



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**STATIKA ATYPICKÉHO RD**

P3.1 STATICKÝ VÝPOČET

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Jakub Bartoň**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.**

**BRNO 2022**

## Obsah

1. STŘEŠNÍ PŘEDPJATÁ DESKA.....	5
1.1. MATERIÁL.....	5
1.2. GEOMETRIE.....	6
1.3. ZATÍŽENÍ .....	7
1.3.1. STÁLÉ .....	7
1.3.2. PROMĚNNÉ .....	10
1.4. KOMBINACE.....	19
1.5. NÁVRH PŘEDPĚTÍ .....	19
1.5.1. NÁVRH PŘEDPĚTÍ.....	19
1.5.2. PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY .....	20
1.5.3. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ SÍLY.....	20
1.5.4. NÁVRH KABELOVÉ DRÁHY .....	26
1.6. OKAMŽITÉ ZTRÁTY .....	48
1.6.1. ZTRÁTA TŘENÍM .....	48
1.6.2. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POKLUZEM V KOTVĚ .....	49
1.6.3. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POSTUPNÝM NAPÍNÁNÍM.....	50
1.6.4. ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE .....	51
1.6.5. OKAMŽITÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ .....	52
1.7. DLOUHODOBÉ ZTRÁTY .....	53
1.7.1. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ SMRŠŤOVÁNÍM BETONU .....	53
1.7.2. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ DOTVAROVÁNÍM BETONU.....	55
1.7.3. ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE .....	56
1.7.4. DLOUHODOBÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ.....	57
1.7.5. POSOUZENÍ A VYZTUŽENÍ KOTEVNÍCH OBLASTI .....	58
1.8. VNITŘNÍ SÍLY SCIA .....	59
1.8.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY.....	59
1.8.2. VNITŘNÍ SÍLY.....	63
1.9. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	68
1.9.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ .....	68
1.9.2. OMEZENÍ TRHLIN.....	70
1.9.3. PRŮHYB .....	70
1.10. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	82
1.10.1. POSOUZENÍ NA OHYB .....	82

1.10.2.	POSOUZENÍ NA SMYK.....	90
2.	PŘEDPJATÝ PRŮVLAK P1 .....	98
2.1.	MATERIÁL.....	98
2.2.	GEOMETRIE.....	100
2.3.	ZATÍŽENÍ .....	103
2.3.1.	STÁLÉ .....	103
2.3.2.	PROMĚNNÉ .....	105
2.4.	KOMBINACE.....	105
2.5.	NÁVRH PŘEDPĚTÍ .....	106
2.5.1.	NÁVRH PŘEDPĚTÍ.....	106
2.5.2.	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY .....	107
2.5.3.	NÁVRH PŘEDPÍNACÍ SÍLY.....	107
2.5.4.	NÁVRH KABELOVÉ DRÁHY .....	113
2.6.	OKAMŽITÉ ZTRÁTY .....	132
2.6.1.	ZTRÁTA TŘENÍM .....	132
2.6.2.	ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POKLUZEM V KOTVĚ .....	133
2.6.3.	ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POSTUPNÝM NAPÍNÁNÍM.....	134
2.6.4.	ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE .....	135
2.6.5.	OKAMŽITÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ .....	136
2.7.	DLOUHODOBÉ ZTRÁTY .....	137
2.7.1.	ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ SMRŠŤOVÁNÍM BETONU.....	137
2.7.2.	ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ DOTVAROVÁNÍM BETONU.....	139
2.7.3.	ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE .....	140
2.7.4.	DLOUHODOBÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ.....	141
2.8.	VNITŘNÍ SÍLY SCIA .....	143
2.8.1.	ZATĚŽOVACÍ STAVY.....	143
2.8.2.	VNITŘNÍ SÍLY.....	147
2.8.3.	VYZTUŽENÍ KOTEVNÍCH OBLASTI .....	151
2.9.	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	152
2.9.1.	OMEZENÍ NAPĚTÍ .....	152
2.9.2.	OMEZENÍ TRHLIN.....	156
2.9.3.	PRŮHYB .....	158
2.10.	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	158
2.10.1.	POSOUZENÍ NA OHYB .....	158

2.10.2.	POSOUZENÍ NA SMYK.....	164
---------	------------------------	-----

# 1. STŘEŠNÍ PŘEDPJATÁ DESKA

## 1.1. MATERIÁL

### BETON

Třída C 30/37

Pevnost v tlaku

- $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $f_{ck,cube} = 37 \text{ MPa}$
- $f_{cm} = 38 \text{ MPa}$
- $\gamma_c = 1,5$
- $f_{cd} = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu

- $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
- $f_{ctk;0,05} = 2 \text{ MPa}$
- $f_{ctk;0,95} = 3,8 \text{ MPa}$

Sečnový modul pružnosti betonu

- $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Přetvoření betonu

- $\epsilon_{c1} = 2,2 \text{ ‰}$
- $\epsilon_{cu1} = 3,5 \text{ ‰}$
- $\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$

### PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

FREYSSINET Y1770 S7 – 15,7

Nesoudržné lano s HDPE obalem - MONOSTRAND

Materiálové charakteristiky

- $\varnothing = 15,7 \text{ mm}$
- $A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$
- $f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$
- $f_{pk0,1} = 1560 \text{ MPa}$
- $E_p = 195 \text{ GPa}$
- $\gamma_c = 1,15$
- $f_{pd} = 1560 / 1,15 = 1356,5 \text{ MPa}$

## BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Třída B500B

### Pevnost v tahu

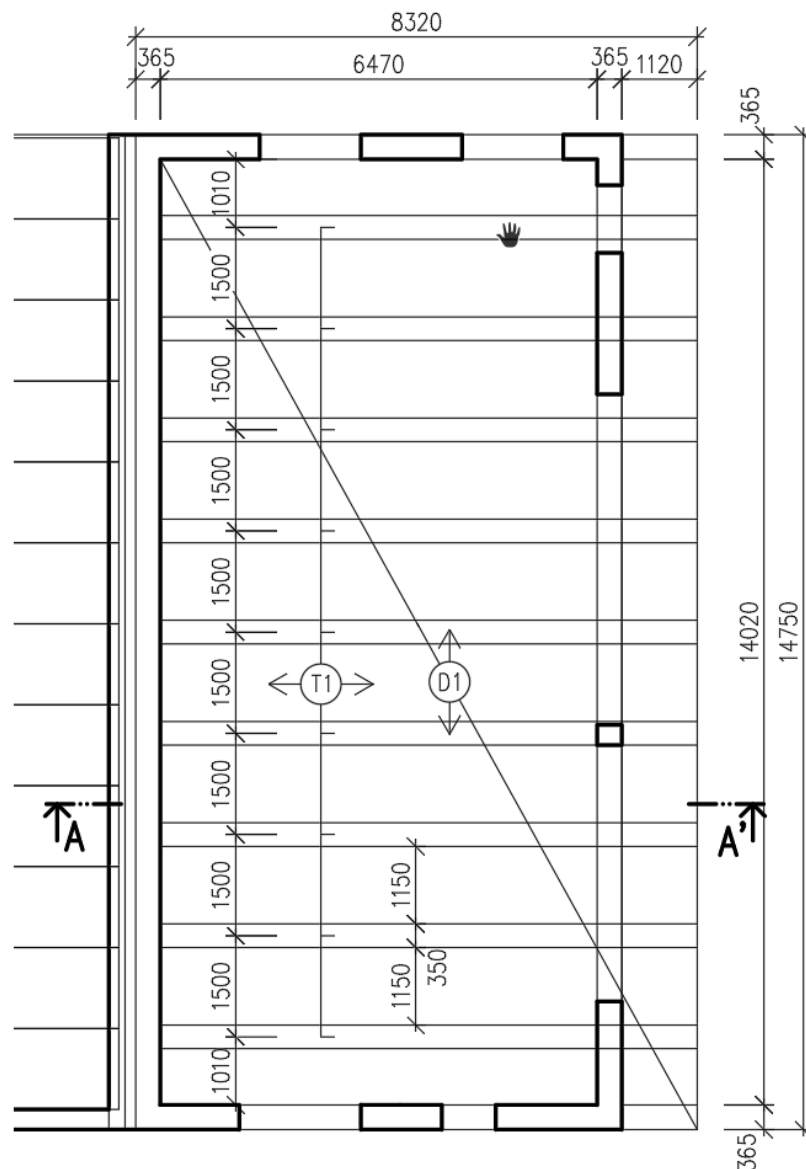
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- $\gamma_c = 1,15$
- $f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
- $f_{ctk,0,05} = 2,0 \text{ MPa}$
- 

Modul pružnosti oceli

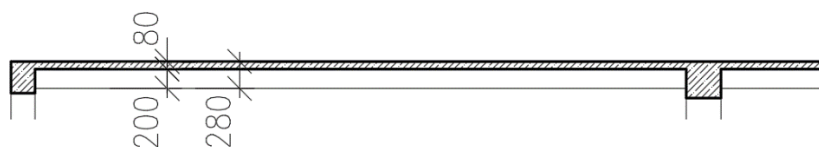
- $E = 200 \text{ GPa}$

## 1.2. GEOMETRIE

PŮDORYS



## ŘEZ A-A'



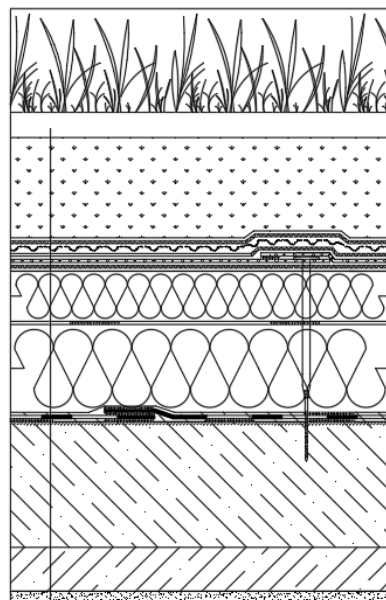
## Rozměry

- $h_t = 210 \text{ mm}$
- $h_d = 70 \text{ mm}$
- $h = 280 \text{ mm}$

## 1.3. ZATÍŽENÍ

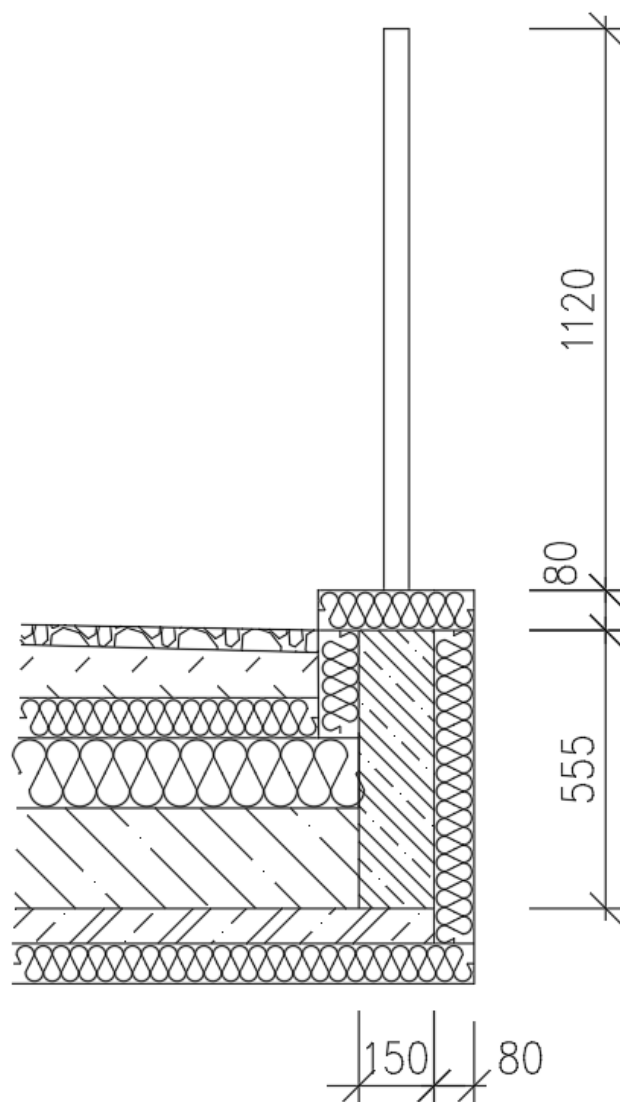
## 1.3.1. STÁLÉ

## SKLADBA STŘECHY



- DEK rozchodníková rohož S5 40mm
- Substrát střešní extenzivní DEK 250-95 mm
- Textilie FILTEK 200 2mm
- Nopová fólie DEKDREN T20 Garden 2mm
- Textilie FILTEK 300 3mm
- Fólie DEKPLAN 77 2mm
- Textilie FILTEK 300 3mm
- Tepelná izolace DEKPERIMETR SD 150 80mm
- Polyuretanové lepidlo INSTA-STIK STD(PUK 3D) 1mm
- Tepelná izolace EPS 150 140 mm
- Polyuretanové lepidlo INSTA-STIK STD(PUK 3D) 1mm
- Parozábrana GLASTEK AL 40 MINERAL 4mm
- Přípravný nátěr DEKPRIMER 1mm
- Spádový potěr 080 200mm
- ŽB deska 80mm
- Omítka 20mm

## ATIKA

ZS 1 - VLASTNÍ TÍHA -  $g_{ok}$ 

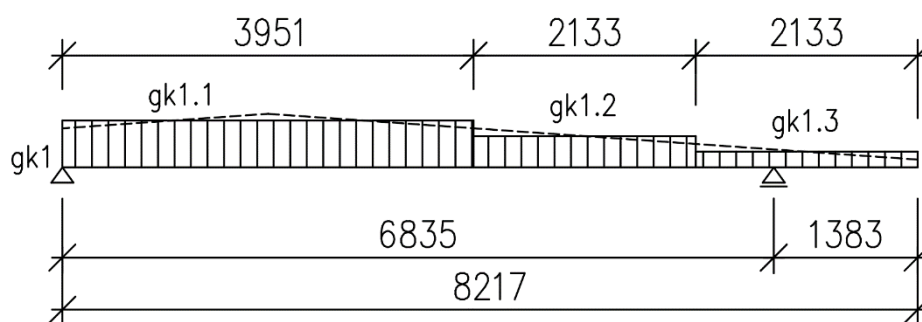
Vrstva	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
ŽB DESKA	1,5	0,080	2500	3
ŽB TRÁM	0,35	0,200	2500	1,75
$g_{ok} =$				<b>4,75</b>



ZS 2 – STŘECHA –  $g_{1k}$ 

Vrstva střechy	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
DEK ROZCH. ROHOŽ S5	1,5	0,04	250	0,150
TEXTILIE FILTEK	1,5	0,002	75	0,002
NOPOVÁ FÓLIE DEKDREN	1,5	0,020	50	0,015
FILTEK 300	1,5	0,003	100	0,005
DEKPLAN 77	1,5	0,002	1000	0,030
FILTEK 300	1,5	0,003	100	0,005
DEKPERIMETR SD 150	1,5	0,080	28	0,034
ISOVER EPS 150	1,5	0,140	20	0,042
GLASTEK AL 40	1,5	0,004	1125	0,068
SPÁDOVÝ POTĚR 080	1,5	0,200	2300	6,900
OMÍTKA	1,9	0,020	1800	0,684
$g_{k1} =$				7,933

- Kvůli svažitému násypu zeminy jsem rozdělil desku na 3 oblasti, kde jsem počítal s průměrnou výškou násypu pro každou oblast



Oblast 1 (včetně násypu) –  $g_{1.1k}$

Vrstva násypu	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
SUBSTRÁT STŘEŠNÍ (nasycený vodou)	1,5	0,22	1200	3,960

Oblast 2 (včetně násypu) –  $g_{1.2k}$

Vrstva násypu	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
SUBSTRÁT STŘEŠNÍ (nasycený vodou)	1,5	0,17	1200	3,060

Oblast 3 (včetně násypu) –  $g_{1,3k}$ 

Vrstva násypu	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
SUBSTRÁT STŘEŠNÍ (nasycený vodou)	1,5	0,12	1200	2,160

$$g_{1,1k} = 3,96 + 7,933 = 11,893 \text{ kN/m}$$

$$g_{1,2k} = 3,06 + 7,933 = 10,993 \text{ kN/m}$$

$$g_{1,3k} = 2,16 + 7,933 = 10,093 \text{ kN/m}$$

ZS 3 – Atika –  $G_{1,4k}$ 

Vrstva násypu	ZŠ [m]	tloušťka [m]	výška [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
ŽB ATIKA	1,5	0,15	0,56	2500	3,15
Zábradlí	(50 kg včetně izolace atd...)				0,5
$G_{1,4k} =$					3,65

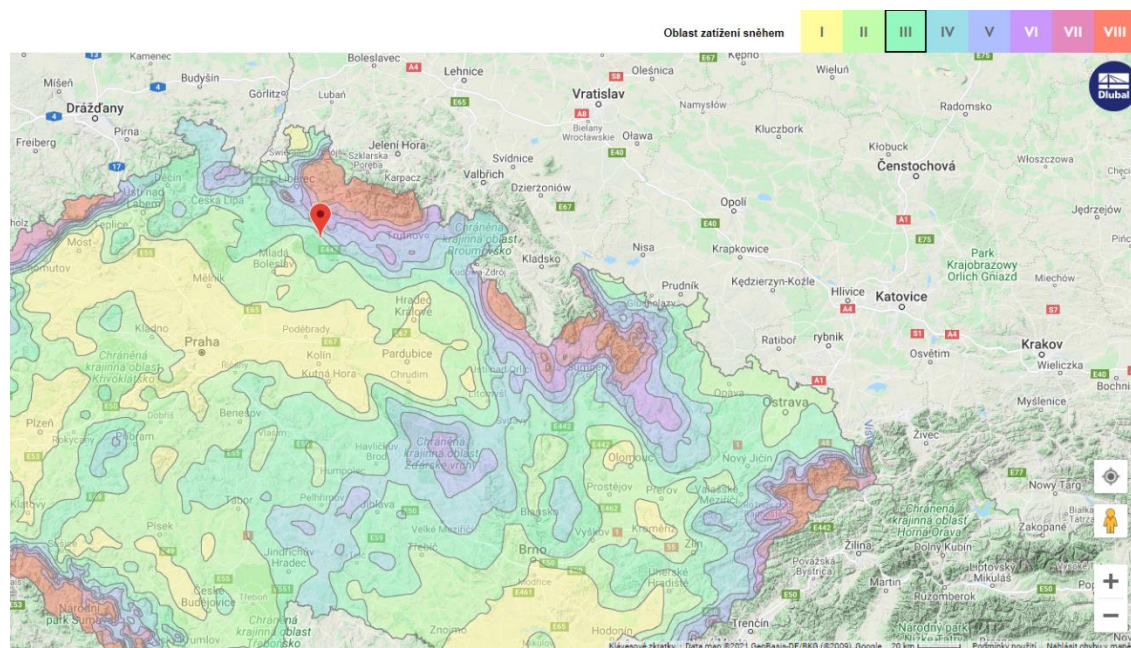
## 1.3.2. PROMĚNNÉ

ZS4 – UŽITNÉ –  $q_{1k}$ 

$$q_{1k} = ZŠ \cdot q = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ kN/m}$$

## ZS5 – SNÍH

- místo stavby: Radvánovice, část obce Karlovice – Liberecký kraj



Radvánovice, Karlovice, Česko

### MÍSTO KONÁNÍ

Ulice


PSČ 511 01

Obec Karlovice

Zeměpisná šířka 50.551°  
 Zeměpisná délka 15.217°  
 Nadmořská výška 271 m

Oblast zatížení sněhem III

**Charakteristická hodnota zatížení sněhem**

  **$s_k = 1.50 \text{ kN/m}^2$**

Veškeré údaje jsou bez záruky.

- pomocí mapy od společnosti DLUBAL jsem zjistil:  
oblast zatížení sněhem třídy III. →  $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$
- pro trvalé a dočasné návrhové situace nabývá zatížení sněhem velikost v závislosti na sklonu střechy

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

kde je

$\mu_i$  – tvarový součinitel závislý na sklonu střechy

$C_e$  – součinitel expozice závislý na typu krajiny

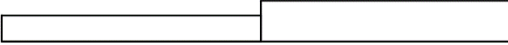

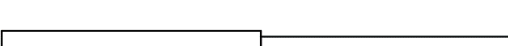
$C_t$  – tepelný součinitel, kterým lze snížit zatížení střechy z důvodu odtávání vlivem vysoké tepelné prostupnosti. Standartně uvažujeme  $C_t = 1,0$

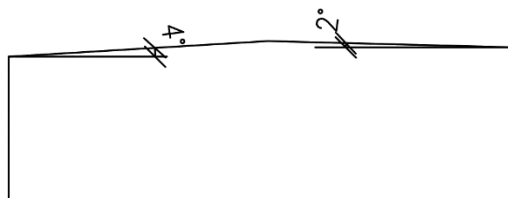
$s_k$  – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

**Tabulka 5.1 – Doporučené hodnoty součinitele  $C_e$  pro různé typy krajiny**

Typ krajiny	$C_e$
otevřená <sup>a)</sup>	0,8
normální <sup>b)</sup>	1,0
chráněná <sup>c)</sup>	1,2

- dle napadnutí sněhu nám můžou vzniknout 3 případy:
  - 1. případ uspořádání zatížení nenavátým sněhem
  - 2. a 3. případ uspořádání zatížení navátým sněhem

1.  $\mu_2(\alpha_1)$    $\mu_2(\alpha_2)$
2.  $0,5\mu_2(\alpha_1)$    $\mu_2(\alpha_2)$
3.  $\mu_2(\alpha_1)$    $0,5\mu_2(\alpha_2)$



- součinitel  $\mu_2$  získáme podle tabulky 5.2

Tabulka 5.2 – Tvarové součinitele zatížení sněhem

Úhel sklonu střechy $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1(\alpha)$	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_2(\alpha)$	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_3(\alpha)$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

- pro rozdílné případy se určí charakteristické hodnoty zatížení sněhem s

Případ 1.

$$s_1 = \mu_{\alpha 1} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Případ 2.

$$s_{2.1} = 0,5 \cdot \mu_{\alpha 1} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

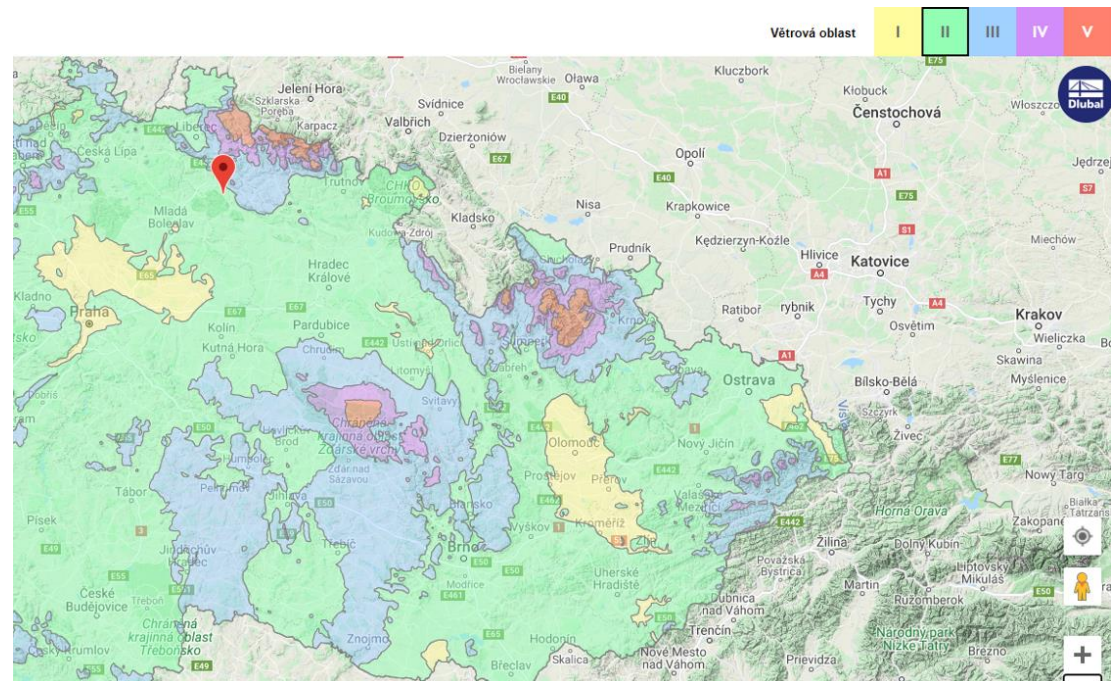
$$s_{2.2} = \mu_{\alpha 1} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Případ 3.

$$s_{3.1} = C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{3.2} = 0,5 \cdot \mu_{\alpha 1} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

## ZS6 – VÍTR



**Radvánovice, Karlovice, Česko** 🔍

**MÍSTO**

Ulice


PSČ **511 01**

Obec **Karlovice**


Zeměpisná šířka **50.551°**

**Větrová oblast** **II**

**Výchozí hodnota základní rychlosti větru**

  **$v_{b,0} = 25.0 \text{ m/s}$**

**Základní tlak větru**

  **$q_b = 0.39 \text{ kN/m}^2$**

Všechné údaje jsou bez záruky.

- pomocí mapy od společnosti DLUBAL jsem zjistil:
  - větrová oblast třídy II.
  - výchozí hodnota základní rychlosti větru  $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$
  - základní tlak větru  $q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$

## Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

$c_{dir} = 1,0$  – součinitel směru větru

$c_{season} = 1,0$  – součinitel ročního období

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25 \text{ m/s}$$

## Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

$$v_m(z) = 0,605 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 15,125 \text{ m/s}$$

$z = 4 \text{ m}$  - výška nad terénem střední rychlosti větru

## Součinitel orografie

$$c_o = 1,0$$

## Součinitel drsnosti terénu

$z < z_{min} - 4 < 5$  – pro další výpočty se místo  $z$  dosazuje  $z_{min}$

$$c_r(z_{min}) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) \text{ pro } z \leq z_{min} \quad (4 \leq 5)$$

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{5}{0,3}\right) = 0,605$$

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

**Tabulka 4.1 – Kategorie terénů a jejich parametry**

Kategorie terénu	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10

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

## Intenzita turbulence

$$I_v(z_{min}) = \frac{\sigma_v}{v_m(z_{min})}$$

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I$$

$$\sigma_v = 0,215 \cdot 25,0 \cdot 1,0 = 5,375$$

$k_I = 1,0$  – součinitel turbulence



$$I_v(z_{min}) = \frac{5,375}{15,125} = 0,355$$

Maximální dynamický tlak

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

$$q_p(z_{min}) = [1 + 7 \cdot 0,355] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,125^2 = 498,28 \text{ N/m}^2 = 0,498 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

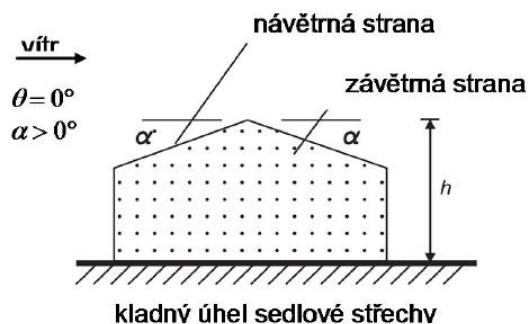
Tlak větru na vnější povrchy

$$w_e = q_p(z_{min}) \cdot c_{pe}$$

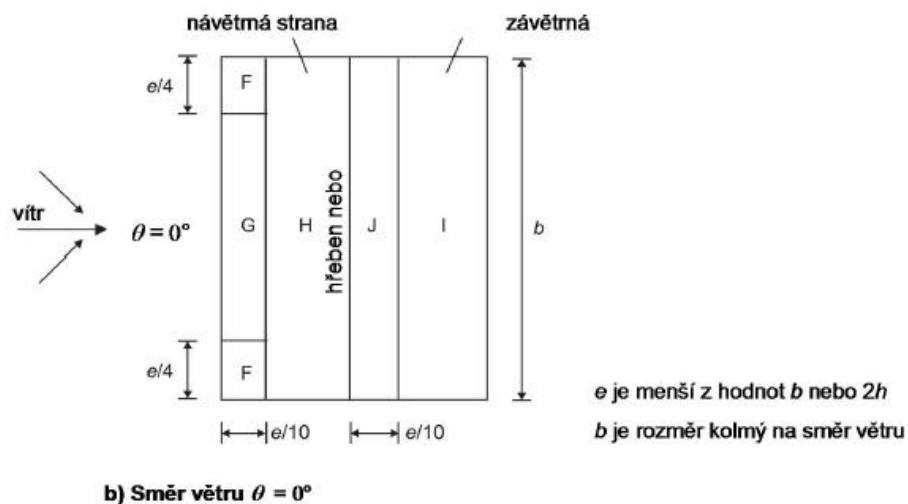
Tlak větru na vnitřní povrchy

$$w_i = q_p(z_{min}) \cdot c_{pi}$$

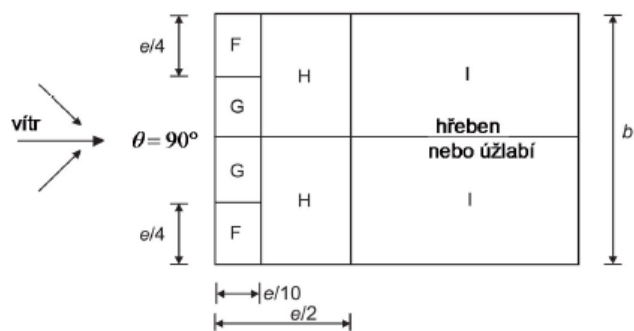
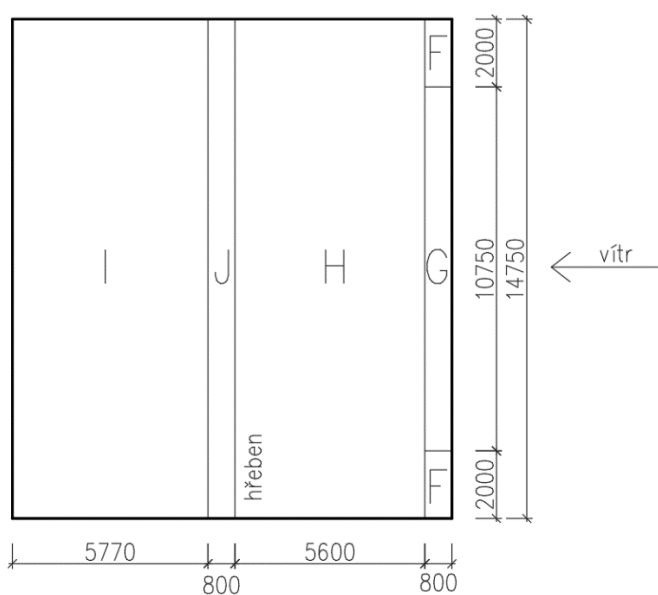
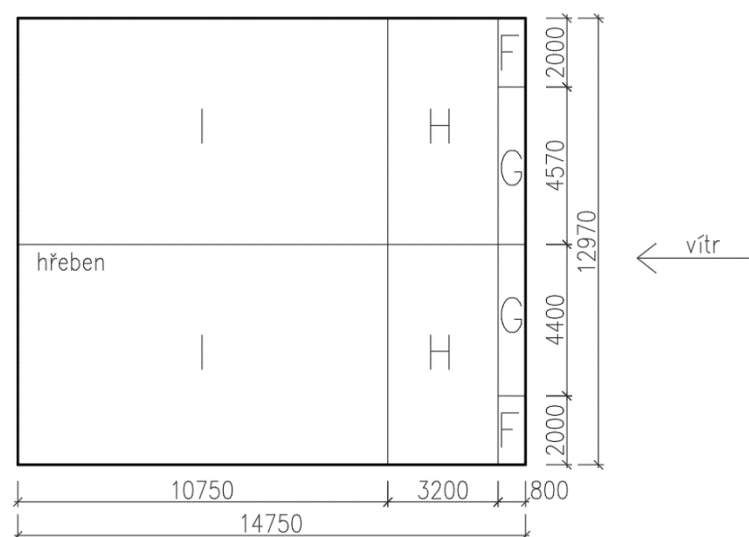
Součinitel vnějšího tlaku – pro sedlové střechy



- výška  $h = 4,00 \text{ m}$

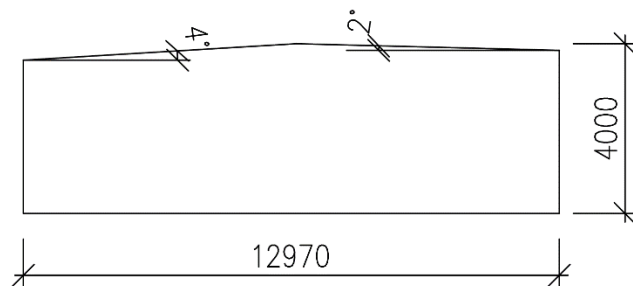


$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{14,75; 2 \cdot 4\} = 8 \text{ m}$$

c) Směr větru  $\theta = 90^\circ$ Směr větru  $0^\circ$  - PůdorysSměr větru  $90^\circ$  - Půdorys



Řez



Směr větru 0°

- sklon střechy  $\alpha_1 = 4^\circ$  ;  $\alpha_2 = 2^\circ$
- jelikož je sklon střechy menší než  $5^\circ$  použijeme tabulku pro ploché střechy

Tabulka 7.2 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro ploché střechy

Typ střechy	Oblasti							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Ostré hrany	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	
							-0,2	

Tabulka pro tlak na vnější povrch dle oblastí

pásmo	$C_{pe,10}$	$q_p(z_{min})$	$w_e, w_i$
		[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
F	-1,8	0,498	-0,896
G	-1,2	0,498	-0,598
H	-0,7	0,498	-0,349
I	-0,2	0,498	-0,1
	0,2	0,498	0,1

Směr větru 90°

- podle tabulky doporučených hodnot součinitelů  $C_{pe,10}$  stanovím součinitele jednotlivých oblastí pomocí interpolace mezi jednotlivými hodnotami
- sklon střechy  $\alpha_1 = 4^\circ$  ;  $\alpha_2 = 2^\circ$

Tabulka 7.4b – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro sedlové střechy

Úhel sklonu $\alpha$	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	

## Interpolace

Sklon [°]	F	G	H	I
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
-5	-1,8	-1,2	-0,7	-0,6
5	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
2	-1,66	-1,27	-0,7	-0,6
4	-1,642	-1,279	-0,7	-0,6

Tabulka pro tlak na vnější povrch dle oblastí na sklonu střechy 2°

Pásmo	$C_{pe,10}$	$q_p(z_{min})$	$w_e, w_i$
		[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
F	-1,66	0,498	<b>-0,827</b>
G	-1,27	0,498	<b>-0,632</b>
H	-0,7	0,498	<b>-0,349</b>
I	-0,6	0,498	<b>-0,299</b>

Tabulka pro tlak na vnější povrch dle oblastí na sklonu střechy 4°

Pásmo	$C_{pe,10}$	$q_p(z_{min})$	$w_e, w_i$
		[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
F	-1,642	0,498	<b>-0,818</b>
G	-1,279	0,498	<b>-0,637</b>
H	-0,7	0,498	<b>-0,349</b>
I	-0,6	0,498	<b>-0,299</b>

ZS4 – užitné zatížení  $q = 3 \text{ kN/m}^2$

ZS5 – Sníh –  $s = 1,2 \text{ kN/m}^2$

ZS6 – Vítr –  $w_e = 0,896 \text{ kN/m}^2$

ZS4 > ZS5; ZS6

$3 > 1,2; 0,896$

- Jelikož je střecha pochozí a vítr působí na celou střechu záporně (sání), tak zatížení od větru nebude rozhodující, stejně tak zatížení sněhem, které se schová do užitného zatížení  $3 \text{ kN/m}^2$ , protože obojí nebude ve stejnou dobu možné (v zimě se lidé nebudou shromažďovat na střeše a v létě bude zatížení sněhem nulové) => v dalších fázích počítám pouze s užitným zatížením  $3 \text{ kN/m}^2$

## 1.4. KOMBINACE

### MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Rce 6.10 a

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

Rce 6.10 b

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

### MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Charakteristická

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

Častá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

## 1.5. NÁVRH PŘEDPĚTÍ

### 1.5.1. NÁVRH PŘEDPĚTÍ

- životnost 50 let
- předpínací výztuž – lano typu MONOSTRAND firmy FREYSSINET
- stupeň vlivu prostředí XC1 – SUCHÉ
- kotvení řady F pro tenkostěnné konstrukce

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži během předpínání

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8f_{pk}; 0,9f_{p0.1k}\} = \min\{0,8 \cdot 1770; 0,9 \cdot 1560\} = \min\{1416; \mathbf{1404}\}$$

$$\sigma_{p,max} = 1404 \text{ MPa}$$

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži bezprostředně po vnesení předpětí do betonu

$$\sigma_{p,m0(x)} = \min\{0,75f_{pk}; 0,85f_{p0.1k}\} = \min\{0,75 \cdot 1770; 0,85 \cdot 1560\}$$

$$\sigma_{p,m0(x)} = \min\{1327,5; \mathbf{1326}\} = 1326 \text{ MPa}$$

Napětí v  $t_0$

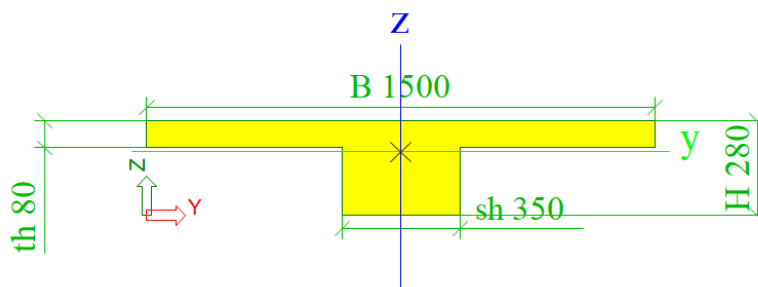
$$\sigma_{p,m0} = 0,9 \cdot \sigma_{pmax} = 0,9 \cdot 1404 = \mathbf{1263,6 \text{ MPa}}$$

Napětí v  $t_\infty$

$$\sigma_{p,m\infty} = 0,9 \cdot \sigma_{p,m0} = 0,9 \cdot 1263,6 = \mathbf{1137,24 \text{ MPa}}$$

### 1.5.2. PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

T – PRŮŘEZ - ŘEZ



PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY (scia)

- |  |  |
|--|--|
| - $A_c = 0,1900 \text{ m}^2$                 | - plocha betonového průřezu                |
| - $t_{c1} = 188 \text{ mm}$                  | - vzdálenost těžiště ke spodním vláknům    |
| - $t_{c2} = 92 \text{ mm}$                   | - vzdálenost těžiště k horním vláknům      |
| - $I_c = 1,1639 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$   | - moment setrvačnosti bet. průřezu         |
| - $W_2 = I_c / t_{c2} = 0,01265 \text{ m}^3$ | - modul průřezu k horním vláknům           |
| - $W_1 = I_c / t_{c1} = 0,00619 \text{ m}^3$ | - modul průřezu k dolním vláknům           |
| - $r_c^h = W_2 / A_c = 0,0666 \text{ m}$     | - jádrová úsečka vztažená k horním vláknům |
| - $r_c^d = W_1 / A_c = 0,0326 \text{ m}$     | - jádrová úsečka vztažená k dolním vláknům |

### 1.5.3. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ SÍLY

- návrh předpínací síly provedu pomocí podmínky pro dovolené napětí v betonu tak, že v nerovnici pro každou kombinaci je neznámá pouze předpínací síla
- posuzovaný průřez v bodě maximálního momentu mezi podporami

VNITŘNÍ SÍLY

- |                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| - $M_{ok} = 24,88 \text{ kNm}$      | od vlastní tíhy               |
| - $M_{Ek} = 108,97 \text{ kNm}$     | od charakteristické kombinace |
| - $M_{Ek\psi1} = 96,96 \text{ kNm}$ | od časté kombinace            |
| - $M_{Ek\psi2} = 92,15 \text{ kNm}$ | od kvazistálé kombinace       |

**KRYTÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE**

- krytí samotného lana (MONOSTRANDu) není potřeba, navrhuje se kvůli třmínkům rozmístěných po celé délce trámu
- navrhuji třmínek o průměru  $\phi = 6 \text{ mm}$

Nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Minimální hodnota  $c_{min,b}$

$$c_{min,b} \geq \phi$$

$$c_{min,b} \geq 6 \text{ mm}$$

Minimální hodnota  $c_{min,dur}$

- konstrukční třída S4 =>  $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$

Přídavek na návrhovou odchylku  $\Delta c_{dev}$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{6; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Krycí vrstva pro předpínací lano

$$c_p = c_{nom} + \phi = 25 + 6 = 31 \text{ mm}$$

Vzdálenost těžiště lana k dolnímu okraji

$$d_{p1} = c_p + \phi_p(\text{včetně obalu})/2 = 31 + 20/2 = 41 \text{ mm}$$

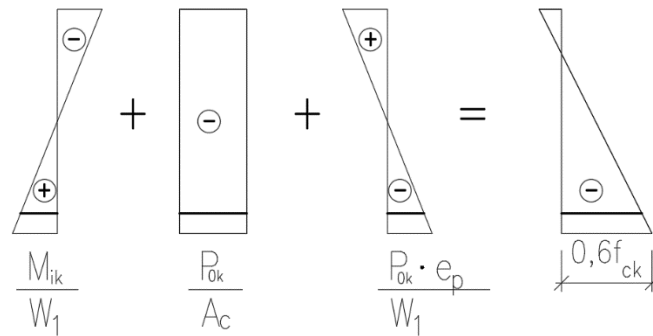
Excentricita lana k těžišti průřezu

$$e_p = t_{c1} - d_{p1} = 188 - 41 = \mathbf{147 \text{ mm}}$$

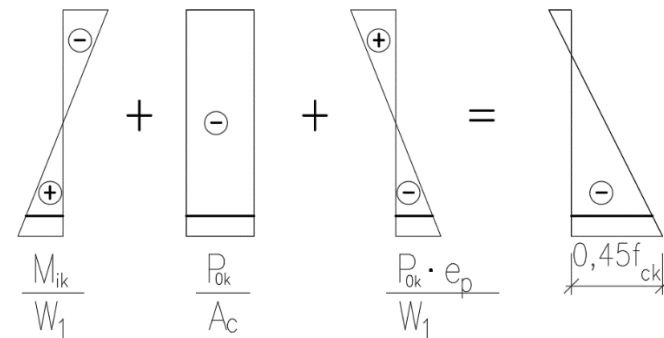
**PODMÍNKY**

- $\sigma_c^- \leq 0,6f_{ck}$
- $\sigma_c^- \leq 0,45f_{ck}$
- $\sigma_c^+ \leq f_{ctm}$

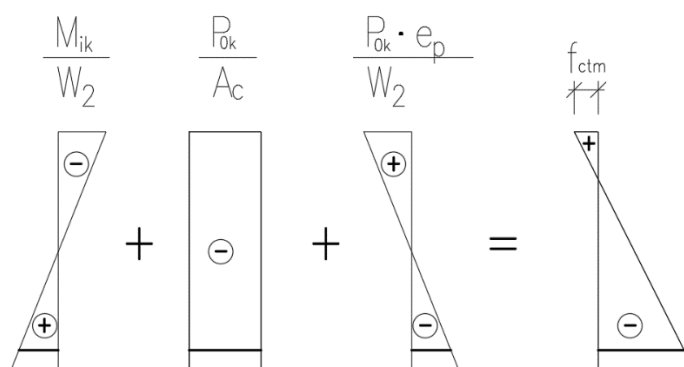
CHARAKTERISTICKÁ  
KVAZISTÁLÁ  
ČASTÁ

V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^{d-}$ :

$$\begin{aligned}
 & + \frac{M_{0k}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6f_{ck} \\
 & + \frac{24,88}{0,00619} - \frac{P_0}{0,19} - \frac{P_0 \cdot 0,147}{0,00619} \leq 0,6 \cdot 30\,000 \\
 & -P_0 \cdot \left( \frac{1}{0,19} + \frac{0,147}{0,00619} \right) \leq 13980,6 \\
 & -P_0 29,01 \leq 13980,6 \\
 & P_0 \geq -481,92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^{d+}$ :

$$\begin{aligned}
 & + \frac{M_{0k}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45f_{ck} \\
 & + \frac{24,88}{0,00619} - \frac{P_0}{0,19} - \frac{P_0 \cdot 0,147}{0,00619} \leq 0,45 \cdot 30\,000 \\
 & -P_0 \cdot \left( \frac{1}{0,19} + \frac{0,147}{0,00619} \right) \leq 9480,61 \\
 & -P_0 29,01 \leq 9480,61 \\
 & P_0 \geq -326,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

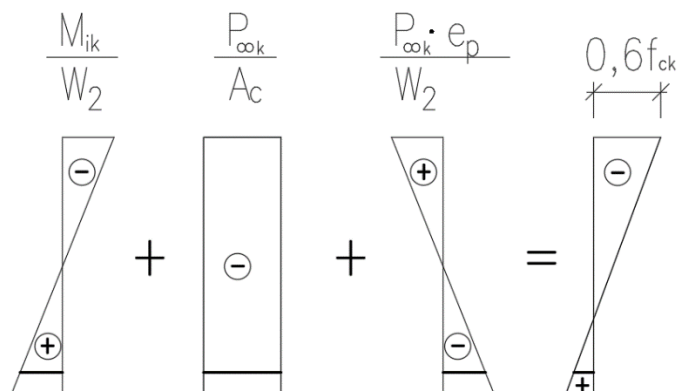
$$-\frac{M_{0k}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

$$-\frac{24,88}{0,01265} - \frac{P_0}{0,19} + \frac{P_0 \cdot 0,147}{0,01265} \leq 2900$$

$$P_0 \cdot \left( -\frac{1}{0,19} + \frac{0,147}{0,01265} \right) \leq 4866,8$$

$$P_0 6,357 \leq 4866,8$$

$$P_0 \leq \mathbf{765,22 \text{ kN}}$$

V čase  $t_\infty$ a)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$-\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

$$-\frac{108,97}{0,01265} - \frac{P_\infty}{0,19} + \frac{P_\infty \cdot 0,147}{0,01265} \leq 18000$$

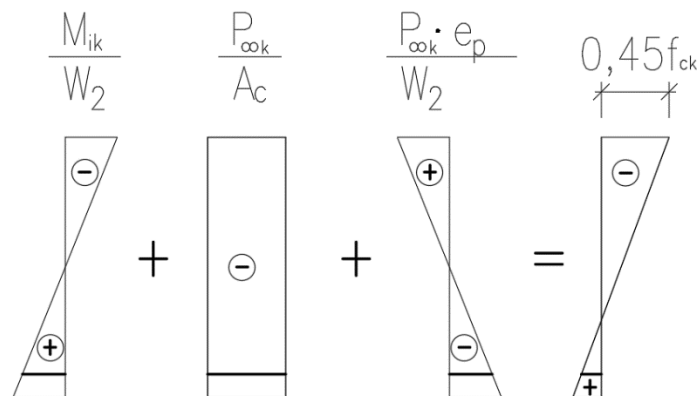
$$P_\infty \cdot \left( -\frac{1}{0,19} + \frac{0,147}{0,01265} \right) \leq 26614,2$$

$$P_\infty 6,357 \leq 26614,2$$

$$P_\infty \leq \mathbf{4186,6 \text{ kN}}$$

$$P_0 = \frac{P_\infty}{0,9} = \frac{4186,6}{0,9}$$

$$P_0 \leq \mathbf{4651,78 \text{ kN}}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$-\frac{M_{EK\psi 2}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45f_{ck}$$

$$-\frac{92,15}{0,01265} - \frac{P_\infty}{0,19} + \frac{P_\infty \cdot 0,147}{0,01265} \leq 13\,500$$

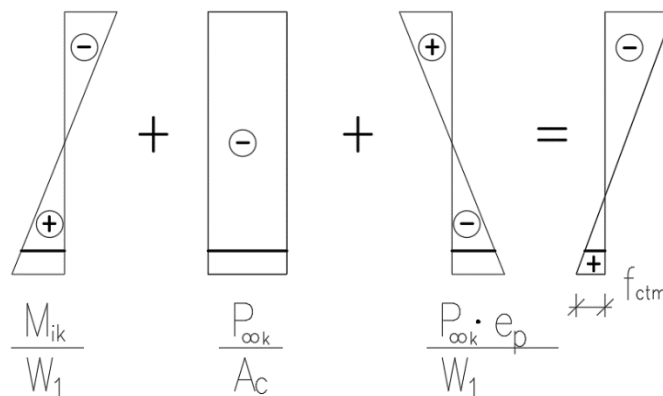
$$P_\infty \cdot \left( -\frac{1}{0,19} + \frac{0,147}{0,01265} \right) \leq 20784,6$$

$$P_\infty 6,357 \leq 20784,6$$

$$P_\infty \leq 3269,56 \text{ kN}$$

$$P_0 = \frac{P_\infty}{0,9} = \frac{3269,56}{0,9}$$

$$P_0 \leq \mathbf{3632,84 \text{ kN}}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :



$$\frac{M_{EK\psi 1}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} - \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} \leq f_{ctm}$$

$$\frac{96,96}{0,00619} - \frac{P_\infty}{0,19} - \frac{P_\infty \cdot 0,147}{0,00619} \leq 2900$$

$$P_\infty \cdot \left( -\frac{1}{0,19} + \frac{0,147}{0,00619} \right) \leq -12764$$

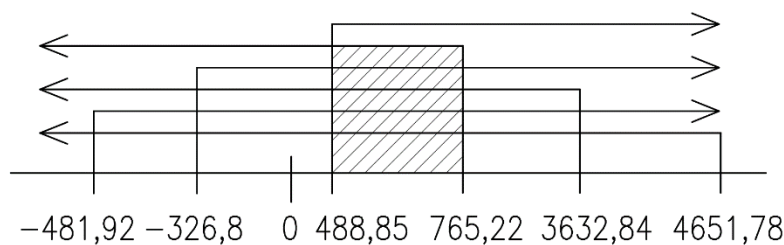
$$-P_\infty 29,01 \leq -12764$$

$$P_\infty \geq 439,968 \text{ kN}$$

$$P_0 = \frac{P_\infty}{0,9} = \frac{439,968}{0,9}$$

$$P_0 \geq \mathbf{488,853 \text{ kN}}$$

### VYNESENÍ SIL NA OSU



- podle vyznačeného intervalu na ose zvolím návrhovou sílu  $P_{m0,req}$

$$P_{m0,req} = \min \left\{ 1,03 P_{min}; \frac{P_{min} + P_{max}}{2} \right\}$$

$$P_{m0,req} = \min \left\{ 1,03 \cdot 488,85; \frac{488,85 + 765,22}{2} \right\} = \{ \mathbf{503,52}; 627,04 \} = 503,52 \text{ kN}$$

### NÁVRH POČTU LAN

$$A_p = \frac{P_{m0,req}}{\sigma_{p,m0}} = \frac{503,52}{1263,6 \cdot 10^3} = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n > \frac{A_p}{A_{p1}} = \frac{3,98 \cdot 10^{-4}}{1,50 \cdot 10^{-4}} > 2,65$$

### NAVRŽENY 3 LANA

$$A_p = n \cdot A_{p1} = 3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 4,5 \cdot 10^{-4}$$

$$P_{m0} = A_p \cdot \sigma_{pm,0} = 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1263,6 = \mathbf{568,62 \text{ kN}}$$

$$P_{m\infty} = 0,9 \cdot P_{m0} = 0,9 \cdot 568,62 = \mathbf{511,76 \text{ kN}}$$

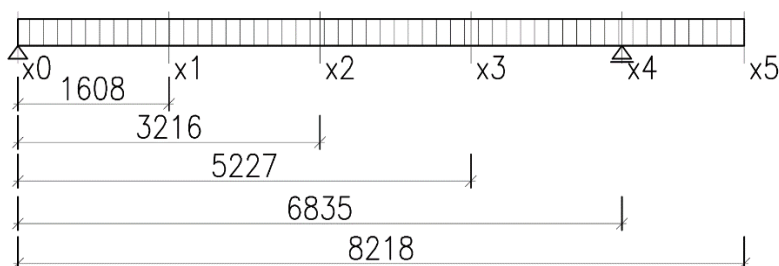
### 1.5.4. NÁVRH KABELOVÉ DRÁHY

- podle nerovnic podmínek napětí jsem našel předpínací sílu v čase  $t_0$ , kterou využiji pro nalezení bodů koridoru pro trasu kabelu po délce nosníku
- použiji stejnou metodu jako při hledání předpínací síly  $P_0$  pomocí nerovnic podmínek napětí, kde bude jediná neznámá excentricita  $e_p$

#### PODMÍNKY

- |                                 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| a) $\sigma_c^- \leq 0,6f_{ck}$  | CHARAKTERISTICKÁ |
| b) $\sigma_c^- \leq 0,45f_{ck}$ | KVAZISTÁLÁ       |
| c) $\sigma_c^+ \leq f_{ctm}$    | ČASTÁ            |

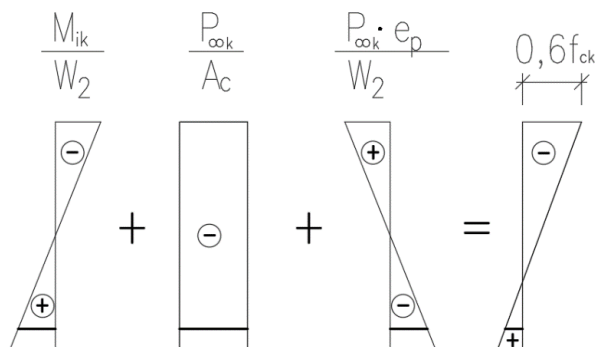
#### Rozdělení nosníku



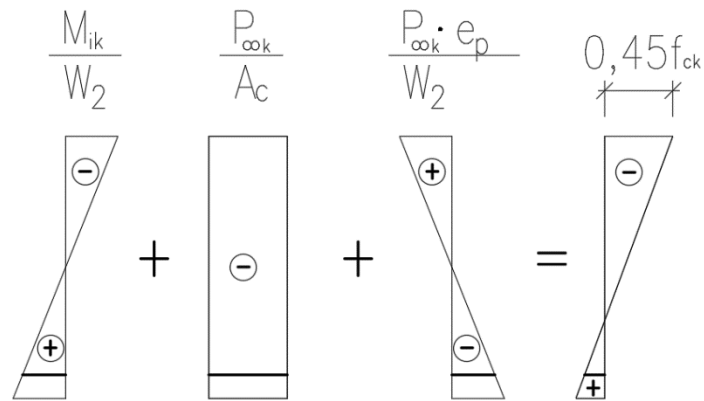
#### ŘEZ $x_0$ ZAČÁTEK NOSNÍKU = 0,00 m

V čase  $t_\infty$

- a)  $\sigma_c^{h-}$ :



$$\begin{aligned}
 & -\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck} \\
 & -\frac{0}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 18\,000 \\
 & e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 20693,47 \\
 & e_p 40455,34 \leq 20693,47 \\
 & e_p \leq \mathbf{0,512\,m}
 \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^h$ :

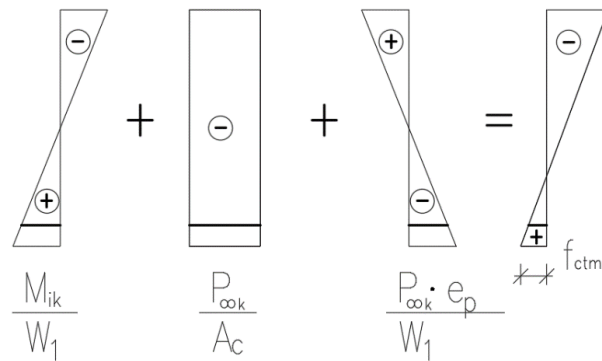
$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45f_{ck}$$

$$-\frac{0}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 13\,500$$

$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 16193,47$$

$$e_p 40455,34 \leq 16193,47$$

$$e_p \leq \mathbf{0,40\,m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :

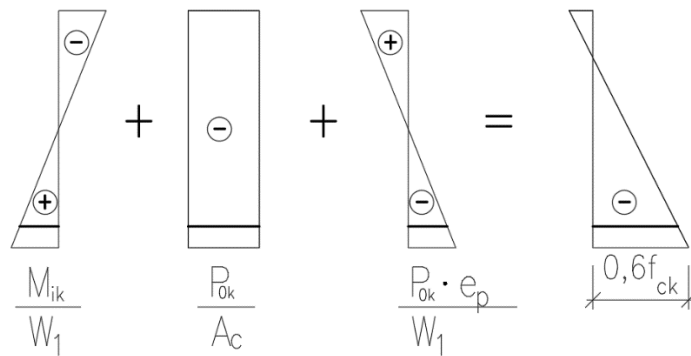
$$\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} - \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

$$+\frac{0}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} - \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} \leq 2900$$

$$-e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} \leq 5593,47$$

$$-e_p 82675,3 \leq 5593,47$$

$$e_p \geq \mathbf{-0,068\,m}$$

V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^{d-}$ :

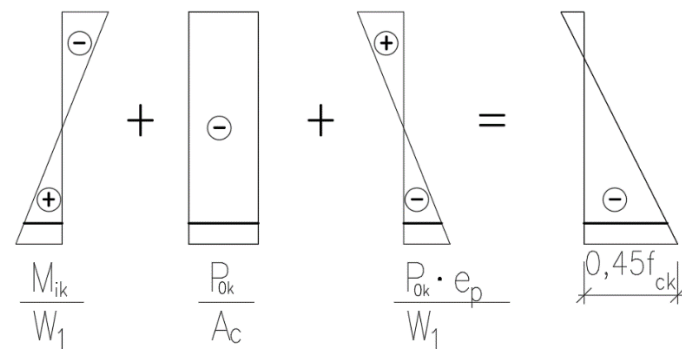
$$\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6f_{ck}$$

$$\frac{0}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 18\,000$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,00619} \leq 20993,3$$

$$-e_p 91877,2 \leq 20993,3$$

$$e_p \geq -0,228\,m$$

b)  $\sigma_c^{d-}$ :

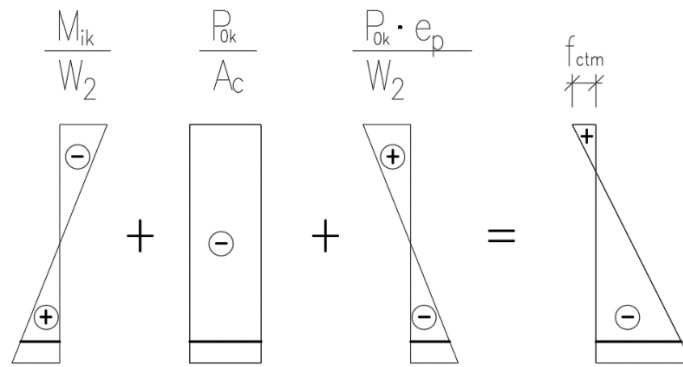
$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45f_{ck}$$

$$\frac{0}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,00619} \leq 16493,3$$

$$-e_p 91877,2 \leq 16493,3$$

$$e_p \geq -0,18\,m$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

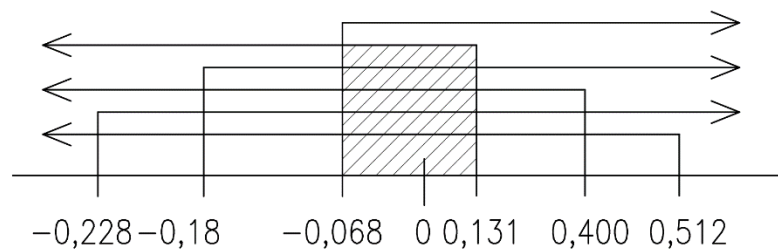
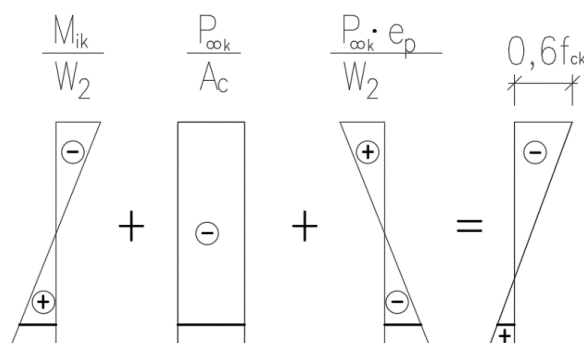
$$-\frac{0}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} + \frac{568,62 \cdot e_p}{0,01265} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 5893,26$$

$$e_p 44958,1 \leq 5893,26$$

$$e_p \leq \mathbf{0,131\ m}$$

Vynesení excentricity na osu

ŘEZ x<sub>1</sub> V POLI = 1,608 mV čase  $t_\infty$ a)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$-\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

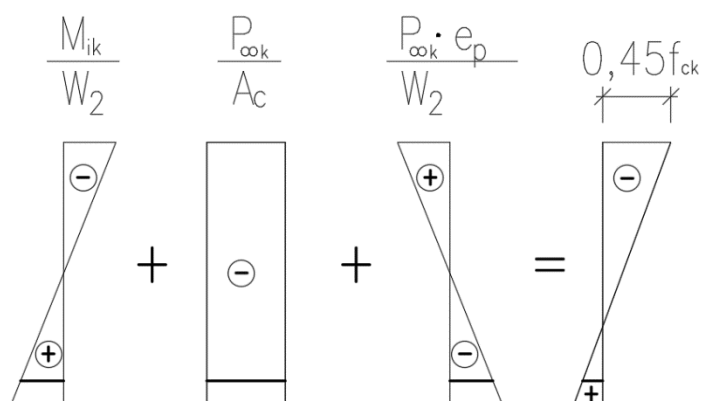
$$-\frac{82,04}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 18\,000$$

$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 27178,85$$

$$e_p 40455,34 \leq 27178,85$$

$$e_p \leq \mathbf{0,672\,m}$$

b)  $\sigma_c^h$ :



$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45f_{ck}$$

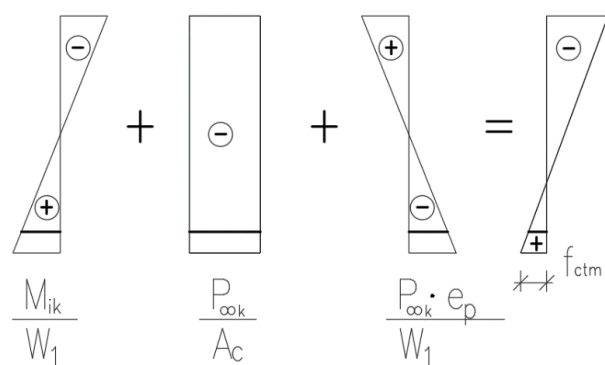
$$-\frac{69,51}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 13\,500$$

$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 21688,34$$

$$e_p 40455,34 \leq 21688,34$$

$$e_p \leq \mathbf{0,536\,m}$$

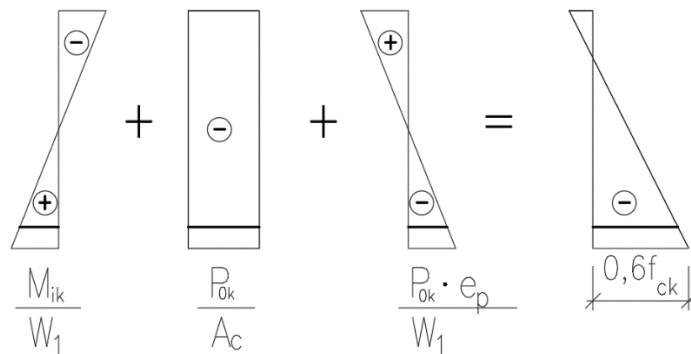
c)  $\sigma_c^{d+}$ :



$$\begin{aligned}
\frac{M_{E\psi 1}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} - \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} &\leq f_{ctm} \\
+ \frac{73,09}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} - \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} &\leq 2900 \\
-e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} &\leq -6214,28 \\
-e_p 82675,3 &\leq -6214,28 \\
e_p &\geq \mathbf{0,075\ m}
\end{aligned}$$

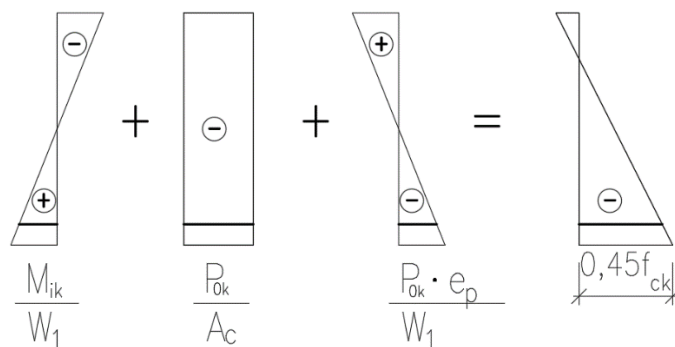
V čase  $t_0$

a)  $\sigma_c^d$ :



$$\begin{aligned}
\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} &\leq 0,6f_{ck} \\
\frac{18,55}{0,00619} - \frac{568,23}{0,19} - \frac{568,23 \cdot e_p}{0,00619} &\leq 18\,000 \\
-e_p \cdot \frac{568,23}{0,00619} &\leq 17996 \\
-e_p 91798,1 &\leq 17996 \\
e_p &\geq \mathbf{-0,196\ m}
\end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^d$ :



$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45 f_{ck}$$

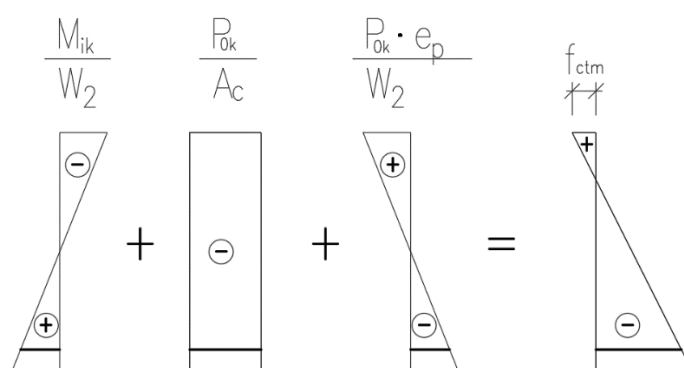
$$\frac{18,55}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,00619} \leq 13496$$

$$-e_p 91798,1 \leq 13496$$

$$e_p \geq -0,147 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :



$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

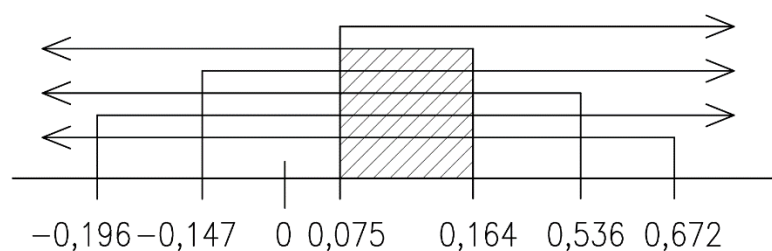
$$-\frac{18,55}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 7359,14$$

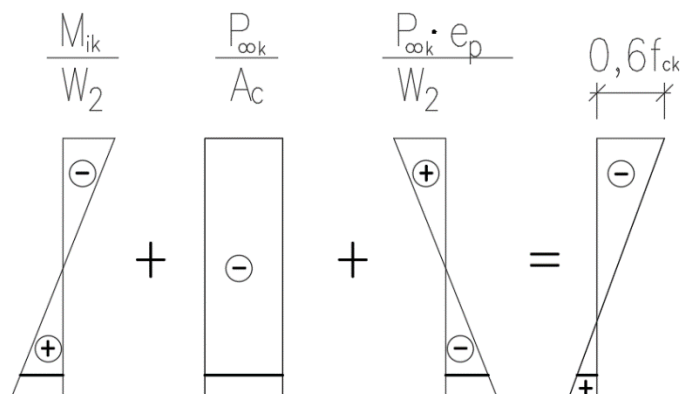
$$e_p 44950,2 \leq 7359,14$$

$$e_p \leq 0,164 \text{ m}$$

Vynesení excentricity na osu





ŘEZ  $x_2$  V POLI – NEJVÍCE NAMÁHANÉ MÍSTO NOSNÍKU = 3,216 mV čase  $t_{\infty}$ a)  $\sigma_c^{h-}$ :

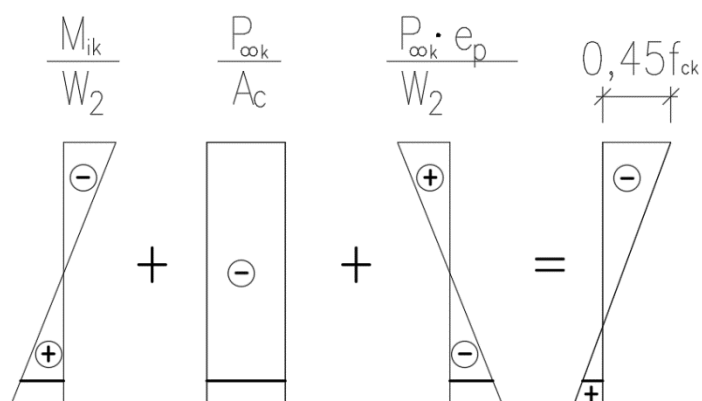
$$-\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

$$-\frac{108,97}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 18\,000$$

$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 29307,7$$

$$e_p 40455,34 \leq 29307,7$$

$$e_p \leq \mathbf{0,724\,m}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45f_{ck}$$

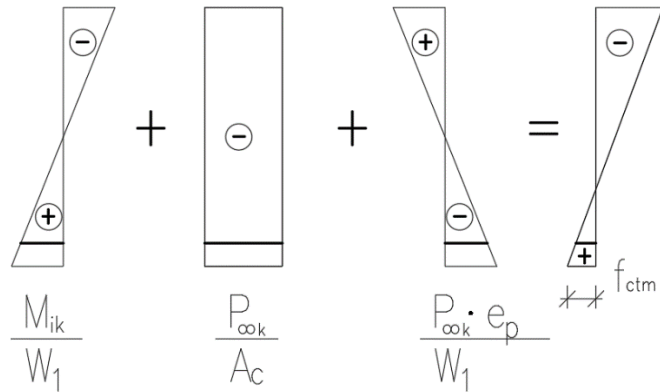
$$-\frac{92,15}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 13\,500$$

$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 23478,06$$

$$e_p 40455,34 \leq 23478,06$$

$$e_p \leq \mathbf{0,58\ m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :



$$\frac{M_{E\psi 1}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} - \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} \leq f_{ctm}$$

$$+ \frac{96,96}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} - \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} \leq 2900$$

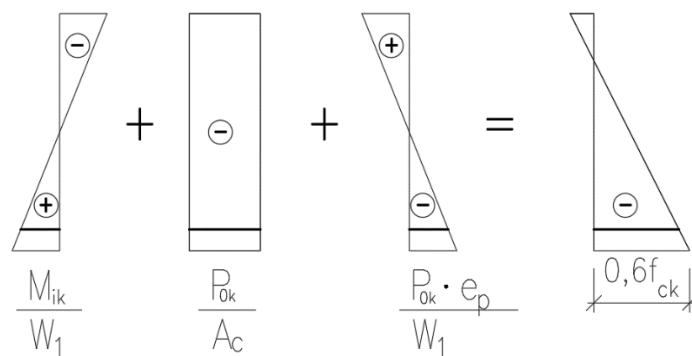
$$-e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} \leq -10070,5$$

$$-e_p 82675,3 \leq -10070,5$$

$$e_p \geq \mathbf{0,122\ m}$$

V čase  $t_0$

a)  $\sigma_c^{d-}$ :



$$\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6 f_{ck}$$

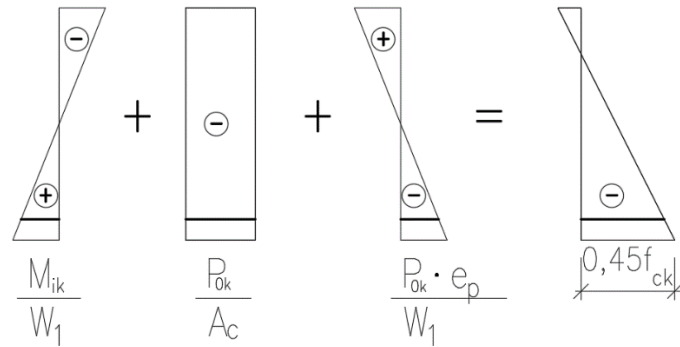
$$\frac{24,88}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 18\ 000$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 16973,4$$

$$-e_p 91861,1 \leq 16973,4$$

$$e_p \geq -0,185 \text{ m}$$

b)  $\sigma_c^d$ :



$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45 f_{ck}$$

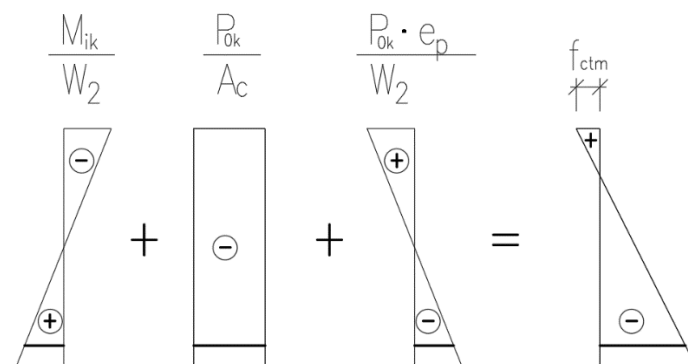
$$\frac{24,88}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 12473,4$$

$$-e_p 91861,1 \leq 12473,4$$

$$e_p \geq -0,136 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :



$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

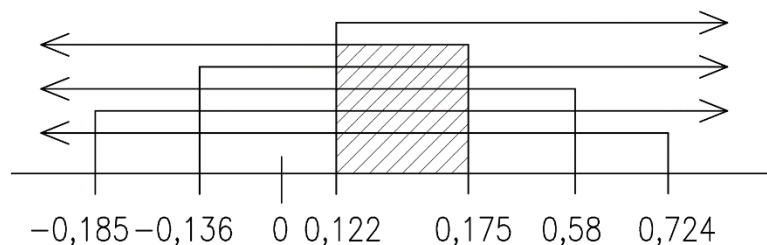
$$-\frac{24,88}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} + \frac{568,62 \cdot e_p}{0,01265} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 7859,54$$

$$e_p 44950,2 \leq 7859,54$$

$$e_p \leq \mathbf{0,175\ m}$$

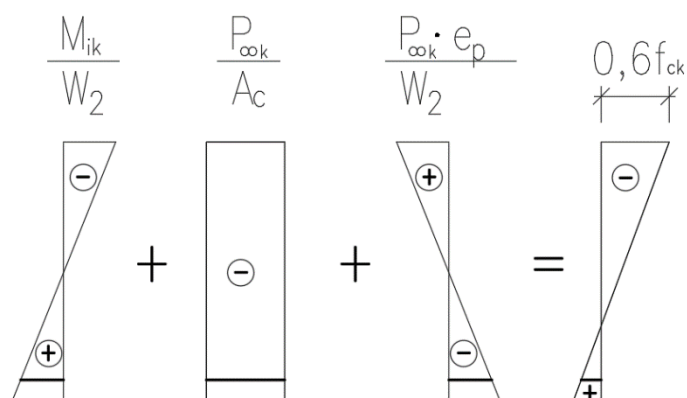
Vynesení excentricity na osu



ŘEZ  $x_3$  V POLI = 5,227 m

V čase  $t_\infty$

a)  $\sigma_c^{h-}$ :



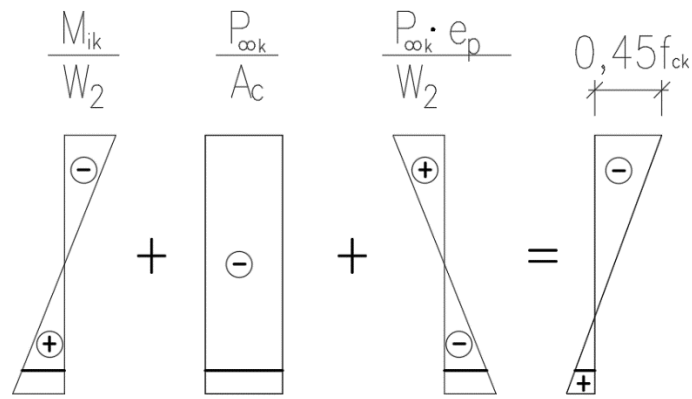
$$-\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

$$-\frac{63,71}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 18\,000$$

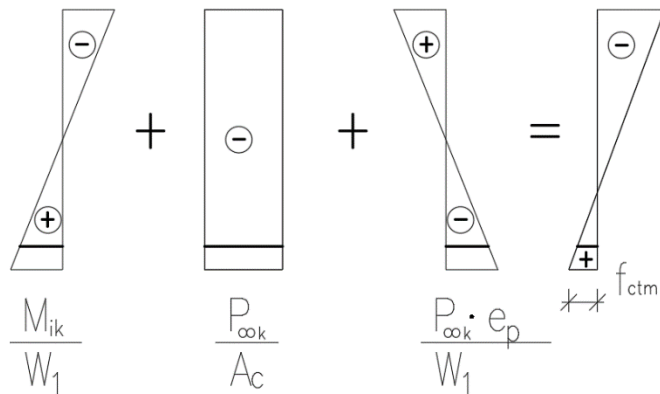
$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 25729,84$$

$$e_p 40455,34 \leq 25729,84$$

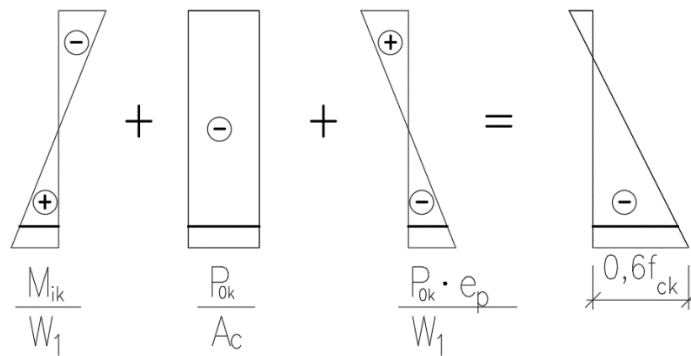
$$e_p \leq \mathbf{0,636\ m}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$\begin{aligned}
 & -\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45 f_{ck} \\
 & -\frac{53,45}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} \leq 13\,500 \\
 & e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 20418,77 \\
 & e_p 40455,34 \leq 20418,77 \\
 & e_p \leq \mathbf{0,505\,m}
 \end{aligned}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :

$$\begin{aligned}
 & \frac{M_{E\psi 1}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} - \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} \leq f_{ctm} \\
 & + \frac{56,38}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} - \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} \leq 2900 \\
 & -e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} \leq -3514,77 \\
 & -e_p 82675,3 \leq -3514,77 \\
 & e_p \geq \mathbf{0,043\,m}
 \end{aligned}$$

V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^{d-}$ :

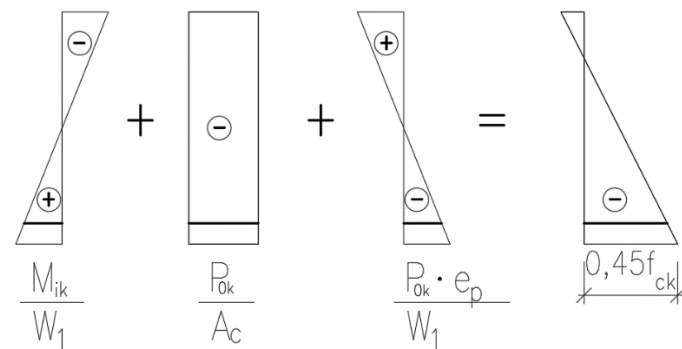
$$\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6 f_{ck}$$

$$\frac{15,11}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 18\,000$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 18551,7$$

$$-e_p \cdot 91861,1 \leq 18551,7$$

$$e_p \geq -0,202 \text{ m}$$

b)  $\sigma_c^{d-}$ :

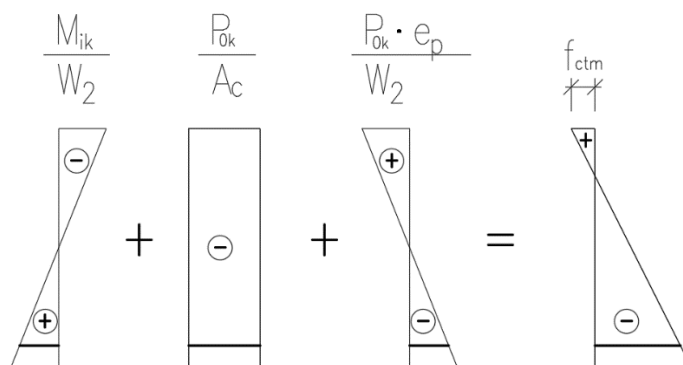
$$\frac{M_{EK\psi 2}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$\frac{15,11}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,00619} \leq 14051,7$$

$$-e_p \cdot 91861,1 \leq 14051,7$$

$$e_p \geq -0,153 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

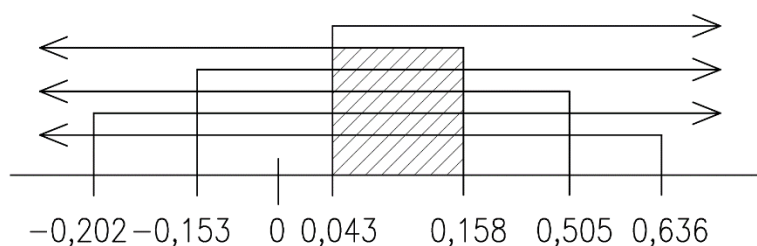
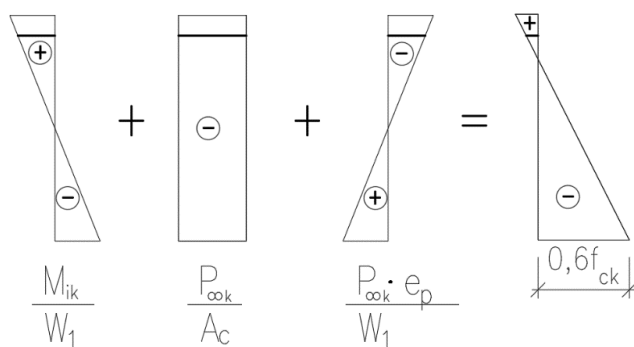
$$-\frac{15,11}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} + \frac{568,62 \cdot e_p}{0,01265} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 7087,2$$

$$e_p 44950,2 \leq 7087,2$$

$$e_p \leq \mathbf{0,158\ m}$$

Vynesení excentricity na osu

ŘEZ x<sub>4</sub> NAD PODPOROU = 6,835 mV čase  $t_\infty$ a)  $\sigma_c^{d-}$ :

$$-\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6f_{ck}$$

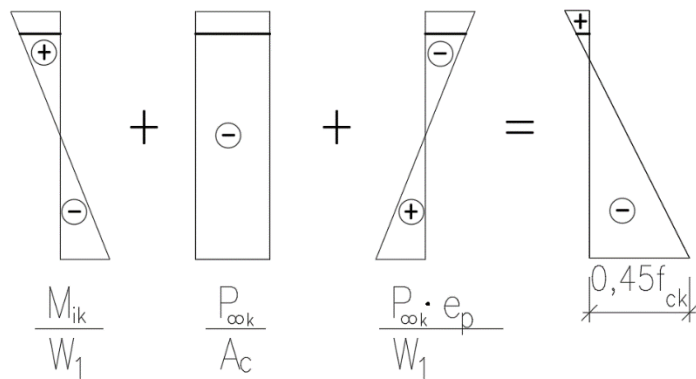
$$-\frac{31,97}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} \leq 18\,000$$

$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} \leq 25858,3$$

$$e_p 82675,3 \leq 25858,3$$

$$e_p \leq \mathbf{0,313\,m}$$

b)  $\sigma_c^d$ :



$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45f_{ck}$$

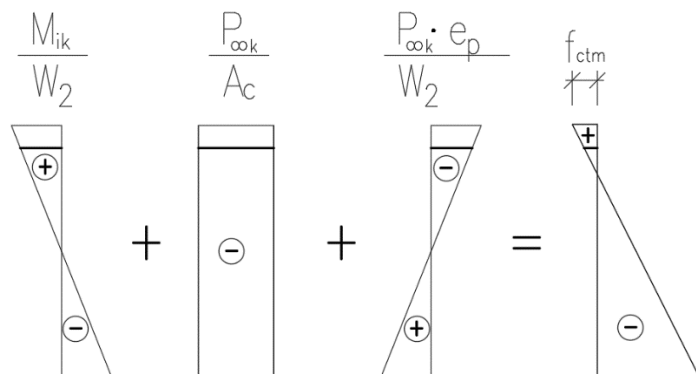
$$-\frac{27,43}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} \leq 13\,500$$

$$e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} \leq 20624,8$$

$$e_p 82675,3 \leq 20624,8$$

$$e_p \leq \mathbf{0,249\,m}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

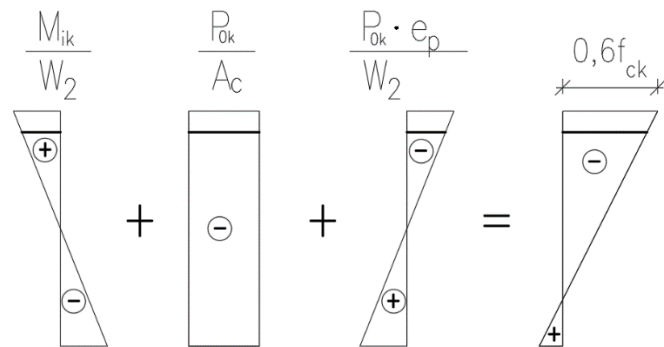




$$\begin{aligned}
 \frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} - \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} &\leq f_{ctm} \\
 + \frac{28,65}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} - \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} &\leq 2900 \\
 -e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} &\leq 3328,65 \\
 -e_p 40455,34 &\leq 3328,65 \\
 e_p &\geq -0,082 \text{ m}
 \end{aligned}$$

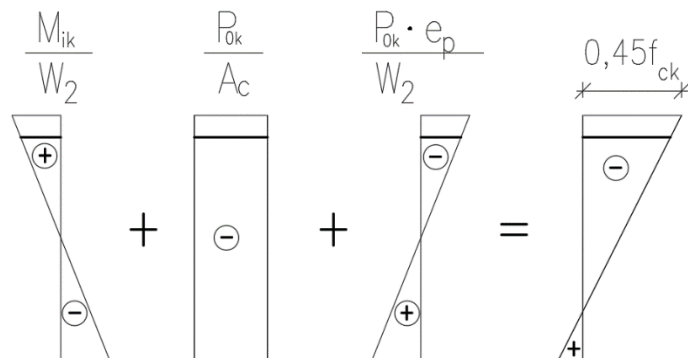
V čase  $t_0$

a)  $\sigma_c^{h-}$ :



$$\begin{aligned}
 \frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} &\leq 0,6f_{ck} \\
 \frac{6,41}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,01265} &\leq 18\,000 \\
 -e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} &\leq 20486,02 \\
 -e_p 44950,2 &\leq 20486,02 \\
 e_p &\geq -0,456 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :



$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45 f_{ck}$$

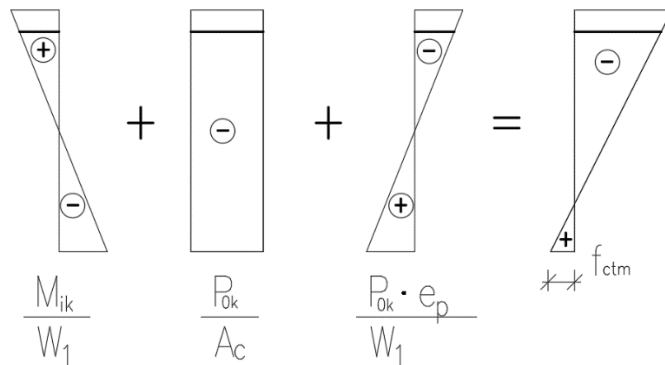
$$\frac{6,41}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,01265} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} \leq 15986,02$$

$$-e_p 44950,2 \leq 15986,02$$

$$e_p \geq -0,356 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :



$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

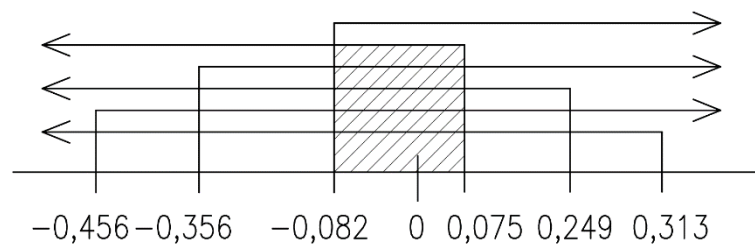
$$-\frac{6,41}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} + \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 2900$$

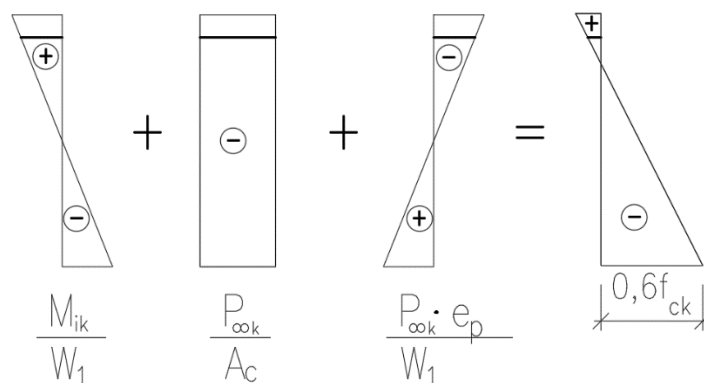
$$e_p \cdot \frac{568,62}{0,00619} \leq 6928,28$$

$$e_p 91861,1 \leq 6928,25$$

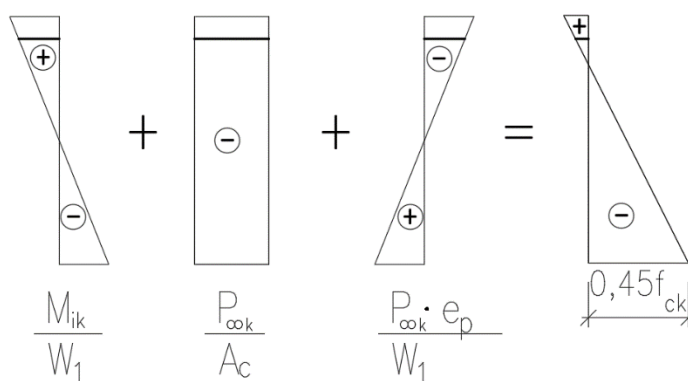
$$e_p \leq 0,075 \text{ m}$$

Vynesení excentricity na osu



ŘEZ  $x_5$  NA KONCI NOSNÍKU = 8,218 mV čase  $t_\infty$ a)  $\sigma_c^d$ :

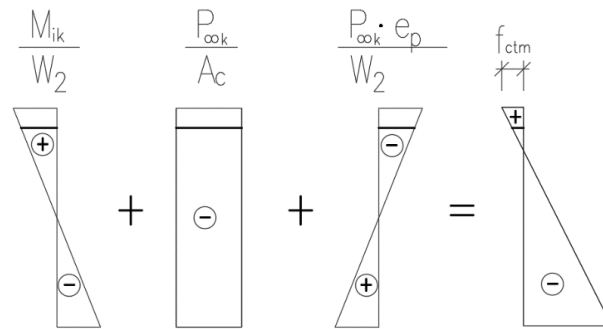
$$\begin{aligned}
 -\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} &\leq 0,6f_{ck} \\
 -\frac{0}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} &\leq 18\,000 \\
 e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} &\leq 20693,5 \\
 e_p 82675,3 &\leq 20693,5 \\
 e_p &\leq \mathbf{0,250\,m}
 \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^d$ :

$$\begin{aligned}
 -\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} &\leq 0,45f_{ck} \\
 -\frac{0}{0,00619} - \frac{511,76}{0,19} + \frac{511,76 \cdot e_p}{0,00619} &\leq 13\,500 \\
 e_p \cdot \frac{511,76}{0,00619} &\leq 16193,5 \\
 e_p 82675,3 &\leq 16193,5
 \end{aligned}$$

$$e_p \leq 0,196 \text{ m}$$

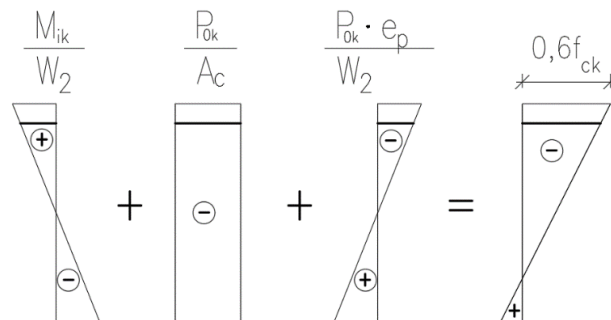
c)  $\sigma_c^{h+}$ :



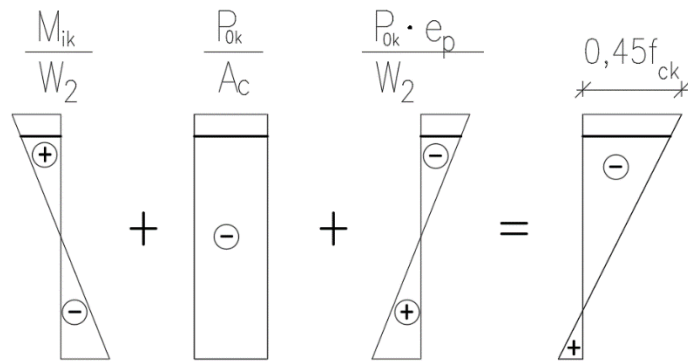
$$\begin{aligned} \frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} - \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} &\leq f_{ctm} \\ + \frac{0}{0,01265} - \frac{511,76}{0,19} - \frac{511,76 \cdot e_p}{0,01265} &\leq 2900 \\ -e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} &\leq 5593,47 \\ -e_p 40455,3 &\leq 5593,47 \\ e_p &\geq -0,138 \text{ m} \end{aligned}$$

V čase  $t_0$

a)  $\sigma_c^{h-}$ :



$$\begin{aligned} \frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} &\leq 0,6f_{ck} \\ \frac{0}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,01265} &\leq 18\,000 \\ -e_p \cdot \frac{568,62}{0,01265} &\leq 20992,74 \\ -e_p 44950 &\leq 20992,74 \\ e_p &\geq -0,467 \text{ m} \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :

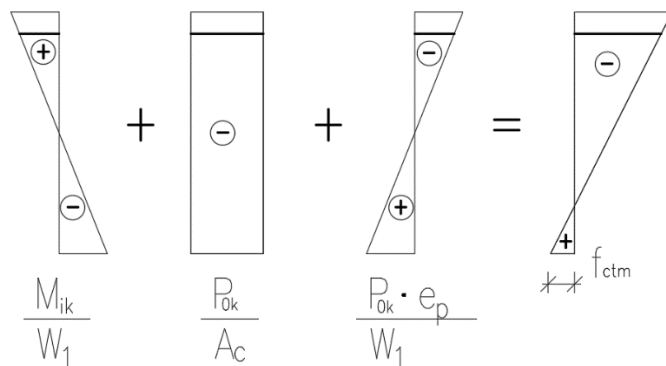
$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$\frac{0}{0,01265} - \frac{568,62}{0,19} - \frac{568,62 \cdot e_p}{0,01265} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{511,76}{0,01265} \leq 16492,74$$

$$-e_p 44950,2 \leq 16492,74$$

$$e_p \geq -0,367 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :

$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq f_{ctm}$$

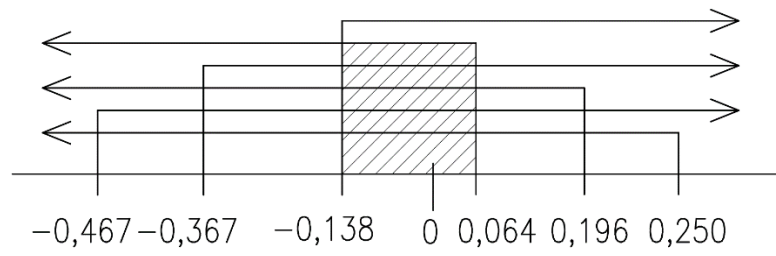
$$-\frac{0}{0,00619} - \frac{568,62}{0,19} + \frac{568,62 \cdot e_p}{0,00619} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{568,62}{0,00619} \leq 5892,74$$

$$e_p 91861,1 \leq 5892,74$$

$$e_p \leq 0,064 \text{ m}$$

Vynesení excentricity na osu

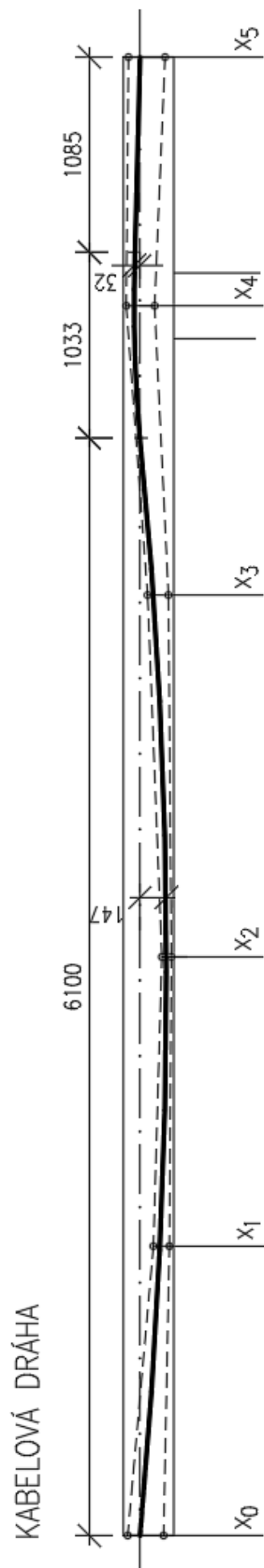


Excentricita lana v místě největšího momentu v poli

$$e_p = 0,147 \text{ m}$$

Excentricita lana v místě nad podporou

$$e_p = 0,032 \text{ m}$$



## 1.6. OKAMŽITÉ ZTRÁTY

Posuzované v místě největšího momentu mezi podporami nosníku

### 1.6.1. ZTRÁTA TŘENÍM

$$\Delta\sigma_{p\mu} = -\sigma_{p,nap} \cdot (1 - e^{-\mu(\omega+kx)})$$

$\mu = 0,05 \text{ rad}^{-1}$  - součinitel tření lana z katalogu firmy FREYSSINET

$k = 0,007 \text{ rad/m}$  - nežádoucí změna úhlu kabelu

$\sigma_{p,nap} = 1404 \text{ MPa}$  - napětí v laně vyvozené předpínací pistolí při předpínání

$\omega$  - celková zamýšlená úhlová změna po délce kabelu

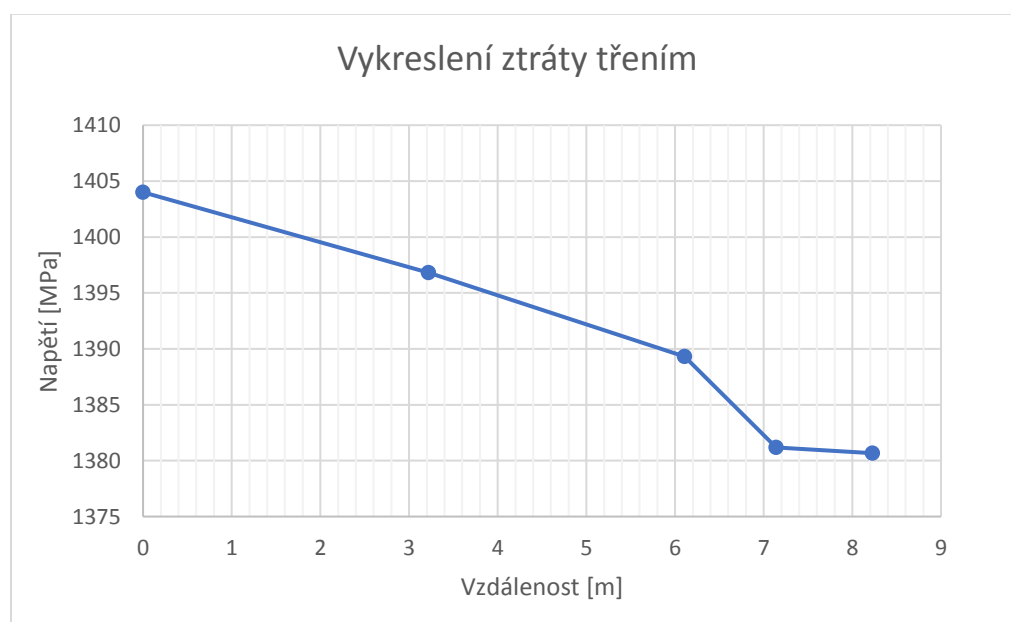
$$\Delta\sigma_{p\mu} = -1404 \cdot (1 - e^{-0,05(0,0803+0,007 \cdot 3,22)}) = -7,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p\mu} = \sigma_{p,nap} + \Delta\sigma_{p\mu} = 1404 - 7,2 = 1396,8 \text{ MPa}$$

Tabulka ztrát v jednotlivých úsecích

x	l	$\omega$	$\omega$	$\mu$	k	$\sigma_p$	$\Delta\sigma_{p\mu}$	$\sigma_{p\mu}$
[m]	[m]	[°]	[rad]	[rad <sup>-1</sup> ]	[rad/m]	Mpa	Mpa	Mpa
0	0	0	0	0,05	0,007	1404	0	1404
<b>3,22</b>	<b>3,22</b>	<b>4,6</b>	<b>0,0803</b>	<b>0,05</b>	<b>0,007</b>	<b>1404</b>	<b>-7,2</b>	<b>1396,8</b>
2,888	6,108	5	0,0873	0,05	0,007	1396,8	-7,49	1389,31
1,034	7,142	6,3	0,11	0,05	0,007	1389,31	-8,12	1381,19
1,085	8,227	0	0	0,05	0,007	1381,19	-0,52	1380,67

Graf znázorňující ztráty třením po délce kabelu





Protažení lana

$$\Delta l = \frac{l \cdot \sigma_{p\mu,pr\ddot{a}m}}{E} = \frac{8,227 \cdot 1392,83}{195\,000} = 0,0588\,m$$

### 1.6.2. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POKLUZEM V KOTVĚ

- ztráta pokluzem řešená grafickou metodou dosáhnutím plochy pokluzu

Vztah pro pokluz v kotvě

$$w = \frac{1}{E_p} A_w \rightarrow A_w = E_p \cdot w = 195 \cdot 10^3 \cdot 0,003 = 585\,mm^2$$

$w = 0,003\,m$  - pokluz lana v kotvě

- celková plocha pokluzu  $A_w$  je vymezená shora křivkou z grafu Vykreslení ztráty třením a zezdola je limitovaná inverzní křivkou ztráty třením
- odhadnu vymizení pokluzu mezi 1. a 2. úsekem
- pro zjednodušení budu počítat s lineárním průběhem křivky ztráty třením (v bodě  $x=3,22$  se křivka nepatrným rozdílem láme)

$$A_1 = 2 \cdot \frac{3,22 \cdot 7,2}{2} = 23,18\,mm^2$$

$$A_2 = 2 \cdot \frac{6,108 \cdot 14,69}{2} = 89,73\,mm^2$$

$$A_w \notin < A_1; A_2 >$$

$$585 \notin < 23,18; 89,73 >$$

- jelikož se potřebná plocha nenachází v daném intervalu mezi  $A_1$  a  $A_2$ , znamená to, že v dané části pokluz nevymizí a vzhledem k tomu, že jde o větší část délky lana v konstrukci, pravděpodobně pokluz po délce lana nevymizí díky nízkému koeficientu tření monostrandu
- vypočítám tedy plochu pod oběma křivkami (tření, pokluz) a z rozdílu s plochou  $A_w$  získáme plochu napětí mezi posledními měřenými body lana, kde snadno zjistíme výšku napětí, protože známe celkovou délku lana

$$A_1 = \frac{3,22 \cdot 7,2}{2} = 23,184\,mm^2$$

$$A_2 = \frac{2,888 \cdot 7,49}{2} + 3,22 \cdot 7,49 = 34,93\,mm^2$$

$$A_3 = \frac{1,034 \cdot 8,12}{2} + 6,108 \cdot 8,12 = 53,80\,mm^2$$

$$A_4 = \frac{1,085 \cdot 0,52}{2} + 7,142 \cdot 0,52 = 3,996\,mm^2$$

$$A = 2 \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + A_4)$$

$$A = 2 \cdot (23,184 + 34,93 + 53,8 + 3,996) = 231,82\,mm^2$$

$$A_w - A = 585 - 231,82 = 353,18 \text{ mm}^2$$

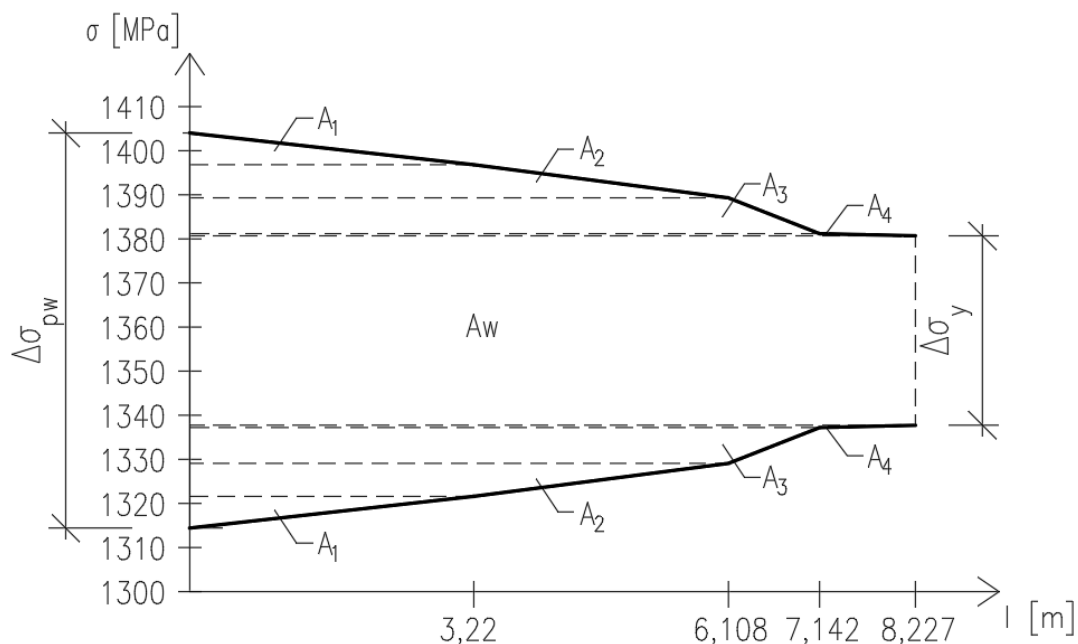
$$A_w - A = l_w \cdot \Delta\sigma_y \gg \Delta\sigma_y = \frac{A_w - A}{l_w}$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{353,18}{8,227} = 42,93 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pw} = 2 \cdot (\Delta\sigma_{p\mu 1} + \Delta\sigma_{p\mu 2} + \Delta\sigma_{p\mu 3} + \Delta\sigma_{p\mu 4}) + \Delta\sigma_y$$

$$\Delta\sigma_{pw} = 2 \cdot (7,2 + 7,49 + 8,12 + 0,52) + 42,93 = 89,59 \text{ MPa}$$

Graf ztráty pokluzem



Tabulka ztrát předpětí pokluzem

$\sigma_{p\mu}$	$l_x$	$\Delta\sigma_{pw}$	$\sigma_{pw}$
Mpa	m	Mpa	Mpa
1404	0	-89,59	1314,41
1396,8	3,22	<b>-75,19</b>	<b>1321,61</b>
1389,31	6,108	-60,21	1329,1
1381,19	7,142	-43,97	1337,22
1380,67	8,227	-42,93	1337,74

### 1.6.3. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POSTUPNÝM NAPÍNÁNÍM

- počet předpínacích lan – 3 ks
- lana jsou napínaná z jedné strany
- uvažují s postupným napínáním po jednom laně

$$\Delta\sigma_{pep} = \Delta\sigma_c \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot j$$

$$j = \frac{n_p - 1}{2 \cdot n_p} = \frac{3 - 1}{2 \cdot 3} = \frac{1}{3}$$

$$\Delta\sigma_c = \frac{M_{gok}}{I_c} \cdot e_p + \left( -\frac{P_c}{Ac} - \frac{P_c \cdot e_p}{I_c} \cdot e_p \right)$$

$$\sigma_c = \sigma_{pnap} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{pw} = 1404 - 7,2 - 75,19 = 1321,61 \text{ MPa}$$

$$P_c = \sigma_c \cdot A_p = 1321,61 \cdot 0,00045 = 594,72 \text{ kN}$$

$$\Delta\sigma_c = \frac{24,88}{0,00116} \cdot 0,147 + \left( -\frac{594,72}{0,19} - \frac{594,72 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,147 \right) = 11,06 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pep} = -11,06 \cdot \frac{195}{32} \cdot \frac{1}{3} = -22,24 \text{ MPa}$$

#### 1.6.4. ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE

- 2. třída relaxačního chování (lana s nízkou relaxací)
- předpokládaná doba podržení počátečního napětí  $t_{cor} = 5 \text{ min}$

$$t_{cor} = 5 \text{ min} = 0,08333 \text{ h}$$

$p_{1000} = 2,5 \%$  - hodnota ztráty relaxace v 1000 hodin po napnutí při průměrné teplotě  $20^\circ\text{C}$

Okamžitá ztráta - doba  $t_{cor}$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left( \frac{t_{cor}}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\sigma_{pi} = \sigma_{pnap} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pep} = 1404 - 7,2 - 75,19 - 22,24 = 1284,97 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pi}}{f_{pk}} = \frac{1284,97}{1770} = 0,726$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,726} \cdot \left( \frac{0,08333}{1000} \right)^{0,75(1-0,726)} \cdot 1284,97$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -2,26 \text{ MPa}$$

Ztráta do času  $t_e = 1 \text{ h}$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left( \frac{t_e}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,726} \cdot \left( \frac{1}{1000} \right)^{0,75(1-0,726)} \cdot 1284,97$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -3,77 \text{ MPa}$$

Přírutek ztráty za zbývající čas do 24 h

$$\Delta t_i = 24 - t_e = 24 - 1 = 23 \text{ h}$$

$$\frac{\Delta \sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left(\frac{t_i}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\Delta \sigma_{pr} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,726} \cdot \left(\frac{23}{1000}\right)^{0,75(1-0,726)} \cdot 1284,97$$

$$\Delta \sigma_{pr} = -7,17 \text{ MPa}$$

### 1.6.5. OKAMŽITÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

$$\sum \sigma_p = \Delta \sigma_{p\mu} + \Delta \sigma_{pw} + \Delta \sigma_{pep} + \Delta \sigma_{pr} = -7,2 - 75,19 - 22,24 - 7,17$$

$$\sum \sigma_p = -126,2$$

$$\sigma_{pm,0} = \sigma_{pnap} + \sum \sigma_p = 1404 - 127,25 = \mathbf{1277,8 \text{ MPa}}$$

$$\frac{\sigma_{pm,0}}{\sigma_{pnap}} = \frac{1277,8}{1404} = 0,91 \Rightarrow 9\% \text{ - KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY}$$

Posouzení

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži bezprostředně po vnesení předpětí do betonu:

$$\sigma_{pm0(x)} = \min\{0,75f_{pk}; 0,85f_{p0,1k}\} = \min\{0,75 \cdot 1770; 0,85 \cdot 1560\}$$

$$\sigma_{pm0(x)} = \min\{1327,5; \mathbf{1326}\} = 1326 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm,0} = 1277,8 < \sigma_{pm0(x)} = 1326 \text{ MPa}$$

$$P_{ma} = \sigma_{pm0} \cdot A_{p1} = 1277,8 \cdot 10^3 \cdot 0,00015 = 191,67 \text{ kN}$$

$$P_{m0} = \sigma_{pm0} \cdot A_p = 1277,8 \cdot 10^3 \cdot 0,00045 = \mathbf{575,01 \text{ kN}}$$

## 1.7. DLOUHODOBÉ ZTRÁTY

Časově závislé

- Dotvarování c
- Smršťování t
- Relaxace r

Účinky zatížení

- od ostatního stálého zatížení  $g_1$
- od proměnného zatížení  $q_1$

### 1.7.1. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ SMRŠŤOVÁNÍM BETONU

Čas:  $t_s = 5$  dní

$t_0 = 28$  dní

$t_\infty = 18\,250$  dní

$$\Delta\sigma_{ps}(t_{i+1}, t_i) = \varepsilon_{cs}(t, t_1) \cdot E_p$$

$$\varepsilon_{cs}(t_{i+1}, t_i) = \varepsilon_{cd}(t_{i+1}, t_i) + \varepsilon_{ca}(t_{i+1}, t_i)$$

Poměrné přetvoření od vysychání

$$\varepsilon_{cd}(t_{i+1}, t_i) = \beta_{ds}(t_{i+1}, t_i) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}})}] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = 1,55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{60}{100} \right)^3 \right] = 1,2152$$

$RH = 60\%$  - relativní vlhkost okolního prostředí

$RH_0 = 100\%$

$f_{cm} = 38$  MPa

$f_{cm0} = 10$  MPa

$\alpha_{ds1} = 6$  - součinitel závislý na druhu cementu – třída R

$\alpha_{ds2} = 0,11$  - součinitel závislý na druhu cementu – třída R

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 6) \cdot e^{(-0,11 \cdot \frac{38}{10})}] \cdot 10^{-6} \cdot 1,2152 = 0,0005984$$

$k_h = 0,9823$  - součinitel závislý na náhradní tloušťce  $h_0$ , zjistíme ho pomocí interpolace

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,19}{3,40} = 0,1118 \text{ m}$$

$u = 3,4$  m - obvod prvku vystavený okolnímu prostředí

Tabulka pro součinitel  $k_h$ 

$h_0$ [mm]	$k_h$
100	1,00
200	0,85
111,8	0,9823

 $(t_0, t_s)$ 

$$\beta_{ds}(t_0, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} = \frac{(28 - 5)}{(28 - 5) + 0,04 \sqrt{111,8^3}} = 0,32724$$

$$\varepsilon_{cd}(t_0, t_s) = 0,32724 \cdot 0,9823 \cdot 0,0005984 = 0,0001924$$

 $(t_\infty, t_s)$ 

$$\beta_{ds}(t_{oo}, t_s) = \frac{(18250 - 5)}{(18250 - 5) + 0,04 \sqrt{111,8^3}} = 0,99742$$

$$\varepsilon_{cd}(t_{oo}, t_s) = 0,99742 \cdot 0,9823 \cdot 0,0005984 = 0,0005863$$

 $(t_\infty, t_0)$ 

$$\beta_{ds}(t_{oo}, t_0) = \beta_{ds}(t_{oo}, t_s) - \beta_{ds}(t_0, t_s) = 0,99742 - 0,32734 = 0,67018$$

$$\varepsilon_{cd}(t_{oo}, t_s) = 0,67018 \cdot 0,9823 \cdot 0,0005984 = 0,0003939$$

Poměrné autogenní smršťování

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (30 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,00005$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2t^{0,5})}$$

$$\beta_{as}(\infty) = 1 - e^{(-0,2\sqrt{18250})} = 1,00$$

$$\beta_{as}(0) = 1 - e^{(-0,2\sqrt{28})} = 0,653$$

$$\beta_{as}(t_\infty, t_0) = \beta_{as}(\infty) - \beta_{as}(0) = 1,00 - 0,653 = 0,347$$

$$\varepsilon_{ca}(t_\infty, t_0) = \beta_{as}(t_\infty, t_0) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 0,347 \cdot 0,00005 = 0,00001735$$

$$\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0) = \varepsilon_{cd}(t_{oo}, t_s) + \varepsilon_{ca}(t_\infty, t_0) = 0,0003939 + 0,00001735 = 0,00041125$$

$$\Delta\sigma_{ps} = -\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0) \cdot E_p = -0,00041125 \cdot 195000 = -80,194 \text{ MPa}$$

Účinky dlouhodobých zatížení

- vliv zatížení ostatních stálých složek  $g_1$

$$\Delta\sigma_{peg1} = \frac{M_{g1}}{I_c} \cdot e_p \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{59,95}{0,00116} \cdot 0,147 \cdot \frac{195}{32} = 46,29 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{peg1} = \Delta\sigma_{peg1} \cdot A_p = 46,29 \cdot 0,00045 = 20,83 \text{ kN}$$

### 1.7.2. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ DOTVAROVÁNÍM BETONU

Čas:  $t_0 = 28$  dní

$t_{g1} = 100$  dní

$t = 18\,250$  dní

$$\Delta\sigma_{pc}(t, t_1) = \varepsilon_{cc}(t, t_1) \cdot E_p = \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi(t, t_1) \cdot \sigma_{c, QP}$$

Stanovení součinitele dotvarování

$$\varphi(t, t_1) = \varphi_0 \cdot \beta(t, t_1)$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{(f_{cm})} \cdot \beta_{(t_0)}$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,3 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \text{ pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,7} = 0,9441$$

$$\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,2} = 0,9837$$

$$\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,5} = 0,9597$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - \frac{60}{100}}{0,3 \cdot \sqrt[3]{111,8}} \cdot 0,9441 \right] \cdot 0,9837 = 1,2407$$

$$\beta_{(f_{cm})} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{38}} = 2,7253$$

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,2})} = \frac{1}{(0,1 + 28^{0,2})} = 0,4884$$

$$\beta_{(t_g)} = \frac{1}{(0,1 + t_g^{0,2})} = \frac{1}{(0,1 + 100^{0,2})} = 0,3829$$

$$\varphi_0(t, t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta_{(f_{cm})} \cdot \beta_{(t_0)} = 1,2407 \cdot 2,7253 \cdot 0,4884 = 1,6514$$

$$\varphi_0(t, t_g) = \varphi_{RH} \cdot \beta_{(f_{cm})} \cdot \beta_{(t_g)} = 1,2407 \cdot 2,7253 \cdot 0,3829 = 1,2947$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 \quad \text{pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot 60)^{18}] \cdot 111,8 + 250 \cdot 0,9597 \leq 1500 \cdot 0,9597$$

$$\beta_H = 408,03 \leq 1439,55$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(18250 - 28)}{(408,03 + 18250 - 28)} \right]^{0,3} = 0,9934$$

$$\beta_c(t, t_g) = \left[ \frac{(t - t_g)}{(\beta_H + t - t_g)} \right]^{0,3} = \left[ \frac{(18250 - 100)}{(408,03 + 18250 - 100)} \right]^{0,3} = 0,9934$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0(t, t_0) \cdot \beta_c(t, t_0) = 1,6514 \cdot 0,9934 = 1,6405$$

$$\varphi(t, t_g) = \varphi_0(t, t_g) \cdot \beta_c(t, t_g) = 1,2947 \cdot 0,9934 = 1,2862$$

čas( $t_0$ )

$$\sigma_{c,QP} = -\frac{P_{m0}}{Ac} - \frac{P_{m0} \cdot e_p \cdot e_p}{I_c} + \frac{M_{g0k} \cdot e_p}{I_c}$$

$$\sigma_{c,QP} = -\frac{575,01}{0,19} - \frac{575,01 \cdot 0,147 \cdot 0,147}{0,00116} + \frac{24,88 \cdot 0,147}{0,00116} = -10,59 \text{ MPa}$$

čas( $t_g$ )

$$\sigma_{c,QP} = \frac{\Delta P_{peg1}}{Ac} + \frac{\Delta P_{peg1} \cdot e_p \cdot e_p}{I_c} + \frac{M_{g1k} \cdot e_p}{I_c}$$

$$\sigma_{c,QP} = \frac{20,83}{0,19} + \frac{20,83 \cdot 0,147 \cdot 0,147}{0,00116} + \frac{59,95 \cdot 0,147}{0,00116} = 8,09 \text{ MPa}$$

Určení  $\Delta\sigma_{pc}$

$$\Delta\sigma_{pc}(t_\infty; t_0) = \frac{\sigma_{c,QP}}{E_c} \cdot E_p \cdot \varphi(t_\infty, t_0) = \frac{-10,59}{32} \cdot 195 \cdot 1,6405 = -105,87 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pc}(t_\infty; t_g) = \frac{\sigma_{c,QP}}{E_c} \cdot E_p \cdot \varphi(t_\infty, t_g) = \frac{8,09}{32} \cdot 195 \cdot 1,2862 = 63,41 \text{ MPa}$$

### 1.7.3. ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE

v čase  $t_\infty = 438\,000$  hod (50 let)

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left( \frac{t}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\sigma_{pi} = \sigma_c = 1284,97 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pi}}{f_{pk}} = \frac{1284,97}{1770} = 0,726$$



$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,726} \cdot \left(\frac{438000}{1000}\right)^{0,75(1-0,726)}$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -54,36 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pr}(t_{\infty}, t_0) = \Delta\sigma_{pr}(t_{\infty}, t_i) - \Delta\sigma_{pr}(t_0, t_i) = -54,36 - (-7,17) = -47,19 \text{ MPa}$$

Účinky proměnných zatížení

- vliv zatížení  $q_1$

Charakteristická kombinace  $M_{q1k}$

$$\Delta\sigma_{peq1} = \frac{M_{q1,k}}{I_c} \cdot e_p \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{23,98}{0,00116} \cdot 0,147 \cdot \frac{195}{32} = 18,52 \text{ MPa}$$

Častá kombinace  $M_{q1k} \cdot \psi_1$

$$\psi_1 = 0,5$$

$$\Delta\sigma_{peq1} = \frac{M_{q1,k} \cdot \psi_1}{I_c} \cdot e_p \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{23,98 \cdot 0,5}{0,00116} \cdot 0,147 \cdot \frac{195}{32} = 9,26 \text{ MPa}$$

#### 1.7.4. DLOUHODOBÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

- za interval  $t_a = (1 \text{ den}, \infty)$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\Delta\sigma_{ps}(t_{\infty}, t_0) + 0,8 \cdot \Delta\sigma_{pr}(t_{\infty}, t_0) + \Delta\sigma_{pc}(t_{\infty}, t_0)}{1 + \psi_{cr} \cdot [1 + 0,8 \cdot \varphi(t_{\infty}, t_0)]} + \frac{\Delta\sigma_{pc}(t_{\infty}, t_g)}{1 + \psi_{cr} \cdot [1 + 0,8 \cdot \varphi(t_{\infty}, t_g)]}$$

$$\psi_{cr} = \tau_{cr} \cdot \left(1 + \frac{e_p^2}{i_{cr}}\right) = 0,0144 \cdot \left(1 + \frac{0,147^2}{0,0781}\right) = 0,0184$$

$$\tau_{cr} = \frac{E_p \cdot A_p}{E_{cm} \cdot A_c} = \frac{195 \cdot 0,00045}{32 \cdot 0,19} = 0,0144$$

$$i_{cr} = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,00116}{0,19}} = 0,0781$$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{-80,194 + 0,8 \cdot (-47,19) - 105,87}{1 + 0,0184 \cdot [1 + 0,8 \cdot 1,6405]} + \frac{63,41}{1 + 0,0184 \cdot [1 + 0,8 \cdot 1,2862]}$$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = -153,554 \text{ MPa}$$

**NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI V 50 LETECH**

$$KV: \sigma_{pm,\infty} = \sigma_{pm,0} + \Delta\sigma_{p,c+s+r} + \Delta\sigma_{peg1} = 1277,8 - 153,554 + 46,29 = 1170,54 \text{ MPa}$$

$$CH: \sigma'_{pm,\infty} = \sigma_{pm,\infty} + \Delta\sigma_{peq1} = 1153,17 + 18,52 = \mathbf{1189,06 \text{ MPa}}$$

$$\sigma''_{pm,\infty} = \sigma_{pm,\infty} = 1170,54 \text{ MPa}$$

$$\check{C}: \sigma'_{pm,\infty\psi1} = \sigma_{pm,\infty} + \Delta\sigma_{peq1} = 1170,54 + 9,26 = 1179,8 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma'_{pm,\infty}}{\sigma_{pm,0}} = \frac{1189,06}{1277,8} = 0,931 \Rightarrow 6,9\% - \text{DLOUHODOBÉ ZTRÁTY}$$

$$\Delta P_{peg1} = \Delta\sigma_{peg1} \cdot A_p = 46,29 \cdot 10^3 \cdot 0,00045 = 20,83 \text{ kN}$$

**KVAZISTÁLÁ**

$$P_{m\infty} = \sigma_{pm\infty} \cdot A_p = 1170,54 \cdot 10^3 \cdot 0,00045 = 526,74 \text{ kN}$$

**CHARAKTERISTICKÁ**

$$P'_{m\infty q} = \sigma'_{pm\infty} \cdot A_p = 1189,06 \cdot 10^3 \cdot 0,00045 = 535,08 \text{ kN}$$

**ČASTÁ**

$$P'_{m\infty q\psi1} = \sigma_{pm\infty} \cdot A_p = 1179,8 \cdot 10^3 \cdot 0,00045 = 530,91 \text{ kN}$$

**1.7.5. POSOUZENÍ A VYZTUŽENÍ KOTEVNÍCH OBLASTÍ**

- a) pod každou kotvou
- b) u povrchu

- a) dílčí oblasti

- pro všechny kotvy stejně

$$a \cdot a' = 70 \text{ mm}$$

$$b \cdot b' = \frac{P_{max}}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{1263,6}{0,6 \cdot 30 \cdot 10^3} = 0,07 \text{ m}^2$$

$$b' = \sqrt{0,07} = 0,265 \text{ m}$$

$$h = 1,2 \cdot \max\{b \cdot b'\} = 1,2 \cdot 0,265 = 0,318 \text{ m}$$

**PODMÍNKY**

$$\frac{b}{a} = \frac{265}{70} = 3,78 < 1,25 \cdot \sqrt{\frac{b \cdot b'}{a \cdot a'}} = 4,73$$

$$F_{ED,max} = P_{max} \cdot \gamma_p = 1263,6 \cdot 1,2 = 1516,3 \text{ kN}$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(b-a)}{b} \cdot F_{ED,max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(0,265 - 0,07)}{0,265} \cdot 1516,3 = 278,94 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{278,94}{250 \cdot 10^3} = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,15}{2} \cdot \frac{F_{ED,max}}{250 \cdot 10^3} = 4,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**NAVRŽENO 4  $\phi 20$ ;  $A_s = 12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

b) u povrchu

$$T_{sp} = 0,03 \cdot F_{ED,max} = 0,03 \cdot 1516,3 = 45,5 \text{ kN}$$

$$F_{ED,max} = P_{max} \cdot \gamma_p = 1263,6 \cdot 1,2 = 1516,3 \text{ kN}$$

$$A_{sp} = \frac{T_{sp}}{\sigma_{sd}} = \frac{45,5}{250 \cdot 10^3} = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

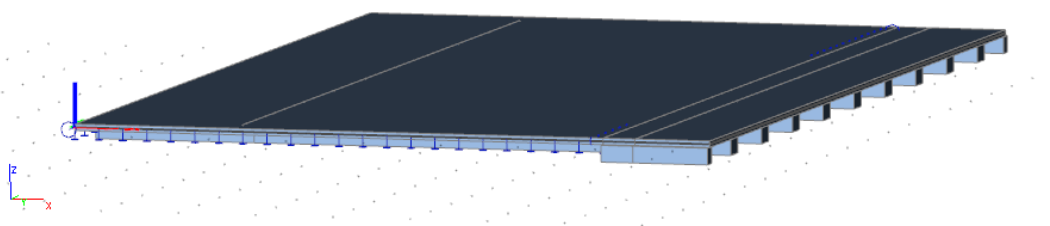
**NAVRŽENO 2 $\phi 12$ ;  $A_s = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

- u líce kotvy v každém směru

## 1.8. VNITŘNÍ SÍLY SCIA

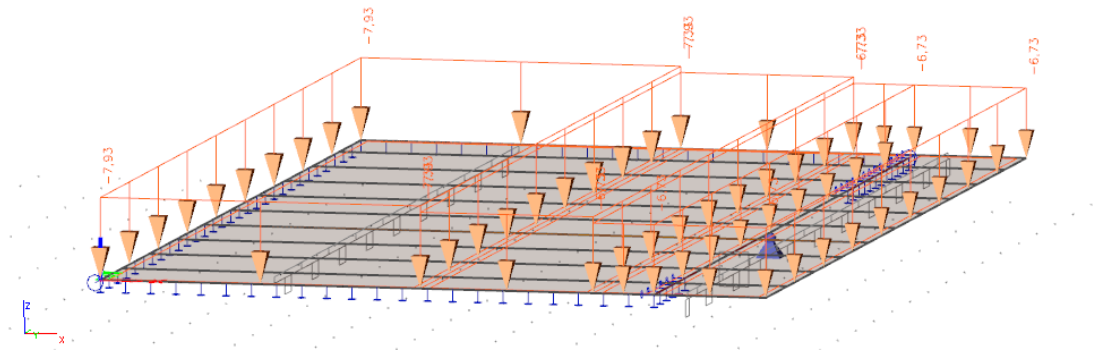
### 1.8.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

ZS1 – VLASTNÍ TÍHA



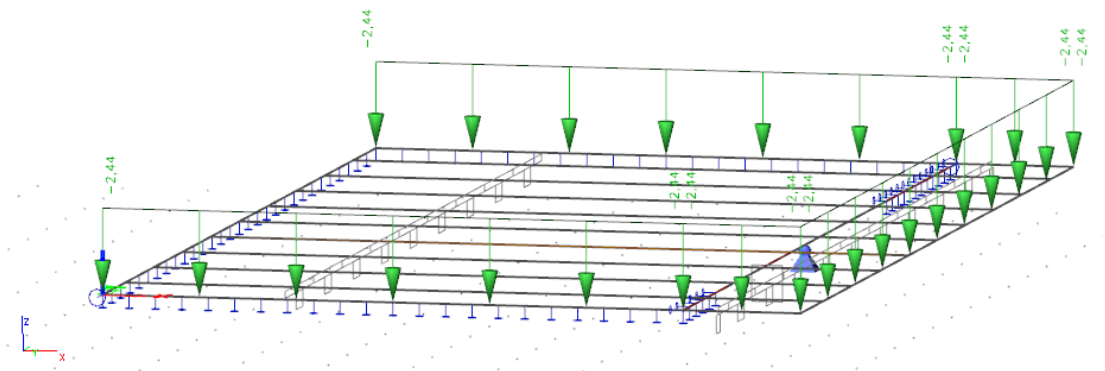
- zatížení automaticky dopočítané programem SCIA
- viz kapitola 1.3.1. STÁLÉ
  - objemová hmotnost betonu  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$
  - tíhové zrychlení  $g = 10 \text{ m/s}^2$

## ZS2 – SKLADBA STŘECHY



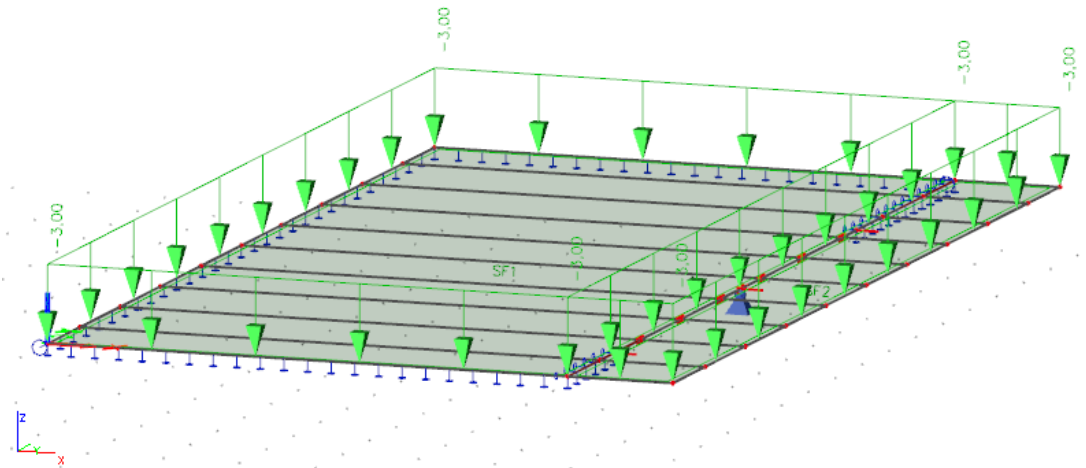
- skladba viz kapitola 1.3.1 – Stálé zatížení
- konstrukce rozdělena na 3 oblasti (sklon odvodnění)
- zatížení uvažované na 1 m<sup>2</sup>:
  - $g_{1.1k} = 11,893 / 1,5 = 7,93 \text{ kN/m}^2$
  - $g_{1.2k} = 10,993 / 1,5 = 7,33 \text{ kN/m}^2$
  - $g_{1.3k} = 10,093 / 1,5 = 6,73 \text{ kN/m}^2$

## ZS3 – ATIKA



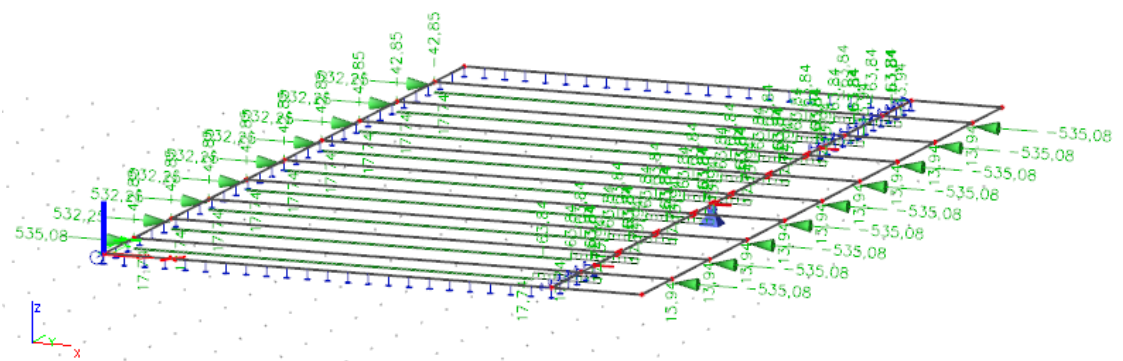
- obsahuje ŽB atiku včetně zábradlí a fasády
- skladba viz kapitola 1.3.1 – Stálé zatížení
  - $G_{1.4k} = 2,44 \text{ kN}$

## ZS4 – UŽITNÉ ZATÍŽENÍ



- obsahuje užité zátížení budov kat. A
- skladba viz kapitola 1.3.2 – Proměnné zatížení
  - $q_{1k} = 3 \text{ kN/m}$

## ZS5 – PŘEDPĚTÍ



- ekvivalentní zátížení od navrženého předpjatého lana
- celková předpínací síla –  $P = 535,08 \text{ kN}$

Výpočet ekvivalentního zátížení

$$P_{m,t00} = 535,08 \text{ kN}$$

$$l_{1x} = 6,10 \text{ m}$$

$$l_{2x} = 1,033 \text{ m}$$

$$l_{3x} = 1,085 \text{ m}$$

$$f_{1x} = 0,155$$

$$f_{2x} = 0,016$$

$$p_1 = \frac{8 \cdot f_{1x}}{l^2} \cdot P_{m,t0} = \frac{8 \cdot 0,154}{6,1^2} \cdot 535,08 = 17,74 \text{ kN/m}$$

$$p_2 = \frac{8 \cdot f_{2x}}{l^2} \cdot P_{m,t0} = \frac{8 \cdot 0,016}{1,033^2} \cdot 535,08 = 63,84 \text{ kN/m}$$

Rozklad sil

$$\alpha_1 = 4,6^\circ$$

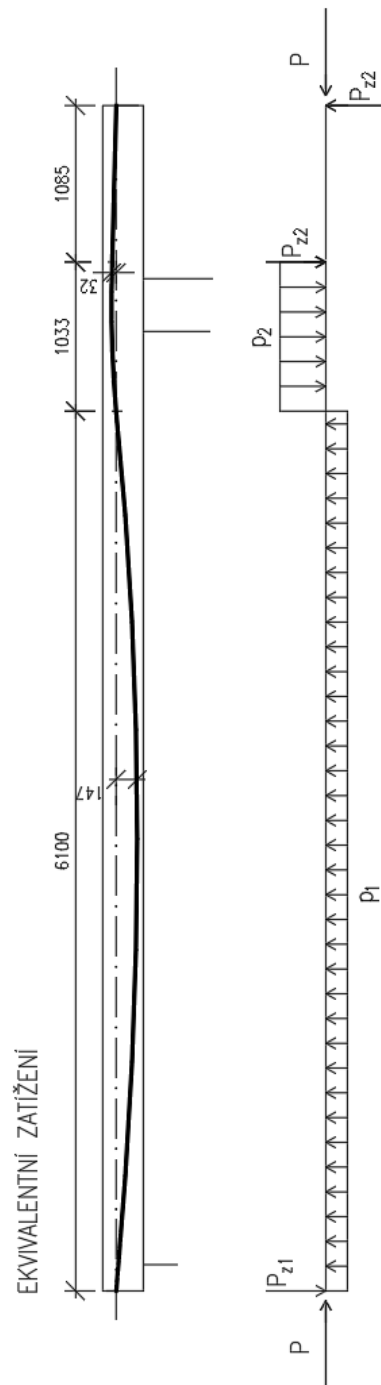
$$\operatorname{tg} \alpha_1 = 0,0801$$

$$P_{z1} = P_{m,t^0} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = 535,08 \cdot 0,0801 = 42,85 \text{ kN}$$

$$\alpha_3 = 1,5^\circ$$

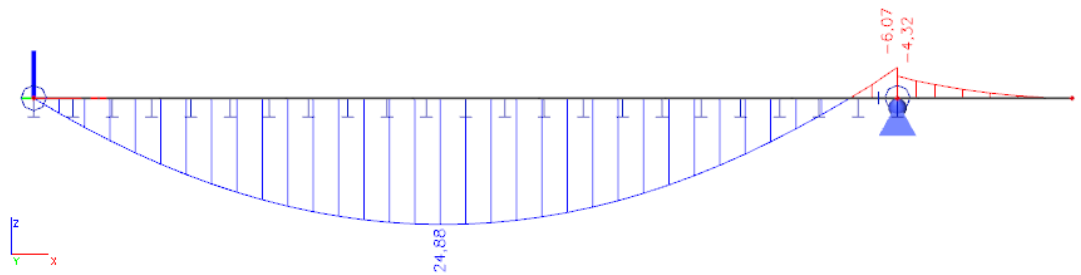
$$\operatorname{tg} \alpha_2 = 0,0261$$

$$P_{z2} = P_{m,t^0} \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 535,08 \cdot 0,0261 = 13,94 \text{ kN}$$



## 1.8.2. VNITŘNÍ SÍLY

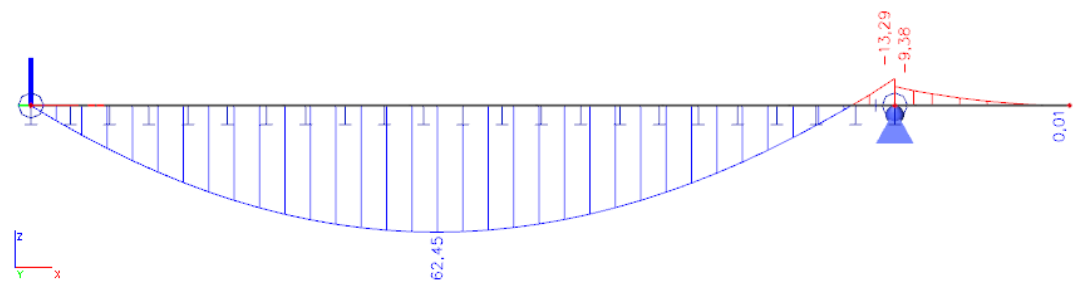
## ZS1 – VLASTNÍ TÍHA



$$M_{\text{Spole}} = 24,88 \text{ kNm (SCIA)} \approx M_{g0k} = 24,79 \text{ kNm (RUČNĚ)}$$

$$M_{\text{Spodp}} = -6,07 \text{ kNm (SCIA)} \approx M_{g0k} = -5,43 \text{ kNm (RUČNĚ)}$$

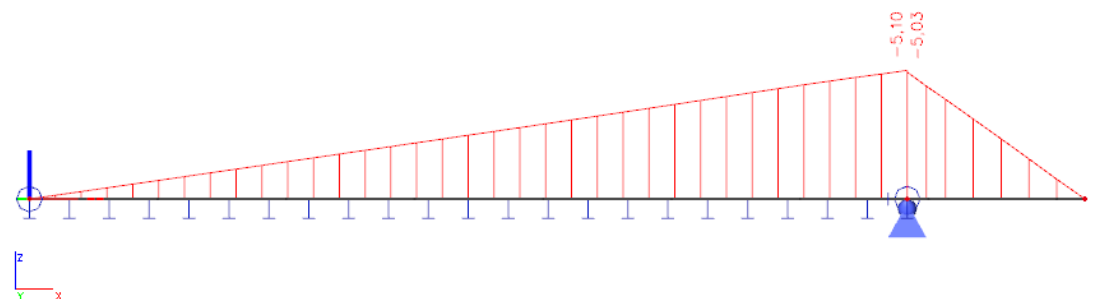
## ZS2 – VLASTNÍ TÍHA



$$M_{\text{pole}} = 62,45 \text{ kNm}$$

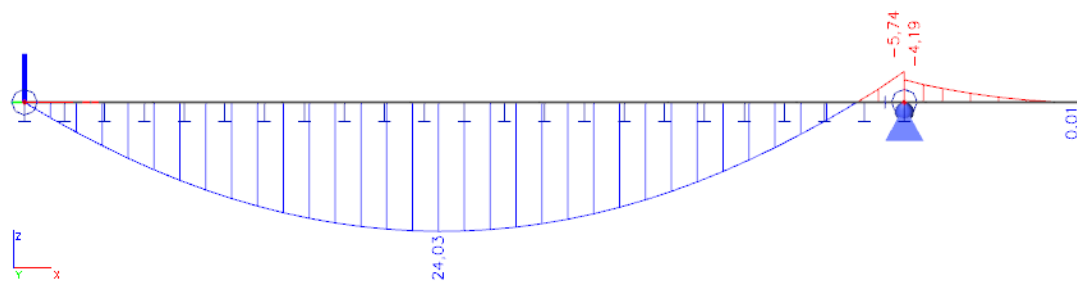
$$M_{\text{podp}} = -13,29 \text{ kNm}$$

## ZS3 – ATIKA



$$M_{\text{podp}} = -5,10 \text{ kNm}$$

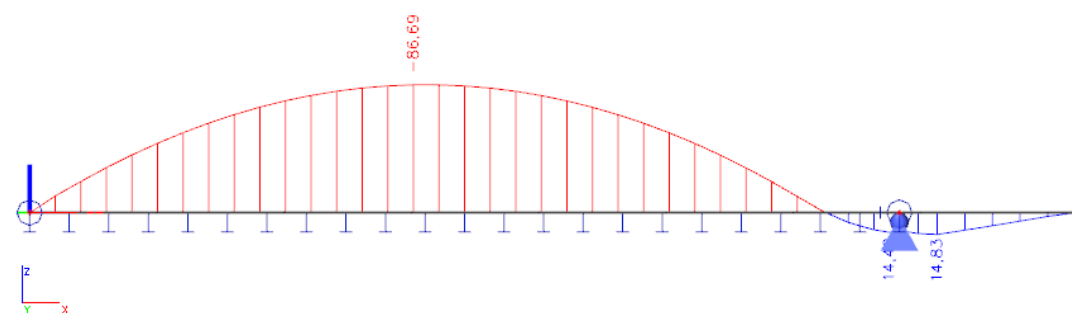
## ZS4 – UŽITNÉ



$$M_{\text{pole}} = 24,03 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{podp}} = -5,74 \text{ kNm}$$

## ZS7 – PŘEDPĚTÍ



$$M_{\text{pole}} = -86,69 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{podp}} = 14,84 \text{ kNm}$$



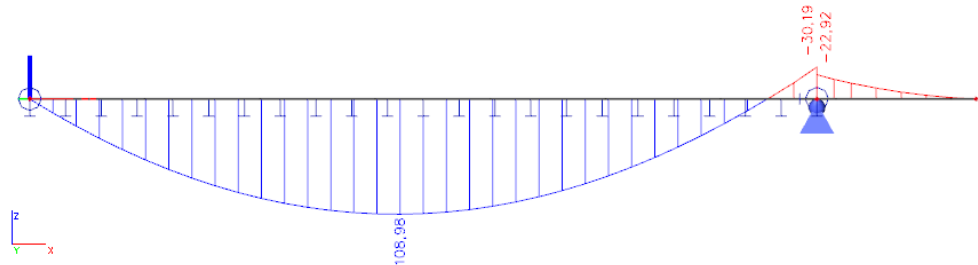
## KOMBINACE ZATÍŽENÍ

## MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Charakteristická

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + ZS4$$



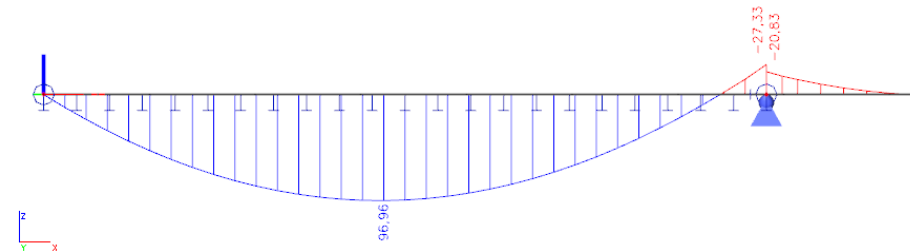
$$M_{\text{pole}} = 108,98 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -30,19 \text{ kNm}$$

Častá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,5 \cdot ZS4$$



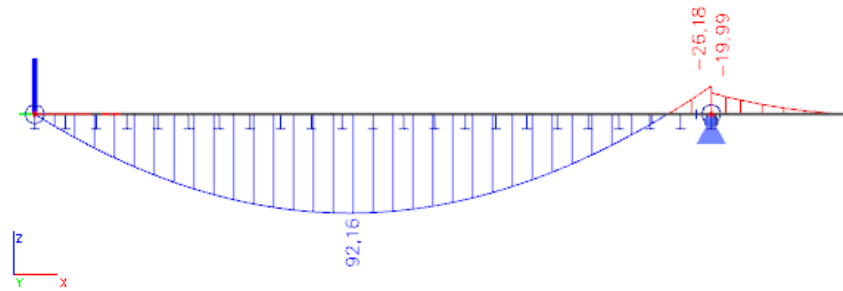
$$M_{\text{pole}} = 96,96 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -27,33 \text{ kNm}$$

Kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,2 \cdot ZS4$$



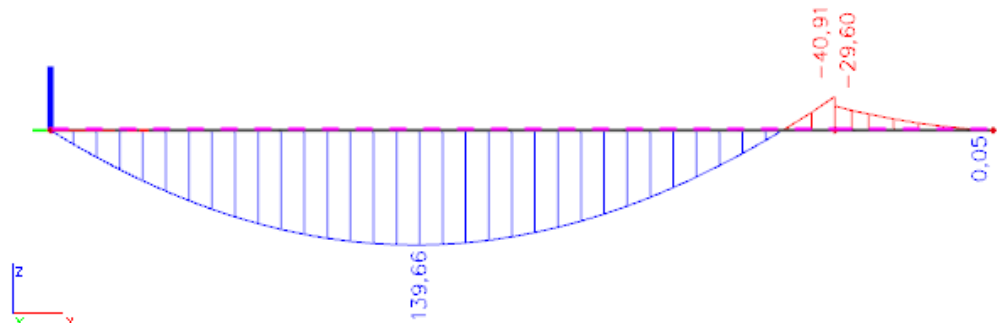
$$M_{\text{pole}} = 92,16 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -26,18 \text{ kNm}$$

Rce 6.10 a – bez předpětí

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

$$1,35 \cdot (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,7 \cdot 1,5 \cdot ZS4$$



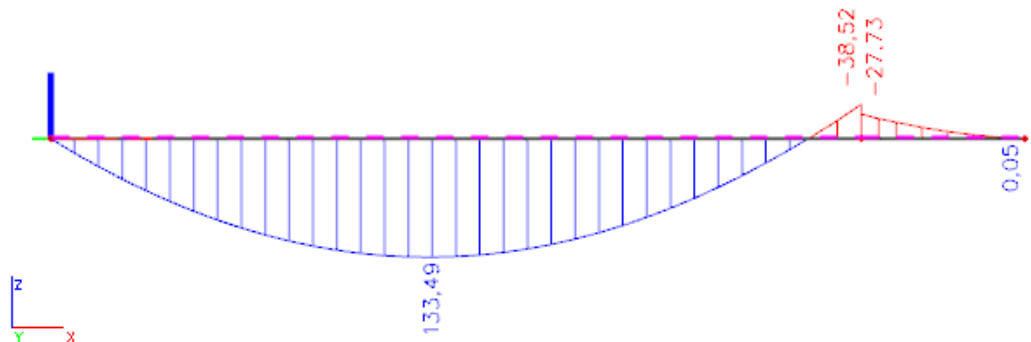
$$M_{\text{pole}} = 139,66 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -40,91 \text{ kNm}$$

Rce 6.10 b – bez předpětí

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

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 1,5 \cdot ZS4$$



$$M_{\text{pole}} = 133,49 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -38,52 \text{ kNm}$$

- kombinace 6.10 a) má nepříznivější hodnoty od účinků zatížení, proto tedy budu navrhovat betonářskou výztuž na tuhle kombinaci

## 1.9. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

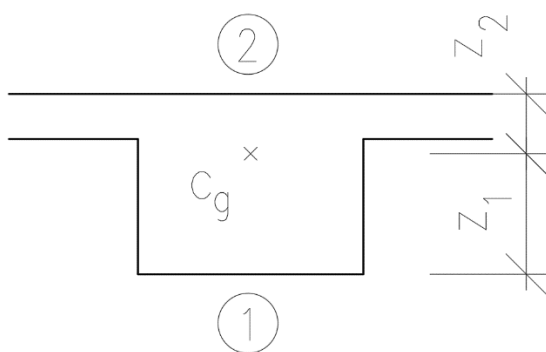
### 1.9.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ

- posouzení v místě největšího momentu v čase  $t_0$  a  $t_\infty$

#### PODMÍNKY PRO OMEZENÍ NAPĚTÍ

- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| a) $\sigma_c \leq 0,6f_{ck}$     | - CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE |
| b) $\sigma_c \leq 0,45f_{ck}$    | - KVAZISTÁLÁ KOMBINACE       |
| c) $\sigma_{pm} \leq 0,75f_{pk}$ | - PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ          |

Schéma průřezu



$$z_1 = 0,188 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,092 \text{ m}$$

a) Omezení napětí v betonu – CHAR  $t_\infty$

$$\sigma_{c2} \leq 0,6f_{ck}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t_\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t_\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{Ek}}{I_c} \cdot z_2 \leq 0,6f_{ck}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{535,08}{0,19} + \frac{535,08 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{108,97}{0,00116} \cdot 0,092 \leq 0,6 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} = -5,22 \text{ MPa} \leq -18 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t_\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t_\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{Ek}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{535,08}{0,19} - \frac{535,08 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,188 + \frac{108,97}{0,00116} \cdot 0,188 = 2,1 \text{ MPa}$$

b) Omezení napětí v betonu – KVAZI  $t_{\infty}$ 

$$\sigma_{c2} \leq 0,45 f_{ck}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{Ek}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{526,74}{0,19} + \frac{526,74 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{92,15}{0,00116} \cdot 0,092 \leq 0,45 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} = -3,89 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{Ek\psi 2}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{526,74}{0,19} - \frac{526,74 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,188 + \frac{92,15}{0,00116} \cdot 0,188 = -0,63 \text{ MPa}$$

 $t_0$  – CHAR, KVAZI

Horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t0}}{A_c} + \frac{P_{m,t0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{g01k}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{575,01}{0,19} + \frac{575,01 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{24,88}{0,00116} \cdot 0,092$$

$$\sigma_{c2} = 1,7 \text{ MPa}$$

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t0}}{A_c} - \frac{P_{m,t0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{g01k}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{575,01}{0,19} - \frac{575,01 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,188 + \frac{24,88}{0,00116} \cdot 0,188$$

$$\sigma_{c1} = -12,69 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

c) Omezení napětí ve výztuži

$$\sigma_{pm} \leq 0,75 f_{pk}$$

$$t_0: \sigma_{pm,t0} = 1277,8 \text{ MPa} \leq 0,75 \cdot 1770 = 1327,5 \text{ MPa}$$

$$t_{\infty}: \sigma_{pm,t\infty} = 1189,06 \text{ MPa} \leq 0,75 \cdot 1770 = 1327,5 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

### 1.9.2. OMEZENÍ TRHLIN

#### PODMÍNKY PRO OMEZENÍ TRHLIN

$$a) \sigma_{c+} \leq f_{ctm} \quad - \text{ČASTÁ KOMBINACE}$$

a) Omezení trhlin – častá kombinace v čase  $t_{\infty}$

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{526,74}{0,19} - \frac{526,74 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,188 + \frac{96,96}{0,00116} \cdot 0,188 \leq f_{ctm}$$

$$\sigma_{c1} = 0,27 \text{ MPa} \leq 2,9 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{526,74}{0,19} + \frac{526,74 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{96,96}{0,00116} \cdot 0,092 = -4,27 \text{ MPa}$$

### 1.9.3. PRŮHYB

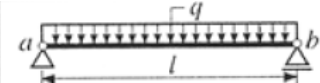
#### KRÁTKODOBÁ DEFORMACE (st)

- kvůli převislému konci rozdělím posuzovaný nosník na 2, ze kterých poté sečtu průhyby od účinků zatížení podle tabulek deformace prostého nosníku konstantního průřezu a deformace prostého nosníku zatíženého momentem

#### 1) PROSTÝ NOSNÍK SE SPOJITÝM ZATÍŽENÍM

Deformace nosníku od účinků stálého zatížení -  $g_{ok}$

dle tabulky



$$w_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI} \text{ v } x = 0,5l$$

$$l = 6,835 \text{ m}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ MPa}$$

$$I = 0,001165 \text{ m}^4$$

$$g_{ok} = 4,75 \text{ kN/m}$$

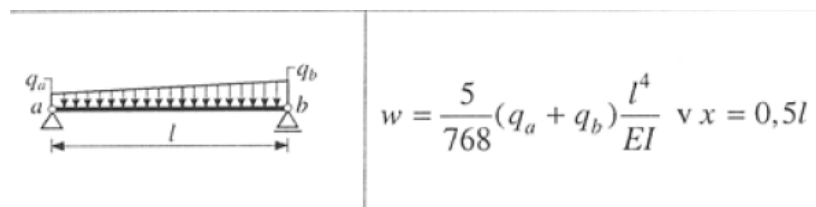
Průhyb

$$w_{1.1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E_{cm} I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,75 \cdot 6,835^4}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116}$$

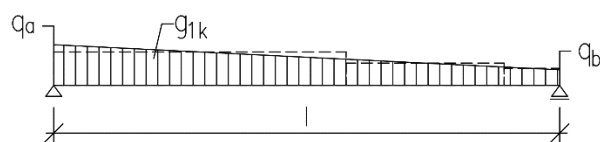
$$w_{1.1} = -0,0036 \text{ m}$$

Deformace nosníku od účinků stálého zatížení –  $g_{1k}$

dle tabulky



- průměrným zatížením protnu přímkou reálného násypu



$$q_a = 12,48 \text{ kN/m}$$

$$q_b = 10,45 \text{ kN/m}$$

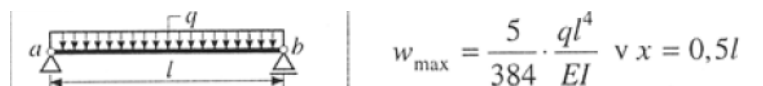
Průhyb

$$w_{1.2} = \frac{5}{768} (q_a + q_b) \frac{l^4}{E_{cm} I_i} = \frac{5}{768} (12,48 + 10,45) \frac{6,835^4}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116}$$

$$w_{1.2} = -0,00874 \text{ m}$$

Deformace nosníku od proměnného zatížení  $q_{1k}$

dle tabulky



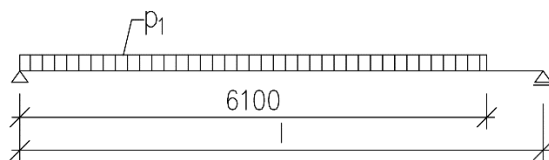
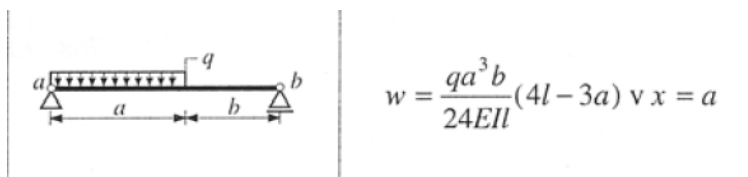
$$q_{1k} = 4,5 \text{ kN/m}$$

$$w_{1.3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E_{cm} I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,5 \cdot 6,835^4}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116}$$

$$w_{1.3} = -0,00343 \text{ m}$$

**Deformace nosníku od předpětí  $p_1$  v čase  $t_0$** 

dle tabulky



$$l = 6,835 \text{ m}$$

$$a = 6,1 \text{ m}$$

$$b = 0,735 \text{ m}$$

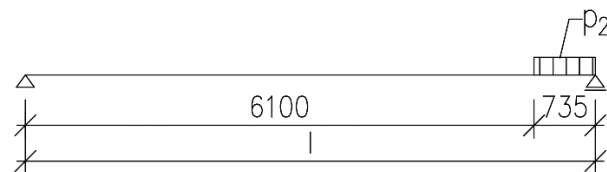
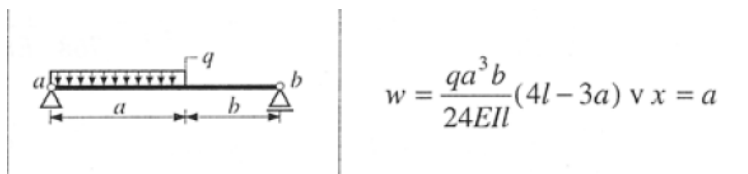
$$p_1 = 19,16 \text{ kN/m}$$

$$w_{p1} = \frac{q \cdot a^3 \cdot b}{24EI}(4l - 3a) = \frac{19,16 \cdot 6,1^3 \cdot 0,735}{24 \cdot 32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116}(4 \cdot 6,835 - 3 \cdot 6,1)$$

$$w_{p1} = 0,0323 \text{ m}$$

**Deformace nosníku od předpětí  $p_2$  v čase  $t_0$** 

dle tabulky



$$l = 6,835 \text{ m}$$

$$a = 0,735 \text{ m}$$

$$b = 6,1 \text{ m}$$

$$p_1 = 68,97 \text{ kN/m}$$

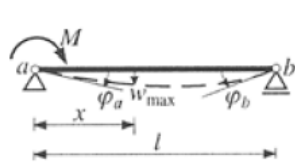
$$w_{p2} = \frac{q \cdot a^3 \cdot b}{24EI}(4l - 3a) = \frac{68,97 \cdot 0,735^3 \cdot 6,1}{24 \cdot 32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116}(4 \cdot 6,835 - 3 \cdot 0,735)$$

$$w_{p2} = -0,00469 \text{ m}$$



## 2) PROSTÝ NOSNÍK S MOMENTEM OD PŘEVISLÉ ČÁSTI

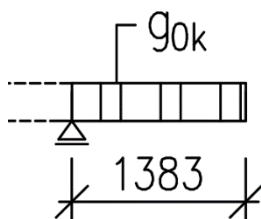
dle tabulky



$$w_{\max} = 0,06415 \frac{Ml^2}{EI}$$

$$x = 0,42265l$$

- z převislého konce jsem si od účinků zatížení převedl moment na prostý nosník, který vyřeším pomocí tabulkových vzorečků

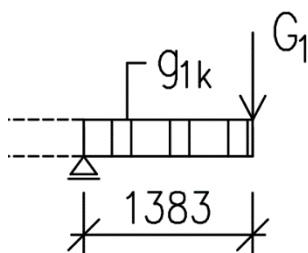
Deformace prostého nosníku od momentu z převislé části nosníku –  $g_{0k}$ 

$$M_0 = 1,383 \cdot q_{0k} \cdot \frac{1,383}{2}$$

$$M_0 = 1,383 \cdot 4,75 \cdot \frac{1,383}{2} = 4,54 \text{ kNm}$$

$$w_{2.1} = 0,06415 \cdot \frac{M \cdot l^2}{E_{cm} I_i}$$

$$w_{2.1} = 0,06415 \cdot \frac{4,54 \cdot 6,835^2}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116} = 0,00037 \text{ m}$$

Deformace prostého nosníku od momentu z převislé části nosníku –  $g_{1k}$ 

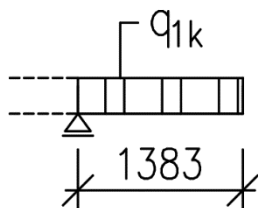
$$M_1 = 1,383 \cdot g_{1k} \cdot \frac{1,383}{2} + G_1 \cdot 1,383$$

$$M_1 = 1,383 \cdot 10,093 \cdot \frac{1,383}{2} + 4,65 \cdot 1,383 = 16,08 \text{ kNm}$$

$$w_{2.2} = 0,06415 \cdot \frac{M \cdot l^2}{E_{cm} I_i}$$

$$w_{2.2} = 0,06415 \cdot \frac{16,08 \cdot 6,835^2}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116} = 0,00129 \text{ m}$$

Deformace prostého nosníku od momentu z převislé části nosníku –  $q_{1k}$



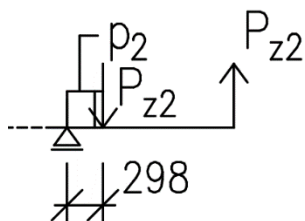
$$M_2 = 1,383 \cdot q_{1k} \cdot \frac{1,383}{2}$$

$$M_2 = 1,383 \cdot 4,5 \cdot \frac{1,383}{2} = 4,30 \text{ kNm}$$

$$w_{2.3} = 0,06415 \cdot \frac{M \cdot l^2}{E_{cm} I_i}$$

$$w_{2.3} = 0,06415 \cdot \frac{4,30 \cdot 6,835^2}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116} = 0,00035 \text{ m}$$

Deformace prostého nosníku od momentu z převislé části nosníku –  $p$



$$M_p = 0,298 \cdot p_2 \cdot \frac{0,298}{2} + P_{z2} \cdot 0,298 - P_{z2} \cdot 1,383$$

$$M_p = 0,298 \cdot 68,97 \cdot \frac{0,298}{2} + 15,07 \cdot 0,298 - 15,07 \cdot 1,383 = -13,29$$

$$w_{p3} = 0,06415 \cdot \frac{M \cdot l^2}{E_{cm} I_i}$$

$$w_{p3} = 0,06415 \cdot \frac{-13,29 \cdot 6,835^2}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116} = -0,00107 \text{ m}$$

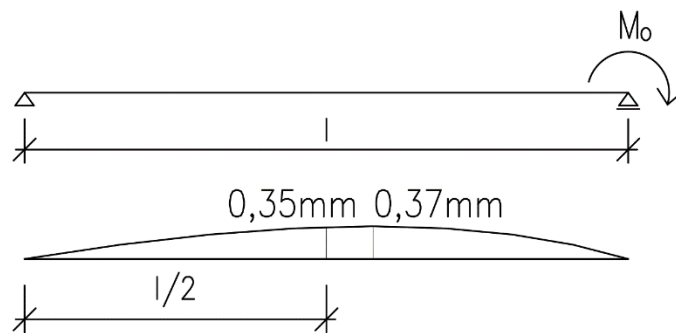
### Průhyb od jednotlivých zatěžovacích stavů

- sečtu průhyby od účinků zatížení na prostý nosník a převislý konec
- u některých nosníků není vypočítán průhyb přesně uprostřed, proto pomocí grafické metody najdu průhyb uprostřed nosníku

Vlastní tíha  $g_{0k}$

$$w_{1.1} = -3,6 \text{ mm}$$

$$w_{2.1} = 0,37 \text{ mm}$$

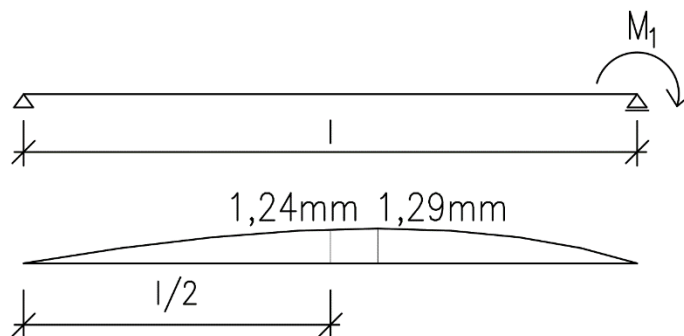


$$w_{g0} = -3,6 + 0,35 = -3,25 \text{ mm}$$

Ostatní stálé  $g_{1k}$

$$w_{1.2} = -8,74 \text{ mm}$$

$$w_{2.2} = 1,29 \text{ mm}$$

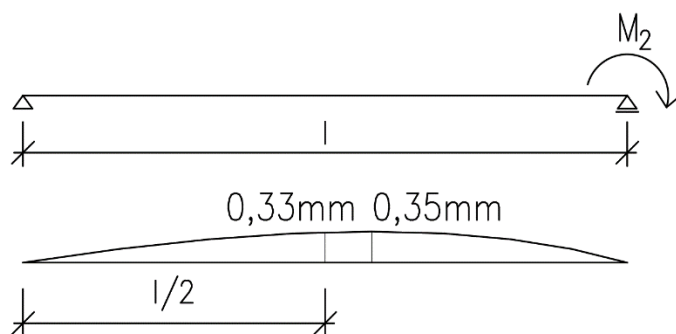


$$w_{g1} = -8,74 + 1,24 = -7,40 \text{ mm}$$

Užitné  $q_{1k}$

$$w_{1.3} = -3,43 \text{ mm}$$

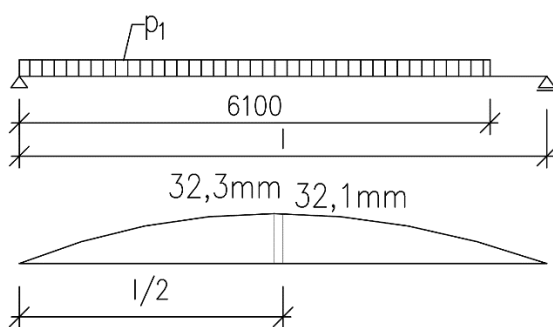
$$w_{2.3} = 0,35 \text{ mm}$$



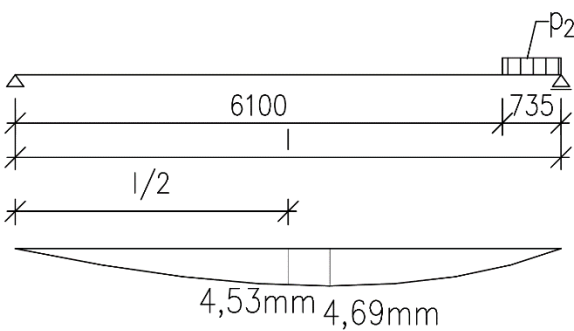
$$w_{q1} = -3,43 + 0,33 = -3,1 \text{ mm}$$

Předpětí  $p$  v čase  $t_0$

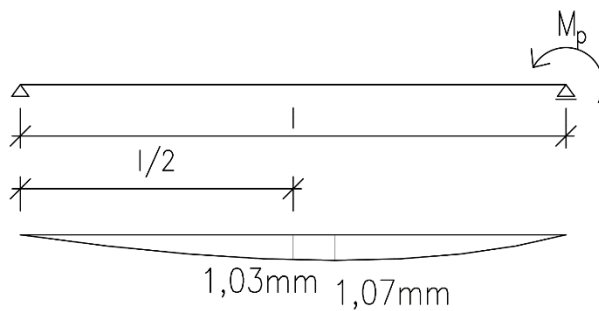
$$w_{p1} = 32,3 \text{ mm}$$



$$w_{p2} = -4,49 \text{ mm}$$



$$w_{p3} = -1,07 \text{ mm}$$

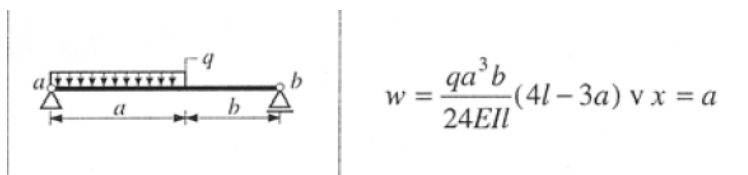


$$w_p = 32,3 - 4,49 - 1,03 = 26,78 \text{ mm}$$

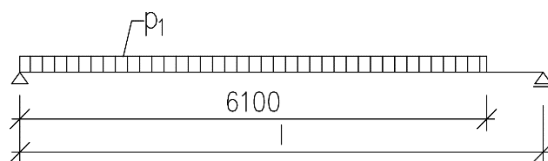
### DLOUHODOBÁ DEFORMACE ( $l_t$ )

Deformace nosníku od předpětí  $p_1$  v čase  $t_{00}$

dle tabulky



$$w = \frac{qa^3b}{24EI}(4l - 3a) \text{ v } x = a$$



$$l = 6,835 \text{ m}$$

$$a = 6,1 \text{ m}$$

$$b = 0,735 \text{ m}$$

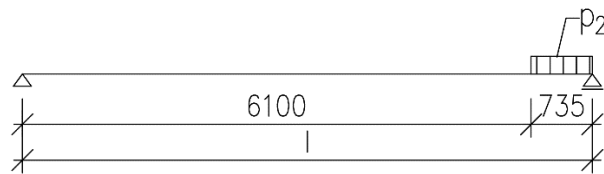
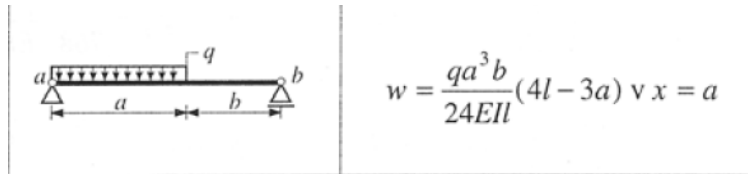
$$p_1 = 17,74 \text{ kN/m}$$

$$w_{lt,p1} = \frac{q \cdot a^3 \cdot b}{24EI}(4l - 3a) = \frac{17,74 \cdot 6,1^3 \cdot 0,735}{24 \cdot 32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116}(4 \cdot 6,835 - 3 \cdot 6,1)$$

$$w_{lt,p1} = 0,00299 \text{ m}$$

Deformace nosníku od předpětí  $p_2$  v čase  $t_{00}$

dle tabulky



$$l = 6,835 \text{ m}$$

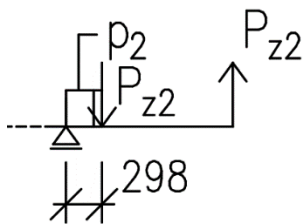
$$a = 0,735 \text{ m}$$

$$b = 6,1 \text{ m}$$

$$p_1 = 63,84 \text{ kN/m}$$

$$w_{lt,p2} = \frac{q \cdot a^3 \cdot b}{24EI}(4l - 3a) = \frac{63,84 \cdot 0,375^3 \cdot 6,1}{24 \cdot 32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116}(4 \cdot 6,835 - 3 \cdot 0,375)$$

$$w_{lt,p2} = -0,00435 \text{ m}$$

Deformace prostého nosníku od momentu z převislé části nosníku – p (t<sub>∞</sub>)

$$M_p = 0,298 \cdot p_2 \cdot \frac{0,298}{2} + P_{z2} \cdot 0,298 - P_{z2} \cdot 1,383$$

$$M_p = 0,298 \cdot 63,84 \cdot \frac{0,298}{2} + 13,94 \cdot 0,298 - 13,94 \cdot 1,383 = -12,29$$

$$w_{lt,p3} = 0,06415 \cdot \frac{M \cdot l^2}{E_{cm} I_i}$$

$$w_{lt,p3} = 0,06415 \cdot \frac{-12,29 \cdot 6,835^2}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,00116} = -0,0099 \text{ m}$$

## Průhyb od jednotlivých zatěžovacích stavů v čase

- průhyby od vlastní tíhy a ostatních stálých zatížení vynásobím součinitelem dotvarování v časovém intervalu, ve kterém působí
- u předpětí není vypočítán průhyb přesně uprostřed, proto pomocí grafické metody najdu průhyb uprostřed nosníku

$$\varphi(t, t_0) = 1,6405$$

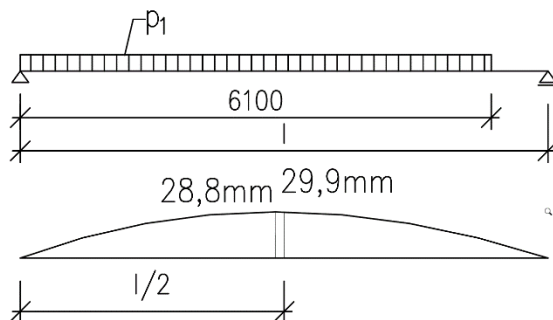
$$\varphi(t, t_g) = 1,2862$$

$$w_{lt,g0} = w_{g0} \cdot \varphi(t, t_0) = -3,25 \cdot 1,6405 = -5,33 \text{ mm}$$

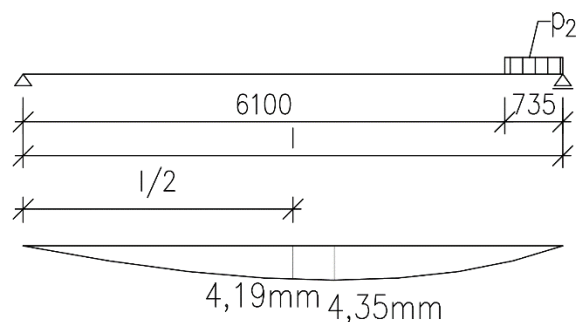
$$w_{lt,g1} = w_{g1} \cdot \varphi(t, t_g) = -8,74 \cdot 1,2862 = -11,24 \text{ mm}$$

Předpětí p v čase t<sub>∞</sub>

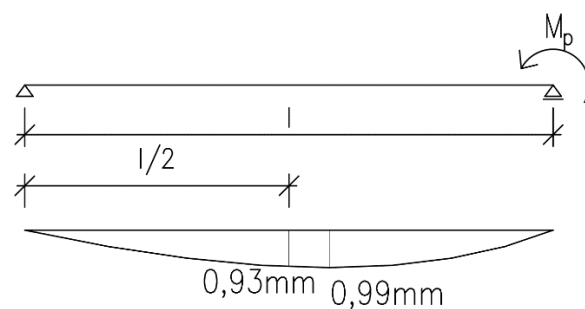
$$w_{lt,p1} = 29,9 \text{ mm}$$



$$w_{lt,p2} = -4,35 \text{ mm}$$



$$w_{lt,p3} = -0,99 \text{ mm}$$



$$w_{lt,p} = 29,9 - 4,35 - 0,99 = 24,56 \text{ mm}$$

### CELKOVÝ PRŮHYB

V čase  $t_0$

$$w_{(t_0)} = w_{g0} + w_p = -3,25 + 26,78 = 23,53 \text{ mm}$$

V čase  $t_{\infty}$

$$w_{(t_{\infty})} = w_{g0} + w_{g1} + w_{lt,g0} + w_{lt,g1} + w_{lt,p}$$

$$w_{(t_{\infty})} = -3,25 - 7,40 - 5,33 - 11,24 + 24,56 = -2,66 \text{ mm}$$

Vratná deformace s užitným zatížením  $q_{1k}$

$$\text{CH: } w'_{(t_{\infty})} = w_{(t_{\infty})} + w_{q1} = -2,66 - 3,1 = -5,76 \text{ mm } (-3,5 \text{ mm SCIA})$$

$$\text{Č: } w'_{(t_{\infty}\psi_1)} = w_{(t_{\infty})} + \psi_1 \cdot w_{q1} = -2,66 - 0,5 \cdot 3,1 = -4,21 \text{ mm } (-2,1 \text{ mm SCIA})$$

$$\text{KV: } w'_{(t_{\infty}\psi_2)} = w_{(t_{\infty})} + \psi_2 \cdot w_{q1} = -2,66 - 0,3 \cdot 3,1 = -3,59 \text{ mm } (-1,6 \text{ mm SCIA})$$



# POSOUZENÍ DLE MEZNÍCH HODNOT

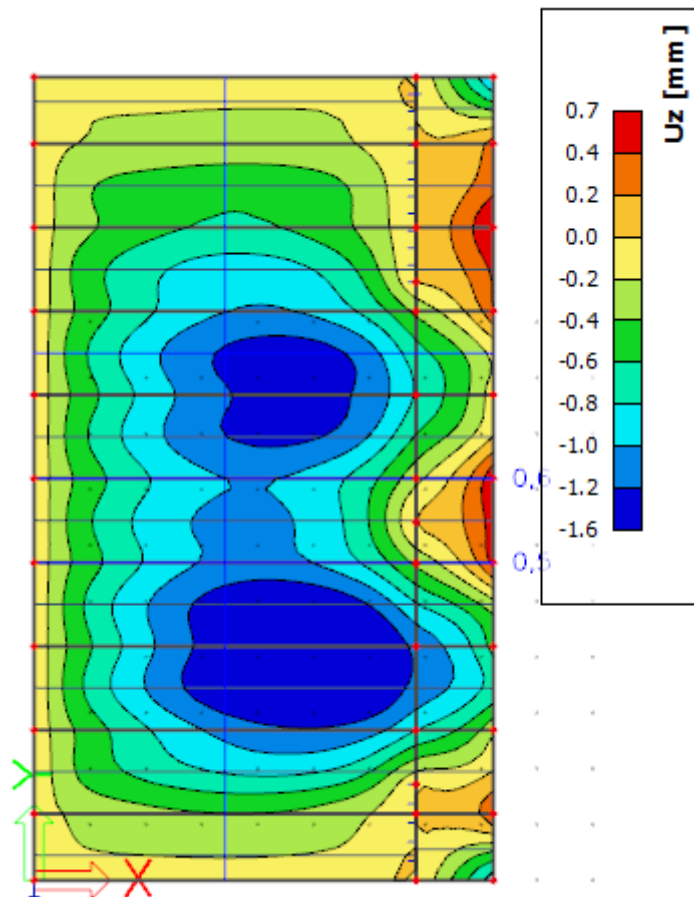
$$w'_{(t\infty\psi_2)} < \frac{l}{250}$$

$$3,59 < \frac{6835}{250} = 27,34 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Posouzení se SCII

- kombinace kvazistálá

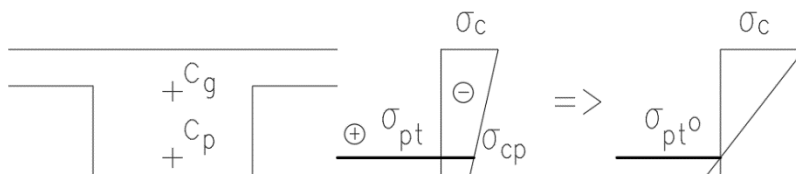


## 1.10. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

### 1.10.1. POSOUZENÍ NA OHYB

Čas  $t_{\infty}$  v řezu  $x_2$  – v poli

Základní napětí



- tah betonu sníží napětí ve výztuži (stav dekomprese)
- jelikož je výztuž nesoudržná, zvolí se přírůstek napětí 100 MPa

$$\sigma_{p,t0} = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp}$$

$$\Delta\sigma_p = 100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{P_{m\infty,CHAR}}{A_c} - \frac{P_{m\infty,CHAR} \cdot e_p}{I_c} \cdot e_p + \frac{M_{EK}}{I_c} \cdot e_p$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{535,08}{0,19} - \frac{535,08 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,147 + \frac{108,97}{0,00116} \cdot 0,147 = 1,03 \text{ MPa}$$

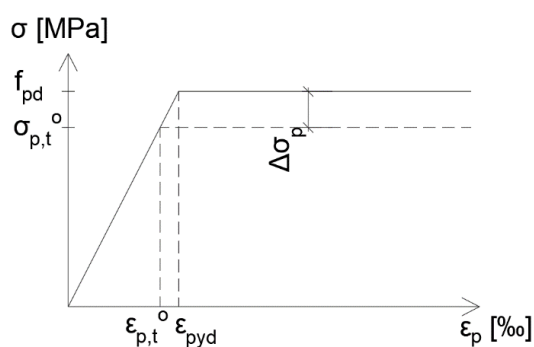
$$\sigma_{p,t0} = 1189,06 - \frac{195}{32} \cdot 1,03 = 1182,78 \text{ MPa}$$

Návrhové parametry pracovního diagramu

$$\varepsilon_{py,d} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1356,5}{195 \cdot 10^3} = 0,00696$$

$$\varepsilon_{p,t}^o = \frac{\sigma_{p,t}^o}{E_p} = \frac{1182,78}{195 \cdot 10^3} = 0,00607$$

$$\Delta\varepsilon_p = \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} = \frac{100}{195 \cdot 10^3} = 0,000517$$



Určení neutrální osy a výšky tlačného průřezu

$$\Delta F_p = \Delta \sigma_p \cdot A_p = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,00045 = 45 \text{ kN}$$

$$P_{m,t^0} = \gamma_p \cdot A_p \cdot \sigma_{p,t^0} = 1,0 \cdot 0,00045 \cdot 1182,78 \cdot 10^3 = 532,25 \text{ kN}$$

$$M_{EDp} = M_{FD} + M_{PD} = 139,66 - 532,25 \cdot 0,147$$

$$M_{EDp} = M_{FD} + M_{PD} = 139,66 - 61,42 = 78,24 \text{ kNm}$$

Předpoklad

$$N_{ED} = P_{m,t^0} = 532,25 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = N_{RD} (= F_{cc} - \Delta F_p)$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = F_{cc}$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$A_{cc} = \frac{N_{ED} + \Delta F_p}{f_{cd}} = \frac{532,25 + 45}{20 \cdot 10^3} = 0,0289 \text{ m}^2$$

$$A_{cc} = \lambda \cdot x \cdot b$$

$$x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b} = \frac{0,0289}{0,8 \cdot 1,5} = 0,0241 \text{ m}$$

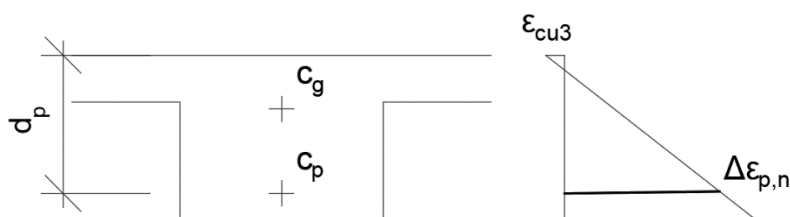
Ověření započitatelnosti výztuže

$$d_{1p} = 0,041 \text{ m}$$

$$d_p = h - d_{1p} = 0,28 - 0,041 = 0,239$$

$$\frac{\Delta \varepsilon_{p,n}}{d_p - x} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x}$$

$$\Delta \varepsilon_{p,n} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_p - x) = \frac{0,0035}{0,0241} \cdot (0,239 - 0,0241) = 0,0312 = 31,2\text{‰}$$

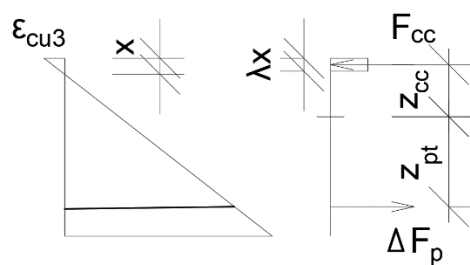


$$\Delta \varepsilon_{p,n} > \varepsilon_{py,d} - \varepsilon_{p,t}^0 = 0,89\text{‰}$$

=> VÝZTUŽ PLNĚ VYUŽITA

## Posouzení

$$M_{RD} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$



$$z_{cc} = z_2 - \frac{\lambda x}{2} = 0,092 - \frac{0,8 \cdot 0,0241}{2} = 0,0824 \text{ m}$$

$$z_{pt} = e_p = 0,147$$

$$M_{RD,p} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} = \lambda x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

$$M_{RD,p} = 0,8 \cdot 0,0241 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,0824 + 45 \cdot 0,147 = 54,28 \text{ kNm}$$

$$M_{ED} = M_{EDp} - M_{RD,p} = 78,24 - 54,28 = 23,96 \text{ kNm}$$

NEVYHOVÍ

- je třeba navrhnout betonářskou výztuž

## NÁVRH BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

$$M_{ED} = 23,96 \text{ kNm}$$

Třmínek

- krytí kap. 1.6.3. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

$$\phi_{tr} = 6 \text{ mm}$$

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

## Hlavní výztuž v poli

$$\text{Odhadnu } \phi = 10 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \}$$

Minimální hodnota  $c_{min,b}$ 

$$c_{min,b} \geq \phi$$

$$c_{min,b} \geq 10 \text{ mm}$$

Minimální hodnota  $c_{min,dur}$ 

- konstrukční třída S4  $\Rightarrow c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$

Přídavek na návrhovou odchylku  $\Delta c_{dev}$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{10; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

- krytí třmínku společně s průměrem výztuže třmínku dá větší hodnotu než 25 mm

Krycí vrstva včetně třmínku pro hlavní nosnou výztuž

$$c = c_{nom} + \phi_{tř} = 25 + 6 = 31 \text{ mm}$$

Poloha výztuže

$$d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 31 + 5 = 36 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 280 - 36 = 244 \text{ mm}$$

- odhadnu nové rameno síly  $z_s$ , protože už nemůžu počítat s využitou tlačnou plochou

$$z_s = h - \frac{\lambda x}{2} - d_1 = 0,280 - (0,8 \cdot 0,0241) - 0,02 - 0,036 = 0,205 \text{ m}$$

Návrh plochy výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{ED}}{z_s \cdot f_{yd}} = \frac{23,96}{0,205 \cdot 434,78 \cdot 10^3} = 2,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhuji } 4 \phi = 10 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad A_s = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_{st} = \Delta A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$A_s \cdot f_{yd} = \Delta A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$\Delta A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} = 0,00683 \text{ m}^2$$

$$A_{cc,s} = A_{cc} + \Delta A_{cc} = 0,0289 + 0,00683 = 0,03573 \text{ m}^2$$

Nová neutrální osa

$$x = \frac{A_{cc,s}}{b \cdot \lambda} = \frac{0,03573}{1,5 \cdot 0,8} = 0,02978 \text{ m}$$

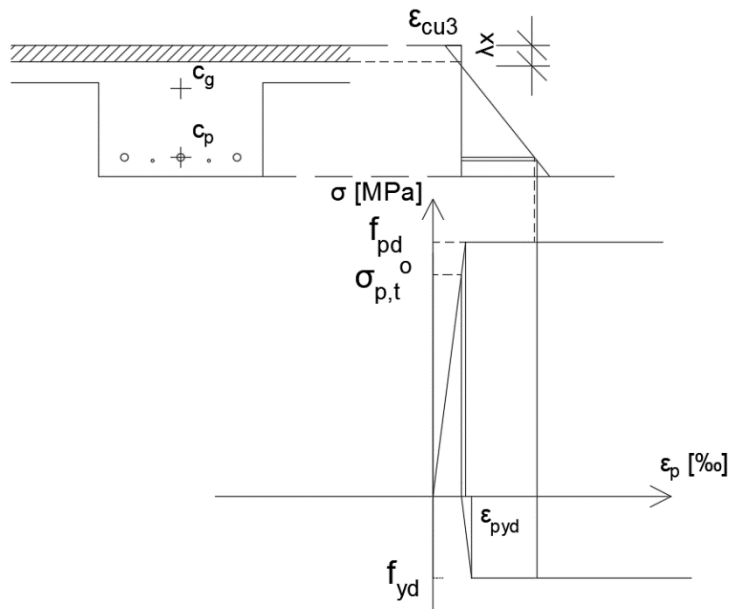
## Využití výztuže

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

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d-x) = \frac{3,5}{0,02978} (0,244 - 0,02978) = 25,18 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 25,18 > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

VÝZTUŽ JE PLNĚ VYUŽITA



$$z_{cc} = z_2 - \frac{\lambda x}{2} = 0,092 - \frac{0,8 \cdot 0,02978}{2} = 0,080 \text{ m}$$

$$z_{st} = z_1 - d_1 = 0,188 - 0,036 = 0,152 \text{ m}$$

## Únosnost Betonářské výztuže

$$M_{RDP} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} = \lambda x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} + F_s \cdot z_{st}$$

$$M_{RDP} = 0,8 \cdot 0,02978 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,080 + 45 \cdot 0,147 + 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,152 =$$

$$M_{RDP} = 84,54 \text{ kNm} > M_{EDp} = 78,24 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

$$M_{RD} = 61,42 + 84,54 = 145,96 > M_{ED}(SCIA) = 139,66 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

Čas  $t_{00}$  v řezu  $x_4$  – nad podporou

$$M_{ED}(SCIA) = 40,91 \text{ kNm}$$

## Základní napětí

- tah betonu sníží napětí ve výztuži (stav dekomprese)
- jelikož je výztuž nesoudržná, zvolí se přírůstek napětí 100 MPa

$$\sigma_{p,t0} = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp}$$

$$\Delta\sigma_p = 100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{P_{m\infty,CHAR}}{A_c} - \frac{P_{m\infty,CHAR} \cdot e_p}{I_c} \cdot e_p + \frac{M_{EK}}{I_c} \cdot e_p$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{535,08}{0,19} - \frac{535,08 \cdot 0,032}{0,00116} \cdot 0,032 + \frac{40,91}{0,00116} \cdot 0,032 = 2,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,t0} = 1189,06 - \frac{195}{32} \cdot 2,16 = 1175,90 \text{ MPa}$$

Návrhové parametry pracovního diagramu

$$\varepsilon_{py,d} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1356,5}{195 \cdot 10^3} = 0,00696$$

$$\varepsilon_{p,t}^o = \frac{\sigma_{p,t}^o}{E_p} = \frac{1175,90}{195 \cdot 10^3} = 0,00603$$

$$\Delta\varepsilon_p = \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} = \frac{100}{195 \cdot 10^3} = 0,000517$$

Určení neutrální osy a výšky tlačeného průřezu

$$\Delta F_p = \Delta\sigma_p \cdot A_p = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,00045 = 45 \text{ kN}$$

$$P_{m,t^0} = \gamma_p \cdot A_p \cdot \sigma_{p,t0} = 1,0 \cdot 0,00045 \cdot 1175,90 \cdot 10^3 = 529,16 \text{ kN}$$

$$M_{EDp} = M_{FD} + M_{PD} = 40,91 - 529,16 \cdot 0,032 = 23,98 \text{ kNm}$$

Předpoklad

$$N_{ED} = P_{m,t^0} = 529,16 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = N_{RD} (= F_{cc} - \Delta F_p)$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = F_{cc}$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$A_{cc} = \frac{N_{ED} + \Delta F_p}{f_{cd}} = \frac{529,16 + 45}{20 \cdot 10^3} = 0,0287 \text{ m}^2$$

$$A_{cc} = \lambda \cdot x \cdot b$$

$$x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b} = \frac{0,0287}{0,8 \cdot 0,35} = 0,1025 \text{ m}$$

Ověření započitatelnosti výztuže

$$d_{1p} = 0,06 \text{ m}$$

$$d_p = h - d_{1p} = 0,28 - 0,06 = 0,22$$

$$\frac{\Delta \varepsilon_{p,n}}{d_p - x} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x}$$

$$\Delta \varepsilon_{p,n} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_p - x) = \frac{0,0035}{0,1025} \cdot (0,22 - 0,1025) = 0,00401 = 4,01\text{‰}$$

$$\Delta \varepsilon_{p,n} > \varepsilon_{py,d} - \varepsilon_{p,t}^0 = 0,93\text{‰} \quad \Rightarrow \text{VÝZTUŽ PLNĚ VYUŽITA}$$

Posouzení

$$M_{RD} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

$$z_{cc} = z_1 - \frac{\lambda x}{2} = 0,188 - \frac{0,8 \cdot 0,1025}{2} = 0,147 \text{ m}$$

$$z_{pt} = e_p = 0,032$$

$$M_{RD,p} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} = \lambda x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

$$M_{RD,p} = 0,8 \cdot 0,1025 \cdot 0,35 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,147 + 45 \cdot 0,032 = 85,82 \text{ kNm}$$

$$M_{RD,p} = 85,28 > M_{EDp} = 23,98 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navrhne se pouze konstrukční výztuž  $\phi = 6 \text{ mm}$

## NÁVRH VÝZTUŽE V DESCE – SPODNÍ VÝZTUŽ

Moment mezi trámy

$$M_{\text{pole}} = 4,21 \text{ kNm (SCIA)}$$

Odhadnu  $\phi = 6 \text{ mm}$

Nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Minimální hodnota  $c_{min,b}$

$$c_{min,b} \geq \phi$$

$$c_{min,b} \geq 6 \text{ mm}$$

Minimální hodnota  $c_{min,dur}$

$$- \text{ konstrukční třída S4} \Rightarrow c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

Přídavek na návrhovou odchylku  $\Delta c_{dev}$



$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{6; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Poloha výztuže

$$d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + 3 = 28 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 80 - 28 = 52 \text{ mm}$$

Návrh plochy výztuže

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ED}}{1 \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = 1 \cdot 0,052 \cdot \frac{20}{434,78} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 4,21}{1 \cdot 0,052^2 \cdot 20 \cdot 10^3}} \right) = 1,94 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{NAVRŽENO } \phi 6 \text{ po } 140 \text{ mm } A_s = 2,02 \cdot 10^{-4}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{2,02 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,00549 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,00549} (0,052 - 0,00549) = 29,65 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 29,65 > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

VYHOVUJE

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda x = 0,052 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,00549 = 0,0498 \text{ m}$$

$$M_{RD} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 2,02 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,0498 = 4,37 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 4,37 > M_{ED} = 4,21 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,052 = 7,84 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} > 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,052 = 6,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_s = 2,02 \cdot 10^{-4} > A_{s,min} = 7,84 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

VYHOVUJE

Kontrola vzdálenosti výztuže mezi vložkami

$$s_u = 0,140 - 0,006 = 0,134$$

$$s_u = 134 \text{ mm} > \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = \max\{7,2; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost výztuže

$$s = 140 \text{ mm} < s_{max,slabs} = 2h \leq 300 \text{ mm} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

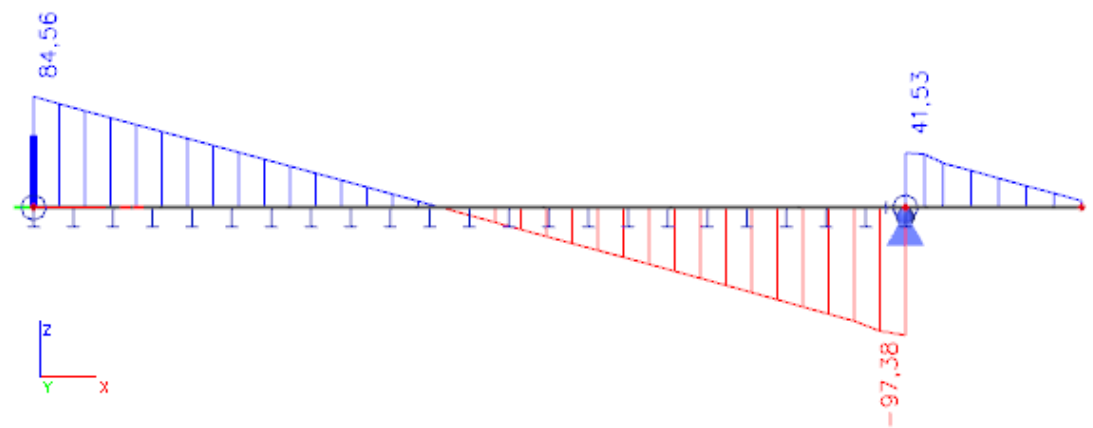
Návrh rozdělovací výztuže

$$A_{sr} \geq 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot 2,02 \cdot 10^{-4} = 4,04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 < 7,84 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Navrhnou výztuž na  $A_{s,min} - \phi 6$  po 200 mm;  $A_{sr} = 1,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ 

### 1.10.2. POSOUZENÍ NA SMYK

Rce 6.10 a – bez předpětí



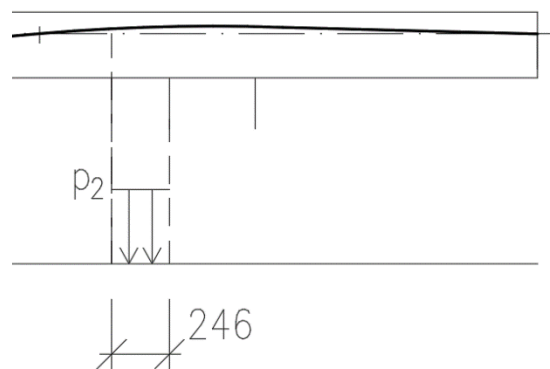
$$V_{ED,max} = 97,38 \text{ kN (SCIA)}$$

$$V_{ED} = V_{fd} + V_{pd}$$

$V_{fd}$  - maximální posouvající síla v daném průřezu

$M_{fd}$  - odpovídající moment

$$V_{pd} = p_2 \cdot 0,244 = 63,84 \cdot 0,246 = 15,68 \text{ kN}$$



$V_{p,sd} = 0$  - sekundární posouvající síla

Únosnost trámu bez smykové výztuže ve vzdálenosti  $d$  od líce podpory

$x = 6,415 \text{ m}$  - vzdálenost k vyšetřovanému místu od počátku nosníku

- z výpočetního programu jsem pak zjistil posouvající sílu od kombinace 6.10 a)

$$V_{fd}(x = 0,244) = 92,08 \text{ kN}$$

$$V_{ED} = V_{fd} + V_{pd} = 92,08 + 15,68 = 107,76 \text{ kN}$$

Rozhodnutí o vzniku trhlin

$$x_1 = 6,415 \text{ m}, M_{fd} = 20,11 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = -\frac{4,19}{0,00116} \cdot 0,188 - \frac{529,16}{0,19} + \frac{529,16 \cdot 0,022}{0,00116} \cdot 0,188 = -1,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = -1,58 \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{NEVZNIKNOU TRHLINY}$$

$$\sigma_{ct,h} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = \frac{4,19}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{529,16}{0,19} - \frac{529,16 \cdot 0,022}{0,00116} \cdot 0,092 = -3,63 \text{ MPa}$$

$$x_4 = 3,216 \text{ m}, M_{fd} = 139,66 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{139,66}{0,00116} \cdot 0,188 - \frac{532,25}{0,19} - \frac{532,25 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,188 = 7,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = 7,15 \geq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{VZNIKNOU TRHLINY}$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{139,66}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{532,25}{0,19} + \frac{532,25 \cdot 0,147}{0,00116} \cdot 0,092 = -7,68 \text{ MPa}$$

$$x_3 = 5,227 \text{ m}, M_{fd} = 81,62 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{81,62}{0,00116} \cdot 0,188 - \frac{532,25}{0,19} - \frac{532,25 \cdot 0,073}{0,00116} \cdot 0,188 = 4,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = 4,13 \geq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{VZNIKNOU TRHLINY}$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{81,62}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{565,43}{0,19} + \frac{565,43 \cdot 0,073}{0,00116} \cdot 0,092 = -6,19 \text{ MPa}$$

$$x_2 = 5,629 \text{ m}, M_{fd} = 56,99 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{56,99}{0,00116} \cdot 0,188 - \frac{532,43}{0,19} - \frac{532,43 \cdot 0,042}{0,00116} \cdot 0,188 = 2,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = 2,81 \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{NEVZNIKNOU TRHLINY}$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{56,99}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{532,43}{0,19} + \frac{532,43 \cdot 0,042}{0,00116} \cdot 0,092 = -5,55 \text{ MPa}$$

$$x_5 = 1,050 \text{ m}, M_{fd} = 76,72 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

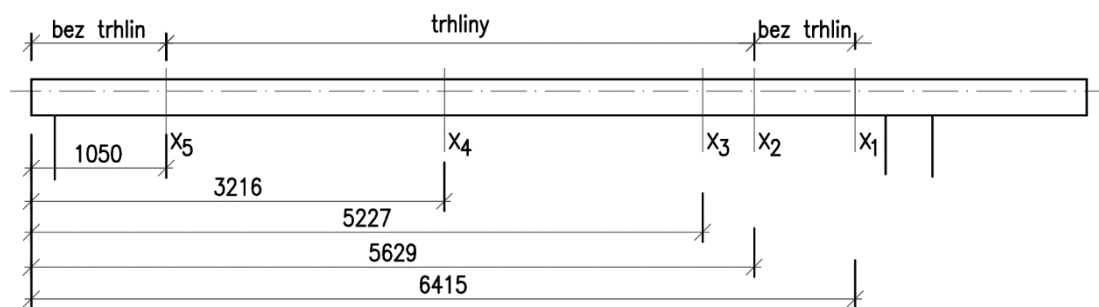
$$\sigma_{ct,d} = \frac{76,72}{0,00116} \cdot 0,188 - \frac{532,43}{0,19} - \frac{532,43 \cdot 0,080}{0,00116} \cdot 0,188 = 2,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = 2,73 \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{NEVZNIKNOU TRHLINY}$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{76,72}{0,00116} \cdot 0,092 - \frac{532,43}{0,19} + \frac{532,43 \cdot 0,042}{0,00116} \cdot 0,092 = -7,11 \text{ MPa}$$

## Vykreslení oblasti s trhlinami

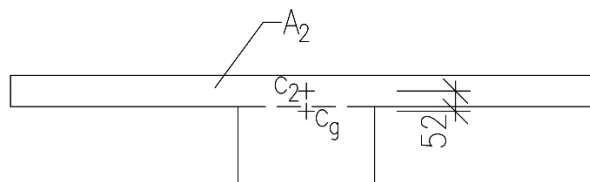


## Oblast bez trhlín (platí teorie pružnosti)

$$V_{Rd,c} = \frac{I_c \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_e \cdot \sigma_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,333 \text{ MPa}$$

## Výpočet statického momentu S



$$A_2 = 0,12 \text{ m}^2$$

$$a_2 = c_{g2} - c_2 = 92 - 40 = 52 \text{ mm}$$

$$S_2 = A_2 \cdot a_2 = 0,12 \cdot 0,052 = 0,00624 \text{ m}^3$$

$$x = 6,415 \text{ m}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{4,19}{0,00116} \cdot 0,012 - \frac{529,16}{0,19} + \frac{529,16 \cdot 0,022}{0,00116} \cdot 0,012 = -2,71 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{0,00116 \cdot 0,35}{0,00624} \cdot \sqrt{(1,33 \cdot 10^3)^2 + 1,0 \cdot 2,71 \cdot 10^3 \cdot 1,33 \cdot 10^3} = 150,82 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{ED} = 107,76 \text{ kN}$$

- navrhnu konstrukční výztuž

Dvoustřížný třmínek 2φ=6 mm;  $A_{st} = 0,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Řez s trhlinou

$$V_{fd}(x = 5,227) = 53,89 \text{ kN}$$

$$V_{ED} = V_{fd} + V_{Pd} = 53,89 - 36,25 = 17,64 \text{ kN}$$

$$x_3 = 5,227 \text{ m}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{244}} = 1,9017 < 2,0$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{3,14 \cdot 10^{-4}}{0,35 \cdot 0,244} = 0,00368 < 0,02$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot \sqrt{k^3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot \sqrt{1,9017^3} \cdot \sqrt{30} = 0,5027$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{P_{m,t^0}}{A_c} = \frac{532,43}{0,19} = 2,80 \text{ MPa} < 0,2 \cdot f_{cd} = 4 \text{ MPa}$$

$$k_1 = 0,15$$

$$V_{Rd,c} = (c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100\rho \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = (0,12 \cdot 1,9017 \cdot (100 \cdot 0,0118 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 2,80) \cdot 0,35 \cdot 0,244$$

$$V_{Rd,c} = 0,0999 \text{ MN} = 99,9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} > (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,5027 + 0,15 \cdot 2,80) \cdot 0,35 \cdot 0,244$$

$$V_{Rd,c} > 78,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 99,9 \text{ kN} > V_{ED} = 17,64 \text{ kN}$$

Nutno navrhnout smykovou výztuž

- navrhnu konstrukční výztuž

$$\text{Dvoustržný třmínek } 2\phi = 6 \text{ mm; } A_{st} = 0,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

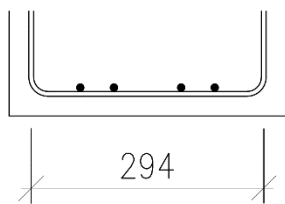
Podélná vzdálenost třmínku

$$s_{max} \leq 0,75d(1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot 244(1 + 0) = 183 \text{ mm}$$

$$s_{max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$s = 180 \text{ mm} < s_{max} = 184,5 \text{ mm}$$

VYHOVUJE



Příčná vzdálenost třmínku

$$s_{max} \leq 0,75d = 0,75 \cdot 244 = 183 \text{ mm}$$

$$s_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$s = 294 \text{ mm} > s_{max} = 184,5 \text{ mm}$$

NEVYHOVUJE

Volím čtyřstřížný třmínek,  $4\phi = 6 \text{ mm}$ ;  $A_{st} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} = \frac{1,13 \cdot 10^{-4}}{0,180 \cdot 0,35} = 0,00179$$

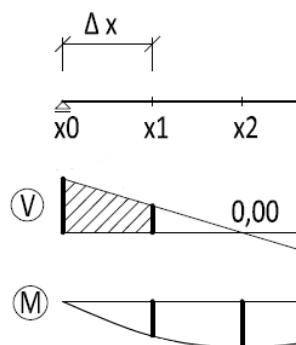
$$\rho_{min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w = 0,00179 > \rho_{min} = 0,00088$$

VYHOVUJE

Podélný smyk (příčný výztuž nad trámem)

- z programu SCIA si vytáhnu posouvající sílu na nosníku a moment k ní přilehlý



$$\Delta x = x_1 = 1,608 \text{ m}$$

$$M_{(x_0)} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{(x_1)} = 38,96 \text{ kNm}$$

$$M_{(x_2)} = 53,23 \text{ kNm}$$

$$F_{cc(x_0)} = 0,00 \text{ kN}$$

$$F_{cc(x_1)} = \frac{M_{(x_1)}}{(z_{cc} + z_{pt(x_1)})} = \frac{38,96}{(0,080 + 0,111)} = 202,92 \text{ kN}$$

$$F_{cc(x_2)} = \frac{M_{(x_2)}}{(z_{cc} + z_{pt})} = \frac{53,23}{(0,080 + 0,147)} = 233,46 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{cc} \geq F_{cc(x_1)} - F_{cc(x_0)} = 202,92 - 0 = 202,92 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{cc} \geq F_{cc(x_2)} - F_{cc(x_1)} = 233,46 - 202,92 = 30,54 \text{ kN}$$

- rozhoduje úsek mezi body  $x_0$  a  $x_1$ ,  $\Delta F_{cc} = 202,92 \text{ kN}$

Síla na 1 přírubu

$$\Delta F_d = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_1}{b} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{\left(\frac{b}{2} + \frac{b_w}{2}\right)}{b} = 202,92 \cdot \frac{\left(\frac{1,5}{2} + \frac{0,35}{2}\right)}{1,5} = 125,134 \text{ kN}$$

Smykové napětí

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_d \cdot \Delta x} = \frac{125,134}{0,08 \cdot 1,608} = 972,75 \text{ kPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 0,97 \text{ MPa} > 0,4 \cdot 1,33 = 0,532 \text{ MPa}$$

- nutno navrhnout výztuž (tažená diagonála)
- v případě tlačené příruby (vlivem ohybového momentu v trámu je část desky spolupůsobící s trámem tlačena, tah zachycuje spodní výztuž trámu
- sklon tlačných diagonál  $\cotg\theta_f = <1;2>$

$$\cotg\theta_f = 1,0$$

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd} > \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{\cotg\theta_f}$$

- kombinace výztuže navržené na zachycení smyku mezi přírubou a trámem a výztuže navržené v desce na příčný ohyb – výsledná hodnota má být větší než:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} > \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{\cotg\theta_f \cdot f_{yd}} = \frac{0,97 \cdot 0,08}{1 \cdot 434,78} = 1,785 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- výztuž navržená na zachycení smyku mezi přírubou a trámem

$$\frac{A_{sf}}{s_f} > 1,785 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



- polovina plochy výztuže navržené na zachycení smyku mezi přírubou a trámem + celá plocha výztuže navržené v desce na příčný ohyb

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} + A_s = \frac{1,785 \cdot 10^{-4}}{2} + 2,02 \cdot 10^{-4} = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Navrženo –  $\phi$  8 po 150 mm;  $A_s = 3,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

Posouzení únosnosti tlačené diagonály

$$\sin\theta_f = \sin 45^\circ = 0,707$$

$$\cos\theta_f = \cos 45^\circ = 0,707$$

$$v_{Ed} < v \cdot f_{cd} \cdot \sin\theta_f \cdot \cos\theta_f$$

$$0,97 < 0,5027 \cdot 20 \cdot 0,707 \cdot 0,707 = 5,03 \text{ MPa}$$

$$0,97 < 5,03 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

## 2. PŘEDPJATÝ PRŮVLAK P1

### 2.1. MATERIÁL

#### BETON

Třída C 30/37

Pevnost v tlaku

- $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $f_{ck,cube} = 37 \text{ MPa}$
- $f_{cm} = 38 \text{ MPa}$
- $\gamma_c = 1,5$
- $f_{cd} = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu

- $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
- $f_{ctk;0,05} = 2 \text{ MPa}$
- $f_{ctk;0,95} = 3,8 \text{ MPa}$

Sečnový modul pružnosti betonu

- $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Přetvoření betonu

- $\epsilon_{c1} = 2,2 \text{ ‰}$
- $\epsilon_{cu1} = 3,5 \text{ ‰}$
- $\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$

#### PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

FREYSSINET Y1770 S7 – 15,7

Nesoudržné lano s HDPE obalem - MONOSTRAND

Materiálové charakteristiky

- $\varnothing = 15,7 \text{ mm}$
- $A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$
- $f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$
- $f_{pk0,1} = 1560 \text{ MPa}$
- $E_p = 195 \text{ GPa}$
- $\gamma_c = 1,15$
- $f_{pd} = 1560 / 1,15 = 1356,5 \text{ MPa}$

**BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ**

Třída B500B

Pevnost v tahu

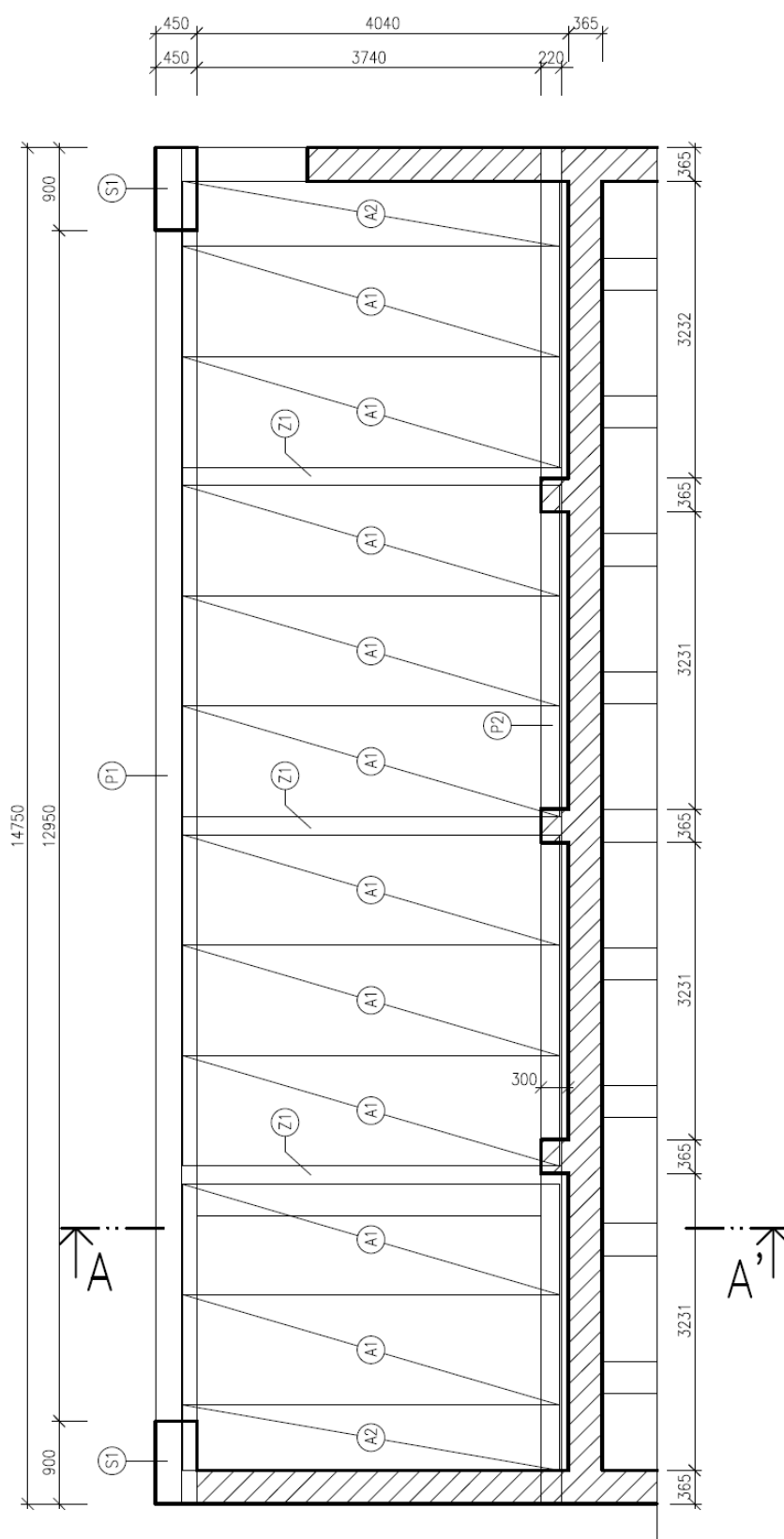
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- $\gamma_c = 1,15$
- $f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
- $f_{ctk,0,05} = 2,0 \text{ MPa}$
- 

Modul pružnosti oceli

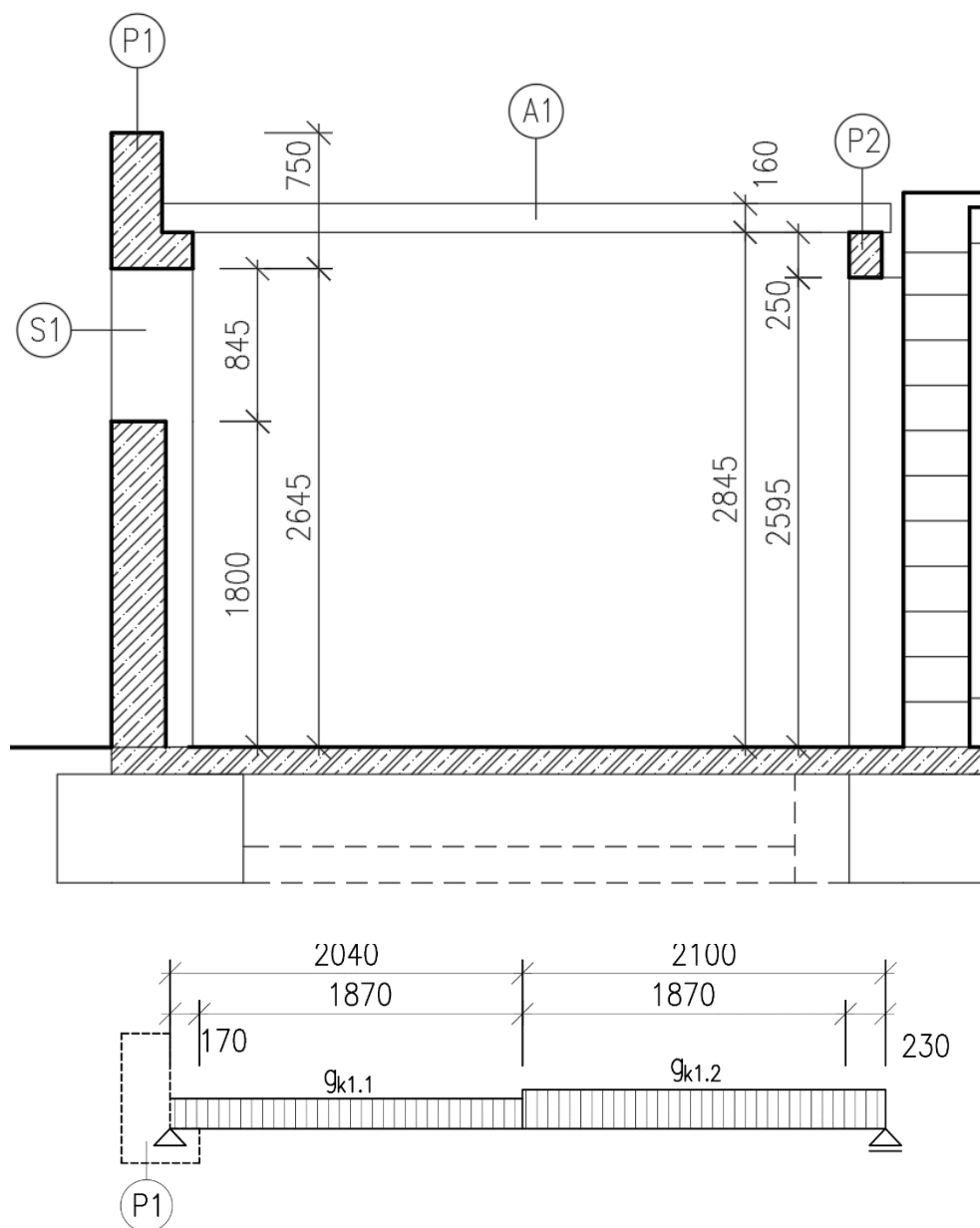
- $E = 200 \text{ GPa}$

## 2.2. GEOMETRIE

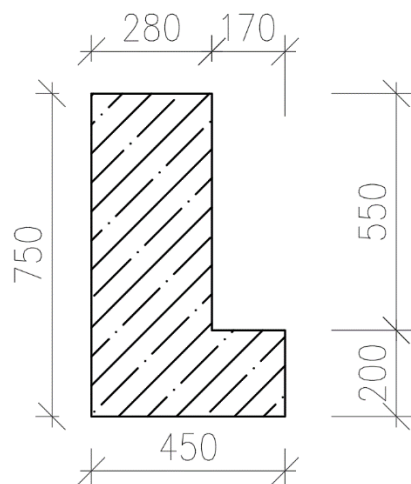
### PŮDORYS



ŘEZ



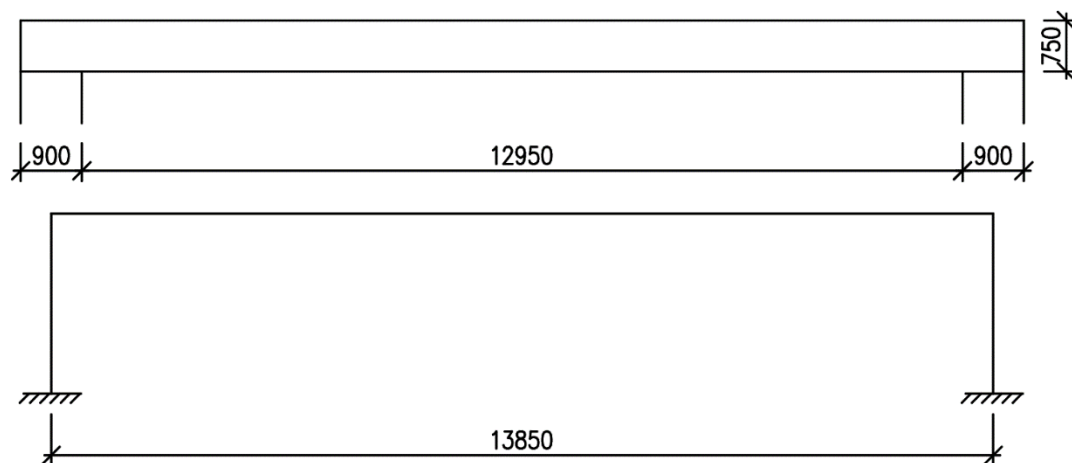
PRŮŘEZ P1



## Rozměry

- $h = 750 \text{ mm}$
- $b = 450 \text{ mm}$
- $b_t = 280$
- $h_t = 550 \text{ mm}$
- $h_d = 200 \text{ mm}$

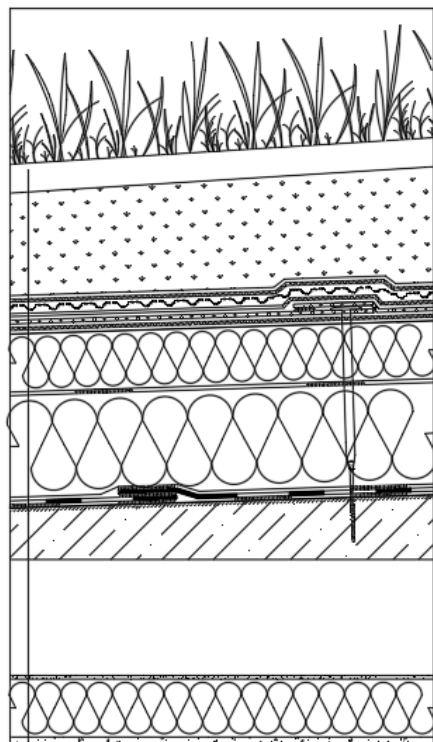
## Idealizace konstrukce



## 2.3. ZATÍŽENÍ

### 2.3.1. STÁLÉ

#### SKLADBA STŘECHY



- DEK rozchodníková rohož S5 40mm
- Substrát střešní extenzivní DEK 220–90 mm
- Textilie FILTEK 200 2mm
- Nopová fólie DEKDREN T20 Garden 2mm
- Textilie FILTEK 300 3mm
- Fólie DEKPLAN 77 2mm
- Textilie FILTEK 300 3mm
- Tepelná izolace DEKPERIMETR SD 150 80mm
- Polyuretanové lepidlo INSTA-STIK STD(PUK 3D) 1mm
- Tepelná izolace EPS 150 140 mm
- Polyuretanové lepidlo INSTA-STIK STD(PUK 3D) 1mm
- Parozábrana GLASTEK AL 40 MINERAL 4mm
- Přípravný nátěr DEKPRIMER 1mm
- Spádový potěr 080 40–160 mm
- SPIROLL 160 mm
- Lepidlo 5 mm
- ISOVER EPS 80 80mm
- Omítka 10 mm

#### ZS1 – VLASTNÍ TÍHA – $g_{0k}$

Popis	A [m <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
PRŮVLAK	0,244	2500	6,1
$g_{0k} =$			6,1

ZS2 – SKLADBA STŘECHY –  $g_{1k}$ 

Vrstva střechy	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
DEK ROZCH. ROHOŽ S5	1	0,04	250	0,100
TEXTILIE FILTEK	1	0,002	75	0,002
NOPOVÁ FÓLIE DEKDREN	1	0,020	50	0,010
FILTEK 300	1	0,003	100	0,003
DEKPLAN 77	1	0,002	1000	0,020
FILTEK 300	1	0,003	100	0,003
DEKPERIMETR SD 150	1	0,080	28	0,022
ISOVER EPS 150	1	0,140	20	0,028
GLASTEK AL 40	1	0,004	1125	0,045
O1 - SPÁDOVÝ POTĚR 080	1	0,071	2300	1,633
O2 - SPÁDOVÝ POTĚR 080	1	0,133	2300	3,059
SPIROLL	1	0,160	1412,5	2,260
LEPIDLO	1	0,005	1800	0,090
ISOVER EPS 80	1	0,080	20	0,016
OMÍTKA	1	0,010	1800	0,180
$\Sigma g_{k1.1} =$				4,412
$\Sigma g_{k1.2} =$				5,838

Oblast 1 (včetně násypu) –  $g_{1.1k}$ 

Vrstva násypu	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
SUBSTRÁT STŘEŠNÍ (nasycený vodou)	1	0,123	1200	1,476

Oblast 2 (včetně násypu) –  $g_{1.2k}$ 

Vrstva násypu	ZŠ [m]	tloušťka [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN/m]
SUBSTRÁT STŘEŠNÍ (nasycený vodou)	1	0,188	1200	2,256

Ztužidlo –  $G_{1.3k}$ 

Popis	ZŠ [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	zatížení [kN]
ŽB NOSNÍK	1	0,032	1200	1,632

$$g_{1.1k} = 2,04 \cdot (4,412 + 1,476) = 12,01 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{1.2k} = 2,1 \cdot (5,838 + 2,256) = 17,00 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{1.3k} = 2,04 \cdot 1,632 = 3,33 \text{ kN}$$



**ZS 3 – Atika –  $G_{1,4k}$** 

POPIS		zatížení [kN/m]
Zábradlí	(50 kg včetně izolace atd...)	0,5
$G_{1,4k} =$		<b>0,5</b>

**2.3.2. PROMĚNNÉ****ZS4 – UŽITNÉ –  $q_{1k}$** 

$$q_{1k} = Z\check{S} \cdot q = 2,04 \cdot 3 = 6,09 \text{ kN/m}$$

Vodorovné zatížení na zábradlí

$$M_{1q} = 1,0 \cdot 1,65 = 1,65 \text{ kNm}$$

**ZS5 – SNÍH**

- vypočítán v kapitole 1.3.2 PROMĚNNÉ

**ZS6 – VÍTR**

- vypočítán v kapitole 1.3.2 PROMĚNNÉ

Dále budu počítat jenom s užitným zatížením

**2.4. KOMBINACE****MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI**

Rce 6.10 a

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

Rce 6.10 b

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

**MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI**

Charakteristická

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

Častá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

## 2.5. NÁVRH PŘEDPĚTÍ

### 2.5.1. NÁVRH PŘEDPĚTÍ

- životnost 50 let
- předpínací výztuž – lano typu MONOSTRAND firmy FREYSSINET
- stupeň vlivu prostředí XC1 – SUCHÉ
- kotvení řady C

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži během předpínání

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8f_{pk}; 0,9f_{p0.1k}\} = \min\{0,8 \cdot 1770; 0,9 \cdot 1560\} = \min\{1416; \mathbf{1404}\}$$

$$\sigma_{p,max} = 1404 \text{ MPa}$$

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži bezprostředně po vnesení předpětí do betonu

$$\sigma_{p,m0(x)} = \min\{0,75f_{pk}; 0,85f_{p0.1k}\} = \min\{0,75 \cdot 1770; 0,85 \cdot 1560\}$$

$$\sigma_{p,m0(x)} = \min\{1327,5; \mathbf{1326}\} = 1326 \text{ MPa}$$

Napětí v  $t_0$

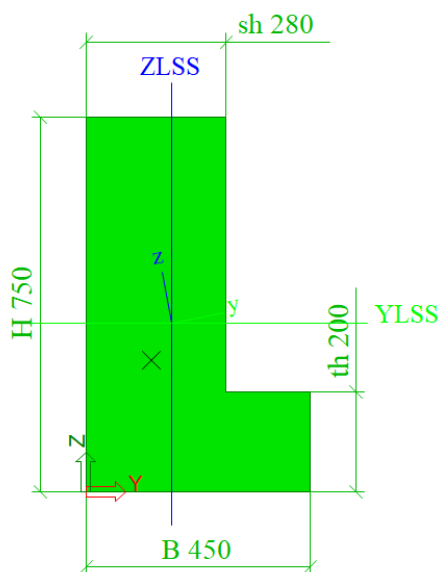
$$\sigma_{p,m0} = 0,9 \cdot \sigma_{p,max} = 0,9 \cdot 1404 = \mathbf{1263,6 \text{ MPa}}$$

Napětí v  $t_\infty$

$$\sigma_{p,m\infty} = 0,9 \cdot \sigma_{p,m0} = 0,9 \cdot 1263,6 = \mathbf{1137,24 \text{ MPa}}$$

## 2.5.2. PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

P1 – PRŮVLAK



PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY (scia)

- |  |   |
|--|---|
| - $A_c = 0,244 \text{ m}^2$                  | - plocha betonového průřezu                   |
| - $t_{z1} = 337 \text{ mm}$                  | - vzdálenost těžiště ke spodním vláknům       |
| - $t_{z2} = 413 \text{ mm}$                  | - vzdálenost těžiště k horním vláknům         |
| - $t_{y1} = 171 \text{ mm}$                  | - vzdálenost těžiště k vláknům na levé straně |
| - $I_c = 1,251 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$    | - moment setrvačnosti bet. průřezu            |
| - $W_2 = I_c / t_{c2} = 0,03029 \text{ m}^3$ | - modul průřezu k horním vláknům              |
| - $W_1 = I_c / t_{c1} = 0,03712 \text{ m}^3$ | - modul průřezu k dolním vláknům              |
| - $r_c^h = W_2 / A_c = 0,1241 \text{ m}$     | - jádrová úsečka vztažená k horním vláknům    |
| - $r_c^d = W_1 / A_c = 0,0513 \text{ m}$     | - jádrová úsečka vztažená k dolním vláknům    |

## 2.5.3. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ SÍLY

- návrh předpínací síly provedu pomocí podmínky pro dovolené napětí v betonu tak, že v nerovnici pro každou kombinaci je neznámá pouze předpínací síla
- posuzovaný průřez v bodě nad podporou – Největší moment

**VNITŘNÍ SÍLY**

- |                                       |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| - $M_{ok} = -93,45 \text{ kNm}$       | od vlastní tíhy               |
| - $M_{Ek} = -367,01 \text{ kNm}$      | od charakteristické kombinace |
| - $M_{Ek\psi1} = -321,88 \text{ kNm}$ | od časté kombinace            |
| - $M_{Ek\psi2} = -303,84 \text{ kNm}$ | od kvazistálé kombinace       |

**KRYTÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE**

- krytí samotného lana (MONOSTRANDu) není potřeba, navrhuje se kvůli třmínkům rozmístěných po celé délce trámu
- navrhuji třmínek o průměru  $\phi = 10 \text{ mm}$

Nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Minimální hodnota  $c_{min,b}$

$$c_{min,b} \geq \phi$$

$$c_{min,b} \geq 10 \text{ mm}$$

Minimální hodnota  $c_{min,dur}$

- konstrukční třída S4 =>  $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$

Přídavek na návrhovou odchylku  $\Delta c_{dev}$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{10; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Excentricita lana k těžišti průřezu

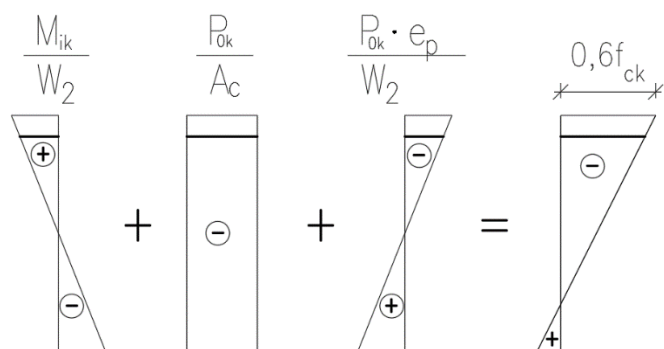
- zvolím excentricitu 300 mm nad těžištěm v podpoře nosníku, kde jsou momenty největší

$$e_p = \mathbf{300 \text{ mm}}$$

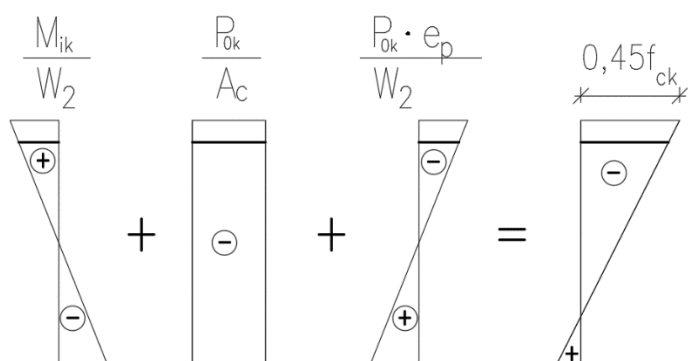
**PODMÍNKY**

- $\sigma_c^- \leq 0,6 f_{ck}$
- $\sigma_c^- \leq 0,45 f_{ck}$
- $\sigma_c^+ \leq f_{ctm}$

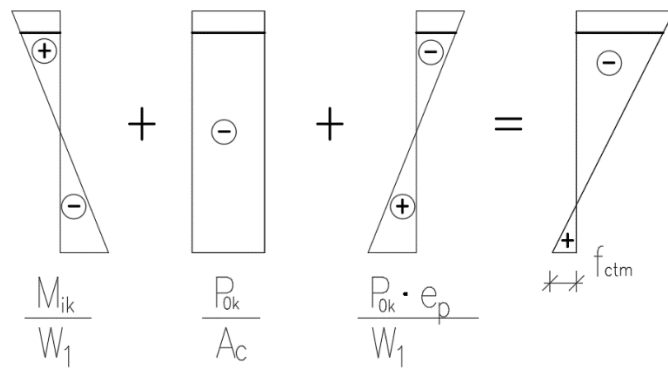
CHARAKTERISTICKÁ  
KVAZISTÁLÁ  
ČASTÁ

V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$\begin{aligned}
 & + \frac{M_{0k}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6f_{ck} \\
 & + \frac{93,45}{0,03029} - \frac{P_0}{0,244} - \frac{P_0 \cdot 0,30}{0,03029} \leq 0,6 \cdot 30\,000 \\
 & -P_0 \cdot \left( \frac{1}{0,244} + \frac{0,30}{0,03029} \right) \leq 14914,8 \\
 & -P_0 14,00 \leq 14914,8 \\
 & P_0 \geq -1183,49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$\begin{aligned}
 & + \frac{M_{0k}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45f_{ck} \\
 & + \frac{93,45}{0,03029} - \frac{P_0}{0,244} - \frac{P_0 \cdot 0,30}{0,03029} \leq 0,45 \cdot 30\,000 \\
 & -P_0 \cdot \left( \frac{1}{0,244} + \frac{0,30}{0,03029} \right) \leq 10414,8 \\
 & -P_0 14,00 \leq 10414,8 \\
 & P_0 \geq -826,419 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

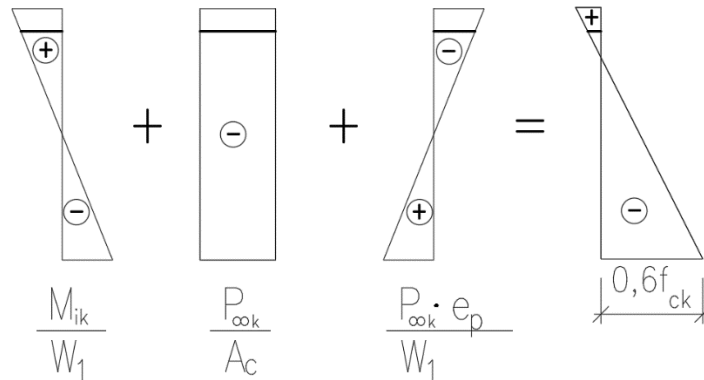
$$-\frac{M_{0k}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

$$-\frac{93,45}{0,03712} - \frac{P_0}{0,244} + \frac{P_0 \cdot 0,30}{0,03712} \leq 2900$$

$$P_0 \cdot \left( -\frac{1}{0,244} + \frac{0,30}{0,03712} \right) \leq 5417,51$$

$$P_0 3,984 \leq 5417,51$$

$$P_0 \leq \mathbf{1359,82 \text{ kN}}$$

V čase  $t_\infty$ a)  $\sigma_c^{d-}$ :

$$-\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

$$-\frac{367,01}{0,03712} - \frac{P_\infty}{0,244} + \frac{P_\infty \cdot 0,30}{0,03712} \leq 18000$$

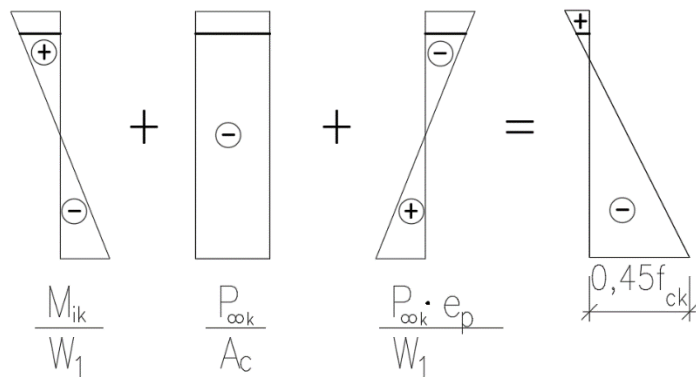
$$P_\infty \cdot \left( -\frac{1}{0,244} + \frac{0,30}{0,03712} \right) \leq 27887,1$$

$$P_\infty 3,98 \leq 27887,1$$

$$P_\infty \leq \mathbf{7006,81 \text{ kN}}$$

$$P_0 = \frac{P_\infty}{0,9} = \frac{7006,81}{0,9}$$

$$P_0 \leq \mathbf{7785,34 \text{ kN}}$$

b)  $\sigma_c^{d-}$ :

$$-\frac{M_{EK\psi 2}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$-\frac{303,84}{0,03712} - \frac{P_\infty}{0,244} + \frac{P_\infty \cdot 0,30}{0,03712} \leq 13\,500$$

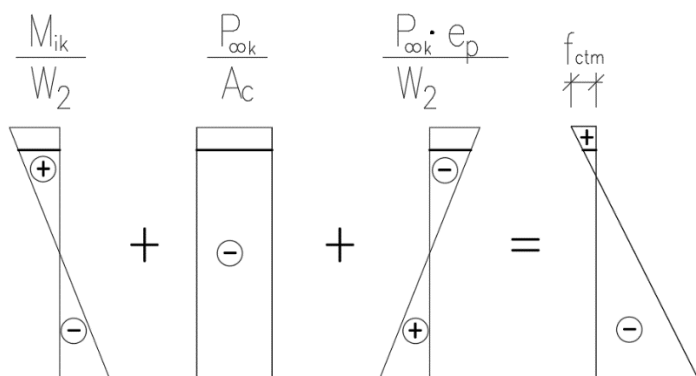
$$P_\infty \cdot \left( -\frac{1}{0,244} + \frac{0,30}{0,03712} \right) \leq 21685,3$$

$$P_\infty 3,98 \leq 21685,3$$

$$P_\infty \leq 5448,58 \text{ kN}$$

$$P_0 = \frac{P_\infty}{0,9} = \frac{5448,58}{0,9}$$

$$P_0 \leq \mathbf{6053,98 \text{ kN}}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :

$$\frac{M_{EK\psi 1}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} - \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} \leq f_{ctm}$$

$$\frac{321,88}{0,03029} - \frac{P_\infty}{0,244} - \frac{P_\infty \cdot 0,30}{0,003029} \leq 2900$$

$$P_\infty \cdot \left( -\frac{1}{0,244} + \frac{0,30}{0,003029} \right) \leq -7726,61$$

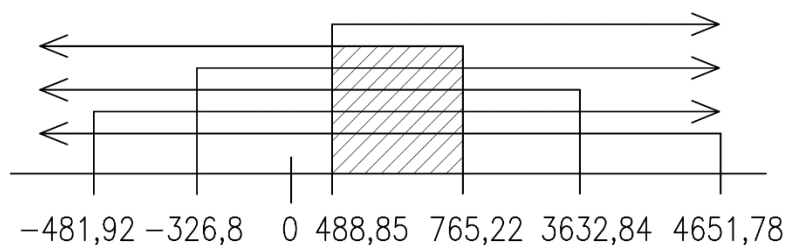
$$-P_\infty 14,0 \leq -7726,61$$

$$P_\infty \geq 551,9 \text{ kN}$$

$$P_0 = \frac{P_\infty}{0,9} = \frac{551,9}{0,9}$$

$$P_0 \geq \mathbf{613,22 \text{ kN}}$$

Vynesení sil na osu



- podle vyznačeného intervalu na ose zvolím návrhovou sílu  $P_{m0,req}$

$$P_{m0,req} = \min \left\{ 1,03 P_{min}; \frac{P_{min} + P_{max}}{2} \right\}$$

$$P_{m0,req} = \min \left\{ 1,03 \cdot 613,22; \frac{613,22 + 1359,82}{2} \right\} = \{ \mathbf{631,62}; 986,52 \} = 631,62 \text{ kN}$$

**Návrh počtu lan**

$$A_p = \frac{P_{m0,req}}{\sigma_{p,m0}} = \frac{631,62}{1263,6 \cdot 10^3} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n > \frac{A_p}{A_{p1}} = \frac{5,0 \cdot 10^{-4}}{1,50 \cdot 10^{-4}} > 3,33$$

**NAVRŽENY 4 LANA**

$$A_p = n \cdot A_{p1} = 4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 6,0 \cdot 10^{-4}$$

$$\mathbf{P_{m0} = A_p \cdot \sigma_{pm,0} = 6,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1263,6 = 758,16 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{P_{m\infty} = 0,9 \cdot P_{m0} = 0,9 \cdot 758,16 = 682,34 \text{ kN}}$$



## 2.5.4. NÁVRH KABELOVÉ DRÁHY

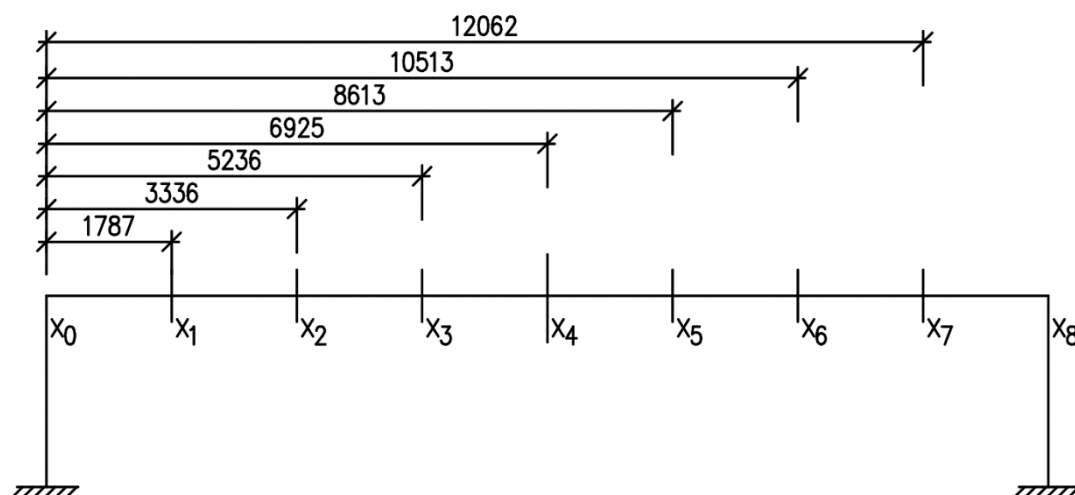
- podle nerovnic podmínek napětí jsem našel předpínací sílu v čase  $t_0$ , kterou využiji pro nalezení bodů koridoru pro trasu kabelu po délce nosníku
- použiji stejnou metodu jako při hledání předpínací síly  $P_0$  pomocí nerovnic podmínek napětí, kde bude jediná neznámá excentricita  $e_p$

## PODMÍNKY

- $\sigma_c^- \leq 0,6f_{ck}$
- $\sigma_c^- \leq 0,45f_{ck}$
- $\sigma_c^+ \leq f_{ctm}$

CHARAKTERISTICKÁ  
KVAZISTÁLÁ  
ČÁSTÁ

Rozdělení nosníku

ŘEZ  $x_0$  NAD PODPOROU = 0,000 mV čase  $t_\infty$ 

- $\sigma_c^{d-}$ :

$$\begin{array}{c} \text{Diagram 1: Linear stress distribution with } + \text{ at top and } - \text{ at bottom.} \\ \frac{M_{ik}}{W_1} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Diagram 2: Uniform stress distribution, } - \text{ throughout.} \\ \frac{P_{\infty k}}{A_c} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Diagram 3: Linear stress distribution with } - \text{ at top and } + \text{ at bottom.} \\ \frac{P_{\infty k} \cdot e_p}{W_1} \end{array} = \begin{array}{c} \text{Diagram 4: Resulting linear stress distribution with } + \text{ at top and } - \text{ at bottom.} \\ \frac{0,6f_{ck}}{W_1} \end{array}$$

$$-\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6f_{ck}$$

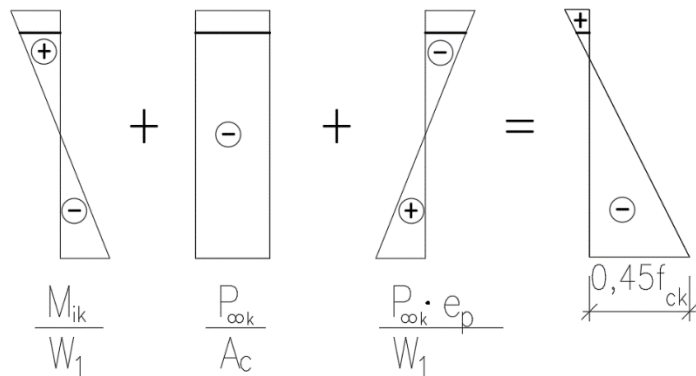
$$-\frac{367,01}{0,03712} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03712} \leq 18\,000$$

$$e_p \cdot \frac{682,34}{0,03712} \leq 30683,6$$

$$e_p 18382 \leq 30683,6$$

$$e_p \leq \mathbf{1,669\,m}$$

b)  $\sigma_c^{d-}$ :



$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6f_{ck}$$

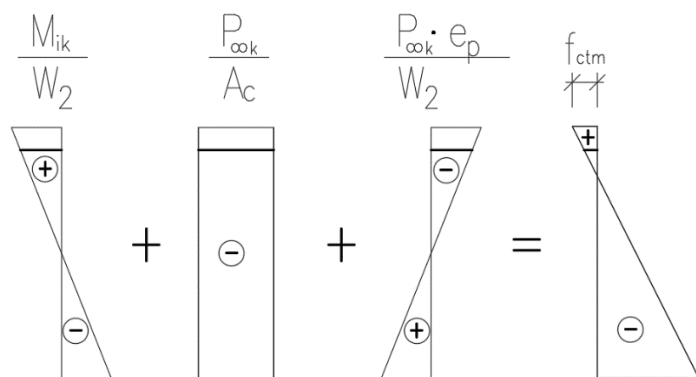
$$-\frac{303,84}{0,03712} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03712} \leq 13\,500$$

$$e_p \cdot \frac{682,34}{0,03712} \leq 24481,8$$

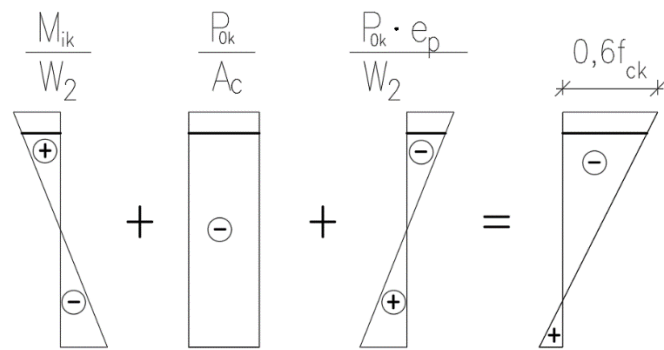
$$e_p 18382 \leq 24481,8$$

$$e_p \leq \mathbf{1,332\,m}$$

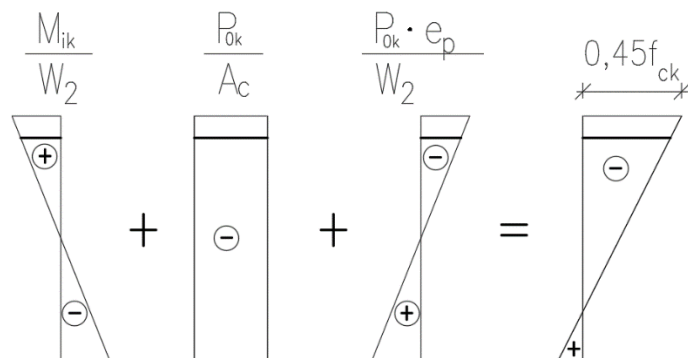
c)  $\sigma_c^{h+}$ :



$$\begin{aligned} \frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} - \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} &\leq f_{ctm} \\ + \frac{321,88}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} - \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} &\leq 2900 \\ -e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} &\leq -4930,13 \\ -e_p 22526,9 &\geq -4930,13 \\ e_p &\geq \mathbf{0,219\ m} \end{aligned}$$

V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$\begin{aligned} \frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} &\leq 0,6f_{ck} \\ \frac{93,45}{0,03029} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03029} &\leq 18\ 000 \\ -e_p \cdot \frac{758,16}{0,03029} &\leq 18022,04 \\ -e_p 25030 &\leq 18022,04 \\ e_p &\geq \mathbf{-0,72\ m} \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :

$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

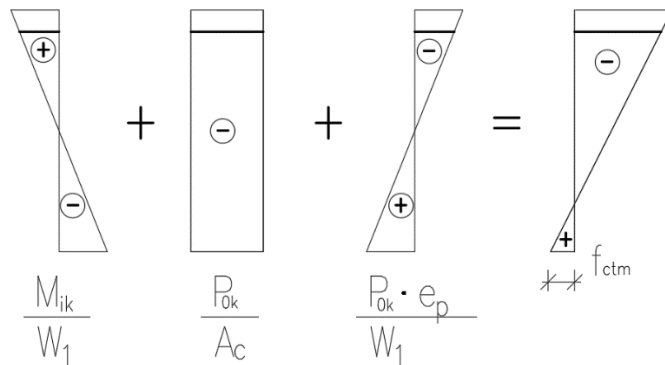
$$\frac{93,45}{0,03029} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03029} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{758,16}{0,03029} \leq 13522,04$$

$$-e_p 25030 \leq 13522,04$$

$$e_p \geq -0,54 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :



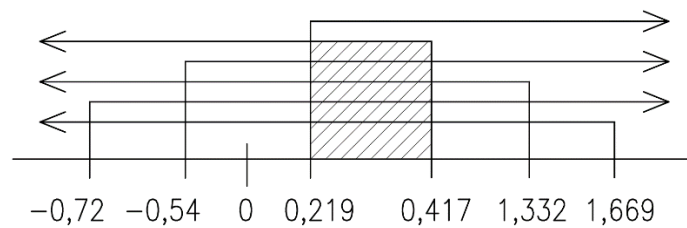
$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

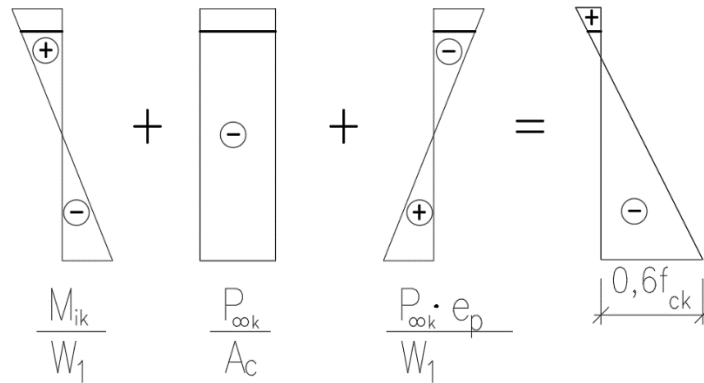
$$-\frac{93,45}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} + \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} \leq 8524,72$$

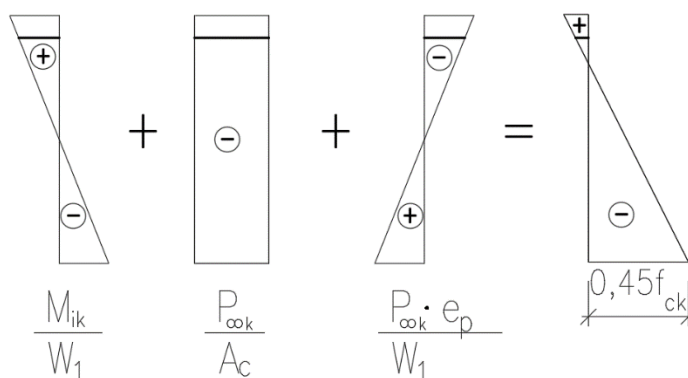
$$e_p 20424,6 \leq 8524,72$$

$$e_p \leq 0,417 \text{ m}$$



ŘEZ  $x_1 = 1,787 \text{ m}$ V čase  $t_\infty$ a)  $\sigma_c^d$ :

$$\begin{aligned}
 -\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} &\leq 0,6 f_{ck} \\
 -\frac{100,71}{0,03712} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03712} &\leq 18\,000 \\
 e_p \cdot \frac{682,34}{0,03712} &\leq 23509,6 \\
 e_p 18382 &\leq 23509,6 \\
 e_p &\leq \mathbf{1,279 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

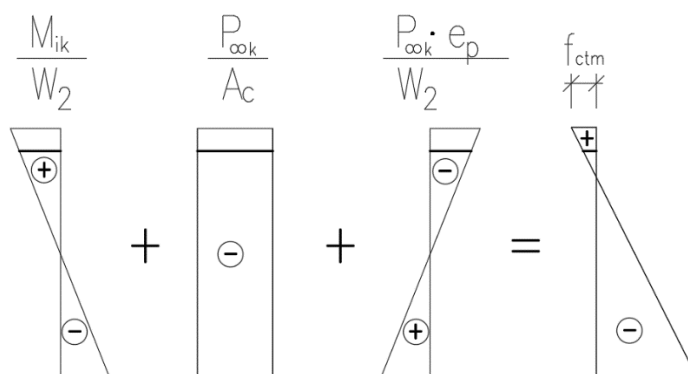
b)  $\sigma_c^d$ :

$$\begin{aligned}
 -\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} &\leq 0,45 f_{ck} \\
 -\frac{83,53}{0,03712} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03712} &\leq 13\,500 \\
 e_p \cdot \frac{682,34}{0,03712} &\leq 18546,7
 \end{aligned}$$

$$e_p 18382 \leq 18546,7$$

$$e_p \leq \mathbf{1,009\ m}$$

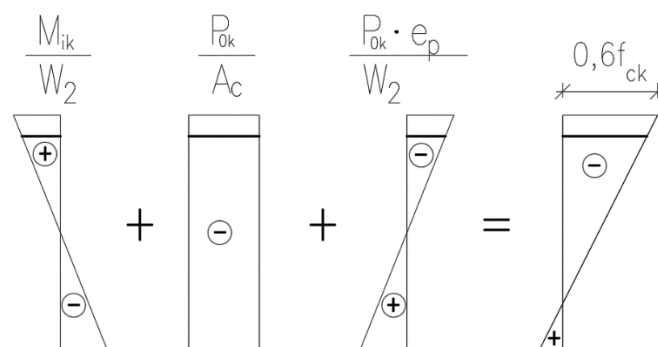
c)  $\sigma_c^{h+}$ :



$$\begin{aligned} \frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} - \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} &\leq f_{ctm} \\ + \frac{88,44}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} - \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} &\leq 2900 \\ -e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} &\leq 2776,7 \\ -e_p 22526,9 &\leq 2776,7 \\ e_p &\geq \mathbf{-0,123\ m} \end{aligned}$$

V čase  $t_0$

a)  $\sigma_c^{h-}$ :

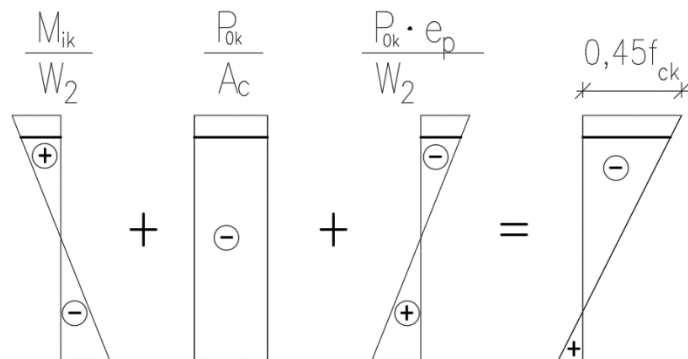


$$\begin{aligned} \frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} &\leq 0,6f_{ck} \\ \frac{25,83}{0,03029} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03029} &\leq 18\ 000 \\ -e_p \cdot \frac{758,16}{0,03029} &\leq 20254,46 \end{aligned}$$

$$-e_p 25030 \leq 20254,46$$

$$e_p \geq -0,809 \text{ m}$$

b)  $\sigma_c^h$ :



$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45 f_{ck}$$

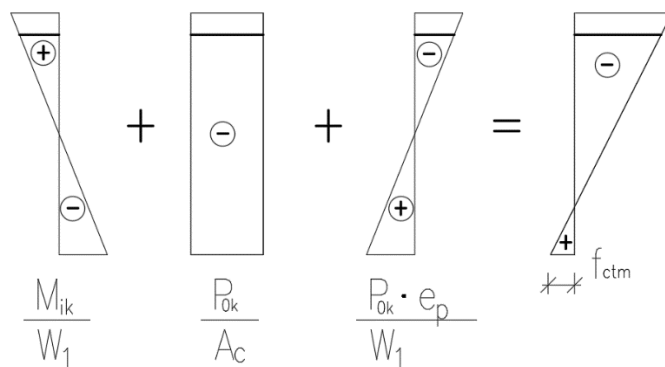
$$\frac{25,83}{0,03029} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03029} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{758,16}{0,03029} \leq 15754,46$$

$$-e_p 25030 \leq 15754,46$$

$$e_p \geq -0,629 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :



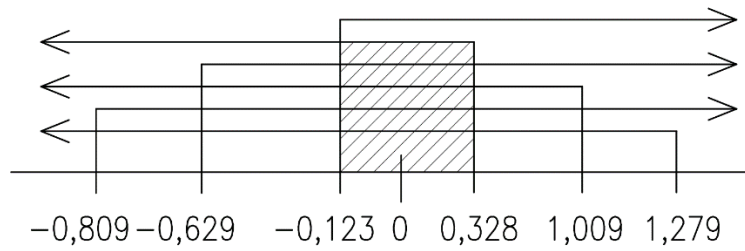
$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

$$-\frac{25,83}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} + \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} \leq 6703,06$$

$$e_p 20424,6 \leq 6703,06$$

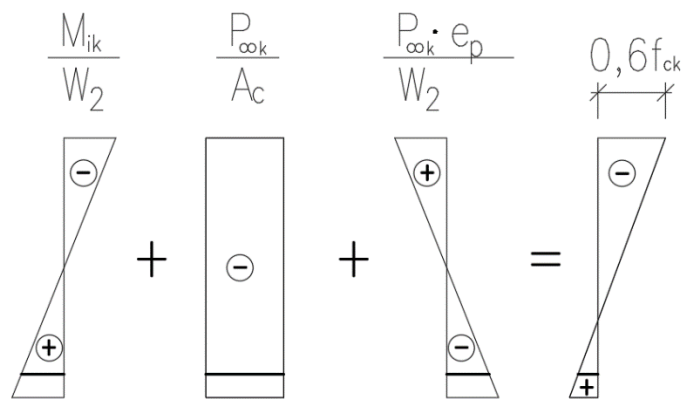
$$e_p \leq 0,328 \text{ m}$$



ŘEZ  $x_2 = 3,336 \text{ m}$

V čase  $t_\infty$

a)  $\sigma_c^h$ :



$$-\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

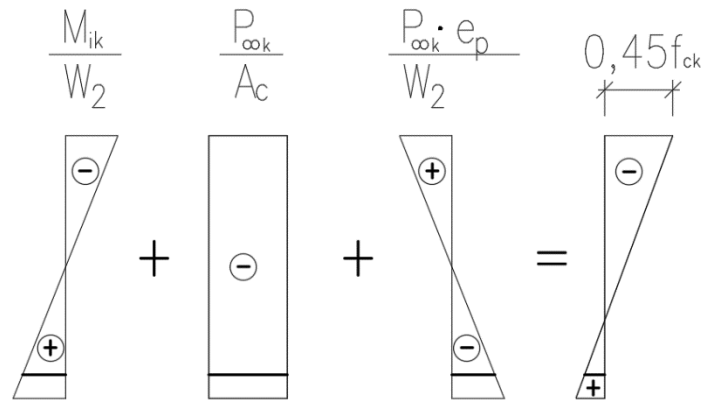
$$-\frac{66,70}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} \leq 18\,000$$

$$e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} \leq 22998,52$$

$$e_p 22526,91 \leq 22998,52$$

$$e_p \leq 1,021 \text{ m}$$



b)  $\sigma_c^{h-}$ :

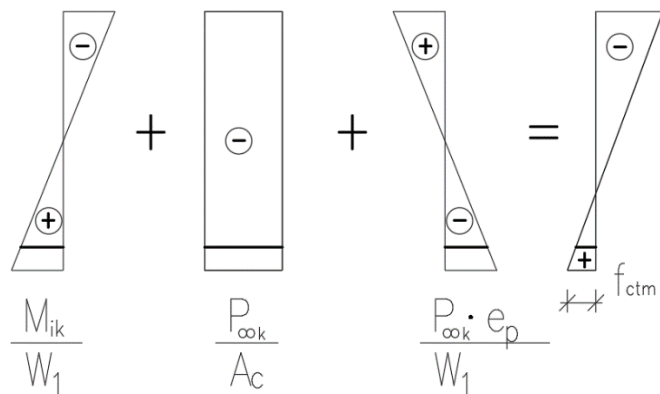
$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$-\frac{55,03}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} \leq 13\,500$$

$$e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} \leq 18113,25$$

$$e_p 22526,91 \leq 18113,25$$

$$e_p \leq \mathbf{0,804\,m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :

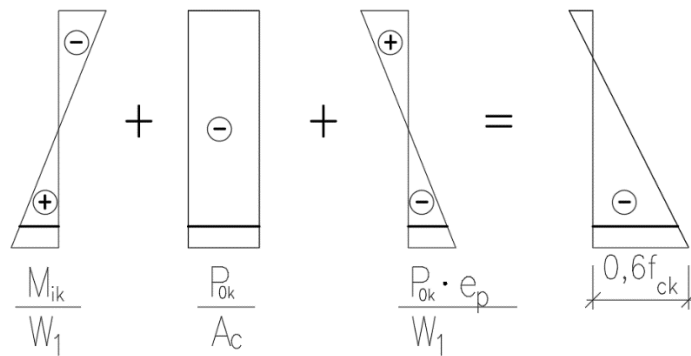
$$\frac{M_{E\psi 1}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} - \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} \leq f_{ctm}$$

$$+\frac{58,37}{0,03712} - \frac{682,34}{0,244} - \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03712} \leq 2900$$

$$-e_p \cdot \frac{682,34}{0,03712} \leq 4124,01$$

$$-e_p 82675,3 \leq 4124,01$$

$$e_p \geq \mathbf{-0,224}$$

V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^{d-}$ :

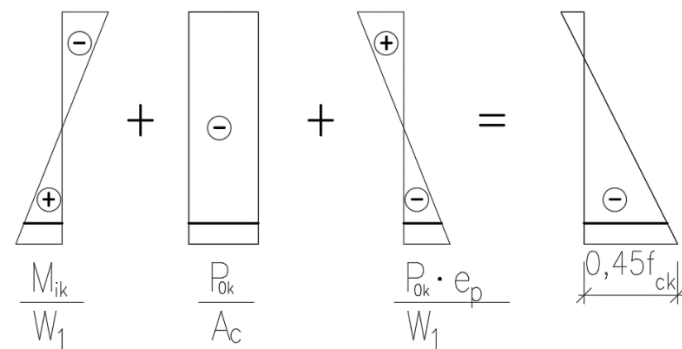
$$\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6 f_{ck}$$

$$\frac{17,12}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} \leq 18\,000$$

$$-e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} \leq 20646$$

$$-e_p 20424,6 \leq 20646$$

$$e_p \geq -1,011 \text{ m}$$

b)  $\sigma_c^{d-}$ :

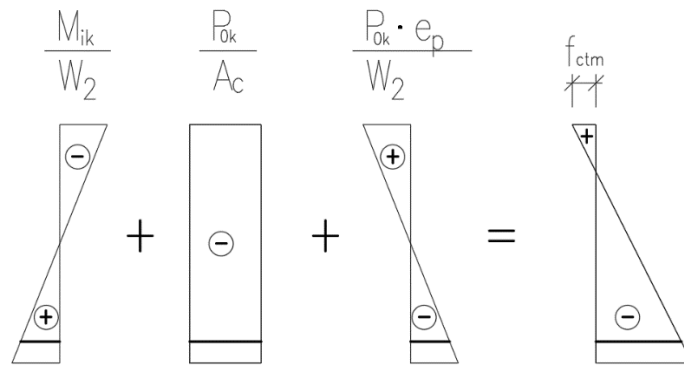
$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$\frac{17,12}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} \leq 16146$$

$$-e_p 20424,6 \leq 16146$$

$$e_p \geq -0,791 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

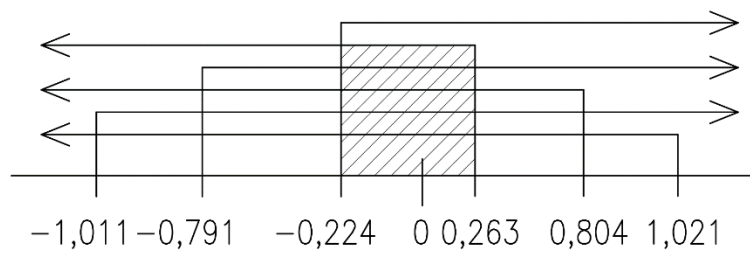
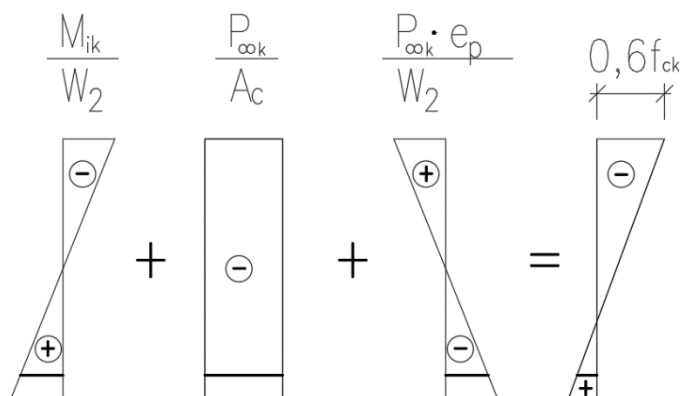
$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

$$-\frac{17,12}{0,03029} - \frac{758,16}{0,244} + \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03029} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{758,16}{0,03029} \leq 6572,42$$

$$e_p 25030,04 \leq 6572,42$$

$$e_p \leq \mathbf{0,263 \text{ m}}$$

ŘEZ  $x_3 = 5,236 \text{ m}$ V čase  $t_\infty$ a)  $\sigma_c^{h-}$ :

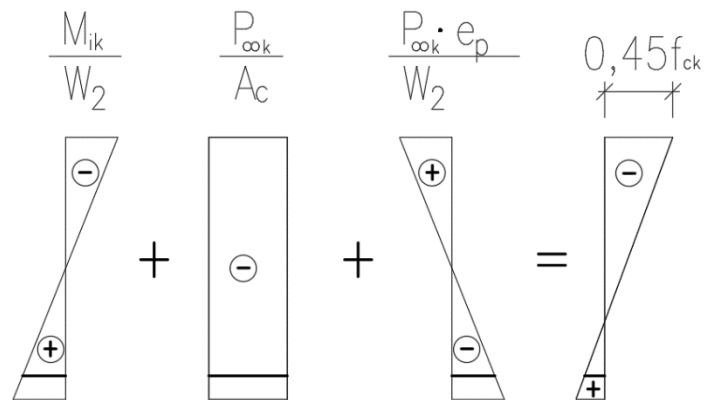
$$-\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,6f_{ck}$$

$$-\frac{191,61}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} \leq 18\,000$$

$$e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} \leq 27122,33$$

$$e_p 22526,91 \leq 27122,33$$

$$e_p \leq \mathbf{1,204\,m}$$

b)  $\sigma_c^h$ :

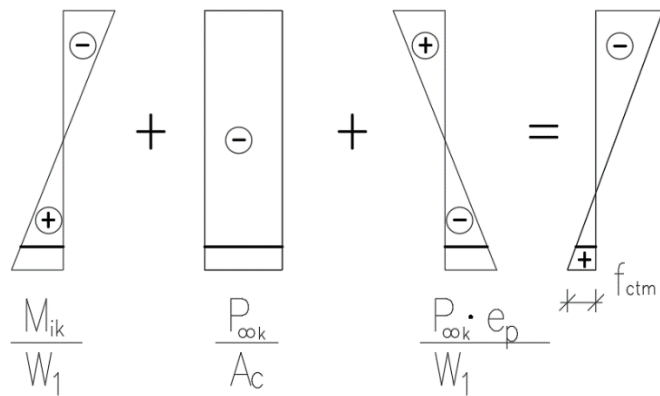
$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45f_{ck}$$

$$-\frac{158,50}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} \leq 13\,500$$

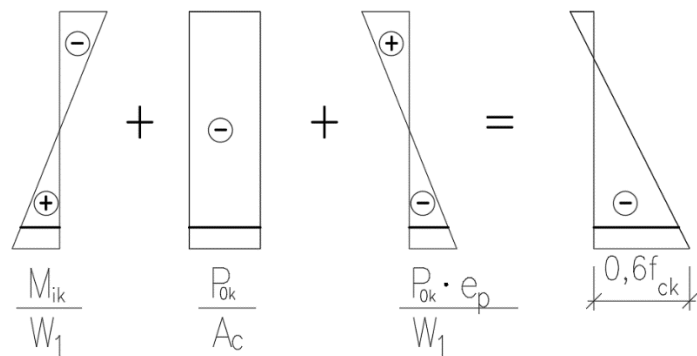
$$e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} \leq 21529,23$$

$$e_p 22526,91 \leq 21529,23$$

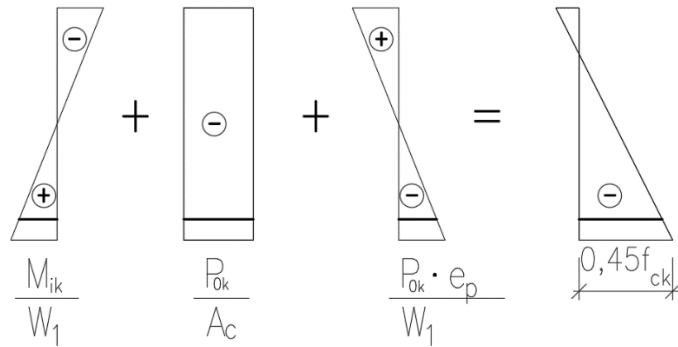
$$e_p \leq \mathbf{0,956\,m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :

$$\begin{aligned} \frac{M_{E\psi 1}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} - \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} &\leq f_{ctm} \\ + \frac{167,96}{0,03712} - \frac{682,34}{0,244} - \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03712} &\leq 2900 \\ -e_p \cdot \frac{682,34}{0,03712} &\leq 1171,69 \\ -e_p 82675,3 &\leq 1171,69 \\ e_p &\geq -0,064 \end{aligned}$$

V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^{d-}$ :

$$\begin{aligned} \frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} &\leq 0,6f_{ck} \\ \frac{48,61}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} &\leq 18\,000 \\ -e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} &\leq 19797,7 \\ -e_p 20424,6 &\leq 19797,7 \\ e_p &\geq -0,969 \, m \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^{d-}$ :

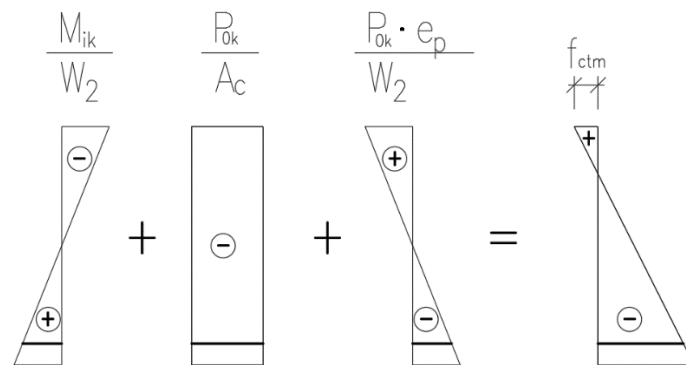
$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$\frac{48,61}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} \leq 13\,500$$

$$-e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} \leq 15297,7$$

$$-e_p 20424,6 \leq 15297,7$$

$$e_p \geq -0,749 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

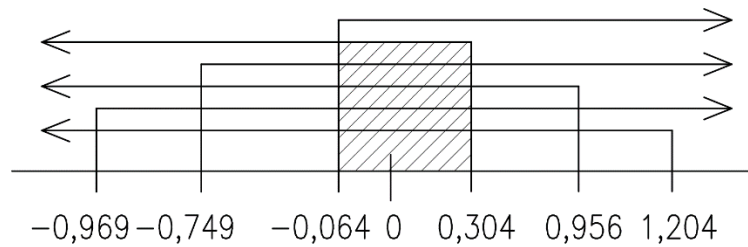
$$-\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} \leq f_{ctm}$$

$$-\frac{17,12}{0,03029} - \frac{758,16}{0,244} + \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03029} \leq 2900$$

$$e_p \cdot \frac{758,16}{0,03029} \leq 7612,03$$

$$e_p 25030,04 \leq 7612,03$$

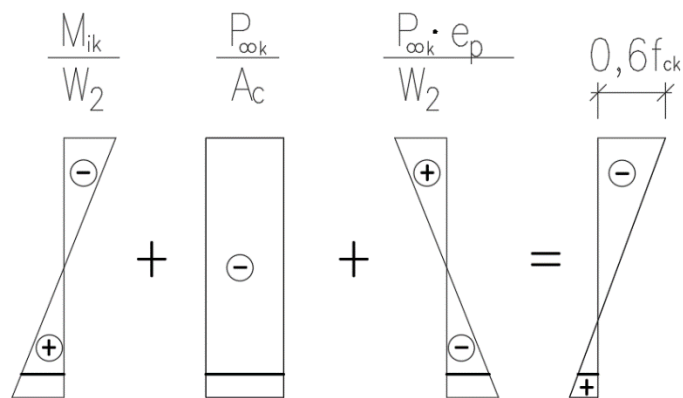
$$e_p \leq 0,304 \text{ m}$$



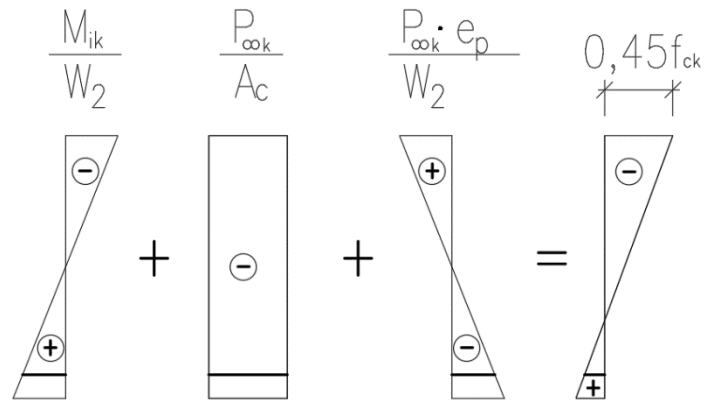
ŘEZ  $x_4$  – NEJVÍCE NAMÁHANÉ MÍSTO V POLI = 6,925 m

V čase  $t_\infty$

a)  $\sigma_c^h$ :



$$\begin{aligned}
 -\frac{M_{EK}}{W_2} - \frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty \cdot e_p}{W_2} &\leq 0,6 f_{ck} \\
 -\frac{229,53}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} &\leq 18\,000 \\
 e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} &\leq 28374,22 \\
 e_p 22526,91 &\leq 28374,22 \\
 e_p &\leq 1,26 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b)  $\sigma_c^{h-}$ :

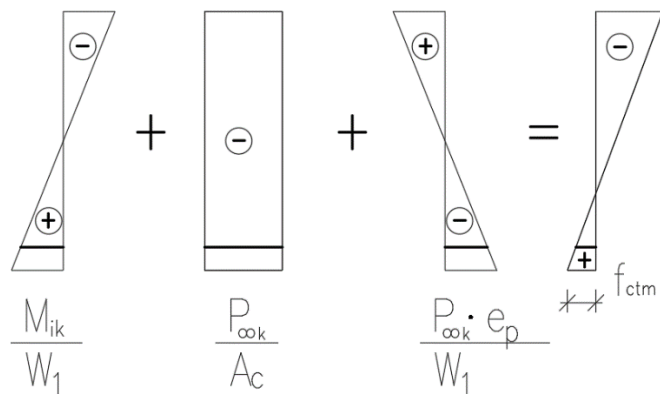
$$-\frac{M_{E\psi 2}}{W_2} - \frac{P_{\infty}}{A_c} + \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_2} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$-\frac{190,04}{0,03029} - \frac{682,34}{0,244} + \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03029} \leq 13\,500$$

$$e_p \cdot \frac{682,34}{0,03029} \leq 22570,49$$

$$e_p 22526,91 \leq 22570,49$$

$$e_p \leq \mathbf{1,002\,m}$$

c)  $\sigma_c^{d+}$ :

$$\frac{M_{E\psi 1}}{W_1} - \frac{P_{\infty}}{A_c} - \frac{P_{\infty} \cdot e_p}{W_1} \leq f_{ctm}$$

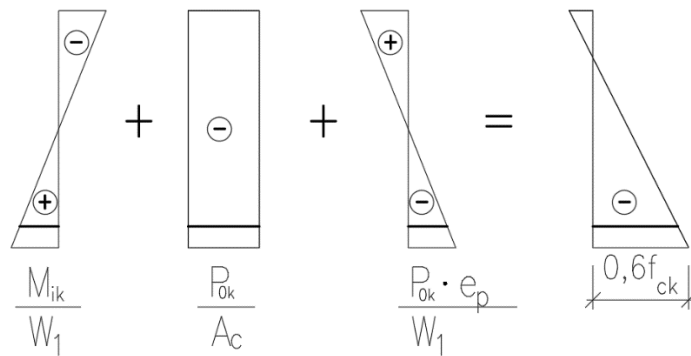
$$+\frac{201,32}{0,03712} - \frac{682,34}{0,244} - \frac{682,34 \cdot e_p}{0,03712} \leq 2900$$

$$-e_p \cdot \frac{682,34}{0,03712} \leq 272,98$$

$$-e_p 82675,3 \leq 272,98$$

$$e_p \geq \mathbf{-0,015}$$



V čase  $t_0$ a)  $\sigma_c^d$ :

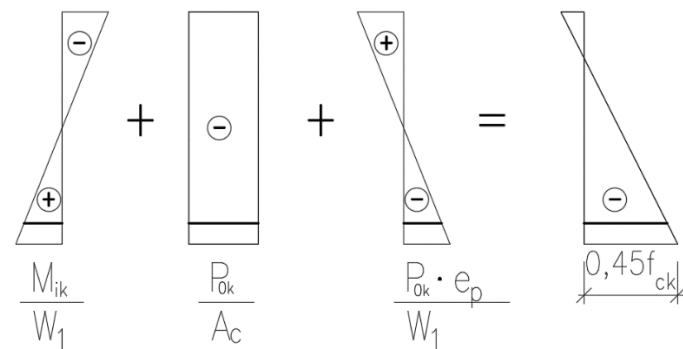
$$\frac{M_{EK}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,6 f_{ck}$$

$$\frac{58,78}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} \leq 18\,000$$

$$-e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} \leq 19523,7$$

$$-e_p 20424,6 \leq 19523,7$$

$$e_p \geq -0,956 \text{ m}$$

b)  $\sigma_c^d$ :

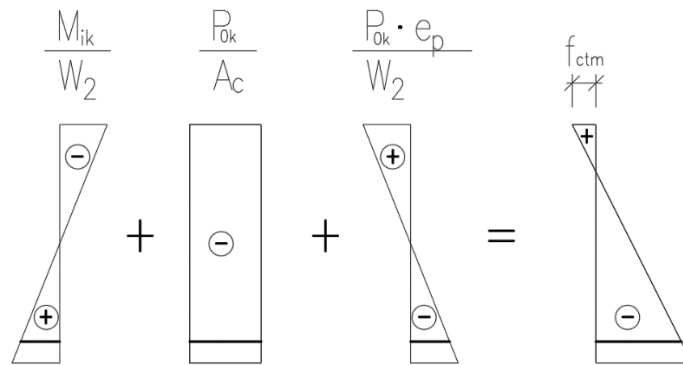
$$\frac{M_{E\psi 2}}{W_1} - \frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e_p}{W_1} \leq 0,45 f_{ck}$$

$$\frac{58,78}{0,03712} - \frac{758,16}{0,244} - \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03712} \leq 13\,500$$

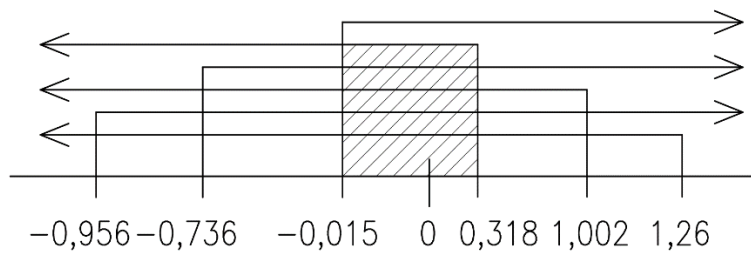
$$-e_p \cdot \frac{758,16}{0,03712} \leq 15023,7$$

$$-e_p 20424,6 \leq 15023,7$$

$$e_p \geq -0,736 \text{ m}$$

c)  $\sigma_c^{h+}$ :

$$\begin{aligned}
 -\frac{M_{E\psi 1}}{W_2} - \frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e_p}{W_2} &\leq f_{ctm} \\
 -\frac{58,78}{0,03029} - \frac{758,16}{0,244} + \frac{758,16 \cdot e_p}{0,03029} &\leq 2900 \\
 e_p \cdot \frac{758,16}{0,03029} &\leq 7947,79 \\
 e_p 25030,04 &\leq 7947,79 \\
 e_p &\leq \mathbf{0,318\ m}
 \end{aligned}$$



- nosník včetně momentů je osově souměrný a proto ostatní hodnoty excentricit daných řezů netřeba počítat

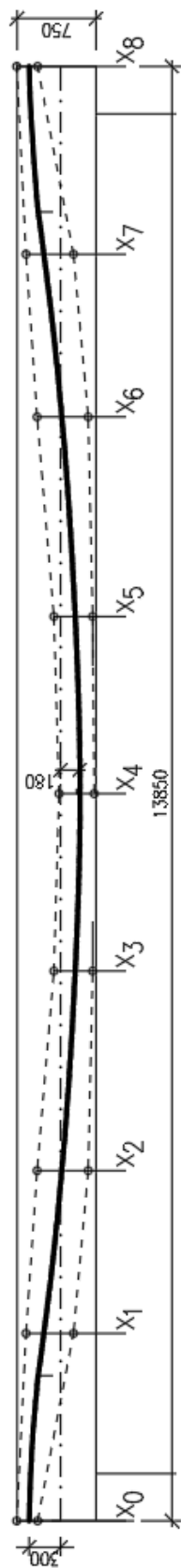
Excentricita lana v místě největšího momentu nad podporou

$$e_p = 0,300\ \text{m}$$

Excentricita lana v místě největšího momentu v poli

$$E_p = 0,180\ \text{m}$$

KABELOVÁ DRÁHA



## 2.6. OKAMŽITÉ ZTRÁTY

Posuzované v místě největšího momentu nad podporou na konci nosníku

### 2.6.1. ZTRÁTA TŘENÍM

$$\Delta\sigma_{p\mu} = -\sigma_{p,nap} \cdot (1 - e^{-\mu(\omega+kx)})$$

$\mu = 0,05 \text{ rad}^{-1}$  - součinitel tření lana z katalogu firmy FREYSSINET

$k = 0,007 \text{ rad/m}$  - nežádoucí změna úhlu kabelu

$\sigma_{p,nap} = 1404 \text{ MPa}$  - napětí v laně vyvozené předpínací pistolí při předpínání

$\omega$  - celková zamýšlená úhlová změna po délce kabelu

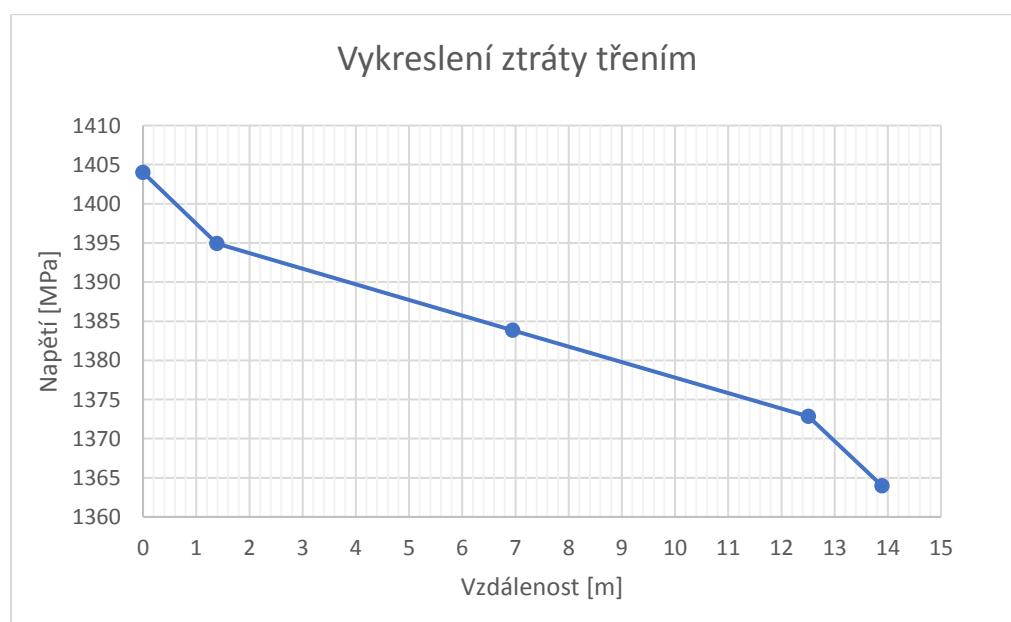
$$\Delta\sigma_{p\mu} = -1404 \cdot (1 - e^{-0,05(0,1204+0,007 \cdot 6,947)}) = -11,82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p\mu} = \sigma_{p,nap} + \Delta\sigma_{p\mu} = 1404 - 11,82 = 1392,18 \text{ MPa}$$

Tabulka ztrát v jednotlivých úsecích

x	l	$\omega$	$\omega$	$\mu$	k	$\sigma_p$	$\Delta\sigma_{p\mu}$	$\sigma_{p\mu}$
[m]	[m]	[°]	[rad]	[rad <sup>-1</sup> ]	[rad/m]	Mpa	Mpa	Mpa
0	0	0	0	0,05	0,007	1404	0	1404
1,388	1,388	6,9	0,1204	0,05	0,007	1404	-9,1	1394,9
5,559	6,947	6,9	0,1204	0,05	0,007	1394,9	-11,07	1383,83
5,559	12,506	6,9	0,1204	0,05	0,007	1383,83	-10,98	1372,85
1,388	13,894	6,9	0,1204	0,05	0,007	1372,85	-8,9	1363,95

Graf znázorňující ztráty třením po délce kabelu



$$\Delta l = \frac{l \cdot \sigma_{p\mu,prům}}{E} = \frac{13,894 \cdot 1388,89}{195\,000} = 0,0989 \text{ m}$$

## 2.6.2. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POKLUZEM V KOTVĚ

- ztráta pokluzem řešená grafickou metodou dosáhnutím plochy pokluzu

Vztah pro pokluz v kotvě

$$w = \frac{1}{E_p} A_w \rightarrow A_w = E_p \cdot w = 195 \cdot 10^3 \cdot 0,005 = 975 \text{ mm}^2$$

$w = 0,005 \text{ m}$  - pokluz lana v kotvě

- celková plocha pokluzu  $A_w$  je vymezená shora křivkou z grafu Vykreslení ztráty třením a zezdola je limitovaná inverzní křivkou ztráty tření
- jelikož je předpínací výztuž nesoudržná a má nízký koeficient, tak pokluz po délce lana nevymizí
- vypočítám tedy plochu pod oběma křivkami (tření, pokluz) a z rozdílu s plochou  $A_w$  získáme plochu napětí mezi posledními měřenými body lana, kde snadno zjistíme výšku napětí, protože známe celkovou délku lana

$$A_1 = \frac{1,388 \cdot 9,1}{2} = 6,32 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{5,559 \cdot 11,07}{2} + 1,388 \cdot 11,07 = 46,13 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{5,559 \cdot 10,98}{2} + 10,98 \cdot (1,388 + 5,559) = 106,80 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{1,338 \cdot 8,9}{2} + 8,9 \cdot (1,388 + 5,559 + 5,559) = 117,48 \text{ mm}^2$$

$$A = 2 \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + A_4)$$

$$A = 2 \cdot (6,32 + 46,13 + 106,80 + 117,48) = 553,46 \text{ mm}^2$$

$$A_w - A = 975 - 553,46 = 421,54 \text{ mm}^2$$

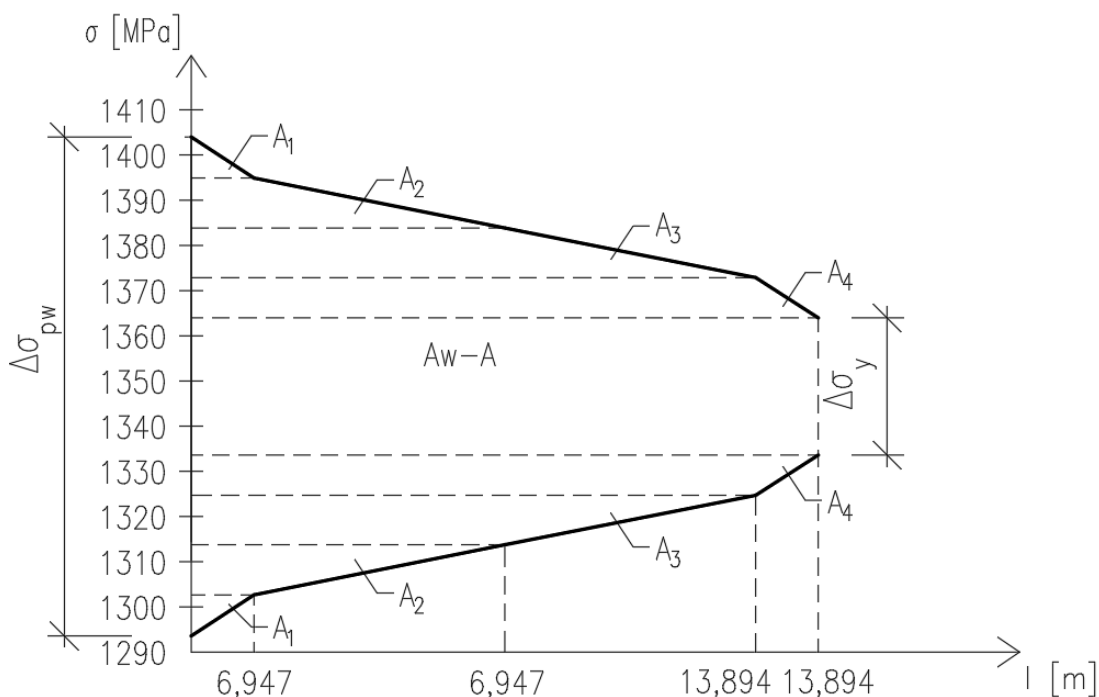
$$A_w - A = l_w \cdot \Delta\sigma_y \gg \Delta\sigma_y = \frac{A_w - A}{l_w}$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{421,54}{13,894} = 30,34 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pw} = 2 \cdot (\Delta\sigma_{p\mu 1} + \Delta\sigma_{p\mu 2} + \Delta\sigma_{p\mu 3} + \Delta\sigma_{p\mu 4}) + \Delta\sigma_y$$

$$\Delta\sigma_{pw} = 2 \cdot (9,1 + 11,07 + 10,98 + 8,9) + 30,34 = \mathbf{110,44 \text{ MPa}}$$

Graf ztráty pokluzem



Tabulka ztrát předpětí pokluzem

$\sigma_{p\mu}$	$l_x$	$\Delta\sigma_{pw}$	$\sigma_{pw}$
Mpa	m	Mpa	Mpa
1404	0	-110,44	1293,56
1394,9	1,388	-92,24	1302,66
1383,83	6,947	-70,1	1313,73
1372,85	12,506	-48,14	1324,71
1363,95	13,894	<b>-30,34</b>	1333,61

### 2.6.3. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POSTUPNÝM NAPÍNÁNÍM

- počet předpínacích lan - 4 ks
- lana jsou napínaná z jedné strany
- uvažuji s postupným napínáním po jednom laně

$$\Delta\sigma_{pep} = \Delta\sigma_c \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot j$$

$$j = \frac{n_p - 1}{2 \cdot n_p} = \frac{4 - 1}{2 \cdot 4} = 0,375$$

$$\Delta\sigma_c = \frac{M_{gok}}{I_c} \cdot e_p + \left( -\frac{P_c}{Ac} - \frac{P_c \cdot e_p}{I_c} \cdot e_p \right)$$

$$\sigma_c = \sigma_{pnap} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{pw} = 1404 - 40,05 - 30,34 = 1313,73 \text{ MPa}$$

$$P_c = \sigma_c \cdot A_p = 1313,73 \cdot 0,0006 = 788,24 \text{ kN}$$

$$\Delta\sigma_c = \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,300 + \left( -\frac{788,24}{0,244} - \frac{788,24 \cdot 0,300}{0,01251} \cdot 0,300 \right) = 6,66 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pep} = -6,66 \cdot \frac{195}{32} \cdot 0,375 = -15,22 \text{ MPa}$$

#### 2.6.4. ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE

- třída relaxačního chování (lana s nízkou relaxací)
- předpokládaná doba podržení počátečního napětí  $t_{cor} = 5 \text{ min}$

$$t_{cor} = 5 \text{ min} = 0,08333 \text{ h}$$

$p_{1000} = 2,5 \%$  - hodnota ztráty relaxace v 1000 hodin po napnutí při průměrné teplotě  $20^\circ\text{C}$

Okamžitá ztráta - doba  $t_{cor}$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left( \frac{t_{cor}}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\sigma_{pi} = \sigma_{pnap} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pep} = 1404 - 40,05 - 30,34 - 15,22 = 1298,51 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pi}}{f_{pk}} = \frac{1298,51}{1770} = 0,7336$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,7336} \cdot \left( \frac{0,08333}{1000} \right)^{0,75(1-0,7336)} \cdot 1298,51$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -2,58 \text{ MPa}$$

Ztráta do času  $t_e = 1 \text{ h}$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left( \frac{t_e}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,7336} \cdot \left( \frac{1}{1000} \right)^{0,75(1-0,7336)} \cdot 1298,51$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -4,24 \text{ MPa}$$

Přírůstek ztráty za zbývající čas do 24 h

$$\Delta t_i = 24 - t_e = 24 - 1 = 23 \text{ h}$$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left( \frac{t_i}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,7336} \cdot \left( \frac{23}{1000} \right)^{0,75(1-0,7336)} \cdot 1298,51$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -7,94 \text{ MPa}$$

## 2.6.5. OKAMŽITÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

$$\sum \sigma_p = \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pep} + \Delta\sigma_{pr} = -40,05 - 30,34 - 15,22 - 7,94$$

$$\sum \sigma_p = -113,43$$

$$\sigma_{pm,0} = \sigma_{pnap} + \sum \sigma_p = 1404 - 113,43 = \mathbf{1290,57 \text{ MPa}}$$

$$\frac{\sigma_{pm,0}}{\sigma_{pnap}} = \frac{1290,57}{1404} = 0,919 \Rightarrow 8,1\% \text{ – KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY}$$

Posouzení

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži bezprostředně po vnesení předpětí do betonu:

$$\sigma_{pm0(x)} = \min\{0,75f_{pk}; 0,85f_{p0,1k}\} = \min\{0,75 \cdot 1770; 0,85 \cdot 1560\}$$

$$\sigma_{pm0(x)} = \min\{1327,5; \mathbf{1326}\} = 1326 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm,0} = 1290,57 < \sigma_{pm0(x)} = 1326 \text{ MPa}$$

$$P_{ma} = \sigma_{pm0} \cdot A_{p1} = 1290,57 \cdot 10^3 \cdot 0,00015 = 193,59 \text{ kN}$$

$$P_{m0} = \sigma_{pm0} \cdot A_p = 1290,57 \cdot 10^3 \cdot 0,0006 = \mathbf{774,34 \text{ kN}}$$



## 2.7. DLOUHODOBÉ ZTRÁTY

Časově závislé

- Dotvarování c
- Smršťování t
- Relaxace r

Účinky zatížení

- od ostatního stálého zatížení  $g_1$

od proměnného zatížení  $q_1$

### 2.7.1. ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ SMRŠŤOVÁNÍM BETONU

Čas:  $t_s = 5$  dní

$t_0 = 28$  dní

$t_\infty = 18\,250$  dní

$$\Delta\sigma_{ps}(t_{i+1}, t_i) = \varepsilon_{cs}(t, t_1) \cdot E_p$$

$$\varepsilon_{cs}(t_{i+1}, t_i) = \varepsilon_{cd}(t_{i+1}, t_i) + \varepsilon_{ca}(t_{i+1}, t_i)$$

Poměrné přetvoření od vysychání

$$\varepsilon_{cd}(t_{i+1}, t_i) = \beta_{ds}(t_{i+1}, t_i) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}})}] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = 1,55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{60}{100} \right)^3 \right] = 1,2152$$

$RH = 60\%$  - relativní vlhkost okolního prostředí

$RH_0 = 100\%$

$f_{cm} = 38$  MPa

$f_{cm0} = 10$  MPa

$\alpha_{ds1} = 6$  - součinitel závislý na druhu cementu - třída R

$\alpha_{ds2} = 0,11$  - součinitel závislý na druhu cementu - třída R

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 6) \cdot e^{(-0,11 \frac{38}{10})}] \cdot 10^{-6} \cdot 1,2152 = 0,0005984$$

$k_h = 0,8467$  - součinitel závislý na náhradní tloušťce  $h_0$ , zjistíme ho pomocí interpolace

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,244}{2,4} = 0,2033 \text{ m}$$

$u = 3,4 \text{ m}$  - obvod prvku vystavený okolnímu prostředí

Tabulka pro součinitel  $k_h$

$h_0$ [mm]	$k_h$
200	0,85
300	0,75
203,3	0,8467

$(t_0, t_s)$

$$\beta_{ds}(t_0, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04\sqrt{h_0^3}} = \frac{(28 - 5)}{(28 - 5) + 0,04\sqrt{203,3^3}} = 0,16553$$

$$\varepsilon_{cd}(t_0, t_s) = 0,16553 \cdot 0,8467 \cdot 0,0005984 = 0,0000839$$

$(t_\infty, t_s)$

$$\beta_{ds}(t_{oo}, t_s) = \frac{(18250 - 5)}{(18250 - 5) + 0,04\sqrt{203,3^3}} = 0,99369$$

$$\varepsilon_{cd}(t_{oo}, t_s) = 0,99369 \cdot 0,8467 \cdot 0,0005984 = 0,0005035$$

$(t_\infty, t_0)$

$$\beta_{ds}(t_{oo}, t_0) = \beta_{ds}(t_{oo}, t_s) - \beta_{ds}(t_0, t_s) = 0,99369 - 0,16553 = 0,82816$$

$$\varepsilon_{cd}(t_{oo}, t_s) = 0,82816 \cdot 0,8467 \cdot 0,0005984 = 0,0004196$$

Poměrné autogenní smršťování

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (30 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,00005$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2t^{0,5})}$$

$$\beta_{as}(\infty) = 1 - e^{(-0,2\sqrt{18250})} = 1,00$$

$$\beta_{as}(0) = 1 - e^{(-0,2\sqrt{28})} = 0,653$$

$$\beta_{as}(t_\infty, t_0) = \beta_{as}(\infty) - \beta_{as}(0) = 1,00 - 0,653 = 0,347$$

$$\varepsilon_{ca}(t_\infty, t_0) = \beta_{as}(t_\infty, t_0) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 0,347 \cdot 0,00005 = 0,00001735$$

$$\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0) = \varepsilon_{cd}(t_{oo}, t_s) + \varepsilon_{ca}(t_\infty, t_0) = 0,0004196 + 0,00001735 = 0,00043694$$

$$\Delta\sigma_{ps} = -\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0) \cdot E_p = -0,00043694 \cdot 195000 = -85,205 \text{ MPa}$$

## Účinky dlouhodobých zatížení

- vliv zatížení ostatních stálých složek  $g_1$

$$\Delta\sigma_{peg1} = \frac{M_{g1}}{I_c} \cdot e_p \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{183,31}{0,01251} \cdot 0,300 \cdot \frac{195}{32} = 26,79 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{peg1} = \Delta\sigma_{peg1} \cdot A_p = 26,79 \cdot 0,0006 = 16,07 \text{ kN}$$

## 2.7.2. ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ DOTVAROVÁNÍM BETONU

Čas:  $t_0 = 28$  dní

$t_{g1} = 90$  dní

$t = 18\,250$  dní

$$\Delta\sigma_{pc}(t, t_1) = \varepsilon_{cc}(t, t_1) \cdot E_p = \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi(t, t_1) \cdot \sigma_{c, QP}$$

Stanovení součinitele dotvarování

$$\varphi(t, t_1) = \varphi_0 \cdot \beta(t, t_1)$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{(f_{cm})} \cdot \beta_{(t_0)}$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,3 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \text{ pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,7} = 0,9441$$

$$\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,2} = 0,9837$$

$$\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,5} = 0,9597$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - \frac{60}{100}}{0,3 \cdot \sqrt[3]{203,3}} \cdot 0,9441 \right] \cdot 0,9837 = 1,1943$$

$$\beta_{(f_{cm})} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{38}} = 2,7253$$

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,2})} = \frac{1}{(0,1 + 28^{0,2})} = 0,4884$$

$$\beta_{(t_g)} = \frac{1}{(0,1 + t_g^{0,2})} = \frac{1}{(0,1 + 90^{0,2})} = 0,3907$$

$$\varphi_0(t, t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta_{(f_{cm})} \cdot \beta_{(t_0)} = 1,1943 \cdot 2,7253 \cdot 0,4884 = 1,5897$$

$$\varphi_0(t, t_g) = \varphi_{RH} \cdot \beta_{(f_{cm})} \cdot \beta_{(t_g)} = 1,1943 \cdot 2,7253 \cdot 0,3907 = 1,2717$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 \quad \text{pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot 60)^{18}] \cdot 203,3 + 250 \cdot 0,9597 \leq 1500 \cdot 0,9597$$

$$\beta_H = 545,70 \leq 1439,55$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(18250 - 28)}{(408,03 + 18250 - 28)} \right]^{0,3} = 0,9912$$

$$\beta_c(t, t_g) = \left[ \frac{(t - t_g)}{(\beta_H + t - t_g)} \right]^{0,3} = \left[ \frac{(18250 - 90)}{(545,70 + 18250 - 90)} \right]^{0,3} = 0,9912$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0(t, t_0) \cdot \beta_c(t, t_0) = 1,5897 \cdot 0,9912 = 1,5757$$

$$\varphi(t, t_g) = \varphi_0(t, t_g) \cdot \beta_c(t, t_g) = 1,2717 \cdot 0,9912 = 1,2605$$

čas( $t_0$ )

$$\sigma_{c,QP} = -\frac{P_{m0}}{Ac} - \frac{P_{m0} \cdot e_p \cdot e_p}{I_c} + \frac{M_{g0k} \cdot e_p}{I_c}$$

$$\sigma_{c,QP} = -\frac{774,34}{0,244} - \frac{774,34 \cdot 0,300 \cdot 0,300}{0,01251} + \frac{93,45 \cdot 0,300}{0,01251} = -6,5 \text{ MPa}$$

čas( $t_g$ )

$$\sigma_{c,QP} = \frac{\Delta P_{peg1}}{Ac} + \frac{\Delta P_{peg1} \cdot e_p \cdot e_p}{I_c} + \frac{M_{g1k} \cdot e_p}{I_c}$$

$$\sigma_{c,QP} = \frac{16,07}{0,244} + \frac{16,07 \cdot 0,300 \cdot 0,300}{0,01251} + \frac{183,31 \cdot 0,300}{0,01251} = 4,58 \text{ MPa}$$

Určení  $\Delta\sigma_{pc}$

$$\Delta\sigma_{pc}(t_\infty; t_0) = \frac{\sigma_{c,QP}}{E_c} \cdot E_p \cdot \varphi(t_\infty, t_0) = \frac{-6,5}{32} \cdot 195 \cdot 1,5757 = -62,41 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pc}(t_\infty; t_g) = \frac{\sigma_{c,QP}}{E_c} \cdot E_p \cdot \varphi(t_\infty, t_g) = \frac{4,58}{32} \cdot 195 \cdot 1,2605 = 35,18 \text{ MPa}$$

### 2.7.3. ZTRÁTA RELAXACÍ VÝZTUŽE

v čase  $t_\infty = 438\,000$  hod (50 let)

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09\mu} \cdot \left( \frac{t}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)}$$

$$\sigma_{pi} = \sigma_c = 1298,51 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pi}}{f_{pk}} = \frac{1298,51}{1770} = 0,7336$$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,7336} \cdot \left(\frac{438000}{1000}\right)^{0,75(1-0,7336)}$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -56,85 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pr}(t_{\infty}, t_0) = \Delta\sigma_{pr}(t_{\infty}, t_i) - \Delta\sigma_{pr}(t_0, t_i) = -56,85 - (-7,94) = -48,91 \text{ MPa}$$

Účinky proměnných zatížení

- vliv zatížení  $q_1$

Charakteristická kombinace  $M_{q1k}$

$$\Delta\sigma_{peq1} = \frac{M_{q1k}}{I_c} \cdot e_p \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{90,24}{0,01251} \cdot 0,300 \cdot \frac{195}{32} = 13,19 \text{ MPa}$$

Častá kombinace  $M_{q1k} \cdot \psi_1$

$$\psi_1 = 0,5$$

$$\Delta\sigma_{peq1} = \frac{M_{q1k} \cdot \psi_1}{I_c} \cdot e_p \cdot \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{90,24 \cdot 0,5}{0,01251} \cdot 0,300 \cdot \frac{195}{32} = 6,59 \text{ MPa}$$

## 2.7.4. DLOUHODOBÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

za interval  $t_a = (1 \text{ den}, \infty)$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\Delta\sigma_{ps}(t_{\infty}, t_0) + 0,8 \cdot \Delta\sigma_{pr}(t_{\infty}, t_0) + \Delta\sigma_{pc}(t_{\infty}, t_0)}{1 + \psi_{cr} \cdot [1 + 0,8 \cdot \varphi(t_{\infty}, t_0)]} + \frac{\Delta\sigma_{pc}(t_{\infty}, t_g)}{1 + \psi_{cr} \cdot [1 + 0,8 \cdot \varphi(t_{\infty}, t_g)]}$$

$$\psi_{cr} = \tau_{cr} \cdot \left(1 + \frac{e_p^2}{i_{cr}^2}\right) = 0,015 \cdot \left(1 + \frac{0,300^2}{0,0806^2}\right) = 0,021$$

$$\tau_{cr} = \frac{E_p \cdot A_p}{E_{cm} \cdot A_c} = \frac{195 \cdot 0,0006}{32 \cdot 0,244} = 0,015$$

$$i_{cr} = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,01251}{0,244}} = 0,0806$$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{-85,205 + 0,8 \cdot (-48,91) - 62,41}{1 + 0,021 \cdot [1 + 0,8 \cdot 1,5757]} + \frac{35,18}{1 + 0,021 \cdot [1 + 0,8 \cdot 1,2605]}$$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = -144,523 \text{ MPa}$$

**NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI V 50 LETECH**

$$KV: \sigma_{pm,\infty} = \sigma_{pm,0} + \Delta\sigma_{p,c+s+r} + \Delta\sigma_{peg1} = 1290,57 - 144,523 + 26,79 \\ = 1172,84 \text{ MPa}$$

$$CH: \sigma'_{pm,\infty} = \sigma_{pm,\infty} + \Delta\sigma_{peq1} = 1172,84 + 13,19 = \mathbf{1186,03 \text{ MPa}}$$

$$\sigma''_{pm,\infty} = \sigma_{pm,\infty} = 1172,84 \text{ MPa}$$

$$\check{C}: \sigma'_{pm,\infty\psi1} = \sigma_{pm,\infty} + \Delta\sigma_{peq1} = 1172,84 + 6,59 = 1179,43 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma'_{pm,\infty}}{\sigma_{pm,0}} = \frac{1186,03}{1290,57} = 0,919 \Rightarrow 8,1\% \text{ – DLOUHODOBÉ ZTRÁTY}$$

$$\Delta P_{peg1} = \Delta\sigma_{peg1} \cdot A_p = 26,79 \cdot 10^3 \cdot 0,0006 = 16,07 \text{ kN}$$

**KVAZISTÁLÁ**

$$P_{m\infty} = \sigma_{pm\infty} \cdot A_p = 1172,84 \cdot 10^3 \cdot 0,0006 = 703,7 \text{ kN}$$

**CHARAKTERISTICKÁ**

$$P'_{m\infty q} = \sigma'_{pm\infty} \cdot A_p = 1186,03 \cdot 10^3 \cdot 0,0006 = 711,62 \text{ kN}$$

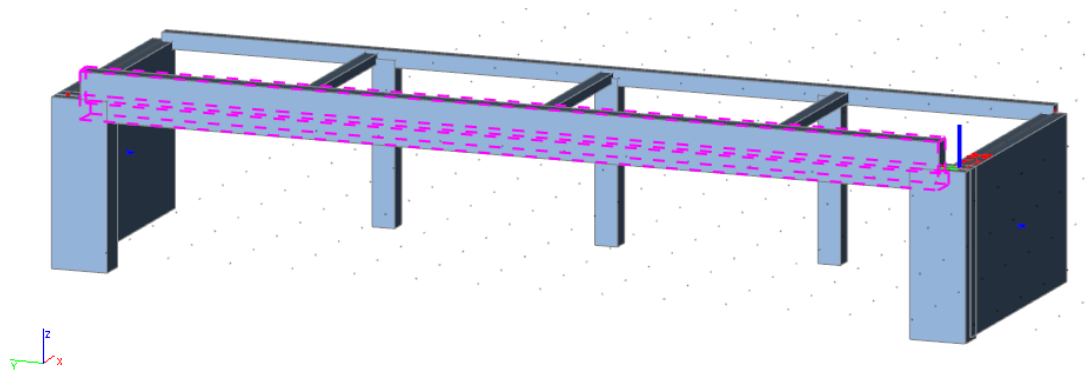
**ČASTÁ**

$$P'_{m\infty q\psi1} = \sigma_{pm\infty} \cdot A_p = 1179,43 \cdot 10^3 \cdot 0,0006 = 707,66 \text{ kN}$$

## 2.8. VNITŘNÍ SÍLY SCIA

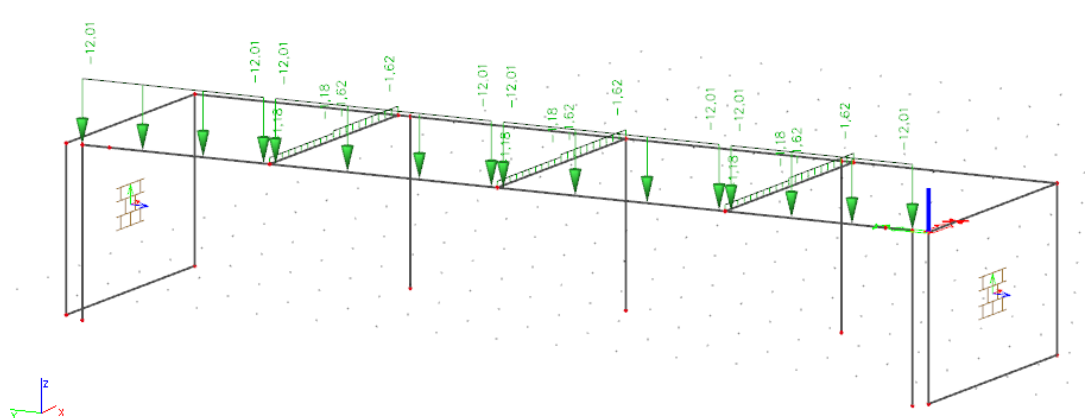
### 2.8.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

#### ZS1 – VLASTNÍ TÍHA



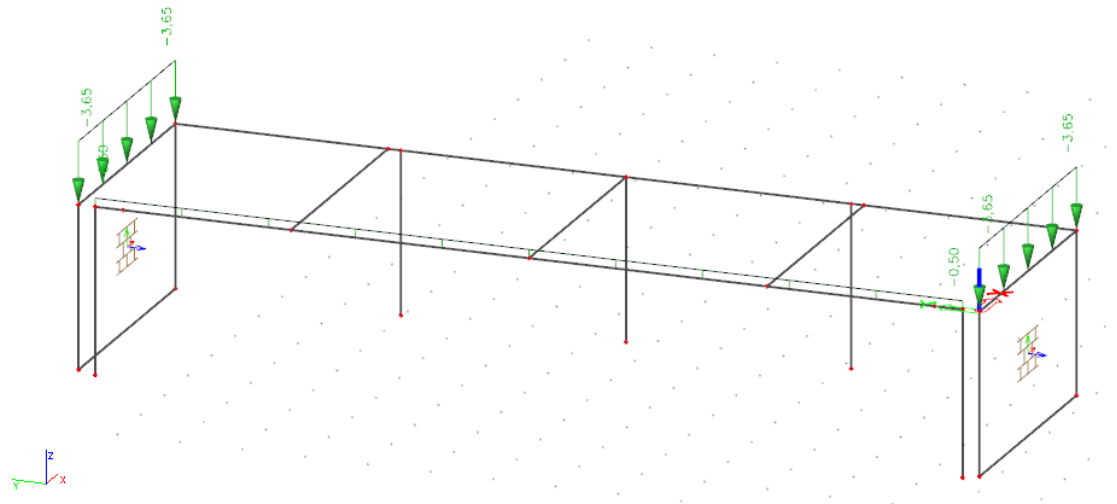
- zatížení automaticky dopočítané programem SCIA
- viz kapitola 2.3.1. STÁLÉ
  - objemová hmotnost betonu  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$
  - tíhové zrychlení  $g = 10 \text{ m/s}^2$

#### ZS2 – SKLADBA STŘECHY



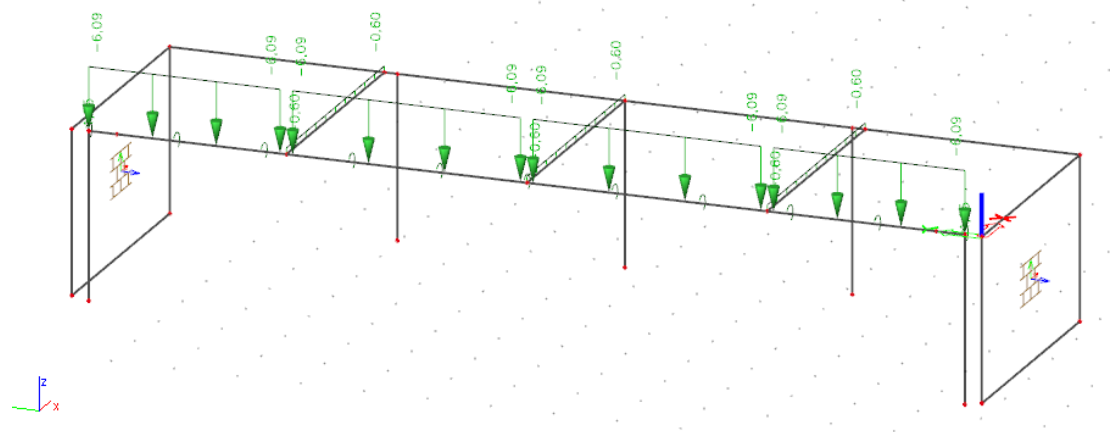
- skladba viz kapitola 2.3.1 – Stálé zatížení
- konstrukce rozdělena na 2 oblasti (sklon odvodnění)
- ze spirollu jsem plošné zatížení převedl na prut na liniové
- skladbu střechy jsem nechal působit na ztužidlo, které působí na trám
- zatížení uvažované na 1 m:
  - $g_{1.1k} = 12,01 = 7,93 \text{ kN/m}^2$

## ZS3 – ATIKA



- obsahuje jen zábradlí a hmotnost fasády, protože atika je součást průvlaku
- zatížení je takéž liniové na prut
- skladba viz kapitola 2.3.1 – Stálé zatížení
  - $g_{1,4k} = 0,5 \text{ kN/m}$

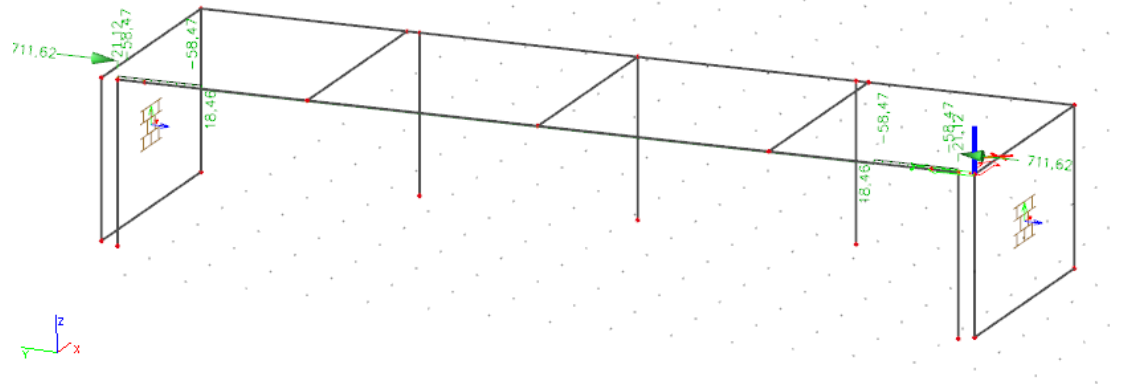
## ZS4 – UŽITNÉ ZATÍŽENÍ



- obsahuje užité zatížení budov kat. A
- ze spirollu jsem plošné zatížení převedl na prut na liniové
- užité zatížení jsem nechal působit na ztužidlo, které působí na trám
  - $q_{1k} = 6,09 \text{ kN/m}$



## ZS5 – PŘEDPĚTÍ



- ekvivalentní zatížení od navrženého předpjatého lana
- viz kap. 2.6. – 2.8.
- celková předpínací síla –  $P = 711,62 \text{ kN}$

Výpočet ekvivalentního zatížení

$$P_{m,too} = 711,62 \text{ kN}$$

$$l_{1x} = 1,385 \text{ m}$$

$$l_{2x} = 11,080 \text{ m}$$

$$f_{1x} = 0,0197$$

$$f_{2x} = 0,398$$

$$p_1 = \frac{8 \cdot f_{1x}}{l^2} \cdot P_{m,too} = \frac{8 \cdot 0,0197}{1,385^2} \cdot 711,62 = 58,466 \text{ kN/m}$$

$$p_2 = \frac{8 \cdot f_{2x}}{l^2} \cdot P_{m,too} = \frac{8 \cdot 0,398}{11,08^2} \cdot 711,62 = 18,456 \text{ kN/m}$$

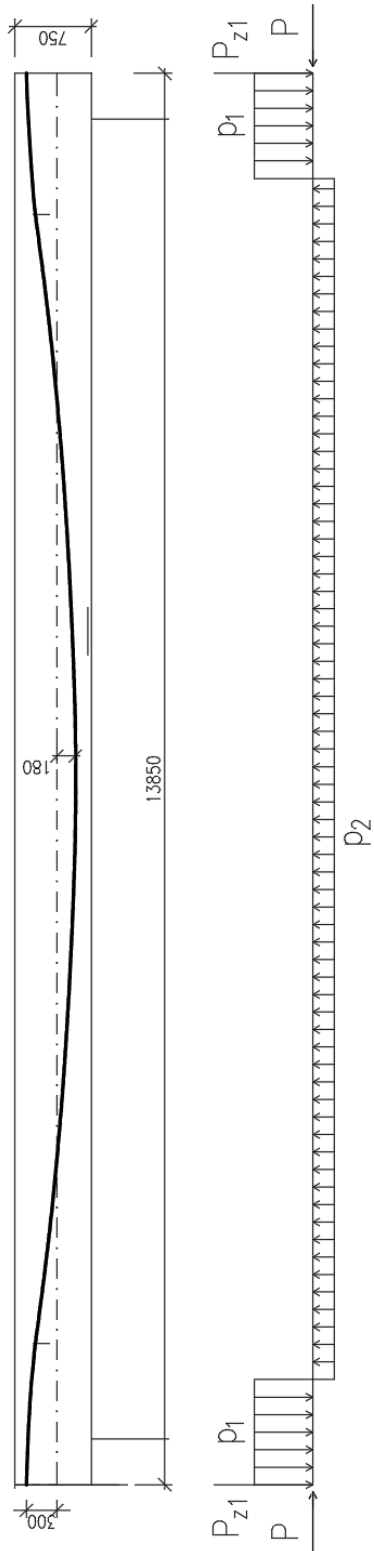
Rozklad sil

$$\alpha_1 = 1,7^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = 0,02968$$

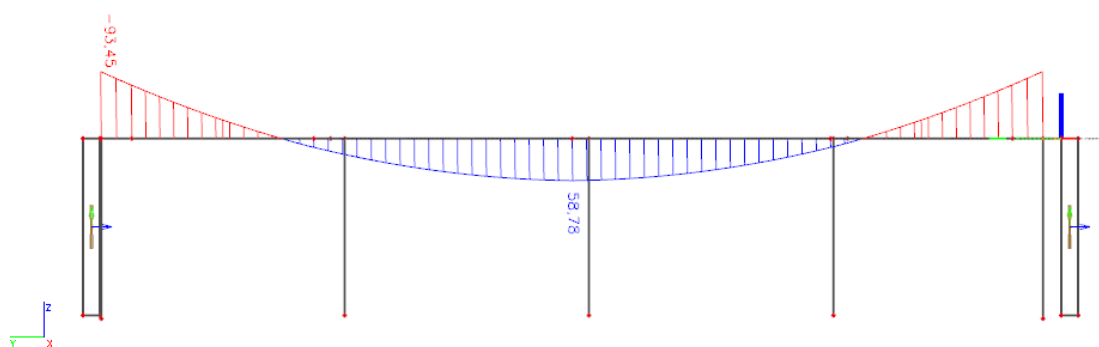
$$P_{z1} = P_{m,too} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = 711,62 \cdot 0,02968 = 21,12 \text{ kN}$$

## EKVIVALENTNÍ ZATÍŽENÍ



## 2.8.2. VNITŘNÍ SÍLY

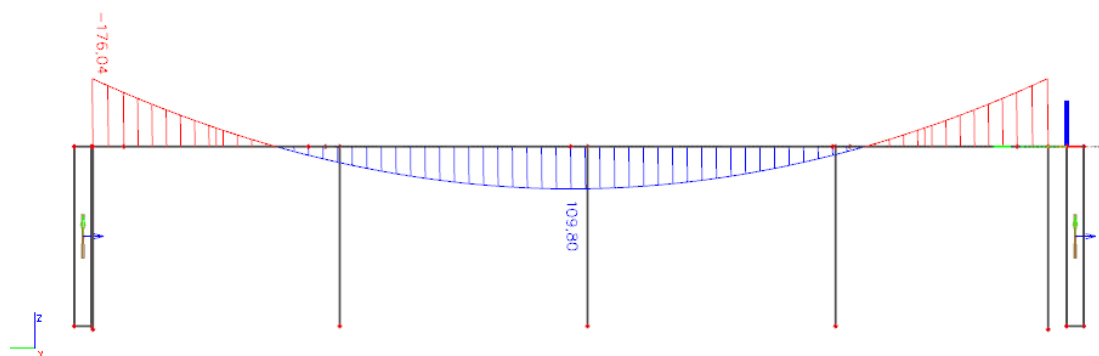
## ZS1 – VLASTNÍ TÍHA



$$M_{\text{Spole}} = 58,78 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$M_{\text{spodp}} = -93,45 \text{ kNm (SCIA)}$$

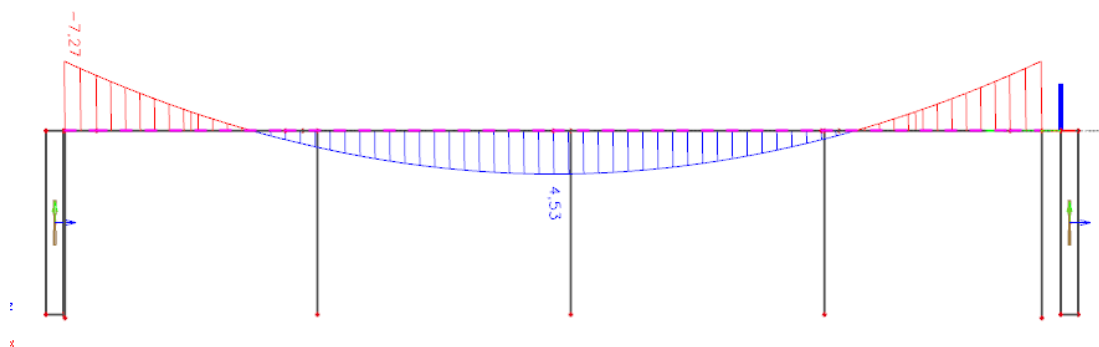
## ZS2 – SKLADBA STŘECHY



$$M_{\text{Spole}} = 109,8 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$M_{\text{spodp}} = -176,04 \text{ kNm (SCIA)}$$

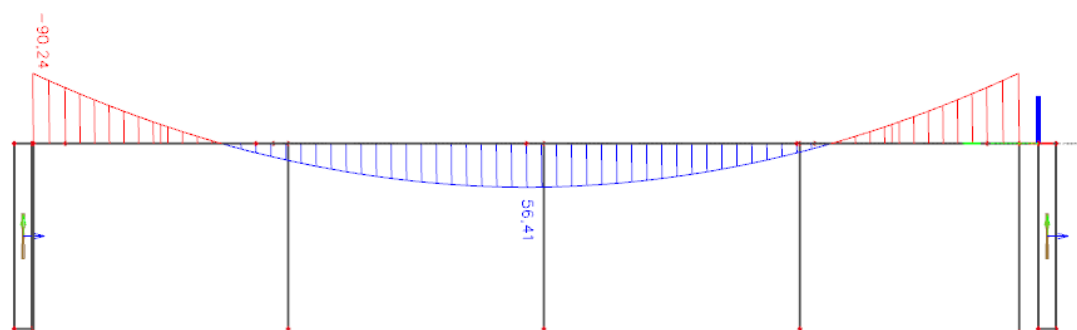
## ZS3 – ATIKA



$$M_{\text{Spole}} = 4,53 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$M_{\text{Spodp}} = -7,27 \text{ kNm (SCIA)}$$

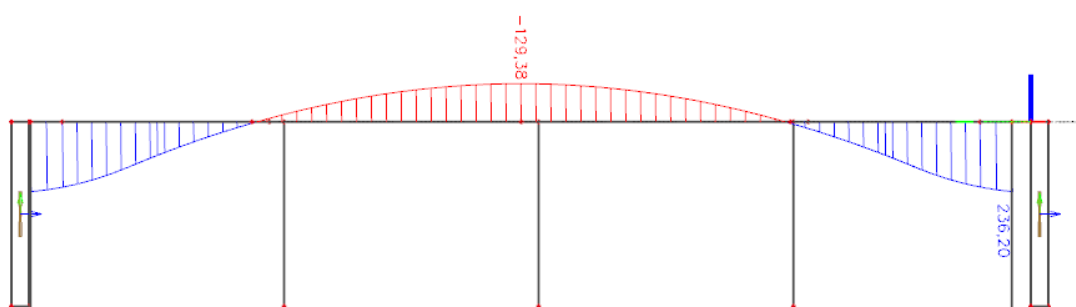
## ZS4 – UŽITNÉ



$$M_{\text{Spole}} = 56,41 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$M_{\text{Spodp}} = -90,24 \text{ kNm (SCIA)}$$

## ZS5 – PŘEDPĚTÍ



$$M_{\text{Spole}} = -129,38 \text{ kNm (SCIA)}$$

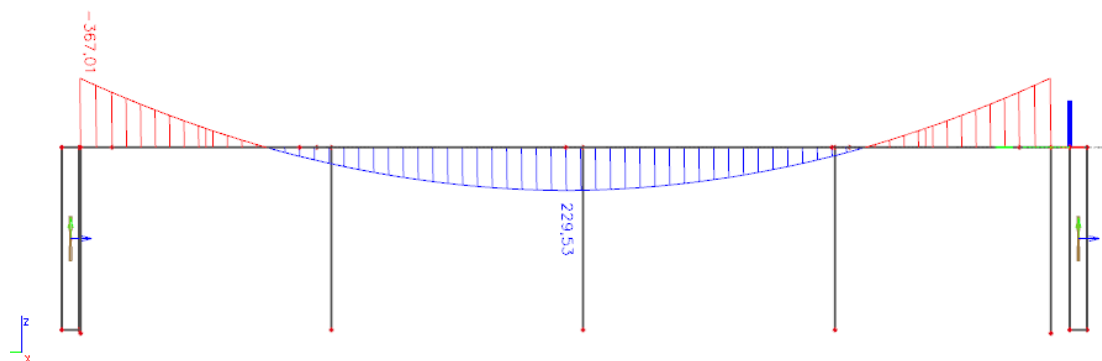
$$M_{\text{Spodp}} = 236,20 \text{ kNm (SCIA)}$$

## MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Charakteristická

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + ZS4$$



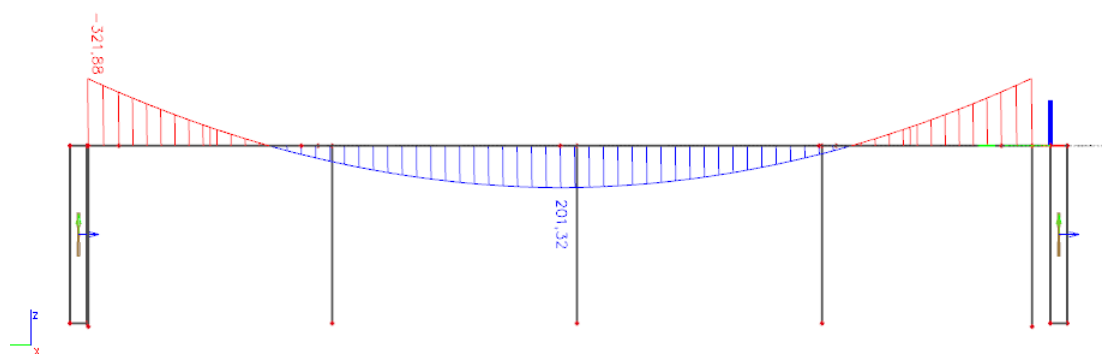
$$M_{\text{Spole}} = 229,53 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$M_{\text{Spodp}} = 367,01 \text{ kNm (SCIA)}$$

Častá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,5 \cdot ZS4$$



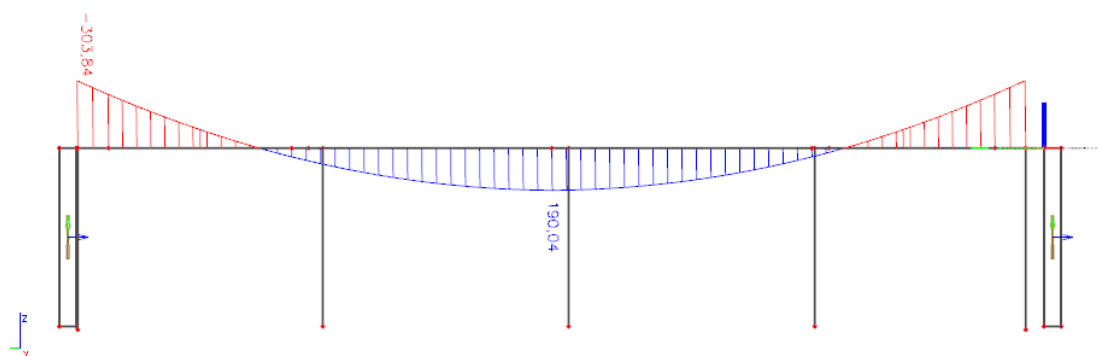
$$M_{\text{pole}} = 201,32 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -321,88 \text{ kNm}$$

Kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,2 \cdot ZS4$$



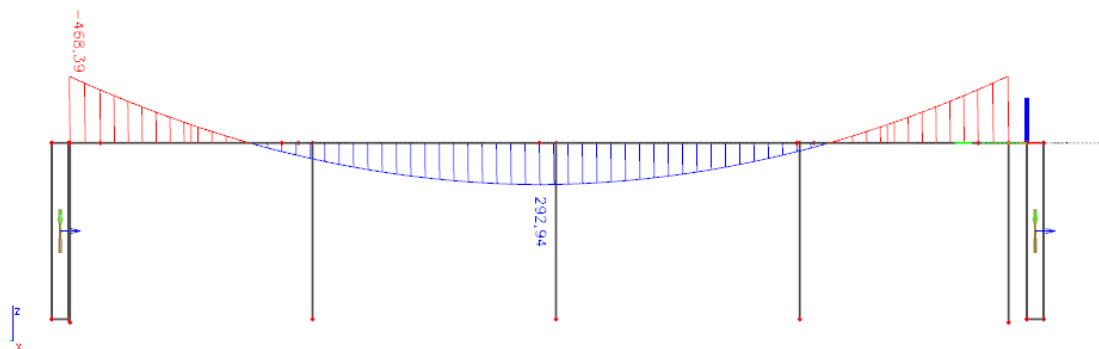
$$M_{\text{pole}} = 92,16 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -26,18 \text{ kNm}$$

Rce 6.10 a – bez předpětí

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

$$1,35 \cdot (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,7 \cdot 1,5 \cdot ZS4$$



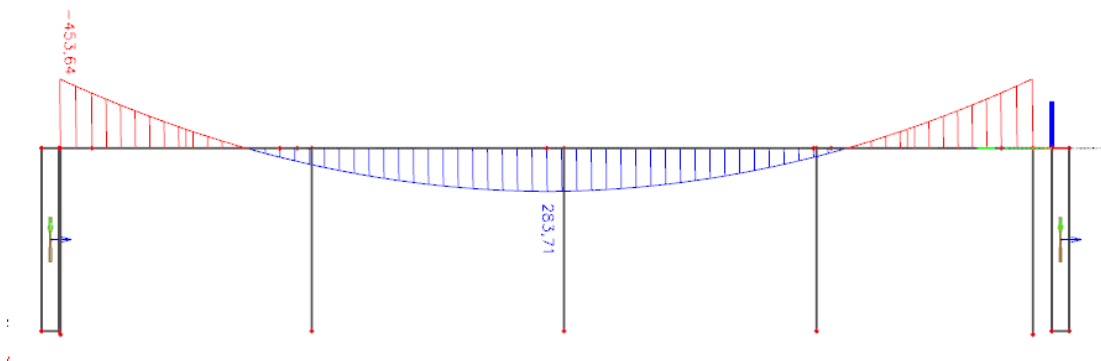
$$M_{\text{pole}} = 292,94 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -468,39 \text{ kNm}$$

Rce 6.10 b – bez předpětí

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

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 1,5 \cdot ZS4$$



$$M_{\text{pole}} = 283,71 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pod}} = -453,64 \text{ kNm}$$

- kombinace 6.10 a) má nepříznivější hodnoty od účinků zatížení, proto tedy budu navrhovat betonářskou výztuž na tuhle kombinaci

### 2.8.3. VYZTUŽENÍ KOTEVNÍCH OBLASTÍ

a) pod každou kotvou

b) u povrchu

a) dílčí oblasti

- pro všechny kotvy stejně

$$a \cdot a' = 130 \text{ mm}$$

$$b \cdot b' = \frac{P_{\text{max}}}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{1263,6}{0,6 \cdot 30 \cdot 10^3} = 0,07 \text{ m}^2$$

$$b' = \sqrt{0,07} = 0,265 \text{ m}$$

$$h = 1,2 \cdot \max\{b \cdot b'\} = 1,2 \cdot 0,265 = 0,318 \text{ m}$$

PODMÍNKY

$$\frac{b}{a} = \frac{265}{130} = 2,03 < 1,25 \cdot \sqrt{\frac{b \cdot b'}{a \cdot a'}} = 2,55$$

$$F_{ED, \text{max}} = P_{\text{max}} \cdot \gamma_p = 1263,6 \cdot 1,2 = 1516,3 \text{ kN}$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(b-a)}{b} \cdot F_{ED,max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(0,265 - 0,130)}{0,265} \cdot 1516,3 = 193,12 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{193,12}{250 \cdot 10^3} = 7,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,15}{2} \cdot \frac{F_{ED,max}}{250 \cdot 10^3} = 4,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**NAVRŽENO 4  $\phi 16$ ;  $A_s = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

b) u povrchu

$$T_{sp} = 0,03 \cdot F_{ED,max} = 0,03 \cdot 1516,3 = 45,5 \text{ kN}$$

$$F_{ED,max} = P_{max} \cdot \gamma_p = 1263,6 \cdot 1,2 = 1516,3 \text{ kN}$$

$$A_{sp} = \frac{T_{sp}}{\sigma_{sd}} = \frac{45,5}{250 \cdot 10^3} = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**NAVRŽENO 2 $\phi 12$ ;  $A_s = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

- u líce kotvy v každém směru

## 2.9. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

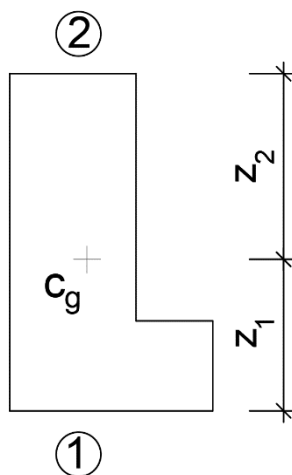
### 2.9.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ

- posouzení v místě podpory a uprostřed nosníku

PODMÍNKY PRO OMEZENÍ NAPĚTÍ

- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| a) $\sigma_c \leq 0,6f_{ck}$     | - CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE |
| b) $\sigma_c \leq 0,45f_{ck}$    | - KVAZISTÁLÁ KOMBINACE       |
| c) $\sigma_{pm} \leq 0,75f_{pk}$ | - PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ          |

Schéma průřezu





$$z_1 = 0,337 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,413 \text{ m}$$

### Nad podporou

a) Omezení napětí v betonu – CHAR  $t_\infty$

$$\sigma_{c2} \leq 0,6f_{ck}$$

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 - \frac{M_{Ek}}{I_c} \cdot z_1 \leq 0,6f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{711,62}{0,244} + \frac{711,62 \cdot 0,30}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{367,01}{0,01251} \cdot 0,337 \leq 0,6 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = -7,052 \text{ MPa} \leq -18 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 + \frac{M_{Ek}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{711,62}{0,244} - \frac{711,62 \cdot 0,300}{0,01251} \cdot 0,413 + \frac{367,01}{0,01251} \cdot 0,413 = 2,15 \text{ MPa}$$

b) Omezení napětí v betonu – KVAZI  $t_\infty$

$$\sigma_{c2} \leq 0,45f_{ck}$$

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 - \frac{M_{E\psi 2}}{I_c} \cdot z_1 \leq 0,45f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{703,7}{0,244} + \frac{703,7 \cdot 0,30}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{303,83}{0,01251} \cdot 0,337 \leq 0,45 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = -5,43 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 + \frac{M_{E\psi 2}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{703,7}{0,244} - \frac{703,7 \cdot 0,30}{0,01251} \cdot 0,413 + \frac{303,83}{0,01251} \cdot 0,413 \leq 0,45 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} = 0,177 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

$t_0$  – CHAR, KVAZI

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,to}}{A_c} + \frac{P_{m,to} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{g01k}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{774,34}{0,244} + \frac{774,34 \cdot 0,300}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,337$$

$$\sigma_{c1} = 0,57 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,to}}{A_c} - \frac{P_{m,to} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{g01k}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{774,34}{0,244} - \frac{774,34 \cdot 0,300}{0,01251} \cdot 0,413 + \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,413$$

$$\sigma_{c1} = -7,76 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

c) Omezení napětí ve výztuži

$$\sigma_{pm} \leq 0,75 f_{pk}$$

$$t_0: \sigma_{pm,t_0} = 1309,03 \text{ MPa} \leq 0,75 \cdot 1770 = 1327,5 \text{ MPa}$$

$$t_{\infty}: \sigma_{pm,t_{\infty}} = 1201,12 \text{ MPa} \leq 0,75 \cdot 1770 = 1327,5 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

V poli

a) Omezení napětí v betonu – CHAR  $t_{\infty}$ 

$$\sigma_{c2} \leq 0,6 f_{ck}$$

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t_{\infty}}}{A_c} - \frac{P_{m,t_{\infty}} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{Ek}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{711,62}{0,244} - \frac{711,62 \cdot 0,180}{0,01251} \cdot 0,337 + \frac{229,53}{0,01251} \cdot 0,337 = -0,184 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t_{\infty}}}{A_c} + \frac{P_{m,t_{\infty}} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{Ek}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{711,62}{0,244} + \frac{711,62 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{229,53}{0,01251} \cdot 0,413 \leq 0,6 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} = -6,27 \text{ MPa} \leq -18 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

b) Omezení napětí v betonu – KVAZI  $t_{\infty}$

$$\sigma_{c2} \leq 0,45f_{ck}$$

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{E\psi 2}}{I_c} \cdot z_1 \leq 0,45f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{703,7}{0,244} - \frac{703,7 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,337 + \frac{190,04}{0,01251} \cdot 0,337 \leq 0,45 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = -1,18 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

Horní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{E\psi 2}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{703,7}{0,244} + \frac{703,7 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{190,04}{0,01251} \cdot 0,413 \leq 0,45 \cdot 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} = -4,98 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

$t_0$  – CHAR, KVAZI

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t0}}{A_c} - \frac{P_{m,t0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{g01k}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{774,34}{0,244} - \frac{774,34 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,337 + \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,337$$

$$\sigma_{c1} = -4,41 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t0}}{A_c} + \frac{P_{m,t0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{g01k}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{774,34}{0,244} + \frac{774,34 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,413$$

$$\sigma_{c2} = -1,66 \text{ MPa} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

## 2.9.2. OMEZENÍ TRHLIN

### PODMÍNKY PRO OMEZENÍ TRHLIN

$$a) \sigma_{c+} \leq f_{ctm} \quad - \text{ČASTÁ KOMBINACE}$$

a) Omezení trhlin

Častá kombinace v čase  $t_\infty$

#### Nad podporou

Dolní vlákna

$$\begin{aligned} \sigma_{c1} &= -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 - \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_1 \\ \sigma_{c1} &= -\frac{707,66}{0,244} + \frac{707,66 \cdot 0,30}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{321,88}{0,01251} \cdot 0,337 \\ \sigma_{c1} &= -5,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Horní vlákna

$$\begin{aligned} \sigma_{c2} &= -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_2 \\ \sigma_{c2} &= -\frac{707,66}{0,244} - \frac{707,66 \cdot 0,30}{0,01251} \cdot 0,413 + \frac{321,88}{0,01251} \cdot 0,413 \\ \sigma_{c2} &= 0,72 \text{ MPa} < f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### V poli

Dolní vlákna

$$\begin{aligned} \sigma_{c1} &= -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_1 \\ \sigma_{c1} &= -\frac{707,66}{0,244} - \frac{707,66 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,337 + \frac{201,32}{0,01251} \cdot 0,337 \\ \sigma_{c1} &= -0,91 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Horní vlákna

$$\begin{aligned} \sigma_{c2} &= -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_2 \\ \sigma_{c2} &= -\frac{707,66}{0,244} + \frac{707,66 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{201,32}{0,01251} \cdot 0,413 \\ \sigma_{c2} &= -5,34 \text{ MPa} < f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Častá kombinace v čase  $t_0$

### Nad podporou

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 - \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{774,34}{0,244} + \frac{774,34 \cdot 0,30}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,337$$

$$\sigma_{c1} = -0,57 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{774,34}{0,244} - \frac{774,34 \cdot 0,30}{0,01251} \cdot 0,413 + \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,413$$

$$\sigma_{c2} = -7,76 \text{ MPa} < f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

### V poli

Dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1 + \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c1} = -\frac{774,34}{0,244} - \frac{774,34 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,337 + \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,337$$

$$\sigma_{c1} = -4,41 \text{ MPa}$$

Horní vlákna

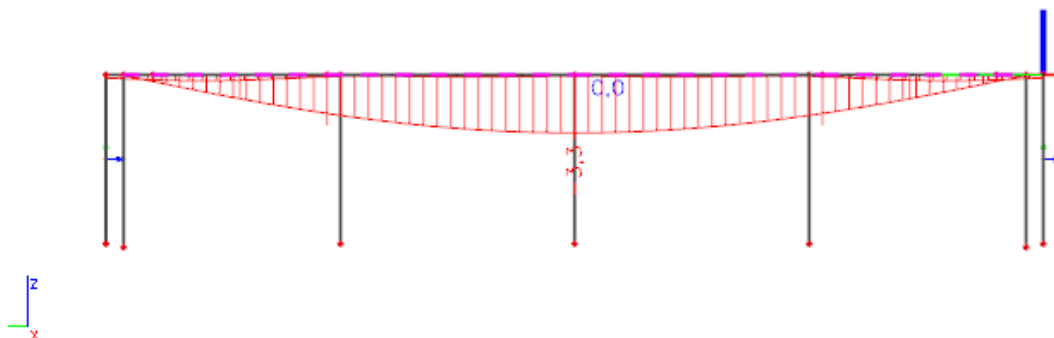
$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m,t\infty}}{A_c} + \frac{P_{m,t\infty} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2 - \frac{M_{Ek\psi 1}}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{774,34}{0,244} + \frac{774,34 \cdot 0,18}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{93,45}{0,01251} \cdot 0,413$$

$$\sigma_{c2} = -1,66 \text{ MPa} < f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

### 2.9.3. PRŮHYB

OD KVAZISTÁLÉ KOMBINACE + PŘEDPĚTÍ



$$w'_{(t\infty\psi_2)} = -3,3 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ DLE MEZNÍCH HODNOT

$$w'_{(t\infty\psi_2)} < \frac{l}{250}$$

$$3,59 < \frac{13950}{250} = 55,8 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

## 2.10. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

### 2.10.1. POSOUZENÍ NA OHYB

Čas  $t_{\infty}$  v řezu  $x_0$  – nad podporou

Základní napětí

- tah betonu sníží napětí ve výztuži (stav dekomprese)
- jelikož je výztuž nesoudržná, zvolí se přírůstek napětí 100 MPa

$$\sigma_{p,t0} = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp}$$

$$\Delta\sigma_p = 100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{P_{m\infty,CHAR}}{A_c} - \frac{P_{m\infty,CHAR} \cdot e_p}{I_c} \cdot e_p + \frac{M_{EK}}{I_c} \cdot e_p$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{711,62}{0,244} - \frac{711,62 \cdot 0,300}{0,01251} \cdot 0,300 + \frac{468,39}{0,01251} \cdot 0,300 = 3,196 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,t0} = 1186,03 - \frac{195}{32} \cdot 3,196 = 1166,55 \text{ MPa}$$

Návrhové parametry pracovního diagramu

$$\varepsilon_{py,d} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1356,5}{195 \cdot 10^3} = 0,00696$$

$$\varepsilon_{p,t}^o = \frac{\sigma_{p,t^o}}{E_p} = \frac{1166,55}{195 \cdot 10^3} = 0,00598$$

$$\Delta\varepsilon_p = \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} = \frac{100}{195 \cdot 10^3} = 0,000517$$

Určení neutrální osy a výšky tlačeného průřezu

$$\Delta F_p = \Delta\sigma_p \cdot A_p = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,00060 = 60 \text{ kN}$$

$$P_{m,t^o} = \gamma_p \cdot A_p \cdot \sigma_{p,t^o} = 1,0 \cdot 0,00060 \cdot 1166,55 \cdot 10^3 = 699,93 \text{ kN}$$

$$M_{EDp} = M_{FD} + M_{PD} = 468,39 - 699,93 \cdot 0,30$$

$$M_{EDp} = M_{FD} + M_{PD} = 468,39 - 209,98 = 258,41 \text{ kNm}$$

Předpoklad

$$N_{ED} = P_{m,t^o} = 699,93 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = N_{RD} (= F_{cc} - \Delta F_p)$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = F_{cc}$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$A_{cc} = \frac{N_{ED} + \Delta F_p}{f_{cd}} = \frac{699,93 + 60}{20 \cdot 10^3} = 0,0379 \text{ m}^2$$

$$A_{cc} = \lambda \cdot x \cdot b$$

$$x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b} = \frac{0,0379}{0,8 \cdot 0,45} = 0,1053 \text{ m}$$

Ověření započitatelnosti výztuže

$$d_{1p} = 0,113 \text{ m}$$

$$d_p = h - d_{1p} = 0,75 - 0,113 = 0,637$$

$$\frac{\Delta\varepsilon_{p,n}}{d_p - x} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x}$$

$$\Delta\varepsilon_{p,n} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_p - x) = \frac{0,0035}{0,1053} \cdot (0,637 - 0,1053) = 0,0177 = 17,7 \text{ ‰}$$

$$\Delta\varepsilon_{p,n} > \varepsilon_{py,d} - \varepsilon_{p,t}^o = 0,98 \text{ ‰} \quad \Rightarrow \text{VÝZTUŽ PLNĚ VYUŽITA}$$

Posouzení

$$M_{RD} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

$$z_{cc} = z_1 - \frac{\lambda x}{2} = 0,337 - \frac{0,8 \cdot 0,1053}{2} = 0,295 \text{ m}$$

$$z_{pt} = e_p = 0,300$$

$$M_{RD,p} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} = \lambda x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

$$M_{RD,p} = 0,8 \cdot 0,1053 \cdot 0,45 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,295 + 60 \cdot 0,3 = 241,66 \text{ kNm}$$

$$M_{RD,p} = 241,66 < M_{EDp} = 258,41 \text{ kNm}$$

NEVYHOVÍ

$$M_{ED,ps} = 258,41 - 241,66 = 16,75 \text{ kNm}$$

- je třeba navrhnout betonářskou výztuž

## NÁVRH BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

$$M_{ED} = 16,75 \text{ kNm}$$

Třmínek

- krytí kap. 2.6.3. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

$$\phi_{tr} = 10 \text{ mm}$$

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

### Hlavní výztuž nad podporou

$$\text{Odhadnu } \phi = 8 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Minimální hodnota  $c_{min,b}$

$$c_{min,b} \geq \phi$$

$$c_{min,b} \geq 8 \text{ mm}$$

Minimální hodnota  $c_{min,dur}$

- konstrukční třída S4 =>  $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$

Přídavek na návrhovou odchylku  $\Delta c_{dev}$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{8; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$



$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

- krytí třmínku společně s průměrem výztuže třmínku dá větší hodnotu než 25 mm

Krycí vrstva včetně třmínku pro hlavní nosnou výztuž

$$c = c_{nom} + \phi_{tř} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Poloha výztuže

$$d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 35 + 4 = 39 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 750 - 39 = 711 \text{ mm}$$

- odhadnu nové rameno síly  $z_s$ , protože už nemůžu počítat s využitou tlačnou plochou

$$z_s = h - \frac{\lambda x}{2} - z_{odh} - d_1 = 0,750 - (0,8 \cdot 0,1053) - 0,03 - 0,039 = 0,597 \text{ m}$$

Návrh plochy výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{ED,ps}}{z_s \cdot f_{yd}} = \frac{16,75}{0,597 \cdot 434,78 \cdot 10^3} = 0,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhují } 3\phi = 6 \text{ mm} \Rightarrow A_s = 0,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_{st} = \Delta A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$A_s \cdot f_{yd} = \Delta A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$\Delta A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,85 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} = 0,00185 \text{ m}^2$$

$$A_{cc,s} = A_{cc} + \Delta A_{cc} = 0,0379 + 0,00185 = 0,0398 \text{ m}^2$$

Nová neutrální osa

$$x = \frac{A_{cc,s}}{b \cdot \lambda} = \frac{0,0398}{0,45 \cdot 0,8} = 0,1106 \text{ m}$$

Využití výztuže

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

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,1106} (0,711 - 0,1106) = 19,00 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 19,00 > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

VÝZTUŽ JE PLNĚ VYUŽITA

$$z_{cc} = z_1 - \frac{\lambda x}{2} = 0,337 - \frac{0,8 \cdot 0,1106}{2} = 0,293 \text{ m}$$

$$z_{st} = z_2 - d_1 = 0,413 - 0,039 = 0,374 \text{ m}$$

## Únosnost Betonářské výztuže

$$M_{RDP} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} = \lambda x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} + F_s \cdot z_{st}$$

$$M_{RDP} = 0,8 \cdot 0,1106 \cdot 0,45 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,293 + 60 \cdot 0,30 + 0,85 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,374 = 265,14 \text{ kNm}$$

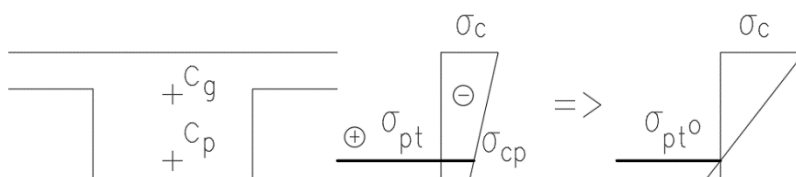
$$M_{RDP} = 265,14 \text{ kNm} > M_{EDp} = 258,41 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

$$\text{NAVRŽENO } 3\phi = 6 \text{ mm}; A_s = 0,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Čas  $t_{00}$  v řezu  $x_4$  – v poli

Základní napětí



- tah betonu sníží napětí ve výztuži (stav dekomprese)
- jelikož je výztuž nesoudržná, zvolí se přírůstek napětí 100 MPa

$$\sigma_{p,t0} = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp}$$

$$\Delta\sigma_p = 100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{P_{m\infty,CHAR}}{A_c} - \frac{P_{m\infty,CHAR} \cdot e_p}{I_c} \cdot e_p + \frac{M_{EK}}{I_c} \cdot e_p$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{711,62}{0,244} - \frac{711,62 \cdot 0,180}{0,01251} \cdot 0,180 + \frac{292,94}{0,01251} \cdot 0,180 = 0,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,t0} = 1186,03 - \frac{195}{32} \cdot 0,54 = 1182,74 \text{ MPa}$$

## Návrhové parametry pracovního diagramu

$$\varepsilon_{py,d} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1356,5}{195 \cdot 10^3} = 0,00696$$

$$\varepsilon_{p,t}^o = \frac{\sigma_{p,t}^o}{E_p} = \frac{1182,74}{195 \cdot 10^3} = 0,00607$$

$$\Delta\varepsilon_p = \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} = \frac{100}{195 \cdot 10^3} = 0,000517$$

Určení neutrální osy a výšky tlačného průřezu

$$\Delta F_p = \Delta \sigma_p \cdot A_p = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,00060 = 60 \text{ kN}$$

$$P_{m,t^0} = \gamma_p \cdot A_p \cdot \sigma_{p,t^0} = 1,0 \cdot 0,00060 \cdot 1182,74 \cdot 10^3 = 709,64 \text{ kN}$$

$$M_{EDp} = M_{FD} + M_{PD} = 292,94 - 709,64 \cdot 0,18$$

$$M_{EDp} = M_{FD} + M_{PD} = 292,94 - 127,74 = 165,2 \text{ kNm}$$

Předpoklad

$$N_{ED} = P_{m,t^0} = 709,64 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = N_{RD} (= F_{cc} - \Delta F_p)$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = F_{cc}$$

$$N_{ED} + \Delta F_p = A_{cc} \cdot f_{cd}$$

$$A_{cc} = \frac{N_{ED} + \Delta F_p}{f_{cd}} = \frac{709,64 + 60}{20 \cdot 10^3} = 0,0385 \text{ m}^2$$

$$A_{cc} = \lambda \cdot x \cdot b$$

$$x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b} = \frac{0,0385}{0,8 \cdot 0,28} = 0,172 \text{ m}$$

Ověření započitatelnosti výztuže

$$d_{1p} = 0,157 \text{ m}$$

$$d_p = h - d_{1p} = 0,75 - 0,157 = 0,593$$

$$\frac{\Delta \varepsilon_{p,n}}{d_p - x} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x}$$

$$\Delta \varepsilon_{p,n} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d_p - x) = \frac{0,0035}{0,172} \cdot (0,593 - 0,172) = 0,00857 = 8,57 \text{ ‰}$$

$$\Delta \varepsilon_{p,n} > \varepsilon_{py,d} - \varepsilon_{p,t}^0 = 0,89 \text{ ‰} \quad \Rightarrow \text{VÝZTUŽ PLNĚ VYUŽITA}$$

Posouzení

$$M_{RD} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

$$z_{cc} = z_2 - \frac{\lambda x}{2} = 0,413 - \frac{0,8 \cdot 0,172}{2} = 0,344 \text{ m}$$

$$z_{pt} = e_p = 0,180$$

$$M_{RD,p} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt} = \lambda x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_{pt}$$

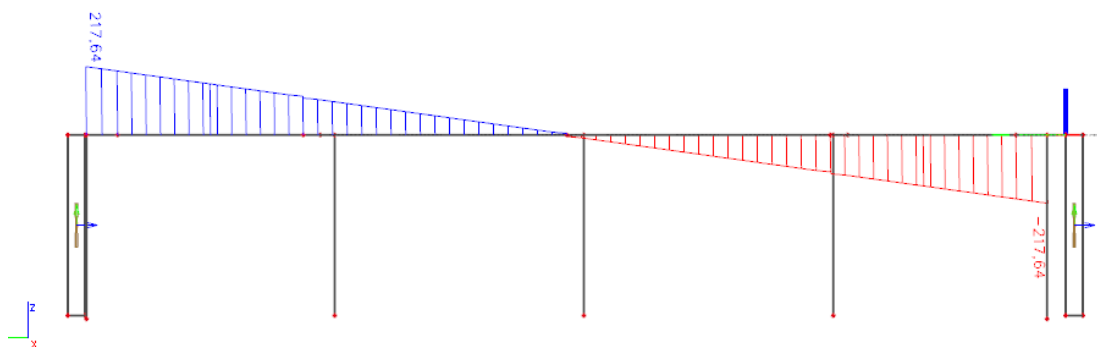
$$M_{RD,p} = 0,8 \cdot 0,172 \cdot 0,28 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,344 + 60 \cdot 0,18 = 275,87 \text{ kNm}$$

$$M_{RD,p} = 275,87 > M_{EDp} = 165,2 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

- navrhnu konstrukční výztuž  $\phi = 6 \text{ mm}$

## 2.10.2. POSOUZENÍ NA SMYK

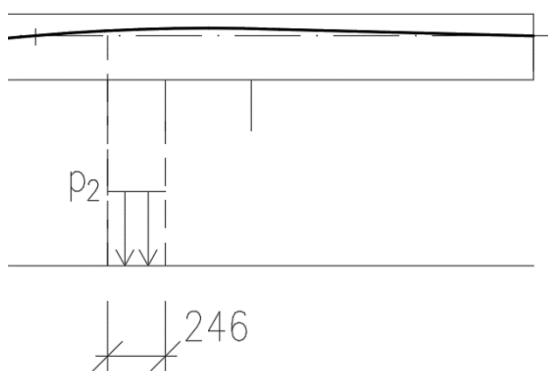


$$V_{ED,max} = 217,64 \text{ kN (SCIA)}$$

$$V_{ED} = V_{fd} + V_{pd}$$

$V_{fd}$  - maximální posouvající síla v daném průřezu

$M_{fd}$  - odpovídající moment



$V_{p,sd} = 0$  - sekundární posouvající síla

Únosnost trávu bez smykové výztuže ve vzdálenosti  $d$  od líce podpory

$x = 1,161 \text{ m}$  - vzdálenost k vyšetřovanému místu od počátku nosníku

- z výpočetního programu jsem pak zjistil posouvající sílu od kombinace 6.10 a)

$$V_{fd}(x = 0,71) = 181,86 \text{ kN (SCIA)}$$

$$V_{ED} = V_{fd} + V_{pd} = 181,86 + 87,64 = 269,5 \text{ kN}$$

Rozhodnutí o vzniku trhlin

$$x_1 = 1,787 \text{ m}, M_{fd} = -128,59 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = -\frac{128,59}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{699,93}{0,244} + \frac{699,93 \cdot 0,085}{0,01251} \cdot 0,337 = -4,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = -4,73 \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{NEVZNIKNOU TRHLINÝ}$$

$$\sigma_{ct,h} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = \frac{128,59}{0,01251} \cdot 0,417 - \frac{699,93}{0,244} - \frac{699,93 \cdot 0,085}{0,01251} \cdot 0,417 = -3,43 \text{ MPa}$$

$$X_2 = 3,336 \text{ m}, M_{fd} = 85,05 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{85,05}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{709,64}{0,244} - \frac{709,64 \cdot 0,05}{0,01251} \cdot 0,337 = -1,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = -1,57 \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{NEVZNIKNOU TRHLINÝ}$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{85,05}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{709,64}{0,244} + \frac{709,64 \cdot 0,05}{0,01251} \cdot 0,413 = -4,54 \text{ MPa}$$

$$x_3 = 5,236 \text{ m}, M_{fd} = 244,48 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{244,48}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{709,64}{0,244} - \frac{709,64 \cdot 0,151}{0,01251} \cdot 0,337 = 0,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = 0,79 \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{NEVZNIKNOU TRHLINÝ}$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{244,48}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{709,64}{0,244} + \frac{709,64 \cdot 0,151}{0,01251} \cdot 0,413 = -7,49 \text{ MPa}$$

$$X_2 = 6,925 \text{ m}, M_{fd} = 292,94 \text{ kNm (SCIA)}$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{ct,d} = \frac{292,94}{0,01251} \cdot 0,337 - \frac{709,64}{0,244} - \frac{709,64 \cdot 0,180}{0,01251} \cdot 0,337 = 1,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,d} = 1,54 \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \quad \text{NEVZNIKNOU TRHLINÝ}$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_2 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} + \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_2$$

$$\sigma_{ct,h} = -\frac{292,94}{0,01251} \cdot 0,413 - \frac{709,64}{0,244} + \frac{709,64 \cdot 0,180}{0,01251} \cdot 0,413 = -8,36 \text{ MPa}$$

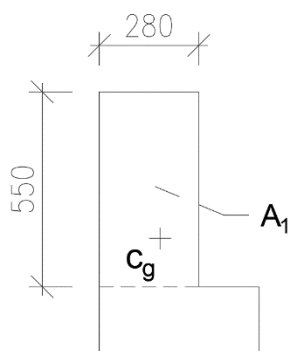
- trhliny nevzniknou po celé délce průřezu

Oblast bez trhlin (platí teorie pružnosti)

$$V_{Rd,c} = \frac{I_c \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_e \cdot \sigma_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,333 \text{ MPa}$$

Výpočet statického momentu S



$$A_1 = 0,154 \text{ m}^2$$

$$a_1 = c_{g2} - c_2 = 413 - 275 = 138 \text{ mm}$$

$$S_1 = A_1 \cdot a_1 = 0,154 \cdot 0,138 = 0,02125 \text{ m}^3$$

$$x = 1,161 \text{ m (d = 0,711)}$$

$$\sigma_{c2} = +\frac{M_{fd}}{I_c} \cdot z_1 - \frac{P_{m,t^0}}{A_c} - \frac{P_{m,t^0} \cdot e_p}{I_c} \cdot z_1$$

$$\sigma_{c2} = +\frac{238,02}{0,01251} \cdot 0,137 - \frac{699,93}{0,244} - \frac{699,93 \cdot 0,159}{0,01251} \cdot 0,137 = -1,48 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{0,01251 \cdot 0,28}{0,02125} \cdot \sqrt{(1,33 \cdot 10^3)^2 + 1,0 \cdot 1,48 \cdot 10^3 \cdot 1,33 \cdot 10^3} = 318,67 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{ED} = 269,5 \text{ kN}$$

- navrhnu konstrukční výztuž

**Dvoustržný třmínek  $2\phi=8 \text{ mm}$ ;  $A_{st} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

- podélná vzdálenost

$$s_{max} \leq 0,75d(1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot 711(1 + 0) = 533,25 \text{ mm}$$

$$s_{max} \leq 400 \text{ mm}$$

$$s = 200; 300 \text{ mm} < s_{max} = 533,25 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

- stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,28} = 0,0012$$

$$\rho_{min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w = 0,0012 > \rho_{min} = 0,00088$$

Kontrola únosnosti

Posouzení tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot v \cdot \frac{f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 0,28 \cdot 0,528 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,5 + 1/1,5} = 1364,68 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 1364,68 > V_{Ed,max} = 269,5 \text{ kN}$$

VYHOVUJE