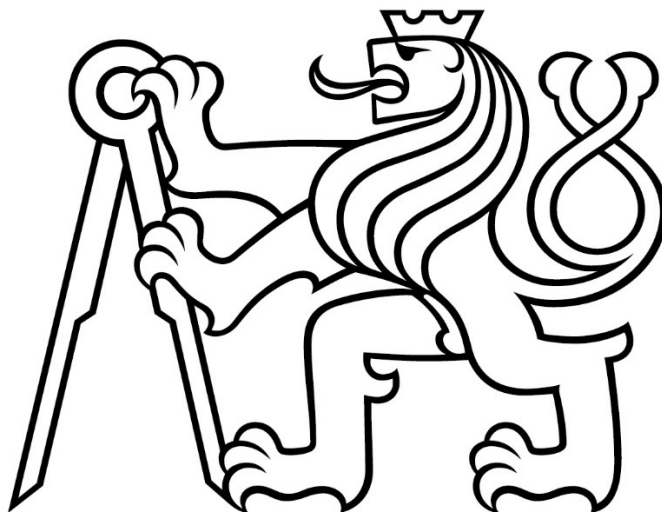


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



Diplomová práce

Příloha 4.
Návrh předpětí v části E věže větrné elektrárny

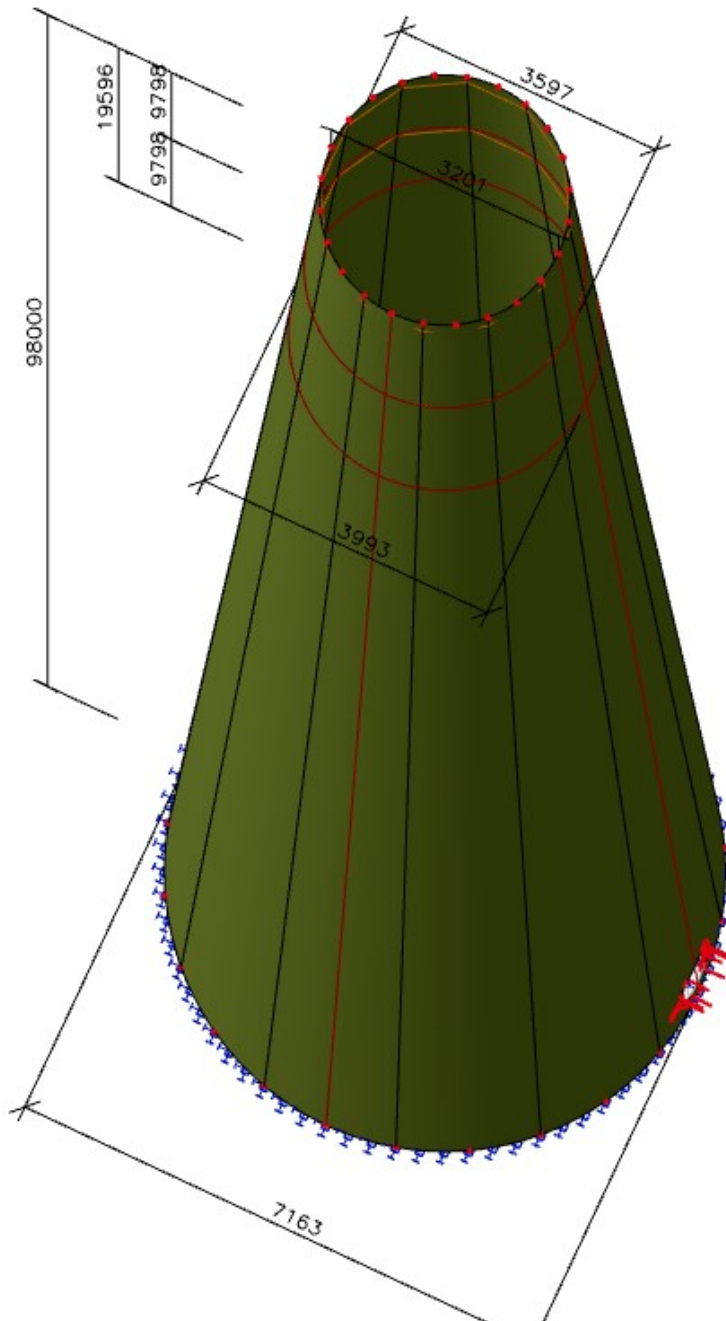
Zpracoval: Bc. Jan Svoboda

2021/2022

Návrh předpětí v sekci E věže větrné elektrárny

Věž pro větrnou elektrárnu

Konstrukce bude navržena na plné předpětí.



Výška věže $L_{v\check{e}z} := 98 \text{ m}$

Tl. stěny ve vrcholu $t_{vr} := 457 \text{ mm}$

Tl. stěny v patě věže $t_{pt} := 762 \text{ mm}$

Návrhové parametry dílce

Předpětí budeme navrhovat pro horní sekci E.

Délka dílce $L_{díl} := 19.6 \text{ m}$

Průměry dílce

$d_{vr.díl} := 3201 \text{ mm}$ $d_{stř.díl} := 3597 \text{ mm}$ $d_{sp.díl} := 3993 \text{ mm}$

TI. stěny ve vrcholu horního dílce

$t_{vr.díl} := t_{vr} = 457 \text{ mm}$

TI. stěny uprostřed horního dílce

$t_{stř.díl} := \frac{(t_{pt} - t_{vr})}{L_{věž}} \cdot \frac{L_{díl}}{2} + t_{vr} = 487.5 \text{ mm}$

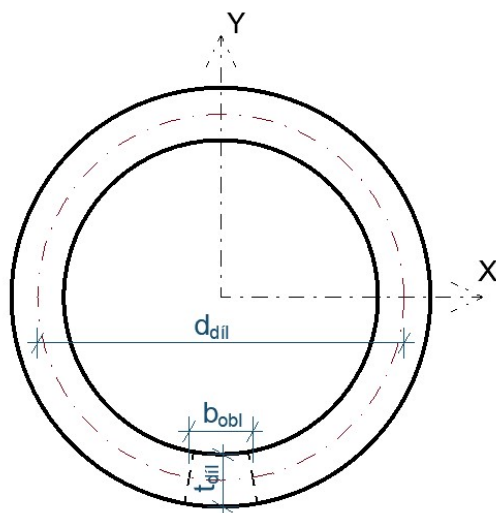
TI. stěny ve spodní části horního dílce

$t_{sp.díl} := \frac{(t_{pt} - t_{vr})}{L_{věž}} \cdot L_{díl} + t_{vr} = 518 \text{ mm}$

Šířka oblasti:

Konstrukci rozdělíme na několik oblastí/částí do kterých budeme navrhovat předpětí.

Podmínkou je, že navržené předpětí se musí vejít do vymezené oblasti.



Zvolíme počet částí na které konstrukci rozdělíme. Hodnota byla stanovena iteračně na základě postupných úprav návrhu.

$x_{část} := 32$

Šířka oblasti

$b_{vr.obl} := \frac{(\pi \cdot d_{vr.díl})}{x_{část}} = 314.3 \text{ mm}$

$b_{stř.obl} := \frac{(\pi \cdot d_{stř.díl})}{x_{část}} = 353.1 \text{ mm}$

$b_{sp.obl} := \frac{(\pi \cdot d_{sp.díl})}{x_{část}} = 392 \text{ mm}$

Plocha oblasti

- průměr kanálku $\phi_k := 70 \text{ mm}$

- plocha kanálku

$S_k := \pi \cdot \frac{\phi_k^2}{4} = 3848.451 \text{ mm}^2$

$A_{vr.obl.osl} := t_{vr.díl} \cdot b_{vr.obl} - S_k = 139767.199 \text{ mm}^2$

$A_{stř.obl.osl} := t_{stř.díl} \cdot b_{stř.obl} - S_k = 168305 \text{ mm}^2$

$A_{sp.obl.osl} := t_{sp.díl} \cdot b_{sp.obl} - S_k = 199214 \text{ mm}^2$

Materiály

- Časové údaje

doba ošetřování betonu	$t_w := 3$ day	
čas vnesení předpětí	$t_0 := 28$ day	
doba uvedení do provozu	$t_1 := 100$ day	
návrhová životnost	$t_2 := 7300$ day	-> 20 let
čas držení napětí při předpínání	$t_{r.min} := 5$ min	
čas ukončení relaxace	$t_{r.max} := 175200$ hr	-> 20 let

- Dílčí součinitelé

$\gamma_c := 1.5$	$\gamma_q := 1.5$	$\gamma_p := 1$
$\gamma_s := 1.15$	$\gamma_g := 1.35$	

- Cement: CEM I 42,5 R

koeficient vývoje pevnosti v čase $s := 0.2$

- Beton

a) Složení směsi C50/60

i- příměsi

fck	c	w	a	i	φ	w/c
[MPa]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[-]
50	400	140	1910	50	2500	0,35

b) Vlastnosti betonu po 28 dnech

$$\alpha_{cc} := 1.00$$

$$\alpha_{ct} := 1.00$$

$$f_{ck} := 50 \text{ MPa} \quad f_{ctk.0.05} := 2.9 \text{ MPa} \quad f_{ctm} := 4.1 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} := 58 \text{ MPa} \quad f_{ctk.0.95} := 5.3 \text{ MPa} \quad E_{cm} := 37000 \text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová tlaková pevnost} \quad f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 33.333 \text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová tahová pevnost} \quad f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.933 \text{ MPa}$$

$$\text{Maximální tlakové napětí v betonu při napínání} \quad \sigma_3 := 0.6 \cdot f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Minimální návrhová tahová pevnost} \quad f_{ctd.min} := \left(1 - 0.8 \cdot \frac{\sigma_3}{f_{ck}}\right) \cdot f_{ctk.0.05} = 1.508 \text{ MPa}$$

$$\text{Součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti} \quad \lambda := \min\left(0.8, 0.8 - \frac{f_{ck} - 50 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}\right) = 0.8$$

$$\text{Součinitel definující účinnou pevnost} \quad \eta := \min\left(1.0, 1.0 - \frac{f_{ck} - 50 \text{ MPa}}{200 \text{ MPa}}\right) = 1$$

$$\text{Mezní poměrné přetvoření betonu} \quad \varepsilon_{cu3} := 0.0035$$

c) Vlastnosti betonu v čase vnesení předpětí

$$t := t_0 = 28 \text{ day}$$

$$\beta_{cc.0} := e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28 \text{ day}}{t}}\right)} = 1$$

$$f_{cm.0} := \beta_{cc.0} \cdot f_{cm} = 58 \text{ MPa}$$

$$f_{ck.0} := f_{cm.0} - 8 \text{ MPa} = 50 \text{ MPa}$$

$$E_{cm.0} := \left(\frac{f_{cm.0}}{f_{cm}}\right)^{0.3} \cdot E_{cm} = 37000 \text{ MPa}$$

-Předpínací výztuž

-třída relaxace 2	$\rho_{1000} := 2.5\%$
Průměr lana	$\phi_{p.1} := 15.7 \text{ mm}$
Plocha lana	$A_{p.1} := 150 \text{ mm}^2$
Mez pevnosti	$f_{pk} := 1860 \text{ MPa}$
Mez kluzu	$f_{p0.1k} := 1640 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_p := 195000 \text{ MPa}$

$$\text{Návrhová mez kluzu} \quad f_{pd} := \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} = 1426.087 \text{ MPa}$$

$$\text{Maximální napětí při předpínání} \quad \sigma_{p,max} := \min(0.8 \cdot f_{pk}, 0.9 \cdot f_{p0.1k}) = 1476 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Maximální počáteční předpínací} & \quad \sigma_{pmd,max} := \min(0.75 \cdot f_{pk}, 0.85 \cdot f_{p0.1k}) = 1394 \text{ MPa} \\ \text{napětí po krátkodobých ztrátách} & \\ \varepsilon_{p,yd} & := \frac{f_{pd}}{E_p} = 0.007 \end{aligned}$$

$$\text{Mezní přetvoření výztuže} \quad \varepsilon_{p,uk} := 0.035$$

$$\text{Návrhové přetvoření výztuže} \quad \varepsilon_{p,ud} := 0.9 \cdot \varepsilon_{p,uk} = 0.0315$$

$$\text{Návrhové napětí} \quad f_{p,ud} := 1593 \text{ MPa}$$

-Betonářská výztuž

-třída tažnosti 2

$$\text{Mez kluzu} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová mez kluzu} \quad f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$

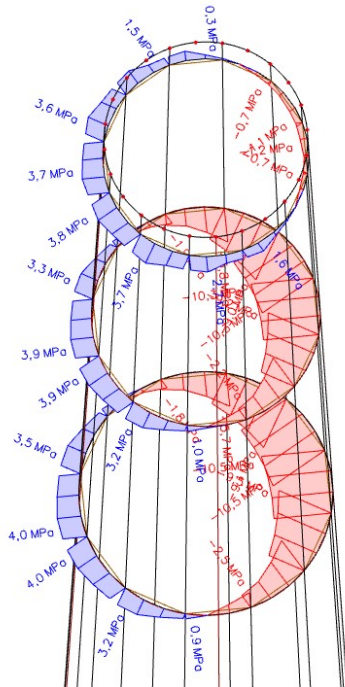
$$\text{Modul pružnosti} \quad E_s := 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Protažení na mezi kluzu} \quad \varepsilon_{s,yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.002$$

Napětí v konstrukci

Vykreslení napětí je provedeno pro charakteristickou kombinaci FK5

Vnější svislé napětí $\sigma_y + \blacksquare$



Největší svislý tah na vnějším povrchu

$$\sigma_{vr.tah.ex} := 3.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.ex} := 3.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah.ex} := 4 \text{ MPa}$$

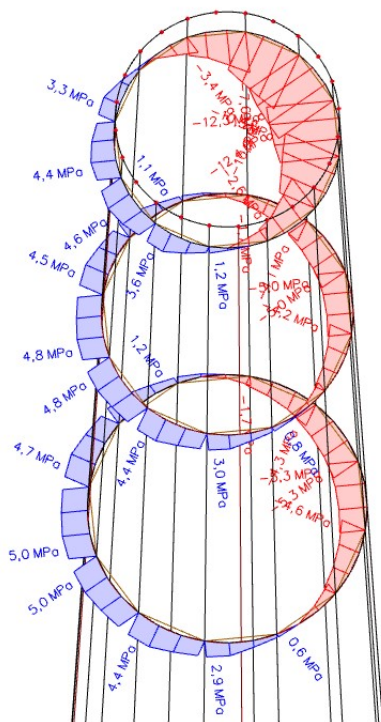
Největší svislý tlak na vnějším povrchu

$$\sigma_{vr.tlak.ex} := -1.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tlak.ex} := -10.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tlak.ex} := -10.5 \text{ MPa}$$

Vnitřní svislé napětí $\sigma_y - \blacksquare$



Největší svislý tah na vnitřním povrchu

$$\sigma_{vr.tah.in} := 4.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.in} := 4.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah.in} := 5 \text{ MPa}$$

Největší svislý tlak na vnitřním povrchu

$$\sigma_{vr.tlak.in} := -12.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tlak.in} := -5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tlak.in} := -5.3 \text{ MPa}$$

Návrh předpětí

Návrh předpětí provedeme pro maximální napětí v dílci.

Konstrukci budeme předpínat centricky.

Návrhové napětí :

$$\begin{aligned}\sigma_{vr.tah} &:= \max(\sigma_{vr.tah.ex}, \sigma_{vr.tah.in}) = 4.6 \text{ MPa} \\ \sigma_{stř.tah} &:= \max(\sigma_{stř.tah.ex}, \sigma_{stř.tah.in}) = 4.8 \text{ MPa} \\ \sigma_{sp.tah} &:= \max(\sigma_{sp.tah.ex}, \sigma_{sp.tah.in}) = 5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{vr.tlak} &:= \min(\sigma_{vr.tlak.ex}, \sigma_{vr.tlak.in}) = -12.4 \text{ MPa} \\ \sigma_{stř.tlak} &:= \min(\sigma_{stř.tlak.ex}, \sigma_{stř.tlak.in}) = -10.3 \text{ MPa} \\ \sigma_{sp.tlak} &:= \min(\sigma_{sp.tlak.ex}, \sigma_{sp.tlak.in}) = -10.5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Návrh počtu lan provedeme pro nejužší místo

$$\begin{aligned}t_{díl} &:= \min(t_{vr.díl}, t_{stř.díl}, t_{sp.díl}) = 457 \text{ mm} \\ b_{obl} &:= \min(b_{vr.obl}, b_{stř.obl}, b_{sp.obl}) = 314.257 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_{tah} := \max(\sigma_{vr.tah}, \sigma_{stř.tah}, \sigma_{sp.tah}) = 5 \text{ MPa}$$

Tahová síla působící v průřezu:

$$N_p := \sigma_{tah} \cdot t_{díl} \cdot b_{obl} = 718.078 \text{ kN}$$

Snížení napínacího napětí: ovlivněno výpočtem krátkodobých ztrát

$$\sigma_{p.nap} := \sigma_{p.max} - 153 \text{ MPa} = 1323 \text{ MPa}$$

Napínací napětí

$$\sigma_{p.0} := \sigma_{p.nap} = 1323 \text{ MPa}$$

Napětí na konci životnosti (odhad)

$$\sigma_{p.oo} := 0.7 \cdot \sigma_{p.0} = 926.1 \text{ MPa}$$

Minimální požadovaná plocha
přepínacího kabelu

$$A_{p.req} := \frac{N_p}{\sigma_{p.oo}} = 775.379 \text{ mm}^2$$

Minimální požadovaný počet lan

$$n_{p.req} := \frac{A_{p.req}}{A_{p.1}} = 5.169$$

Návrhový počet lan: ovlivněno změnou průřezu po výšce kce.

$$n_p := 8$$

Návrhová plocha předpínacího kabelu

$$A_{p.prov} := n_p \cdot A_{p.1} = 1200 \text{ mm}^2$$

Síla v předpínacím kabelu

$$P := \sigma_{p.0} \cdot A_{p.prov} = 1587.6 \text{ kN}$$

Návrh kabelových kanálků: Systém FREYSSINET 9C15

Vnitřní průměr kanálku

$$\phi_{kan.in} := 67 \text{ mm}$$

Vnější průměr kanálku

$$\phi_{kan.ex} := 70 \text{ mm}$$

Průměr kanálku

$$\phi_k := \phi_{kan.ex} = 70 \text{ mm}$$

Počet kanálků

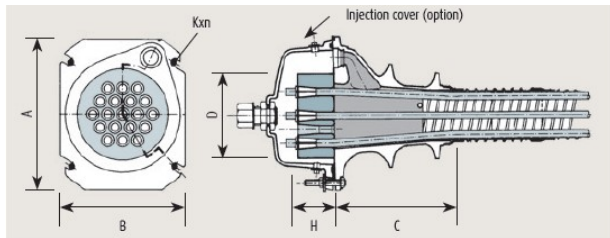
$$n_k := 1$$

Počet lan v kanálku

$$n_{pk} := \frac{n_p}{n_k} = 8$$

NÁVRH: systém FREYSSINET 9C15, počet lan 8 v jednom kanálku,
vnější průměr 70 mm, napínací napětí 1323 MPa.

Posouzení kotevní oblasti



Units	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	Kxn (mm)
3C15	150	110	120	85	50	M10x2
4C15	150	120	125	95	50	M10x2
7C15	180	150	186	110	55	M12x2
9C15	225	185	260	150	55	M12x4
12C15	240	200	165	150	65	M12x4
13C15	250	210	246	160	70	M12x4
19C15	300	250	256	185	80	M12x4
22C15	330	275	430	220	90	M12x4
25C15	360	300	400	230	95	M16x4
25C15	350	290	360	220	95	M16x4
27C15	350	290	360	220	100	M16x4
31C15	385	320	346	230	105	M16x4
37C15	420	350	466	255	110	M16x4
55C15	510	420	516	300	145	M20x4

Distances a and b

Units	a = b (mm)		
	$f_{cm,0}$ (MPa)		
	24	44	60
3C15	220	200	180
4C15	250	220	200
7C15	330	260	240
9C15	380	300	280
12C15	430	320	300
13C15	450	340	310
19C15	530	400	380
22C15	590	430	410
25C15	630	460	440
27C15	650	480	470
31C15	690	520	500
37C15	750	580	540
55C15	1070	750	690

$$A := 225 \text{ mm}$$

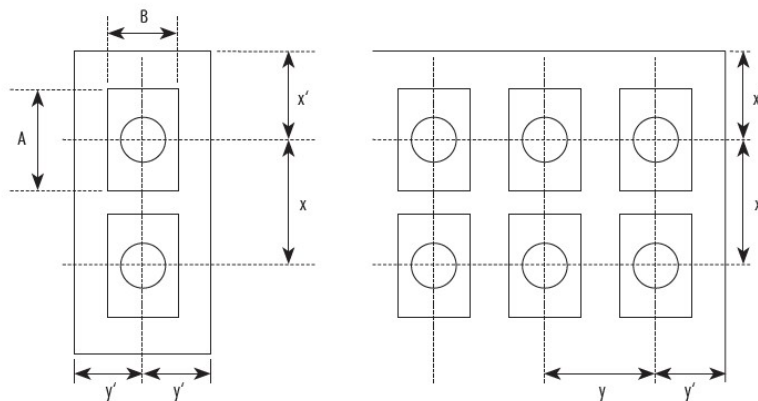
$$B := 185 \text{ mm}$$

$$D := 150 \text{ mm}$$

$$f_{cm,0} := f_{cm,0} = 58 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow a := 290 \text{ mm}$$

$$b := 290 \text{ mm}$$



$$x_{min,1} := A + 30 \text{ mm} = 255 \text{ mm}$$

$$y_{min,1} := B + 30 \text{ mm} = 215 \text{ mm}$$

$$x_{min,2} := 0.85 \cdot a = 246.5 \text{ mm}$$

$$y_{min,2} := 0.85 \cdot b = 246.5 \text{ mm}$$

$$x \cdot y = 89900 \text{ mm}^2 > a \cdot b = 84100 \text{ mm}^2$$

Zvoleno

$$x := 290 \text{ mm} < b_{obl} = 314 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$y := 310 \text{ mm}$$

odhad tloušťky krycí vrstvy

$$c_{odhad} := 80 \text{ mm}$$

$$x' := 0.5 \cdot x + c_{odhad} - 10 \text{ mm} = 215 \text{ mm}$$

$$y' := 0.5 \cdot y + c_{odhad} - 10 \text{ mm} = 225 \text{ mm}$$

$$< \frac{t_{dil}}{2} = 228.5 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Výpočet krycí vrstvy- předpínací výztuž
Stupně vlivu prostředí- XC3; XD1; XF1
- minimální třída betonu = C30/37
Skutečná třída betonu = C50/60 -> VYHOVUJE

ČSN EN 1992-1-1

Základní třída konstrukce - S4
Pevnostní třída = zmenšit třídu o 1
Návrhová třída konstrukce - S3

Minimální krycí vrstva z hlediska trvanlivosti $c_{min.dur} := 40 \text{ mm}$

Minimální krycí vrstva c_{min}
 $c_{min.b} := \min(\phi_k, 80 \text{ mm}) = 70 \text{ mm}$

Přídavek z hlediska spolehlivosti $\Delta c_{dur.\gamma} := 0$
Redukce při použití nerez. oceli $\Delta c_{dur.st} := 0$
Redukce při použití dodatečné ochrany $\Delta c_{dur.add} := 0$

$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur} + \Delta c_{dur.\gamma} - \Delta c_{dur.st} - \Delta c_{dur.add}, 10 \text{ mm}) = 70 \text{ mm}$

Nominální krycí vrstva c_{nom}

přídavek na návrhovou odchylku $\Delta c_{def} := 10 \text{ mm}$

$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{def} = 80 \text{ mm}$

Předběžné posouzení

V časech $t_0 = 28$ **day** -> čas vnesení předpětí
 $t_1 = 100$ **day**
 $t_2 = 7300$ **day** -> čas na konci životnosti

Odhad ztráty předpětí $\zeta_0 := 0.9$
 $\zeta_1 := 0.85$
 $\zeta_2 := 0.7$

Tlaková síla z předpětí $N_p := -P = -1587.6$ **kN**

Pro čas t_0

$$\sigma_{vr.tah.0} := \sigma_{vr.tah} + \zeta_0 \cdot \frac{N_p}{A_{vr.obl.osl}} = -5.623 \text{ MPa} \quad \sigma_{vr.tlak.0} := \sigma_{vr.tlak} + \zeta_0 \cdot \frac{N_p}{A_{vr.obl.osl}} = -22.623 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.0} := \sigma_{stř.tah} + \zeta_0 \cdot \frac{N_p}{A_{stř.obl.osl}} = -3.69 \text{ MPa} \quad \sigma_{stř.tlak.0} := \sigma_{stř.tlak} + \zeta_0 \cdot \frac{N_p}{A_{stř.obl.osl}} = -18.79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah.0} := \sigma_{sp.tah} + \zeta_0 \cdot \frac{N_p}{A_{sp.obl.osl}} = -2.172 \text{ MPa} \quad \sigma_{sp.tlak.0} := \sigma_{sp.tlak} + \zeta_0 \cdot \frac{N_p}{A_{sp.obl.osl}} = -17.672 \text{ MPa}$$

Pro čas t_1

$$\sigma_{vr.tah.1} := \sigma_{vr.tah} + \zeta_1 \cdot \frac{N_p}{A_{vr.obl.osl}} = -5.055 \text{ MPa} \quad \sigma_{vr.tlak.1} := \sigma_{vr.tlak} + \zeta_1 \cdot \frac{N_p}{A_{vr.obl.osl}} = -22.055 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.1} := \sigma_{stř.tah} + \zeta_1 \cdot \frac{N_p}{A_{stř.obl.osl}} = -3.218 \text{ MPa} \quad \sigma_{stř.tlak.1} := \sigma_{stř.tlak} + \zeta_1 \cdot \frac{N_p}{A_{stř.obl.osl}} = -18.318 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah.1} := \sigma_{sp.tah} + \zeta_1 \cdot \frac{N_p}{A_{sp.obl.osl}} = -1.774 \text{ MPa} \quad \sigma_{sp.tlak.1} := \sigma_{sp.tlak} + \zeta_1 \cdot \frac{N_p}{A_{sp.obl.osl}} = -17.274 \text{ MPa}$$

Pro čas t_2

$$\sigma_{vr.tah.2} := \sigma_{vr.tah} + \zeta_2 \cdot \frac{N_p}{A_{vr.obl.osl}} = -3.351 \text{ MPa} \quad \sigma_{sp.tah.2} := \sigma_{sp.tah} + \zeta_2 \cdot \frac{N_p}{A_{sp.obl.osl}} = -0.579 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.2} := \sigma_{stř.tah} + \zeta_2 \cdot \frac{N_p}{A_{stř.obl.osl}} = -1.803 \text{ MPa} \quad \sigma_{stř.tlak.2} := \sigma_{stř.tlak} + \zeta_2 \cdot \frac{N_p}{A_{stř.obl.osl}} = -16.903 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{vr.tlak.2} := \sigma_{vr.tlak} + \zeta_2 \cdot \frac{N_p}{A_{vr.obl.osl}} = -20.351 \text{ MPa} \quad \sigma_{sp.tlak.2} := \sigma_{sp.tlak} + \zeta_2 \cdot \frac{N_p}{A_{sp.obl.osl}} = -16.079 \text{ MPa}$$

Posudek

$$\sigma < 0$$

Vyhovuje z hlediska tahových namáhání

$$|\sigma| < k \cdot f_{ck}$$

omezení napětí v betonu v tlaku

$$k_0 := 0.6$$

$$k_1 := 0.45$$

$$k_2 := 0.45$$

$$|\sigma_{vr.tah.0}| = 5.623 \text{ MPa} < k_0 \cdot f_{ck.0} = 30 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{vr.tlak.0}| = 22.623 \text{ MPa} < k_0 \cdot f_{ck.0} = 30 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{stř.tah.0}| = 3.69 \text{ MPa} < k_0 \cdot f_{ck.0} = 30 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{stř.tlak.0}| = 18.79 \text{ MPa} < k_0 \cdot f_{ck.0} = 30 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{sp.tah.0}| = 2.172 \text{ MPa} < k_0 \cdot f_{ck.0} = 30 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{sp.tlak.0}| = 17.672 \text{ MPa} < k_0 \cdot f_{ck.0} = 30 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{vr.tah.1}| = 5.055 \text{ MPa} < k_1 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{vr.tlak.1}| = 22.055 \text{ MPa} < k_1 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{stř.tah.1}| = 3.218 \text{ MPa} < k_1 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{stř.tlak.1}| = 18.318 \text{ MPa} < k_1 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{sp.tah.1}| = 1.774 \text{ MPa} < k_1 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{sp.tlak.1}| = 17.274 \text{ MPa} < k_1 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{vr.tah.2}| = 3.351 \text{ MPa} < k_2 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{vr.tlak.2}| = 20.351 \text{ MPa} < k_2 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{stř.tah.2}| = 1.803 \text{ MPa} < k_2 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{stř.tlak.2}| = 16.903 \text{ MPa} < k_2 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{sp.tah.2}| = 0.579 \text{ MPa} < k_2 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{sp.tlak.2}| = 16.079 \text{ MPa} < k_2 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Ztráty předpětí

Krátkodobé ztráty
Ztráty třením

Předpínání provedeno z jedné strany (horní)

součinitel tření pro ocelový kanálek $\mu := 0.19$
nezamýšlený úhlový posun kanálku $k := 0.005 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{m}}$

Na začátku dílce
 $\Delta\sigma_{tř.\mu.vr} := 0 \text{ MPa}$

Uprostřed dílce $l_{\mu.1} := \frac{L_{díl}}{2} = 9.8 \text{ m}$

$\Delta\sigma_{tř.\mu.stř} := \sigma_{p.0} \cdot (1 - e^{-\mu \cdot (k \cdot l_{\mu.1})}) = 12.26 \text{ MPa}$

Vespod dílce

$\Delta\sigma_{tř.\mu.sp} := \sigma_{p.0} \cdot (1 - e^{-\mu \cdot (k \cdot L_{díl})}) = 24.406 \text{ MPa}$

Ztráta pokluzem v kotvě s vlivem tření

Délka pokluzu $a_p := 5 \text{ mm}$ -> uvažováno použití napínacího zařízení s hydraulickým předkotvením

Úbytek ztráty $p_1 := \sigma_{p.0} \cdot \frac{(1 - e^{-\mu \cdot k \cdot 1 \text{ m}})}{\text{m}} = 1.256 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$

Plocha pokluzu $A_w := a_p \cdot E_p = 975 \text{ MPa} \cdot \text{m}$

Dosah pokluzu $x_w := \sqrt{\frac{A_w}{p_1}} = 27.859 \text{ m}$

Vliv pokluzu po celé délce lana.

Ztráty pokluzem v kotvě

v místě předpínání $x_{vr} := 0 \text{ m}$ $\Delta\sigma_{pok.vr} := 2 \cdot p_1 \cdot (x_{vr} - x_w) = -69.996 \text{ MPa}$

uprostřed dílce $x_{stř} := \frac{L_{díl}}{2} = 9.8 \text{ m}$ $\Delta\sigma_{pok.stř} := 2 \cdot p_1 \cdot (x_{stř} - x_w) = -45.373 \text{ MPa}$

na konci dílce $x_{sp} := L_{díl} = 19.6 \text{ m}$ $\Delta\sigma_{pok.sp} := 2 \cdot p_1 \cdot (x_{sp} - x_w) = -20.75 \text{ MPa}$

Ztráty postupným předpínáním

$$\Delta\sigma_{el.vr} := \frac{1}{2} \cdot \frac{E_p \cdot A_{p.prov} \cdot \sigma_{p.0}}{E_{cm} \cdot A_{vr.obl.osl}} = 29.932 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{el.stř} := \frac{1}{2} \cdot \frac{E_p \cdot A_{p.prov} \cdot \sigma_{p.0}}{E_{cm} \cdot A_{stř.obl.osl}} = 24.857 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{el.sp} := \frac{1}{2} \cdot \frac{E_p \cdot A_{p.prov} \cdot \sigma_{p.0}}{E_{cm} \cdot A_{sp.obl.osl}} = 21 \text{ MPa}$$

Výsledné napětí po okamžitých ztrátách

Na začátku dílce $\sigma_{pm.vr.0} := \sigma_{p.0} - \Delta\sigma_{tř.\mu.vr} - |\Delta\sigma_{pok.vr}| - \Delta\sigma_{el.vr} = 1223.072 \text{ MPa}$

Uprostřed dílce $\sigma_{pm.stř.0} := \sigma_{p.0} - \Delta\sigma_{tř.\mu.stř} - |\Delta\sigma_{pok.stř}| - \Delta\sigma_{el.stř} = 1240.51 \text{ MPa}$

Na konci dílce $\sigma_{pm.sp.0} := \sigma_{p.0} - \Delta\sigma_{tř.\mu.sp} - |\Delta\sigma_{pok.sp}| - \Delta\sigma_{el.sp} = 1256.843 \text{ MPa}$

Posouzení

$$\sigma_{pm.vr.0} = 1223.072 \text{ MPa} < \sigma_{pmd.max} = 1394 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm.stř.0} = 1240.51 \text{ MPa} < \sigma_{pmd.max} = 1394 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm.sp.0} = 1256.843 \text{ MPa} < \sigma_{pmd.max} = 1394 \text{ MPa}$$

Dlouhodobé ztráty

Relaxace výztuže

třída relaxace: 2 $\rho_{1000} := 2.5 \%$

$$\text{Využití předpínací výztuže} \quad \eta_{vr} := \frac{\sigma_{pm.vr.0}}{f_{pk}} = 0.658 \quad \eta_{stř} := \frac{\sigma_{pm.stř.0}}{f_{pk}} = 0.667$$

$$\eta_{sp} := \frac{\sigma_{pm.sp.0}}{f_{pk}} = 0.676$$

$$\text{časy} \quad t_{0,r} := \frac{t_{r.min}}{60 \text{ min}} \cdot \text{hr} = 0.083 \text{ hr}$$

$$t_{1,r} := (t_1 - t_0) = 1728 \text{ hr}$$

$$t_{2,r} := t_{r.max} = 175200 \text{ hr}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.vr.0} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{vr}}) \cdot \left(\frac{t_{0,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{vr})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.vr.0} = 0.718 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.stř.0} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{stř}}) \cdot \left(\frac{t_{0,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{stř})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.stř.0} = 0.847 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.sp.0} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{sp}}) \cdot \left(\frac{t_{0,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{sp})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.sp.0} = 0.989 \text{ MPa}$$

Ztráta v čase t_0 bude eliminována při napínání- bude odečtena pro časy t_1 a t_2

$$\Delta\sigma_{p.r.vr.1} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{vr}}) \cdot \left(\frac{t_{1,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{vr})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{p.r.vr.0} = 8.501 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.stř.1} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{stř}}) \cdot \left(\frac{t_{1,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{stř})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{p.r.stř.0} = 9.297 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.sp.1} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{sp}}) \cdot \left(\frac{t_{1,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{sp})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{p.r.sp.0} = 10.104 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.vr.2} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{vr}}) \cdot \left(\frac{t_{2,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{vr})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{p.r.vr.0} = 29.474 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.stř.2} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{stř}}) \cdot \left(\frac{t_{2,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{stř})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{p.r.stř.0} = 31.312 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.r.sp.2} := \left(0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot (e^{9.1 \cdot \eta_{sp}}) \cdot \left(\frac{t_{2,r}}{1000 \text{ hr}} \right)^{0.75 \cdot (1 - \eta_{sp})} \right) \cdot (10^{-5}) \cdot \sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{p.r.sp.0} = 33.124 \text{ MPa}$$

Dotvarování betonu

- vlhkost 70%
- cement typ I
- doba ošetření 3 dny
- doba vnesení zatížení 28 dní

Program Creep & Shrinkage-

Výsledné součinitele dotvarování: $\varphi_0 := 0$
 $\varphi_1 := 0.769$
 $\varphi_2 := 2.349$

$$E_{c.t.0} := E_{cm.0} = 37000 \text{ MPa}$$

Síla z předpětí po krátkodobých ztrátách

$$N_{pm.vr.0} := -\sigma_{pm.vr.0} \cdot A_{p.prov} = -1467.687 \text{ kN}$$

$$N_{pm.stř.0} := -\sigma_{pm.stř.0} \cdot A_{p.prov} = -1488.612 \text{ kN}$$

$$N_{pm.sp.0} := -\sigma_{pm.sp.0} \cdot A_{p.prov} = -1508.211 \text{ kN}$$

Napětí od stáلهo zatížení = Scia

Pro čas t_0 pouze vlastní tíha konstrukce.

Pro čas t_1 a t_2 vlastní tíha konstrukce + vlastní tíha rotoru a gondoly

$$\sigma_{g.vr.0} := 0 \text{ MPa} \quad \sigma_{g.vr.1} := -1.1 \text{ MPa} \quad \sigma_{g.vr.2} := -1.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{g.stř.0} := -0.2 \text{ MPa} \quad \sigma_{g.stř.1} := -1.2 \text{ MPa} \quad \sigma_{g.stř.2} := -1.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{g.sp.0} := -0.4 \text{ MPa} \quad \sigma_{g.sp.1} := -1.2 \text{ MPa} \quad \sigma_{g.sp.2} := -1.2 \text{ MPa}$$

Výpočet plochy ideálního průřezu

$$A_{vr.obl.i} := A_{vr.obl.osl} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot A_{p.prov} = 146091.523 \text{ mm}^2$$

$$A_{stř.obl.i} := A_{stř.obl.osl} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot A_{p.prov} = 174629.015 \text{ mm}^2$$

$$A_{sp.obl.i} := A_{sp.obl.osl} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot A_{p.prov} = 205538.016 \text{ mm}^2$$

Výsledné napětí

$$\sigma_{cp.vr.0} := \frac{N_{pm.vr.0}}{A_{vr.obl.i}} + \sigma_{g.vr.0} = -10.046 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.vr.1} := \frac{N_{pm.vr.0}}{A_{vr.obl.i}} + \sigma_{g.vr.1} = -11.146 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.vr.2} := \frac{N_{pm.vr.0}}{A_{vr.obl.i}} + \sigma_{g.vr.2} = -11.646 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.stř.0} := \frac{N_{pm.stř.0}}{A_{stř.obl.i}} + \sigma_{g.stř.0} = -8.724 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.stř.1} := \frac{N_{pm.stř.0}}{A_{stř.obl.i}} + \sigma_{g.stř.1} = -9.724 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.stř.2} := \frac{N_{pm.stř.0}}{A_{stř.obl.i}} + \sigma_{g.stř.2} = -9.724 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.sp.0} := \frac{N_{pm.sp.0}}{A_{sp.obl.i}} + \sigma_{g.sp.0} = -7.738 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.sp.1} := \frac{N_{pm.sp.0}}{A_{sp.obl.i}} + \sigma_{g.sp.1} = -8.538 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp.sp.2} := \frac{N_{pm.sp.0}}{A_{sp.obl.i}} + \sigma_{g.sp.2} = -8.538 \text{ MPa}$$

Ztráty vlivem dotvarování

$$\Delta\sigma_{p.c.vr.0} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.vr.0}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_0 = 0 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.vr.1} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.vr.1}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_1 = 45.174 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.vr.2} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.vr.2}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_2 = 144.18 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.stř.0} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.stř.0}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_0 = 0 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.stř.1} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.stř.1}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_1 = 39.412 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.stř.2} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.stř.2}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_2 = 120.387 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.sp.0} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.sp.0}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_0 = 0 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.sp.1} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.sp.1}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_1 = 34.603 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.c.sp.2} := E_p \cdot \frac{|\sigma_{cp.sp.2}|}{E_{c.t.0}} \cdot \varphi_2 = 105.698 \text{ MPa}$$

Smrštění betonu

- vlhkost 70%
- cement typ I
- doba ošetření 3 dny
- doba vnesení zatížení 28 dní

Program Creep & Shrinkage-
smrštění v jednotlivých časech:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{shr.0} &:= 59.174 \cdot 10^{-6} \\ \varepsilon_{shr.1} &:= 113.812 \cdot 10^{-6} \\ \varepsilon_{shr.2} &:= 370.103 \cdot 10^{-6}\end{aligned}$$

ztráty vlivem smrštění - nezáleží na průřezu

$$\Delta\sigma_{p.s.0} := E_p \cdot (\varepsilon_{shr.0} - \varepsilon_{shr.0}) = 0 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.s.1} := E_p \cdot (\varepsilon_{shr.1} - \varepsilon_{shr.0}) = 10.654 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.s.2} := E_p \cdot (\varepsilon_{shr.2} - \varepsilon_{shr.0}) = 60.631 \text{ MPa}$$

Dlouhodobé ztráty

Pro čas t_0

$$\Delta\sigma_{c.r.s.vr.0} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.0} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.vr.0} + \Delta\sigma_{p.c.vr.0}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_0)} = 0.55 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c.r.s.stř.0} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.0} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.stř.0} + \Delta\sigma_{p.c.stř.0}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_0)} = 0.654 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c.r.s.sp.0} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.0} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.sp.0} + \Delta\sigma_{p.c.sp.0}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_0)} = 0.768 \text{ MPa}$$

Pro čas t_1

$$\Delta\sigma_{c.r.s.vr.1} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.1} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.vr.1} + \Delta\sigma_{p.c.vr.1}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_1)} = 58.537 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c.r.s.stř.1} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.1} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.stř.1} + \Delta\sigma_{p.c.stř.1}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_1)} = 54.326 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c.r.s.sp.1} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.1} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.sp.1} + \Delta\sigma_{p.c.sp.1}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_1)} = 50.815 \text{ MPa}$$

Pro čas t₂

$$\Delta\sigma_{c.r.s.vr.2} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.2} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.vr.2} + \Delta\sigma_{p.c.vr.2}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_2)} = 203.078 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c.r.s.stř.2} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.2} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.stř.2} + \Delta\sigma_{p.c.stř.2}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_2)} = 186.61 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c.r.s.sp.2} := \frac{\Delta\sigma_{p.s.2} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p.r.sp.2} + \Delta\sigma_{p.c.sp.2}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} \cdot (1+0) \cdot (1+0.8 \cdot \varphi_2)} = 177.135 \text{ MPa}$$

Celkové posouzení MSP

Pro čas t_0 -> čas vnesení předpětí

$$\sigma_{.0.vr.tah} := \sigma_{vr.tah} - \frac{(\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.0}) \cdot A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} = -5.442 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.0.vr.tlak} := \sigma_{vr.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.0}) \cdot A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} = -22.442 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.0.stř.tah} := \sigma_{stř.tah} - \frac{(\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.0}) \cdot A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} = -3.72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.0.stř.tlak} := \sigma_{stř.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.0}) \cdot A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} = -18.82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.0.sp.tah} := \sigma_{sp.tah} - \frac{(\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.0}) \cdot A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} = -2.333 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.0.sp.tlak} := \sigma_{sp.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.0}) \cdot A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} = -17.833 \text{ MPa}$$

Pro čas t_1 -> 100 dní

$$\sigma_{.1.vr.tah} := \sigma_{vr.tah} - \frac{(\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.1}) \cdot A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} = -4.966 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.1.vr.tlak} := \sigma_{vr.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.1}) \cdot A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} = -21.966 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.1.stř.tah} := \sigma_{stř.tah} - \frac{(\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.1}) \cdot A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} = -3.351 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.1.stř.tlak} := \sigma_{stř.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.1}) \cdot A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} = -18.451 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.1.sp.tah} := \sigma_{sp.tah} - \frac{(\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.1}) \cdot A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} = -2.041 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.1.sp.tlak} := \sigma_{sp.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.1}) \cdot A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} = -17.541 \text{ MPa}$$

Pro čas t_2 -> na konci životnosti

$$\sigma_{.2.vr.tah} := \sigma_{vr.tah} - \frac{(\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.2}) \cdot A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} = -3.778 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.2.vr.tlak} := \sigma_{vr.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.2}) \cdot A_{p.prov}}{A_{vr.obl.i}} = -20.778 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.2.stř.tah} := \sigma_{stř.tah} - \frac{(\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.2}) \cdot A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} = -2.442 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.2.stř.tlak} := \sigma_{stř.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.2}) \cdot A_{p.prov}}{A_{stř.obl.i}} = -17.542 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.2.sp.tah} := \sigma_{sp.tah} - \frac{(\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.2}) \cdot A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} = -1.304 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{.2.sp.tlak} := \sigma_{sp.tlak} - \frac{(\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.2}) \cdot A_{p.prov}}{A_{sp.obl.i}} = -16.804 \text{ MPa}$$

Posudek

$\sigma_{.t.místo.nap} < 0$ -> v průřezu musí být tlak **Vyhovuje**

$|\sigma_{.0.místo.nap}| < 0.6 \cdot f_{ck.0} = 30 \text{ MPa}$ **Vyhovuje**

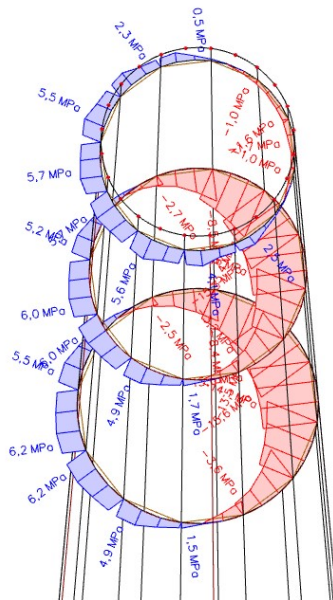
$|\sigma_{.1.místo.nap}| < 0.45 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$ **Vyhovuje**

$|\sigma_{.2.místo.nap}| < 0.45 \cdot f_{ck} = 22.5 \text{ MPa}$ **Vyhovuje**

Ověření mezních napětí od návrhového zatížení.

Návrhové svislé napětí od kombinace NFK5

Vnější svislé napětí $\sigma_y + \blacksquare$



Největší svislý tah na vnějším povrchu

$$\sigma_{vr.tah.ex} := 5.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.ex} := 6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah.ex} := 6.2 \text{ MPa}$$

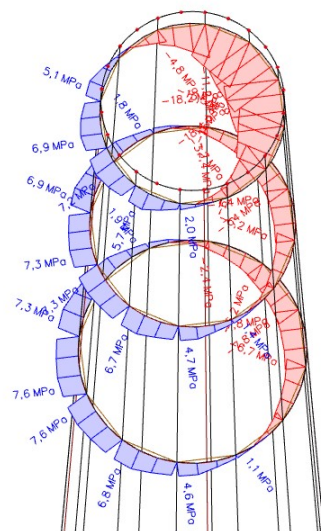
Největší svislý tlak na vnějším povrchu

$$\sigma_{vr.tlak.ex} := -1.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tlak.ex} := -15.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tlak.ex} := -15.6 \text{ MPa}$$

Vnitřní svislé napětí $\sigma_y - \blacksquare$



Největší svislý tah na vnitřním povrchu

$$\sigma_{vr.tah.in} := 7.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.in} := 7.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah.in} := 7.6 \text{ MPa}$$

Největší svislý tlak na vnitřním povrchu

$$\sigma_{vr.tlak.in} := -18.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tlak.in} := -7.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tlak.in} := -7.8 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí :

$$\sigma_{vr.tah} := \max(\sigma_{vr.tah.ex}, \sigma_{vr.tah.in}) = 7.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah} := \max(\sigma_{stř.tah.ex}, \sigma_{stř.tah.in}) = 7.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah} := \max(\sigma_{sp.tah.ex}, \sigma_{sp.tah.in}) = 7.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{vr.tlak} := \min(\sigma_{vr.tlak.ex}, \sigma_{vr.tlak.in}) = -18.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tlak} := \min(\sigma_{stř.tlak.ex}, \sigma_{stř.tlak.in}) = -15.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tlak} := \min(\sigma_{sp.tlak.ex}, \sigma_{sp.tlak.in}) = -15.6 \text{ MPa}$$

Průřezové vlastnosti Ideální průřez

$$\begin{aligned}\text{Ve vrcholu} & A_{vr.obl.i} = 146091.523 \text{ mm}^2 \\ \text{Uprostřed} & A_{stř.obl.i} = 174629.015 \text{ mm}^2 \\ \text{Ve spod} & A_{sp.obl.i} = 205538.016 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Síla v předpínacím kabelu v čase T2

$$N_{p.vr} := \frac{(\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.2})}{\gamma_p} \cdot A_{p.prov} = 1223.992 \text{ kN}$$

$$N_{p.stř} := \frac{(\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.2})}{\gamma_p} \cdot A_{p.prov} = 1264.68 \text{ kN}$$

$$N_{p.sp} := \frac{(\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.2})}{\gamma_p} \cdot A_{p.prov} = 1295.649 \text{ kN}$$

Výsledné napětí v konstrukci

$$\sigma_{vr.tah.náv} := \sigma_{vr.tah} - \frac{N_{p.vr}}{A_{vr.obl.i}} = -1.178 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tah.náv} := \sigma_{stř.tah} - \frac{N_{p.stř}}{A_{stř.obl.i}} = 0.058 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tah.náv} := \sigma_{sp.tah} - \frac{N_{p.sp}}{A_{sp.obl.i}} = 1.296 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{vr.tlak.náv} := \sigma_{vr.tlak} - \frac{N_{p.vr}}{A_{vr.obl.i}} = -26.778 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stř.tlak.náv} := \sigma_{stř.tlak} - \frac{N_{p.stř}}{A_{stř.obl.i}} = -22.542 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp.tlak.náv} := \sigma_{sp.tlak} - \frac{N_{p.sp}}{A_{sp.obl.i}} = -21.904 \text{ MPa}$$

Posouzení

$$\sigma_{tah} := \max(\sigma_{vr.tah.náv}, \sigma_{stř.tah.náv}, \sigma_{sp.tah.náv}) = 1.296 \text{ MPa} < f_{ctd.min} = 1.508 \text{ MPa}$$

Vyhovuje- nevznikají trhliny

$$\sigma_{tlak} := \left| \min(\sigma_{vr.tlak.náv}, \sigma_{stř.tlak.náv}, \sigma_{sp.tlak.náv}) \right| = 26.778 \text{ MPa} < f_{cd} = 33.333 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení MSÚ

Stav dekomprese pro čas t_2
Na vrcholu

$$\alpha_e := \frac{E_p}{E_{cm}} = 5.27$$

$$\sigma_{p.vr.dek} := (\sigma_{pm.vr.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.vr.2}) - \alpha_e \cdot \left(\frac{N_{p.vr}}{\gamma_s \cdot A_{vr.obl.osl}} + |\sigma_{g.vr.2}| \cdot \gamma_g \right) = 968.476 \text{ MPa}$$

Uprostřed

$$\sigma_{p.stř.dek} := (\sigma_{pm.stř.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.stř.2}) - \alpha_e \cdot \left(\frac{N_{p.stř}}{\gamma_s \cdot A_{stř.obl.osl}} + |\sigma_{g.stř.2}| \cdot \gamma_g \right) = 1010.926 \text{ MPa}$$

Vespod

$$\sigma_{p.sp.dek} := (\sigma_{pm.sp.0} - \Delta\sigma_{c.r.s.sp.2}) - \alpha_e \cdot \left(\frac{N_{p.sp}}{\gamma_s \cdot A_{sp.obl.osl}} + |\sigma_{g.sp.2}| \cdot \gamma_g \right) = 1041.364 \text{ MPa}$$

Stanovení ohybové únosnosti uprostřed prvku

Odhad výšky tlačného betonu

Přetvoření předpínací výztuže

$$\varepsilon_{p.stř.dek} := \frac{\sigma_{p.stř.dek}}{E_p} = 0.005$$

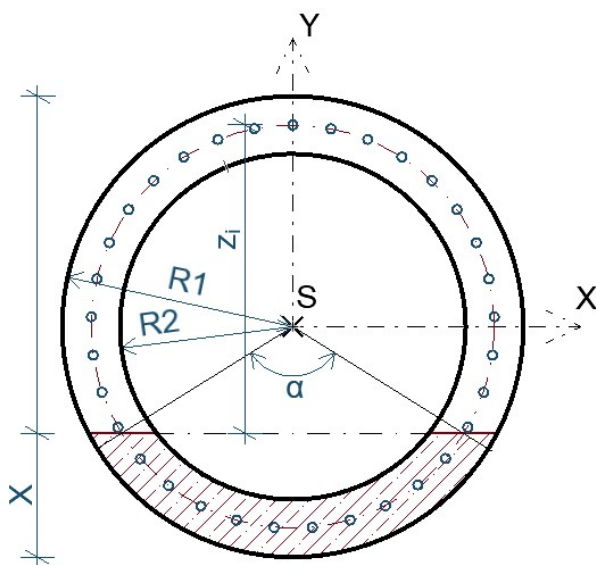
Z hypotézy o zachování rovinosti průřezu plyne:

$$\frac{\varepsilon_{cu3}}{x} = \frac{\varepsilon_{p.ud} - \varepsilon_{p.stř.dek}}{h - x - \frac{t_{stř.díl}}{2}}$$

Dopčet výšky tlačného betonu

$$x := 450.85 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon_{cu3}}{x} = 7.763 \frac{1}{\text{km}} = \frac{\varepsilon_{p.ud} - \varepsilon_{p.stř.dek}}{(d_{stř.díl} + t_{stř.díl}) - x - \frac{t_{stř.díl}}{2}} = 7.763 \frac{1}{\text{km}} \rightarrow \text{kontrola}$$



$$R1 := \frac{(d_{stř.díl} + t_{stř.díl})}{2} = 2042.25 \text{ mm}$$

$$R2 := \frac{(d_{stř.díl} - t_{stř.díl})}{2} = 1554.75 \text{ mm}$$

Úhel mezikruží

$$\alpha := \arccos\left(\frac{R1 - x}{R1}\right) \cdot 2 = 77.618 \text{ deg}$$

Plocha tlačného betonu

$$A_c := \frac{\pi \cdot R1^2}{360 \text{ deg}} \cdot \alpha - \frac{\pi \cdot R2^2}{360 \text{ deg}} \cdot \alpha = 1187752.199 \text{ mm}^2$$

Podmínka rovnováhy

$$0 < F_{c.1} + N_{pp} + \Delta F_p$$

Kde:

$$F_{c.1} = 0.8 \cdot A_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{pp} = A_p \cdot \sigma_{p.stř.dek}$$

$$\Delta F_p = \Sigma \Delta F_{pi} = \Sigma A_{pi} \cdot \Delta \sigma_{pi}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 33.333 \text{ MPa}$$

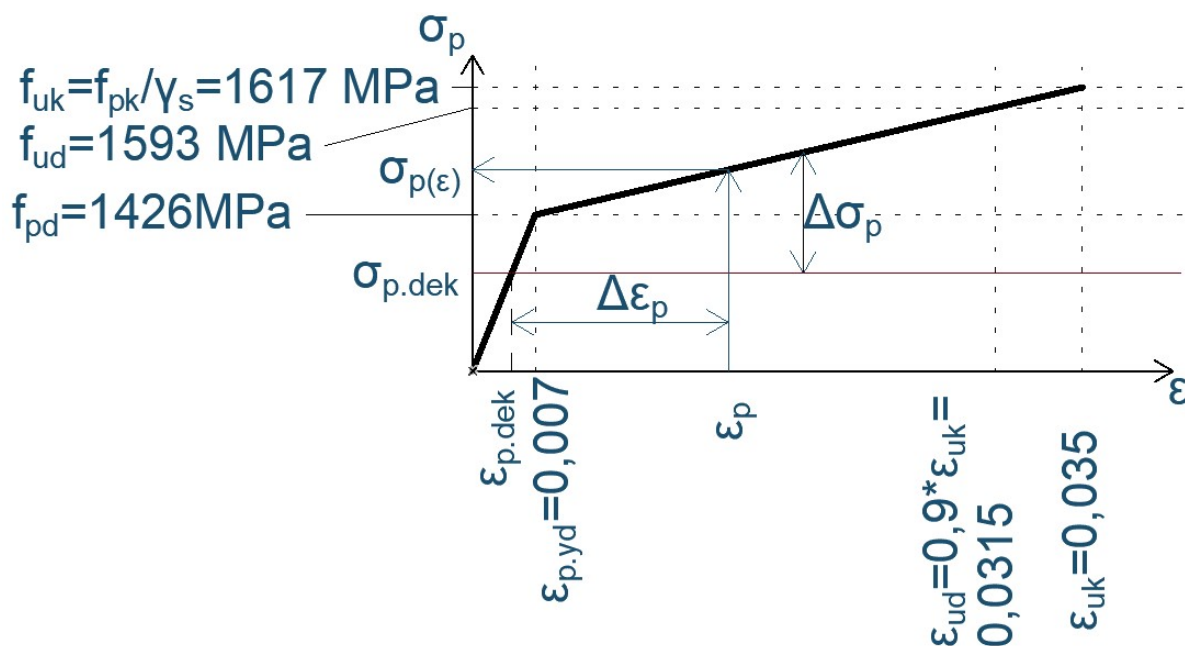
Rozdíl napětí pro krajní kabel:

$$\Delta \sigma_p = f_{pd} - \sigma_{p.stř.dek}$$

Ostatní kabely dopočteny z podobnosti trojúhelníku.

Pracovní diagram pro předpínací výztuž, pro výpočet napětí ve výztuži

ČSN EN 1992-1-1



$$\Delta \epsilon_p = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} \cdot z_i$$

$$\sigma_{p.\epsilon + 0.7} = f_{pd} + \frac{(f_{ud} - f_{pd})}{(\epsilon_{p.ud} - \epsilon_{p.yd})} \cdot (\Delta \epsilon_p + \epsilon_{p.dek} - \epsilon_{p.yd})$$

$$\sigma_{p.\epsilon - 0.7} = (\epsilon_{p.dek} + \Delta \epsilon_p) \cdot E_p$$

$$\Delta \sigma_p = \sigma_{p.\epsilon} - \sigma_{p.dek}$$

Tabulka výpočtů tahových sil v předpínací výztuži

ID kabel	z_i [mm]	$A_{p,prov,i}$ [mm ²]	$\Delta\varepsilon_p$	$\sigma_{p(\varepsilon)}$	$\Delta\sigma_{pi}$ [MPa]	F_{pi} [N]	$F_{pi} \cdot z_i$ [Nmm]
1	3389,900	1200	0,026316	1593,00	582,08	698 492	2 367 818 730
2	3355,342	1200	0,026048	1591,17	580,25	696 298	2 336 317 564
3	3252,997	1200	0,025253	1585,76	574,83	689 799	2 243 914 344
4	3086,798	1200	0,023963	1576,96	566,04	679 246	2 096 693 739
5	2863,132	1200	0,022227	1565,13	554,20	665 043	1 904 105 252
6	2590,593	1200	0,020111	1550,71	539,78	647 737	1 678 022 802
7	2279,656	1200	0,017697	1534,25	523,33	627 993	1 431 607 459
8	1942,270	1200	0,015078	1516,40	505,47	606 569	1 178 120 725
9	1591,400	1200	0,012354	1497,83	486,91	584 289	929 837 620
10	1240,530	1200	0,009630	1479,27	468,34	562 009	697 189 228
11	903,144	1200	0,007011	1461,41	450,49	540 585	488 226 393
12	592,207	1200	0,004597	1444,96	434,03	520 841	308 445 772
13	319,668	1200	0,002482	1430,54	419,61	503 535	160 964 335
14	96,002	1200	0,000745	1156,25	145,33	174 394	16 742 161
15	-70,197	1200	-0,000545	904,66	-106,27	127 518	8 951 445
16	-172,542	1200	-0,001339	749,73	-261,20	313 435	54 080 803
17	-207,100	1200	-0,001608	697,42	-313,51	376 211	77 913 376
18	-172,542	1200	-0,001339	749,73	-261,20	313 435	54 080 803
19	-70,197	1200	-0,000545	904,66	-106,27	127 518	8 951 445
20	96,002	1200	0,000745	1156,25	145,33	174 394	16 742 161
21	319,668	1200	0,002482	1430,54	419,61	503 535	160 964 335
22	592,207	1200	0,004597	1444,96	434,03	520 841	308 445 772
23	903,144	1200	0,007011	1461,41	450,49	540 585	488 226 393
24	1240,530	1200	0,009630	1479,27	468,34	562 009	697 189 228
25	1591,400	1200	0,012354	1497,83	486,91	584 289	929 837 620
26	1942,270	1200	0,015078	1516,40	505,47	606 569	1 178 120 725
27	2279,656	1200	0,017697	1534,25	523,33	627 993	1 431 607 459
28	2590,593	1200	0,020111	1550,71	539,78	647 737	1 678 022 802
29	2863,132	1200	0,022227	1565,13	554,20	665 043	1 904 105 252
30	3086,798	1200	0,023963	1576,96	566,04	679 246	2 096 693 739
31	3252,997	1200	0,025253	1585,76	574,83	689 799	2 243 914 344
32	3355,342	1200	0,026048	1591,17	580,25	696 298	2 336 317 564
					$\Sigma=$	15 695 168	33 308 193 519

$$\Delta F_p := 15695.168 \text{ kN}$$

$$\Sigma \Delta M F_{pi} := 33308.193 \text{ kN} \cdot m$$

Podmínka rovnováhy

$$-0.8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + x_{\text{čast}} \cdot A_{p,prov} \cdot \sigma_{p.stř.dek} + \Delta F_p = 22841.324 \text{ kN} = 0$$

Nevyhovuje

Nutné přepočítat výšku tlačené oblasti a tím i přetvoření výztuže.

Skutečná výška tlačného betonu. $x := 1041.3518 \text{ mm}$

Úhel mezikruží $\alpha := \arccos\left(\frac{R1 - x}{R1}\right) \cdot 2 = 121.306 \text{ deg}$

Plocha tlačného betonu $A_c := \frac{\pi \cdot R1^2}{360 \text{ deg}} \cdot \alpha - \frac{\pi \cdot R2^2}{360 \text{ deg}} \cdot \alpha = 1856288.912 \text{ mm}^2$

Tabulka výpočtů tahových sil v předpínací výztuži

ID kabel	z_i [mm]	$A_{p,prov,i}$ [mm ²]	$\Delta\varepsilon_p$	$\sigma_{p(\varepsilon)}$	$\Delta\sigma_{pi}$ [MPa]	F_{pi} [N]	$F_{pi} \cdot z_i$ [Nmm]
1	2799,398	1200	0,009409	1477,76	466,83	560 197	1 568 214 166
2	2764,840	1200	0,009293	1476,97	466,04	559 247	1 546 228 327
3	2662,495	1200	0,008949	1474,62	463,69	556 433	1 481 500 907
4	2496,296	1200	0,008390	1470,81	459,89	551 864	1 377 616 287
5	2272,630	1200	0,007638	1465,69	454,76	545 715	1 240 208 386
6	2000,091	1200	0,006722	1459,44	448,52	538 223	1 076 494 219
7	1689,154	1200	0,005677	1452,32	441,40	529 674	894 701 734
8	1351,768	1200	0,004543	1444,59	433,67	520 399	703 458 806
9	1000,898	1200	0,003364	1436,55	425,63	510 753	511 211 736
10	650,028	1200	0,002185	1428,52	417,59	501 107	325 733 665
11	312,642	1200	0,001051	1215,83	204,90	245 886	76 874 260
12	1,705	1200	0,000006	1012,04	1,12	1 341	2 286
13	-270,833	1200	-0,000910	833,42	-177,50	- 213 004	57 688 723
14	-494,500	1200	-0,001662	686,83	-324,09	- 388 913	192 317 564
15	-660,699	1200	-0,002221	577,91	-433,02	- 519 625	343 315 952
16	-763,044	1200	-0,002565	510,83	-500,10	- 600 117	457 915 975
17	-797,602	1200	-0,002681	488,18	-522,75	- 627 296	500 332 523
18	-763,044	1200	-0,002565	510,83	-500,10	- 600 117	457 915 975
19	-660,699	1200	-0,002221	577,91	-433,02	- 519 625	343 315 952
20	-494,500	1200	-0,001662	686,83	-324,09	- 388 913	192 317 564
21	-270,833	1200	-0,000910	833,42	-177,50	- 213 004	57 688 723
22	1,705	1200	0,000006	1012,04	1,12	1 341	2 286
23	312,642	1200	0,001051	1215,83	204,90	245 886	76 874 260
24	650,028	1200	0,002185	1428,52	417,59	501 107	325 733 665
25	1000,898	1200	0,003364	1436,55	425,63	510 753	511 211 736
26	1351,768	1200	0,004543	1444,59	433,67	520 399	703 458 806
27	1689,154	1200	0,005677	1452,32	441,40	529 674	894 701 734
28	2000,091	1200	0,006722	1459,44	448,52	538 223	1 076 494 219
29	2272,630	1200	0,007638	1465,69	454,76	545 715	1 240 208 386
30	2496,296	1200	0,008390	1470,81	459,89	551 864	1 377 616 287
31	2662,495	1200	0,008949	1474,62	463,69	556 433	1 481 500 907
32	2764,840	1200	0,009293	1476,97	466,04	559 247	1 546 228 327
					$\Sigma =$	10 681 481	20 036 275 390

$$\Delta F_p := 10681.481 \text{ kN}$$

$$\Sigma \Delta M F_{pi} := 20036.27539 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Podmínka rovnováhy

$$-0.8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + x_{\text{část}} \cdot A_{p,prov} \cdot \sigma_{p,stř.dek} + \Delta F_p = -0.009 \text{ kN} = 0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Vzdálenost težiště od kraje tlačené oblasti

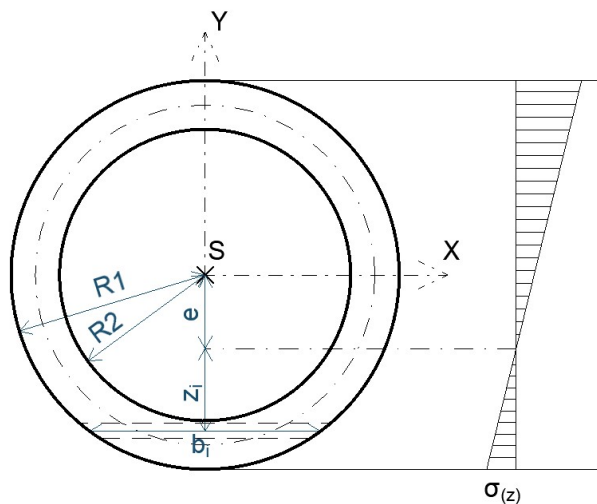
$$z_c := 0.5 \cdot x = 520.676 \text{ mm} \quad \text{-> zjednodušeně, na straně bezpečnosti}$$

Moment únosnosti

$$M_{Rd} := 0.8 \cdot A_c \cdot f_{cd} \cdot z_c + \Sigma \Delta M F_{pi} = 45810.273 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Stanovení působícího momentu
Za pomoci proužkové metody

$$M_{Ed} = \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot b_i \cdot z_i$$



$$R1 := \frac{(d_{stř.díl} + t_{stř.díl})}{2} = 2042.25 \text{ mm}$$

$$R2 := \frac{(d_{stř.díl} - t_{stř.díl})}{2} = 1554.75 \text{ mm}$$

Přírůstek napětí na 1 mm

$$\Delta\sigma := \frac{(\sigma_{stř.tah} - \sigma_{stř.tlak})}{R1 \cdot 2} = 0.006 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}}$$

excentricita

$$e := R1 - \frac{\sigma_{stř.tah}}{\Delta\sigma} = 722.92 \text{ mm}$$

ID	tl _i [mm]	z _i [mm]	b _i [mm]	σ _i [MPa]	e+z _i [mm]	G _i *b _i *(e+z _i)*tl _i
1	114,25	1262,20	959,30	6,98	1985,13	1519488851
2	114,25	1147,95	1637,82	6,35	1870,88	2223621371
3	114,25	1033,70	2083,32	5,72	1756,63	2391425639
4	114,25	919,45	2427,67	5,09	1642,38	2317486187
5	196,00	764,33	1892,92	4,23	1487,25	2333574831
6	196,00	568,33	1432,50	3,14	1291,25	1140072057
7	196,00	372,33	1240,47	2,06	1095,25	548598288
8	196,00	176,33	1130,62	0,98	899,25	194422376
9	196,00	-19,67	1061,48	-0,11	703,25	-15924215
10	196,00	-215,67	1017,15	-1,19	507,25	-120677149
11	196,00	-411,67	990,23	-2,28	311,25	-137601020
12	196,00	-607,67	977,05	-3,36	115,25	-74207801
13	196,00	-803,67	976,00	-4,45	-80,75	68690569
14	196,00	-999,67	986,98	-5,53	-276,75	296127879
15	196,00	-1195,67	1011,29	-6,62	-472,75	619934118
16	196,00	-1391,67	1052,16	-7,70	-668,75	1061954648
17	196,00	-1587,67	1116,12	-8,78	-864,75	1661830692
18	196,00	-1783,67	1216,95	-9,87	-1060,75	2497048181
19	114,25	-1938,80	3281,73	-10,73	-1215,88	4890453103
20	114,25	-2053,05	3099,39	-11,36	-1330,13	5350480550
21	114,25	-2167,30	2887,61	-11,99	-1444,38	5714281392
22	114,25	-2281,55	2639,30	-12,62	-1558,63	5933143900
					Σ=	40414,224 kNm

$$M_{Ed} := 40414.224 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

POSOUZENÍ

$$M_{Ed} = 40.414 \text{ MN} \cdot \text{m} < M_{Rd} = 45.81 \text{ MN} \cdot \text{m} \quad \text{VYHOVUJE}$$

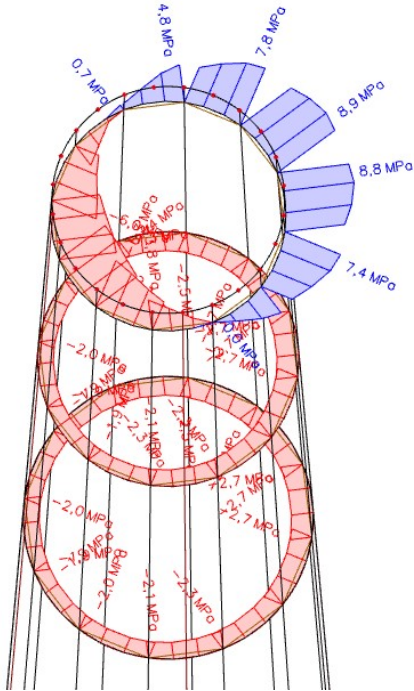
Návrh vodorovné betonářské výztuže

Návrhové vodorovné napětí od kombinace NFK5.

Zanedbáme vrchní napětí v místě připojení gondoly- vznikající extrémny budou přeneseny ocelovým prstencem.

Hlavním důvodem vzniku rozdílného vodorovného napětí po tloušťce prvku je zatížení teplotou.

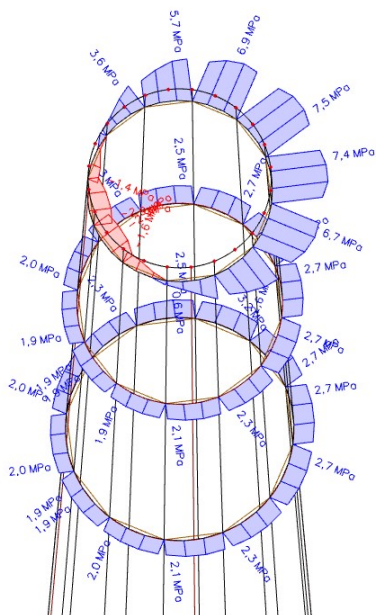
Vnější vodorovné napětí $\sigma_x +$



Max. napětí na vnějším povrchu

$$\sigma_{ex} := -2.7 \text{ MPa}$$

Vnitřní vodorovné napětí $\sigma_x -$

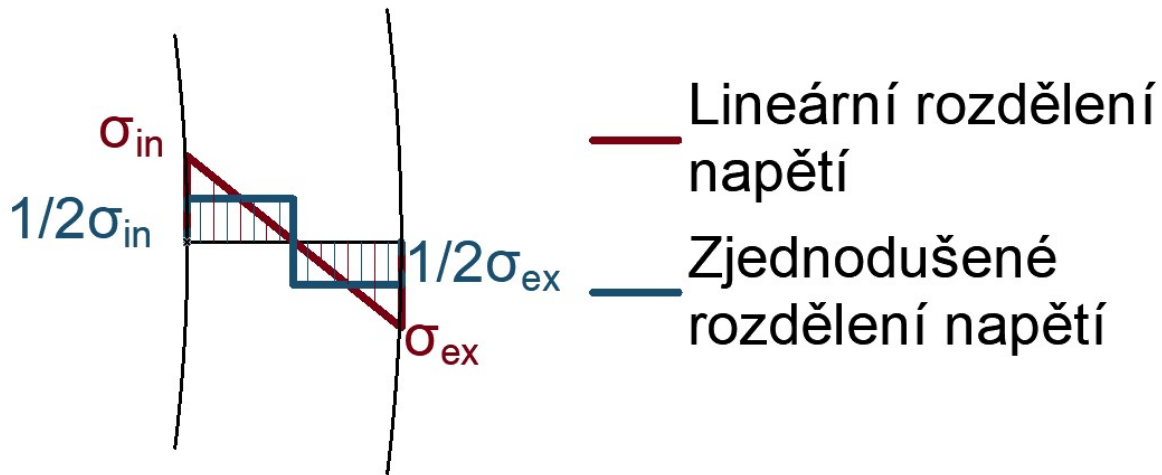


Max. napětí na vnitřním povrchu

$$\sigma_{in} := 2.7 \text{ MPa}$$

Návrh plochy výztuže budeme provádět pro metr výšky věže a tloušťka stěny bude v nejtlustším místě navrhovaného dílce.

Budeme předpokládat, že rozložení napětí po tloušťce prvku je lineární. Však při výpočtu použijeme zjednodušení, a to že napětí je konstantní ke středu stěny věže.



Návrhová plocha

$$A_{návr} := 1 \text{ m} \cdot \frac{t_{sp.díl}}{2} = 259000 \text{ mm}^2$$

Tahová síla

$$N_{tah} := \max\left(\frac{\sigma_{ex}}{2}, \frac{\sigma_{in}}{2}\right) \cdot A_{návr} = 349.65 \text{ kN}$$

Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s.req} := \frac{N_{tah}}{f_{yd}} = 804.195 \text{ mm}^2$$

Návrh výztuže u jednoho povrchu

Průměr prutu

$$\phi_{s.vod} := 14 \text{ mm}$$

Počet prutů na 1 metr

$$n_{s.vod} := 8$$

Provedená plocha výztuže

$$A_{s.prov} := n_{s.vod} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{s.vod}^2}{4} = 1231.504 \text{ mm}^2$$

Vzdálenost prutů

$$a := \frac{1 \text{ m}}{n_{s.vod}} = 125 \text{ mm}$$

Tahová únosnost navr. výztuže

$$N_s := f_{yd} \cdot A_{s.prov} = 535.437 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{tah} = 349.65 \text{ kN} < N_s = 535.437 \text{ kN}$$

$$N_{tlak} := |\min(\sigma_{ex}, \sigma_{in})| \cdot A_{návr} = 699.3 \text{ kN} < N_c := 0.8 \cdot A_{návr} \cdot f_{cd} = 6906.667 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Stanovení šířky trhliny

Napětí je vzato z časté kombinace FK5

Max. napětí na vnějším povrchu $\sigma_{ex} := -0.9 \text{ MPa}$

Max. napětí na vnitřním povrchu $\sigma_{in} := 0.9 \text{ MPa}$

Napětí ve výztuži $\sigma_s := \frac{\max\left(\frac{\sigma_{ex}}{2}, \frac{\sigma_{in}}{2}\right) \cdot A_{návr}}{A_{s,prov}} = 94.64 \text{ MPa}$

Součinitel závisící na době trvání zatížení $k_t := 0.6$ -> krátkodobá zatížení

Průměrná tahová pevnost betonu $f_{ct,eff} := f_{ctm} = 4.1 \text{ MPa}$

Poměr pevnosti v soudržnosti $\xi := 0.5$ -> ČSN EN 1992-1-2 TAB. 6.2

Upravený poměr pevnosti a soudržnosti $\xi_1 := \sqrt{\xi \cdot \frac{\phi_{s,vod}}{\phi_{p,1}}} = 0.668$

Plocha předpjaté výztuže ležící v průřezu $A_p' := 0 \text{ mm}^2$

Tloušťka krycí vrstvy- výpočet níže $c := 40 \text{ mm}$

Účinná tažená plocha betonu $A_{c,eff} := 1 \text{ m} \cdot \left(2.5 \cdot \left(c + \frac{\phi_{s,vod}}{2}\right)\right) = 117500 \text{ mm}^2$

Efektivní procento vyztužení $\rho_{p,eff} := \frac{(A_{s,prov} + \xi_1^2 \cdot A_p')}{A_{c,eff}} = 0.01$

$\varepsilon_m = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$
 $\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.405$
 $\varepsilon_m := \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} = -0.001 \quad \square \geq \square \quad 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0 \quad -> \quad \varepsilon_m := 0$

Souč. zohledňující vlastnosti soudržné výztuže $k_1 := 0.8$

Souč. zohledňující rozdělení poměrného přetvoření $k_2 := 0.5$

Souč. zjednodušeně dle normy $k_3 := 3.4 \quad k_4 := 0.425$

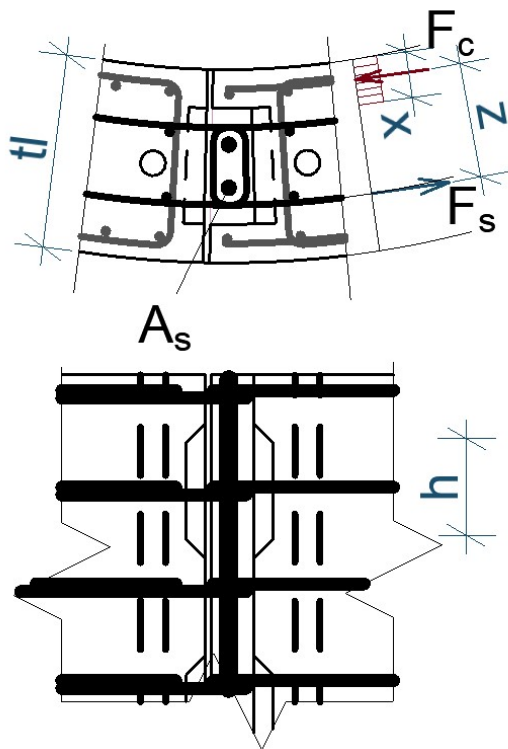
Maximální vzdálenost trhliny $s_{r,max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{s,vod}}{\rho_{p,eff}} = 363.08 \text{ mm}$

Šířka trhliny $w_k := s_{r,max} \cdot \varepsilon_m = 0 \text{ mm}$

Trhliny v průřezu nevznikají

Posouzení svislého spoje

Výpočet proveden na jeden stříh tedy na oblast mezi výztužemi.



Oblast mezi výztužemi

$$h := 125 \text{ mm}$$

Plocha jednoho prutu výztuže

$$A_s := \pi \cdot \frac{\phi_{s.vod}^2}{4} = 153.938 \text{ mm}^2$$

Stanovení momentu působícího na konstrukci

$$M_{Ed} := \sigma_{in} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{t_{vr.díl}}{2} \cdot h \right) \cdot \frac{2}{3} \cdot t_{vr.díl} = 3.916 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Podmínka rovnováhy

$$F_c = F_s \quad \rightarrow \quad 0.8 \cdot h \cdot x \cdot f_{cd} = A_s \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Výška tlačného betonu

$$x := \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot h \cdot f_{cd}} = 11.593 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$M_{Rd} := A_s \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \cdot (t_{vr.díl} - 120 \text{ mm} - 0.4 \cdot x) = 12.843 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Posouzení $M_{Ed} = 3.916 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{Rd} = 12.843 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Vyhovuje

Konstrukční zásady

Dodržení konstrukčních zásad je dle normy ČSN EN 1998-6- Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení- Věže, stožáry a komíny
Minimální plocha výztuže bude uvažována na 1 metr.

Svislé vyztužení

$$A_{s.svis.min} := 0.003 \cdot (1 \text{ m} \cdot t_{sp.díl}) = 1554 \text{ mm}^2$$

Návrh svislé výztuže oba povrchy

Průměr prutu $\phi_{s.svis} := 12 \text{ mm}$

Počet prutů $n_{s.svis} := 14$

Vzdálenost prutů $a_{svis} := \frac{1 \text{ m}}{\frac{n_{s.svis}}{2}} = 142.857 \text{ mm}$

Plocha provedené výztuže $A_{s.prov.svis} := n_{s.svis} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{s.svis}^2}{4} = 1583.363 \text{ mm}^2$

Vodorovná výztuž Vyhovuje

$$A_{s.vod.min} := 0.0025 \cdot (1 \text{ m} \cdot t_{sp.díl}) = 1295 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.prov.vod} := A_{s.prov} \cdot 2 = 2463.009 \text{ mm}^2 \quad \text{Vyhovuje}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s.max} := 0.04 \cdot (1 \text{ m} \cdot t_{sp.díl}) = 20720 \text{ mm}^2 \quad \text{Vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost prutů

Svislé pruty $a_{svis.max} := 250 \text{ mm}$

Vodorovné pruty $a_{vod.max} := 200 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$

Minimální vzdálenost prutů

maximální zrno kameniva $D_{max} := 16 \text{ mm}$

$$a_{svět.min} := \max(1.2 \cdot \max(\phi_{s.vod}, \phi_{s.svis}), D_{max} + 5 \text{ mm}, 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Kotevní a přesahová délka

Průměr prutu $\phi_s := \phi_{s.svis} = 12 \text{ mm}$ $\sigma_{sd} := f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$

Součinitel pro špatné podmínky soudržnosti $\eta_1 := 0.7$

Součinitel průměru prutu $\eta_2 := 1$

Mezní napětí v soudržnosti $f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.045 \text{ MPa}$

Základní kotevní délka $l_{b.rqd} := \frac{\phi_s}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = 428.357 \text{ mm}$

zjednodušení $\alpha_1 := 1$ $\alpha_2 := 1$ $\alpha_3 := 1$ $\alpha_4 := 1$ $\alpha_5 := 1$

Návrhová kotevní délka $l_{bd} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b.rqd} = 428.357 \text{ mm}$

Minimální kotevní délka $l_{b.min} := \max(0.6 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi_s, 100 \text{ mm}) = 257.014 \text{ mm}$

zjednodušení $\alpha_6 := 1.5$

Návrhová přesahová délka $l_0 := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd} = 642.536 \text{ mm}$

Minimální přesahová délka $l_{0.min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, 15 \cdot \phi_s, 200 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$

Průměr prutu $\phi_s := \phi_{s.vod} = 14 \text{ mm}$ $\sigma_{sd} := f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$

Součinitel pro špatné podmínky soudržnosti $\eta_1 := 0.7$

Součinitel průměru prutu $\eta_2 := 1$

Mezní napětí v soudržnosti $f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.045 \text{ MPa}$

Základní kotevní délka $l_{b.rqd} := \frac{\phi_s}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = 499.75 \text{ mm}$

zjednodušení $\alpha_1 := 1$ $\alpha_2 := 1$ $\alpha_3 := 1$ $\alpha_4 := 1$ $\alpha_5 := 1$

Návrhová kotevní délka $l_{bd} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b.rqd} = 499.75 \text{ mm}$

Minimální kotevní délka $l_{b.min} := \max(0.6 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi_s, 100 \text{ mm}) = 299.85 \text{ mm}$

zjednodušení $\alpha_6 := 1.5$

Návrhová přesahová délka $l_0 := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd} = 749.625 \text{ mm}$

Minimální přesahová délka $l_{0.min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, 15 \cdot \phi_s, 200 \text{ mm}) = 224.888 \text{ mm}$

Výpočet krycí vrstvy- betonářská výztuž
Stupně vlivu prostředí- XC3; XD1; XF1
- minimální třída betonu = C30/37
Skutečná třída betonu = C50/60 -> VYHOVUJE

ČSN EN 1992-1-1

Základní třída konstrukce - S4
Pevnostní třída = zmenšit třídu o 1
Návrhová třída konstrukce - S3

Minimální krycí vrstva z hlediska trvanlivosti $c_{min.dur} := 30 \text{ mm}$

Minimální krycí vrstva c_{min}
 $c_{min.b} := \max(\phi_{s.vod}, \phi_{s.svis}) = 14 \text{ mm}$

Přídavek z hlediska spolehlivosti $\Delta c_{dur.\gamma} := 0$
Redukce při použití nerez. oceli $\Delta c_{dur.st} := 0$
Redukce při použití dodatečné ochrany $\Delta c_{dur.add} := 0$

$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur} + \Delta c_{dur.\gamma} - \Delta c_{dur.st} - \Delta c_{dur.add}, 10 \text{ mm}) = 30 \text{ mm}$

Nominální krycí vrstva c_{nom}

přídavek na návrhovou odchylku $\Delta c_{def} := 10 \text{ mm}$

$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{def} = 40 \text{ mm}$