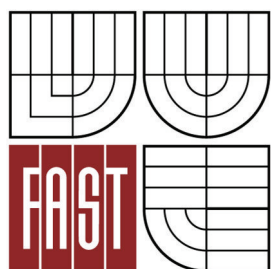




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

SPORTOVNÍ CENTRUM  
SPORT CENTRE

STATICKÝ VÝPOČET ŽB PRŮVLAKU

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. TEREZA ŠVAČKOVÁ

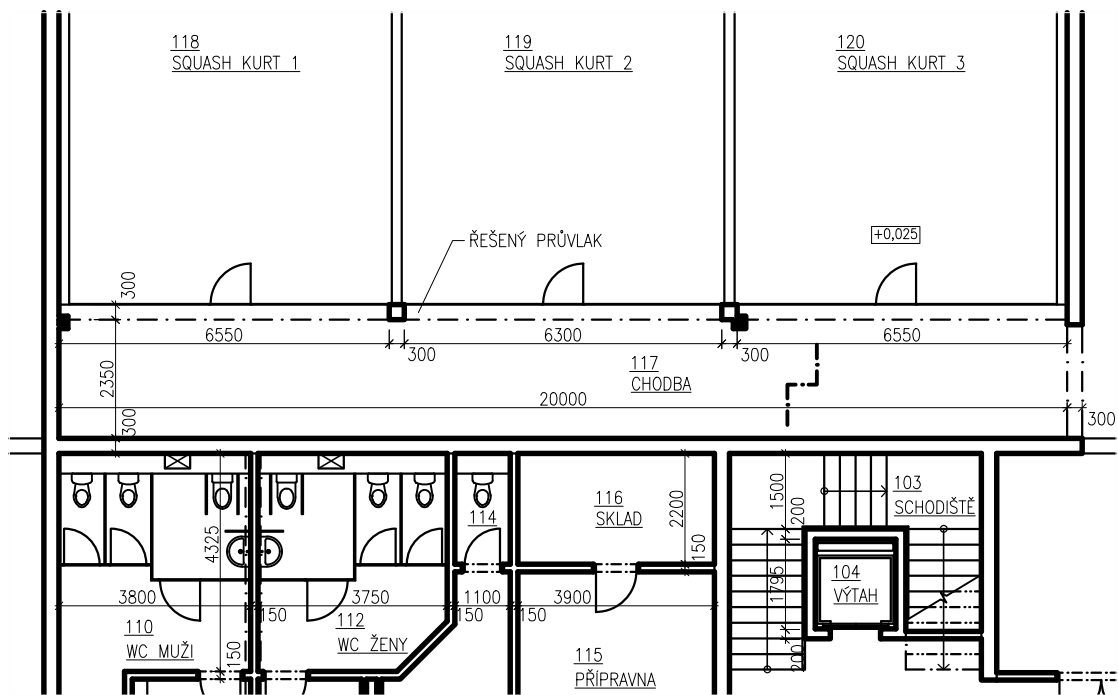
VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JAN PERLA

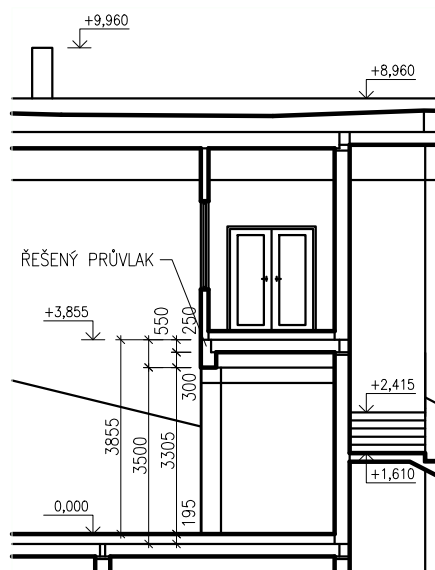
BRNO 2015

# UMÍSTĚNÍ ŘEŠENÉHO PRŮVLAKU

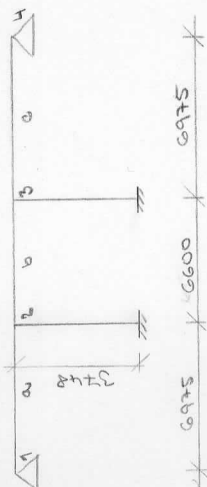
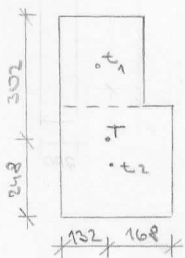
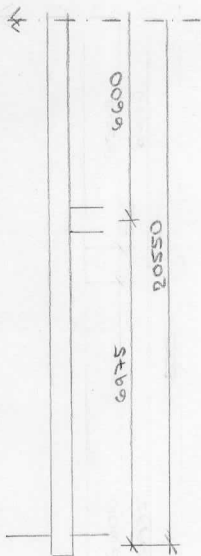
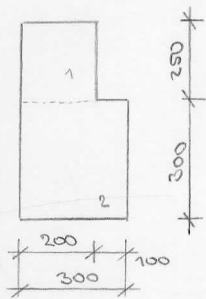
PŮDORYS 1.NP



ŘEZ



## ŽB PRŮVLAK P1



## 1) Geometrie

$$h = 550 \text{ mm}, h_1 = 250 \text{ mm}, h_2 = 300 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}, b_1 = 200 \text{ mm}, b_2 = 300 \text{ mm}$$

## 2) Zatížení

## a) stálé:

- strop nad 1.NP:  $4,16 \cdot 1,275 = 5,3 \text{ kN/m}$
- bet. mazanina:  $0,05 \cdot 24 \cdot 1,325 = 1,59 \text{ kN/m}$
- podlaha 2.NP:  $1,18 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,325 = 1,56 \text{ kN/m}$
- podhled 1.NP:  $0,26 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,175 = 0,306 \text{ kN/m}$
- příčka 2.NP:  $8,17 \cdot 0,15 \cdot 3,8 = 4,66 \text{ kN/m}$

$$\Sigma g_k = 13,22 \text{ kN/m}$$

$$\text{- průvlak: } (0,25 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,3) \cdot 25 = 3,5 \text{ kN/m}$$

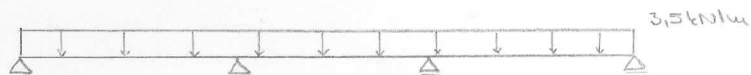
$$\text{- sloup: } 0,3 \cdot 25 \cdot 3,5 = 26,25 \text{ kN/m}$$

$$\text{b) užitné} - 2 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,325 = 2,65 \text{ kN/m}$$

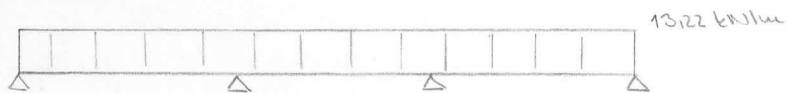
$$q_k = 2,65 \text{ kN/m}$$

## - zatěžovací stav:

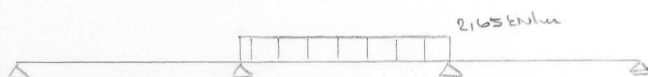
## ZS1- vlastní tíha



## ZS2 - ostatní stálé



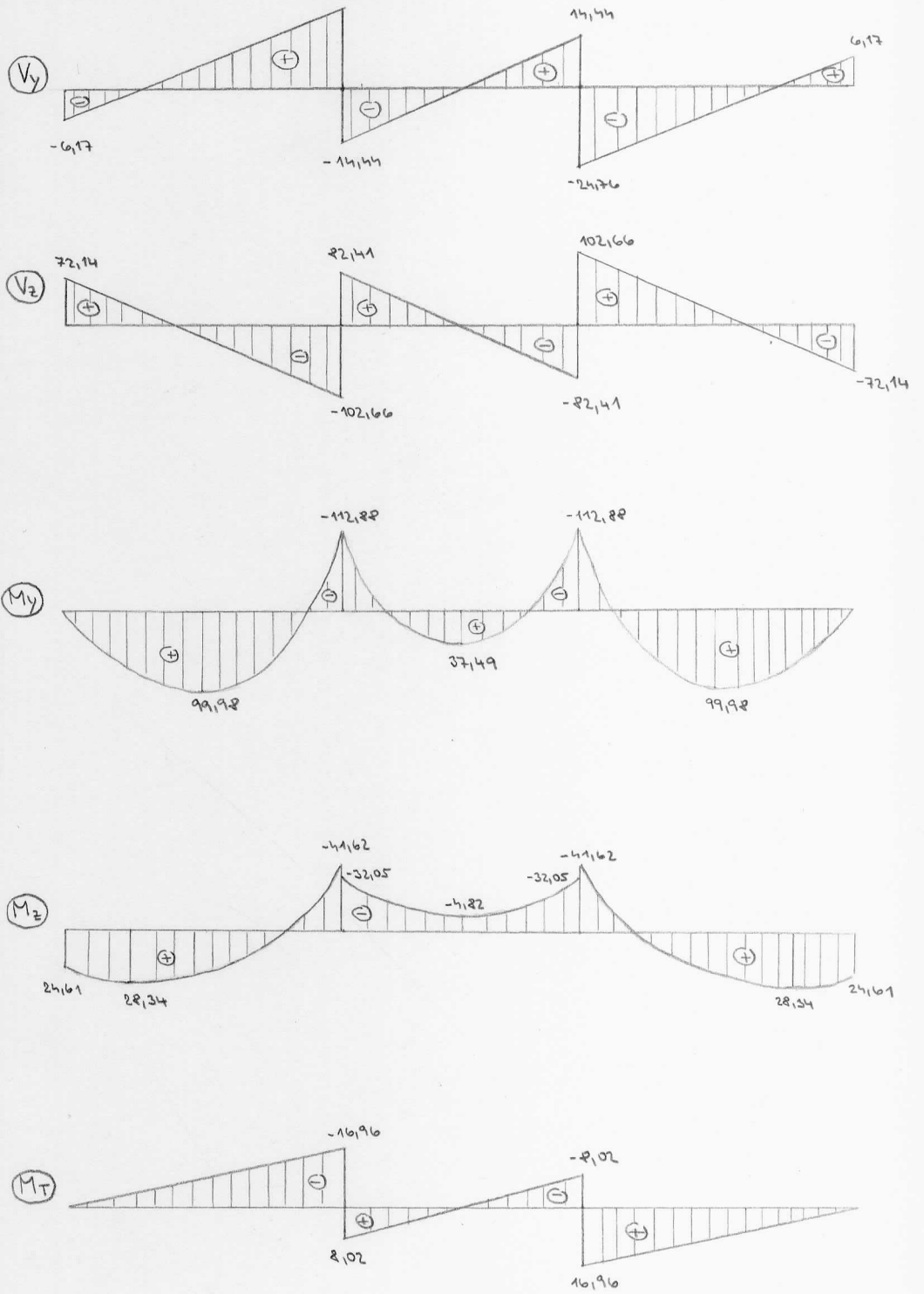
## ZS3- užitné střed



## ZS4- užitné kraje



- ykresleni mitfnich sil



### 3) Material

Beton: C25/30  $f_{ctk} = 25 \text{ MPa}$ ,  $f_{cd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_n} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$

$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$ ,  $f_{ctk,0,05} = 1,8 \text{ MPa}$

Ocel: B500B  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ,  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$

X C1

### Krytí výztuže

$c_{min,sl} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dnr}, 10\} = \max \{18; 15; 10\} = 18 \text{ mm}$

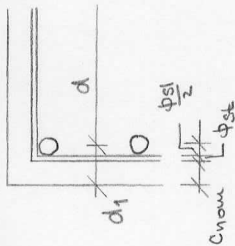
$c_{min,st} = \max \{8; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$

$c_{nom,sl} = c_{min,sl} + \Delta c_{dev} = 18 + 10 = 28 \text{ mm}$

$c_{nom,st} = c_{min,st} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$

$c_{nom,sl} = 28 \text{ mm} \leq c_{nom,st} + \phi_{st} = 25 + 8 \text{ mm} = 32 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$

$\Rightarrow \text{krytí: } c_{nom} = 25 \text{ mm}$



### 4) Návrh a posouzení tahové výztuže - ohyb

a) pole a, c

1) ve směru z -  $M_{ed,z} = 99,98 \text{ kN}\cdot\text{m}$

- předběžný návrh:  $\phi 18$

$d_1 = c_{nom} + \phi_{st} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 25 + 8 + \frac{18}{2} = 42 \text{ mm}$

$d = h - d_1 = 550 - 42 = 508 \text{ mm}$

$z = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 508 = 406 \text{ mm}$

$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{99,98}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,406} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{návrh } 5 \times \phi 18$

$A_{st} = 12,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow s = 32 \text{ mm}$

$s_{min} = \min \{12 \phi_{max}; 20; d/5\} = \min \{12 \cdot 18; 20; 16 + 5\} = \min \{21,6; 20; 21\}$

$= 21,6 \text{ mm} < s = 32 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$

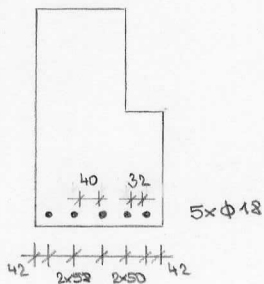
$s_{max} = 300 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$

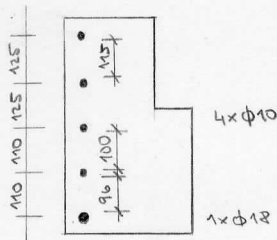
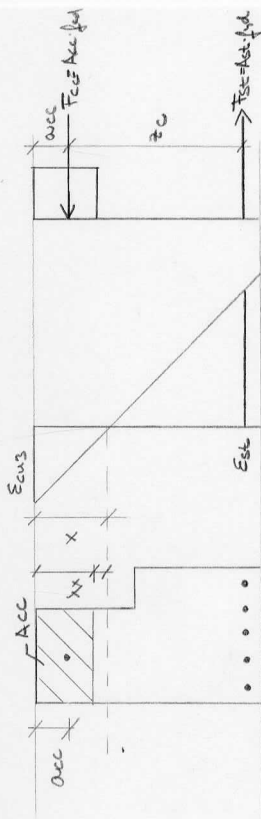
- posouzení tahové výztuže

$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 \cdot b \cdot d \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,6 \cdot 0,3 \cdot 0,508}{500}, \right.$

$0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,508 \} = 2,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{st} = 12,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ vyhovuje}$

$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,55 = 66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 12,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ vyhovuje}$





$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{0,9 \cdot f_{cd}} = \frac{12,72 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,9 \cdot 16,67} = 0,037 \text{ m}^2$$

$$\lambda x = \frac{A_{cc}}{b_1} = \frac{0,037}{0,12} = 0,18 \text{ m}$$

$$x = \frac{\lambda x}{0,8} = \frac{0,18}{0,8} = 0,23 \text{ m}$$

$$a_{cc} = \frac{\lambda x}{2} = \frac{0,18}{2} = 0,092 \text{ m}$$

$$z_c = d - a_{cc} = 0,508 - 0,092 = 0,416 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{st} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (h - a_1 - x) = \frac{3,5}{0,23} \cdot (0,55 - 0,042 - 0,23) = 4,217 \%$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200 \cdot 10^3} = 2,18 \%$$

$$\varepsilon_{st} > \varepsilon_{yd} = 4,217 \% > 2,18 \% \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení momentové únosnosti

$$M_{Rd1} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 12,72 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 0,416 = 229,98 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} \Rightarrow 229,98 > 99,98 \text{ kN} \cdot \text{m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$2) \text{ ve směru osy } y - M_{Ed} = 28,34 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$a_1 = c_{nom} + \phi_{st} + \frac{\phi_d}{2} = 25 + 8 + \frac{18}{2} = 42 \text{ mm}$$

$$d = h - a_1 = 300 - 42 = 258 \text{ mm}$$

$$z = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 258 = 206 \text{ mm}$$

- návrh výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{28,34}{434,78 \cdot 0,206} = 3,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow 1 \times \phi 18 = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$+ 4 \phi 10, A_{st} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; A_{st} = 5,168 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow s_1 = 196 \text{ mm}, s_2 = 115 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \min\{12\phi, 20, d/5\} = \min\{21,6, 20, 21\} = 21,6 \text{ mm} < s_1, s_2 - \text{vyhovuje}$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm} > s_1, s_2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení tahové výztuže

$$A_{s,min} = \max\left\{\frac{0,126 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}; 0,0013 \cdot b \cdot d\right\} = \max\left\{\frac{0,126 \cdot 21,6 \cdot 0,55 \cdot 0,258}{500}; 0,0013 \cdot 0,55 \cdot 0,258\right\}$$

$$A_{s,min} = 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{st} = 5,168 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

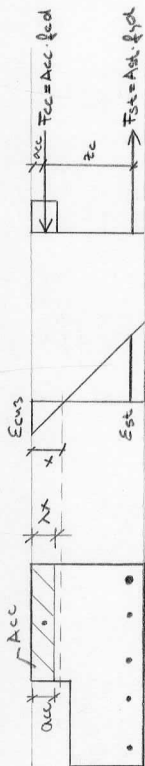
$$A_{s,max} = 0,046 \cdot h = 0,04 \cdot 0,55 \cdot 0,3 = 66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- velikost tlakové oblasti

$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{0,9 \cdot f_{cd}} = \frac{5,168 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,9 \cdot 16,67} = 0,016 \text{ m}^2$$

$$\lambda x = \frac{A_{cc}}{b} = \frac{0,016}{0,3} = 0,05 \text{ m}$$

$$x = \frac{\lambda x}{0,8} = \frac{0,05}{0,8} = 0,069 \text{ m}$$



$$a_{cc} = \frac{\lambda x}{2} = \frac{0,053}{2} = 0,027 \text{ m}$$

$$d_1 = \frac{3,14 \cdot 0,038 + 2,154 \cdot 0,042}{5,68} = 0,04 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,04 = 0,26 \text{ m}$$

$$z_c = d - a_{cc} = 0,26 - 0,027 = 0,233 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{st} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (h - d_1 - x) = \frac{3,5}{0,069} (0,3 - 0,04 - 0,069) = 9,59\%$$

$$\varepsilon_y d = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{20010} = 2,18\% < \varepsilon_{st} = 9,59\% \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- moment na mezi únosnosti

$$M_{edz} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,68 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,233 = 57,54 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ed} > M_{edz} \Rightarrow 57,54 \text{ kN}\cdot\text{m} > 28,34 \text{ kN}\cdot\text{m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení:

$$\left( \frac{M_{edy}}{M_{edy}} \right)^a + \left( \frac{M_{edz}}{M_{edz}} \right)^a \leq 1,0 \Rightarrow \frac{99,98}{229,98} + \frac{28,34}{57,54} = 0,93 \leq 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) pole b

$$1) \text{ ve směru osy } z - M_{edy} = 37,49 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{- návrh: } \phi 10 \quad d_1 = c_{nom} + \phi_{st} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 25 + 8 + \frac{10}{2} = 38 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 550 - 38 = 512 \text{ mm}$$

$$z = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 512 = 410 \text{ mm}$$

- návrh výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{37,49}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,41} = 2,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{návrh } 3 \phi 10 - A_{st} = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_1 = 114 \text{ mm}, s_2 = 90 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \min \{ 12 \phi; 20; d/3 + 5 \} = \min \{ 12; 20; 21 \} = 21 \text{ mm} < s_1, s_2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

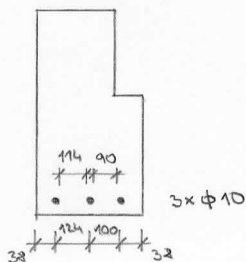
$$s_{max} = 300 \text{ mm} > s_1, s_2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení tahové výztuže

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{500}; 0,0013 \cdot b \cdot d \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,6 \cdot 0,3 \cdot 0,512}{500}; \right.$$

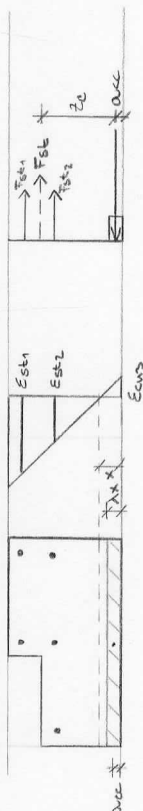
$$\left. 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,512 \right\} = 2,108 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{st} = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,55 = 66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{st} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$









$$\lambda x = \frac{A_{cc}}{b} = \frac{0,011}{0,155} = 0,071 \text{ m}$$

$$x = \frac{\lambda x}{0,8} = \frac{0,071}{0,8} = 0,088 \text{ m}$$

$$a_{cc} = 0,01 \text{ m}$$

$$d_1 = \frac{2 \cdot 0,038 + 3 \cdot 0,1128}{5} = 0,098 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,098 = 0,202 \text{ m}$$

$$z_c = d - a_{cc} = 0,202 - 0,098 = 0,104 \text{ m}$$

- kontrola přetvoření

$$\epsilon_{st2} = \frac{\epsilon_{cus}}{x} \cdot (h - d_{12} - x) = \frac{3,5}{0,026} \cdot (0,3 - 0,098 - 0,026) = 18,31\%$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200 \cdot 10^3} = 2,17\% < \epsilon_{st2} = 18,31\% \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- moment na mezi únosnosti

$$M_{ed2} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,104 = 32,81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ed} > M_{ed2} \Rightarrow 32,81 \text{ kN}\cdot\text{m} > 4,82 \text{ kN}\cdot\text{m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení

$$\left( \frac{M_{ed1}}{M_{ed2}} \right)^a + \left( \frac{M_{ed3}}{M_{ed2}} \right)^a \leq 1,0 \Rightarrow \frac{37,49}{50,79} + \frac{4,82}{32,81} = 0,89 < 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

9) podpora 2.3

$$1) \text{ ve směru } o_2 \text{ z - } M_{ed} = -112,88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\phi 18: d_1 = c_{nom} + \phi_{st} + \frac{\phi_{st}}{2} = c_{nom} + 8 + \frac{18}{2} = 42 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 550 - 42 = 508 \text{ mm}$$

$$z_c = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 508 = 406 \text{ mm}$$

- redukce momentu

$$M_{ed,red} = \max \{ M_{ed, \text{fac}}, 0,65 \cdot M_{ed, \text{fix}} \}$$

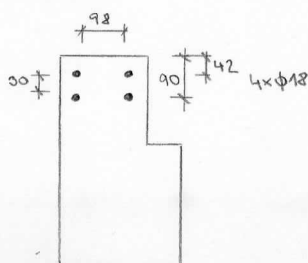
$$M_{ed, \text{fac}} = M_{ed, \text{sup}} - V_{ed} \cdot \frac{z}{2} = 112,88 - 102,66 \cdot \frac{0,3}{2} = 97,48 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ed, \text{fix}} = 0,65 \cdot M_{ed, \text{sup}} = 0,65 \cdot 112,88 = 73,37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ed,red} = \max \{ 97,48; 73,37 \} = 97,48 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- návrh výztuže

$$A_{s, \text{req}} = \frac{M_{ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{97,48}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,406} = 5,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{návrh } 4 \phi 18, A_{st} = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



$$S_1 = 98 \text{ mm}$$

$$S_{\min} = \min \{ 12\phi; 20; d_g + 5 \} = \min \{ 21,6; 20; 21 \} = 21,6 \text{ mm} < S_1 = 98 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$S_{\max} = 300 \text{ mm} > S_1 = 98 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení tahové výztuže

$$A_{s\min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}; 0,0013 b d \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot 21,6 \cdot 0,13 \cdot 0,508}{500}; \right.$$

$$\left. 0,0013 \cdot 0,13 \cdot 0,508 \right\} = 2,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{st} = 10,18 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$A_{s\max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,13 \cdot 0,55 = 66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{st} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- velikost tlacivé oblasti

$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{0,9 \cdot f_{cd}} = \frac{10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,9 \cdot 16,67} = 0,025 \text{ m}^2$$

$$\lambda x = \frac{A_{cc}}{b} = \frac{0,025}{0,13} = 0,1 \text{ m}$$

$$x = \frac{\lambda x}{0,8} = \frac{0,1}{0,8} = 0,125 \text{ m}$$

$$a_{cc} = \frac{\lambda x}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,049$$

$$d_1 = \frac{2 \cdot 0,042 + 2 \cdot 0,09}{4} = 0,066 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,55 - 0,066 = 0,484$$

$$z_c = d - a_{cc} = 0,484 - 0,049 = 0,435 \text{ m}$$

- kontrola přetvoření

$$\varepsilon_{st_2} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{x} (h - d_1 - x) = \frac{3,5}{0,123} \cdot (0,55 - 0,066 - 0,123) = 9,59\%$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200 \cdot 10^3} = 2,18\% < \varepsilon_{st_2} = 9,59\% \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- moment na mezi únosnosti

$$M_{ed1} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,435 = 192,53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

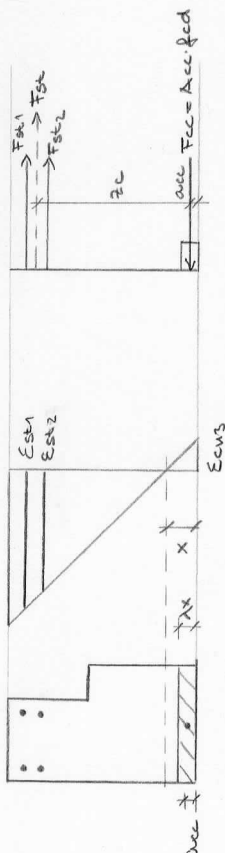
$$M_{ed} > M_{ed1} \Rightarrow 192,53 \text{ kN}\cdot\text{m} > 112,88 \text{ kN}\cdot\text{m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

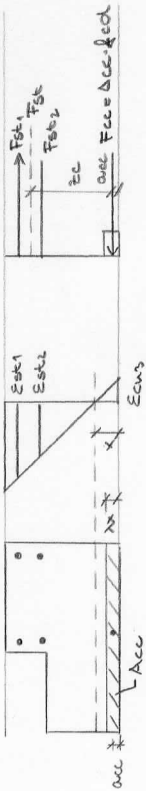
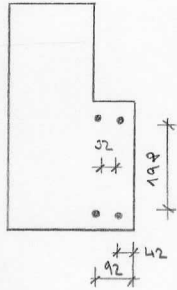
2) ve směru osy y -  $M_{ed} = -41,62 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$\phi 18: d_1 = c_{nom} + \phi_{st} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 25 + 8 + \frac{18}{2} = 42 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 42 = 258 \text{ mm}$$

$$z = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 258 = 206 \text{ mm}$$





- návrh výztuže

$$A_{s, req} = \frac{M_{ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{41,62}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,206} = 4,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{návrh } 4 \phi 18, A_{st} = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_1 = 198, s_2 = 32 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \min \{12 \phi; 20; d/5\} = \min \{21,6; 20; 21\} = 21,6 \text{ mm} < s_1, s_2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm} > s_1, s_2 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení tahové výztuže

$$A_{smin} = \max \left\{ \frac{0,26 f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 b d \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot 21,6 \cdot 0,55 \cdot 0,258}{500}, 0,0013 \cdot 0,55 \cdot 0,258 \right\} \\ = 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{st} = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{smax} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,55 \cdot 0,3 = 66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{st} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- velikost tlacivé oblasti

$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{td}}{0,9 \cdot f_{cd}} = \frac{10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,9 \cdot 16,167} = 0,003 \text{ m}^2$$

$$\lambda x = \frac{A_{cc}}{b} = \frac{0,003}{0,55} = 0,005 \text{ m}$$

$$x = \frac{\lambda x}{0,8} = \frac{0,005}{0,8} = 0,0067 \text{ m}$$

$$a_{cc} = \frac{\lambda x}{2} = \frac{0,005}{2} = 0,0027$$

$$d_1 = \frac{0,002 \cdot 2 + 0,0027 \cdot 2}{4} = 0,0067$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,0067 = 0,2933 \text{ m}$$

$$z_c = d - a_{cc} = 0,2933 - 0,0027 = 0,2906 \text{ m}$$

- kontrola přetvoření

$$\epsilon_{st2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} (h - d_1 - x) = \frac{315}{0,067} \cdot (0,3 - 0,0067 - 0,0067) = 7,37\%$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{td}}{\epsilon_s} = \frac{434,78}{200 \cdot 10^3} = 2,17\% < \epsilon_{st2} = 7,37\% \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- moment na mezi únosnost

$$M_{ed2} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,206 = 91,18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ed} > M_{ed2} \Rightarrow 91,18 \text{ kN} \cdot \text{m} > 41,62 \text{ kN} \cdot \text{m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení

$$\left( \frac{M_{edy}}{M_{edy}} \right)^2 + \left( \frac{M_{edz}}{M_{edz}} \right)^2 = \frac{97,48}{192,53} + \frac{41,62}{91,18} = 0,96 < 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 5) Návrh a posouzení smykové výztuže

### a) Smyková výztuž v podpoře 1.4

- návrhová únosnost prvku bez smykové výztuže

$$- 2 \times \phi 18, A_{st} = 5109 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, d = 508 \text{ mm}, V_{ed} = 72,14 \text{ kN}$$

$$C_{ed,c} = \frac{0,18}{f_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{508}} = 1,63 < 2,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5109 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,508} = 0,003 \leq 0,02 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$L_{min} = 0,035 \cdot k \cdot f_{ct}^{3/2} = 0,035 \cdot 1,63 \cdot 25^{3/2} = 0,364$$

$$\min V_{ed,c} = \min L \cdot b \cdot d = 0,364 \cdot 0,3 \cdot 0,508 = 55,47 \text{ kN}$$

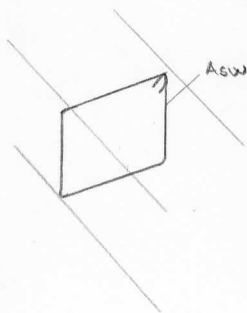
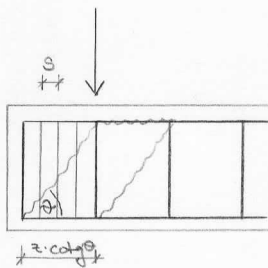
$$V_{ed,c} = C_{ed,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_s \cdot f_{ct})^{1/3} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,12 \cdot 1,63 \cdot (100 \cdot 0,003 \cdot 25)^{1/3} \cdot 300 \cdot 508 = 58,35 \text{ kN}$$

$$V_{ed} \leq \max \{ V_{ed,c}; \min V_{ed,c} \} = \max \{ 58,35; 55,47 \}$$

$$V_{ed} = 72,14 \text{ kN} > 58,35 \text{ kN} \Rightarrow \text{nehovuje}$$

$\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou výztuž



- návrh smykové výztuže

- dvoustřížný + kruhový  $\phi 8, A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,508 = 0,457 \text{ m}$$

$$\cot \theta = \frac{a+d}{z} = \frac{0,275 + 0,508}{0,457} = 1,713$$

- vzdálenost třmínků

$$s = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta}{V_{ed}} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,457 \cdot 1,713}{72,14} = 0,476 \approx 0,45 \text{ m}$$

$$s \leq s_{max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,508 = 0,381 \text{ m} = 0,38 \text{ m} \leq 0,4 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$\Rightarrow$  navrženo  $\phi 8 / 380 \text{ mm}$

- stupeň vyztužení třmínků

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s} \geq \rho_{min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ct}}}{f_{yk}} \Rightarrow \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,38} \geq 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500}$$

$$\Rightarrow 0,89 \cdot 10^{-3} > 0,8 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$L = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ct}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

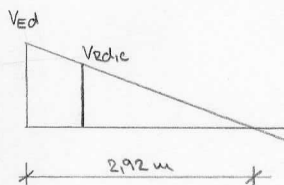
$$\frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{b \cdot s} \leq \frac{L}{z} \cdot f_{ct} \Rightarrow \frac{1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 0,38} \leq \frac{0,54}{0,457} \cdot 16,67 \cdot 10^3$$

$$\Rightarrow 385,2 < 4500 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- únosnost třmínků

$$V_{ed,s} = A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{s} = 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,457 \cdot 1,713}{0,38} = 90,47 \text{ kN}$$

$$V_{ed} < V_{ed,s} \Rightarrow 72,14 \text{ kN} < 90,47 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



- únosnost tlacivé diagonály

$$V_{ed, \max} = V \cdot f_{cd} \cdot z \cdot \cot \theta \cdot b \cdot \frac{1}{\cot^2 \theta + 1}$$

$$= 0,54 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,457 \cdot 0,3 \cdot \frac{1}{1,713^2 + 1} = 557,34 \text{ kN}$$

$$V_{ed} < V_{ed, \max} \Rightarrow 72,14 \text{ kN} < 557,34 \text{ kN}$$

- výpočet úseku s nutností smykové výztuže

$$x = 2,92 - \frac{2,92}{V_{ed, \max}} \cdot V_{ed, c} = 2,92 - \frac{2,92}{557,34} \cdot 581,55 = 0,558 \text{ m}$$

$$s = 380 \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 508 = 381 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$\Rightarrow$  konstrukční smyková výztuž:  $\phi 8 / 380 \text{ mm}$

b) smyková výztuž v podpore 2,3

- návrhová únosnost prutu bez smykové výztuže

$$4 \phi 18, A_{st} = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$C_{Rd, c} = \frac{0,18}{f_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{508}} = 1,63 < 2,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{10,18 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,508} = 0,0067 < 0,02 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\lambda_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,63^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,364$$

$$\min V_{Rd, c} = \min \lambda \cdot b \cdot d = 0,364 \cdot 300 \cdot 508 = 55,47 \text{ kN}$$

$$V_{Rd, c} = C_{Rd, c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 1,63 \cdot (100 \cdot 0,0067 \cdot 25)^{1/3} \cdot 300 \cdot 508 = 76,27 \text{ kN}$$

$$V_{ed} \leq \max \{ V_{Rd, c}; \min V_{Rd, c} \} = \max \{ 76,27; 55,47 \}$$

$$V_{ed} = 102,66 \text{ kN} \neq 76,27 \text{ kN} \Rightarrow \text{nevyhovuje}$$

$\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou výztuž

- návrh smykové výztuže

$$\text{dvoustěžný trmílek } \phi 8, A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 508 = 0,457 \text{ m}$$

$$\cot \theta = \frac{a+d}{z} = \frac{0,275+0,508}{0,457} = 1,713$$

- vzdálenost trmítků

$$s = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta}{V_{ed}} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,713}{102,66} = 0,335 \text{ m} = 0,330 \text{ m}$$

$$s \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,508 = 0,381 \text{ m} \leq 0,4 \text{ m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$\Rightarrow$  navrženo  $\phi 8 / 330 \text{ mm}$

- stupeň vyztužení tržníky

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,33} = 1,02 \cdot 10^{-3} \geq \rho_{min}$$

$$\rho_{min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ct}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} = 0,8 \cdot 10^{-3} < \rho_w = 1,02 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$L = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ct}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$\frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{b \cdot s} \leq \frac{L}{2} \cdot f_{cd} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 0,33} \leq \frac{0,54}{2} \cdot 16,67 \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 443,56 < 4500 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- únosnost tržníky

$$V_{eds} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{s} = 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,457 \cdot 1,713}{0,33} = 104,17 \text{ kN}$$

$$V_{ed} < V_{eds} \Rightarrow 102,66 < 104,17 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- únosnost tláčené diagonály

$$V_{ed,max} = L \cdot f_{cd} \cdot z \cdot \cot \theta \cdot b \cdot \frac{1}{\cot^2 \theta + 1} = 0,54 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,457 \cdot 1,713 \cdot 0,3 \cdot \frac{1}{1,713^2 + 1} = 537,34 \text{ kN}$$

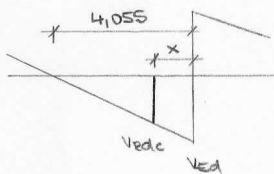
$$V_{ed} < V_{ed,max} = 102,66 \text{ kN} < 537,34 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- výpočet úseku s nutností smykové výztuže

$$x = 4,055 - \frac{4,055}{V_{ed,max}} \cdot V_{ed,c} = 4,055 - \frac{4,055}{102,66} \cdot 76,27 = 1,042 \text{ m}$$

$$s = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,1508 = 0,1131 \approx 0,12 \text{ m} \leq 0,14 \text{ m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$\Rightarrow$  konstrukční smyková výztuž  $\phi 8/380 \text{ mm}$



## 6) Kotvení betonářské výztuže

a) ve směru osy z

1) pro pole a, c

$$\phi_{sl} = 5\phi 18, M_{ed} = 99,98 \text{ kN}\cdot\text{m}, d = 0,508 \text{ m}, A_s = 12,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{k_t} = 1,0 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

- základní kotvení délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{s,ir}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{161,33}{2,7} = 268,88 \text{ mm}$$

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

$$= 0,3 \cdot 0,508 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 99,98}{0,3 \cdot 0,508^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) = 4,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 434,78 \cdot \frac{4,72 \cdot 10^{-4}}{12,72 \cdot 10^{-4}} = 161,33 \text{ MPa}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 268,88 = 252,75 \text{ mm} \approx 260 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}) = \max(80,66; 180; 100) = 180 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} < l_{bd} \Rightarrow 180 \text{ mm} < 260 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2) pro pole b

$$\phi_{sl} = 3\phi 10, A_s = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, M_{ed} = 37,49 \text{ kN}\cdot\text{m}, d = 0,312 \text{ m}$$

- základní kotvení délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{s,ir}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{315,03}{2,7} = 291,69 \text{ mm}$$

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

$$= 0,3 \cdot 0,312 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 37,49}{0,3 \cdot 0,312^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) = 1,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 434,78 \cdot \frac{1,71 \cdot 10^{-4}}{2,36 \cdot 10^{-4}} = 315,03 \text{ MPa}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 291,69 = 227,52 \text{ mm} \approx 230 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1; \alpha_2 = 1 - \frac{0,15(c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15(25 - 10)}{10} = 0,78$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100) = \max(87,5; 100; 100) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} > l_{b,min} \Rightarrow 230 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

3) pro podporu 1,4

$$- 2\phi 18, A_s = 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, d = 0,508 \text{ m}, M_{Ed} = 0 \text{ kN}, V_{Ed} = 72,14 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)}{2} = \frac{0,457(1,713-0)}{2} = 0,391 \text{ m} \approx 0,395 \text{ m}$$

$$\Delta F_{Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{\omega}{2} = 72,14 \cdot \frac{0,395}{0,457} = 62,35 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{2} + \Delta F_{Ed} + N_{Ed} = \frac{0}{0,457} + 62,35 + 0 = 62,35 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{Ed}}{A_s} = \frac{62,35}{5,09 \cdot 10^{-4}} = 122,5 \text{ MPa}$$

$$l_{b, reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{122,5}{2,7} = 204,17 \text{ mm}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{bd, sup} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \cdot l_{b, reqd} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 204,17 = 191,9 \text{ mm} \approx 195 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1,0, \alpha_2 = 1 - \frac{0,15(c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15(25-18)}{18} = 0,94$$

$$l_{b, min} = \max(0,3 \cdot l_{b, reqd}; 10\phi; 100) = \max(61,25; 180; 100) = 180 \text{ mm}$$

$$l_{bd, sup} > l_{b, min} \Rightarrow 195 \text{ mm} > 180 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4) pro podporu 2,3

$$- 4\phi 18, A_s = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, d = 0,508 \text{ m}, M_{Ed} = 97,48 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{97,48}{0,457 \cdot 10,18 \cdot 10^{-4}} = 209,53 \text{ MPa}$$

$$l_{b, reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{209,53}{2,7} = 349,22 \text{ mm}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \cdot l_{b, reqd} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 349,22 = 328,27 \text{ mm} \approx 330 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1, \alpha_2 = 1 - \frac{0,15(c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15(25-18)}{18} = 0,94$$

$$l_{b, min} = \max(0,3 \cdot l_{b, reqd}; 10\phi; 100) = \max(104,7; 180; 100) = 180 \text{ mm}$$

$$l_{bd} > l_{b, min} \Rightarrow 330 \text{ mm} > 180 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) ve směru osy y

1) pro pole a,c

$$\phi_{sl} = 1\phi 18, 4\phi 10 \Rightarrow A_{st} = 5,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, M_{Ed} = 28,34 \text{ kN} \cdot \text{m}, d = 0,258 \text{ m}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk, 0,05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$



- základní kotvení délka

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{198,25}{217} = 330,42 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = k_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{ed}}{k_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}}\right) = 0,55 \cdot 0,258 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 28,34}{0,55 \cdot 0,258^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) = 2,59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 434,78 \cdot \frac{2,59 \cdot 10^{-4}}{5,68 \cdot 10^{-4}} = 198,25 \text{ MPa}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,reqd} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 330,42 = 310,59 \text{ mm} \approx 315 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1,0, \alpha_2 = 1 - \frac{0,15(c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15(25 - 18)}{18} = 0,94$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,reqd}; 10\phi; 100) = \max(99,13; 180; 100) = 180 \text{ mm}$$

$$l_{bd} > l_{b,min} \Rightarrow 315 \text{ mm} > 180 \text{ mm}$$

2) pro pole b

$$5\phi 10, A_{st} = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, M_{ed} = -4,82 \text{ kN}\cdot\text{m}, d = 0,262 \text{ m}$$

- základní kotvení délka

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{46,47}{217} = 43,03 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = k_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{ed}}{k_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}}\right) = 0,55 \cdot 0,262 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 4,82}{0,55 \cdot 0,262^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) = 0,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 434,78 \cdot \frac{0,42 \cdot 10^{-4}}{3,93 \cdot 10^{-4}} = 46,47 \text{ MPa}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,reqd} = 1 \cdot 0,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 43,03 = 33,56 \text{ mm} \approx 35 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1, \alpha_2 = 1 - \frac{0,15(c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15(25 - 10)}{10} = 0,78$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,reqd}; 10\phi; 100) = \max(12,9; 100; 100) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} > l_{b,min} \Rightarrow 35 \neq 100 \text{ mm} \Rightarrow l_{bd} = l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

3) pro podpory 1+4

$$1\phi 10, A_{st1} = 0,79 \cdot 10^{-4}, 1\phi 18, A_{st2} = 2,154 \cdot 10^{-4} \Rightarrow A_{st} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, M_{ed} = 24,61 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a = \frac{z(\cot \theta - \cot \theta_d)}{2} = \frac{0,232(1,713 - 0)}{2} = 0,199 \text{ m} \approx 0,2 \text{ m}$$

$$\Delta F_{td} = |N_{ed}| \cdot \frac{a}{z} = 6,17 \cdot \frac{0,2}{0,232} = 5,32 \text{ kN}$$

$$F_{ed} = F_{td} = \frac{M_{ed}}{z} + \Delta F_{td} + N_{ed} = \frac{24,61}{0,232} + 5,32 + 0 = 109,46 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{ed}}{A_s} = \frac{109,46}{3,33 \cdot 10^{-4}} = 328,71 \text{ kN}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{328,71}{217} = 547,84 \text{ mm}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{b, \sup} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \cdot l_{b, \text{reqd}} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 547,83 = 515 \text{ mm}$$

$$l_{b, \min} = \max(0,3 \cdot l_{b, \text{reqd}}; 10\phi; 100) = \max(164,35; 180; 100) = 180 \text{ mm}$$

$$l_{b, \sup} > l_{b, \min} \Rightarrow 515 \text{ mm} > 180 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4) pro podporu 213

$$4\phi 18, A_{st} = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, M_{Ed} = -41,62 \text{ kN}\cdot\text{m}, d = 0,258 \text{ m}$$

$$\bar{\sigma}_{sd} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{41,62}{0,232 \cdot 10,18 \cdot 10^{-4}} = 176,22 \text{ MPa}$$

$$l_{b, \text{reqd}} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\bar{\sigma}_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{176,22}{217} = 293,7 \text{ mm}$$

- návrhová kotvení délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \cdot l_{b, \text{reqd}} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 293,7 = 276,08 \text{ mm} = 280 \text{ mm}$$

$$l_{b, \min} = \max(0,3 \cdot l_{b, \text{reqd}}; 10\phi; 100) = \max(88,11; 180; 100) = 180 \text{ mm}$$

$$l_{bd} > l_{b, \min} \Rightarrow 280 \text{ mm} > 180 \text{ mm} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

# 7) Namáhání kroučícím momentem

$$M_T = T_{ed} = 16,96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- dutý průřez

$$A = 0,2 \cdot 0,25 + 0,3 \cdot 0,3 = 0,14 \text{ m}^2$$

$$u = 2(b+h) = 2 \cdot (0,3 + 0,55) = 1,7 \text{ m}$$

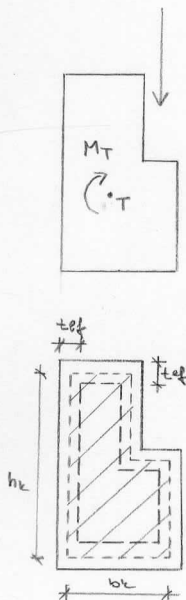
$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{0,14}{1,7} = 0,082 > 2 \cdot d_1 = 2 \cdot 0,042 = 0,084 \Rightarrow t_{ef} = 0,084$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,3 - 0,084 = 0,216 \text{ m}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 0,55 - 0,084 = 0,466 \text{ m}$$

$$u_k = 2(b_k + h_k) = 2 \cdot (0,216 + 0,466) = 1,36 \text{ m}$$

$$A_k = 0,16 \cdot 0,25 + 0,216 \cdot 0,216 = 0,076 \text{ m}^2$$



- návrhový kroučící moment na mezi únosnosti

$$T_{ed,c} = 2 \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot f_{ctd} = 2 \cdot 0,076 \cdot 0,084 \cdot 1,2 \cdot 10^3 = 15,32 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$T_{ed,c} > T_{ed} \Rightarrow 15,32 \text{ kN}\cdot\text{m} < 16,96 \text{ kN}\cdot\text{m} \Rightarrow \text{nevyhovuje}$$

$$T_{ed,max} = 2 \cdot V \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

$$= 2 \cdot 0,54 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,076 \cdot 0,084 \cdot \sin 33,496 \cdot \cos 33,496 = 52,9 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$T_{ed,max} > T_{ed} \Rightarrow 52,9 \text{ kN}\cdot\text{m} > 16,96 \text{ kN}\cdot\text{m} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\frac{T_{ed}}{T_{ed,max}} = \frac{16,96}{52,9} = 0,32$$

- posouzení tlacených diagonál

$$\frac{V_{ed}}{V_{ed,max}} + \frac{T_{ed}}{T_{ed,max}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{102,66}{537,34} + \frac{16,96}{52,9} = 0,51 < 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

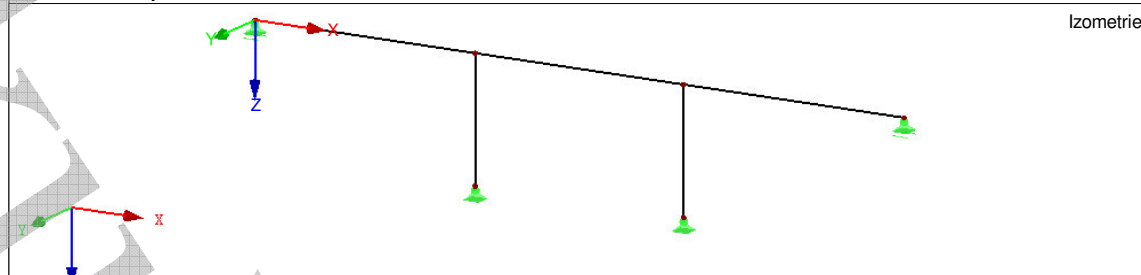
$\Rightarrow$  kroucení přeneso navržena smykova výztuž

Projekt:

Model: bzk\_UPRAVENE

Datum: 6.12.2014

## ■ MODEL, IZOMETRIE



## ■ 1.3 MATERIÁLY

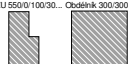
Mat. č.	Modul E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Poissonův souč. ν [-]	Objem. tíha γ [kN/m <sup>3</sup> ]	Souč. tepl. roz. α [1/°C]	Souč. spolehlivosti γ <sub>M</sub> [-]	Materiálový model
1	Beton C20/25 3000.00	EN 1992-1-1:2004/AC:2010 1250.00	0.200	25.00	1.00E-05	1.00	Izotropní lineárně elastický

## ■ 1.7 UZLOVÉ PODPORY

Podpora č.	Uzly č.	Pořadí	Natočení [°]			Sloup v Z	Podepření resp. vetknutí					
			okolo X	okolo Y	okolo Z		u <sub>X</sub>	u <sub>Y</sub>	u <sub>Z</sub>	φ <sub>X</sub>	φ <sub>Y</sub>	φ <sub>Z</sub>
2	3,5	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	1,6	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

## ■ 1.13 PRŮŘEZY

UZU 550/100/30... Obdélník 300/300



Průřez č.	Mater. č.	I <sub>T</sub> [cm <sup>4</sup> ]		I <sub>y/u</sub> [cm <sup>4</sup> ]		I <sub>z/v</sub> [cm <sup>4</sup> ]		Hlavní osy α [°]	Natočení α' [°]	Celkové rozměry [mm]	
		A [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>y/u</sub> [cm <sup>2</sup> ]		A <sub>z/v</sub> [cm <sup>2</sup> ]				Šířka b	Výška h
1	UZU 550/0/100/300/300/200 1	198221.42 1400.00		344368.22 1082.28		84456.20 1082.95		-9.94	0.00	300.0	550.0
2	Obdélník 300/300 1	113940.00 900.00		67500.00 750.00		67500.00 750.00		0.00	0.00	300.0	300.0

## ■ 2.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Zatěž. stav	Označení zatěž. stavu	EN 1990   ČSN Kategorie účinků	Vlastní tíha - Součinitel ve směru			
			Aktivní	X	Y	Z
ZS1	VLASTNÍ TÍHA	Stálé	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	1.000
ZS2	OSTATNÍ STÁLE		<input type="checkbox"/>			
ZS3	UŽITNÉ STŘED	Užitná zatížení - kategorie A: obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	<input type="checkbox"/>			
ZS4	UŽITNÉ KRAJE	Užitná zatížení - kategorie A: obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	<input type="checkbox"/>			

## ZATÍŽENÍ

Projekt:

Model: bzk\_UPRAVENE

Datum: 6.12.2014

### 2.5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení		č.	Součinitel	Zatěžovací stav	
	NS	Označení				
KZ1	CELÉ 610a		1	1.35	ZS1	VLASTNÍ TÍHA
			2	1.35	ZS2	OSTATNÍ STALE
			3	1.05	ZS3	UŽITNÉ STŘED
			4	1.05	ZS4	UŽITNÉ KRAJE
KZ3	STŘED 610a		1	1.35	ZS1	VLASTNÍ TÍHA
			2	1.35	ZS2	OSTATNÍ STALE
			3	1.05	ZS3	UŽITNÉ STŘED
KZ4	KRAJE 610a		1	1.35	ZS1	VLASTNÍ TÍHA
			2	1.35	ZS2	OSTATNÍ STALE
			3	1.05	ZS4	UŽITNÉ KRAJE
KZ5	PRŮHYB		1	1.00	ZS1	VLASTNÍ TÍHA
			2	1.00	ZS2	OSTATNÍ STALE
			3	1.00	ZS3	UŽITNÉ STŘED
			4	1.00	ZS4	UŽITNÉ KRAJE
KZ6	CELÉ 610b		1	1.15	ZS1	VLASTNÍ TÍHA
			2	1.15	ZS2	OSTATNÍ STALE
			3	1.50	ZS3	UŽITNÉ STŘED
			4	1.50	ZS4	UŽITNÉ KRAJE
KZ7	STŘED 610b		1	1.15	ZS1	VLASTNÍ TÍHA
			2	1.15	ZS2	OSTATNÍ STALE
			3	1.50	ZS3	UŽITNÉ STŘED
KZ8	KRAJE 610b		1	1.15	ZS1	VLASTNÍ TÍHA
			2	1.15	ZS2	OSTATNÍ STALE
			3	1.50	ZS4	UŽITNÉ KRAJE

### 2.6 KOMBINACE VÝSLEDKŮ

Kombin. výsledků	Kombinace výsledků		č.	Součinitel	Zatěžování	Kritérium	Alternativ. skupina
	NS	Označení					
KV1			1	1.00	KZ1	CELÉ 610a	Stálé 1
			2	1.00	KZ3	STŘED 610a	Stálé 1
			3	1.00	KZ4	KRAJE 610a	Stálé 1
			4	1.00	KZ6	CELÉ 610b	Stálé 1
			5	1.00	KZ7	STŘED 610b	Stálé 1
			6	1.00	KZ8	KRAJE 610b	Stálé 1
			7	1.00	KV2	min ve středu	Stálé 1
KV2	min ve středu		1	1.00	ZS1	VLASTNÍ TÍHA	Stálé -
			2	1.00	ZS2	OSTATNÍ STALE	Stálé -
			3	1.50	ZS4	UŽITNÉ KRAJE	Proměnné -

Projekt:

Model: bzk\_UPRAVENE

Datum: 6.12.2014

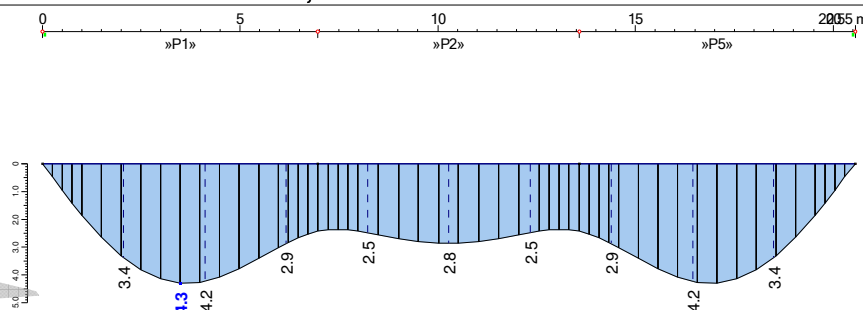
■ VNITŘNÍ SÍLY  $M_y / M_u$ , KV1: KZ1/S NEBO KZ3/S NEBO KZ4/S NEBO KZ6/S NEBO DO KZ8 NEBO KV2/S, IZOMETRIE

RFEM5

KZ5: PRŮHYB

Globální deformace - uz

	x [m]	uz [mm]
max	3.487	4.3
min	-	-



Projekt:

Model: bzk\_UPRAVENE

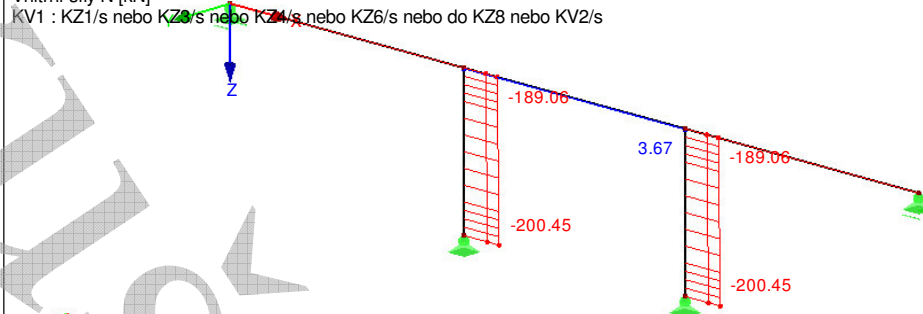
Datum: 6.12.2014

# ■ VNITŘNÍ SÍLY N, KV1: KZ1/S NEBO KZ3/S NEBO KZ4/S NEBO KZ6/S NEBO DO KZ8 NEBO KV2/S, IZOMETRIE

Vnitřní síly N [kN]

KV1 : KZ1/s nebo KZ3/s nebo KZ4/s nebo KZ6/s nebo do KZ8 nebo KV2/s

Izometrie



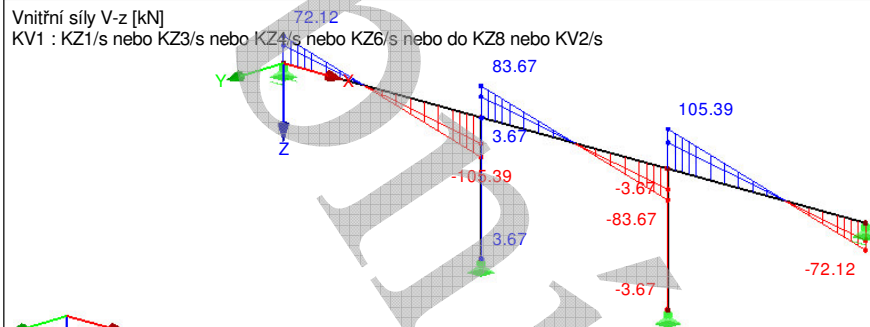
Max N: 3.67, Min N: -200.45 kN

# ■ VNITŘNÍ SÍLY V<sub>z</sub>, KV1: KZ1/S NEBO KZ3/S NEBO KZ4/S NEBO KZ6/S NEBO DO KZ8 NEBO KV2/S, IZOMETRIE

Vnitřní síly V<sub>z</sub> [kN]

KV1 : KZ1/s nebo KZ3/s nebo KZ4/s nebo KZ6/s nebo do KZ8 nebo KV2/s

Izometrie



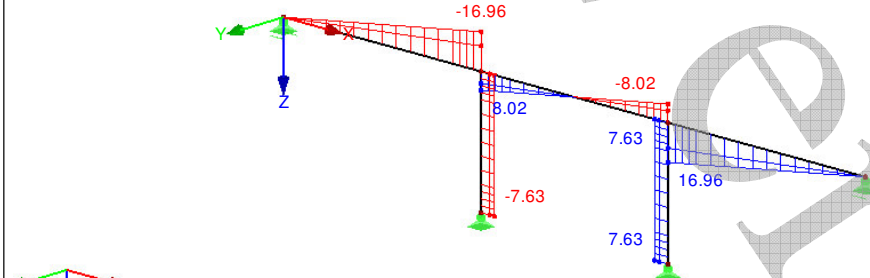
Max V<sub>z</sub>: 105.39, Min V<sub>z</sub>: -105.39 kN

# ■ VNITŘNÍ SÍLY M<sub>T</sub>, KV1: KZ1/S NEBO KZ3/S NEBO KZ4/S NEBO KZ6/S NEBO DO KZ8 NEBO KV2/S, IZOMETRIE

Vnitřní síly M-T [kNm]

KV1 : KZ1/s nebo KZ3/s nebo KZ4/s nebo KZ6/s nebo do KZ8 nebo KV2/s

Izometrie



Max M<sub>T</sub>: 16.96, Min M-T: -16.96 kNm

Projekt:

Model: bzk\_UPRAVENE

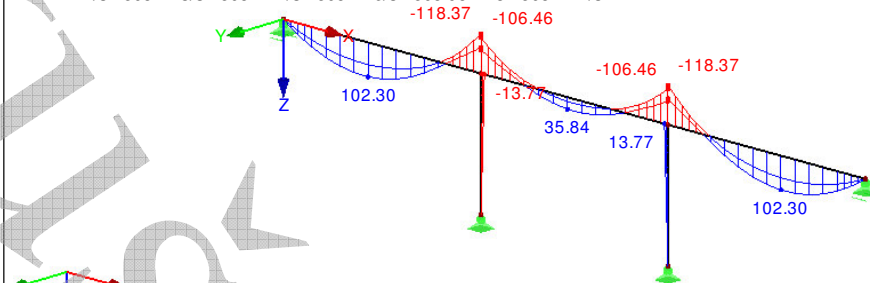
Datum: 6.12.2014

■ VNITŘNÍ SÍLY  $M_y$ , KV1: KZ1/S NEBO KZ3/S NEBO KZ4/S NEBO KZ6/S  
NEBO DO KZ8 NEBO KV2/S, IZOMETRIE

Vnitřní síly M-y [kNm]

Izometrie

KV1 : KZ1/s nebo KZ3/s nebo KZ4/s nebo KZ6/s nebo do KZ8 nebo KV2/s





Projekt:

Model: bzk\_UPRAVENE

Datum: 6.12.2014

■ VNITŘNÍ SÍLY V  $V_u$ , KV1: KZ1/S NEBO KZ3/S NEBO KZ4/S NEBO KZ6/S NEBO DO KZ8 NEBO KV2/S, IZOMETRIE

