

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



PŘÍLOHA 1.2

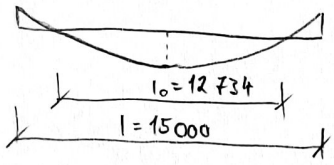
NÁVRH VÝZTUŽE A POSOUZENÍ MSÚ PRŮVLAKU

Material

C 35/45 $f_{cd} = 23,3 \text{ MPa}$

B 500 B $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

(M)



$c_{non} = 28 + 5 = 33 \text{ mm}$

$$d = h_r - c_{non} - \frac{\sigma}{2} = 1130 - 33 - 14 - \frac{28}{2} = 1069 \text{ mm}$$

Podrobný návrh

Průvlak

Ohybová výztuž v poli - spodní

$$b_1 = b_2 = \frac{5300 - 300}{2} = 2500 \text{ mm}$$

$$l_0 = 12734 \text{ mm}$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 \leq \min(0,2 \cdot l_0; b_1)$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot 2500 + 0,1 \cdot 12734 = 1773,4 \leq \min(2547; 2500) = 2500 \text{ mm}$$

$$b_{eff,1} = 1773,4 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{eff,1} + b_r = 2 \cdot 1773,4 + 300 = 3846,8 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1401,01 \cdot 10^6}{3846,8 \cdot 1069^2 \cdot 23,3} = 0,013 \Rightarrow \xi = 0,016 \quad \gamma = 0,993$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\gamma \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1401,01 \cdot 10^6}{0,993 \cdot 1069 \cdot 435} = 3018,9 \text{ mm}^2$$

Návrh $6 \times \varnothing 28 \quad A_{s,prov} = 3694,5 \text{ mm}^2$

Konstrukční zásady

$$A_{s,min} = \max\left(0,25 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 300 \cdot 1069; 0,0013 \cdot 300 \cdot 1069\right) = \max(533,6; 416,9) = 533,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 3694,5 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 533,6 \text{ mm}^2 \dots \text{ vyhoví}$$

$$s_{min} = \max(20; 1,2\sigma; D_{max} + 5) = \max(20; 1,2 \cdot 28; 27 + 5) = \max(20; 33,6; 27) = 34 \text{ mm}$$

Posouzení

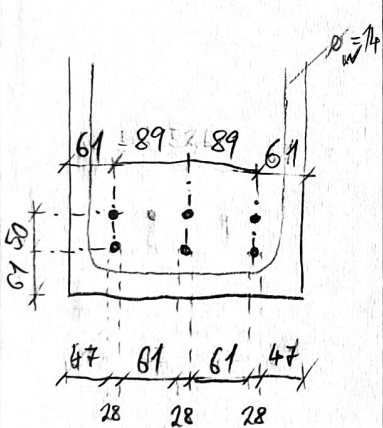
Výška tlač. oblasti x

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{\sigma_s \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{3694,5 \cdot 435}{0,8 \cdot 3846,8 \cdot 23,3} = 22,4 \text{ mm}$$

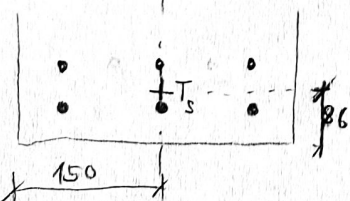
$$z = d - 0,4x = 1069 - 0,4 \cdot 22,4 = 1035,04 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 3694,5 \cdot 435 \cdot 1035 = 1663,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1663,4 \text{ kNm} > M_{Ed} = 1401,01 \text{ kNm} \dots \text{ vyhoví} \dots \text{ využití } 84 \%$$



Težisté výztuže



$$d = 1130 - 86 = 1044 \text{ mm}$$

Ohybová účinnost nad podporou - horní

$$d = h - e_{\text{kon}} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} =$$
$$= 1130 - 33 - 14 - \frac{25}{2} =$$
$$= 1069 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{384,5 \cdot 10^6}{300 \cdot 1069^2 \cdot 23,3} = 0,048 \Rightarrow \xi = 0,062 \quad \eta = 0,976$$

$$A_{s, \text{req}} = \frac{M_{Ed}}{\eta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{384,5 \cdot 10^6}{0,976 \cdot 1069 \cdot 435} = 848,11 \text{ mm}^2$$

Návrh $4 \times \varnothing 18 \quad A_{s, \text{prov}} = 1017,9 \text{ mm}^2$

Konstrukční zásady

$$A_{s, \text{min}} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = \max(533,6; 416,9) = 533,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s, \text{prov}} = 981,7 \text{ mm}^2 > A_{s, \text{min}} = 533,6 \text{ mm}^2 \quad \checkmark$$

$$S_{l, \text{min}} = \max(20; 12 \cdot \varnothing; D_{\text{max}} + 5) = \max(20; 12 \cdot 25; 22 + 5) = \max(20; 30; 27)$$

$$S_{l, \text{min}} = 30 \text{ mm}$$

$$S_l = 59 \text{ mm} > S_{l, \text{min}} = 30 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Posouzení

$$x = \frac{A_{s, \text{prov}} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1017,9 \cdot 435}{0,8 \cdot 300 \cdot 23,3} = 79,18 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 1069 - 0,4 \cdot 79,18 = 1037,3 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = A_{s, \text{prov}} \cdot f_{yd} \cdot z = 1017,9 \cdot 435 \cdot 1037,3 = 459,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 459,3 \text{ kNm} > M_{Ed} = 384,5 \text{ kNm} \dots \text{ vyhoví} \dots \text{ využít } 83\%$$

Smyková účinnost

Účinnost tláčené diagonály

$$V_{Rd, \text{max}} = V \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0,516 \cdot 23,3 \cdot 300 \cdot 1038,4 \cdot \frac{1,35}{1 + 1,35^2} = 1791 \text{ kN}$$

$$V = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ctk}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$\cot \theta = 1,35$$

$$V_{Ed, 1} = V_{Ed, \text{max}} - f_{cd} \cdot \left(\frac{b \cdot l}{2} + d_T\right) = 471,3 - 62,84 \cdot \left(\frac{1450}{2} + 1069\right) = 389,99 \text{ kN}$$

$$V_{Rd, \text{max}} = 1791 \text{ kN} > V_{Ed, \text{max}} = 471,3 \text{ kN} \dots \text{ vyhoví}$$

Plocha jednoho křížku

$$A_{sw} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 2262 \text{ mm}^2$$

Požadovaná osová vzdálenost

$$s_1 = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed,1}} \cdot \cot \theta \cdot z = \frac{226,2 \cdot 435}{389,99 \cdot 10^3} \cdot 1038,4 \cdot 1,35 = 353,7 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = \min(0,75d; 400) = \min(0,75 \cdot 1085; 400) = \min(813,75; 400) = 400$$

Návrh třmínek dvoustranný $\varnothing 12$ à 340 mm

Posouzení

$$V_{Rd,st} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_1} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{226,2 \cdot 435}{340} \cdot 1038,4 \cdot 1,35 = 405,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,st} = 405,7 \text{ kN} > V_{Ed,1} = 389,99 \text{ kN} \dots \text{ vyhoví} \dots \text{ využití } 96\%$$

Stupeň využití

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_1} = \frac{226,2}{300 \cdot 340} = 2,22 \cdot 10^{-3} \Rightarrow 0,22\%$$

$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 \cdot \nu \cdot f_{td}}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot 0,516 \cdot 23,3}{435} = 0,014 \Rightarrow 1,4\%$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{500} = 9,5 \cdot 10^{-4} \Rightarrow 0,095\%$$

$$\rho_{sw,min} = 0,095\% < \rho_{sw} = 0,22\% < \rho_{sw,max} = 1,4\% \dots \text{ vyhoví}$$

Vzdálenost návrhových třmínek od podpory

$$\Delta l = z \cdot \cot \theta = 1038,4 \cdot 1,35 = 1401,84 \text{ mm}$$

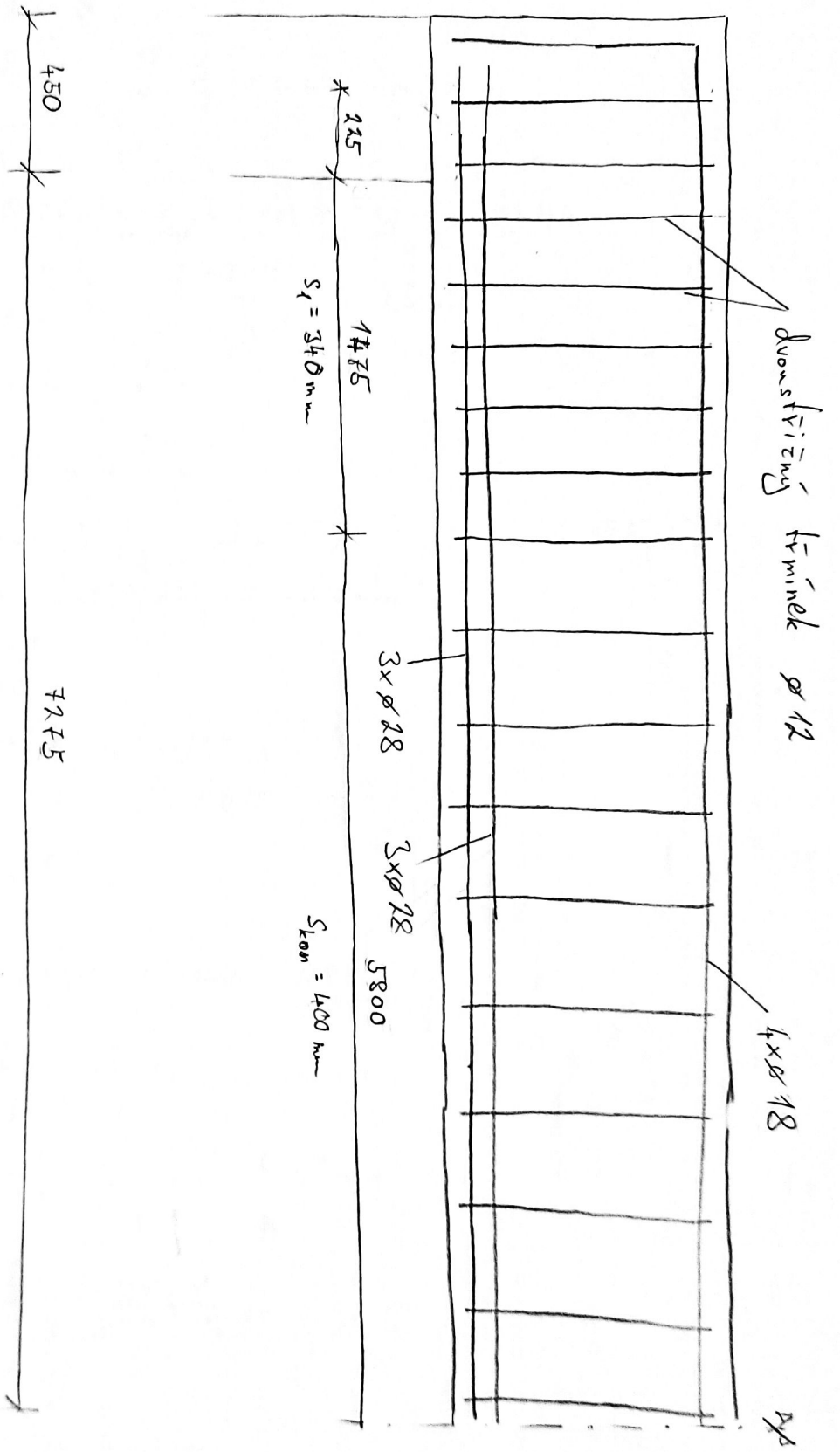
Konstrukční třmínky

$$s_{kon} < s_{max} = \min(0,75d; 400) = 400 \text{ mm}$$

Návrh třmínek dvoustranný $\varnothing 12$ à 400 mm

$$V_{Rd,kon} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{kon}} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{226,2 \cdot 435}{400} \cdot 1038,4 \cdot 1,35 = 344,8 \text{ kN}$$

Schéma výztuže trámy



Kotovní délky prutů a poloměry zahnutí

Spodní výztuž - přímý

základní kot. d.

$$l_{b,req} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{\sqrt{s_d}}{f_{bd}} = \frac{28}{4} \cdot \frac{365}{2,4} = 1064,6 \text{ mm}$$

$$\sigma = 28 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{s_d} = \frac{M_{Ed}}{A_{s,prov} \cdot z} = \frac{1394,3 \cdot 10^6}{3694,5 \cdot 1035} = 364,6 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_M} = \frac{2,2}{1,5} = 1,5$$

Návrhová kotovní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,req} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,req}; 10 \cdot \sigma; 100) = \max(0,3 \cdot 1064,6; 10 \cdot 28; 100) = \max(319,4; 280; 100) = 320 \text{ mm}$$

přímý prut

$$\alpha_1 = 1,0$$

$$c_d = \min\left(\frac{a}{2}; c_1; c_{min}\right) = \min\left(\frac{89}{2}; 47; 47\right) = 44,5 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot \frac{c_d - \sigma}{\sigma} = 1 - 0,15 \cdot \frac{44,5 - 28}{28} = 0,91$$

$$\alpha_3 = \alpha_4 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1064,6 = 968,8 \text{ mm} \geq l_{b,min} \checkmark$$

Horní výztuž - zahnutý

zákl. kot. d.

$$l_{b,req} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{\sqrt{s_d}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{364,2}{2,4} = 682,9 \text{ mm}$$

$$\sigma = 18 \text{ mm}$$

$$\sqrt{s_d} = \frac{M_{Ed}}{A_{s,prov} \cdot z} = \frac{384,5 \cdot 10^6}{10179 \cdot 1037,3} = 364,2 \text{ MPa}$$

Návrhová kot. d.

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,req} = l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 682,9; 10 \cdot 18; 100) = \max(204,9; 180; 100) = 205 \text{ mm}$$

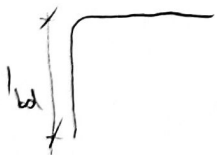
$$3 \cdot \sigma = 3 \cdot 18 = 54 \text{ mm} > c_d = 20,5 \text{ mm} \Rightarrow \alpha_1 = 1,0$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot \frac{c_d - \sigma}{\sigma} = 1 - 0,15 \cdot \frac{20,5 - 18}{18} = 0,98$$

$$\alpha_3 = \alpha_4 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 0,98 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 682,9 = 669,2 \text{ mm}$$



$$c_d = \min\left(\frac{a}{2}; c_1\right) = \min\left(\frac{59 - 18}{2}; 47\right) = 20,5 \text{ mm}$$

Průměr zakřivení - horní výztuž ø 18

$$\phi_{m, \min} = 7 \cdot \sigma = 7 \cdot 18 = 126 \text{ mm}$$

- spodní výztuže ø 28

$$\phi_{m, \min} = 7 \cdot \sigma = 7 \cdot 28 = 196 \text{ mm}$$

Podrobný návrh

Deska

Zakřivení - plošně

$$f_{g,d} = 1,84 \cdot 1,35 + 25 \cdot 0,18 \cdot 1,35 = 8,56 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{q,d} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Vnitřní síly - scit

Výpočet

pole $m_{Ed} = 20,77 \text{ kNm/m}$

$$m_{Ed, \text{pol}} = \frac{1}{24} f_l^2 = 11,77 \text{ kNm}$$

podpora $m_{Ed} = 23,77 \text{ kNm/m}$

$$m_{Ed, \text{II}} = \frac{1}{12} f_l^2 = 23,55 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže v poli

$$d = h_d - e_{\text{kon}} - \frac{\sigma}{2} = 180 - 17 - \frac{12}{2} = 157 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed, \text{podp.}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{20,77 \cdot 10^6}{1000 \cdot 157^2 \cdot 23,3} = 0,043 \rightarrow \xi = 0,043 \rightarrow \xi = 0,983$$

$$a_{s, \text{req}} = \frac{M_{Ed, \text{podp.}}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{20,77 \cdot 10^6}{0,983 \cdot 157 \cdot 435} = 309,38 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$a_{s, \min} = \max \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d \right) = \max \left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 1000 \cdot 157; 0,0013 \cdot 1000 \cdot 157 \right) = \max(261,3; 204) = 261,3 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$s_{\max} = \min(2 \cdot h; 250) = \min(2 \cdot 180; 250) = \min(360; 250) = 250 \text{ mm}$$

$\xi = 0,051 \in \langle 0,03; 0,23 \rangle$... H. desky vyhoví