



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

G.03 NÁVRH VÝZTUŽE A POSOUZENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

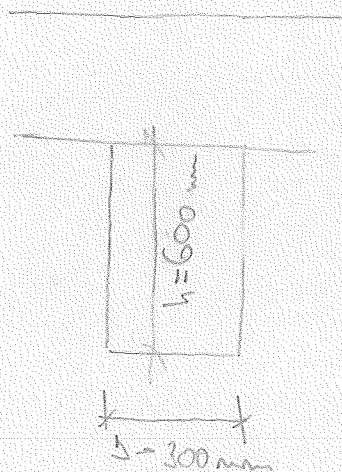
Bc. Tomáš Klemeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROMANA BENEŠOVÁ

BRNO 2018



• BETON C30/37 : $f_{ct} = 50 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = \frac{f_{ct}}{\gamma_1} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu,2} = 1,5\text{‰} = 0,0085$$

• OCEL B500S : $f_{yk} = 550 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_1} = \frac{550}{1,15} = 478,26 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{yk} = 2,17\text{‰} = 0,0022$$

• TR. PŘESTŘEHY : f_{ct}

• OSMAD VÝZTUŽ : HLAVNÍ $\phi 20 \text{ mm}$

TRŽNÍKY $\phi 8 \text{ mm}$

• KRYTÍ : HL. VÝZTUŽ - $c_{min} = \max \{ c_{min,w}; c_{min,dov}, 10 \text{ mm} \}$
 $c_{min} = \max \{ 12, 15, 10 \} \Rightarrow 15 \text{ mm}$

$$c_{non} = c_{min} + \Delta c_{min}$$

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

$$c_{sl} = c_{non} + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{20}{2} = 35 \text{ mm}$$

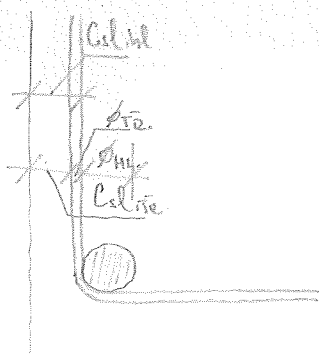
$$c_{sl} \geq c_{non}$$

$$35 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \checkmark$$

• KRYTÍ : TRŽNÍKY - $c_{min} = \max \{ 6, 15, 10 \} \Rightarrow 15 \text{ mm}$

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

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

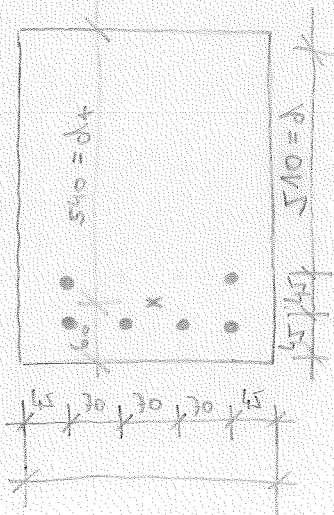
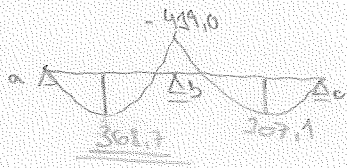


• PRŮJMA VÝSTUŽE :

NÁVRH VÝSTUŽE V POLI (a, b)

$$d_n = c + \frac{\phi}{2} = 35 + \frac{20}{2} = 45 \text{ mm}$$

$$d = h - d_n = 600 - 45 = 555 \text{ mm}$$



• NÁVRH V POLI l_1 : $M_{max} = 361.7 \text{ kNm}$

• ODHAD VÝSTUŽE

$$A_s = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{l \cdot d \cdot f_{cd}}} \right) =$$

$$= 0.3 \cdot 0.555 \cdot \frac{20}{478.26} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 361.7 \cdot 10^3}{0.3 \cdot 0.555^2 \cdot 20 \cdot 10^6}} \right) =$$

$$= 15.65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow A_s = 6 \times \phi 20 \quad (A_s = 18.85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

• POS TL. VÝSLEDY ZET. ZA PŘEDP. PLNĚNO ZAT.

$$\xi = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{18.85 \cdot 10^{-4} \cdot 478.26}{0.3 \cdot 0.6 \cdot 20} = 0.250 \text{ mm}$$

• RADIČNO UNITĚNÍ SIL

$$\xi = d_f \cdot \frac{\lambda}{z} = 0.1540 - \frac{0.3 \cdot 0.250}{2} = 0.472 \text{ mm}$$

• ÚNOSNOST PRŮŘEZU

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 18.85 \cdot 10^{-4} \cdot 478.26 \cdot 0.472 \cdot 10^3 = 425.52 \text{ kNm} > 361.70 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

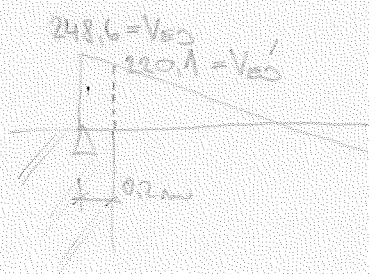
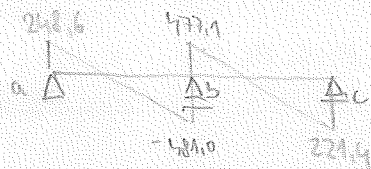
• OVRĚDĚNÍ K-ČÍSLY ZAT.

• MIN. VZDÁLENOST

$$S_{min} = \max \{ 1.2 \phi ; d + 5 ; 20 \text{ mm} \} =$$

$$= \{ 1.2 \cdot 20 ; 20 + 5 ; 20 \} = \{ 24, 25, 20 \} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 25 \text{ mm}$$



• NÁVRH SMYKOVÉ VÝZUŽE (PODPORA a)

$$V_{EO} = 220.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \alpha_{ct,c} \cdot l \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ct})^{1/3} \cdot b \cdot d =$$

$$= 0.12 \cdot 1.63 \cdot (100 \cdot 3.25 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} \cdot 0.3 \cdot 0.51 = 0.064 \text{ MN} =$$

$$l = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{510}} = 1.63 \leq 2.0 \quad \checkmark \quad = 64 \text{ kN}$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{18.85 \cdot 10^{-4}}{0.3 \cdot 0.51} = 0.012$$

$$\alpha_{ct,c} = \frac{0.18}{\rho_1} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{EO} \Rightarrow 64 \text{ kN} \neq 220.1 \text{ kN} \rightarrow \text{NUTNO NÁVRHOVAT SMYKOVOU VÝZUŽ}$$

• POČÍSLANÍ VÝZUŽE

$$\rho_m = 0.015 \cdot f^{1/2} \cdot f_{ct}^{1/2} = 0.015 \cdot 1.63^{1/2} \cdot 30^{1/2} = 0.399$$

$$V_{Rd,c} = \rho_m \cdot b \cdot d = 0.399 \cdot 0.3 \cdot 0.51 = 0.061 \text{ MN} = 6.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{EO} \Rightarrow 6.1 \text{ kN} \neq 220.1 \text{ kN} \quad \times$$

• POČÍSLANÍ

$$V_{Ed} \leq 0.5 \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0.5 \cdot 0.3 \cdot 0.51 \cdot 0.528 \cdot 30 \cdot 10^3 =$$

$$= 1211.76 \text{ kN} \geq 220.1 \text{ kN} \quad \checkmark$$

NÁVRH \rightarrow TRÉTIŇEK $\varnothing 8$ ($A_s = 1.00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

$$z = 0.9 \cdot d = 0.9 \cdot 0.51 = 0.459 \text{ m}$$

$$S = \frac{A_s}{V_{Ed}} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{1.00 \cdot 10^{-4}}{220.1} \cdot 478.26 \cdot 10^6 \cdot 0.459 \cdot 1.3 =$$

$$= 129.65 \Rightarrow 130 \text{ mm}$$

$$\eta = 0.6 \left(1 - \frac{f_{cd}}{250} \right) =$$

$$= 0.6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250} \right) =$$

$$= 0.528$$

$$\cot \theta = 1.3$$

$$V_{p \rightarrow min} = \frac{A_s}{b} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \frac{\cot \varphi}{1 + \cot^2 \varphi} = \frac{1,00 \cdot 10^{-4}}{0,2} \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot 0,459 \cdot \frac{1,3}{1 + 1,3^2} = 35,36 \text{ kN}$$

$$V_{k \rightarrow max} = \eta \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z \cdot \frac{\cot \varphi}{1 + \cot^2 \varphi} = 0,528 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,459 \cdot \frac{1,3}{1 + 1,3^2} = 702,73 \text{ kN}$$

$$V_{k \rightarrow min} \leq V_{k \rightarrow 0} \leq V_{k \rightarrow max}$$

$$35,36 \leq 220,1 \leq 702,73 \text{ kN} \quad \checkmark$$

• sprawdzenie warunków zbrojenia

$$\rho_n = \frac{A_s}{b \cdot h} = \frac{1,00 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,6} = 0,83 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{n \rightarrow min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ct}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{550} = 7,97 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_n \geq \rho_{n \rightarrow min} \Rightarrow 0,83 \cdot 10^{-3} > 7,97 \cdot 10^{-4} \quad \checkmark$$

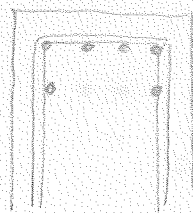
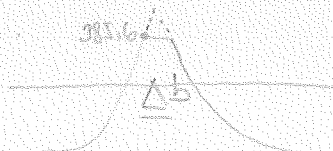
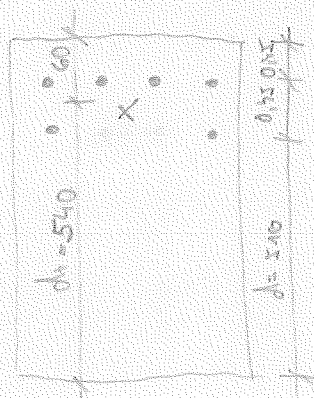
$$\frac{A_s}{b \cdot h} \cdot f_{yd} \leq 0,5 \cdot \eta \cdot f_{cd}$$

$$\frac{1,00 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,6} \cdot 478,26 \leq 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20$$

$$0,27 \leq 5,28 \quad \checkmark$$



$$M_{max} = 429,06 \text{ Nm}$$



$$\eta = 1,0; \eta = 1,0; d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = 0$$

$$f_{ed} = \frac{0,2 \cdot 2,0}{1,5} = 1,967$$

$$f_{ed} \cdot 225 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,967 = 244 \text{ MPa}$$

$$f_{ed} = \frac{2,0}{1,5} \cdot \frac{478,26}{244} = 996,38$$

NÁVRH VÝZTUŽE APOSOBOU (b)

• ODHAD VÝZTUŽE

$$A_s = 0,3 \cdot 0,555 \cdot \frac{20}{478,26} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 385,6 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 0,555^2 \cdot 20 \cdot 10^6}} \right) \cdot$$

$$= 16,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow 6 \times \phi 20 \quad (A_s = 18,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

• POS. TL. VÝŠKY SOUČ. ZAPRAC. PLOŠNOU ZAT.

$$x = \frac{18,85 \cdot 478,26 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,6 \cdot 20} = 0,250 \text{ m}$$

• PRŮBĚHU TL

$$z = 0,540 - \frac{0,2 \cdot 0,250}{2} = 0,472 \text{ m}$$

• ÚČINNOST PRŮBĚHU

$$M_{Rd} = 18,85 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 0,472 \cdot 10^3 = 425,52 \text{ kNm} \geq 385,6 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

• OVRĚDĚNÍ K ČINNOSTI ZAT.

• MIN. VZDÁLENOST

$$s_{min} = \max \{ 12 \cdot 20; 20 + 5 \cdot 20 \} = \{ 24, 25, 20 \} \Rightarrow 25 \text{ mm}$$

• VZDÁLENOST MEZI NÁVRŽOVÝMI PRŮHY

$$s = \frac{300 - 2 \cdot 35 - 4 \cdot 20}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \checkmark$$

• OVRĚDĚNÍ MIN. A MAX. PLOŠNÝ VÝZTUŽE

$$A_{smin} = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,540 = 6,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 18,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \checkmark$$

$$A_{smin} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{550} \cdot 0,2 \cdot 0,540 = 2,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 18,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \checkmark$$

$$A_{smin} = 0,0013 \cdot 0,2 \cdot 0,6 = 2,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 18,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \checkmark$$

• OVRĚDĚNÍ PROTAŽENÍ VÝZTUŽE

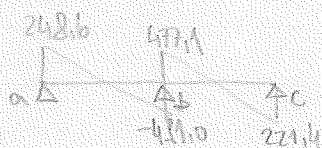
$$\epsilon_s = \frac{0,035 \cdot (0,540 - 0,204)}{0,250} = 0,048 \geq \epsilon_{gl} = 0,00177 \quad \checkmark$$

• KOTVENÍ DĚLKA

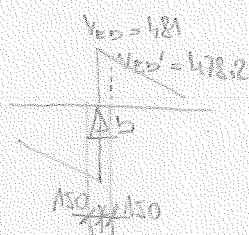
$$l_{smin} = \max \{ 0,2 \cdot 996; 10 \cdot 20; 100 \} \Rightarrow 299 \text{ mm}$$

$$d_z = 1 - \frac{0,15 \cdot (35 - 20)}{20} =$$

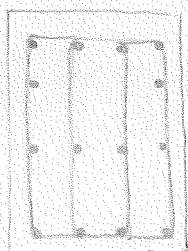
$$= 0,418$$



$$V_{ED} = 481,0 \text{ kN}$$



$$V_{ED}' = 478,2 \text{ kN}$$



$$\eta = 0,6 \left(1 - \frac{20}{250} \right) =$$

$$= 0,528$$

$$\cot \theta = 1,3$$

• NÁVRHOVÁ KOS DOUHA

$$l_{ed} = 1,0 \cdot 0,34 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,996 = 0,886 \text{ m} \geq 299 \text{ mm} \checkmark$$

• NÁVRH SMYKOVÉ VĚTVOZE (PODPORA 3)

$$V_{ED,C} = 0,12 \cdot 1163 \cdot (100 \cdot 3,25 \cdot 10^3 \cdot 30)^{1/3} \cdot 0,3 \cdot 0,51 = 0,064 \text{ MN} = 64 \text{ kN}$$

$$l = 1 + \sqrt{\frac{200}{510}} = 1,63 \leq 2,0 \checkmark$$

$$f_1 = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{18,35 \cdot 10^4}{0,3 \cdot 0,51} = 0,012$$

$$C_{ED,C} = \frac{0,12}{1,5} = 0,12$$

$$V_{ED,C} > V_{ED}' \Rightarrow 64,0 \neq 478,2 \Rightarrow \text{NUTNO NAVIDNOUT SMYK VĚTVOZ}$$

• PODROBNOSTI

$$\mu = 0,035 \cdot 1,63^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,399$$

$$V_{ED,C} = 0,399 \cdot 0,3 \cdot 0,51 = 64 \text{ kN} \neq 478,2$$

• PODROBNOSTI

$$V_{ED}' \leq 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,51 \cdot 0,528 \cdot 30 \cdot 10^3$$

$$478,2 \leq 121,76 \text{ kN} \checkmark$$

• NÁVRH -> ŽEBNÍK Ø 8 (As = 2,00 · 10⁴ mm²)

$$z = 0,9 \cdot 0,51 = 0,459 \text{ m}$$

$$s = \frac{2,00 \cdot 10^4}{478,2} \cdot 478,26 \cdot 10^6 \cdot 0,459 \cdot 1,3 = 119,35 \Rightarrow \underline{120 \text{ mm}}$$

$$V_{ED,min} = \frac{2,00 \cdot 10^4}{0,3} \cdot 478,26 \cdot 10^3 \cdot 0,459 \cdot \frac{1,3}{1,1,32} = 701,75 \text{ kN}$$

$$V_{ED,max} = 0,528 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,459 \cdot \frac{1,3}{1,1,32} = 702,73 \text{ kN}$$

$$701,75 \leq 478,2 \leq 702,73 \text{ kN} \checkmark$$

• Ověření kmitů zářiv

$$f_{\text{max}} = \frac{2,00 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,6} = 1,11 \cdot 10^{-3}$$

$$f_{\text{max}} = 0,02 \cdot \frac{\sqrt{30}}{550} = 7,97 \cdot 10^{-3}$$

$$1,11 \cdot 10^{-3} < 7,97 \cdot 10^{-3} \quad \checkmark$$

$$\frac{2,00 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,6} \cdot 478,26 \leq 0,5 \cdot 0,555 \cdot 20$$

$$0,53 \leq 5,28 \quad \checkmark$$

Návrh vřetovky v poli (b,c)

$$d = 555 \text{ ---}$$

$$\begin{aligned} \text{• Návrh} \quad 0,3 \cdot 0,555 \cdot \frac{20}{478,26} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 307,1 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 0,555^2 \cdot 20 \cdot 10^6}} \right) &= \\ &= 11,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow A_s 4 \times \phi 20 \quad (A_s = 12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{12,57 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26}{0,3 \cdot 0,6 \cdot 20} = 0,167 \text{ ---}$$

$$z = 0,555 - \frac{0,3 \cdot 0,167}{0,167} = 0,255 \text{ ---}$$

$$M_{\text{ed}} = 12,57 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 0,255 \cdot 10^3 = 153,20 < 307,16 \text{ N}$$

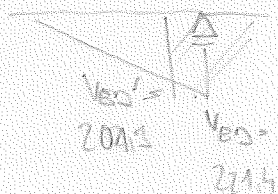
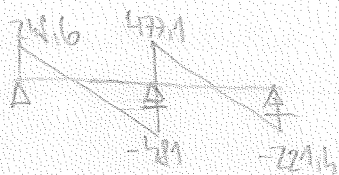
ztráta na $A_s 6 \times \phi 20$ ($A_s = 18,85 \cdot 10^{-4}$)

$$\lambda = \frac{18,85 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26}{0,3 \cdot 0,6 \cdot 20} = 0,250 \text{ ---}$$

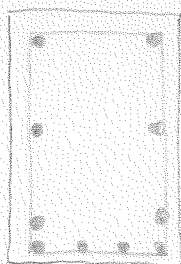
$$z = 0,540 - \frac{0,3 \cdot 0,250}{0,250} = 0,472 \text{ ---}$$

$$M_{\text{ed}} = 18,85 \cdot 10^{-4} \cdot 478,26 \cdot 0,472 \cdot 10^3 = 425,52 > 307,16 \text{ N} \quad \checkmark$$

Posouzení viz předchozí výpočty, profil je přesně zatížen, ale vřetovka stále



$$V_{ed} = 201.3 \text{ kN}$$



$$\eta = 0.528$$

$$\sigma_{s,0.5} = 1.3$$

• NÁVHED SHUKOVÉ VÍSTUŽE (PODPORA C)

$$V_{Rd,c} = 61.2 \text{ kN}$$

$61.2 \text{ kN} \neq 201.3 \text{ kN} \quad \times \rightarrow$ musí se navrhnout shuková výstuž

• Pozn. minima

$$V_{Rd,c} = 61.2 \text{ kN}$$

$$61.2 \text{ kN} \neq 201.3 \text{ kN} \quad \times$$

• Pozn. maxima

$$V_{ed} \leq 1211.76 \text{ kN}$$

$$201.3 \leq 1211.76 \text{ kN} \quad \checkmark$$

• NÁVHED \rightarrow TĚŽNĚK $\phi 8$ ($A_s = 100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

$$z = 0.459 \text{ m}$$

$$s = \frac{100 \cdot 10^{-4}}{201.3} \cdot 578.26 \cdot 10^3 \cdot 0.459 \cdot 1.3 = 141 \text{ mm} \Rightarrow \underline{140 \text{ mm}}$$

$$V_{Rd,min} = \frac{100 \cdot 10^{-4}}{0.2} \cdot 578.26 \cdot 10^3 \cdot 0.459 \cdot \frac{1.3}{1+1.3^2} = 35.36 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 0.528 \cdot 0.2 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.459 \cdot \frac{1.3}{1+1.3^2} = 702.73 \text{ kN}$$

$$35.36 \text{ kN} \leq 201.3 \text{ kN} \leq 702.73 \text{ kN} \quad \checkmark$$

• ovĚŘENÍ KONTROLNÍ ZÁSADY

$$\rho \rightarrow \frac{100 \cdot 10^{-4}}{0.2 \cdot 0.6} = 0.56 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{\rightarrow z} = 0.02 \cdot \sqrt{\frac{30}{550}} = 7.97 \cdot 10^{-4}$$

$$0.56 \cdot 10^{-3} < 0.797 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{100 \cdot 10^{-4}}{0.2 \cdot 0.6} \cdot 578.26 \leq 0.5 \cdot 0.528 \cdot 20$$

$$0.27 \leq 5.28 \quad \checkmark$$