

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

P1) STATICKÝ VÝPOČET VAZNICE A VAZNÍKU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADEK SCHMEIDLER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2016

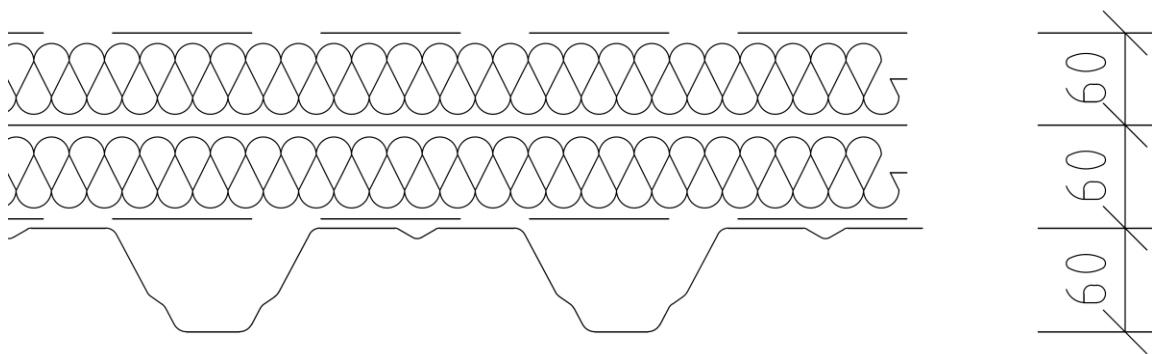
OBSAH:

OBSAH	2
1. ZATÍŽENÍ	3
2. SNÍH	4
3. VÍTR	5
4. NÁVRH VZDÁLENOSTI VAZNIC	12
5. VAZNICE	13
6. PŘEPRAVNÍ ÚCHYTY	14
7. NÁVRH VÝZTUŽE VAZNICE NA OHYBOVÝ MOMENT	16
8. NÁVRH VÝZTUŽE VAZNICE NA SMYK	20
9. VAZNICE - 2. MS POUŽITELNOSTI	23
10. VAZNICE - VYTAHOVÁNÍ Z FORMY	28
11. VAZNÍK	30
12. ZATÍŽENÍ	33
13. KOMBINACE ZATÍŽENÍ	38
14. PŘEPRAVNÍ ÚCHYTY	40
15. PŘEDEM PŘEDPJATÝ STŘEŠNÍ VAZNÍK – SCIA ENGINEER	43
16. NÁVRH PŘEDPJATÉHO VAZNÍKU	50
17. VÝPOČET ZTRÁT NAPĚTÍ V PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽI	58
18. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - OHYB	71
19. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - SMYK	79
20. SEZNAM OBRÁZKŮ	83
21. SEZNAM TABULEK	85
22. SEZNAM ZDROJŮ	86

1. ZATÍŽENÍ

ZATÍŽENÍ STÁLÉ

STŘEŠNÍ PLÁŠŤ:



Obr.1: Skladba střešního pláště

název	hmotnost	výpočet	[kN/ m ²]
PVC folie DEKPLAN, tl. 1,5 mm	1,85 kg/m ²	1,85/100	0,0185
ISOVER S6, tl. 60 mm	1,75 kN/m ³	1,75·0,060	0,105
ISOVER T6, tl. 60 mm	1,60 kN/m ³	1,60·0,060	0,096
GLASTEK 30 STICKER PLUS	3,5k g/m ²	3,5/100	0,035
Trapézový plech TR 60/235 ,tl. 1,0 mm	0,098 kN/m ²	0,098	0,098
Celkové charakteristické stálé zatížení střešního pláště: 0,353 kN/m ²			

Tab.1: Zatížení střešního pláště

ZATÍŽENÍ NAHODILÉ

STŘECHA KATEGORIE H (DLE ČSN EN 1991-1-1):

- nepřístupné střechy s výjimkou opravy, údržby:

UŽITNÉ ZATÍŽENÍ:

Doporučená hodnota: $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$

2. SNÍH

SNÍH - SEDLOVÁ DVOULODNÍ STŘECHA

Sněhová oblast III: $s_k=1,5 \text{ kN/m}^2$

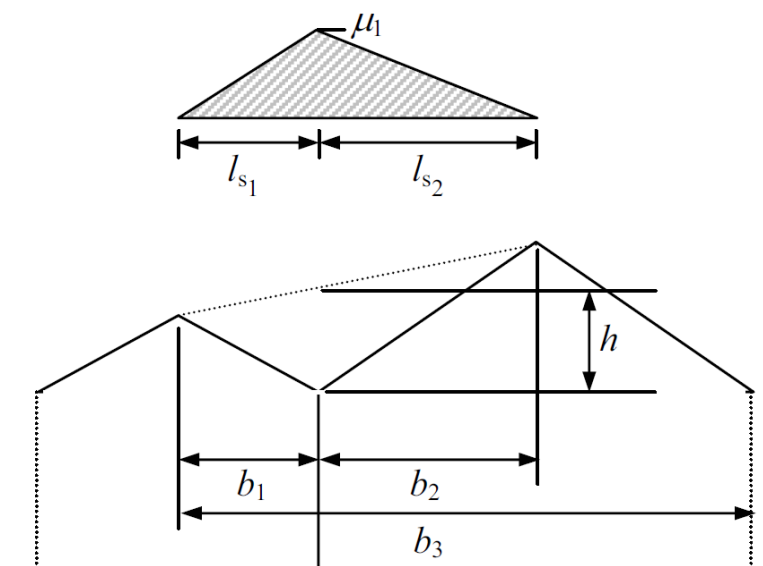
$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

C_e ... součinitel okolního prostředí (pro normální topografii = 1,0)

C_t ... tepelný součinitel

μ ... tvarový součinitel zatížení sněhem ($\mu=0,8$, sklon střešní roviny = 3°)

SNÍH – VÝJIMEČNÁ SNĚHOVÁ NÁVĚJ V ÚŽLABÍ



Obr.2: Tvarový součinitel pro úžlabí vícelodních budov při výjimečné situaci ^[3]

$$\mu_1 = \frac{2 \cdot h}{s_k} = \frac{2 \cdot 0,6}{1,5} = 0,8$$

$$\mu_1 = \frac{2 \cdot b_3}{l_{s1} + l_{s2}} = \frac{2 \cdot 36}{12 + 12} = 3$$

$$\mu_1 = 5$$

$\mu_1 = \min\{0,8; 3; 5\} = 0,8 \rightarrow$ tvarový součinitel pro výjimečnou situaci je totožný s tvarovým součinitelem pro sedlovou střechu \rightarrow nedochází k navýšení zatížení sněhem

3. VÍTR

Kategorie terénu: III $\rightarrow z_0 = 0,3 \text{ m}$; $z_{\min} = 5 \text{ m}$

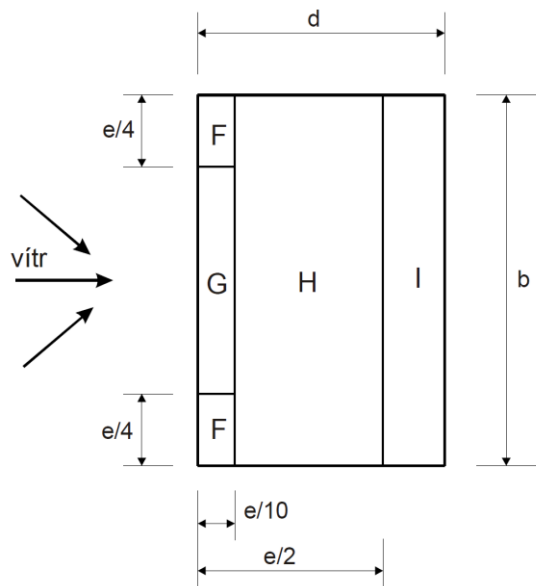
Větrová oblast: II \rightarrow výchozí hodnota základní rychlosti větru: $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

základní rychlost větru: $v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = \underline{25 \text{ m/s}}$

c_{dir} je součinitel směru větru

c_{season} je součinitel ročního období

VÍTR (PŮSOBÍCÍ NA DELŠÍ STRANU) - SEDLOVÁ DVOULODNÍ STŘECHA
(DLE NORMY SE JEDNÁ O PLOCHOU STŘECHU – SKLON JE DO 5°)



Obr.3: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu (vítr na delší stranu)^[4]

Charakteristická střední rychlost větru $v_m(z)$:

$$\underline{v_m(z)} = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,605 \cdot 1 \cdot 25 = \underline{15,13 \text{ m/s}}$$

$z = 10,75 \text{ m}$ (vrchol střechy) $> z_{\min} = 5 \text{ m}$:

$c_r(z)$... součinitel drsnosti terénu:

$$c_r(z_{\min}) = k_r \cdot \ln(z_{\min}/z_0) = 0,215 \cdot \ln(5/0,3) = 0,605$$

k_r ... součinitel terénu:

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

$c_0(z)$... součinitel orografie: $c_0(z) = 1$

$$b = 96,7 \text{ m}$$

$$d = 48,0 \text{ m}$$

$$h = 10,75 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(96,7 \text{ m}; 2 \cdot 10,75 \text{ m}) = 21,5 \text{ m}$$

$$e/2 = 21,5/2 = 10,75 \text{ m}$$

$$e/4 = 21,5/4 = 5,375 \text{ m}$$

$$e/10 = 21,5/10 = 2,15 \text{ m}$$

Maximální dynamický tlak $q_p(z)$:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 = [1 + 7 \cdot 0,279] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 15,13^2 = \underline{0,423 \text{ kN/m}^2}$$

$$I_{v(z)} = \frac{k_1}{c_{0(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{10,75}{0,3}\right)} = 0,279$$

k_1 ... součinitel turbulence = 1

ρ ... měrná hmotnost vzduchu = $1,25 \text{ kg/m}^3$

součinitelé vnějšího tlaku:

$c_{pe,10} = -1,4$ pro oblast F

$c_{pe,10} = -0,9$ pro oblast G

$c_{pe,10} = -0,7$ pro oblast H

$c_{pe,10} = +/-0,2$ pro oblast I

Zatížení od větru:

$$w_F = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-1,4) \cdot 0,423 = -0,592 \text{ kN/m}^2$$

$$w_G = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,9) \cdot 0,423 = -0,381 \text{ kN/m}^2$$

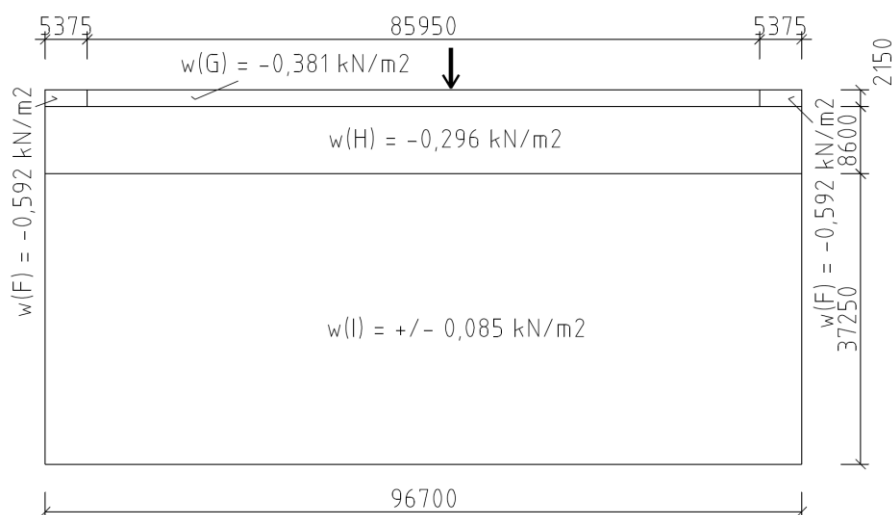
$$w_H = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,7) \cdot 0,423 = -0,296 \text{ kN/m}^2$$

$$w_I = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (+/-0,2) \cdot 0,423 = +/-0,085 \text{ kN/m}^2$$

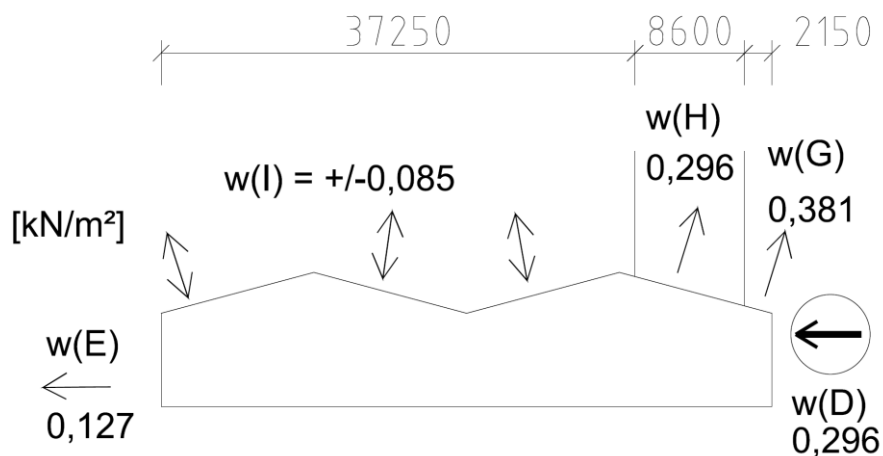
c_s ... součinitel velikosti konstrukce

c_d ... dynamický součinitel

c_{pe} ... součinitel vnějšího tlaku

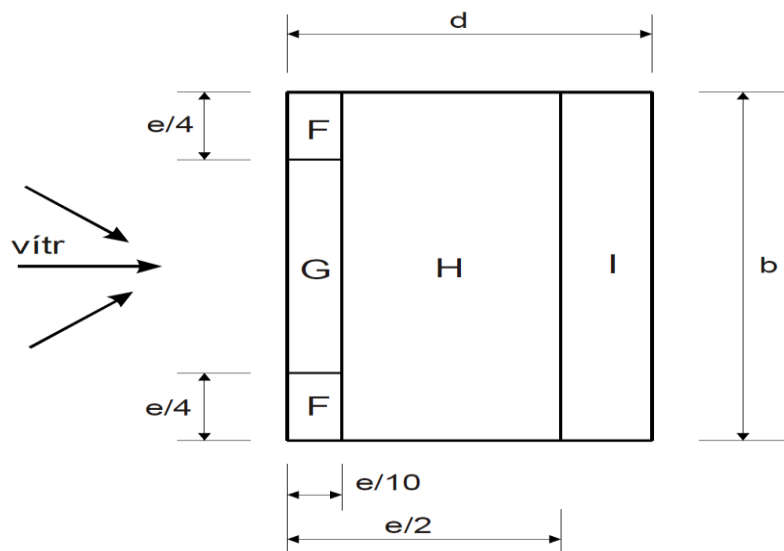


Obr.4: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střeche (vítr na delší stranu)



Obr.5: Řez - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu a stěny (vítr na delší stranu)

VÍTR (PŮSOBÍCÍ NA KRATŠÍ STRANU) - SEDLOVÁ DVOULODNÍ STŘECHA
(DLE NORMY SE JEDNÁ O PLOCHOU STŘECHU – SKLON JE DO 5°)



Obr.6: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu (vítr na kratší stranu)^[4]

$$b = 48,0 \text{ m}$$

$$d = 96,7 \text{ m}$$

$$h = 10,75 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(48,0 \text{ m}; 2 \cdot 10,75 \text{ m}) = 21,5 \text{ m}$$

$$e/2 = 21,5/2 = 10,75 \text{ m}$$

$$e/4 = 21,5/4 = 5,375 \text{ m}$$

$$e/10 = 21,5/10 = 2,15 \text{ m}$$

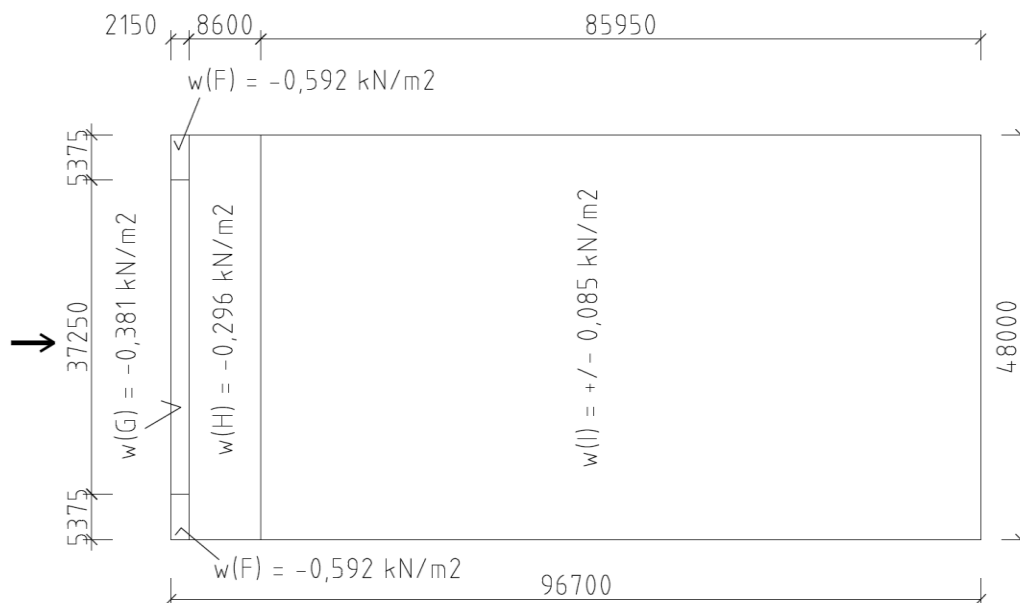
Zatížení od větru:

$$w_F = -0,592 \text{ kN/m}^2$$

$$w_G = -0,381 \text{ kN/m}^2$$

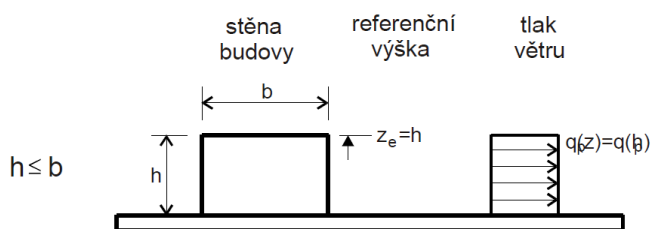
$$w_H = -0,296 \text{ kN/m}^2$$

$$w_I = +/-0,085 \text{ kN/m}^2$$

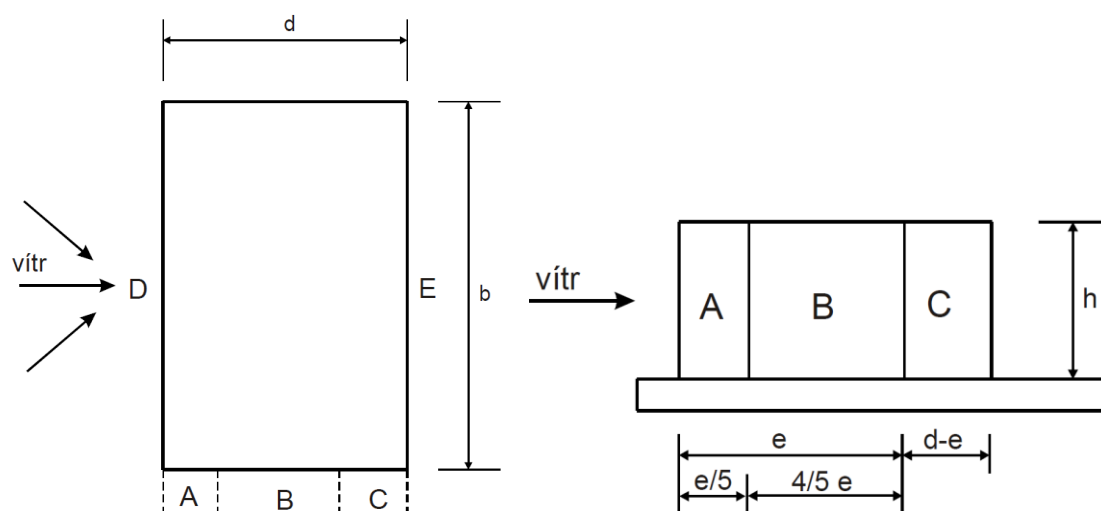


Obr.7: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu (vítr na štítovou stranu)

VÍTR - PŮSOBÍCÍ NA DELŠÍ STĚNU



Obr.8: Schéma zatížení větrem na stěnu ^[4]



Obr.9: Zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny: půdorys a pohled ^[4]

Charakteristická střední rychlost větru $v_m(z)$:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,605 \cdot 1 \cdot 25 = \underline{15,13 \text{ m/s}}$$

$z = 10,75 \text{ m}$ (vrchol střechy) $> z_{\min} = 5 \text{ m}$:

$c_r(z)$... součinitel drsnosti terénu:

$$c_r(z_{\min}) = k_r \cdot \ln(z_{\min}/z_0) = 0,215 \cdot \ln(5/0,3) = 0,605$$

k_r ... součinitel terénu:

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

$c_0(z)$... součinitel orografie: $c_0(z) = 1$

$$b = 96,7 \text{ m}$$

$$d = 48,0 \text{ m}$$

$$h = 10,75 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(96,7 \text{ m}; 2 \cdot 10,75 \text{ m}) = 21,5 \text{ m}$$

Maximální dynamický tlak $q_p(z)$:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 = [1 + 7 \cdot 0,279] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 15,13^2 = \underline{0,423 \text{ kN/m}^2}$$

$$I_{v(z)} = \frac{k_1}{c_{0(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{10,75}{0,3}\right)} = 0,279$$

k_1 ... součinitel turbulence = 1

ρ ... měrná hmotnost vzduchu = $1,25 \text{ kg/m}^3$

součinitel vnějšího tlaku:

$$c_{pe,10} = -1,2 \text{ pro oblast A}$$

$$c_{pe,10} = -0,8 \text{ pro oblast B}$$

$$c_{pe,10} = -0,5 \text{ pro oblast C}$$

$$c_{pe,10} = +0,7 \text{ pro oblast D}$$

$$c_{pe,10} = -0,3 \text{ pro oblast E}$$

Zatížení od větru:

$$w_A = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-1,2) \cdot 0,423 = -0,508 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,8) \cdot 0,423 = -0,339 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,5) \cdot 0,423 = -0,212 \text{ kN/m}^2$$

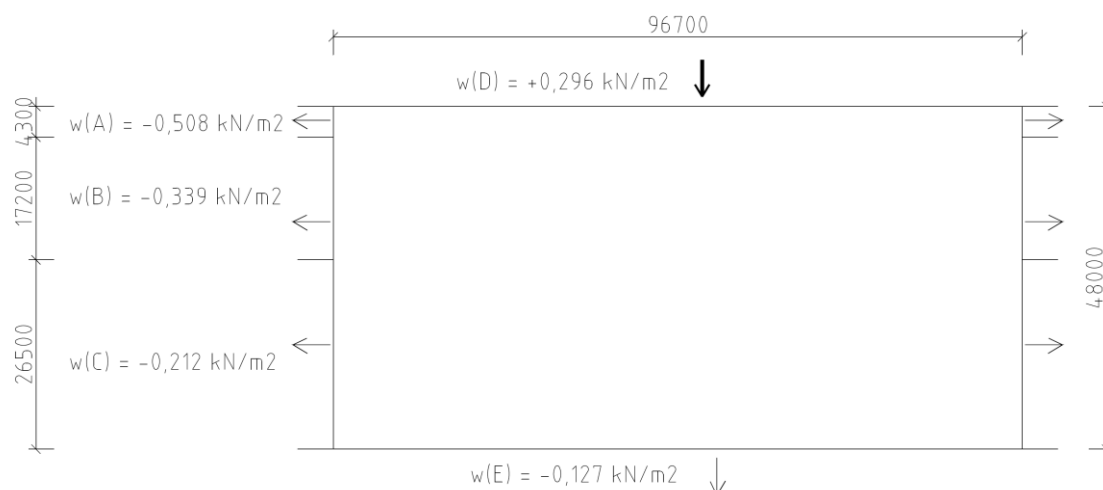
$$w_D = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (+0,7) \cdot 0,423 = +0,296 \text{ kN/m}^2$$

$$w_E = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,3) \cdot 0,423 = -0,127 \text{ kN/m}^2$$

c_s ... součinitel velikosti konstrukce

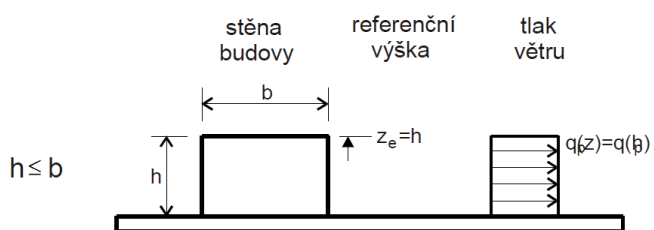
c_d ... dynamický součinitel

c_{pe} ... součinitel vnějšího tlaku

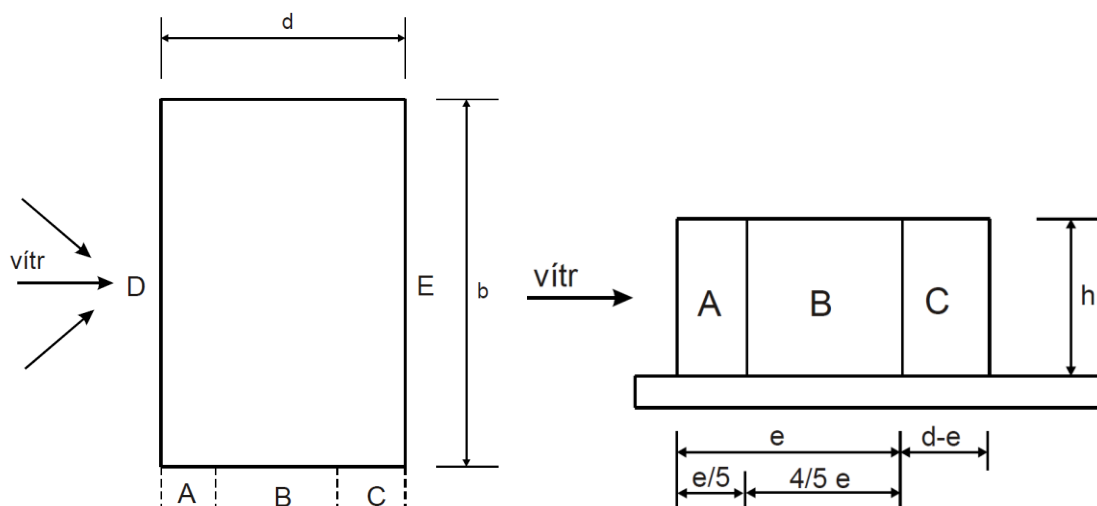


Obr.10: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny (vítr na delší stranu)

VÍTR - PŮSOBÍCÍ NA KRATŠÍ STĚNU



Obr.11: Schéma zatížení větrem na stěnu ^[4]



Obr.12: Zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny: půdorys a pohled ^[4]

$$b = 48,0 \text{ m}$$

$$d = 96,7 \text{ m}$$

$$h = 10,75 \text{ m}$$

$$e = \min (b; 2 \cdot h) = \min (48,0 \text{ m}; 2 \cdot 10,75 \text{ m}) = 21,5 \text{ m}$$

součinitelé vnějšího tlaku:

$c_{pe,10} = -1,2$ pro oblast A

$c_{pe,10} = -0,8$ pro oblast B

$c_{pe,10} = -0,5$ pro oblast C

$c_{pe,10} = +0,7$ pro oblast D

$c_{pe,10} = -0,3$ pro oblast E

Zatížení od větru:

$$w_A = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-1,2) \cdot 0,423 = -0,508 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,8) \cdot 0,423 = -0,339 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,5) \cdot 0,423 = -0,212 \text{ kN/m}^2$$

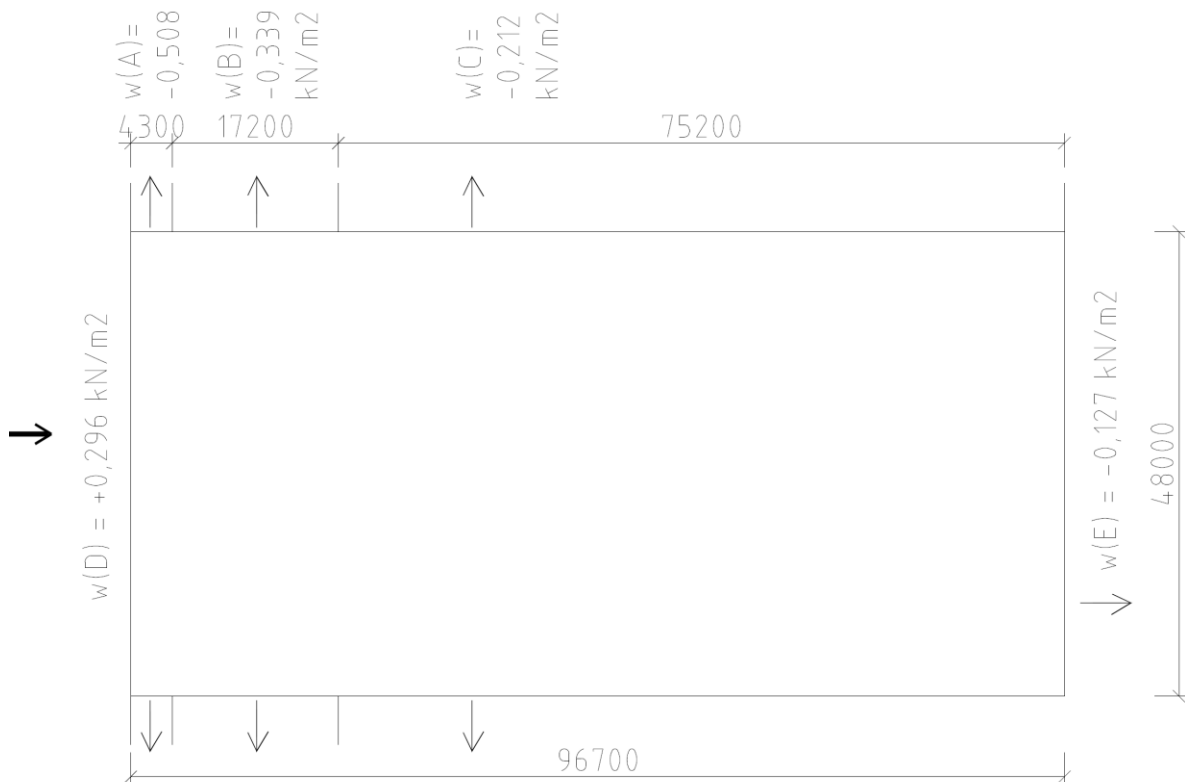
$$w_D = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (+0,7) \cdot 0,423 = +0,296 \text{ kN/m}^2$$

$$w_E = c_s \cdot c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p(h) = 1 \cdot 1 \cdot (-0,3) \cdot 0,423 = -0,127 \text{ kN/m}^2$$

c_s ... součinitel velikosti konstrukce

c_d ... dynamický součinitel

c_{pe} ... součinitel vnějšího tlaku



Obr.13: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny (vítr na štítovou stěnu)

4. NÁVRH VZDÁLENOSTI VAZNIC

Omezeno nutnou vzdáleností podpor pro trapézový plech střešního pláště:

Trapézový plech TR 60/235 ,tl. 1,0 mm

Charakteristické stálé zatížení střešního pláště (bez tr. plechu): $0,255 \text{ kN/m}^2$

Zatížení větrem na střechu - $0,296 \text{ kN/m}^2$

Zatížení sněhem na střechu - $1,2 \text{ kN/m}^2$

Užitné zatížení při údržbě/opravě - $0,4 \text{ kN/m}^2$

Použita kombinace zatížení EN-MSÚ (STR/GEO) Sada B dle ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí:

- střešní plášť přitížený tlakem větru (+ $0,085 \text{ kN/m}^2$):

6.10a:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} =$$
$$= 1,35 \cdot (0,255) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,2 + 1,5 \cdot (0,6 \cdot 0,085 + 0 \cdot 0,4) = 1,32 \text{ kN/m}^2$$

6.10b:

$$\sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} =$$
$$= 0,85 \cdot 1,35 \cdot (0,255) + 1,5 \cdot 1,2 + 1,5 \cdot (0,6 \cdot 0,085 + 0 \cdot 0,4) = \underline{2,17 \text{ kN/m}^2} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

- střešní plášť „zatížený“ sáním větru (- $0,592 \text{ kN/m}^2$):

- v případě kdy vítr je „příznivé zatížení“ – celkové zatížení bude menší než $2,17 \text{ kN/m}^2$

- v případě kombinace bez sněhu a provozu na střeše a kdy vítr beru jako nepříznivé:

6.10a:

$$-\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} = -1,0 \cdot (0,255) + 1,5 \cdot (0,6 \cdot 0,592) = 0,28 \text{ kN/m}^2$$

6.10b:

$$-\xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} = -0,85 \cdot 1,0 \cdot (0,255) + 1,5 \cdot (0,592) = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

→ sání větru mi nezpůsobí extrémní zatížení

Ze statických tabulek pro trapézové plechy firmy Satjam:

T 60/235, tl. 1,0 mm, „POZITIV“:

- pro spojitý nosník o dvou polích (tj. plech délky 6 m, uložen na 3 vaznicích při osové vzdálenosti vaznic 3 m):

Maximální zatížení pro MSÚ: $4,36 \text{ kN/m}^2$

Maximální zatížení pro MSP (při průhybu $f = L/200$): $4,36 \text{ kN/m}^2$

Posouzení: $2,17 \text{ kN/m}^2 \leq 4,36 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$ trapézový plech lze použít při vzd. podpor 3 m

5. VAZNICE

Jedná se o železobetonový nosník obdélníkového průřezu.

MATERIÁL:

- Beton: C25/30

Charakter. hodnota pevnosti betonu v tlaku: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

- Betonářská výztuž: B500B

Charakter. hodnota meze kluzu: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

VÝPOČET ZATÍŽENÍ:

STÁLÉ:

- stálé zatížení střešního pláště: $0,353 \text{ kN/m}^2$

- vlastní tíha vaznice – předběžný návrh rozměrů:

- výška vaznice: $h_v = (1/15 \text{ až } 1/12) \cdot L = (1/15 \text{ až } 1/12) \cdot 6000 = 400 \text{ až } 500 \text{ mm}$

→ $h_v = 400 \text{ mm}$

- šířka vaznice: $b_v = (1/3 \text{ až } 1/2) \cdot h_v = (1/3 \text{ až } 1/2) \cdot 400 = 134 \text{ až } 200 \text{ mm}$

→ $b_v = 150 \text{ mm}$

- vlastní tíha vaznice – $0,4 \cdot 0,15 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 1,5 \text{ kN/m}$

NAHODILÉ:

- sníh: $1,2 \text{ kN/m}^2$

- vítr: $0,085 \text{ kN/m}^2$

- provoz: $0,4 \text{ kN/m}^2$

	Charak. zat. [kN/m^2]	Zatěžovací šířka	Charak. zat. [kN/m]
STÁLÉ			
střešní plášť	0,353	3 m	1,06
vaznice	–	–	0,94
Celkové stálé:			<u>2,00</u>
NAHODILÉ			
sníh	1,2	3 m	3,60
vítr	0,085	3 m	0,26
provoz	0,4	3 m	1,20

Tab.2: Tabulka zatížení vaznice

Použita kombinace zatížení EN-MSÚ (STR/GEO) Sada B dle ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí:

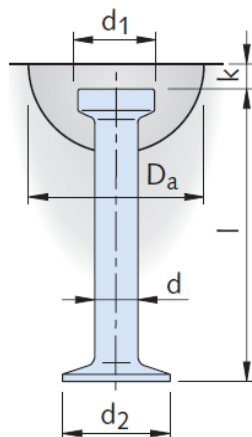
6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} =$$
$$= 1,35 \cdot (2,00) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 3,60 + 1,5 \cdot (0,6 \cdot 0,26 + 0 \cdot 1,20) = 5,64 \text{ kN/m}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} =$$
$$6.10b \quad = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (2,00) + 1,5 \cdot 3,6 + 1,5 \cdot (0,6 \cdot 0,26 + 0 \cdot 0,4) = \underline{7,93 \text{ kN/m}}$$

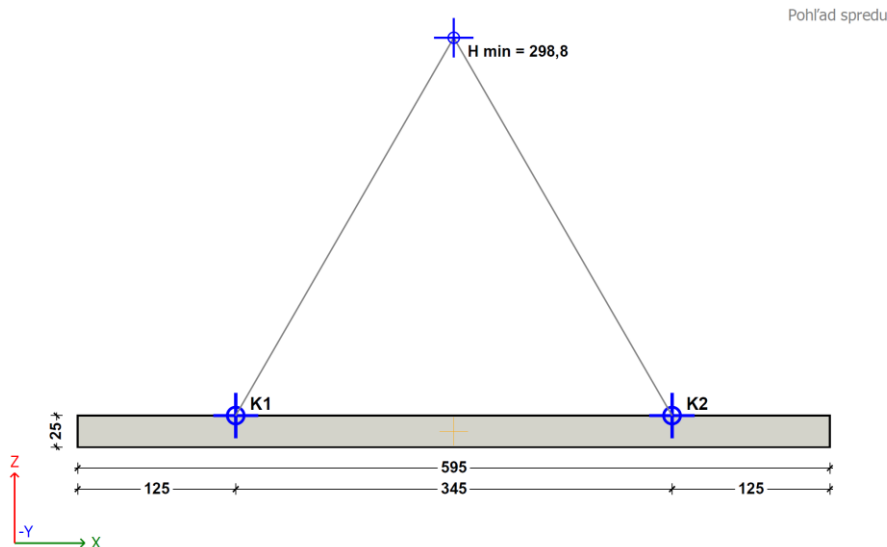
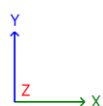
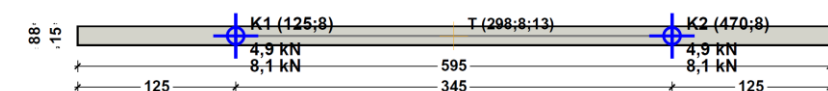
6. PŘEPRAVNÍ ÚCHYTY

Pro vytahování z formy a přesun prefabrikátů jsou navrženy přepravní úchyty s kulovou hlavou od firmy HALFEN:

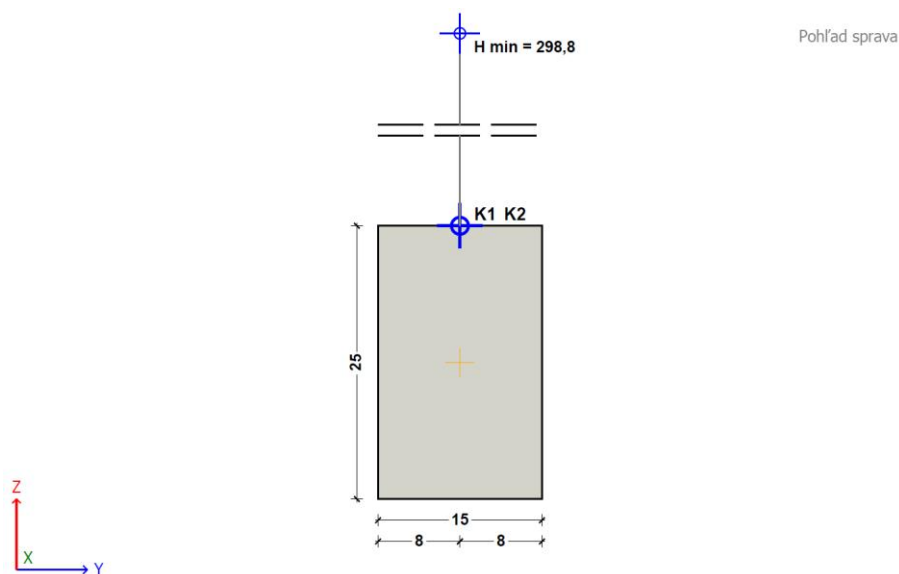


Obr.14: Přepravní úchyt s kulovou hlavou

Samotný návrh úchytů byl proveden v programu TPA 3.13 firmy HALFEN:



Obr.15: Pohledy



VÝPOČTY

Vychodisková hodnota:

Hmotnosť:	5,6 kN
Objem:	0,2 m ³
Ťažisko:	
Sx:	297,5 cm
Sy:	7,5 cm
Sz:	12,5 cm
Plocha debnenia:	1,5 m ²
Príľnavosť na debnenie:	3,0 kN
Vrchol. uhol záves. zar.:	30,0°
Súčiniteľ vrchol. uhla záves. zar.:	1,15
Dynamický súčiniteľ - paneláreň:	1,30
Dynamický súčiniteľ - stavenisko:	2,50
Pevnosť betónu v panelárni:	15 N/mm ²
Pevnosť betónu na stavenisku:	15 N/mm ²
Počet nosných kotiev:	2

Zaťaženie:

Celkové zaťaženie:	
Paneláreň - zdvíhanie:	8,6 kN
Paneláreň - transport:	7,3 kN
Stavenisko - preprava / montáž:	13,9 kN
Zaťaženia (paneláreň / stavenisko):	
Kotva 1:	4,9 kN / 8,1 kN
Kotva 2:	4,9 kN / 8,1 kN

Všeobecné:

Minimálna výška háku:	298,8 cm
-----------------------	----------

Obr.16: Vstupní údaje

DETAILY KOTVY

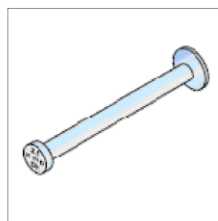
Typ kotvy:	DEHA Kotva s guľovou hlavou 6000
Vybraná kotva:	6000-1,3-0120

Výstuž / Povolené zaťaženie:

Dĺžka kotvy l:	120 mm
Minimálna výška nosníka B1:	250 mm
Hrúbka steny 2 × er:	120 mm
Povolené zaťaženie pre osový ťah do 30°; βw = 15 N/mm ² :	13 kN
Osová vzdialenosť kotiev ez:	375 mm
Základná výstuž prekrížená:	2 × 66 mm ² /m

Detaily kotvy:

Popis položiek (paneláreň):	6000-1,3-0120
Obj. č.:	735.010-00007
Zaťažová skupina:	1,3 t
Rozmery	
l:	120 mm
d:	10 mm
d1:	19 mm
d2:	25 mm
k:	10 mm
Da:	60 mm



Obr.17: Návrh kotvy

7. NÁVRH VÝZTUŽE VAZNICE NA OHYBOVÝ MOMENT

- MOMENT V POLI (UPROSTŘED ROZPĚTÍ):

Délka vaznice: $l_{zB} =$	5,950 [m]
Světélé rozpětí: $l_n =$	5,500 [m]
Délka uložení: $t =$	0,225 [m]
$a_i = \min (t/2; h/2) =$	0,113 [m]
Délka vaznice (do výpočtu): $l = l_n + 2 \cdot a_i =$	5,725 [m]

Návrhové zatížení z rozhodující kombinace 6.10b:

$$\sum_{j \in I} \xi \cdot \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \in I} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} = 7\,926 \text{ [N/m]}$$

Tíha vaznice:	938 [N/m]
Tíha střešního pláště:	1 060 [N/m]
Tíha sněhu:	3 600 [N/m]
Zatížení větrem:	260 [N/m]
Zatížení provozem (kategorie H - střechy):	1 200 [N/m]
Součinitel Ψ_0 pro vítr =	0,6 [-]
Součinitel Ψ_0 pro provoz (kategorie H - střechy) =	0 [-]

Ohybový moment: $M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot g_d \cdot l^2 = 32\,473 \text{ [Nm]}$

Výška vaznice: $h =$	0,250 [m]
Šířka vaznice: $b_w =$	0,150 [m]

Beton: třída C25/30

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} =$	25 000 000 [Pa]
Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} =$	16 660 000 [Pa]
Pevnost betonu v tahu: $f_{ctm} =$	2 600 000 [Pa]
Součinitel spolehlivosti pro beton: $\gamma_c =$	1,5
Přetvoření betonu $\epsilon_{cu3} =$	3,5 [‰]
Průměrný modul pružnosti betonu: $E_{cm} =$	31 000 000 000 [Pa]

Výztuž: B500B

Charakteristická mez kluzu: $f_{yk} =$	500 000 000 [Pa]
Návrhová mez kluzu: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} =$	434 780 000 [Pa]
Součinitel spolehlivosti pro bet. ocel: $\gamma_s =$	1,15

Modul pružnosti oceli: $E_s =$	210 000 000 000 [Pa]
Přetvoření oceli:	$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} =$ 2,07 [%o]
Průměr výztuže: $\Phi =$	0,012 [m]
Průměr smykové výztuže - třmínky: $\Phi_{st} =$	0,008 [m]
<u>Krytí výztuže:</u>	
<u>Minimální hodnota krycí vrstvy: c_{min}</u>	
$c_{min,sl} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 0,01m \}$	0,015 [m]
smyková výztuž: $c_{min,st} = \max \{ c_{min,b,st}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 0,01m \}$	0,015 [m]
Požadavek soudržnosti: $c_{min,b} = \Phi$	0,012 [m]
Požadavek soudržnosti u smykové výztuže: $c_{min,b,st} = \Phi_{st}$	0,008 [m]
Vliv prostředí (XC1) a třídy konstrukce (S4): $c_{min,dur} =$	0,015 [m]
Přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti: $\Delta c_{dur,\gamma} =$	0 [m]
Redukce při nerezavějící oceli: $\Delta c_{dur,st} =$	0 [m]
Redukce při dodatečné ochraně výztuže: $\Delta c_{dur,add} =$	0 [m]
Návrhová odchylka (při provádění ve výrobě): $\Delta c_{dev} =$	0,010 [m]
<u>Nominální hodnota betonové krycí vrstvy: c_{nom}</u>	
$c_{nom,sl} = c_{min} + \Delta c_{dev} =$	0,025 [m]
smyková výztuž: $c_{nom,st} = c_{min,st} + \Delta c_{dev} =$	0,025 [m]
$c_{nom} = \max \{ c_{nom,sl}; \Phi_{st}; c_{nom,st} \} =$	0,025 [m]
<u>Návrhová hodnota betonové krycí vrstvy: c</u>	
$c \geq c_{nom}$	0,025 [m]
<u>Účinná výška vaznice: $d = h - d_1 =$</u>	
$d_1 = (A_{sl,1} \cdot [c + \Phi_{st} + \Phi_{sl,1}/2] + A_{sl,2} \cdot [c + \Phi_{st} + \Phi_{sl,1} + a_{sl,2} + \Phi_{sl,2}/2]) / A_{sl} =$	0,056 [m]
Světlá (horizontální) vzdálenost mezi 2 vrstvy podélných prutů: $a_{sl,2} =$	0,03 [m]
Odhad plochy výztuže:	$A_{s,req} = b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) =$ 9,82E-05 [m ²]
Počet prutů celkem:	5 [ks]
Počet prutů v 1. vrstvě (blíže povrchu):	3 [ks]
Počet prutů v 2. vrstvě (dále povrchu):	2 [ks]
Průměr prutů v 1. vrstvě (blíže povrchu):	0,012 [m]
Průměr prutů v 2. vrstvě (dále povrchu):	0,012 [m]
Plocha prutů v 1. vrstvě (blíže povrchu):	3,39E-04 [m ²]
Plocha prutů v 2. vrstvě (dále povrchu):	2,26E-04 [m ²]
Navržená plocha výztuže:	$A_{sl} = A_{sl,1} + A_{sl,2} =$ 5,65E-04 [m ²]

Tlačená plocha betonu:	$A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} =$	0,0148 [m ²]
------------------------	--	--------------------------

Neutrální osa:	$x = \frac{A_{cc}}{b \cdot \lambda} =$	0,0184 [m]
----------------	--	------------

	$x < x_{lim} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} \cdot d =$	0,1220 [m]
--	---	------------

	<u>VYHOVUJE</u>	
$\lambda =$		0,8

Přetvoření:	$\epsilon_s = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) =$	33,3 [%]
-------------	---	----------

	$> \epsilon_{yd} =$	2,07 [%]
--	---------------------	----------

VYHOVUJE

Vzdálenost těžiště tlačené oblasti od okraje: $a_{cc} = 0,5 \cdot \lambda \cdot x =$		0,0074 [m]
--	--	------------

Rameno vnitřních sil: $z_c = d - a_{cc} =$		0,1868 [m]
--	--	------------

Moment na mezi únosnosti: $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c =$		45 932 [Nm]
---	--	--------------------

Posouzení na ohyb:	$\frac{M_{Ed}}{M_{rd}} =$	0,71 < 1
--------------------	---------------------------	--------------------

VYHOVUJE

Posouzení vzdáleností výztuže

Mezery mezi pruty:	$a_{sl} = \frac{b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \phi_{st} - n \cdot \phi_{sl,1}}{n - 1} =$	0,024 [m]
--------------------	--	-----------

	$a_{sl} > \max \{1,2 \cdot \phi_{sl}; dg + 5mm; 20mm\} =$	0,021 [m]
--	---	-----------

VYHOVUJE

Kontrola míry vyztužení

Minimální plocha výztuže: $A_{s,min,I} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d =$		3,94E-05 [m ²]
---	--	----------------------------

	$A_{s,min,II} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d =$	3,79E-05 [m ²]
--	---	----------------------------

$A_{s,min} = \max \{A_{s,min,I}; A_{s,min,II}\}$		3,94E-05 [m ²]
--	--	----------------------------

Maximální plocha výztuže: $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c =$		1,50E-03 [m ²]
--	--	----------------------------

Podmínka: $A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$

VYHOVUJE

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} =$$

0,0194

Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} =$$

0,0008

Posouzení stupně vyztužení: $\rho \geq \rho_{w,min}$:

VYHOVUJE

8. NÁVRH VÝZTUŽE VAZNICE NA SMYK

Délka vaznice (do výpočtu): $l =$	5,725 [m]
Návrhové zatížení (vč. vlastní hmotnosti): $g_d =$	7 926 [N/m]
$V_{Ed,max} =$	22 689 [N]
$V_{Ed,l}$ (ve vzdálenosti "d" od líce podpory) =	23 800 [N]
Výška trámu: $h =$	0,250 [m]
Šířka trámu: $b_w =$	0,150 [m]

Beton:

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} =$	25 000 000 [Pa]
Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} =$	16 660 000 [Pa]
Pevnost betonu v tahu: $f_{ctm} =$	2 600 000 [Pa]

Výztuž:

Charakteristická mez kluzu: $f_{yk} =$	500 000 000 [Pa]
Návrhová mez kluzu: $f_{yd} = f_{ywd} =$	434 780 000 [Pa]
Modul pružnosti oceli: $E_s =$	210 000 000 000 [Pa]
Účinná výška vaznice: $d =$	0,194 [m]
Průměr výztuže: $\Phi =$	0,012 [m]
Průměr smykové výztuže - třmínky: $\Phi_{st} =$	0,008 [m]
Plocha tahové výztuže zakotvená na kotev. délku: $A_{sl} =$	4,52E-04 [m ²]
Betonová krycí vrstva: $c =$	0,025 [m]

$$\text{Minimální smykové napětí: } v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,495 \text{ [MPa]}$$

$$\text{Součinitel výšky: } k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 2,01$$

< 2

NEVYHOVUJE >> k=2

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = 0,0155$$

< 0,02

VYHOVUJE

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

Návrhová smyková únosnost betonu a podélné výztuže:

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 23\,849 \text{ [N]}$$

$$\text{omezující podmínka: } V_{Rd,c} \geq (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad 14\,419 \text{ [N]}$$

VYHOVUJE

$$V_{Ed,max} = 22\,689 \text{ [N]}$$

$$V_{Rd,c} < V_{Ed,max} \quad \gg \quad \text{NUTNO NAVRHNOUT SMYKOVOU VÝZTUŽ:}$$

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$\text{zvolím: } \cotg \theta = 2,5$$

$$\text{Plocha smykové výztuže (2-střížné třmínky } \Phi 8): A_{sw} = 1,01E-04 \text{ [m}^2\text{]}$$

Osová vzdálenost třmínků (tj. v podélném směru):

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta}{V_{Ed,1}} = 0,858 \text{ [m]}$$

$$\rightarrow \text{ ZVOLÍM: } s = 0,140 \text{ [m]}$$

$$s < \min\{0,75 \cdot d; 0,4 \text{ m}\} = 0,146 \text{ [m]}$$

VYHOVUJE

$$\text{Rameno vnitřních sil: } z_c = 0,187 \text{ [m]}$$

POSOUZENÍ:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta}{s} = 145\,817 \text{ [N]}$$

$$V_{Rd,s} > V_{Ed} = 23\,800 \text{ [N]}$$

VYHOVUJE

POSOUZENÍ KONSTRUKČNÍCH ZÁSAD:

$$\text{Osová vzdálenost větví třmínků: } S_t = b_w - 2 \cdot c - \phi_{st} = 0,092 \text{ [m]}$$

$$S_t < \min\{0,75 \cdot d; 0,6 \text{ m}\} = 0,14565 \text{ [m]}$$

VYHOVUJE

$$\text{Stupeň vyztužení: } \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = 0,0048$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0008$$

VYHOVUJE

Třmínky za vzdáleností x (kde není nutná smyk. výztuž):

$$\text{Navrhnu osová vzdálenost třmínků: } s_2 = 0,140 \text{ [m]}$$

$$s_2 < 0,75 \cdot d = 0,146 \text{ [m]}$$

VYHOVUJE

$$\text{Stupeň vyztužení: } \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_2} = 4,8E-03$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 8,0E-04$$

VYHOVUJE

9. VAZNICE - 2. MS POUŽITELNOSTI:

Délka vaznice: $l =$	5,725 [m]
Zatížení od kvazistálé kombinace 6.16b: $g_{qp} = \Sigma g_k + \Sigma \Psi_2 \cdot q_k =$	1 998 [N/m]
Zatížení od charakteristické kombinace 6.14b: $g_{ch} = \Sigma g_k + q_{k,1} + \Sigma \Psi_0 \cdot q_k =$	5 754 [N/m]
Celkové stálé zatížení: $\Sigma g_k =$ [vaznice] + [střeš. plášť] =	1 998 [N/m]
Tíha vaznice:	938 [N/m]
Tíha střešního pláště:	1 060 [N/m]
Součinitel Ψ_0 pro vítr =	0,6 [-]
Součinitel Ψ_0 pro provoz (kategorie H - střechy) =	0 [-]
Součinitel Ψ_2 pro sníh =	0 [-]
Součinitel Ψ_2 pro vítr =	0 [-]
Součinitel Ψ_2 pro provoz (kategorie H - střechy) =	0 [-]
Tíha sněhu:	3 600 [N/m]
Zatížení větrem:	260 [N/m]
Zatížení provozem:	1 200 [N/m]
Moment od kvazistálé kombinace: $M_{qp} = (1/8) \cdot g_{qp} \cdot l^2 =$	8 184 [Nm]
Moment od charakteristické kombinace: $M_{ch} = (1/8) \cdot g_{ch} \cdot l^2 =$	23 572 [Nm]
<u>Průřezové charakteristiky:</u>	
Plocha výztuže: $A_s =$	5,65E-04 [m ²]
Plocha betonu: $A_c =$	3,75E-02 [m ²]
Příspěvek oceli: $\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} =$	6,774 [-]
Modul pružnosti oceli: $E_s =$	210 000 000 000 [Pa]
Průměrný modul pružnosti betonu: $E_{cm} =$	31 000 000 000 [Pa]

OVĚŘENÍ ŠÍŘKY TRHLIN (UPROSTŘED VAZNICE):

- ověřuje se nepřímo = dodržení konstrukčních zásad - kontroluje se:

- min. množství výztuže, max. průměr podélné výztuže, max. vzdálenost mezi podélnými pruty výztuže.

Minimální množství výztuže:	$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} =$	2,19E-04 [m ²]
-----------------------------	--	----------------------------

VYHOVOJE

Plocha tažené části průřezu před vznikem první	0,01875 [m ²]
--	---------------------------

trhliny: $A_{ct} = (h/2) \cdot b =$

Koeficient vlivu namáhání (pro ohyb): $k_c =$ 0,4 [-]

Koeficient vlivu nerovnoměrného rozdělení

1,000 pro $h \leq 0,3m$

napětí po výšce průřezu: $k = \left\{ \begin{array}{l} h \leq (0,3; 0,8) \\ \text{pro } h \geq 0,8m \end{array} \right.$

- (0,3; 0,8)
- pro $h \geq 0,8m$

$f_{ct,eff} = f_{ctm} =$

2 600 000 [Pa]

Charakteristická mez kluzu oceli B500B: $f_{yk} =$

500 000 000 [Pa]

Napětí ve výztuži (po vzniku trhlin): $\sigma_s =$

89 085 000 [Pa]

$f_{yk} \cdot (M_{qp} / M_{Rd})$

$h_{cr} = h/2 =$

0,125 [m]

Limitní průměr výztuže (pro dané σ_s a $w_k = 0,4$ mm): $\Phi_s^* =$

0,040 [m]

Moment na mezi únosnosti: $M_{Rd} =$

45 932 [Nm]

Průměr (podélné) výztuže: $\Phi =$

0,012 [m]

Maximální průměr výztuže:

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot k_c \cdot \frac{h_{cr}}{2 \cdot (h - d)} =$$

0,016 [m]

Podmínka: $\Phi < \Phi_s$:

VYHOVUJE

Max. vzdálenost mezi podélnými pruty výztuže (pro dané σ_s a $w_k = 0,4$ mm): $s_{max} =$

0,300 [m]

Skutečná vzdálenost mezi podélnými pruty výztuže: $s_{skut} =$

0,024 [m]

Podmínka: $s_{skut} < s_{max}$:

VYHOVUJE

OVĚŘENÍ PRŮHYBU UPROSTŘED

VYŠETŘOVANÉ VAZNICE:

- PRŮHYB PO ZABUDOVÁNÍ PRVKU DO KONSTRUKCE - V ČASE $t = 28$ DNÍ,

KVAZISTÁLÁ KOMBINACE:

Plocha ideálního průřezu, neporušeného (přepočteno na beton): $A_{i,I} = A_c + A_s \cdot \alpha$

4,13E-02 [m²]

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horní hrany:

$$a_{gi,I} = \frac{A_c \cdot \frac{h}{2} + A_s \cdot d \cdot \alpha}{A_{i,I}} =$$

0,131 [m]

Výška vaznice: $h =$

0,250 [m]

Šířka vaznice: $b =$

0,150 [m]

Účinná výška průřezu vaznice: $d =$

0,194 [m]

Moment setrvačnosti ideálního průřezu
(neporušeného trhlinami):

$$I_{i,I} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A_c \cdot \left(x_{i,I} - \frac{h}{2} \right)^2 + I_{v\acute{y}ztu\acute{z}e} + A_s \cdot \alpha \cdot (d - x_{i,I})^2 = 2,12\text{E-}04 \text{ [m}^4\text{]}$$

Výška tlačené části ideálního průřezu
neporušeného trhlinami: $x_{i,I} = a_{gi} =$

0,131 [m]

Pevnost betonu v tahu: $f_{ctm} =$

2 600 000 [Pa]

Moment na mezi trhlin: $M_{cr} = f_{ctm} \cdot I_{i,I} / (h - x_{i,I})$

4 647 [Nm]

Moment od charakteristické kombinace: $M_{ch} =$

23 572 [Nm]

Pokud $M_{ch} < M_{cr} \rightarrow$ stav I (neporušen
trhlinami); jinak stav II (porušen trhlinami):

**! PRŮŘEZ JE PORUŠEN
TRHLINAMI !**

Porušený průřez - podmínka rovnováhy:

$F_c = F_s$: $x_{i,II} \cdot b \cdot (x_{i,II}/2) = A_s \cdot \alpha \cdot (d - x_{i,II})$:

Výška tlačené části ideálního průřezu
porušeného trhlinami: $x_{i,II} =$

$$x_{i,II} = \frac{\alpha \cdot A_s}{b} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha \cdot A_s}} \right] = 0,077 \text{ [m]}$$

Plocha ideálního průřezu, porušeného
(přepočteno na beton): $A_{i,II} = x_{i,II} \cdot b + A_s \cdot \alpha$

1,54E-02 [m²]

Moment setrvačnosti ideálního průřezu
(porušeného trhlinami):

$$I_{i,II} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot x_{i,II}^3 + b \cdot x_{i,II} \cdot \left(x_{i,II} - \frac{x_{i,II}}{2} \right)^2 + I_{v\acute{y}ztu\acute{z}e} + A_s \cdot \alpha \cdot (d - x_{i,II})^2 = 7,54\text{E-}05 \text{ [m}^4\text{]}$$

Ohybová tuhost průřezu neporušeného
trhlinami: $B_I = E_{cm} \cdot I_{i,I} =$

6,57E+06 [N·m²]

Ohybová tuhost průřezu porušeného trhlinami:
 $B_{II} = E_{cm} \cdot I_{i,II} =$

2,34E+06 [N·m²]

Součinitel zohledňující vliv opakování zatížení:
 $\beta =$

0,5 [-]

Rozdělovací koeficient:

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{ch}} \right)^2 = 0,981 \text{ [-]}$$

Ohybová poddajnost:

$$\frac{1}{B} = \frac{1 - \xi}{B_I} + \frac{\xi}{B_{II}} = 4,22\text{E-}07 \text{ [N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\text{]}$$

Výsledná tuhost průřezu: $B =$

2,37E+06 [N·m²]

Průhyb: $w_1 = M_{qp} / B =$

3,5 [mm]

Limitní průhyb: $w_{lim} = 1 / 500 =$

11,5 [mm]

Podmínka: $w_1 < w_{lim}$:

**\rightarrow SPLŇUJE PODMÍNKU PRO
LIMITNÍ PRŮHYB PŘI
ZABUDOVÁNÍ PRVKU**

- DLOUHODOBÝ PRŮHYB, VLIV SMRŠŤOVÁNÍ A DOTVAROVÁNÍ, KVAZISTÁLÁ KOMBINACE:

Dotvarování:

Obvod nosníku vystavený vysychání: $u = 2 \cdot b + 2 \cdot h =$	0,8 [m]
Náhradní tloušťka: $h_0 = (2 \cdot A_c) / u =$	0,094 [m]
Součinitel dotvarování (z nomogramu), cement třídy N: $\varphi(\infty, t_0) =$	3,06 [-]

Efektivní modul pružnosti betonu:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = 7\,635\,460\,000 \text{ [Pa]}$$

Příspěvek oceli:

$$\alpha_{eff} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 27,503 \text{ [-]}$$

Průřez již byl porušen v čase $t = 28$ dní:

Porušený průřez - podmínka rovnováhy: $F_c =$

Fs: $x_{i,\infty,II} \cdot b \cdot (x_{i,\infty,II}/2) = A_s \cdot \alpha_{eff} \cdot (d - x_{i,\infty,II})$:

Výška tlačené části ideálního průřezu porušeného trhlinami:

$$x_{i,\infty,II} = \frac{\alpha_{eff} \cdot A_s}{b} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eff} \cdot A_s}} \right] = 0,122 \text{ [m]}$$

Plocha ideálního průřezu, porušeného

(přepočteno na beton): $A_{i,\infty,II} = x_{i,\infty,II} \cdot b + A_s \cdot \alpha_{eff}$

3,39E-02 [m²]

Moment setrvačnosti ideálního průřezu

(porušeného trhlinami):

$$I_{i,\infty,II} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot x_{i,\infty,II}^3 + b \cdot x_{i,\infty,II} \cdot \left(x_{i,\infty,II} - \frac{x_{i,\infty,II}}{2} \right)^2 + I_{výztuže} + A_s \cdot \alpha_{eff} \cdot (d - x_{i,\infty,II})^2 = 1,72E-04 \text{ [m}^4\text{]}$$

Ohybová tuhost průřezu porušeného trhlinami:

1,31E+06 [N·m²]

$B_{II} = E_{c,eff} \cdot I_{i,\infty,II} =$

Průhyb od dotvarování: $w_{2,dotv} = M_{qp} / B_{II} =$

6,2 [mm]

Přídavný průhyb od smršťování:

Neomezené poměrné smršťování vysycháním:

$\varepsilon_{cd,0}$ (z nomogramu) =

4,6E-04 [-]

Koeficient k_h (z grafu pro dané h_0) =

1,0 [-]

pro $t = \infty$: $\beta_{ds}(t, t_s) =$

1,0 [-]

Poměrné přetvoření od vysychání: $\varepsilon_{cd}(t) =$

$\beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} =$

4,6E-04 [-]

Autogenní smršťování na konci životnosti:

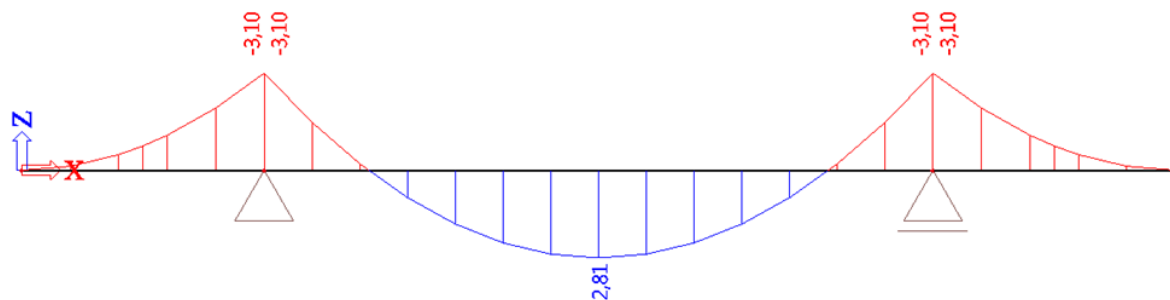
3,8E-05 [-]

$\varepsilon_{ca}(t_\infty)$ - (z nomogramu) =	
pro $t=\infty$: $\beta_{as}(t) =$	1,0 [-]
Autogenní smršťování: $\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(t_\infty) =$	3,8E-05 [-]
Volné přetvoření od smršťování: $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} =$	5,0E-04 [-]
Statický moment plochy výztuže k těžišti průřezu: $S = A_s \cdot (d - x_{i,\infty,II}) =$	4,1E-05
Křivost od smršťování: $\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_{eff} \cdot \frac{S}{I_{i,\infty,II}} =$	3,2E-03
Průhyb od smršťování: $w_{2,smrš} = (1/8) \cdot (1/r)_{cs} \cdot l^2$ =	13,3 [mm]
Celkový dlouhodobý průhyb: $w_2 = w_{2,dotv} + w_{2,smrš} =$	19,5 [mm]
Limitní průhyb: $w_{lim} = l / 250 =$	22,9 [mm]
Podmínka: $w_2 < w_{lim}$:	

**→ SPLŇUJE PODMÍNKU PRO
LIMITNÍ DLOUHODOBÝ PRŮHYB**

10. VAZNICE - VYTAHOVÁNÍ Z FORMY:

Celková délka vaznice: $L =$	5,950 [m]
Výška vaznice: $h =$	0,250 [m]
Šířka vaznice: $b =$	0,150 [m]
Součinitel zatížení: $\gamma_g =$	1,35 [-]
Vlastní tíha vaznice (+ tíha manipulačních úchytů, destiček apod.): $F_k = g_{vaznice} \cdot L =$	5 578 [N]
Plocha vaznice v kontaktu s bedněním: $A_{bed} = 2 \cdot b \cdot h + 2 \cdot h \cdot L + b \cdot L =$	4 [m ²]
Adheze (z plochy betonu v kontaktu s bedněním): $F_{adh} = 2 \text{ kN/m}^2 \cdot A_{bed} =$	7 885 [N]
Součinitel podmínek působení dílce (pro opakované použití bednění): $\gamma_{man} =$	1,3 [-]
Koeficient pro cement (N): $s =$	0,25 [-]
Doba, po které je dílec vytahován z formy: $t =$	6 [dní]
Součinitel zohledňující vliv vytažování nevyzrálého bet. prvku z formy:	$\beta_{cc}(t) = e^{s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right]} = 0,748 [-]$
Průměrná pevnost betonu v tlaku po 28 dnech: $f_{cm} =$	33 000 000 [Pa]
Průměrná pevnost betonu v tlaku v čase t : $f_{cm}(t) =$	24 691 174 [Pa]
$\beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} =$	
Pevnost betonu při vytažování z formy musí dosahovat min. 60 %: $[f_{cm}(t) / f_{cm}] \cdot 100 =$	75 [%]
<u>VYHOVUJE</u>	
Charakteristická pevnost betonu v tlaku po 28 dnech: $f_{ck} =$	25 000 000 [Pa]
Charakteristická pevnost betonu v tlaku v čase t : $f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ MPa} =$	16 691 174 [Pa]
Součinitel spolehlivosti pro beton: $\gamma_c =$	1,5 [-]
Návrhová pevnost betonu v tlaku po 28 dnech: $f_{cd} =$ $f_{ck} / \gamma_c =$	16 666 667 [Pa]
Návrhová pevnost betonu v tlaku v čase t :	$f_{cd}(t) = \frac{f_{ck}(t)}{\gamma_c} =$ 11 127 449 [Pa]
Pevnost betonu při vytažování z formy musí dosahovat min. 60 %: $[f_{cd}(t) / f_{cd}] \cdot 100 =$	67 [%]
<u>VYHOVUJE</u>	
Zatížení: $f_1 = 1,3 \cdot \gamma_g \cdot (F_k + F_{adh}) / L =$	3 971 [N/m]
Zatížení: $f_2 = 1,8 \cdot \gamma_g \cdot \gamma_{man} \cdot F_k / L =$	2 962 [N/m]
- Manipulační úchyty umístěny ve vzdálenosti 0,21 · L od okrajů vaznice, tj.:	1,250 [m]



Obr.18: Průběh momentů na vaznici při vytahování z bednění

Maximální hodnota momentu: M_{ed} =	3 100 [Nm]
Plocha podélné výztuže: A_s =	5,65E-04 [m ²]
Návrhová mez kluzu oceli: f_{yd} =	434 780 000 [Pa]
Účinná výška vaznice: d =	0,194 [m]
λ =	0,8 [-]

Poloha neutrální osy:

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}(t)} = 0,184 \text{ [m]}$$

Omezení: $x < x_{lim}$ = 0,122 [m]

NESPLŇUJE >> $x > x_{lim}$

Rameno vnitřních sil: $z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x$ = 0,145 [m]

Moment na mezi únosnosti: $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c$ = **35 746** [Nm]

Posouzení na ohyb:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 0,1 < 1$$

**VAZNICE VYHOVUJE PŘI
VYTAHOVÁNÍ Z FORMY (NA
OHYB)**

11. VAZNÍK

Jedná se o sedlový, předem předpjatý železobetonový nosník průřezu tvaru T.

MATERIÁL:

- Beton C 40/50

Charakter. hodnota pevnosti betonu v tlaku: $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

- Betonářská výztuž (konstrukční): B500B

Charakter. hodnota meze kluzu: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

- Předpínací výztuž: Y-1770-S7-16

Tahová pevnost: $f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$

Smluvní mez kluzu: $f_{p0,1k} = 1520 \text{ MPa}$

Modul pružnosti: $E_p = 195 \text{ GPa}$

Průřezová plocha 1 lana (ze 7 drátů): $A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$

Návrh rozměrů:

Skutečná délka vazníku: $L_{žB} = 23\,950 \text{ mm}$

Světlé rozpětí (vzdálenost podpor pro vazník): $L_n = 23\,450 \text{ mm}$

Délka uložení na krajním sloupu: $a_1 = 250 \text{ mm}$

Délka uložení na vnitřním sloupu: $a_2 = 250 \text{ mm}$

Efektivní délka vazníku (pro výpočet): $L = L_n + 0,5 \cdot a_1 + 0,5 \cdot a_2 = 23\,700 \text{ mm}$

Celková výška vazníku (u hřebene):

$$h = \left(\frac{1}{18} \text{ až } \frac{1}{15} \right) \cdot L = \left(\frac{1}{18} \text{ až } \frac{1}{15} \right) \cdot 23\,700 = 1317 \text{ mm} \sim 1580 \text{ mm} \rightarrow \underline{h = 1500 \text{ mm}}$$

Šířka horní příruby:

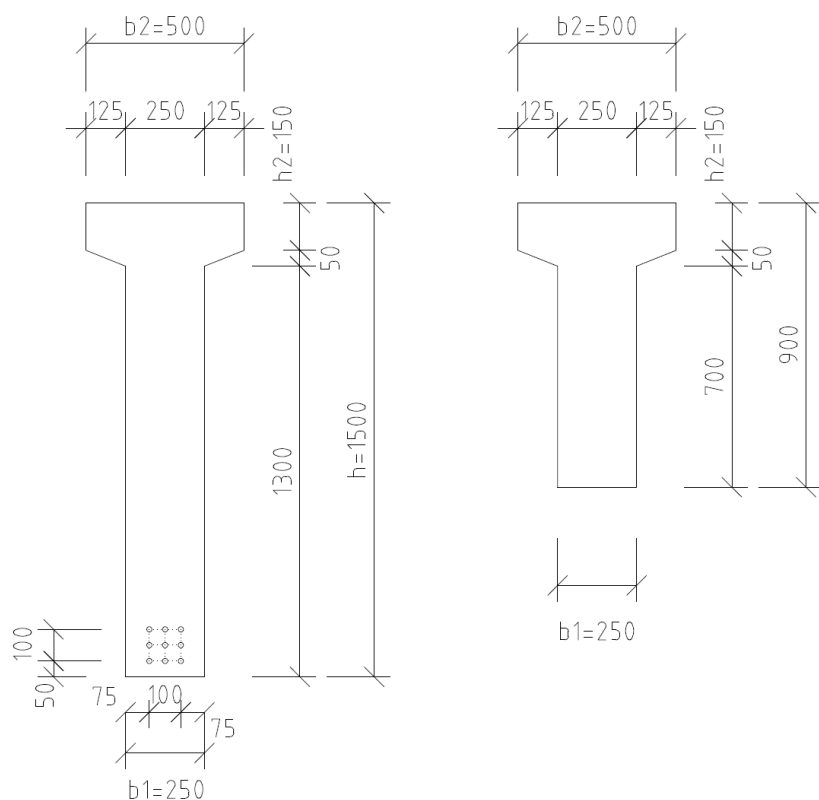
$$b_2 = \left(\frac{1}{4} \text{ až } \frac{1}{3} \right) \cdot h = \left(\frac{1}{4} \text{ až } \frac{1}{3} \right) \cdot 1500 = 375 \text{ mm} \sim 500 \text{ mm} \rightarrow \underline{b = 500 \text{ mm}}$$

Tloušťka horní příruby:

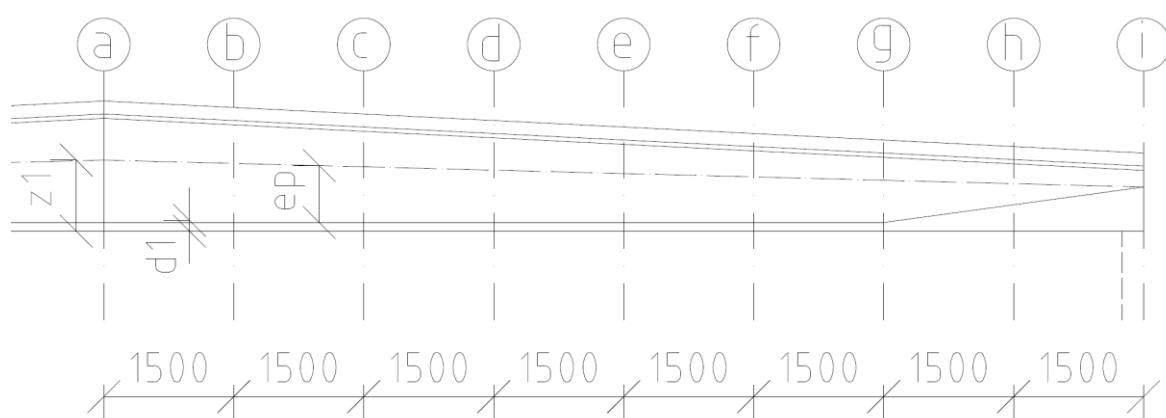
$$h_2 = \frac{1}{10} \cdot h = \frac{1}{10} \cdot 1500 = 150 \text{ mm}$$

Tloušťka stojiny:

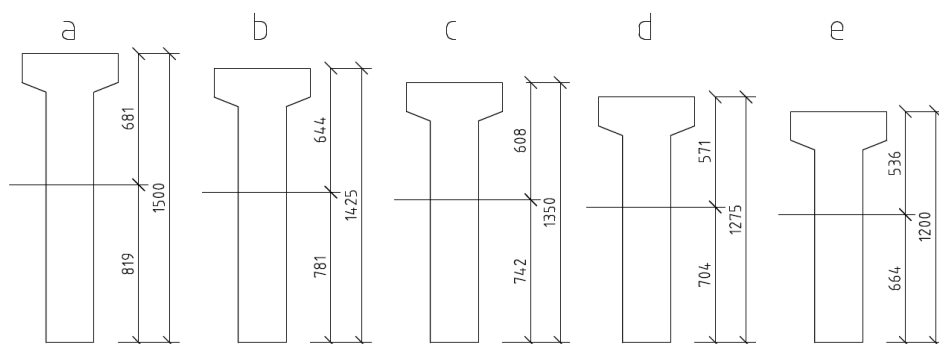
$$b_1 = \left(\frac{1}{3} \text{ až } \frac{1}{2} \right) \cdot b_2 = \left(\frac{1}{3} \text{ až } \frac{1}{2} \right) \cdot 500 = 167 \text{ mm} \sim 250 \text{ mm} \rightarrow \underline{b_1 = 250 \text{ mm}}$$



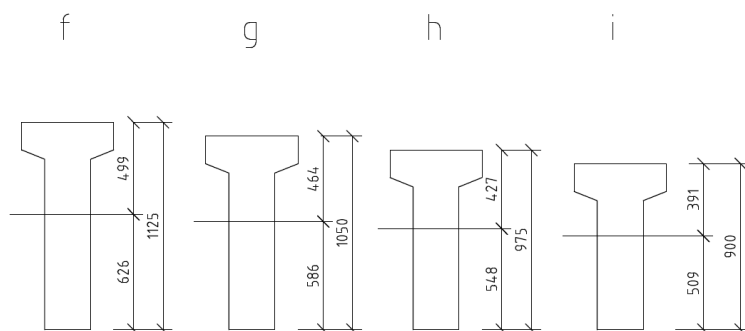
Obr.19: Schematický řez vazníkem: uprostřed rozpětí / v místě uložení na sloupu



Obr.20: Pohled na vazník



Obr.21: Jednotlivé řezy vazníkem a-e



Obr.22: Jednotlivé řezy vazníkem f-i

řez:	plocha: A_c [m ²]	moment setrvač.: I [m ⁴]	vzdál. těž. a dol. okraje: z_1 [m]	vzdál. těž. a hor. okraje: z_2 [m]	výška průřezu: h [m]	moment od časté kombinace [kNm]
a (uprost.)	0,4188	0,087594	0,819	0,681	1,500	1160,5
b	0,4000	0,075592	0,781	0,644	1,425	1122,7
c	0,3813	0,064715	0,742	0,608	1,350	1081,8
d	0,3625	0,054909	0,704	0,571	1,275	975,7
e	0,3438	0,046122	0,665	0,535	1,200	851,8
f	0,3250	0,038300	0,626	0,499	1,125	685,2
g	0,3063	0,031392	0,587	0,463	1,050	479,2
h	0,2875	0,025343	0,548	0,427	0,975	263,2
i (podpora)	0,2688	0,020101	0,509	0,391	0,900	0

Tab.3: Průřezové charakteristiky vazníku

Tíha vazníku uprostřed rozpětí: $g_l = A_{c,max} \cdot \gamma_{\text{žB}} = 0,41875 \text{ m}^2 \cdot 26 \text{ kN/m}^3 = 10,89 \text{ kN/m}$

Tíha vazníku v místě uložení: $g_l = A_{c,min} \cdot \gamma_{\text{žB}} = 0,26875 \text{ m}^2 \cdot 26 \text{ kN/m}^3 = 6,99 \text{ kN/m}$

12. ZATÍŽENÍ:

STÁLÉ:

Střešní plášť + vaznice:

- Charakteristické zatížení střešního pláště: $0,353 \text{ kN/m}^2$

- Vaznice:

Hmotnost 1 vaznice: $0,938 \text{ kN/m} \cdot 5,950 \text{ m} = 5,582 \text{ kN}$

Vazník přenáší hmotnost vždy $\frac{1}{2}$ vaznice, ale v místě uložení budou vždy 2 vaznice:

$(1/2 \cdot 5,582 \text{ kN}) \cdot 2 \text{ ks} = 5,582 \text{ kN}$

→ zatížení od střešního pláště se přenáší do vazníků přes vaznice – tzn. osamělá břemena:

pořadí vaznic	tíha střeš. pláště x plocha střeš. pláště	zatížení od pláště + od vaznic	celkové zatížení
1. a 9.	$0,353 \text{ kN/m}^2 \cdot [0,5 \cdot 2,7 + 0,15] \cdot 6 \text{ m}$	$3,177 \text{ kN} + 5,582 \text{ kN}$	$8,76 \text{ kN}$
2. a 8.	$0,353 \text{ kN/m}^2 \cdot [0,5 \cdot (3 + 2,7)] \cdot 6 \text{ m}$	$6,036 \text{ kN} + 5,582 \text{ kN}$	$11,62 \text{ kN}$
3. až 7.	$0,353 \text{ kN/m}^2 \cdot [3,0 \text{ m}] \cdot 6 \text{ m}$	$6,354 \text{ kN} + 5,582 \text{ kN}$	$11,94 \text{ kN}$

Tab.4: Zatížení střešním pláštěm a vaznicemi

Rozvody:

- rozvody vzduchotechniky, osvětlení apod.:

$0,250 \text{ kN/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 1,5 \text{ kN/m}$

Vlastní tíha vazníku:

Proměnná hodnota: od $6,99 \text{ kN/m}$ do $10,89 \text{ kN/m}$

NAHODILÉ:

Sníh:

$= S \times Z.Š. = 1,2 \text{ kN/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 7,2 \text{ kN/m}$

→ přenáší se do vazníků přes vaznice – tzn. osamělá břemena:

	zatížení sněhem · plocha	síla od sněhu
1. a 9. vaznice	$7,2 \text{ kN/m} \cdot (0,5 \cdot 2,7 + 0,15)$	$10,80 \text{ kN}$
2. a 8. vaznice	$7,2 \text{ kN/m} \cdot 0,5 \cdot (3 + 2,7)$	$20,52 \text{ kN}$
3. až 7. vaznice	$7,2 \text{ kN/m} \cdot 3,0 \text{ m}$	$21,60 \text{ kN}$

Tab.5: Zatížení sněhem

Vítr 1 (tlak větru – vítr na štítovou stranu)

Vítr 2 (sání – vítr na delší stěnu)

Vítr 3 (sání – vítr na štítovou stěnu)

Provoz na střeše:

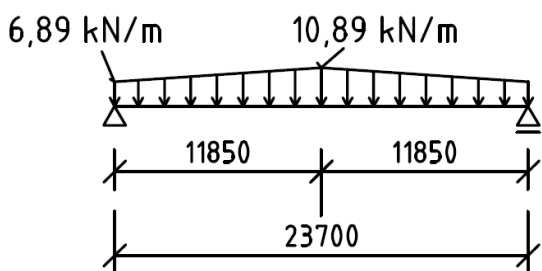
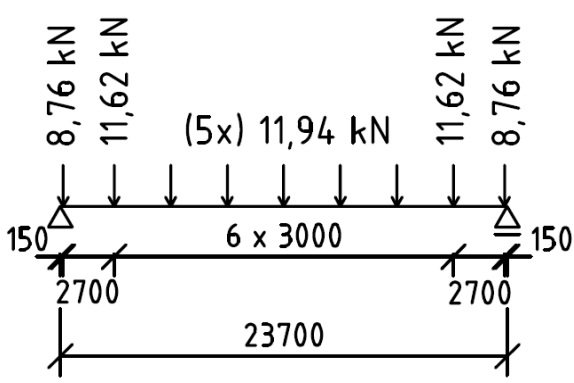
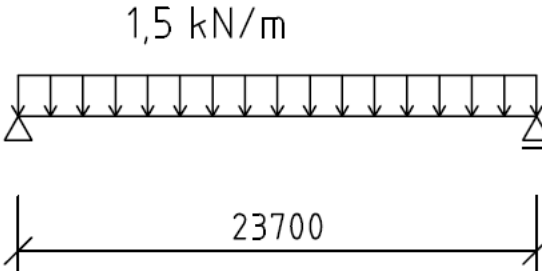
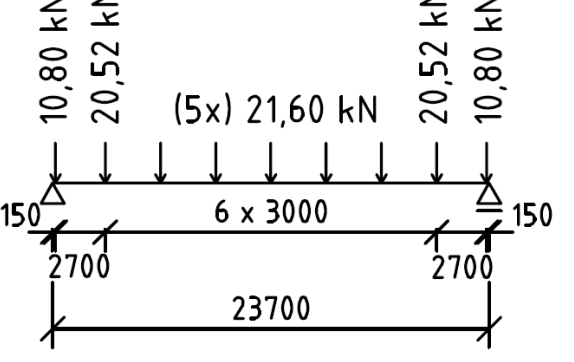
$$0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 2,4 \text{ kN/m}$$

→ zatížení od provozu se přenáší do vazníků přes vaznice – tzn. osamělá břemena:

	zatížení provozem · plocha	síla od provozu na střeše
1. a 9. vaznice:	$2,4 \text{ kN/m} \cdot (0,5 \cdot 2,7 + 0,15)$	3,60 kN
2. a 8. vaznice:	$2,4 \text{ kN/m} \cdot 0,5 \cdot (3 + 2,7)$	6,84 kN
3. až 7. vaznice:	$2,4 \text{ kN/m} \cdot 3,0 \text{ m}$	7,20 kN

Tab.6: Zatížení provozem

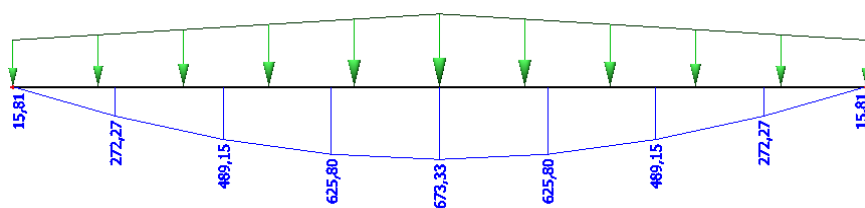
ZATÍŽOVACÍ SCHÉMATA VAZNÍKU

 <p>- od vlastní tíhy</p>	 <p>od vaznic a střešního pláště</p>
 <p>- od rozvodů</p>	 <p>- od sněhu</p>

$w(I) = 0,085 \text{ kN/m}^2 \times 6\text{m} = 0,51 \text{ kN/m}$ - od větru 1	$w(F,G) = 0,592 \text{ kN/m}^2 \times 2,4\text{m} + 0,381 \text{ kN/m}^2 \times 3,6\text{m} = 2,793 \text{ kN/m}$ $w(H) = 0,296 \text{ kN/m}^2 \times 6\text{m} = 1,776 \text{ kN/m}$ $w(I) = 0,085 \text{ kN/m}^2 \times 6\text{m} = 0,510 \text{ kN/m}$ - od větru 2
$w(H) = 0,296 \text{ kN/m}^2 \times 6\text{m} = 1,776 \text{ kN/m}$ - od větru 3	 - od provozu na střeše

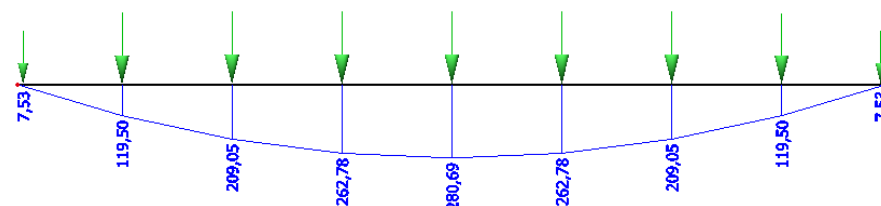
Tab.7: Zatěžovací schémata vazníku

MOMENTY OD ZATÍŽENÍ:



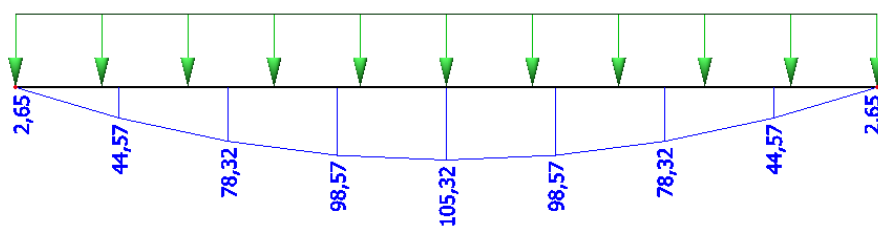
Obr.23: Průběh momentů M_y [v kNm] od vlastní tíhy

Maximální moment: $M_{g0,k} = 673,33 \text{ kNm}$



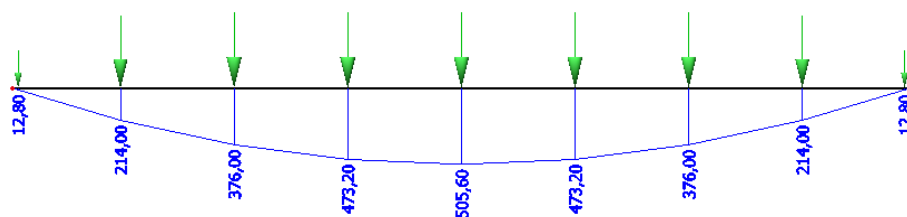
Obr.24: Průběh momentů M_y [v kNm] od vaznic a střešního pláště

Maximální moment: $M_{g1,k} = 280,69 \text{ kNm}$



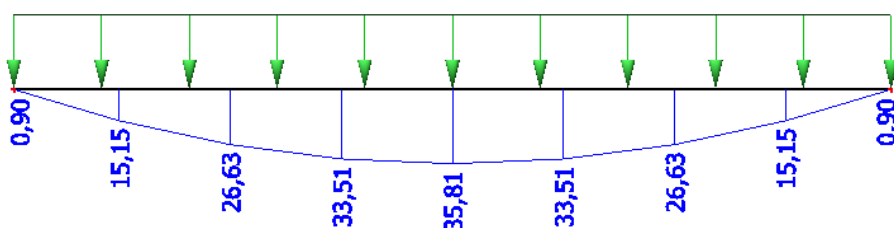
Obr.25: Průběh momentů M_y [v kNm] od rozvodů

Maximální moment: $M_{g2,k} = 105,32$ kNm



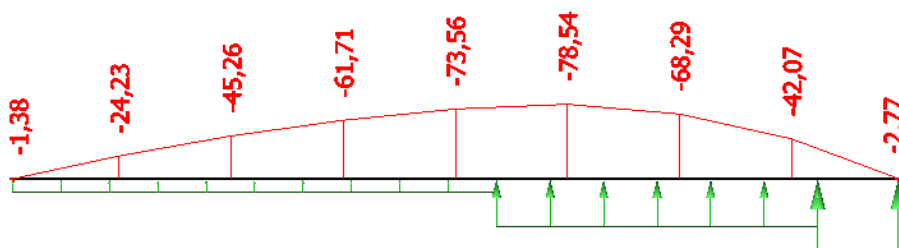
Obr.26: Průběh momentů M_y [v kNm] od sněhu

Maximální moment: $M_{qs,k} = 505,60$ kNm



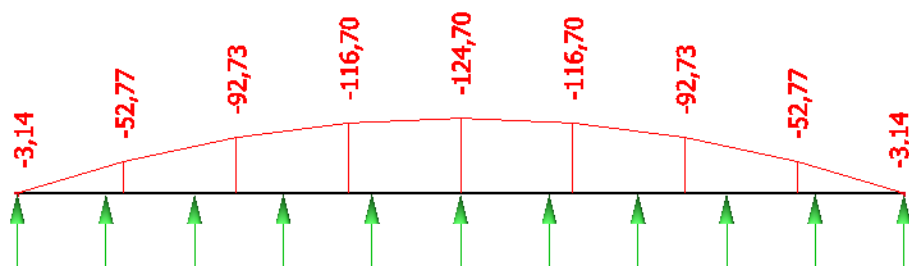
Obr.27: Průběh momentů M_y [v kNm] od větru 1

Maximální moment: $M_{qv1,k} = 35,81$ kNm



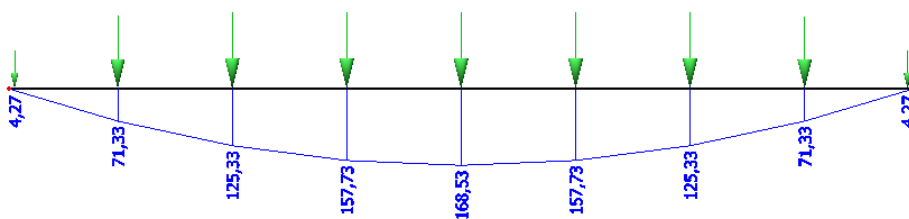
Obr.28: Průběh momentů M_y [v kNm] od větru 2

Maximální moment: $M_{qv2,k} = -78,54$ kNm



Obr.29: Průběh momentů M_y [v kNm] od větru 3

Maximální moment: $M_{qv3,k} = -124,70$ kNm



Obr.30: Průběh momentů M_y [v kNm] od provozu na střeše

Maximální moment: $M_{q3,k} = 168,53$ kNm

13. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Vlastní tíha vazníku	Vaznice a střešní plášť	Rozvody	Sníh	Vítr 1	Vítr 2	Vítr 3	Provoz na střeše
$M_{g0,k}$ = +673,33	$M_{g1,k}$ = +280,69	$M_{g2,k}$ = +105,32	$M_{qs,k}$ = +505,60	$M_{qv1,k}$ = +35,81	$M_{qv2,k}$ = -78,54	$M_{qv3,k}$ = -124,70	$M_{q3,k}$ = +168,53

Tab.8: Tabulka charakteristických hodnot momentů uprostřed rozpětí vazníku v kNm

	$\Psi_0 [-]$	$\Psi_1 [-]$	$\Psi_2 [-]$
Zatížení sněhem ($H \leq 1000$ m.n.m.)	0,5	0,2	0
Zatížení větrem	0,6	0,2	0
Užitné zat.: Kategorie H - střechy	0	0	0

Tab.9: Hodnoty součinitelů Ψ

Kombinace 6.10a pro MSÚ:

$$\gamma_G \cdot (M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{g2,k}) + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot M_{qs,k} + \gamma_Q \cdot (\psi_0 \cdot M_{qv,k} + \psi_0 \cdot M_{q3,k}) =$$

$$= 1,35 \cdot (673,33 + 280,69 + 105,32) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 505,60 + 1,5 \cdot (0,6 \cdot 35,83 + 0 \cdot 168,53) = 1841,6 \text{ kNm}$$

Kombinace 6.10b pro MSÚ:

$$\xi \cdot \gamma_G \cdot (M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{g2,k}) + \gamma_Q \cdot M_{qs,k} + \gamma_Q \cdot (\psi_0 \cdot M_{qv,k} + \psi_0 \cdot M_{q3,k}) =$$

$$= 0,85 \cdot 1,35 \cdot (673,33 + 280,69 + 105,32) + 1,5 \cdot 505,60 + 1,5 \cdot (0,6 \cdot 35,83 + 0 \cdot 168,53) = 2006,2 \text{ kNm}$$

→ pro MSÚ rozhoduje kombinace 6.10b

Charakteristická kombinace 6.14b:

$$(M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{g2,k}) + M_{qs,k} + (\psi_0 \cdot M_{qv,k} + \psi_0 \cdot M_{q3,k}) =$$

$$= (673,33 + 280,69 + 105,32) + 505,60 + (0,6 \cdot 35,83 + 0 \cdot 168,53) = 1586,4 \text{ kNm}$$

Častá kombinace 6.15b:

$$(M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{g2,k}) + \psi_1 \cdot M_{qs,k} + (\psi_2 \cdot M_{qv,k} + \psi_2 \cdot M_{q3,k}) =$$

$$= (673,33 + 280,69 + 105,32) + 0,2 \cdot 505,60 + (0 \cdot 35,83 + 0 \cdot 168,53) = 1160,5 \text{ kNm}$$

Kvazistálá kombinace 6.16b:

$$(M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{g2,k}) + \psi_2 \cdot M_{qs,k} + (\psi_2 \cdot M_{qv,k} + \psi_2 \cdot M_{q3,k}) =$$

$$= (673,33 + 280,69 + 105,32) + 0 \cdot 505,60 + (0 \cdot 35,83 + 0 \cdot 168,53) = 1059,3 \text{ kNm}$$

MOMENTY OD KOMBINACÍ PRO OVĚŘENÍ NAPĚTÍ

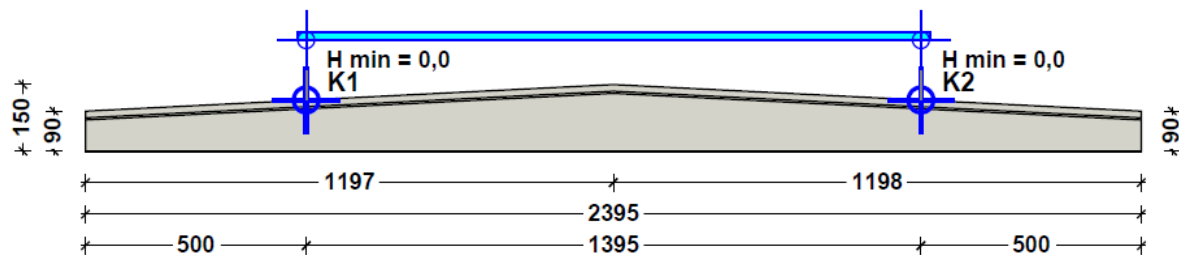
řez:	moment od časté kombinace v čase t_{∞} [kNm]	moment od kvazistálé kombinace v čase t_{∞} [kNm]	moment od charakteristické kombinace v čase t_{∞} [kNm]	moment od vl. hmotnosti v čase t_{tr} [kNm]
a (uprost.)	1160,5	1059,4	1586,3	673,4
b	1122,7	1023,8	1542,9	665,3
c	1081,8	988,8	1492,9	624,6
d	975,7	884,8	1334,0	559,3
e	851,8	784,1	1178,4	491,5
f	685,2	623,0	931,3	386,6
g	479,2	452,3	678,3	282,4
h	263,2	228,4	349,4	145,2
i (podpora)	0	0	0	0

Tab.10: Momenty v jednotlivých řezech na vazníku

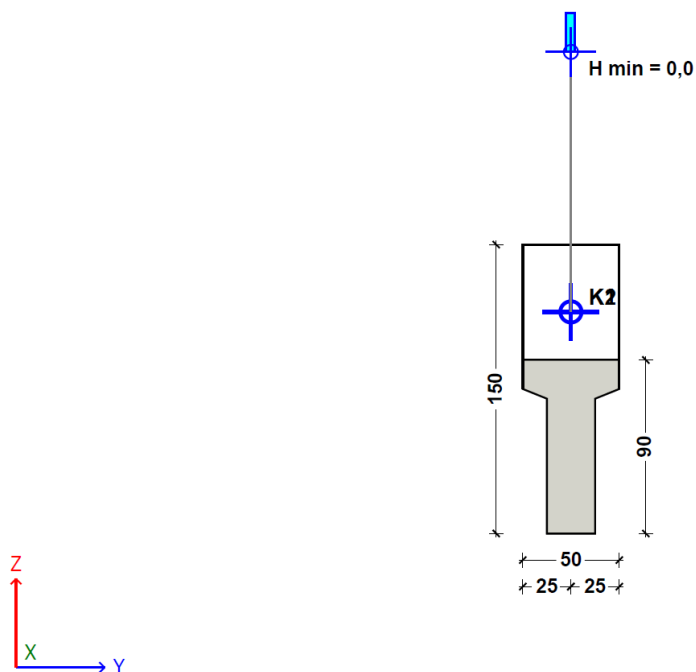
14. PŘEPRAVNÍ ÚCHYTY

Pro vytahování z formy a přesun prefabrikátů jsou navrženy přepravní úchyty – oboustrannou kotvu od firmy HALFEN.

Samotný návrh úchytů byl proveden v programu TPA 3.13 firmy HALFEN:



Obr.31: Pohled



VÝPOČTY

Vychodisková hodnota:

Hmotnosť:	205,8 kN
Objem:	8,2 m ³
Ťažisko:	
Sx:	1197,5 cm
Sy:	25,0 cm
Sz:	Nie je číslo cm
Plocha debnenia:	6,0 m ²
Príľnavosť na debnenie:	12,0 kN
Vrchol. uhol záves. zar.:	0,0°
Súčiniteľ vrchol. uhla záves. zar.:	1,00
Dynamický súčiniteľ - paneláreň:	1,30
Dynamický súčiniteľ - stavenisko:	2,50
Pevnosť betónu v panelárni:	45 N/mm ²
Pevnosť betónu na stavenisku:	45 N/mm ²
Počet nosných kotiev:	2

Zaťaženie:

Celkové zaťaženie:	
Paneláreň - zdvíhanie:	217,8 kN
Paneláreň - transport:	267,6 kN
Stavenisko - preprava / montáž:	514,6 kN
Zaťaženia (paneláreň / stavenisko):	
Kotva 1:	133,8 kN / 257,3 kN
Kotva 2:	133,8 kN / 257,3 kN

Všeobecné:

Minimálna výška háku:	0,0 cm
-----------------------	--------

Obr.32: Vstupní údaje

DETAILY KOTVY

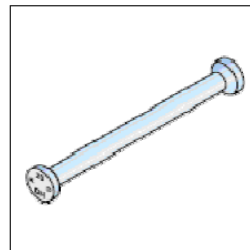
Typ kotvy: **DEHA Kotva obojstranná 6000D**
Vybraná kotva: **6000-32,0-0700D WB**

Výstuž / Povolené zaťaženie:

Min. hrúbka stavebného dielca 2 x er: 180 mm
Osová vzdialenosť kotiev ez: 2800 mm
Povolené zaťaženie pre osový a šikmý ťah do 45°; $\beta_w = 45 \text{ N/mm}^2$: 282 kN

Detaily kotvy:

Zátťažová skupina: 32 t
Popis položiek (paneláreň): 6000-32,0-0700D WB
Obj. č.: 735.018-00058
Rozmery
l: 700 mm
d: 50 mm
d1: 88 mm
k: 23 mm
Da: 214 mm



Obr.33: Návrh kotvy

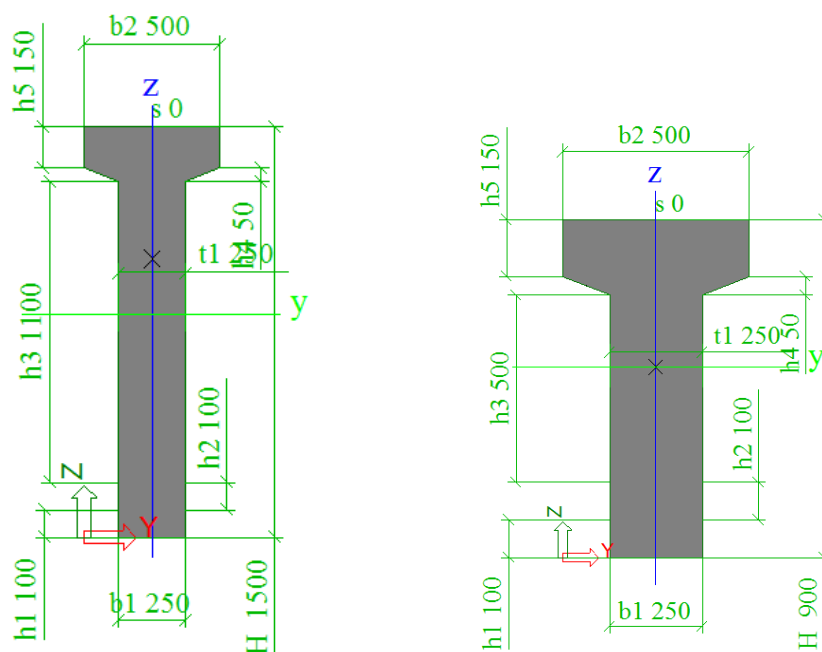
15. PŘEDEM PŘEDPJATÝ STŘEŠNÍ VAZNÍK – SCIA ENGINEER

Proveden návrh předem předpjatého vazníku v programu Scia Engineer.

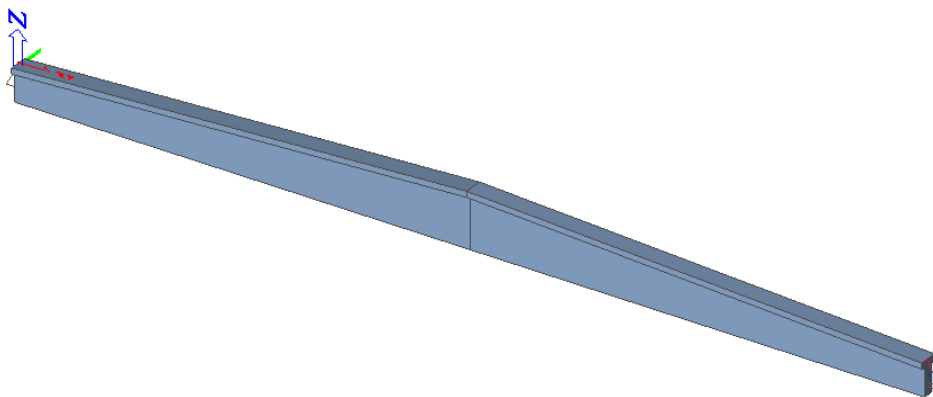
Rozpětí: $L = 23,700 \text{ m}$
Výška ve středu: $h_s = 1,500 \text{ m}$
Výška u kraje: $h_k = 0,900 \text{ m}$
Osová vzdálenost vazníků: $6,000 \text{ m}$
Beton: C 40/50 XC1

ZATĚŽOVACÍ STAVY:

ZS1 – vlastní tíha
ZS2 – vaznice + střešní plášť
ZS3 – rozvody
ZS4 – sníh
ZS5 – vítr
ZS6 – předpětí



Obr.34: Příčný řez uprostřed rozpětí / v místě uložení



Obr.35: Axonometrický pohled na nosník

KOMBINACE:

1) čas t_{∞} , charakteristická kombinace:

podmínka pro horní vlákna, uprostřed rozpětí:

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$

2) čas t_{∞} , častá kombinace:

podmínka pro spodní vlákna, uprostřed rozpětí:

$$\sigma_c \leq 0 \text{ (tzn. vyloučen tah)}$$

3) čas t_0 , charakteristická kombinace:

podmínka pro horní vlákna, uprostřed rozpětí:

$$\sigma_c \leq 0 \text{ (tzn. vyloučen tah)}$$

4) čas t_0 , častá kombinace:

podmínka pro spodní vlákna, uprostřed rozpětí:

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$

Charakteristická kombinace 6.14b:

$$(G_{vl.tíha} + G_{stř} + G_{rozvody}) + P + (Q_{sníh} + \psi_0 \cdot Q_{vítr})$$

$$(\psi_{0,vítr} = 0,6)$$

Častá kombinace 6.15b:

$$(G_{vl.tíha} + G_{stř} + G_{rozvody}) + P + (\psi_1 \cdot Q_{sníh} + \psi_2 \cdot Q_{vítr})$$

$$(\psi_{1,sníh} = 0,2; \psi_{2,vítr} = 0)$$

Kvazistálá kombinace 6.16b:

$$(G_{vl.tíha} + G_{stř} + G_{rozvody}) + P + (\psi_2 \cdot Q_{sníh} + \psi_2 \cdot Q_{vítr})$$

$$(\psi_{2,sníh} = 0; \psi_{2,vítr} = 0)$$

KOMBINACE	OBSAH KOMBINACE					
t_0	VL. TÍHA x1,0	-	-	-	-	PŘEDPĚTÍ 1,53
t_{∞} , charak.	VL. TÍHA x1,0	STŘECHA x1,0	ROZVODY x1,0	SNÍH x1,0	VÍTR x0,6	PŘEDPĚTÍ x1,30
t_{∞} , častá	VL. TÍHA x1,0	STŘECHA x1,0	ROZVODY x1,0	SNÍH x0,2	VÍTR x0	PŘEDPĚTÍ x1,30

Tab.11: Kombinační tabulka

$P_{t0} = 1530 \text{ kN}$

$P_{t\infty} = 1300 \text{ kN}$ (ztráty 15%)

MODEL A:

Parametry lan:

$f_{p01k} = 1520 \text{ MPa}$

plocha 1 lana: $A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$

pokluz lan: 6mm

podržení napětí: 5minut = 300 s

typ napínání: 3

délka předpínací dráhy: $L_a = 51,9 \text{ m}$, délka lan: $L_p = 52,9 \text{ m}$

přetvoření opěrného zařízení: 3mm

teplota při napínání: 15°C , teplota lan: 70°C , teplota dráhy: 50°C

$P_0 = 1530 \text{ kN}$ (z modelu A a z ručního výpočtu z Excelu)

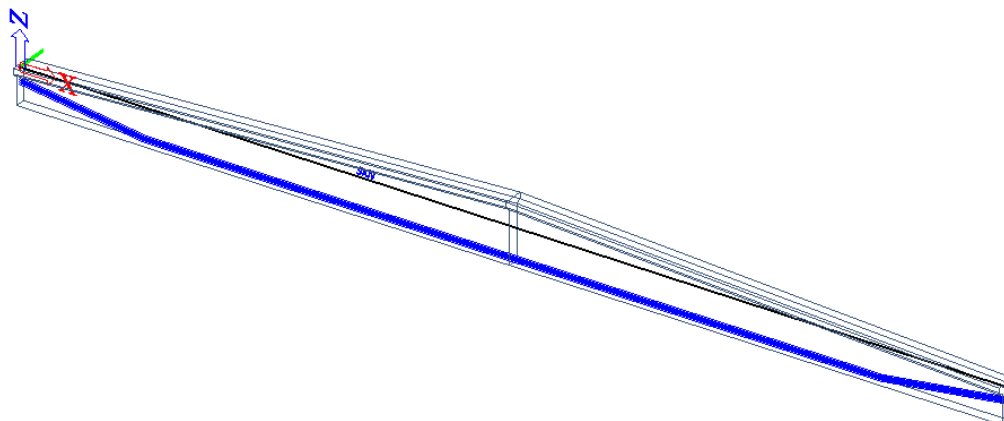
$\sigma_0 = \underline{\sigma_{p,max}} = 1368 \text{ MPa}$

$A_{p,pož} = P_0 / \sigma_0 = 1530 / 1368 \cdot 10^3 = 1,11842 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

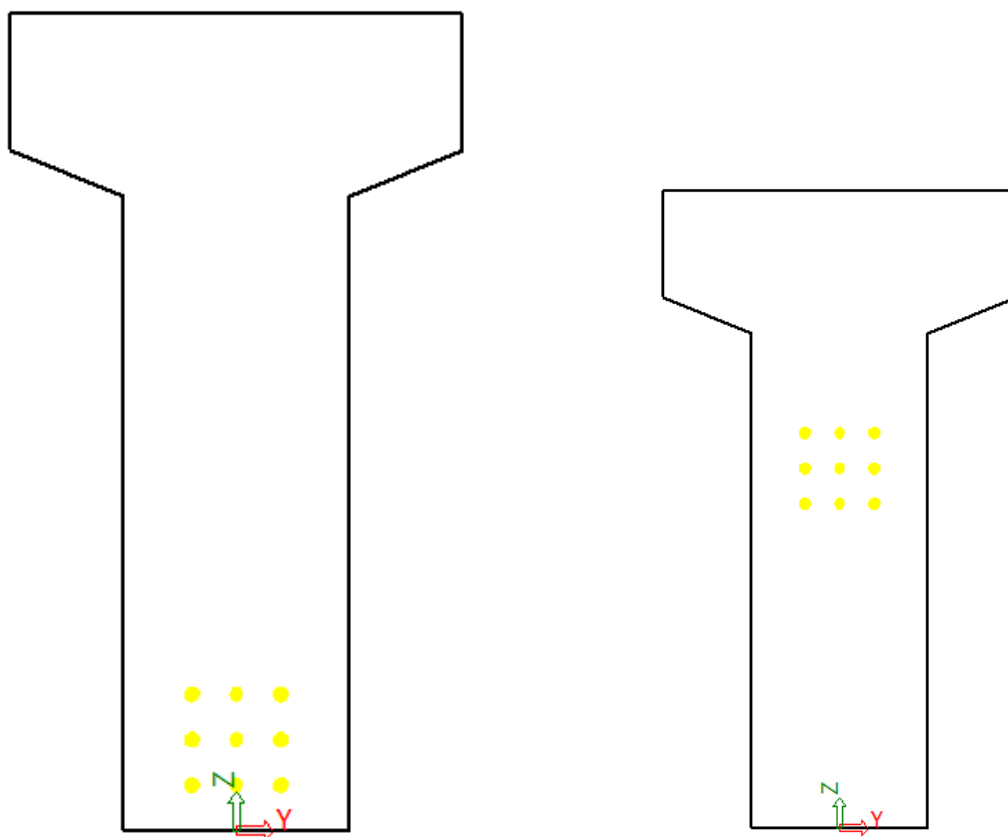
$n_{p,pož} = A_{p,pož} / A_{p1} = 1,11842 \cdot 10^{-3} / 1,5 \cdot 10^{-4} = 7,5 \text{ ks} \rightarrow \underline{n_p = 9 \text{ ks}}$

$A_p = n_p \cdot A_{p1} = 1350 \text{ mm}^2$

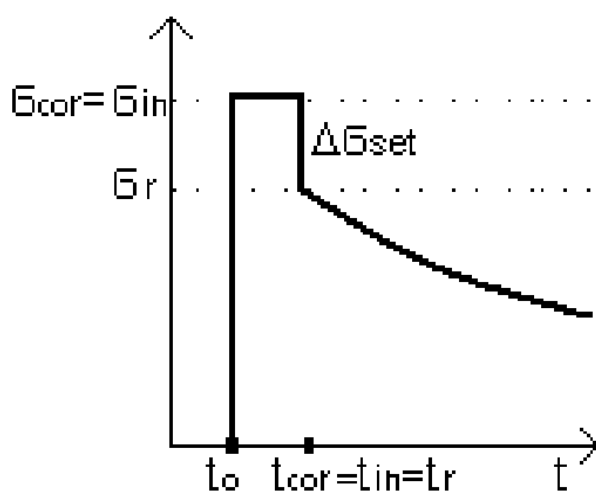
$\underline{\sigma_0} = P_0 / A_p = 1,530 / (1,35 \cdot 10^{-3}) = \underline{1133,33 \text{ MPa}}$



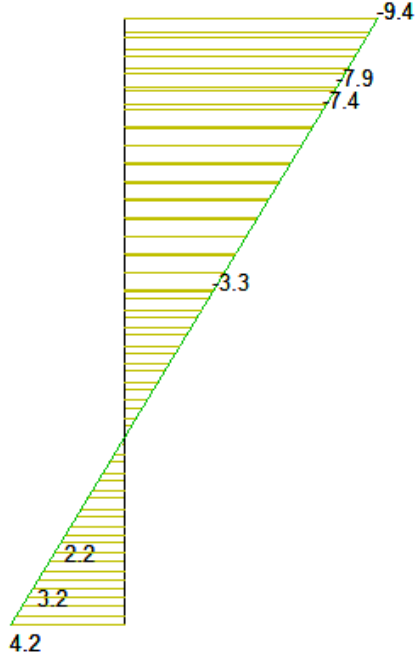
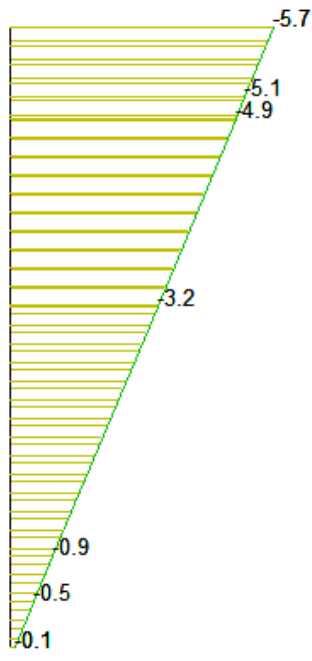
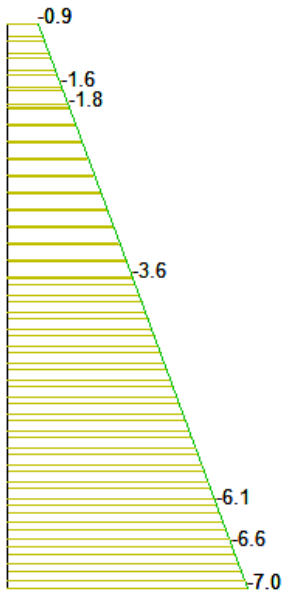
Obr.36: Axonometrický pohled na nosník



Obr.37: Příčný řez uprostřed rozpětí / v místě uložení (9 lan: Y 1770 S7-15,8)



Obr.38: Typ napínání lan

t_{∞} , charakteristická horní vlákna: (omezení tlaku) $\sigma_c = -9,4 \text{ MPa} \leq -24 \text{ MPa} \odot$	t_{∞} , častá spodní vlákna: (vyloučení tahu) $\sigma_c -0,1 \text{ MPa} \leq 0 \text{ MPa} \odot$
	
t_0 , charakteristická horní vlákna: (vyloučení tahu) $\sigma_c = -0,9 \text{ MPa} \leq 0 \text{ MPa} \odot$	t_0 , častá spodní vlákna: (omezení tlaku) $\sigma_c = -7,0 \text{ MPa} \leq -24 \text{ MPa} \odot$
	

Tab.12: Posouzení napětí uprostřed rozpětí

Vyčíslení okamžitých ztrát:

x [m]	Nap. po zakotvení / po vnesení předpětí [MPa]	LED [MPa]	LSS [MPa]	Lmin [MPa]	Lmax [MPa]	MinNapětí [MPa]	MaxNapětí [MPa]
12,000	1066,18	-63,16	0,00	0,00	23,97	1003,03	1027,00

Tab.13: Napětí na kabelu

OKAMŽITÁ ZTRÁTA UPROSTŘED ROZPĚTÍ = $100 - (1003 / 1066) * 100 = \underline{6 \%}$

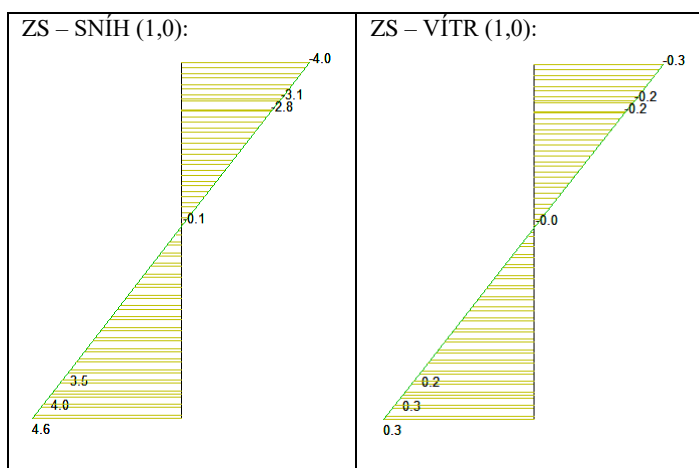
MODEL B: FÁZE VÝSTAVBY (TDA):

F1 – vlastní tíha a předpětí: 0 dní

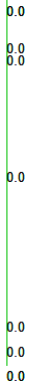
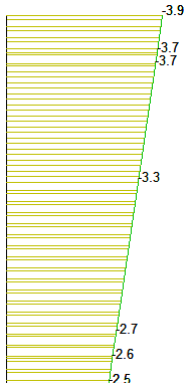
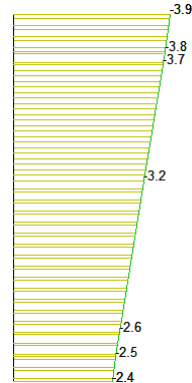
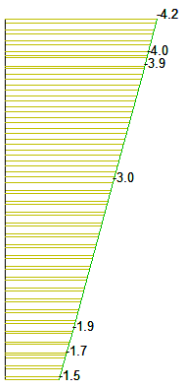
F2 – stálé zatížení: 28 dní

F3 – proměnné zatížení: 60 dní

F4 – životnost: 18 500 dní



Obr.39: Normálové napětí uprostřed rozpětí od sněhu / větru

<p>F1-KVAZISTÁLÁ KOMBINACE</p> 	<p>F2- KVAZISTÁLÁ KOMBINACE</p> 	<p>F3- KVAZISTÁLÁ KOMBINACE</p> 	<p>F4- KVAZISTÁLÁ KOMBINACE</p> 
		<p>F3-KOMBINACE CHARAKTERISTICKÁ (+SNÍH + 0,6*VÍTR):</p> $\sigma_H = -3,9 - 4,0 + 0,6*(-0,3) = \mathbf{-8,08 \text{ MPa}}$ $\sigma_d = -2,4 + 4,6 + 0,6*(0,3) = \mathbf{+2,38 \text{ MPa}}$	<p>F4-KOMBINACE CHARAKTERISTICKÁ (+SNÍH + 0,6*VÍTR):</p> $\sigma_H = -4,2 - 4,0 + 0,6*(-0,3) = \mathbf{-8,02 \text{ MPa}}$ $\sigma_d = -1,5 + 4,6 + 0,6*(0,3) = \mathbf{+3,28 \text{ MPa}}$
		<p>F3-KOMBINACE ČASTÁ (+0,2*SNÍH + 0*VÍTR):</p> $\sigma_H = -3,9 + 0,2*(-4,0) = \mathbf{-4,7 \text{ MPa}}$ $\sigma_d = -2,4 + 0,2*(4,6) = \mathbf{-1,48 \text{ MPa}}$	<p>F4-KOMBINACE ČASTÁ (+0,2*SNÍH + 0*VÍTR):</p> $\sigma_H = -4,2 + 0,2*(-4,0) = \mathbf{-5,0 \text{ MPa}}$ $\sigma_d = -1,5 + 0,2*(4,6) = \mathbf{-0,58 \text{ MPa}}$

Tab.14: Normálové napětí uprostřed rozpětí od kombinací

NA KONCI ŽIVOTNOSTI:

x [m]	Nap. po zakotvení / po vnesení předpětí [MPa]	LED [MPa]	LSS [MPa]	Lmin [MPa]	Lmax [MPa]	MinNapětí [MPa]	MaxNapětí [MPa]
12,000	1066,18	16,26	-169,52	0,00	0,00	912,92	912,92

Tab.15: Napětí na kabelu

ZTRÁTY PROVOZNÍ = $100 - (913 / 1003) * 100 = \underline{9 \text{ \}}$

SCIA:

$$\sigma_{p,\infty} = 912,9 \text{ MPa}$$

Ruční výpočet - po 50 letech (viz statický výpočet dále):

$$\sigma_{p,\infty} = 947,5 \text{ MPa}$$

Rozdíl = 34,6 MPa (což je cca 3,7 %)

16. NÁVRH PŘEDPJATÉHO VAZNÍKU

Skutečná délka vazníku: $L_{\text{žB}} =$	23,950 [m]
Délka vazníku (do výpočtu): $L =$	23,700 [m]
Plocha vazníku v místě uložení: $A_{\text{c,min}} =$	0,26875 [m ²]
Plocha vazníku uprostřed rozpětí: $A_{\text{c,max}} =$	0,41875 [m ²]
Tíha předpjatého betonu:	26 000 [N/m ³]
Zatížení vl. hmotností vazníku (v místě $x = 0$ m): $A_{\text{c,min}} \cdot \gamma_{\text{žb}} =$	6 988 [N/m]

Momenty uprostřed rozpětí:

Moment pro MSÚ: $M_{\text{ed}} =$	2 006 200 [Nm]
Moment pro charakteristickou kombinaci: $M_{\text{ch}} =$	1 586 400 [Nm]
Moment pro častou kombinaci: $M_{\text{čast}} = M_{\text{Ek},\Psi_1} =$	1 160 500 [Nm]
Moment pro kvazistálou kombinaci: $M_{\text{kvaz}} = M_{\text{Ek},\Psi_2} =$	1 059 300 [Nm]

Beton: třída C 40/50

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{\text{ck}} =$	40 000 000 [Pa]
Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{\text{cd}} = \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_{\text{c}}} =$	26 666 666 [Pa]
Pevnost betonu v tahu: $f_{\text{ctm}} =$	3 500 000 [Pa]
Součinitel spolehlivosti pro beton: $\gamma_{\text{c}} =$	1,5
Přetvoření betonu $\varepsilon_{\text{cu3}} =$	3,5 [‰]
Průměrný modul pružnosti betonu: $E_{\text{cm}} =$	35 000 000 000 [Pa]

Betonářská výztuž: B500B

Charakteristická mez kluzu: $f_{\text{yk}} =$	500 000 000 [Pa]
Návrhová mez kluzu: $f_{\text{yd}} = \frac{f_{\text{yk}}}{\gamma_{\text{s}}} =$	434 780 000 [Pa]
Součinitel spolehlivosti pro bet. ocel: $\gamma_{\text{s}} =$	1,15
Modul pružnosti oceli: $E_{\text{s}} =$	210 000 000 000 [Pa]

Přetvoření oceli:

$$\varepsilon_{\text{yd}} = \frac{f_{\text{yd}}}{E_{\text{s}}} = 2,07 \text{ [‰]}$$

Předpínací výztuž: Y-1770-S7-16

Vnější průměr předp. výztuže: $\Phi_{\text{p}} =$	0,016 [m]
Tahová pevnost předp. výztuže (charakteristická): $f_{\text{pk}} =$	1 770 000 000 [Pa]
Součinitel spolehlivosti pro předp. ocel: $\gamma_{\text{p}} =$	1,15 [-]
Tahová pevnost předp. výztuže (návrhová): $f_{\text{pd}} =$	1 539 130 000 [Pa]

Smluvní mez kluzu předpínací výztuže: $f_{p0,1k} =$	1 520 000 000 [Pa]
Modul pružnosti předpínací výztuže: $E_p =$	195 000 000 000 [Pa]
Průřezová plocha 1 lana (ze 7 drátů): $A_{p,1ks} =$	1,50E-04 [m ²]
Počet lan: $n =$	9 [ks]
Počet lan v 5.řadě: $n_5 =$	[ks]
Počet lan v 4.řadě: $n_4 =$	[ks]
Počet lan v 3.řadě: $n_3 =$	3 [ks]
Počet lan v 2.řadě: $n_2 =$	3 [ks]
Počet lan v 1.řadě (nejspodnější): $n_1 =$	3 [ks]
Šířka stojiny: $b_1 =$	0,250 [m]
Minimální hodnota krycí vrstvy z hlediska soudržnosti: $c_{min,b} = 1,5 \cdot \Phi_p =$	0,024 [m]
Z hlediska trvanlivosti: vliv prostředí (XC1) a třídy konstrukce (S4): $c_{min,dur} =$	0,025 [m]
Přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti: $\Delta c_{dur,\gamma} =$	0 [m]
Redukce při nerezavějící oceli: $\Delta c_{dur,st} =$	0 [m]
Redukce při dodatečné ochraně výztuže: $\Delta c_{dur,add} =$	0 [m]
$c_{min,sl} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 0,010m\}$	0,025 [m]
Návrhová odchylka (při provádění ve výrobě): $\Delta c_{dev} =$	0,010 [m]
Nominální hodnota betonové krycí vrstvy: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} =$	0,035 [m]
Krytí: $c \geq c_{nom} =$	0,042 [m]
Celková plocha předpínací výztuže: $A_p = n \cdot A_{p,1ks} =$	1,35E-03 [m ²]
<u>Posouzení minimální světél vodorovné vzdálenosti mezi před. pruty:</u>	
Skutečná vzdálenost: $a_{s,v} = (b_1 - 2 \cdot c - \Phi_p) / (n - 1)$	0,075 [m]
$a_{s,v} > \max \{2 \cdot \Phi_p; d_g + 5mm; 20mm\} =$	0,032 [m]
<u>VYHOVUJE</u>	
<u>Posouzení minimální světél svislé vzdálenosti mezi před. pruty:</u>	
Skutečná vzdálenost: $a_{s,s} =$	0,034 [m]
$a_{s,s} > \max \{2 \cdot \Phi_p; d_g\} =$	0,032 [m]
<u>VYHOVUJE</u>	
<u>Stabilita „štíhlého“ nosníku v příčném směru</u>	
Šířka horní příruby: $b =$	0,500 [m]
Vzdálenost mezi torzními vazbami: $L_{0t} =$	23,700 [m]
$L_{0t} / b =$	47,400

$$\frac{L_{0t}}{b} \leq \frac{70}{(h/b)^{1/3}} = 48,535$$

$$h/b = 3,000 \leq 3,5$$

**PODMÍNKY SPLNĚNY → ÚČINKY 2. ŘÁDU MOHOU BÝT
PŘI DOČASNÉ SITUACE ZANEDBÁNY (PRO PŘÍČNOU
STABILITU)**

Pro posouzení stability v příčném směru použijeme podmínku z PCI handbook, 1985:

$$t_c / a > 2$$

Moment setrvačnosti kolmo k měkké ose: $I =$	0,00350 [m ⁴]
Těžiště betonu od horního okraje: $t_c = z_2 =$	0,681 [m]
$g_{0d} = 1,35 \cdot A_{c,max} \cdot \gamma_{\text{žB}} =$	14 700 [N/m]
Průměrný modul pružnosti betonu: $E_{cm} =$	35 000 000 000 [Pa]
Průhyb kolmo k měkké ose od vlastní tíhy: $\alpha =$	$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{0d} \cdot L^4}{E_{cm} \cdot I} = 0,493 \text{ [m]}$
Stupeň bezpečnosti: $t_c / \alpha =$	1,38 > 2
NEVYHOVUJE!	
>>> Nutno zabránit pohybu vazníku při montáži - uprostřed rozpětí montážně stabilizovat.	

[illegible]

Předpínací síla v čase t_0 : $P_{m,0,k}' = P_{\infty,k}' / (1-0,15)$ =	1 401 047	1 431 055	1 461 644	1 401 291	1 306 994	1 128 617	852 129	766 725	0	[N]
Předběžně navržená předpínací síla v čase t_0 : $P_{m,0,k}'' =$	1 462 000									[N]
Maximální napětí při předpínání: $\sigma_{p,max} = \min \{0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k}\} =$	1 368 000 000									[Pa]
Napětí v čase t_0 : $\sigma_{p,m,0} = 0,9 \cdot \sigma_{p,max} =$	1 231 200 000									[Pa]
Napětí v čase t_∞ : $\sigma_{p,m,\infty} = 0,85 \cdot \sigma_{p,m,0} =$	1 046 520 000									[Pa]
Max. napětí po vnesení předpětí do betonu: $\sigma_{p,0,max} = \min \{0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}\} =$	1 292 000 000									[Pa]
Požadovaná celková plocha lan: $A_{p,min} = P_{m,0,k}'' / \sigma_{p,m,0} =$	1,19E-03									[m ²]
Návrh počtu lan: $n_{navrh} = A_{p,min} / A_{p,1ks} =$	7,92									[ks]
Navržený počet lan: $n_{skut} =$	9									[ks]
Skutečná plocha lan: $A_{p,skut} = n_{skut} \cdot A_{p,1ks} =$	1,35E-03									[m ²]
Předpínací síla v čase t_0 (při maximálně možném předeptnutí): $P_{m,0,k}''' =$	1 662 120									[N]
Předpínací síla v čase t_0 (při skutečném předeptnutí): $P_{m,0,k} =$	1 530 000									[N]
Podmínka: $P_{m,0,k} < P_{m,0,max} = A_p \cdot \sigma_{p,0,max} =$	1 744 200									
	→ VYHOVUJE									
Předpínací síla v čase t_0 (na 1 lano): $P_{m,0,k} (1lano) = P_{m,0,k} / n =$	170 000									[N]
Předpínací síla v čase t_∞ (při skutečném předeptnutí): $P_{\infty,k} =$	1 300 500									[N]
Skutečné maximální napětí při předpínání: $\sigma_{p,max,skut} = P_{m,0,k} / A_{p,skut} =$	1 133 333 333									[Pa]

(DOLNÍ VLÁKNA): $\sigma_1 = + \frac{M_{Ek,\psi_1}}{w_1} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} - \frac{P_{\infty,k} \cdot e_p}{w_1} =$	-998 880	-802 003	-580 070	-1 149 017	-2 095 531	-3 982 955	-7 128 172	-5 665 655	-4 838 170	[Pa]
(HORNÍ VLÁKNA): $\sigma_2 = - \frac{M_{Ek,\psi_1}}{w_2} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} + \frac{P_{\infty,k} \cdot e_p}{w_2} =$	-4 856 087	-5 270 859	-5 730 138	-5 565 460	-5 140 087	-4 016 352	-1 972 378	-3 633 498	-4 838 170	[Pa]
<u>t_∞ CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE:</u>										
Moment pro charakter. kombinaci: M _{char} =	1 586 300	1 542 900	1 492 900	1 334 000	1 178 400	931 300	678 300	349 400	0	[Nm]
(DOLNÍ VLÁKNA): $\sigma_1 = + \frac{M_{char}}{w_1} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} - \frac{P_{\infty,k} \cdot e_p}{w_1} =$	2 983 060	3 539 411	4 133 461	3 444 824	2 613 480	39 463	-3 405 194	-3 801 724	-4 838 170	[Pa]
(HORNÍ VLÁKNA): $\sigma_2 = - \frac{M_{char}}{w_2} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} + \frac{P_{\infty,k} \cdot e_p}{w_2} =$	-8 165 742	-8 850 720	-9 592 439	-9 291 430	-8 928 539	-7 222 720	-4 908 900	-5 085 867	-4 838 170	[Pa]
0,6·f _{ck} =	-24 000 000	[Pa]								
Podmínka: σ ₂ ≤ 0,6·f _{ck} =	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
<u>t_∞ KVAZISTÁLÁ KOMBINACE:</u>										
Moment pro kvazistálou kombinaci: M _{kvaz} =	1 059 400	1 023 800	988 800	884 800	784 100	623 000	452 300	228 400	0	[Nm]

(DOLNÍ VLÁKNA): $\sigma_1 = + \frac{M_{kvaz.}}{w_1} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} - \frac{P_{\infty,k} \cdot e_p}{w_1} =$	-1 944 334	-1 823 816	-1 646 376	-2 314 465	-3 071 649	-4 999 592	-7 631 176	-6 418 147	-4 838 170	[Pa]
(HORNÍ VLÁKNA): $\sigma_2 = - \frac{M_{kvaz.}}{w_2} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} + \frac{P_{\infty,k} \cdot e_p}{w_2} =$	-4 070 258	-4 428 289	-4 856 400	-4 620 188	-4 354 789	-3 205 966	-1 575 630	-3 047 158	-4 838 170	[Pa]
0,45·f _{ck} =	-18 000 000	[Pa]								
Podmínka: $\sigma_2 \leq 0,45 \cdot f_{ck} =$	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
ČAS t_{tr}:										
Moment pro čas t _{tr} : M _{tr} = M _{g,0,k} =	673 400	651 300	624 600	559 300	491 500	386 600	282 400	145 200	0	[Nm]
(DOLNÍ VLÁKNA): $\sigma_1 = + \frac{M_{tr}}{w_1} - \frac{P_{0,k}}{A_c} - \frac{P_{0,k} \cdot e_p}{w_1} =$	-7 645 517	-7 860 904	-8 113 395	-8 898 125	-9 827 560	-11 542 697	-13 647 332	-10 221 369	-5 691 964	[Pa]
(HORNÍ VLÁKNA): $\sigma_2 = - \frac{M_{tr}}{w_2} - \frac{P_{0,k}}{A_c} + \frac{P_{0,k} \cdot e_p}{w_2} =$	-335 094	-497 059	-652 359	-426 918	-124 165	740 658	1 829 398	-1 503 962	-5 691 964	[Pa]
f _{ck} (t _{tr}) = 0,7·f _{ck} =	-28 000 000	[Pa]								
0,6·f _{ck} (t _{tr}) =	-16 800 000	[Pa]								
Podmínka: $\sigma_1 \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t_{tr}) =$	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
0,7·f _{ctm} =	2 450 000	[Pa]								

Podmínka: $\sigma_2 \leq 0,7 \cdot f_{ctm} =$	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
---	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Rekapitulace vypočítaných napětí:

komb.	napětí v jednotlivých řezech [v MPa]										podmínky:
		řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	řez f	řez g	řez h	řez i	
častá (t_{∞})	horní	-4,9	-5,3	-5,7	-5,6	-5,1	-4,0	-2,0	-3,6	-4,8	$\sigma \leq 0$ (vyloučení tahu) & $\sigma \leq 0,6 f_{ck} = -24$ MPa (omezení tlaku)
	dolní	-1,0	-0,8	-0,6	-1,1	-2,1	-4,0	-7,1	-5,7	-4,8	
charak. (t_{∞})	horní	-8,2	-8,9	-9,6	-9,3	-8,9	-7,2	-4,9	-5,1	-4,8	$\sigma \leq 0,6 f_{ck} = -24$ MPa (omezení tlaku)
	dolní	3,0	3,5	4,1	3,4	2,6	0,0	-3,4	-3,8	-4,8	
kvazistálá (t_{∞})	horní	-8,2	-8,9	-9,6	-9,3	-8,9	-7,2	-4,9	-5,1	-4,8	$\sigma \leq 0,45 f_{ck} = -18$ MPa (omezení tlaku)
	dolní	-1,9	-1,8	-1,6	-2,3	-3,1	-5,0	-7,6	-6,4	-4,8	
t_{tr}	horní	-0,3	-0,5	-0,7	-0,4	-0,1	0,7	1,8	-1,5	-5,7	$\sigma \leq f_{ctm}(t) = + 2,45$ MPa (omezení tahu) & $\sigma \leq 0,6 f_{ck}(t) = -16,8$ MPa (omezení tlaku)
	dolní	-7,6	-7,9	-8,1	-8,9	-9,8	-11,5	-13,6	-10,2	-5,7	

17. VÝPOČET ZTRÁT NAPĚTÍ V PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽI

Počáteční napětí ve výztuži vyvozené předpínací pistolí při předpínání: $\sigma_{p0} =$ **1 133 333 333 [Pa]**
 $\sigma_{p,max,skut} =$

1) KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY

1) ztráta třením

→ napínáme před betonáží: $\Delta\sigma_{p\mu} =$ **0 [Pa]**

2) ztráta prokluzem

prokluz v kotvě: $w =$ **0,006 [m]**

celková délka předpínacího zařízení: $L_p = 2 \cdot (L_{\text{žB}} + 0,5 + 2) =$ **52,900 [m]**

$\Delta\sigma_{pw} = -E_p \cdot (w/L_p) =$ **-22 117 202 [Pa]**

3) ztráta postupným napínáním

$\Delta\sigma_{pep} =$ **0 [Pa]**

4) ztráta změnou vzdálenosti opěr

$L_a = 2 \cdot (L_{\text{žB}} + 2) =$ **51,900 [m]**

od 1 lana: $\Delta L_a =$ **0,004 [m]**

počet lan: $m =$ **9 [ks]**

$$\Delta\sigma_{pa} = -E_p \cdot \frac{\Delta L_a \cdot (m-1)}{L_a \cdot (2 \cdot m)} = \mathbf{-6\,679\,512 \text{ [Pa]}}$$

5) ztráta relaxací

- uvažujeme 2. třídu relaxačního chování (lana s nízkou relaxací)

- předpokládáme dobu podržení počátečního napětí: $t_{\text{cor}} = 5 \text{ min} =$ **0,0833 [hod]**

a) korekce podržením napětí po dobu t_{cor} :

Počáteční napětí ve výztuži vyvozené předpínací pistolí při předpínání: $\sigma_{p0} =$ **1 133 333 333 [Pa]**
 $\sigma_{pi} =$

součinitel: $\mu = \sigma_{pi} / f_{pk} =$ **0,6403 [-]**

ztráta relaxací za 1000 hodin při průměrné teplotě 20°C: $\rho_{1000} =$ **2,5 [%]**

pro t_{cor} :

$$\Delta\sigma_{pr}^{cor} = -\sigma_{pi} \cdot 0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1\mu} \cdot \left(\frac{t_{cor}}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} = \mathbf{-503\,392 \text{ [Pa]}}$$

b) interval (t_{cor} , 1 den):

- relaxace se během tepelného ošetřování betonu zrychluje při současném zvyšování teploty předpínací výztuže

$$t_{eq} = \frac{1,14 \cdot T_{max} - 20}{T_{max} - 20} \cdot \Sigma (T_{\Delta ti} - 20) \Delta t_i$$

teplota v časovém intervalu Δt_i : $T(\Delta t_i)$ [$^{\circ}\text{C}$]

maximální teplota v průběhu ošetřování: T_{max} [$^{\circ}\text{C}$]

$$K_i = \frac{1,14 \cdot T_{max} - 20}{T_{max} - 20} \cdot (T_{\Delta ti} - 20) \Delta t_i$$

čas [hod]	Δt_i [dny]	čas [dny]	$T(\Delta t_i)$ [$^{\circ}\text{C}$]	T_{max} [$^{\circ}\text{C}$]	$(T_{\Delta ti} - 20) \cdot \Delta t$ [$^{\circ}\text{C}$]	K_i	t_{eq} [dny]
0	0	0		65			0
2	0,0833	0,0833	15		-0,416666667	0	0
1	0,0417	0,1250	40		0,8333	0,8333	6,7348
1	0,0417	0,1667	60		1,6667	1,6667	13,4696
16	0,6667	0,8333	65		30,0000	30,0000	242,4527
1	0,0417	0,8750	50		1,2500	1,2500	10,1022
1	0,0417	0,9167	40		0,8333	0,8333	6,7348
1	0,0417	0,9583	30		0,4167	0,4167	3,3674
1	0,0417	1	15		-0,208333333	0	0
$t_{eq} =$							282,86 [dny]
$t_{eq} =$							6 788,6 [hod]

ekvivalentní doba: $t_{eq} =$ 6 788,6 [hod]

... zohledňující účinek tepelného ošetřování na ztrátu napětí (relaxací) v předpínací výztuži

1den: $t_a =$ 24 [hod]

zvětšená doba po napnutí: $t_a^* = t_a + t_{eq} =$ 6812,6 [hod]

upravený interval $\rightarrow (t_i, t_{i+1}) = (t_{cor}, t_a^*)$ (5min; 6812,6 hod)

napětí v předpínací výztuži bezprostředně po t_i : $\sigma_{pi}^+ = \sigma_{p0} + \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pa} =$ **1 104 536 619 [Pa]**

součet veškerých ztrát za (0, 5 min): $\Sigma \Delta\sigma_{pr,j} = \Delta\sigma_{pr}^{cor} =$ **-503 392 [Pa]**

nové "počáteční" napětí pro výpočet kapacity relaxace: $\sigma_{pi}^+ - \Sigma \Delta\sigma_{pr,j} =$ 1 105 040 011 [Pa]

součinitel: $\mu = (\sigma_{pi}^+ - \Sigma \Delta\sigma_{pr,j}) / f_{pk} =$ 0,624 [-]

rovnice:

$$\Delta\sigma_{pr,j} = -0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t_e}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} \cdot 10^{-5} \cdot \{ \sigma_{pi}^+ - \Sigma \Delta\sigma_{pr,j} \} \Rightarrow$$

$$\text{ekvivalentní čas:} \quad \Rightarrow t_e = \sqrt[0,75(1-\mu)]{\frac{\Delta\sigma_{pr,j} \cdot 1000^{0,75(1-\mu)}}{-0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1\mu} \cdot 10^{-5} \cdot \{\sigma_{pi}^+ - \Sigma\Delta\sigma_{pr,j}\}}} \quad 0,228 \text{ [hod]}$$

$$\text{stanovení ztráty v intervalu: } \Delta t_i = t_{i+1} - t_i = t_a^* - t_{cor} = 6812,56 \text{ [hod]}$$

$$\Delta\sigma_{pr,i} = -0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1\mu} \cdot \left(\frac{t_e + \Delta t_i}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} \cdot \{\sigma_{pi}^+ - \Sigma\Delta\sigma_{pr,j}\} - \Sigma\Delta\sigma_{pr,j} = -8 \ 680 \ 144 \text{ [Pa]}$$

6) ztráta rozdílem teplot opěrného zařízení a výztuže

$$\text{teplota opěrného zařízení: } T_A = 50 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\text{teplota výztuže: } T_P = 70 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\text{součinitel teplotní roztažnosti opěrného zařízení: } \alpha_A = 1,0\text{E-}05 \text{ [-]}$$

$$\text{součinitel teplotní roztažnosti výztuže: } \alpha_P = 1,0\text{E-}05 \text{ [-]}$$

$$\text{základní teplota: } T_0 = 15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\text{délka dráhy: } l_A = 51,900 \text{ [m]}$$

$$\text{délka výztuže: } l_P = 52,900 \text{ [m]}$$

$$\Delta\sigma_{pT} = E_p \cdot \frac{\alpha_A \cdot l_A \cdot (T_A - T_0) - \alpha_P \cdot l_P \cdot (T_P - T_0)}{l_P} = -40 \ 290 \ 170 \text{ [Pa]}$$

7) okamžité pružné přetvoření od předpínací síly P

$$\text{ZTRÁTY bezprostředně před vnesením předpětí do betonu: } \Sigma\Delta\sigma_p = \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pa} + \Delta\sigma_{pr,i} + \Delta\sigma_{pT} = -77 \ 767 \ 028 \text{ [Pa]}$$

$$\text{CELKOVÉ NAPĚTÍ bezprostředně před vnesením předpětí do betonu: } \sigma_p = \sigma_{p0} + \Sigma\Delta\sigma_p = 1 \ 055 \ 566 \ 305 \text{ [Pa]}$$

1) ztráta předpětí okamžitým pružným přetvořením od předpínací síly P

$$\text{plocha předpínací výztuže: } A_p = 1,35\text{E-}03 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{modul pružnosti předpínací výztuže: } E_p = 195 \ 000 \ 000 \ 000 \text{ [Pa]}$$

$$\text{průměrná pevnost betonu v tlaku: } f_{cm} = 48 \ 000 \ 000 \text{ [Pa]}$$

$$\text{v čase vnesení předpětí: } f_{cm}(t) = 75 \% \text{ pevnosti} = 0,75 \cdot f_{cm} = 36 \ 000 \ 000 \text{ [Pa]}$$

$$\text{průměrný modul pružnosti betonu: } E_{cm} = 35 \ 000 \ 000 \ 000 \text{ [Pa]}$$

$$\text{průměrný modul pružnosti betonu v čase t:}$$

$$E_{cm}(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}}\right)^{0,3} \cdot E_{cm} = 32 \ 106 \ 016 \ 412 \text{ [Pa]}$$

<u>UPROSTŘED ROZPĚTÍ: řez a:</u>		<u>řez b:</u>	<u>řez c:</u>	<u>řez d:</u>	<u>řez e:</u>	<u>řez f:</u>	<u>řez g:</u>	<u>řez h:</u>	<u>řez i (v podpoře):</u>	
plocha betonového průřezu: $A_c =$	0,4188	0,4000	0,3813	0,3625	0,3438	0,3250	0,3063	0,2875	0,2688	[m ²]
moment setrvačnosti: $I_c =$	0,08759	0,07559	0,06472	0,05491	0,04612	0,03830	0,03139	0,02534	0,02010	[m ⁴]
excentricita výztuže: $e_p =$	0,719	0,681	0,642	0,604	0,565	0,526	0,487	0,243	0,000	[m]
$\nu = \frac{A_p \cdot E_p}{A_c \cdot E_{cm}(t)} =$	0,0180	0,0188	0,0197	0,0207	0,0219	0,0231	0,0246	0,0262	0,0280	[-]
$\psi = \nu \cdot \left(1 + \frac{A_c \cdot e_p^2}{I_c} \right) =$	0,0624	0,0649	0,0676	0,0707	0,0739	0,0775	0,0814	0,0437	0,0280	[-]
celkové napětí bezprostředně před vnesením předpětí do betonu: $\sigma_p =$	1 055 566 305	[Pa]								
$\Delta\sigma_{pe} = -\sigma_p \cdot \psi / (1+\psi) =$	-61 968 563	-64 375 784	-66 864 935	-69 720 239	-72 670 895	-75 901 517	-79 438 036	-44 183 631	-28 732 359	[Pa]
MAXIMÁLNÍ ztráta předpětí okamžitým pružným přetvořením: $\Delta\sigma_{pe} =$										
<u>II) změna předpětí okamžitým pružným přetvořením při předpínání od účinku vlastní tíhy \equiv přírůstek napětí</u>										
moment od vlastní tíhy: $M_{E0k} =$	673 400	651 300	624 600	559 300	491 500	386 600	282 400	145 200	0	[Nm]
vzdálenost těžiště lan od dolního okraje: $d_l =$	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,305	0,509	[m]
vzdálenost těžiště lan od horního okraje: $d =$	1,400	1,325	1,250	1,175	1,100	1,025	0,950	0,670	0,391	[m]
excentricita lan (skutečná): $e_p =$	0,719	0,681	0,642	0,604	0,565	0,526	0,487	0,243	0,000	[m]
plocha lan: $A_p =$	1,35E-03									[m ²]
součinitel: $\alpha = E_p / E_{cm} =$	5,571									[-]
plocha ideálního průřezu: $A_i = A_c + \alpha \cdot A_p =$	0,4263	0,4075	0,3888	0,3700	0,3513	0,3325	0,3138	0,2950	0,2763	[m ²]

vzdálenost těžiště ideálního průřezu od těžiště betonového průřezu: $t_i = \frac{\alpha \cdot A_p \cdot e_p}{A_i} =$	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,006	0,000	[m]
excentricita lan ideálního průřezu: $e_{pi} = e_p - t_i =$	0,706	0,668	0,630	0,592	0,553	0,514	0,475	0,237	0,000	[m]
$z_1 =$	0,819	0,781	0,742	0,704	0,665	0,626	0,587	0,548	0,509	[m]
$z_2 =$	0,681	0,644	0,608	0,571	0,535	0,499	0,463	0,427	0,391	[m]
vzdálenost těžiště ideálního průřezu od dolního okraje: $z_{1,i} = z_1 - t_i =$	0,806	0,768	0,730	0,692	0,653	0,614	0,575	0,542	0,509	[m]
vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje: $z_{2,i} = z_2 + t_i =$	0,694	0,657	0,620	0,583	0,547	0,511	0,475	0,433	0,391	[m]
moment setrvačnosti ideálního průřezu: $I_i = I_c + A_c \cdot t_i^2 + \alpha \cdot A_p \cdot e_{pi}^2 =$	0,09142	0,07902	0,06776	0,05760	0,04847	0,04033	0,03313	0,02578	0,02010	[m ⁴]
II) změna předpětí okamžitým pružným přetvořením při předpínání od účinku vlastní tíhy: $\Delta\sigma_{pe,g0} = \frac{M_{E0k}}{I_i} \cdot e_{pi} \cdot \frac{E_p}{E_{cm}(t)} =$	31 607 599	33 463 562	35 250 060	34 898 760	34 051 309	29 928 778	24 606 182	8 102 015	0	[Pa]
rekapitulace: I) ztráta předpětí okamžitým pružným přetvořením: $\Delta\sigma_{pe} =$	-61 968 563	-64 375 784	-66 864 935	-69 720 239	-72 670 895	-75 901 517	-79 438 036	-44 183 631	-28 732 359	[Pa]
$\Delta\sigma_{pe} + \Delta\sigma_{pe,g0} =$	-30 360 964	-30 912 222	-31 614 875	-34 821 479	-38 619 585	-45 972 739	-54 831 854	-36 081 615	-28 732 359	[Pa]
<u>CELKOVÁ ztráta napětí okamžitým pružným přetvořením betonu:</u>	-30 360 964	-30 912 222	-31 614 875	-34 821 479	-38 619 585	-45 972 739	<u>-54 831</u> <u>854</u>	-36 081 615	-28 732 359	[Pa]
OKAMŽITÉ ZTRÁTY CELKEM:										
$\Sigma\Delta\sigma_p = \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pa} + \Delta\sigma_{pr,i} + \Delta\sigma_{pT} + (\Delta\sigma_{pe} + \Delta\sigma_{pe,g0}) =$	-108 127 992	-108 679 251	-109 381 904	-112 588 507	-116 386 614	-123 739 767	-132 598 883	-113 848 644	-106 499 388	[Pa]
<u>posouzení napětí ve výztuži v okamžiku bezprostředně po vnesení předpětí:</u>										
$\sigma_{pa} = \sigma_{p0} + \Sigma\Delta\sigma_p =$	1 025 205 341	1 024 654 083	1 023 951 430	1 020 744 826	1 016 946 720	1 009 593 566	1 000 734 451	1 019 484 689	1 026 833 946	[Pa]
max. napětí po vnesení předpětí do betonu: $\sigma_{p,0,max} = \min \{0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}\} =$	1 292 000 000									[Pa]

podmínka: $\sigma_{pa} < \sigma_{pm0}(x) = \sigma_{p,0,max}$	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	
síla ve výztuži těsně po vnesení předpětí: $P_{ma} = \sigma_{pa} \cdot A_p =$	1 384 027	1 383 283	1 382 334	1 378 006	1 372 878	1 362 951	1 350 992	1 376 304	1 386 226	[N]
<u>I) DLOUHODOBÉ ZTRÁTY</u>										
<u>1) změna předpětí okamžitým pružným přetvořením betonu:</u>										
$\Delta\sigma_{pegl} = \frac{M_{kvaz} - M_{g,0,k}}{I_i} \cdot e_{pi} \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} =$	16 619 734	17 556 411	18 854 551	18 630 931	18 595 292	16 787 769	13 579 735	4 258 613	0	[Pa]
změna předpínací síly: $\Delta P_{pegl} = \Delta\sigma_{pegl} \cdot A_p =$	22 437	23 701	25 454	25 152	25 104	22 663	18 333	5 749	0	[N]
<u>2) ztráta relaxací $\Delta\sigma_{pr}$:</u>										
$t_i =$	6812,6	[hod]								
$t_{i+1} = (50 \text{ let}) =$	438 000	[hod]								
tahové napětí v předpínací výztuži bezprostředně po t_i : $\sigma_{pi}^+ = \sigma_{pa} + \Delta\sigma_{pegl} =$	1 041 825 075	1 042 210 494	1 042 805 981	1 039 375 757	1 035 542 011	1 026 381 335	1 014 314 186	1 023 743 302	1 026 833 946	[Pa]
veškeré ztráty relaxací již proběhlé: $\Sigma\Delta\sigma_{pr,i} = \Delta\sigma_{pr,i} + \Delta\sigma_{pr,cor} =$	-9 183 536	[Pa]								
nové napětí pro výpočet určení kapacity relaxace: $\sigma_{pi}^+ - \Sigma\Delta\sigma_{pr,j} =$	1 051 008 612	1 051 394 030	1 051 989 517	1 048 559 293	1 044 725 547	1 035 564 872	1 023 497 722	1 032 926 838	1 036 017 482	[Pa]
součinitel: $\mu = (\sigma_{pi}^+ - \Sigma\Delta\sigma_{pr,j}) / f_{pk} =$	0,594	0,594	0,594	0,592	0,590	0,585	0,578	0,584	0,585	[-]
$\Sigma\Delta\sigma_{pr,j} = -0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1\mu} \cdot \left(\frac{t_e}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} \cdot \{\sigma_{pi}^+ - \Sigma\Delta\sigma_{pr,j}\} \Rightarrow$										
ekvivalentní čas: $\Rightarrow t_e = \sqrt[0,75(1-\mu)]{\frac{\Sigma\Delta\sigma_{pr,j} \cdot 1000^{0,75(1-\mu)}}{-0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1\mu} \cdot 10^{-5} \cdot \{\sigma_{pi}^+ - \Sigma\Delta\sigma_{pr,j}\}}}$	17 304	17 198	17 034	17 995	19 123	22 059	26 494	22 971	21 906	[hod]
interval: $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i =$	431 187,4	[hod]								

$\Delta\sigma_{pr,i} = -0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t_e + \Delta t_i}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} \cdot \left\{ \sigma_{pi}^+ - \Sigma \Delta\sigma_{pr,j} \right\} - \Sigma \Delta\sigma_{pr,j} =$	-15 572 033	-15 603 705	-15 652 734	-15 371 875	-15 062 448	-14 341 980	-13 432 940	-14 139 397	-14 376 957	[Pa]
<u>3) ztráta smršťování:</u>	<u>v L/2:</u> <u>řez a:</u>	<u>řez b:</u>	<u>řez c:</u>	<u>řez d:</u>	<u>řez e:</u>	<u>řez f:</u>	<u>řez g:</u>	<u>řez h:</u>	<u>řez i (v</u> <u>podpoře):</u>	
čas t = 50 let =	18 250 [dní]									
náhradní stáří betonu na začátku vysychání (konec ošetřování): čas t _s =	4,82 [dní]									
plocha betonu: A _c =	0,4188	0,4000	0,3813	0,3625	0,3438	0,3250	0,3063	0,2875	0,2688	[m ²]
obvod průřezu vystavený vysychání: u =	3,92	3,77	3,62	3,47	3,32	3,17	3,02	2,87	2,72	[m]
náhradní rozměr průřezu: h ₀ = 2 · A _c / u =	213,7	212,2	210,7	208,9	207,1	205,0	202,8	200,3	197,6	mm
součinitel: k _h (získá se na h ₀) =	0,8363	0,8378	0,8393	0,8411	0,8429	0,8450	0,8472	0,8497	0,8535	[-]
časová funkce vývoje smršťování: $\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt[3]{h_0^3}}$	0,9932	0,9933	0,9933	0,9934	0,9935	0,9936	0,9937	0,9938	0,9939	[-]

relativní vlhkost okolního prostředí: RH =	50 [%]									
RH ₀ =	100 [%]									
$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] =$	1,3563 [-]									
součinitel (cement třídy N): $\alpha_{ds1} =$	4 [-]									
součinitel (cement třídy N): $\alpha_{ds2} =$	0,12 [-]									
průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku: $f_{cm} =$	48 000 000 [Pa]									
$f_{cm0} =$	10 000 000 [Pa]									
základní poměrné přetvoření od smršťování vysycháním: $\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} =$	4,2771 E-04 [-]									
součinitel autogenního smršťování: $\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0,2t^{0,5}}$	1,0 [-]									
poměrné přetvoření od autogenního smršťování [f_{ck} zadávat v MPa]: $\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} =$	7,5000 E-05 [-]									
poměrné přetvoření od autogenního smršťování: $\varepsilon_{ca}(t) = \varepsilon_{ca}(\infty) \cdot \beta_{as} =$	7,5000 E-05 [-]									
poměrné přetvoření od vysychání: $\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, ts) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} =$	3,5527 E-04	3,5592 E-04	3,5660 E-04	3,5737 E-04	3,5817 E-04	3,5908 E-04	3,6005 E-04	3,6116 E-04	3,6285 E-04	-
celkové poměrné přetvoření od smršťování: $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} =$	4,3027 E-04	4,3092 E-04	4,3160 E-04	4,3237 E-04	4,3317 E-04	4,3408 E-04	4,3505 E-04	4,3616 E-04	4,3785 E-04	-
poměrné přetvoření od smršťování: $\Delta\sigma_{ps} = \varepsilon_{cs} \cdot E_p =$	-83 903 064	-84 029 857	-84 162 400	-84 311 368	-84 468 609	-84 646 166	-84 835 656	-85 050 956	-85 381 196	Pa
4) ztráta dotvarováním betonu $\Delta\sigma_{pc}$										

součinitel (f_{cm} v MPa): $\alpha_1 = (35/f_{cm})^{0,7} =$	0,8016	[-]								
součinitel (f_{cm} v MPa): $\alpha_2 = (35/f_{cm})^{0,2} =$	0,9388	[-]								
součinitel (f_{cm} v MPa): $\alpha_3 = (35/f_{cm})^{0,5} =$	0,8539	[-]								
součinitel, vystihující vliv pevnosti betonu na základní součinitel dotvarování (f_{cm} v MPa): $\beta(f_{cm}) = 16,8 / \sqrt{f_{cm}} =$	0,350	[-]								
součinitel vystihující vliv relativní vlhkosti na základní součinitel dotvarování: $\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \right] =$	1,5682	1,5696	1,5712	1,5729	1,5748	1,5769	1,5792	1,5818	1,5848	-
$t_0 =$	9,86	[dní]								
součinitel, vystihující vliv stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení na základní součinitel dotvarování: $\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} =$	0,595	[-]								
základní součinitel dotvarování: $\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) =$	0,327	0,327	0,327	0,328	0,328	0,328	0,329	0,329	0,330	-
součinitel závislý na relativní vlhkosti (RH v %) a na náhradním rozměru prvku (h_0 v mm): $\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 =$	534,02	531,81	529,50	526,91	524,17	521,08	517,78	514,03	509,98	-
podmínka: $\beta_H \leq 1500 \cdot \alpha_3 =$	1280,87	[-]								
	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	→ ok	
stáří betonu v uvažovaném okamžiku: $t =$	18 250	[dní]								
stáří betonu v uvažovaném okamžiku: $t_0 =$	9,9	[dní]								
součinitel časového průběhu dotvarování po zatížení: pro (t, t_0): $\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} =$	0,9914	0,9914	0,9915	0,9915	0,9915	0,9916	0,9916	0,9917	0,9918	-

součinitel dotvarování: pro $\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) =$

	0,324	0,324	0,324	0,325	0,325	0,326	0,326	0,327	0,327	-
Napětí v betonu vyvozené vl. tíhou, počátečním předpětím a dalšími kvazistálými zatíženími: $\sigma_{c,QP} = -\frac{P_{ma} + \Delta P_{egl}}{A_c} - \frac{(P_{ma} + \Delta P_{egl}) \cdot e_p^2}{I_c} + \frac{M_{kvaz.}}{I_c} \cdot e_p =$	-2 964 717	-2 926 083	-2 848 838	-3 460 555	-4 136 821	-5 716 912	-7 799 124	-5 837 315	-5 157 090	Pa
Ztráta dotvarováním: $\Delta \sigma_{pc} = \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP} =$	-5 348 549	-5 283 924	-5 149 648	-6 262 592	-7 495 605	-10 373 093	-14 172 549	-10 626 006	-9 405 670	Pa
Celková ztráta za interval ($t_{a,\infty}$) $\Delta \sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_p + 0,8 \cdot \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_c} \cdot e_p^2\right) \cdot [1 + 0,8 \cdot \varphi(t, t_0)]} =$	-94 304 106	-94 100 406	-93 840 640	-94 455 606	-95 148 987	-97 017 821	-99 540 192	-101 400 760	-102 663 446	Pa
Napětí ve výztuži po 50 letech:										
A) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách včetně ztrát okamžitým pružným přetvoř. od dlouhodob. zatížení: $\sigma_{p,\infty} = \sigma_{pa} + \Delta \sigma_{pegl} + \Delta \sigma_{p,c+s+r} =$	947 520 970	948 110 088	948 965 341	944 920 151	940 393 024	929 363 515	914 773 994	922 342 543	924 170 500	Pa
Skutečná ztráta napětí: $[1 - \sigma_{p,\infty} / \sigma_{p,max,skut}] \cdot 100 =$	16	16	16	17	17	18	19	19	18	%
Původní odhad ztráty předpětí:	15	[%]								
Odhad maximálního napětí při předpínání: $\sigma_{p,max,skut} = P_{m,0,k} / A_{p,skut} =$	1 133 333 333	[Pa]								
Odhad napětí v čase $t=\infty$: $\sigma_{p,\infty,odhad} = \sigma_{p,max,skut} \cdot (0,85) =$	963 333 333	[Pa]								
B) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách bez ztrát okamžitým pružným přetvořením (ideál. průřez): $\sigma_{p,\infty} = \sigma_{pa} + \Delta \sigma_{p,c+s+r} - \Delta \sigma_{pe} - \Delta \sigma_{peg0} =$	961 262 199	961 465 899	961 725 665	961 110 699	960 417 318	958 548 484	956 026 113	954 165 545	952 902 859	Pa
Síla ve výztuži po 50 letech:										
A) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách včetně ztrát okamžitým pružným přetvořením od dlouhodob. zatížení: $P_{m,\infty} = \sigma_{p,\infty} \cdot A_p =$	1 279 153	1 279 949	1 281 103	1 275 642	1 269 531	1 254 641	1 234 945	1 245 162	1 247 630	N

$P_{m\infty} = "? \%" \text{ z } P_{m,0,k} =$	84	84	84	83	83	82	81	81	82	%
B) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách bez ztrát okamžitým pružným přetvořením (ideál. průřez): $P_{m\infty} = \sigma_{p,\infty} \cdot A_p =$	1 297 704	1 297 979	1 298 330	1 297 499	1 296 563	1 294 040	1 290 635	1 288 123	1 286 419	N
Předpínací síla v čase t_0 (při skutečném předepnutí): $P_{m,0,k} =$	1 530 000	[N]								
Odhad předpínací síly: $P_{\infty,k}$ (ztráty 15 %) =	1 300 500	[N]								
<u>Přepočítání s novou silou $P_{m\infty}$:</u>										
<u>t_∞ ČASTÁ KOMBINACE:</u>										
Stav dekomprese - podmínka (DOLNÍ VLÁKNA): $\sigma_1 = \frac{M_{Ek,\psi_1}}{w_1} - \frac{P_{m\infty}}{A_c} - \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{w_1} =$	-804 347	-606 026	-386 421	-887 945	-1 753 164	-3 447 584	-6 317 176	-5 182 407	-4 641 481	Pa
(HORNÍ VLÁKNA): $\sigma_2 = -\frac{M_{Ek,\psi_1}}{w_2} - \frac{P_{m\infty}}{A_c} + \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{w_2} =$	-4 924 440	-5 338 714	-5 796 262	-5 653 019	-5 252 975	-4 189 525	-2 229 222	-3 667 586	-4 641 481	Pa
<u>t_∞ CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE:</u>										
(DOLNÍ VLÁKNA): $\sigma_1 = +\frac{M_{char}}{w_1} - \frac{P_{m\infty}}{A_c} - \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{w_1} =$	3 177 593	3 735 388	4 327 110	3 705 896	2 955 846	574 834	-2 594 199	-3 318 476	-4 641 481	Pa
(HORNÍ VLÁKNA): $\sigma_2 = -\frac{M_{char}}{w_2} - \frac{P_{m\infty}}{A_c} + \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{w_2} =$	-8 234 095	-8 918 575	-9 658 563	-9 378 989	-9 041 427	-7 395 893	-5 165 744	-5 119 955	-4 641 481	Pa

t_∞ KVAZISTÁLÁ KOMBINACE:

(DOLNÍ VLÁKNA): $\sigma_1 = + \frac{M_{kvaz}}{w_1} - \frac{P_{m\infty}}{A_c} - \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{w_1} =$	-1 749 801	-1 627 839	-1 452 727	-2 053 393	-2 729 282	-4 464 221	-6 820 180	-5 934 899	-4 641 481	Pa
--	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	----

(HORNÍ VLÁKNA): $\sigma_2 = - \frac{M_{kvaz}}{w_2} - \frac{P_{m\infty}}{A_c} + \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{w_2} =$	-4 138 610	-4 496 144	-4 922 523	-4 707 747	-4 467 677	-3 379 139	-1 832 474	-3 081 246	-4 641 481	Pa
--	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	----

komb.	PŘEPOČÍTANÁ NAPĚTÍ [v MPa] (se skutečnou silou v t = ∞)										podmínky:
		řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	řez f	řez g	řez h	řez i	
častá (t _∞)	horní	-4,9	-5,3	-5,8	-5,7	-5,3	-4,2	-2,2	-3,7	-4,6	σ ≤ 0 (vyloučení tahu) & σ ≤ 0,6 f _{ck} = -24 MPa (omezení tlaku)
	dolní	-0,8	-0,6	-0,4	-0,9	-1,8	-3,4	-6,3	-5,2	-4,6	
charak. (t _∞)	horní	-8,2	-8,9	-9,7	-9,4	-9,0	-7,4	-5,2	-5,1	-4,6	σ ≤ 0,6 f _{ck} = -24 MPa (omezení tlaku)
	dolní	3,2	3,7	4,3	3,7	3,0	0,6	-2,6	-3,3	-4,6	
kvazistálá (t _∞)	horní	-4,1	-4,5	-4,9	-4,7	-4,5	-3,4	-1,8	-3,1	-4,6	σ ≤ 0,45 f _{ck} = -18 MPa (omezení tlaku)
	dolní	-1,7	-1,6	-1,5	-2,1	-2,7	-4,5	-6,8	-5,9	-4,6	

pevnost betonu při napínání (tzn. při přestřihnutí lan):

průměrná pevnost betonu v tlaku: f_{cm} =

48 000 000 [Pa]

čas: t =	5 [dní]								
součinitel pro normální a rychle tuhnoucí cementy: s =	0,2 [-]								
součinitel:	$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\} =$ 0,761 [-]								
$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} =$	36 521 993 [Pa]								
$f_{cm}(t) \geq 0,75 \cdot f_{cm} =$	76,1 [%]								
	<u>→ ok</u>								

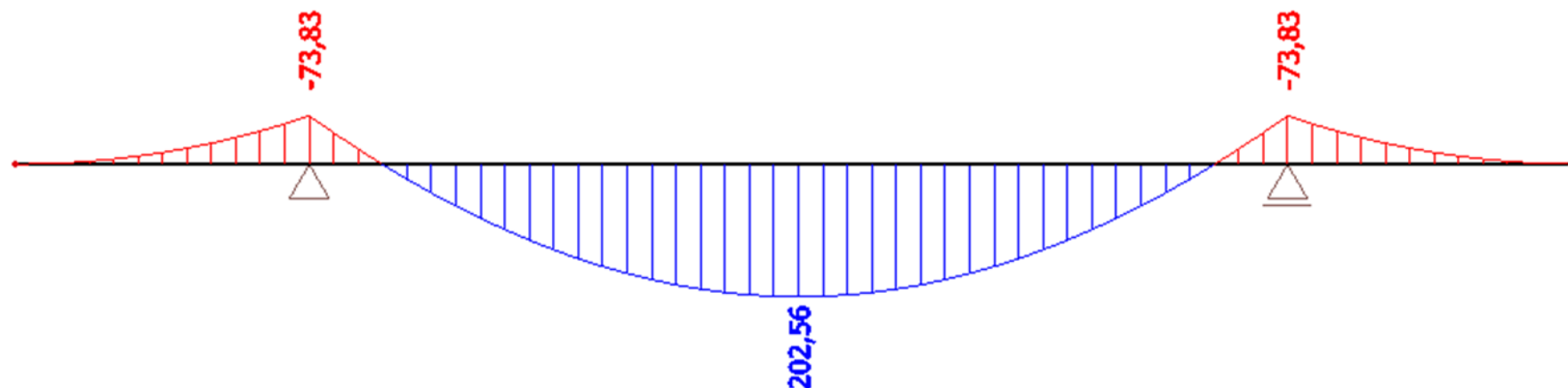
18. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - OHYB

MSÚ - OHYB, KOMBINACE MSÚ (6.10 A & B), V ČASE $t = \infty$										
	v L/2: řez a:	řez b:	řez c:	řez d:	řez e:	řez f:	řez g:	řez h:	řez i (v podpoře):	
moment od kombinace 6.10 A,B: $M_{Ed} =$	2 006 740	1 943 100	1 882 600	1 690 600	1 494 900	1 178 700	862 000	438 300	0	Nm
předpínací síla: $P_{\infty} =$	1 279 153	1 279 949	1 281 103	1 275 642	1 269 531	1 254 641	1 234 945	1 245 162	1 247 630	N
excentricita: $e_p =$	0,719	0,681	0,642	0,604	0,565	0,526	0,487	0,243	0,000	m
$M_{TOT} = M_{Ed} - P_{\infty} \cdot e_p =$	1 086 837	1 071 455	1 060 132	920 112	777 615	518 759	260 582	135 726	0	Nm
$N_{TOT} = P_{\infty} =$	1 279 153	1 279 949	1 281 103	1 275 642	1 269 531	1 254 641	1 234 945	1 245 162	1 247 630	N
základní napětí v předpínací výztuži: $\sigma_p^0 = \sigma_{p,\infty} =$	947 520 970	948 110 088	948 965 341	944 920 151	940 393 024	929 363 515	914 773 994	922 342 543	924 170 500	Pa
Modul pružnosti předpínací výztuže: $E_p =$	195 000 000 000	[Pa]								
přetvoření předpínací výztuže: $\varepsilon_p^0 = \sigma_p^0 / E_p =$	4,86E-03	4,86E-03	4,87E-03	4,85E-03	4,82E-03	4,77E-03	4,69E-03	4,73E-03	4,74E-03	-
Tahová pevnost předp. výztuže (návrhová): $f_{pd} =$	1 539 130 000	[Pa]								
mezní přetvoření předpínací výztuže: $\varepsilon_{pd} = f_{pd} / E_p =$	7,89E-03	[-]								
podmínka: $\varepsilon_p^0 < \varepsilon_{pd}$	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	
<u>PŘEDPOKLAD: MAXIMÁLNÍ ZMĚNA NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI:</u>										
$\Delta\sigma_{pi} = f_{pd} - \sigma_p^0 =$	591 609 030	591 019 912	590 164 659	594 209 849	598 736 976	609 766 485	624 356 006	616 787 457	614 959 500	[Pa]
Celková plocha předpínací výztuže: $A_p =$	1,35E-03	[m²]								

$\Delta F_p = \Delta \sigma_p \cdot A_p =$	798 672	797 877	796 722	802 183	808 295	823 185	842 881	832 663	830 195	[N]
PODMÍNKA ROVNOVÁHY: $N_{TOT} = F_c - \Delta F_p$										
síla v tlačeném betonu: $F_c = \Delta F_p + N_{TOT} =$	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	[N]
tlačemná plocha betonu: $A_{cc} = F_c / f_{cd} =$	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	[m ²]
šířka tlačeného průřezu: $b =$	1,500	[m]								
$x = A_{cc} / (\lambda \cdot b) =$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	[m]
<u>OVĚŘENÍ PŘEDPOKLADU MAXIMÁLNÍ ZMĚNY NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI:</u>										
$d =$	1,400	1,325	1,250	1,175	1,100	1,025	0,950	0,670	0,391	[m]
$\Delta \varepsilon_{pi} = (\varepsilon_{cu3} / x) \cdot (d - x) =$	7,19E-02	6,79E-02	6,39E-02	5,98E-02	5,58E-02	5,17E-02	4,77E-02	3,26E-02	1,76E-02	[-]
$\varepsilon_p^0 + \Delta \varepsilon_{pi} =$	7,68E-02	7,28E-02	6,87E-02	6,47E-02	6,06E-02	5,65E-02	5,24E-02	3,73E-02	2,23E-02	[-]
mezní přetvoření předpínací výztuže: $\varepsilon_{pd} =$	7,89E-03	[-]								
podmínka: $\varepsilon_p^0 + \Delta \varepsilon_{pi} > \varepsilon_{pd}$	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	<u>PLATÍ</u>	
Vzdálenost těžiště od dolního okraje: $z_1 =$	0,819	0,781	0,742	0,704	0,665	0,626	0,587	0,548	0,509	
Vzdálenost těžiště od horního okraje: $z_2 =$	0,681	0,644	0,608	0,571	0,535	0,499	0,463	0,427	0,391	
vzdálenost těžiště tlačeného betonu a těžiště průřezu: $z_c = z_2 - (\lambda \cdot x / 2) =$	0,655	0,618	0,582	0,545	0,509	0,473	0,437	0,401	0,365	[m]
vzdálenost těžiště výztuže a těžiště průřezu: $z_p = d - z_2 =$	0,719	0,681	0,642	0,604	0,565	0,526	0,487	0,243	0,000	[m]
moment na mezi únosnosti: $M_{Rd} = F_c \cdot z_c + \Sigma \Delta F_{pi} \cdot z_{pi} =$	1 935 072	1 827 493	1 720 833	1 616 977	1 514 343	1 415 850	1 318 536	1 035 588	758 449	Nm
M_{TOT} / M_{Rd}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,0	< 1
posouzení: $M_{Rd} > M_{TOT}$:	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
→ NENÍ NUTNÁ VÝZTUŽ NA OHYBOVÝ MOMENT (PRO TOTO STÁDIUM)										

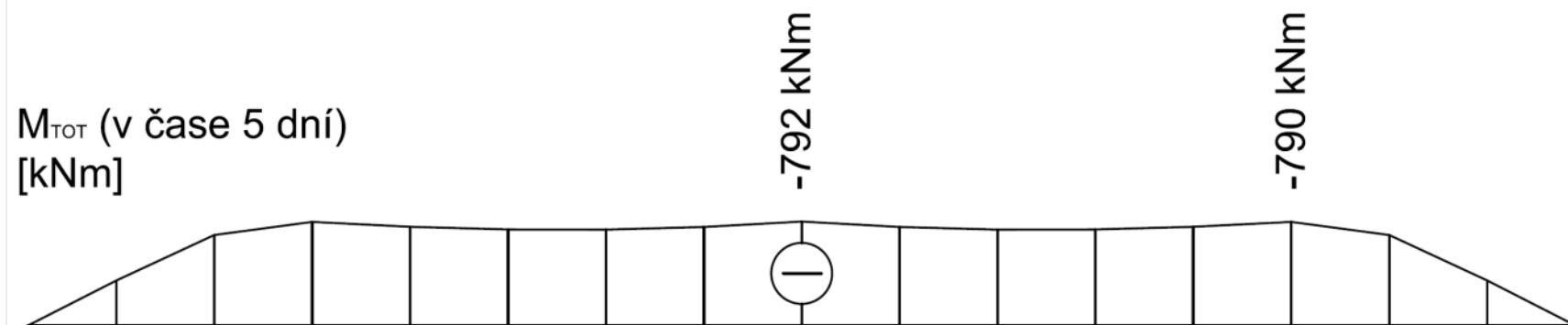
MSÚ - OHYB, V ČASE $t > 5$ DNÍ

Jedná se o případ, kdy bude vazník již zavěšen na montážních závěsech (např. ukládání na skládku).



Obr.40: Průběh M [kNm]

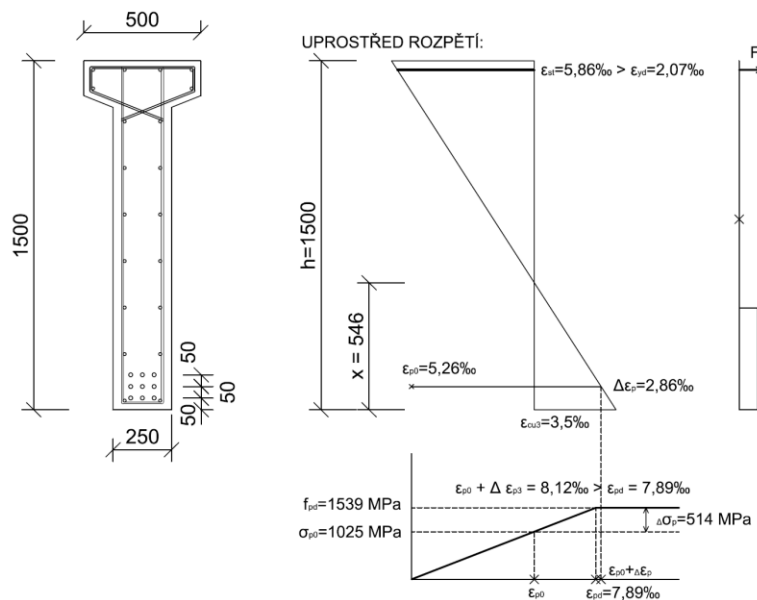
moment od vlastní tíhy: $M_{Ed} =$	202 560	190 790	156 200	99 850	22 820	-73 830	-32 100	-7 850	0	Nm
Celková plocha předpínací výztuže: $A_p =$	1,35E-03	[m ²]								
napětí ve výztuži v okamžiku bezprostředně po vnesení předpětí: $\sigma_{pa} =$	1 025 205 341	1 024 654 083	1 023 951 430	1 020 744 826	1 016 946 720	1 009 593 566	1 000 734 451	1 019 484 689	1 026 833 946	Pa
$P_a = \sigma_{pa} * A_p =$	1 384 027	1 383 283	1 382 334	1 378 006	1 372 878	1 362 951	1 350 992	1 376 304	1 386 226	N
moment od předpětí: $M_p = -P_a * e_p =$	-995 323	-942 016	-887 459	-832 315	-775 676	-716 912	-657 933	-334 442	0	Nm
$M_{TOT} = M_{Ed} + M_p =$	-792 763	-751 226	-731 259	-732 465	-752 856	-790 742	-690 033	-342 292	0	Nm



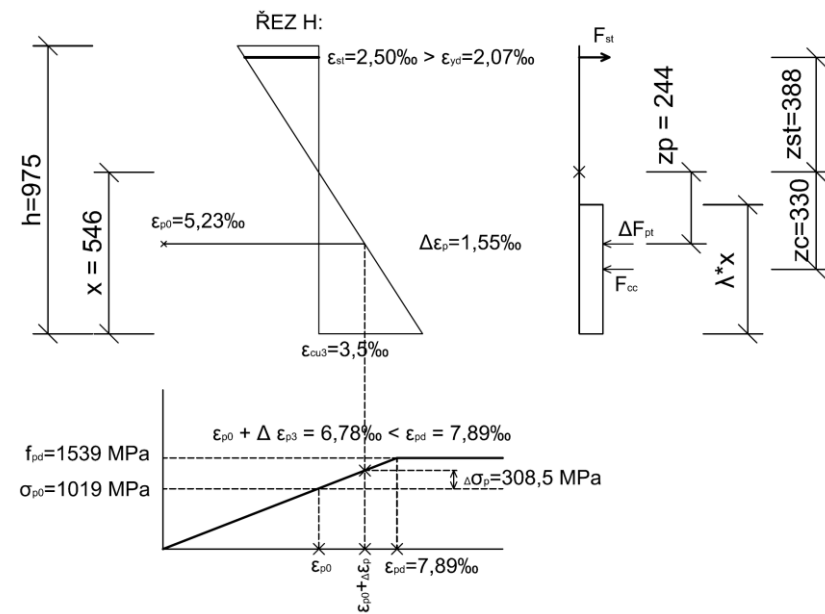
Obr.41: Průběh M_{tot} [kNm]

$N_{TOT} = P_a =$	1 384 027	1 383 283	1 382 334	1 378 006	1 372 878	1 362 951	1 350 992	1 376 304	1 386 226	[N]
základní napětí v předpínací výztuži: $\sigma_p^0 = \sigma_{pa} =$	1 025 205 341	1 024 654 083	1 023 951 430	1 020 744 826	1 016 946 720	1 009 593 566	1 000 734 451	1 019 484 689	1 026 833 946	[Pa]
přetvoření předpínací výztuže: $\varepsilon_p^0 = \sigma_p^0 / E_p =$	5,26E-03	5,25E-03	5,25E-03	5,23E-03	5,22E-03	5,18E-03	5,13E-03	5,23E-03	5,27E-03	[-]
mezní přetvoření předpínací výztuže: $\varepsilon_{pd} = f_{pd} / E_p =$	7,89E-03	[-]								
podmínka: $\varepsilon_p^0 < \varepsilon_{pd}$	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	→ok	
<u>PŘEDPOKLAD: MAXIMÁLNÍ ZMĚNA NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI:</u>										
$\Delta\sigma_{pi} = f_{pd} - \sigma_p^0 =$	513 924 659	514 475 917	515 178 570	518 385 174	522 183 280	529 536 434	538 395 549	519 645 311	512 296 054	[Pa]
$\Delta F_p = \Delta\sigma_p \cdot A_p =$	693 798	694 542	695 491	699 820	704 947	714 874	726 834	701 521	691 600	[N]

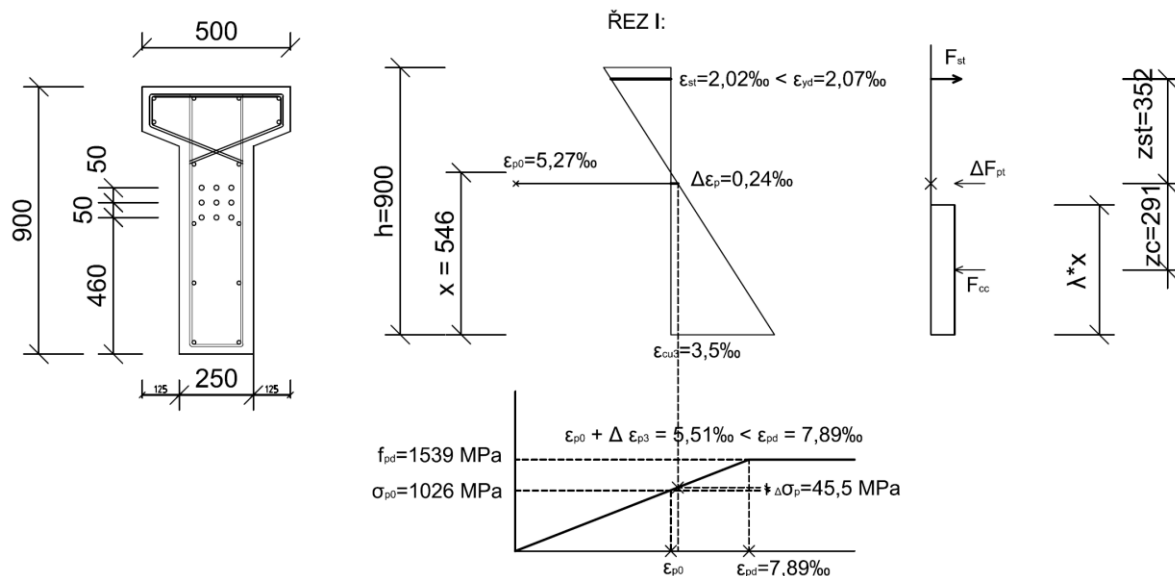
šířka tlačného průřezu (zde jsou tlačeny dolní vlákna!): $b =$	0,250	[m]								
síla v tlačném betonu: $F_c = \Delta F_p + N_{TOT} =$	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	2 077 826	[N]
Průměrná pevnost betonu v tlaku v čase t : $f_{cm}(t) =$	36 521 993	[Pa]								
Charakteristická pevnost betonu v tlaku v čase t : $f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ MPa} =$	28 521 993	[Pa]								
Součinitel spolehlivosti pro beton: $\gamma_c =$	1,5	[-]								
Návrhová pevnost betonu v tlaku v čase t : $f_{cd}(t) = f_{ck}(t) / \gamma_c =$	19 014 662	[Pa]								
tlačená plocha betonu: $A_{cc} = F_c / f_{cd}(t) =$	1,09E-01	1,09E-01	1,09E-01	1,09E-01	1,09E-01	1,09E-01	1,09E-01	1,09E-01	1,09E-01	[m ²]
$x = A_{cc} / (\lambda * b) =$	0,546	0,546	0,546	0,546	0,546	0,546	0,546	0,546	0,546	[m]
<u>OVĚŘENÍ PŘEDPOKLADU MAXIMÁLNÍ ZMĚNY NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI:</u>										
$\Delta \varepsilon_p = (\varepsilon_{cu3} / x) * (x - d_l) =$	2,86E-03	2,86E-03	2,86E-03	2,86E-03	2,86E-03	2,86E-03	2,86E-03	1,55E-03	2,39E-04	[-]
$\varepsilon_p^0 + \Delta \varepsilon_p =$	8,12	8,11	8,11	8,09	8,07	8,04	7,99	6,77	5,51	‰



Obr.42: Využití výztuže uprostřed rozpětí



Obr.43: Využití výztuže v řezu h



Obr.44: Využití výztuže v řezu i

mezní přetvoření předpínací výztuže: $\varepsilon_{pd} =$	7,89E-03	[-]								
podmínka: $\varepsilon_p^0 + \Delta \varepsilon_p > \varepsilon_{pd}$	PLATÍ	PLATÍ	PLATÍ	PLATÍ	PLATÍ	PLATÍ	PLATÍ	NEPLATÍ	NEPLATÍ	
							menší $\Delta \sigma_p =$	308 500 000	45 500 000	[Pa]
							$\Delta F_{pi} = \Delta \sigma_p * A_p =$	416 475	61 425	[N]
							F_c =	1 792 779	1 447 651	[N]
vzdálenost těžiště tlačného betonu a těžiště průřezu: $z_c = z_l - (\lambda * x / 2) =$	0,601	0,562	0,523	0,485	0,446	0,407	0,368	0,329	0,290	[m]
vzdálenost těžiště výztuže a těžiště průřezu: $z_p = e_p =$	0,719	0,681	0,642	0,604	0,565	0,526	0,487	0,243	0,000	[m]
moment na mezi únosnosti: $M_{Rd} = F_c * z_c + \Sigma \Delta F_{pi} * z_{pi} =$	1 746 887	1 641 657	1 534 143	1 431 372	1 325 941	1 222 634	1 119 543	691 835	420 470	Nm
M_{TOT} / M_{Rd}	0,45	0,46	0,48	0,51	0,57	0,65	0,62	0,49	0,00	< 1
posouzení: $M_{Rd} > M_{TOT}$:	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
→ NENÍ NUTNÁ VÝZTUŽ NA OHYB. MOMENT (PRO TOTO STÁDIUM)										

Kontrola míry vyztužení (BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ - PODÉLNÁ)

Minimální plocha výztuže: $A_{s,min,I} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d =$ 7,62E-04 [m²]

$A_{s,min,II} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d =$ 5,44E-04 [m²]

$A_{s,min} = \max \{A_{s,min,I}; A_{s,min,II}\}$ 7,62E-04 [m²]

Maximální plocha výztuže: $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c =$ 1,68E-02 [m²]

Průměr podélné betonářské výztuže: $\Phi_s =$ **0,012** [m]

Počet kusů podélné výztuže: 20 [ks]

Plocha podélné výztuže: $A_s =$ 2,26E-03 [m²]

Podmínka: $A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$ **VYHOVUJE**

Stupeň vyztužení: $\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} =$ 0,0054 [-]

Minimální stupeň vyztužení: $\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} =$ 0,0010 [-]

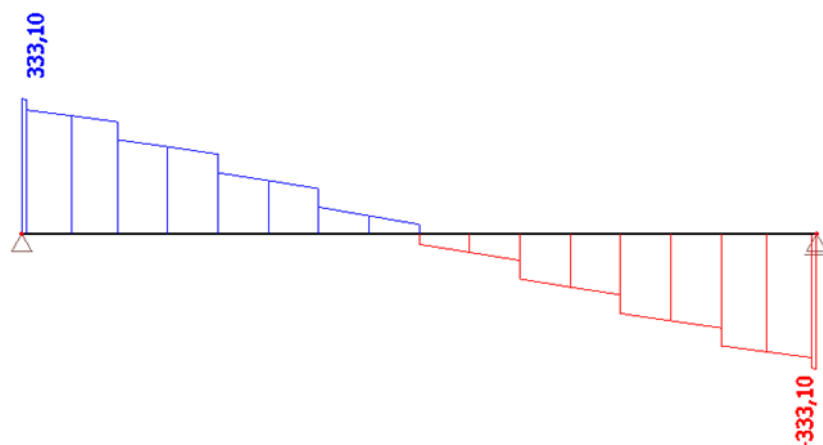
Posouzení stupně vyztužení: $\rho \geq \rho_{w,min}$: **VYHOVUJE**

Posouzení vzdáleností výztuže:

Minimální mezera mezi pruty: $a_{sl} > \max\{1,2 \cdot \phi_{sl}; dg+5mm; 20mm\} =$ **0,021** [m]

19. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - SMYK

MSÚ - POSOUVAJÍCÍ SÍLA (KOMBINACE 6.10 A&B)



Obr.45: Průběh posouvajících sil na vazníku [kN]

Délka vazníku (do výpočtu): $l =$	23,7 [m]
$V_{Ed,max} =$	333 100 [N]
$V_{Ed,l}$ (ve vzdálenosti "d" od líce podpory) =	297 000 [N]
Výška vazníku (ve vzdálenosti "d" od podpory): $h =$	0,961 [m]
Šířka vazníku: $b_w =$	0,250 [m]
Beton:	
Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} =$	40 000 000 [Pa]
Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} =$	26 660 000 [Pa]
Pevnost betonu v tahu: $f_{ctm} =$	3 500 000 [Pa]
Výztuž:	
Charakteristická mez kluzu: $f_{yk} =$	500 000 000 [Pa]
Návrhová mez kluzu: $f_{yd} = f_{ywd} =$	434 780 000 [Pa]
Modul pružnosti oceli: $E_s =$	210 000 000 000 [Pa]
Účinná výška vazníku: $d =$	0,922 [m]
Průměr výztuže: $\Phi =$	0,012 [m]
Průměr smykové výztuže - třmínky: $\Phi_{st} =$	0,008 [m]
Plocha tahové výztuže zakotvená na kotev. délku: $A_{sl} =$	2,26E-04 [m ²]
Krytí výztuže:	
Minimální hodnota krycí vrstvy: c_{min}	
$c_{min,sl} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 0,01m \}$	0,015 [m]
smyková výztuž: $c_{min,st} = \max \{ c_{min,b,st}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 0,01m \}$	0,015 [m]
Požadavek soudržnosti: $c_{min,b} = \Phi$	0,012 [m]
Požadavek soudržnosti u smykové výztuže: $c_{min,b,st} = \Phi_{st}$	0,008 [m]

Vliv prostředí (XC1) a třídy konstrukce (S4): $c_{\min, \text{dur}} =$	0,015 [m]
Přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti: $\Delta c_{\text{dur}, \gamma} =$	0 [m]
Redukce při nerezavějící oceli: $\Delta c_{\text{dur}, \text{st}} =$	0 [m]
Redukce při dodatečné ochraně výztuže: $\Delta c_{\text{dur}, \text{add}} =$	0 [m]
Návrhová odchylka (při provádění ve výrobě): $\Delta c_{\text{dev}} =$	0,005 [m]
<u>Nominální hodnota betonové krycí vrstvy: c_{nom}</u>	
$c_{\text{nom}, \text{sl}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} =$	0,02 [m]
smyková výztuž: $c_{\text{nom}, \text{st}} = c_{\min, \text{st}} + \Delta c_{\text{dev}} =$	0,020 [m]
$c_{\text{nom}} = \max \{ c_{\text{nom}, \text{sl}}, \Phi_{\text{st}}, c_{\text{nom}, \text{st}} \} =$	0,020 [m]
<u>Návrhová hodnota betonové krycí vrstvy: c</u>	
$c \geq c_{\text{nom}}$	0,020 [m]
Navržená betonová krycí vrstva: $c =$	0,025 [m]
Minimální smykové napětí: $v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{\text{ck}}^{\frac{1}{2}} =$	0,393 [MPa]
Součinitel výšky: $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} =$	1,47
< 2	
VYHOVUJE	
Stupeň vyztužení: $\rho = \frac{A_{\text{sl}}}{b_{\text{w}} \cdot d} =$	0,0010
< 0,02	
VYHOVUJE	
$C_{\text{Rd}, c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 =$	0,12
součinitel: $k_1 =$	0,15 [-]
Napětí v betonu od předpětí: $\sigma_{\text{cp}} = N_{\text{Ed}} / A_c =$	4,64 [MPa]
$V_{\text{Rd}, c}^* = (C_{\text{Rd}, c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{\text{ck}})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{\text{cp}}) \cdot b_{\text{w}} \cdot d =$	224 433 [N]
omezující podmínka: $V_{\text{Rd}, c} \geq (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{\text{cp}}) \cdot b_{\text{w}} \cdot d$	251 023 [N]
$V_{\text{Rd}, c} = \max \{ V_{\text{Rd}, c}^*, (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{\text{cp}}) \cdot b_{\text{w}} \cdot d \} =$	251 023 [N]
$V_{\text{Ed}, \text{max}} =$	333 100 [N]
$V_{\text{Rd}, c} < V_{\text{Ed}, \text{max}}$ >> NUTNO NAVRHNOUT SMYKOVOU VÝZTUŽ:	

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE

zvolím: $\cotg \theta =$	2,5
--------------------------	-----

Plocha smykové výztuže (2-střížné třmínky $\Phi 8$): $A_{sw} =$	1,01E-04 [m ²]
--	----------------------------

Osová vzdálenost třmínků (tj. v podélném směru):

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta}{V_{Ed,l}} = 0,305 \text{ [m]}$$

→ ZVOLÍM: $s =$	0,150 [m]
------------------------	------------------

$s < \min\{0,75 \cdot d; 0,4 \text{ m}\} =$	0,400 [m]
---	-----------

VYHOVUJE

Rameno vnitřních sil: $z_c =$	0,830 [m]
-------------------------------	-----------

POSOUZENÍ:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta}{s} = 604\,493 \text{ [N]}$$

$V_{Rd,s} > V_{Ed} =$	297\,000 [N]
-----------------------	--------------

VYHOVUJE

POSOUZENÍ KONSTRUKČNÍCH ZÁSAD:

Osová vzdálenost větví třmínků: $S_t = b_w - 2 \cdot c - \phi_{st} =$	0,192 [m]
---	-----------

$S_t < \min\{0,75 \cdot d; 0,6 \text{ m}\} =$	0,6 [m]
---	---------

VYHOVUJE

Stupeň vyztužení: $\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} =$	0,0027
---	--------

$$\rho_w \geq \rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0010$$

VYHOVUJE

Stanovení vzdálenosti x , kde není teoreticky nutná smyková výztuž (přibližně):

$$x = \frac{L}{2} - \frac{\frac{L}{2}}{V_{Ed,max}} \cdot V_{Rd,c} = 2,920 \text{ [m]}$$

Třmínky za vzdáleností x :

Navrhnu osová vzdálenost třmínků: $s_2 =$	0,300 [m]
---	------------------

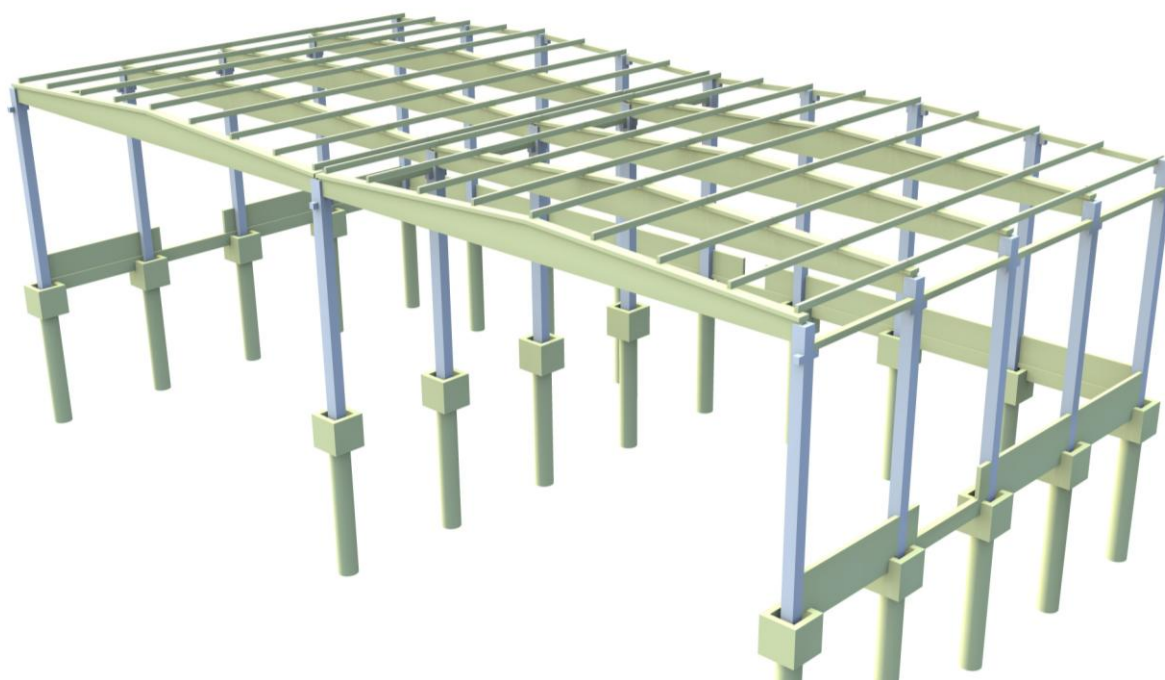
$s_2 < s_{2,max} = \min\{0,75 \cdot d; 0,400 \text{ m}\} =$	0,400 [m]
---	-----------

VYHOVUJE

Stupeň vyztužení:	$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_2} =$	1,3E-03
-------------------	---	---------

$\rho_w \geq \rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} =$	1,0E-03
--	---------

VYHOVUJE



Obr.46: 3D model – pohled na vaznice a vazník

20. SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr.1: Skladba střešního pláště

Obr.2: Tvarový součinitel pro úžlabí vícelodních budov při výjimečné situaci ^[3]

Obr.3: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu (vítr na delší stranu) ^[4]

Obr.4: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu (vítr na delší stranu)

Obr.5: Řez - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu a stěny (vítr na delší stranu)

Obr.6: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu (vítr na kratší stranu) ^[4]

Obr.7: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na střechu (vítr na štítovou stranu)

Obr.8: Schéma zatížení větrem na stěnu ^[4]

Obr.9: Zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny: půdorys a pohled ^[4]

Obr.10: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny (vítr na delší stranu)

Obr.11: Schéma zatížení větrem na stěnu ^[4]

Obr.12: Zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny: půdorys a pohled ^[4]

Obr.13: Půdorys - zatěžovací schéma zatížení větrem na stěny (vítr na štítovou stěnu)

Obr.14: Převážný úchyt s kulovou hlavou

Obr.15: Pohledy

Obr.16: Vstupní údaje

Obr.17: Návrh kotvy

Obr.18: Průběh momentů na vaznici při vytahování z bednění

Obr.19: Schematický řez vazníkem: uprostřed rozpětí / v místě uložení na sloupu

Obr.20: Pohled na vazník

Obr.21: Jednotlivé řezy vazníkem a-e

Obr.22: Jednotlivé řezy vazníkem f-i

Obr.23: Průběh momentů M_y [v kNm] od vlastní tíhy

Obr.24: Průběh momentů M_y [v kNm] od vaznic a střešního pláště

Obr.25: Průběh momentů M_y [v kNm] od rozvodů

Obr.26: Průběh momentů M_y [v kNm] od sněhu

Obr.27: Průběh momentů M_y [v kNm] od větru 1

Obr.28: Průběh momentů M_y [v kNm] od větru 2

Obr.29: Průběh momentů M_y [v kNm] od větru 3

Obr.30: Průběh momentů M_y [v kNm] od provozu na střeše

Obr.31: Pohled

Obr.32: Vstupní údaje

Obr.33: Návrh kotvy

Obr.34: Příčný řez uprostřed rozpětí / v místě uložení

Obr.35: Axonometrický pohled na nosník

Obr.36: Axonometrický pohled na nosník

Obr.37: Příčný řez uprostřed rozpětí / v místě uložení (9 lan: Y 1770 S7-15,8)

Obr.38: Typ napínání lan

Obr.39: Normálové napětí uprostřed rozpětí od sněhu / větru

Obr.40: Průběh M [kNm]

Obr.40: Průběh M [kNm]

Obr.41: Průběh M_{tot} [kNm]

Obr.42: Využití výztuže uprostřed rozpětí

Obr.43: Využití výztuže v řezu h

Obr.44: Využití výztuže v řezu i

Obr.45: Průběh posouvajících sil na vazníku [kN]

Obr.46: 3D model – pohled na vaznice a vazník

21. SEZNAM TABULEK:

Tab.1: Zatížení střešního pláště

Tab.2: Tabulka zatížení vaznice

Tab.3: Průřezové charakteristiky vazníku

Tab.4: Zatížení střešním pláštěm a vaznicemi

Tab.5: Zatížení sněhem

Tab.6: Zatížení provozem

Tab.7: Zatěžovací schémata vazníku

Tab.8: Tabulka charakteristických hodnot momentů uprostřed rozpětí vazníku v kNm

Tab.9: Hodnoty součinitelů Ψ

Tab.10: Momenty v jednotlivých řezech na vazníku

Tab.11: Kombinační tabulka

Tab.12: Posouzení napětí uprostřed rozpětí

Tab.13: Napětí na kabelu

Tab.14: Normálové napětí uprostřed rozpětí od kombinací

Tab.15: Napětí na kabelu

22. SEZNAM ZDROJŮ:

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [5] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [6] ČSN 73 0035. *Zatížení stavebních konstrukcí*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986 (+ změny 1991, 1994).
- [7] ZICH, Miloš. *Příklady posuzování betonových prvků dle Eurokódů*. Praha: Dashöfer Holding, Ltd. & Verlang Dashöfer, nakladatelství, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [8] ŠVAŘÍČKOVÁ, Ivana. *Tabulky do cvičení betonových konstrukcí* [online]. 2012. vyd. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/pdf/BL01/Tabulky.pdf>
- [9] ŠVAŘÍČKOVÁ, Ivana. *VYZTUZE.pdf* [online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/pdf/CL01/VYZTUZE.pdf>
- [12] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010, 330 s. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-03-9.