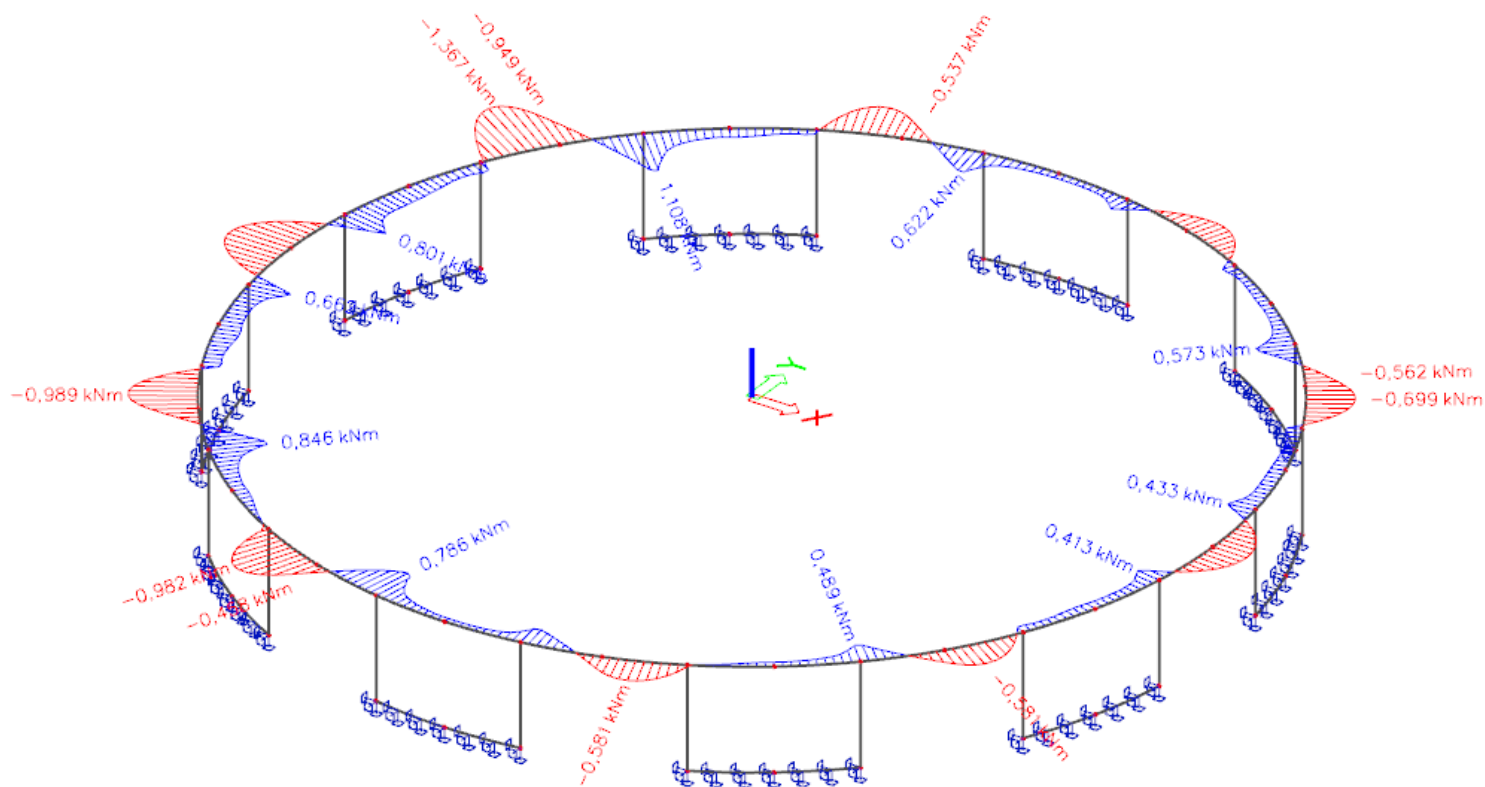
ZS15 – Sníh IX – M_x [kNm]



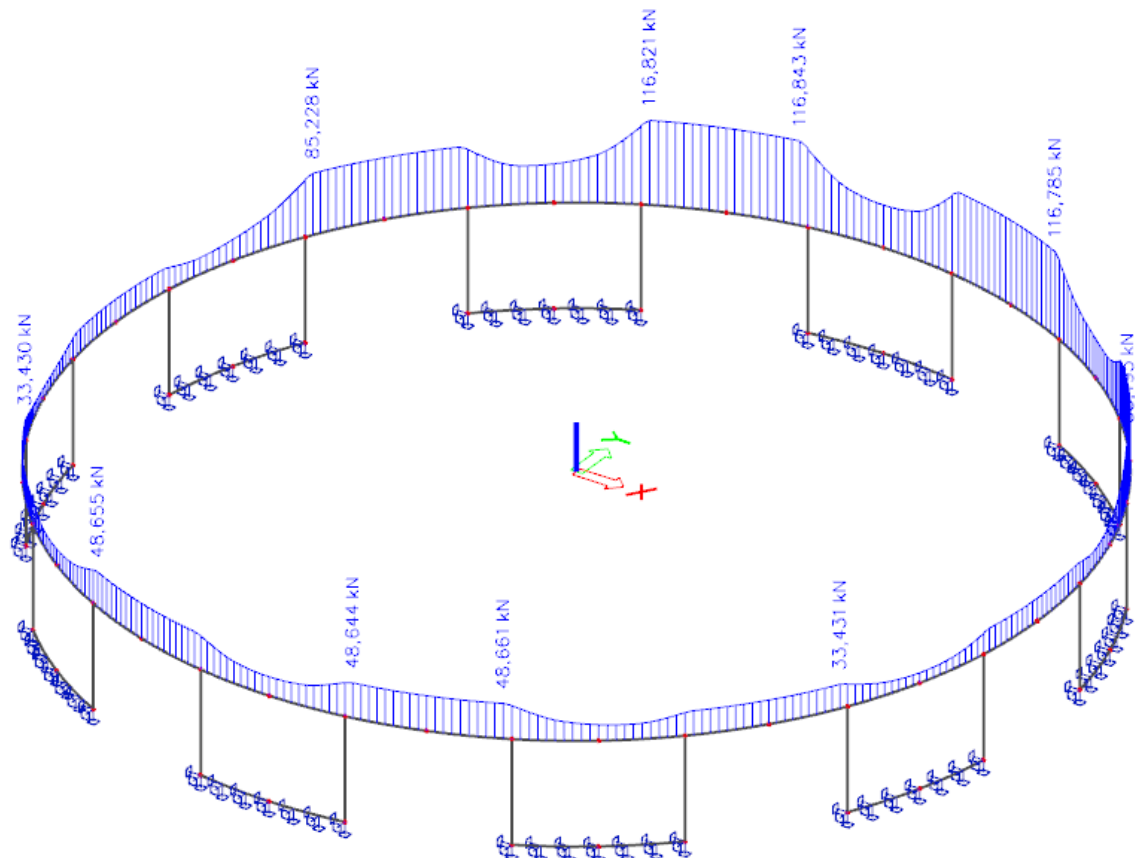
ZS15 – Sníh IX – M_y [kNm]



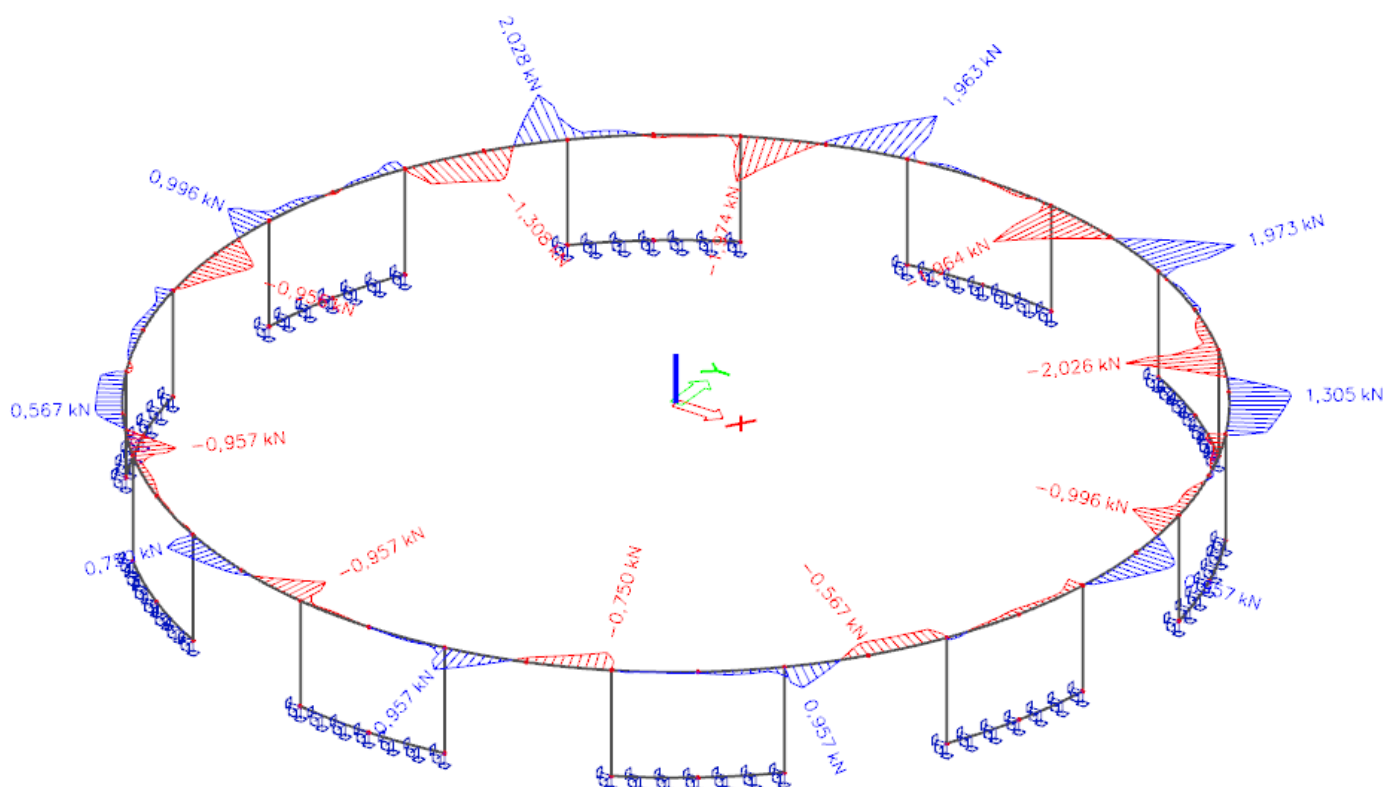
ZS15 – Sníh IX – M_z [kNm]



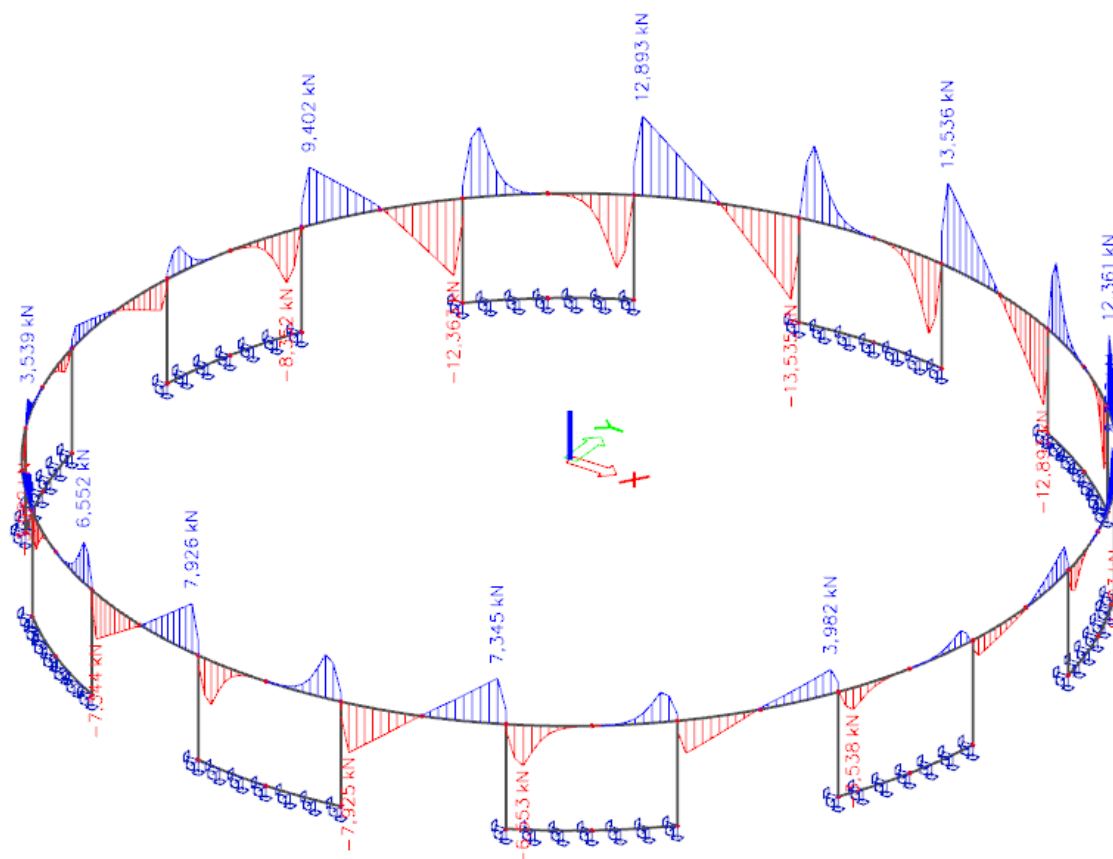
ZS16 – Sníh X – N [kN]



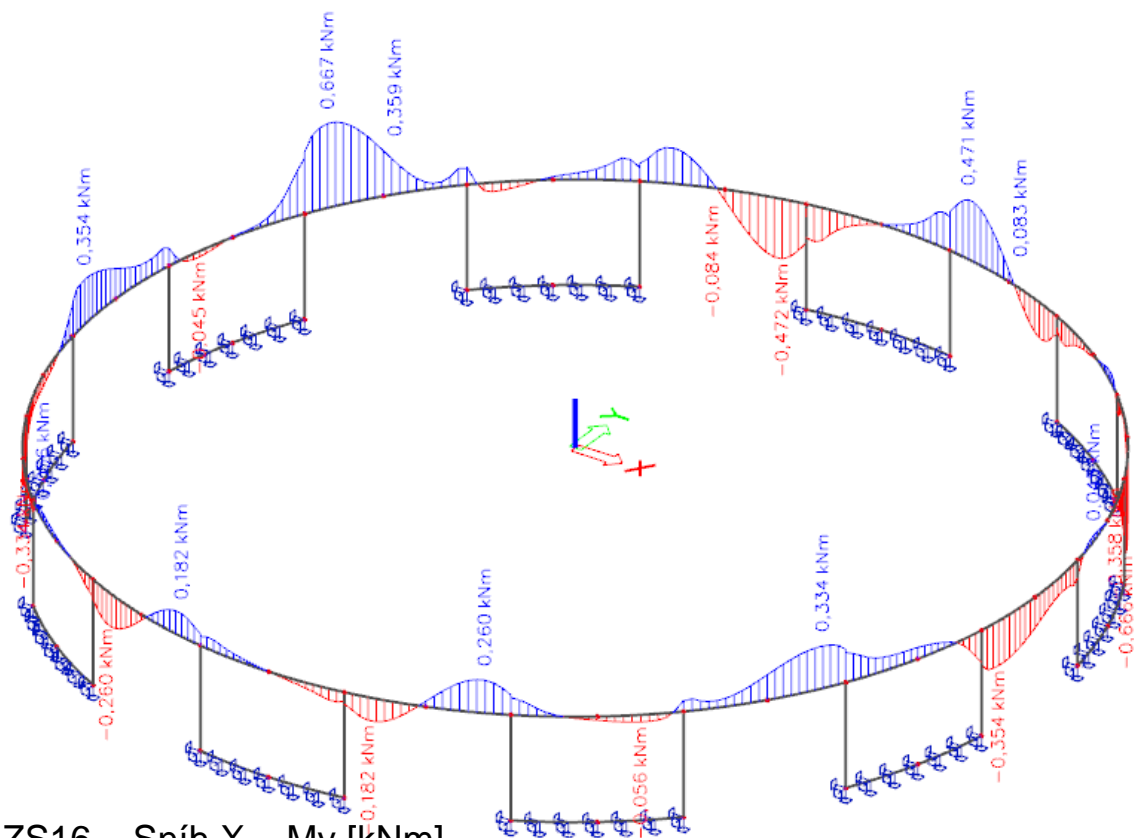
ZS16 – Sníh X – Vy [kN]



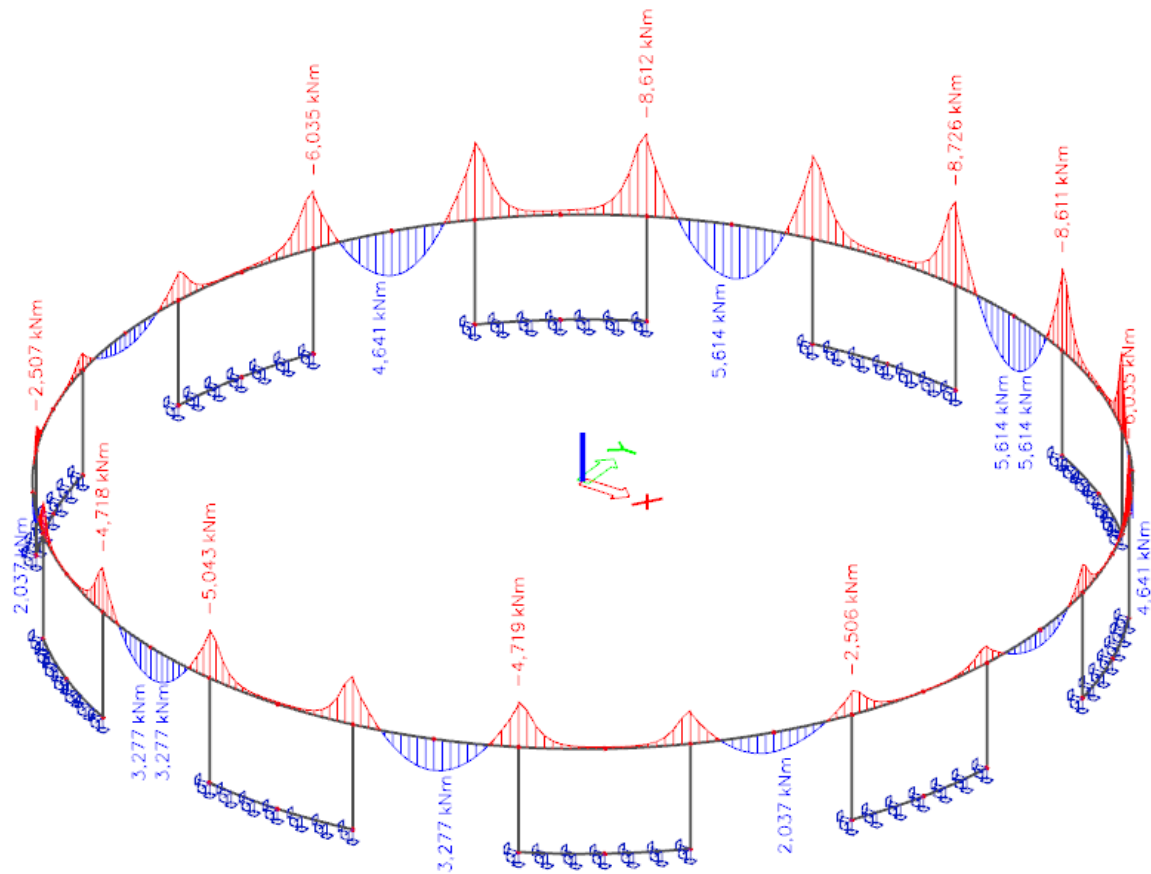
ZS16 – Sníh X – Vz [kN]



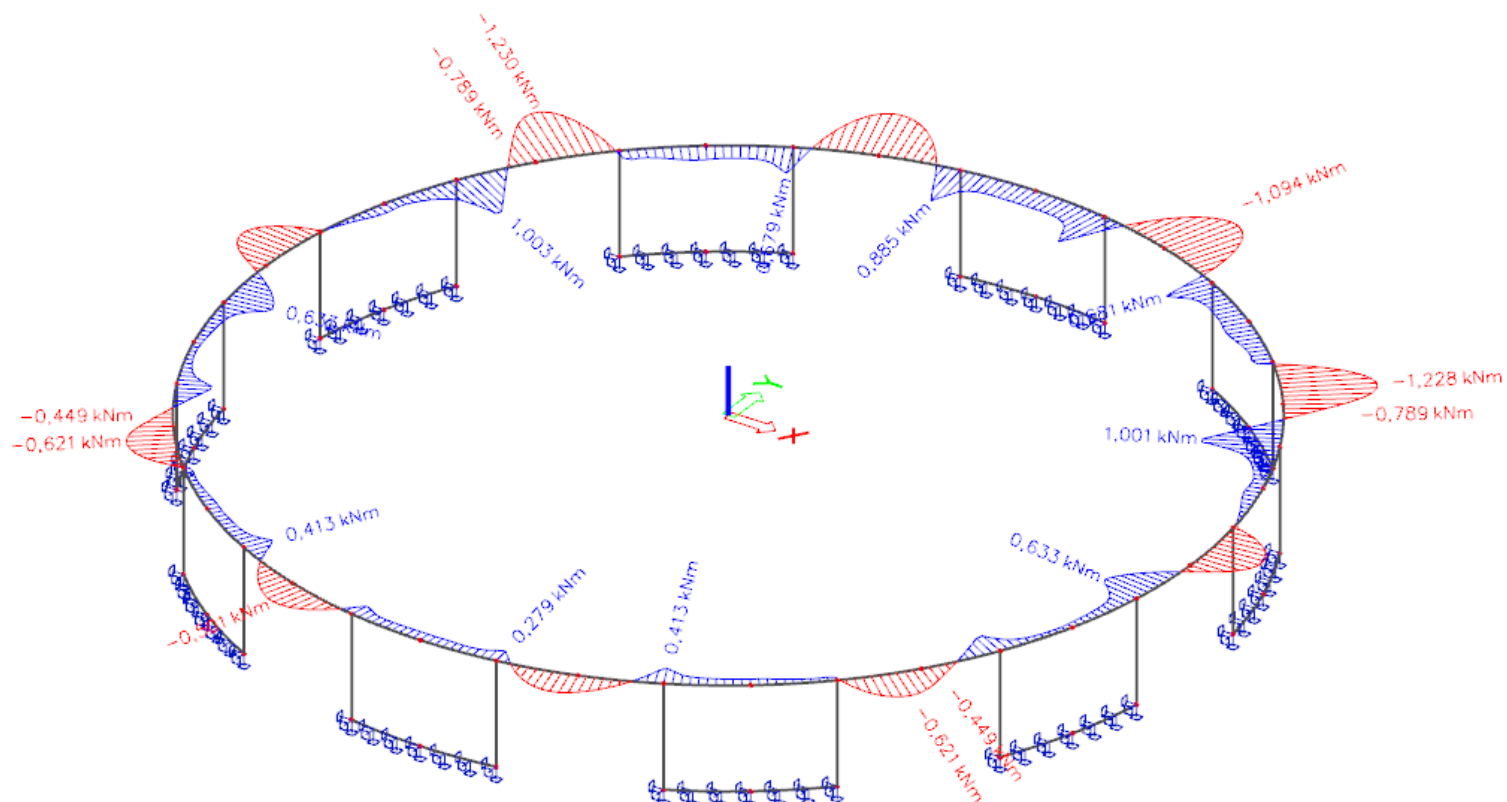
ZS16 – Sníh X – M_x [kNm]



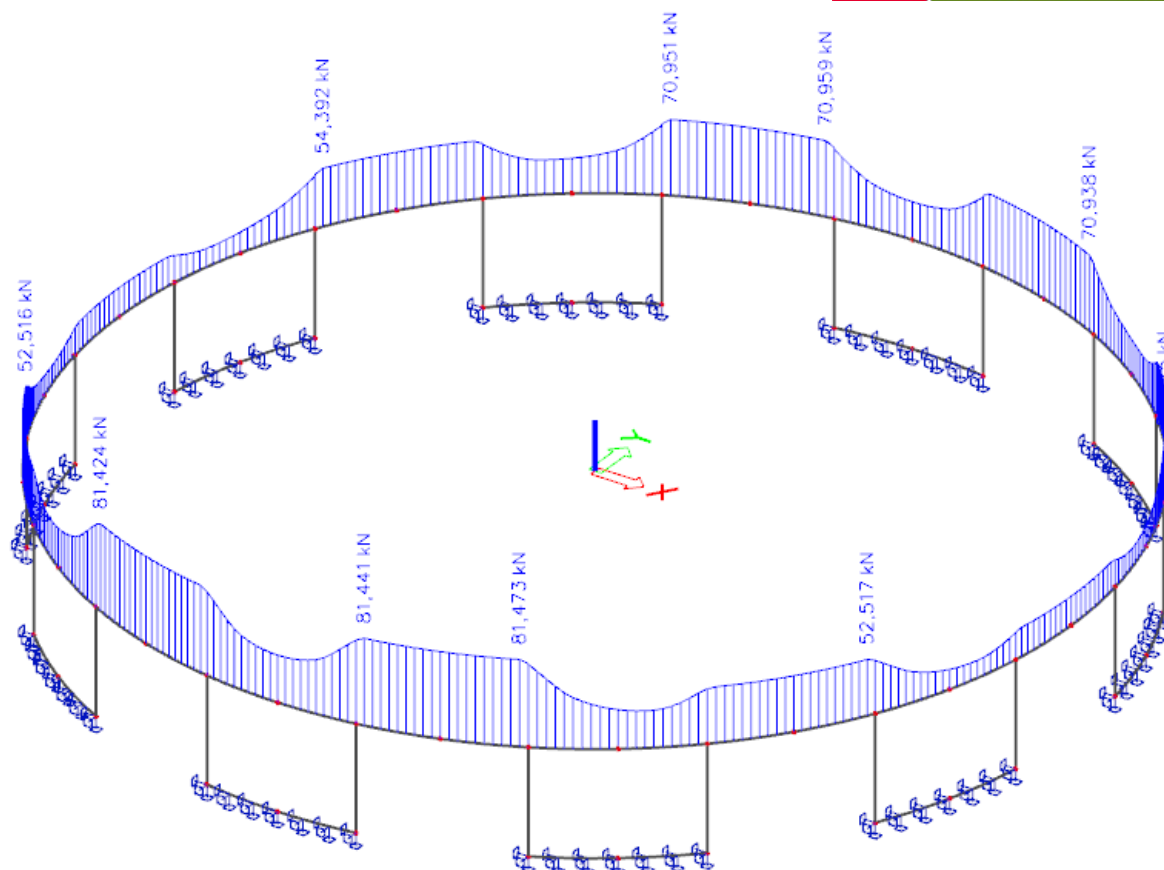
ZS16 – Sníh X – M_y [kNm]



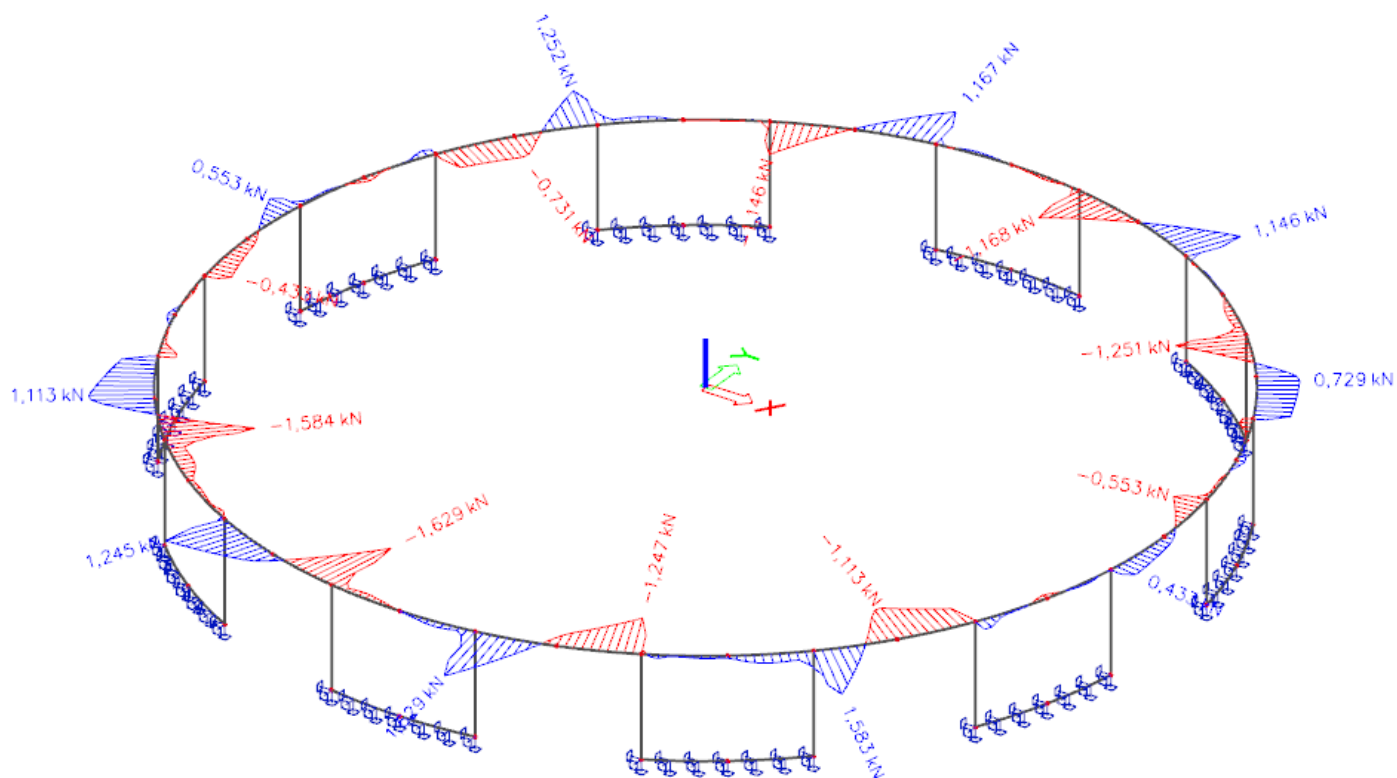
ZS16 – Sníh X – Mz [kNm]



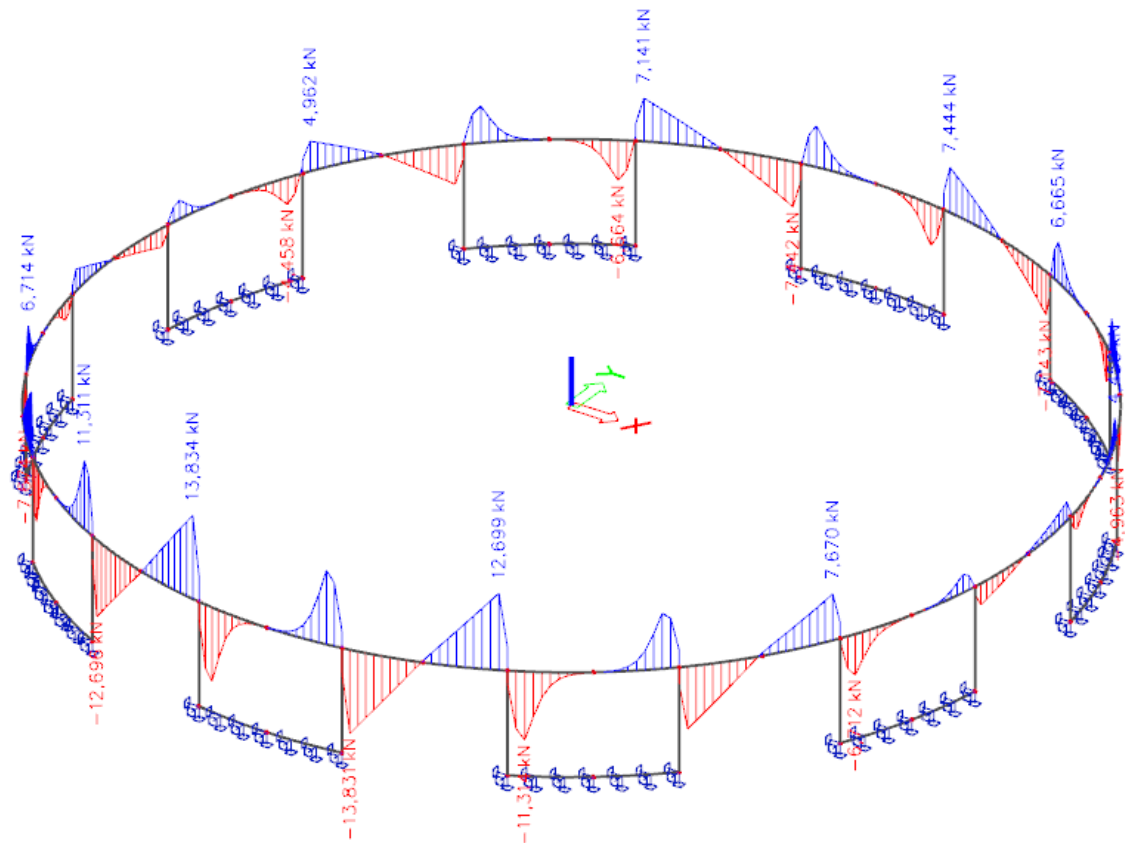
ZS17 – Sníh XI – N [kN]



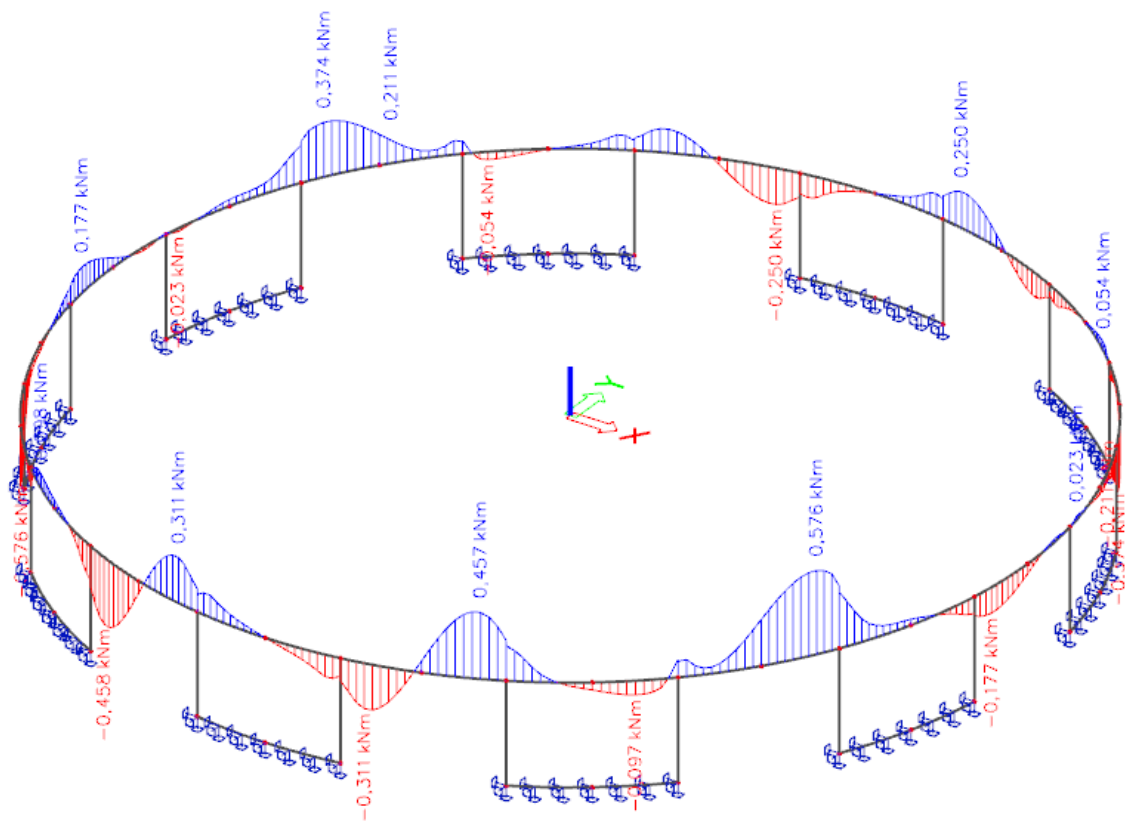
ZS17 – Sníh XI – V_y [kN]



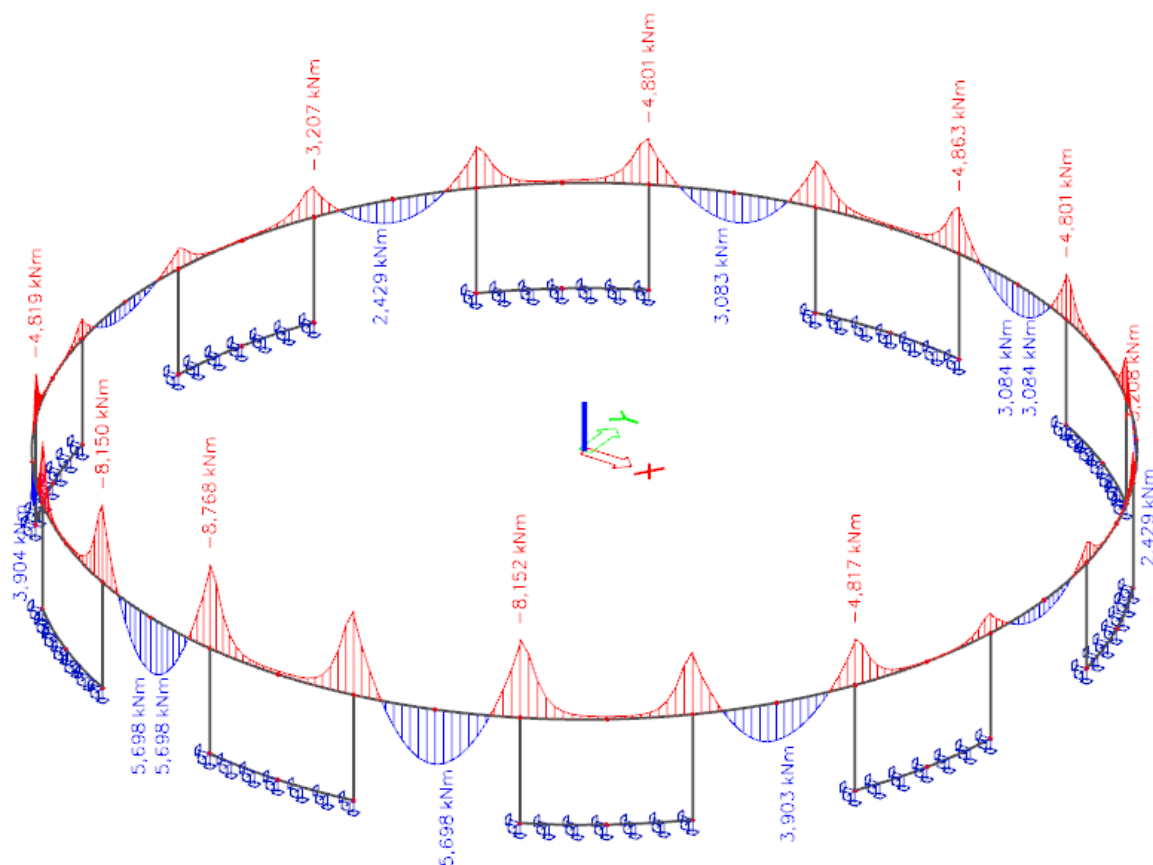
ZS17 – Sníh XI – V_z [kN]



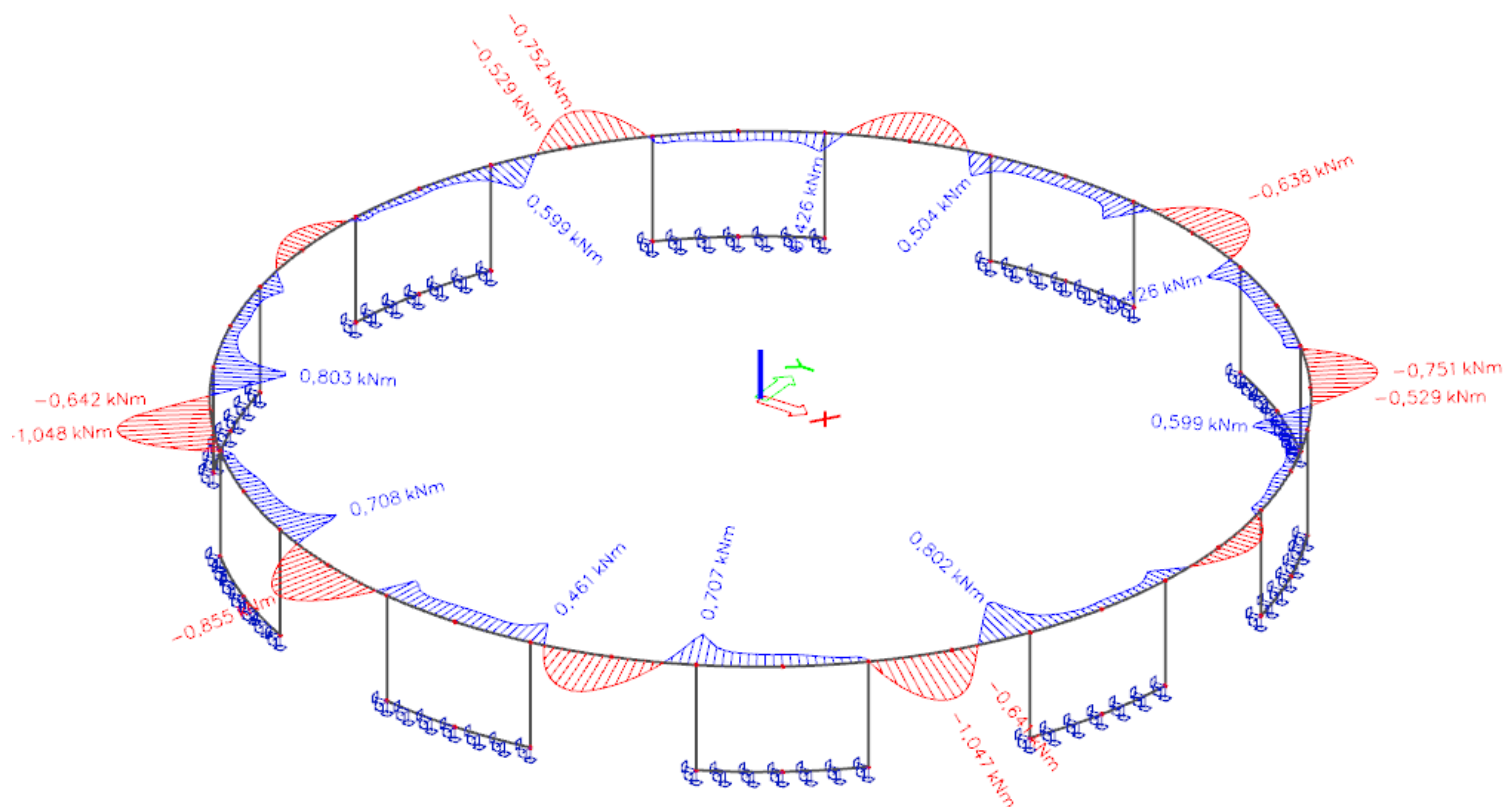
ZS17 – Sníh XI – Mx [kNm]



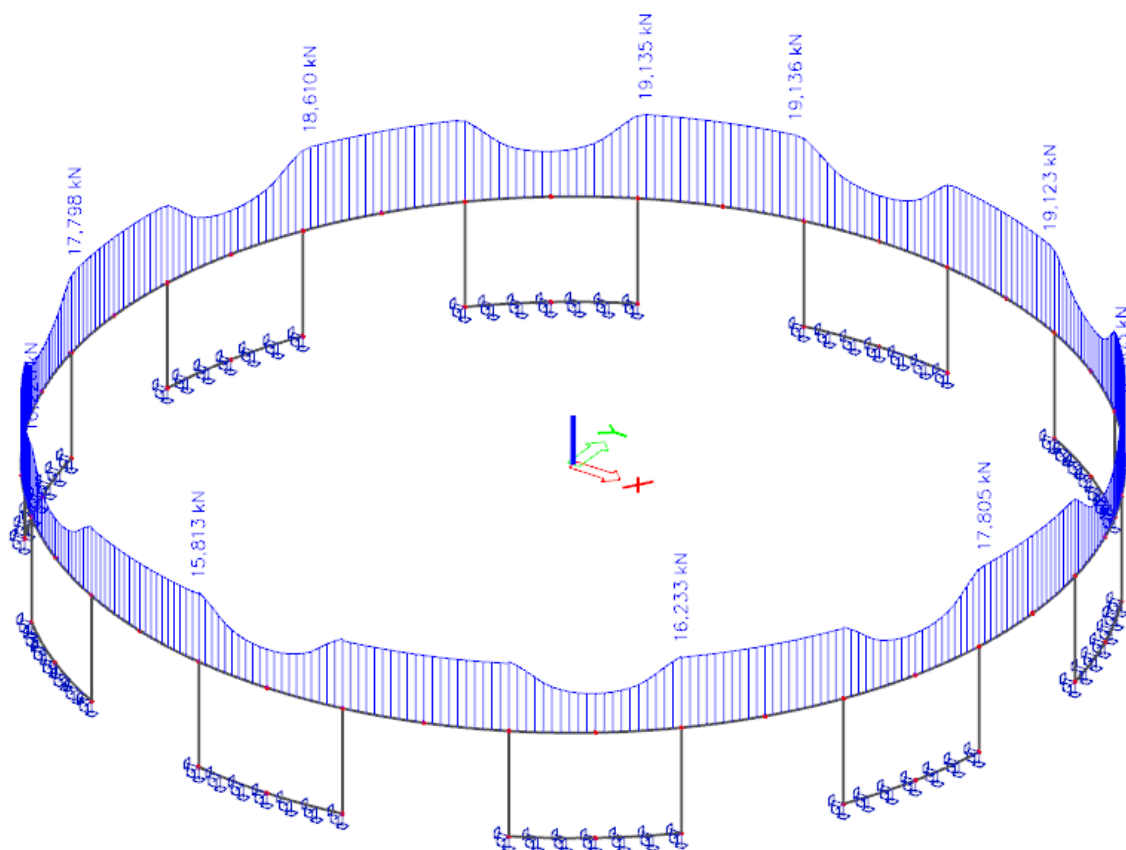
ZS17 – Sníh XI – My [kNm]



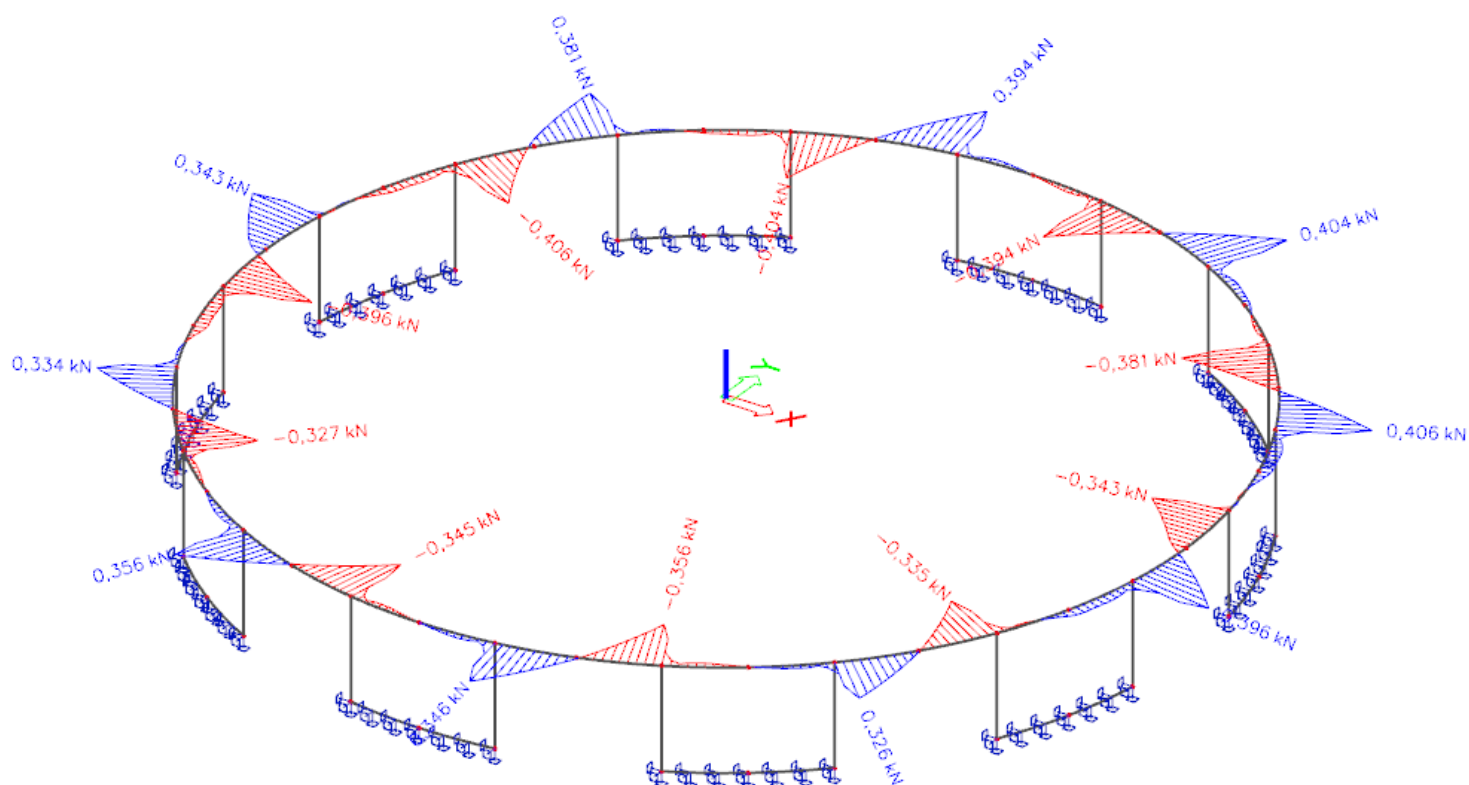
ZS17 – Sníh XI – Mz [kNm]



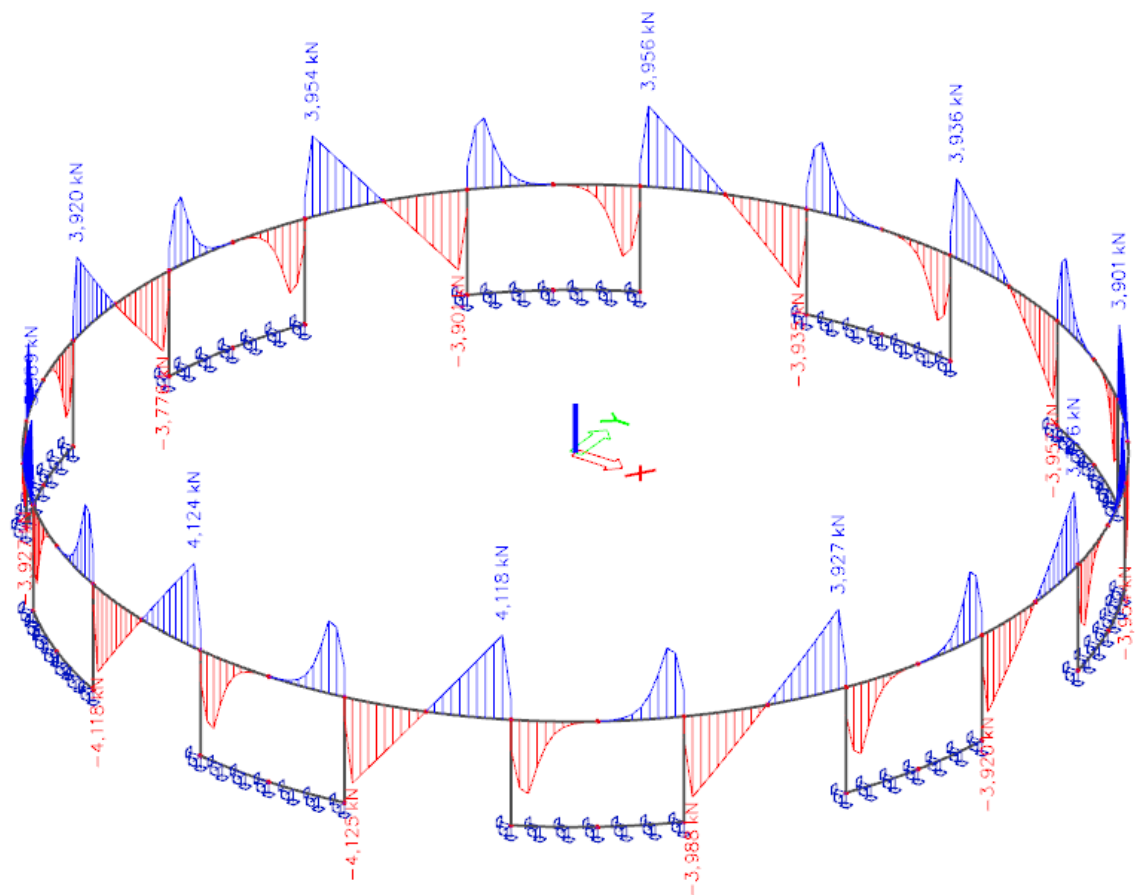
ZS18 – Návěj I – N [kN]



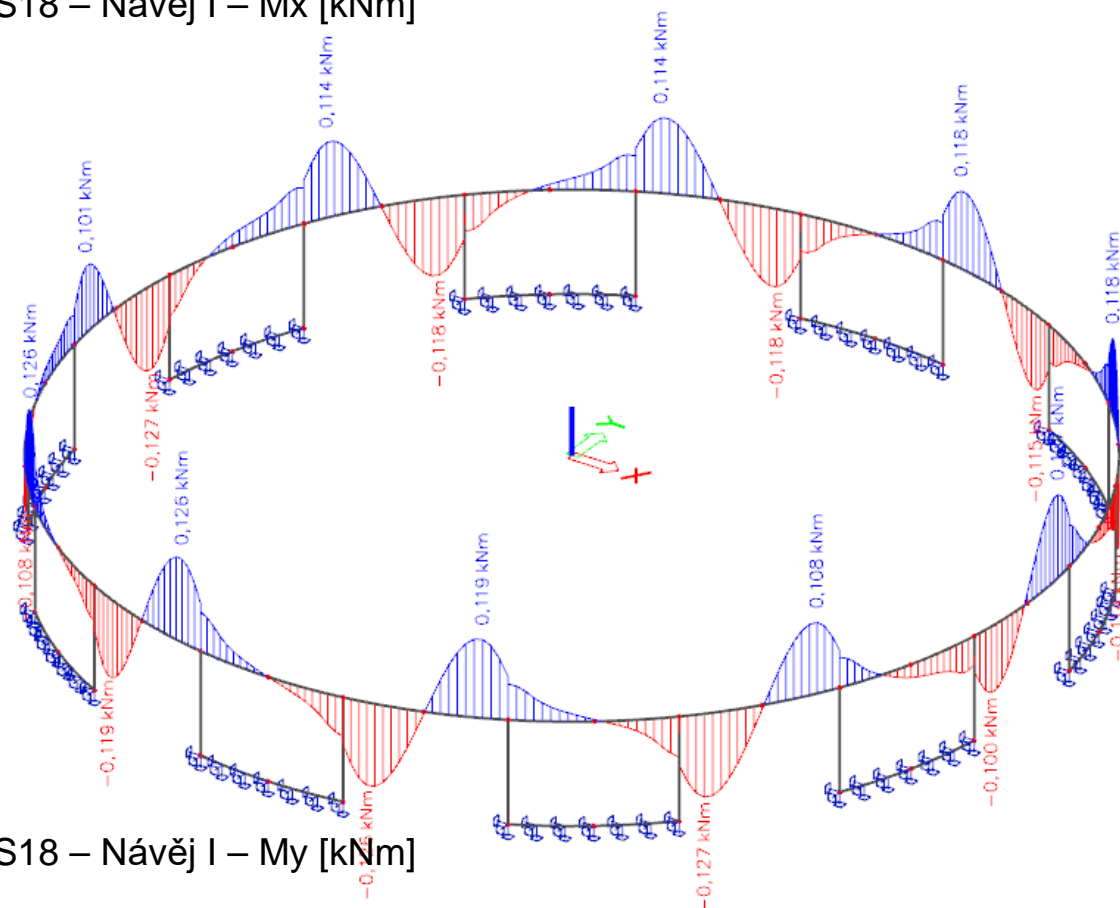
ZS18 – Návěj I – V_y [kN]



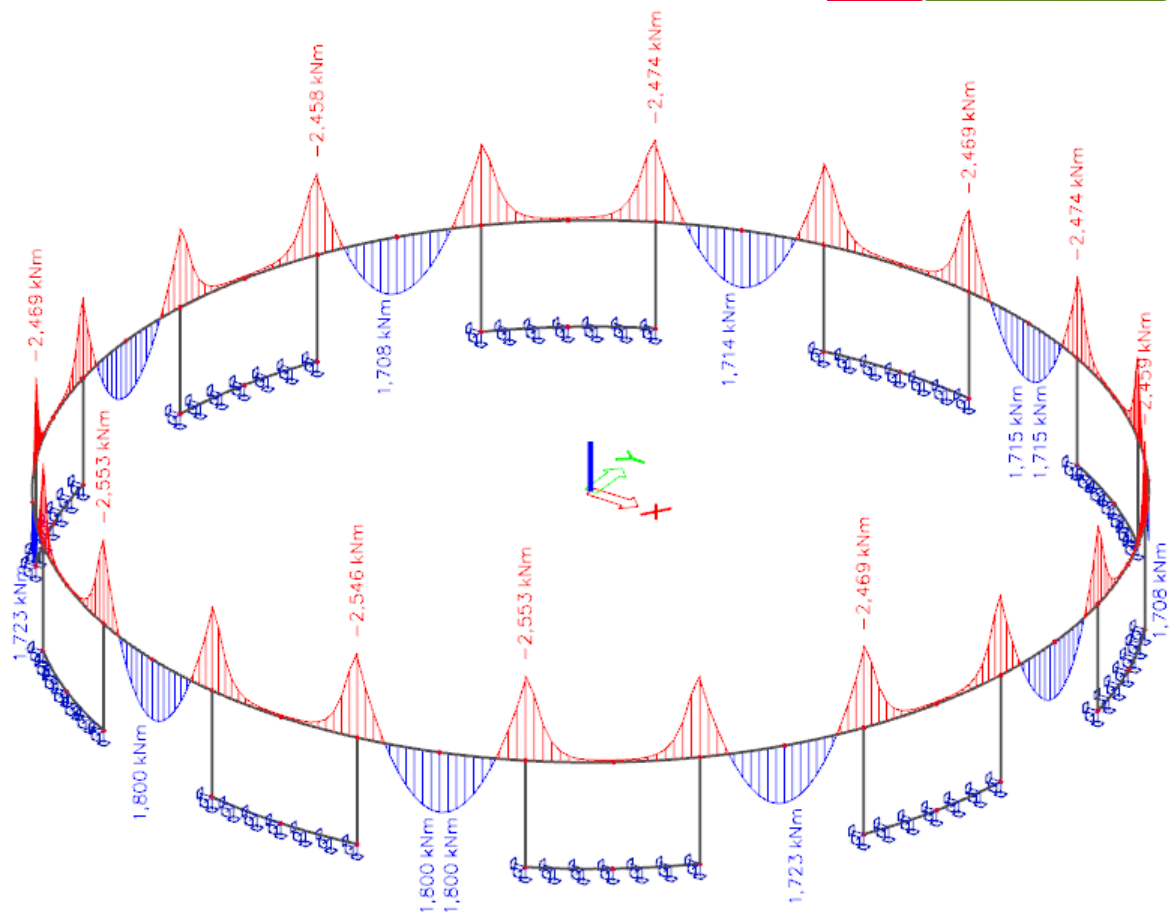
ZS18 – Návěj I – V_z [kN]



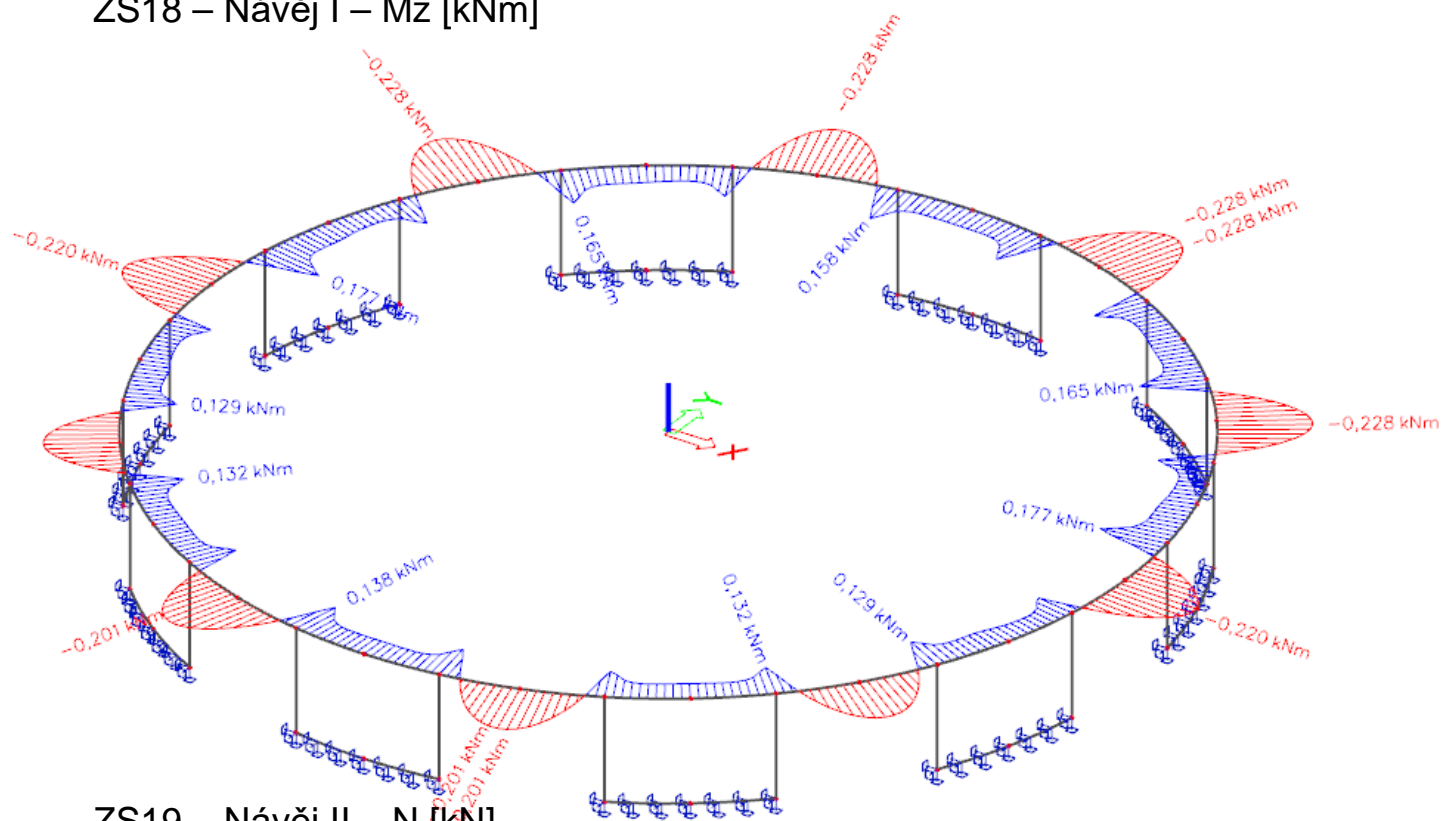
ZS18 – Návěj I – Mx [kNm]



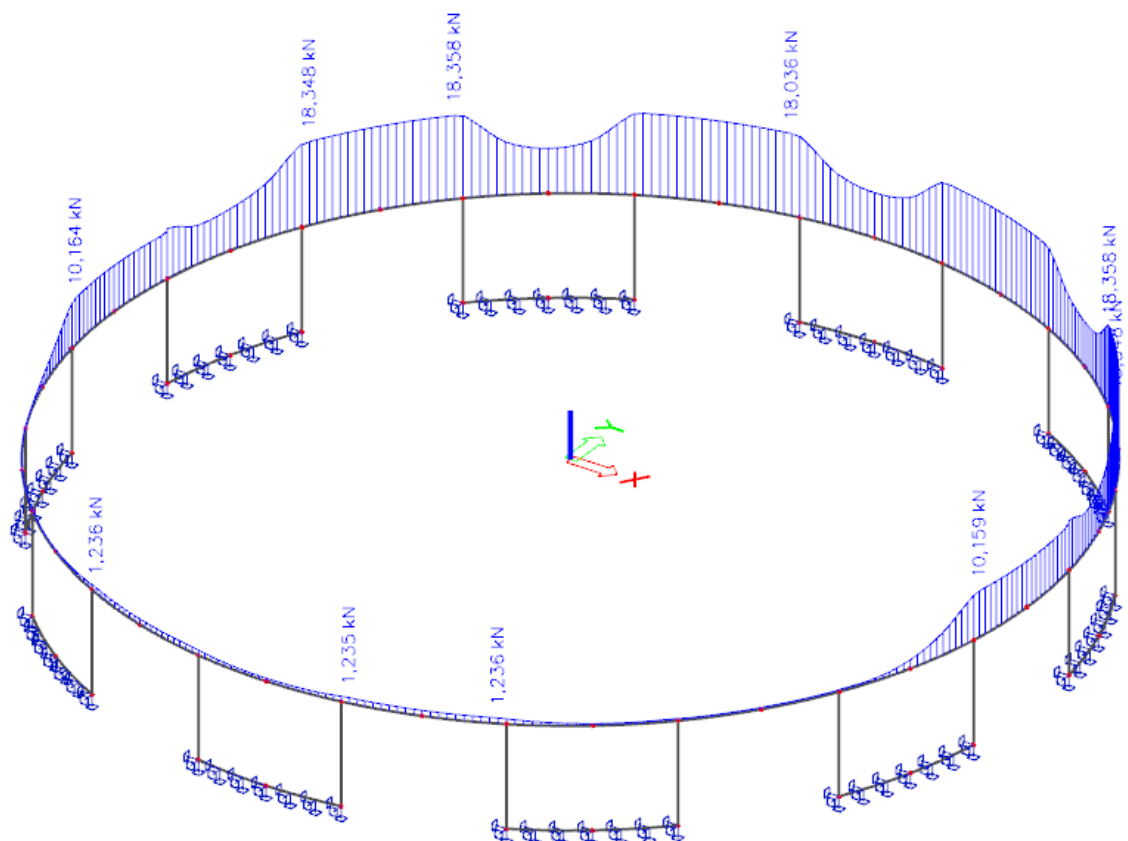
ZS18 – Návěj I – My [kNm]



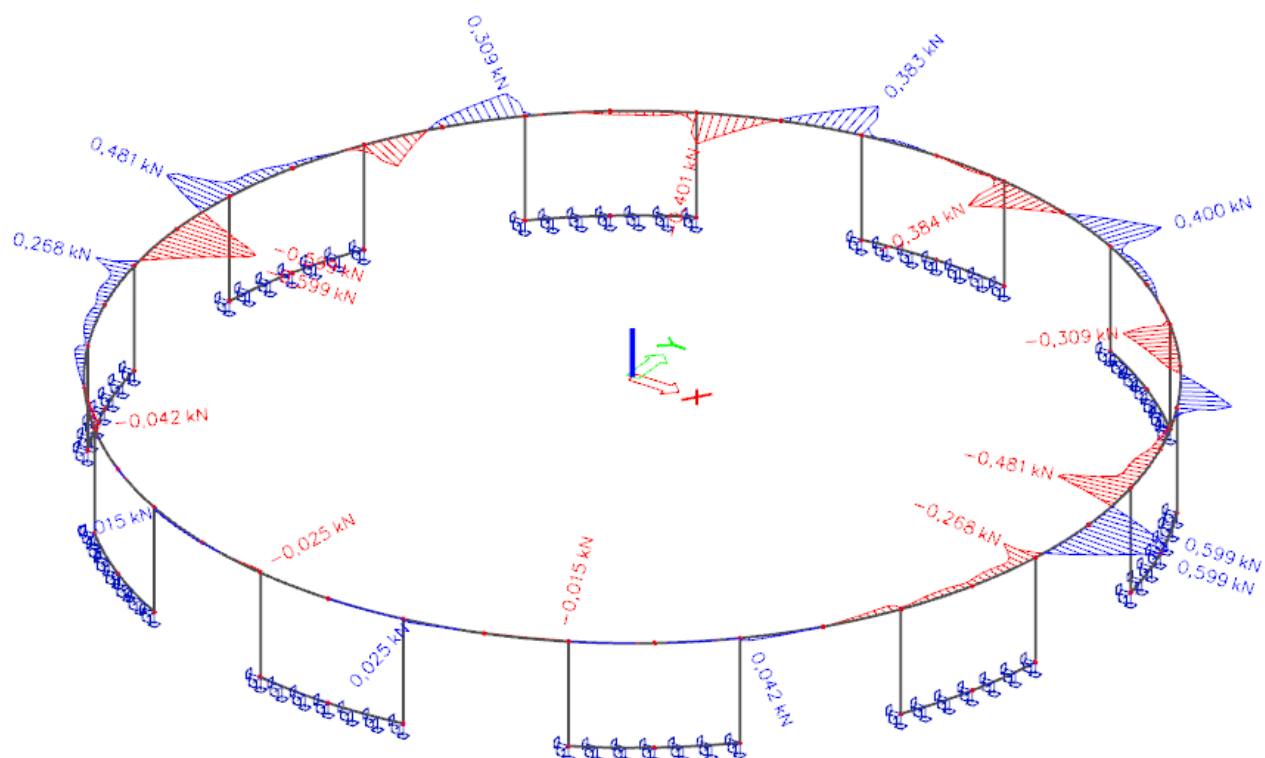
ZS18 – Návěj I – M_z [kNm]



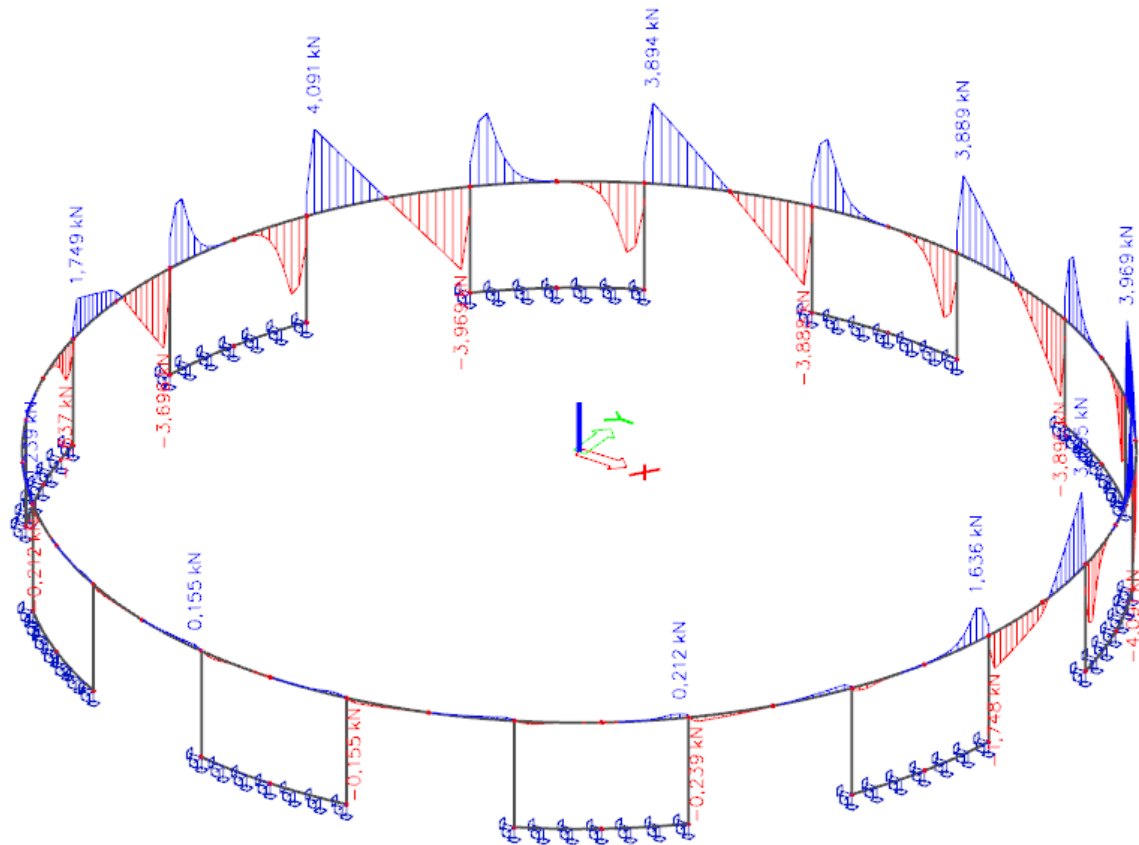
ZS19 – Návěj II – N [kN]



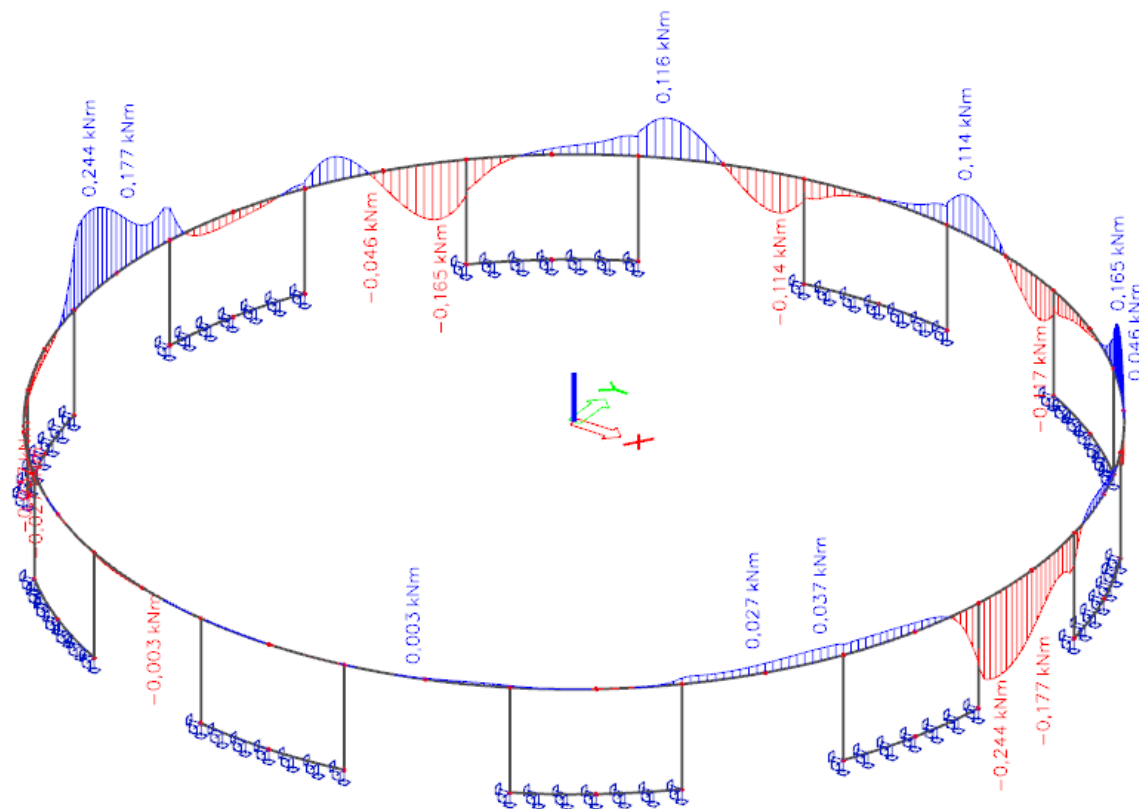
ZS19 – Návěj II – V_y [kN]



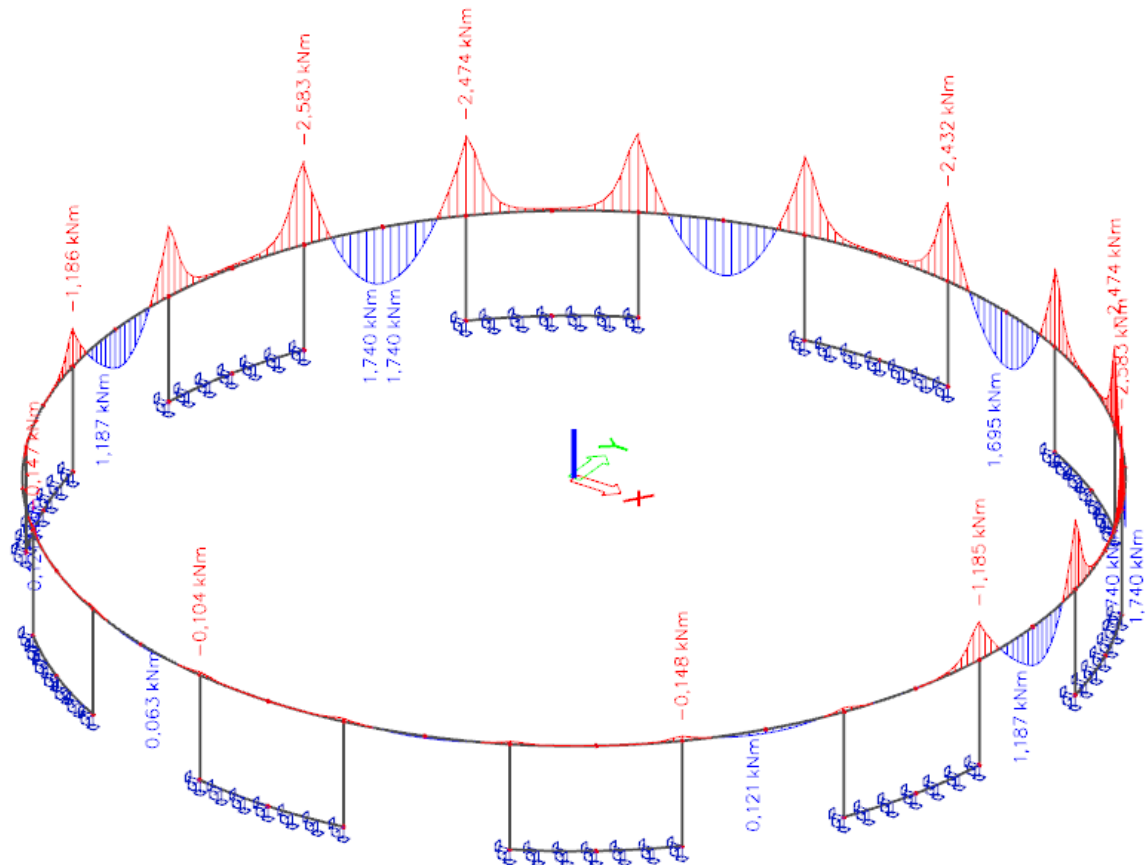
ZS19 – Návěj II – V_z [kN]



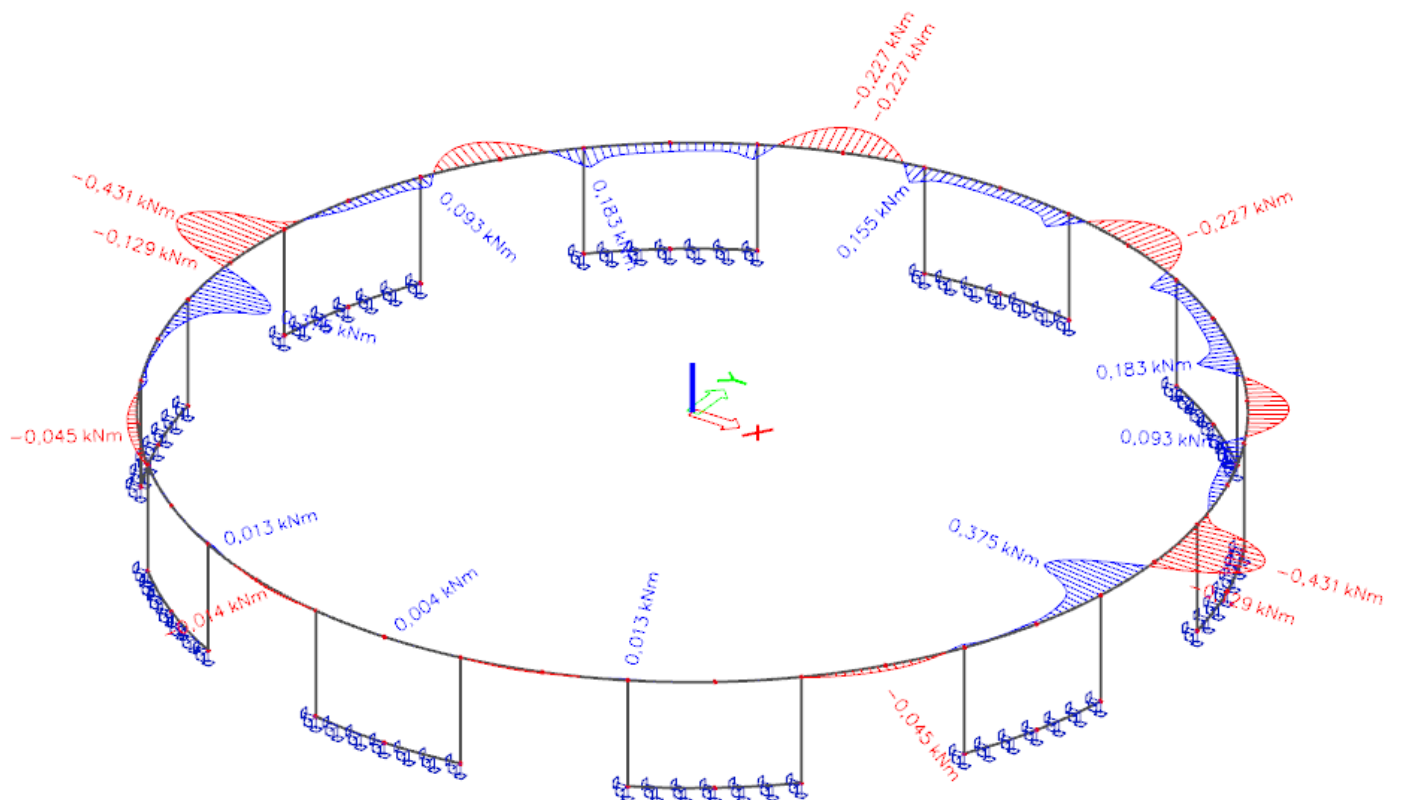
ZS19 – Návěj II – Mx [kNm]



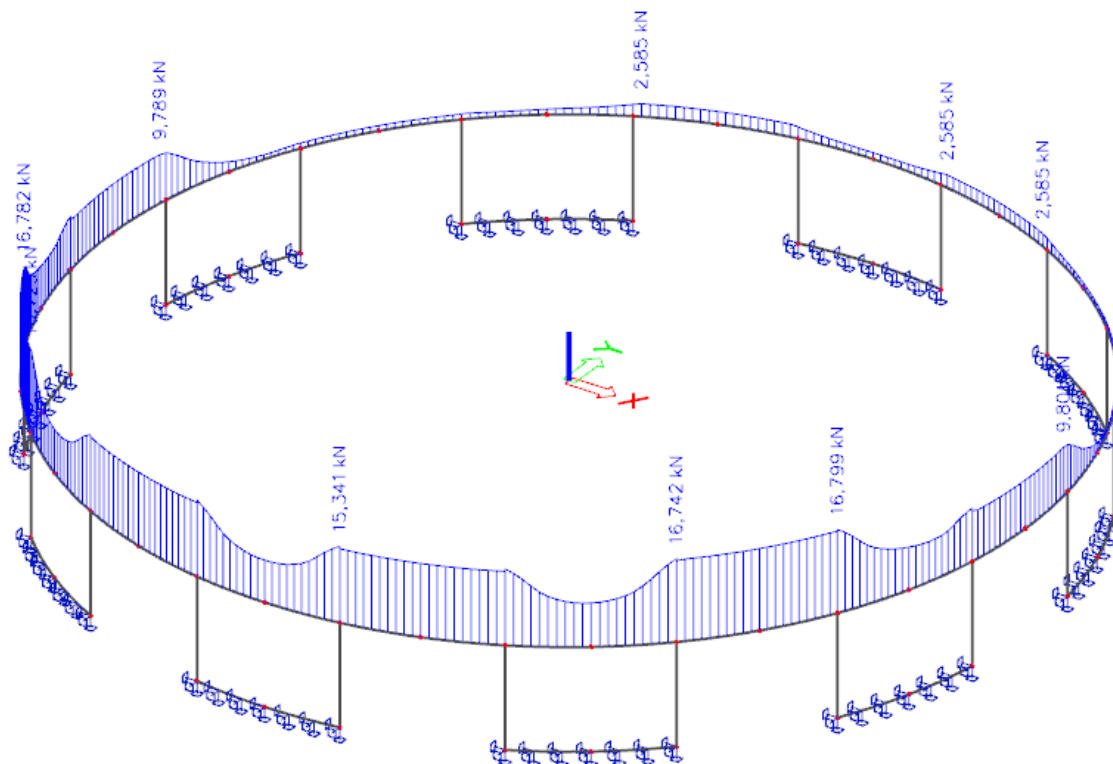
ZS19 – Návěj II – My [kNm]



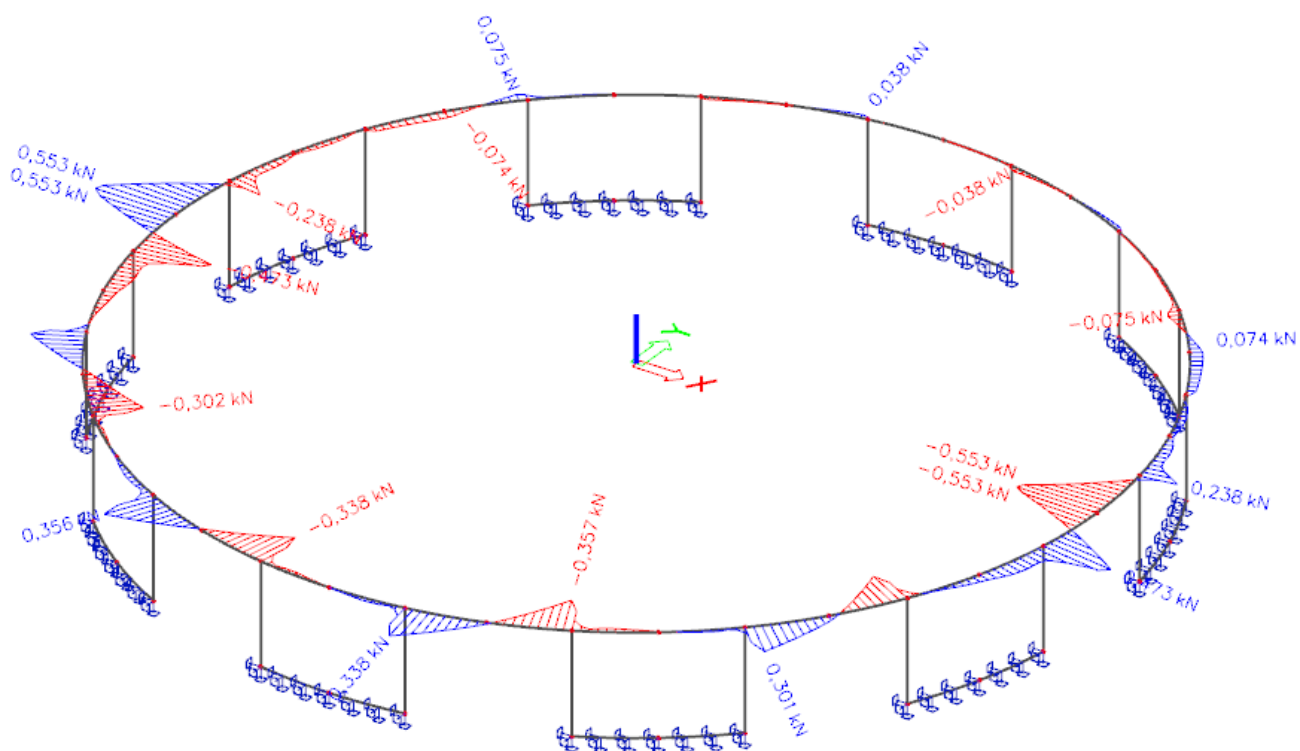
ZS19 – Návěj II – M_z [kNm]



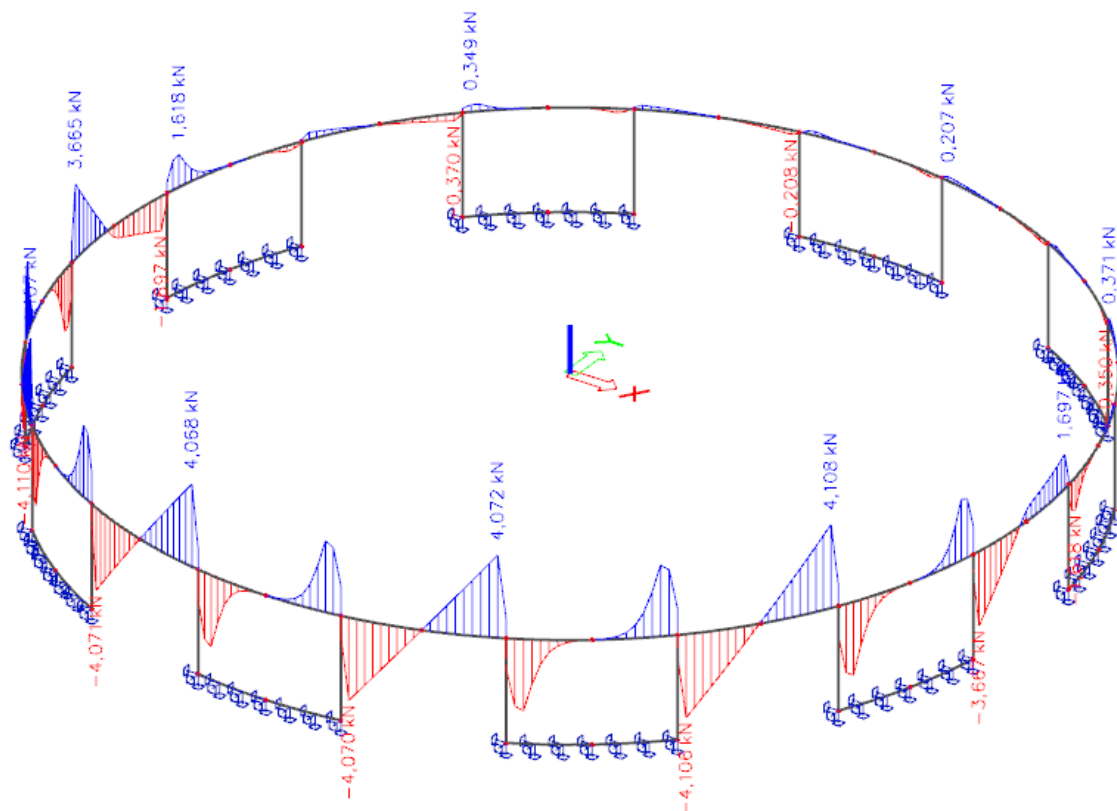
ZS20 – Návěj III – N [kN]



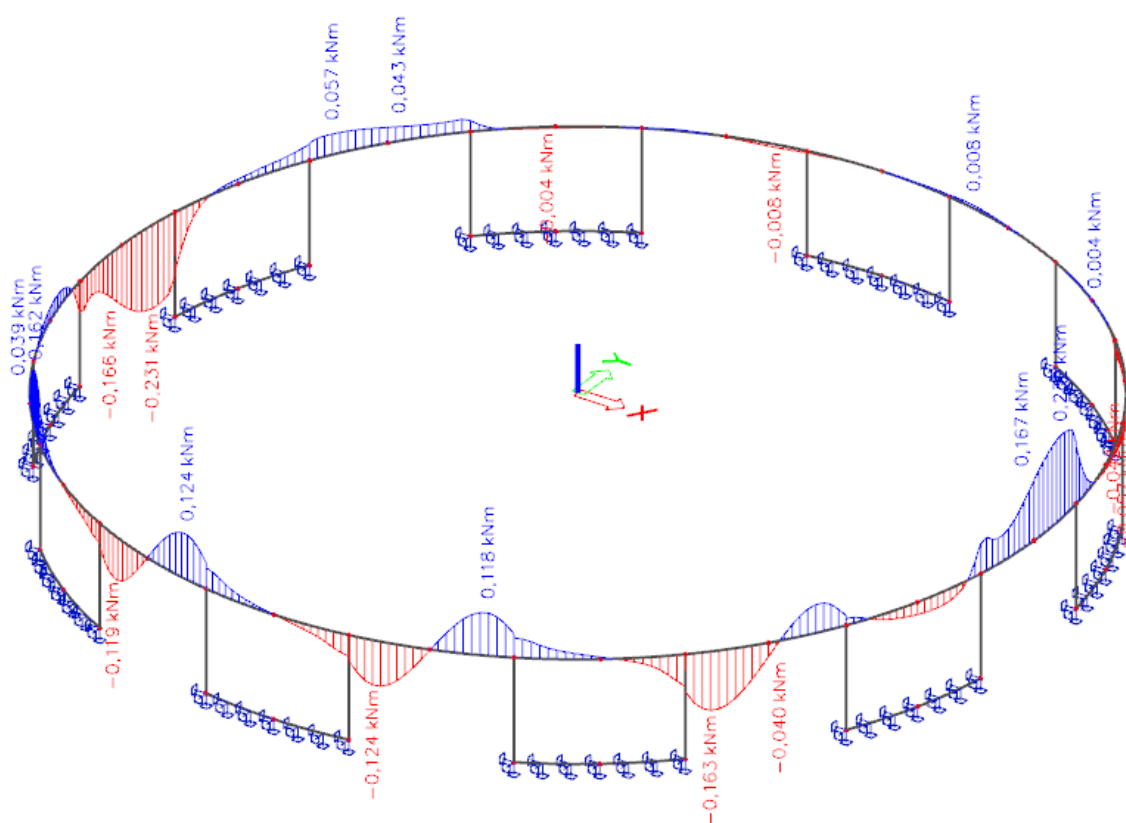
ZS20 – Návěj III – V_y [kN]



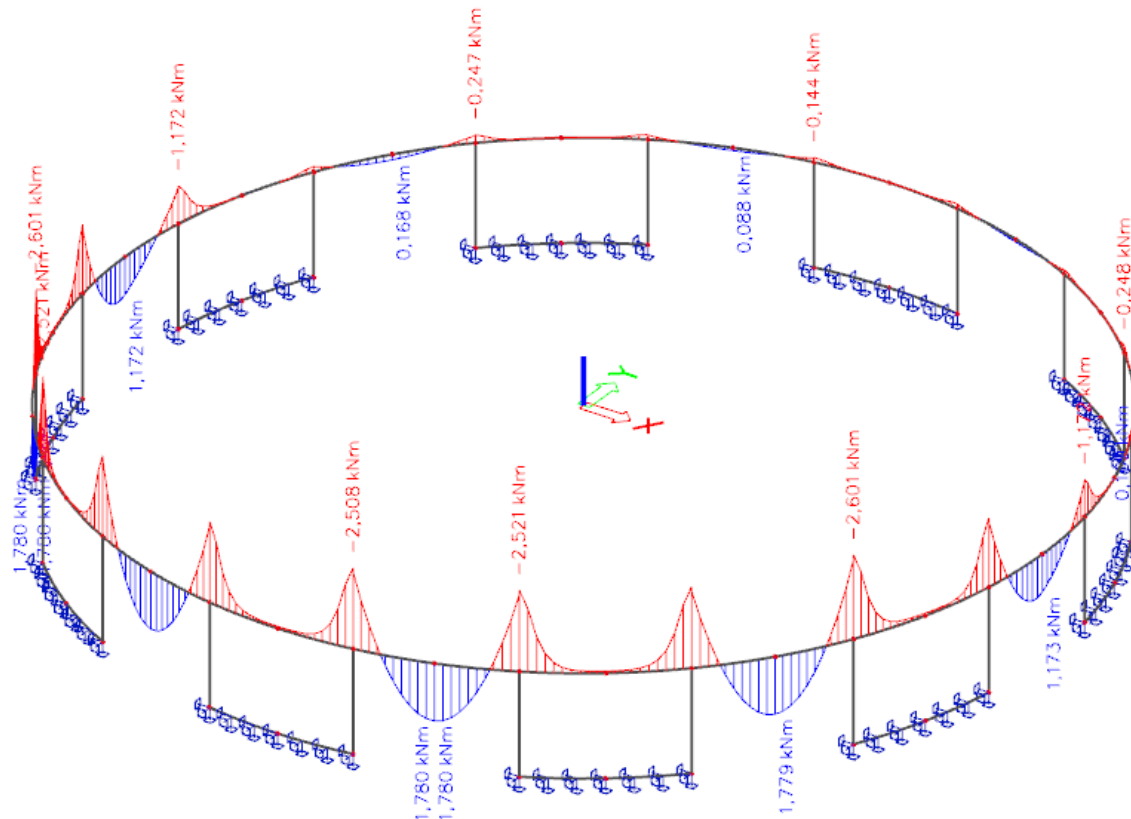
ZS20 – Návěj III – V_z [kN]



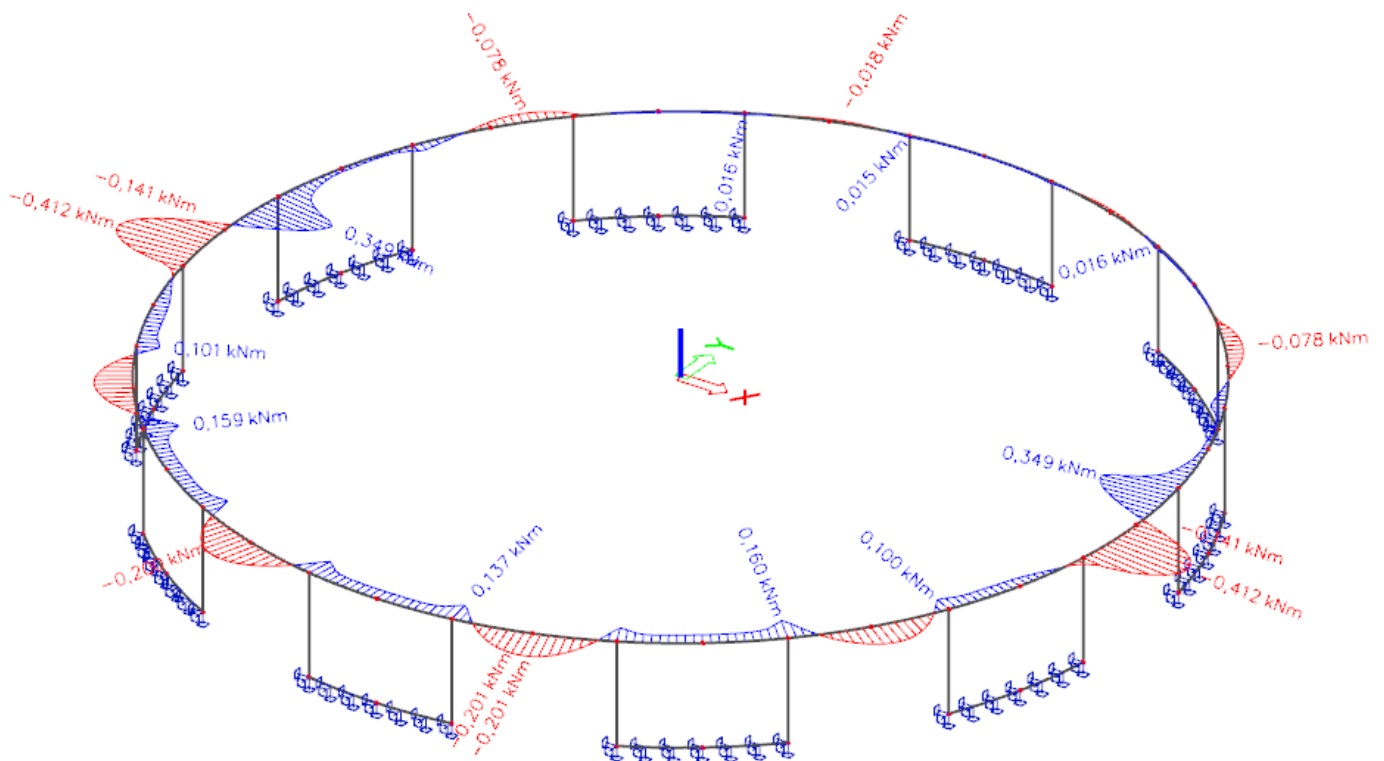
ZS20 – Návěj III – Mx [kNm]



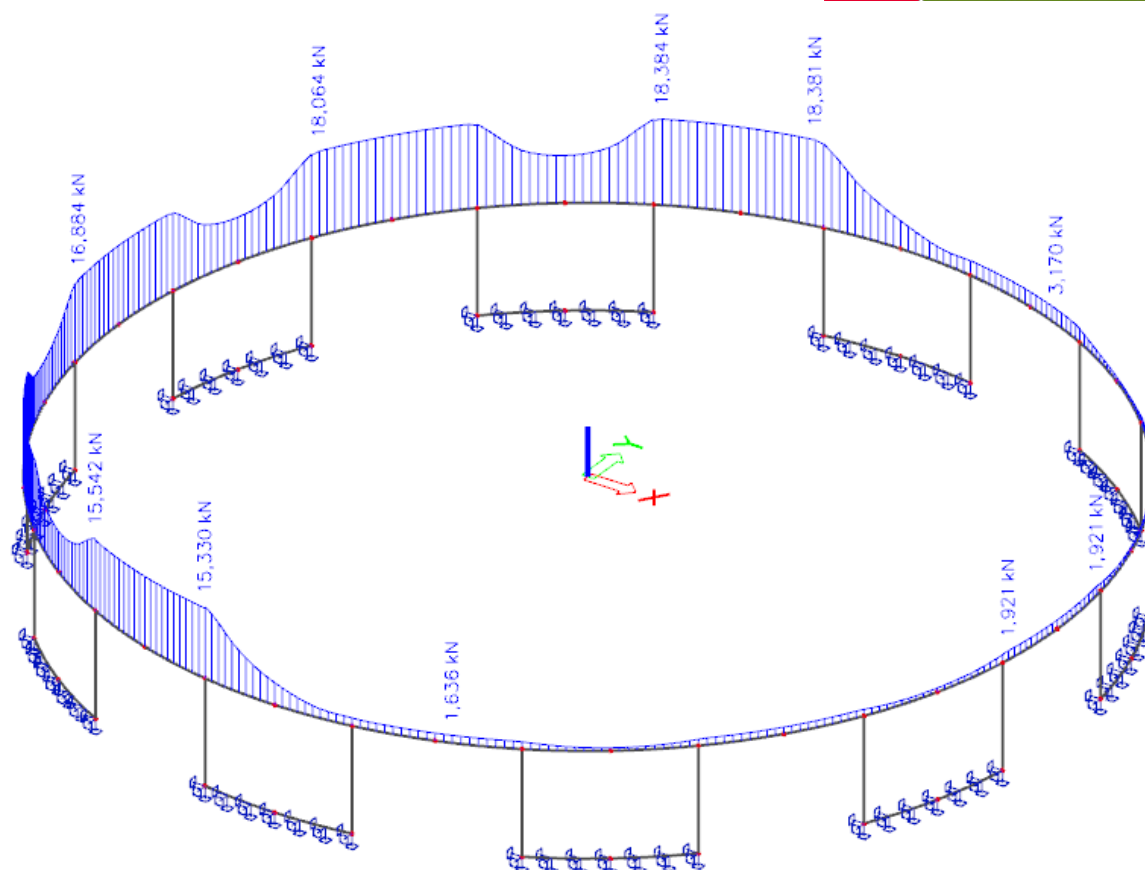
ZS20 – Návěj III – My [kNm]



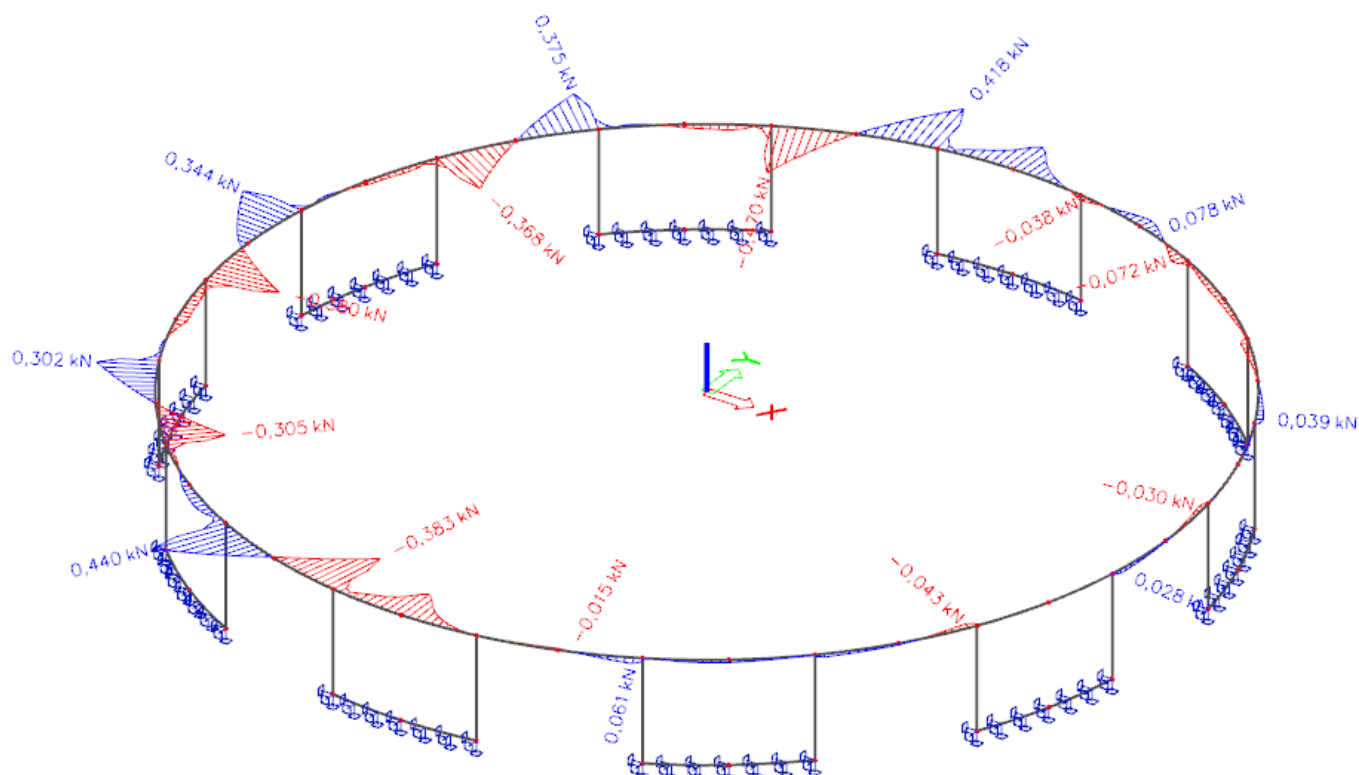
ZS20 – Návěj III – Mz [kNm]



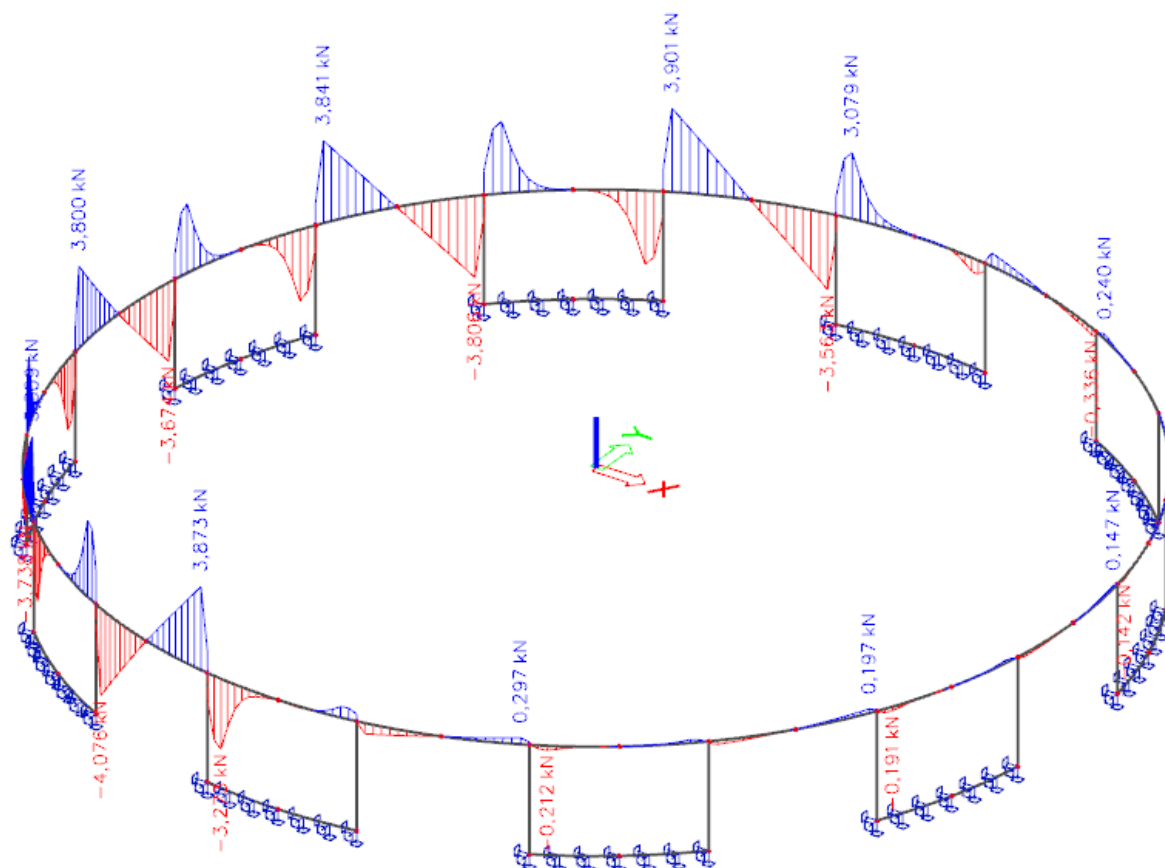
ZS21 – Návěj IV – N [kN]



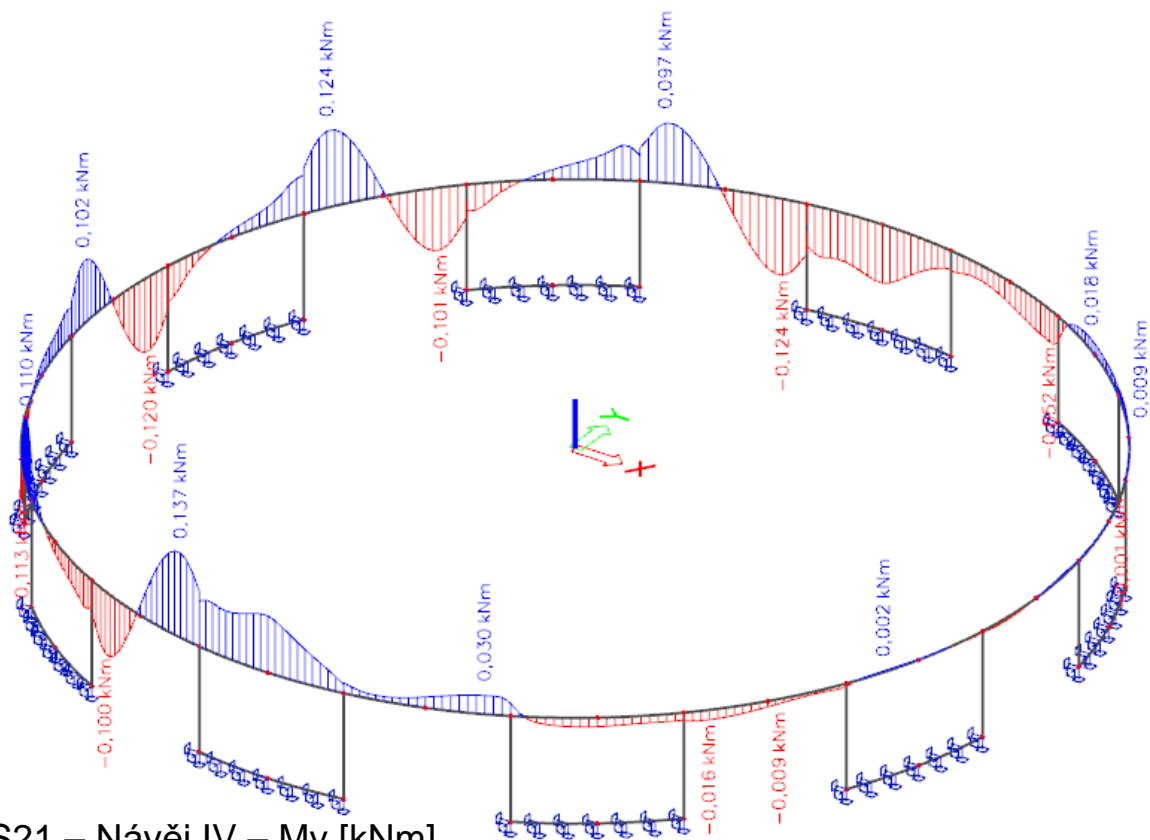
ZS21 – Návěj IV – V_y [kN]



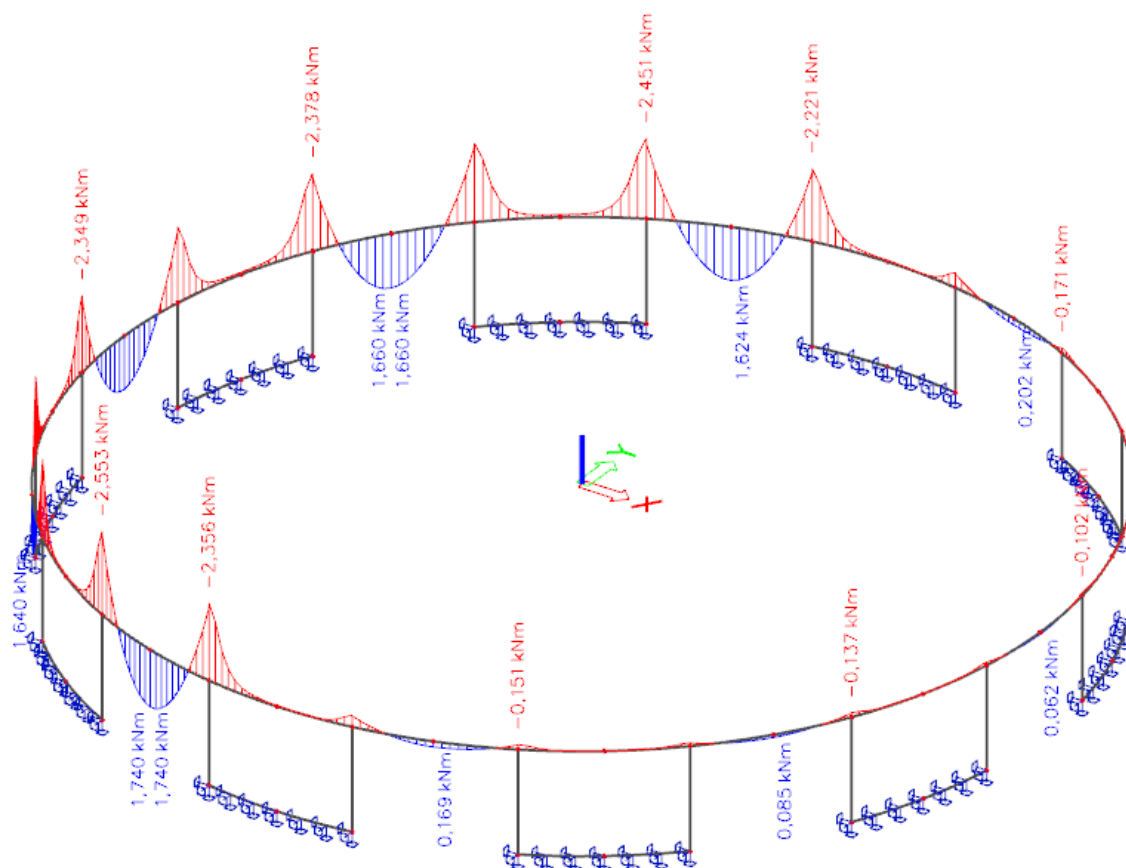
ZS21 – Návěj IV – V_z [kN]



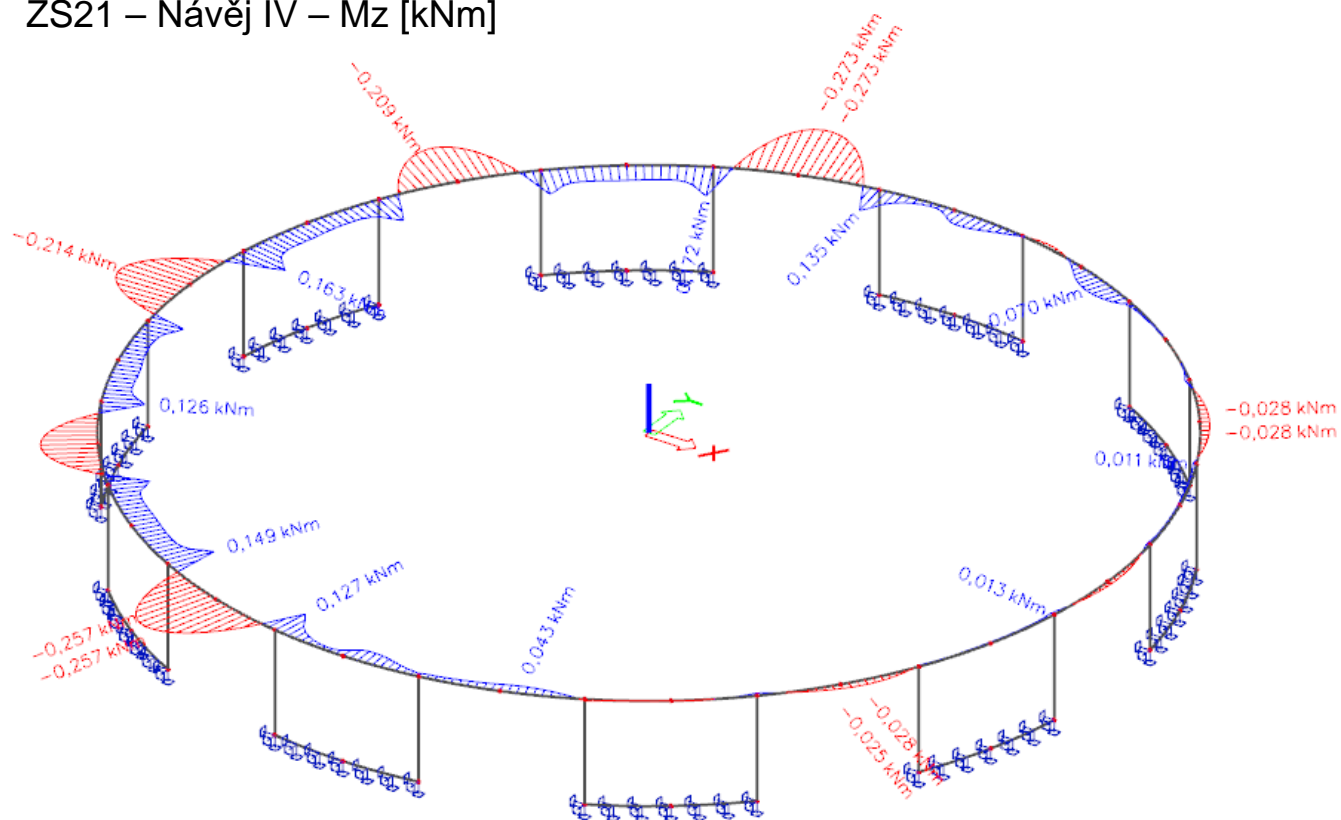
ZS21 – Návěj IV – M_x [kNm]



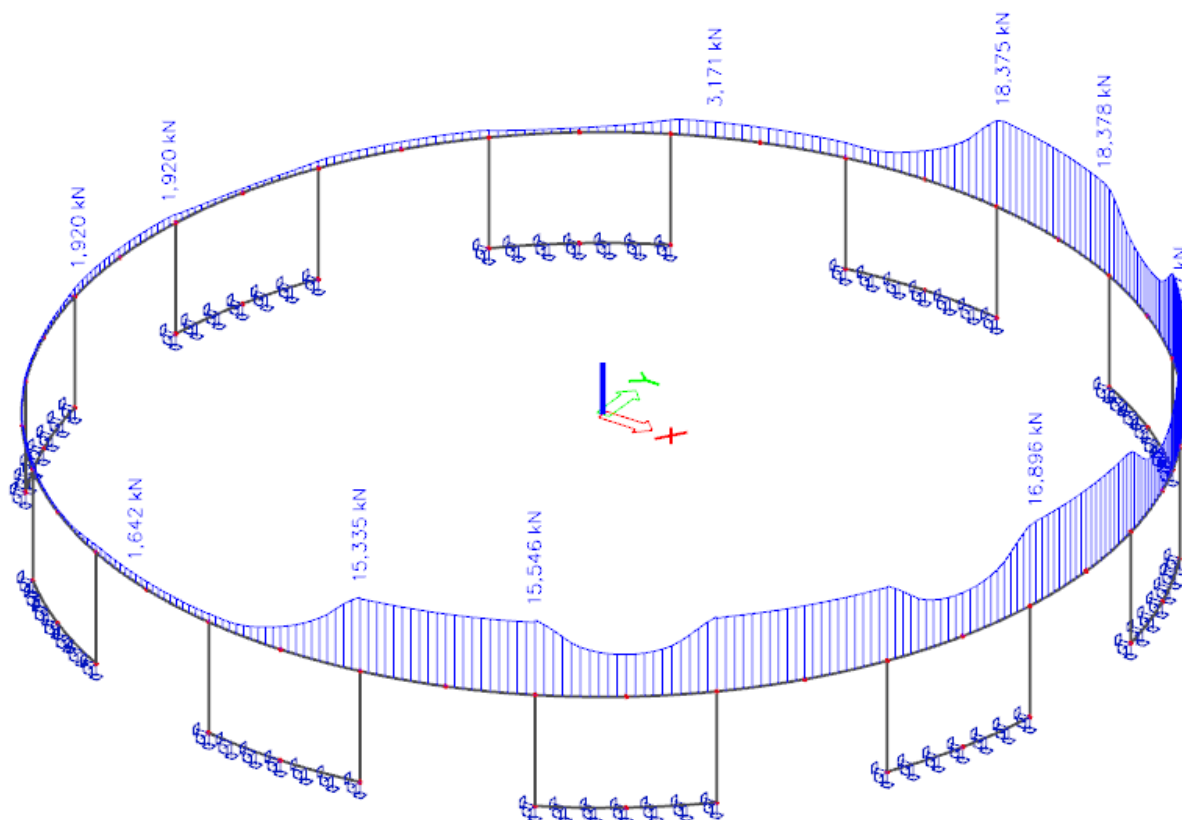
ZS21 – Návěj IV – M_y [kNm]



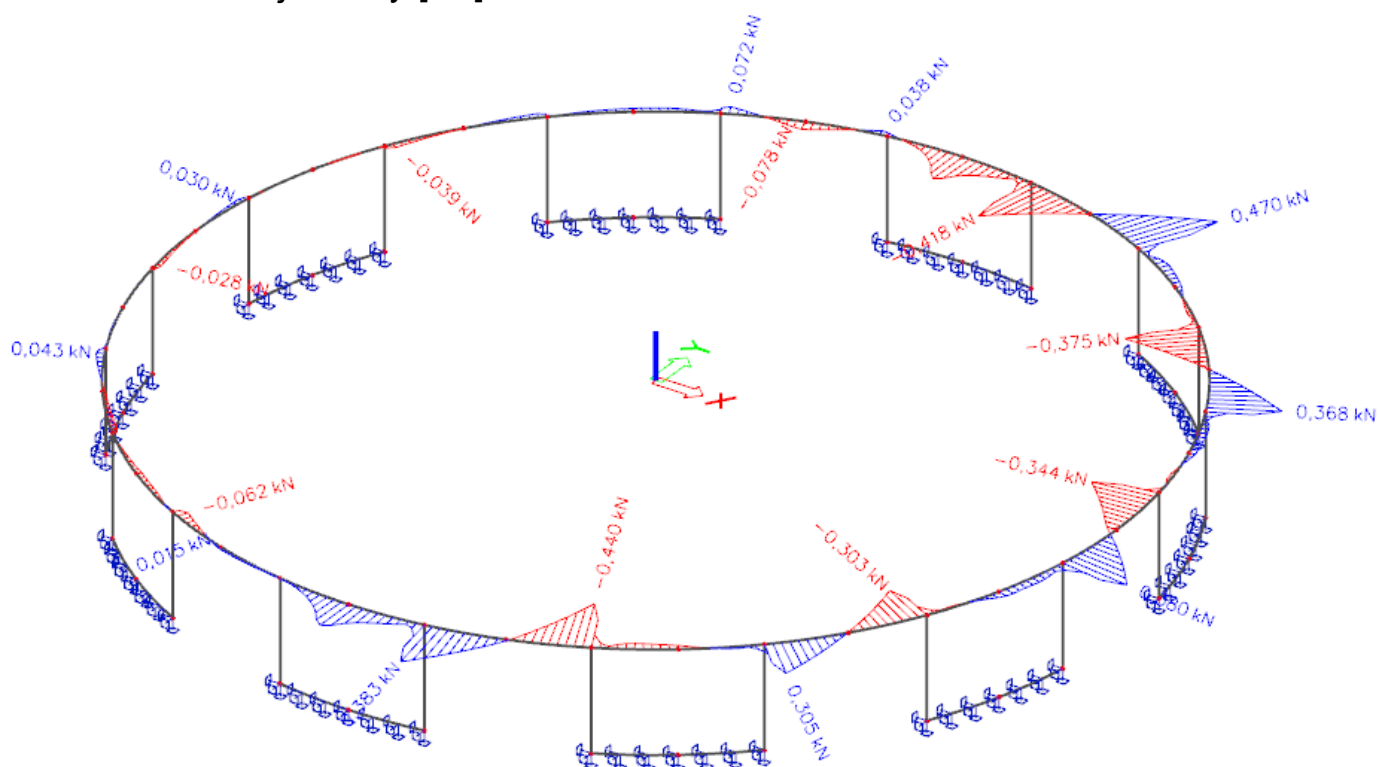
ZS21 – Návěj IV – Mz [kNm]



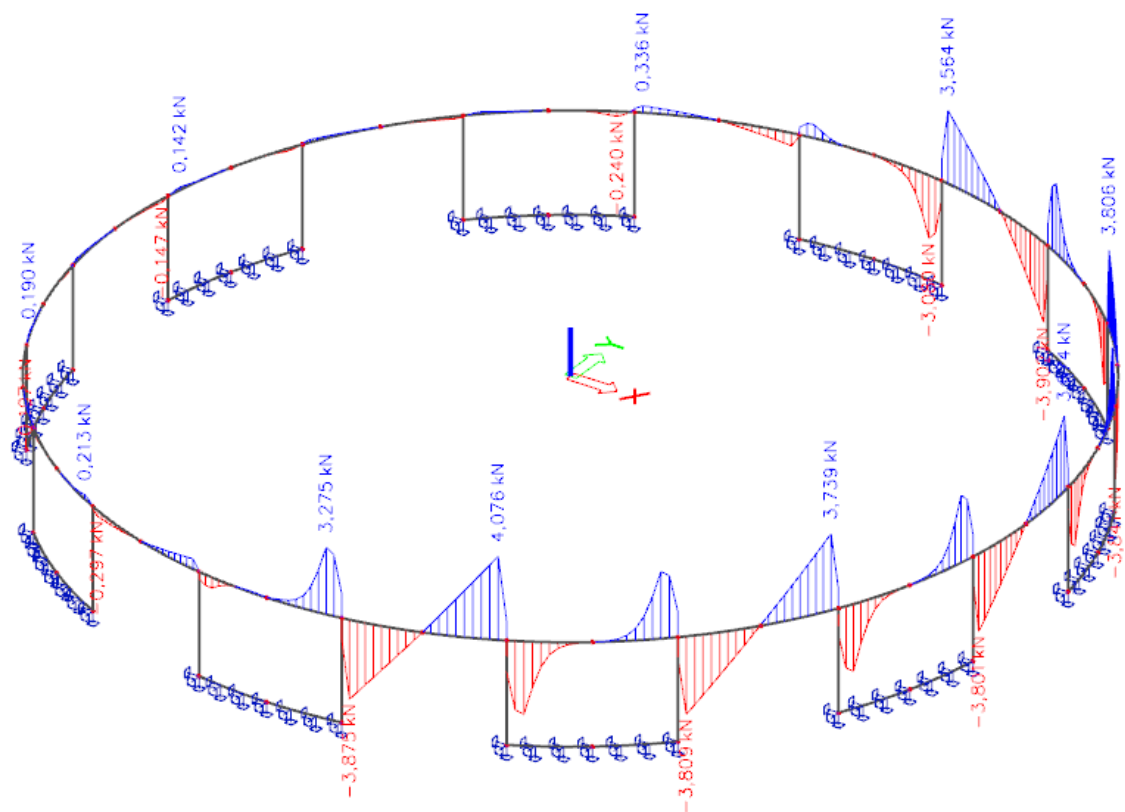
ZS22 – Návěj V – N [kN]



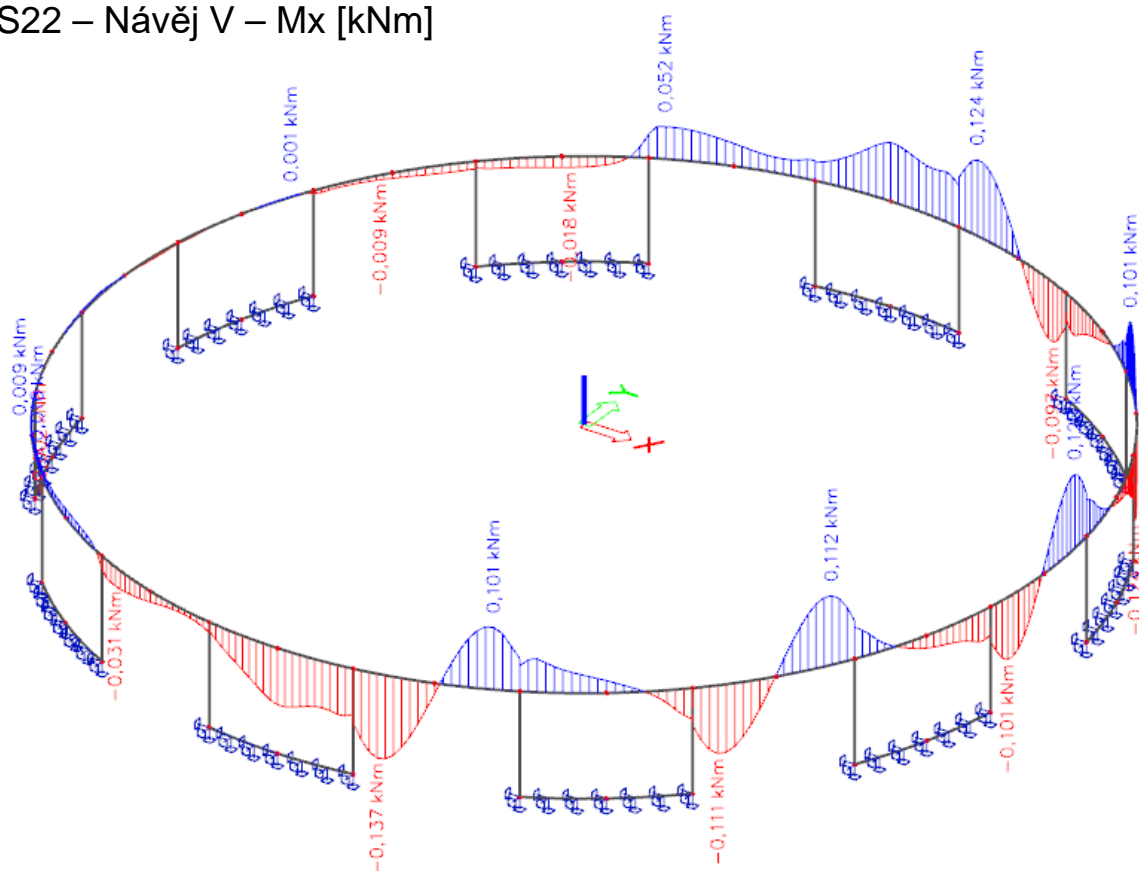
ZS22 – Návěj V – Vy [kN]



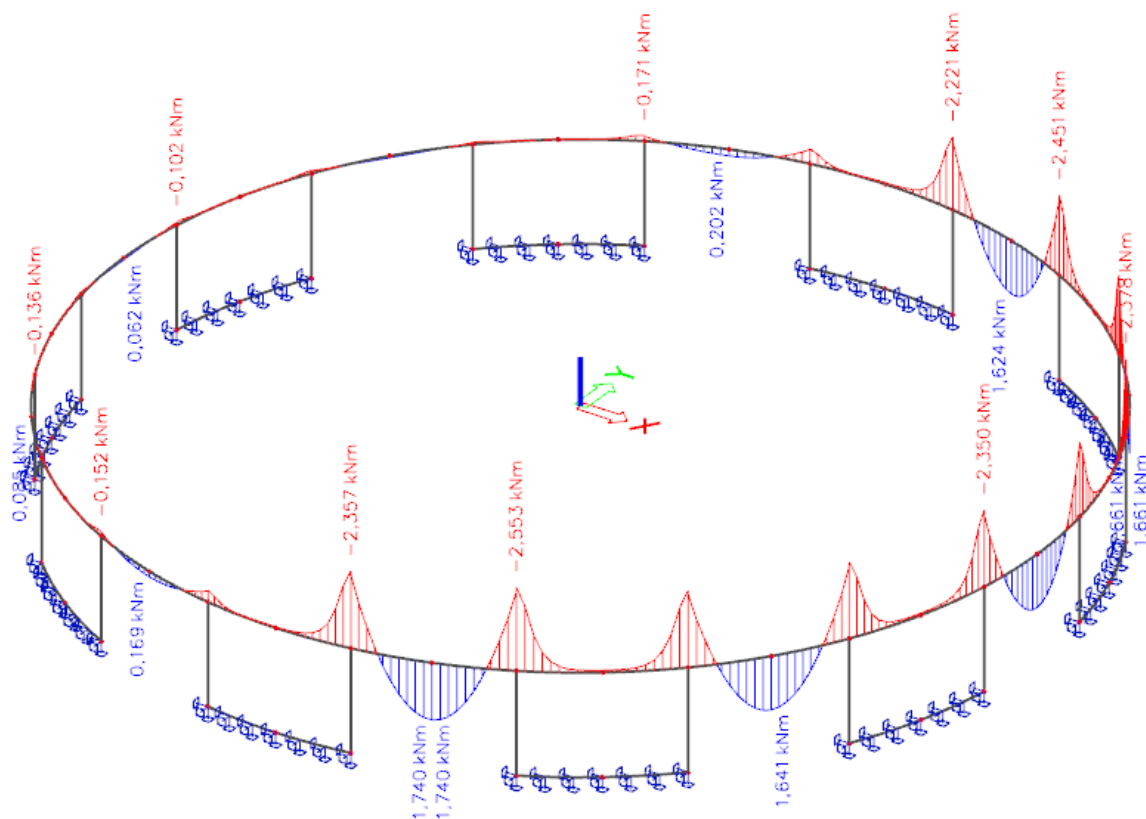
ZS22 – Návěj V – Vz [kN]



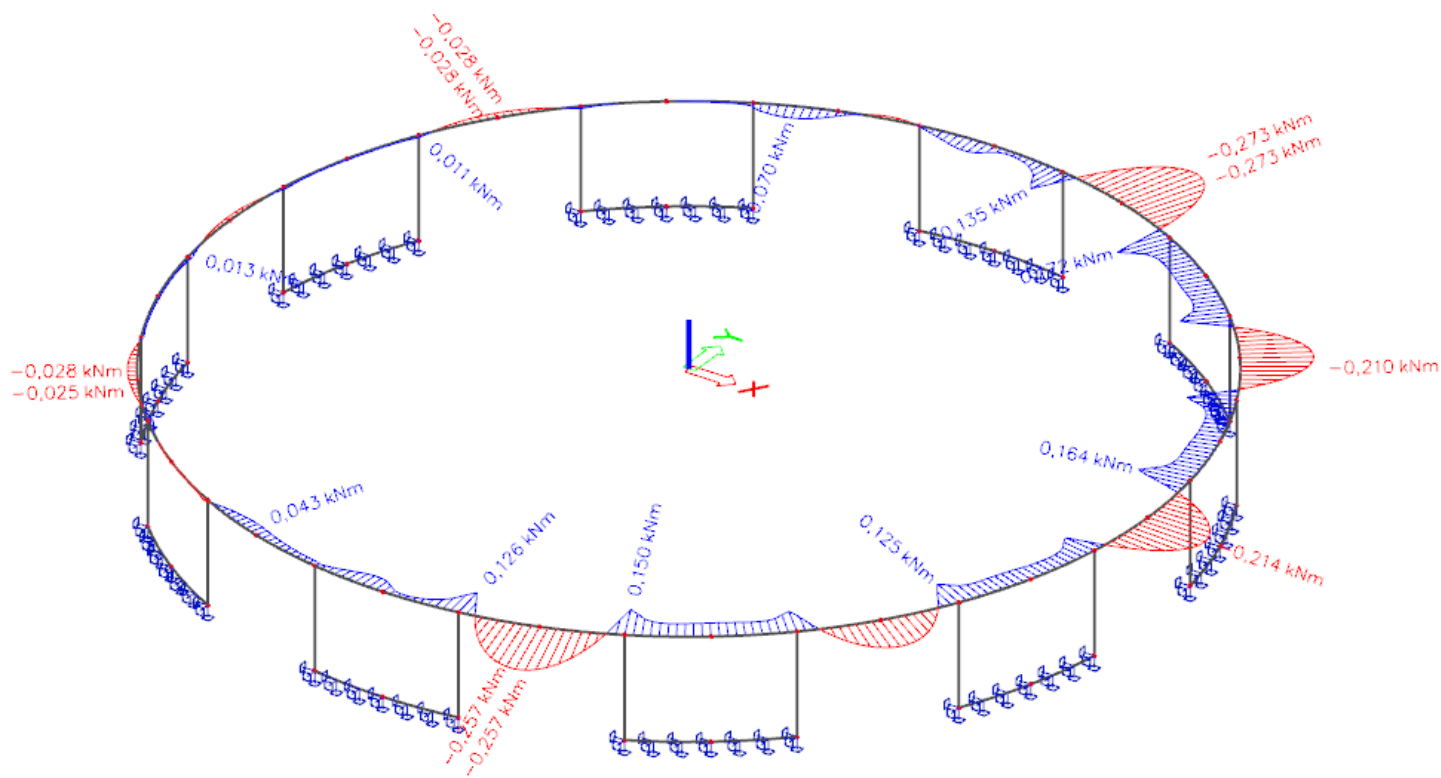
ZS22 – Návěj V – M_x [kNm]



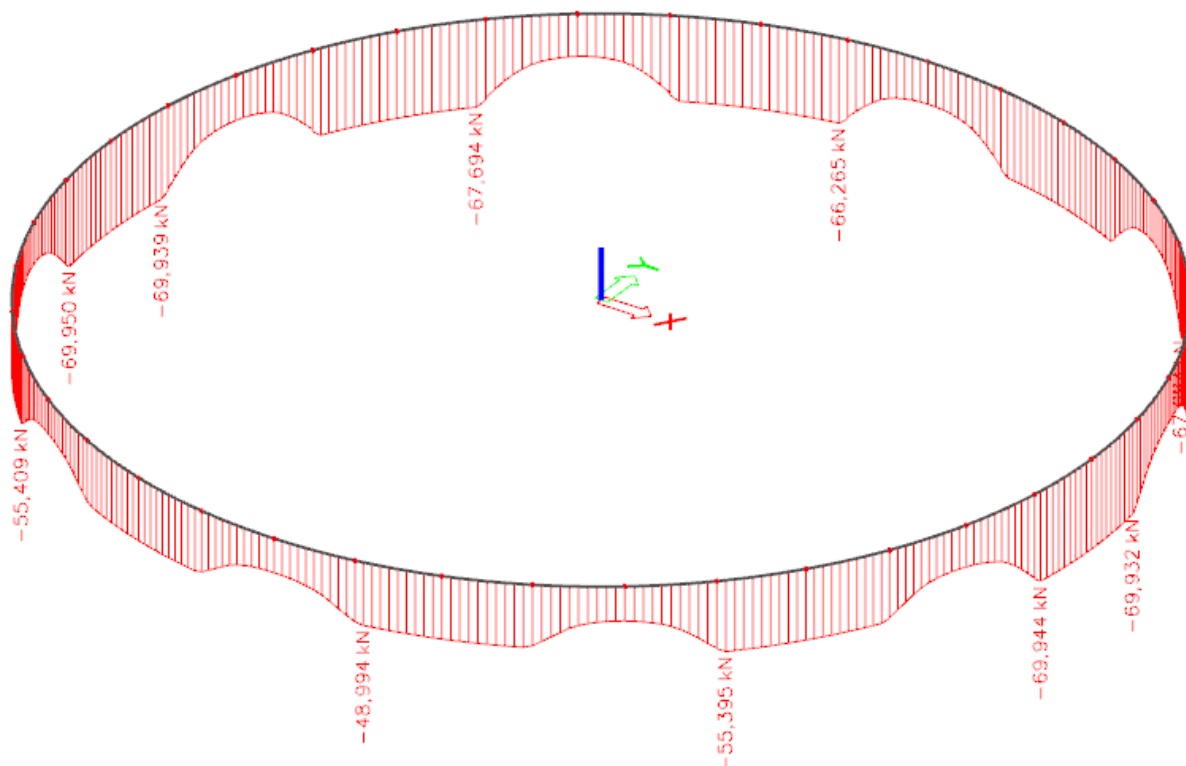
ZS22 – Návěj V – M_y [kNm]



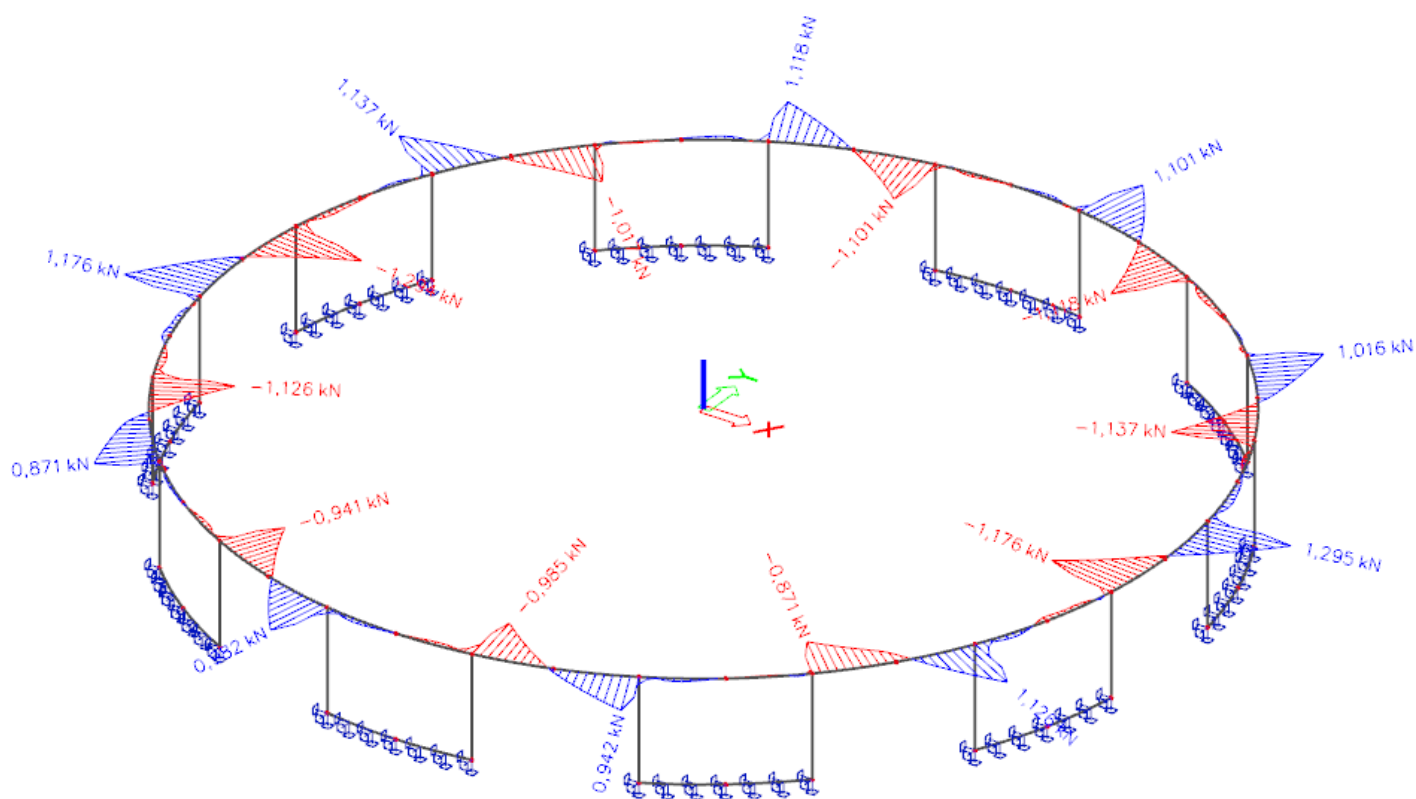
ZS22 – Návěj V – M_z [kNm]



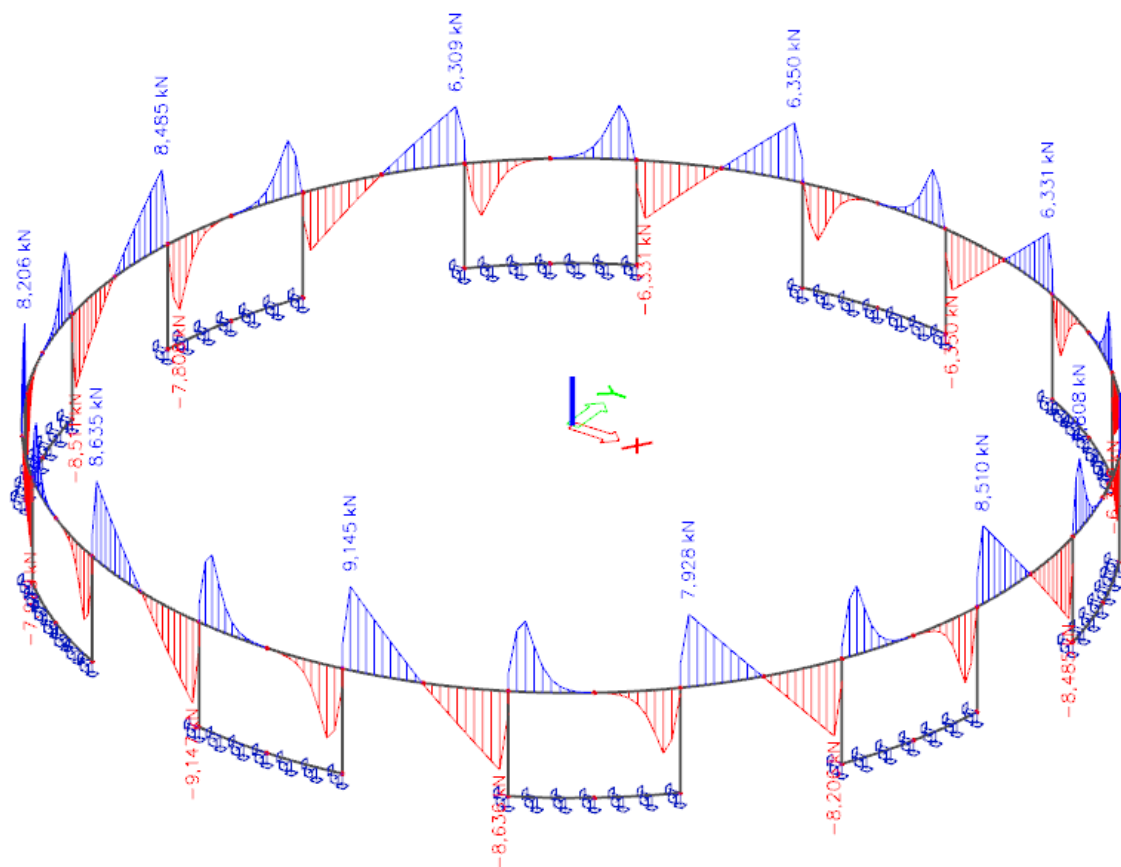
ZS23 – Vitr I – N [kN]



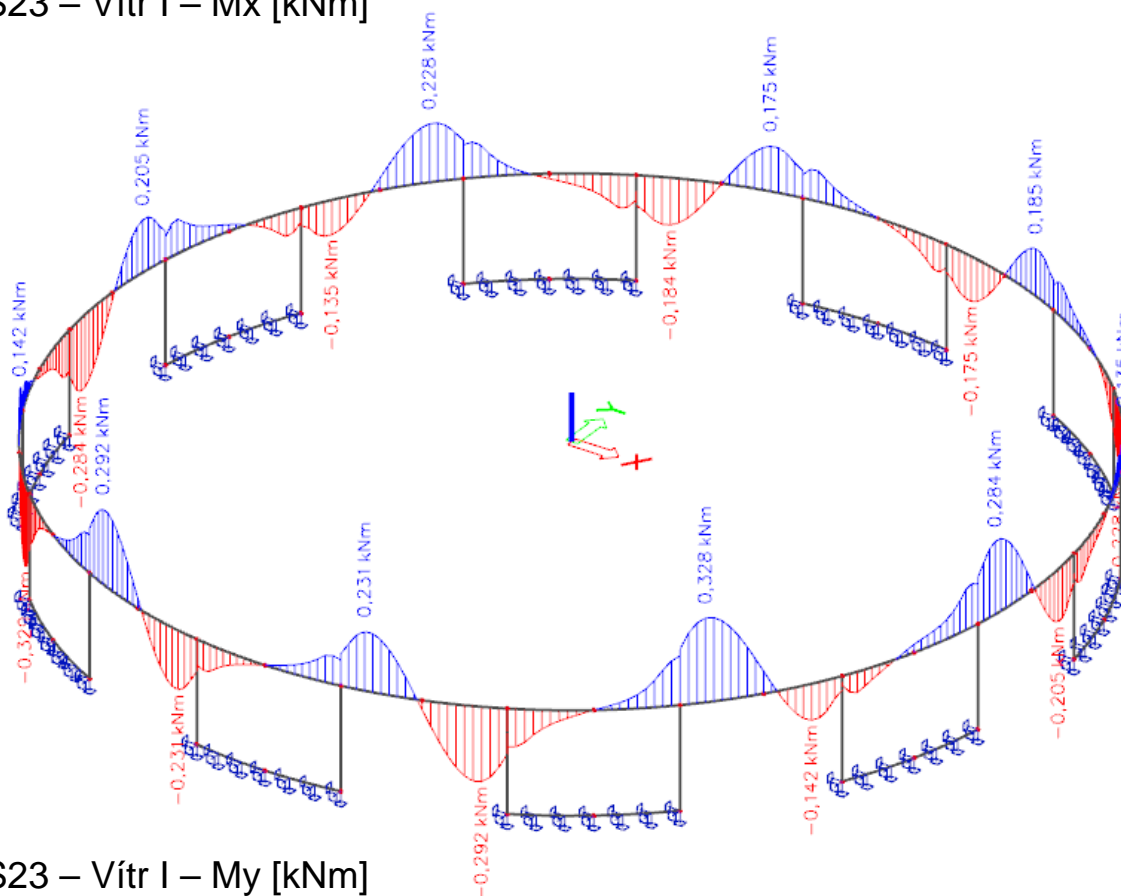
ZS23 – Vitr I – V_y [kN]



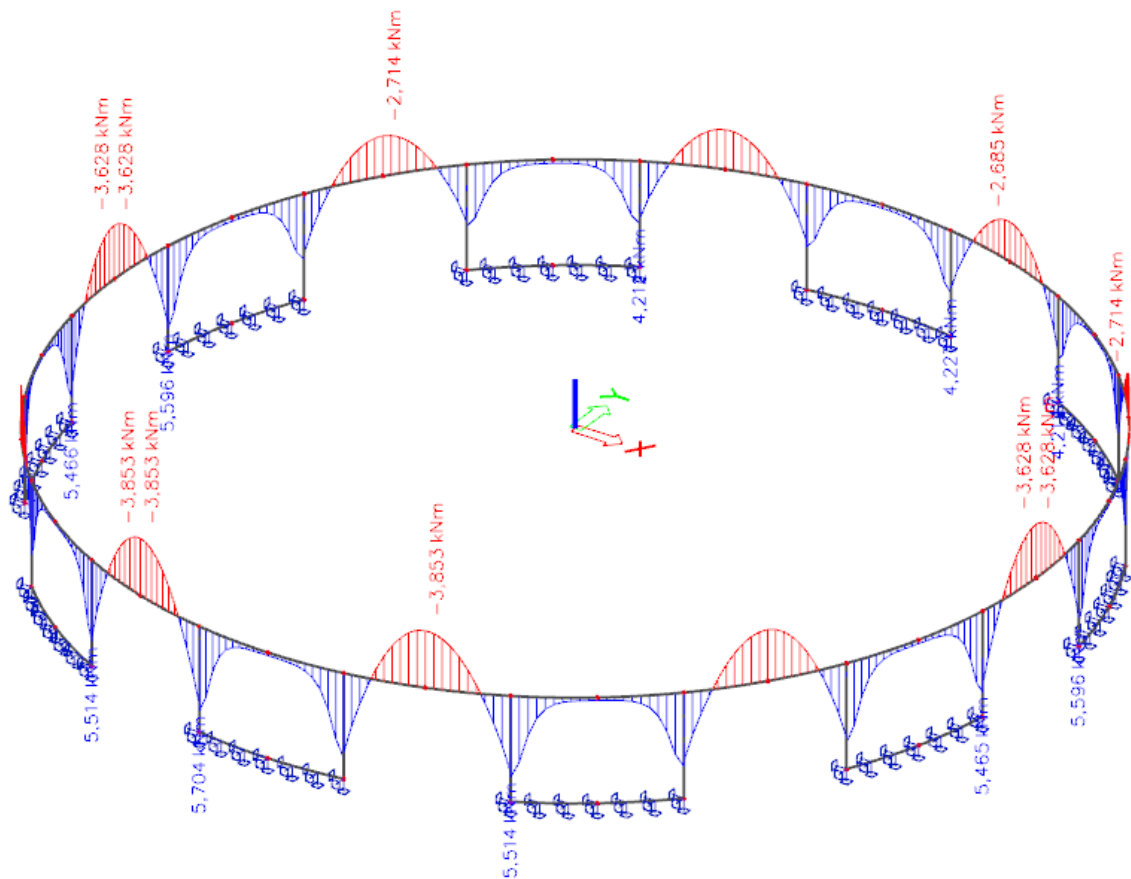
ZS23 – Vitr I – V_z [kN]



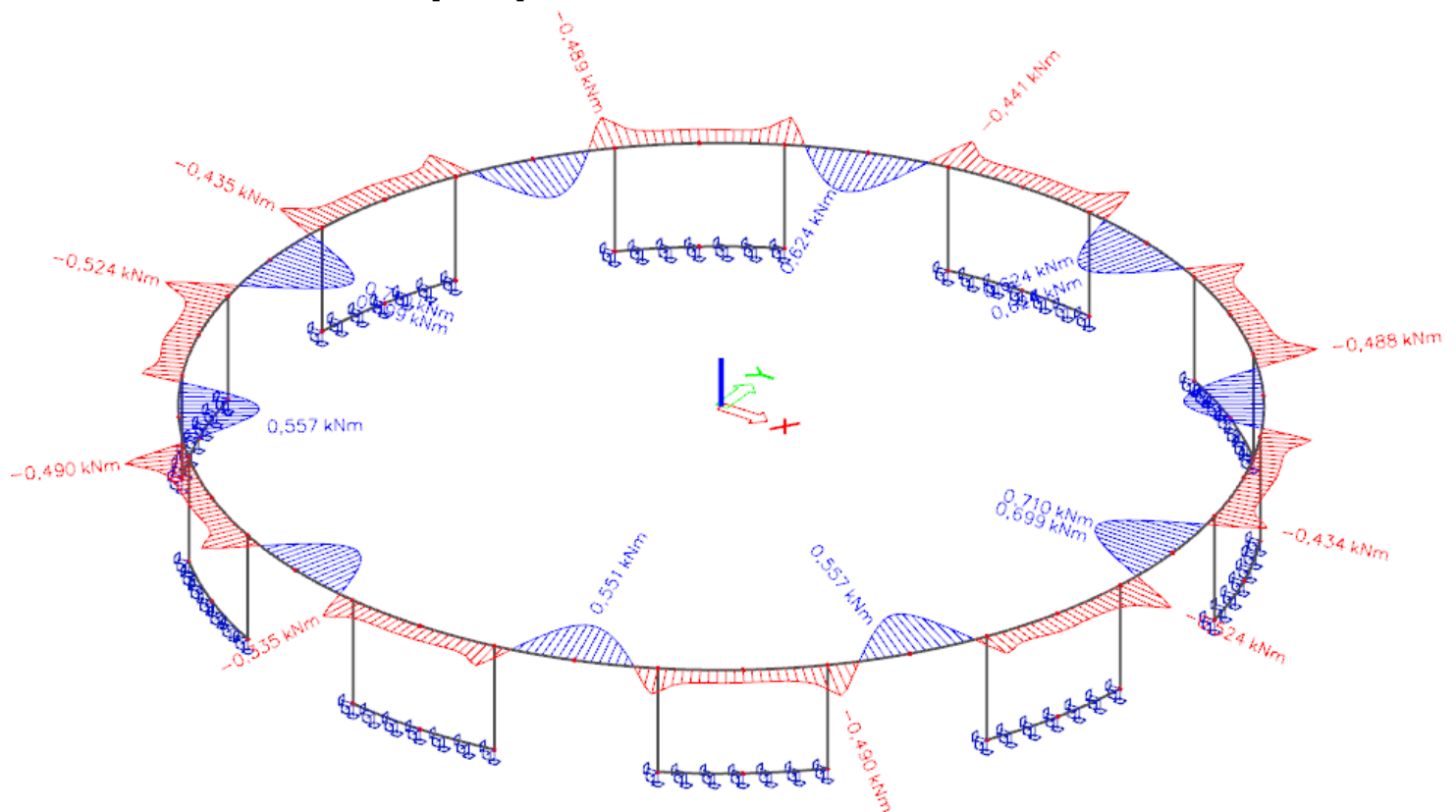
ZS23 – Vitr I – M_x [kNm]



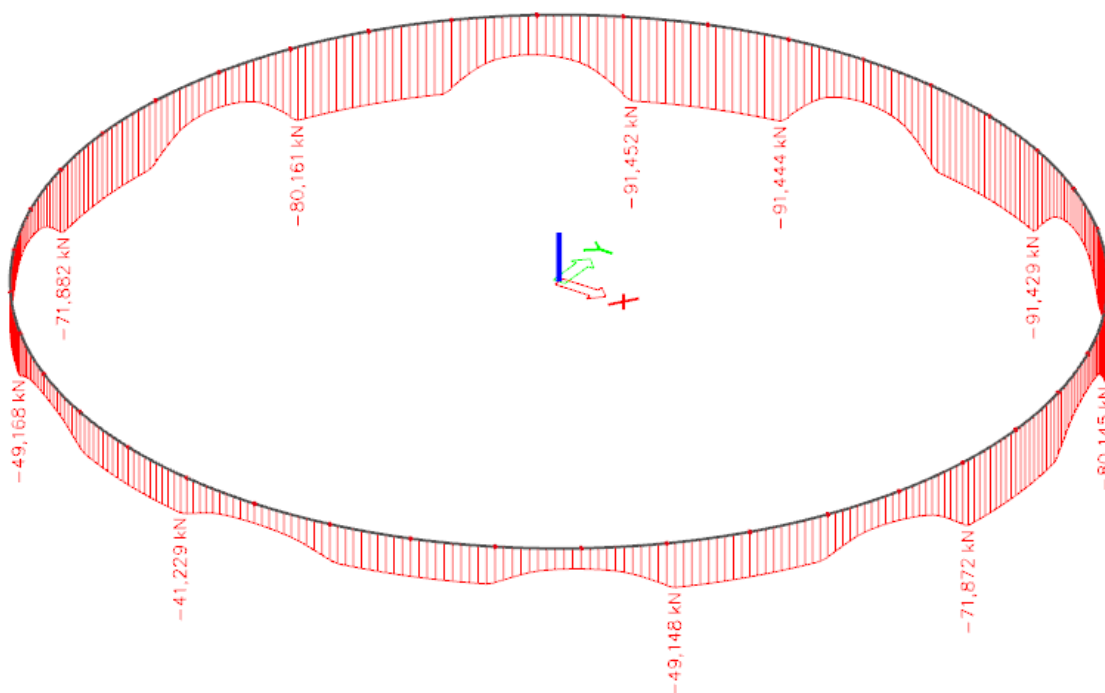
ZS23 – Vitr I – M_y [kNm]



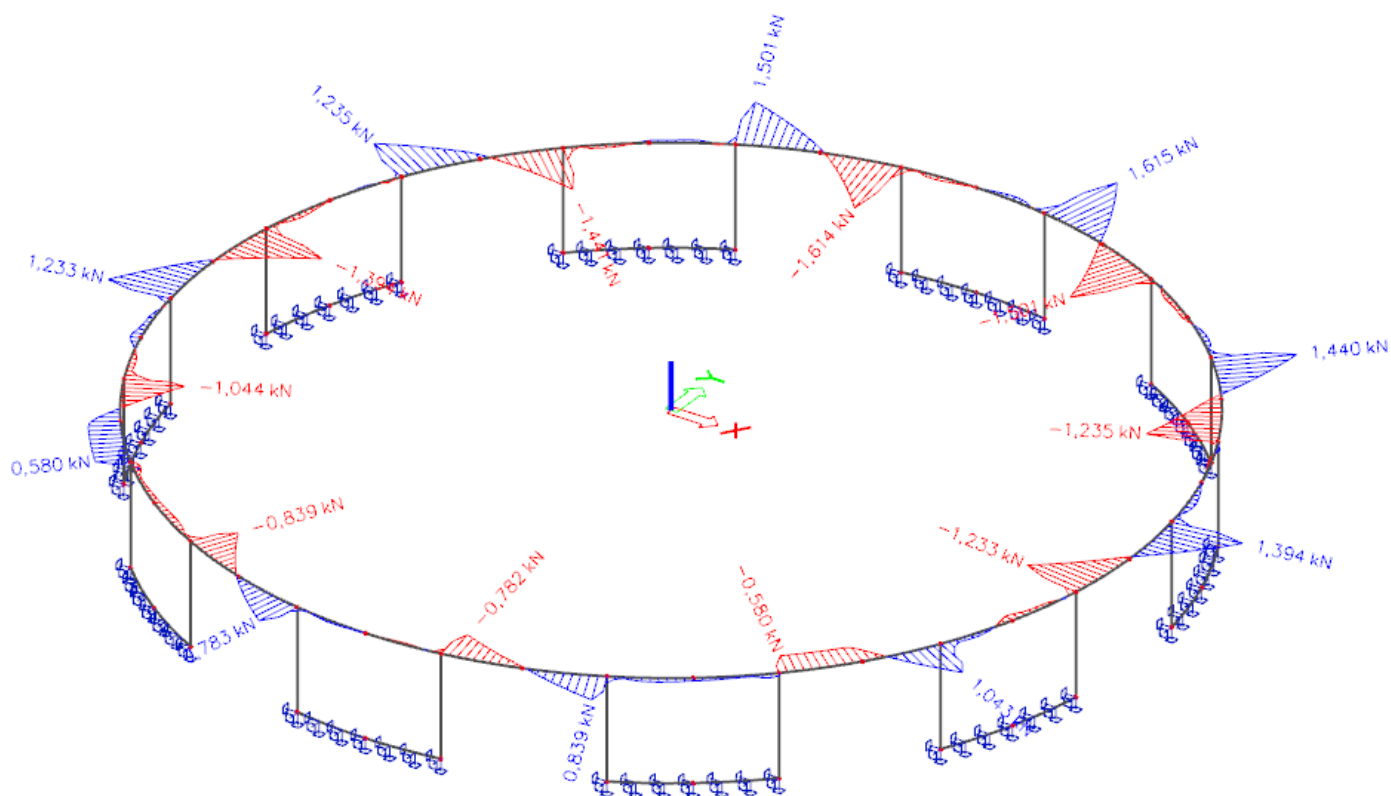
ZS23 – Vítr I – Mz [kNm]



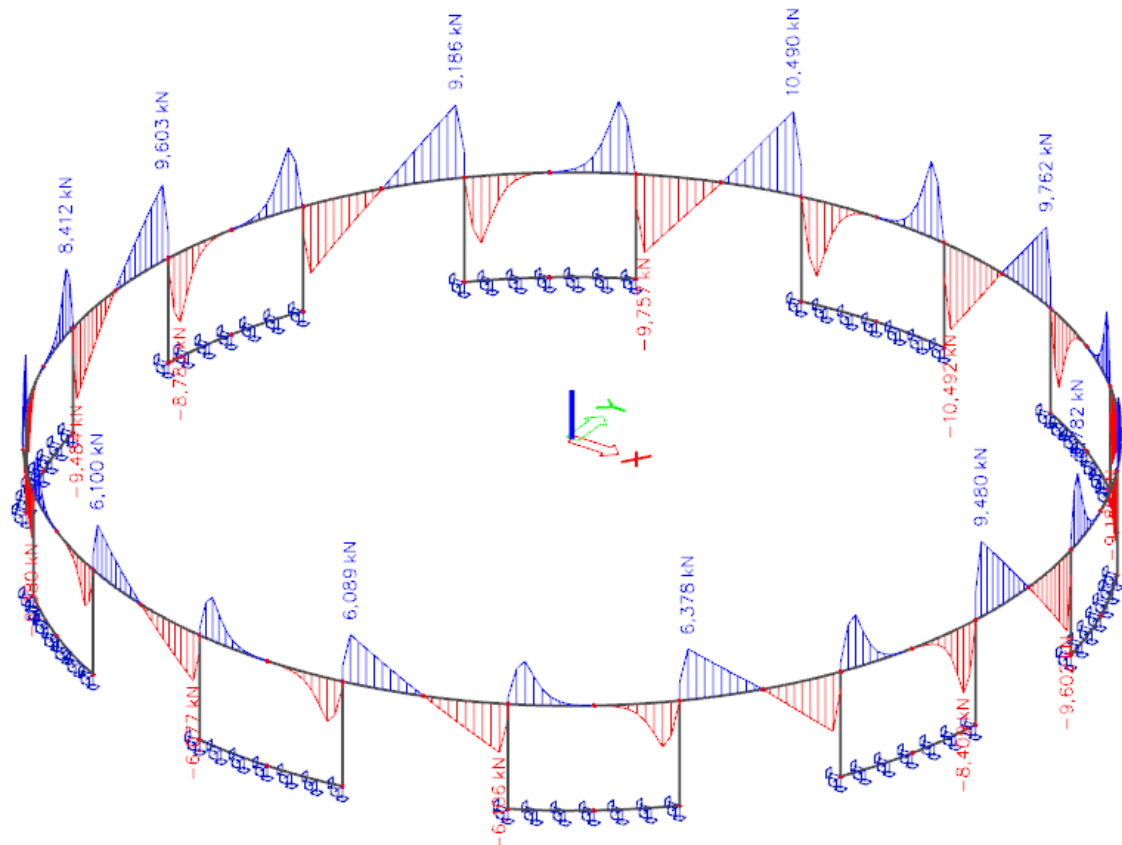
ZS24 – Vítr II – N [kN]



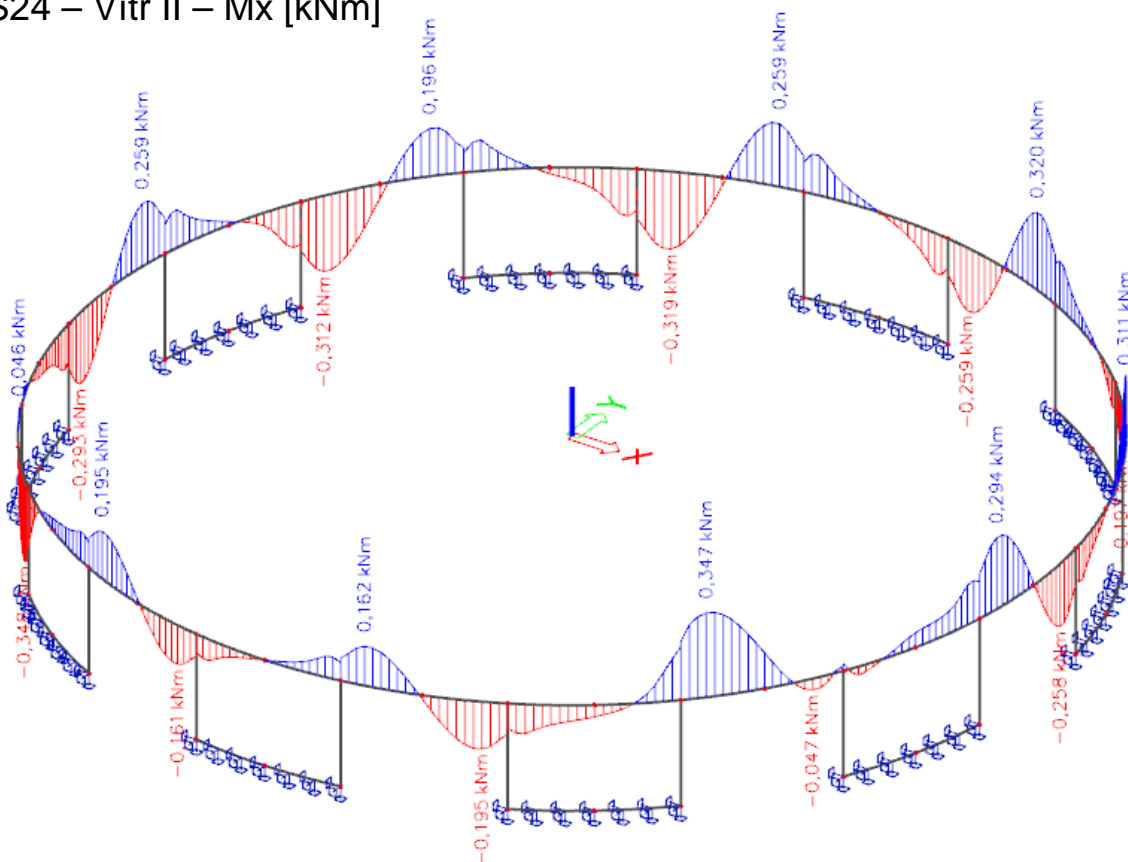
ZS24 – Vítr II – V_y [kN]



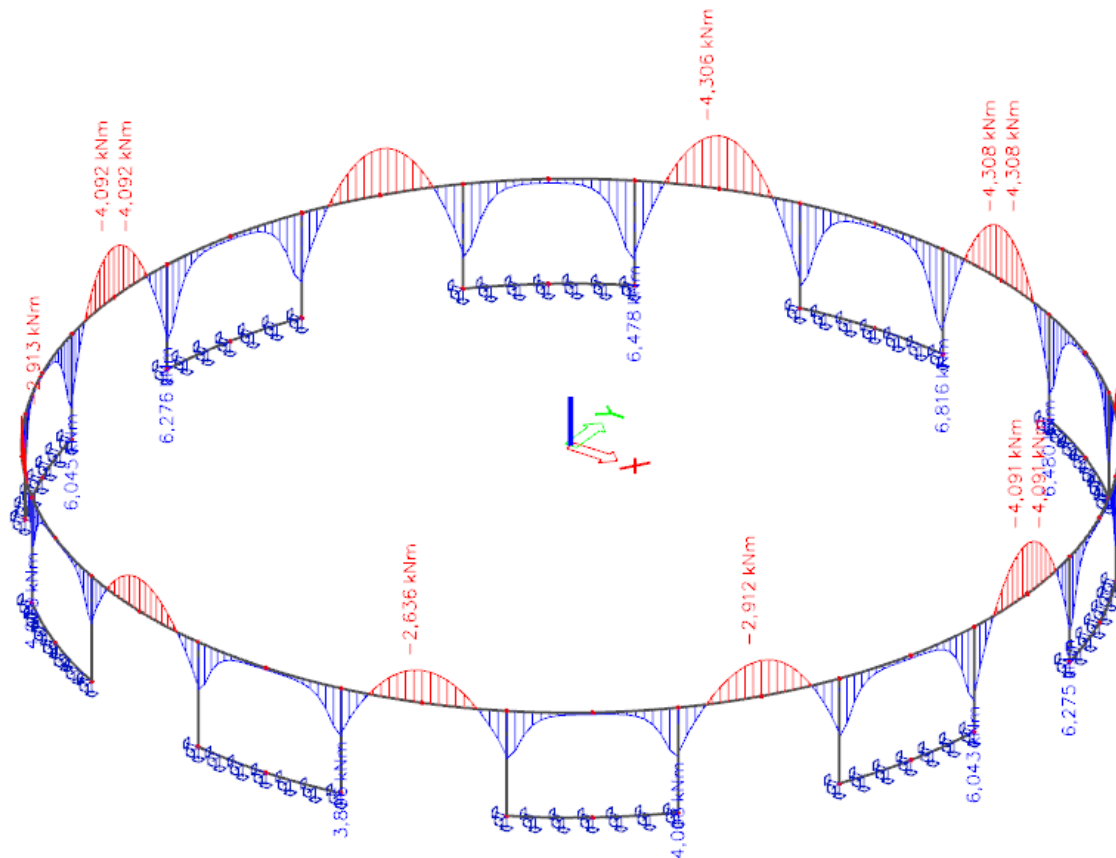
ZS24 – Vítr II – V_z [kN]



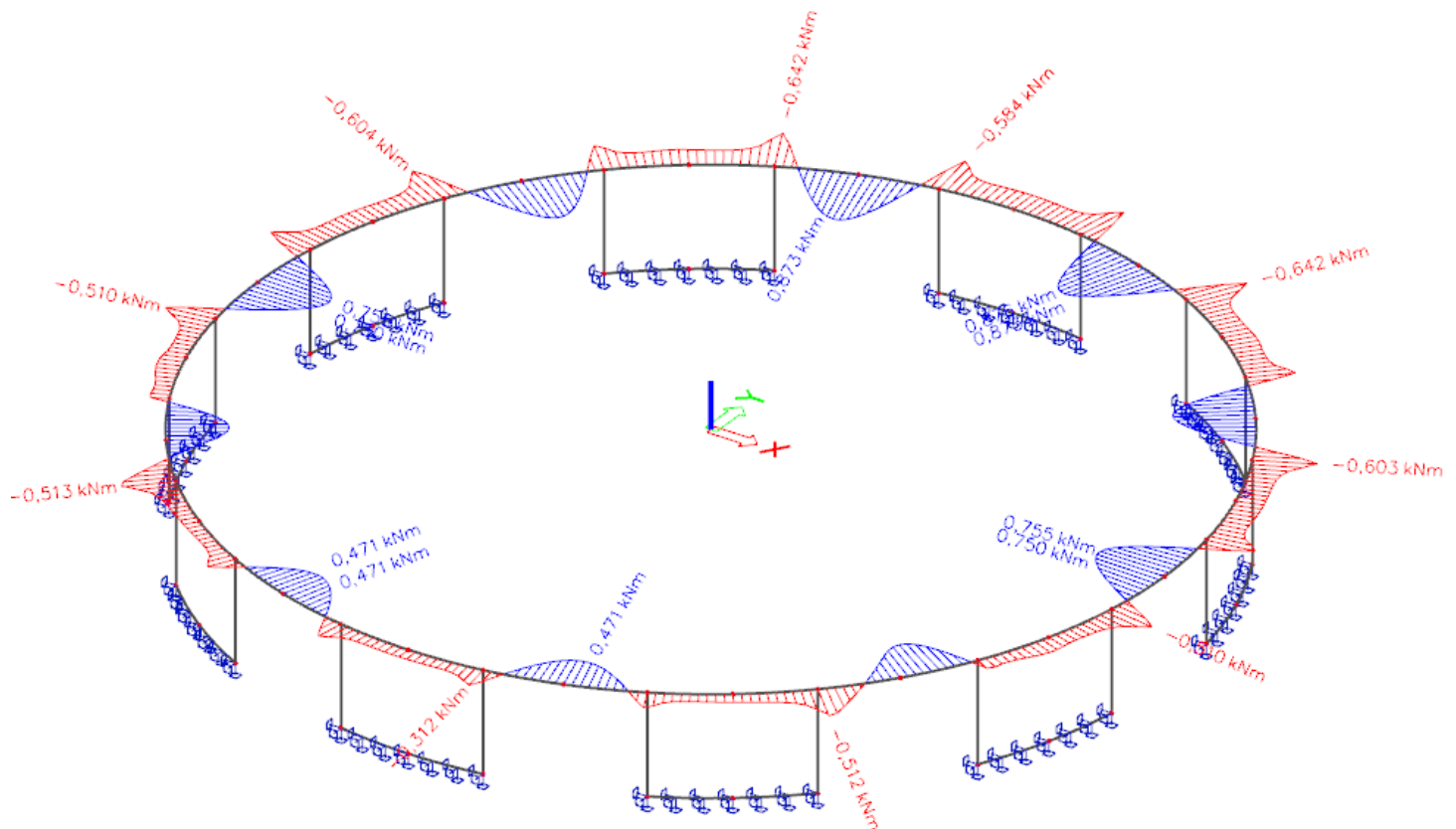
ZS24 – Vitr II – M_x [kNm]



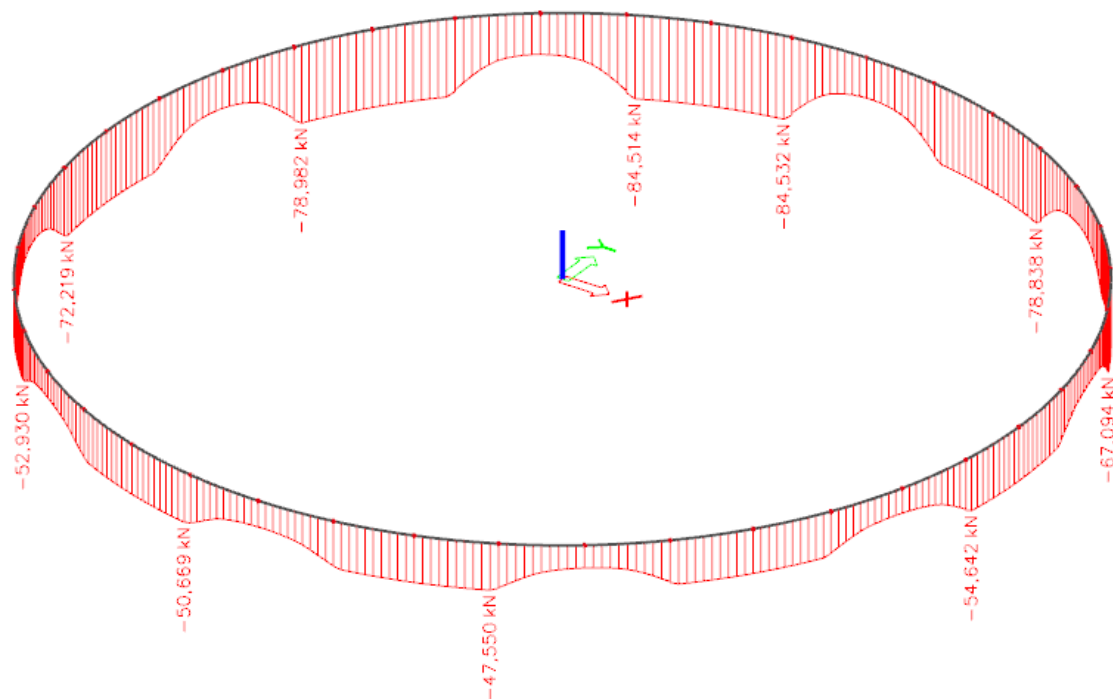
ZS24 – Vitr II – M_y [kNm]



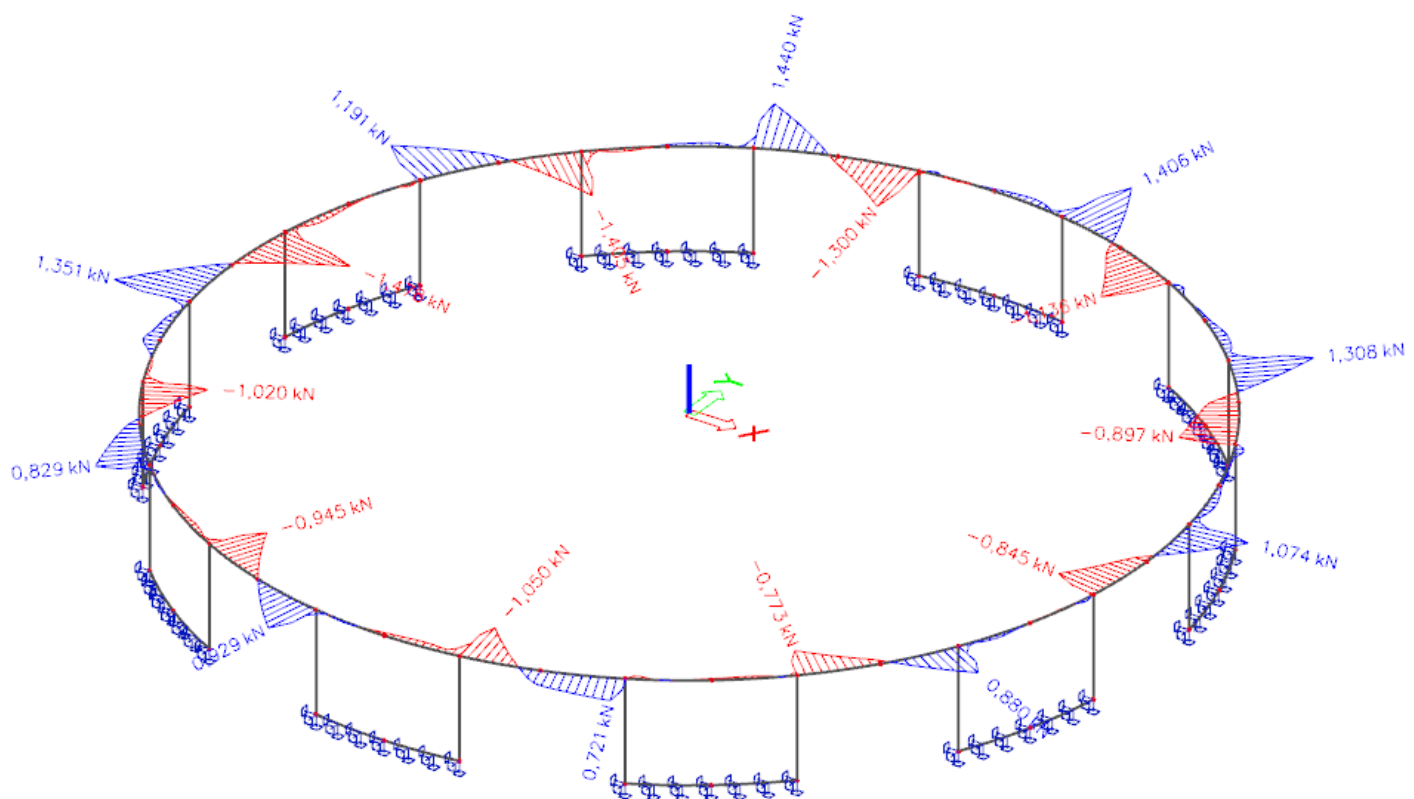
ZS24 – Vítr II – Mz [kNm]



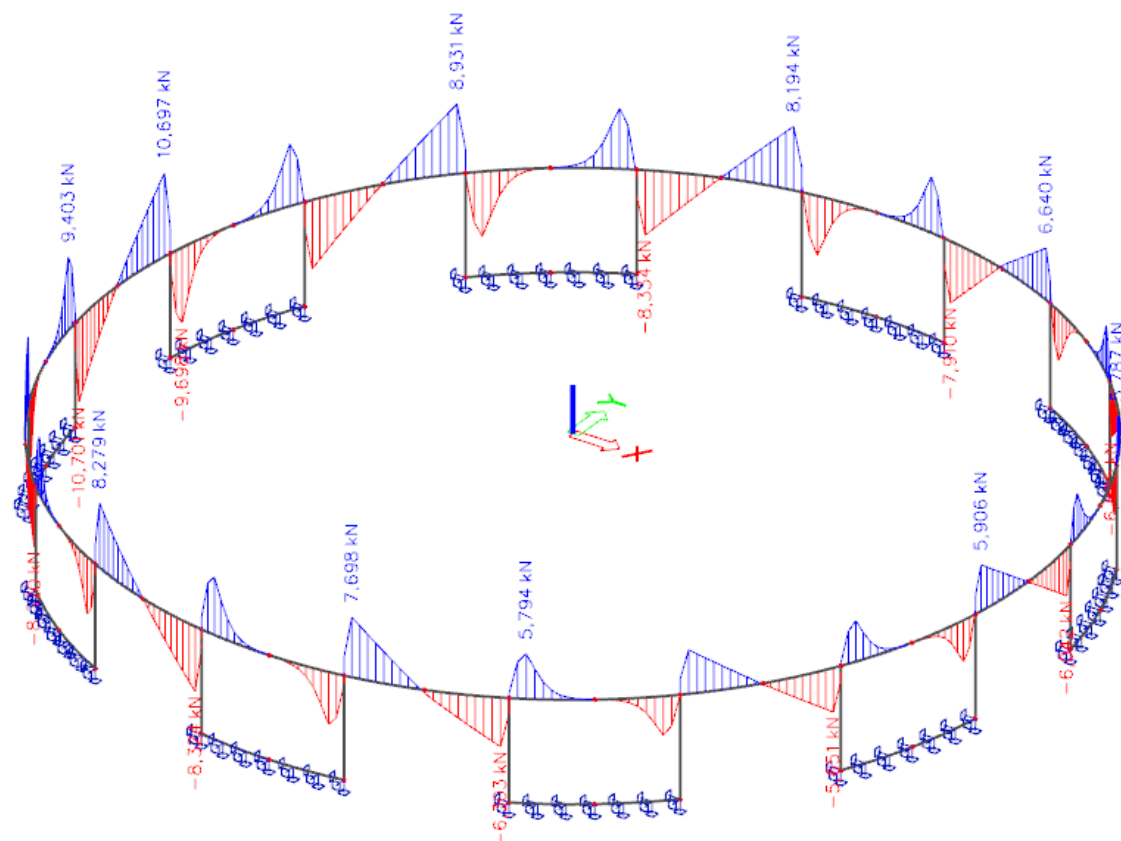
ZS25 – Vítr III – N [kN]



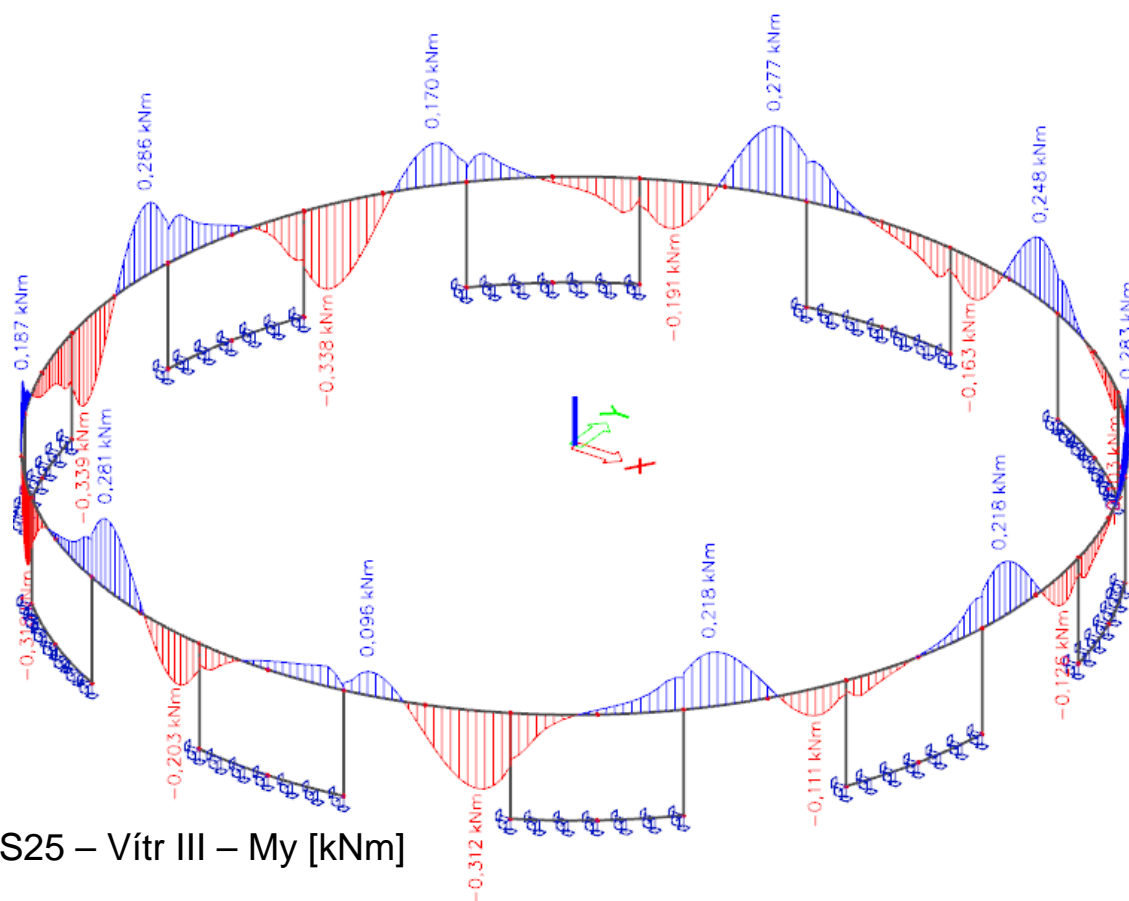
ZS25 – Vítr III – V_y [kN]



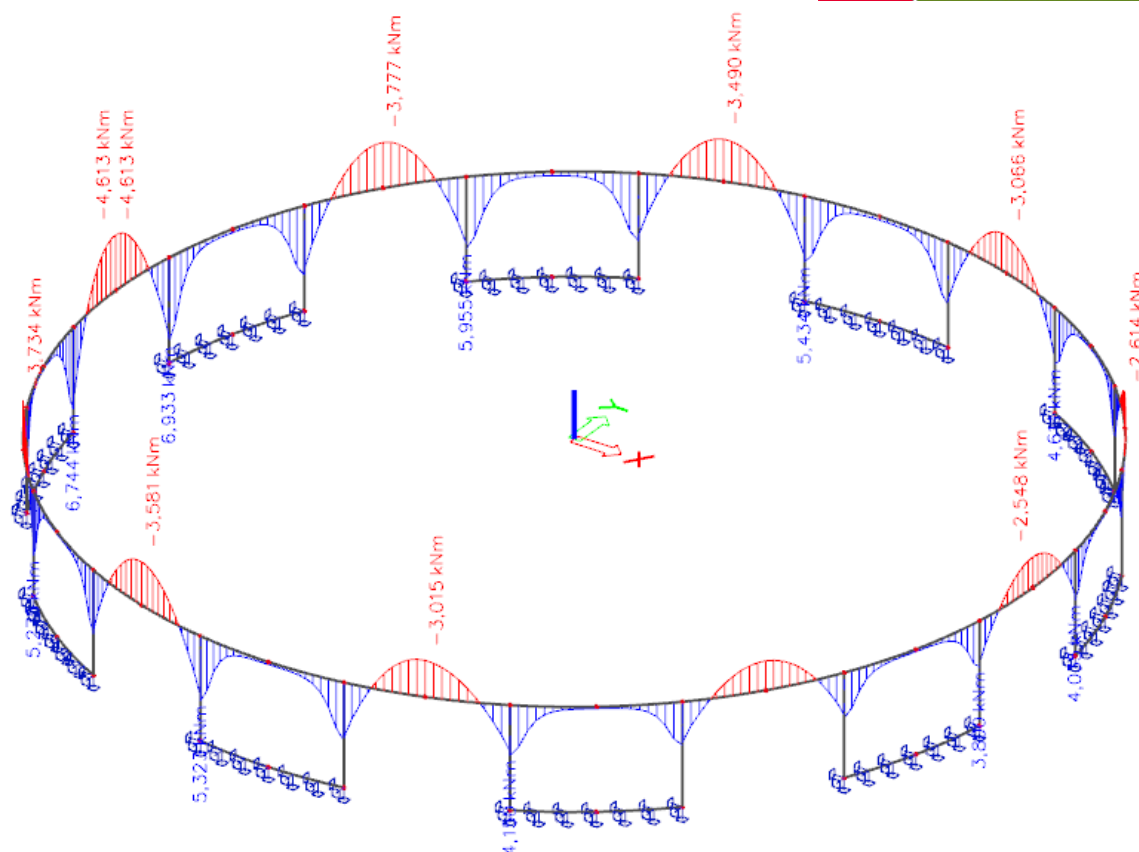
ZS25 – Vítr III – V_z [kN]



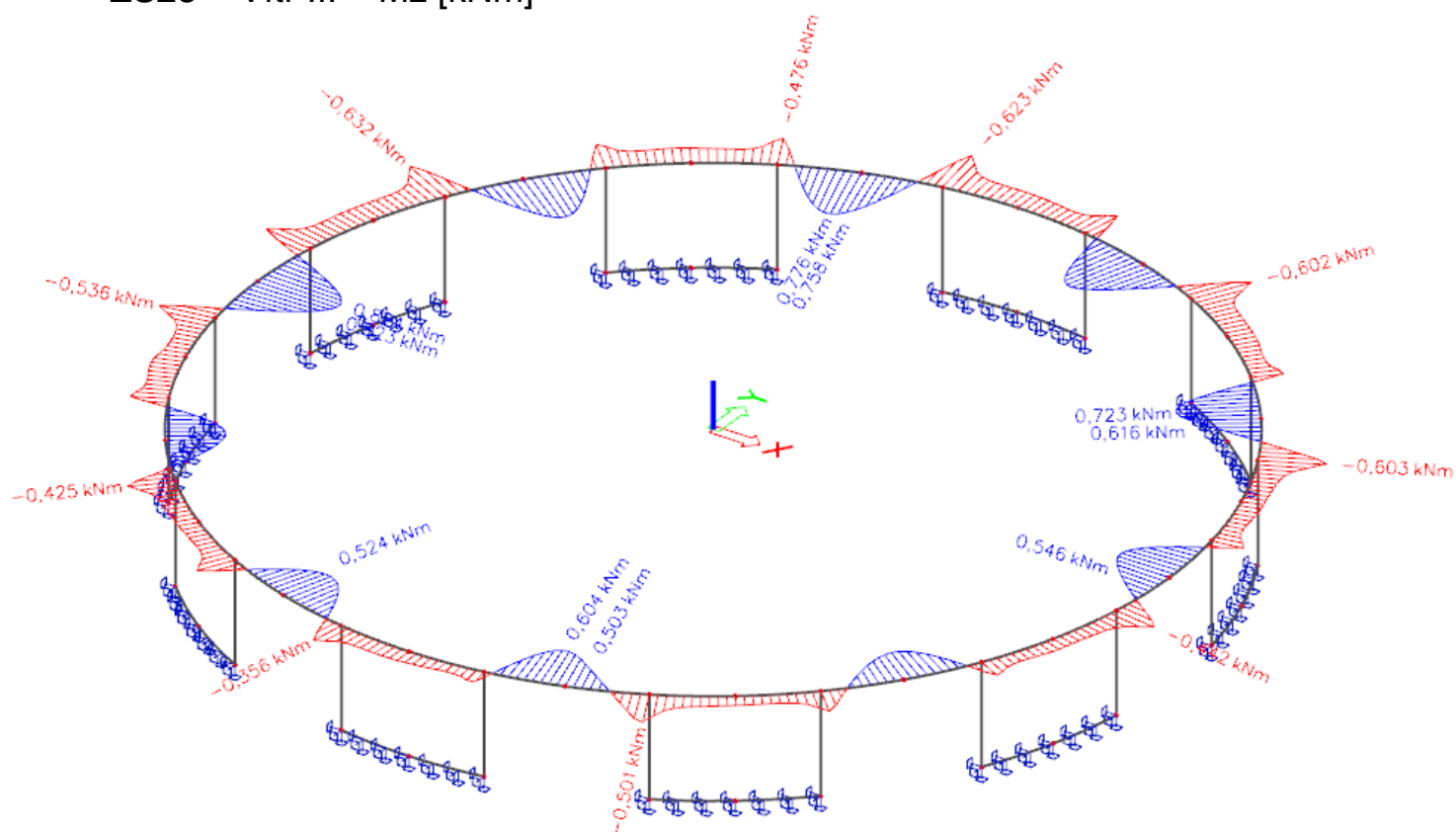
ZS25 – Vitr III – M_x [kNm]



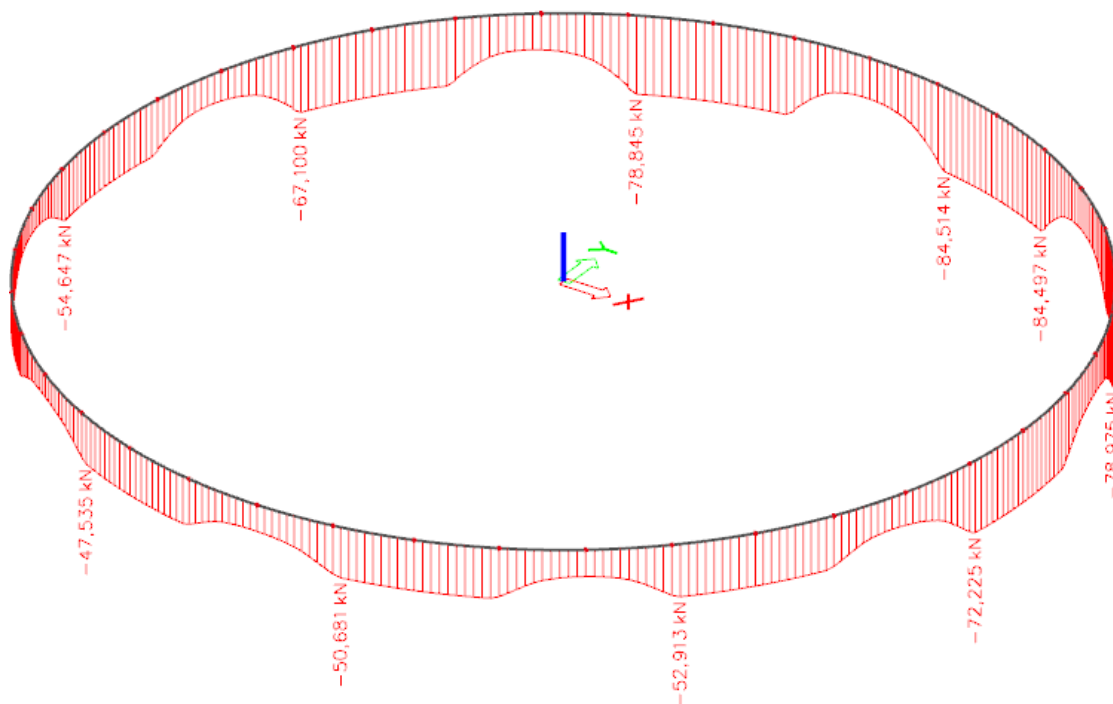
ZS25 – Vitr III – M_y [kNm]



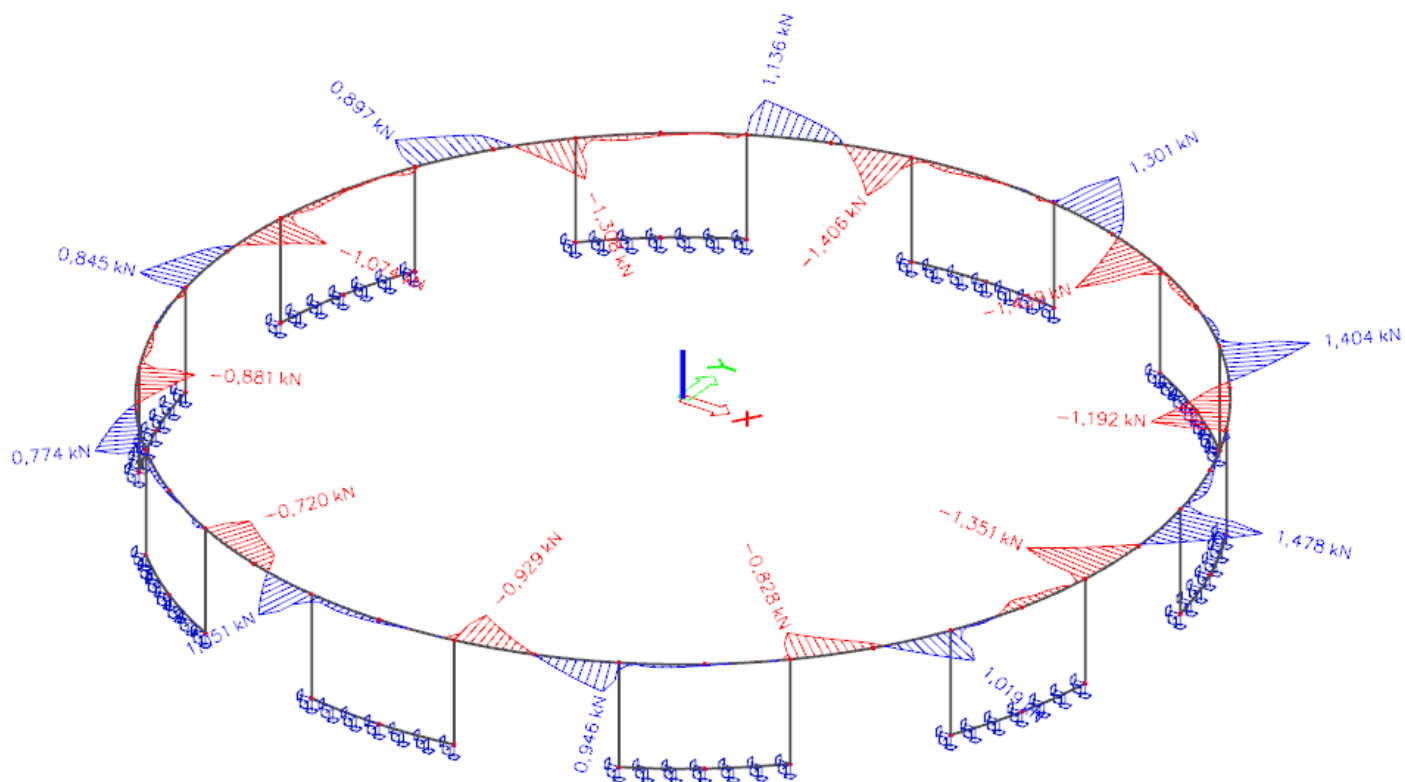
ZS25 – Vítř III – M_z [kNm]



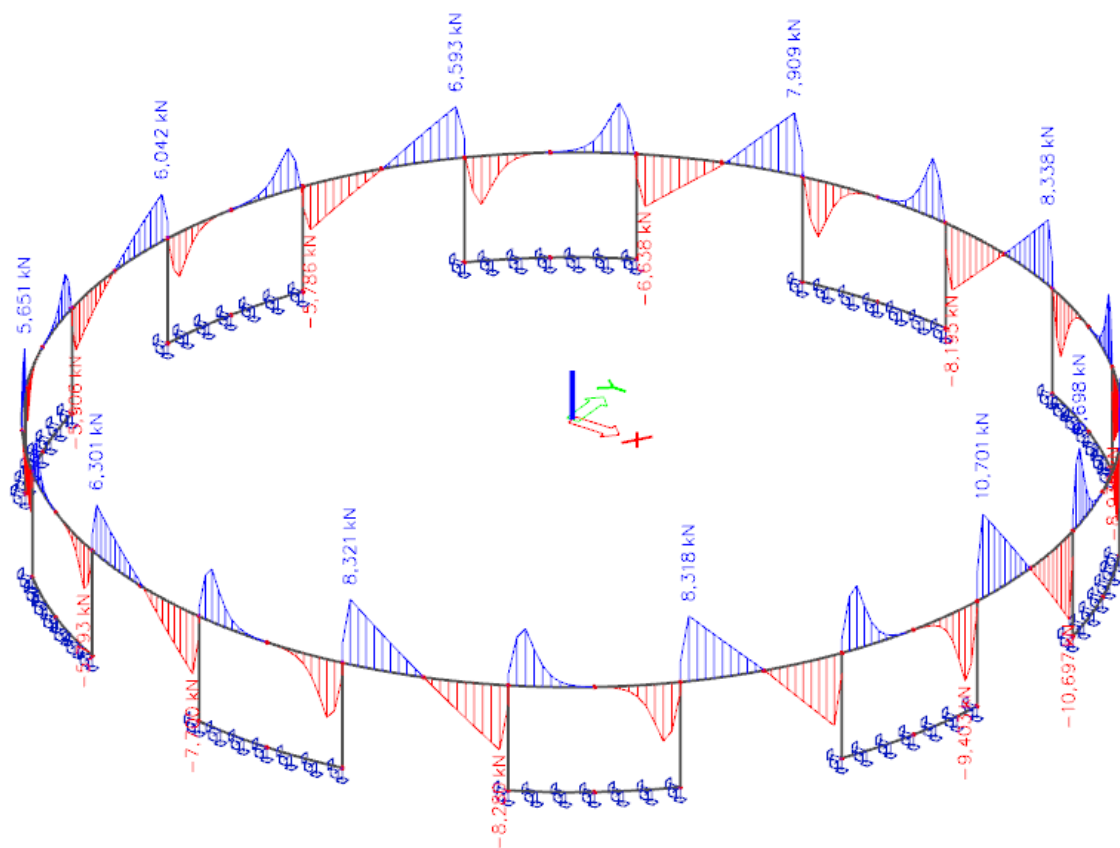
ZS26 – Vítř IV – N [kN]



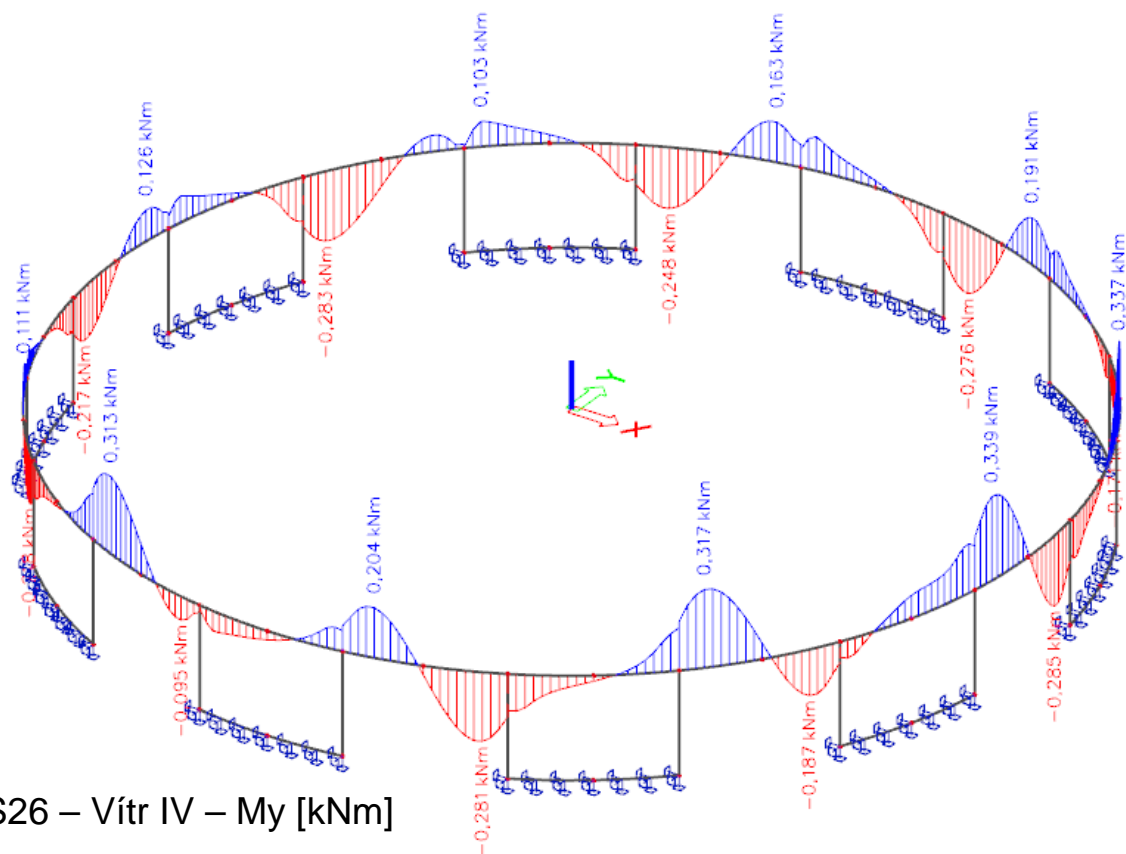
ZS26 – Vítr IV – Vy [kN]



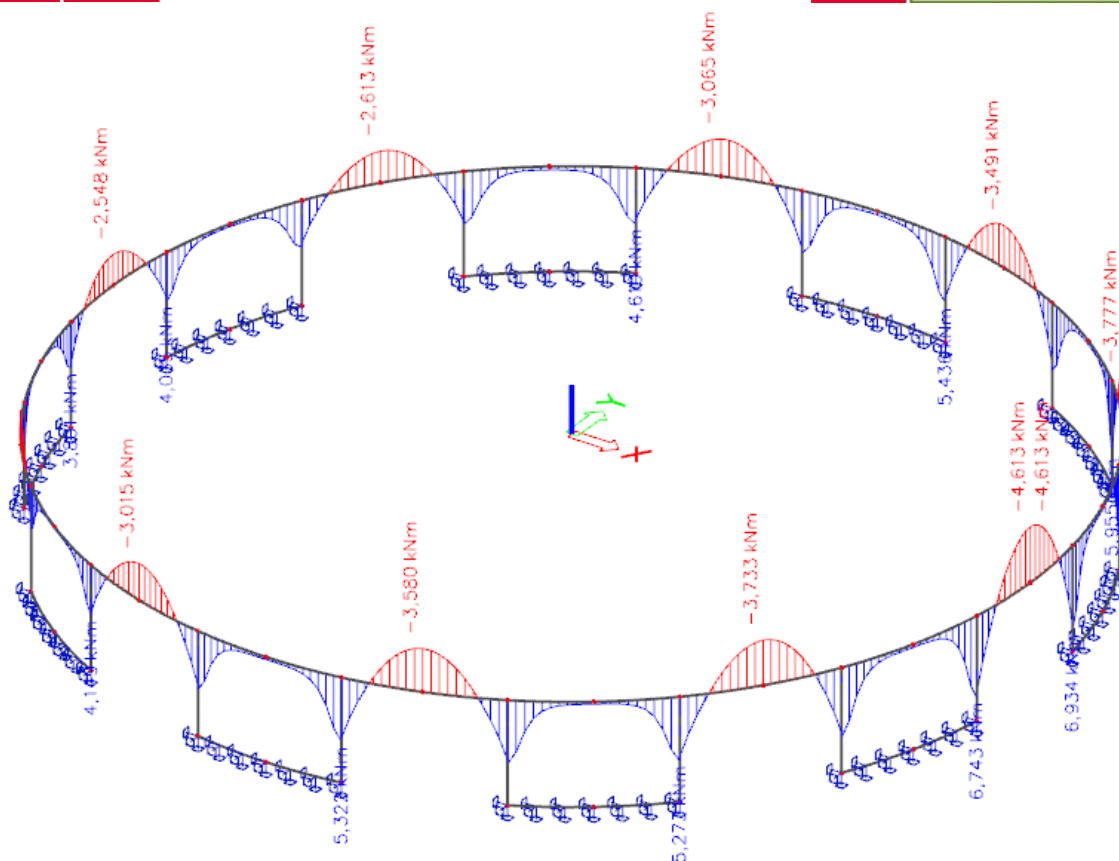
ZS26 – Vítr IV – Vz [kN]



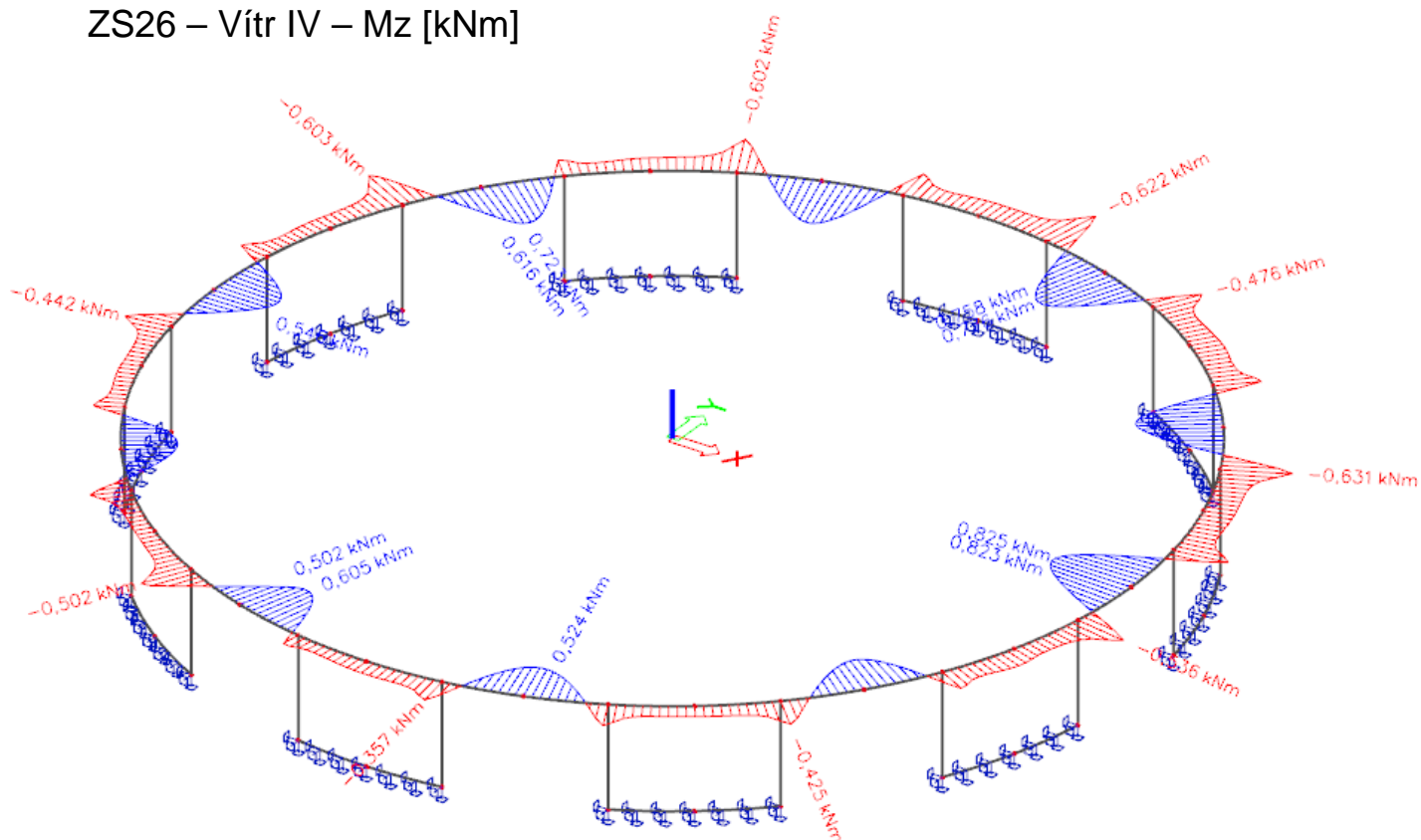
ZS26 – Vitr IV – Mx [kNm]



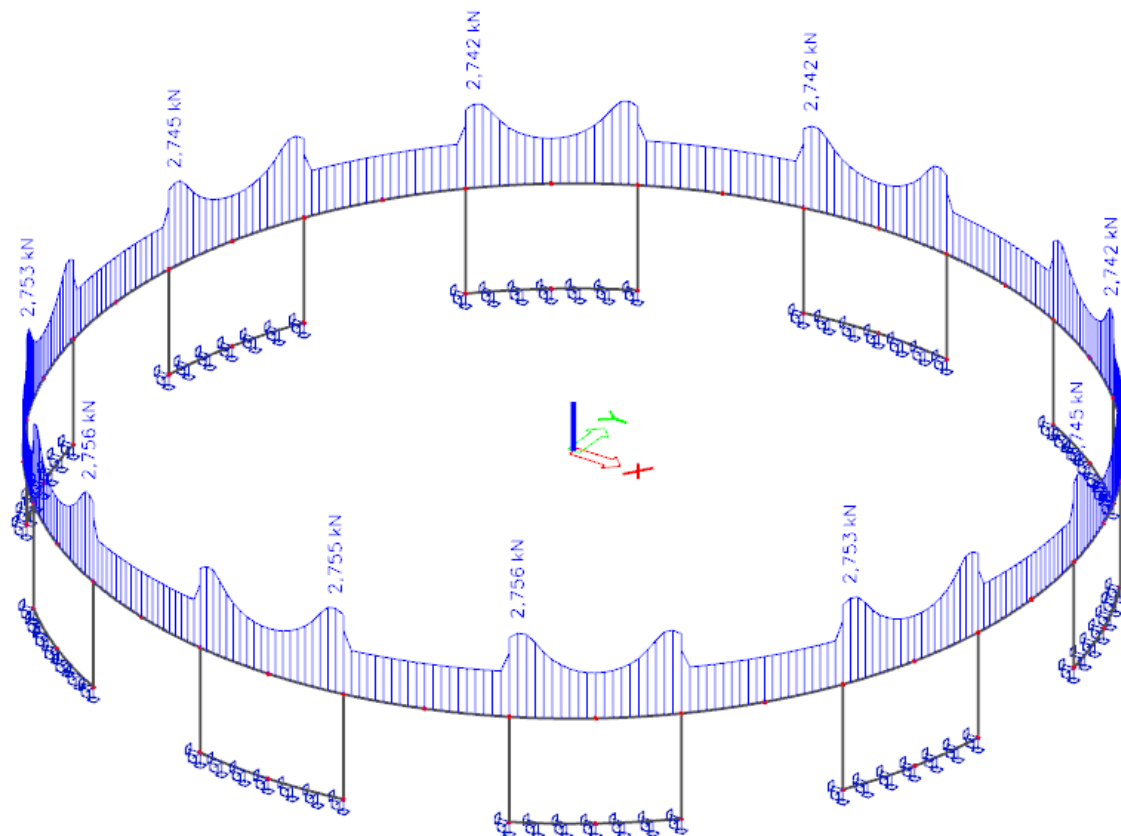
ZS26 – Vitr IV – My [kNm]



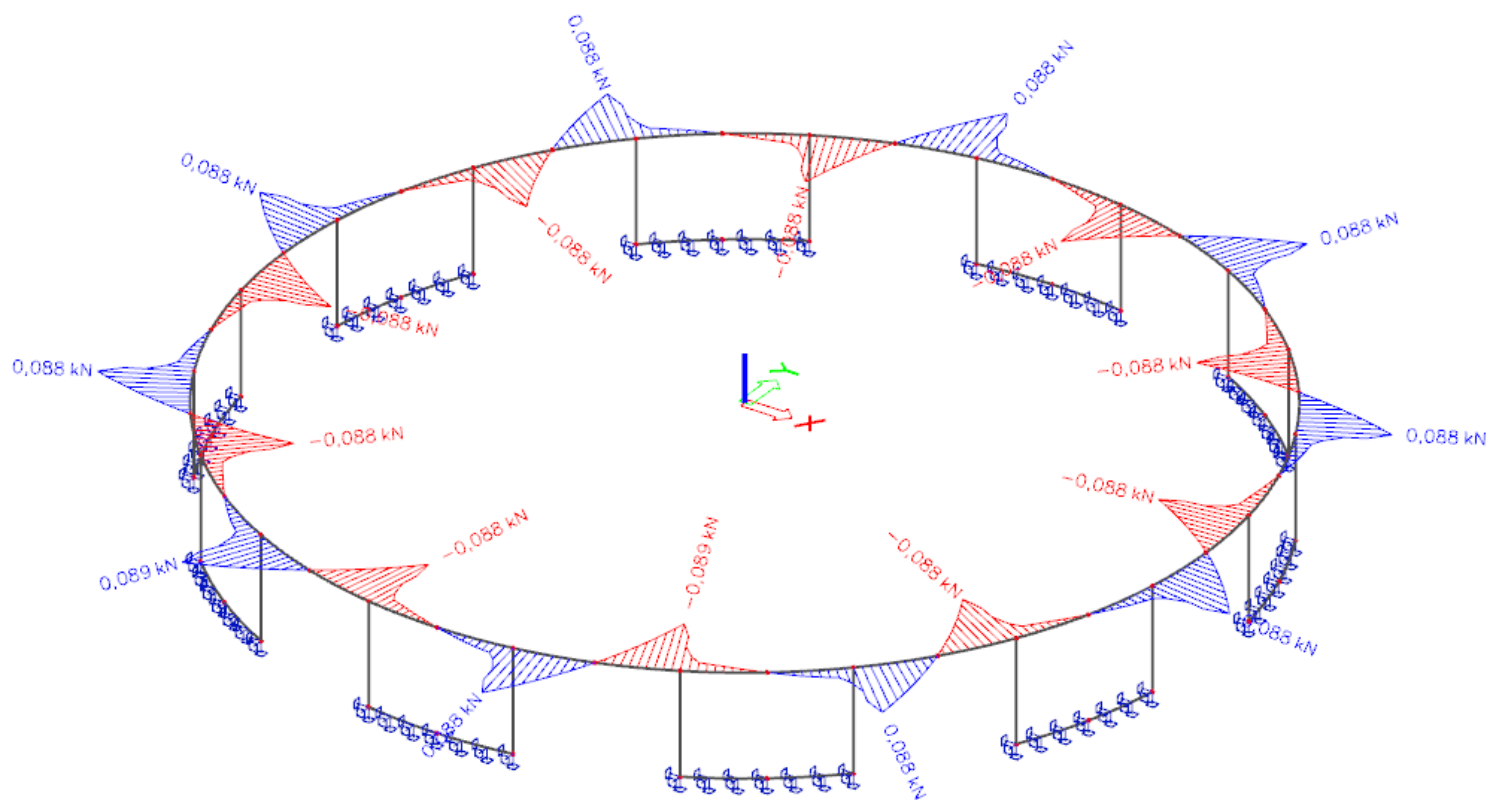
ZS26 – Vítr IV – M_z [kNm]



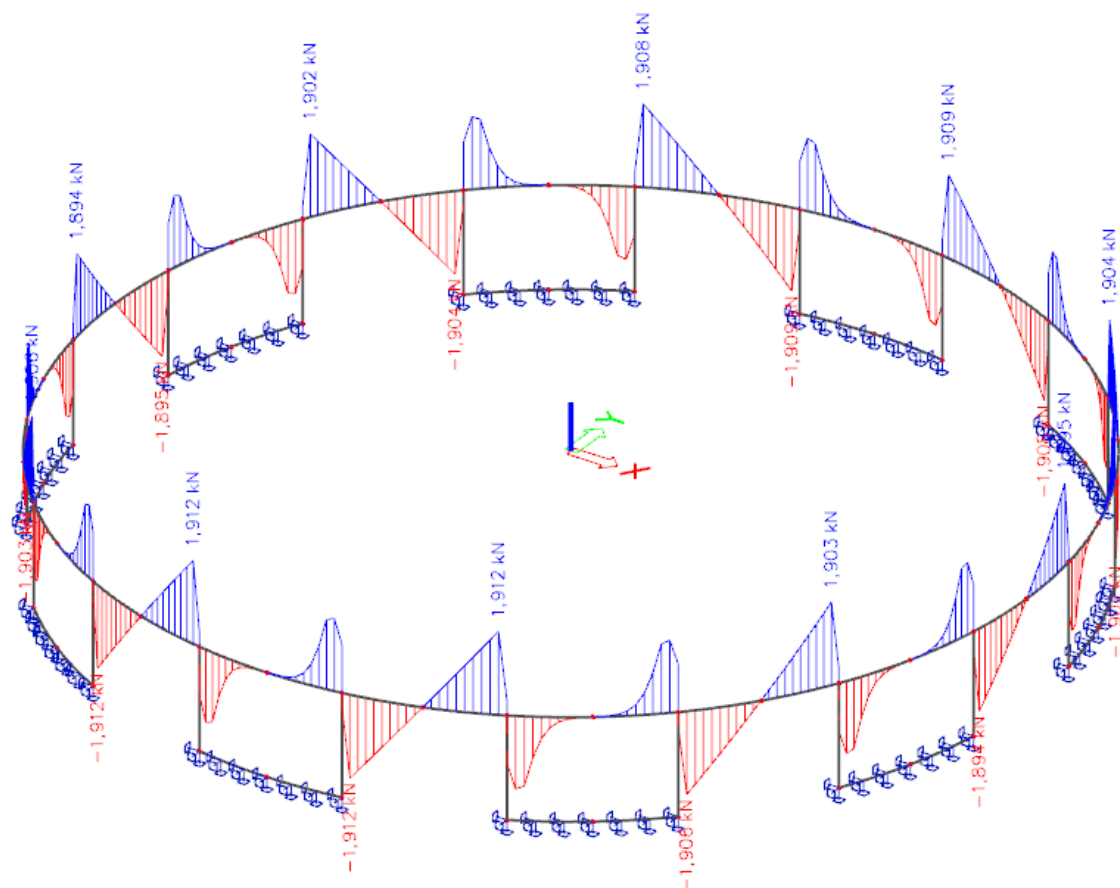
ZS27 – Ost. Stálé – N [kN]



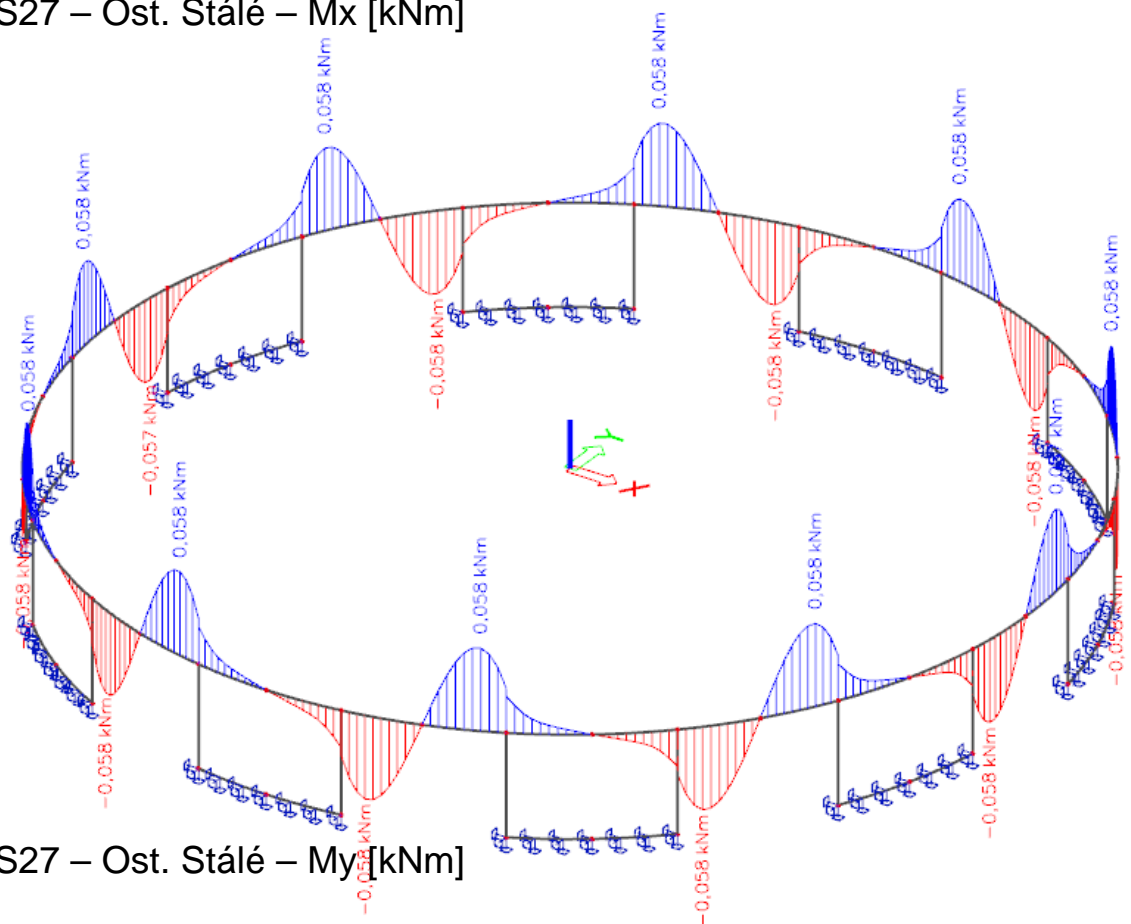
ZS27 – Ost. Stálé – V_y [kN]



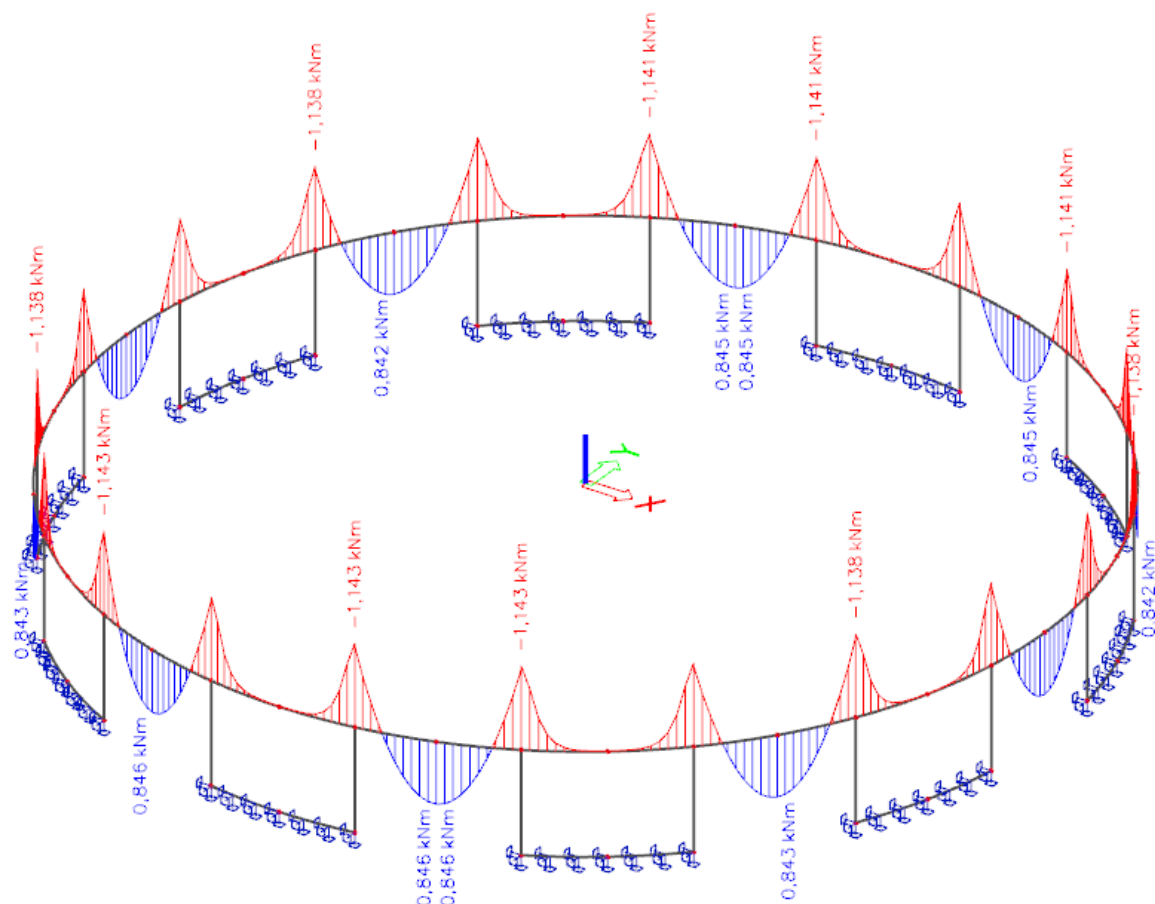
ZS27 – Ost. Stálé – V_z [kN]



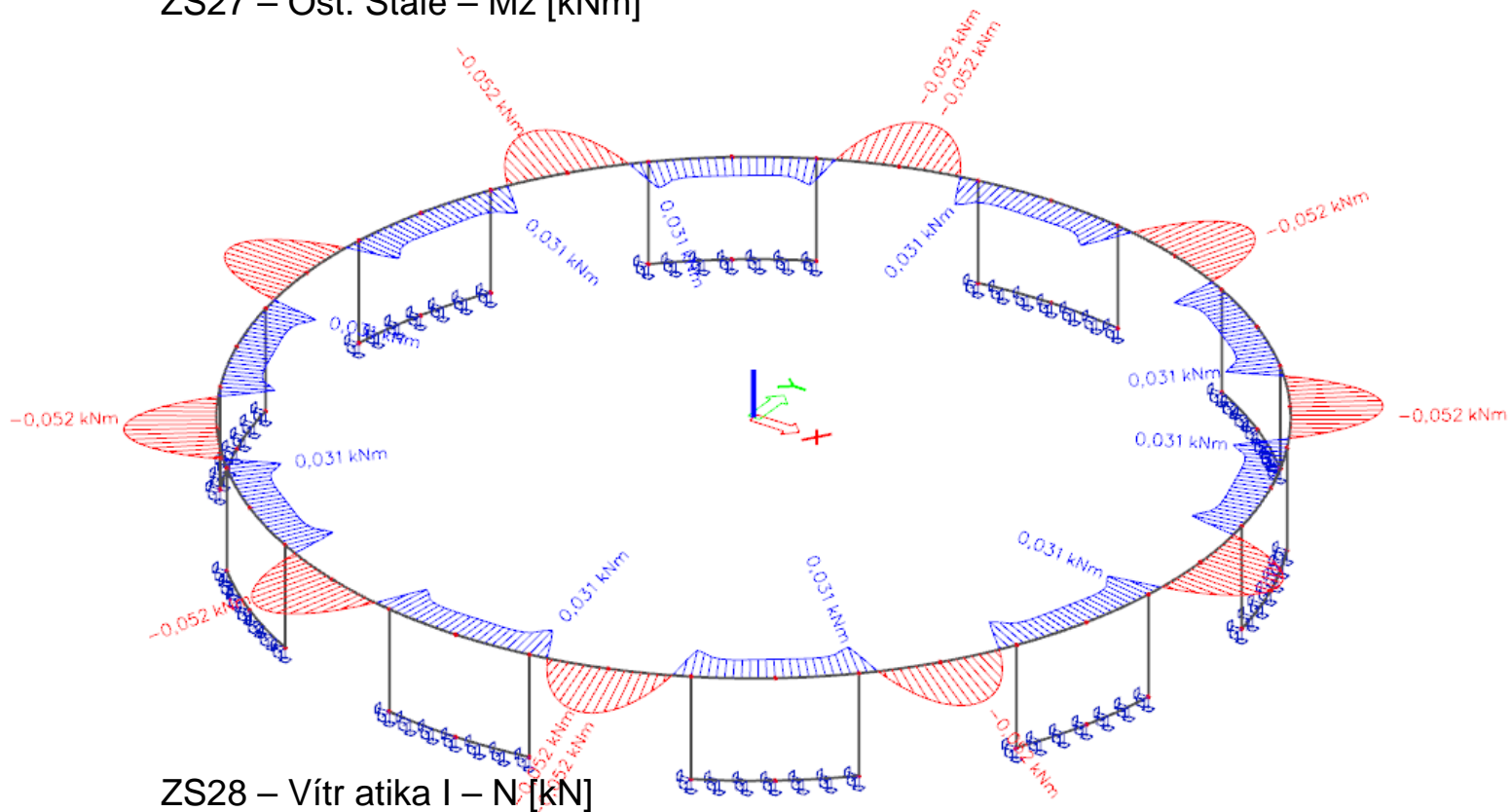
ZS27 – Ost. Stálé – M_x [kNm]



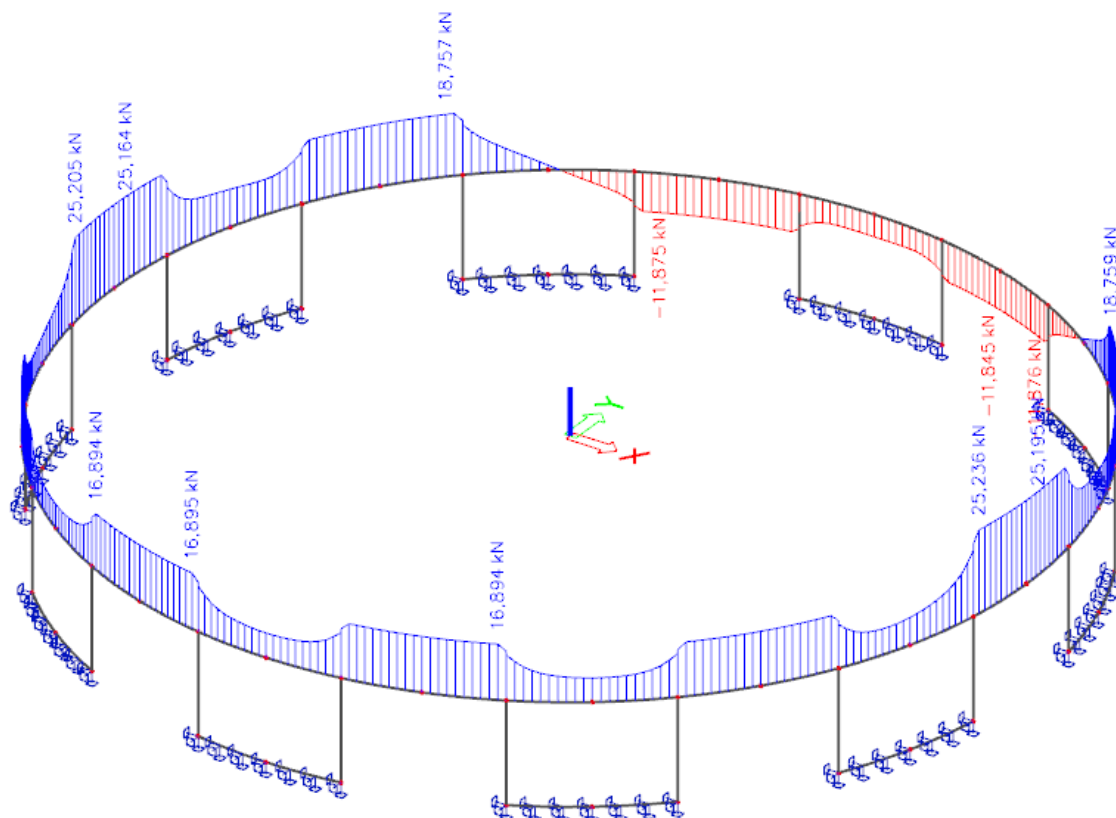
ZS27 – Ost. Stálé – M_y [kNm]



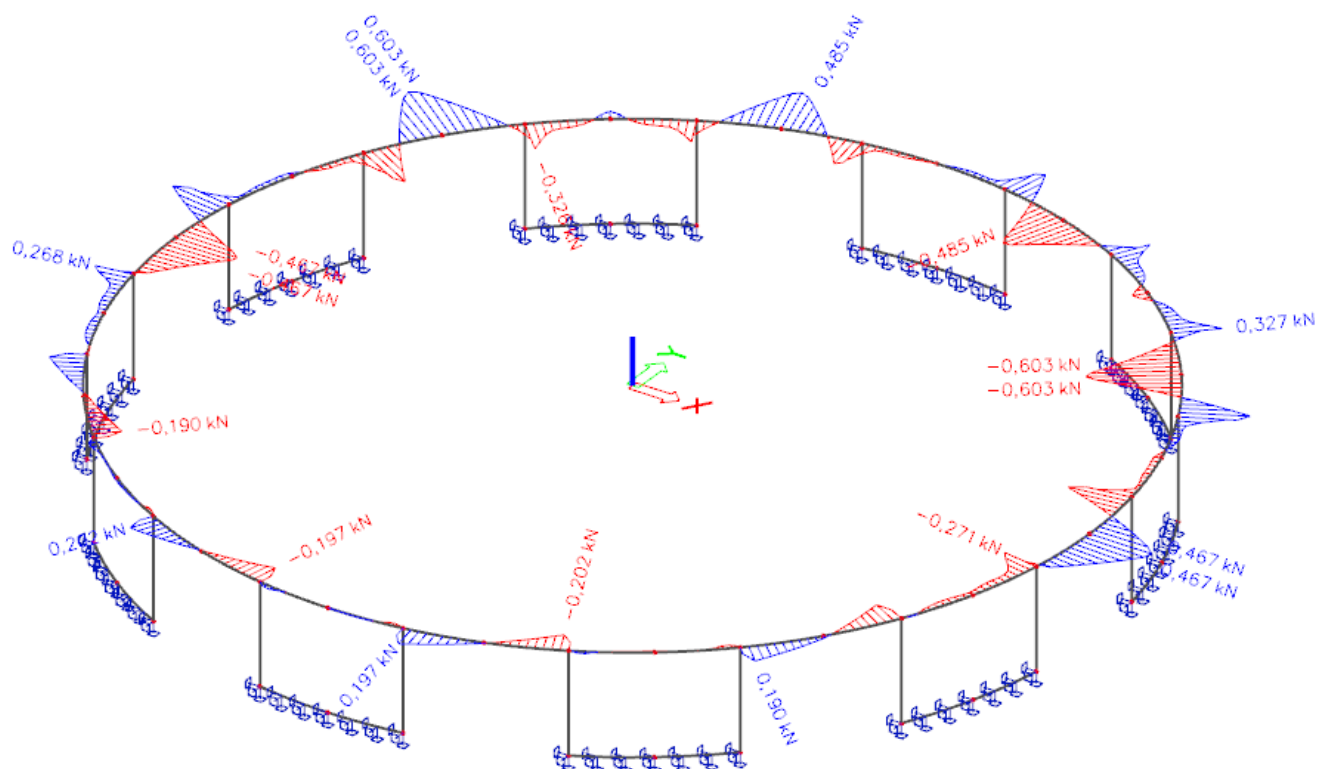
ZS27 – Ost. Stálé – M_z [kNm]



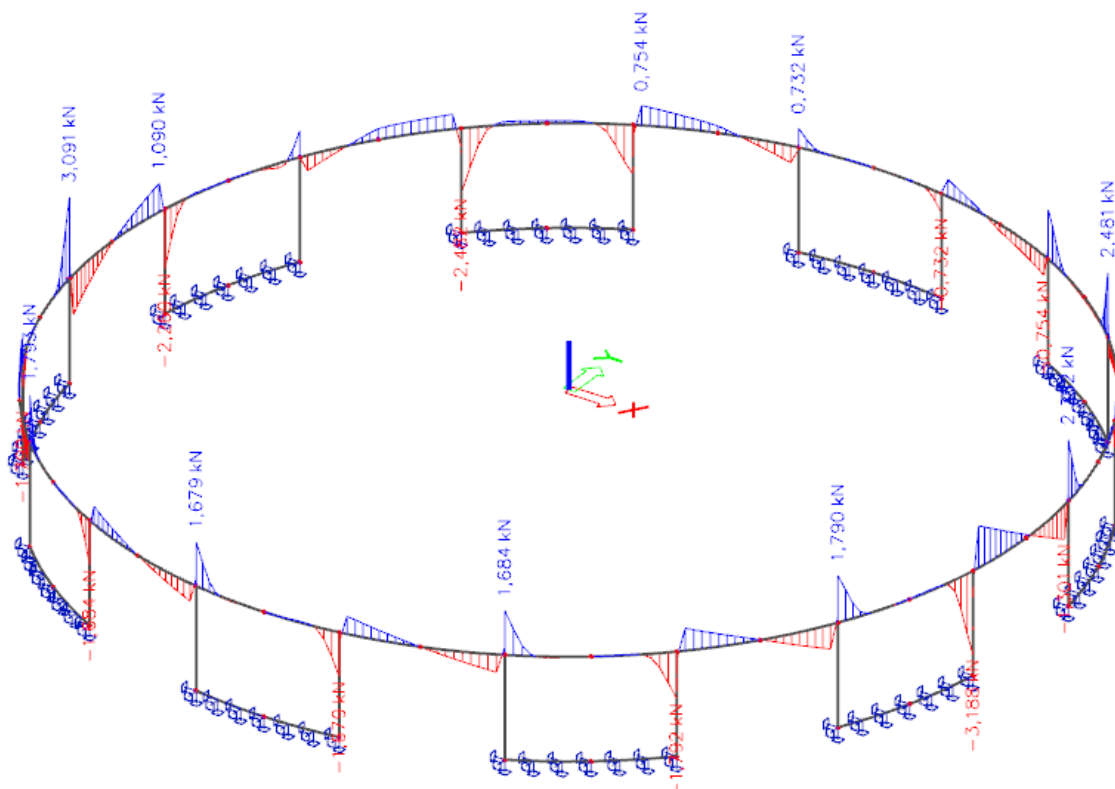
ZS28 – Vítř atika I – N [kN]



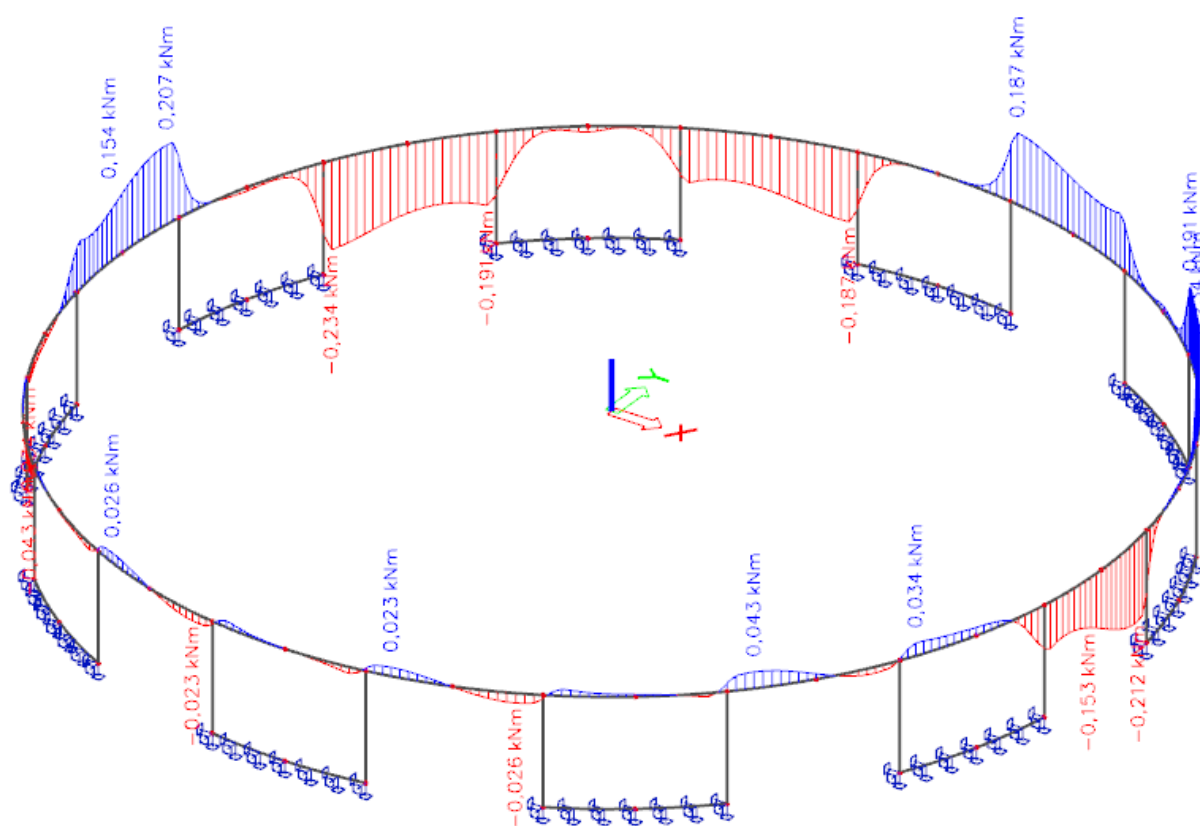
ZS28 – Vítř atika I – Vy [kN]



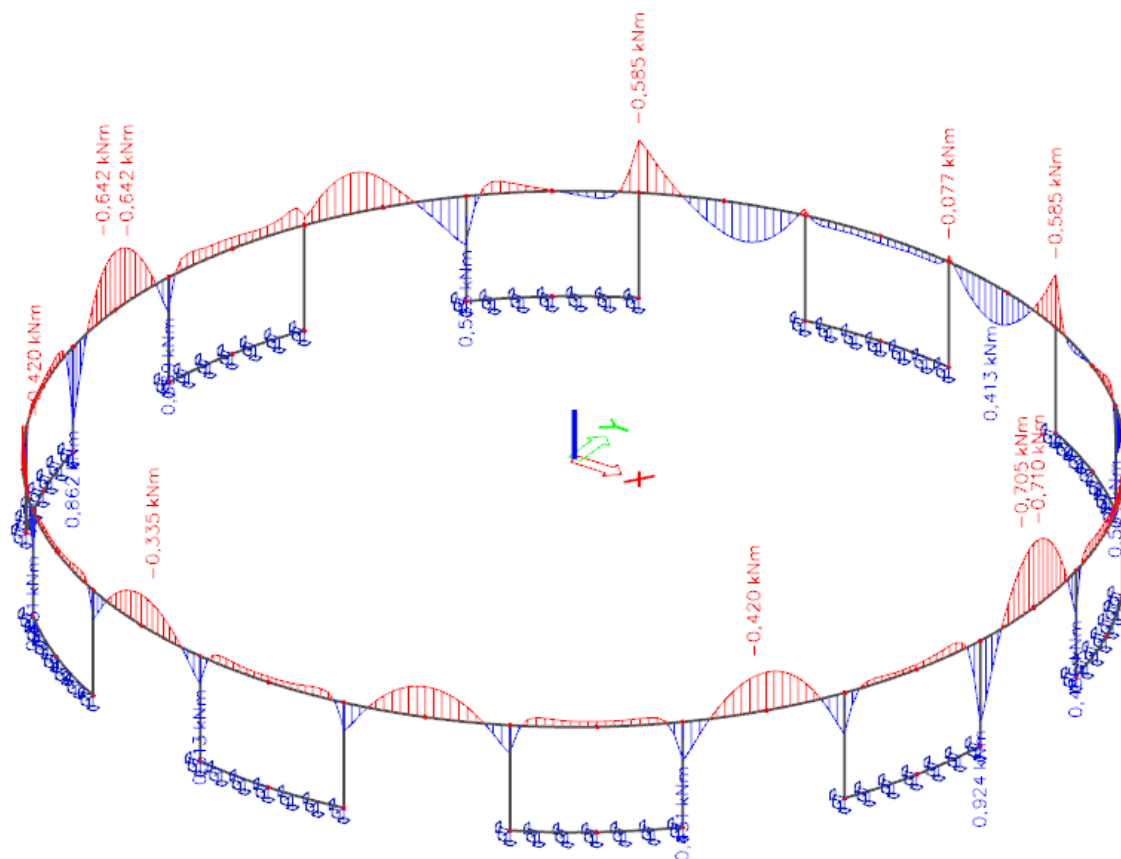
ZS28 – Vítř atika I – Vz [kN]



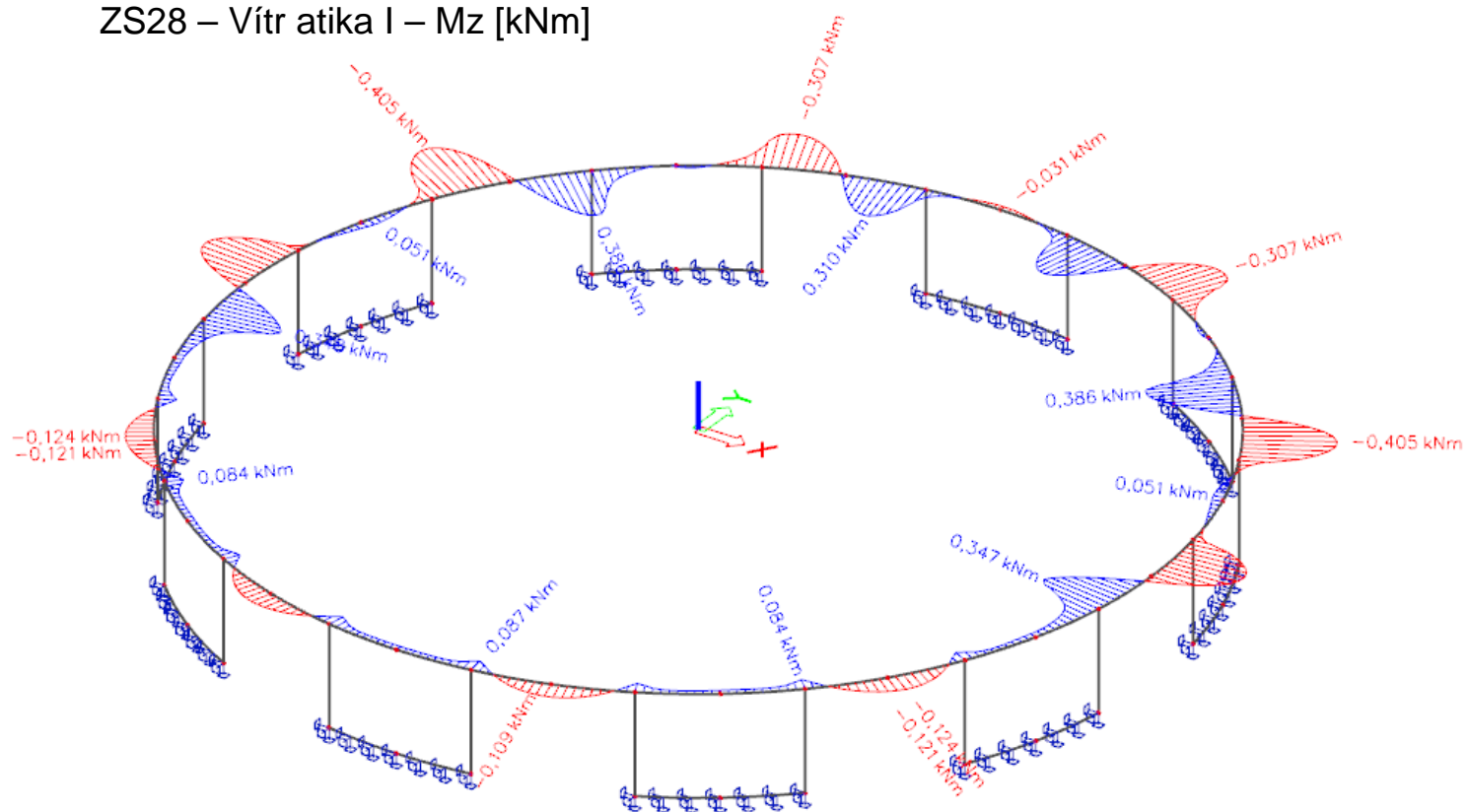
ZS28 – Vítr atika I – Mx [kNm]



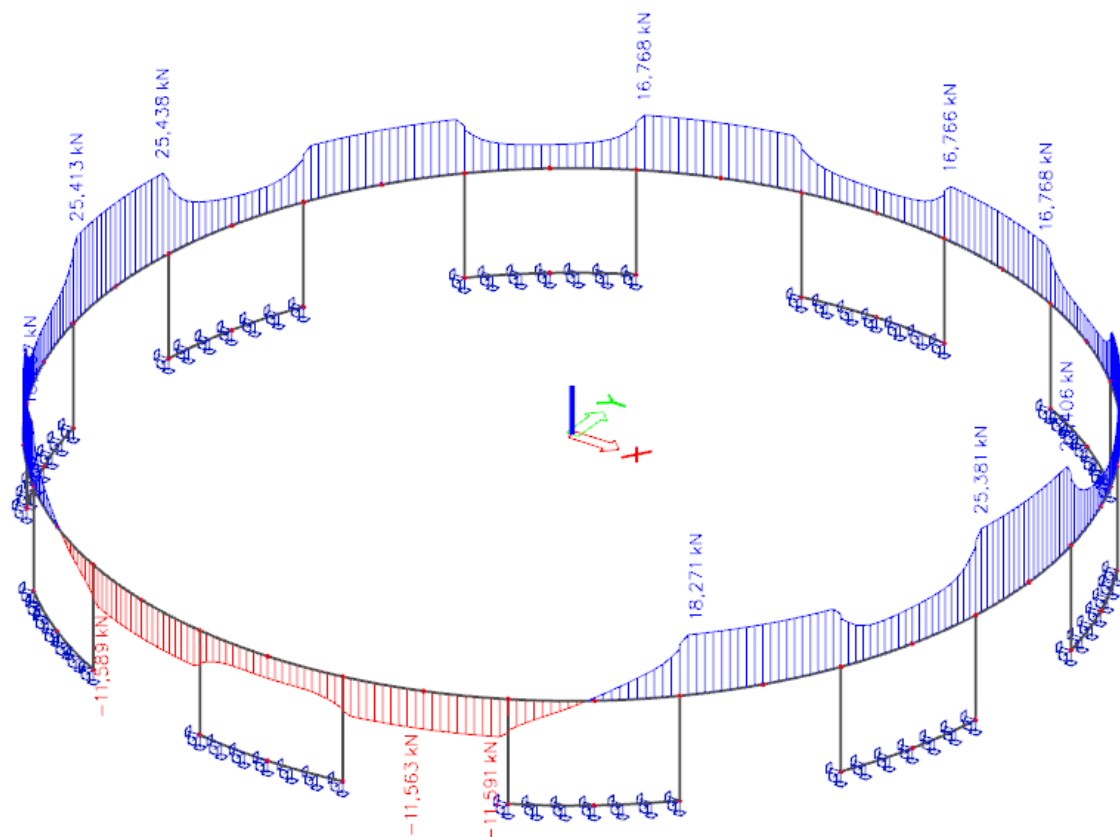
ZS28 – Vítr atika I – My [kNm]



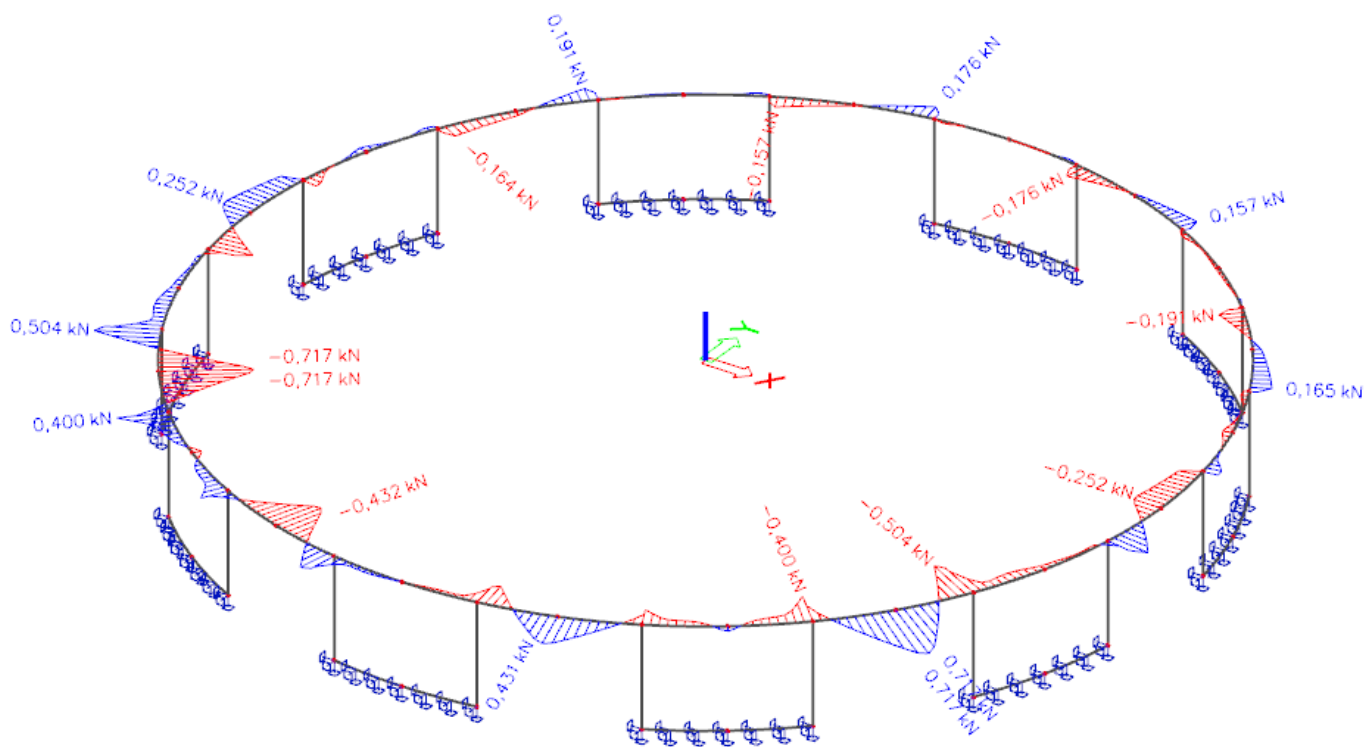
ZS28 – Vitr atika I – Mz [kNm]



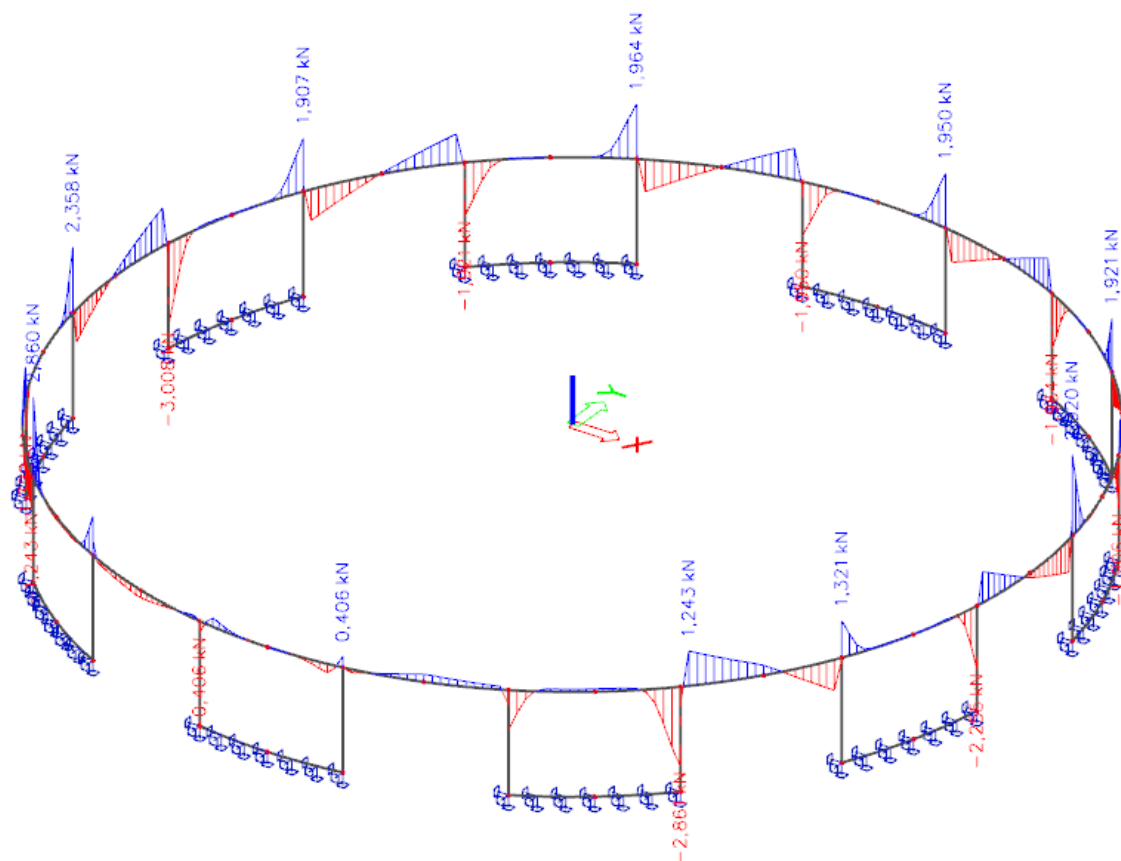
ZS29 – Vitr atika II – N [kN]



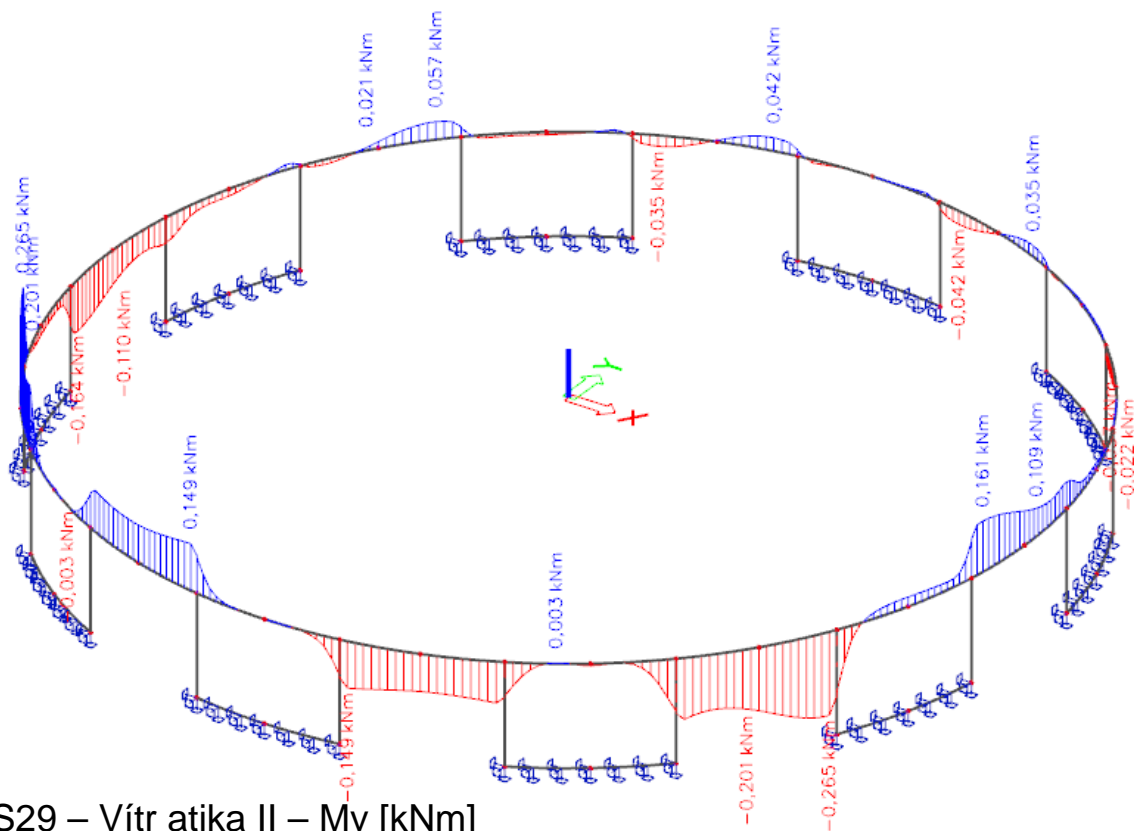
ZS29 – Vítr atika II – V_y [kN]



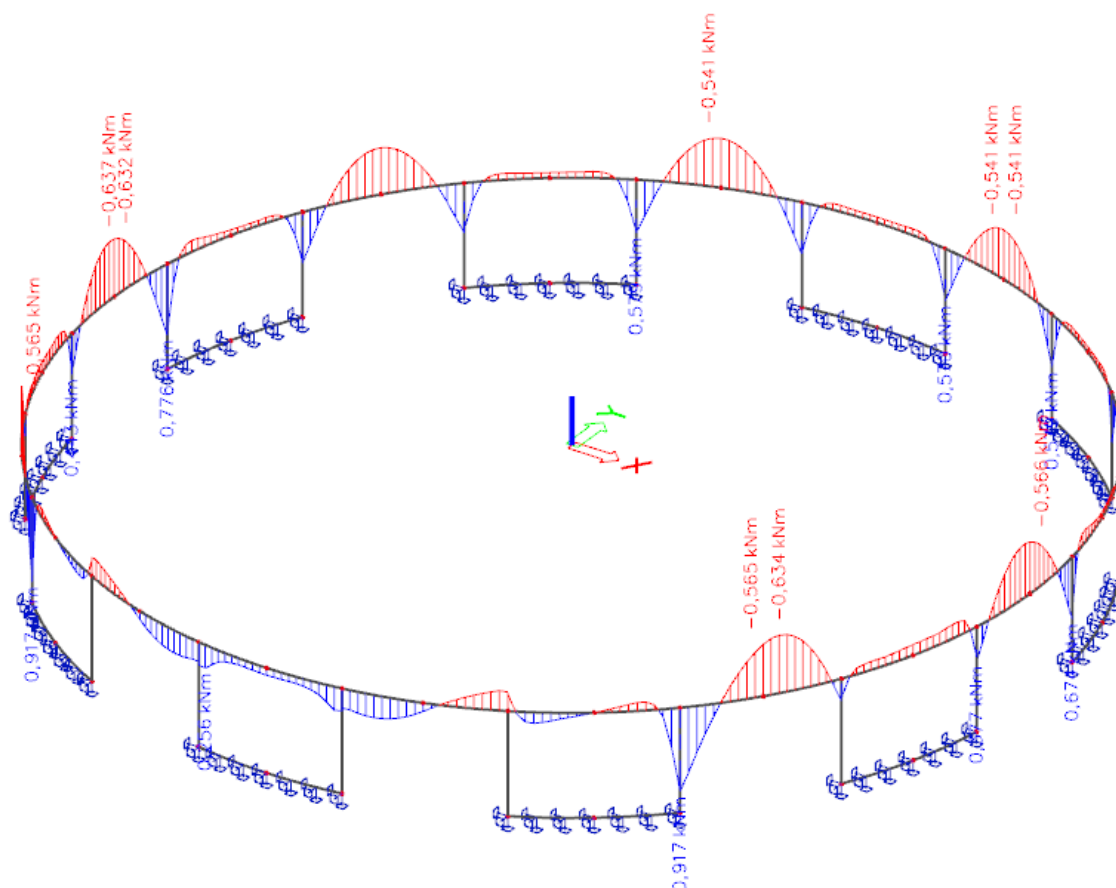
ZS29 – Vítr atika II – V_z [kN]



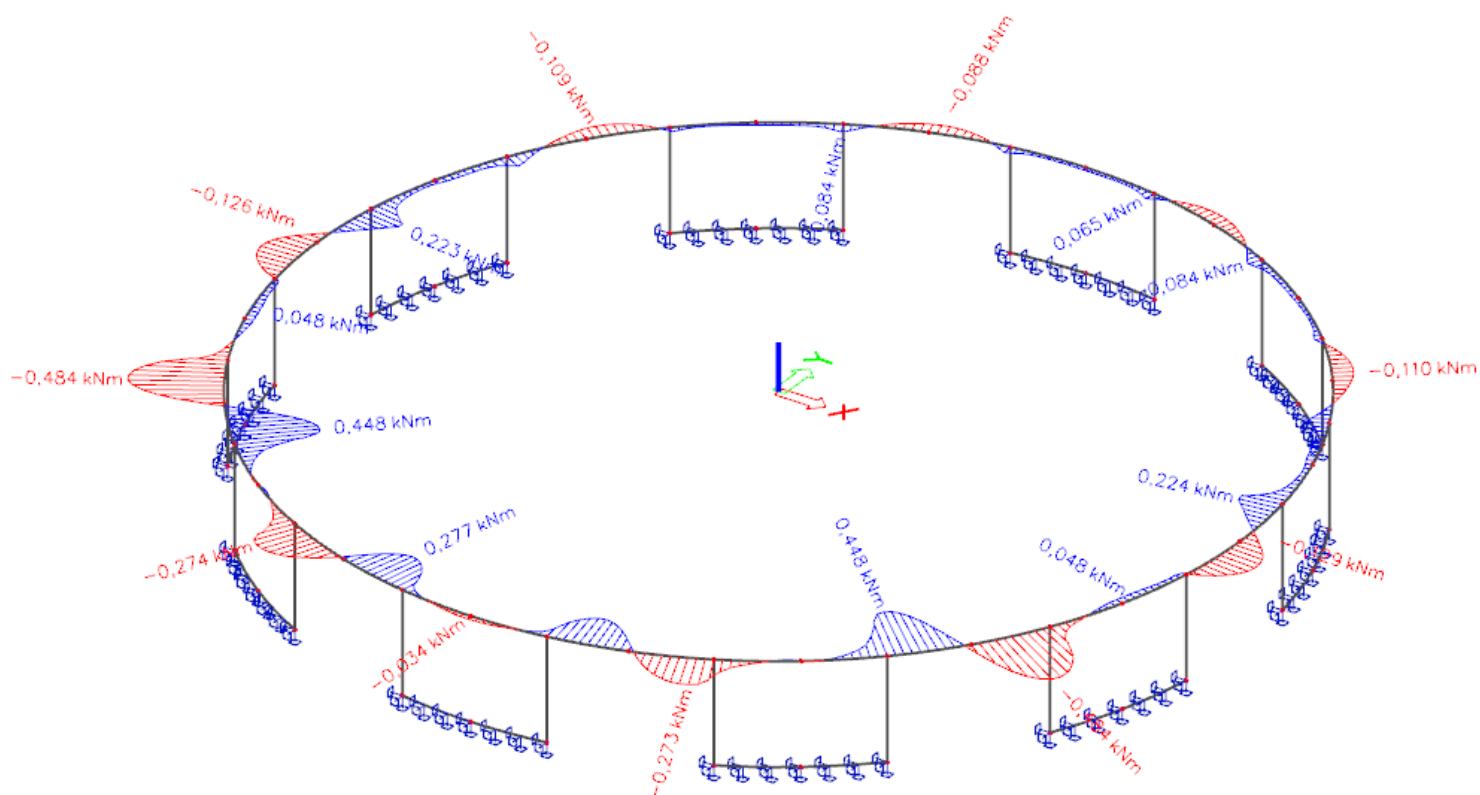
ZS29 – Vitr atika II – Mx [kNm]



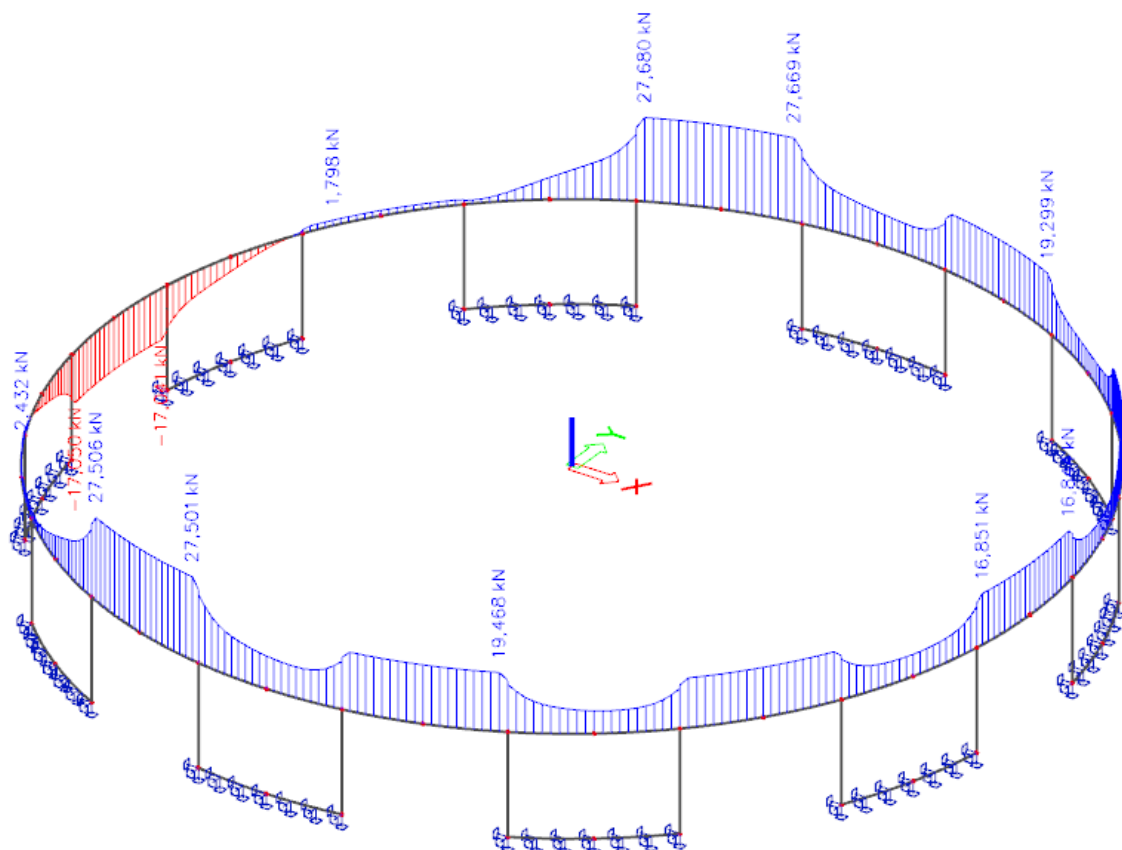
ZS29 – Vitr atika II – My [kNm]



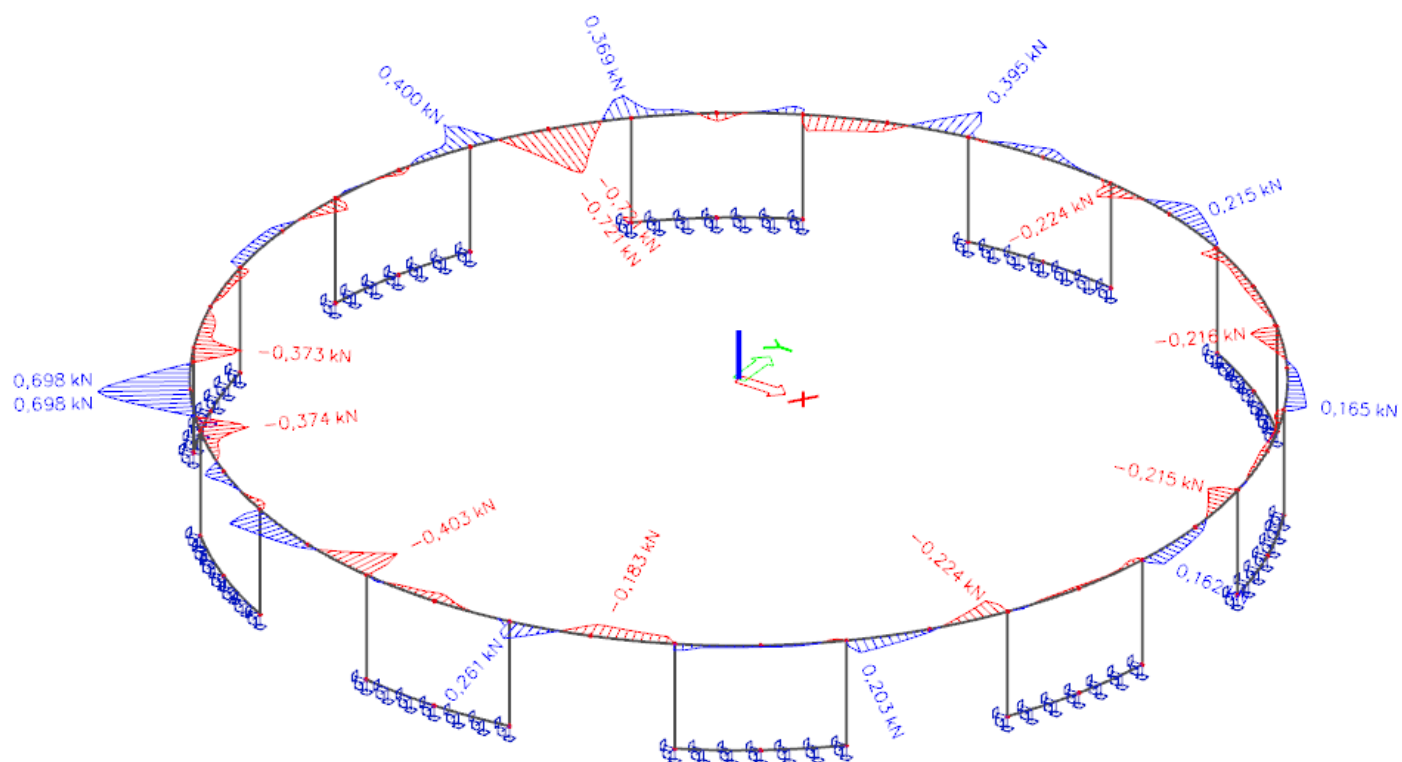
ZS29 – Vítr atika II – Mz [kNm]



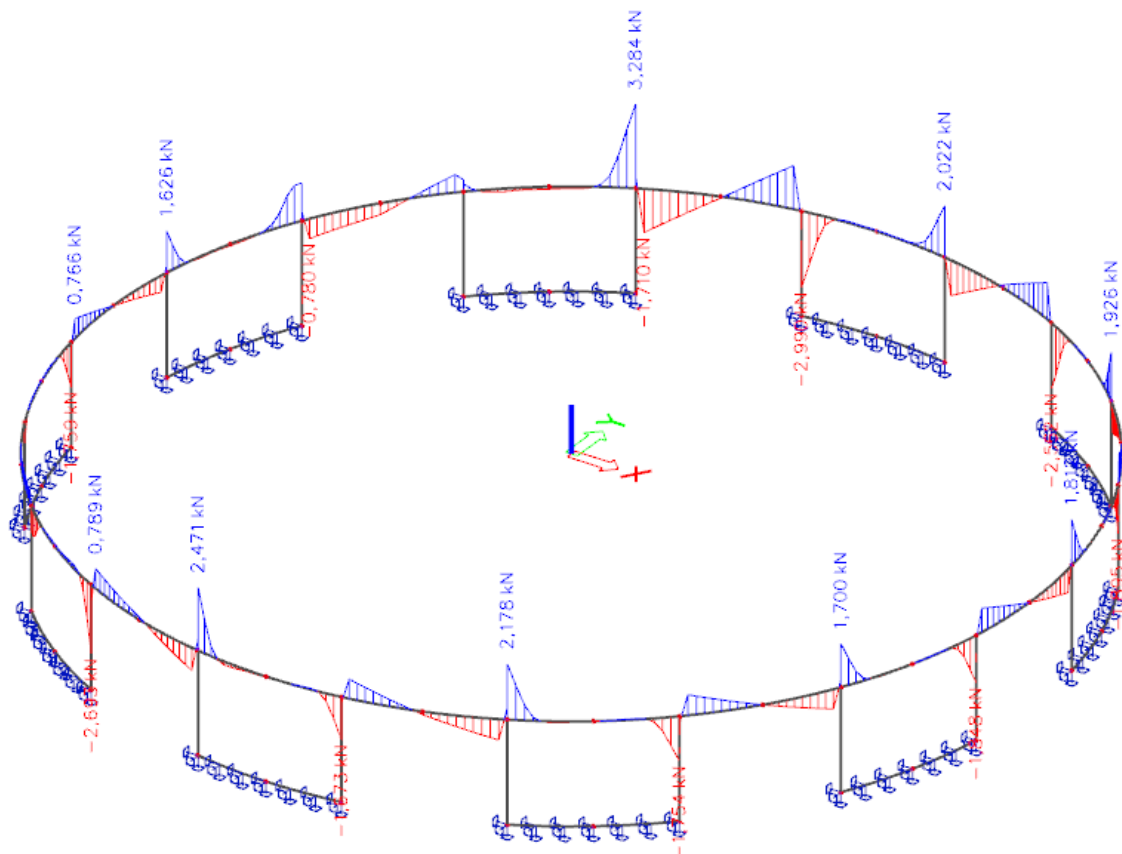
ZS30 – Vítr atika III – N [kN]



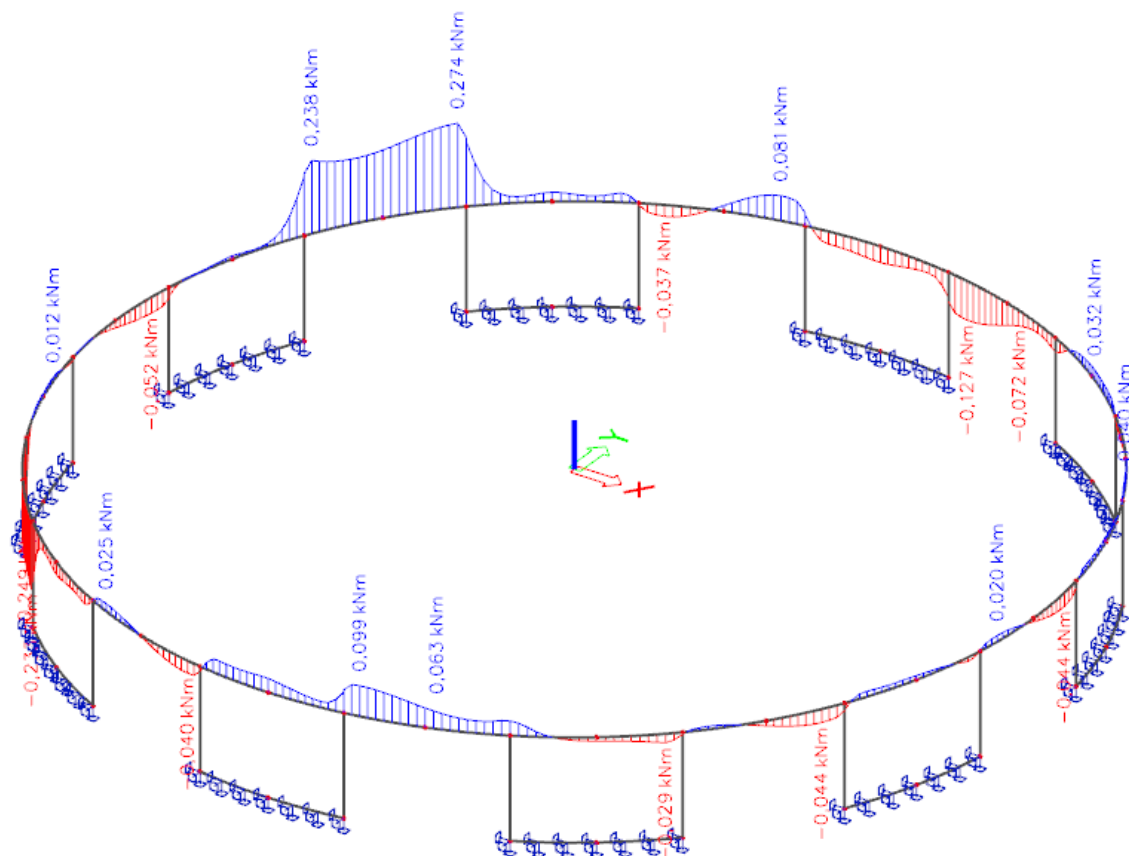
ZS30 – Vítř atika III – V_y [kN]



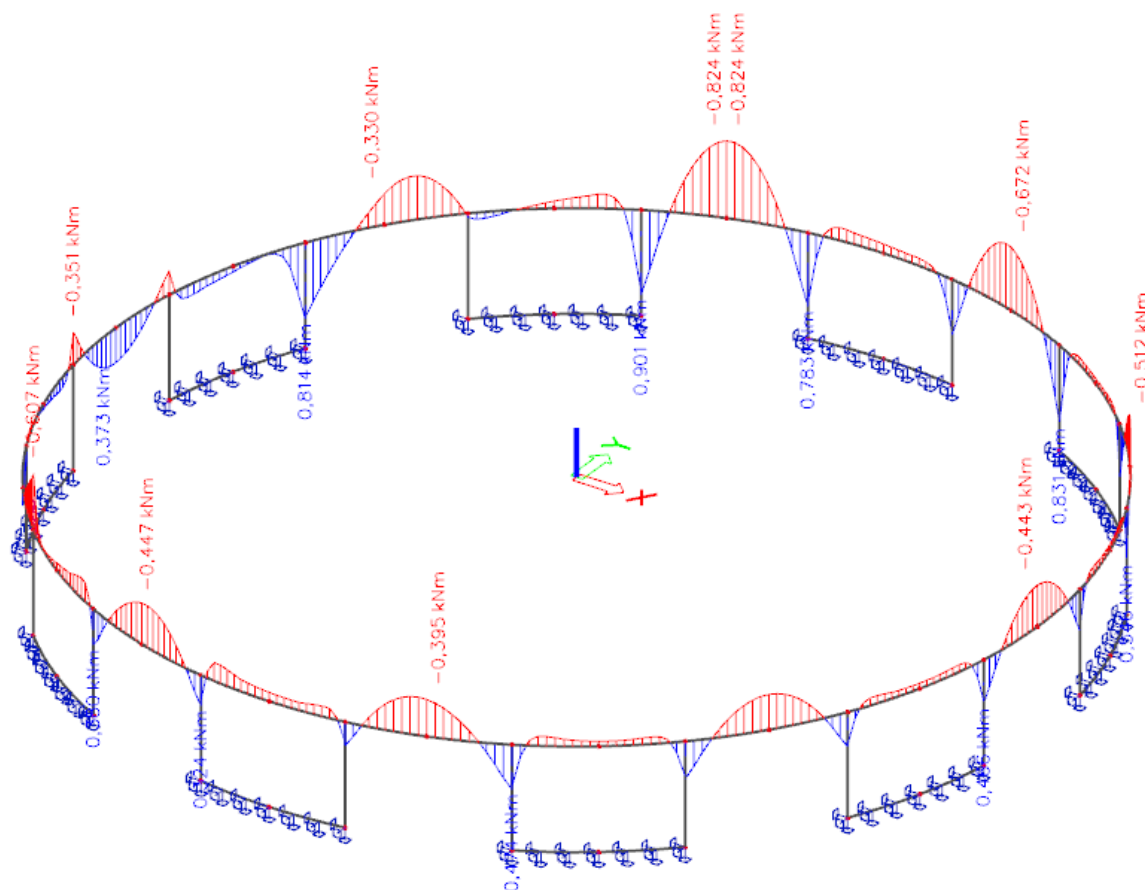
ZS30 – Vítř atika III – V_z [kN]



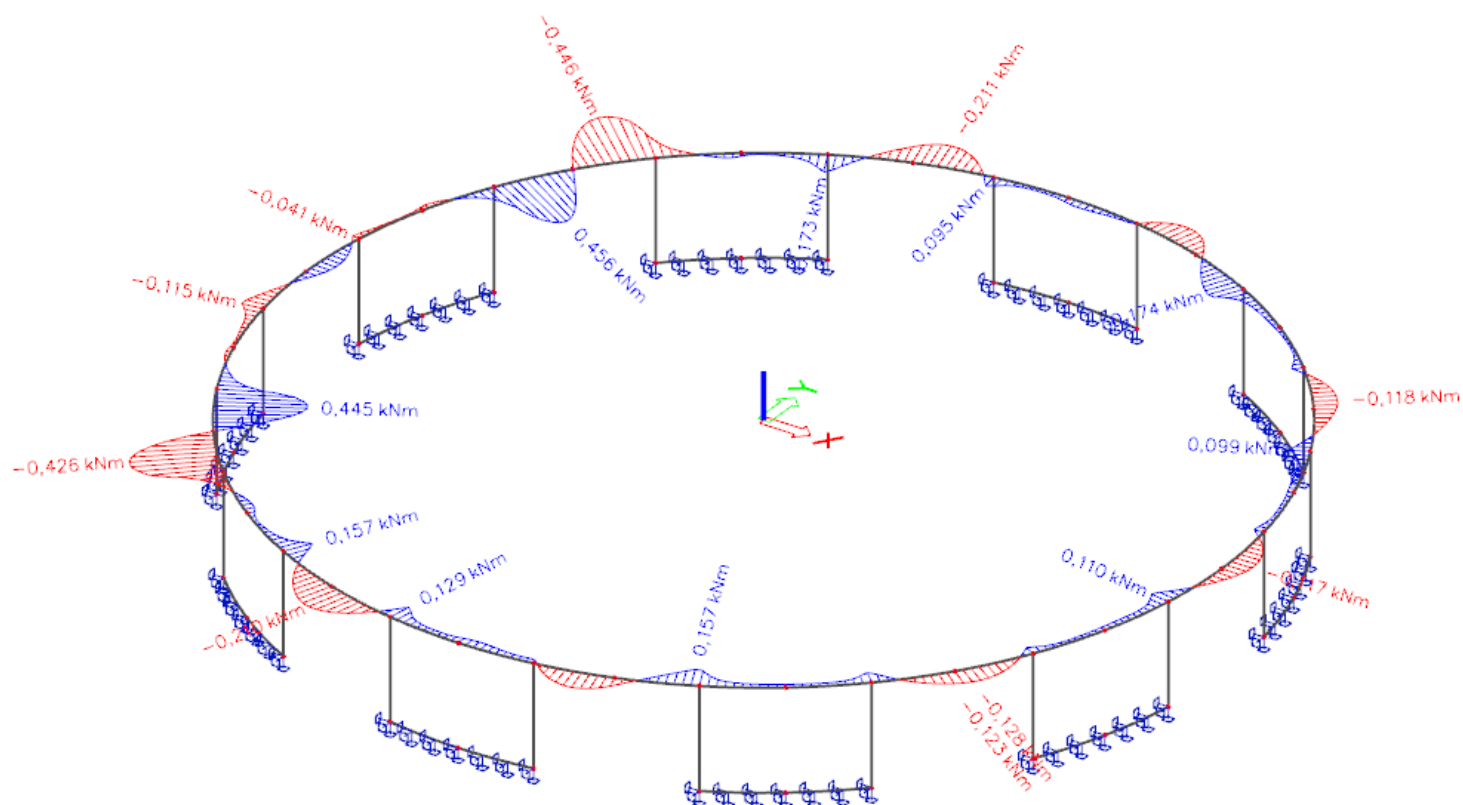
ZS30 – Vitr atika III – Mx [kNm]



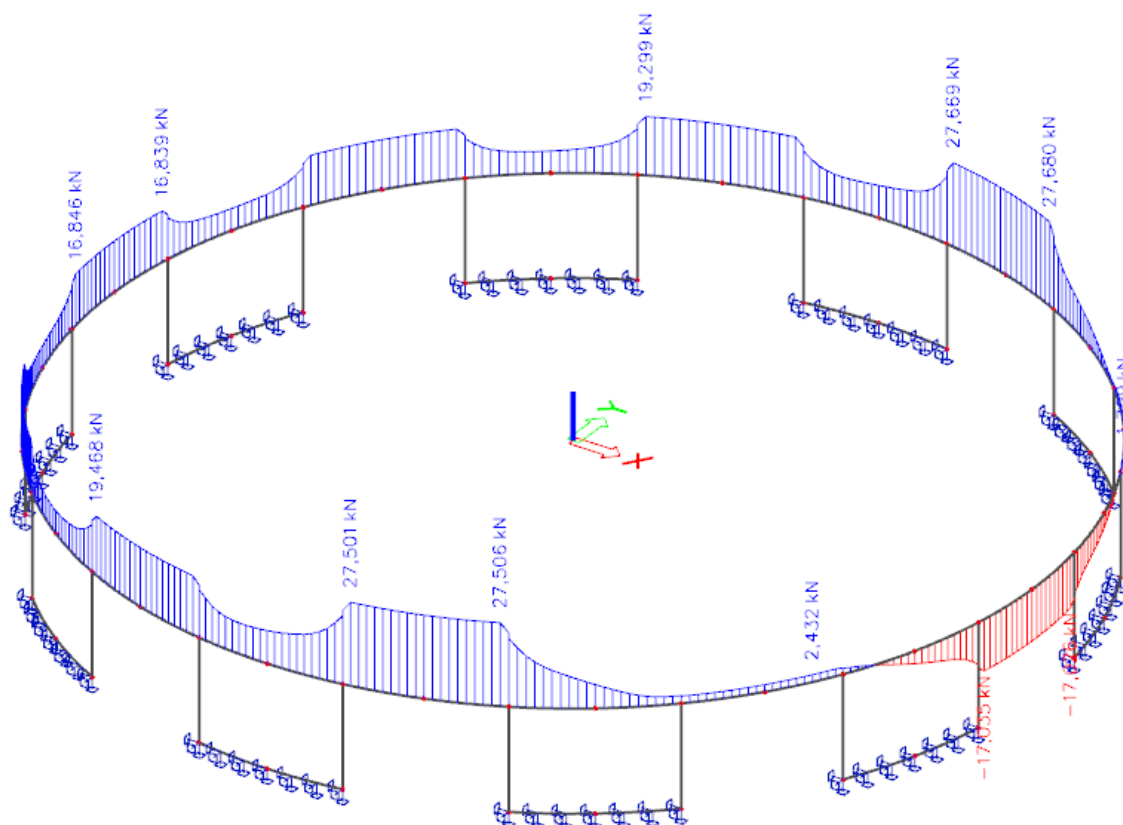
ZS30 – Vitr atika III – My [kNm]



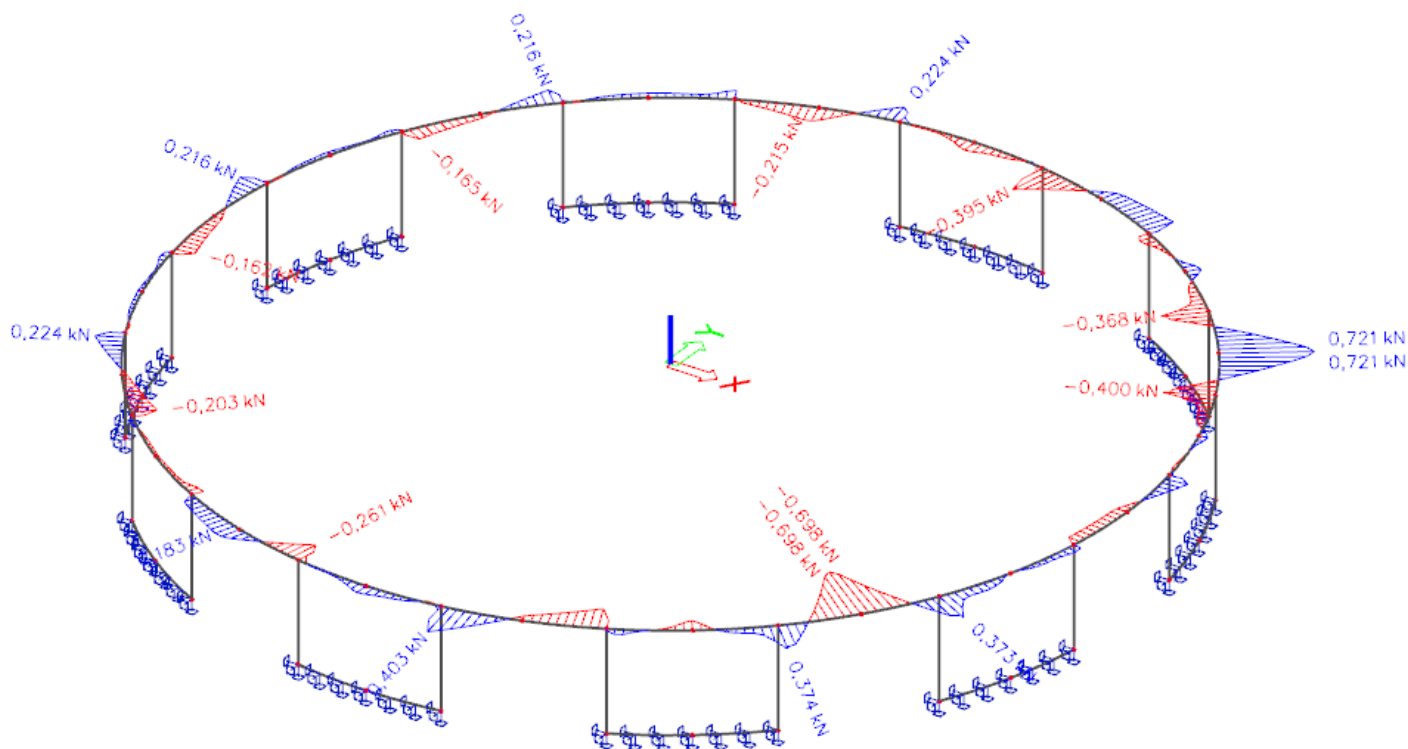
ZS30 – Vitr atika III – Mz [kNm]



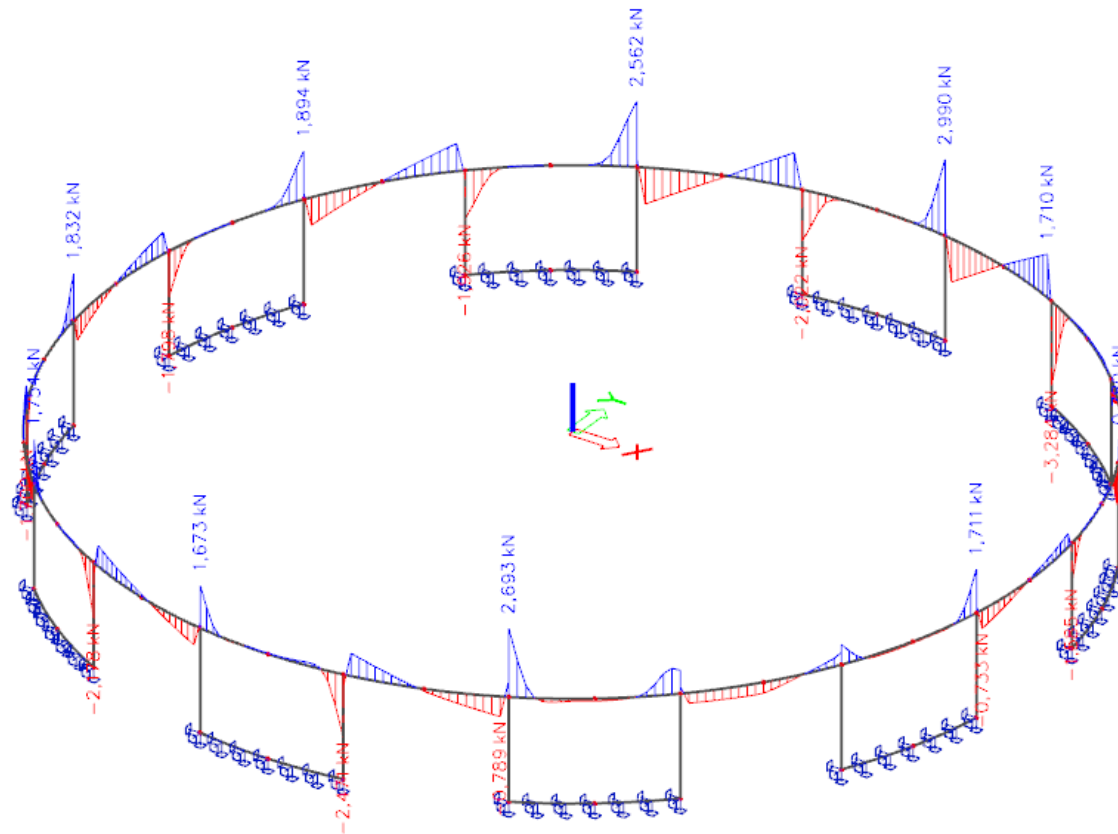
ZS31 – Vitr atika IV – N [kN]



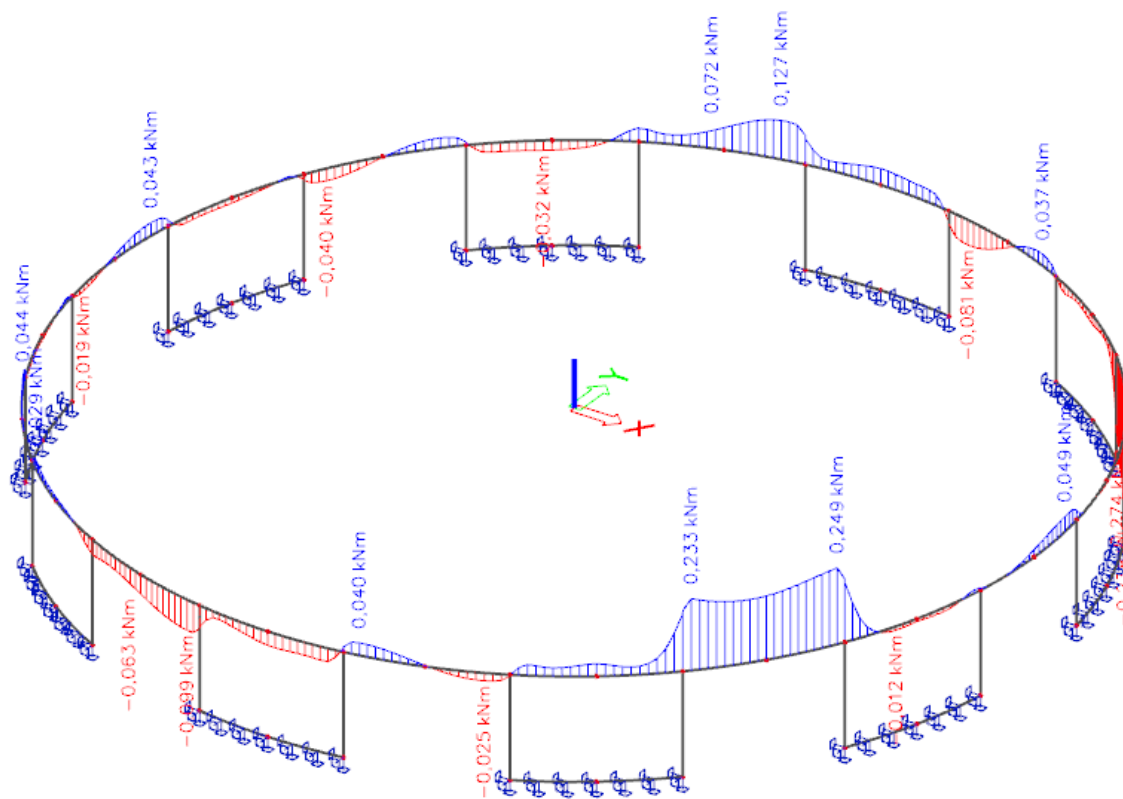
ZS31 – Vítř atika IV – V_y [kN]



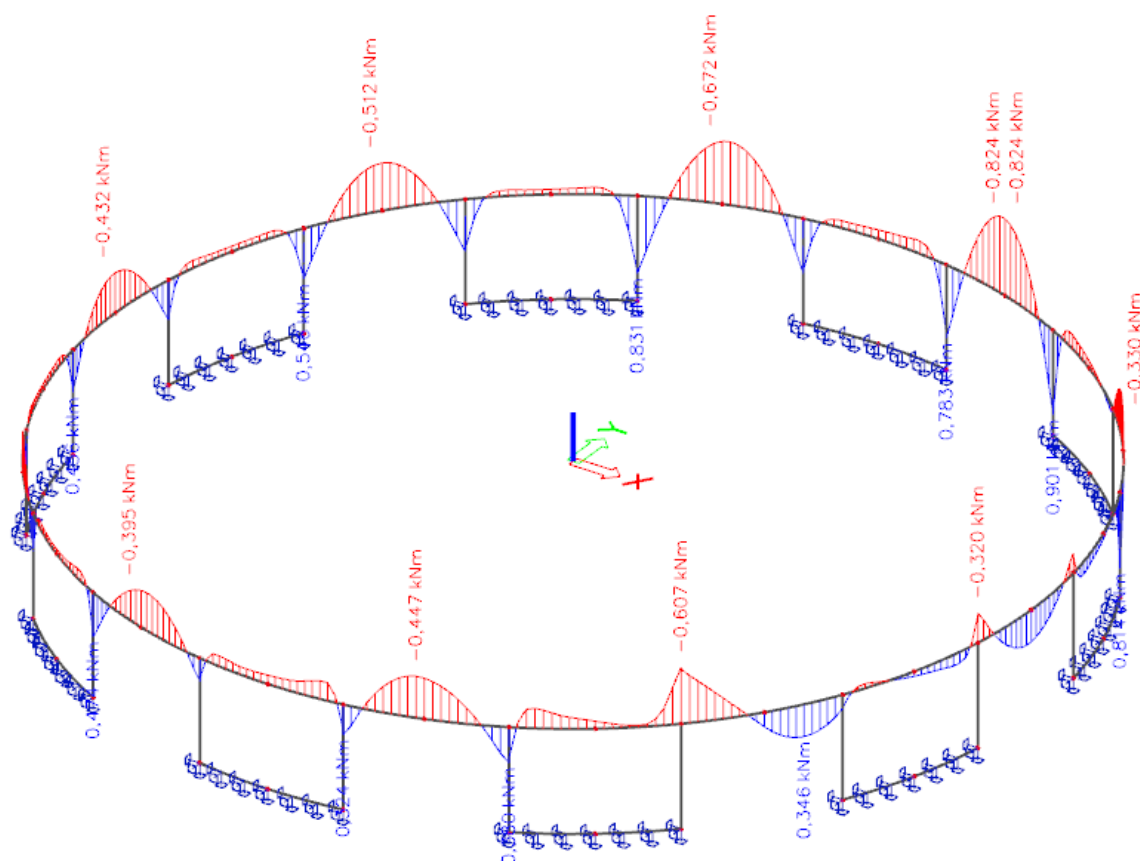
ZS31 – Vítř atika IV – V_z [kN]



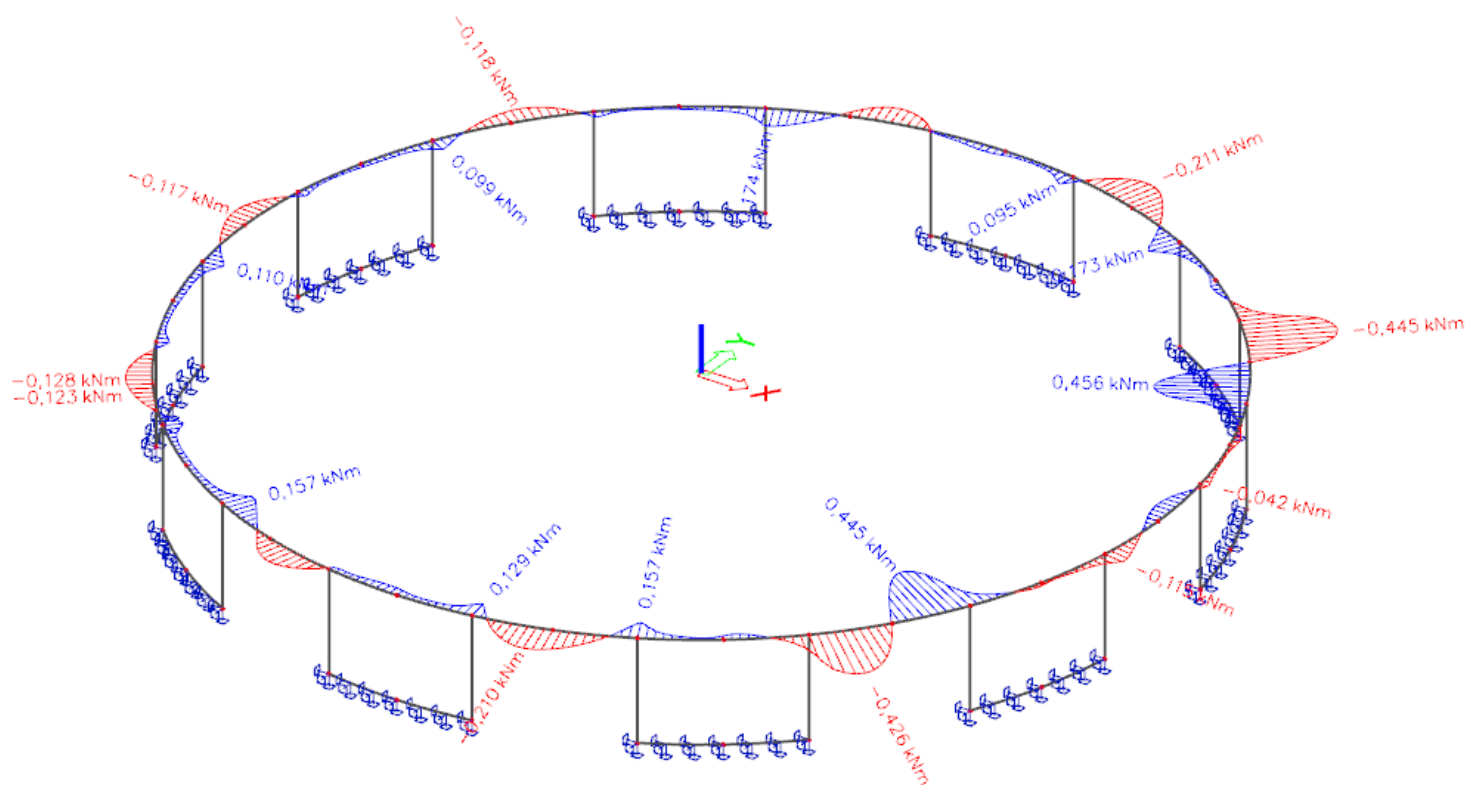
ZS31 – Vítr atika IV – Mx [kNm]



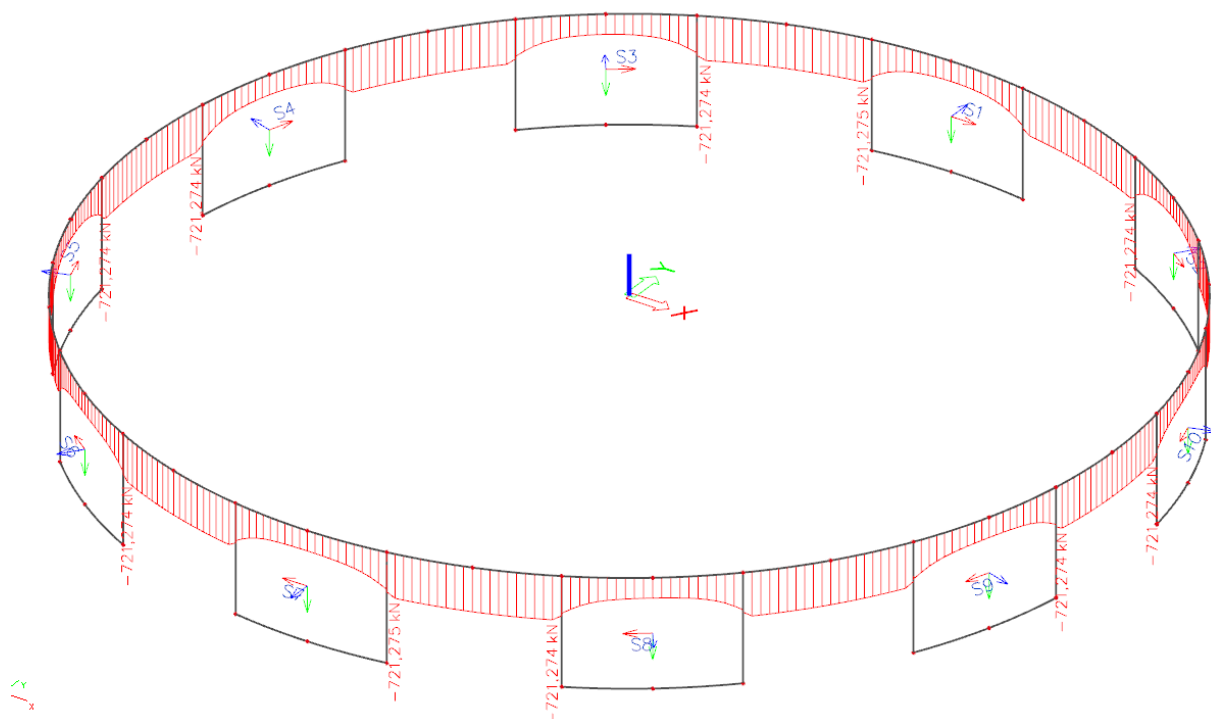
ZS31 – Vítr atika IV – My [kNm]



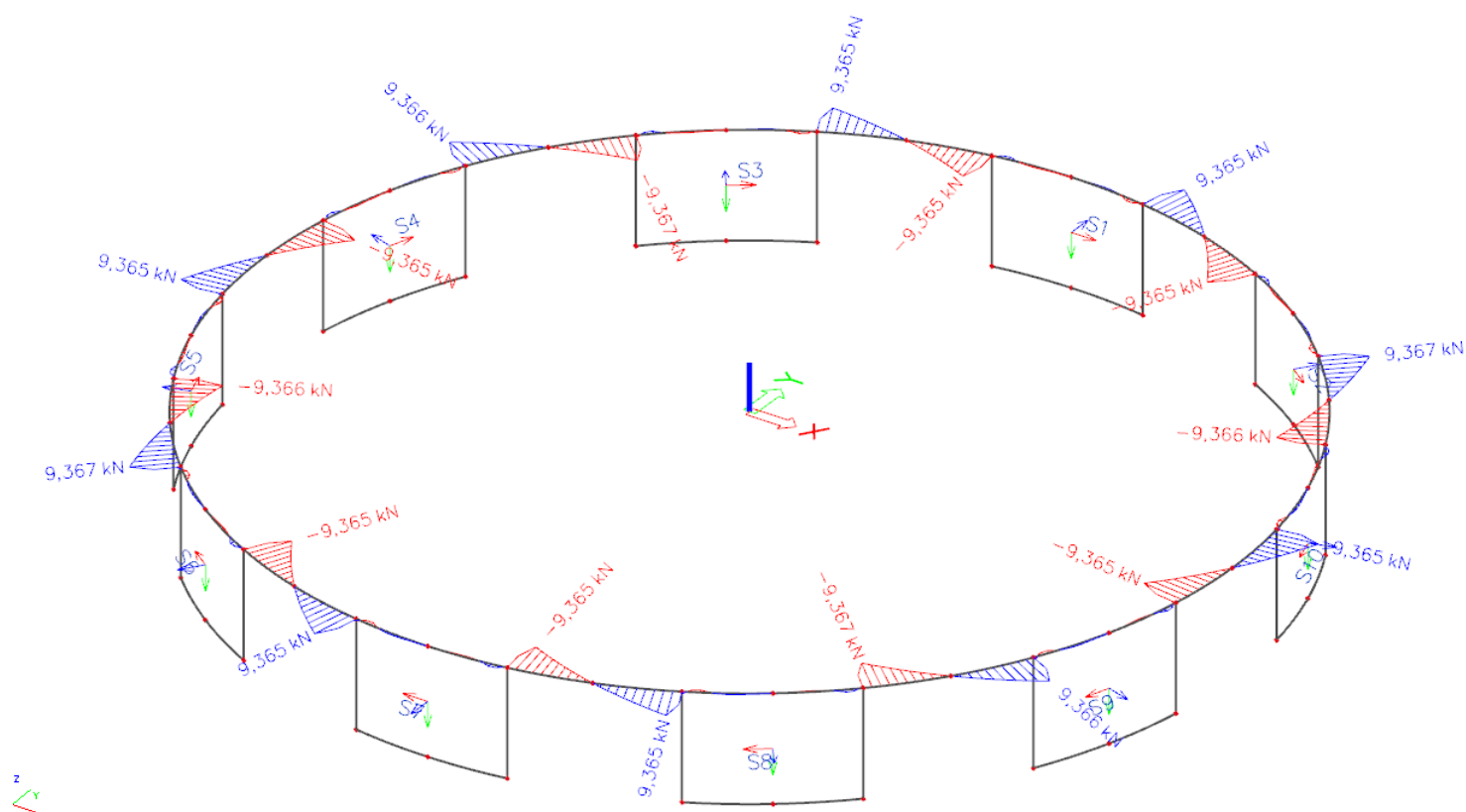
ZS31 – Vítr atika IV – Mz [kNm]



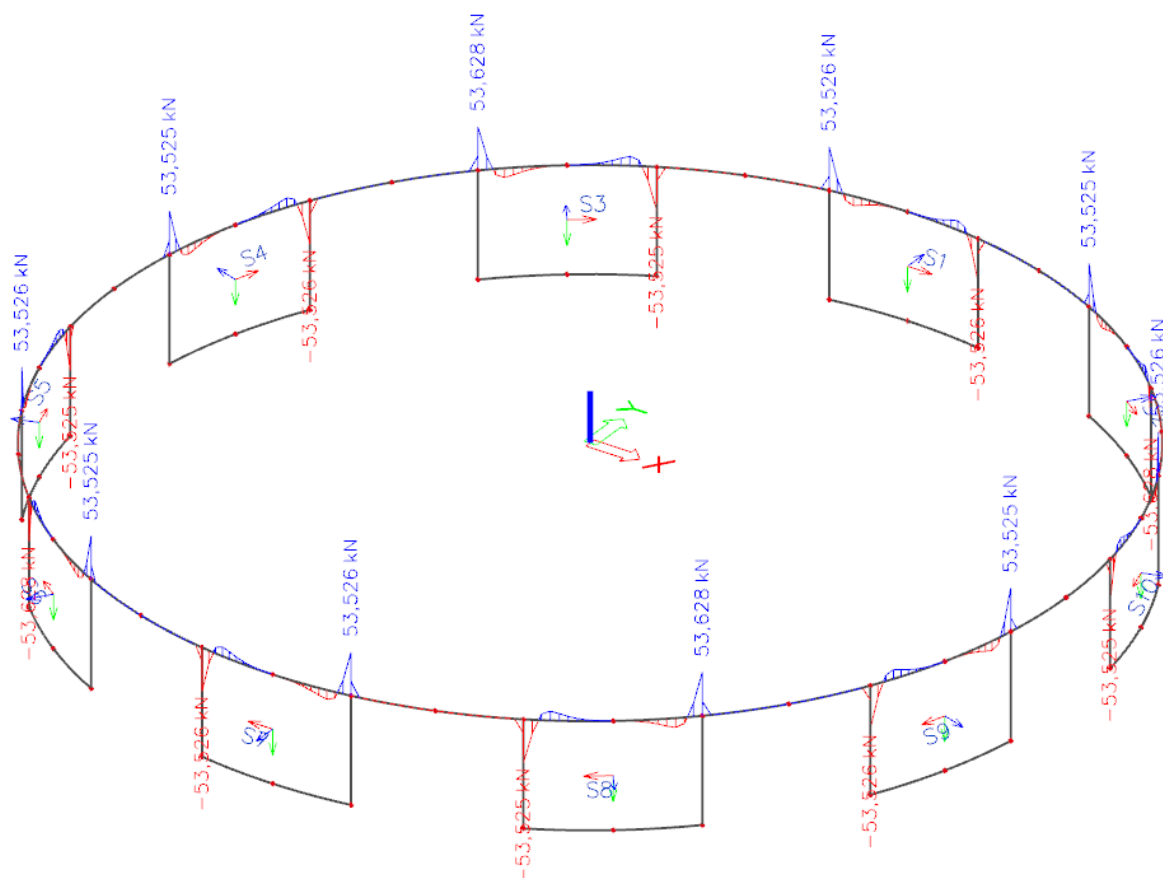
ZS32 – Předpětí – N [kN] – ČAS t0 – po vypočtených ztrátách



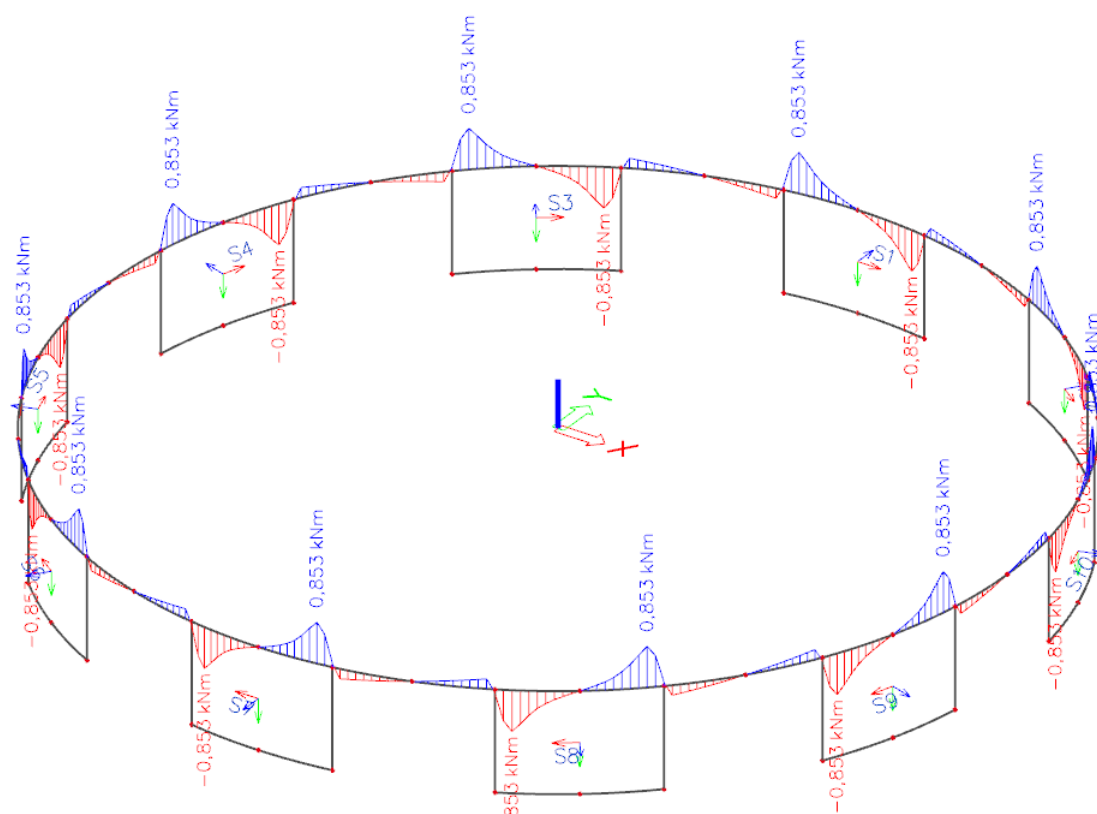
ZS32 – Předpětí – V_y [kN] – ČAS t_0 – po vypočtených ztrátách



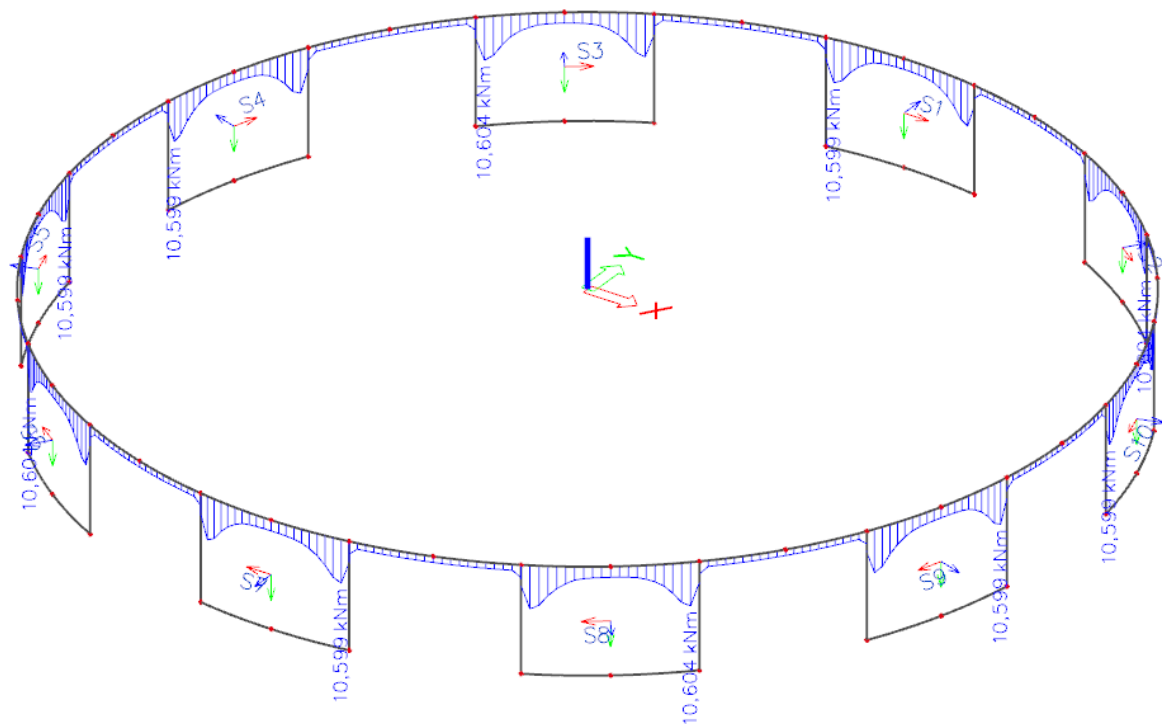
ZS32 – Předpětí – V_z [kN] – ČAS t_0 – po vypočtených ztrátách



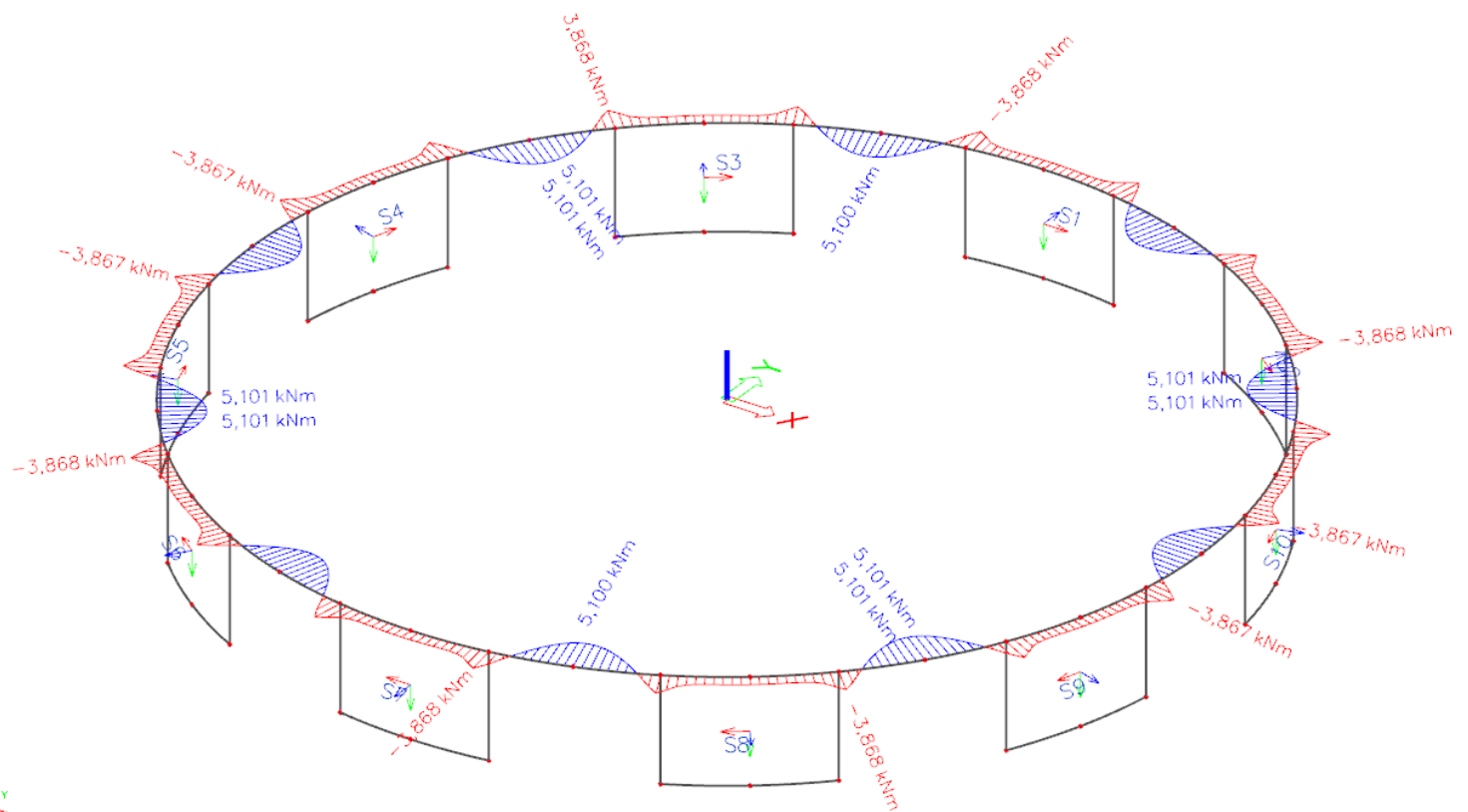
ZS32 – Předpětí – M_x [kNm] – ČAS t_0 – po vypočtených ztrátách



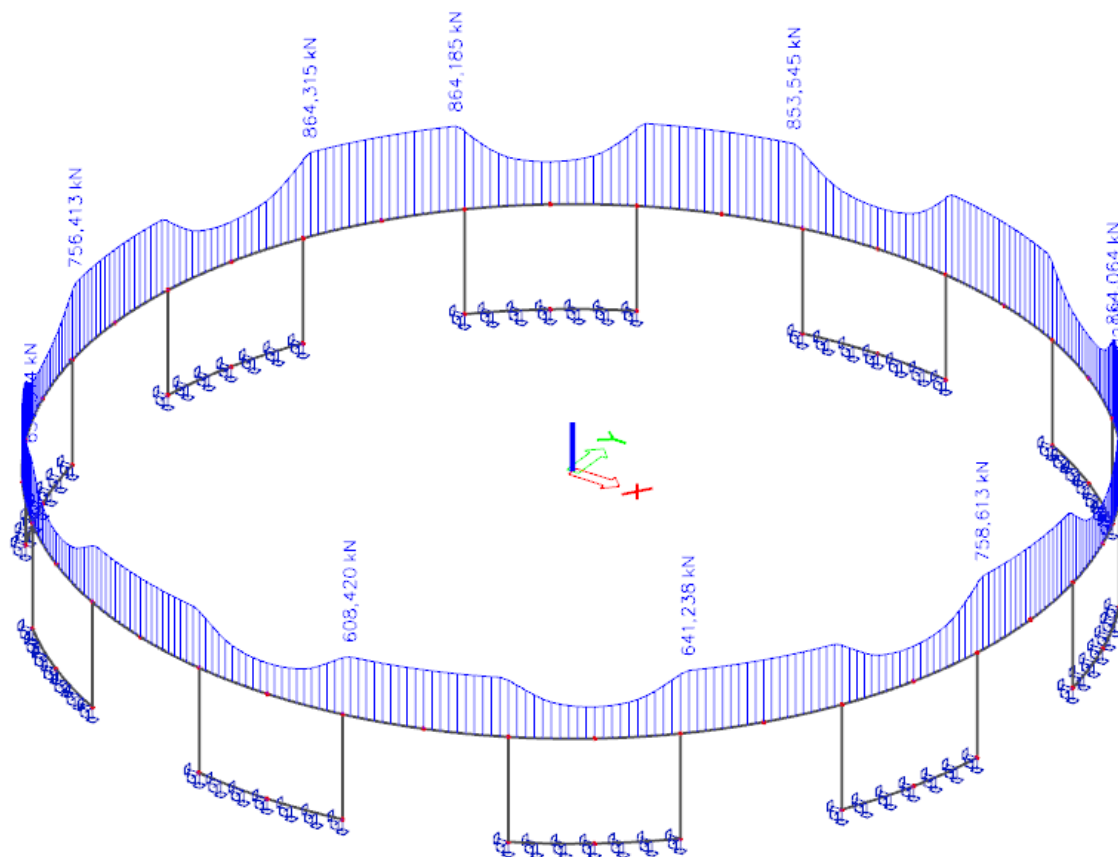
ZS32 – Předpětí – M_y [kNm] – ČAS t_0 – po vypočtených ztrátách



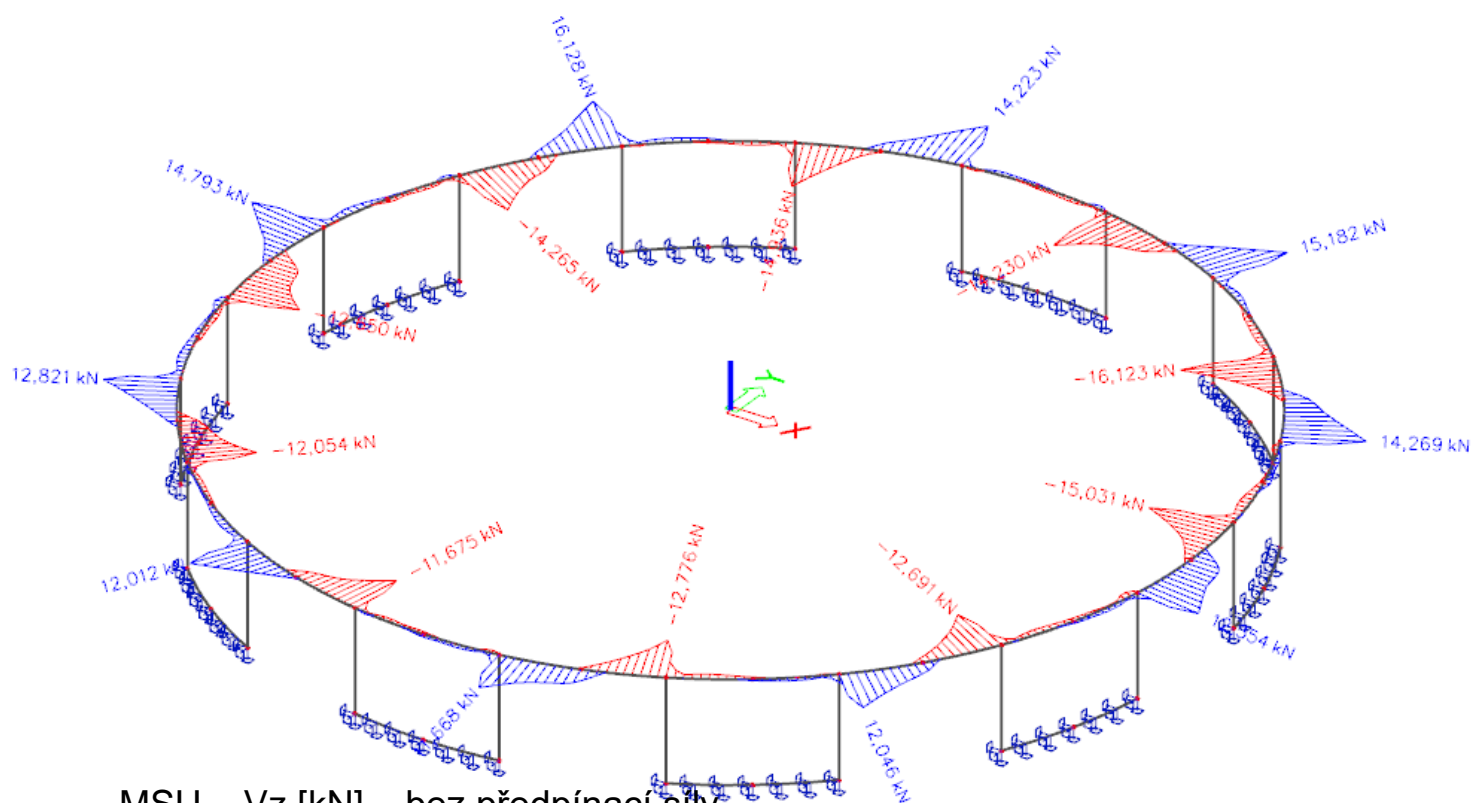
ZS32 – Předpětí – M_z [kNm] – ČAS t0 – po vypočtených ztrátách



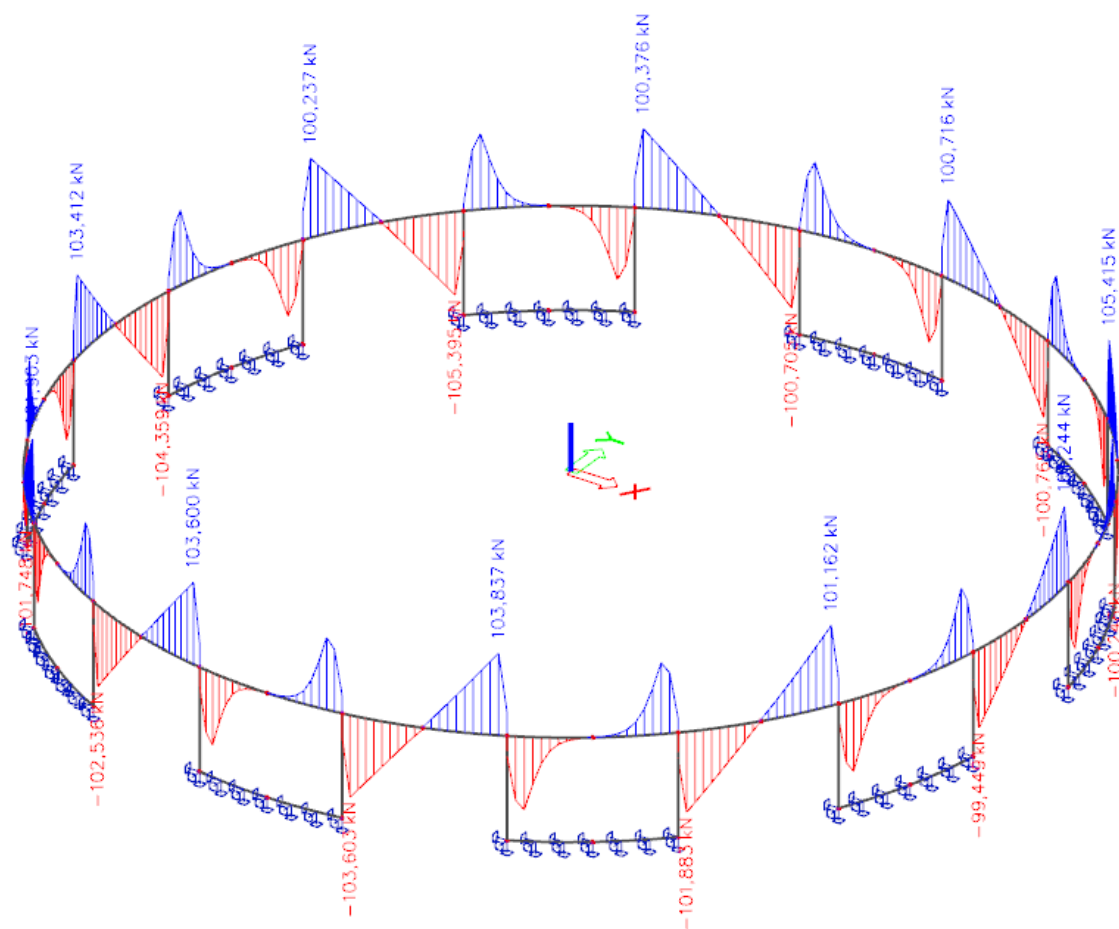
MSU – N [kN] – bez předpínací síly



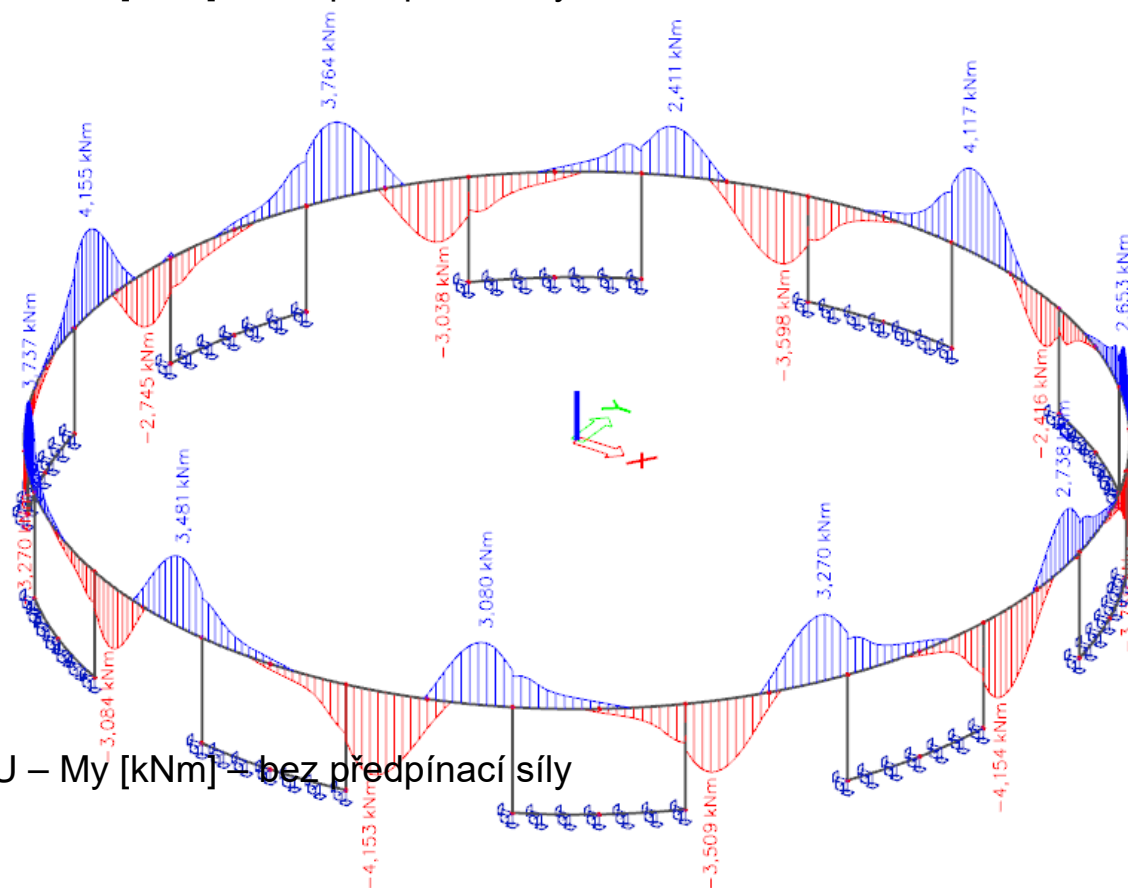
MSU – V_y [kN] – bez předpínací síly



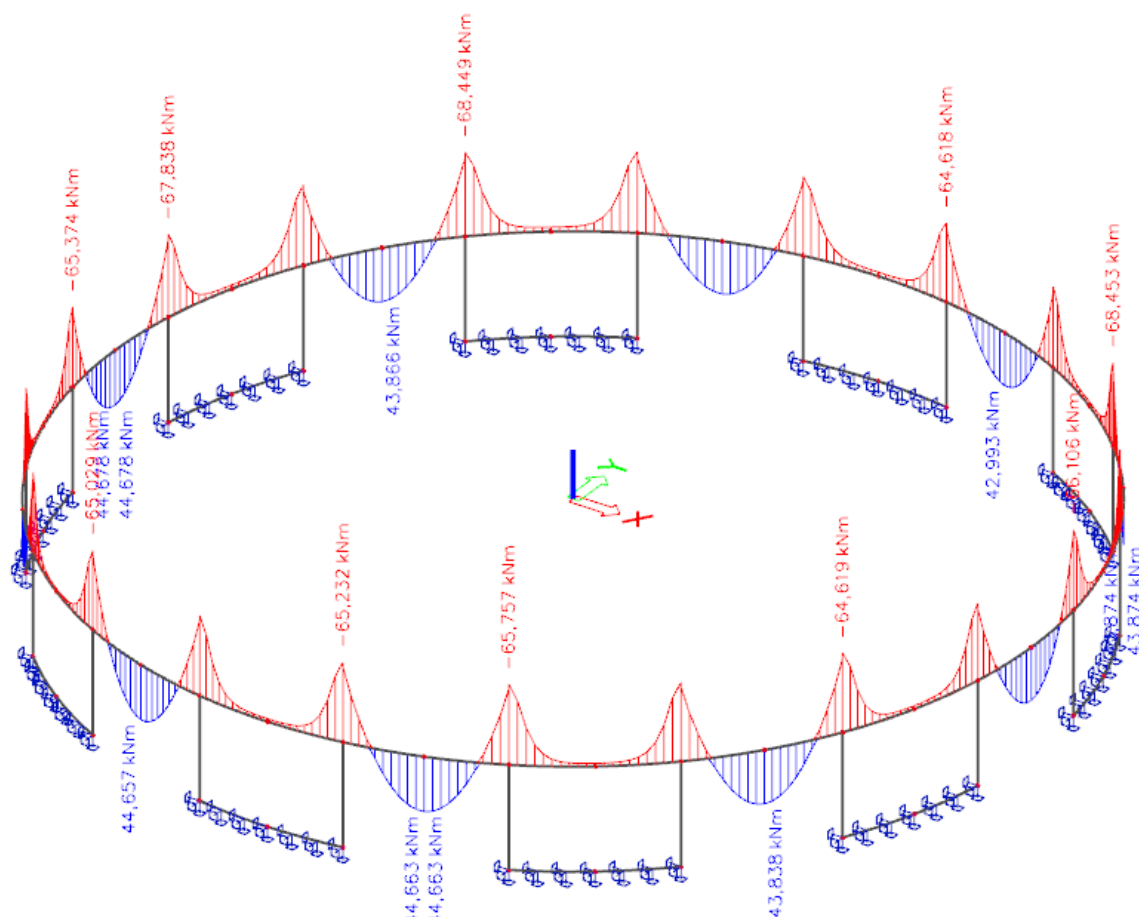
MSU – V_z [kN] – bez předpínací síly



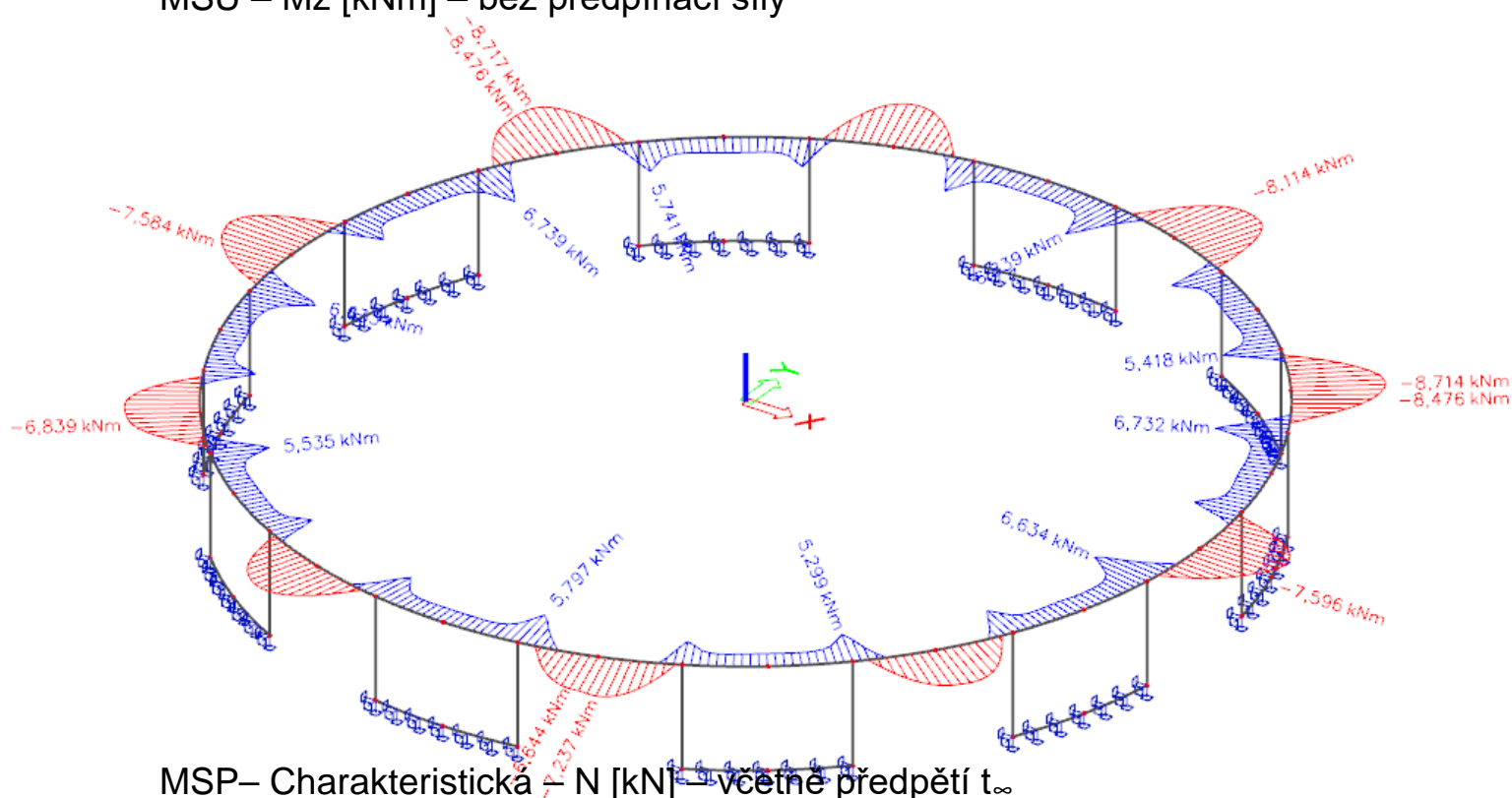
MSU – Mx [kNm] – bez předpínací síly



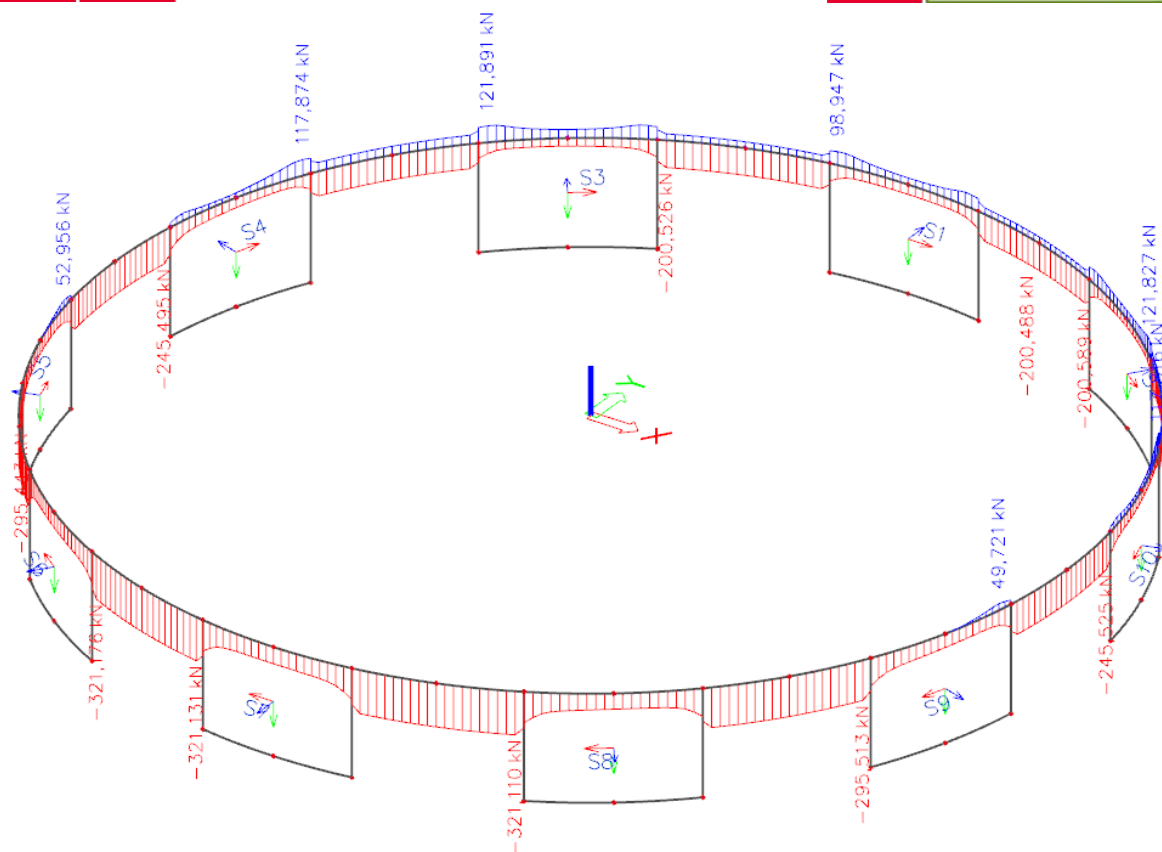
MSU – M_y [kNm] – bez předpínací síly



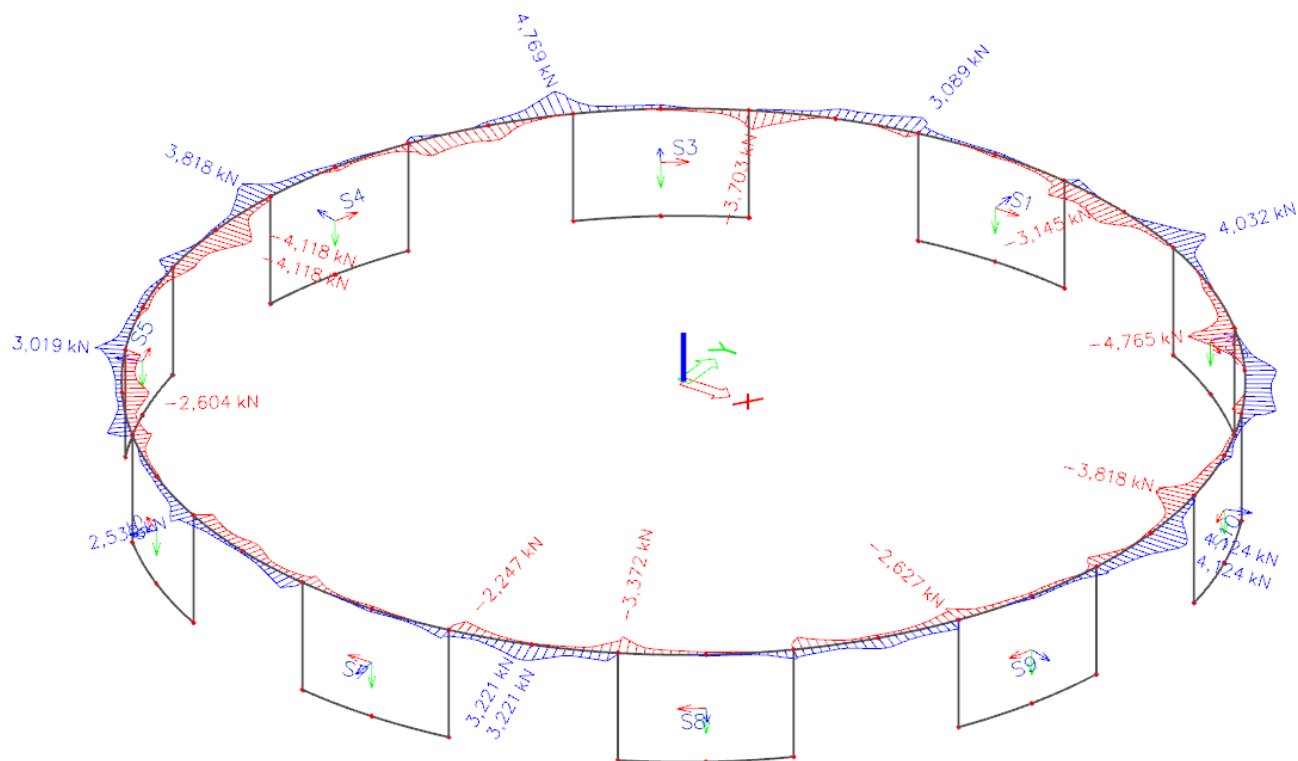
MSU – M_z [kNm] – bez předpínací síly



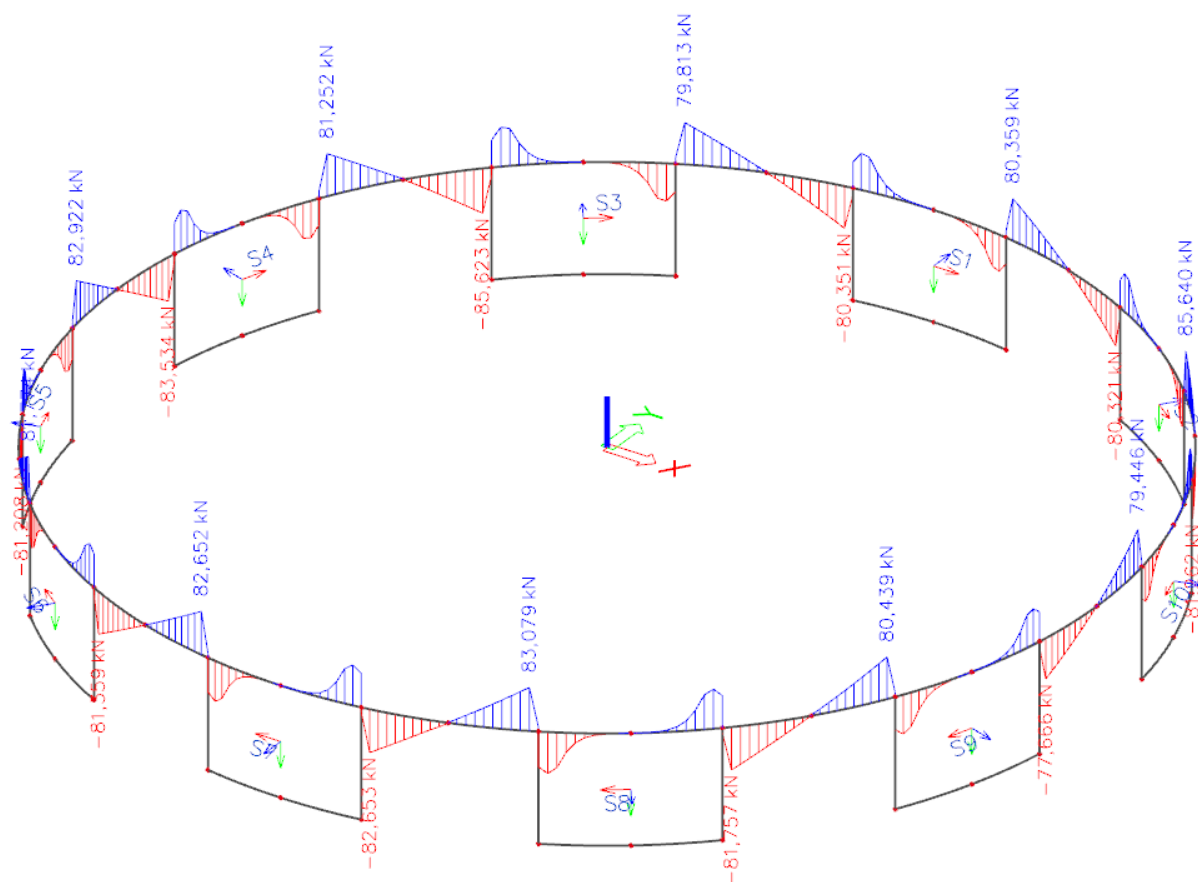
MSP – Charakteristická – N [kN] – včetně předpětí t_∞



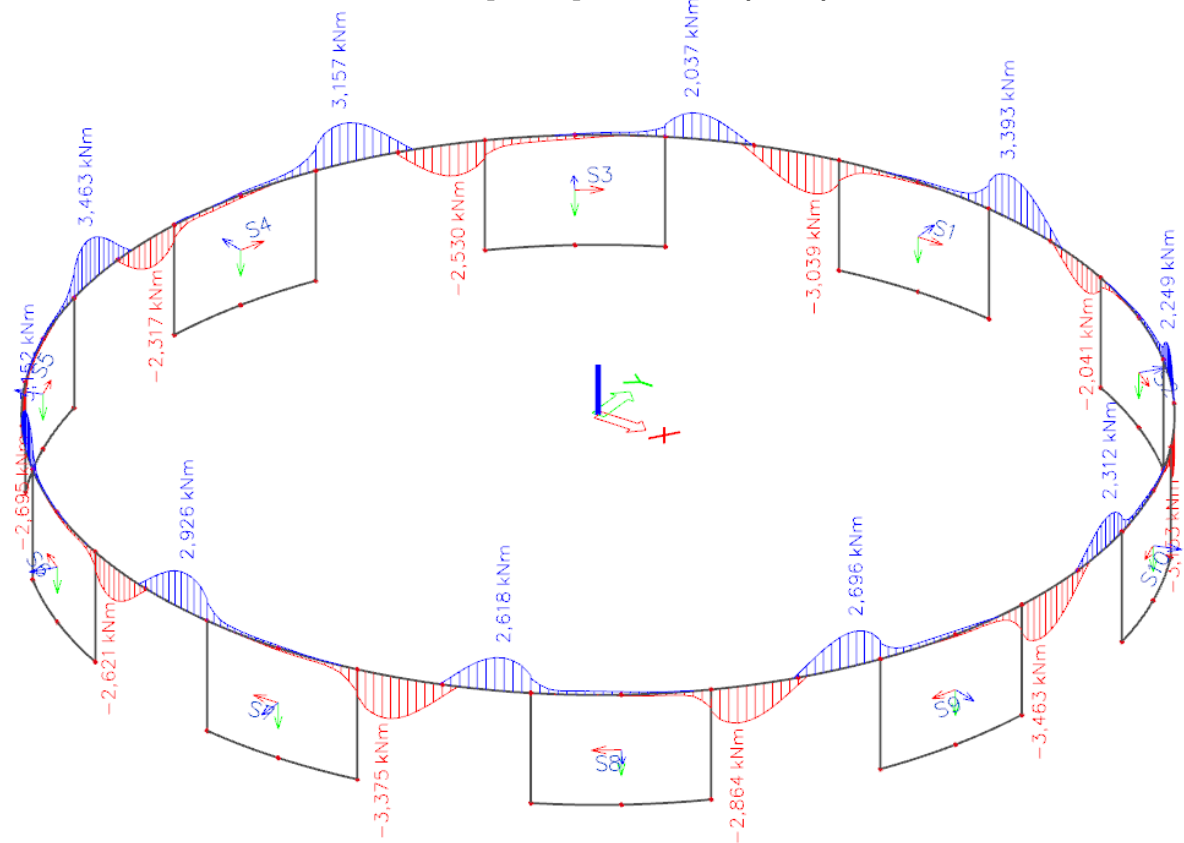
MSP – Charakteristická – V_y [kN] – včetně předpětí t_∞



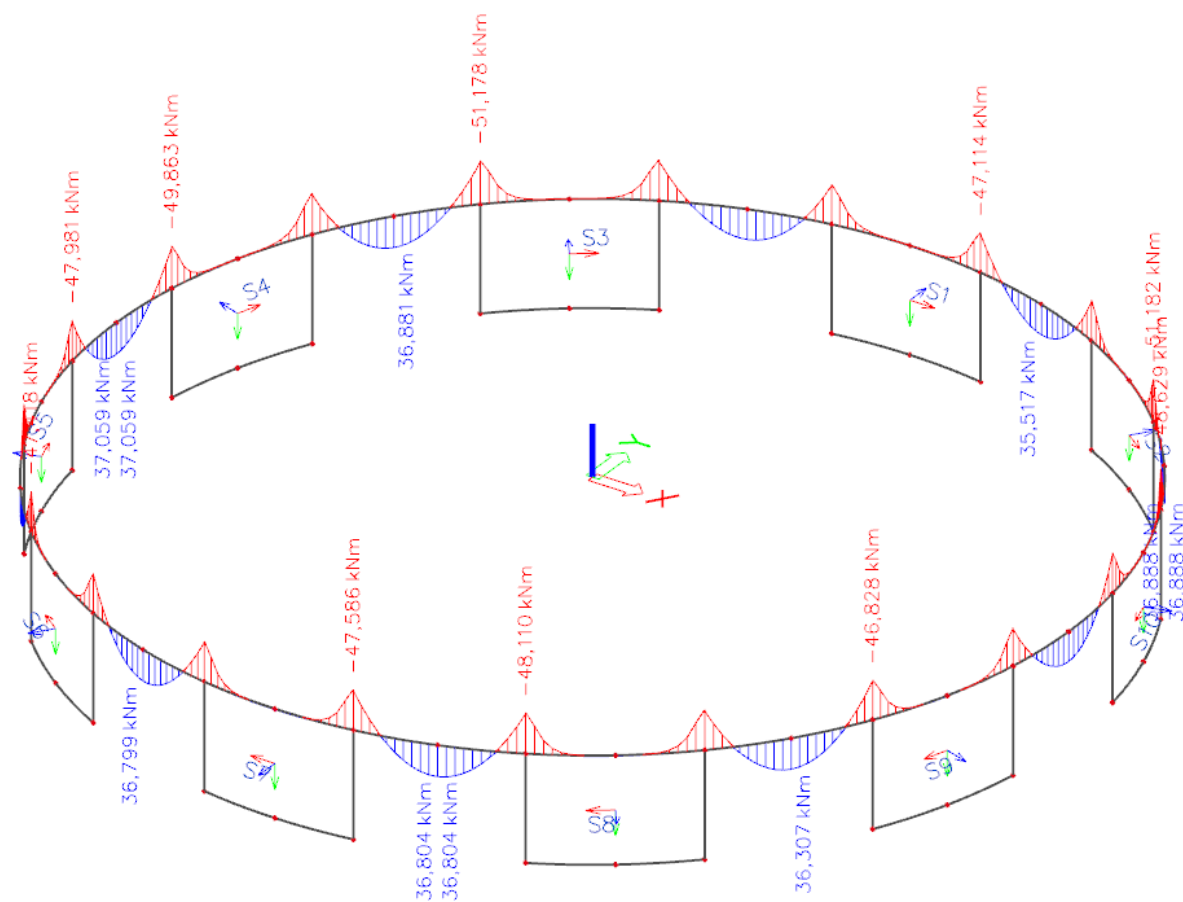
MSP – Charakteristická – Vz [kN] – včetně předpětí t_{∞}



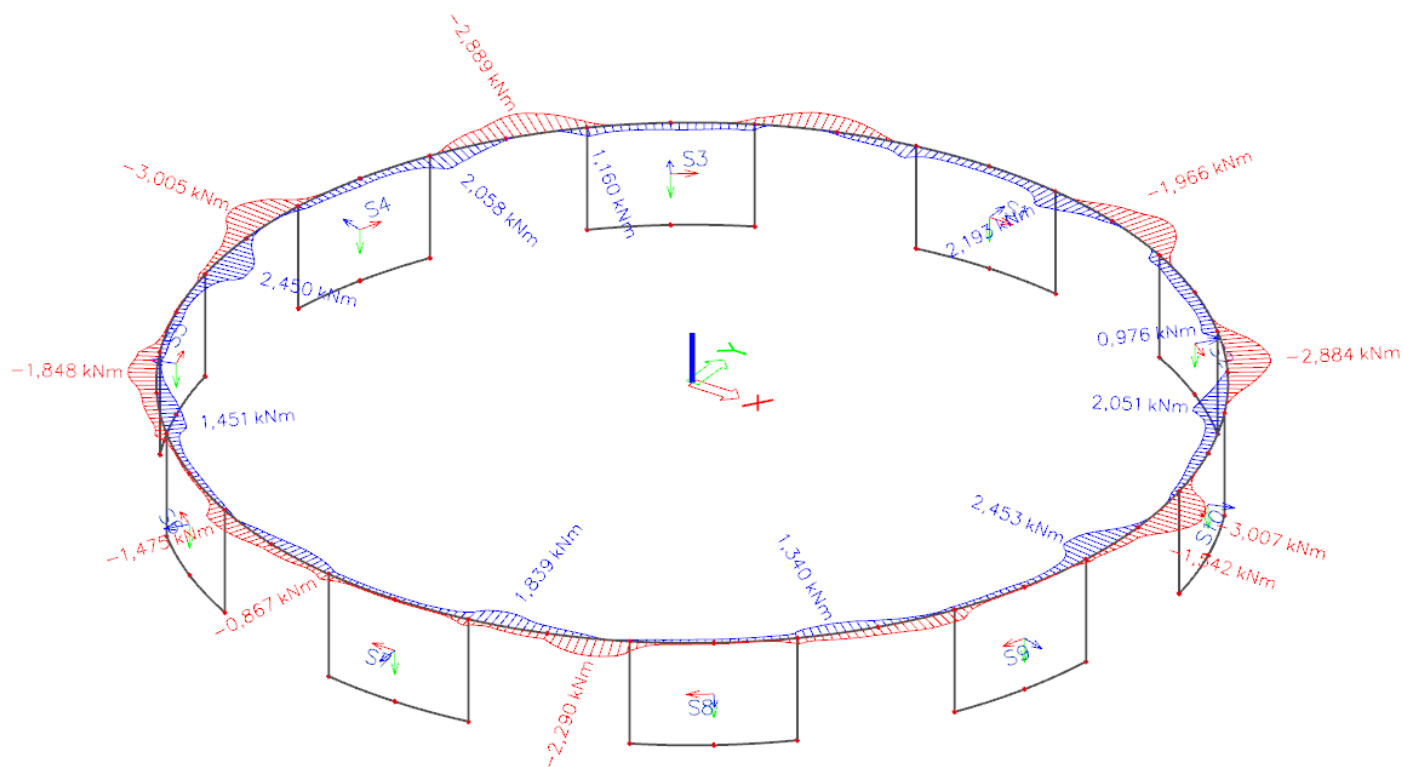
MSP – Charakteristická – Mx [kNm] – včetně předpětí t_{∞}



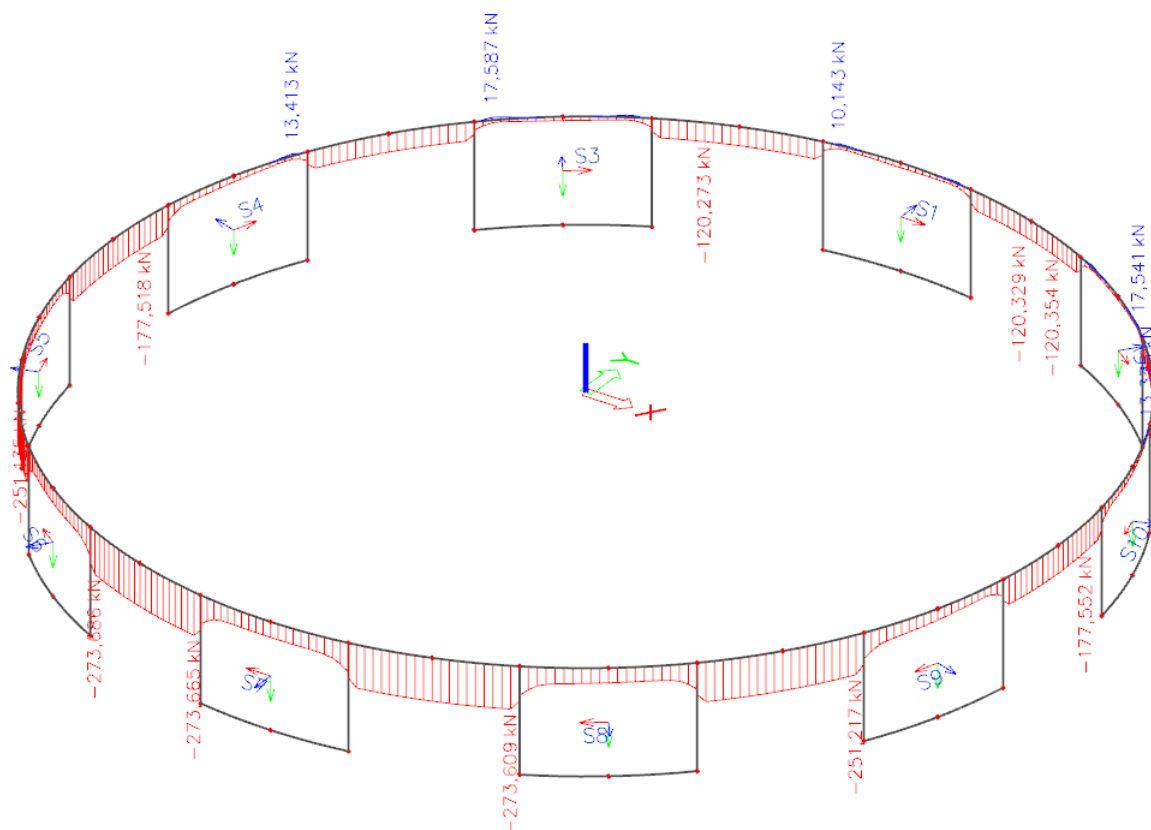
MSP – Charakteristická – M_y [kNm] – včetně předpětí t_∞



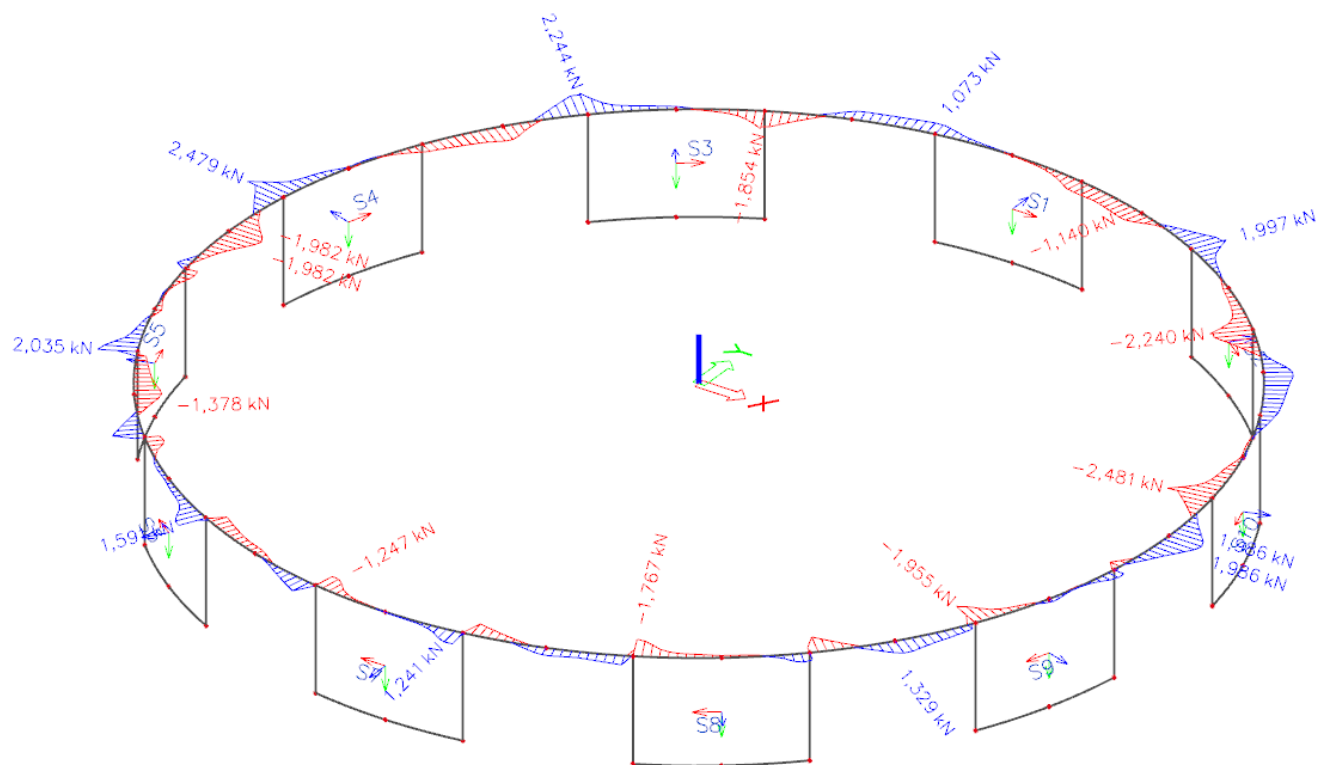
MSP – Charakteristická – M_z [kNm] – včetně předpětí t_∞

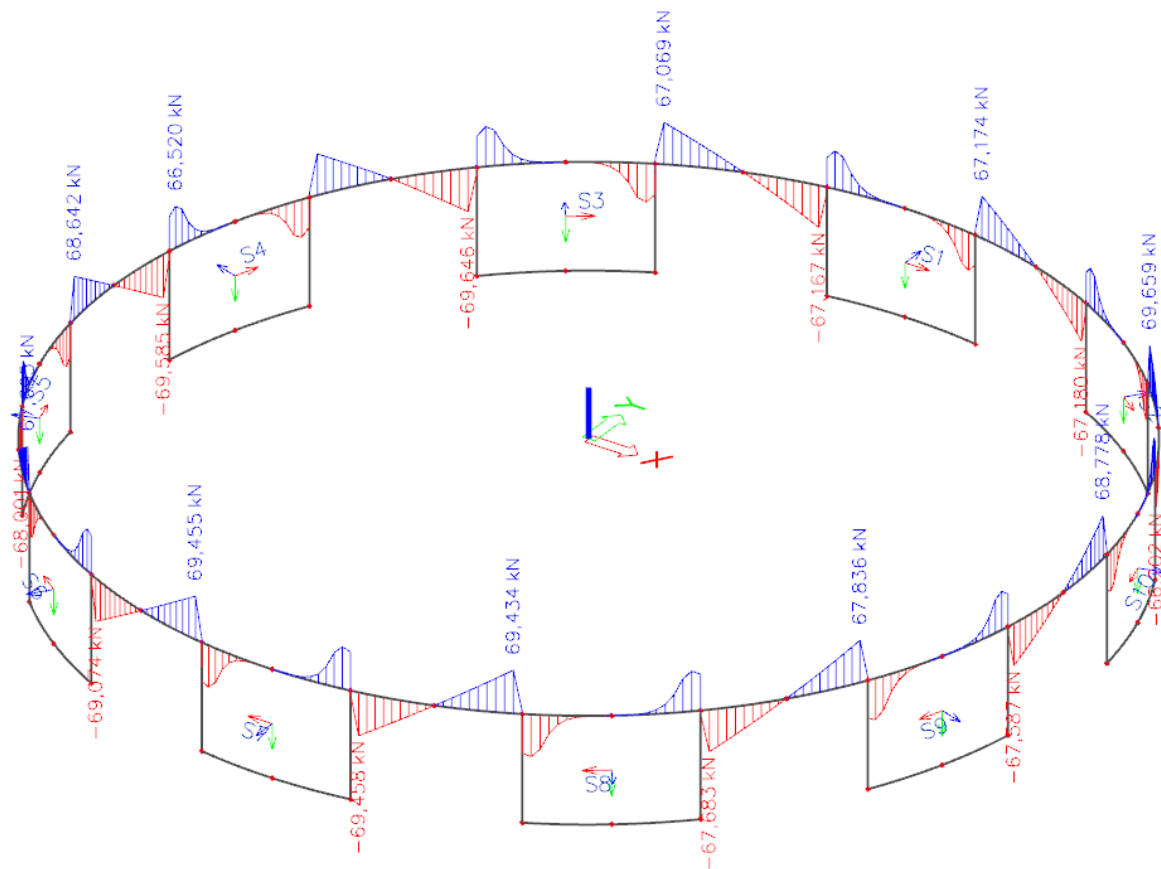
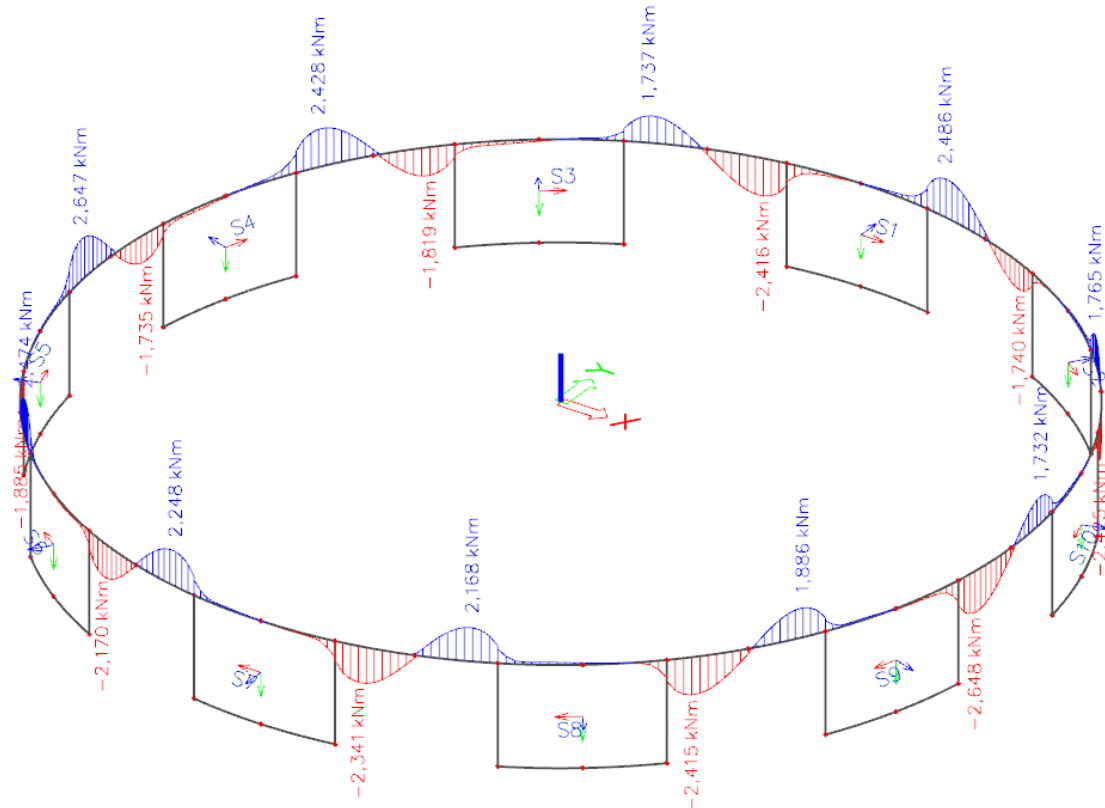


MSP– Častá – N [kN] – včetně předpětí t_{∞}

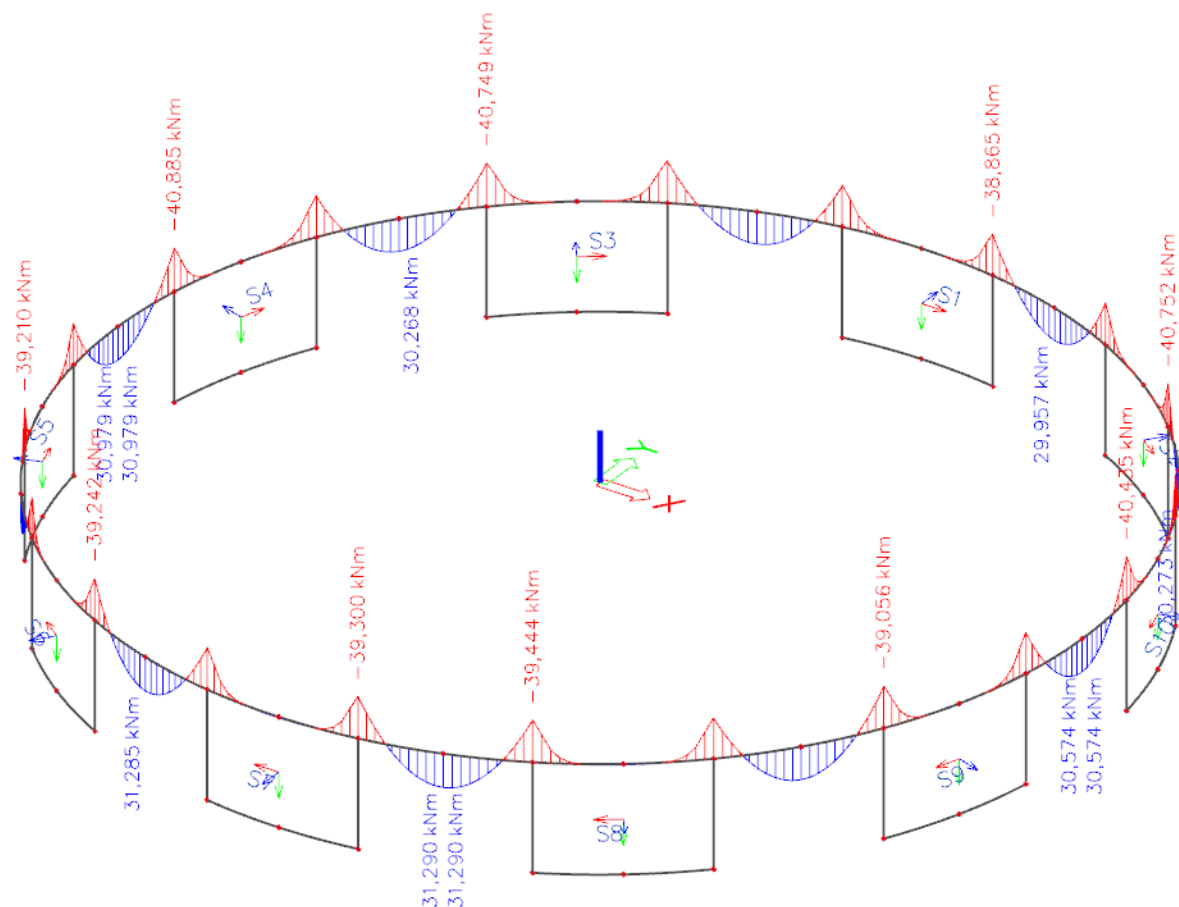


MSP – Častá – V_y [kN] – včetně předpětí t_{∞}

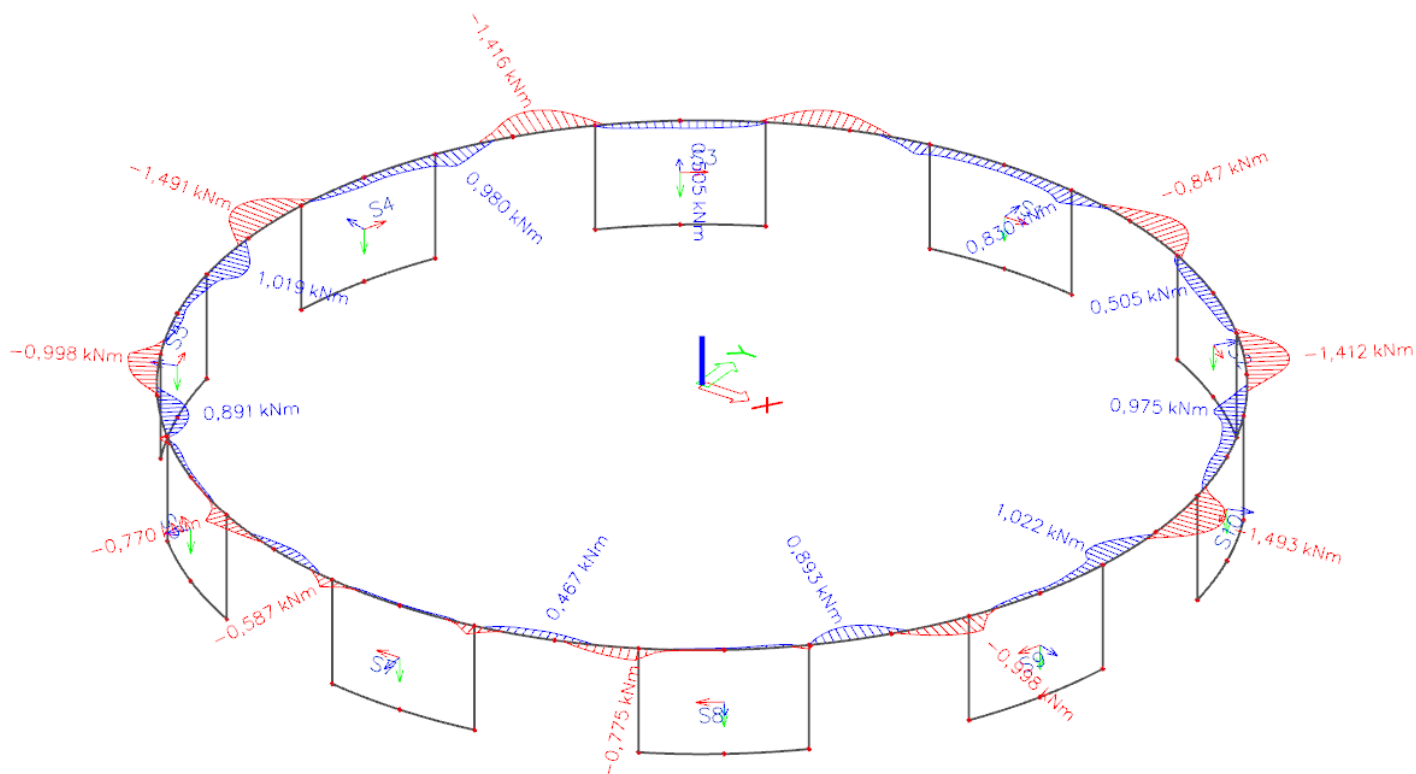


MSP – Častá – Vz [kN] – včetně předpětí t_{∞} MSP – Častá – M_x [kNm] – včetně předpětí t_∞ 

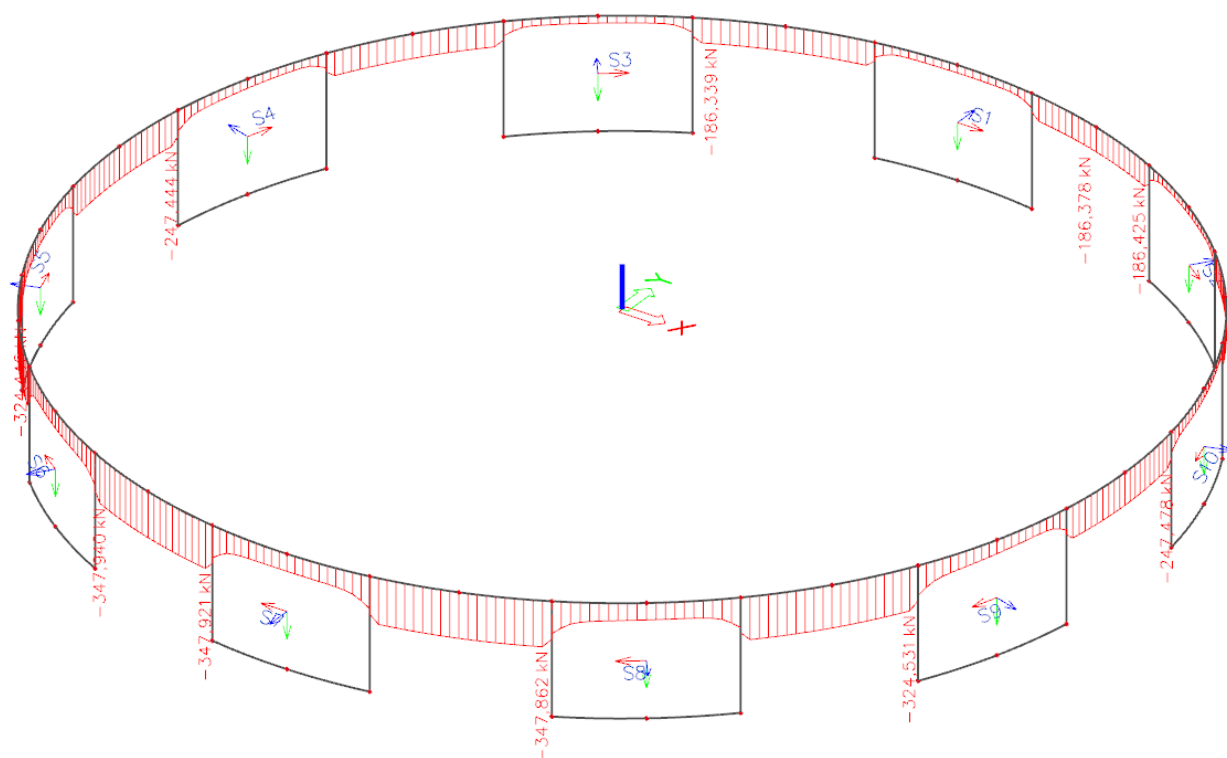
MSP – Častá – M_y [kNm] – včetně předpětí t_∞



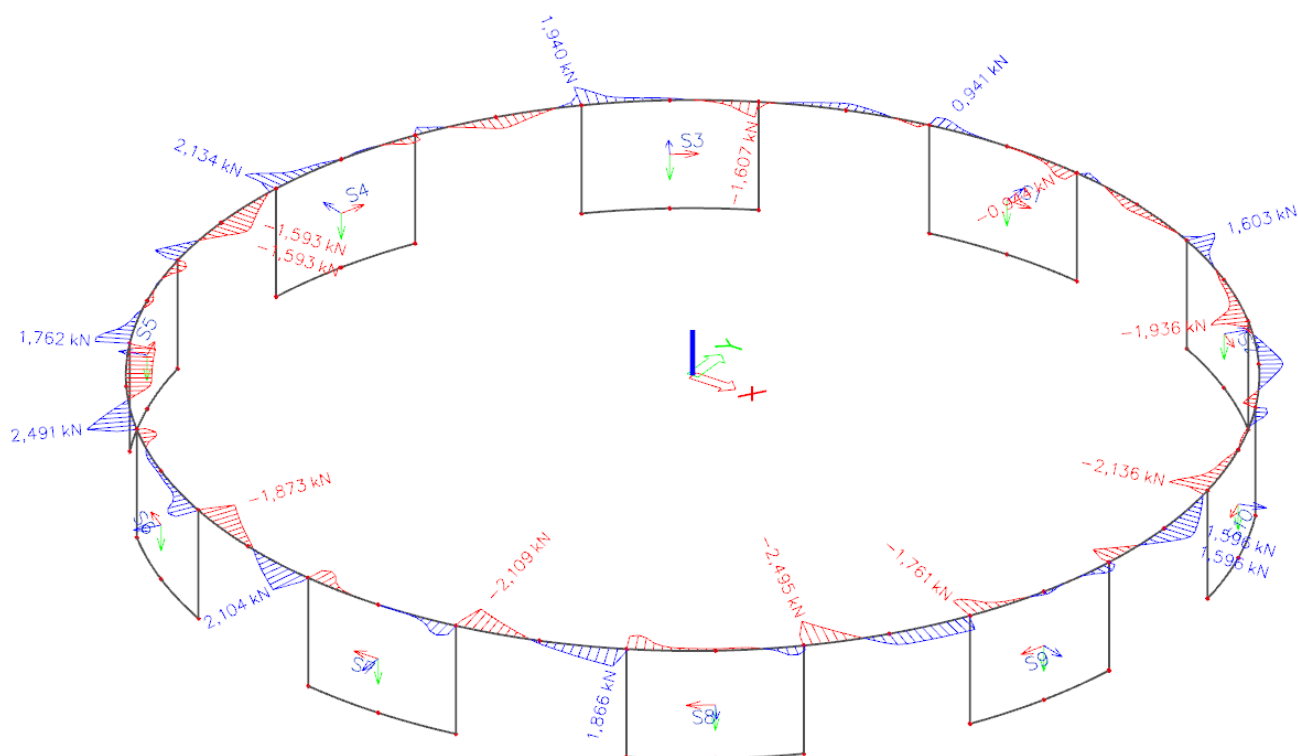
MSP – Častá – M_z [kNm] – včetně předpětí t_∞



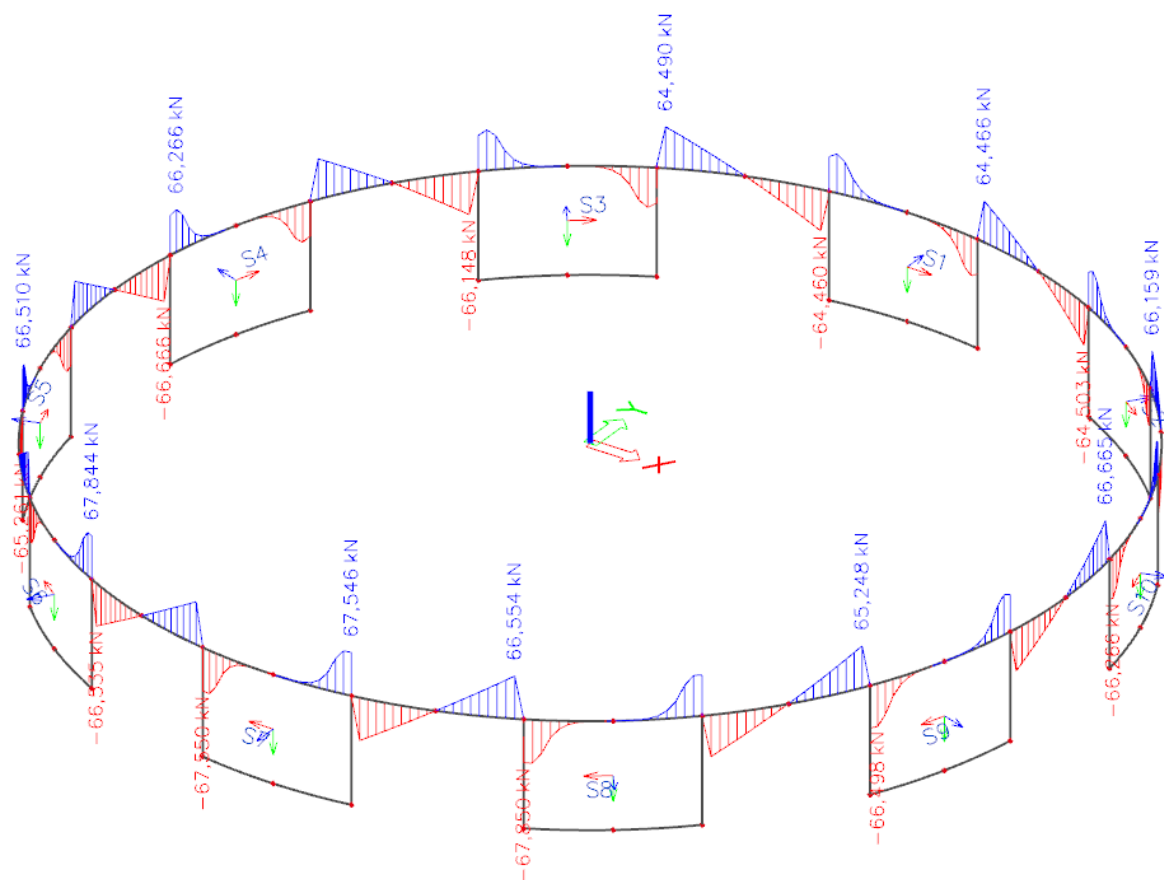
MSP– Kvazistálá – N [kN] – včetně předpětí t_0



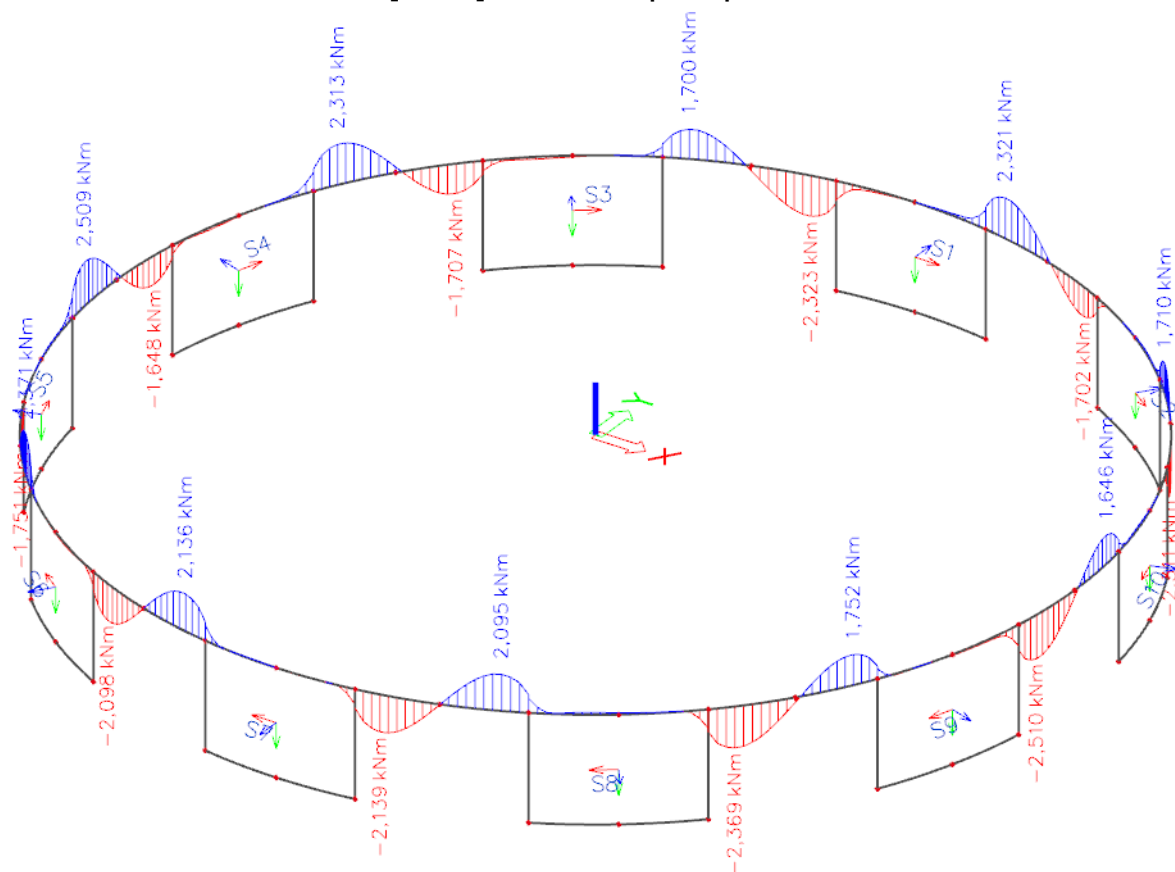
MSP – Kvazistálá – Vy [kN] – včetně předpětí t_0



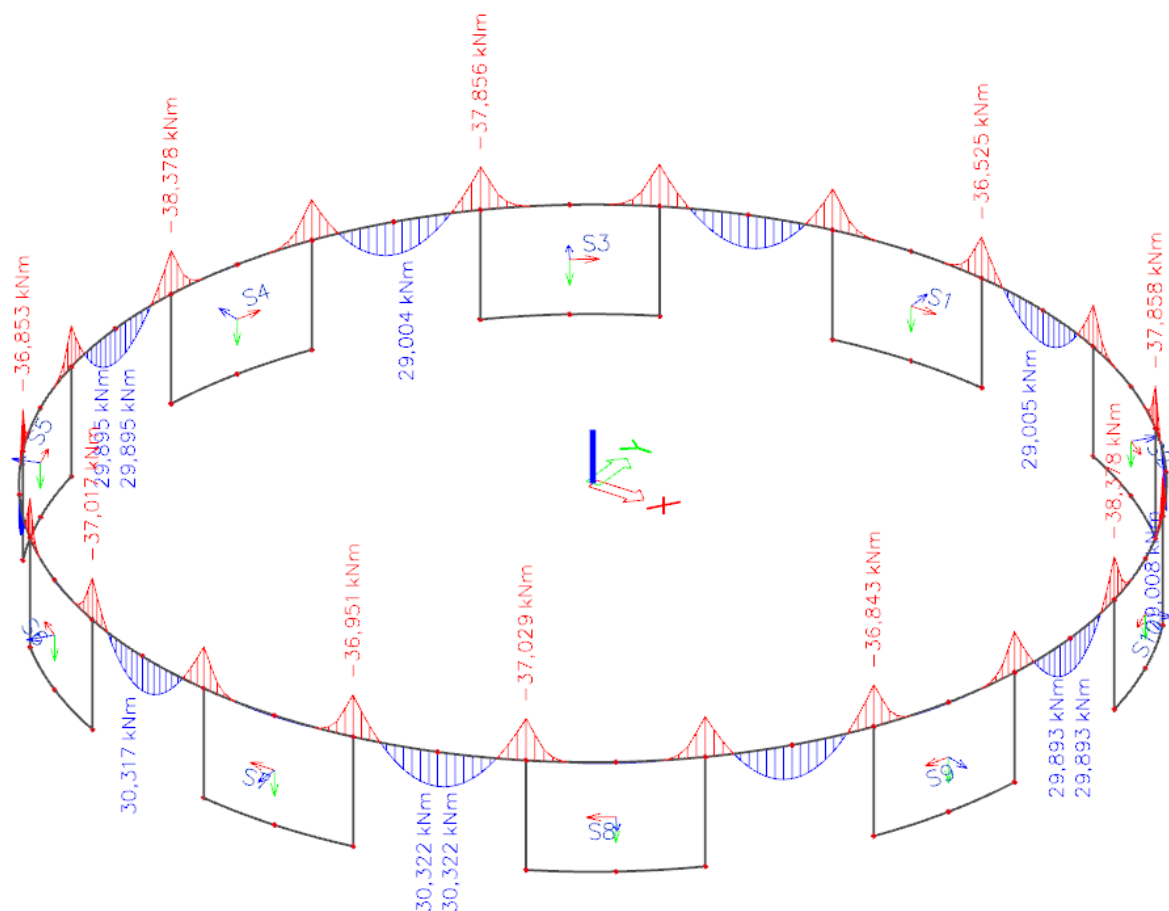
MSP – Kvazistálá – Vz [kN] – včetně předpětí t_0



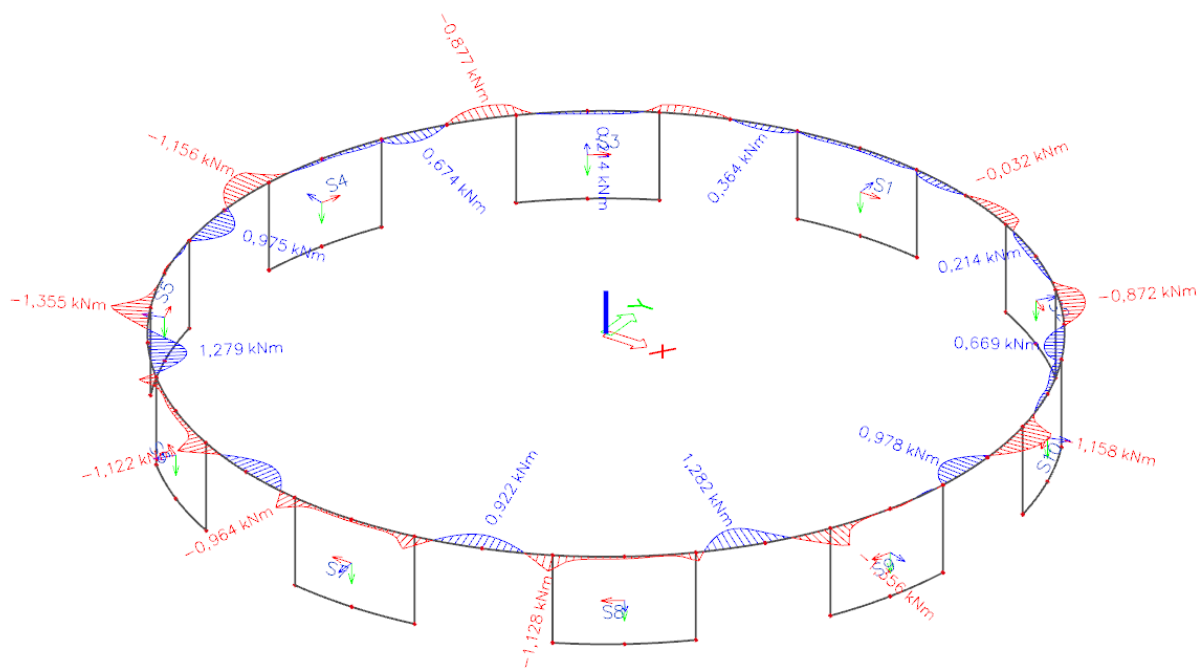
MSP – Kvazistálá – Mx [kNm] – včetně předpětí t_0



MSP – Kvazistálá – M_y [kNm] – včetně předpětí t_0



MSP – Kvazistálá – M_z [kNm] – včetně předpětí t_0



MSU – Kombinace – obálka (bez předpínací síly):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B8	CS1 - Obdélník	3,607	MSU/374	153,029	-0,139	0,005	0,054	-1,093	1,199
B1	CS1 - Obdélník	5,590	MSU/2	864,314	-14,265	99,090	2,547	-38,747	4,498
B4	CS1 - Obdélník	5,590	MSU/3	848,733	-16,123	104,494	1,438	-40,872	2,330
B2	CS1 - Obdélník	1,623	MSU/4	848,855	16,128	-104,471	-1,432	-40,871	2,322
B2	CS1 - Obdélník	1,623	MSU/5	846,072	15,582	-105,395	-1,753	-40,787	2,726
B4	CS1 - Obdélník	5,590	MSU/5	845,957	-15,577	105,415	1,758	-40,787	2,733
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSU/6	668,609	8,335	-64,883	-4,154	-4,054	2,811
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSU/6	668,634	-8,339	64,955	4,155	-4,078	2,805
B4	CS1 - Obdélník	5,410	MSU/5	784,991	-4,438	-3,576	1,092	-68,453	5,106
B1	CS1 - Obdélník	0,000	MSU/7	717,184	-1,913	-0,983	0,508	44,677	-7,417
B2	CS1 - Obdélník	0,180	MSU/4	847,894	-0,845	-10,814	0,064	42,478	-8,717
B3	CS1 - Obdélník	5,410	MSU/8	714,986	-5,904	32,680	2,826	-53,921	6,839

MSP – Charakteristická kombinace (s předpětím t_{∞}):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B9	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_CHAR1/375	-321,176	-1,670	-58,325	-1,362	-21,159	-0,950
B2	CS1 - Obdélník	1,984	MSP_CHAR1/376	121,891	1,627	74,177	-0,728	-37,082	0,970
B4	CS1 - Obdélník	5,590	MSP_CHAR1/377	54,617	-4,765	85,188	1,396	-31,964	-0,265
B2	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_CHAR1/378	54,715	4,769	-85,170	-1,392	-31,964	-0,271
B2	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_CHAR1/379	53,553	4,550	-85,623	-1,580	-31,901	-0,025
B4	CS1 - Obdélník	5,590	MSP_CHAR1/379	53,457	-4,546	85,640	1,584	-31,902	-0,019
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSP_CHAR1/380	-79,751	0,644	-55,210	-3,463	-2,247	2,387
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSP_CHAR1/380	-79,727	-0,648	55,260	3,463	-2,264	2,382
B4	CS1 - Obdélník	5,410	MSP_CHAR1/379	105,981	-2,914	-50,098	0,793	-51,182	0,788
B1	CS1 - Obdélník	0,000	MSP_CHAR1/381	-57,349	-1,372	-0,814	0,384	37,059	-1,416
B5	CS1 - Obdélník	6,311	MSP_CHAR1/382	-84,473	-0,054	42,629	1,069	14,048	-3,007
B6	CS1 - Obdélník	1,443	MSP_CHAR1/380	-79,745	0,095	-63,100	-3,343	-12,968	2,453

MSP – Častá kombinace (s předpětím t_{∞}):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B9	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_ČASTÁ1/384	-273,686	-0,966	-64,879	-1,621	-23,539	-0,590
B2	CS1 - Obdélník	2,164	MSP_ČASTÁ1/385	17,587	1,046	56,820	-0,283	-14,593	0,279
B5	CS1 - Obdélník	5,410	MSP_ČASTÁ1/385	-76,967	-2,481	-55,960	0,431	-40,164	-0,585
B1	CS1 - Obdélník	1,803	MSP_ČASTÁ1/385	-76,938	2,479	55,956	-0,432	-40,164	-0,583
B2	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_ČASTÁ1/385	-72,140	2,063	-69,646	-1,318	-25,653	-0,431
B4	CS1 - Obdélník	5,590	MSP_ČASTÁ1/385	-72,217	-2,060	69,659	1,321	-25,653	-0,426
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSP_ČASTÁ1/385	-150,351	0,154	-51,800	-2,648	-2,255	1,020
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSP_ČASTÁ1/385	-150,317	-0,155	51,808	2,647	-2,256	1,017
B1	CS1 - Obdélník	1,803	MSP_ČASTÁ1/386	-68,696	2,298	55,892	-0,546	-40,885	-0,373
B7	CS1 - Obdélník	7,213	MSP_ČASTÁ1/387	-247,128	0,174	0,184	0,000	31,290	0,143
B5	CS1 - Obdélník	6,311	MSP_ČASTÁ1/388	-151,420	0,103	38,264	1,427	12,872	-1,493
B6	CS1 - Obdélník	1,443	MSP_ČASTÁ1/385	-150,351	-0,133	-59,274	-2,534	-12,310	1,022

MSP – Kvazistálá kombinace (s předpětím t_0):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B9	CS1 - Obdélník	1,623	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-347,940	-1,873	-66,535	-1,690	-23,998	-0,834
B2	CS1 - Obdélník	2,525	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-52,869	0,550	14,173	-0,121	-1,993	0,077
B7	CS1 - Obdélník	1,623	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-324,429	-2,495	-64,738	-1,989	-22,825	-0,055
B9	CS1 - Obdélník	5,590	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-324,344	2,491	64,749	1,991	-22,827	-0,055
B7	CS1 - Obdélník	5,410	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-244,400	-1,320	-67,850	0,837	-37,029	-1,106
B9	CS1 - Obdélník	1,803	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-244,479	1,311	67,844	-0,839	-37,017	-1,101
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-247,305	-0,782	-50,944	-2,510	-2,083	0,826
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-247,272	0,781	50,952	2,509	-2,084	0,823
B1	CS1 - Obdélník	1,803	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-159,566	2,134	61,844	-0,500	-38,378	-0,977
B7	CS1 - Obdélník	7,213	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-347,710	0,251	0,127	-0,016	30,322	0,896
B6	CS1 - Obdélník	5,410	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-264,106	-0,196	1,205	0,758	36,201	-1,356
B7	CS1 - Obdélník	0,541	MSP KVAZISTÁLÁ/383	-324,313	0,026	-21,236	-1,579	23,886	1,282

Výsledky uvažované v průběhu výpočtů:

MSP – Charakteristická kombinace (s předpětím t_{∞} 5% okamžité + 5% provozní):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B9	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_CHAR/1	-412,416	-2,855	-58,325	-1,388	-20,975	-1,268
B2	CS1 - Obdélník	2,164	MSP_CHAR/2	61,410	1,127	69,981	-0,496	-18,709	0,574
B1	CS1 - Obdélník	0,000	MSP_CHAR/3	-171,163	-4,118	-0,132	1,149	33,100	-0,204
B5	CS1 - Obdélník	7,213	MSP_CHAR/3	-171,188	4,124	0,168	-1,151	33,060	-0,202
B2	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_CHAR/4	-37,685	3,365	-85,623	-1,606	-31,718	-0,343
B4	CS1 - Obdélník	5,590	MSP_CHAR/4	-37,781	-3,361	85,640	1,610	-31,718	-0,337
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSP_CHAR/3	-170,957	-0,279	-55,210	-3,483	-2,063	2,449
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSP_CHAR/3	-170,933	0,275	55,260	3,483	-2,080	2,444
B4	CS1 - Obdélník	5,410	MSP_CHAR/4	29,428	-2,806	-56,882	0,782	-50,538	0,305
B1	CS1 - Obdélník	0,000	MSP_CHAR/5	-148,504	-1,372	-0,814	0,384	37,244	-0,770
B5	CS1 - Obdélník	6,131	MSP_CHAR/6	-175,658	-0,109	51,205	1,241	5,754	-2,704
B6	CS1 - Obdélník	1,082	MSP_CHAR/7	-214,260	-0,159	-43,065	-3,240	6,742	2,598

MSP – Častá kombinace (s předpětím t_{∞} 5% okamžité + 5% provozní):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B9	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_ČASTÁ/8	-364,925	-2,151	-64,879	-1,647	-23,356	-0,908
B2	CS1 - Obdélník	2,344	MSP_ČASTÁ/9	-37,456	0,787	31,077	-0,158	-5,970	0,095
B7	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_ČASTÁ/10	-342,358	-2,758	-63,152	-1,935	-22,225	-0,158
B9	CS1 - Obdélník	5,590	MSP_ČASTÁ/10	-342,276	2,754	63,163	1,937	-22,227	-0,158
B7	CS1 - Obdélník	5,229	MSP_ČASTÁ/11	-190,888	-1,706	-69,716	0,295	-24,470	-0,811
B4	CS1 - Obdélník	5,590	MSP_ČASTÁ/9	-163,455	-0,875	69,659	1,347	-25,470	-0,744
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSP_ČASTÁ/9	-241,557	-0,769	-51,800	-2,669	-2,071	1,082
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSP_ČASTÁ/9	-241,523	0,768	51,808	2,667	-2,072	1,079
B1	CS1 - Obdélník	1,803	MSP_ČASTÁ/12	-145,234	2,191	62,663	-0,535	-40,242	-0,857
B7	CS1 - Obdélník	7,213	MSP_ČASTÁ/13	-338,283	0,174	0,184	0,000	31,475	0,788
B6	CS1 - Obdélník	5,410	MSP_ČASTÁ/14	-280,411	-0,018	0,529	0,741	-35,097	-1,460
B7	CS1 - Obdélník	0,541	MSP_ČASTÁ/10	-342,223	-0,102	-20,718	-1,532	23,343	1,391

MSP – Kvazistálá kombinace (s předpětím t_{∞} 5% okamžité + 5% provozní):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B9	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_KVAZI/15	-354,790	-1,962	-66,535	-1,692	-23,984	-0,858
B2	CS1 - Obdélník	2,525	MSP_KVAZI/15	-56,597	0,548	14,088	-0,116	-1,943	0,061
B7	CS1 - Obdélník	1,623	MSP_KVAZI/15	-331,279	-2,584	-64,738	-1,991	-22,811	-0,079
B9	CS1 - Obdélník	5,590	MSP_KVAZI/15	-331,194	2,580	64,749	1,993	-22,813	-0,078
B7	CS1 - Obdélník	5,410	MSP_KVAZI/15	-250,146	-1,312	-68,358	0,836	-36,980	-1,143
B9	CS1 - Obdélník	1,803	MSP_KVAZI/15	-250,226	1,303	68,352	-0,838	-36,968	-1,138
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSP_KVAZI/15	-254,152	-0,851	-50,944	-2,512	-2,069	0,831
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSP_KVAZI/15	-254,120	0,850	50,952	2,510	-2,070	0,828
B1	CS1 - Obdélník	1,803	MSP_KVAZI/15	-165,312	2,126	62,352	-0,499	-38,330	-1,013
B7	CS1 - Obdélník	7,213	MSP_KVAZI/15	-354,554	0,251	0,127	-0,016	30,336	0,945
B6	CS1 - Obdélník	5,410	MSP_KVAZI/15	-270,232	-0,149	1,039	0,758	-36,172	-1,393
B7	CS1 - Obdélník	0,541	MSP_KVAZI/15	-331,157	-0,003	-21,236	-1,580	23,900	1,322

MSP – Kvazistálá kombinace (s předpětím t_0 5% okamžité):

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B9	CS1 - Obdélník	1,623	MSP/1	-393,113	-2,459	-66,535	-1,703	-23,907	-0,991
B2	CS1 - Obdélník	3,607	MSP/1	-75,038	0,214	-0,026	-0,085	0,629	0,097
B7	CS1 - Obdélník	1,623	MSP/1	-369,601	-3,082	-64,738	-2,002	-22,734	-0,212
B9	CS1 - Obdélník	5,590	MSP/1	-369,516	3,078	64,749	2,004	-22,736	-0,212
B7	CS1 - Obdélník	5,410	MSP/1	-282,294	-1,267	-71,202	0,831	-36,710	-1,346
B9	CS1 - Obdélník	1,803	MSP/1	-282,373	1,258	71,196	-0,833	-36,698	-1,341
B6	CS1 - Obdélník	1,262	MSP/1	-292,461	-1,239	-50,944	-2,520	-1,991	0,857
B10	CS1 - Obdélník	5,951	MSP/1	-292,428	1,237	50,952	2,519	-1,993	0,854
B1	CS1 - Obdélník	1,803	MSP/1	-197,459	2,081	65,196	-0,495	-38,060	-1,216
B7	CS1 - Obdélník	7,213	MSP/1	-392,841	0,251	0,127	-0,016	30,413	1,216
B6	CS1 - Obdélník	5,410	MSP/1	-304,499	0,114	0,112	0,754	-36,009	-1,599
B7	CS1 - Obdélník	0,541	MSP/1	-369,447	-0,170	-21,236	-1,584	23,978	1,548

Dimenzování prstence/věnce:

Výpočet:

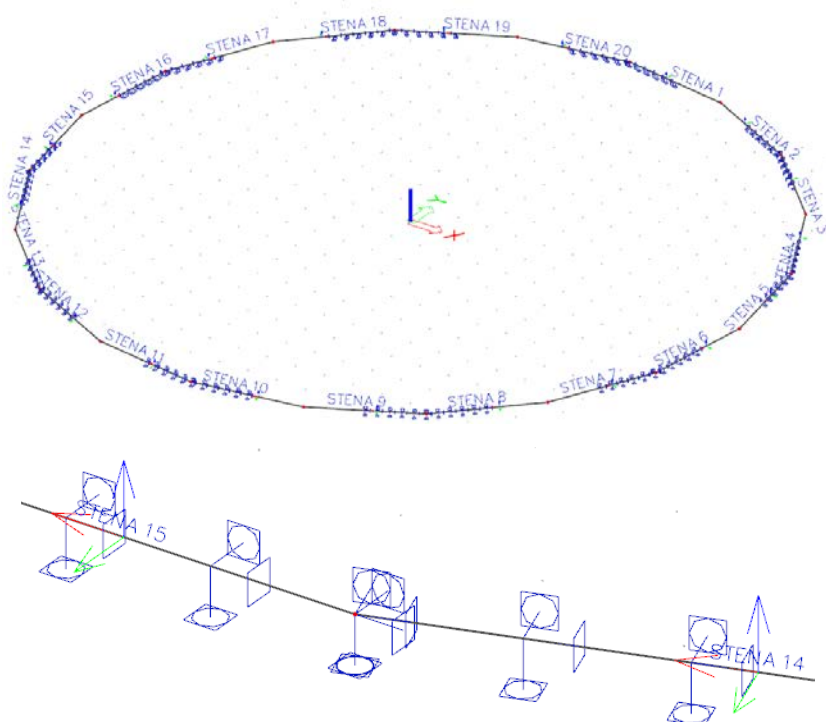
Prstenec je zatížen vodorovnými a svislými složkami reakcí od skořepiny a od atiky. Prstenec je vetknut do železobetonových obvodových stěn. V místech projektovaných otvorů pod prstencem (mezi stěnami) vznikají vnitřní síly: N , V_y , V_z , M_x , M_y , M_z .

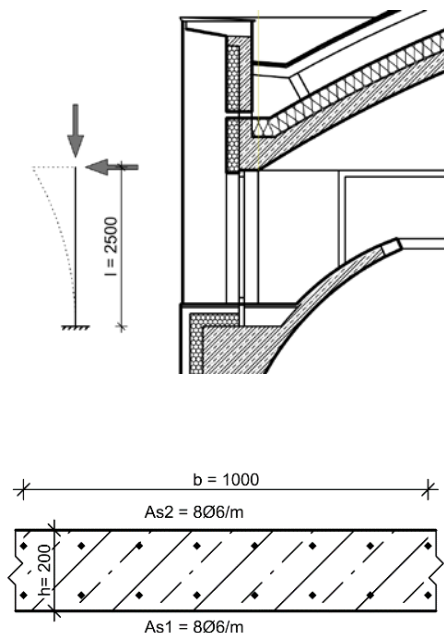
Maximální hodnoty vnitřních sil vznikají ve stěně 3–4.

Modely:

Výpočtový model je sestaven ze skruže, která je uložena na železobetonových stěnách. V prvním modelu bude počítáno s tuhým vetknutím prstence, kdy jsou stěny tuhé nepoddajné konstrukce. Druhý model bude osazen na pružných podporách, které budou charakterizovat osovou a ohybovou tuhost stěn. Ve třetím modelu budou k prstenci namodelovány stěny.

Model 1:





Model 2:

Výpočet tuhosti podpor:

Svislá tuhost (tuhost Z):

Je dána osovou tuhostí železobetonových stěn, které nesou celou konstrukci skořepiny. Pro výpočet je tloušťka stěny uvažována na 200 mm. Výška stěny je 2,5 m.

$$k = \frac{E \cdot A}{l} = \frac{31 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{2,5} = 2\,480,000 \text{ MN/m}$$

Vodorovná tuhost (tuhost Y):

Je dána ohybovou tuhostí železobetonových stěn. Bude předpokládán minimální stupeň vyztužení.

$$A_{s,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 0,2 \cdot 1,0 = 0,0004 \text{ m}^2$$

$$A_s = 16\phi 6 = 0,000452389 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti betonového průřezu:

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,0 \cdot 0,2^3 = 0,000666 \text{ m}^4$$

Pracovní součinitel:

$$\alpha = E_s / E_{cm} = 200 / 31 = 6,4516$$

Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 1,0 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ m}^2$$

Plocha ideálního průřezu:

$$A_i = A_c + A_s \cdot \alpha = 0,2 + 0,000452389 \cdot 6,4516 = 0,2029 \text{ m}^2$$

Těžiště betonového průřezu:

$$T_c = 1/2 \cdot h = 0,5 \cdot 0,2 = 0,100 \text{ m}$$

Těžiště ideálního průřezu:

$$T_i = T_c = 0,100 \rightarrow \text{průřez je symetricky vyztužen}$$

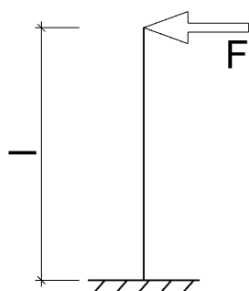
Vzdálenost těžiště ideálního průřezu ke spodní a horní výztuži:

$$t_{s1,2} = T_i - d_1 = 0,100 - 0,039 = 0,061 \text{ m}$$

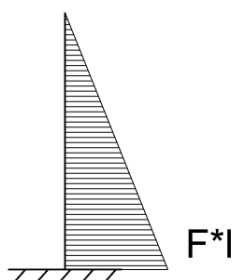
Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$\begin{aligned} I_{ci} &= I_c + A_c \cdot t_c^2 + \alpha \cdot A_s \cdot t_{s1,2}^2 = \\ &= 0,000666 + 0,2 \cdot 0^2 + 6,4516 \cdot 0,000452389 \cdot 0,061^2 = \\ &= 0,000677526 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

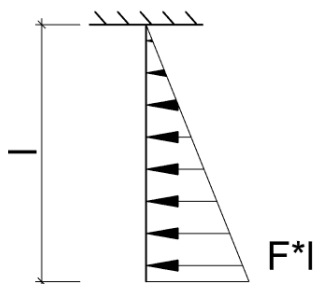
Výpočtový model:



Ohybový moment:



Fiktivní nosník:



Průhyb:

$$u = \frac{\bar{M}}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I}$$

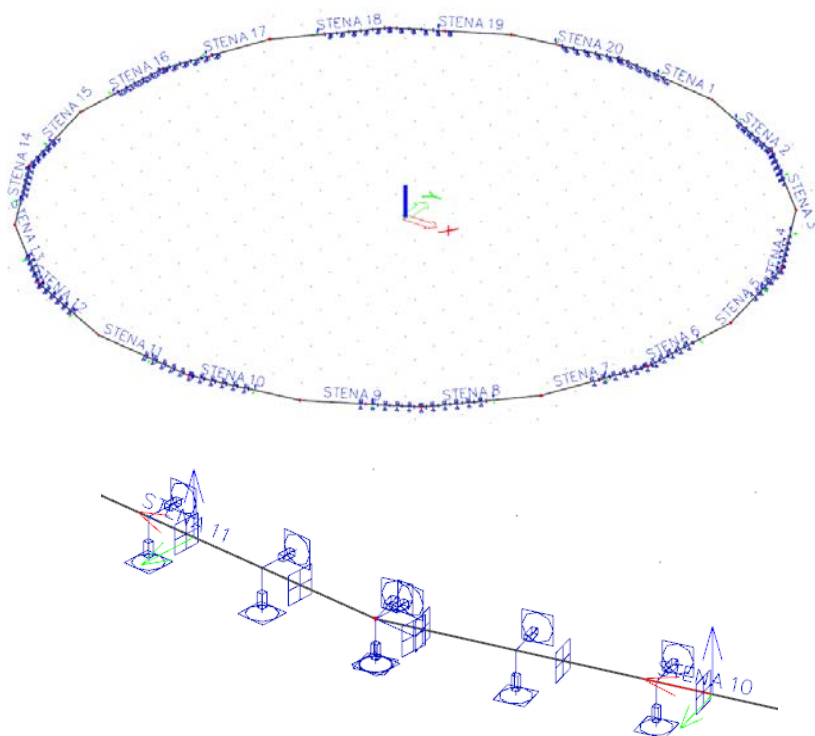
Z toho tuhost:

$$k = \frac{F}{u} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3} = \frac{3 \cdot 31 \cdot 10^3 \cdot 0,000677526}{2,5^3} = \underline{4,0326 \text{ MN/m}}$$

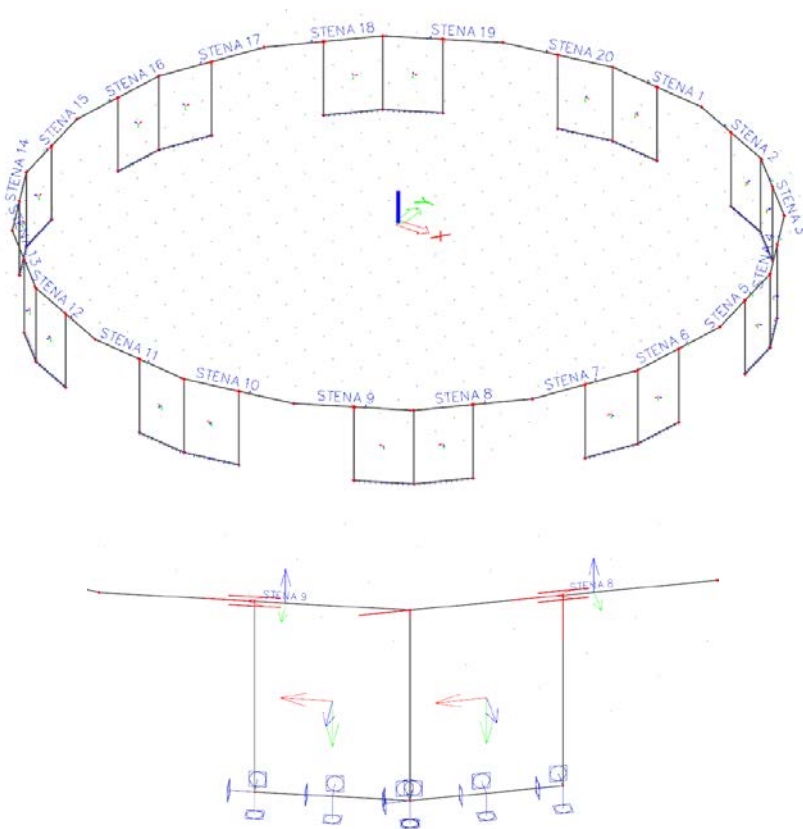
Ohybová tuhost kolem osy X (tuhost R_x):

$$\varphi = \frac{V}{E \cdot I} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I}$$

$$k = \frac{F \cdot l}{\varphi} = \frac{2 \cdot E \cdot I}{l} = \frac{2 \cdot 31 \cdot 10^3 \cdot 0,000677526}{2,5} = \underline{16,8026 \text{ MNm/rad}}$$



Model 3:



Uložení stěn na tuhých podporách

Srovnání výsledků:

Srovnávací tabulka

Vnitřní síly	model		
	1	2	3
N [kN]	128,720	723,428	813,988
V _y [kN]	133,706	128,887	130,381
V _z [kN]	121,347	121,324	121,445
M _x [kNm]	5,503	5,436	7,714
M _y [kNm] pole	34,680	34,289	43,420
M _y [kNm] podpora	-72,916	-73,265	-71,842
M _z [kNm] pole	29,670	60,334	37,109
M _z [kNm] podpora	-73,396	-73,548	-66,622

Normálové síly modelu 1 se liší od modelů 2 a 3 o stovky kN, uvažování podpor v modelu 1 charakterizují konstrukci nejméně. Ostatní hodnoty vnitřních sil vycházejí přibližně podobně. Hodnoty V_y a M_z jsou velmi závislé na celkovém modelu (aproximace kruhu na n-úhelník).

Přibližné ověření vnitřních sil výpočtem:

Ověření normálové síly:

ZS1 – vlastní tíha:

Průměrná hodnota zatížení: $g = 45,268 \text{ kN/m}$

ZS7 – zatížení sněhem:

Průměrná hodnota zatížení: $g = 7,618 \text{ kN/m}$

ZS18 – návěj:

Průměrná hodnota zatížení: $g = 1,739 \text{ kN/m}$

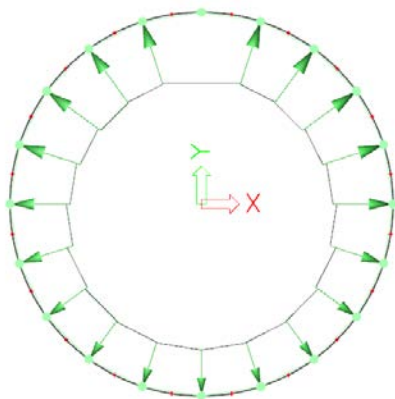
Kombinace 6.10a:

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (ZS7 + ZS18) =$$

$$= 1,35 \cdot 45,268 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot (7,618 + 1,739) = 68,129 \text{ kN/m}$$

Poloměr prstence:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{22,960}{2} = 11,48 \text{ m}$$



Tahová normálová síla:

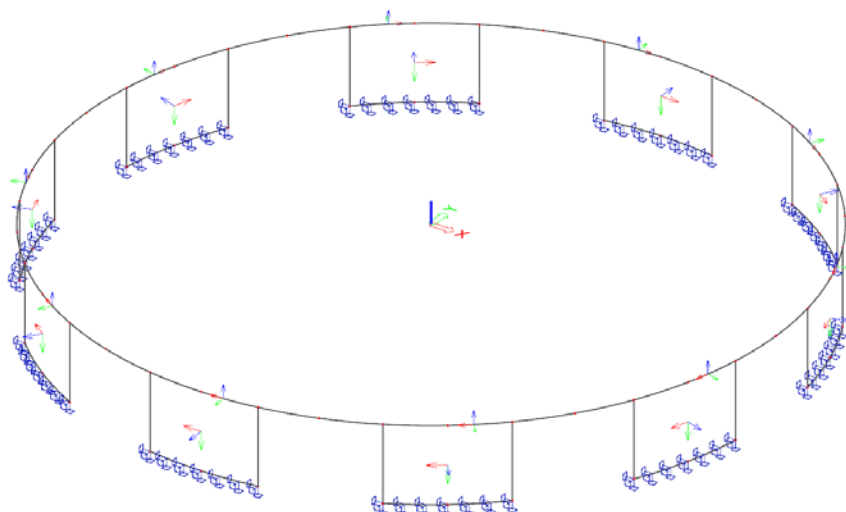
$$N = g \cdot r = 68,129 \cdot 11,48 = \underline{782,121 \text{ kN}}$$

Vypočtená normálová síla se přibližně shoduje s modelem 2 a 3.

Model 4:

Z důvodů nepřesných hodnot V_y a M_z je vytvořen přesnější model reálného kruhového tvaru. Prstenec je uložen na železobetonových stěnách jako v případě modelu 3.

Vnitřní síly	model 4
N [kN]	864,315
V_y [kN]	16,128
V_z [kN]	105,415
M_x [kNm]	4,155
M_y [kNm] pole	44,678
M_y [kNm] podpora	-68,453
M_z [kNm] pole	8,717
M_z [kNm] podpora	-6,839



Prstenec bude dimenzován na výsledky vnitřních sil z modelu 4.

Vzhledem k velké tahové síle budou navržena nesoudržná předpínací lana.

Návrh předpětí:

Normálová síla: $N = 864,315 \text{ kN}$

Lano: Y1860S7- 15,7- A

$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$

$A_p = 150 \text{ mm}^2$

$f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1640}{1,15} = 1426,087 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k}\} =$$

$$\min\{0,8 \cdot 1860; 0,9 \cdot 1640\} = \min\{1488; \mathbf{1476}\}$$

$$\sigma_{pm0,max} = \min\{0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}\}$$

$$= \min\{0,75 \cdot 1860; 0,85 \cdot 1640\} = \min\{1395; \mathbf{1394}\}$$

Okamžité ztráty: 5 %

$$\sigma_{pm0} = 0,95 \cdot \sigma_{pmax} = 0,95 \cdot 1476 = 1402,2 \text{ MPa} \rightarrow \underline{1394 \text{ MPa}}$$

$$P_{pm0,max} = \sigma_{pm0,max} \cdot A_p = 1394 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^{-6} = 209,1 \text{ kN}$$

Předpínací síla v době vnesení předpětí:

$$P_0 = 4 \cdot 209,1 = 836,4 \text{ kN}$$

Pro předepnutí budou použity 4 monostrandy.

Přepočet předpínací síly na zatížení:

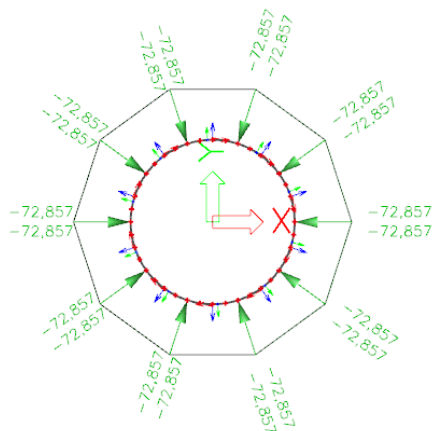
$$p = \frac{P_0}{d/2} = \frac{836,4}{22,96/2} = 72,857 \text{ kN/m}^2$$

Provozní ztráty: 5 %

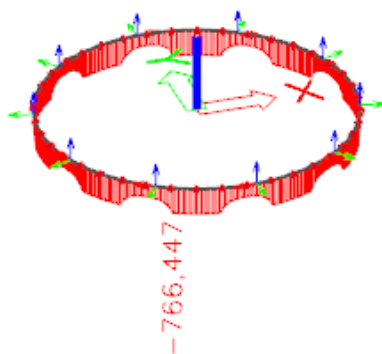
$$P_\infty = 0,95 \cdot 836,4 = 794,58 \text{ kN}$$

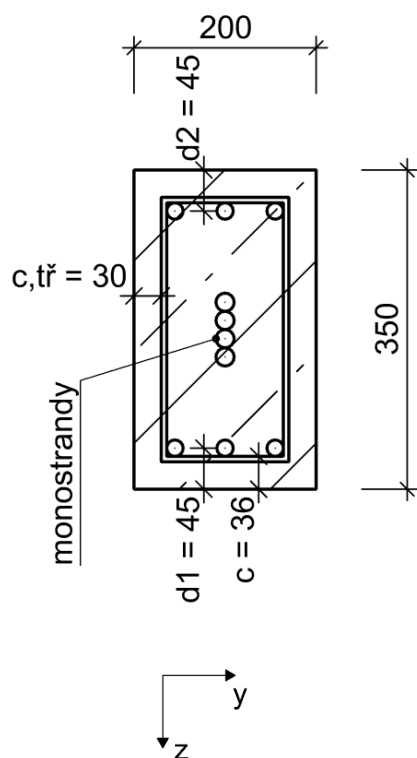
$$p = \frac{P_\infty}{d/2} = \frac{794,58}{22,96/2} = 69,214 \text{ kN/m}^2$$

zatížení:



Normálová síla:





Vnitřní síly prstence včetně předpětí v čase t_∞

Vnitřní síly (maximální)	model 4
N [kN]	136,200
V_y [kN]	6,174
V_z [kN]	105,415
M_x [kNm]	4,155
M_y [kNm] pole	44,678
M_y [kNm] podpora	-68,453
M_z [kNm] pole	3,663
M_z [kNm] podpora	-2,935

Návrh prstence:

Je navržen profil 200x350 mm, průřez je symetricky vyztužen.

Návrh krytí výztuže:

- Předpokládaný průměr výztuže: 18 mm

$$c_{min,b} \geq \varnothing + 5 = 18 + 5 = 23 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{23 \text{ mm}; 25 \text{ mm}; 11 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

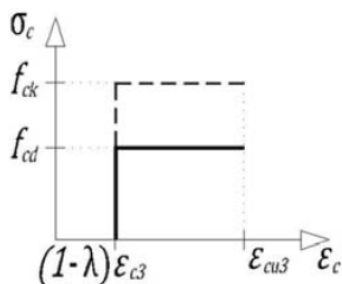
Krycí tloušťka hlavní výztuže je 36 mm, krytí třmíneků je 30 mm.

Maximální plocha výztuže:

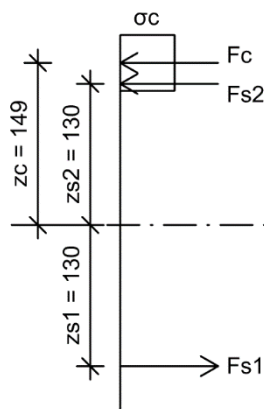
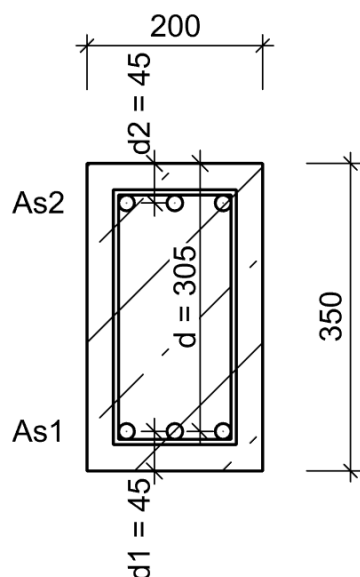
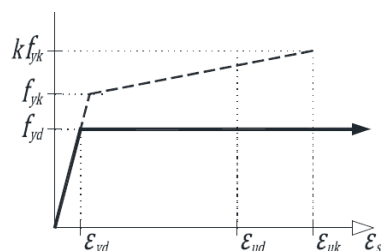
$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 0,35 = 0,0028 \text{ m}^2$$

$$A_s = 6\varnothing 18 = 0,0015268 \text{ m}^2 < A_{s,max}$$

Beton:



Ocel:



Výpočet bodů interakčního diagramu – posouzení na M+N – směr z:

Bude proveden výpočet pro průřez s výztuží (3Ø18) při spodním a při vrchním povrchu. $A_{s1} = A_{s2}$.

$$A_{s1} = 0,000763 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 0,000763 \text{ m}^2$$

$$d_1 = 45 \text{ mm}$$

$$d_2 = 45 \text{ mm}$$

$$d = 305 \text{ mm}$$

$$d = 305 \text{ mm}$$

$$z_{s1} = 130 \text{ mm}$$

$$z_{s2} = 130 \text{ mm}$$

beton:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16,667 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

ocel:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$e_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

Bod 3: (v tlačенých vláknech betonu dosaženo ϵ_{cu3} ; prostý ohyb)

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

Horní výztuž nebude plně využita a bude v tlačené části betonu. Spodní výztuž bude plně využita.

$$\frac{\epsilon_{cu3}}{x} = \frac{\epsilon_{s2}}{x - d_2}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} \cdot (x - d_2) = \frac{3,5}{x} \cdot (x - 45)$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 0,000763 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 331,737 \text{ kN}$$

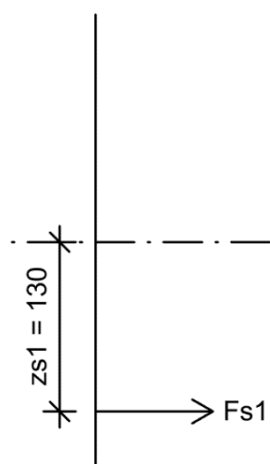
$$\begin{aligned} F_{s2} &= A_s \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s = 0,000763 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,0035}{x} \cdot (x - 0,045) = \\ &= 534,1 - \frac{24,0345}{x} \end{aligned}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 0,8 \cdot x \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 2666,72 \cdot x$$

$$N_{Rd} = 0 = -F_c - F_{s2} + F_{s1}$$

$$= -2666,72 \cdot x - \left(534,1 - \frac{24,0345}{x} \right) + 331,737 =$$

$$= -2666,72 \cdot x - 202,363 + \frac{24,0345}{x} = 0$$



$$-2666,72 \cdot x^2 - 202,363 \cdot x + 24,0345 = 0$$

$$2666,72 \cdot x^2 + 202,363 \cdot x - 24,0345 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} =$$

$$= \frac{-202,363 \pm \sqrt{202,363^2 - 4 \cdot 2666,72 \cdot (-24,0345)}}{2 \cdot 2666,72} =$$

$$x_{1,2} \begin{cases} 0,064294556 \\ -0,140179164 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (x - d_2) = \frac{3,5}{0,064294556} \cdot (0,064294556 - 0,045) =$$

$$= 1,050 \text{ ‰}$$

$$F_{s2} = A_s \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,000763 \cdot 200 \cdot 1,050 \cdot 10^3 = 160,23 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,064294556 \cdot 16,667 \cdot 10^3 =$$

$$= 171,455 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 0 = -F_c - F_{s2} + F_{s1} = -171,455 - 160,230 + 331,737 =$$

$$= 0,052 \approx 0$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{x_c}{2} = \frac{0,350}{2} - \frac{0,064294556 \cdot 0,8}{2} = 0,14928 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1}$$

$$= 171,455 \cdot 0,14928 + 160,23 \cdot 0,130 + 331,737 \cdot 0,130 =$$

$$= 89,550 \text{ kNm}$$

Bod 4: (ve spodní výztuži dosaženo ε_{yd} , n.o prochází horní výztuží)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{s2} = 0 \text{ ‰}$$

$$\frac{\varepsilon_{s1}}{h - d_1 - d_2} = \frac{\varepsilon_c}{d_2}$$

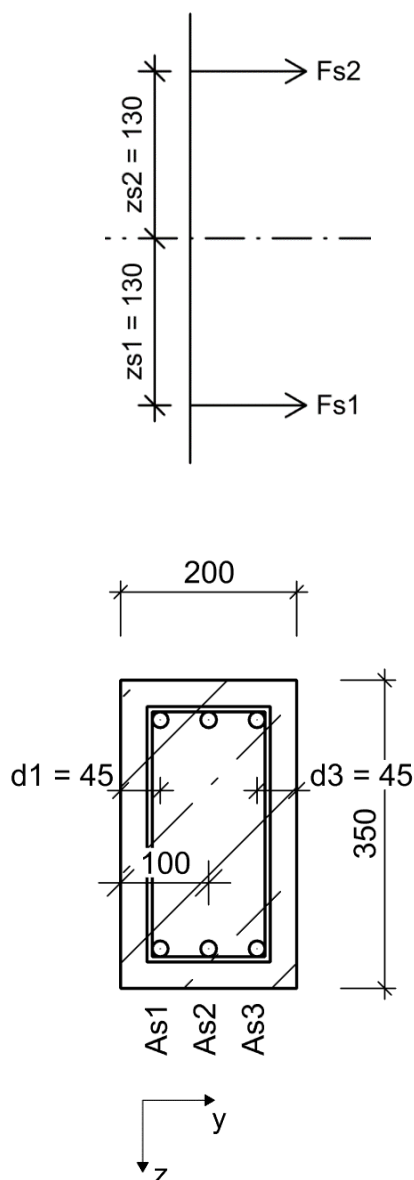
$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{s1} \cdot d_2}{h - d_1 - d_2} = \frac{2,17 \cdot 0,045}{0,350 - 0,045 - 0,045} = 0,375 \text{ ‰}$$

V betonu není překročeno přetvoření ε_{c3} ,

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 0,000763 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 331,737 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} = 331,737 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot z_{s1} = 331,737 \cdot 0,130 = 43,125 \text{ kNm}$$



Bod 5: (tahové porušení průřezu)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,000763 = 331,737 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} + F_{s2} = 331,737 + 331,737 = 663,474 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = -F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = -331,737 \cdot 0,130 + 331,737 \cdot 0,130 = 0,000 \text{ kNm}$$

Výpočet bodů interakčního diagramu – posouzení na M+N – směr y:

Bude proveden výpočet pro průřez s výztuží ve třech vrstvách, při spodním a vrchním povrchu a uprostřed. $A_{s1} = A_{s3}$, A_{s2} .

$$A_{s1} = 2\phi 18 = 0,000508 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 18 = 0,000508 \text{ m}^2$$

$$d_1 = 45 \text{ mm}$$

$$d_2 = 100 \text{ mm}$$

$$d = 155 \text{ mm}$$

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$z_{s1} = 55 \text{ mm}$$

$$z_{s2} = 0 \text{ mm}$$

$$A_{s3} = 2\phi 18 = 0,000508 \text{ m}^2$$

$$d_3 = 45 \text{ mm}$$

$$d = 155 \text{ mm}$$

$$z_{s3} = 55 \text{ mm}$$

beton:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16,667 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

ocel:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$e_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

Bod 3: (v tlačných vláknech betonu dosaženo ε_{cu3} ; prostý ohyb)

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

Horní výztuž nebude plně využita a bude v tlačené části betonu. Spodní výztuž bude plně využita. Prostřední výztuž nebude plně využita a bude v tažené oblasti.

$$\frac{\varepsilon_{cu3}}{x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{d_2 - x} = \frac{\varepsilon_{s3}}{x - d_3}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_2 - x) = \frac{0,0035}{x} \cdot (0,100 - x)$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (x - d_3) = \frac{0,0035}{x} \cdot (x - 0,045)$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 0,000508 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 220,868 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_s \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,000508 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,0035}{x} \cdot (0,100 - x) =$$

$$= -355,6 + \frac{35,56}{x}$$

$$F_{s3} = A_s \cdot \varepsilon_{s3} \cdot E_s = 0,000508 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,0035}{x} \cdot (x - 0,045) =$$

$$= 355,6 - \frac{16,002}{x}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 0,35 \cdot 0,8 \cdot x \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 4\,666,76 \cdot x$$

$$N_{Rd} = 0 = -F_c - F_{s3} + F_{s2} + F_{s1} =$$

$$= -4\,666,76 \cdot x - \left(355,6 - \frac{16,002}{x}\right) + \left(-355,6 + \frac{35,56}{x}\right) +$$

$$+ 220,868$$

$$N_{Rd} = -4\,666,76 \cdot x^2 - 490,332 \cdot x + 51,562 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} =$$

$$= \frac{490,332 \pm \sqrt{490,332^2 - 4 \cdot (-4666,76) \cdot 51,562}}{2 \cdot (-4666,72)} =$$

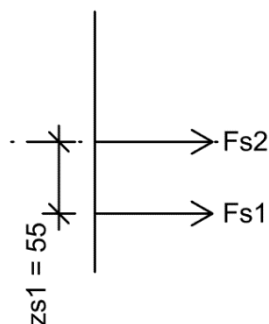
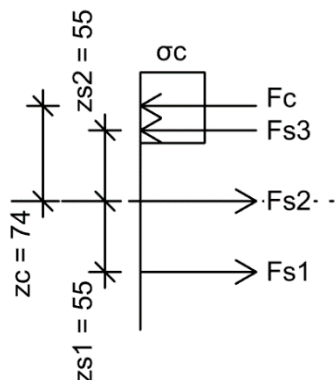
$$x_{1,2} \begin{cases} -0,170046211 \\ 0,064976269 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_2 - x) =$$

$$= \frac{3,5}{0,064976269} \cdot (0,100 - 0,064976269) = 1,8865 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (x - d_3) =$$

$$= \frac{3,5}{0,064976269} \cdot (0,064976269 - 0,045) = 1,0760 \text{ ‰}$$



$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 0,000508 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 220,868 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_s \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,000508 \cdot 200 \cdot 1,8865 \cdot 10^3 = 191,668 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = A_s \cdot \varepsilon_{s3} \cdot E_s = 0,000508 \cdot 200 \cdot 1,0760 \cdot 10^3 = 109,321 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot f_{cd} = 0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,064976269 \cdot 16,667 \cdot 10^3 = 303,228 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{x_c}{2} = \frac{0,200}{2} - \frac{0,064976269 \cdot 0,8}{2} = 0,07401 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = 0 = -F_c - F_{s3} + F_{s2} + F_{s1} = -303,228 - 109,321 + 191,668 + 220,868 = -0,013 \approx 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_{s3} \cdot z_{s3} + F_{s1} \cdot z_{s1} = 303,228 \cdot 0,07401 + 109,321 \cdot 0,055 + 220,868 \cdot 0,055 = 40,602 \text{ kN}$$

Bod 4: (v krajní výztuži dosaženo ε_{yd} , n.o prochází výztuží As3)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{s2} = 0 \text{ ‰}$$

$$\frac{\varepsilon_{s1}}{h - d_1 - d_3} = \frac{\varepsilon_c}{d_3}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{s1} \cdot d_2}{h - d_1 - d_3} = \frac{2,17 \cdot 0,045}{0,200 - 0,045 - 0,045} = 0,887 \text{ ‰}$$

V betonu není překročeno přetvoření ε_{c3} ,

$$\frac{\varepsilon_{s1}}{d - d_3} = \frac{\varepsilon_{s2}}{d - d_3}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - d_3} \cdot (d - d_3) = \frac{2,17}{0,155 - 0,045} \cdot (0,100 - 0,045)$$

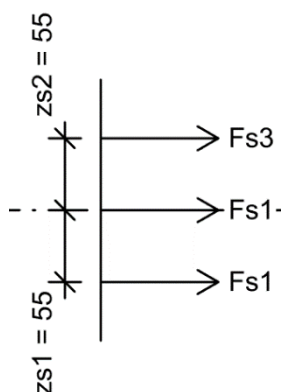
$$= 1,085 \text{ ‰}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 0,000508 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 220,868 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_s \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,000508 \cdot 200 \cdot 1,085 \cdot 10^3 = 110,236 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} + F_{s2} = 220,868 + 110,236 = 331,104 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot z_{s1} = 220,868 \cdot 0,055 = 12,147 \text{ kNm}$$



Bod 5: (tahové porušení průřezu)

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{s3} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E = 2,17 \cdot 200 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = F_{s3} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,000508 = 220,868 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} = 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,000508 = 220,868 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} = 220,868 + 220,868 + 220,868 = \\ = \underline{662,604 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = -F_{s3} \cdot z_{s3} + F_{s1} \cdot z_{s1} = -220,868 \cdot 0,055 + 220,868 \cdot 0,055 = \\ = \underline{0,000 \text{ kNm}}$$

Body zatížení:

MS1: (M_y pole a N pro směr – z)

$$M_{ED} = 44,678 \text{ kNm}$$

$$N_{ED} = 136,200 \text{ kN}$$

MS2: (M_y podpora a N pro směr – z)

$$M_{ED} = -68,453 \text{ kNm}$$

$$N_{ED} = 136,200 \text{ kN}$$

MS3: (M_z pole a N pro směr – y)

$$M_{ED} = 3,663 \text{ kNm}$$

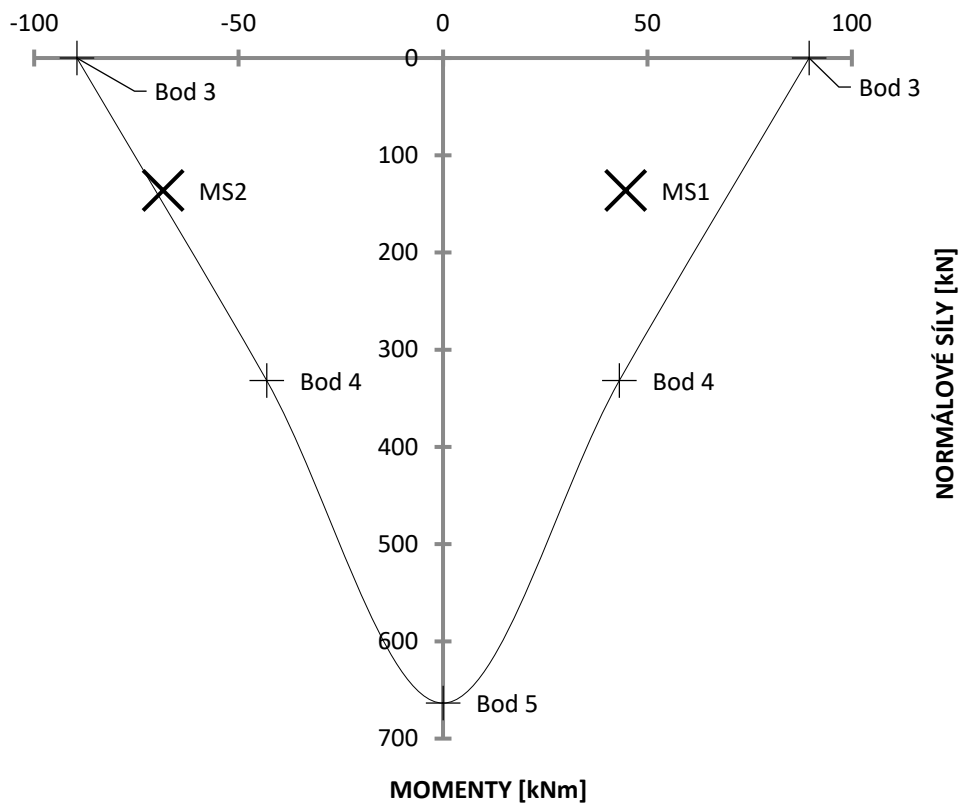
$$N_{ED} = 136,200 \text{ kN}$$

MS4: (M_z podpora a N pro směr – y)

$$M_{ED} = -2,935 \text{ kNm}$$

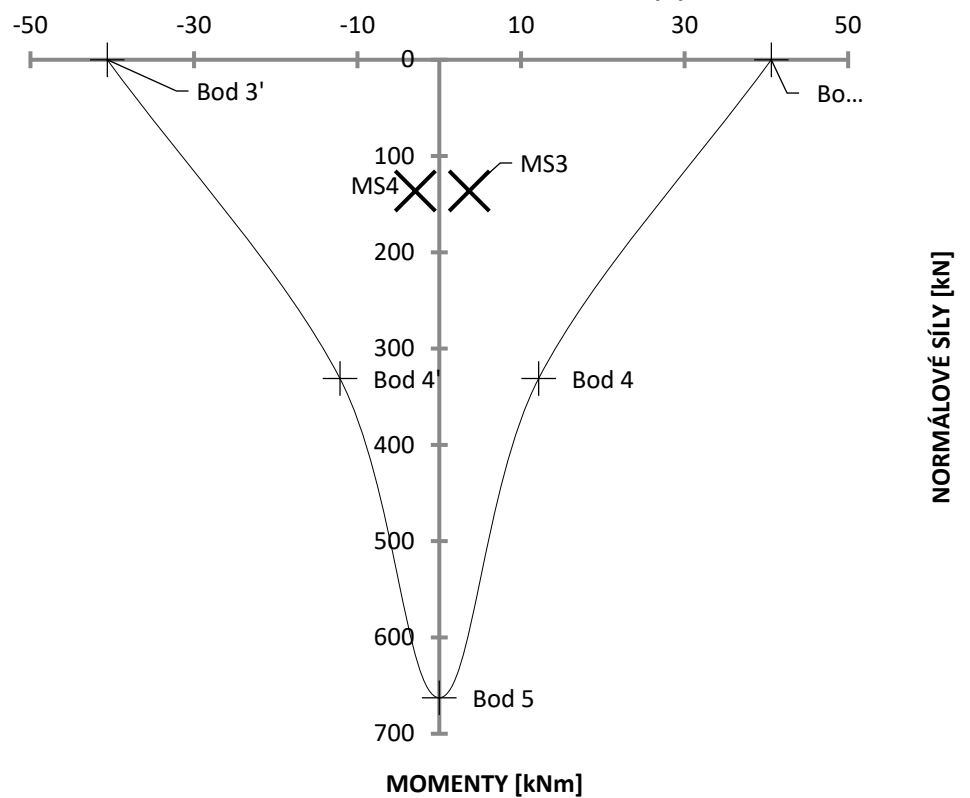
$$N_{ED} = 136,200 \text{ kN}$$

OBÁLKA ÚNOSNOSTI – SMĚR (Z)

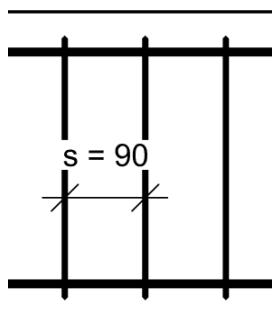
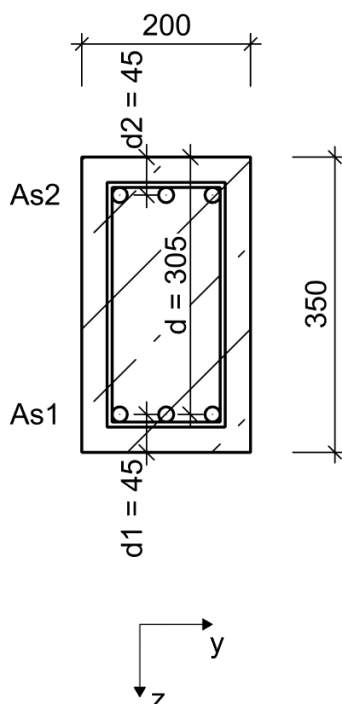


—+— OBÁLKA ÚNOSNOSTI

OBÁLKA ÚNOSNOSTI – SMĚR (Y)



—+— OBÁLKA ÚNOSNOSTI



Prstenec na kombinaci ohybu a normálové síly vyhovuje.
Posouzení bylo provedeno bez vlivu předpínací výztuže na únosnost.

Posouzení prstence na smyk – směr (z):

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{305}} = 1,809 \leq 2,0$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$A_s = 3\emptyset 18 = 0,000763 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{0,000763}{0,2 \cdot 0,305} = 0,0125 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ED}}{A_c} = \frac{136,200}{0,07} = 1\,945,714 \text{ kPa (tah)}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= \left(0,12 \cdot 1,809 \cdot (100 \cdot 0,0125 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} - 0,15 \cdot 1,945 \right) \cdot 0,2 \cdot 0,305 = \\ &= 0,0239 \text{ MN} = \underline{23,912 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{min} &= 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,035 \cdot 1,809^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,425 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= (0,425 \cdot 10^3 - 0,15 \cdot 1945,714) \cdot 0,2 \cdot 0,305 = 8,388 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{ED} = 105,415 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 23,912 \text{ kN} \dots \textbf{nevyhovuje}$$

Je třeba navrhnout smykovou výztuž

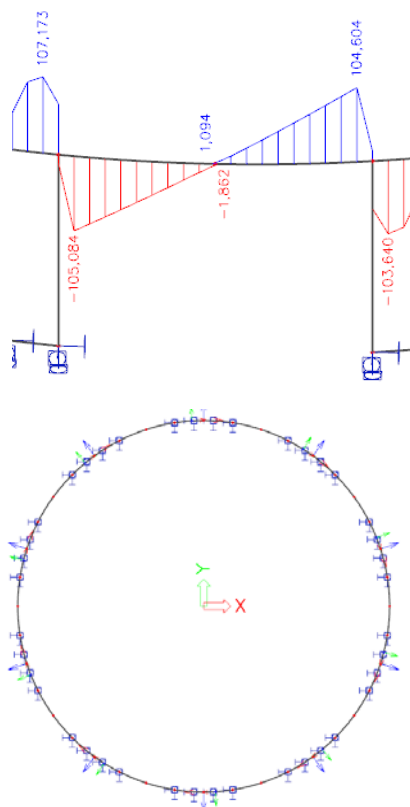
$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,305 = 0,2745 \text{ m}$$

$$\text{Navrženy dvojstřížné třmínky } 2\emptyset 6 \rightarrow A_s = 0,000056548 \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \rightarrow s = \frac{A_{sw}}{V_{Rd,s}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$s = \frac{0,000056548}{105,415} \cdot 0,2745 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 0,096 \text{ mm}$$

→ **třmínky 2Ø 6/90 mm**



Maximální podélná vzdálenost třmínků:

$$s \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,289 = 0,216 \text{ m} > 0,090 \text{ m} \dots \text{vyhovuje}$$

$$s \leq 0,400 \text{ m} > 0,150 \text{ m} \dots \text{vyhovuje}$$

Maximální příčná vzdálenost třmínků:

$$s \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,289 = 0,216 \text{ m} > 0,134 \text{ m} \dots \text{vyhovuje}$$

$$s \leq 0,600 \text{ m} > 0,134 \text{ m} \dots \text{vyhovuje}$$

Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{min} = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}/f_{yk}} = 0,08 \cdot \sqrt{25/500} = 0,0008$$

$$\rho = \frac{A_{sw}}{b \cdot s} = \frac{0,000056548}{0,2 \cdot 0,09} = 0,003141 > \rho_{min} = 0,0008 \dots \text{vyhovuje}$$

V místech kde již nebude třeba smykové výztuže bude navržena minimální výztuž **2Ø 6/200 mm**

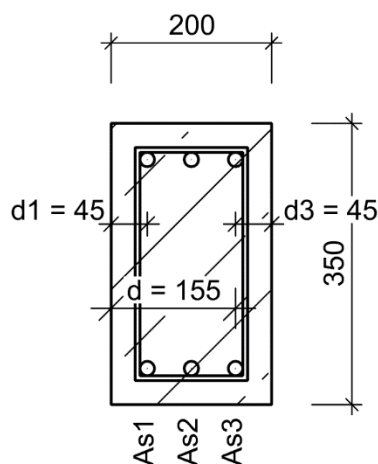
Délka prstence mezi podporami (stěnami):

$$o = \pi \cdot \frac{d}{360} \cdot 18 = \pi \cdot \frac{22,960}{360} \cdot 18 = 3,606 \text{ m}$$

$$\frac{V_{ED}}{o/2} = \frac{V_{Rd,c}}{x}$$

$$x = \frac{V_{Rd,c}}{V_{ED}} \cdot \frac{o}{2} = \frac{23,912}{105,415} \cdot \frac{3,606}{2} = 0,408 \text{ m} \rightarrow 0,4 \text{ m (od středu)}$$

1 400 mm od líce podpory budou ukládány třmínky po 200 mm.



$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta =$$

$$= \frac{0,000056548}{0,090} \cdot 0,2745 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 112,480 \text{ kN}$$

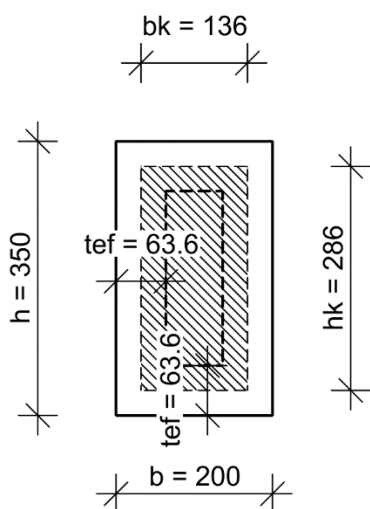
$$V_{Rd,s} = 112,480 \text{ kN} > V_{Ed} = 105,415 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení prstence na smyk – směr (y):

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{155}} = 2,135 \leq 2,0$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$A_s = 2\phi 18 = 0,000508 \text{ m}^2$$



$$\rho_l = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{0,000508}{0,35 \cdot 0,155} = 0,00936 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ED}}{A_c} = \frac{136,200}{0,07} = 1\,945,714 \text{ kPa (tah)}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= (0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00936 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} - 0,15 \cdot 1,945) \cdot 0,35 \cdot 0,155 = \\ &= 0,0214 \text{ MN} = \underline{21,413 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{min} &= 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,495 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= (0,495 \cdot 10^3 - 0,15 \cdot 1945,714) \cdot 0,35 \cdot 0,155 = 11,020 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{ED} = 6,174 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 21,413 \text{ kN} \dots \textbf{vyhovuje}$$

Smyková únosnost samotného betonu ve směru y je dostačující pro přenesení zatížení.

Posouzení prstence na kroucení:

$$A = b \cdot h = 0,2 \cdot 0,35 = 0,07 \text{ m}^2$$

$$u = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (0,2 + 0,35) = 1,1 \text{ m}$$

$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{0,07}{1,1} = 0,0636 \text{ m}$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,2 - 0,0636 = 0,136 \text{ m}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 0,35 - 0,0636 = 0,286 \text{ m}$$

$$u_k = 2 \cdot (b_k + h_k) = 2 \cdot (0,136 + 0,286) = 0,844 \text{ m}$$

$$A_k = b_k \cdot h_k = 0,136 \cdot 0,286 = 0,038896 \text{ m}^2$$

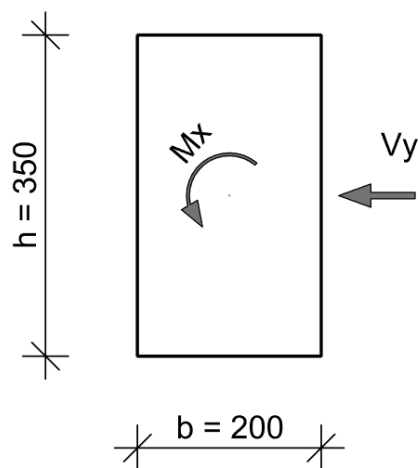
$$f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1,8 / 1,5 = 1,2 \text{ MPa}$$

Kroutící moment při vzniku trhlin:

$$\begin{aligned} T_{Rd,c} &= 2 \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot f_{ctd} = 2 \cdot 0,038896 \cdot 0,0636 \cdot 1,2 \cdot 10^3 = \\ &= 5,937 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_x = 4,155 \text{ kNm} < T_{Rd,c} = 5,937 \text{ kNm} \dots \textbf{vyhovuje}$$

Kroutící moment na mezi únosnosti:



Kroutící moment na mezi únosnosti:

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{200}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{200}\right) = 0,525$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot 0,525 \cdot 1,0 \cdot 16,667 \cdot 10^3 \cdot 0,038896 \cdot 0,0636 \cdot \sin 33,5 \cdot \cos 33,5 = 19,925 \text{ kNm}$$

Maximální posouvající síla na mezi únosnosti:

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot\theta}{1 + \cot^2\theta} =$$

$$= 0,525 \cdot 16,667 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,2745 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 221,716 \text{ kN}$$

Posouzení tlačných diagonál:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} < 1 \rightarrow \frac{105,415}{221,716} + \frac{4,155}{19,925} = 0,69 < 1 \dots \textbf{vyhovuje}$$

Posouzení na kombinaci kroucení a smyku ve vodorovném směru:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} < 1 \rightarrow \frac{6,174}{21,413} + \frac{4,155}{5,937} = 0,98 < 1 \dots \textbf{vyhovuje}$$

Průřez je považující za vyhovující, protože byly brány maximální hodnoty V_{Ed} a T_{Ed} a né odpovídající hodnoty hodnotám maximálním.

Průřez vyhovuje na zatížení kroucení a kombinaci kroucení se smykem. Toto zatížení přenesou pouze betonový průřez. Není nutná přídatná výztuž.

Mezní stav použitelnosti:

Vnitřní síly na prutu – char. kombinace – čas t₀:

Vnitřní síly		N _{max} [kN]	V _{y,max} [kN]	V _{z,max} [kN]	M _{y,max} [kNm] pole	M _{y,max} [kNm] podpora	M _{z,max} [kNm] pole	M _{z,max} [kNm] pole
		61,409 (-412,415)	4,124	85,640	37,245	-50,538	2,704	-2,598
	N _{odp}	–	-171,187	-37,780	-148,503	29,428	-175,657	-214,260
	V _{y,odp}	1,127 (2,855)	–	3,361	1,372	2,806	0,109	0,159
	V _{z,odp}	69,981 (58,325)	0,168	–	0,814	56,881	51,205	43,065
	M _{y,odp pole}	0,000 (0,000)	33,060	0,000	–	0,000	5,754	6,742
	M _{y,odp podpora}	-18,709 (-20,975)	0,000	-31,718	0,000	–	0,000	0,000
	M _{z,odp pole}	0,000 (1,268)	0,202	0,337	0,770	0,000	–	0,000
	M _{z,odp podpora}	-0,574 (0,000)	0,000	0,000	0,000	-0,305	0,000	–

Vnitřní síly na prutu – častá. kombinace – čas $t_{0.7}$:

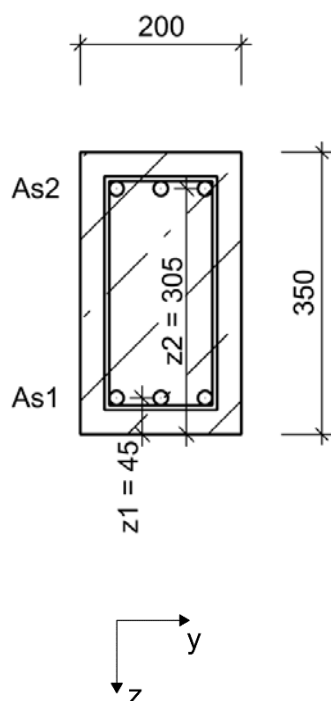
Vnitřní síly								
	N_{\max} [kN]	$V_{y,\max}$ [kN]	$V_{z,\max}$ [kN]	$M_{y,\max}$ [kNm] pole	$M_{y,\max}$ [kNm] podpora	$M_{z,\max}$ [kNm] podpora	$M_{z,\max}$ [kNm] pole	
	-364,924	2,758	69,715	31,475	-40,242	1,460	-1,391	
N_{odp}	–	-342,357	-190,888	-338,282	-145,234	-280,411	-342,222	
$V_{y,\text{odp}}$	2,151	–	1,706	0,174	2,191	0,018	0,102	
$V_{z,\text{odp}}$	64,879	63,152	–	0,184	62,662	0,529	20,718	
$M_{y,\text{odp}} \text{ pole}$	0,000	0,000	0,000	–	0,000	0,000	23,343	
$M_{y,\text{odp}} \text{ podpora}$	-23,359	-22,225	-24,470	0,000	–	-35,096	0,000	
$M_{z,\text{odp}} \text{ pole}$	0,908	0,158	0,811	0,000	0,857	–	0,000	
$M_{z,\text{odp}} \text{ podpora}$	0,000	0,000	0,000	-0,788	0,000	0,000	–	

Vnitřní síly na prutu – kvazistálá. kombinace – čas t_{∞} :

Vnitřní síly		N _{max} [kN]	V _{y,max} [kN]	V _{z,max} [kN]	M _{y,max} [kNm] pole	M _{y,max} [kNm] podpora	M _{z,max} [kNm] podpora	M _{z,max} [kNm] pole
		-56,599 (-354,790)	2,584	68,357	30,336	-38,330	1,393	-1,322
N _{odp}		–	-331,278	-250,146	-354,553	-165,312	-270,231	-331,156
V _{y,odp}		0,548 (1,962)	–	1,312	0,251	2,126	0,149	0,003
V _{z,odp}		14,088 (66,535)	64,738	–	0,127	62,351	1,040	21,236
M _{y,odp} pole		0,000 (0,000)	0,000	0,000	–	0,000	0,000	23,900
M _{y,odp} podpora		-1,943 (-23,984)	-22,811	-36,980	0,000	–	-36,172	0,000
M _{z,odp} pole		0,000 (0,858)	0,079	1,143	0,000	1,013	–	0,000
M _{z,odp} podpora		-0,061 (0,000)	0,000	0,000	-0,945	0,000	0,000	–

Vnitřní síly na prutu – čas t_0 :

Vnitřní síly		N _{max} [kN]	V _{y,max} [kN]	V _{z,max} [kN]	M _{y,max} [kNm] pole	M _{y,max} [kNm] podpora	M _{z,max} [kNm] podpora	M _{z,max} [kNm] pole
		-75,043 (-393,112)	3,082	71,201	30,414	-38,060	1,599	-1,548
N _{odp}		–	-369,600	-282,293	-392,840	-197,459	-304,498	-369,447
V _{y,odp}		0,214 (2,459)	–	1,267	0,251	2,081	0,115	0,170
V _{z,odp}		0,026 (66,535)	64,738	–	0,127	65,195	0,112	21,236
M _{y,odp} pole		0,629 (0,000)	0,000	0,000	–	0,000	0,000	23,978
M _{y,odp} podpora		0,000 (-23,907)	-22,734	-36,710	0,000	–	-36,009	0,000
M _{z,odp} pole		0,000 (0,991)	0,212	1,346	0,000	1,216	–	0,000
M _{z,odp} podpora		-0,097 (0,000)	0,000	0,000	-1,216	0,000	0,000	–



Průřezové charakteristiky ideálního průřezu – směr (z):

Pracovní součinitel beton/výztuž:

$$\alpha_s = E_s / E_{cm} = 200 / 31 = 6,4516$$

Moment setrvačnosti betonového průřezu:

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,35^3 = 0,0007146 \text{ m}^4$$

Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 0,2 \cdot 0,35 = 0,07 \text{ m}^2$$

Plocha výztuže: $A_{s1} = A_{s2} = 3\emptyset 18$

$$A_s = 0,000763 \text{ m}^2$$

Plocha ideálního průřezu:

$$A_i = A_c + A_s \cdot \alpha = 0,07 + 2 \cdot 0,000763 \cdot 6,4516 = 0,07985 \text{ m}^2$$

Těžiště betonového průřezu:

$$T_c = 1/2 \cdot h = 0,5 \cdot 0,35 = 0,175 \text{ m}$$

Těžiště ideálního průřezu:

$$T_i = 0,175 \text{ m}$$

Vzdálenost těžišť betonového a ideálního průřezu:

$$t_c = T_c - T_i = 0,175 - 0,175 = 0,000 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu ke spodní výztuži:

$$t_{s1} = T_i - z_1 = 0,175 - 0,045 = 0,130 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu k vrchní výztuži:

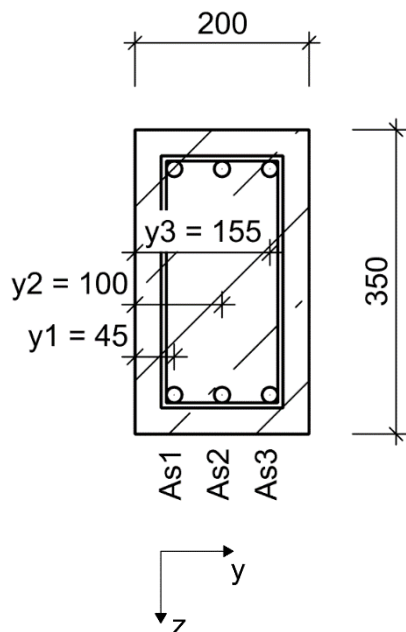
$$t_{s2} = z_2 - T_i = 0,305 - 0,175 = 0,130 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$\begin{aligned} I_{ci} &= I_c + A_c \cdot t_c^2 + \alpha \cdot A_{s1} \cdot t_{s1}^2 + \alpha \cdot A_{s2} \cdot t_{s2}^2 = \\ &= 0,0007146 + 0,07 \cdot 0 + 2 \cdot 6,4516 \cdot 0,000763 \cdot 0,130^2 = \\ &= 0,0008809 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Průřezový modul ideálního průřezu ke spodním a horním vláknům:

$$W = \frac{I_{ci}}{T_i} = \frac{0,0008809}{0,175} = 0,005034 \text{ m}^3$$



Průřezové charakteristiky ideálního průřezu – směr (y):

Pracovní součinitel:

$$\alpha = E_s / E_{cm} = 200 / 31 = 6,4516$$

Moment setrvačnosti betonového průřezu:

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,35 \cdot 0,2^3 = 0,00023333 \text{ m}^4$$

Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 0,35 \cdot 0,2 = 0,07 \text{ m}^2$$

Plocha výztuže: $A_{s1} = A_{s3} = 2\emptyset 18$; $A_{s2} = 2\emptyset 18$

$$A_{s1} = 0,000508 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 0,000508 \text{ m}^2$$

Plocha ideálního průřezu:

$$A_i = A_c + A_s \cdot \alpha = 0,07 + 3 \cdot 0,000508 \cdot 6,4516 = 0,07985 \text{ m}^2$$

Těžiště betonového průřezu:

$$T_c = 1/2 \cdot h = 0,5 \cdot 0,2 = 0,100 \text{ m}$$

Těžiště ideálního průřezu:

$$T_i = 0,100 \text{ m}$$

Vzdálenost těžišť betonového a ideálního průřezu:

$$t_c = T_c - T_i = 0,100 - 0,100 = 0,000 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu k výztuži A_{s1} :

$$t_{s1} = T_i - y_1 = 0,100 - 0,045 = 0,055 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu k výztuži A_{s2} :

$$t_{s2} = 0,000 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu k výztuži A_{s3} :

$$t_{s3} = y_3 - T_i = 0,155 - 0,100 = 0,055 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$\begin{aligned} I_{ci} &= I_c + A_c \cdot t_c^2 + \alpha \cdot A_{s1} \cdot t_{s1}^2 + \alpha \cdot A_{s3} \cdot t_{s3}^2 = \\ &= 0,00023333 + 0,07 \cdot 0 + 2 \cdot 6,4516 \cdot 0,000508 \cdot 0,055^2 = \\ &= 0,000253 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Průřezový modul ideálního průřezu ke krajním vláknům:

$$W = \frac{I_{ci}}{T_i} = \frac{0,000253}{0,100} = 0,00253 \text{ m}^3$$

Mezní stav omezení napětí t_{∞} :

*Tlakové napětí v betonu: (omezení podélných trhlin)
[charakteristická kombinace]*

Směr (z):

$$|\sigma_c| < k_1 \cdot f_{ck}$$

$$\sigma_d = -\frac{N_{max}}{A} - \frac{M_{y,odp\ podpora}}{W} = -\frac{412,415}{0,07985} - \frac{20,975}{0,005034} =$$

$$= -9\,331,538\text{ kPa}$$

$$k_1 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 25 \cdot 10^3 = 15\,000\text{ kPa}$$

$$9\,331,538\text{ kPa} < 15\,000\text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_h = -\frac{N_{odp}}{A} - \frac{M_{y,max\ pole}}{W} = -\frac{148,503}{0,07985} - \frac{37,245}{0,005034} =$$

$$\sigma_h = -9\,258,463\text{ kPa}$$

$$9\,258,463\text{ kPa} < 15\,000\text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Směr (y):

$$\sigma_h = -\frac{N_{max}}{A} - \frac{M_{z,odp\ pole}}{W} = -\frac{412,415}{0,07985} - \frac{1,268}{0,00253} =$$

$$= -5\,666,057\text{ kPa}$$

$$5\,666,057 < 15\,000\text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

*Tlakové napětí v betonu: (lineární dotvarování betonu)
[charakteristická kombinace]*

Směr (z):

$$|\sigma_c| < k_2 \cdot f_{ck}$$

$$k_2 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 25 \cdot 10^3 = 11\,250\text{ kPa}$$

$$9\,331,538\text{ kPa} < 11\,250\text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Směr (y):

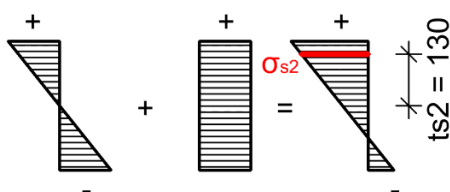
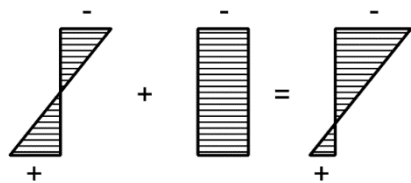
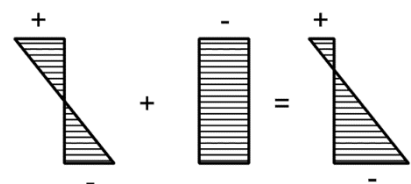
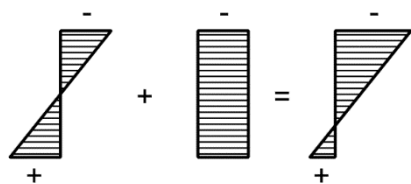
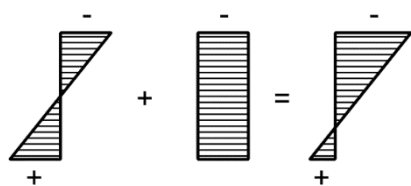
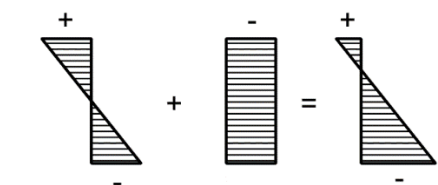
$$5\,666,057\text{ kPa} < 11\,250\text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$$

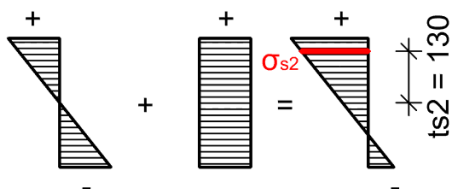
Tahové napětí ve výztuži: [charakteristická kombinace]

Směr (z): pro horní výztuž nad podporou

$$\sigma_s < k_3 \cdot f_{yk}$$

$$\sigma_{s2} = \left(+\frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{y,odp\ podpora}}{I_{ci}} \cdot t_{s2} \right) \cdot \alpha =$$





$$= \left(+ \frac{61,409}{0,07985} + \frac{18,709}{0,0008809} \cdot 0,130 \right) \cdot 6,4516 = 22\,774,536 \text{ kPa}$$

$$k_3 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 \cdot 10^3 = 400\,000 \text{ kPa}$$

$22\,774,536 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$

$$\sigma_{s2} = \left(+ \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max \text{ podpora}}}{I_{ci}} \cdot t_{s2} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{29,428}{0,07985} + \frac{50,538}{0,0008809} \cdot 0,130 \right) \cdot 6,4516 = 50\,495,087 \text{ kPa}$$

$50\,495,087 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$

Směr (y): pro krajní výztuž 1 a 3

$$\sigma_{s3} = \left(+ \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{z,odp \text{ podpora}}}{I_{ci}} \cdot t_{s3} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{61,409}{0,07985} + \frac{0,574}{0,00253} \cdot 0,055 \right) \cdot 6,4516 = 5\,042,136 \text{ kPa}$$

$5\,042,136 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$

$$\sigma_{s1} = \left(- \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{z,max \text{ pole}}}{I_{ci}} \cdot t_{s1} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(- \frac{175,657}{0,07985} + \frac{2,704}{0,00253} \cdot 0,055 \right) \cdot 6,4516 = -13\,813,227 \text{ kPa}$$

$-13\,813,227 \text{ kPa} < 400\,000 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$

Mezní stav vzniku trhlin t_0 :

Tahové napětí v betonu: [kvazistálá kombinace] $t_0 = 8 \text{ dní}$

Směr (z):

$$\sigma_c < f_{ctm}(t)$$

$$\sigma_c = - \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{y,odp \text{ pole}}}{W} = - \frac{75,043}{0,07985} + \frac{0,629}{0,005034} =$$

$$= -814,849 \text{ kPa tlak}$$

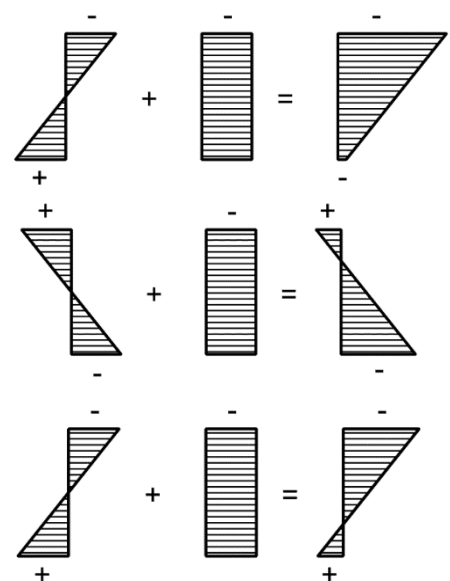
$\sigma_c = -814,849 \text{ kPa} < f_{ctm} = 1\,820 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$

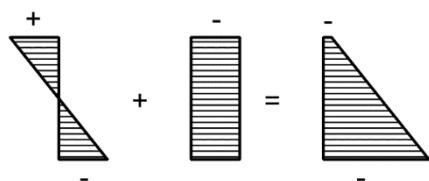
$$\sigma_c = - \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max \text{ podpora}}}{W} = - \frac{197,459}{0,07985} + \frac{38,060}{0,005034} =$$

$= 5\,087,713 \text{ kPa} > f_{ctm} = 1\,820 \text{ kPa} \dots \text{nevyhovuje}$

$$\sigma_c = - \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max \text{ pole}}}{W} = - \frac{392,840}{0,07985} + \frac{30,414}{0,005034} =$$

$= 1\,121,991 \text{ kPa} < f_{ctm} = 1\,820 \text{ kPa} \dots \text{vyhovuje}$





Směr (y):

$$\sigma_c = -\frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{z,max\ podpora}}{W} = -\frac{304,498}{0,07985} + \frac{1,599}{0,00253} =$$

$$= -3\,181,359\ kPa\ tlak$$

$$\sigma_c = -3\,181,359\ kPa < f_{ctm} = 1\,820\ kPa$$

Beton prstence bude porušen trhlinou pouze u líce stěny na horním povrchu ve směru (z). S ohledem na spolupůsobení s železobetonovou atikou nad prstencem, je možné, že k ohybovým trhlinám nebude docházet.

Výpočet ztrát v předpínacích lanech:

$$\sigma_{p0} = 1\,476\ MPa$$

Okamžité ztráty:

Ztráta třením:

$$\mu = 0,06 \rightarrow \text{monostrandy (HDPE kanálky s mazivem)}$$

$$\Delta\sigma_{p\mu} = \sigma_{p0}(1 - e^{-\mu \cdot \alpha}) = 1476 \cdot (1 - e^{-0,06 \cdot 0,5\pi}) = 132,755\ MPa$$

Ztráta pokluzem:

$$\Delta\sigma_{pw} = E_p \cdot \frac{w_p}{l_p} = 195 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,004}{37,4} = 21,667\ MPa$$

Δ Ztráta okamžitým přetvořením betonu: $\Delta\sigma_p = 0\ MPa$

Ztráta postupným předpínáním: $\Delta\sigma_p = 0\ MPa$

Ztráta otlačením betonu v případě předpínání rotačně symetrických konstrukcí:

$$r > 1\,500\ mm \rightarrow \Delta\sigma_{con} = 0\ MPa$$

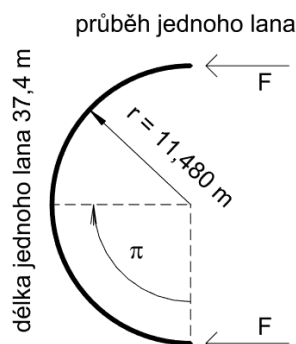
Ztráta relaxací výztuže:

$$t_{cor} = 5\ min = 0,08333\ h$$

$$\rho_{1000} = 2,5\ \%$$

$$\sigma_{pm0} = 1476\ MPa$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pm0}}{f_{pk}} = \frac{1476}{1\,860} = 0,793$$



$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t_{cor}}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} \cdot 10^{-5} =$$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{1476} = 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,793} \cdot \left(\frac{0,08333}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-0,793)} \cdot 10^{-5} \rightarrow$$

$$\Delta\sigma_{pr} = 7,713 \text{ MPa}$$

$$t_{eq} = \frac{1,14 T_{max} - 20}{T_{max} - 20} \sum (T_{(\Delta t_i)} - 20) \cdot \Delta t_i = \frac{1,14^{15-20}}{15-20} (15-20) \cdot 1,0 =$$

$$= 0,519 \text{ dní} = 12,456 \text{ hodin}$$

Zvětšená doba:

$$t^* = t_a + t_{eq} = 24 + 12,456 = 36,456 \text{ hodin}$$

$$\sigma_{pi}^+ = \sigma_{p0} + \Delta\sigma_{pw} = 1476 - 27,034 = 1\,448,966 \text{ MPa}$$

Nové počáteční napětí:

$$\sigma_{p,1} = \sigma_{pi}^+ + \Delta\sigma_{pr} = 1448,966 + 7,713 = 1\,456,679 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{p,1}}{f_{pk}} = \frac{1456,679}{1\,860} = 0,783$$

$$\Delta\sigma_{pr} = 0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t_e}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} \cdot \sigma_{p,1} \cdot 10^{-5} =$$

$$= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,783} \cdot \left(\frac{t_e}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-0,783)} \cdot 10^{-5} \cdot 1\,456,679 =$$

$$= 7,713 \text{ MPa}$$

$$t_e = 0,243 \text{ hodin}$$

Interval ztráty:

$$\Delta t_i = t^* - t_i = 36,456 - 0,08333 = 36,372 \text{ hodin}$$

$$\Delta\sigma_{pr,i} = 0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t_e + \Delta t_i}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} \cdot \sigma_{p,1} \cdot 10^{-5} - \Delta\sigma_{pr}$$

$$= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,783} \cdot \left(\frac{0,243 + 36,372}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-0,783)} \cdot 10^{-5} \cdot$$

$$\cdot 1456,679 - 7,713 = 9,727 \text{ MPa}$$

$$\frac{\Delta\sigma_{pi}}{\sigma_p} \cdot 100 = \frac{132,755 + 21,667 + 9,727}{1476} \cdot 100 = 11,12 \%$$

$$\sigma_{pm0} = \sigma_p - \Delta\sigma_{pi} = 1476 - 132,755 - 9,727 - 21,667$$

$$= 1311,851 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm0,max} = 1394 \text{ MPa} > \sigma_{pm0} = 1311,851 \text{ MPa}$$

Lana budou napínána na napětí 1476 MPa.

$$P_p = \sigma_p \cdot A_p = 1476 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^{-6} = 221,4 \text{ kN}$$

Každé lano bude napnuto na 221,4 kN.

Provozní ztráty:

$$t = 120 \text{ let} = 43\,800 \text{ dní} = 1\,051\,200 \text{ hodin}$$

Ztráta relaxací výztuže:

$$\sigma_{pm0} = 1311,851 \text{ MPa}$$

$$\sum \Delta\sigma_{pr,j} = 7,713 + 9,727 = 17,44 \text{ MPa}$$

Nové počáteční napětí:

$$\sigma_{p,1} = \sigma_{pi}^+ + \sum \Delta\sigma_{pr,j} = 1311,851 + 17,44 = 1329,291 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{p,1}}{f_{pk}} = \frac{1329,291}{1\,860} = 0,7146$$

$$\Delta\sigma_{pr} = 0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t_e}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} \cdot \sigma_{p,1} \cdot 10^{-5} =$$

$$= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,7146} \cdot \left(\frac{t_e}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-0,7146)} \cdot 10^{-5} \cdot 1329,291 =$$

$$= 17,44 \text{ MPa}$$

$$t_e = 2271,928 \text{ hodin}$$

$$t^* = 36,456 \text{ hodin}$$

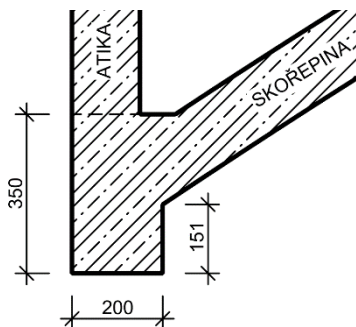
Interval ztráty:

$$\Delta t_i = t - t^* = 1051200 - 36,456 = 1\,051\,163 \text{ hodin}$$

$$\Delta\sigma_{pr,i} = 0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t_e + \Delta t_i}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} \cdot \sigma_{p,1} \cdot 10^{-5} - \Delta\sigma_{pr,j}$$

$$= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,7146} \cdot \left(\frac{2271,928 + 1051163}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-0,7146)} \cdot 10^{-5} \cdot$$

$$\cdot 1329,291 - 17,44 = 47,460 \text{ MPa}$$



Ztráta smršťováním:

Stáří betonu v uvažovaném okamžiku:

$$t = 120 \text{ let} = 43\,800 \text{ dní}$$

Stáří betonu na začátku předepnutí:

$$t_s = 7 \text{ dní}$$

Náhradní rozměr průřezu:

$$h_0 = 2 \cdot A_c / u = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,35 / (0,2 + 0,35 + 0,151) = 0,199 \text{ m}$$

$$\beta_{ds}(t; t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{43800 - 7}{43800 - 7 + 0,04 \cdot \sqrt{199^3}} =$$

$$= 0,997$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{50}{100} \right)^3 \right] = 1,35625$$

Základní poměrné přetvoření od smršťování vysycháním:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp \left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} =$$

$$= 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot 3) \cdot \exp \left(-0,13 \cdot \frac{33}{10} \right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot 1,35625 =$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,000412866 = 0,413 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t; t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,997 \cdot 0,9175 \cdot 0,413 = 0,379 \text{ ‰}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2 \cdot t^{0,5}) = 1 - \exp(-0,2 \cdot 43800^{0,5}) = 1$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (25 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,0375 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 1 \cdot 0,0375 = 0,0375 \text{ ‰}$$

Celkové poměrné smršťování:

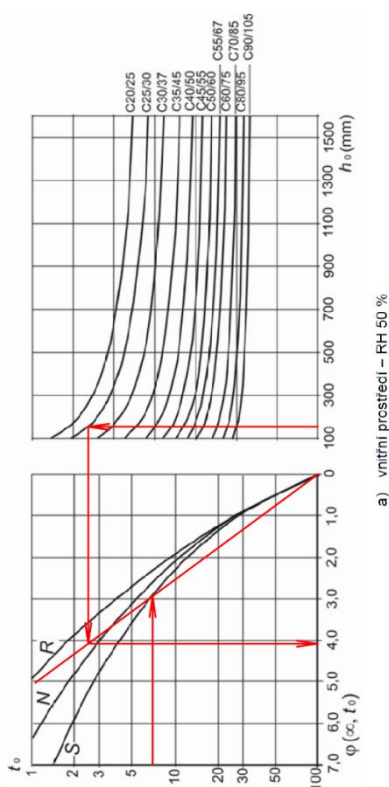
$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,379 + 0,0375 = 0,4165 \text{ ‰}$$

$$\Delta\sigma_{ps} = \varepsilon_{cs} \cdot E_p = 0,0004165 \cdot 195 \cdot 10^3 = 81,217 \text{ MPa}$$

Ztráta dotvarováním:

Součinitel dotvarování:

$$\varphi(t_\infty; t_0) = 4,1$$



Napětí v betonu v úrovni předpínací výztuže od vlastní tíhy a předpětí (kvazistálá kombinace):

$$\sigma_{c,QP} = -\frac{N_E}{A_i} = \frac{-354,790}{0,11135} = -3186 \text{ kPa} = -3,186 \text{ MPa}$$

Výztuž je situována v těžišti průřezu, napětí od momentu je nulové.

$$\Delta\sigma_{pc} = \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi(t_\infty; t_0) \cdot \sigma_{c,QP} = \frac{195}{31} \cdot 4,1 \cdot 3,186 = 82,167 \text{ MPa}$$

Celková ztráta za interval:

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\Delta\sigma_{ps} + 0,8 \cdot \Delta\sigma_{pr} + \Delta\sigma_{pc}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_c} \cdot e_p^2\right) \cdot [1 + 0,8 \cdot \varphi(t_\infty; t_0)]} =$$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{81,217 + 0,8 \cdot 47,460 + 82,167}{1 + \frac{195}{31} \cdot \frac{600 \cdot 10^{-6}}{0,07} \cdot (1 + 0) \cdot [1 + 0,8 \cdot 4,1]}$$

$$= 163,599 \text{ MPa}$$

Napětí ve výztuži po 120 letech:

$$\sigma_{p\infty} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{p,c+s+r} = 1311,851 - 163,599 = 1148,252 \text{ MPa}$$

Ztráta:

$$\frac{\Delta\sigma_{p,c+s+r}}{\sigma_{p0}} \cdot 100 = \frac{163,599}{1311,851} \cdot 100 = 12,4 \%$$

Vypočtená okamžitá a provozní ztráta je vyšší než předpokládaná ztráta 5 %. Bude znovu přepočítáno zatížení předpětím a bude provedeno posouzení na únosnost a použitelnost.

Okamžité ztráty: 11,12 %

$$\sigma_{pm0} = 0,8888 \cdot \sigma_{pmax} = 0,8888 \cdot 1476 = 1311,851 \text{ MPa}$$

$$P_{pm0,max} = \sigma_{pm0,max} \cdot A_p = 1311,851 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^{-6} = 196,8 \text{ kN}$$

Předpínací síla v době vnesení předpětí:

$$P_0 = 4 \cdot 196,8 = 787,11 \text{ kN}$$

Přepočet předpínací síly na zatížení:

$$p = \frac{P_0}{d/2} = \frac{787,11}{22,96/2} = 68,563 \text{ kN/m}^2$$

Provozní ztráty: 12,4 %

$$P_\infty = 0,876 \cdot 787,11 = 689,508 \text{ kN}$$

$$p = \frac{P_\infty}{d/2} = \frac{689,508}{22,96/2} = 60,061 \text{ kN/m}^2$$

**Vnitřní síly prstence včetně předpětí v čase t_∞ pro MSU
(okamžitá ztráta + provozní ztráta):**

Vnitřní síly		N_{odp}	$V_{y,\text{odp}}$	$V_{z,\text{odp}}$	$M_{y,\text{odp pole}}$	$M_{y,\text{odp podpora}}$	$M_{z,\text{odp pole}}$	$M_{z,\text{odp podpora}}$	$M_{X,\text{odp [kNm]}}$
$N_{\text{max [kN]}}$	$V_{y,\text{max [kN]}}$	$V_{z,\text{max [kN]}}$	$M_{y,\text{max [kNm] pole}}$	$M_{y,\text{max [kNm] podpora}}$	$M_{z,\text{max [kNm] podpora}}$	$M_{z,\text{max [kNm] pole}}$	$M_{X,\text{max [kNm]}}$		
227,436	7,857	105,415	44,678	-68,453	-3,424	4,296	4,155		
–	211,977	209,079	80,885	215,470	145,490	211,595	31,980		
5,994	–	7,306	0,575	3,689	1,525	1,948	1,899		
99,090	104,471	–	0,983	3,575	32,680	10,814	64,955		
0,000	0,000	0,000	–	0,000	0,000	42,478	0,000		
-38,747	-40,871	-40,787	0,000	–	-53,921	0,000	-4,078		
0,000	0,000	0,000	7,417	0,000	0,000	–	0,000		
-2,279	-2,322	-2,733	0,000	5,106	–	0,000	-2,805		
2,547	1,432	1,758	0,508	1,092	2,826	0,064	–		

Ověření MSU – M+N:

Body zatížení:

MS1: (N_{\max} a M_{odp} – směr z)

$$M_{ED} = -38,747 \text{ kNm}$$

$$N_{ED} = 227,436 \text{ kN}$$

MS2: ($M_{y,\max}$ podpora a N_{odp} – směr z)

$$M_{ED} = -68,453 \text{ kNm}$$

$$N_{ED} = 215,470 \text{ kN}$$

MS3: ($M_{y,\max}$ pole a N_{odp} – směr z)

$$M_{ED} = 44,678 \text{ kNm}$$

$$N_{ED} = 80,885 \text{ kN}$$

MS4: (N_{\max} a M_{odp} – směr y)

$$M_{ED} = -2,279 \text{ kNm}$$

$$N_{ED} = 227,436 \text{ kN}$$

MS5: ($M_{z,\max}$ podpora a N_{odp} – směr y)

$$M_{ED} = -3,239 \text{ kNm}$$

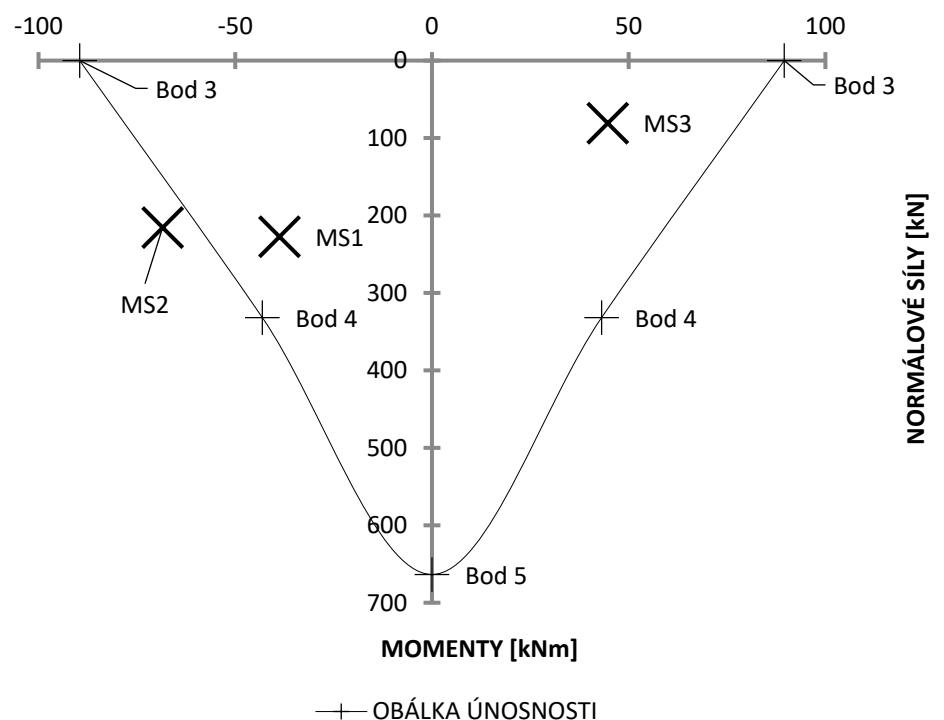
$$N_{ED} = 114,621 \text{ kN}$$

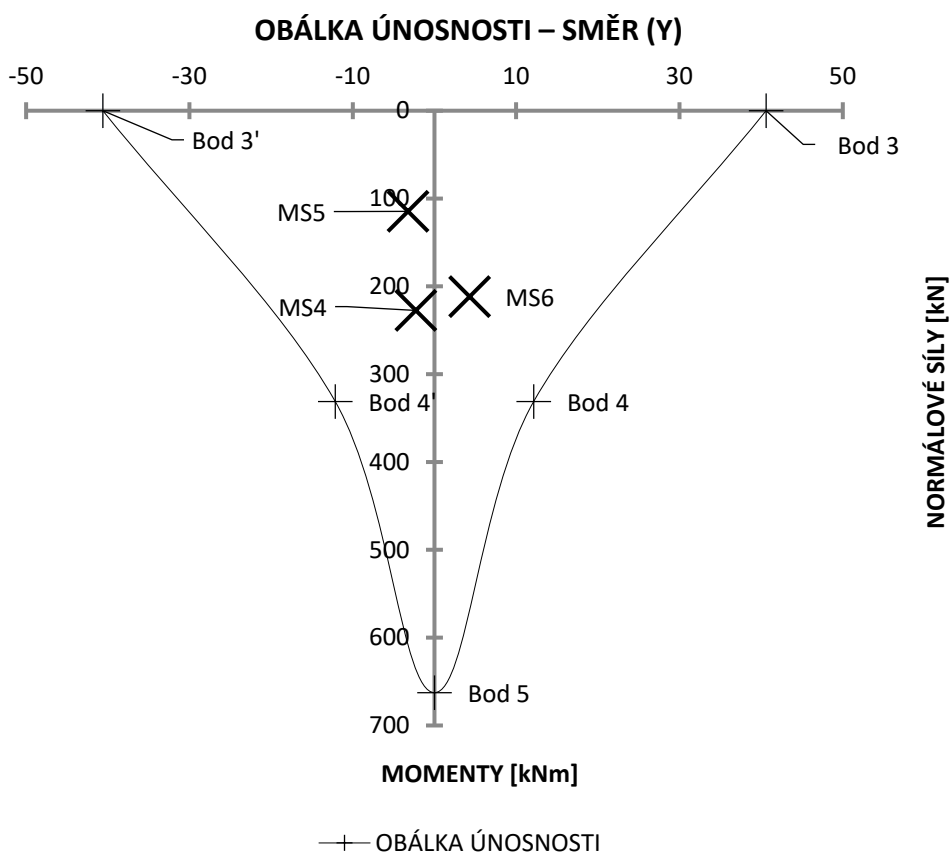
MS6: ($M_{z,\max}$ pole a N_{odp} – směr y)

$$M_{ED} = 4,296 \text{ kNm}$$

$$N_{ED} = 211,595 \text{ kN}$$

OBÁLKA ÚNOSNOSTI – SMĚR (Z)





Zatěžovací bod MS2 vychází přes obálku únosnosti. Železobetonovou atikou nad prstencem se ale únosnost ve směru z výrazně zvýší. Bude provedeno ověření únosnosti včetně atiky.

Ověření únosnosti včetně spolupůsobení atiky

Plocha průřezu atiky:

$$A_c = b \cdot h = 0,15 \cdot 1,5 = 0,225 \, m^2$$

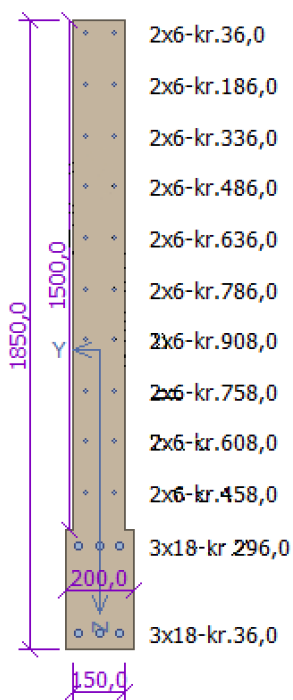
Minimální plocha rozdělovací výztuže atiky:

$$A_{s,min} = 0,001 \cdot A_c = 0,001 \cdot 0,225 = 0,000225 \, m^2$$

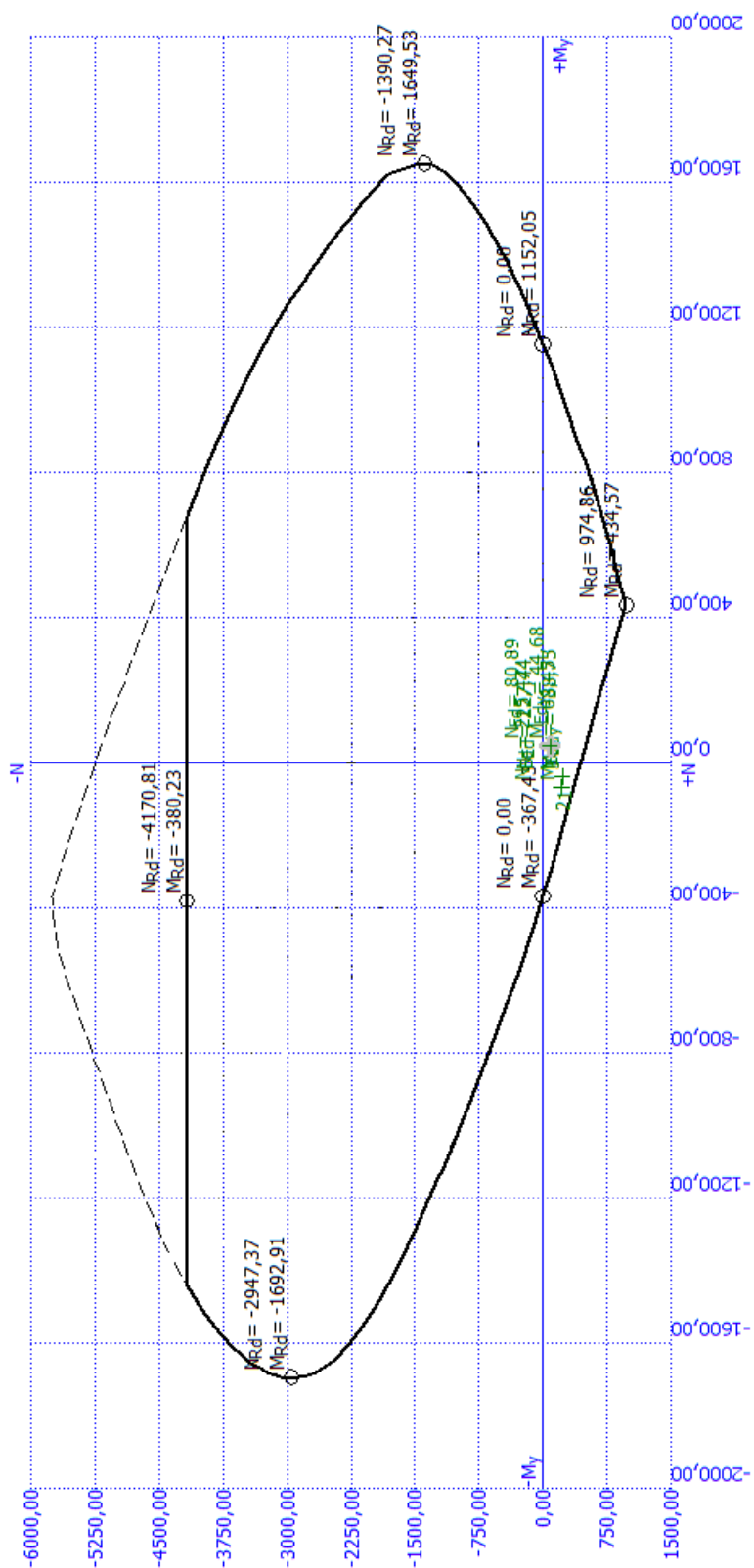
$$A_s = \phi 6/150 = 0,0002827 \, m^2$$

Ověření bude provedeno pomocí softwaru FIN EC 2018

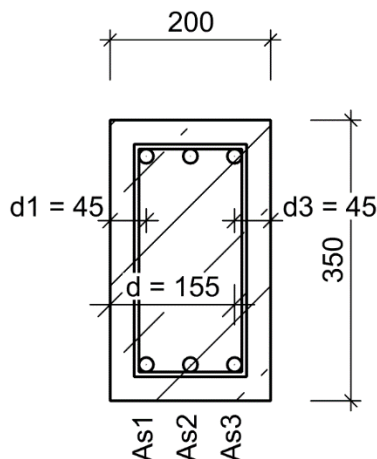
Č.	název	Ned	Nrd	Med	Mrd	využití	posouzení
1	MS1	227,43	974,86	-38,74	-180,59	49,7	vyhovuje
2	MS2	215,47	974,86	-68,45	-190,52	57,4	vyhovuje
3	MS3	80,88	974,86	44,67	1101,90	8,3	vyhovuje



Obálka únosnosti směr (z):



Průřez na mezní stav únosnosti vyhovuje.



Ověření MSU – V – směr (z): (pouze ŽB prstenec)

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ED}}{A_c} = \frac{227,436}{0,07} = 3\,249,08 \text{ kPa (tah)}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= \left(0,12 \cdot 1,809 \cdot (100 \cdot 0,0125 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} - 0,15 \cdot 3,249 \right) \cdot 0,2 \cdot 0,305 = \\ &= 0,01198 \text{ MN} = \underline{11,980 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$x = \frac{V_{Rd,c}}{V_{ED}} \cdot \frac{o}{2} = \frac{11,980}{105,415} \cdot \frac{3,606}{2} = 0,205 \text{ m} \rightarrow 0,2 \text{ m (od středu)}$$

1 600 mm od líce podpory lze ukládat třmínky konstrukčně po 200 mm.

$$V_{Rd,s} = 112,480 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 105,415 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$V_{Rd,s} = 112,480 \text{ kN} > V_{Ed,max N} = 99,090 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Ověření MSU – V – směr (y): (pouze ŽB prstenec)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{155}} = 2,135 \leq \underline{2,0}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$A_s = 2\phi 18 = 0,000508 \text{ m}^2$$

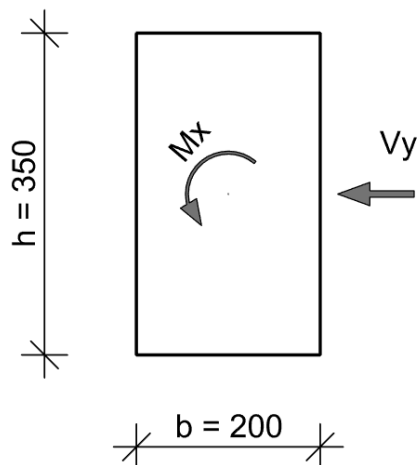
$$\rho_l = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{0,000508}{0,35 \cdot 0,155} = 0,00936 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ED}}{A_c} = \frac{227,436}{0,07} = 3\,249,08 \text{ kPa (tah)}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= \left(0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00936 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} - 0,15 \cdot 3,24908 \right) \cdot 0,35 \cdot 0,155 = \\ &= 0,0107 \text{ MN} = \underline{10,795 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{min} &= 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,495 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = \\ &= (0,495 \cdot 10^3 - 0,15 \cdot 3249,08) \cdot 0,35 \cdot 0,155 = 0,414 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$V_{ED,max N} = 5,994 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 10,795 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$V_{ED,max} = 7,857 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 10,795 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Smykové zatížení ve směru y přenesé samotný betonový průřez bez smykové výztuže.

Posouzení prstence na kroucení:

Posouzení na kombinaci kroucení a smyku ve vodorovném směru:

$$\frac{V_{y,max}}{V_{Rd,c}} + \frac{M_{x,odp}}{T_{Rd,c}} < 1 \rightarrow \frac{7,857}{10,795} + \frac{1,432}{5,937} = 0,969 < 1 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{y,odp}}{V_{Rd,c}} + \frac{M_{x,max}}{T_{Rd,c}} < 1 \rightarrow \frac{1,899}{10,795} + \frac{4,155}{5,937} = 0,875 < 1 \dots \text{vyhovuje}$$

Konstrukce vyhovuje na kombinace kroucení a posouvajících sil.

Vnitřní síly na prutu – kvazistálá. Kombinace t_0 :

Vnitřní síly		N _{max} [kN]	V _{y,max} [kN]	V _{z,max} [kN]	M _{y,max} [kNm] pole	M _{y,max} [kNm] podpora	M _{z,max} [kNm] pole	M _{z,max} [kNm] podpora
		-52,869 (-347,940)	2,495	67,850	30,322	-38,378	-1,282	-1,356
N _{odp}		–	-324,429	-244,400	-347,710	-159,566	-324,313	-264,106
V _{y,odp}		0,550 (1,873)	–	1,320	0,251	2,134	0,026	0,196
V _{z,odp}		14,173 (66,535)	64,738	–	0,127	61,844	21,236	1,205
M _{y,odp pole}		0,000 (0,000)	0,000	0,000	–	0,000	23,886	0,000
M _{y,odp podpora}		-1,993 (-23,998)	-22,825	-37,029	0,000	–	0,000	-36,201
M _{z,odp pole}		0,000 (0,834)	0,055	1,106	-0,896	0,000	0,000	–
M _{z,odp podpora}		-0,077 (0,000)	0,000	0,000	0,000	0,977	–	0,000

Vnitřní síly na prutu – částá. Kombinace t₈.

Vnitřní síly		N _{max} [kN]	V _{y,max} [kN]	V _{z,max} [kN]	M _{y,max} [kNm] pole	M _{y,max} [kNm] podpora	M _{z,max} [kNm] pole	M _{z,max} [kNm] podpora
		17,587 (-273,686)	2,481	69,659	31,290	-40,885	1,493	-1,022
N _{odp}		–	-76,967	-72,217	-247,128	-68,696	-151,420	-150,351
V _{y,odp}		1,046 (0,966)	–	2,060	0,174	2,298	0,103	0,133
V _{z,odp}		56,820 (64,879)	55,960	–	0,184	55,892	38,264	59,274
M _{y,odp} pole		0,000 (0,000)	0,000	0,000	–	0,000	12,872	0,000
M _{y,odp} podpora		-14,593 (-23,539)	-40,164	-25,653	0,000	–	0,000	-12,310
M _{z,odp} pole		0,000 (0,000)	0,000	0,000	-0,143	0,000	0,000	–
M _{z,odp} podpora		0,279 (0,590)	0,585	0,426	0,000	0,373	–	0,000

Mezní stav omezení napětí t_{∞} :

*Tlakové napětí v betonu: (omezení podélných trhlin)
[charakteristická kombinace]*

Směr (z):

$$|\sigma_c| < k_1 \cdot f_{ck}$$

$$\sigma_d = -\frac{N_{max}}{A} - \frac{M_{y,odp\ podpora}}{W} = -\frac{321,176}{0,07985} - \frac{21,159}{0,005034} =$$

$$= -8\,225,459\ kPa$$

$$k_1 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 25 \cdot 10^3 = 15\,000\ kPa$$

$8\,225,459\ kPa < 15\,000\ kPa \dots$ **vyhovuje**

$$\sigma_h = -\frac{N_{odp}}{A} - \frac{M_{y,max\ pole}}{W} = -\frac{57,349}{0,07985} - \frac{37,059}{0,005034} =$$

$$\sigma_h = -8\,079,949\ kPa$$

$8\,079,949\ kPa < 15\,000\ kPa \dots$ **vyhovuje**

Směr (y):

$$\sigma_h = -\frac{N_{max}}{A} - \frac{M_{z,odp\ pole}}{W} = -\frac{321,176}{0,07985} - \frac{0,950}{0,00253} =$$

$$= -4\,397,735\ kPa$$

$4\,397,735 < 15\,000\ kPa \dots$ **vyhovuje**

*Tlakové napětí v betonu: (lineární dotvarování betonu)
[charakteristická kombinace]*

Směr (z):

$$|\sigma_c| < k_2 \cdot f_{ck}$$

$$k_2 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 25 \cdot 10^3 = 11\,250\ kPa$$

$8\,225,459\ kPa < 11\,250\ kPa \dots$ **vyhovuje**

Směr (y):

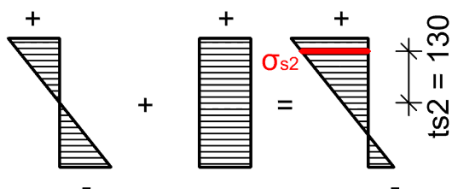
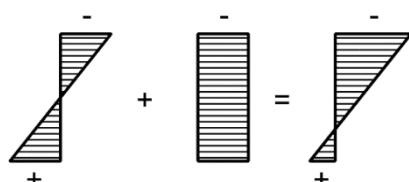
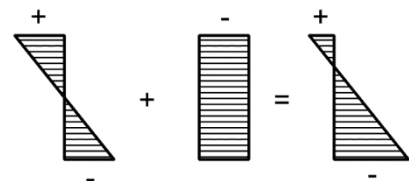
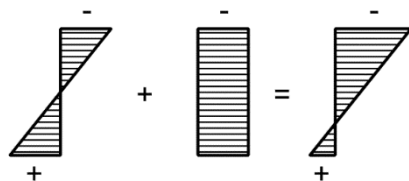
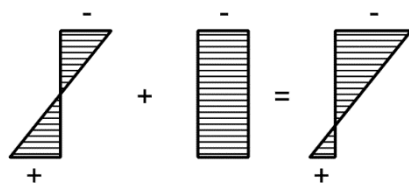
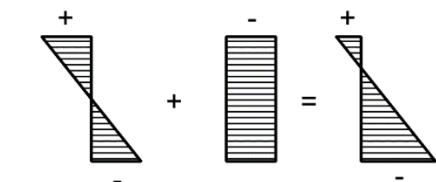
$4\,397,735\ kPa < 11\,250\ kPa \dots$ **vyhovuje**

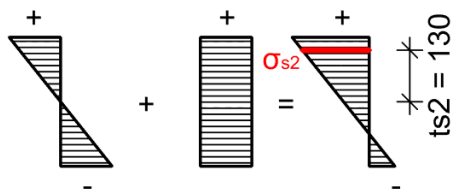
Tahové napětí ve výztuži: [charakteristická kombinace]

Směr (z): pro horní výztuž nad podporou

$$\sigma_s < k_3 \cdot f_{yk}$$

$$\sigma_{s2} = \left(+\frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{y,odp\ podpora}}{I_{ci}} \cdot t_{s2} \right) \cdot \alpha =$$





$$= \left(+ \frac{121,891}{0,07985} + \frac{37,082}{0,0008809} \cdot 0,130 \right) \cdot 6,4516 = 45\,154,268 \text{ kPa}$$

$$k_3 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 \cdot 10^3 = 400\,000 \text{ kPa}$$

45 154,268 kPa < 400 000 kPa ... **vyhovuje**

$$\sigma_{s2} = \left(+ \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max \text{ podpora}}}{I_{ci}} \cdot t_{s2} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{105,981}{0,07985} + \frac{51,182}{0,0008809} \cdot 0,130 \right) \cdot 6,4516 = 57\,293,456 \text{ kPa}$$

57 293,456 kPa < 400 000 kPa ... **vyhovuje**

Směr (y): pro krajní výztuž

$$\sigma_{s3} = \left(+ \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{z,odp \text{ podpora}}}{I_{ci}} \cdot t_{s3} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(+ \frac{121,891}{0,07985} + \frac{0,970}{0,00253} \cdot 0,055 \right) \cdot 6,4516 = 9\,984,409 \text{ kPa}$$

8 047,769 kPa < 400 000 kPa ... **vyhovuje**

$$\sigma_{s1} = \left(- \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{z,max \text{ pole}}}{I_{ci}} \cdot t_{s1} \right) \cdot \alpha =$$

$$= \left(- \frac{84,473}{0,07985} + \frac{3,007}{0,00253} \cdot 0,055 \right) \cdot 6,4516 = -6\,403,383 \text{ kPa}$$

-6 403,383 kPa < 400 000 kPa ... **vyhovuje**

Mezní stav trhlin t_0 :

Tahové napětí v betonu: [kvazistálá kombinace]

Směr (z): $t = 8$ dní

$$\sigma_c < f_{ctm}(t)$$

$$f_{ctm}(t) = 2,6 \cdot 0,7 = 1,820 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = - \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{y,odp \text{ podpora}}}{W} = - \frac{52,869}{0,07985} + \frac{1,993}{0,005034} =$$

$$= -266,196 \text{ kPa}$$

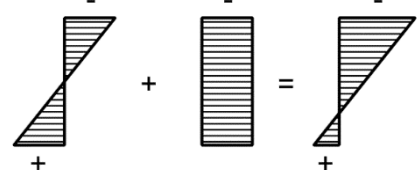
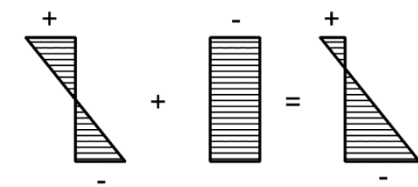
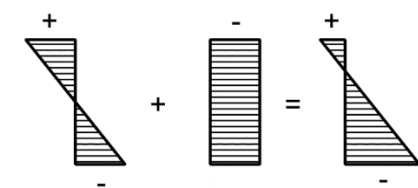
$\sigma_c = -266,196 \text{ kPa} < f_{ctm}(t) = 1820 \text{ kPa}$... **vyhovuje**

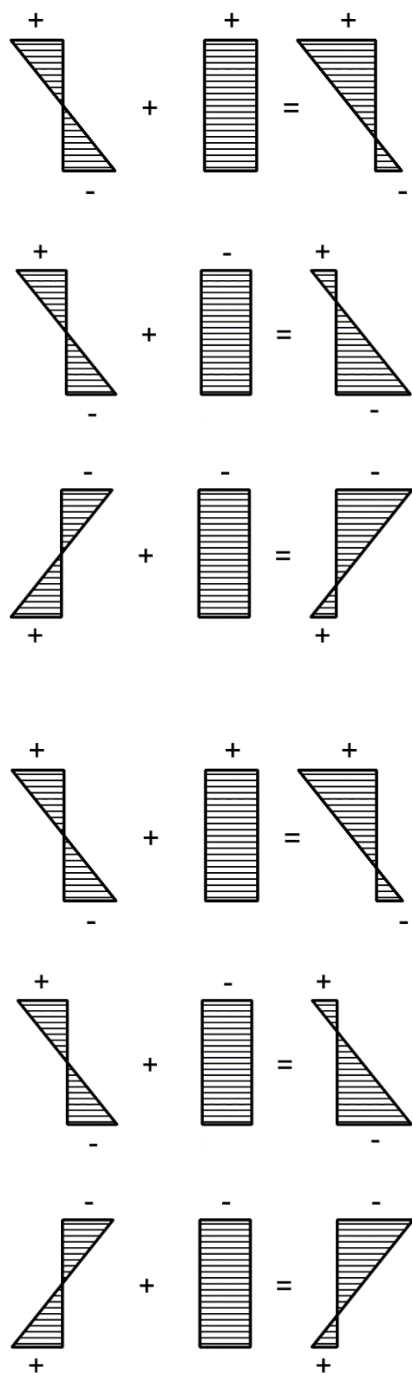
$$\sigma_c = - \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max \text{ podpora}}}{W} = - \frac{159,566}{0,07985} + \frac{38,378}{0,005034} =$$

$= 5\,625,436 \text{ kPa} > f_{ctm}(t) = 1\,820 \text{ kPa}$... **nevyhovuje**

$$\sigma_c = - \frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max \text{ pole}}}{W} = - \frac{347,710}{0,07985} + \frac{30,322}{0,005034} =$$

$= 1\,668,900 \text{ kPa} < f_{ctm}(t) = 1\,820 \text{ kPa}$... **vyhovuje**





Mezní stav trhlin t_{∞} :

Tahové napětí v betonu: [častá kombinace]

Směr (z):

$$\sigma_c < f_{ctm}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{y,odp\ podpora}}{W} = \frac{17,587}{0,07985} + \frac{14,593}{0,005034} =$$

$$= 3\,119,138\ kPa$$

$$\sigma_c = 3\,119,138\ kPa > f_{ctm} = 2\,600\ kPa \dots \textbf{nevyhovuje}$$

$$\sigma_c = -\frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max\ podpora}}{W} = -\frac{68,696}{0,07985} + \frac{40,885}{0,005034} =$$

$$= 7\,261,458\ kPa > f_{ctm} = 2\,600\ kPa \dots \textbf{nevyhovuje}$$

$$\sigma_c = -\frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{y,max\ pole}}{W} = -\frac{247,128}{0,07985} + \frac{31,290}{0,005034} =$$

$$= 3\,120,830\ kPa > f_{ctm} = 2\,600\ kPa \dots \textbf{nevyhovuje}$$

Ve směru (z) vzniknou trhliny nad podporou i v poli od časté kombinace.

Směr (y):

$$\sigma_c = \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{z,odp\ podpora}}{W} = \frac{17,587}{0,07985} + \frac{0,279}{0,00253} =$$

$$= 330,527\ kPa$$

$$\sigma_c = 330,527\ kPa > f_{ctm} = 2\,600\ kPa \dots \textbf{vyhovuje}$$

$$\sigma_c = -\frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{z,max\ podpora}}{W} = -\frac{150,351}{0,07985} + \frac{1,022}{0,00253} =$$

$$= -1\,478,965\ kPa < f_{ctm} = 2\,600\ kPa \dots \textbf{vyhovuje}$$

$$\sigma_c = -\frac{N_{odp}}{A} + \frac{M_{z,max\ pole}}{W} = -\frac{151,420}{0,07985} + \frac{1,493}{0,00253} =$$

$$= -1\,306,186\ kPa < f_{ctm} = 2\,600\ kPa \dots \textbf{vyhovuje}$$

Ve směru (y) nevzniknou žádné trhliny.

Mezní stav omezení napětí t_0 :

Tlakové napětí v betonu: (omezení podélných trhlin) [stálé zatížení a předpětí]

Směr (z):

$$|\sigma_c| < k_1 \cdot f_{ck}(t)$$

$$\sigma_d = -\frac{N_{max}}{A} - \frac{M_{y,odp\ podpora}}{W} = -\frac{347,940}{0,07985} - \frac{23,998}{0,005034} =$$

$$= -9\,124,603\ kPa$$

$$k_1 \cdot f_{ck}(t) = 0,6 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 10\,500\ kPa$$

$9\,124,603\ kPa < 10\,500\ kPa \dots$ **vyhovuje**

$$\sigma_h = -\frac{N_{odp}}{A} - \frac{M_{y,max\ pole}}{W} = -\frac{347,710}{0,07985} - \frac{30,322}{0,005034} =$$

$$\sigma_h = -10\,377,980\ kPa$$

$10\,377,980\ kPa < 10\,500\ kPa \dots$ **vyhovuje**

$$\sigma_d = -\frac{N_{odp}}{A} - \frac{M_{y,max\ podpora}}{W} = -\frac{159,566}{0,07985} - \frac{38,378}{0,005034} =$$

$$\sigma_d = -9\,622,080\ kPa$$

$9\,622,080\ kPa < 10\,500\ kPa \dots$ **vyhovuje**

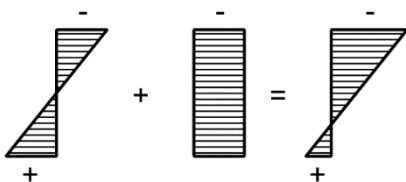
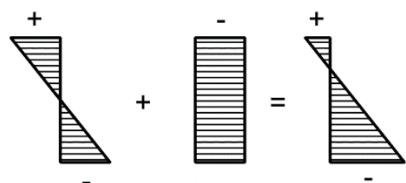
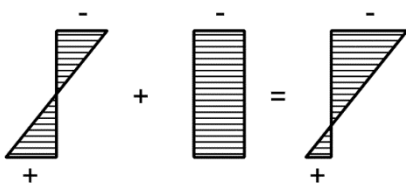
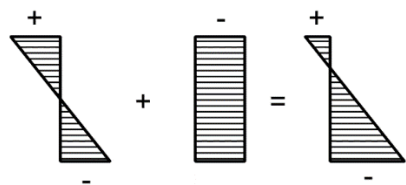
Směr (y):

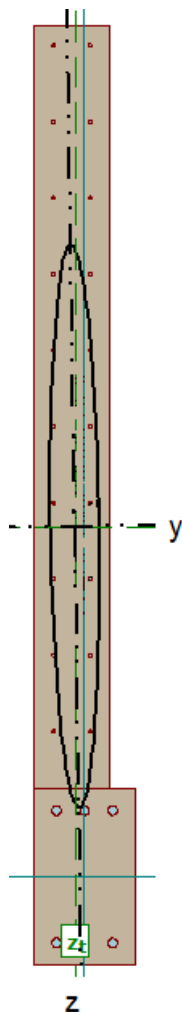
$$\sigma_h = -\frac{N_{max}}{A} - \frac{M_{z,odp\ pole}}{W} = -\frac{347,940}{0,07985} - \frac{0,950}{0,00253} =$$

$$= -4\,732,914\ kPa$$

$4\,732,914 < 10\,500\ kPa \dots$ **vyhovuje**

V konstrukci nebudou vznikat podélné trhliny.





Ověření vzniku trhlin při zahrnutí železobetonové atiky:

Materiálové charakteristiky ideálního průřezu:

Průřezový modul k těžišťové ose y v horních a dolních vláknech

$$W_h = 9,488 \cdot 10^{-2} m^3$$

$$W_d = 1,083 \cdot 10^{-1} m^3$$

Průřezový modul k těžišťové ose z v pravých a levých vláknech

$$W_p = 6,008 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$W_l = 8,755 \cdot 10^{-3} m^3$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu k ose y a z

$$I_{iy} = 9,356 \cdot 10^{-2} m^4$$

$$I_{iz} = 7,126 \cdot 10^{-4} m^4$$

Plocha ideálního průřezu:

$$A_i = 3,064 \cdot 10^{-1} m^2$$

Mezní stav trhlin t_{∞} :

Tahové napětí v betonu: [častá kombinace]

Směr (z): $\sigma_c < f_{ctm}$

$$\sigma_c = \frac{M_{y, odp \text{ podpora}}}{W_h} = \frac{14,593}{9,488 \cdot 10^{-2}} =$$

$$= 153,804 \text{ kPa}$$

$$\sigma_c = 153,804 \text{ kPa} < f_{ctm} = 2 \text{ 600 kPa} \dots \textbf{vyhovuje}$$

$$\sigma_c = \frac{M_{y, max \text{ podpora}}}{W_h} = \frac{40,885}{9,488 \cdot 10^{-2}} =$$

$$= 430,912 \text{ kPa} < f_{ctm} = 2 \text{ 600 kPa} \dots \textbf{vyhovuje}$$

$$\sigma_c = \frac{M_{y, max \text{ pole}}}{W_d} = \frac{31,290}{1,083 \cdot 10^{-1}} =$$

$$= 288,919 \text{ kPa} < f_{ctm} = 2 \text{ 600 kPa} \dots \textbf{vyhovuje}$$

Průřez nebude porušen trhlinou od časté kombinace.

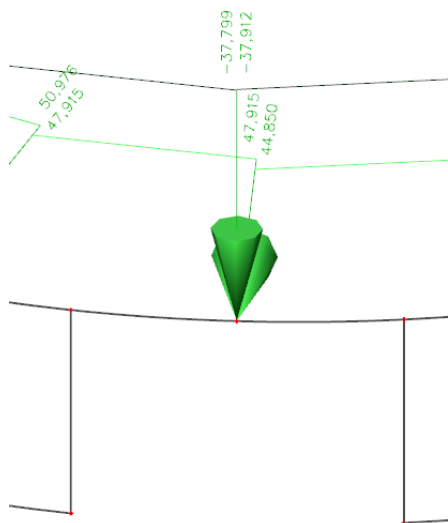
Tahové napětí v betonu: [kvazistálá kombinace]

$$\sigma_c = \frac{M_{y, max \text{ podpora}}}{W} = \frac{38,378}{9,488 \cdot 10^{-2}} =$$

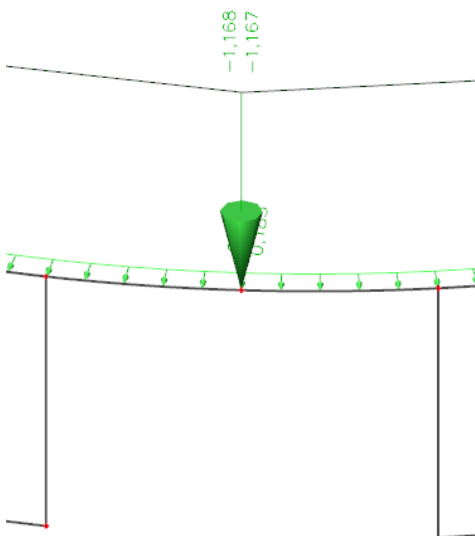
$$= 404,489 \text{ kPa} > f_{ctm}(t) = 1 \text{ 820 kPa} \dots \textbf{vyhovuje}$$

Průřez nebude porušen trhlinou od kvazistálé kombinace.

ZS1:



ZS27:



Vznik trhlin byl ověřen pouze od vznikajícího momentu, vliv normálové síly byl zanedbán, jelikož bude atika vybetonována až po předepnutí prstence. Atika tedy nebude zatížena předpětím.

Mezní stav přetvoření v okamžiku dokončení – směr (z):

Zatížení:

ZS0 – prstenec: $g_k = 0,2 \cdot 0,35 \cdot 25 = 1,75 \text{ kN/m}$

ZS1 – skořepina: $g_k = 37,912 \text{ kN/m}$

ZS27 – atika: $g_k = 1,168 \text{ kN/m}$

$f = 1,75 + 37,912 + 1,168 = 40,830 \text{ kN/m}$

Tuhost:

$B = E_{cm}(t) \cdot I_{iy} = 27,854 \cdot 10^6 \cdot 9,356 \cdot 10^{-2} = 260,602 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$

Průhyb:

$$w = \frac{1}{384} \cdot \frac{f \cdot l^4}{B} = \frac{1}{384} \cdot \frac{40,830 \cdot 3,606^4}{260,602 \cdot 10^4} = 0,6898 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Vypočtený průhyb je zanedbatelně malý, celkový průhyb s dotvarováním proto nebude ověřován.

Kotevní délky:

$$F_c = F_s$$

$$\pi \cdot d \cdot l_{b,rqd} \cdot f_{bd} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot f_{yd}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{d}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ct;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{18}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 724,633 \text{ mm}$$

$$c_d = \min\left\{\frac{a}{2}; c_1; c\right\} = \min\left\{\frac{37}{2}; 36; 36\right\} = \min\{18,5; 36; 36\}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \emptyset) / \emptyset = 1 - 0,15 \cdot \frac{(18,5 - 18)}{18} = 0,99 \rightarrow 1,0$$

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_1 = 1,0$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 724,633 =$$

$$l_{bd} = \underline{730 \text{ mm}}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,6 \cdot l_{b,rqd}; 10\emptyset; 100 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{0,6 \cdot 724,633; 10 \cdot 18; 100 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{434,779 \text{ mm}; 180 \text{ mm}; 100 \text{ mm}\}$$

Stykování výztuže přesahem:

$$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5} = (100/25)^{0,5} = 2,0$$

$$l_{0d} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 724,633 =$$

$$l_{0d} = 1449 \text{ mm} \rightarrow \underline{1500 \text{ mm}}$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\emptyset; 200 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{0,3 \cdot 2,0 \cdot 241,54; 15 \cdot 6; 200 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{144,69 \text{ mm}; 90 \text{ mm}; 200 \text{ mm}\}$$

$$\text{Vzdálenost řezu A: } 1,3 \cdot l_{0d} = 1,3 \cdot 1449 = 1889 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\rightarrow \underline{1400 \text{ mm}}$$

Bude stykováno 100 % výztuže

