

**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

**P3 – STATICKÝ VÝPOČET**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Hana Jakubcová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MICHAL POŽÁR, Ph.D.**

**BRNO 2022**

# OBSAH

1. ZATÍŽENÍ	3
1.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ	3
1.2 ZATÍŽENÍ VE SCIA Engineer	7
1.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ	12
2. VAZNICE	13
2.1 VÝPOČTOVÝ MODEL	13
2.2 ZATÍŽENÍ VAZNICE	13
2.3 VNITŘNÍ SÍLY	13
2.4 MATERIÁL	13
2.5 POSOUZENÍ VAZNICE	14
3. VAZNÍK	16
3.1 GEOMETRIE	16
3.2 ZATÍŽENÍ	17
3.3 MOMENTY OD ZATÍŽENÍ	19
3.4 NÁVRH PŘEDPĚTÍ	21
3.5 VÝPOČET ZTRÁT PŘEDPĚTÍ OKAMŽITÉ ZTRÁTY	27
3.6 DLOUHODOBÉ ZTRÁTY	31
3.7 MEZNÍ STAVY OMEZENÍ NPĚTÍ A KONTROLY TRHLIN V BETONU	35
3.8 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI PŘI PRUŠENÍ MOMENTEM A NORMÁLOVOU SILOU	37
3.9 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI PŘI PRUŠENÍ SMYKOVOU SILOU	39
3.10 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ	41
3.11 KONTROLA OHYBOVÉHO MOMENTU PŘI PŘEPRAVĚ A SKLADOVÁNÍ	43
4. SLOUP	45
4.1 MATERIÁLY	45
4.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU	45
4.3 ZATÍŽENÍ	46
4.4 PATA SLOUPU VE SMĚRU RÁMU	47
4.5 PATA SLOUPU VE SMĚRU KOLMO NA RÁM	52
4.6 POSOUZENÍ NA SMYK	56
4.7 HORNÍ ČÁST SLOUPU VE SMĚRU RÁMU	57
4.8 HORNÍ ČÁST SLOUPU VE SMĚRU KOLM NA RÁM	61
4.9 NÁVRH KONZOLI JEŘÁBOVÉ DRÁHY	65
4.10 POSOUZENÍ NA OHYB PŘI MANIPULACI	67
4.11 POSOUZENÍ NA SMYK PŘI MANIPULACI	69
4.12 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ	70
5. ZTUŽIDLO	73
5.1 MATERIÁLY	73
5.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU	73
5.3 VNITŘNÍ SÍLY	74
5.4 POSOUZENÍ NA OHYB	75
5.5 POSOUZENÍ NA SMYK	78
5.6 OZUB ZTUŽIDLA	79

5.7 POSOUZENÍ NA OHYB PŘI MANIPULACI	81
5.8 POSOUZENÍ NA SMYK PŘI MANIPULACI	82
6.9 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ	83
6. ZÁKLADOVÝ NOSNÍK	86
6.1 MATERIÁLY	86
6.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU	86
6.3 VNITŘNÍ SÍLY	87
6.4 POSOUZENÍ NA OHYB	88
6.5 POSOUZENÍ NA SMYK	92
6.6 OZUB ZÁKLADOVÉH NOSÍKU	92
6.7 POSOUZENÍ NA OHYB PŘI MANIPULACI	94
6.8 POSOUZENÍ NA SMYK PŘI MANIPULACI	95
6.9 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ	96
7. KALICH	99
7.1 MATERIÁLY	99
7.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU	99
7.3 ZATÍŽENÍ	100
7.4 POSOUZENÍ ZÁKLADOVÉ PATKY	100
7.5 MANIPULAČNÍ ÚCHYTY	106

# 1. ZATÍŽENÍ

## 1.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

### VLASTÍ TÍHA

Automaticky vygenerováno v software SCIA Engineer

### ZATÍŽENÍ OD STŘECHY

Panel KS 1000 X-DEK	0,214 kN/m <sup>2</sup>
Ocelové IPE 220	0,262 kN/m <sup>2</sup>

### ZATÍŽENÍ OD JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Profil JD HEB450 + 2x L100/10 z oceli S355.

Zatížení bylo spočítáno firmou ITECO

Výsledky i technické listy jeřábů jsou přiloženy v podkladech.

### ZTÍŽENÍ OBVODOVÝM PLÁŠTĚM

PANEL KS 1150 TL	0,126kN kN/m <sup>3</sup>
------------------	---------------------------

### UŽITNÉ ZATÍŽENÍ STŘECHY

$$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

### ZATÍŽENÍ VĚTREM

Větrná oblast	III
$v_{b,0}$	27,5 m/s
Kategorie terénu	III
$z_0$	0,3 m

### Základní rychlost větru

$$c_{dir}, c_{season} = 1$$

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$$

### Střední rychlost větru

$$z_e = b \quad 12,15 \text{ m} \quad z_e = h \quad 13,4 \text{ m}$$

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b = 21,924 \text{ m/s} \quad v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b = 22,504 \text{ m/s}$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,797$$

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

$$c_o(z) = 1$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,81831$$

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

$$c_o(z) = 1$$

$$z_{\min} = 5\text{m} < z < z_{\max} = 200\text{m}$$

Turbulence větru

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = 0,270$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = 0,263$$

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l = 5,923$$

$$k_l = 1$$

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * 0,5 * \rho * v_m^2(z) =$$

$$q_p(12,15) = 0,869 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(13,4) = 0,900 \text{ kN/m}^2$$

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

Zatížení větrem působí na konstrukci ze dvou stran.

Součinitel vnějšího tlaku  $c_{pe}$

Tlak větru na stěchu (delší strana)

$$b = 40,5 \text{ m}$$

$$d = 12,15 \text{ m}$$

$$e = \min \{l; 2 * h\} = 26,8 \text{ m}$$

$$e/2 = 13,4 \text{ m}$$

$$e/4 = 6,7 \text{ m}$$

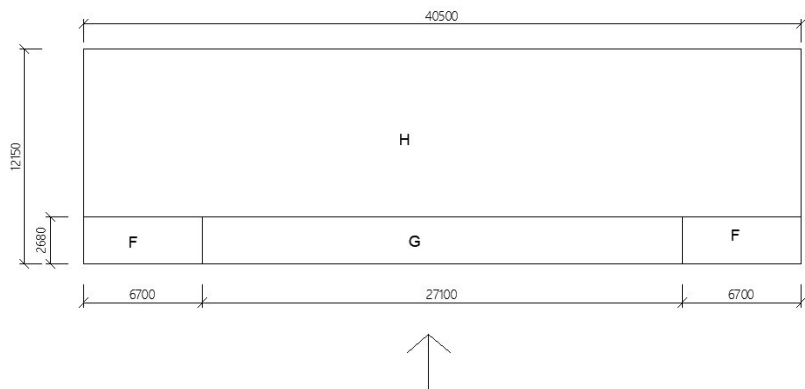
$$e/10 = 2,68 \text{ m}$$

plochy oblastí střechy:

$$F = 17,956 \text{ m}^2$$

$$G = 72,628 \text{ m}^2$$

$$H = 383,535 \text{ m}^2$$



všechny oblasti mají plochu větší než  $10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

$$c_{pe,10F} = -1,8 \quad W_{eF} = -1,619 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10G} = -1,2 \quad W_{eG} = -1,080 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10H} = -0,7 \quad W_{eH} = -0,630 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na stěchu (kratší strana)

$b = 12,15 \text{ m}$

$d = 40,5 \text{ m}$

$e = \min \{l; 2 \cdot h\} = 12,15 \text{ m}$

$e/2 = 6,075 \text{ m}$

$e/4 = 3,0375 \text{ m}$

$e/10 = 1,215 \text{ m}$

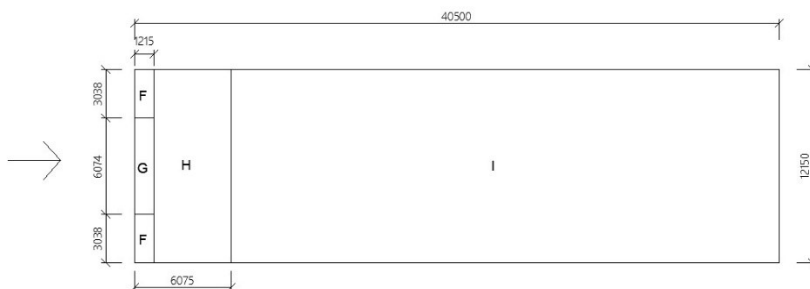
plochy oblastí střechy:

$F = 3,69056 \text{ m}^2$

$G = 7,38113 \text{ m}^2$

$H = 59,049 \text{ m}^2$

$I = 418,264 \text{ m}^2$



oblasti F a G mají neší plochu jak  $10 \text{ m}^2$

$c_{pe,1F} = -2,5$

$c_{pe,10F} = -1,8$   $c_{peF} = -2,1$   $W_{eF} = -1,619 \text{ kN/m}^2$

$c_{pe,1G} = -2$

$c_{pe,10G} = -1,2$   $c_{peG} = -1,3$   $W_{eG} = -1,175 \text{ kN/m}^2$

$c_{pe,10H} = -0,7$   $W_{eH} = -0,630 \text{ kN/m}^2$

$c_{pe,10I} = -0,2$   $W_{eI} = -0,180 \text{ kN/m}^2$

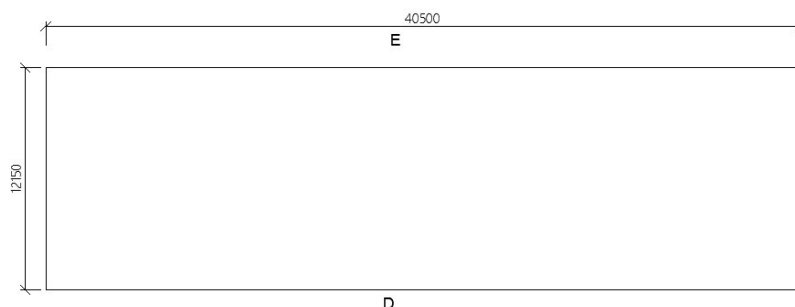
Tlak větru na stěnu (delší strana)

$b = 40,5 \text{ m}$

$d = 12,15 \text{ m}$

$e = \min \{l; 2 \cdot h\} = 26,8 \text{ m}$

$e/5 = 5,36 \text{ m}$



plochy oblastí stěn:

$A = 71,824 \text{ m}^2$

$B = 470,876 \text{ m}^2$

$D = E = 542,7 \text{ m}^2$

všechny oblasti mají plochu větší než  $10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

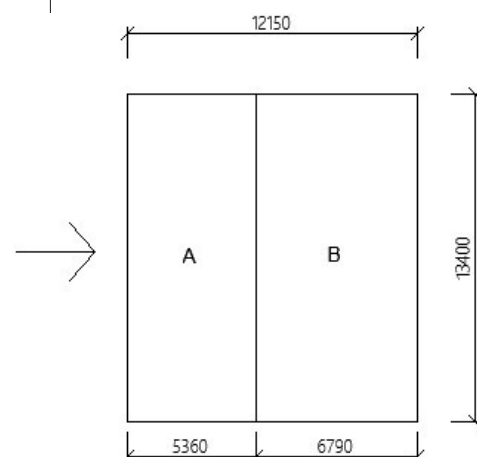
$h/d = 1,10288$

$c_{pe,10A} = -1,2$   $W_{eA} = -1,042 \text{ kN/m}^2$

$c_{pe,10B} = -1,38$   $W_{eB} = -1,199 \text{ kN/m}^2$

$c_{pe,10D} = 0,8$   $W_{eD} = 0,695 \text{ kN/m}^2$

$c_{pe,10E} = -0,505$   $W_{eE} = -0,439 \text{ kN/m}^2$



Tlak větru na stěnu (kratší strana)

$$b = 12,15 \text{ m}$$

$$d = 40,5 \text{ m}$$

$$e = \min \{l; 2 \cdot h\} = 12,15 \text{ m}$$

$$e/5 = 2,43 \text{ m}$$

$$4/5 \cdot e = 9,72 \text{ m}$$

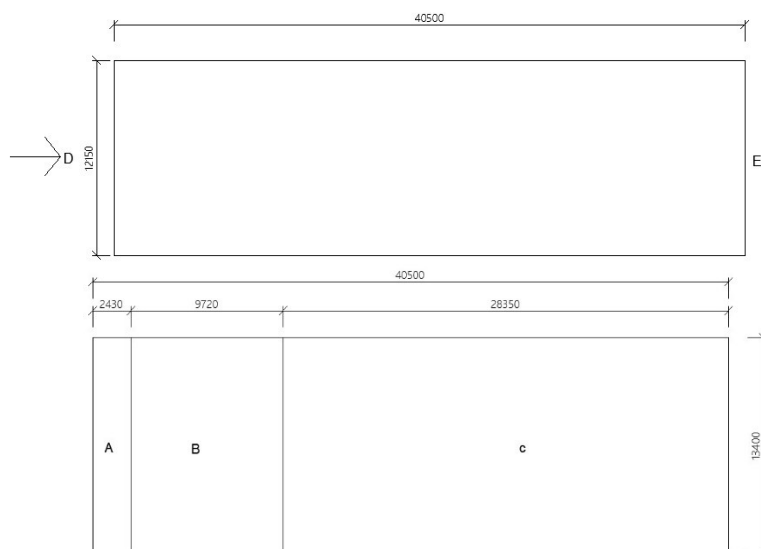
plochy oblastí stěny:

$$A = 32,562 \text{ m}^2$$

$$B = 130,248 \text{ m}^2$$

$$C = 379,89 \text{ m}^2$$

$$D = E = 162,81 \text{ m}^2$$



všechny oblasti mají plochu větší než  $10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

$$h/d = 0,33$$

$$c_{pe,10A} = -1,2 \quad W_{eA} = -1,042 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10B} = -1,5 \quad W_{eB} = -1,303 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10C} = -0,5 \quad W_{eC} = -0,434 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10D} = 0,8 \quad W_{eD} = 0,695 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe,10E} = -0,47 \quad W_{eE} = -0,408 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel vnitřního tlaku  $c_{pi}$

$$c_{pi} = 0,2 \quad W_i = 0,180 \text{ kN/m}^2$$

$$-0,3 \quad W_i = -0,270 \text{ kN/m}^2$$

**ZATÍŽENÍ SNĚHEM**

$$s = \mu * C_e * C_t * s_k = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu = 0,8$$

$$C_e = 1$$

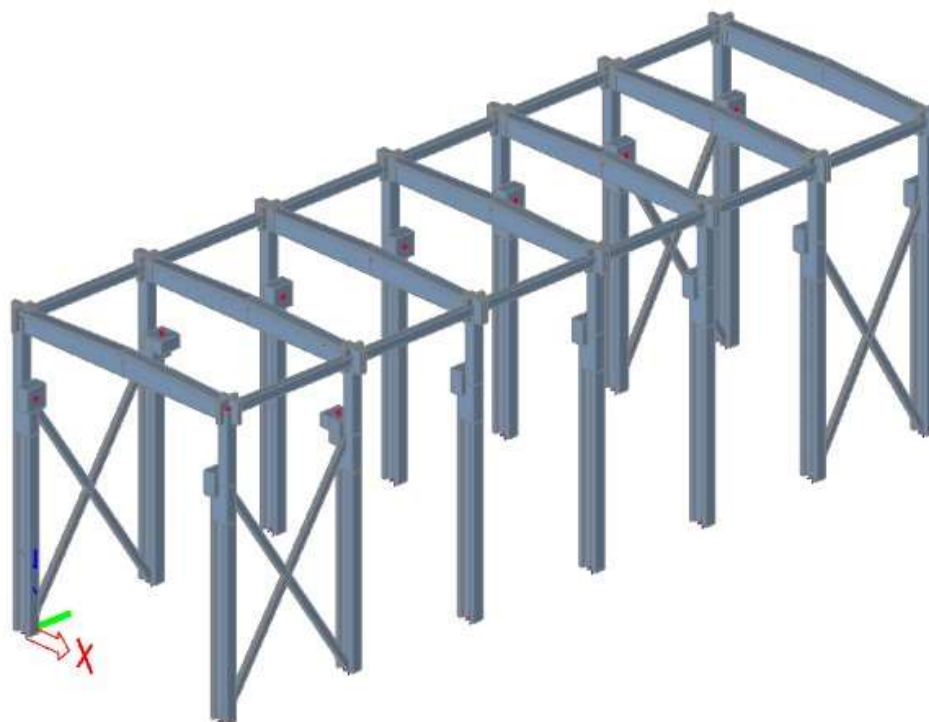
$$C_t = 1$$

sněhová oblast I

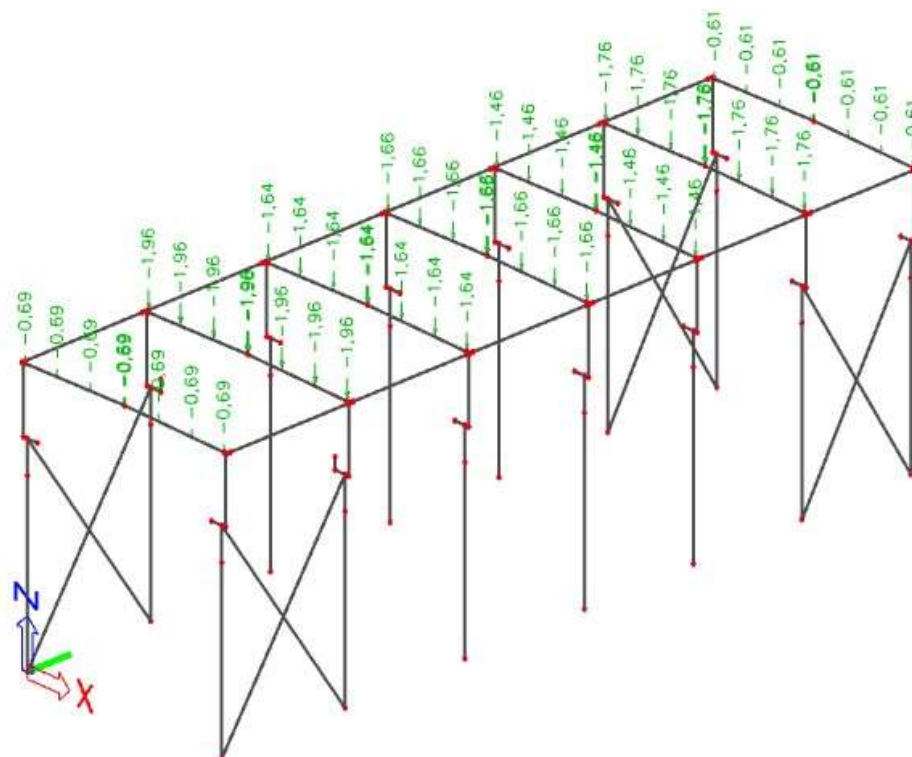
$$s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

## 1.2 ZATÍŽENÍ VE SCIA Engineer

### ZS1 - Vlastní tíha

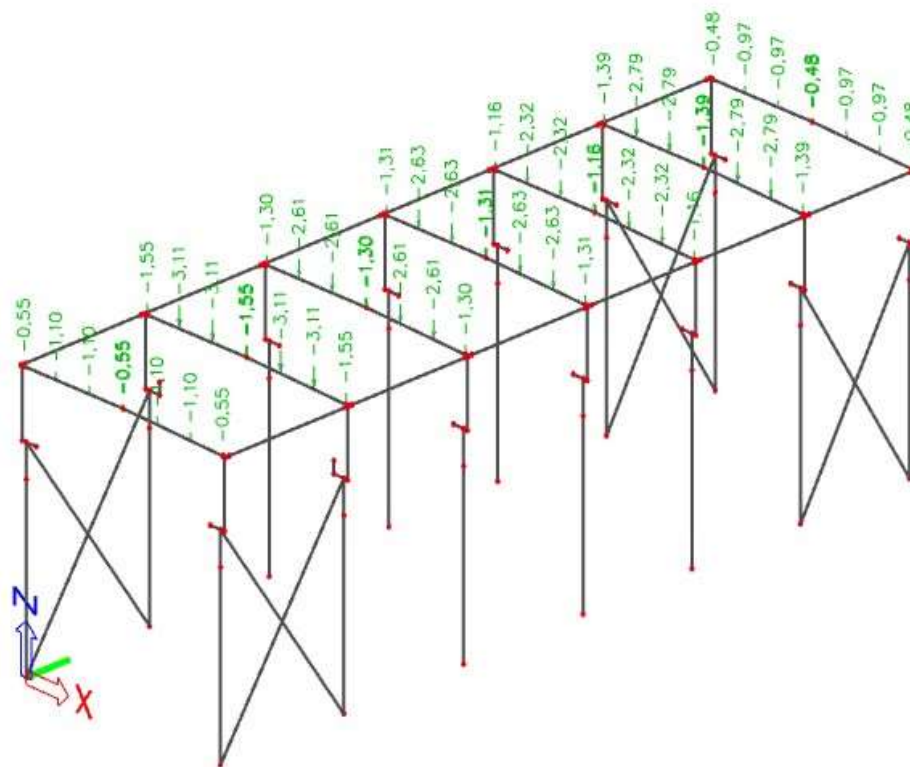


### ZS2 - Zatížení od vaznice

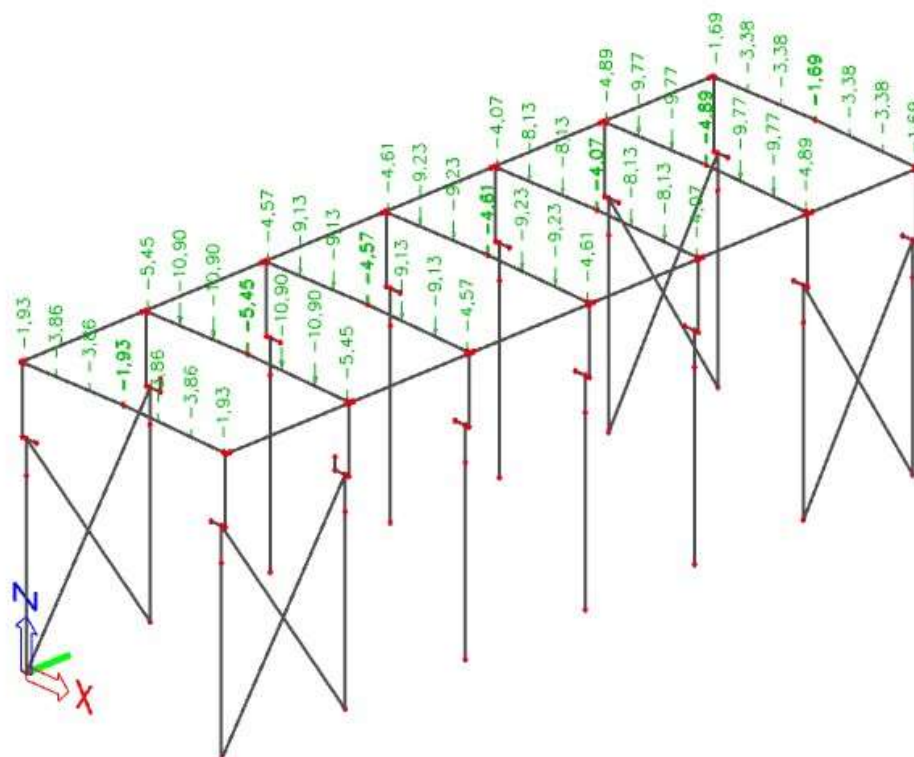




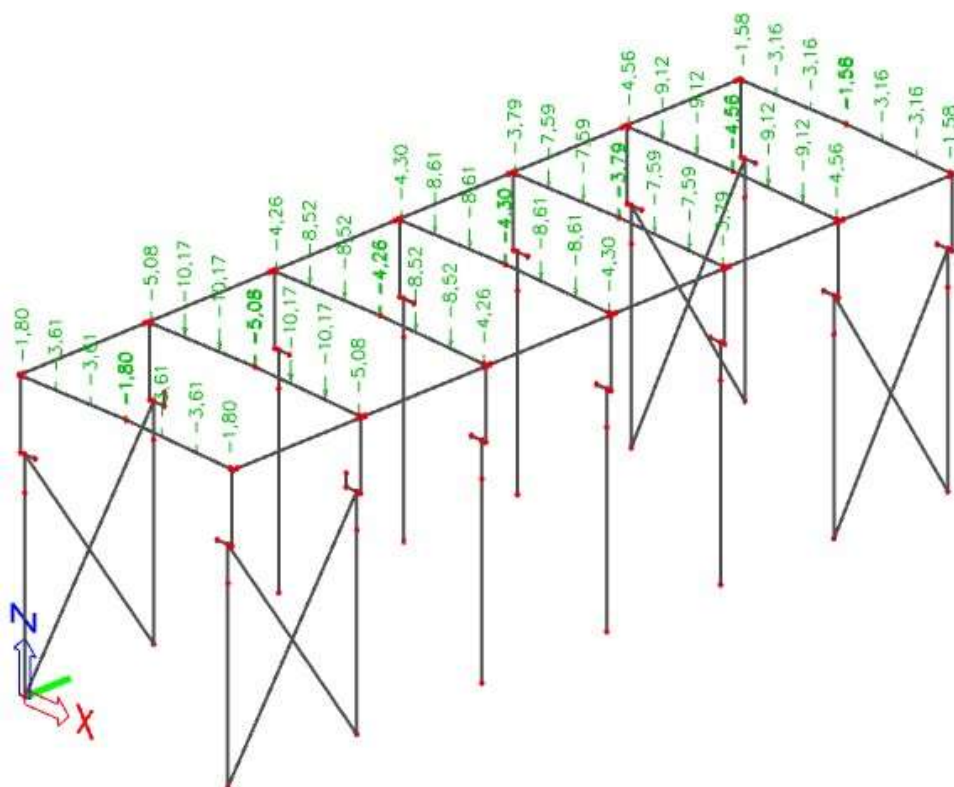
### ZS3 - Zatížení od střešních panelů



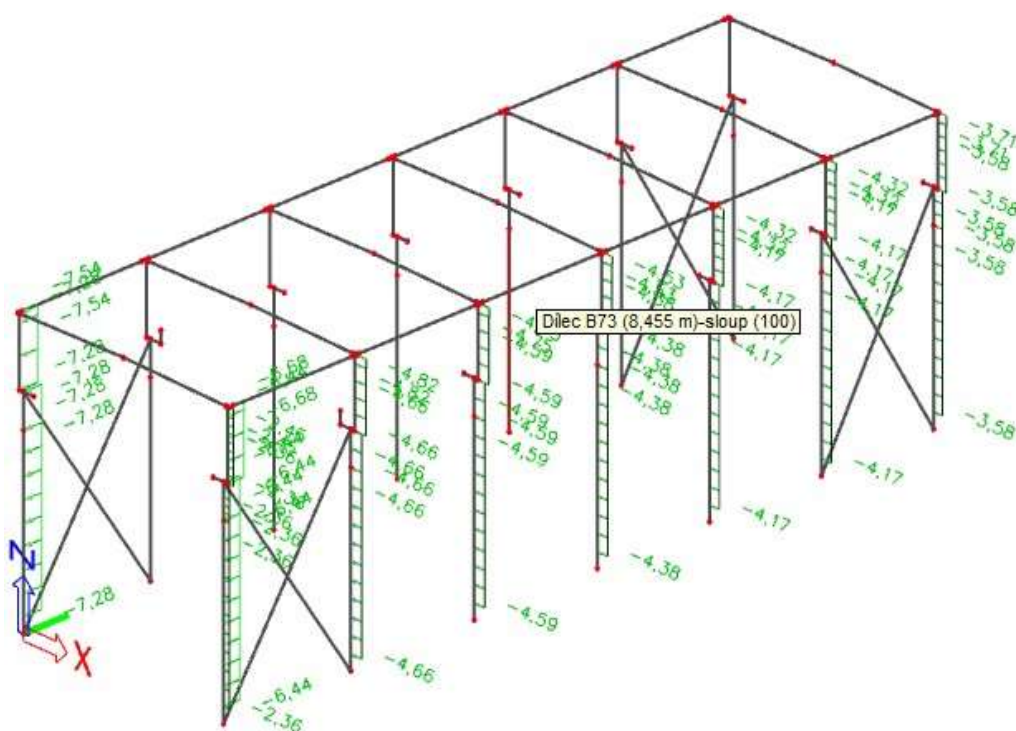
### ZS4 - Zatížení od užitého zatížení na střechu

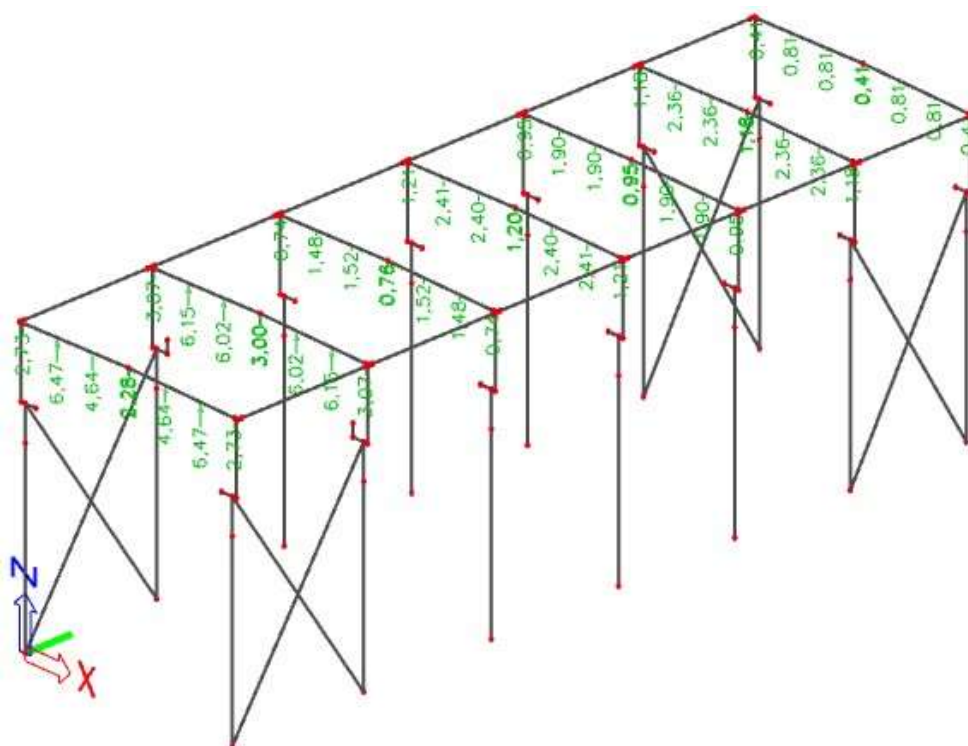


## ZS4 - Zatížení od užitého zatížení na střechu

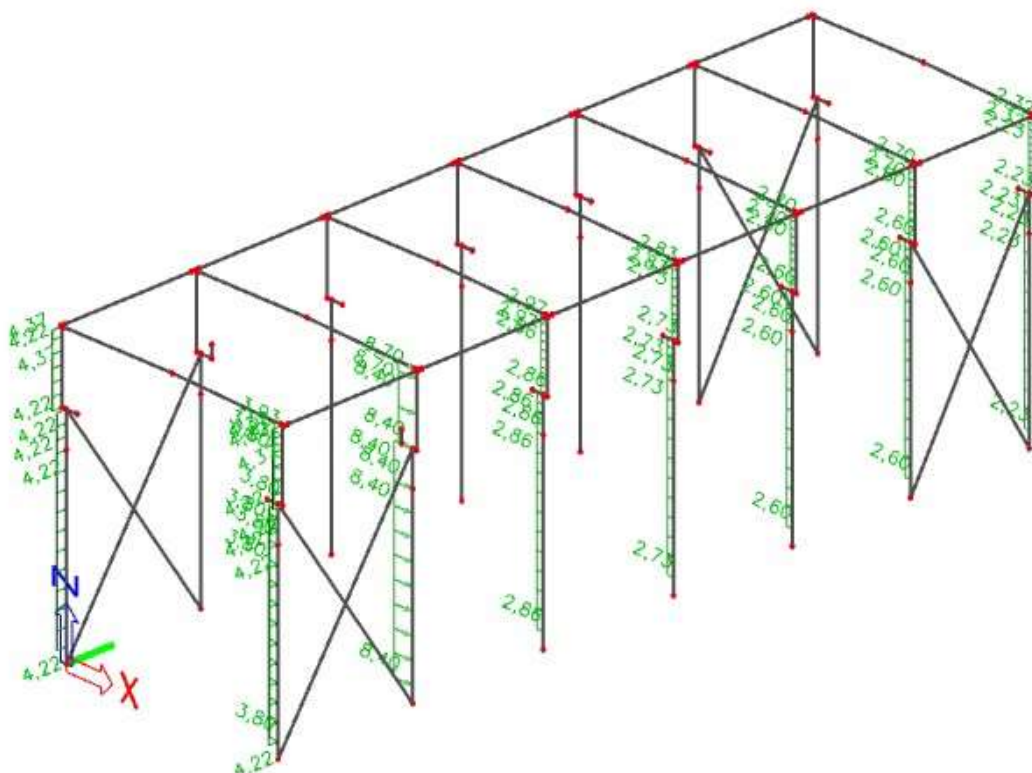


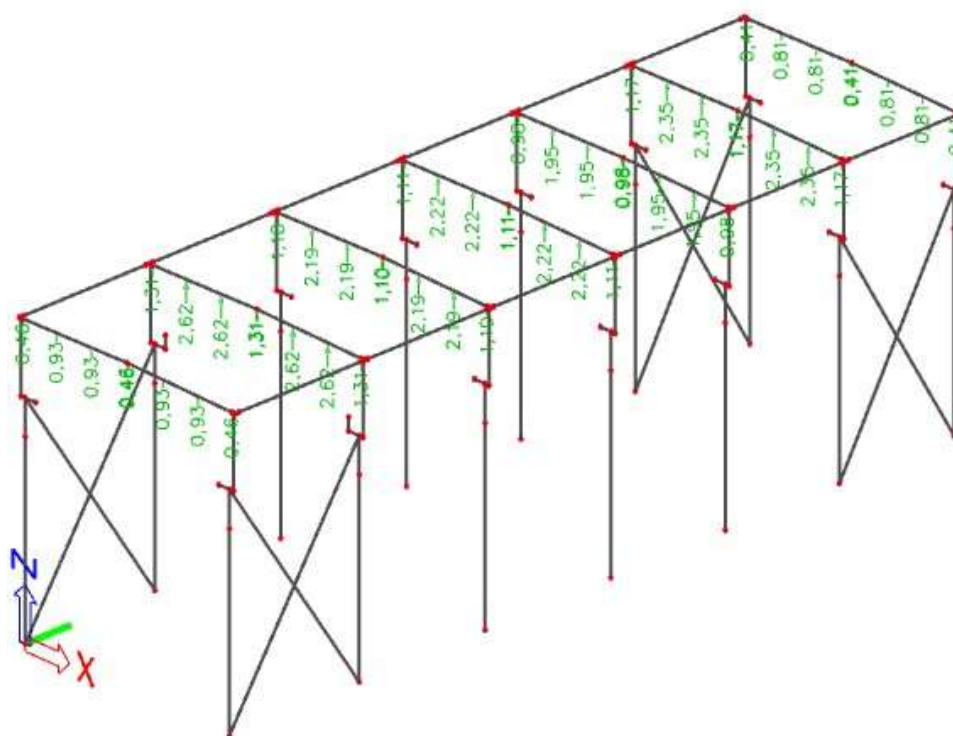
## ZS6 - Zatížení od větru na delší stěnu



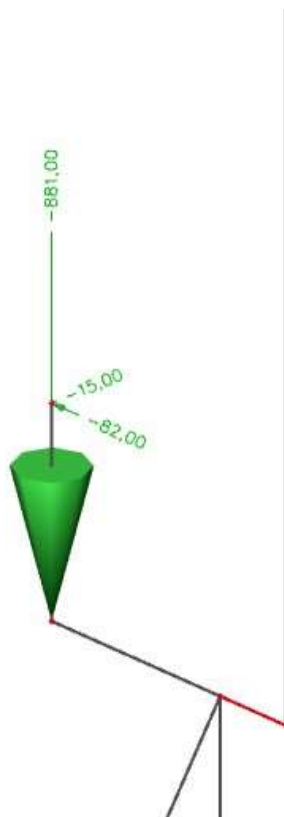


ZS7 - Zatížení od větru na kratší stěnu





**ZS7 - Zatížení jeřábovou dráhou**  
zatížení na konzolu



### 1.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

$\gamma_G$	1,35
$\gamma_Q$	1,5
$\xi$	0,85

Hodnoty součinitelů $\psi$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Zatížení sněhem ( $H \leq 1000$ m.n.m )	0,5	0,2	0
Zatížení větrem	0,6	0,2	0
Užitné zat.: Kategorie H - střechy	0	0	0

Kombinace MSÚ

$$6.10a \quad \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right.$$

$$6.10b \quad \left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right.$$

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

## 2. VAZNICE

### 2.1 VYPOČTOVÝ MODEL

Rozpětí vaznice	$L =$	6800 mm
Zatěžovací šířka	$b =$	1,909 m
Sklon	$\alpha =$	2 °

### 2.2 ZATÍŽENÍ VAZNICE

#### VLASTNÍ TÍHA

IPE 220

Vlastní tíha vygenerována SCIA Engeneering

#### TÍHA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

Tíha střešního pláště	$g_k$	0,214 kN/m <sup>2</sup>	0,409 kN/m
-----------------------	-------	-------------------------	------------

#### ZATÍŽENÍ VĚTREM

Vítr z leva	$W_e$	-1,619	-0,63 kN/m <sup>2</sup>	-3,091	-1,203 kN/m
Vítr čelní	$W_e$	-1,619 kN/m <sup>2</sup>			-3,091 kN/m
Vítr vnitřní	$W_i$	0,18 kN/m <sup>2</sup>			0,344 kN/m

#### ZATÍŽENÍ SNĚHEM

$s =$	0,56 kN/m <sup>2</sup>	1,069 kN/m
-------	------------------------	------------

#### UŽITNÉ

$q_k$	0,75 kN/m <sup>2</sup>	1,432 kN/m
-------	------------------------	------------

### 2.3 VNITŘNÍ SÍLY

$M_{y,Ed}$	25,3 kNm
$M_{z,Ed}$	0,88 kNm

### 2.4 MATERIÁL

S355

$f_y$	355 MPa
$f_u$	510 MPa
$E$	210 000 MPa
$G$	81000 MPa

## 2.5 POSOUZENÍ VAZNICE

Navržený profil IPE 220

I <sub>z</sub>	2,05E+06 mm <sup>4</sup>	W <sub>y,pl</sub>	2,85E+05 mm <sup>3</sup>
I <sub>w</sub>	2,27E+10 mm <sup>6</sup>	W <sub>z,pl</sub>	5,81E+04 mm <sup>3</sup>
I <sub>t</sub>	9,17E+04 mm <sup>4</sup>		

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$$

Pásnice: tlačená část

$$c / t_f \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$5,3 \leq 7,32 \rightarrow \text{I. Třída průřezu}$$

Pásnice: tlačená část

$$c / t_w \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$28,4 \leq 58,58 \rightarrow \text{I. Třída průřezu}$$

### ŠIKMÝ OHYB S KLOPENÍM

$$W_y = W_{ply}$$

$$L_{cr,z} = 6800 \text{ mm}$$

k <sub>y</sub>	1	z <sub>g</sub>	100	c <sub>1</sub>	1,13
k <sub>z</sub>	1	z <sub>j</sub>	0	c <sub>2</sub>	0,46
k <sub>w</sub>	1			c <sub>3</sub>	0,53

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = 0,370$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0,352$$

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0,000$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = (C_1/k_z) \cdot [(1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2)^{1/2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)] = 1,43$$



Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} * (\pi * (E * I_z * G * I_t)^{1/2} / L = 37245229 \text{ Nmm} \quad 37,25 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{w_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = 1,65$$

Křivka klopení

$$\alpha_{LT}: h/b = 2 \rightarrow \text{křivka a } \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 2,01$$

$$\chi_{LT} = 1 / (\Phi_{LT} + (\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2)^{1/2}) = 0,32$$

$$M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M1} = 32004431 \text{ Nmm} \quad 32,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = W_{pl,z} * f_y / \gamma_{M0} = 20625500 \text{ Nmm} \quad 20,63 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 25,3 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,88 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,b,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad 0,833181 \leq 1$$



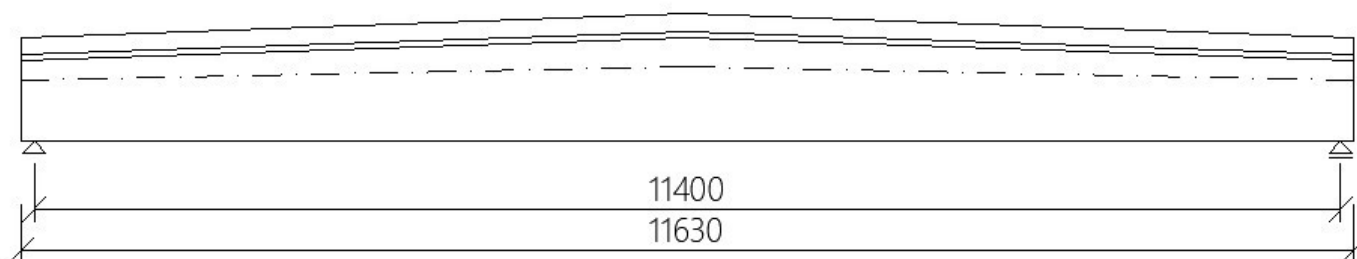
### 3. VAZNÍK

#### 3.1 GEOMETRIE

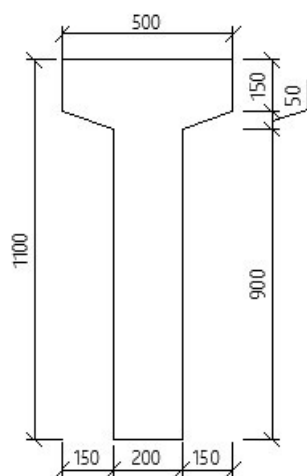
$l_v$ - skutečná délka vazníku	11,63 m
$l_n$ - vzdálenost podpor pro vazník	11,15 m
$a$ - délka uložení	0,25 m
$l$ - efektivní délka vazníku	11,4 m

Schématický řez vazníkem

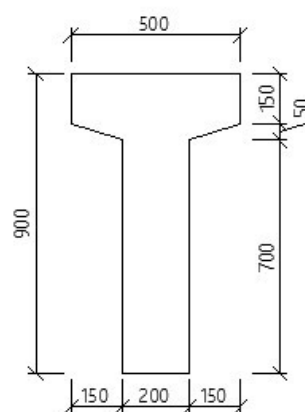
Podélný



Příčný řez v v polovině



Příčný řez v v polovině



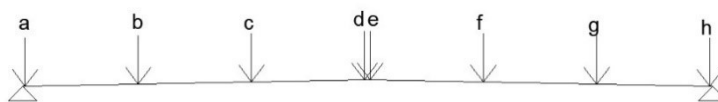
## 3.2 ZATÍŽENÍ

### ZS1 - Vlastní tíha

Automaticky vygenerováno v software SCIA Engineer

### ZS2 - Vaznice

Hmotnost jedné vaznice 0,262 kN/m<sup>2</sup>

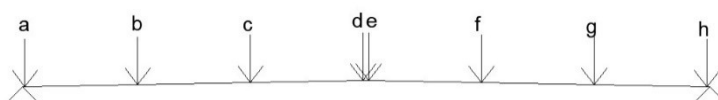


	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96

### ZS3 - Střešní plášť

Zatížení je přenášeno přes vaznice

Panel KS 1000 X-DEK 0,214 kN/m<sup>2</sup>

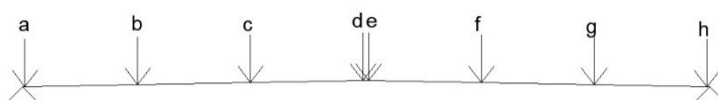


	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	1,55	3,11	3,11	1,55	1,55	3,11	3,11	1,55

### ZS4 - Užité zatížení na střeše

Zatížení je přenášeno přes vaznice

0,75 kN/m<sup>2</sup>

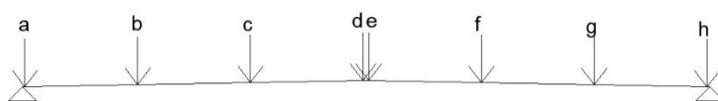


	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	5,45	10,9	10,9	5,45	5,45	10,9	10,9	5,45

### ZS5 - Sníh

Zatížení je přenášeno přes vaznice

s = 0,56 kN/m<sup>2</sup>

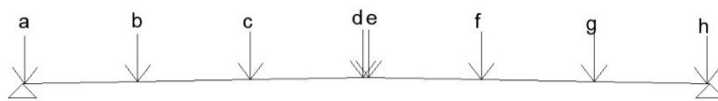


	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	5,08	10,17	10,17	5,08	5,08	10,17	10,17	5,08

### ZS6 - Vítr na delší stěnu

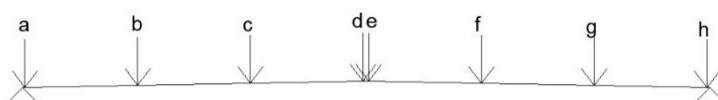
Zatížení je přenášeno přes vaznice

Vnější



	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	-4,57	-9,16	-9,16	-4,57	-4,57	-9,16	-19,13	-8,06

Vnitřní

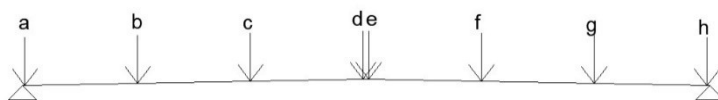


	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	-1,31	-2,62	-2,62	-1,31	-1,31	-2,62	-2,62	-1,31

### ZS7 - Vítr na kratší stěnu

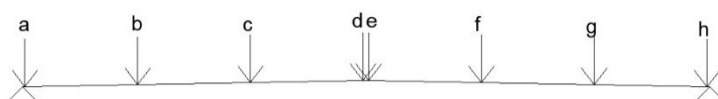
Zatížení je přenášeno přes vaznice

Vnější



	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	-3,07	-6,15	-6,02	-3	-3	-6,02	-6,15	-3,07

Vnitřní

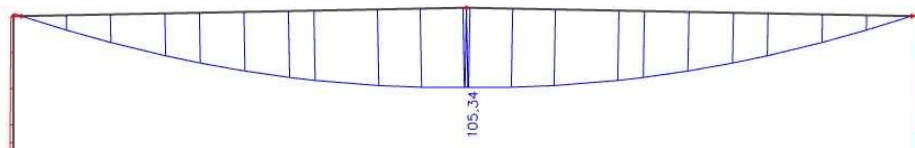


	a	b	c	d	e	f	g	h
[kN]	-1,31	-2,62	-2,62	-1,31	-1,31	-2,62	-2,62	-1,31

### 3.3 MOMENTY OD ZATÍŽENÍ

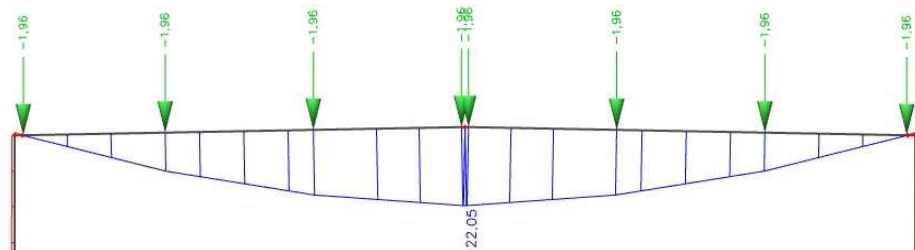
**ZS1**

$M_{g0,k}$  105,34 kNm



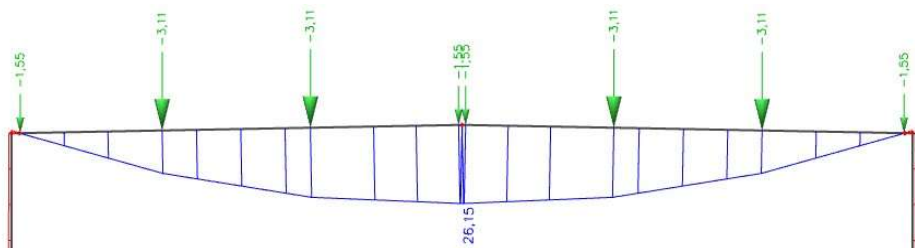
**ZS2**

$M_{g1,k}$  22,05 kNm



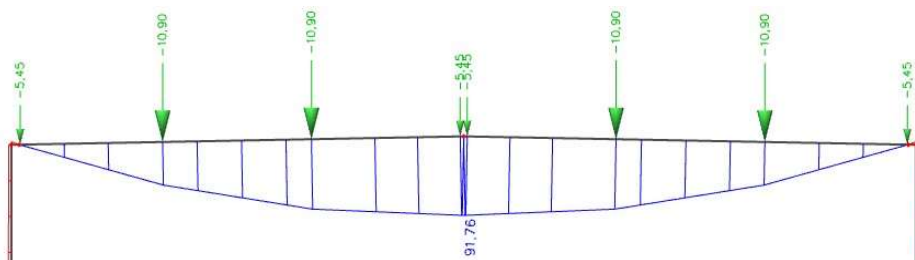
**ZS3**

$M_{g2,k}$  26,15 kNm



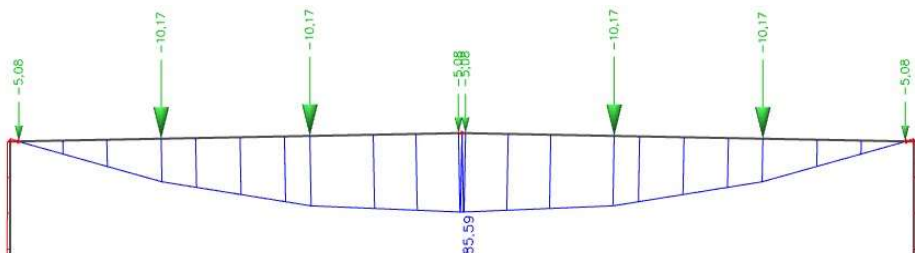
**ZS4**

$M_{qu,k}$  91,76 kNm



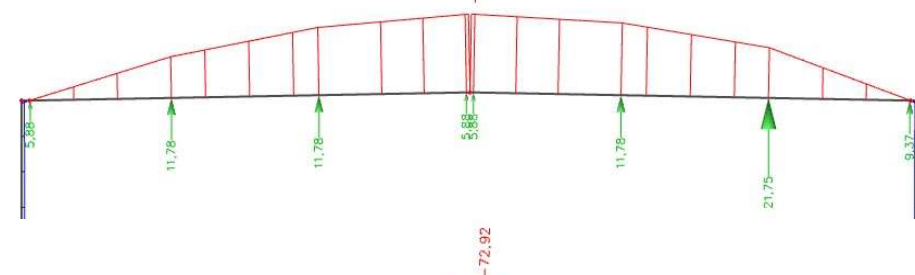
**ZS5**

$M_{qs,k}$  85,59 kNm



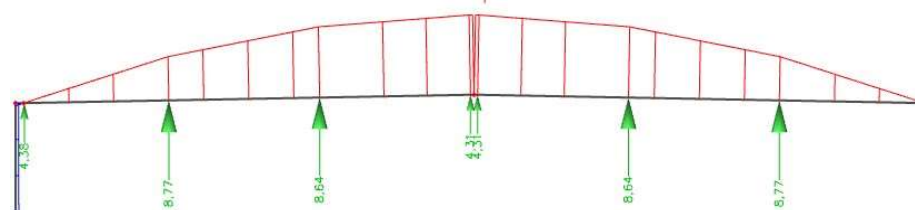
**ZS6**

$M_{qs,k}$  -108,37 kNm



**ZS7**

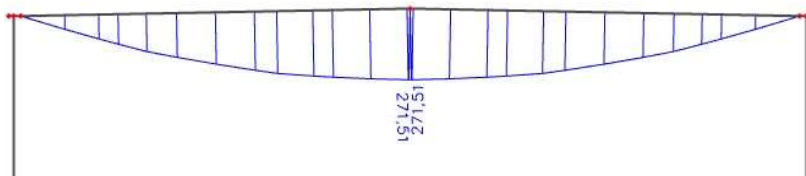
$M_{qs,k}$  -72,92 kNm



## Kombinace zatížení

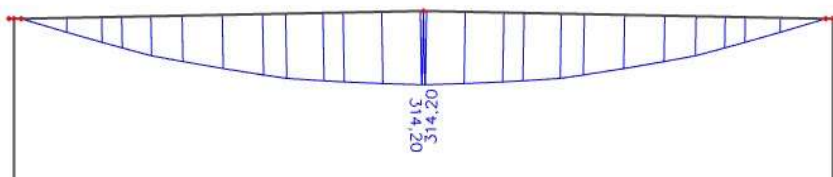
Maximum v kombinaci 6.10a

$$\gamma_G * (ZS1 + ZS2 + ZS3) + \gamma_Q * (\psi_0 * ZS5) = 271,49 \text{ kNm}$$



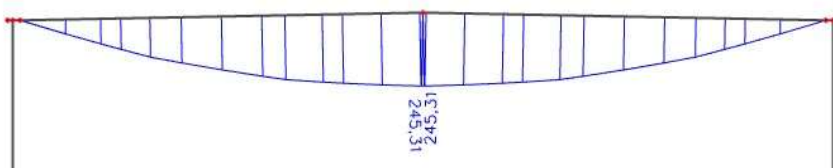
Maximum v kombinaci 6.10b

$$\xi * \gamma_G * (ZS1 + ZS2 + ZS3) + \gamma_Q * ZS4 = 314,23 \text{ kNm}$$



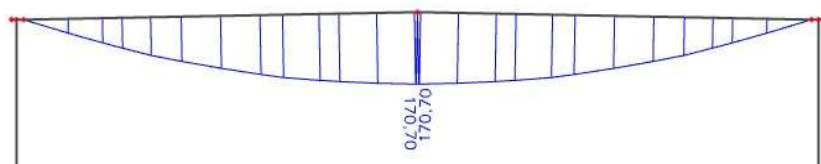
Maximum v kombinaci Charakteristická

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + ZS4 = 245,31 \text{ kNm}$$



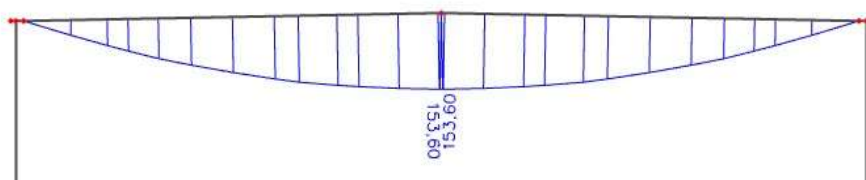
Maximum v kombinaci Častá

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + \psi_{1,i} * ZS5 + \psi_{2,i} * ZS7 = 170,7 \text{ kNm}$$



Maximum v kombinaci Kvazistálá

$$(ZS1 + ZS2 + ZS3) + \psi_{2,i} * ZS5 + \psi_{2,i} * ZS7 = 153,6 \text{ kNm}$$



### 3.4 NÁVRH PŘEDPĚTÍ

#### MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Předpínací výztuž Y - 1770 - S7 - 15,3

$f_{pk}$  1770 MPa

$f_{p0,1k}$  1520 MPa

$E_p$  195 GPa

$A_{p,1}$  0,00014 m<sup>2</sup>

$\phi_p$  15,3 mm

$\gamma_s$  1,15

$f_{pd}$  1322 MPa

Beton C35/45

$f_{ck}$  35 MPa

$\gamma_c$  1,5

$f_{cd}$  23,33 MPa

$f_{ctm}$  3,2 MPa

$E_{cm}$  34 GPa

$\epsilon_{cu3}$  0,0035

$f_{cm}$  43 MPa

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži během předpínání

$$\sigma_{p,max} = \min(0,8 \cdot f_{pk} ; 0,9 \cdot f_{p0,1k}) = 1368 \text{ MPa}$$

Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži po vnesení předpětí do beonu

$$\sigma_{pm0,max} = \min(0,75 \cdot f_{pk} ; 0,85 \cdot f_{p0,1k}) = 1292 \text{ MPa}$$

#### KRITÍ VÝZTUŽE

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 32,95 \text{ mm}$$

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

$$c_{min} = \max(22,95; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10 \text{ mm}) = 22,95 \text{ mm}$$

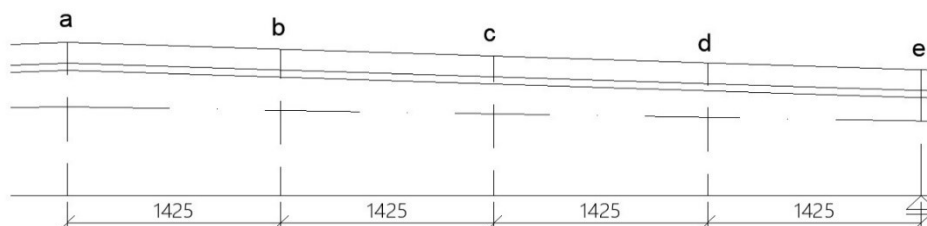
$$c_{min,b} = 1,5 \cdot \phi_p = 22,95 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

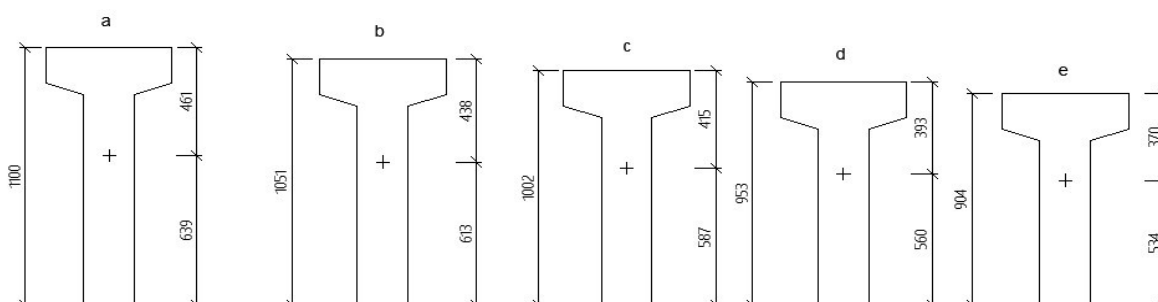
$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

#### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Pohled na vazník



Jednotlivé řezy vazníkem



Charakteristiky jsou brány z programu SCIA Engineer

		řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Plocha betonu $A_c$		0,273	0,263	0,253	0,243	0,233	m <sup>2</sup>
Výška průřezu $h$		1,1	1,051	1,002	0,953	0,904	m
Vzdálenost těžiště od horního okraje $t_c^h$		0,461	0,438	0,415	0,393	0,370	m
Vzdálenost těžiště od dolního okraje $t_c^d$		0,639	0,613	0,587	0,560	0,534	m
Moment setrvačnosti $I_c$		3,14E-02	2,75E-02	2,40E-02	2,08E-02	1,78E-02	m <sup>4</sup>
Moduly průřezu	$W_c^h$	6,80E-02	6,28E-02	5,78E-02	5,29E-02	4,82E-02	m <sup>3</sup>
	$W_c^d$	4,91E-02	4,49E-02	4,09E-02	3,71E-02	3,34E-02	m <sup>3</sup>
Jádrové úsečky	$r_c^h$	2,50E-01	2,39E-01	5,77E-02	5,55E-02	5,33E-02	m
	$r_c^d$	1,80E-01	1,71E-01	4,08E-02	3,89E-02	3,69E-02	m

### STABILITA NOSNÍKU V PŘÍČNÉM SMĚRU

Pokud jsou podmínky splněny mohou být účinky druhéh řádu zanedbány.

$$\frac{l_{ot}}{b} \leq \frac{70}{\left(\frac{h}{b}\right)^{1/3}} \quad \frac{h}{b} \leq 3,5$$

vzdálenost mezi torzními vazbami  $l_{ot} =$  11,15 m

výška nosníku ve středu rozpětí  $h =$  1,1 m

šířka tlačené příruby  $b =$  0,5 m

$$l_{ot} / b = 22,3 \leq 70/(h/b)^{1/3} = 53,82167 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$h/b = 2,2 \leq 3,5 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Pro posouzení stability nosníku v příčném směru využijeme pouze jednoduchou podmínku PCI handbook, 1985:

$$\frac{t_c}{\alpha} > 2$$

kolmo k měkké ose  $I_z =$  0,002374 m<sup>4</sup>

$l =$  11,4 m

$t_c^h =$  0,461 m

$A_c =$  0,273 m<sup>2</sup>

$g_{0d} = 1,35 * A_c * \gamma_{zB} =$  8,829 kN/m

$E_{cm} =$  34 GPa

průhyb kolmo k měkké ose od vlastní tíhy

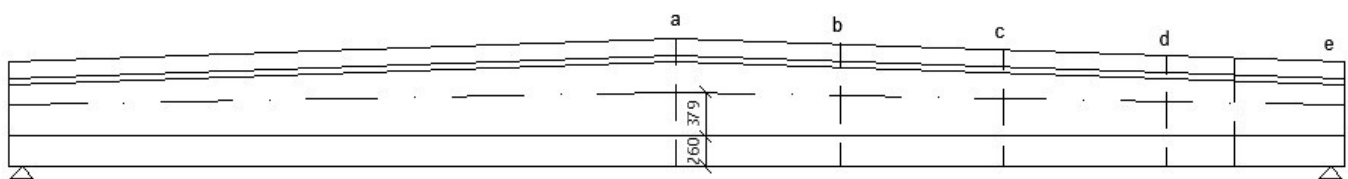
$$\alpha = \frac{5}{384} * \frac{g_{0d} * l^4}{E_{cm} * I} = 0,162366 \text{ m}$$

$$t_c / \alpha = 2,8 > 2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

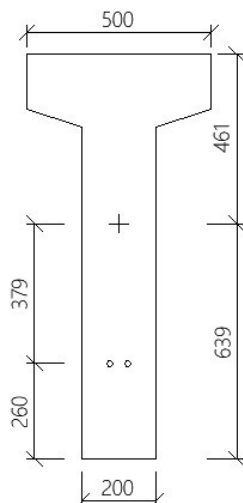
## NÁVRH

Předpínací výztuž navrhujeme na plně tlačný průřez

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$h =$	1,1	1,051	1,002	0,953	0,904	m
vzdálenost výztuže od dolního okraje $d_1 =$	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	m
Účinná výška vaznice $d = h - d_1$	0,84	0,791	0,742	0,693	0,644	m
$t_c^h =$	0,461	0,438	0,415	0,393	0,370	m
$t_c^d =$	0,639	0,613	0,587	0,560	0,534	m
$I_c =$	0,031	0,028	0,024	0,021	0,018	m <sup>4</sup>
$W_c^h =$	0,068039	0,062842	0,057824	0,052855	0,048208	m <sup>3</sup>
$W_c^d =$	0,049086	0,044902	0,040881	0,037093	0,033403	m <sup>3</sup>
$A_c =$	0,273	0,263	0,253	0,243	0,233	m <sup>2</sup>
Excentricita předpínací výztuže $e_p = t_c^d - d_1$	0,379	0,353	0,327	0,300	0,274	m
Moment $M_{\text{čast}} = M_{Ek,\psi 1} =$	170,7	157,6	124,59	72,06	0	kNm
odvození předpínací síly - stav dekomprese $P_{\infty,k} = \frac{M_{Ek,\psi 1}}{W_c^d} \div \left( \frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{W_c^d} \right) =$	305,29	300,81	254,97	159,22	0,00	kN
Velikost před. síly v čase $t_0$ : $P_{m,0,k}$ $= P_{\infty,k} / (1-0,15) =$ (odhad ztrát 15%)	359,17	353,89	299,96	187,31	0	kN
Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži po vnesení předpětí do beonu $\sigma_{pm0,max} =$	1292					MPa
$A_{p,min} = P_{m,0,k} / \sigma_{pm0,max} =$	2,78E-04	2,74E-04	2,32E-04	1,45E-04	0,00E+00	m <sup>2</sup>
Počet lan $n_p = A_p / A_{p1} =$	1,99	1,96	1,66	1,04	0	ks
Navržený počet lan $n_{p,skut} =$	2					ks
$A_{p,skut} = n_{p,skut} * A_{p1} =$	0,00028					m <sup>2</sup>
$t_0$ předepnutí $P_{m,0,k} = A_{p,skut} * \sigma_{pm0} =$	361,8					kN
$t_{00}$ předepnutí (odhad ztrát 15%) $P_{00,k} = A_{p,skut} * \sigma_{pm0} * (1-0,15) =$	307,5					kN







t <sub>00</sub> ČASTÁ KOMBINACE	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Horní vlákna $\sigma_h = -\frac{M_{Ek,\psi 1}}{W_c^h} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} + \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^h} =$	-1924,42	-1951,11	-1631,6	-882,981	429,6275	kPa
$\sigma_h < f_{ck} =$ 35000 kPa	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
Dolní vlákna $\sigma_d = +\frac{M_{Ek,\psi 1}}{W_c^d} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} - \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^d} =$	-25,0778	-78,0584	-627,857	-1809,22	-3840,46	kPa
$\sigma_d \leq 0$	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	

t <sub>00</sub> CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Moment M <sub>char</sub> = M <sub>Ek</sub> =	245,31	226,07	178,79	103,65	0	kNm
Horní vlákna $\sigma_h = -\frac{M_{Ek}}{W_c^h} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} + \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^h} =$	-3021	-3040,66	-2568,93	-1480,65	429,6275	kPa
Dolní vlákna $\sigma_d = +\frac{M_{Ek}}{W_c^d} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} - \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^d} =$	1494,905	1446,814	697,9503	-957,578	-3840,46	kPa
$\sigma_h < 0,6 * f_{ck} =$ 21000 kPa	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	

t <sub>00</sub> KVAZISTÁLÁ KOMBINACE	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Moment M <sub>kvazi</sub> = M <sub>Ek,ψ2</sub> =	153,6	141,89	112,16	64,81	0	kNm
Horní vlákna $\sigma_h = -\frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_c^h} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} + \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^h} =$	-1673,1	-1701,12	-1416,64	-745,813	429,6275	kPa
Dolní vlákna $\sigma_d = +\frac{M_{Ek,\psi 2}}{W_c^d} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} - \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^d} =$	-373,445	-427,93	-931,912	-2004,68	-3840,46	kPa
$\sigma_h < 0,45 * f_{ck} =$ 15750 kPa	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	

$t_0$		řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Moment $M_{t_0} =$		105,42	98,57	78,38	45,36	0	kNm
Horní vlákna $\sigma_h = -\frac{M_{t_0}}{W_c^h} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} + \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^h} =$		-964,976	-1011,77	-832,455	-377,825	429,6275	kPa
$\sigma_h < 0,7 * f_{ctm} =$	2240 kPa	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
Dolní vlákna $\sigma_d = +\frac{M_{t_0}}{W_c^d} - \frac{P_{\infty,k}}{A_c} - \frac{P_{\infty,k} * e_p}{W_c^d} =$		-1354,99	-1392,7	-1758,22	-2529,04	-3840,46	kPa
$f_{ck(t_0)} = 0,7 * f_{ck} =$	24500 kPa						
$\sigma_h < 0,6 * f_{ck(t_0)} =$	14700 kPa	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	

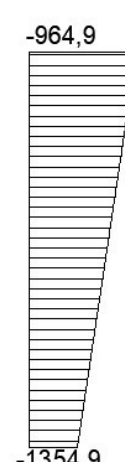
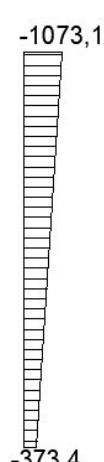
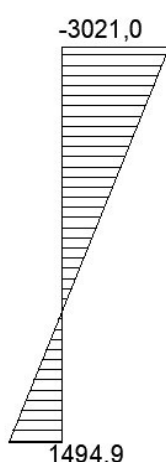
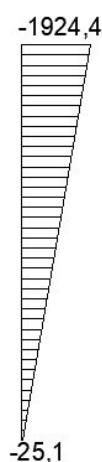
V l/2

Častá

Charakteristická

Kvazistálá

$t_0$



## ROZMÍSTĚNÍ LAN A CHARAKTERISTIKY IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU

		řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Těžiště lan od spodního povrchu	$d_1 =$	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	m
Účinná výška vaznice	$d = h - d_1 =$	0,84	0,791	0,742	0,693	0,644	m
Excentricita předpínací výzuže $e_p = t_c^d - d_1$		0,379	0,353	0,327	0,300	0,274	m
Plocha betonu $A_c$		0,273	0,263	0,253	0,243	0,233	m <sup>2</sup>

Plocha lan

$$A_{p,skut} = 2,80E-04 \text{ m}^2$$

Plocha ideálního průřezu

$$\omega = E_p / E_{cm} = 195 / 34 = 5,74$$

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$A_i = A_c + \omega * A_{p,skut} =$	2,74E-01	2,64E-01	2,55E-01	2,45E-01	2,35E-01	m <sup>2</sup>

Vzdálenost těžiště IP od těžiště betonového průřezu

$t_i = (\omega * A_p * e_p) / A_i =$	0,00222	0,002145	0,002063	0,001969	0,001873	m
--------------------------------------	---------	----------	----------	----------	----------	---

Excentricita lan od těžiště IP	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$e_{pi} = e_p - t_i =$	0,377	0,351	0,325	0,298	0,272	m

Vzdálenost těžiště IP od horního okraje $t_{ci}^h$						
$t_{ci}^h = t_c^h + t_i =$	0,463	0,440	0,417	0,395	0,372	m

Vzdálenost těžiště IP od dolního okraje $t_{ci}^d$						
$t_{ci}^d = t_c^d - t_i =$	0,637	0,611	0,585	0,558	0,532	m

Moment setrvačnosti IP k jeho těžiště						
$I_i = I_c + A_c * t_i^2 + \omega * A_p * e_p^2 =$	3,16E-02	2,77E-02	2,42E-02	2,09E-02	1,80E-02	m <sup>4</sup>

Posouzení minimální světlé vodorovné vzdálenosti mezi předpínacími pruty

skutečná vzdálenost :  $a_{s,v} =$  33 mm

$a_{s,v} > \max ( 2 * \emptyset ; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} ) =$  30,6 mm **VYHOVUJE**

### KOTVENÍ PŘEDEM PŘEDPJATÉ VÝZTUŽE

$\eta_{p1} =$  3,2 (7 drátová lana)

$\eta_1 =$  1

Uvažujeme 75% pevnosti betonu

$f_{ctm} (t = 1 \text{ den}) = 0,75 * f_{ctm} =$  2,4 MPa

$\alpha_{ct} =$  1

Návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku v době uvolnění lan

$f_{ctd} (t=1 \text{ den}) = \alpha_{ct} * 0,7 * f_{ctm} (t = 1 \text{ den}) / \gamma_c =$  1,12 MPa

Napětí v soudržnosti

$f_{bpt} = \eta_{p1} * \eta_1 * f_{ctd} (t = 1 \text{ den}) =$  3,584 MPa

$\alpha_1 =$  1

$\alpha_2 =$  0,19 (7 drátová lana)

$\emptyset_p$  15,3 mm

Napětí v předpínací výztuži právě po uvolnění

$\sigma_{pm0} =$  1292 MPa

Základní hodnota délky přenosu předpínací síly

$l_{pt} = \alpha_1 * \alpha_2 * \emptyset_p * \sigma_{pm0} / f_{bpt} =$  1047,9 mm

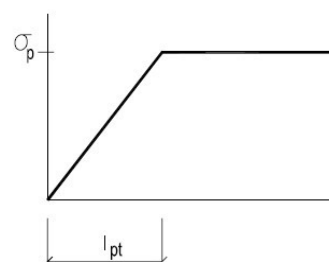
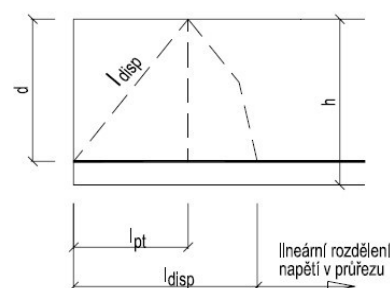
Návrhová hodnota délky přenosu předpínací síly

$l_{pt1} = 0,8 * l_{pt} =$  838,4 mm

$l_{pt2} = 1,2 * l_{pt} =$  1257,5 mm

Vyrovňovací délka

$l_{dis} = (l_{pt}^2 + d)^{1/2} =$  1047,9 mm



### 3.5 VÝPOČET ZTRÁT PŘEDPĚTÍ OKAMŽITÉ ZTRÁTY

Interval (0-1 den)

$$\sigma_{p0} = 1368 \text{ MPa} \leq \sigma_{pm,max} = 1368 \text{ MPa}$$

Počáteční předpínací síla při předpínání

$$P_{m0} = \sigma_{p0} * A_p = 383,0 \text{ kN}$$

$$A_{p,skut} = 2,80E-04 \text{ m}^2$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

#### ZTRÁTA TŘENÍM

$$\Delta\sigma_{p\mu} = 0 \text{ MPa} \quad \text{zanedbáváme}$$

#### ZTRÁTA POKLUZEM V KOTVĚ

$$w = 6 \text{ mm}$$

$$l_p = 52 \text{ m}$$

$$\Delta\sigma_{pw} = -(E_p * w) / l_p = -22,5 \text{ MPa}$$

#### ZTRÁTA POSTUPNÝM NAPÍNÁNÍ

$$\Delta\sigma_{pep} = 0 \text{ MPa}$$

#### ZTRÁTA VYVOZENÁ ZMĚNOU VZDÁLENOSTI OPĚR KOTEVNÍHO ZAŘÍZENÍ

$$\Delta l_p = 4 \text{ mm}$$

$$l_p = 50 \text{ m}$$

$$m = 2 \text{ ks}$$

$$\Delta\sigma_{pA} = -E_p * (\Delta l_p * (m - 1) / (l_p * 2 * m)) = -3,9 \text{ MPa}$$

#### ZTRÁTA STLAČENÍM SPÁR

Nenastává

#### ZTRÁTA OTLAČENÍM BETONU

Nenastává

#### ZTRÁTA DOTVAROVÁNÍM PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

Uvažujeme 2. třídu relaxačního chování

$$\text{Doba podržení počátečního napětí } t_{cor} = 5 \text{ min} = 0,083333 \text{ hod}$$

$$\sigma_{1000} = 2,5 \% - \text{hodnota ztráty relaxcí 1000 hodin po napnutí při teplotě 20°C}$$

a) Korekce podržením napětí po dobu  $t_{cor}$

$$\sigma_{pi} = \sigma_{p0} = 1368 \text{ MPa}$$

$$f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$$

$$\mu = \sigma_{pi} / f_{pk} = 0,773$$

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

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{1368} = -0,66 * 2,5 * e^{9,1*0,773} * \left(\frac{0,08333}{1000}\right)^{0,75*(1-0,773)} * 10^{-5} =$$

$$\Delta\sigma_{pr,j} = -5,167 \text{ MPa}$$

b) Interval ( $t_{cor}$ , 1 den).

Relaxace se během tepelného ošetřování betonu zrychluje při současném zvýšení teploty předpínací výztuže.

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

$t_{eq}$  - ekvivalentní doba

$T_{(\Delta ti)}$  - teplota v časovém intervalu

$T_{max}$  - maximální teplota v průběhu tepelného ošetření

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

skutečný čas [hod]	skut. čas [dny]	$\Delta t_i$ [°C]	$T_{(\Delta ti)}$ [°C]	$T_{max}$ [°C]	$(T_{(\Delta ti)} - 20) \Delta t_i$	$K_i$	$t_{eq}$ [dny]
0		0		65			0
2	0,0833	0,0833	15		0,0000	0,000	0,00
1	0,1250	0,0417	40		0,8333	6,735	6,73
1	0,1667	0,0417	60		1,6667	13,470	20,20
16	0,8333	0,6667	65		30,0000	242,453	262,66
1	0,8750	0,0417	50		1,2500	10,102	272,76
1	0,9167	0,0417	40		0,8333	6,735	279,49
1	0,9583	0,0417	30		0,4167	3,367	282,86
1	1,0000	0,0417	15		0,0000	0,000	282,86
						$t_{eq} =$	282,86 dny
						$t_{eq} =$	6788,68 hod

$$t_a = 24 \text{ hod}$$

$$\text{Zvětšená doba po napnutí: } t_a^* = t_a + t_{eq} = 6812,68 \text{ hod}$$

$$t_{cor} = 0,083333 \text{ hod}$$

$$\text{upravený interval } (t_i, t_{i+1}) = (t_{cor}, t_a^*)$$

Napětí v předpínací výztuži bezprostředně po  $t_i$ :

$$\sigma_{pi}^+ = \sigma_{p0} + \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pA} = 1368 - 22,5 - 3,9 = 1341,6 \text{ MPa}$$

Součet ztrát (0,  $t_{cor}$ )

$$\Sigma \Delta\sigma_{pr,j} = -5,167 \text{ MPa}$$

Nové počáteční napětí pro výpočet kapacity relaxace

$$\sigma_{pi}^+ - \Sigma \Delta \sigma_{pr,j} = 1341,6 + 5,167 = 1346,767 \text{ MPa}$$

$$\mu = (\sigma_{pi}^+ - \Sigma \Delta \sigma_{pr,j}) / f_{pk} = 1346,767 / 1770 = 0,761$$

Rovnice pro výpočet ekvivalentního času  $t_e$

$$\Sigma \Delta \sigma_{pr,j} = -5,167 \text{ MPa}$$

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

$$-5,167 = -0,66 * 2,5 * e^{9,1 * 0,761} * \left( \frac{t_e}{1000} \right)^{0,75 * (1 - 0,761)} * 1346,767 * 10^{-5}$$

$$t_e = 0,268 \text{ hod}$$

Stanovení ztráty v intervalu

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = t_a^* - t_{cor} = 6812,6 \text{ hod}$$

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

$$\Delta \sigma_{pr,i} = -0,66 * 2,5 * e^{9,1 * 0,761} * \left( \frac{0,268 + 6812,6}{1000} \right)^{0,75 * (1 - 0,761)} * 1346,767 * 10^{-5} + 5,167$$

$$\Delta \sigma_{pr,i} = -26,7 \text{ MPa}$$

#### ZTRÁTA ROZDÍLEM TEPLOT VÝZTUŽE A OPĚRNÉHO ZAŘÍZENÍ

Teplota opěrného zařízení $T_A =$	50 °C	$\alpha_A =$	1,00E-05 K <sup>-1</sup>
Teplota výztuže $T_p =$	65 °C	$\alpha_p =$	1,00E-05 K <sup>-1</sup>
Základní teplota $T_0 =$	15 °C	$l_A =$	50 m
		$l_p =$	52 m

$$\Delta \sigma_{pT} = E_p * (\alpha_A * l_A * (T_A - T_0) - \alpha_p * l_p * (T_p - T_0)) / l_p =$$

$$\Delta \sigma_{pT} = 195 * 10^3 * (1 * 10^{-5} * 50 * (50 - 15) - 1 * 10^{-5} * 52 * (65 - 15)) / 52 = -31,9 \text{ MPa}$$

#### ZTRÁTA OKAMŽITÝM PRUŽNÝM PŘETVOŘENÍM BETONU

Okamžité ztráty celkem bezprostředně před vnesením předpětí do betonu

$$\Sigma \Delta \sigma_p = \Delta \sigma_{pw} + \Delta \sigma_{pA} + \Delta \sigma_{pT} + \Delta \sigma_{pr,j} = -22,5 - 3,9 - 26,7 - 31,9 = -85,0 \text{ MPa}$$

Celkové napětí ve výztuži v okamžiku bezprostředně před vnesením předpětí do betonu

$$\sigma_p = \sigma_{p0} + \Sigma \Delta \sigma_p = 1368 - 85 = 1283,0 \text{ MPa}$$

a) Ztráta předpětí okamžitým pružným přetvořením betonu při předpínání od účinků předpětí

$$\begin{aligned} A_p &= 2,80 \text{E-}04 \text{ m}^2 \\ E_p &= 195 \text{ GPa} \\ f_{cm} &= 43 \text{ MPa} \\ f_{cm}(t) &= 0,75 * f_{cm} = 32,25 \text{ MPa} \\ E_{cm} &= 34 \text{ GPa} \end{aligned}$$

modul pružnosti v čase vnesení předpětí

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t) / f_{cm})^{0,3} * E_{cm} = 31,19 \text{ GPa}$$

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$A_c =$	0,273	0,263	0,253	0,243	0,233	m <sup>2</sup>
$v = \frac{A_p * E_p}{A_c * E_{cm}(t)} =$	0,0064	0,0067	0,0069	0,0072	0,0075	
$e_p =$	0,379	0,353	0,327	0,300	0,274	m
$I_c =$	0,031	0,028	0,024	0,021	0,018	m <sup>4</sup>
$\psi = v * \left(1 + \frac{A_c * e_p^2}{I_c}\right) =$	0,01444	0,01459	0,01472	0,01479	0,01487	
$\sigma_p =$	1283,0					MPa
$\Delta\sigma_{pe} = -\sigma_p * \psi / (1+\psi) =$	-18,26	-18,45	-18,62	-18,70	-18,80	MPa

b) Změna předpětí okamžitým pružným přetvořením betonu při předpínání od účinků vlastní tíhy

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Moment od vlastní tíhy $M_{E0k} =$	105,42	98,57	78,38	45,36	0	kNm
$I_i =$	0,0316	0,0277	0,0242	0,0209	0,0180	m <sup>4</sup>
$e_{pi} =$	0,377	0,351	0,325	0,298	0,272	m
$\Delta\sigma_{peg0} = \frac{M_{E0k}}{I_i} * e_{pi} * \frac{E_p}{E_{cm}(t)} =$	7,86	7,80	6,59	4,04	0,00	MPa

### OKAMŽITÉ ZTRÁTY CELKEM

$\Sigma\Delta\sigma_p = \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{pA} + \Delta\sigma_{pT} + \Delta\sigma_{pr,i} + \Delta\sigma_{pe} + \Delta\sigma_{peg0} =$	-95,38	-95,62	-97,00	-99,63	-103,77	MPa
--	--------	--------	--------	--------	---------	-----

Posouzení napětí ve výztuži v okamžiku bezprostředně po vnesení předpětí

$$\begin{aligned} \sigma_{p0} &= 1368 \text{ MPa} \\ \sigma_{pm0,max} &= 1292 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$\sigma_{pa} = \sigma_{p0} + \Sigma\Delta\sigma_p =$	1272,6	1272,4	1271,0	1268,4	1264,2	MPa
$\sigma_{pa} < \sigma_{pm0,max}$	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	

Síla ve výztuži těsně po vnesení předpětí do betonu

$P_{ma} = \sigma_{pa} * A_p =$	356,3	356,3	355,9	355,1	354,0	kN
--------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	----

### 3.6 DLOUHODOBÉ ZTRÁTY

#### ZMĚNA PŘEDPĚTÍ OKAMŽITÝM PRUŽNÝM PŘETVOŘENÍM BETONU

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$A_p = 2,80E-04 \text{ m}^2$$

$$f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$$

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$e_{pi} =$	0,377	0,351	0,325	0,298	0,272	m
$I_i =$	0,0316	0,0277	0,0242	0,0209	0,0180	m <sup>4</sup>
$M_{E0k} =$	105,42	98,57	78,38	45,36	0	kNm
$M_{E\psi 2} =$	153,6	141,89	112,16	64,81	0	kNm
$\Delta\sigma_{peg1} = \frac{M_{kvaz} - M_{g,0,k}}{I_i} * e_{pi} * \frac{E_p}{E_{cm}} =$	3,30	3,14	2,60	1,59	0,00	MPa
Změna předpínací síly $\Delta P_{peg1} = \Delta\sigma_{peg1} * A_p =$	0,923	0,880	0,729	0,445	0,000	kN

#### ZTRÁTA RELAXACÍ $\Delta\sigma_{pr}$

$$t_i = 6812,68 \text{ hod}$$

$$t_{i+1} = 50 \text{ let} = 438000 \text{ hod}$$

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Tahové napětí v předpínací výztuži bezprostředně po ti $\sigma_{pi}^+ = \sigma_{pa} + \Delta\sigma_{peg1} =$	1275,92	1275,52	1273,61	1269,96	1264,23	MPa
Součet veškerých ztrát relaxací již proběhlých v (0,1den)						



## ZTRÁTA SMRŠŤOVÁNÍM

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
t = 50 let =	18250					dnů
Náhradní stáří betonu na začátku vysychání $t_s =$	4,82					dny
$A_c =$	0,273	0,263	0,253	0,243	0,233	m <sup>2</sup>
Obvod průřezu vystavený vysychání u =	3,116	3,018	2,92	2,822	2,724	m
Náhradní rozměr průřezu $h_0 = 2 \cdot A_c / u =$	174,9	174,1	173,2	172,3	171,3	mm
(Závisí na $h_0$ ) $k_h =$	0,8877	0,8889	0,8902	0,8916	0,8931	
$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} =$	0,9950	0,9950	0,9950	0,9951	0,9951	

RH = 50 % -Relativní vlhkost okolního prostředí

RH<sub>0</sub> = 100 %

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3] = 1,55 \cdot [1 - (50/100)^3] = 1,356$$

$\alpha_{ds1} = 6,00$  -(cement třídy R)

$\alpha_{ds2} = 0,11$  -(cement třídy R)

$f_{cm} = 43$  MPa

Základní poněrné přetvoření od vysychání

$$\epsilon_{cd0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \text{EXP}^*(-\alpha_{ds2} \cdot (f_{cm}/10))] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} =$$

$$\epsilon_{cd0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 6) \cdot \text{EXP}^*(-0,11 \cdot (43/10))] \cdot 10^{-6} \cdot 1,356 = 6,32E-04$$

Součinitel autogenního smršťování

$$\beta_{as}(t) = 1 - \text{EXP}^*(-0,2 \cdot t^{0,5}) = 1 - \text{EXP}^*(-0,2 \cdot 18250^{0,5}) = 1$$

Poměrné přetvoření od autogenního smršťování

$$\epsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (35 - 10) \cdot 10^{-6} = 6,25E-05$$

$f_{ck} = 35$  MPa

$$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \epsilon_{ca}(\infty) = 6,25E-05$$

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Poměrné přetvoření od vysychání $\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0} =$	5,58E-04	5,59E-04	5,60E-04	5,61E-04	5,62E-04	
Celkové poměrné přetvoření od smršťování $\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} =$	6,21E-04	6,22E-04	6,22E-04	6,23E-04	6,24E-04	
Poměrné přetvoření od smršťování $\Delta\sigma_{ps} = \epsilon_{cs} \cdot E_p =$	121,1	121,2	121,4	121,5	121,7	MPa

### ZTRÁTA ODTVAROVÁNÍ BETONU $\Delta\sigma_{pc}$

Součinitele vlivu pevnosti betonu

$$\alpha_1 = (35/f_{cm})^{0,7} = (35/43)^{0,7} = 0,8658$$

$$\alpha_2 = (35/f_{cm})^{0,2} = (35/43)^{0,2} = 0,9597$$

$$\alpha_3 = (35/f_{cm})^{0,5} = (35/43)^{0,5} = 0,9022$$

$$RH = 50 \%$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

Součinitel vystihující vliv pevnosti betonu na základní součinitel dotvarování

$$\beta(f_{cm}) = 16,8/(f_{cm})^{1/2} = 16,8/(43)^{1/2} = 2,562$$

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$h_0 =$	174,9	174,1	173,2	172,3	171,3	
Souč. relativní vlhkosti na základní součinitel dotvarování						
$\Phi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1 \right] * \alpha_2 =$	1,703	1,704	1,705	1,706	1,708	

$$t_0 = t_{0,T} * \left( \frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha = 4,82 * \left( \frac{9}{2 + 4,82^{1,2}} + 1 \right)^1 = 9,86 \geq 0,5$$

Souč. vlivu stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení

$$\beta(t_0) = 1/(0,1 + t_0^{0,2}) = 1/(0,1 + 9,86^{0,2}) = 0,595$$

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Základní součinitel dotvarování $\Phi_0$ $= \Phi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) =$	2,596	2,597	2,599	2,601	2,604	
$\beta_H = 1,5 * [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 * \alpha_3 =$	487,9	486,7	485,4	484,0	482,5	
$\beta_H \leq 1500 * \alpha_3 =$	1353,3					
$t = 50 \text{ let} =$	18250					dnů
$t_0 =$	4,82					dny
Součinitel časového průběhu dotvarování $\beta_c(t, t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3} =$	0,9921	0,9921	0,9922	0,9922	0,9922	
Součinitel dotvarování $\Phi(t, t_0) = \Phi_0 * \beta_c(t, t_0) =$	2,575	2,577	2,579	2,581	2,583	
$P_{ma} =$	356,3	356,3	355,9	355,1	354,0	kN
$\Delta P_{peg1} =$	0,923	0,880	0,729	0,445	0,000	kN
$M_{E\psi2} =$	153,6	141,89	112,16	64,81	0	kNm
$e_p =$	0,379	0,353	0,327	0,300	0,274	m

$I_c =$	0,031	0,028	0,024	0,021	0,018	$m^4$
$A_p =$	2,80E-04					$m^2$
$A_c =$	0,273	0,263	0,253	0,243	0,233	$m^2$
Napětí v betonu vyvozené vl. tíhou, počátečním předpětím a dalšími kvazi- stálými zatíženími $\sigma_{c,QP} = -\frac{P_{ma} + \Delta P_{eg1}}{A_c} - \frac{(P_{ma} + \Delta P_{eg1}) * e_p^2}{I_c} + \frac{M_{E\psi 2}}{I_c} * e_p =$	-1,09	-1,16	-1,47	-2,07	-3,01	MPa
Ztráta dotvarování $\Delta\sigma_{pc}$ $= (E_p/E_{cm}) * \Phi_{(t,t0)} * \sigma_{c,QP} =$	-16,12	-17,10	-21,75	-30,60	-44,56	MPa
Celková ztráta za intervala (1 den, $\infty$ ) $\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs} * E_p + 0,8 * \Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} * \Phi_{(t,t0)} * \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} * \frac{A_p}{A_c} * \left(1 + \frac{A_c}{I_c} * e_p^2\right) * [1 + 0,8 * \Phi_{(t,t0)}]} =$						
$\Delta\sigma_{p,c+s+r} =$	-152,986	-153,952	-158,258	-166,379	-179,123	MPa

Napětí ve výztuži po 50 letech

A) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách včetně ztrát okamžitým pružným přetvořením betonu od dlouhodobých zatížení

$\sigma_{p00} = \sigma_{pa} + \Delta\sigma_{peg1} + \Delta\sigma_{p,c+s+r} =$	1122,9	1121,6	1115,3	1103,6	1085,1	MPa
Skutečná ztráta napětí $(1 - \sigma_{p00}/\sigma_{p0}) * 100 =$	18	18	18	19	21	%
Původní odhad ztrát	15	%				
Odhad maximálního napětí při předpínání $\sigma_{p0} =$	1368	MPa				
Dohad napětí v čase $t_{00}$ $\sigma_{p00,odhad} = \sigma_{p0} * (1 - 0,15) =$	1162,8	MPa				

B) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách bez ztrát okamžitým pružným přetvořením betonu (ideál. průřez)

$\sigma_{p00} = \sigma_{pa} + \Delta\sigma_{p,c+s+r} - \Delta\sigma_{pe} - \Delta\sigma_{peg0} =$	1130,0	1129,1	1124,8	1116,6	1103,9	MPa
---	--------	--------	--------	--------	--------	-----

Síla ve výztuži po 50 letech

A) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách včetně ztrát okamžitým pružným přetvořením betonu od dlouhodobých zatížení

$P_{m00} = \sigma_{p00} * A_p =$	314,4	314,0	312,3	309,0	303,8	kN
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	----

B) po okamžitých i dlouhodobých ztrátách bez ztrát okamžitým pružným přetvořením betonu (ideál. průřez)

$P_{m00} = \sigma_{p00} * A_p =$	316,4	316,1	314,9	312,7	309,1	kN
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	----

Pevnost betonu při napínání (tzn. při přestřihnutí lan)

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa}$$

$$t = 4,82 \text{ dní}$$

$$s = 0,2$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{0,5} \right] \right\} = \exp \left\{ 0,2 \left[ 1 - \left( \frac{28}{4,82} \right)^{0,5} \right] \right\} = 0,754$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm} = 32,4 \text{ MPa}$$

$$f_{cm}(t) \geq 0,75 * f_{cm} = 32,3 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

### ZMĚNA PŘEDPĚTÍ OKAMŽITÝM PRUŽNÝM PŘETVOŘENÍM BETONU $\Delta\sigma_{peq}$

$M_{EQk} =$	106,9	97,67	77,3	44,74	0	kNm
$\psi_{2,1} =$	0	0	0	0	0	
$I_i =$	0,0316	0,0277	0,0242	0,0209	0,0180	m <sup>4</sup>
$e_{pi} =$	0,377	0,351	0,325	0,298	0,272	m
$E_p =$	195					GPa
$E_{cm} =$	34					GPa
Uvažovaný moment od krátkodobého zatížení $M_{EQk} = (1 - \psi_{2,1}) * M_{EQk} =$	106,9	97,67	77,3	44,74	0	kNm
Změna napětí ve výztuži $\Delta\sigma_{peg} = \frac{M_{EQk}}{I_i} * e_{pi} * \frac{E_p}{E_{cm}} =$	7,31	7,09	5,96	3,66	0,00	MPa

## 3.7 MEZNÍ STAVY OMEZENÍ NPĚTÍ A KONTROLY TRHLIN V BETONU

### OMEZENÍ NAPĚTÍ V PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽI

A) na konci životnosti

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$\sigma_{p00} =$	1122,9	1121,6	1115,3	1103,6	1085,1	MPa
$\Delta\sigma_{peq} =$	7,311	7,089	5,961	3,656	0,000	MPa
$\sigma_{p00} + \Delta\sigma_{peq} =$	1130,2	1128,7	1121,3	1107,2	1085,1	MPa
$\sigma_{p00} + \Delta\sigma_{peq} \leq k_5 * f_{pk} = 0,75 * 1770 = 1327,5$	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	

B) bezprostředně po instalaci ostat. stálého prom. zatížení

$\sigma_{p00} =$	1122,9	1121,6	1115,3	1103,6	1085,1	MPa
$\Delta\sigma_{peq} =$	7,311	7,089	5,961	3,656	0,000	MPa
$\Delta\sigma_{p,c+s+r} =$	-152,986	-153,952	-158,258	-166,379	-179,123	MPa
$\sigma_{p00} + \Delta\sigma_{peq} - \Delta\sigma_{p,c+s+r} =$	1283,229	1282,611	1279,566	1273,619	1264,225	MPa
$\sigma_{p00} + \Delta\sigma_{peq} - \Delta\sigma_{p,c+s+r} \leq k_5 * f_{pk} = 1327,5$	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	

## OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU

	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
$P_{moo} =$	316,4	316,1	314,9	312,7	309,1	kN
$r_{inf} =$	0,95					
$P_{k,inf} =$	300,6	300,3	299,2	297,0	293,6	kN
$A_i =$	0,274	0,264	0,255	0,245	0,235	m <sup>2</sup>
$I_i =$	0,032	0,028	0,024	0,021	0,018	m <sup>4</sup>
$t_{ci}^h =$	0,463	0,440	0,417	0,395	0,372	m
$t_{ci}^d =$	0,637	0,611	0,585	0,558	0,532	m
$e_{pi} =$	0,377	0,351	0,325	0,298	0,272	m
$f_{ck} =$	35					MPa

$t_{oo}$ CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Moment $M_{char} = M_{Ek} =$	245,31	226,07	178,79	103,65	0	kNm
Horní vlákna $\sigma_h = -\frac{M_{Ek}}{I_i} * t_{ci}^h - \frac{P_{k,inf}}{A_i} + \frac{P_{k,inf} * e_{pi}}{I_i} * t_{ci}^h =$	-3032,7	-3052,5	-2583,3	-1499,5	404,7	kPa
Dolní vlákna $\sigma_d = +\frac{M_{Ek}}{I_i} * t_{ci}^d - \frac{P_{k,inf}}{A_i} - \frac{P_{k,inf} * e_{pi}}{I_i} * t_{ci}^d =$	1564,8	1523,1	798,8	-810,3	-3618,0	kPa
$\sigma < 0,6 * f_{ck} =$	21000	kPa				
$\sigma < f_{ctm} =$	3200	kPa				

$t_{oo}$ KVAZISTÁLÁ KOMBINACE	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Moment $M_{Ek,\psi2} =$	153,6	141,89	112,16	64,81	0	kNm
Horní vlákna $\sigma_h = -\frac{M_{Ek,\psi2}}{I_i} * t_{ci}^h - \frac{P_{k,inf}}{A_i} + \frac{P_{k,inf} * e_{pi}}{I_i} * t_{ci}^h =$	-1688,1	-1716,0	-1433,4	-766,1	404,7	kPa
Dolní vlákna $\sigma_d = +\frac{M_{Ek,\psi2}}{I_i} * t_{ci}^d - \frac{P_{k,inf}}{A_i} - \frac{P_{k,inf} * e_{pi}}{I_i} * t_{ci}^d =$	-283,5	-331,7	-813,9	-1846,6	-3618,0	kPa
$\sigma < 0,45 * f_{ck} =$	15750	kPa				

$t_{oo}$ ČASTÁ KOMBINACE	řez a	řez b	řez c	řez d	řez e	
Moment $M_{Ek,\psi2} =$	170,7	157,6	124,59	70,06	0	kNm
Horní vlákna $\sigma_h = -\frac{M_{Ek,\psi1}}{I_i} * t_{ci}^h - \frac{P_{k,inf}}{A_i} + \frac{P_{k,inf} * e_{pi}}{I_i} * t_{ci}^h =$	-1938,8	-1965,5	-1647,9	-865,2	404,7	kPa
Dolní vlákna $\sigma_d = +\frac{M_{Ek,\psi1}}{I_i} * t_{ci}^d - \frac{P_{k,inf}}{A_i} - \frac{P_{k,inf} * e_{pi}}{I_i} * t_{ci}^d =$	61,1	14,4	-513,1	-1706,5	-3618,0	kPa
$\sigma < 0,6 * f_{ck} =$	21000	kPa	Omezení tlaku Vyloučení tahu - pro prostředí XC1 není dekomprese požadována			
$\sigma < f_{ctm} =$	3200	kPa				

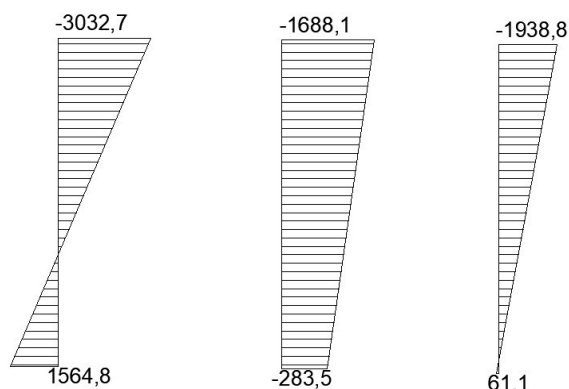
charakteristická

častá

kvazistálá

Vzniklá napětí vyhovují podmínkám omezení napětí v průřez

Nevnikají podélné ani příčné trhliny



### 3.8 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI PŘI PRUŠENÍ MOMENTEM A NORMÁLOVOU SÍLOU

V ČASE  $t = \infty$

Kombinace 6.10b Med =

$P_{moo} =$

$\gamma_p =$

Návrhová hodnota předpínací síly

$P_{doo} = \gamma_p * P_{moo} =$

$e_p =$

$N_{tot} = \gamma_p * P_{moo} =$

$M_{tot} = M_{Ed} + \gamma_p * P_{moo} * e_p =$

Základní napětí v předpínací výztuži

$\sigma_{poo} = \sigma_p^0 =$

$E_p =$

Přetvoření předpínací výztuže

$\varepsilon_p^0 = \sigma_p^0 / E_p =$

$f_{pd} =$

Mezní přetvoření předpínací výztuže

$\varepsilon_{py} = f_{pd} / E_p =$

$\varepsilon_p^0 < \varepsilon_{py}$

Předpokládáme maximální změnu napětí

ve výztuži  $\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_p^0 =$

$A_p =$

$\Delta F_p = \Delta\sigma_p * A_p =$

Sílová podmínka rovnováhy  $N_{tot} = F_c - \Delta F_p =$

$F_c = N_{tot} + \Delta F_p =$

$A_{cc} = F_c / f_{cd} =$

$f_{cd} =$

řez a	řez b	řez c	řez d	
314,2	289,45	228,93	132,78	kNm
316,4	316,1	314,9	312,7	kN
1,0				
316,4	316,1	314,9	312,7	kN
0,379	0,353	0,327	0,300	m
316,4	316,1	314,9	312,7	kN
194,28	177,85	125,95	38,98	kNm
1130,0	1129,1	1124,8	1116,6	MPa
195				GPa
0,00580	0,00579	0,00577	0,00573	
1322				MPa
0,00678				MPa
VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
191,7	192,7	197,0	205,1	MPa
0,00028				m <sup>2</sup>
53,7	53,9	55,2	57,4	kN
370,09	370,09	370,09	370,09	kN
0,0159	0,0159	0,0159	0,0159	m <sup>2</sup>
23,33				MPa

$$b_{\text{horní}} =$$

$$\lambda x = A_{cc} / b_{\text{horní}} =$$

$$x = \lambda x / 0,8 =$$

$$d =$$

Ověření předpokladu plné využitelnosti všech vrstev výztuže

$$\Delta \varepsilon_p = (\varepsilon_{cu3} / x) * (d - x) =$$

$$\varepsilon_{cu3} =$$

$$\Delta \varepsilon_p + \varepsilon_p^0 =$$

$$\Delta \varepsilon_p + \varepsilon_p^0 > \varepsilon_{py}$$

Vzdálenost těžiště od horního okraje  $t_c^h$

Vzdálenost těžiště od dolního okraje  $t_c^d$

Vzdálenost těžiště tlačného betonu od

těžiště průřezu  $z_c = t_c^h - (\lambda x / 2) =$

Vzdálenost těžiště tlačného betonu od

těžiště průřezu  $z_p = d - t_c^h =$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{RD} = F_c * z_c + \Delta F_p * z_p =$$

$$M_{\text{tot}} =$$

$$M_{\text{tot}} / M_{RD} =$$

$$M_{RD} > M_{\text{tot}}$$

Nutno navrhnout ohybovou výztuž

$$M_{\text{tot}} - M_{RD} =$$

0,5				m
0,032	0,032	0,032	0,032	m
0,040	0,040	0,040	0,040	m
0,840	0,791	0,742	0,693	m
0,0706	0,0663	0,0620	0,0577	
0,0035				
0,07644	0,07211	0,06776	0,06340	
PLATÍ	PLATÍ	PLATÍ	PLATÍ	
0,463	0,440	0,417	0,395	m
0,637	0,611	0,585	0,558	m
0,447	0,424	0,401	0,379	m
0,379	0,353	0,327	0,300	m
185,9	176,1	166,5	157,5	kNm
194,28	177,85	125,95	38,98	
1,05	1,01	0,8	0,2	
NEVYHOVUJE	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	
8,38	1,79			kNm

## Řešeno I/2

$$h = 1,1 \text{ m}$$

Beton C35/45

Ocel B500B

$$b_h = 0,5 \text{ m}$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

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

$$b_d = 0,2 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$d_1 = 0,039 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 23,33 \text{ MPa}$$

$$f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s = 434,7826 \text{ MPa}$$

$$d = 1,061 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{sd} = 0,002174$$

$$A_c = 0,273 \text{ m}^2$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

Odhad výztuže

$$\emptyset_s = 0,012 \text{ m}$$

Návrh min. plochy výztuže

$$A_{st,req} = \frac{b * d_s * f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * \Delta M_{Ed}}{b * d_s^2 * f_{cd}}} \right) =$$

$$A_{st,req} = \frac{0,2 * 1,061 * 23,33 * 10^3}{434,783 * 10^3} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 8,38}{0,2 * 1,061^2 * 23,33 * 10^3}} \right) =$$

$$A_{st,req} = 1,8E-05 \text{ m}^2$$

Návrh  $4 \times \varnothing_s 12$

$$A_{sl} = 4,52E-04 \text{ m}^2$$

Ověření konstrukčních zásad

$$A_{s,min} = 0,26 * (f_{ctm}/f_{sk}) * b * d_s = 3,53E-04$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 1,09E-02$$

$$A_{s,min} < A_{sl} < A_{s,max} \quad \text{PLATÍ}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_n > \max \{1,2 * \varnothing_s; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_n = 28,6 \text{ mm}$$

$$\lambda x = (A_s * f_{sd}) / (b * f_{cd}) = 0,016845 \text{ m}$$

Určení ramene z

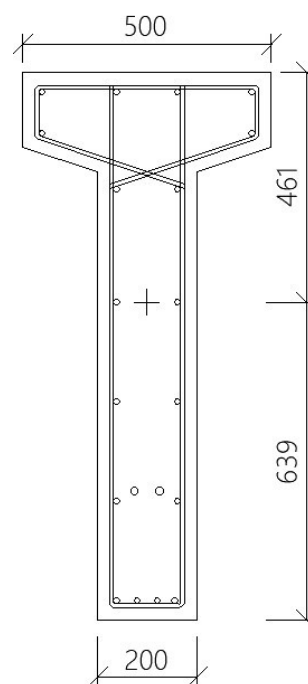
$$z = d - (\lambda x / 2) = 1,053 \text{ m}$$

$$\Delta M_{RD} = A_s * f_{sd} * z = 206,8544 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} + \Delta M_{RD} = 185,9 + 206,85 = 392,8 \text{ kNm}$$

$$M_{tot} = 194,28 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} + \Delta M_{RD} > M_{tot} \quad \text{VYHOVUJE}$$



### 3.9 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI PŘI PRUŠENÍ SMYKOVOU SILOU

Beton C35/45

Ocel B500B

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

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

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{cd} = 23,33333 \text{ MPa}$$

$$f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s = 434,7826 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu3} = 0,0035$$

$$\epsilon_{sd} = 0,002174$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

Betonářská výztuž

$$\text{Podélná výztuž } \varnothing_{sl} = 0,012 \text{ m}$$

$$\text{Trmínky } \varnothing_{st} = 0,008 \text{ m}$$



## KRITÍ VÝZTUŽE

### Podélná výztuž

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

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

$$c_{min} = \max ( 12; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10\text{mm} ) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \varnothing_s = 12 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

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

### Třmínky

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

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

$$c_{min} = \max ( 12; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10\text{mm} ) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \varnothing_s = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

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

### Podélná výstuž zakotvená na kotevní délku

$$\varnothing 12 \quad 18 \text{ ks}$$

$$A_{sl} = 0,002034 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,0109 \text{ m}^2$$

## Návrh smykové únosnosti betonu

### V teoretické podpoře

$$V_{Ed,max} = 98,05 \text{ kN}$$

$$V_e \text{ vzdálenosti } d = 0,644 \text{ m}$$

$$V_{Ed,1} = 93,65 \text{ kN}$$

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

### Stupeň vystužení

$$\rho = A_{sl} / (b_d \cdot d) = 0,00203 / (0,2 \cdot 0,644) = 0,0158 < 0,02$$

### Součinitel výšky

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/0,644)^{1/2} = 1,557 < 2$$

$$k_1 = 0,15$$

### Napětí v betonu od předpětí

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 312,7 / 0,273 = 1,15 \text{ MPa} < 0,2 \cdot f_{cd} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,557^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,402 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_d \cdot d + k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_d \cdot d \geq v_{min} \cdot b_d \cdot d + k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_d \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,557 \cdot (100 \cdot 0,0158 \cdot 35)^{1/3}] \cdot 0,2 \cdot 0,644 + 0,15 \cdot 1,15 \cdot 0,2 \cdot 0,644 \geq 0,402 \cdot 0,2 \cdot 0,644 + 1,557 \cdot 1,15 \cdot 0,2 \cdot 0,644$$

$$V_{Rd,c} = 0,20111 \text{ MN} \geq 0,281967 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = 0,282 \text{ MN} > V_{Ed,1} = 0,094 \text{ MN}$$

=> Není nutno navrhnout smykovou výztuž

Smyková výztuž navržena konstrukčně

Minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot (f_{ck} / f_{sk})^{1/2} = 0,08 \cdot (35 / 500)^{1/2} = 0,000947$$

Maximální vzdálenost třmínků

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 0,644 \cdot (1 + \cotg 90) = 0,483 \text{ m} \leq 0,4 \text{ m}$$

Návrh

$\emptyset_{st}$  8 dvoustřížné po 400mm

$$A_w = 0,00020$$

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_d \cdot \sin \alpha) = 0,000202 / (0,4 \cdot 0,2 \cdot \sin 90) = 0,002525$$

### 3.10 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ

$$q_{adh,k} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$A_f = 18,66 \text{ m}^2$$

$$F_{adh} = 37,32 \text{ kN}$$

$$n = 2 \text{ ks}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\gamma_{man} = 1$$

$$\gamma_G = 1,35$$

$$F_k = 36,77 \text{ kN} \quad \text{od vlastní tíhy}$$

V okamžiku uvolňování dílce

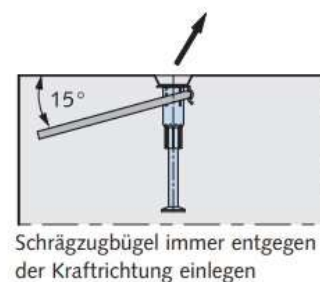
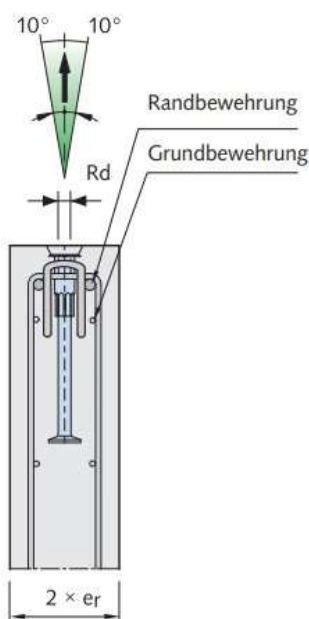
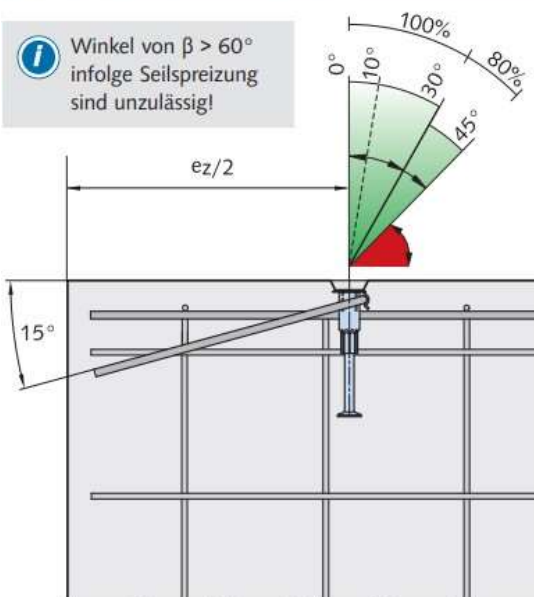
$$N_{Ed} = 1,3 \cdot (\gamma_G / n \cdot \cos \alpha) \cdot (F_k + F_{adh}) = 1,3 \cdot (1,35 / 2 \cdot \cos 30) \cdot (36,77 + 37,32) = 75,07 \text{ kN}$$

Při dalších manipulacích

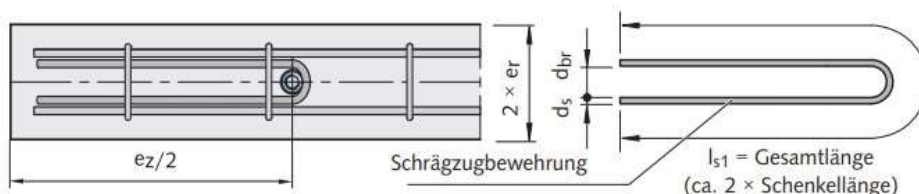
$$N_{Ed} = 1,8 \cdot ((\gamma_G \cdot \gamma_{man}) / n \cdot \cos \alpha) \cdot F_k = 1,8 \cdot ((1,35 \cdot 1) / (2 \cdot \cos 30)) \cdot 36,77 = 51,59 \text{ kN}$$

Návrh uchytů

## HALFEN DEHA Combi-Anker



**i** Der Schrägbügel ist  
mit Druckkontakt an der  
Hülse einzubauen.



**i** Der Biegerolldurchmesser  
gemäß EC 2 muss  
nicht eingehalten werden.

Bewehrung und Tragfähigkeit bei Schrägzug bis  $45^\circ$

Lastklasse		Artikel- bezeichnung	Gewinde	min. Bauteil- dicke 2 × e <sub>r</sub>	Grund- bewehrung kreuzweise	Rand- bewehrung	Schrägzug bis 45°					Achsabstand e <sub>z</sub>	
							Zulagebewehrung			Tragfähigkeit in [kN] bei Betondruckfestigkeit f <sub>ci</sub>			
			d <sub>s</sub>	d <sub>br</sub>	l <sub>s1</sub> gestreckte Länge ① ②	15 N/mm <sup>2</sup>	25 N/mm <sup>2</sup>	[mm]					
			Rd	[mm]	[mm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	15 N/mm <sup>2</sup>	25 N/mm <sup>2</sup>	[mm]	
	0,5	6351-0,5-100	12	60	1 × 188	Ø8	6	30	320	4,0	5,0	300	
	0,8	6351-0,8-105	14	60	1 × 188	Ø8	8	30	430	5,7	8,0		
					70	1 × 188	Ø8	8	30	430	6,4	8,0	
	1,2	6351-1,2-130	16	70	1 × 257	Ø8	8	30	640	8,7	11,2	400	
					80	2 × 131	2 × Ø 8	8	30	640	9,6		12,0
	1,6	6351-1,6-150	18	80	2 × 188	2 × Ø10	10	40	640	12,8	16,0	450	
	2,0	6351-2,0-183	20	80	2 × 188	2 × Ø10	10	40	840	15,5	20,0	500	
										100	16,0		20,0
	2,5	6351-2,5-200	24	100	2 × 188	2 × Ø12	10	40	1050	20,0	25,0	600	
	4,0	6351-4,0-275	30	120	2 × 188	2 × Ø12	12	50	1260	32,0	40,0	700	
	6,3	6351-6,3-334	36	140	2 × 188	2 × Ø12	16	60	1600	44,6	63,0	800	
										160	50,4		63,0
	8,0	6351-8,0-385	42	160	2 × 188	2 × Ø12	20	80	2000	56,4	72,8	900	
										180	61,6		80,0
										200	64,0		80,0
	12,5	6351-12,5-550	52	200	2 × 188	2 × Ø14	20	80	2000	100,0	116,3	1100	
										220	125,0		125,0

- ① Die Reduzierung der Länge durch Ausbildung von Endhaken, gemäß EC 2 ist möglich.  
② Bei Schrägzug von  $10^\circ < \beta \leq 30^\circ$  können die Längen um 25% abgemindert werden.

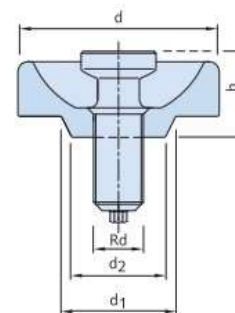
$f_{ci}$  = Würfeldruckfestigkeit zum Zeitpunkt des Abhebens

### HALFEN DEHA Adapter 6303/6366



**!** Für Nagelteller  $h=20\text{mm}$  ist der Adapter 6368 mitzuverwenden.

Der Adapter ermöglicht die Kombination zwischen dem HALFEN DEHA Kugelkopf-Transportankersystem und dem HALFEN DEHA Hülsenankersystem. In den Adapter wird die Universal-kopf-Kupplung der entsprechenden Lastklasse eingekuppelt.

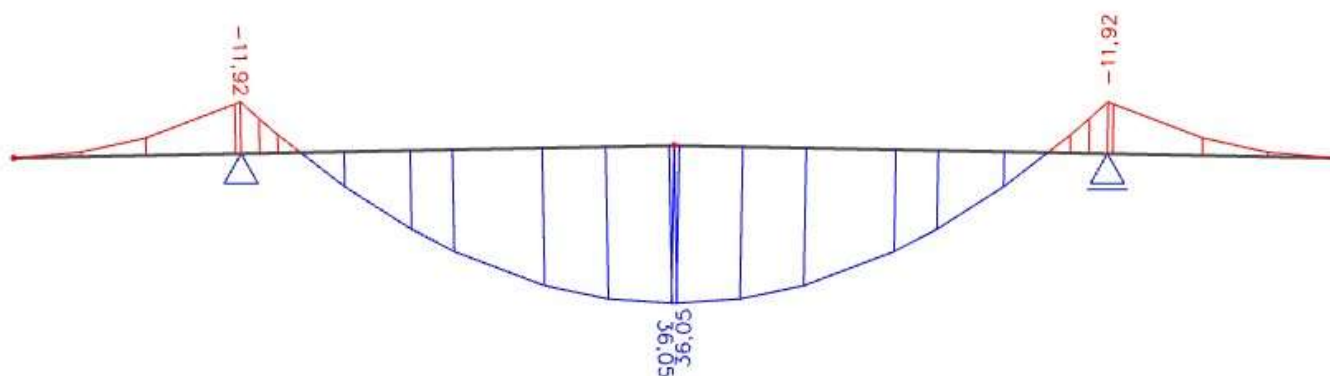


#### Abmessungen des Adapters

Lastklasse	Artikel-bezeichnung	Bestell-Nr. 0742.	Gewinde Rd	d [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	h [mm]	passend für Universal-kopf-Kupplung
0,5	6366-12	140-00001	12	70	40	30	10	6102- 1,3
0,8	6303-14	090-00002	14	78	40	30	10	6102- 2,5
1,2	6366-16	140-00002	16	78	40	30	10	6102- 2,5
1,6	6303-18	090-00004	18	78	55	45	10	6102- 2,5
2,0	6366-20	140-00003	20	97	55	45	10	6102- 5,0
2,5	6366-24	140-00004	24	97	55	45	10	6102- 5,0
4,0	6366-30	140-00005	30	97	70	60	10	6102-10,0
6,3	6366-36	140-00006	36	117	70	60	10	6102-10,0
8,0	6366-42	140-00007	42	117	95	85	12	6102-20,0
12,5	6366-52	140-00008	52	177	95	85	12	6102-20,0

## 3.11 KONTROLA OHYBOVÉHO MOMENTU PŘI PŘEPRAVĚ A SKLADOVÁNÍ

Manipulační úchyty jsou umístěny 2m od okraje průřezu



Manipulační úchyty jsou umístěny 2m od okraje průřezu

$l/2$  nad podporou

$$M_{Ed} = 36,05 \quad -11,92 \text{ kNm}$$

$$P_{ma} = 356,3 \quad 355,1 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota předpínací síly  $P_{doo}$

$$e_p = 0,379 \quad 0,300 \text{ m}$$

$$N_{tot} = P_{ma} = 356,3 \quad 355,1 \text{ kN}$$

$$M_{tot} = M_{Ed} + P_{ma} * e_p = -99,0007 \quad -118,463 \text{ kNm}$$

Tlačená spodní část průřezu

Základní napětí v předpínací výztuži

$$\sigma_{pa} = 1272,6 \quad 1268,4 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_p^0 = \sigma_p^0 / E_p = 0,006526 \quad 0,006504$$

$$\epsilon_{pd} = f_{pd} / E_p = 0,006778$$

$$\epsilon_p^0 < \epsilon_{pd} \quad \text{PLATÍ} \quad \text{PLATÍ}$$

$$f_{pd} = 1322 \text{ MPa}$$

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

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{pa} = 49,12 \quad 53,37 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_p = \Delta\sigma_p * A_p = 13,75 \quad 14,94 \text{ kN}$$

$$\Delta F_s = f_{sd} * A_s = 196,52 \quad \text{kN}$$

$$A_p = 0,00028 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,000452 \text{ m}^2$$

$$f_{cm}(t) = 32,4 \text{ MPa}$$

$$f_{cd}(t) = (f_{cm}(t) + 8)/(1,5) = 26,95 \text{ MPa}$$

Síla tlačeného betonu

$$F_c = N_{tot} + \Delta F_p - \Delta F_s = 173,57 \quad 173,57 \text{ kN}$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

Tlačená plocha betonu

$$A_{cc} = F_c / f_{cd}(t) = 0,006439 \text{ m}^2$$

$$x = A_{cc} / (\lambda * b) = 0,00644 / (0,8 * 0,5) = 0,016098 \text{ m}$$

$$l/2 \quad \text{nad podporou}$$

$$z_c = t_c^d - (\lambda x / 2) = 0,630 \quad 0,552 \text{ m}$$

$$z_p = e_p = 0,379 \quad 0,300 \text{ m}$$

$$z_s = t_c^h - d_1 = 0,424 \quad 0,356 \text{ m}$$

$$t_c^h = 0,463 \quad 0,395 \text{ m}$$

$$t_c^d = 0,637 \quad 0,558 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,039 \quad \text{m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_c * z_c + \Delta F_p * z_p + \Delta F_s * z_s = 197,99 \quad 170,18$$

$$M_{Ed} = -99,0007 \quad -118,463$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 4. SLOUP

### 4.1 MATERIÁLY

Beton C35/45

$f_{ck}$	35 MPa
$\gamma_c$	1,5
$f_{cd}$	23,33 MPa
$f_{ctm}$	3,2 MPa
$E_{cm}$	34 GPa
$\epsilon_{cu3}$	3,5 ‰
$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{cm}$	43 MPa
$f_{ctk,0,05}$	2,2 MPa

Ocel B500B

$f_{sk}$	500 MPa
$\gamma_s$	1,15
$f_{sd} = f_{sk}/\gamma_s$	434,7826 MPa
$\epsilon_{sd}$	2,1739 ‰
$E_s$	200 GPa

### 4.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU

pata sloupu

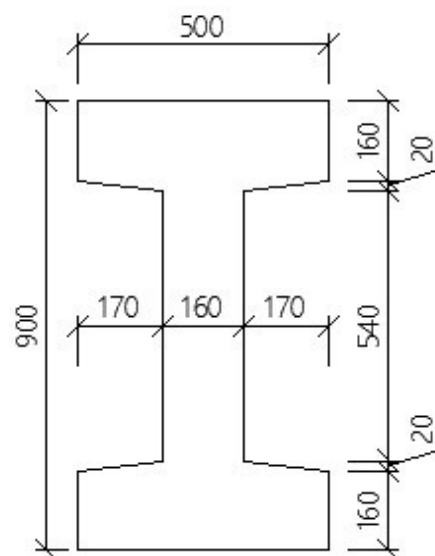
$b =$	0,5 m	$A_c =$	0,2596 m <sup>2</sup>
$h =$	0,9 m	$I_y =$	0,025393 m <sup>4</sup>
$L =$	13,24 m	$i_y =$	0,313 m

Součinitel vzpěrně délky

$\beta =$	0,7
$l_0 = \beta \cdot L =$	9,27 m

Podélná výztuž  $\phi_{sl} =$  0,02 m

Třmínky  $\phi_{st} =$  0,008 m



### KRITÍ VÝZTUŽE

Podélná výztuž

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

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

$$c_{min} = \max ( 16; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10\text{mm} ) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \phi_{sl} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{XC1,S4}$$

Třmínky

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

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

$$c_{min} = \max ( 8; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10 \text{ mm} ) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset_{sl} = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{XC1,S4}$$

## 4.3 ZATÍŽENÍ

Účinky 1. řádu

$$M_{ed,max} = 1039,2 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,odp} = 632,6 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,odp} = 1096,12 \text{ kN}$$

$$N_{ed,max} = 1130,27 \text{ kN}$$

$$e_0 = M/N = 0,95 \text{ m}$$

$$e_0 = M/N = 0,56 \text{ m}$$

$$e_i = l_0/400 = 0,023 \text{ m}$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} * ( e_0 + e_i ) =$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} * ( e_0 + e_i ) =$$

$$M_{0Ed} = 1096,12 * ( 0,95 + 0,023 ) =$$

$$M_{0Ed} = 1130,27 * ( 0,56 + 0,023 ) =$$

$$M_{0Ed} = 1064,597 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = 658,7884 \text{ kNm}$$

Účinky 2. řádu

$$i_y = 0,313 \text{ m}$$

$$\lambda = l_0 / i_y = 9,27 / 0,313 = 29,61$$

$$n_1 = N_{Ed,odp} / ( A_c * f_{cd} ) = 1096,12 / ( 0,2596 * 23,33 * 10^3 ) = 0,181$$

$$n_2 = N_{Ed,max} / ( A_c * f_{cd} ) = 1130,27 / ( 0,2596 * 23,33 * 10^3 ) = 0,187$$

$$A = 0,7$$

$$B = 1,1$$

$$C = 2,2$$

$$\lambda_{lim1} = ( 20 * A * B * C ) / ( n_1 )^{1/2} = 20 * 0,7 * 1,1 * 2,2 / ( 0,181 )^{1/2} = 79,64$$

$$\lambda_{lim2} = ( 20 * A * B * C ) / ( n_2 )^{1/2} = 20 * 0,7 * 1,1 * 2,2 / ( 0,187 )^{1/2} = 78,43$$

$\lambda < \lambda_{lim}$  PLATÍ - Účinky druhého řádu nezahrnujeme

Návrhové účinky pro MSÚ

$$M_{ed} = 1064,597 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 658,8 \text{ kNm}$$

$$N_{ed} = 1096,1 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 1130,3 \text{ kN}$$

## 4.4 PATA SLOUPU VE SMĚRU RÁMU

$$\text{Podélná výztuž } \varnothing_{sl} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Třmínky } \varnothing_{st} = 0,008 \text{ m}$$

$$A_{s\varnothing 20 \times 1} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,1} = 4 \cdot A_s = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,2} = 2 \cdot A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,3} = 2 \cdot A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

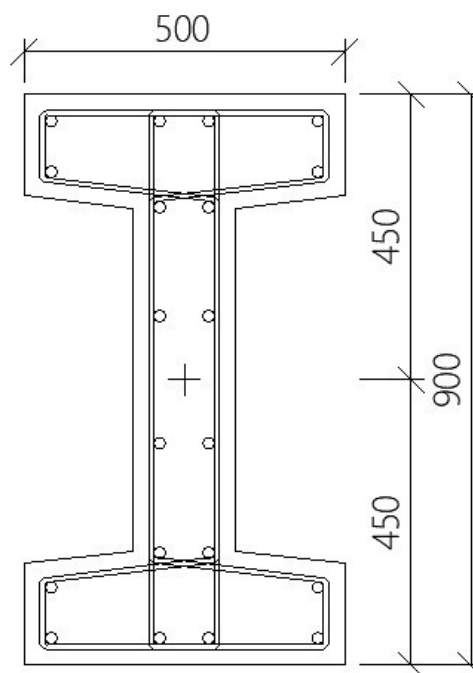
$$A_{sl,4} = 2 \cdot A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,5} = 2 \cdot A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,6} = 2 \cdot A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,7} = 2 \cdot A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,8} = 4 \cdot A_s = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



$$c_g = 0,45 \text{ m}$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

Interační diagram

### BOD 0

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_{c2} = 400,00 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} \cdot \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = A_{sl,3} \cdot \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_{s4} = A_{sl,4} \cdot \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_c = A_c \cdot f_{cd} = 6057,33 \text{ kN}$$

$$F_{s5} = A_{sl,5} \cdot \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_{s6} = A_{sl,6} \cdot \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_{s7} = A_{sl,7} \cdot \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_{s8} = A_{sl,8} \cdot \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} - F_{s5} - F_{s6} - F_{s7} - F_{s8} = -8569,33 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = 0 \text{ kNm}$$

### BOD 1

$$x = 0,858 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s1} = 0 \rightarrow \sigma_{s1} = 0 \rightarrow F_{s1} = 0$$

$$y = 0,042 \text{ m} \quad \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) \cdot (x - y) = 3,33 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s8} = A_{sl,8} \cdot \sigma_s = 546,09 \text{ kN} \quad z_{s8} = 0,408 \text{ m}$$

$$y = 0,123 \text{ m} \quad \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) \cdot (x - y) = 3,00 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s7} = A_{sl,7} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s7} = 0,327 \text{ m}$$

$$y = 0,178 \text{ m} \quad \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) \cdot (x - y) = 2,77 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s6} = A_{sl,6} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s6} = 0,272 \text{ m}$$



$y =$	0,35 m	$\varepsilon_s = (\varepsilon_{cu3} / x) * (x - y) =$	2,07 ‰ $\leq \varepsilon_{yd} =$	2,17 ‰
$\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$	414,4522 MPa	$F_{s5} = A_{sl,5} * \sigma_s =$	260,28 kN	$z_{s5} =$ 0,1 m
$y =$	0,55 m	$\varepsilon_s = (\varepsilon_{cu3} / x) * (x - y) =$	1,26 ‰ $\leq \varepsilon_{yd} =$	2,17 ‰
$\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$	251,2821 MPa	$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s =$	157,81 kN	$z_{s4} =$ 0,1 m
$y =$	0,722 m	$\varepsilon_s = (\varepsilon_{cu3} / x) * (x - y) =$	0,55 ‰ $\leq \varepsilon_{yd} =$	2,17 ‰
$\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$	110,96 MPa	$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s =$	69,68 kN	$z_{s3} =$ 0,272 m
$y =$	0,777 m	$\varepsilon_s = (\varepsilon_{cu3} / x) * (x - y) =$	0,33 ‰ $\leq \varepsilon_{yd} =$	2,17 ‰
$\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$	66,084 MPa	$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s =$	41,50 kN	$z_{s2} =$ 0,327 m

$\lambda x = 0,8 * x =$  0,6864 m  
 $A_c =$  0,168 m<sup>2</sup>  
 $F_c = A_c * f_{cd} =$  3912,72 kN  
 $z_c = h/2 - (\lambda x/2) =$  0,107 m

$N_{Rd,1} = - F_c - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} - F_{s5} - F_{s6} - F_{s7} - F_{s8} =$  -5534,16 kN  
 $M_{Rd,1} = F_c * z_c - F_{s2} * z_{s2} - F_{s3} * z_{s3} - F_{s4} * z_{s4} + F_{s5} * z_{s5} + F_{s6} * z_{s6} + F_{s7} * z_{s7} + F_{s8} * z_{s8} =$   
 $M_{Rd,1} =$  781,9584 kNm

## BOD 2

$d =$  0,858 m  
 $x_{bal,1} = x = (\varepsilon_{cu3} / (\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{sd})) * d =$  0,529 m

$y =$  0,858 m  $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{sd} = 2,17 ‰ \Rightarrow \sigma_{s1} = f_{sd} =$  434,7826 MPa  
 $F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s =$  546,087 kN  $z_{s1} = d - x_{bal,1} =$  0,408 m

$y =$  0,777 m  $\varepsilon_{s2} =$  1,63 ‰  $\leq \varepsilon_{yd} =$  2,17 ‰  
 $\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$  326,0 MPa  $F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s =$  204,73 kN  $z_{s2} =$  0,327 m

$y =$  0,722 m  $\varepsilon_{s3} =$  1,27 ‰  $\leq \varepsilon_{yd} =$  2,17 ‰  
 $\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$  254,0 MPa  $F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s =$  159,51 kN  $z_{s3} =$  0,272 m

$y =$  0,55 m  $\varepsilon_{s4} =$  0,13 ‰  $\leq \varepsilon_{yd} =$  2,17 ‰  
 $\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$  26,0 MPa  $F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s =$  16,33 kN  $z_{s4} =$  0,1 m

$y =$  0,35 m  $\varepsilon_{s5} =$  1,19 ‰  $\leq \varepsilon_{yd} =$  2,17 ‰  
 $\sigma_s = E_s * \varepsilon_s =$  238,0 MPa  $F_{s5} = A_{sl,5} * \sigma_s =$  149,46 kN  $z_{s5} =$  0,1 m

$$y = 0,178 \text{ m} \quad \epsilon_{s6} = 2,33 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,8 \text{ MPa} \quad F_{s6} = A_{sl,6} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s6} = 0,272 \text{ m}$$

$$y = 0,123 \text{ m} \quad \epsilon_{s7} = 2,68 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,8 \text{ MPa} \quad F_{s7} = A_{sl,7} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s7} = 0,327 \text{ m}$$

$$y = 0,042 \text{ m} \quad \epsilon_{s8} = 3,23 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,8 \text{ MPa} \quad F_{s8} = A_{sl,8} \cdot \sigma_s = 546,09 \text{ kN} \quad z_{s8} = 0,408 \text{ m}$$

$$\lambda x = 0,8 \cdot x = 0,423 \text{ m}$$

$$A_c = 0,127 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c \cdot f_{cd} = 2963,333 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,238 \text{ m}$$

$$N_{Rd,2} = F_c - F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} + F_{s5} + F_{s6} + F_{s7} + F_{s8} = -3278,32 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s3} \cdot z_{s3} + F_{s4} \cdot z_{s4} + F_{s5} \cdot z_{s5} + F_{s6} \cdot z_{s6} + F_{s7} \cdot z_{s7} + F_{s8} \cdot z_{s8} =$$

$$M_{Rd,2} = 1442,218 \text{ kNm}$$

### BOD 3

$$x = 0,136 \text{ m}$$

$$y = 0,042 \text{ m} \quad \epsilon_{s8} = 2,420 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s8} = A_{sl,8} \cdot \sigma_s = 546,09 \text{ kN} \quad z_{s8} = x - y = 0,408 \text{ m}$$

$$y = 0,123 \text{ m} \quad \epsilon_{s7} = 0,336 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s = 67,18283 \text{ MPa} \quad F_{s7} = A_{sl,7} \cdot \sigma_s = 42,19 \text{ kN} \quad z_{s7} = y - x = 0,327 \text{ m}$$

$$y = 0,178 \text{ m} \quad \epsilon_{s6} = 1,079 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 215,7842 \text{ MPa} \quad F_{s6} = A_{sl,6} \cdot \sigma_s = 135,51 \text{ kN} \quad z_{s6} = y - x = 0,272 \text{ m}$$

$$y = 0,35 \text{ m} \quad \epsilon_{s5} = 5,503 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s5} = A_{sl,5} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s5} = y - x = 0,100 \text{ m}$$

$$y = 0,55 \text{ m} \quad \epsilon_{s4} = 10,648 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s4} = A_{sl,4} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s4} = x - y = 0,100 \text{ m}$$

$$y = 0,722 \text{ m} \quad \epsilon_{s3} = 15,073 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s3} = A_{sl,3} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s3} = x - y = 0,272 \text{ m}$$

$$y = 0,777 \text{ m} \quad \epsilon_{s2} = 16,488 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s = 273,04 \text{ kN} \quad z_{s2} = x - y = 0,327 \text{ m}$$

$$y = 0,858 \text{ m} \quad \epsilon_{s1} = 18,571 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s1} = A_{s1,1} \cdot \sigma_s = 546,09 \text{ kN} \quad z_{s1} = x - y = 0,408 \text{ m}$$

$$\lambda x = 0,8 \cdot x = 0,109 \text{ m} \quad b = 0,5 \text{ m}$$

$$A_c = 0,054 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c \cdot f_{cd} = 1269,9 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,396 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = F_c - F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} - F_{s5} - F_{s6} - F_{s7} + F_{s8} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,3} = F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s3} \cdot z_{s3} + F_{s4} \cdot z_{s4} + F_{s5} \cdot z_{s5} + F_{s6} \cdot z_{s6} + F_{s7} \cdot z_{s7} + F_{s8} \cdot z_{s8} = 1060,8 \text{ kNm}$$

#### BOD 4

$$x = 0,041 \text{ m}$$

$$y = 0,042 \text{ m} \quad \epsilon_{s8} = 0,000 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s = 0 \text{ MPa} \quad F_{s8} = A_{s1,8} \cdot \sigma_s = 0,00 \text{ kN} \quad z_{s8} = x - y = 0,408 \text{ m}$$

$$y = 0,123 \text{ m} \quad \epsilon_{s7} = 0,220 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s = 44 \text{ MPa} \quad F_{s7} = A_{s1,7} \cdot \sigma_s = 27,63 \text{ kN} \quad z_{s7} = y - x = 0,327 \text{ m}$$

$$y = 0,178 \text{ m} \quad \epsilon_{s6} = 0,360 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 72 \text{ MPa} \quad F_{s6} = A_{s1,6} \cdot \sigma_s = 45,22 \text{ kN} \quad z_{s6} = y - x = 0,272 \text{ m}$$

$$y = 0,35 \text{ m} \quad \epsilon_{s5} = 0,820 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 164 \text{ MPa} \quad F_{s5} = A_{s1,5} \cdot \sigma_s = 102,99 \text{ kN} \quad z_{s5} = y - x = 0,100 \text{ m}$$

$$y = 0,55 \text{ m} \quad \epsilon_{s4} = 1,360 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 272 \text{ MPa} \quad F_{s4} = A_{s1,4} \cdot \sigma_s = 170,82 \text{ kN} \quad z_{s4} = x - y = 0,100 \text{ m}$$

$$y = 0,722 \text{ m} \quad \epsilon_{s3} = 1,820 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 364 \text{ MPa} \quad F_{s3} = A_{s1,3} \cdot \sigma_s = 228,59 \text{ kN} \quad z_{s3} = x - y = 0,272 \text{ m}$$

$$y = 0,777 \text{ m} \quad \epsilon_{s2} = 1,960 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 392 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{s1,2} \cdot \sigma_s = 246,18 \text{ kN} \quad z_{s2} = x - y = 0,327 \text{ m}$$

$$y = 0,858 \text{ m} \quad \epsilon_{s1} = 2,170 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434 \text{ MPa} \quad F_{s1} = A_{s1,1} \cdot \sigma_s = 545,10 \text{ kN} \quad z_{s1} = x - y = 0,408 \text{ m}$$

$$N_{Rd,4} = + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{s6} + F_{s7} + F_{s8} = 1366,5 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} + F_{s5} * z_{s5} + F_{s6} * z_{s6} + F_{s7} * z_{s7} + F_{s8} * z_{s8} =$$

$$M_{Rd,4} = 350,5 \text{ kNm}$$

## BOD 5

$$\sigma_s = E_s * \epsilon_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s5} = A_{sl,5} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s6} = A_{sl,6} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s7} = A_{sl,7} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s8} = A_{sl,8} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,5} = + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{s6} + F_{s7} + F_{s8} = 2730,43 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = 0 \text{ kNm}$$

	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$	$M_{Rd}$
0	0	-8569	0
1	782	-5534	-782
2	1442	-3278	-1442
3	1061	0	-1061
4	351	1367	-351
5	0	2730	0

$$1 \quad M_{ed,max} = 1039,2 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,odp} = -1096,12 \text{ kN}$$

$$2 \quad M_{ed,odp} = 632,6 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = -1130,27 \text{ kN}$$

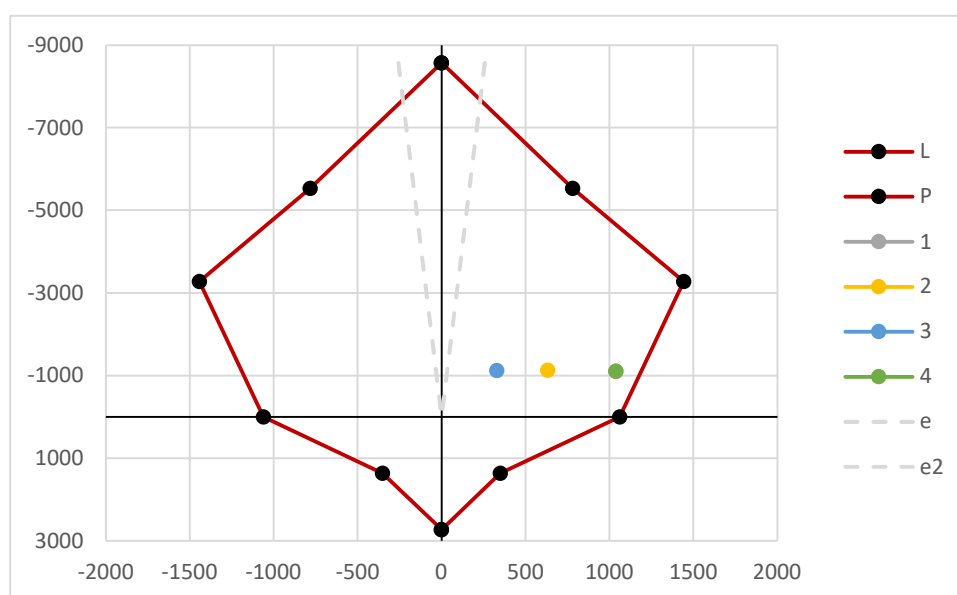
$$3 \quad M_{ed,min} = 329,15 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,odp} = -1122,6 \text{ kN}$$

$$e = \max(h/30 ; 0,02) = 0,03$$

$$4 \quad M_{ed,odp} = 1038,5 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,min} = -1106,78 \text{ kN}$$



## 4.5 PATA SLOUPU VE SMĚRU KOLMO NA RÁM

Podélná výztuž  $\varnothing_{sl} = 0,02 \text{ m}$

Třmínky  $\varnothing_{st} = 0,008 \text{ m}$

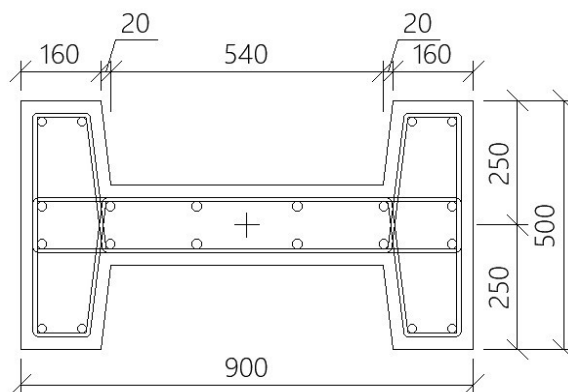
$A_{s\varnothing 20 \times 1} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$A_{sl,1} = 4 \cdot A_s = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$A_{sl,2} = 6 \cdot A_s = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$A_{sl,3} = 6 \cdot A_s = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$A_{sl,4} = 4 \cdot A_s = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$



Interační diagram

**BOD 0**

$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_{c2} = 400,00 \text{ MPa}$

$F_{s1} = A_{sl,1} \cdot \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$

$F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s = 753,60 \text{ kN}$

$F_{s3} = A_{sl,3} \cdot \sigma_s = 753,60 \text{ kN}$

$F_{s4} = A_{sl,4} \cdot \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$

$F_c = A_c \cdot f_{cd} = 6057,33 \text{ kN}$

$h = 0,5 \text{ m}$

$c_g = 0,25 \text{ m}$

$b = 0,9 \text{ m}$

$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -8569,33 \text{ kN}$

$M_{Rd,0} = 0 \text{ kNm}$

**BOD 1**

$x = 0,458 \text{ m}$

$\varepsilon_{s1} = 0 \rightarrow \sigma_{s1} = 0 \rightarrow F_{s1} = 0$

$y = 0,042 \text{ m} \quad \varepsilon_s = (\varepsilon_{cu3} / x) \cdot (x - y) = 3,18 \text{ ‰} \leq \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$

$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s = 434,7826 \text{ MPa} \quad F_{s4} = A_{sl,4} \cdot \sigma_s = 546,09 \text{ kN} \quad z_{s4} = 0,208 \text{ m}$

$y = 0,212 \text{ m} \quad \varepsilon_s = (\varepsilon_{cu3} / x) \cdot (x - y) = 1,88 \text{ ‰} \leq \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$

$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s = 375,9825 \text{ MPa} \quad F_{s3} = A_{sl,3} \cdot \sigma_s = 708,35 \text{ kN} \quad z_{s3} = 0,038 \text{ m}$

$y = 0,288 \text{ m} \quad \varepsilon_s = (\varepsilon_{cu3} / x) \cdot (x - y) = 1,30 \text{ ‰} \leq \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$

$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s = 259,8253 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s = 489,51 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,038 \text{ m}$

$\lambda x = 0,8 \cdot x = 0,3664 \text{ m}$

$A_c = 0,215 \text{ m}^2$

$F_c = A_c \cdot f_{cd} = 5010,787 \text{ kN}$

$z_c = 0,067 \text{ m}$

$$N_{Rd,1} = -F_c - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -6754,74 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = F_c * z_c + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 493,8254 \text{ kNm}$$

## BOD 2

$$d = 0,458 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} = x = (\epsilon_{cu3} / (\epsilon_{cu3} + \epsilon_{sd})) * d = 0,283 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,458 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 2,17 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_{s1} = f_{sd} &= 434,78 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s &= 546,087 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,288 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 0,07 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 13,58 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s &= 25,58 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,212 \text{ m} & \epsilon_{s3} &= 0,87 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 174,7294 \text{ MPa} & F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s &= 329,19 \text{ kN} & z_{s3} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,042 \text{ m} & \epsilon_{s4} &= 2,98 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s4} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,226 \text{ m}$$

$$A_c = 0,108 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 2524,667 \text{ kN}$$

$$z_c = 0,137 \text{ m}$$

$$N_{Rd,2} = -F_c + F_{s1} + F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -2828,28 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 586,51 \text{ kNm}$$

## BOD 3

$$x = 0,199 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,042 \text{ m} & \epsilon_{s4} &= 2,763 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s4} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,212 \text{ m} & \epsilon_{s3} &= 0,222 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 44,35682 \text{ MPa} & F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s &= 83,57 \text{ kN} & z_{s3} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,288 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 1,556 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 311,2017 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s &= 586,30 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,458 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 4,540 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,159 \text{ m}$$

$$A_c = 0,029 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 669,9 \text{ kN}$$

$$z_c = 0,170 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} - F_{s4} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,3} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 360,3 \text{ kNm}$$

#### BOD 4

$$x = 0,042 \text{ m}$$

$$y = 0,042 \text{ m} \quad \epsilon_{s4} = 0,000 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 0 \text{ MPa} \quad F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 0,00 \text{ kN} \quad z_{s4} = 0,208 \text{ m}$$

$$y = 0,212 \text{ m} \quad \epsilon_{s3} = 0,890 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 178 \text{ MPa} \quad F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 335,35 \text{ kN} \quad z_{s3} = 0,038 \text{ m}$$

$$y = 0,288 \text{ m} \quad \epsilon_{s2} = 1,280 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 256 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 482,30 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,038 \text{ m}$$

$$y = 0,458 \text{ m} \quad \epsilon_{s1} = 2,170 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434 \text{ MPa} \quad F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 545,10 \text{ kN} \quad z_{s1} = 0,208 \text{ m}$$

$$N_{Rd,4} = + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} = 1362,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} - F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 119,0 \text{ kNm}$$

#### BOD 5

$$\sigma_s = E_s * \epsilon_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 819,13 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 819,13 \text{ kN}$$

$$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,5} = +F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} = 2730,43 \text{ kN}$$

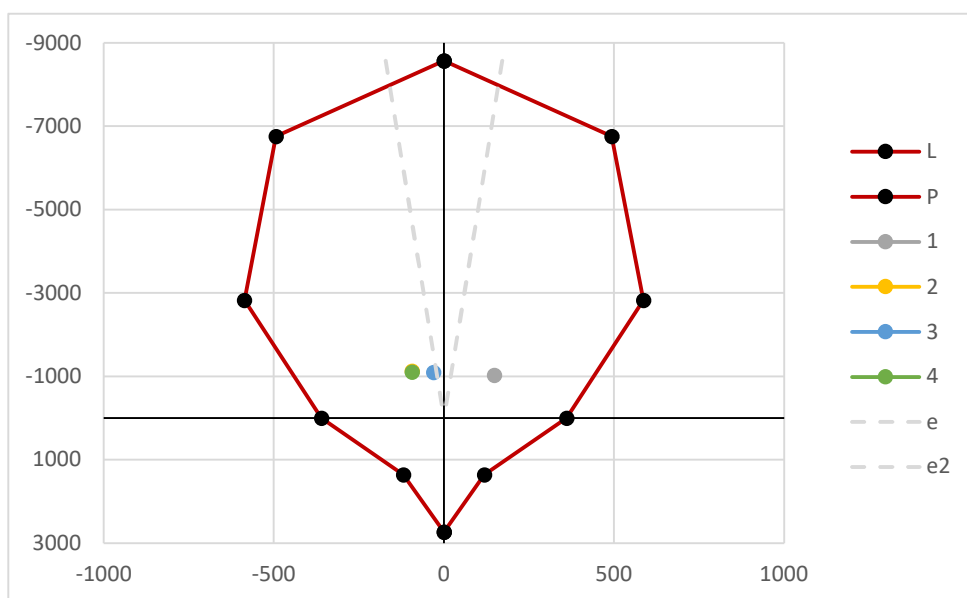
$$M_{Rd,5} = 0 \text{ kNm}$$

$M_{Rd}$	$N_{Rd}$	$M_{Rd}$	$M_{ed,max}=$
0	0	-8569	148,51 kNm
1	494	-6755	$N_{ed,odp}=$ -1025,6 kN
2	587	-2828	$M_{ed,odp}=$ -93,95 kNm
3	360	0	$N_{ed,max}=$ -1130,27 kN
4	119	1363	$M_{ed,min}=$ -30,8 kNm
5	0	2730	$N_{ed,odp}=$ -1096,12 kN

$$e = \max(h/30 ; 0,02) = 0,02$$

$$M_{ed,odp} = -93,95 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,min} = -1106,78 \text{ kN}$$





## 4.6 POSOUZENÍ NA SMYK

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 121,99 \text{ kN} & d &= 0,858 \text{ m} \\ & & b_w &= 0,5 \text{ m} \\ & & A_{sl} &= 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Bez smykové výztuže

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

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

Součinitel výšky

$$\begin{aligned} k &= 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/858)^{1/2} = 1,483 < 2 \\ k_1 &= 1,5 \end{aligned}$$

Stupeň vystužení

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) = (1,26 \cdot 10^{-3}) / (0,5 \cdot 0,858) = 0,002928 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,483^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,374 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,483 \cdot (100 \cdot 0,002928 \cdot 35)^{1/3} + 1,5 \cdot 0] \cdot 500 \cdot 858 \geq (0,374 + 0,15 \cdot 0) \cdot 858 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} = 165,8 \text{ kN} \geq 160,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 165,8 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 122,0 \text{ kN}$$

=> Není nutno navrhnu smykovou výztuž

Konstrukční zásady

$$\begin{aligned} \emptyset_{sl} &= 20 \text{ mm} \\ b &= 500 \text{ mm} \\ h &= 900 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže

$$\begin{aligned} s_{cl,max} &= \min \{ 15 \cdot \emptyset_{sl} ; \min (h; b) ; 300 \text{ mm} \} = \min \{ 15 \cdot 20 ; \min \{ 0,9; 0,5 \} ; 300 \text{ mm} \} = \\ s_{cl,max} &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Návrh

doustřížné  $\emptyset_{st} 8$  po 300 mm

## 4.7 HORNÍ ČÁST SLOUPU VE SMĚRU RÁMU

$$\text{Podélná výztuž } \sigma_{sl} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Třmínky } \sigma_{st} = 0,008 \text{ m}$$

$$A_{s\phi 20 \times 1} = 3,14 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,1} = 4 * A_s = 1,26 \text{E-}03 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,2} = 2 * A_s = 6,28 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,3} = 2 * A_s = 6,28 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,4} = 4 * A_s = 1,26 \text{E-}03 \text{ m}^2$$

Interační diagram

### BOD 0

$$\sigma_s = E_s * \epsilon_{c2} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$$

$$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 6057,33 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -7564,53 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = 0 \text{ kNm}$$

### BOD 1

$$x = 0,408 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s1} = 0 \rightarrow \sigma_{s1} = 0 \rightarrow F_{s1} = 0$$

$$\begin{array}{llll} y = 0,042 \text{ m} & \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 3,18 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} & & \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s = 434,7826 \text{ MPa} & F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN} & z_{s4} = 0,183 \text{ m} & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} y = 0,132 \text{ m} & \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 2,49 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} & & \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s = 434,7826 \text{ MPa} & F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN} & z_{s3} = 0,102 \text{ m} & \end{array}$$

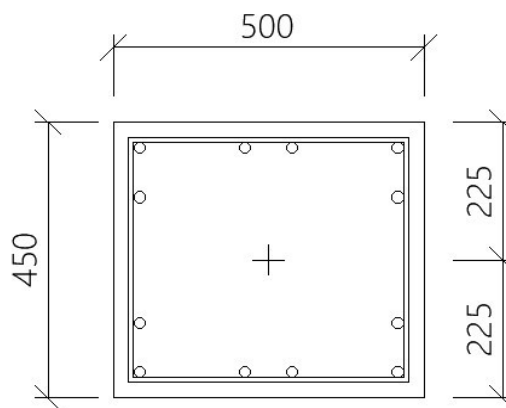
$$\begin{array}{llll} y = 0,327 \text{ m} & \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 1,00 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} & & \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s = 200,2183 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 125,74 \text{ kN} & z_{s2} = 0,102 \text{ m} & \end{array}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,3264 \text{ m}$$

$$A_c = 0,163 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 3808 \text{ kN}$$

$$z_c = 0,087 \text{ m}$$



$$h = 0,45 \text{ m}$$

$$c_g = 0,25 \text{ m}$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

$$N_{Rd,1} = -F_c - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -4752,87 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = F_c * z_c + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 471,1439 \text{ kNm}$$

## BOD 2

$$d = 0,408 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} = x = (\epsilon_{cu3} / (\epsilon_{cu3} + \epsilon_{sd})) * d = 0,252 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,408 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 1,55 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_{s1} = f_{sd} &= 310,90 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s &= 390,4879 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,183 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,327 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 0,55 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 110,21 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s &= 69,21 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,102 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,132 \text{ m} & \epsilon_{s3} &= 1,86 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 372,9448 \text{ MPa} & F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s &= 234,21 \text{ kN} & z_{s3} &= 0,102 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,042 \text{ m} & \epsilon_{s4} &= 2,98 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s4} &= 0,183 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,201 \text{ m}$$

$$A_c = 0,101 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 2348,996 \text{ kN}$$

$$z_c = 0,149 \text{ m}$$

$$N_{Rd,2} = -F_c + F_{s1} + F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -2669,60 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 553,11 \text{ kNm}$$

## BOD 3

$$x = 0,050 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,042 \text{ m} & \epsilon_{s4} &= 2,763 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s4} &= 0,183 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,132 \text{ m} & \epsilon_{s3} &= 1,183 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 236,5325 \text{ MPa} & F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s &= 148,54 \text{ kN} & z_{s3} &= 0,102 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,327 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 2,241 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s &= 273,04 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,102 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,408 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 3,663 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,183 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,040 \text{ m}$$

$$A_c = 0,020 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 468,4 \text{ kN}$$

$$z_c = 0,230 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} - F_{s4} = -46,84 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,3} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 320,3 \text{ kNm}$$

#### BOD 4

$$x = 0,042 \text{ m}$$

$$y = 0,042 \text{ m} \quad \epsilon_{s4} = 0,000 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 0 \text{ MPa} \quad F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 0,00 \text{ kN} \quad z_{s4} = 0,183 \text{ m}$$

$$y = 0,132 \text{ m} \quad \epsilon_{s3} = 0,890 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 178 \text{ MPa} \quad F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 111,78 \text{ kN} \quad z_{s3} = 0,102 \text{ m}$$

$$y = 0,327 \text{ m} \quad \epsilon_{s2} = 1,280 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 256 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 160,77 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,102 \text{ m}$$

$$y = 0,408 \text{ m} \quad \epsilon_{s1} = 2,170 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434 \text{ MPa} \quad F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 545,10 \text{ kN} \quad z_{s1} = 0,183 \text{ m}$$

$$N_{Rd,4} = + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} = 817,7 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} - F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 104,8 \text{ kNm}$$

#### BOD 5

$$\sigma_s = E_s * \epsilon_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,5} = +F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} = 1638,26 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = 0 \text{ kNm}$$

	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$	$M_{Rd}$
0	0	-7565	0
1	471	-4753	-471
2	553	-2670	-553
3	320	-47	-320
4	105	818	-105
5	0	1638	0

$M_{ed,max} = 274,3 \text{ kNm}$

$N_{ed,odp} = -61,25 \text{ kN}$

$M_{ed,odp} = 229,6 \text{ kNm}$

$N_{ed,max} = -158,02 \text{ kN}$

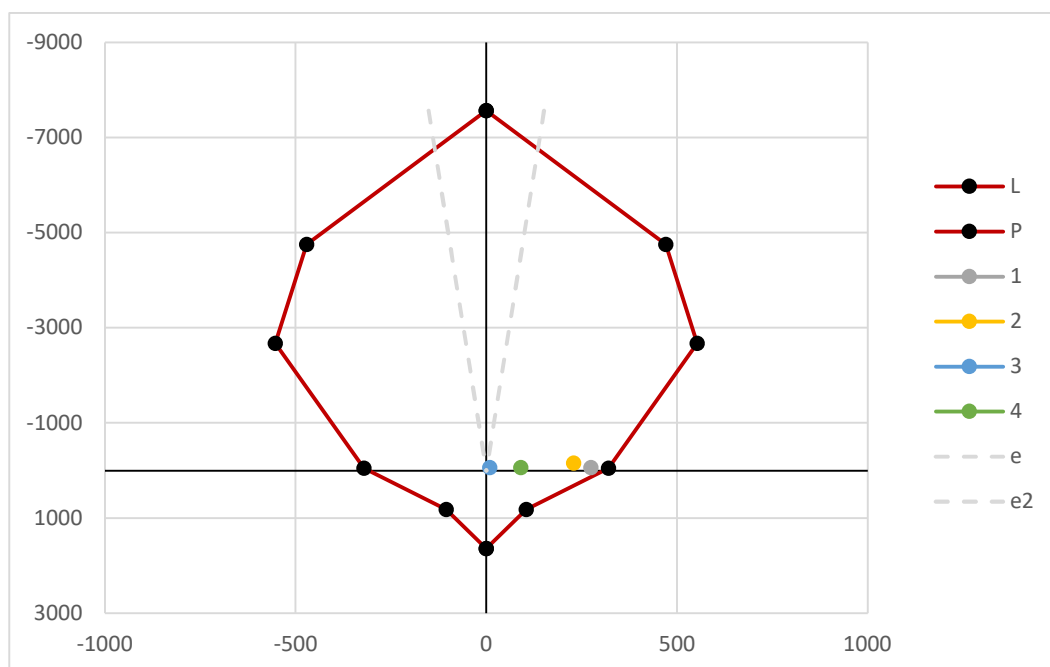
$M_{ed,min} = 9,37 \text{ kNm}$

$N_{ed,odp} = 131,2 \text{ kN}$

$M_{ed,odp} = 90,5 \text{ kNm}$

$N_{ed,min} = -61,9 \text{ kN}$

$e = \max(h/30 ; 0,02) = 0,02$



## 4.8 HORNÍ ČÁST SLOUPU VE SMĚRU KOLM NA RÁM

Podélná výztuž  $\varnothing_{sl} = 0,02 \text{ m}$

Třmínky  $\varnothing_{st} = 0,008 \text{ m}$

$A_{s\varnothing 20 \times 1} = 3,14 \text{E-}04 \text{ m}^2$

$A_{sl,1} = 4 * A_s = 1,26 \text{E-}03 \text{ m}^2$

$A_{sl,2} = 2 * A_s = 6,28 \text{E-}04 \text{ m}^2$

$A_{sl,3} = 2 * A_s = 6,28 \text{E-}04 \text{ m}^2$

$A_{sl,4} = 4 * A_s = 1,26 \text{E-}03 \text{ m}^2$

Interační diagram

**BOD 0**

$\sigma_s = E_s * \epsilon_{c2} = 400,00 \text{ MPa}$

$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$

$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$

$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 251,20 \text{ kN}$

$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 502,40 \text{ kN}$

$F_c = A_c * f_{cd} = 6057,33 \text{ kN}$

$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -7564,53 \text{ kN}$

$M_{Rd,0} = 0 \text{ kNm}$

**BOD 1**

$x = 0,458 \text{ m}$

$\epsilon_{s1} = 0 \rightarrow \sigma_{s1} = 0 \rightarrow F_{s1} = 0$

$y = 0,042 \text{ m}$	$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 3,18 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$	
$\sigma_s = E_s * \epsilon_s = 434,7826 \text{ MPa}$	$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$	$z_{s4} = 0,208 \text{ m}$

$y = 0,212 \text{ m}$	$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 1,88 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$	
$\sigma_s = E_s * \epsilon_s = 375,9825 \text{ MPa}$	$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 236,12 \text{ kN}$	$z_{s3} = 0,038 \text{ m}$

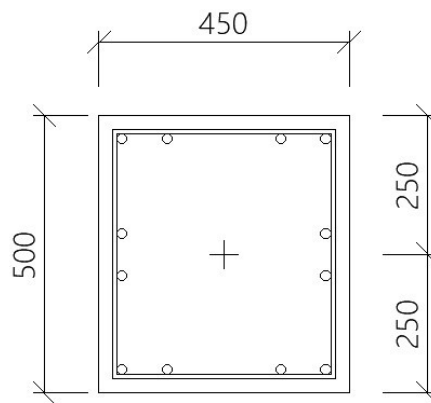
$y = 0,288 \text{ m}$	$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 1,30 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$	
$\sigma_s = E_s * \epsilon_s = 259,8253 \text{ MPa}$	$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 163,17 \text{ kN}$	$z_{s2} = 0,038 \text{ m}$

$\lambda x = 0,8 * x = 0,3664 \text{ m}$

$A_c = 0,165 \text{ m}^2$

$F_c = A_c * f_{cd} = 3847,2 \text{ kN}$

$z_c = 0,067 \text{ m}$



$h = 0,5 \text{ m}$

$c_g = 0,25 \text{ m}$

$b = 0,45 \text{ m}$

$$N_{Rd,1} = -F_c - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -4792,57 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = F_c * z_c + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 385,752 \text{ kNm}$$

## BOD 2

$$d = 0,458 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} = x = (\epsilon_{cu3} / (\epsilon_{cu3} + \epsilon_{sd})) * d = 0,283 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,458 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 0,00 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_{s1} = f_{sd} &= 0,00 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{s1,1} * \sigma_s &= 0 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,288 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 1,30 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 259,83 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{s1,2} * \sigma_s &= 163,17 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,212 \text{ m} & \epsilon_{s3} &= 1,88 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 375,9825 \text{ MPa} & F_{s3} = A_{s1,3} * \sigma_s &= 236,12 \text{ kN} & z_{s3} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,042 \text{ m} & \epsilon_{s4} &= 3,18 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s4} = A_{s1,4} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s4} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,226 \text{ m}$$

$$A_c = 0,102 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 2373,177 \text{ kN}$$

$$z_c = 0,137 \text{ m}$$

$$N_{Rd,2} = -F_c + F_{s1} + F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} = -2992,21 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 453,86 \text{ kNm}$$

## BOD 3

$$x = 0,080 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,042 \text{ m} & \epsilon_{s4} &= 1,667 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 333,3268 \text{ MPa} & F_{s4} = A_{s1,4} * \sigma_s &= 418,66 \text{ kN} & z_{s4} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,212 \text{ m} & \epsilon_{s3} &= 5,754 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s3} = A_{s1,3} * \sigma_s &= 273,04 \text{ kN} & z_{s3} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,288 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 9,072 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{s1,2} * \sigma_s &= 273,04 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,458 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 16,492 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{s1,1} * \sigma_s &= 546,09 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,064 \text{ m}$$

$$A_c = 0,029 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 673,5 \text{ kN}$$

$$z_c = 0,218 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} - F_{s4} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,3} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} + F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 347,4 \text{ kNm}$$

#### BOD 4

$$x = 0,042 \text{ m}$$

$$y = 0,042 \text{ m} \quad \epsilon_{s4} = 0,000 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 0 \text{ MPa} \quad F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 0,00 \text{ kN} \quad z_{s4} = 0,208 \text{ m}$$

$$y = 0,212 \text{ m} \quad \epsilon_{s3} = 0,890 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 178 \text{ MPa} \quad F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 111,78 \text{ kN} \quad z_{s3} = 0,038 \text{ m}$$

$$y = 0,288 \text{ m} \quad \epsilon_{s2} = 1,280 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 256 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 160,77 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,038 \text{ m}$$

$$y = 0,458 \text{ m} \quad \epsilon_{s1} = 2,170 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{sd} = 434 \text{ MPa} \quad F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 545,10 \text{ kN} \quad z_{s1} = 0,208 \text{ m}$$

$$N_{Rd,4} = + F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} = 817,7 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} - F_{s3} * z_{s3} + F_{s4} * z_{s4} = 115,2 \text{ kNm}$$

#### BOD 5

$$\sigma_s = E_s * \epsilon_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = A_{sl,3} * \sigma_s = 273,04 \text{ kN}$$

$$F_{s4} = A_{sl,4} * \sigma_s = 546,09 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,5} = +F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} = 1638,26 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = 0 \text{ kNm}$$



$M_{Rd}$	$N_{Rd}$	$M_{Rd}$	
0	0	-7565	0
1	386	-4793	-386
2	454	-2992	-454
3	347	0	-347
4	115	818	-115
5	0	1638	0

$M_{ed,max} = 274,3 \text{ kNm}$

$N_{ed,odp} = -61,25 \text{ kN}$

$M_{ed,odp} = 229,6 \text{ kNm}$

$N_{ed,max} = -158,02 \text{ kN}$

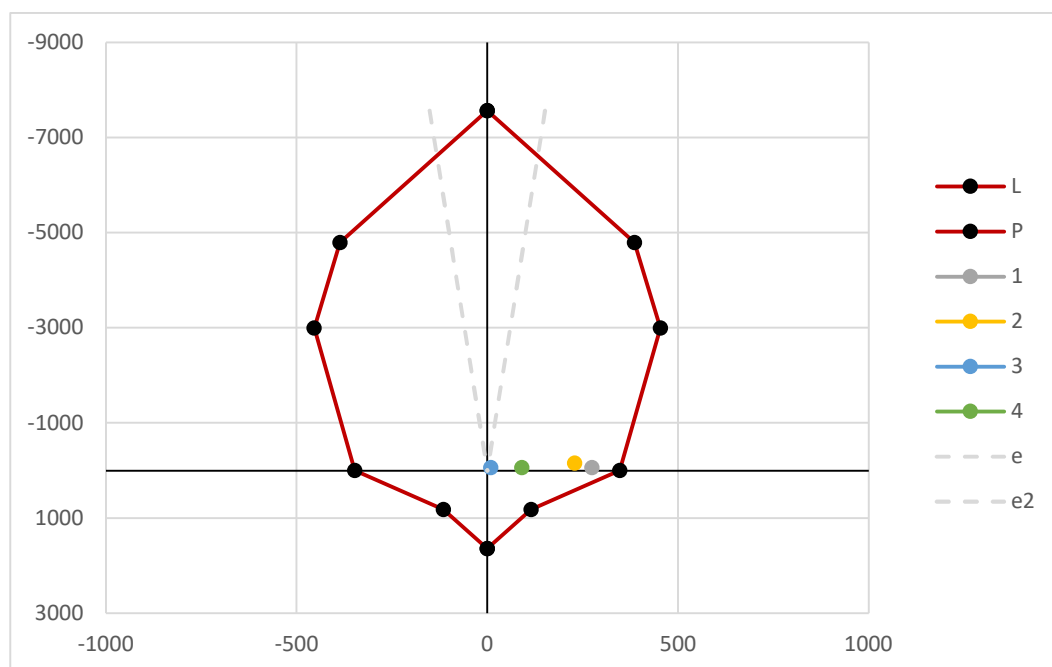
$M_{ed,min} = 9,37 \text{ kNm}$

$N_{ed,odp} = -131,2 \text{ kN}$

$M_{ed,odp} = 90,5 \text{ kNm}$

$N_{ed,min} = -61,9 \text{ kN}$

$e = \max(h/30 ; 0,02) = 0,02$



## 4.9 NÁVRH KONZOLI JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Základní parametry konzoly

$$F_{Ed} = 881 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 0,2 * F_{Ed} = 176,2 \text{ kN}$$

Roznášecí deska 300x500

Výztuž

$$A_{s1} \varnothing 14 = 1,54E-04 \text{ m}^4$$

$$A_{s2} \varnothing 10 = 7,90E-05 \text{ m}^4$$

Geometrie

$$h_c = 795 \text{ mm} \quad d' = 55 \text{ mm}$$

$$a_c = 125 \text{ mm} \quad d = 740 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm} \quad a_v = 0 \text{ mm}$$

Krytí

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

**Maximální tlakové napětí**

styčnick CCC

$$\sigma_{Ed,max} = k_1 * \nu' * f_{cd} = 1 * (1 - (35/250)) * 23,33 = 20,07 \text{ MPa}$$

styčnick CCT

$$\sigma_{Ed,max} = k_1 * \nu' * f_{cd} = 0,85 * (1 - (35/250)) * 23,33 = 17,06 \text{ MPa}$$

**Návrh vodorovné výztuže**

Šířka tlačené oblasti ve sloupu

$$x_1 = F_{Ed} / (\sigma_{Rd,max} * b) = 881 * 10^3 / (20,6 * 500) = 87,8 \text{ mm}$$

Rameno síly

$$a = a_c + 0,5 * x_1 + (H_{Ed} / (F_{Ed} * (d'))) = 125 + 500 * 87,8 + (176,2 / (881 * (55))) = 169 \text{ mm}$$

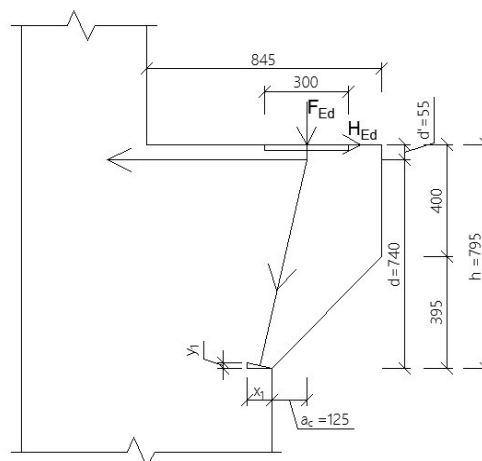
Výška tlačené oblasti

$$y_1 = d - (d^2 - 2 * x * (a + (H_{Ed} / (F_{Ed} * d'))))^{1/2} = 740 - (740^2 - 2 * 87,8 * (169 + (176,2 / (881 * 55))))^{1/2} =$$

$$y_1 = 20,3 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,5 * y = 740 - 0,5 * 20,3 = 729,8 \text{ mm}$$



Velikost tahové síly při horním líci konzoly

$$F_t = F_{Ed} \cdot (a/z) + H_{Ed} = 881 \cdot (169/729,7) + 176,2 = 380,1 \text{ kN}$$

$$A_s = F_t / f_{sd} = 380,1 / 434,78 \cdot 10^3 = 8,74 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh čtyři smyčky  $\varnothing 10$  ve dvou vrstvách a dva tvarové pruty  $\varnothing 14$

$$A_s = (2 \cdot 4 \cdot 0,79 + 2 \cdot 1,54) \cdot 10^{-4} = 9,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Kotevní délka smyčky pod uložení

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (2,2/1,5) = 3,3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma/f_{bd}) = (10/4) \cdot ((434,78 \cdot (0,874/0,940))/3,3) = 306 \text{ mm}$$

Minimální vnitřní průměr zakřiveného prutu

$$\varnothing_{m,min} = (F_{bt} / f_{cd}) \cdot ((1/a_b) + (1/(2 \cdot \varnothing))) = 102,7 \text{ mm}$$

Tah v jedné větvi smyčky

$$F_{bt} = 0,00094 \cdot 434,78 \cdot (0,874/0,94) = 31,9 \text{ kN}$$

Kotevní délka ve sloupu

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot (0,874/0,940) = 2,3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma/f_{bd}) = (10/4) \cdot ((434,78 \cdot (0,874/0,940))/2,3) = 700,2 \text{ mm}$$

### Návrh svislé výztuže

Redukovaná síla

$$\beta F_{Ed} = 0,25 \cdot F_{Ed} = 0,25 \cdot 881 = 220 \text{ kN}$$

Konstrukční ortogonální výztuž na vznikající příčné tahy v betonové vzrře

$$F_c = F_{Ed} / \sin \Phi = 881 / \sin 76,97 = 904 \text{ kN}$$

$$\Phi = \arctg \cdot (z/a) = 76,97^\circ$$

Příčný tah betonové vzpěry

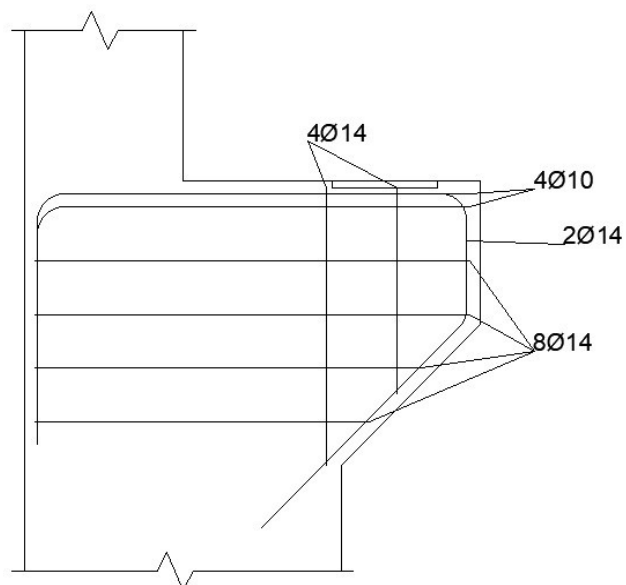
$$2T = 0,5 \cdot (1 - 0,7 \cdot (a/h)) \cdot F_c = 0,5 \cdot (1 - 0,7 \cdot (169/795)) \cdot 904 = 384,9 \text{ kN}$$

$$\text{Svislá složka} \quad F_x = 384,9 \cdot \cos 76,97 = 86,8 \text{ kN}$$

$$\text{Vodorovná} \quad F_y = 384,9 \cdot \sin 76,97 = 375,0 \text{ kN}$$

$$A_{sw,V} = (\max(\beta F_{Ed}, F_x)) / f_{sd} = 220 / 434,78 = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow 2 \times \varnothing 20 \quad 6,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

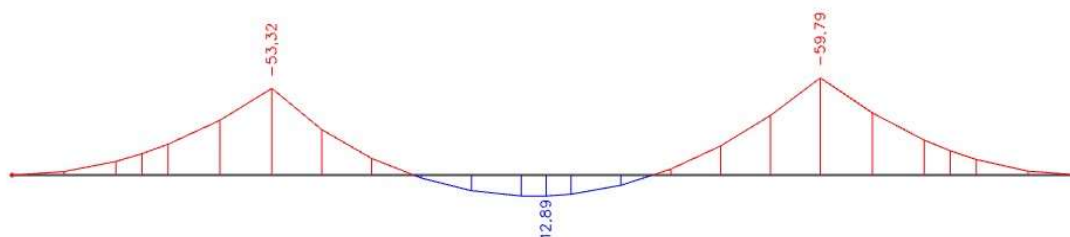
$$A_{sw,H} = F_y / f_{sd} = 375 / 434,78 = 8,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow 8 \times \varnothing 14 \quad 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



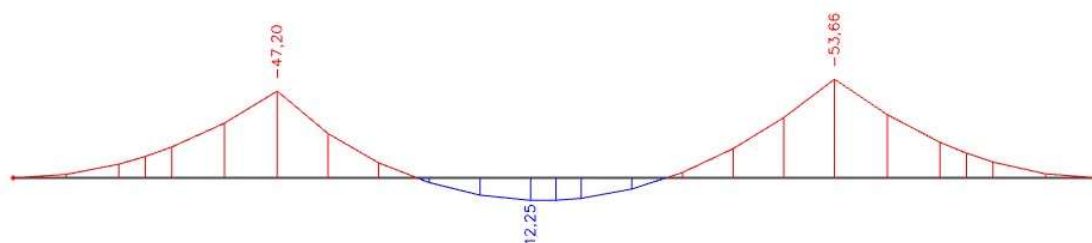
#### 4.10 POSOUZENÍ NA OHYB PŘI MANIPULACI

Moment od vytahování z formy

Úchyty se nachází 3,5 m od okraje

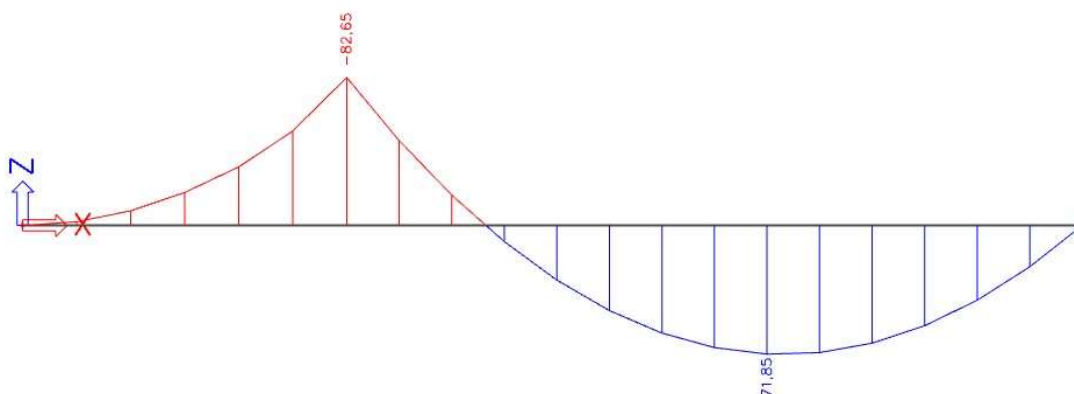


Moment od přemísťování



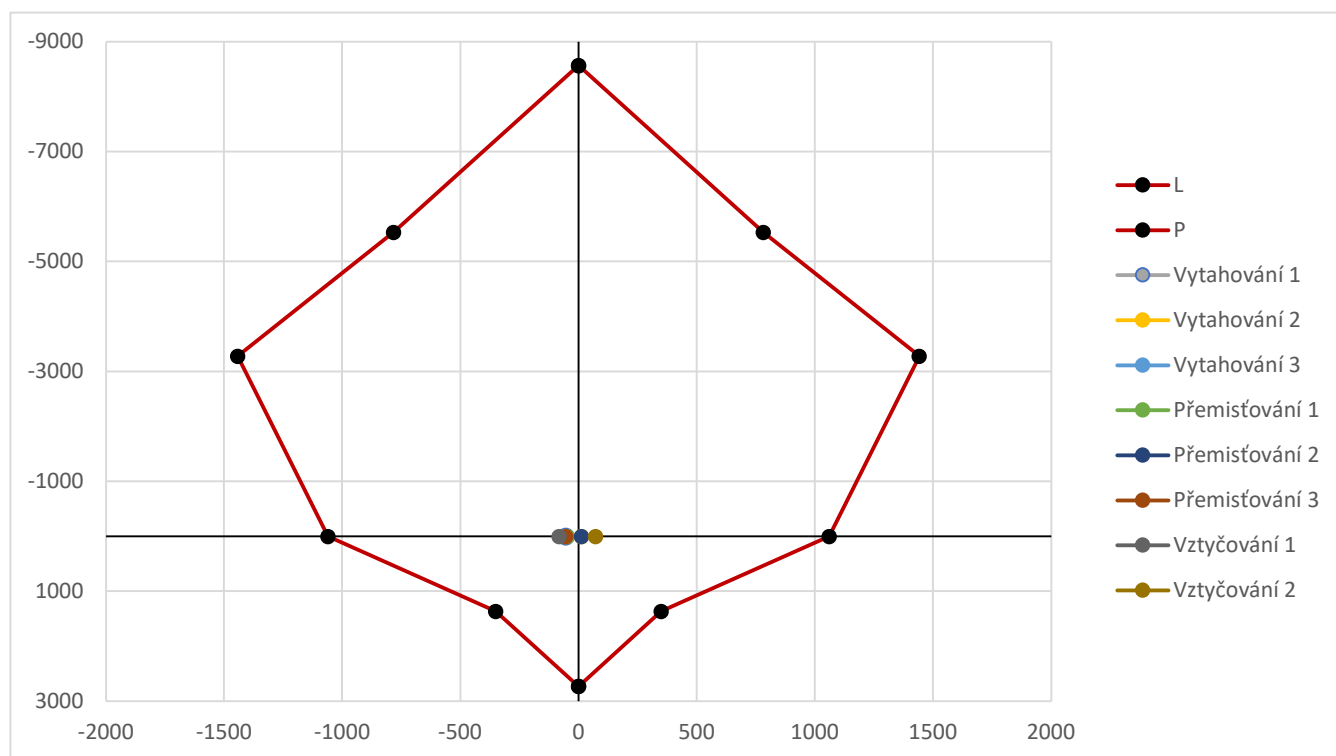
Moment od vztyčování

Úchyty se nachází 4,385 m od okraje



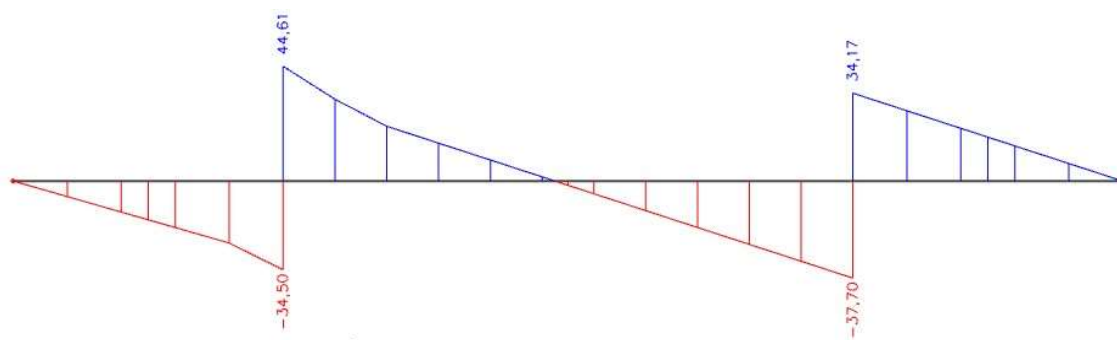
	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$	$M_{Rd}$
0	0	-8569	0
1	782	-5534	-782
2	1442	-3278	-1442
3	1061	0	-1061
4	351	1367	-351
5	0	2730	0

	$M_{Ed}$	$M_{Ed}$	$M_{Ed}$
Vytahování	-53,32	12,89	-59,79 kNm
Přemísťování	-47,2	12,25	-53,66 kNm
Vztyčování	-82,65	71,85	kNm

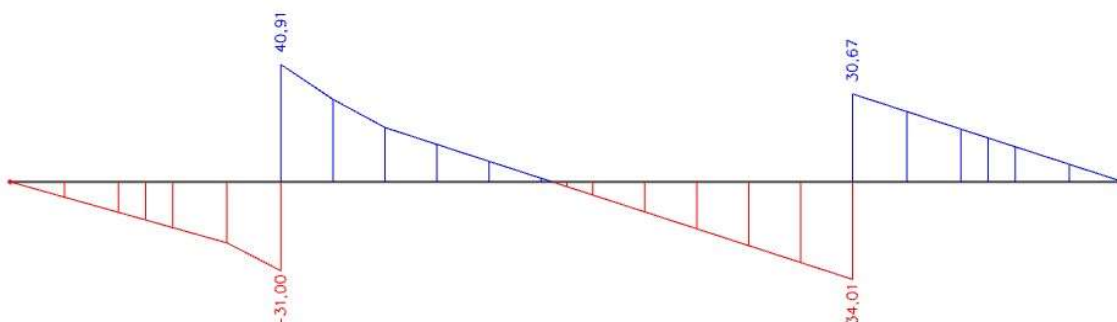


## 4.11 POSOUZENÍ NA SMYK PŘI MANIPULACI

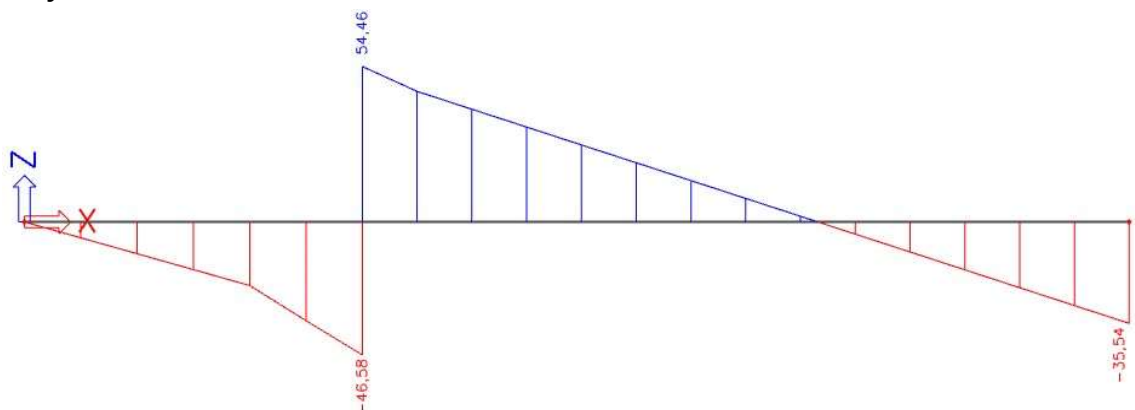
$V_{Ed}$  od vytahování z formy



$V_{Ed}$  od přemísťování



$V_{Ed}$  od vztyčování



Bez smykové výztuže

$d = 0,858 \text{ m}$

$b_w = 0,5 \text{ m}$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \geq (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$A_{sl} = 1,26E-03 \text{ m}^2$

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

Součinitel výšky

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/858)^{1/2} = 1,483 < 2$$

$$k_1 = 1,5$$

Stupeň vystužení

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w * d) = (1,26 * 10^{-3}) / (0,5 * 0,858) = 0,002928 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,483^{3/2} * 35^{1/2} = 0,374 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 * 1,483 * (100 * 0,002928 * 35)^{1/3} + 1,5 * 0] * 500 * 858 \geq (0,374 + 0,15 * 0) * 858 * 500$$

$$V_{Rd,c} = 165,8 \text{ kN} \geq 160,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 165,8 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 54,5 \text{ kN}$$

=> Není nutno navrhnuou smykovou výztuž

Konstrukční zásady

$$\emptyset_{sl} = 20 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 900 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže

$$s_{cl,max} = \min \{ 15 * \emptyset_{sl} ; \min (h; b) ; 300 \text{ mm} \} = \min \{ 15 * 20 ; \min \{ 0,9; 0,5 \} ; 300 \text{ mm} \} =$$

$$s_{cl,max} = 300 \text{ mm}$$

Návrh

doustřížné  $\emptyset_{st} 8$  po 300 mm

## 4.12 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ

$$q_{adh,k} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$A_f = 14,84 \text{ m}^2$$

$$F_{adh} = 29,68 \text{ kN}$$

$$n = 2 \text{ ks}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\gamma_{man} = 1$$

$$\gamma_G = 1,35$$

$$F_k = 47,51 \text{ kN} \quad \text{od vlastní tíhy}$$

V okamžiku uvolnování dílce

$$N_{Ed} = 1,3 * (\gamma_G / n * \cos \alpha) * (F_k + F_{adh}) = 1,3 * (1,35 / 2 * \cos 30) * (36,77 + 37,32) = 78,21 \text{ kN}$$

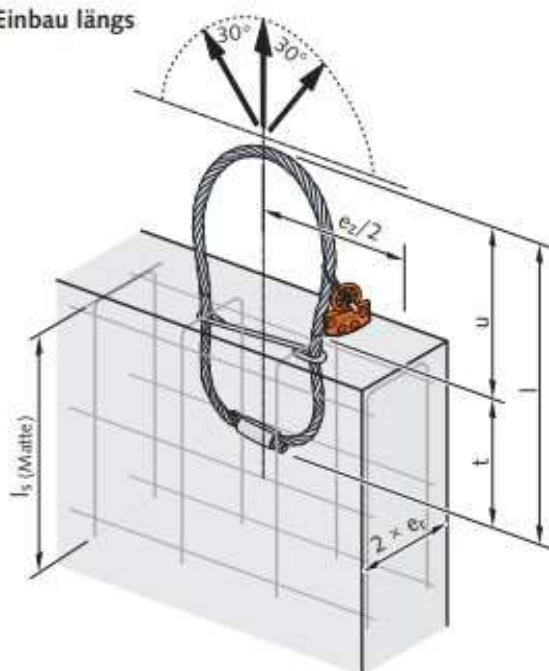
Při dalších manipulacích

$$N_{Ed} = 1,8 * ((\gamma_G * \gamma_{man}) / n * \cos \alpha) * F_k = 1,8 * ((1,35 * 1) / (2 * \cos 30)) * 36,77 = 66,65 \text{ kN}$$

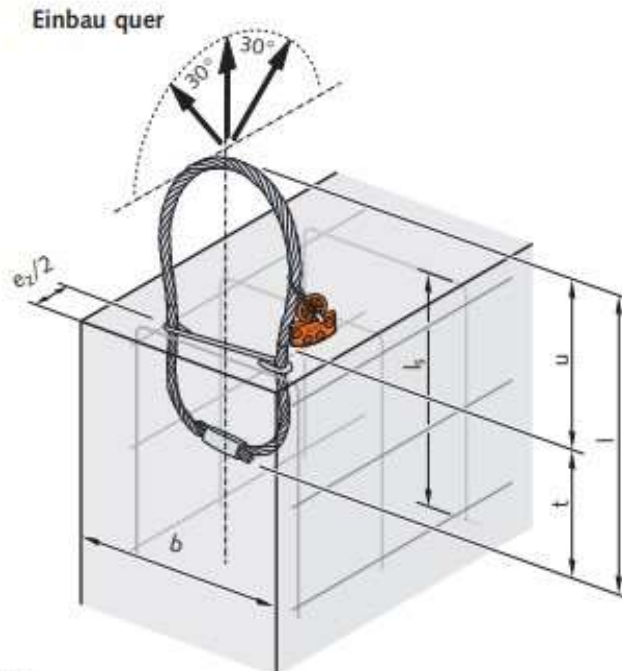
## Návrh uchyty

Abmessungen und Randabstände										
Last- klasse	Farbkenn- zeichnung	Artikel- bezeichnung	Bestell-Nr. 0742.110-	Seil-Ø [mm]	l [mm]	t [mm]	ü [mm]	b <sub>min</sub> [mm]	2 × e <sub>r</sub> min [mm]	e <sub>z</sub> [mm]
0,8	gelb	6325-0,8	00001	6	205	145	60	120	70	270
1,2	weiß	6325-1,2	00002	7	230	165	65	140	80	310
1,6	schwarz	6325-1,6	00003	8	250	180	70	150	90	350
2,0	hellgrün	6325-2,0	00004	9	300	220	80	160	100	420
2,5	hellblau	6325-2,5	00005	10	325	235	90	180	110	450
4,0	lila	6325-4,0	00006	12	370	270	100	200	120	500
6,3	gelb	6325-6,3	00007	16	425	315	110	230	140	580
8,0	hellbraun	6325-8,0	00008	18	480	370	110	250	160	650
10,0	orange	6325-10,0	00009	20	525	405	130	280	180	730
12,5	dunkelgrau	6325-12,5	00010	22	590	450	140	300	200	810
16,0	violett	6325-16,0	00011	24	670	510	160	350	240	930
20,0	braun	6325-20,0	00012	28	750	580	170	380	260	1060
25,0	grün	6325-25,0	00013	32	850	660	190	400	280	1210

Einbau längs



Einbau quer



Q-Matte  
U-förmig gebogen

Last- klasse	Farbkenn- zeichnung	Art-Bez	Abmessungen		Abmessungen bei Druckdruck		trag- fähigkeit	Abmessungen bei Druckdruck		trag- fähigkeit
			Matte gebogen [mm <sup>2</sup> /m]	l <sub>s</sub> [mm]	festigkeit f <sub>cl</sub> = 15 N/mm <sup>2</sup>	festigkeit f <sub>cl</sub> = 15 N/mm <sup>2</sup>		festigkeit f <sub>cl</sub> = 35 N/mm <sup>2</sup>	festigkeit f <sub>cl</sub> = 35 N/mm <sup>2</sup>	
					2 × e <sub>r</sub> [mm]	e <sub>z</sub> /2 [mm]	[kN]	2 × e <sub>r</sub> [mm]	e <sub>z</sub> /2 [mm]	[kN]
0,8	gelb	6325-0,8	131	300	70	270	8,0	50	270	8,0
1,2	weiß	6325-1,2	131	350	90	310	12,0	60	310	12,0
1,6	schwarz	6325-1,6	131	350	120	350	16,0	80	350	16,0
2,0	hellgrün	6325-2,0	188	450	140	420	20,0	100	420	20,0
2,5	hellblau	6325-2,5	188	500	160	450	25,0	110	450	25,0
4,0	lila	6325-4,0	188	550	220	500	40,0	150	500	40,0
6,3	gelb	6325-6,3	188	600	320	580	63,0	220	580	63,0
8,0	hellbraun	6325-8,0	188	700	400	650	80,0	280	650	80,0
10,0	orange	6325-10,0	221	800	440	730	100,0	310	730	100,0
12,5	dunkelgrau	6325-12,5	221	900	560	810	125,0	390	810	125,0
16,0	violett	6325-16,0	221	1000	620	930	160,0	430	930	160,0
20,0	braun	6325-20,0	377	1115	680	1060	200,0	480	1060	200,0
25,0	grün	6325-25,0	377	1300	750	1210	250,0	530	1210	250,0

l<sub>s</sub> = Schenkellänge der gebogenen Matte f<sub>cl</sub> = Würfeldruckfestigkeit zum Zeitpunkt des Abhebens



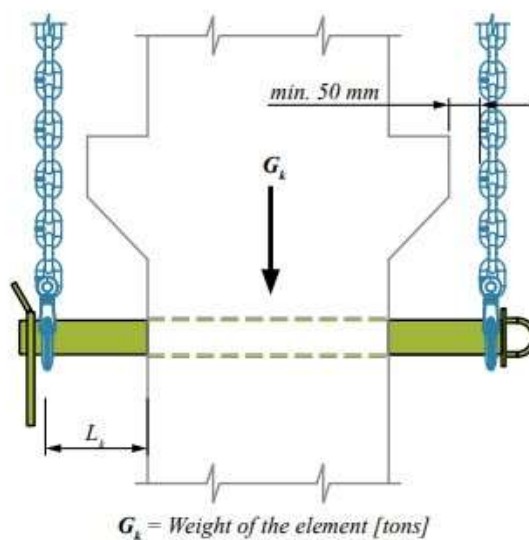
## OTVOR PRO VYTÝČOVÁNÍ

$F_k = 74,85 \text{ kN}$

$G_k = 7485 \text{ t}$

## COLIFT Mounting system

Table 4. Standard safe working load (SWL) capacities of the COLIFT Mounting System [tons].



Spacing length		MW d70	MW d90	MW d115	MW d140
		SWL [t]	SWL [t]	SWL [t]	SWL [t]
$L_k$ [mm]	50	15.8	37.0	58.0	90.0
	250	7.0	15.5	26.5	45.5
	300	6.3	13.0	23.0	40.0
	350	5.6	11.5	20.0	35.5

Table 5. Minimum tube diameter for the mounting shaft.

		Unité	MW d70	MW d90	MW d115	MW d140
Minimum inner diameter of tube	$\emptyset$	[mm]	80	100	125	150

## 5. ZTUŽIDLO

### 5.1 MATERIÁLY

Beton C35/45

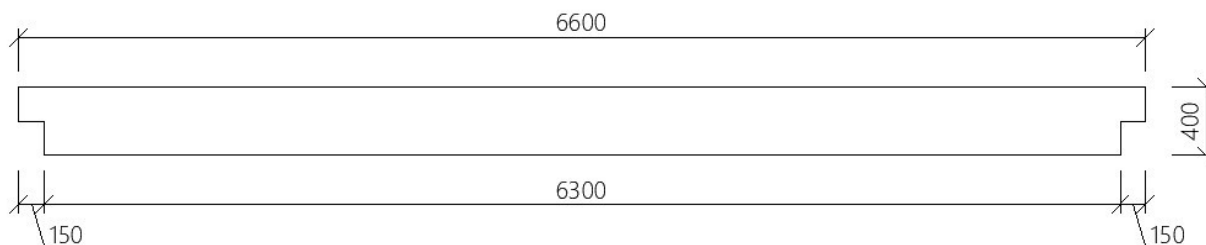
$f_{ck}$	35 MPa
$\gamma_c$	1,5
$f_{cd}$	23,33 MPa
$f_{ctm}$	3,2 MPa
$E_{cm}$	34 GPa
$\epsilon_{cu3}$	3,5 ‰
$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{cm}$	43 MPa
$f_{ctk,0,05}$	2,2 MPa

Ocel B500B

$f_{sk}$	=	500 MPa
$\gamma_s$	=	1,15
$f_{sd} = f_{sk}/\gamma_s$	=	434,7826 MPa
$\epsilon_{sd}$	=	2,1739 ‰
$E_s$	=	200 GPa

### 5.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU

$b$	=	0,3 m	$A_c$	=	0,12 m <sup>2</sup>
$h$	=	0,4 m	$I_y$	=	0,0016 m <sup>4</sup>
$L_z$	=	6,6 m			
$t$	=	0,15 m			
$a_i = \min(t/2; h/2)$	=	0,075 m			
$L = L_z - 2 \cdot a_i$	=	6,45 m			

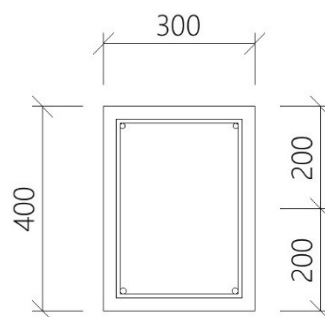


Podélná výztuž $\phi_{sl}$	=	0,012 m
Třmínky $\phi_{st}$	=	0,008 m

#### KRITÍ VÝZTUŽE

Podélná výztuž

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



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

$$c_{min} = \max(12; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \phi_{sl} = 12 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{XC1,S4}$$

Třmínky

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

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

$$c_{min} = \max ( 8; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10 \text{ mm} ) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \varnothing_{sl} = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{XC1,S4}$$

Návrh  $2 \times \varnothing_s 12$

$$A_{sl} = 2,26 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$d = 0,361$$

Ověření konstrukčních zásad

$$A_{s,min} = 0,26 * (f_{ctm}/f_{sk}) * b * d_s = 1,80 \text{E-}04$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 4,80 \text{E-}03$$

$$A_{s,min} < A_{sl} < A_{s,max} \quad \text{PLATÍ}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_n > \max \{ 1,2 * \varnothing_s; dg + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = 21 \text{ mm}$$

$$s_n = 28,6 \text{ mm}$$

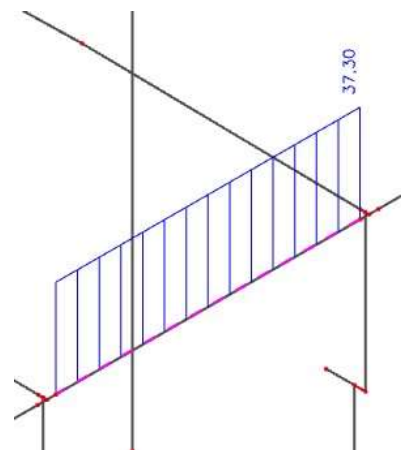
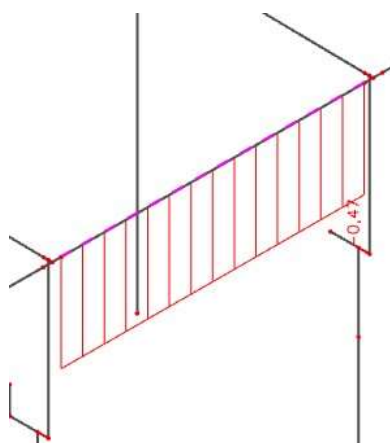
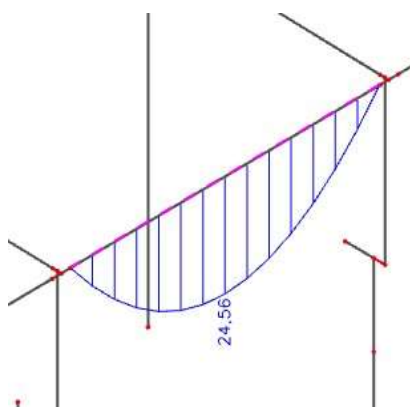
### 5.3 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{ed,max} = 24,54 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,odp} = -0,47 \text{ kN}$$

$$M_{ed,odp} = 24,56 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 37,3 \text{ kN}$$



## 5.4 POSOUZENÍ NA OHYB

### Předpoklad výztuže

$$\text{Podélná výztuž } \sigma_{sl} = 0,012 \text{ m}$$

$$\text{Třmínky } \sigma_{st} = 0,008 \text{ m}$$

$$\text{Podélná výztuž konstrukční } \sigma_{sl1} = 0,01 \text{ m}$$

$$A_s \phi 12 \times 1 = 1,13 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$A_s \phi 10 \times 1 = 7,90 \text{E-}05 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,1} = 2 * A_s = 2,26 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,2} = 2 * A_s = 1,58 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

### Interační diagram

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

$$h = 0,4 \text{ m}$$

### BOD 0

$$\sigma_s = E_s * \epsilon_{c2} = 400,00 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 90,40 \text{ kN} \quad z_{s1} = 0,161 \text{ m}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 63,20 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,162 \text{ m}$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 2800,00 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = -2953,60 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = -4,3 \text{ kNm}$$

### BOD 1

$$x = 0,361 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s1} = 0 \rightarrow \sigma_{s1} = 0 \rightarrow F_{s1} = 0$$

$$y = 0,038 \text{ m} \quad \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 3,13 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 434,8 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 68,70 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,183 \text{ m}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,289 \text{ m}$$

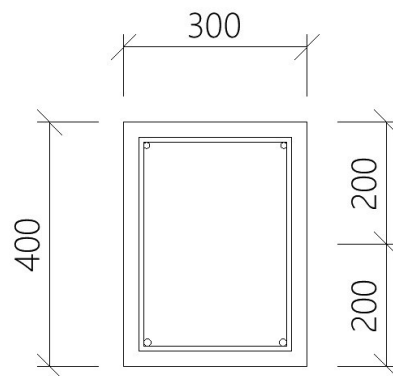
$$A_c = 0,087 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 2021,6 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,0556 \text{ m}$$

$$N_{Rd,1} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -2090,30 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} = 125,0 \text{ kNm}$$



## BOD 2

$$d = 0,361 \text{ m}$$

$$x_{\text{bal},1} = x = (\epsilon_{\text{cu}3} / (\epsilon_{\text{cu}3} + \epsilon_{\text{sd}})) * d = 0,223 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s1} &= 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_{s1} = f_{sd} &= 434,8 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{s1,1} * \sigma_s &= 98,3 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,161 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,038 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 2,90 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{s1,2} * \sigma_s &= 68,70 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,162 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,178 \text{ m}$$

$$A_c = 0,053 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 1247 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,111 \text{ m}$$

$$N_{\text{Rd},2} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -1217,48 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Rd},2} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} = 165,3 \text{ kNm}$$

## BOD 3

$$x = 0,026 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,038 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 1,554 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 310,8038 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{s1,2} * \sigma_s &= 49,11 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,162 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,361 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 44,513 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,783 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{s1,1} * \sigma_s &= 98,26 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,161 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,021 \text{ m}$$

$$A_c = 0,006 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 147,4 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,189 \text{ m}$$

$$N_{\text{Rd},3} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Rd},3} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} = 35,8 \text{ kNm}$$

## BOD 4

$$x = 0,038 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,038 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 0,000 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 0 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s &= 0,00 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,162 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,361 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 2,170 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{sl,1} \cdot \sigma_s &= 98,08 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,161 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N_{Rd,4} = -F_{s1} - F_{s2} = 98,08 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_{s1} + F_{s2} \cdot z_{s2} = 15,8 \text{ kNm}$$

## BOD 5

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} \cdot \sigma_s = 98,26 \text{ kN} \quad z_{s1} = 0,161 \text{ m}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s = 68,70 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,162 \text{ m}$$

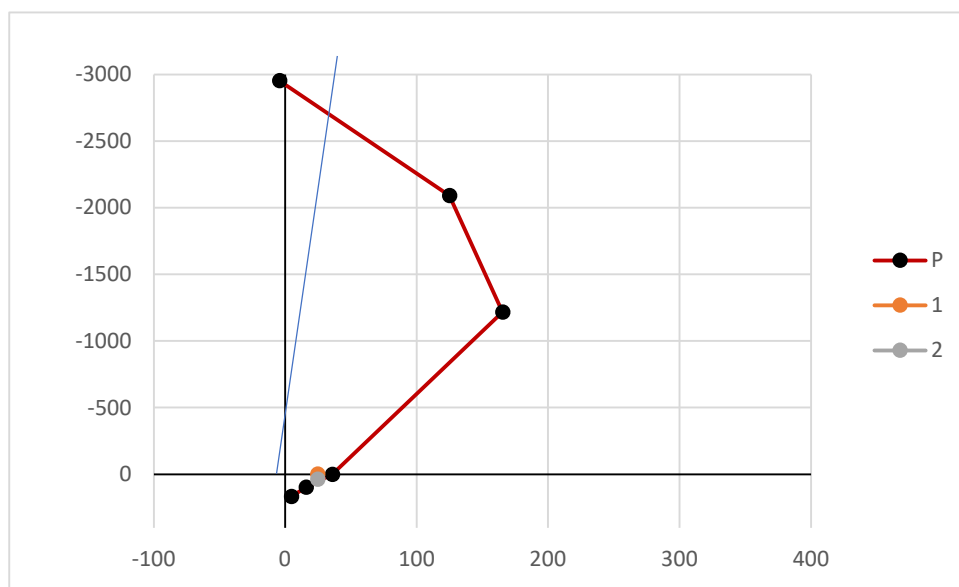
$$N_{Rd,5} = +F_{s1} + F_{s2} = 166,96 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = 4,691304 \text{ kNm}$$

	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$
0	-4	-2954
1	125	-2090
2	165	-1217
3	36	0
4	16	98
5	5	167

	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$
1	24,5	-0,5
2	24,5	37,3

$$e = 0,02$$



## 5.5 POSOUZENÍ NA SMYK

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 13,02 \text{ kN} & d &= 0,361 \text{ m} \\ & & b_w &= 0,3 \text{ m} \\ & & A_{sl} &= 2,26 \text{E-}04 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Bez smykové výztuže

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \geq (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

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

Součinitel výšky

$$\begin{aligned} k &= 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/361)^{1/2} = 1,744 < 2 \\ k_1 &= 1,5 \end{aligned}$$

Stupeň vyztužení

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w * d) = (2,26 * 10^{-4}) / (0,3 * 0,361) = 0,002087 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,744^{3/2} * 35^{1/2} = 0,477 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 * 1,744 * (100 * 0,00209 * 35)^{1/3} + 1,5 * 0] * 300 * 361 \geq (0,477 + 0,15 * 0) * 361 * 300$$

$$V_{Rd,c} = 44,0 \text{ kN} \geq 51,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 51,66 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 13,02 \text{ kN}$$

=> Není nutno navrhnout smykovou výztuž

Konstrukční zásady

$$\begin{aligned} \emptyset_{sl} &= 12 \text{ mm} \\ b &= 300 \text{ mm} \\ h &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže

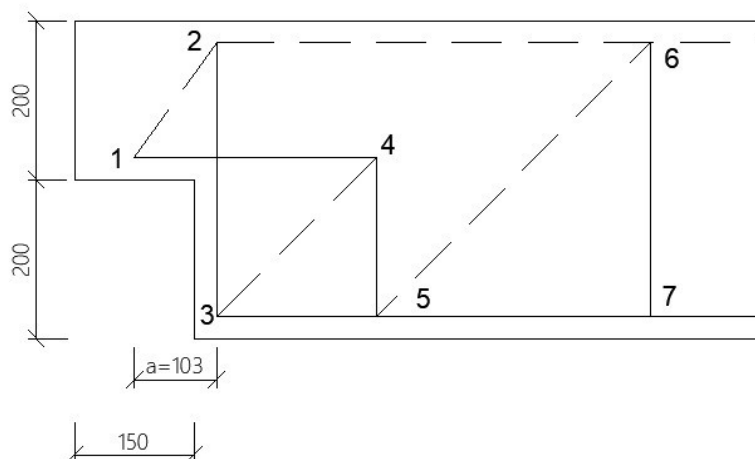
$$\begin{aligned} s_{cl,max} &= \min \{ 15 * \emptyset_{sl} ; \min (h; b) ; 300 \text{ mm} \} = \min \{ 15 * 12 ; \min \{ 0,4; 0,3 \} ; 300 \text{ mm} \} = \\ s_{cl,max} &= 180 \text{ mm} \end{aligned}$$

Návrh

doustřížné  $\emptyset_{st} 8$  po 150 mm

## 5.6 OZUB ZTUŽIDLA

MODEL A



$$f_{sd} = 434,7826 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 23,33 \text{ MPa}$$

styčník CCC

$$\sigma_{Ed,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 1 * (1 - (35/250)) * 23,33 = 20,1 \text{ MPa}$$

styčník CCT

$$\sigma_{Ed,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,85 * (1 - (35/250)) * 23,33 = 17,1 \text{ MPa}$$

Síla do uzlu 1

$$F = 13,02 \text{ kN}$$

$$F^* = 0,6 * F = 7,812 \text{ kN}$$

$$H = 0,2 * F = 2,604 \text{ kN}$$

Táhlo 2-3

$$T_{23} = F^* = 7,812 \text{ kN}$$

$$A_{s,reg} = 1,2 * (T_{23} / f_{ds}) = 2,16E-05 \text{ m}^2$$

-Sílu potryje smyková výztuž

Tlačená diagonála 1-2

$$C_{12} = F^* / \sin \varphi = 7,812 / \sin(47,201) = 10,6 \text{ kN}$$

$$z_k = 200 - 39 - 38 = 123 \text{ mm}$$

$$C_2 = C_{12} * \cos \varphi + ((F - F^*) / (\tan \varphi)) = 10,6 * \cos 47,201 + ((13,2 - 7,812) / (\tan 45)) = 12,44 \text{ kN}$$

$$y_2 = C_2 / \sigma_{Ed,max} = 8,03 / 17,1 = 0,729 \text{ mm}$$

$$z_k = 200 - 39 - 16,6 = 145,4 \text{ mm}$$



Táhlo 1-4

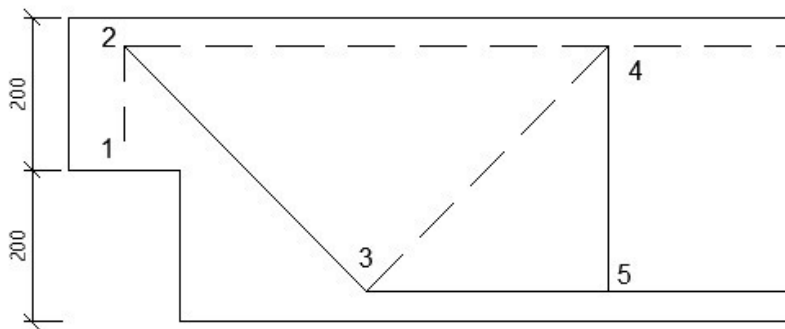
$$T_{14} = (F^* \cdot a + H^*(z_k + 39)) / z_k = 10,67 \text{ kN}$$

$$A_{s,reg} = (T_{14} / f_{ds}) = 2,45E-05 \text{ m}^2 \Rightarrow 2 \times \emptyset 10 \quad A_{s,prov} = 1,57E-04 \text{ m}^2$$

skutečné napětí na prutu

$$\sigma_{sd} = (A_{s,reg} / A_{s,prov}) \cdot f_{sd} = 68,0 \text{ MPa}$$

MODEL B



Táhlo 2-3

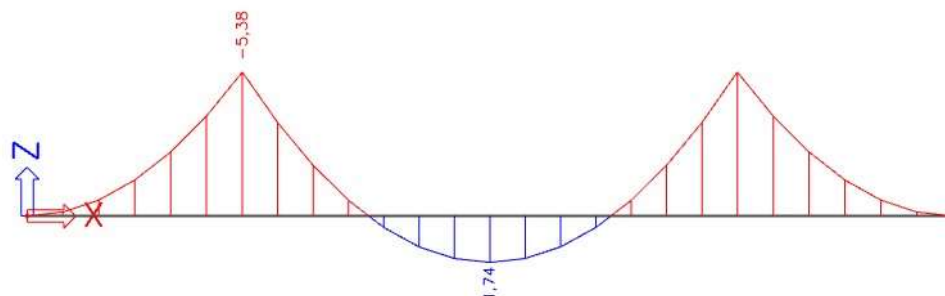
$$T_{23} = F^* / \sin 45 = 7,812 / \sin 45 = 11,05 \text{ kN}$$

$$A_{s,reg} = (T_{23} / f_{ds}) = 2,54E-05 \text{ m}^2 \Rightarrow 2 \times \emptyset 10 \quad A_{s,prov} = 1,57E-04 \text{ m}^2$$

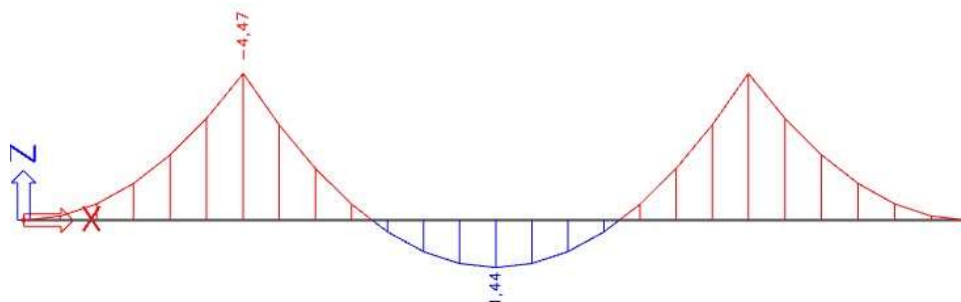
## 5.7 POSOUZENÍ NA OHYB PŘI MANIPULACI

Podpory jsou umístěny 1,5m od okraje průřezu

Moment od vytahování z formy

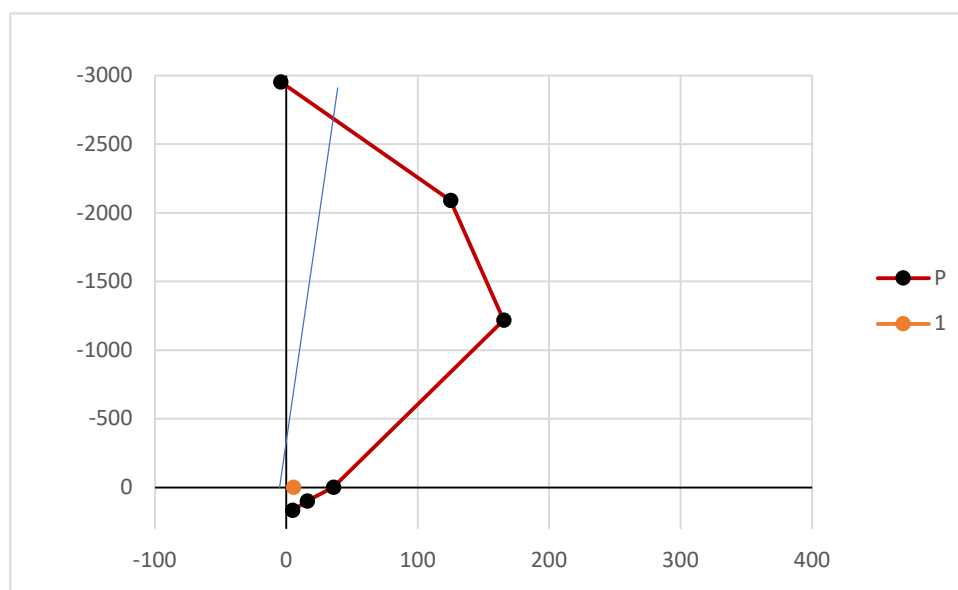


Moment od přemísťování



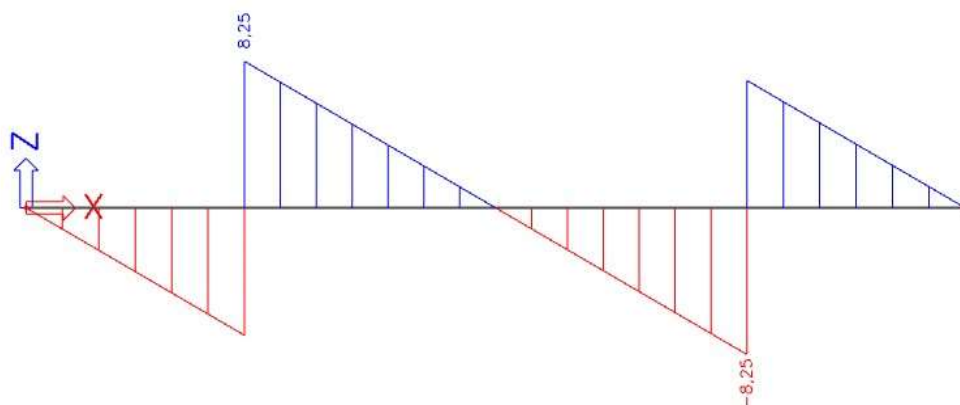
	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$
0	-4	-2954
1	125	-2090
2	165	-1217
3	36	0
4	16	98
5	5	167

$$M_{Ed} = 5,4 \text{ kNm}$$

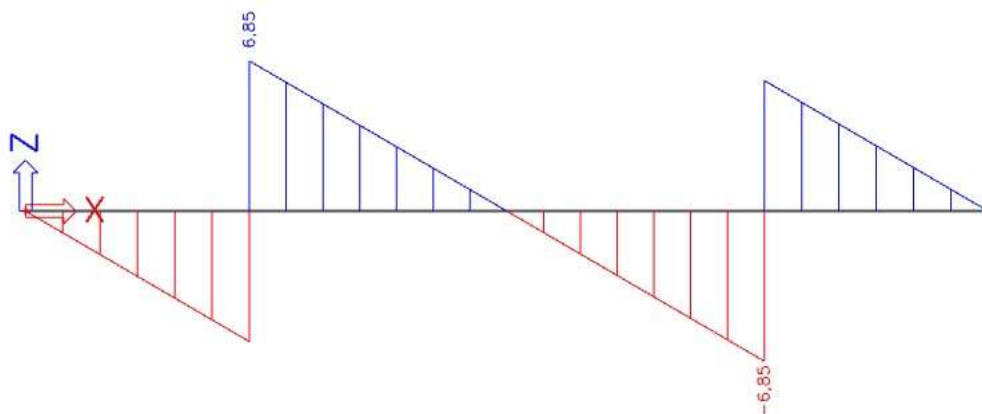


## 5.8 POSOUZENÍ NA SMYK PŘI MANIPULACI

$V_{Ed}$  od vytahování z formy



$V_{Ed}$  od přemísťování



Bez smykové výztuže

$$d = 0,361 \text{ m}$$

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

$$A_{sl} = 2,26E-04 \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \geq (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

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

Součinitel výšky

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/361)^{1/2} = 1,744 < 2$$

$$k_1 = 1,5$$

Stupeň vystužení

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w * d) = (2,26 * 10^{-4}) / (0,3 * 0,361) = 0,002087 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,744^{3/2} * 35^{1/2} = 0,477 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 * 1,744 * (100 * 0,00209 * 35)^{1/3} + 1,5 * 0] * 300 * 361 \geq (0,477 + 0,15 * 0) * 361 * 300$$

$$V_{Rd,c} = 44,0 \text{ kN} \geq 51,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 51,66 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 8,25 \text{ kN}$$

=> Není nutno navrhnout smykovou výztuž

Konstrukční zásady

$$\emptyset_{sl} = 12 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže

$$s_{cl,max} = \min \{ 15 \cdot \emptyset_{sl} ; \min (h;b) ; 300 \text{ mm} \} = \min \{ 15 \cdot 12 ; \min \{ 0,4; 0,3 \} ; 300 \text{ mm} \} =$$

$$s_{cl,max} = 180 \text{ mm}$$

Návrh

doustřižné  $\emptyset_{st} 8$  po 150 mm

## 6.9 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ

$$q_{adh,k} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$A_f = 6,84 \text{ m}^2$$

$$F_{adh} = 13,68 \text{ kN}$$

$$n = 2 \text{ ks}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\gamma_{man} = 1$$

$$\gamma_G = 1,35$$

$$F_k = 9,49 \text{ kN} \quad \text{od vlastní tíhy}$$

V okamžiku uvolnění dílce

$$N_{Ed} = 1,3 \cdot (\gamma_G / n \cdot \cos \alpha) \cdot (F_k + F_{adh}) = 1,3 \cdot (1,35 / 2 \cdot \cos 30^\circ) \cdot (9,49 + 13,68) = 23,48 \text{ kN}$$

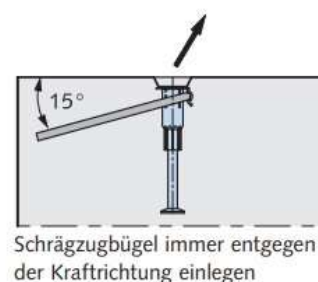
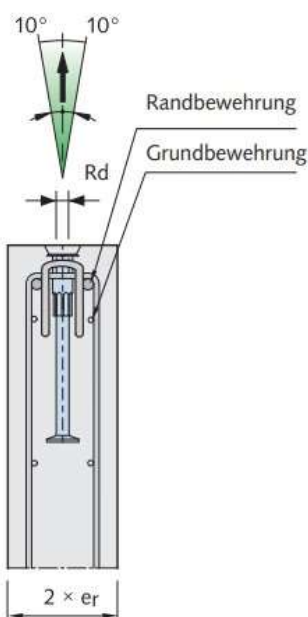
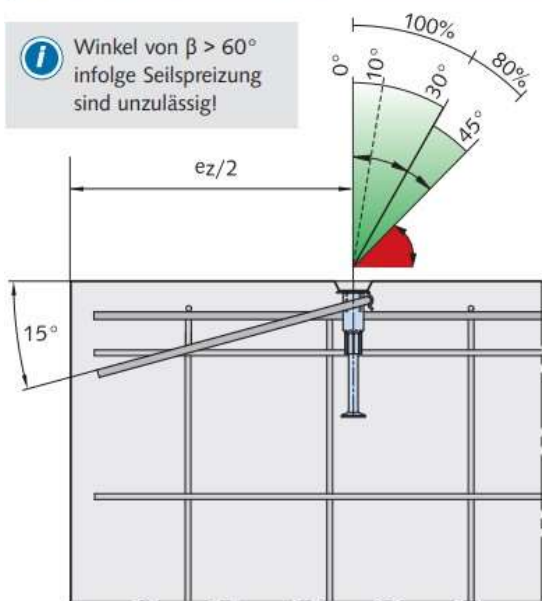
Při dalších manipulacích

$$N_{Ed} = 1,8 \cdot ((\gamma_G \cdot \gamma_{man}) / n \cdot \cos \alpha) \cdot F_k = 1,8 \cdot ((1,35 \cdot 1) / (2 \cdot \cos 30^\circ)) \cdot 9,49 = 13,31 \text{ kN}$$

# Návrh uchyťů

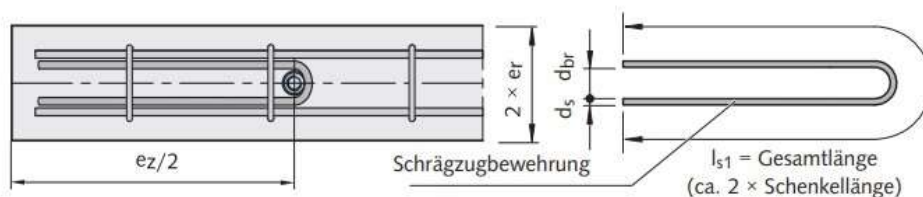
## HALFEN DEHA Combi-Anker

**i** Winkel von  $\beta > 60^\circ$   
infolge Seilspreizung  
sind unzulässig!



Schrägbügel immer entgegen  
der Krafrichtung einlegen

**!** Der Schrägbügel ist  
mit Druckkontakt an der  
Hülse einzubauen.



**i** Der Biegerollendurchmesser  
gemäß EC 2 muss  
nicht eingehalten werden.

### Bewehrung und Tragfähigkeit bei Schrägzug bis 45°

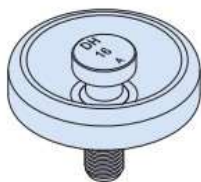
Lastklasse		Artikel- bezeichnung	Gewinde	min. Bauteil- dicke 2 × e <sub>r</sub>	Grund- bewehrung kreuzweise	Rand- bewehrung	Schrägzug bis 45°					Achsabstand e <sub>z</sub>
							Zulagebewehrung			Tragfähigkeit in [kN] bei Betondruckfestigkeit f <sub>ci</sub>		
			d <sub>s</sub>	d <sub>br</sub>	I <sub>s1</sub> gestreckte Länge ① ②	15 N/mm <sup>2</sup>	25 N/mm <sup>2</sup>	[mm]				
			Rd	[mm]	[mm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	15 N/mm <sup>2</sup>	25 N/mm <sup>2</sup>	[mm]
	0,5	6351-0,5-100	12	60	1 × 188	Ø8	6	30	320	4,0	5,0	
	0,8	6351-0,8-105	14	60	1 × 188	Ø8	8	30	430	5,7	8,0	300
				70	1 × 188	Ø8	8	30	430	6,4	8,0	
	1,2	6351-1,2-130	16	70	1 × 257	Ø8	8	30	640	8,7	11,2	400
				80	2 × 131	2 × Ø 8	8	30	640	9,6	12,0	
	1,6	6351-1,6-150	18	80	2 × 188	2 × Ø10	10	40	640	12,8	16,0	450
	2,0	6351-2,0-183	20	80	2 × 188	2 × Ø10	10	40	840	15,5	20,0	500
				100						16,0	20,0	
	2,5	6351-2,5-200	24	100	2 × 188	2 × Ø12	10	40	1050	20,0	25,0	600
	4,0	6351-4,0-275	30	120	2 × 188	2 × Ø12	12	50	1260	32,0	40,0	700
	6,3	6351-6,3-334	36	140	2 × 188	2 × Ø12	16	60	1600	44,6	63,0	800
				160						50,4	63,0	
	8,0	6351-8,0-385	42	160	2 × 188	2 × Ø12	20	80	2000	56,4	72,8	900
				180						61,6	80,0	
				200						64,0	80,0	
	12,5	6351-12,5-550	52	200	2 × 188	2 × Ø14	20	80	2000	100,0	116,3	1100
				220							125,0	

① Die Reduzierung der Länge durch Ausbildung von Endhaken, gemäß EC 2 ist möglich.

② Bei Schrägzug von  $10^\circ < \beta \leq 30^\circ$  können die Längen um 25% abgemindert werden.

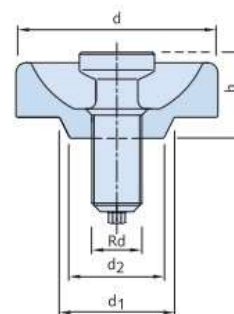
$f_{ci}$  = Würfeldruckfestigkeit zum Zeitpunkt des Abhebens

# HALFEN DEHA Adapter 6303/6366

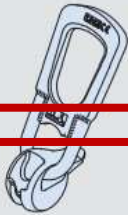


**!** Für Nagelteller  $h=20\text{ mm}$  ist der Adapter 6368 mitzuverwenden.

Der Adapter ermöglicht die Kombination zwischen dem HALFEN DEHA Kugelkopf-Transportankersystem und dem HALFEN DEHA Hülsenankersystem. In den Adapter wird die Universalkopf-Kupplung der entsprechenden Lastklasse eingekuppelt.



## Abmessungen des Adapters

Lastklasse	Artikelbezeichnung	Bestell-Nr. 0742.	Gewinde Rd	d [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	h [mm]	passend für Universalkopf-Kupplung	
0,5	6366-12	140-00001	12	70	40	30	10		6102- 1,3
0,8	6303-14	090-00002	14	78	40	30	10		6102- 2,5
1,2	6366-16	140-00002	16	78	40	30	10		6102- 2,5
1,6	6303-18	090-00004	18	78	55	45	10		6102- 2,5
2,0	6366-20	140-00003	20	97	55	45	10		6102- 5,0
2,5	6366-24	140-00004	24	97	55	45	10		6102- 5,0
4,0	6366-30	140-00005	30	97	70	60	10		6102-10,0
6,3	6366-36	140-00006	36	117	70	60	10		6102-10,0
8,0	6366-42	140-00007	42	117	95	85	12		6102-20,0
12,5	6366-52	140-00008	52	177	95	85	12		6102-20,0

## 6. ZÁKLADOVÝ NOSNÍK

### 6.1 MATERIÁLY

Beton C35/45

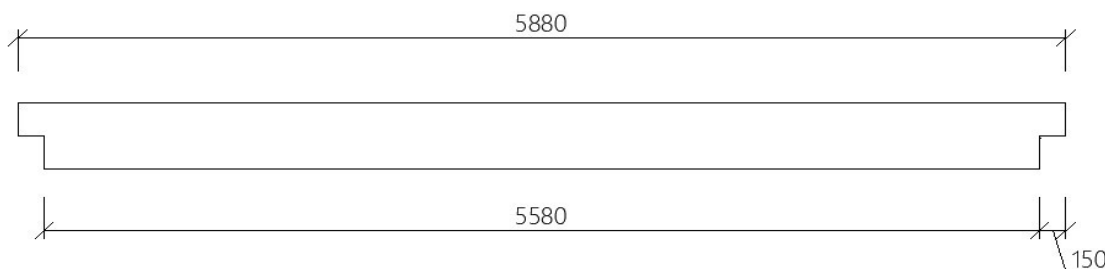
$f_{ck}$	35 MPa
$\gamma_c$	1,5
$f_{cd}$	23,33 MPa
$f_{ctm}$	3,2 MPa
$E_{cm}$	34 GPa
$\epsilon_{cu3}$	3,5 ‰
$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{cm}$	43 MPa
$f_{ctk,0,05} =$	2,2 MPa

Ocel B500B

$f_{sk} =$	500 MPa
$\gamma_s =$	1,15
$f_{sd} = f_{sk}/\gamma_s =$	434,7826 MPa
$\epsilon_{sd} =$	2,1739 ‰
$E_s =$	200 GPa

### 6.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU

$b =$	0,3 m	$A_c =$	0,12 m <sup>2</sup>
$h =$	0,4 m	$I_y =$	0,0016 m <sup>4</sup>
$L_z =$	5,88 m		
$t =$	0,15 m		
$a_i = \min(t/2; h/2) =$	0,075 m		
$L = L_z - 2 \cdot a_i =$	5,73 m		



Podélná výztuž  $\phi_{sl} =$  0,012 m

Třmínky  $\phi_{st} =$  0,008 m

#### KRITÍ VÝZTUŽE

Podélná výztuž

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} =$  25 mm

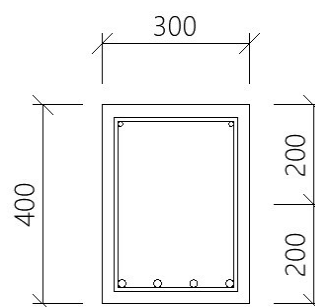
$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm)$

$c_{min} = \max(12; 15 + 0 - 0 - 0; 10mm) =$  15 mm

$c_{min,b} = \phi_{sl} =$  12 mm

$c_{min,dur} =$  15 mm

$\Delta c_{dev} =$  10 mm XC1,S4



Třmínky

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

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

$$c_{min} = \max ( 8; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10 \text{ mm} ) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \varnothing_{sl} = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{XC1,S4}$$

Návrh  $2 \times \varnothing_s 16$

$$A_{sl} = 4,02 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$d = 0,361 \text{ m}$$

Ověření konstrukčních zásad

$$A_{s,min} = 0,26 * (f_{ctm}/f_{sk}) * b * d_s = 1,80 \text{E-}04$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 4,80 \text{E-}03$$

$$A_{s,min} < A_{sl} < A_{s,max} \quad \text{PLATÍ}$$

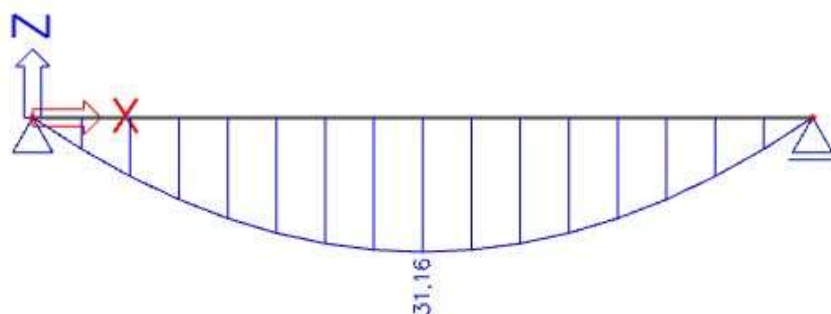
Vzdálenost výztuže

$$s_n > \max \{ 1,2 * \varnothing_s; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = 21 \text{ mm}$$

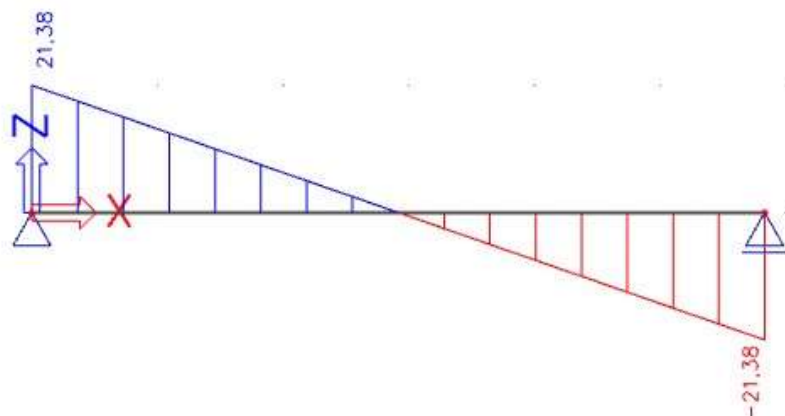
$$s_n = 28,6 \text{ mm}$$

### 6.3 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{Ed} = 31,16 \text{ kNm}$$



$$V_{Ed} = 21,38 \text{ kN}$$





## 6.4 POSOUZENÍ NA OHYB

### Předpoklad výztuže

$$\text{Podélná výztuž } \sigma_{sl} = 0,012 \text{ m}$$

$$\text{Třmínky } \sigma_{st} = 0,008 \text{ m}$$

$$\text{Podélná výztuž konstrukční } \sigma_{sl1} = 0,01 \text{ m}$$

$$A_{s\emptyset 16 \times 1} = 1,13 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$A_{s\emptyset 10 \times 1} = 7,90 \text{E-}05 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,1} = 2 * A_s = 4,52 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$A_{sl,2} = 2 * A_s = 1,58 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

### Interační diagram

#### BOD 0

$$\sigma_s = E_s * \epsilon_{c2} = 400,00 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} * \sigma_s = 180,80 \text{ kN} \quad z_{s1} = 0,161 \text{ m}$$

$$F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 63,20 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,162 \text{ m}$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 2800,00 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = -3044,00 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = -18,9 \text{ kNm}$$

#### BOD 1

$$x = 0,361 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s1} = 0 \rightarrow \sigma_{s1} = 0 \rightarrow F_{s1} = 0$$

$$y = 0,038 \text{ m} \quad \epsilon_s = (\epsilon_{cu3} / x) * (x - y) = 3,13 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 434,8 \text{ MPa} \quad F_{s2} = A_{sl,2} * \sigma_s = 68,70 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,183 \text{ m}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,289 \text{ m}$$

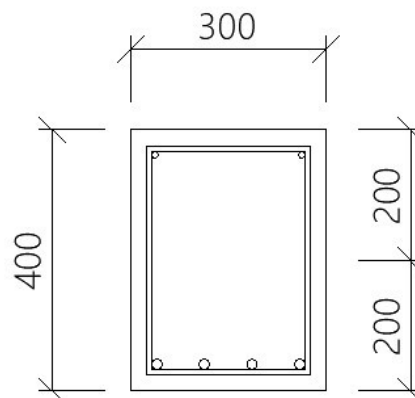
$$A_c = 0,087 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 2021,6 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,0556 \text{ m}$$

$$N_{Rd,1} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -2090,30 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} = 125,0 \text{ kNm}$$



## BOD 2

$$d = 0,361 \text{ m}$$

$$x_{\text{bal},1} = x = (\epsilon_{\text{cu}3} / (\epsilon_{\text{cu}3} + \epsilon_{\text{sd}})) * d = 0,223 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s1} &= 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_{s1} = f_{sd} &= 434,8 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{s1,1} * \sigma_s &= 196,5 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,159 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,038 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 2,90 \text{ ‰} \leq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = E_s * \epsilon_s &= 434,7826 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{s1,2} * \sigma_s &= 68,70 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,162 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,178 \text{ m}$$

$$A_c = 0,053 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 1247 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,111 \text{ m}$$

$$N_{\text{Rd},2} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -1119,21 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Rd},2} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} = 180,7 \text{ kNm}$$

## BOD 3

$$x = 0,036 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,038 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 0,182 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 36,4195 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{s1,2} * \sigma_s &= 5,75 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,162 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,361 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 31,480 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434,783 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{s1,1} * \sigma_s &= 196,52 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,161 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda x = 0,8 * x = 0,029 \text{ m}$$

$$A_c = 0,009 \text{ m}^2$$

$$F_c = A_c * f_{cd} = 202,3 \text{ kN}$$

$$z_c = x - (\lambda x / 2) = 0,186 \text{ m}$$

$$N_{\text{Rd},3} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Rd},3} = F_c * z_c + F_{s1} * z_{s1} + F_{s2} * z_{s2} = 70,1 \text{ kNm}$$

#### BOD 4

$$x = 0,038 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,038 \text{ m} & \epsilon_{s2} &= 0,000 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 0 \text{ MPa} & F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s &= 0,00 \text{ kN} & z_{s2} &= 0,162 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= 0,361 \text{ m} & \epsilon_{s1} &= 2,170 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \\ \sigma_s = f_{sd} &= 434 \text{ MPa} & F_{s1} = A_{sl,1} \cdot \sigma_s &= 196,17 \text{ kN} & z_{s1} &= 0,159 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N_{Rd,4} = -F_{s1} - F_{s2} = 196,17 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_{s1} + F_{s2} \cdot z_{s2} = 31,2 \text{ kNm}$$

#### BOD 5

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{sl,1} \cdot \sigma_s = 196,52 \text{ kN} \quad z_{s1} = 0,159 \text{ m}$$

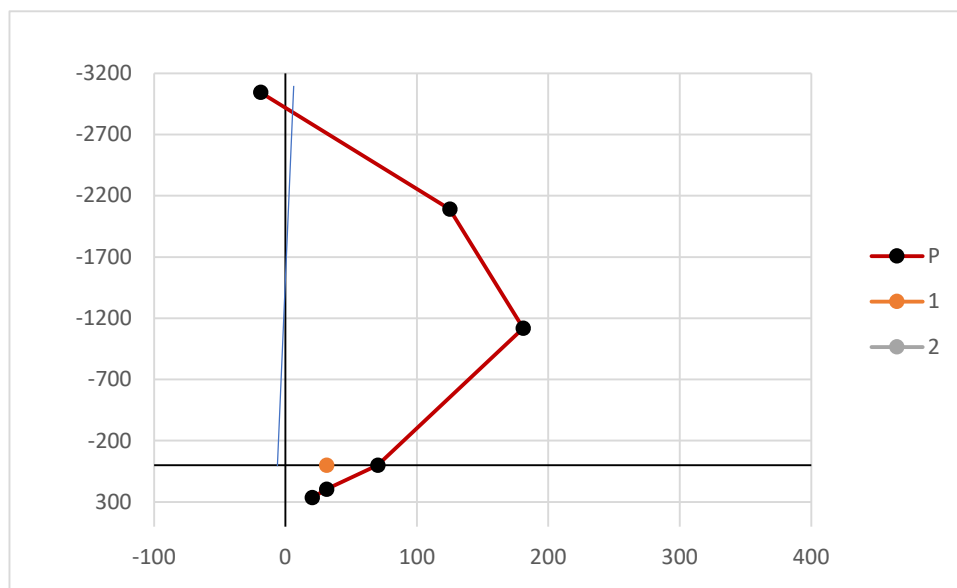
$$F_{s2} = A_{sl,2} \cdot \sigma_s = 68,70 \text{ kN} \quad z_{s2} = 0,162 \text{ m}$$

$$N_{Rd,5} = +F_{s1} + F_{s2} = 265,22 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = 20,11826 \text{ kNm}$$

	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$		$M_{Ed}$	$N_{Ed}$
0	-19	-3044	1	31,2	0,0
1	125	-2090			
2	181	-1119			
3	70	0			
4	31	196			
5	20	265			

$e = 0,02$



## 6.5 POSOUZENÍ NA SMYK

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 21,28 \text{ kN} & d &= 0,361 \text{ m} \\ & & b_w &= 0,3 \text{ m} \\ & & A_{sl} &= 4,52 \text{E-04 m}^2 \end{aligned}$$

Bez smykové výztuže

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \geq (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

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

Součinitel výšky

$$\begin{aligned} k &= 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/0,369)^{1/2} = 1,744 < 2 \\ k_1 &= 1,5 \end{aligned}$$

Stupeň vyztužení

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w * d) = (8,04 * 10^{-4}) / (0,3 * 0,361) = 0,004174 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,746^{3/2} * 35^{1/2} = 0,477 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 * 1,747 * (100 * 0,00747 * 35)^{1/3} + 1,5 * 0] * 300 * 359 \geq (0,478 + 0,15 * 0) * 359 * 300$$

$$V_{Rd,c} = 55,4 \text{ kN} \geq 51,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 55,42 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 21,28 \text{ kN}$$

=> Není nutno navrhnout smykovou výztuž

Konstrukční zásady

$$\begin{aligned} \emptyset_{sl} &= 16 \text{ mm} \\ b &= 300 \text{ mm} \\ h &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže

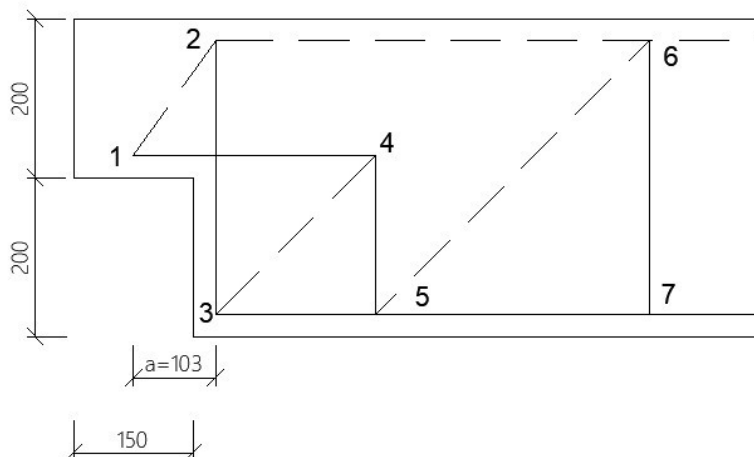
$$\begin{aligned} s_{cl,max} &= \min \{ 15 * \emptyset_{sl} ; \min (h; b) ; 300 \text{ mm} \} = \min \{ 15 * 16 ; \min \{ 0,4; 0,3 \} ; 300 \text{ mm} \} = \\ s_{cl,max} &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Návrh

doustřížné  $\emptyset_{st} 8$  po 200 mm

## 6.6 OZUB ZÁKLADOVÉH NOSÍKU

MODEL A



$$f_{sd} = 434,7826 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 23,33 \text{ MPa}$$

styčník CCC

$$\sigma_{Ed,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 1 * (1 - (35/250)) * 23,33 = 20,1 \text{ MPa}$$

styčník CCT

$$\sigma_{Ed,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,85 * (1 - (35/250)) * 23,33 = 17,1 \text{ MPa}$$

Síla do uzlu 1

$$F = 56,99 \text{ kN}$$

$$F^* = 0,6 * F = 34,194 \text{ kN}$$

$$H = 0,2 * F = 11,398 \text{ kN}$$

Táhlo 2-3

$$T_{23} = F^* = 34,194 \text{ kN}$$

$$A_{s,reg} = 1,2 * (T_{23} / f_{ds}) = 9,44E-05 \text{ m}^2$$

-Sílu potryje smyková výztuž

Tlačená diagonála 1-2

$$C_{12} = F^* / \sin \varphi = 34,19 / \sin(47,201) = 46,6 \text{ kN}$$

$$z_k = 200 - 41 - 38 = 121 \text{ mm}$$

$$C_2 = C_{12} * \cos \varphi + ((F - F^*) / (\tan \varphi)) = 46,6 * \cos 47,201 + ((56,99 - 34,19) / (\tan 45)) = 54,46 \text{ kN}$$

$$y_2 = C_2 / \sigma_{Ed,max} = 54,46 / 17,1 = 3,2 \text{ mm}$$

$$z_k = 200 - 41 - 15,4 = 143,6 \text{ mm}$$

Táhlo 1-4

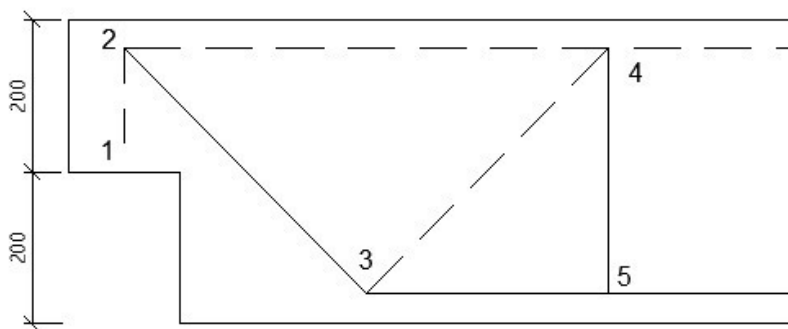
$$T_{14} = (F^* \cdot a + H^*(z_k + 39)) / z_k = 47,48 \text{ kN}$$

$$A_{s,reg} = (T_{14} / f_{ds}) = 1,09E-04 \text{ m}^2 \Rightarrow 2 \times \emptyset 10 \quad A_{s,prov} = 1,57E-04 \text{ m}^2$$

skutečné napětí na prutu

$$\sigma_{sd} = (A_{s,reg} / A_{s,prov}) \cdot f_{sd} = 302,4 \text{ MPa}$$

MODEL B



Táhlo 2-3

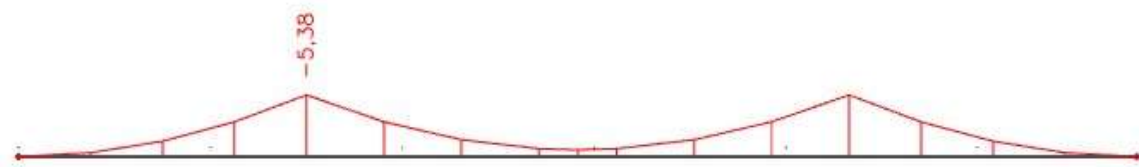
$$T_{23} = F^* / \sin 45 = 34,19 / \sin 45 = 48,36 \text{ kN}$$

$$A_{s,reg} = (T_{23} / f_{ds}) = 1,11E-04 \text{ m}^2 \Rightarrow 2 \times \emptyset 10 \quad A_{s,prov} = 1,57E-04 \text{ m}^2$$

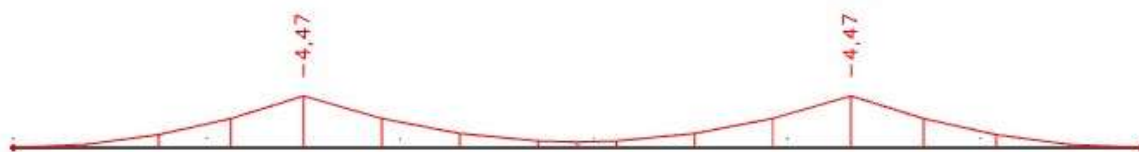
## 6.7 POSOUZENÍ NA OHYB PŘI MANIPULACI

Podpory jsou umístěny 1,5m od okraje průřezu

Moment od vytahování z formy

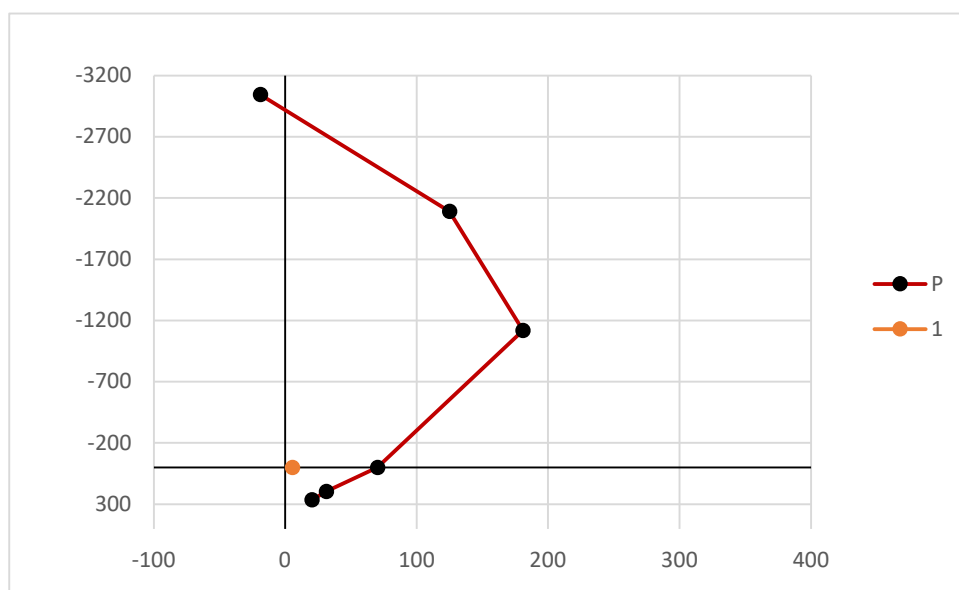


Moment od přemísťování



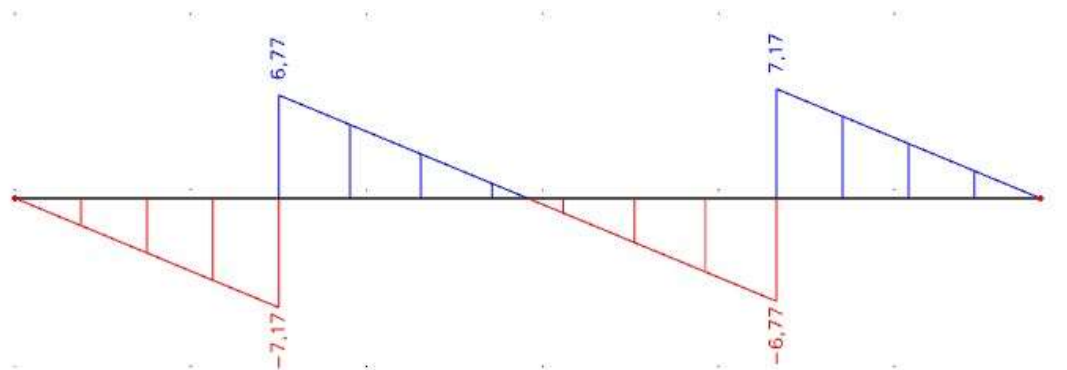
	$M_{Rd}$	$N_{Rd}$
0	-19	-3044
1	125	-2090
2	181	-1119
3	70	0
4	31	196
5	20	265

$$M_{Ed} = 5,4 \text{ kNm}$$

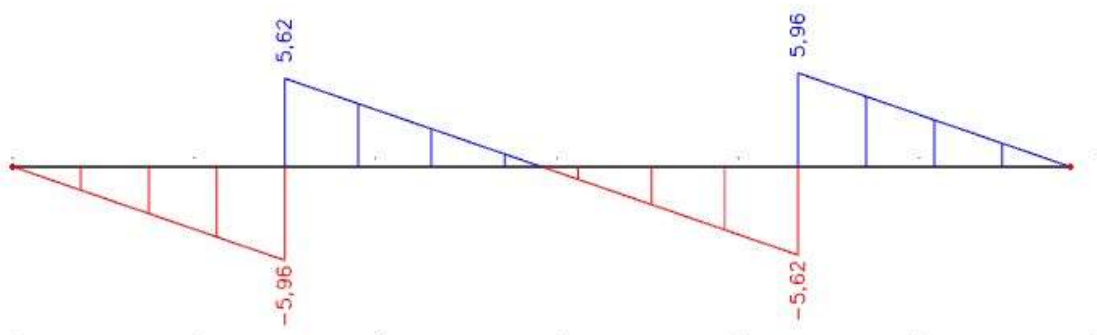


## 6.8 POSOUZENÍ NA SMYK PŘI MANIPULACI

$V_{Ed}$  od vytahování z formy



$V_{Ed}$  od přemísťování



Bez smykové výztuže

$d = 0,359 \text{ m}$

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

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \geq (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$A_{sl} = 4,52E-04 \text{ m}^2$

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

Součinitel výšky

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/359)^{1/2} = 1,746 < 2$$

$$k_1 = 1,5$$

Stupeň vystužení

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w * d) = (8,04 * 10^{-4}) / (0,3 * 0,359) = 0,004197 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,746^{3/2} * 35^{1/2} = 0,478 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 * 1,747 * (100 * 0,00747 * 35)^{1/3} + 1,5 * 0] * 300 * 359 \geq (0,478 + 0,15 * 0) * 359 * 300$$



$$V_{Rd,c} = 55,3 \text{ kN} \geq 51,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 55,28 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 7,17 \text{ kN}$$

=> Není nutno navrhnout smykovou výztuž

Konstrukční zásady

$$\varnothing_{sl} = 16 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže

$$s_{cl,max} = \min \{ 15 \cdot \varnothing_{sl}; \min(h;b); 300\text{mm} \} = \min \{ 15 \cdot 16; \min \{ 0,4; 0,3 \}; 300\text{mm} \} =$$

$$s_{cl,max} = 240 \text{ mm}$$

Návrh

doustřižné  $\varnothing_{st} 8$  po 150mm

## 6.9 NÁVRH MANIPULAČNÍCH ÚCHYTŮ

$$q_{adh,k} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$A_f = 5,89 \text{ m}^2$$

$$F_{adh} = 11,78 \text{ kN}$$

$$n = 2 \text{ ks}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\gamma_{man} = 1$$

$$\gamma_G = 1,35$$

$$F_k = 8,87 \text{ kN} \quad \text{od vlastní tíhy}$$

V okamžiku uvolnění dílce

$$N_{Ed} = 1,3 \cdot (\gamma_G / n \cdot \cos \alpha) \cdot (F_k + F_{adh}) = 1,3 \cdot (1,35 / 2 \cdot \cos 30^\circ) \cdot (5,08 + 11,78) = 20,92 \text{ kN}$$

Při dalších manipulacích

$$N_{Ed} = 1,8 \cdot ((\gamma_G \cdot \gamma_{man}) / n \cdot \cos \alpha) \cdot F_k = 1,8 \cdot ((1,35 \cdot 1) / (2 \cdot \cos 30^\circ)) \cdot 11,78 = 12,44 \text{ kN}$$

## Návrh uchyťů

### HALFEN DEHA Combi-Anker

**i** Winkel von  $\beta > 60^\circ$  infolge Seilspreizung sind unzulässig!

15°

$ez/2$

100% 10° 30° 45°

10° 10°

Randbewehrung

Grundbewehrung

$R_d$

15°

Schrägbügel immer entgegen der Krafrichtung einlegen

$2 \times er$

$ez/2$

Schrägbewehrung

$ds$   $d_{br}$

$l_{s1}$  = Gesamtlänge (ca.  $2 \times$  Schenkellänge)

**i** Der Schrägbügel ist mit Druckkontakt an der Hülse einzubauen.

**i** Der Biegerolldurchmesser gemäß EC 2 muss nicht eingehalten werden.

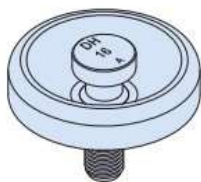
Bewehrung und Tragfähigkeit bei Schrägzug bis 45°												
Lastklasse		Artikel- bezeichnung	Gewinde	min. Bauteil- dicke 2 × e <sub>r</sub>	Grund- bewehrung kreuzweise	Rand- bewehrung	Schrägzug bis 45°					Achsabstand e <sub>z</sub>
							Zulagebewehrung			Tragfähigkeit in [kN] bei Betondruckfestigkeit f <sub>ci</sub>		
			Rd	[mm]	[mm <sup>2</sup> /m]	[mm]	d <sub>s</sub> [mm]	d <sub>br</sub> [mm]	l <sub>s1</sub> gestreckte Länge ① ② [mm]	15 N/mm <sup>2</sup>	25 N/mm <sup>2</sup>	[mm]
	0,5	6351-0,5-100	12	60	1 × 188	Ø8	6	30	320	4,0	5,0	300
	0,8	6351-0,8-105	14	60	1 × 188	Ø8	8	30	430	5,7	8,0	
	1,2	6351-1,2-130	16	70	1 × 257	Ø8	8	30	640	8,7	11,2	400
				80	2 × 131	2 × Ø 8	8	30	640	9,6	12,0	
	1,6	6351-1,6-150	18	80	2 × 188	2 × Ø10	10	40	640	12,8	16,0	450
	2,0	6351-2,0-183	20	80	2 × 188	2 × Ø10	10	40	840	15,5	20,0	500
				100						16,0	20,0	
	2,5	6351-2,5-200	24	100	2 × 188	2 × Ø12	10	40	1050	20,0	25,0	600
	4,0	6351-4,0-275	30	120	2 × 188	2 × Ø12	12	50	1260	32,0	40,0	700
	6,3	6351-6,3-334	36	140	2 × 188	2 × Ø12	16	60	1600	44,6	63,0	800
				160						50,4	63,0	
	8,0	6351-8,0-385	42	160	2 × 188	2 × Ø12	20	80	2000	56,4	72,8	900
				180						61,6	80,0	
				200						64,0	80,0	
	12,5	6351-12,5-550	52	200	2 × 188	2 × Ø14	20	80	2000	100,0	116,3	1100
				220						125,0		

① Die Reduzierung der Länge durch Ausbildung von Endhaken, gemäß EC 2 ist möglich.

② Bei Schrägzug von 10° < β ≤ 30° können die Längen um 25 % abgemindert werden.

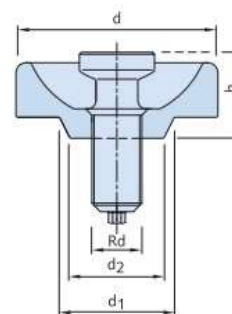
f<sub>ci</sub> = Würfeldruckfestigkeit zum Zeitpunkt des Abhebens

# HALFEN DEHA Adapter 6303/6366

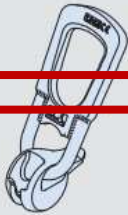


**!** Für Nagelteller  $h=20\text{ mm}$  ist der Adapter 6368 mitzuverwenden.

Der Adapter ermöglicht die Kombination zwischen dem HALFEN DEHA Kugelkopf-Transportankersystem und dem HALFEN DEHA Hülsenankersystem. In den Adapter wird die Universalkopf-Kupplung der entsprechenden Lastklasse eingekuppelt.



## Abmessungen des Adapters

Lastklasse	Artikelbezeichnung	Bestell-Nr. 0742.	Gewinde Rd	d [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	h [mm]	passend für Universalkopf-Kupplung	
0,5	6366-12	140-00001	12	70	40	30	10		6102- 1,3
0,8	6303-14	090-00002	14	78	40	30	10		6102- 2,5
1,2	6366-16	140-00002	16	78	40	30	10		6102- 2,5
1,6	6303-18	090-00004	18	78	55	45	10		6102- 2,5
2,0	6366-20	140-00003	20	97	55	45	10		6102- 5,0
2,5	6366-24	140-00004	24	97	55	45	10		6102- 5,0
4,0	6366-30	140-00005	30	97	70	60	10		6102-10,0
6,3	6366-36	140-00006	36	117	70	60	10		6102-10,0
8,0	6366-42	140-00007	42	117	95	85	12		6102-20,0
12,5	6366-52	140-00008	52	177	95	85	12		6102-20,0

## 7. KALICH

### 7.1 MATERIÁLY

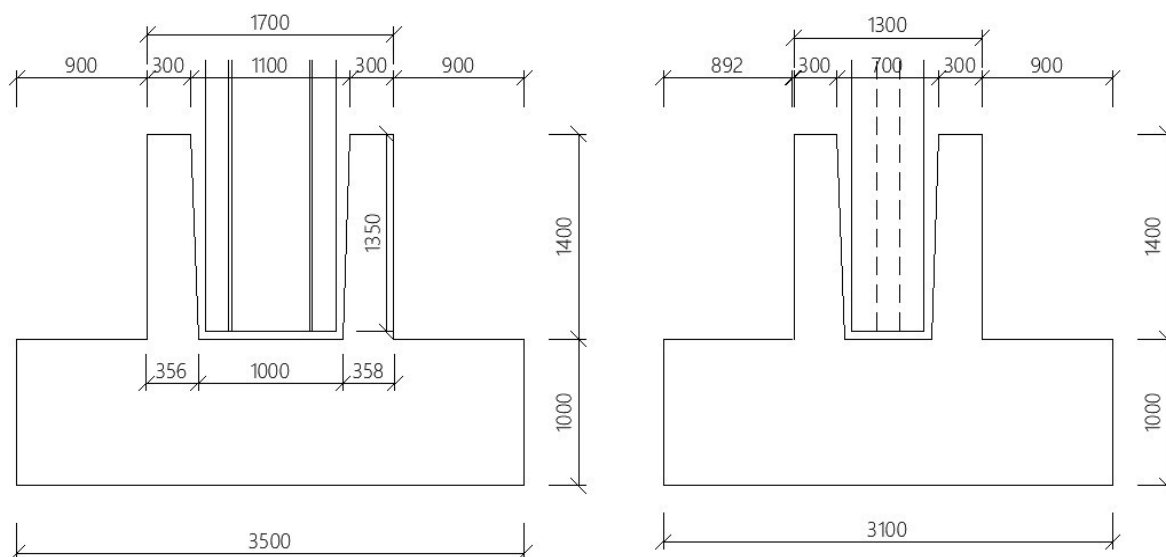
Beton C35/45

$f_{ck}$	35 MPa
$\gamma_c$	1,5
$f_{cd}$	23,33 MPa
$f_{ctm}$	3,2 MPa
$E_{cm}$	34 GPa
$\epsilon_{cu3}$	3,5 ‰
$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{cm}$	43 MPa
$f_{ctk,0,05}$	2,2 MPa

Ocel B500B

$f_{sk}$	=	500 MPa
$\gamma_s$	=	1,15
$f_{sd} = f_{sk}/\gamma_s$	=	434,7826 MPa
$\epsilon_{sd}$	=	2,1739 ‰
$E_s$	=	200 GPa

### 7.2 GEOMETRIE PRŮŘEZU



Návrhové vnitřní síly od sloupu

$N_{Edy} =$	1096,12 kN	$N_{Edz} =$	1041,38 kN
$M_{Edy} =$	1064,59 kNm	$M_{Edz} =$	158,48 kNm
$V_{Ed} =$	121,99 kN		

Sloup

$b_c =$	500 mm
$h_c =$	900 mm

Tloušťka stěn kalichu

$t_k > d_c / 5 =$	270 mm
$t_k > h_c / 3 =$	300 mm
$t_k >$	150 mm

minimální dle zásad

$$t_{kmin} = \max ( 240; 300; 150 ) = 300 \text{ mm}$$

Návrh

$$t_k = 300 \text{ mm}$$

Navržení zapaštění

$$d_c > 1,5 \cdot h_c =$$

$$d_c = 1350 \text{ mm}$$

Navržená výška stěn kalichu

$$h_1 = 1400 \text{ mm}$$

### 7.3 ZATÍŽENÍ

Vlastní tíha patky

$$\text{Oběm patky} = 11,858 \text{ m}^3$$

$$G_{\text{patka}} = 11,858 \cdot 25 = 296,45 \text{ kN}$$

Tíha zásipů zeminy

$$\gamma_z = 21,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_z = (1,9 \cdot 1,9 \cdot 21 \cdot 1,2) = 91 \text{ kN}$$

Zhutněny podsyp

$$\gamma_p = 18,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_p = (1,9 \cdot 1,9 \cdot 18 \cdot 0,3) = 19,5 \text{ kN}$$

Betonová podlaha

$$\gamma_b = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_p = (1,9 \cdot 1,9 \cdot 25 \cdot 0,2) = 18,1 \text{ kN}$$

Zatížení celkem

$$z_d = 573,7 \text{ kN}$$

### 7.4 POSOUZENÍ ZÁKLADOVÉ PATKY

Osa y

$$N_d = N + z_d = 1096,12 + 450,6 = 1669,8 \text{ kN}$$

$$M_d = M + (V \cdot h) = 1064,59 + (121,99 \cdot 2,2) = 1332,968 \text{ kN}$$

$$e_d = M / N = 0,798269$$

$$A' = I \cdot (b - 2 \cdot e) = 3 \cdot (2,6 - 2 \cdot 0,862) = 4,816$$

$$\sigma_y = N_d / A' = 347 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 347 \text{ kPa} < R_{dt} = 390 \text{ kPa}$$

### Osa z

$$N_d = N + z_d = 1615,1 \text{ kN}$$

$$M_d = M + (V \cdot h) = 426,858 \text{ kN}$$

$$e_d = M / N = 0,264295$$

$$A' = I \cdot (b - 2 \cdot e) = 3,1 \cdot (3,5 - 2 \cdot 0,264) = 9,2132$$

$$\sigma_z = N_d / A' = 175 \text{ kPa}$$

$$\sigma_z = 175 \text{ kPa} < R_{dt} = 390 \text{ kPa}$$

### Návrh výstuže kalichové patky

#### Osa y

$$p_d = \sigma_z \cdot l = 347 \cdot 3,5 = 99,1 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1/2 \cdot p_d \cdot l^2 = 606,8 \text{ kNm}$$

#### Krytí výztuže

$$\emptyset = 0,016 \text{ m}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 \text{ mm}$$

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

$$c_{min} = \max ( 16; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10 \text{ mm} ) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset_{sl} = 16 \text{ mm}$$

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

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

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset + \emptyset/2 = 59 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 1000 - 59 = 941 \text{ mm}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 846,9 \text{ mm}$$

$$A_{st,req} = b \cdot d \cdot (f_{cd}/f_{yd}) \cdot (1 - (2 \cdot M_{Ed} / b \cdot d^2 \cdot f_{cd})) =$$

$$A_{st,req} = 3,1 \cdot 0,941 \cdot (23,33/434,78) \cdot (1 - (2 \cdot 606,8 / 3,1 \cdot 0,941^2 \cdot 23,33 \cdot 10^3)) =$$

$$A_{st,req} = 1,49 \text{E-}03 \text{ m}^2$$

Návrh

Ø16/100

$$A_{st} = 2,01E-03 \text{ m}^2$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{st,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yd}) \cdot d = 1,80E-03 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$A_{st,max} = 0,04 \cdot A_{cc} = 1,24E-01 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$A_{cc} = 3,1 \cdot 1 = 3,1 \text{ m}^2$$

Kontrola výšky tlačené oblasti

$$x = (A_{st} \cdot f_{yd}) / (\lambda \cdot b_w \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 0,01511 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} = (\epsilon_{cu3} / (\epsilon_{cu3} + \epsilon_{sd})) \cdot d = 580,5 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \quad \text{Vyhovuje}$$

Kontrola únosnosti

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c$$

$$z_c = d - (0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 0,935 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = 20,11 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 0,935 = 817,4769 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 606,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} < M_{Rd} \quad \text{Vyhovuje}$$

**Mezní porušení objímky rozštěpením**

$$N_{Ed} < N_{so}$$

$$N_{so} = \frac{\gamma_u \cdot A_{b,b} \cdot R_{btd}}{\left( (1 + h_c/b_c) \kappa_{sj} \right)^{-1} + 0,35 \cdot e_d/h_c} =$$

Plocha betonu svislého průřezu patky procházejícího rovnoběžně stranou b

$$A_{b,b} = 4,02 \text{ m}^2$$

Výpočtová pevnost betonu v tahu

$$R_{btd} = f_{ctm} / \gamma_c = 2,13 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}K_{sj} &= 1 \\ \gamma_u &= 0,98 \\ h_c / b_c &= 1,8 < 2,5\end{aligned}$$

$$N_{so} = (1 \cdot 4,02 \cdot 2,13) / (((1 - (0,9/0,5))^{-1} + 0,35 \cdot (0,798/0,9)) = 8404 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1669,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{so} \quad \text{Vyhovuje}$$

### Osa z

$$p_d = \sigma_z \cdot l = 175 \cdot 3,1 = 543,4 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1/2 \cdot p_d \cdot l^2 = 2611,2 \text{ kNm}$$

### Krytí výztuže

$$\emptyset = 0,016 \text{ m}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 \text{ mm}$$

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

$$c_{min} = \max (16; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset_{sl} = 16 \text{ mm}$$

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

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

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset/2 = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 1000 - 59 = 957 \text{ mm}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 861,3 \text{ mm}$$

$$A_{st,req} = b \cdot d \cdot (f_{cd}/f_{yd}) \cdot (1 - (1 - (2 \cdot M_{Ed} / b \cdot d^2 \cdot f_{cd}))^{1/2}) =$$

$$A_{st,req} = 3,5 \cdot 0,957 \cdot (23,33/434,78) \cdot (1 - (1 - (2 \cdot 426,858 / 3,5 \cdot 0,957 \cdot 23,33 \cdot 10^3)^{1/2})) =$$

$$A_{st,req} = 1,03 \text{E-}03 \text{ m}^2$$

### Návrh

$$\emptyset 16/100$$

$$A_{st} = 2,01 \text{E-}03 \text{ m}^2$$



### Kontrola plochy výztuže

$$A_{st,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yd}) \cdot d = 1,83E-03 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$A_{st,max} = 0,04 \cdot A_{cc} = 1,40E-01 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$A_{cc} = 3,5 \cdot 1 = 3,5 \text{ m}^2$$

### Kontrola výšky tlačené oblasti

$$x = (A_{st} \cdot f_{yd}) / (\lambda \cdot b_w \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 0,013383 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} = (\epsilon_{cu3} / (\epsilon_{cu3} + \epsilon_{sd})) \cdot d = 0,6 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \quad \text{Vyhovuje}$$

### Kontrola únosnosti

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c$$

$$z_c = d - (0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 0,952 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = 20,11 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 0,935 = 832,0704 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 426,9 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} < M_{Rd} \quad \text{Vyhovuje}$$

### Mezní porušení objímky rozštěpením

$$N_{Ed} < N_{so}$$

$$N_{so} = \frac{\gamma_u \cdot A_{b,b} \cdot R_{btd}}{\left( (1 + b_c/h_c) \kappa_{sj} \right)^{-1} + 0,35 \cdot e_d/h_c} =$$

Plocha betonu svislého průřezu patky procházejícího rovnoběžně stranou b

$$A_{b,b} = 4,42 \text{ m}^2$$

Výpočtová pevnost betonu v tahu

$$R_{btd} = f_{ctm} / \gamma_c = 2,13 \text{ MPa}$$

součinitel drsnosti styku zálivky s betonem

$$\kappa_{sj} = 1$$

$$\gamma_u = 0,98$$

$$b_c / h_c = 0,56 < 2,5$$

$$N_{s0} = (1 \cdot 4,42 \cdot 2,13) / (((1 - (0,5/0,9))^{-1} + 0,35 \cdot (0,264/0,9))) = 9241 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1615,1 \text{ kN}$$

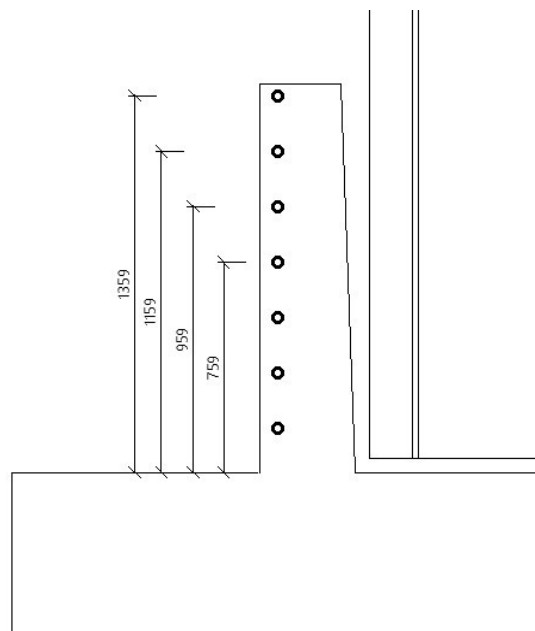
$$N_{Ed} < N_{s0} \quad \text{Vyhovuje}$$

### Mezní porušení objímky roztržením

$$z_i \geq 0,5 \cdot d_c = 0,5 \cdot 1350 = 675 \text{ mm}$$

lze započítat vrstvy výztuže jen do této vzdálenosti

$$A_{st} = (M_{Ed} + V_{Ed} \cdot d_c - 0,7 \cdot N_{Ed} \cdot e) / (f_{yd} \cdot \sum z_i) =$$



$$z_i = 1,359 + 1,159 + 0,959 + 0,759 = 4,236 \text{ m}$$

$$A_{st} = (1332,97 + 121,99 \cdot 1,350 - 0,7 \cdot 1669,8 \cdot 0,798) / (434,78 \cdot \sum z_i) = 2,17E-04 \text{ m}^2$$

Návrh

Ø12/200

$$A_{st} = 3,93E-04 \text{ m}^2$$

ve svislém směru navržena totožná výztuž Ø10/200

### POSOUZENÍ PATKY NA PROTLAČENÍ

Posouzení smykové únosnosti těsně kolem sloupu

$$V_{Ed, \max} = \beta_0 \cdot (V_{Ed, \max} / u_0 \cdot d) \leq V_{Rd, \max}$$

$$V_{Ed, \max} = p_d \cdot (b \cdot l - c_1 \cdot c_2) = 1030,3 \text{ kN}$$

$$u_0 = 4 \cdot c_1 = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ m}$$

$$W_0 = c_1^2 / 2 + c_1 \cdot c_2 = 0,5^2 / 2 + 0,5 \cdot 0,9 = 0,575 \text{ m}$$

$$k = c_1 / c_2 = 0,5 / 0,9 = 0,45$$

$$\beta_0 = 1 + k * ((M_{Ed} + h_f * V_{Ed}) / V_{Ed, \max}) * (u_0 / w_0) =$$

$$\beta_0 = 1 + 0,45 * ((1,359 + 1 * 121,99) / 1030,3) * (2 / 0,575) = 1,19$$

$$d = (d_l + d_b) / 2 = 0,949 \text{ m}$$

$$v = 0,6 * (1 - (f_{ck} / 250)) = 0,516$$

$$V_{Ed, \max} = 1,19 * (1030,3 / 2 * 0,949) = 645,9731 \text{ kN}$$

$$V_{Rd, \max} = 0,5 * v * f_{cd} = 0,5 * 23330 * 0,516 = 6020 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad \text{Vyhovuje}$$

## 7.5 MANIPULAČNÍ ÚCHYT

$$q_{adh, k} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$A_f = 24,05 \text{ m}^2$$

$$F_{adh} = 48,1 \text{ kN}$$

$$n = 6 \text{ ks}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\gamma_{man} = 1$$

$$\gamma_G = 1,35$$

$$F_k = 296,45 \text{ kN} \quad \text{od vlastní tíhy}$$

V okamžiku uvolnování dílce

$$N_{Ed} = 1,3 * (\gamma_G / n * \cos \alpha) * (F_k + F_{adh}) = 1,3 * (1,35 / 2 * \cos 0) * (296,45 + 48,1) = 100,78 \text{ kN}$$

Při dalších manipulacích

$$N_{Ed} = 1,8 * ((\gamma_G * \gamma_{man}) / n * \cos \alpha) * F_k = 1,8 * ((1,35 * 1) / (2 * \cos 0)) * 296,45 = 120,06 \text{ kN}$$

Návrh uchytů

Bewehrung und Tragfähigkeit bei Axialzug									
Lastklasse	Artikel- bezeichnung	Gewinde Rd	min. Bauteildicke 2 × e <sub>r</sub> [mm]	Grund- bewehrung kreuzweise [mm <sup>2</sup> /m]	Randbewehrung [mm]	Axialzug bis 10° Tragfähigkeit in [kN] bei Betondruckfestigkeit f <sub>cl</sub>		Achsabstand e <sub>z</sub> [mm]	
						15 N/mm <sup>2</sup>	25 N/mm <sup>2</sup>		
0,5	6351-0,5-100	12	60	131	Ø8	5,0	5,0	300	
0,8	6351-0,8-105	14	60	131	Ø8	7,1	8,0	300	
			70	131	Ø8	8,0	8,0	300	
1,2	6351-1,2-130	16	70	131	Ø8	10,9	12,0	400	
			80	2 × 131	2 × Ø8	12,0	12,0	400	
1,6	6351-1,6-150	18	80	2 × 131	2 × Ø10	16,0	16,0	450	
			80	2 × 131	2 × Ø10	16,9	20,0	500	
2,0	6351-2,0-183	20	100	2 × 131	2 × Ø10	20,0	20,0	500	
2,5	6351-2,5-200	24	100	2 × 131	2 × Ø10	25,0	25,0	600	
4,0	6351-4,0-275	30	120	2 × 188	2 × Ø12	40,0	40,0	700	
6,3	6351-6,3-334	36	140	2 × 188	2 × Ø12	55,7	63,0	800	
			160			63,0	63,0	800	
8,0	6351-8,0-385	42	160	2 × 188	2 × Ø12	70,5	72,8	900	
			180			77,0	80,0	900	
			200			80,0	80,0	900	
12,5	6351-12,5-550	52	200	2 × 188	2 × Ø12	125,0	125,0	1100	

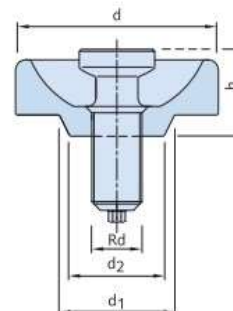
f<sub>cl</sub> = Würfeldruckfestigkeit zum Zeitpunkt des Abhebens

## HALFEN DEHA Adapter 6303/6366

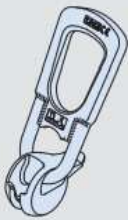


**!** Für Nagelteller  $h=20\text{ mm}$  ist der Adapter 6368 mitzuverwenden.

Der Adapter ermöglicht die Kombination zwischen dem HALFEN DEHA Kugelkopf-Transportankersystem und dem HALFEN DEHA Hülseankersystem. In den Adapter wird die Universalkopf-Kupplung der entsprechenden Lastklasse eingekuppelt.



### Abmessungen des Adapters

Lastklasse	Artikelbezeichnung	Bestell-Nr. 0742.	Gewinde Rd	d [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	h [mm]	passend für Universalkopf-Kupplung	
0,5	6366-12	140-00001	12	70	40	30	10		6102- 1,3
0,8	6303-14	090-00002	14	78	40	30	10		6102- 2,5
1,2	6366-16	140-00002	16	78	40	30	10		6102- 2,5
1,6	6303-18	090-00004	18	78	55	45	10		6102- 2,5
2,0	6366-20	140-00003	20	97	55	45	10		6102- 5,0
2,5	6366-24	140-00004	24	97	55	45	10		6102- 5,0
4,0	6366-30	140-00005	30	97	70	60	10		6102-10,0
6,3	6366-36	140-00006	36	117	70	60	10		6102-10,0
8,0	6366-42	140-00007	42	117	95	85	12		6102-20,0
12,5	6366-52	140-00008	52	177	95	85	12		6102-20,0