

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
Katedra mechaniky – obor Stavitelství

Příloha č.4
Statický výpočet

Bakalářská práce - Zpracování projektové dokumentace pro novostavbu rozhledny

Vedoucí práce: Ing. Luděk Vejvara Ph.D.

Autor: Petr Zelenka

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
Katedra mechaniky – obor Stavitelství

4.1
Statický návrh a posouzení krokve

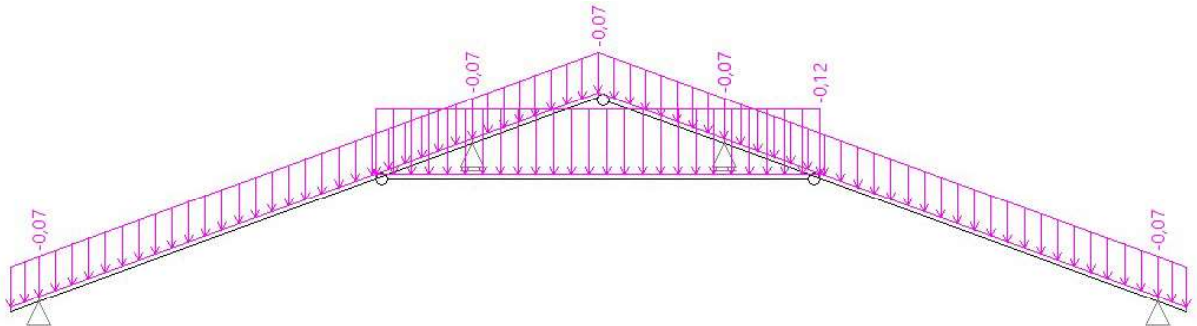
Bakalářská práce - Zpracování projektové dokumentace pro novostavbu rozhledny

Vedoucí práce: Ing. Luděk Vejvara Ph.D.

Autor: Petr Zelenka

ZS1 – Vlastní tíha krokví

Generováno automaticky v software



ZS2 - Stálé zatížení střechy

Skladba – Střecha	t(m)	V_M (kN/m ³)	g_k (kN/m ²)
FALCOVANÝ PLECH	-----	-----	0,048
LAŤOVÁNÍ	-----	-----	0,042

Charakteristické zatížení G_{k1} = **0,090kN/m²**

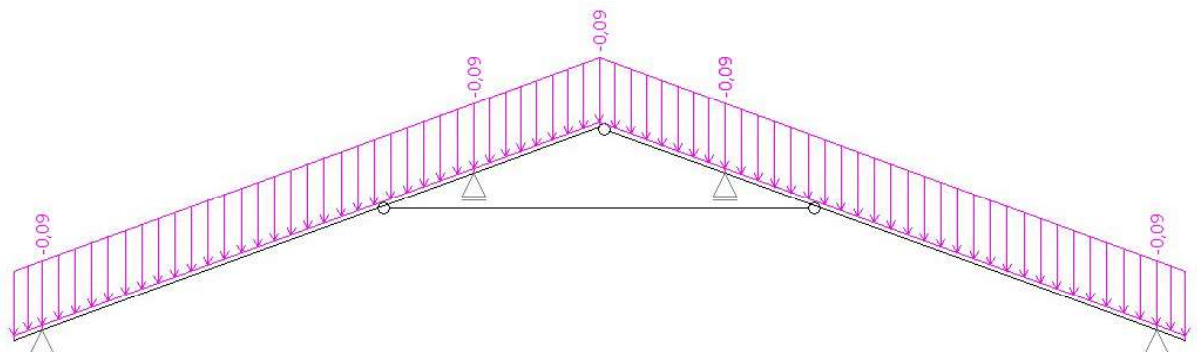
Návrhové zatížení G_{d1} = $0,09 \times 1,35 =$ **0,122kN/m²**

Zatěžovací šířka $b=1$ m

$$g_{k1} = 0,09 * 1 = \mathbf{0,09kN/m}$$

$$g_{d1} = 0,122 * 1 = \mathbf{0,122kN/m}$$

Zatěžovací šířka $b=1$ m



ZS3 -Užitné zatížení - údržba

$Q_{k4} = \mathbf{0,75kN/m^2}$

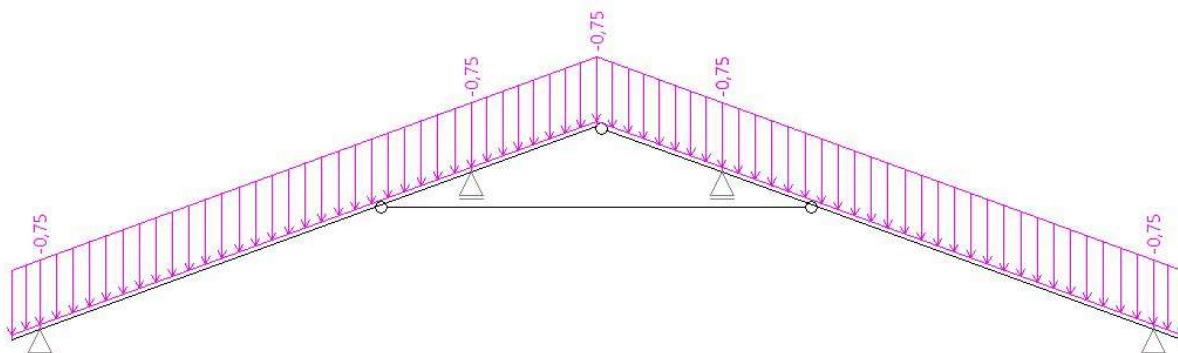
$Q_{d4} = 0,75 * 1,5 = \mathbf{1,125kN/m^2}$

Zatěžovací šířka $b=1$ m

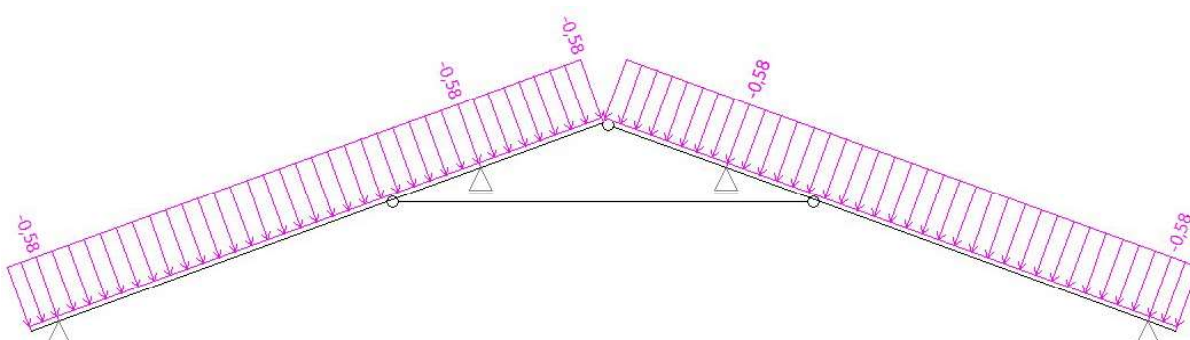
$$q_{k3} = 0,75 * 1 = \mathbf{0,75kN/m}$$

$$q_{d3} = 1,125 * 1 = \mathbf{1,125kN/m}$$

Zatěžovací šířka $b=1$ m



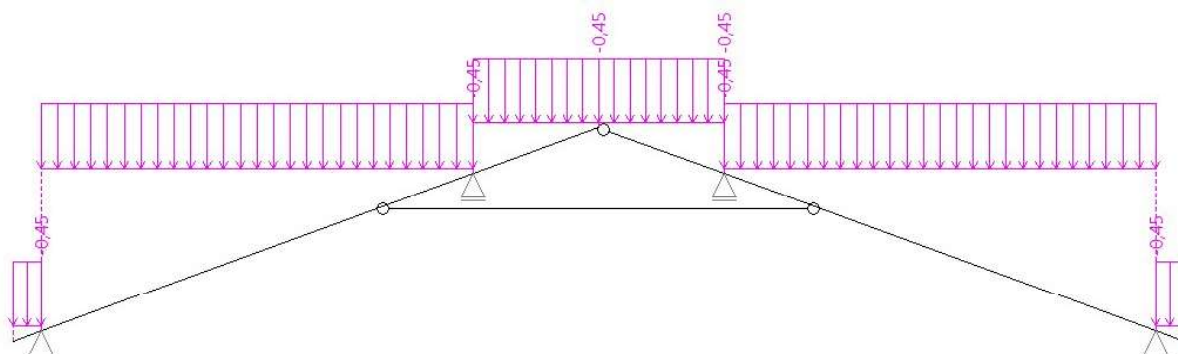
ZS4 - Větr



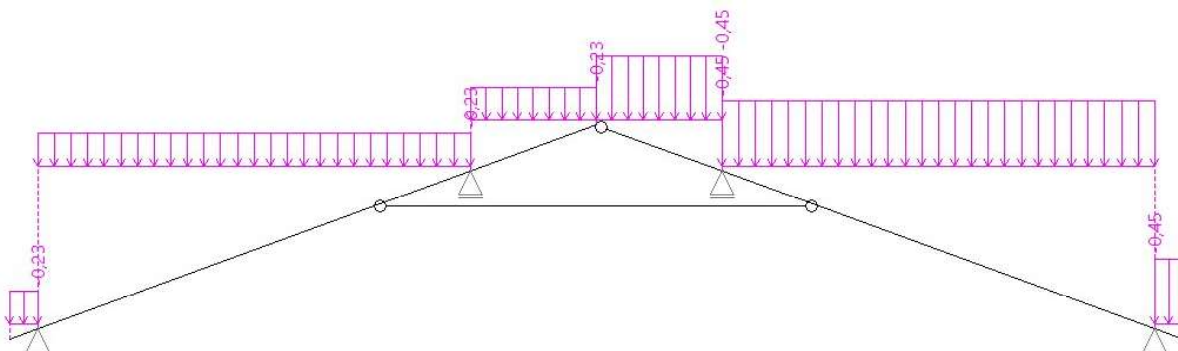
ZS5 - Sněh

Zatěžovací šířka $b=1\text{m}$

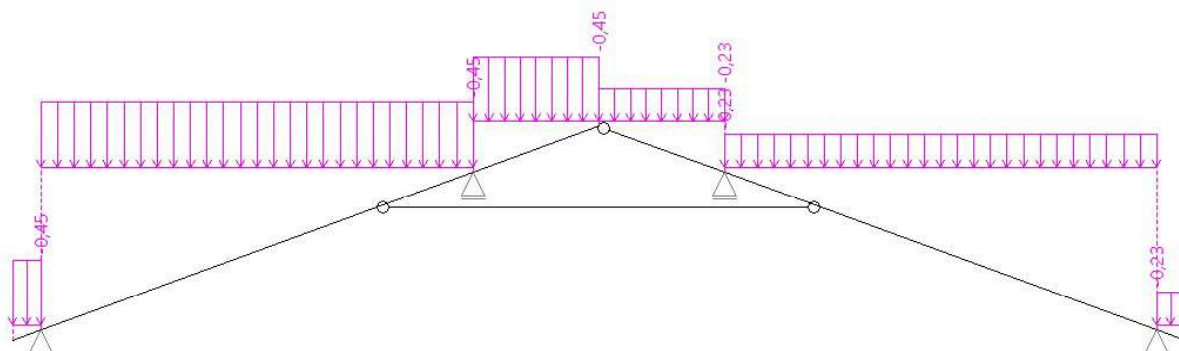
Sněh 100/100



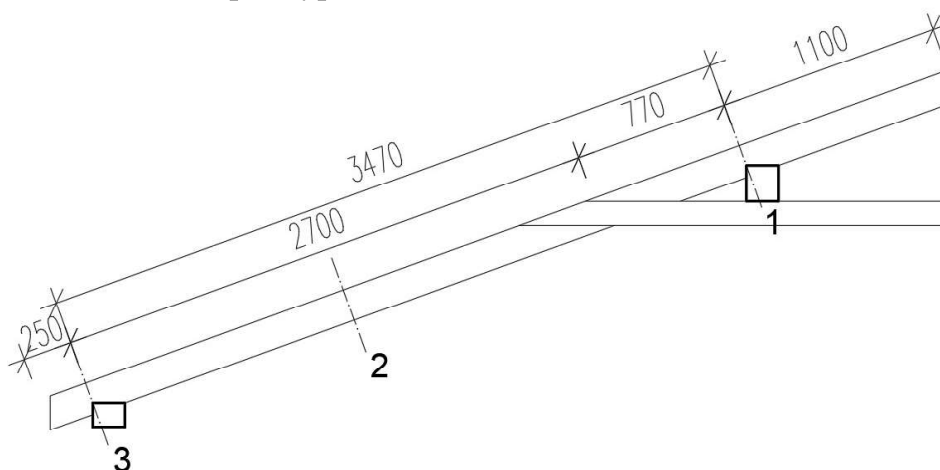
Sněh 50/100



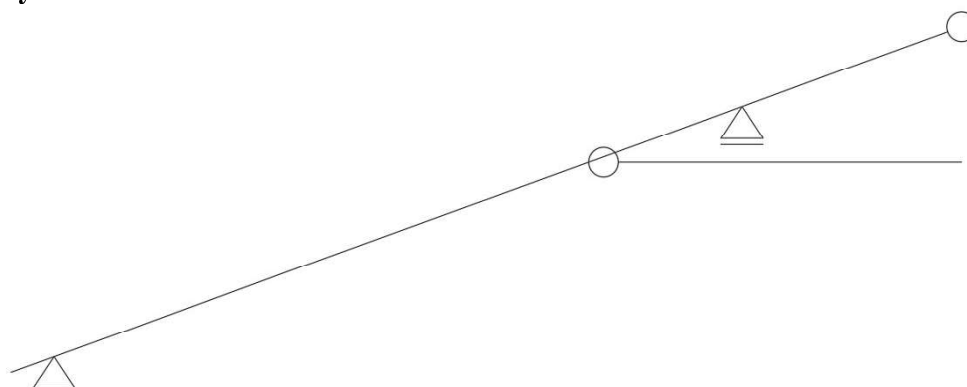
Sníh 100/50



Geometrie konstrukce pro výpočet



Statický model



Oslabený průřez 1

Maximální ohybový moment: $M_{y,d,1} = 0,89 \text{ kNm}$

Příslušná osová síla – tlaková: $N_{d,1} = 0,56 \text{ kN}$

Neoslabený průřez – 2

Maximální ohybový moment: $M_{y,d,2} = 1,09 \text{ kNm}$

Příslušná osová síla – tlaková: $N_{d,2} = 9,28 \text{ kN}$

Oslabený průřez – 3

Maximální ohybový moment: $M_{y,d,3} = 0,04\text{kNm}$
Příslušná osová síla – tlaková: $N_{d,3} = 10,26\text{kN}$

Maximální příčné síly: $V_{\max} = 2,36\text{kN}$

Průřezové charakteristiky v neoslabeném místě

$$A = b * h = 0,1 * 0,16 = 0,016\text{m}^2$$

$$I_y = 1/12 * b * h^3 = 1/12 * 0,1 * 0,16^3 = 3,413 * 10^{-5} \text{m}^4$$

$$i_y = (I_y / A)^{0,5} = (3,413 * 10^{-5} / 0,016)^{0,5} = 46,188\text{mm}$$

$$W_y = 1/6 * b * h^2 = 1/6 * 0,1 * 0,16^2 = 4,267 * 10^{-4} \text{m}^3$$

$$I_z = 1/12 * h * b^3 = 1/12 * 0,1^3 * 0,16 = 1,333 * 10^{-5} \text{m}^4$$

$$i_z = (I_z / A)^{0,5} = (1,333 * 10^{-5} / 0,016)^{0,5} = 28,867\text{mm}$$

Průřezové charakteristiky v oslabeném místě

$$A_1 = b * h = 0,1 * 0,12 = 0,012\text{m}^2$$

$$I_{y,1} = 1/12 * b * h^3 = 1/12 * 0,1 * 0,12^3 = 1,44 * 10^{-5} \text{m}^4$$

$$i_{y,1} = (I_{y,1} / A)^{0,5} = (1,44 * 10^{-5} / 0,012)^{0,5} = 34,641\text{mm}$$

$$W_{y,1} = 1/6 * b * h^2 = 1/6 * 0,1 * 0,12^2 = 2,4 * 10^{-4} \text{m}^3$$

Materiálové charakteristiky

Koeficient $k_m = 0,7$... pro obdélníkový profil

Faktor imperfekt $\beta_c = 0,2$... pro rostlé dřevo

Třída provozu ... 2

$$k_{\text{mod}} = 0,9$$

$$k_{\text{def}} = 0,8$$

$$\psi_{2,1} = 0$$

$$\psi_{0,i} = 0,6$$

$$\psi_{2,i} = 0$$

součinitel spolehlivosti materiálu pro rostlé dřevo $\gamma_M = 1,3$

Materiál C20

$$f_{m,k} = 20\text{MPa}$$

$$f_{m,d} = (k_{\text{mod}} * f_{m,k}) / \gamma_M = 0,9 * 20 / 1,3 = 13,846\text{MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 12\text{MPa}$$

$$f_{t,0,d} = (k_{\text{mod}} * f_{t,0,k}) / \gamma_M = 0,9 * 12 / 1,3 = 8,308\text{MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 19\text{MPa}$$

$$f_{c,0,d} = (k_{\text{mod}} * f_{c,0,k}) / \gamma_M = 0,9 * 19 / 1,3 = 13,154\text{MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,6\text{MPa}$$

$$f_{v,d} = (k_{\text{mod}} * f_{v,k}) / \gamma_M = 0,9 * 3,6 / 1,3 = 2,492\text{MPa}$$

$$E_{0,05} = 6,4\text{GPa}$$

$$E_{0,05,d} = E_{0,05} / \gamma_M = 6,4 / 1,3 = 4,923\text{GPa}$$

Návrhové hodnoty napětí k hlavním osám:

$$\sigma_{m,y,d,1} = M_{y,d,1} / W_{y,1} = 890 / 2,4 * 10^{-4} = 3,708\text{MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d,2} = M_{y,d,2} / W_{y,2} = 1090 / 4,267 * 10^{-4} = 2,554\text{MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d,3} = M_{y,d,3} / W_{y,3} = 40 / 2,4 * 10^{-4} = 0,167\text{MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,1} = N_{d,1} / A_1 = 560 / 12000 = 0,047\text{MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,2} = N_{d,2} / A = 9280 / 16000 = 0,580\text{MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,3} = N_{d,3} / A_1 = 10260 / 12000 = 0,855\text{MPa}$$

Kritická vzpěrná délka $L_{cr,y} = 2700\text{mm}$

Štíhlostní poměr pro ztrátu stability ohybem okolo osy y:

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 2700 / 46,188 = \mathbf{58,457}$$

Poměrná štíhlost pro ztrátu stability ohybem okolo osy y:

$$\lambda_{rel,y} = (\lambda_y / \Pi) * (f_{c,0,k} / E_{0,05,d})^{0,5} = (58,457 / \Pi) * (19/6154)^{0,5} = \mathbf{1,034}$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 * (1 + 0,2 * (1,034 - 0,3) + 1,034^2) = \mathbf{1,108}$$

$$k_{c,y} = 1 / k_y + (k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2)^{0,5} = 1 / 1,108 + (1,108^2 - 1,034^2)^{0,5} = \mathbf{0,664}$$

Kritická vzpěrná délka $L_{cr,z} = 500\text{mm}$

Štíhlostní poměr pro ztrátu stability ohybem okolo osy y:

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 500 / 28,867 = \mathbf{17,321}$$

Poměrná štíhlost pro ztrátu stability ohybem okolo osy y:

$$\lambda_{rel,z} = (\lambda_z / \Pi) * (f_{c,0,k} / E_{0,05,d})^{0,5} = (17,321 / \Pi) * (19/6154)^{0,5} = \mathbf{0,306}$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5 * (1 + 0,2 * (0,306 - 0,3) + 0,306^2) = \mathbf{0,547}$$

$$k_{c,z} = 1 / k_z + (k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2)^{0,5} = 1 / 0,547 + (0,547^2 - 0,306^2)^{0,5} = \mathbf{1}$$

MSÚ: Posouzení prvku namáhaného ohybem a tlakem:

Pro průřez 1:

$$\sigma_{c,0,d,1} / k_{c,z} * f_{c,0,d} + \sigma_{m,z,d,1} / f_{m,d} + k_m * \sigma_{m,y,d,1} / f_{m,d} \leq 1$$

$$0,047 / 1 * 13,154 + 0 + 0,7 * 3,708 / 13,846 \leq 1$$

$$\mathbf{0,191 < 1}$$

$$\sigma_{c,0,d,1} / k_{c,y} * f_{c,0,d} + k_m * \sigma_{m,z,d,1} / f_{m,d} + \sigma_{m,y,d,1} / f_{m,d} \leq 1$$

$$0,047 / 0,664 * 13,154 + 0 + 3,708 / 13,846 \leq 1$$

$$\mathbf{0,273 < 1}$$

Pro průřez 2:

$$\sigma_{c,0,d,2} / k_{c,z} * f_{c,0,d} + \sigma_{m,z,d,2} / f_{m,d} + k_m * \sigma_{m,y,d,2} / f_{m,d} \leq 1$$

$$0,580 / 1 * 13,154 + 0 + 0,7 * 2,554 / 13,846 \leq 1$$

$$\mathbf{0,173 < 1}$$

$$\sigma_{c,0,d,2} / k_{c,y} * f_{c,0,d} + k_m * \sigma_{m,z,d,2} / f_{m,d} + \sigma_{m,y,d,2} / f_{m,d} \leq 1$$

$$0,580 / 0,664 * 13,154 + 0 + 2,554 / 13,846 \leq 1$$

$$\mathbf{0,251 < 1}$$

Pro průřez 3:

$$\sigma_{c,0,d,3} / k_{c,z} * f_{c,0,d} + \sigma_{m,z,d,3} / f_{m,d} + k_m * \sigma_{m,y,d,3} / f_{m,d} \leq 1$$

$$0,855 / 1 * 13,154 + 0 + 0,7 * 0,167 / 13,846 \leq 1$$

$$\mathbf{0,073 < 1}$$

$$\sigma_{c,0,d,3} / k_{c,y} * f_{c,0,d} + k_m * \sigma_{m,z,d,3} / f_{m,d} + \sigma_{m,y,d,3} / f_{m,d} \leq 1$$

$$0,855 / 0,664 * 13,154 + 0 + 0,167 / 13,846 \leq 1$$

$$\mathbf{0,110 < 1}$$

Krokově vyhoví na namáhání ohybem a tlakem ve všech řezech.

MSÚ: Posouzení prvku namáhaného smykem:

$$\tau_{v,d,z} \leq f_{v,d}$$
$$\tau_{v,d,z} = 3 * V_{\max} / 2 * k_{cr} * A$$
$$\tau_{v,d,z} = 3 * 2360 / 2 * 0,67 * 12000$$
$$\mathbf{0,440MPa < 2,492MPa}$$

Krokov vyhoví na namáhání tlakem.

MSP – Posouzení prvku na průhyb
Maximální deformace $w_z = 2,75\text{mm}$

$$w_{\text{net,fin}} \leq L/250$$
$$w_{\text{net,fin}} \leq 3470/250$$

$$\mathbf{2,75\text{mm} < 13,88\text{mm}}$$

Krokov vyhoví na průhyb.

MSP – Posouzení prvku na průhyb včetně dotvarování

$$w_{\text{inst,g}} = 0,32\text{mm}$$
$$w_{\text{inst,s}} = 1,17\text{mm}$$
$$w_{\text{inst,w}} = 1,36\text{mm}$$

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{inst,g}} * (1 + k_{\text{def}}) + w_{\text{inst,s}} * (1 + k_{\text{def}} + \psi_{2,1}) + w_{\text{inst,w}} * (\psi_{0,i} + k_{\text{def}} + \psi_{2,i})$$
$$w_{\text{net,fin}} = 0,32 * (1 + 0,8) + 1,17 * (1 + 0,8 + 0) + 1,36 * (0,6 + 0,8 + 0) = 4,59\text{mm}$$
$$\mathbf{4,59\text{mm} < 13,88\text{mm}}$$

Krokov vyhoví na průhyb včetně dotvarování.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
Katedra mechaniky – obor Stavitelství

4.2
Statický návrh a posouzení
meziokenního pilíře

Bakalářská práce - Zpracování projektové dokumentace pro novostavbu rozhledny

Vedoucí práce: Ing. Luděk Vejvara Ph.D.

Autor: Petr Zelenka

ZS1 - Stálé zatížení střechy

Skladba – Střecha	t(m)	V_M (kN/m ³)	g_k (kN/m ²)
FALCOVANÝ PLECH	-----	-----	0,048
LAŤOVÁNÍ	-----	-----	0,042

Charakteristické zatížení $G_{k1} =$ **0,090kN/m²**

Návrhové zatížení $G_{d1} =$ $0,09 \times 1,35 =$ **0,122kN/m²**

Zatěžovací šířka $b=1\text{m}$

$$g_{k1} = 0,09 * 1 = \mathbf{0,09\text{kN/m}}$$

$$g_{d1} = 0,122 * 1 = \mathbf{0,122\text{kN/m}}$$

ZS2 - Stálé zatížení stropu

Skladba – Střecha	t(m)	V_M (kN/m ³)	g_k (kN/m ²)
ŽB STROP	0,250	25	6,25
TEP. IZOLACE ISOVER	0,400	1	0,40
SKD POHLED	-----	-----	0,25

Charakteristické zatížení $G_{k2} =$ **6,90kN/m²**

Návrhové zatížení $G_{d2} =$ $6,90 \times 1,35 =$ **9,315kN/m²**

Zatěžovací šířka $b=2,88\text{m}$

$$g_{k2} = 6,9 * 2,88 = \mathbf{19,872\text{kN/m}}$$

$$g_{d2} = 9,315 * 2,88 = \mathbf{26,827\text{kN/m}}$$

ZS3 - Sníh

Sněhová oblast $S_1 = 0,67 \text{ kN/m}^2$

Charakteristické zatížení $G_{k2} =$ **0,67kN/m²**

Návrhové zatížení $G_{d2} = 0,67 \times 1,5 =$ **1,005kN/m²**

Zatěžovací šířka $= 1\text{m}$

$$g_{k3} = 0,67 * 1 = \mathbf{0,67\text{kN/m}}$$

$$g_{d3} = 1,005 * 1 = \mathbf{1,005\text{kN/m}}$$

ZS4 -Užitné zatížení - údržba

$Q_{k4} =$ **0,75kN/m²**

$Q_{d4} = 0,75 * 1,5 =$ **1,125kN/m²**

Zatěžovací šířka $b=1\text{m}$

$$q_{k3} = 0,75 * 1 = \mathbf{0,75\text{kN/m}}$$

$$q_{d3} = 1,125 * 1 = \mathbf{1,125\text{kN/m}}$$

ZS5 – Stálé zatížení - zdivo

YTONG YQ500

Výška zdiva $= 0,5\text{m}$

Šířka zdiva $= 0,5\text{m}$

$V_M = 8,5\text{kN/m}^3$

$$g_{k5} = 0,5 * 0,5 * 8,5 = \mathbf{2,125\text{kN/m}}$$

$$g_{d5} = 2,125 * 1,35 = \mathbf{2,869\text{kN/m}}$$

ZS6 – Stálé zatížení - překlad

YTONG YQ U profil

Plocha profilu - pórobeton $A_1 = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,75 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ m}^2$

Plocha profilu – tepelná izolace $A_2 = 0,2 \cdot 0,25 = 0,05 \text{ m}^2$

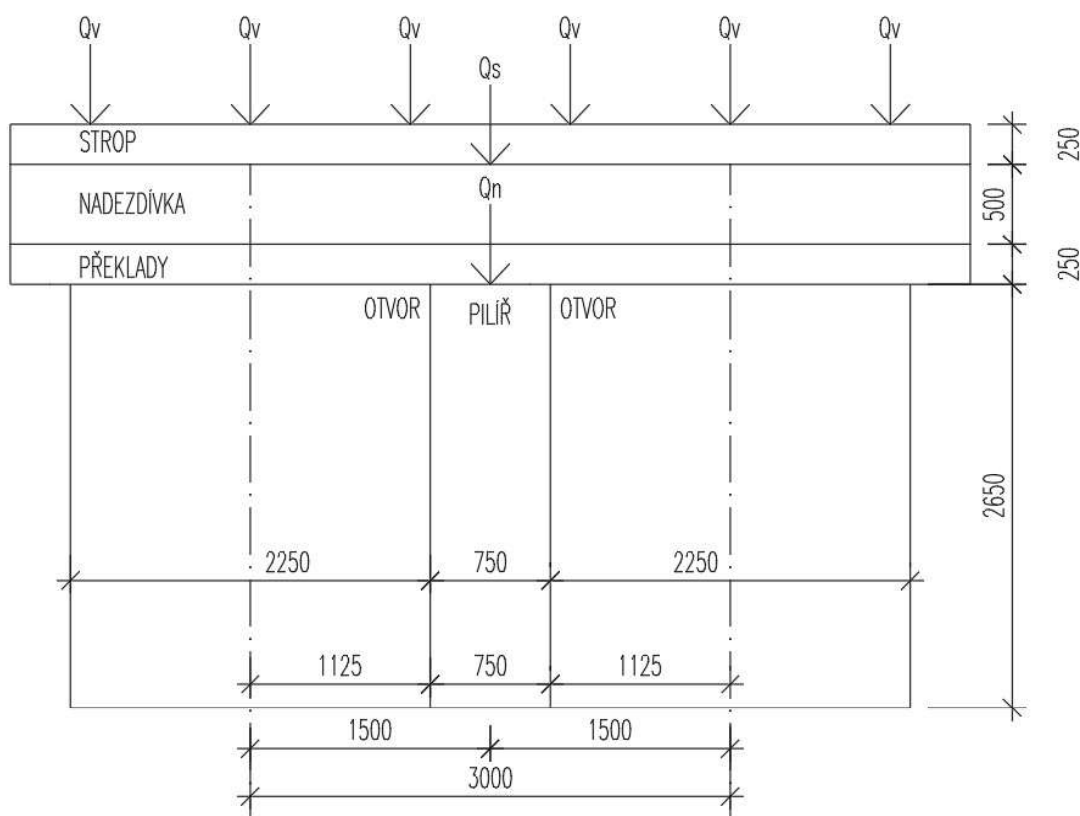
V_M pórobeton = 10 kN/m^3

V_M tepelná izolace = 1 kN/m^3

$$g_{k6} = 0,4 \cdot 10 + 0,05 \cdot 1 = \mathbf{4,05 \text{ kN/m}}$$

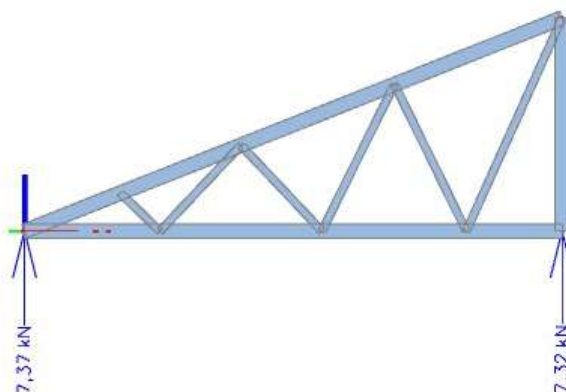
$$g_{d6} = 4,05 \cdot 1,35 = \mathbf{5,468 \text{ kN/m}}$$

Skládání sil



Q_v = Síly přenesené ze střešního pláště přes střešní příhradové vazníky (ZS1,ZS3,ZS4, vlastní tíha vazníku)

$$Q_v = 7,37 \text{ kN}$$



Q_s = Síla od zatížení stropu (ZS2)

Zatěžovací šířka sloupu $\check{s} = 3\text{m}$

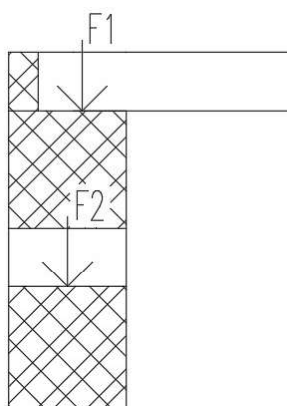
$$Q_s = g_{d2} * \check{s} = 26,827 * 3 = 80,625\text{kN}$$

Q_n = Síla od nadezdívky a překladu (ZS5, ZS6)

Zatěžovací šířka sloupu $\check{s} = 3\text{m}$

$$Q_v = g_{d5} * \check{s} + g_{d6} * \check{s} = 2,869 * 3 + 5,468 * 3 = 25,011\text{kN}$$

Výslednice sil



$$F_1 = 2 * Q_v + 2 * Q_v / 2 + Q_s = 2 * 7,37 + 2 * 7,37 / 2 + 80,625 = 102,735\text{kN}$$

$$F_2 = Q_n = 25,011\text{kN}$$

Parametry zdiva

kvalita zdiva P5

tloušťka zdiva $t = t_{ef} = 500\text{ mm}$

výška stěny $h = 2650\text{ mm}$

vzpěrná výška $h_{ef} = h * \rho = 2650 * 1 = 2650\text{ mm}$

uložení stropu $u = 225\text{ mm}$

štíhlostní poměr $\lambda = h_{ef} / t = 2650 / 500 = 5,3 < 15$

plocha zdiva

$$A = b * t_{ef} = 0,75 * 0,5 = 0,375\text{m}^2$$

Návrhová únosnost pilíře v tlaku

$f_k = 1,25\text{MPa}$... dle údajů výrobce YTONG

$\gamma_M = 2,2 \Rightarrow$ návrhová malta, pórobeton

$$f_d = f_k / \gamma_M = 1,25 / 2,2 = 0,568\text{ MPa}$$

Návrhové síly působící na průřez v hlavě stěny (N_{ed1} , M)

$$N_{ed1} = F_1 + F_2 = 102,735 + 25,011 = \mathbf{127,46kN}$$

Poloha výslednice síly F_1 d:

$$d = t/2 - u/2 = 500/2 - 225/2 = 62,5\text{mm}$$

$$M = 102,735 * 0,0625 = \mathbf{6,421kNm}$$

Návrhová síla působící na průřez v polovině stěny (N_{ed2})

$$\Delta N_{ed2} = 0,75 * 0,5 * 2,65/2 * 8,5 * 1,35 = 5,70\text{kN}$$

$$N_{ed2} = N_{ed1} + \Delta N_{ed2} = 127,46 + 5,70 = 133,16\text{kN}$$

Návrhová síla působící na průřez v patě stěny (N_{ed3})

$$\Delta N_{ed3} = 0,75 * 0,5 * 2,65 * 8,5 * 1,35 = 11,40\text{kN}$$

$$N_{ed3} = N_{ed1} + \Delta N_{ed3} = 127,46 + 11,40 = 138,86\text{kN}$$

Excentricita od zatížení v hlavě stěny e_d

$$e_d = M/N_{ed1} = 6,421/127,46 = 0,0504\text{m}$$

Excentricita od dotvarování e_k

$$e_k = 0 \text{ pro } \lambda < 15 \rightarrow \textit{nemusíme uvažovat dotvarování}$$

Náhodná excentricita e_a

$$e_a = h_{ef}/450 = 2650/450 = 5,89 \text{ mm} = 0,00589\text{m}$$

Celková excentricita v hlavě stěny e_{i1}

$$e_{i1} = e_d + e_a = 0,0504 + 0,00589 = 0,0563\text{m}$$

Excentricita od zatížení v polovině stěny e_d

$$e_{d2} = M * 0,5 / N_{ed2} = 6,421 * 0,5 / 133,16 = 0,02411\text{m}$$

Celková excentricita v polovině stěny e_{i2}

$$e_{i2} = e_{d2} + e_a = 0,02411 + 0,00589 = 0,030\text{m}$$

Excentricita od zatížení v patě stěny e_d

$$e_{d3} = M * 0 / N_{ed2} = 6,421 * 0 / 138,86 = 0\text{m}$$

Celková excentricita v patě stěny e_{i3}

$$e_{i3} = e_{d3} + e_a = 0 + 0,00589 = 0,00589\text{m}$$

Porovnání excentricit s hodnotou $0,05 \cdot t$

$$e_{ik} > 0,05t = 0,05 \cdot 0,5 = 0,025$$

$e_{i1}, e_{i2} = 0,0563; 0,03 > 0,025 \Rightarrow$ v hlavě a v polovině stěny využijeme vypočtené hodnoty celkových excentricit

$e_{i3} = 0,00589 < 0,025 \Rightarrow$ v patě stěny využijeme hodnotu $0,025$
Určení zmenšovacích součinitelů Φ_i

$$\Phi_{i1} = 1 - 2 \cdot (e_{i1} / t) = 1 - 2 \cdot (0,0563/0,5) = 0,7748$$

$$\Phi_{i2} = 1 - 2 \cdot (e_{i2} / t) \cdot e^u$$

$$u = ((h_{ef} / t_{ef}) - 1,67) / (19,3 - 31 \cdot e_{i2} / t) = ((2,65 / 0,5) - 1,67) / (19,3 - 31 \cdot 0,03 / 0,5) = 0,200$$

$$\Phi_{i2} = 1 - 2 \cdot (e_{i2} / t) \cdot e^u = 1 - 2 \cdot (0,03/0,5) \cdot e^{0,2} = 0,8514$$

$$\Phi_{i3} = 1 - 2 \cdot (e_{i3} / t) = 1 - 2 \cdot (0,025/0,5) = 0,90$$

Výpočet únosnosti zdiva N_{rd}

$$\text{V hlavě stěny } N_{rd1} = A \cdot \Phi_{i1} \cdot f_d = 0,375 \cdot 0,7748 \cdot 0,568 = 0,1650\text{MN} = 165\text{kN}$$

$$\text{V polovině stěny } N_{rd2} = A \cdot \Phi_{i2} \cdot f_d = 0,375 \cdot 0,8514 \cdot 0,568 = 0,1813\text{MN} = 181,3\text{kN}$$

$$\text{V hlavě stěny } N_{rd3} = A \cdot \Phi_{i3} \cdot f_d = 0,375 \cdot 0,9 \cdot 0,568 = 0,1917\text{MN} = 191,7\text{kN}$$

$$N_{rd1} < N_{ed1} \\ 165\text{kN} < 127,46\text{kN}$$

$$N_{rd2} < N_{ed2} \\ 181,3\text{kN} < 133,16\text{kN}$$

$$N_{rd3} < N_{ed3} \\ 191,7\text{kN} < 138,86\text{kN}$$

Stěnový pilíř vyhovuje ve všech řezech.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
Katedra mechaniky – obor Stavitelství

4.3

Statický návrh a posouzení stěny
věže rozhledny

Bakalářská práce - Zpracování projektové dokumentace pro novostavbu rozhledny

Vedoucí práce: Ing. Luděk Vejvara Ph.D.

Autor: Petr Zelenka

Návrh rozměrů železobetonových stěn věže

Rozdělení mezních stavů

1. Mezní stav – minimální zatížení + zatížení větrem
V prvním mezním stavu počítám zatížení na stěny pouze pomocí charakteristických hodnot vlastní tíhy konstrukce a návrhových hodnot zatížení od větru.
2. Mezní stav – maximální zatížení
V druhém mezním stavu počítám zatížení na stěny pomocí maximálního návrhového zatížení na konstrukci.
3. Mezní stav – maximální zatížení + zatížení větrem
Ve třetím mezním stavu počítám zatížení na stěny pomocí maximálního návrhového zatížení na konstrukci.
4. Mezní stav – stabilita
Ve čtvrtém mezním stavu kontroluji stabilitu konstrukce pomocí charakteristické hodnoty vlastní tíhy konstrukce zmenšené o hodnotu 0,9 a návrhové hodnoty zatížení větrem.

1. Mezní stav – minimální zatížení + zatížení větrem

Vlastní zatížení konstrukce věže Q_v :

výška konstrukce $V_v = 24,5\text{m}$

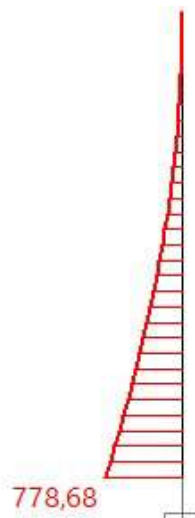
tloušťka stěny $t_s = 0,3\text{m}$

uvažovaný pruh stěny $b = 1\text{m}$

objemová hmotnost konstrukce $V_M = 25\text{ kN/m}^3$

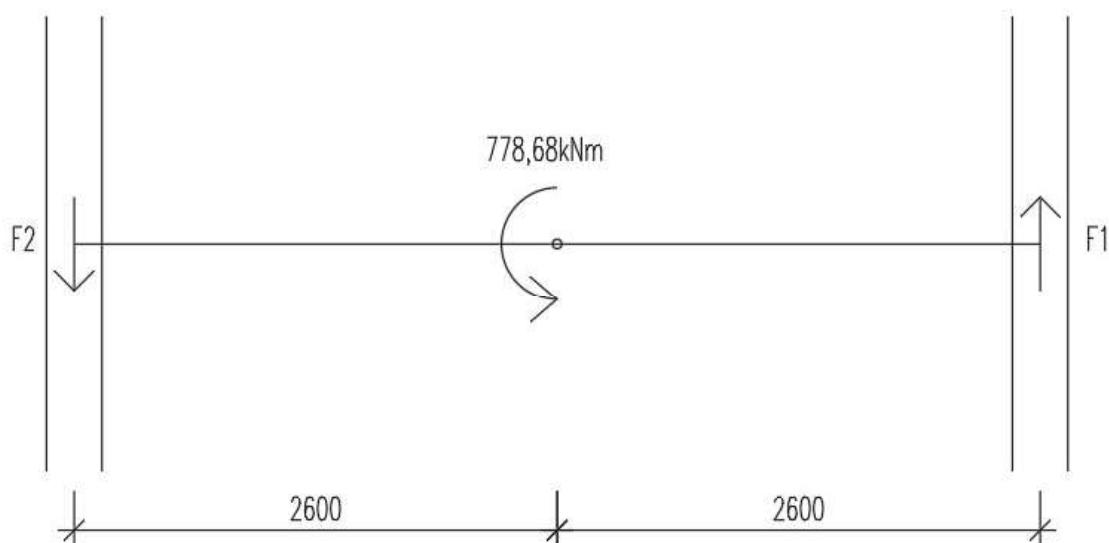
$Q_v = 25 * 24,5 * 0,3 = 183,75\text{kN/m}$

Moment vyvolaný zatížením větrem M_v :



Momentové zatížení rozložím na dvojici sil, které budou působit na horní a spodní vlákna průřezu (tah a tlak). Počítáno v patě věže – v místě maximálního momentu.

Rozložení momentu:



$$F1 = -F2 = (778,68/2,6)/2 = 149,75 \text{ kN}$$

Skládání sil

Výslednicí sil R v každé jedné stěně je součet síly od vlastní tíhy a sil způsobených větrem.

V místě $F1$:

$$R_1 = -183,75 + 149,75 = -34,0 \text{ kN}$$

V místě $F2$:

$$R_2 = -183,75 - 149,75 = -333,5 \text{ kN}$$

Z výsledků sil na obou stranách věže vyplývá, že je průřez v obou částech (na horních a dolních vláknách) tlačný.

2. Mezní stav – maximální zatížení

Složky zatížení:

- Vlastní tíha stěn věže
- Zatížení od konstrukce schodišť věže
- Zatížení konstrukce střechy
- Zatížení od vyhlídky věže

Stálá zatížení

Vlastní tíha stěn věže

výška konstrukce $V_v = 24,5\text{m}$

tloušťka stěny $t_s = 0,3\text{m}$

uvažovaný pruh stěny $b = 1\text{m}$

objemová hmotnost konstrukce $V_M = 25 \text{ kN/m}^3$

$$Q_v = 25 * 24,5 * 0,3 * 1 = 183,75 \text{ kN}$$

Zatížení od konstrukce schodišť věže

Stálé zatížení

Keramická dlažba 0,01m 16kN/m³ charakteristické zatížení =
0,16kN/m²

Lepidlo 0,005m 20kN/m³
charakteristické zatížení = 0,10kN/m²

Celkem charakteristické zatížení =

0,26kN/m²

Užitné zatížení

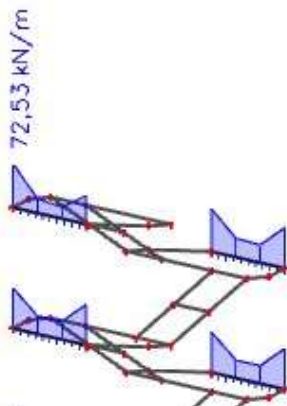
Schodiště **3,5kN/m²**

Vlastní tíha schodiště

Vlastní tíha schodiště je generována automaticky v softwaru Scia Engineer.

Výsledné maximální zatížení od reakcí od zatížení schodišť

Výsledná hodnota přepočtena
na návrhovou hodnotu.



Zatížení konstrukce střechy

Zatížení od krovu

ZATÍŽENÍ NA ŽB NOSNOU DESKU OD SLOUPKŮ KROVU

Výpis prvků krovu		
Průřez [mm]	Délka [m]	ks
Krokve + nárožní krokve		
100/160	3,5	9
160/180	3,9	8
100/160	3,6	4
100/160	1,2	8
100/160	09	8
100/160	2,5	2
100/160	1,75	2

Vaznice		
160/180	2	4
Sloupky		
160/160	1,3	4
Pásy		
120/120	1	8

Součty délek průřezů				
Průřez	Celkem délka [m]	Objem [m ³]	Obj. hmotnost [kN/m ³]	Tíha [kN]
Krokve				
100/160	71,2	1,139	7,4	8,43
160/180	31,2	0,899	7,4	6,65
Vaznice				
160/180	8	0,230	7,4	1,70
Sloupky				
160/160	5,2	0,133	7,4	0,99
Pásy				
120/120	8	0,115	7,4	0,85

Výpočet zatížení v patě sloupků krovu

$$G_{ks} = \frac{8,43 + 6,65}{2} + 1,7 + 0,99 + 0,85 = 11,07 \text{ kN}$$

Rozpočtení na 1 sloupek

$$G_{ks,1} = \frac{11,07}{4} = 2,77 \text{ kN}$$

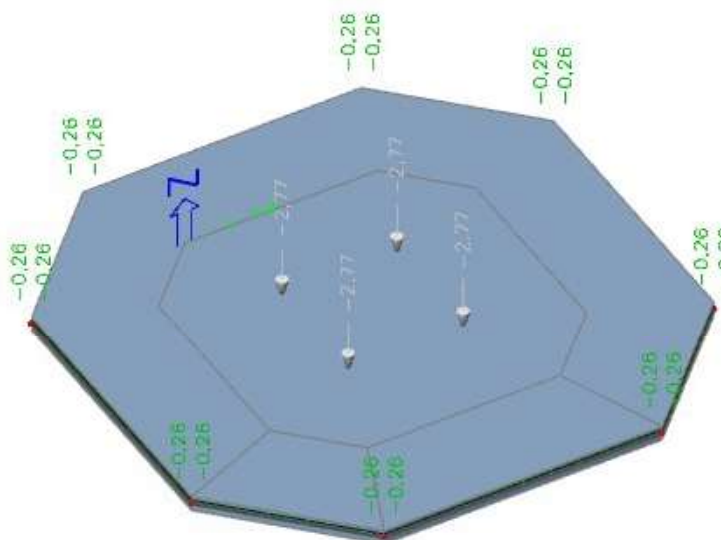
Zatížení na pozednice krovu

$$G_{kp} = \frac{8,43 + 6,65}{2} = 7,54 \text{ kN}$$

Přepočet na liniové zatížení - délka pozednice je 29m

$$G_{kp2} = \frac{7,54}{29} = 0,26 \text{ kN/m}$$

Zobrazení zadání do software



Zatížení od pláště střechy

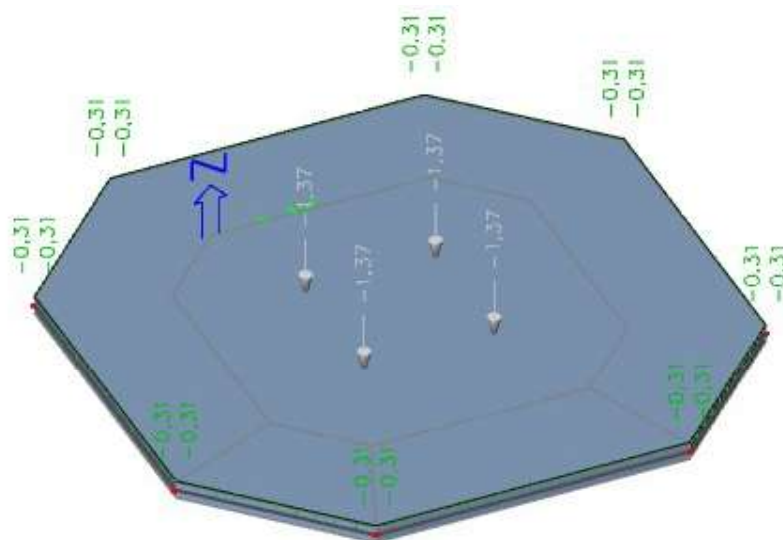
Střešní krytina charakteristické zatížení = $0,1\text{kN/m}^2$
Lepidlo charakteristické zatížení = $0,112\text{kN/m}^2$
Celkem charakteristické zatížení = $0,222\text{kN/m}^2$

Zatížení přenesené na sloupky:

Zatěžovací plocha je $6,15\text{m}^2$
Celkové zatížení $G_{ps} = 0,222 * 6,15 = \mathbf{1,37\text{kN}}$

Zatížení přenesené na pozednici:

Zatěžovací šířka je $4 * 10,24/29 = 1,412\text{m}$
Celkové zatížení $G_{ps2} = 1,412 * 0,222 = \mathbf{0,31\text{kN/m}}$



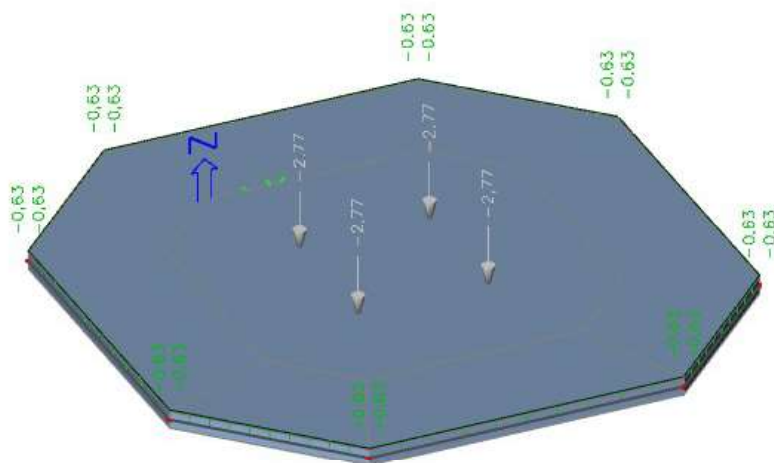
Užitné zatížení
Střecha **$0,75\text{kN/m}^2$**

Zatížení střešní konstrukce sněhem

Zahrnuto 100% zatížení sněhem

Zatížení přenesené na sloupky:
Zatěžovací plocha je $6,15\text{m}^2$
Celkové zatížení $G_s = 0,45 * 6,15 = \mathbf{2,77\text{kN}}$

Zatížení přenesené na pozednici:
Zatěžovací šířka je $4 * 10,24/29 = 1,412\text{m}$
Celkové zatížení $G_{ps2} = 1,412 * 0,45 = \mathbf{0,63\text{kN/m}}$



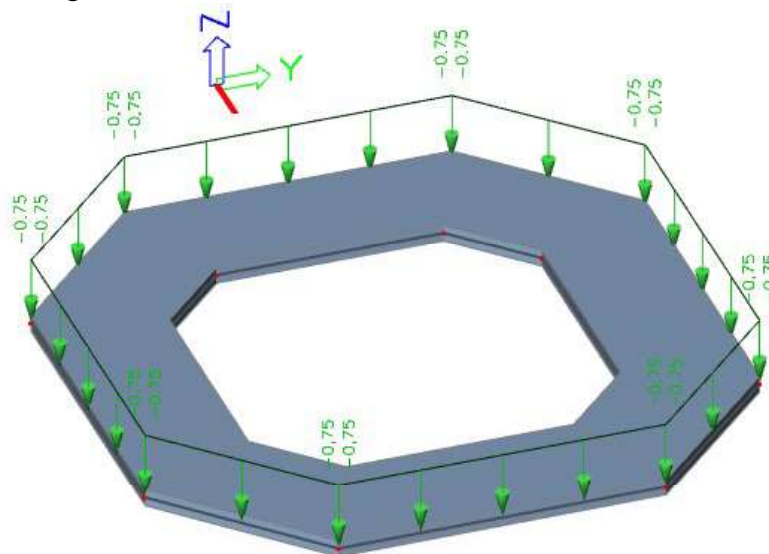
Zatížení od vyhlídky věže

Zatížení od pláště vyhlídky

Zasklení vyhlídky – tíha okna přibližně 30kg/m^2

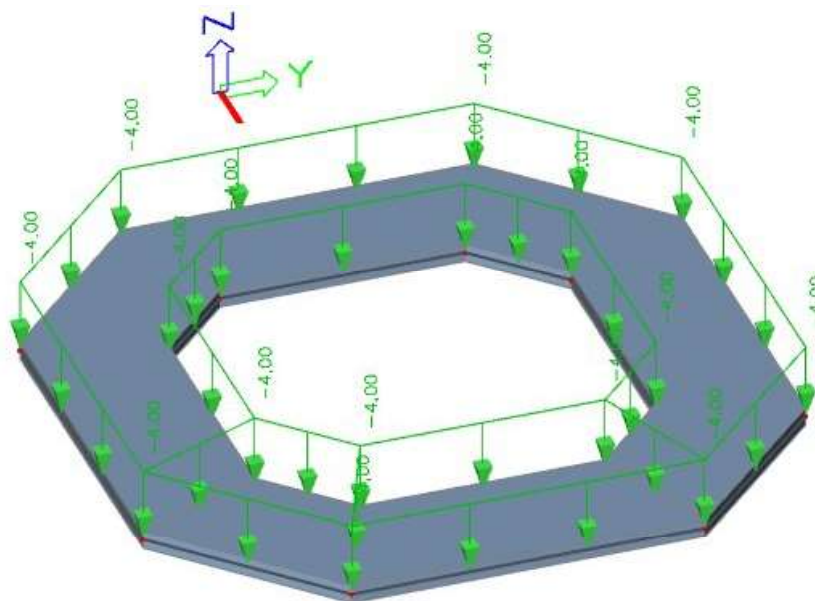
Výška okna je 2,5m

$$G_v = 30 * 2,5 = 75\text{kg/m} = 0,75\text{kN/m}$$



Užitné zatížení vyhlídky

Kategorie C3 **$4,0\text{kN/m}^2$**



Stálé zatížení

Keramická dlažba	0,01m	16kN/m ³	charakteristické zatížení =
			0,16kN/m ²
Lepidlo	0,005m	20kN/m ³	
charakteristické zatížení =			0,10kN/m ²
			Celkem charakteristické zatížení =
			0,26kN/m²

Celkový součet všech zatížení na střešní konstrukci

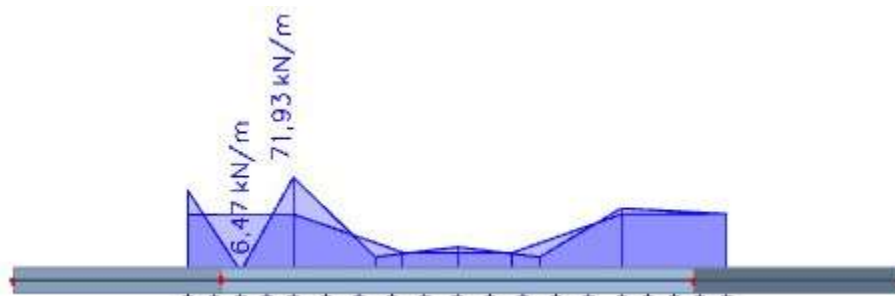
Výsledná hodnota
přepočtena
na návrhovou hodnotu.



MAXIMÁLNÍ HODNOTA ZATÍŽENÍ NA STĚNY VĚŽE = 38,62kN/m

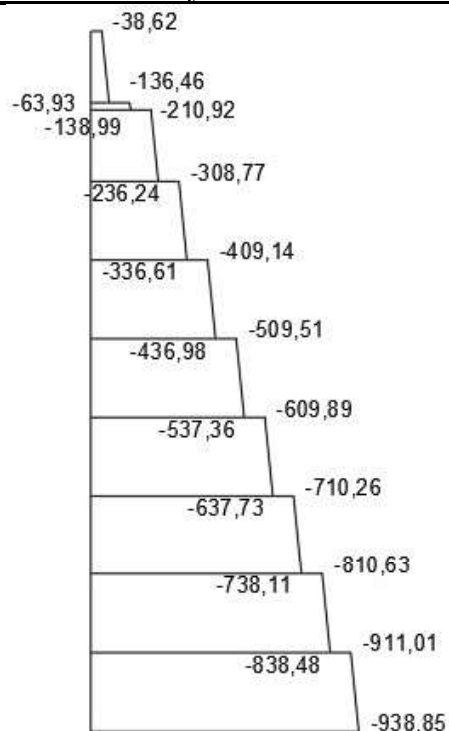
Celkový součet všech zatížení na vyhlídce věže

Výsledná hodnota
přepočtena
na návrhovou hodnotu.



**MAXIMÁLNÍ
HODNOTA ZATÍŽENÍ
NA STĚNY VĚŽE = 71,93kN/m**

Výsledný obrazec normálových sil od maximálního zatížení [kN]

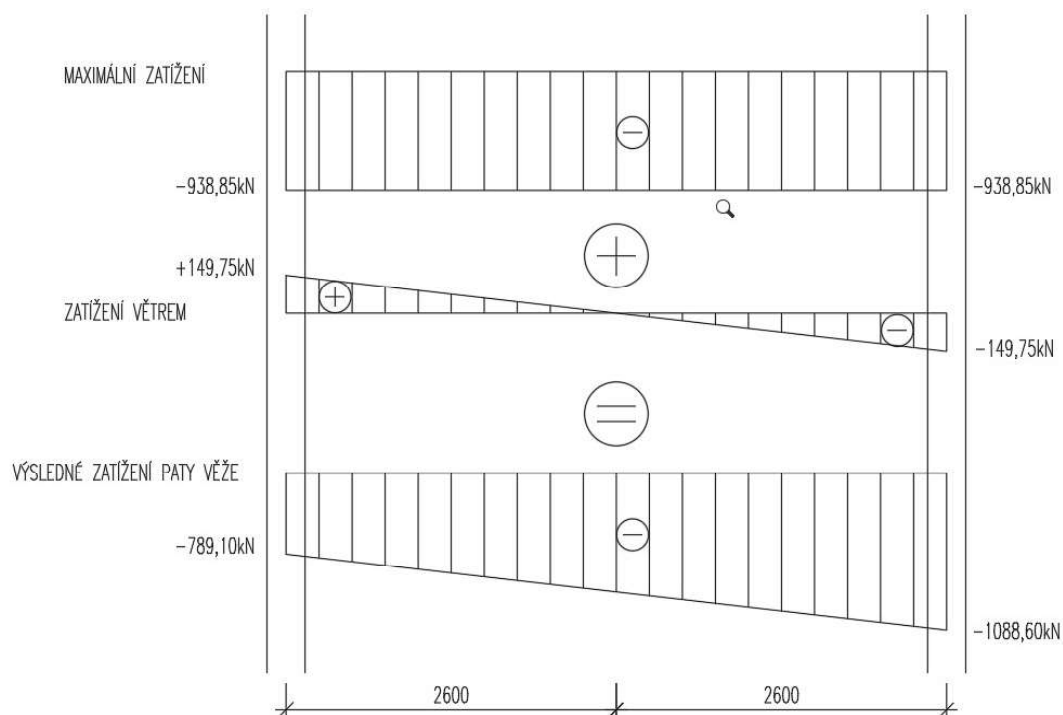


3. Mezní stav – maximální zatížení + vítr

Složky zatížení:

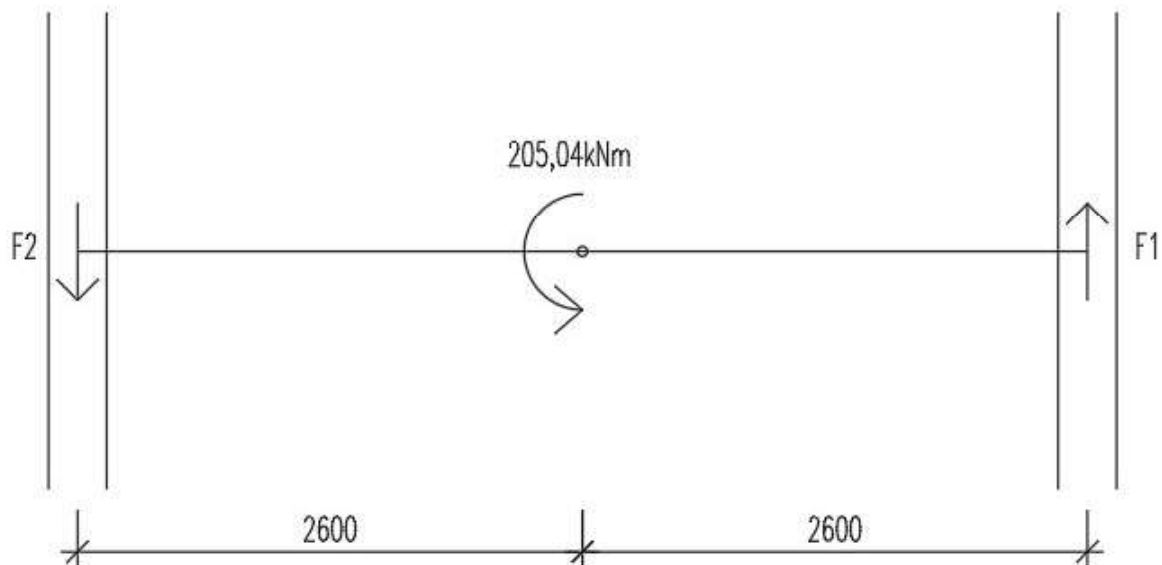
- a) Maximální zatížení
- b) Zatížení větrem

Namáhání v patě věže:

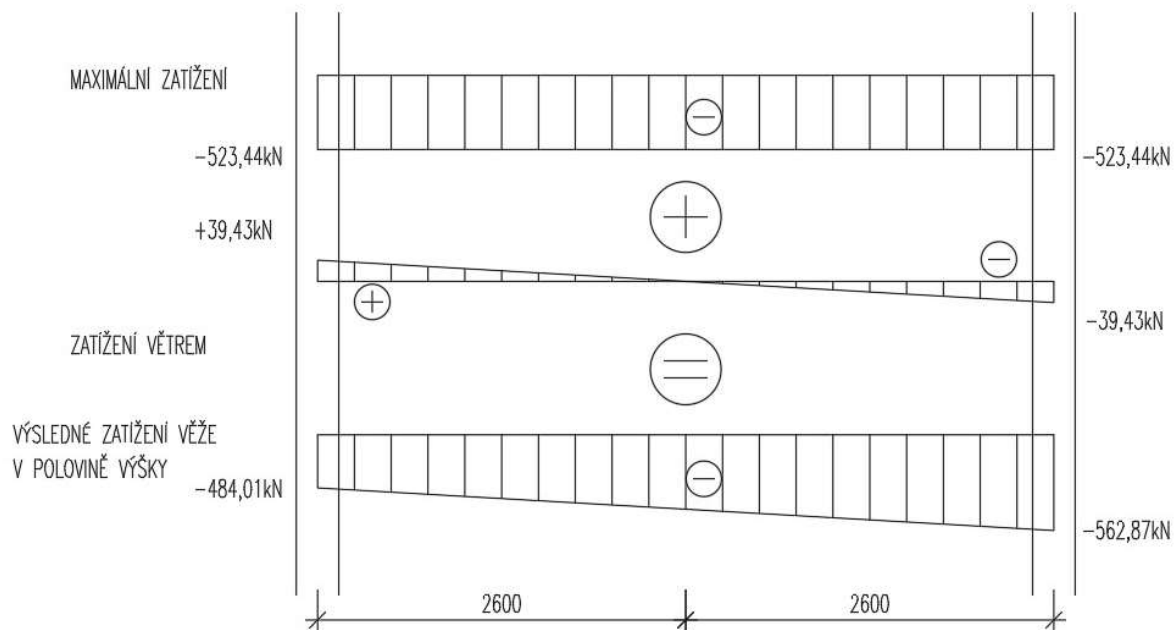


Namáhání v prostředku věže (v polovině výšky):

Rozložení momentu, od zatížení větrem, na 2 síly



$$F1 = -F2 = (205,04/2,6)/2 = 39,43\text{kN}$$



4. Mezní stav – stabilita

Počítáno s návrhovým zatížením větrem a se zatížením vlastní tíhou zmenšeným součinitelem 0,9.

Vlastní zatížení konstrukce věže Q_v :

výška konstrukce $V_v = 24,5\text{m}$

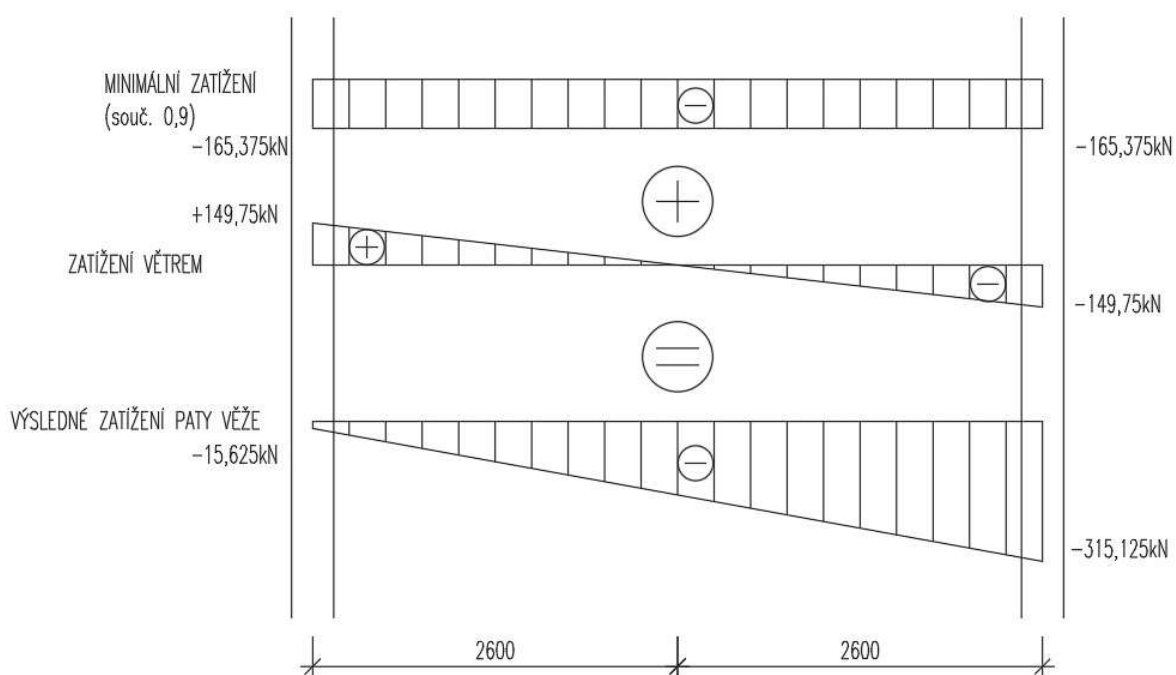
tloušťka stěny $t_s = 0,3\text{m}$

uvažovaný pruh stěny $b = 1\text{m}$

objemová hmotnost konstrukce $V_M = 25 \text{ kN/m}^3$

charakteristická hodnota zatížení ... $Q_{v1} = 25 * 24,5 * 0,3 = 183,75\text{kN/m}$

charakteristická hodnota zmenšená o souč. 0,9 ... $Q_v = 183,75 * 0,9 = 165,375\text{kN/m}$



Návrh výztuže stěny

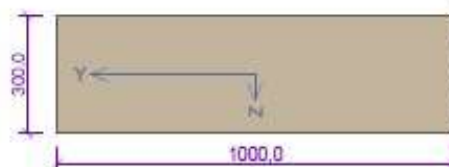
Návrh výztuže na maximální zatížení (3. Mezní stav v patě věže)

Maximální tlak výztuže $N_{ed} = -1088,6\text{kN}$

1.1 Vstupní data

Typ prvku: stěna
Prostředí: X0

Průřez



Materiály

Beton: C 30/37

Válcová pevnost v tlaku $f_{ck} = 30,0$ MPa

Pevnost v tahu $f_{ctm} = 2,9$ MPa

Modul pružnosti $E_{cm} = 33000$ MPa

Ocel podélná: B500B

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa

Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

Ocel příčná: B500

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa

Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

Vnitřní síly - základní návrhová (MSÚ)

č.	Název zatěžovacího případu	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	QP koef. [-]
1	Maximální zatížení	-1088,60	0,00	0,00	1,000

Podélná výztuž

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
7	12	30,0	horní výztuž
7	12	30,0	dolní výztuž



Podélná výztuž - podrobnosti

Číslo	Y [mm]	Z [mm]	Profil [mm]
1	500,0	264,0	12
2	36,0	264,0	12
3	964,0	264,0	12
4	190,7	264,0	12
5	809,3	264,0	12
6	345,3	264,0	12
7	654,7	264,0	12
8	500,0	36,0	12
9	36,0	36,0	12
10	964,0	36,0	12
11	190,7	36,0	12
12	809,3	36,0	12
13	345,3	36,0	12
14	654,7	36,0	12

1.2 Výsledky

1: Maximální zatížení - základní návrhová

$N = -1088,60\text{kN}$; $M_y = 0,00\text{kNm}$; $V_z = 0,00\text{kN}$

Podrobné posouzení TLAK A OHYB: Maximální zatížení

Normálová síla pro výpočet minimální excentricity dle 6.1(4) normy: **Vyhovuje**

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Stěna (celková výztuž):

$$\rho_s = A_s / A_c = 1\,583 / 300 \cdot 10^3 = 0,00528$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 1\,583 / 300 \cdot 10^3 = 0,00528$$

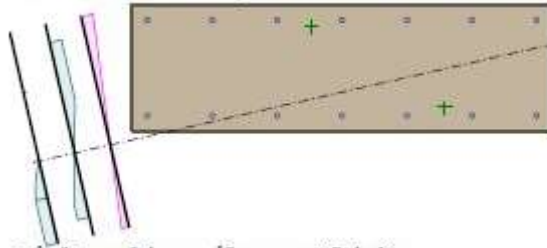
$$\rho_{s,min} = 0,002$$

$$\rho_s = 0,00528 \geq \rho_{s,min} = 0,002 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

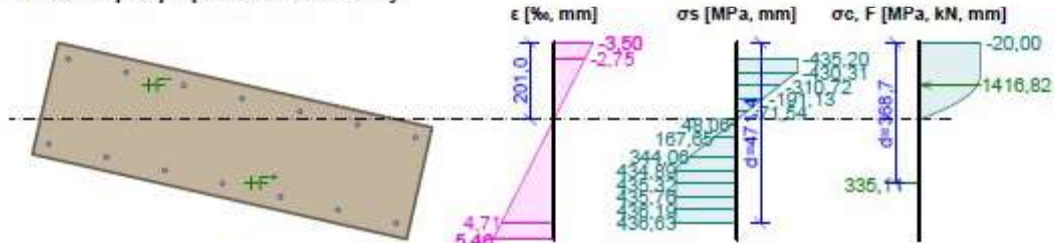
$$\rho_s = 0,00528 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,min} = 395,8\text{ mm}^2$

Orientace neutrální osy



Průběh napětí po průřezu a vnitřní síly



Deformace v krajních vláknech průřezu

Nejmenší deformace v betonu: -3,50 ‰
 Největší deformace v betonu: 5,46 ‰
 Nejmenší deformace ve výztuži: -2,75 ‰
 Největší deformace ve výztuži: 4,71 ‰
 Směr neutrální osy: 192,83 °

$$N_{Ed} = -1088,60 \text{ kN} \leq N_{Rd} = -6633,35 \text{ kN}$$

$$M_{Edy} = 0,00 \leq M_{Rdy} = -166,04 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na tlak a ohyb Vyhovuje

Využití: 16,4 %

Podrobné posouzení SMYK: Maximální zatížení

Průřez není namáhán smykem.

Posouzení min. a max. stupně výztužení

Stěna (celková výztuž):

$$\rho_s = 0,00528 \geq \rho_{s,min} = 0,002 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,00528 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,min} = 395,8 \text{ mm}^2$

Posouzení mezniho stavu únosnosti

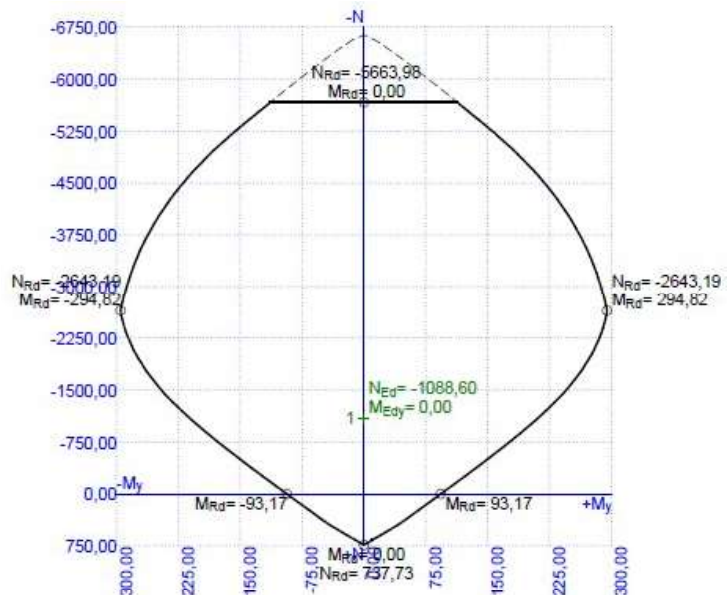
č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Využití [%]	Posouzení
1	Maximální zatížení	-1088,60	-6633,35	0,00	-166,04	0,00	0,00	16,4	Vyhovuje

Mezni stav únosnosti VYHOVUJE - 16,4 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

Využití: 16,4 %

Interakční diagram:



Dále bude navržena konstrukční vodorovná výztuž:

Návrh $2 \times \varnothing 12$ á 150mm.

Návrh výztuže na maximální zatížení (3. Mezní stav v polovině výšky věže)

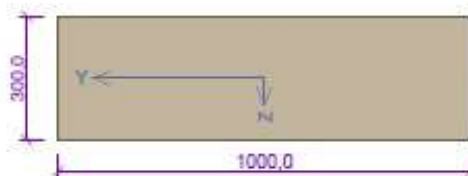
Maximální tlak výztuže $N_{ed} = -562,87 \text{ kN}$

1.1 Vstupní data

Typ prvku: stěna

Prostředí: X0

Průřez



Materiály

Beton: C 30/37

Válcová pevnost v tlaku $f_{ok} = 30,0 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$

Modul pružnosti $E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$

Ocel podélná: B500B

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$

Modul pružnosti $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Ocel příčná: B500

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$

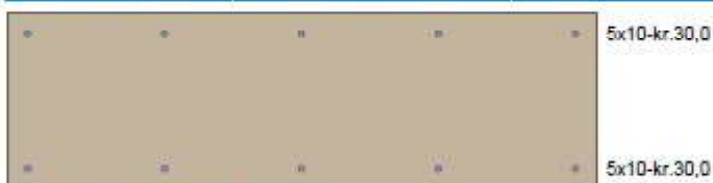
Modul pružnosti $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Vnitřní síly - základní návrhová (MSÚ)

č.	Název zatěžovacího případu	N_{ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	QP koef. [-]
1	Zat. případ 2	-562,87	0,00	0,00	1,000

Podélná výztuž

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
5	10	30,0	horní výztuž
5	10	30,0	dolní výztuž



Podélná výztuž - podrobnosti

Číslo	Y [mm]	Z [mm]	Profil [mm]
1	500,0	265,0	10
2	35,0	265,0	10
3	965,0	265,0	10
4	267,5	265,0	10
5	732,5	265,0	10
6	500,0	35,0	10
7	35,0	35,0	10
8	965,0	35,0	10
9	267,5	35,0	10
10	732,5	35,0	10

Počátek souřadnicového systému je v levém dolním rohu obálky průřezu

S tlačnou výztuží je počítáno.

1.2 Výsledky

1: **Zat. případ 2** - základní návrhová

$N = -562,87 \text{ kN}$; $M_y = 0,00 \text{ kNm}$; $V_z = 0,00 \text{ kN}$

Podrobné posouzení TLAK A OHYB: **Zat. případ 2**

Normálová síla pro výpočet minimální excentricity dle 6.1(4) normy: **Vyhovuje**

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Stěna (celková výztuž):

$$\rho_s = A_s / A_c = 785,4 / 300 \cdot 10^3 = 0,00262$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 785,4 / 300 \cdot 10^3 = 0,00262$$

$$\rho_{s,min} = 0,002$$

$$\rho_s = 0,00262 \geq \rho_{s,min} = 0,002 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

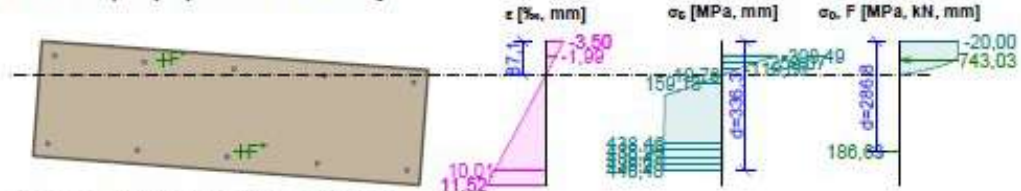
$$\rho_s = 0,00262 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,min} = 300 \text{ mm}^2$

Orientace neutrální osy



Průběh napětí po průřezu a vnitřní síly



Deformace v krajních vlákních průřezu

Nejmenší deformace v betonu: -3,50 ‰
 Největší deformace v betonu: 11,52 ‰
 Nejmenší deformace ve výztuži: -1,99 ‰
 Největší deformace ve výztuži: 10,01 ‰
 Směr neutrálné osy: 184,28 °

$$N_{Ed} = -562,87 \text{ kN} \leq N_{Rd} = -6314,16 \text{ kN}$$

$$M_{Edy} = 0,00 \leq M_{Rdy} = -111,13 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na tlak a ohyb Vyhovuje

Využití: 8,9 %

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Stěna (celková výztuž):

$$\rho_s = 0,00262 \geq \rho_{s,min} = 0,002 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,00262 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,min} = 300 \text{ mm}^2$

Posouzení mezního stavu únosnosti

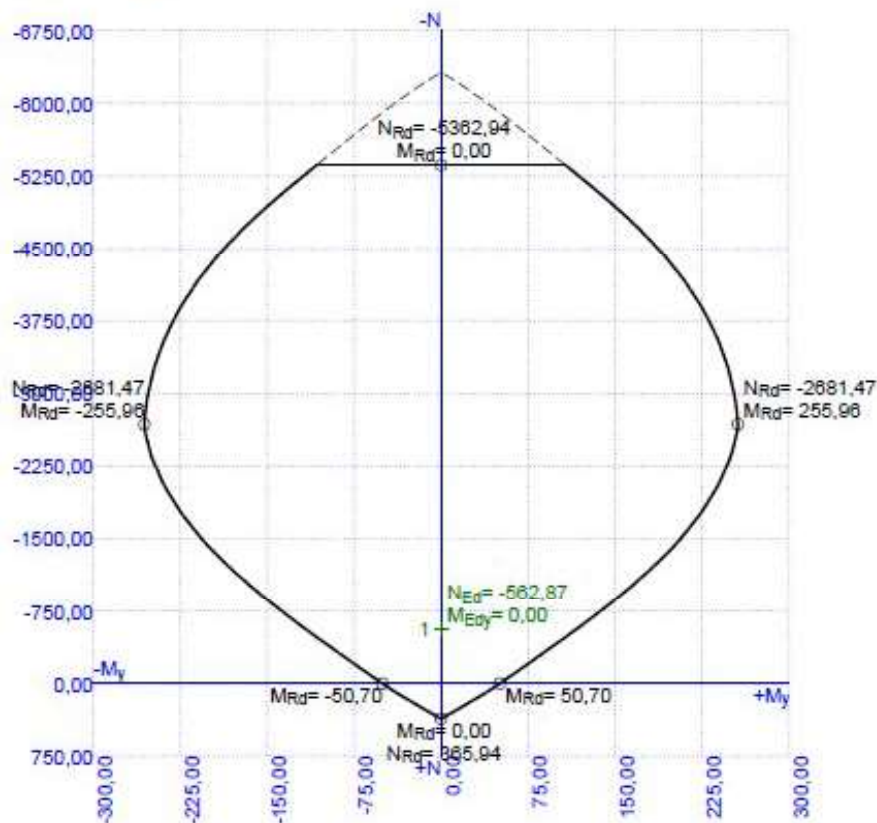
č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Využití [%]	Posouzení
1	Zat. případ 2	-562,87	-6314,16	0,00	-111,13	0,00	0,00	8,9	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 8,9 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

Využití: 8,9 %

Interakční diagram



Dále bude navržena konstrukční vodorovná výztuž:

Návrh $2 \times \varnothing 10$ á 200mm.

Závěr:

Z výpočtu mezních stavů vyplývá, že musí být navržena tl. stěny věže 300mm. Pro menší tloušťky stěny by hrozila nestabilita konstrukce.

Výztuž ve spodní polovině věže byla navržena jako $2 \times \varnothing 12$ á 150mm ve vertikálním i horizontálním směru. V horní polovině věže byla výztuž navržena jako $2 \times \varnothing 10$ á 200mm ve vertikálním i horizontálním směru.