

Řešené příklady

Šárka Bečková

Připojení ocelových konstrukcí na betonové pomocí kotevních desky s trny

Obsah

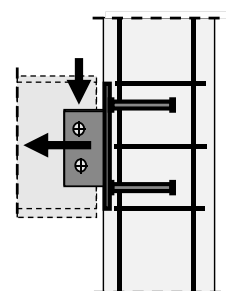
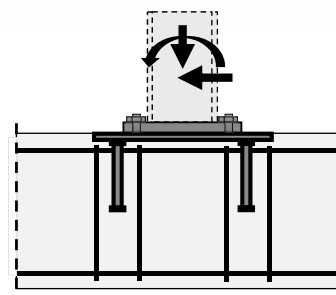
- Kotvení patní a kotevních deskou

- Šárka Bečková
- František Wald

- Kloubový přípoj

- Ulrike Kuhlmann
- Jakob Ruopp

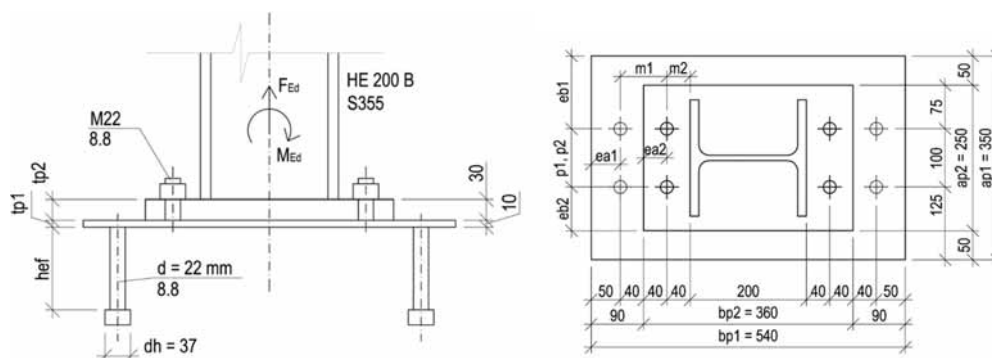
INFASO⁺



Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

□ Kotvení patní a kotevní deskou



Ověřte únosnost přípoje na obrázku

Sloup profilu HE 200 B

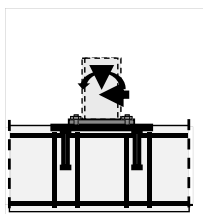
Namáhán normálovou silou $F_{Ed} = 45 \text{ kN}$ a momentem $M_{Ed} = 20 \text{ kNm}$

Betonový základ z betonu C30/37 o rozměrech 1600 x 1600 x 1000 mm

Patní deska 30 mm a kotevní deska 10 mm

Ocel S355

Součinitele spolehlivosti $\gamma_{Mc} = 1.50$; $\gamma_{M0} = 1.00$ a $\gamma_{M2} = 1.25$



Kotvení patní a kotevní deskou

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Krok 1 Vnitřní síly

Excentricita

$$e = \frac{M_{Ed}}{N} = \frac{20}{45} = 444 \text{ mm}$$

$$e = 444 \text{ mm} > \frac{L_{TS}}{2} = \frac{280}{2} = 140 \text{ mm}$$

$$e = 444 \text{ mm} > \frac{L_{HS}}{2} = \frac{440}{2} = 220 \text{ mm}$$

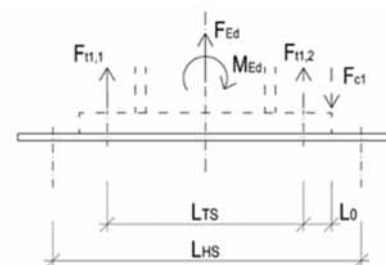
Vnitřní síly (v tahu a tlaku)
pro kotevní a patní desku

$$F_{t1,1} = \frac{F_{Ed} \cdot r_1 + M_{Ed}}{r_2} = \frac{45 \cdot 180 + 20 \cdot 10^3}{400} = 70.3 \text{ kN}$$

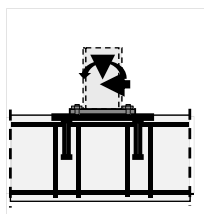
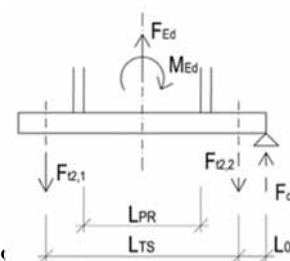
$$F_{c1} = F_{t1,1} - F_{Ed} = 70.3 - 45 = 25.3 \text{ kN}$$

$$F_{t2,1} = \frac{F_{Ed} \cdot r_1 + M_{Ed}}{r_2} = \frac{45 \cdot 180 + 20 \cdot 10^3}{320} = 87.8 \text{ kN}$$

$$F_{c2} = F_{t2,1} - F_{Ed} = 87.8 - 45 = 42.8 \text{ kN}$$



Síly na kotevní desce



Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

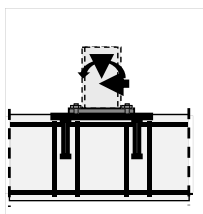
Krok 2 Únosnost komponent namáhaných tahem**Krok 2.1 T profil - patní deska v tahu**Efektivní šířka svaru $a_{wf} = 6 \text{ mm}$

$$m = 40 - 0.8 \cdot a_{wf} \cdot \sqrt{2} = 40 - 0.8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 33.2 \text{ mm}$$

Efektivní délka náhradního T profilu

$$l_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4m + 1.25e_a = 4 \cdot 33.2 + 1.25 \cdot 40 = 183 \\ 4\pi m = 4\pi \cdot 33.2 = 417 \\ b \cdot 0.5 = 250 \cdot 0.5 = 125 \\ 2m + 0.625e_a + 0.5p = 2 \cdot 33.2 + 0.625 \cdot 40 + 0.5 \cdot 100 = 141 \\ 2m + 0.625e_a + e_b = 2 \cdot 33.2 + 0.625 \cdot 40 + 75 = 166 \\ 2\pi m + 4e_b = 2\pi \cdot 33.2 + 4 \cdot 75 = 509 \\ 2\pi m + 2p = 2\pi \cdot 33.2 + 2 \cdot 100 = 409 \end{array} \right.$$

$$l_{eff,1} = 125 \text{ mm}$$



5

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Únosnost náhradního T profilu v tahu

Tvar porušení 1

$$F_{T,1,Rd,2} = \frac{4 \cdot l_{eff,2} \cdot m_{pl,1,Rd,2}}{m} = \frac{4 \cdot l_{eff,2} \cdot \frac{t_{p,2}^2 \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_{M0}}}{m} = \frac{4 \cdot 125 \cdot \frac{30^2 \cdot 355}{4 \cdot 1.0}}{33.2} = 1202.9 \text{ kN}$$

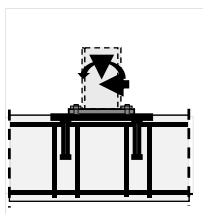
Tvar porušení 2

$$F_{T,2,Rd,2} = \frac{2 \cdot l_{eff,2} \cdot m_{pl,2,Rd,2} + \sum n \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot l_{eff,2} \cdot \frac{t_{p,2}^2 \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_{M0}} + n \cdot F_{t,Rd}}{m + n} =$$

$$= \frac{2 \cdot 125 \cdot \frac{30^2 \cdot 355}{4 \cdot 1.0} + 40 \cdot 349}{33.2 + 40} = 463.5 \text{ kN}$$

Tvar porušení 3

$$F_{T,3,Rd,2} = \sum F_{t,Rd} = 349 \text{ kN}$$

Rozhoduje Tvar porušení 3 - porušení kotevních šroubů v tahu $F_{t,Rd} = 349 \text{ kN}$. 6

Krok 2.2 T profil v tahu - kotevní desky namáhané ohybem

Kotvení patní a kotevní deskou

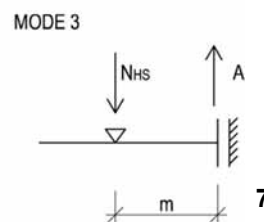
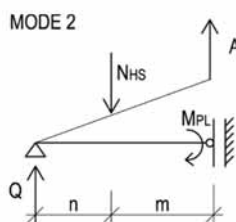
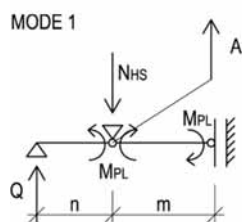
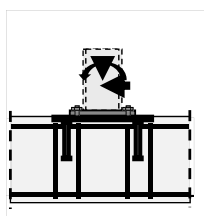
Kloubový přípoj

Účinná délka náhradního T profilu

$$l_{eff,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4m + 1,25 e_a = 4 \cdot 80 + 1,25 \cdot 50 = 383 \\ 4 \pi m = 4 \pi \cdot 80 = 1005 \\ b \cdot 0,5 = 350 \cdot 0,5 = 175 \\ 2m + 0,625 e_a + 0,5 p = 2 \cdot 80 + 0,625 \cdot 50 + 0,5 \cdot 100 = 241 \\ 2m + 0,625 e_a + e_b = 2 \cdot 80 + 0,625 \cdot 50 + 125 = 316 \\ \pi m + 2 e_b = \pi \cdot 80 + 2 \cdot 125 = 501 \\ \pi m + p = \pi \cdot 80 + 100 = 351 \end{array} \right.$$

$l_{eff,1} = 175 \text{ mm}$

Únosnost kotevní desky pro tři možné tvary porušení



Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Tvar porušení 1

$$F_{T,1,Rd,1} = \frac{4 \cdot l_{eff,1} \cdot m_{pl,Rd,1}}{m} = \frac{4 \cdot l_{eff,1} \cdot \frac{t_{p,1}^2 \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_{M0}}}{m} = \frac{4 \cdot 175 \cdot \frac{10^2 \cdot 355}{4 \cdot 1,0}}{80} = 77,7 \text{ kN}$$

Tvar porušení 2

$$F_{T,2,Rd,1} = \frac{2 \cdot l_{eff,1} \cdot m_{pl,2,Rd,1} + \sum n \cdot F_{t,Rd,1}}{m + n} = \frac{2 \cdot l_{eff,1} \cdot \frac{t_{p,1}^2 \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_{M0}} + \sum n \cdot F_{t,Rd,1}}{m + n} = \frac{2 \cdot 175 \cdot \frac{10^2 \cdot 355}{4 \cdot 1,0} + 50 \cdot 437,9}{80 + 50} = 192,3 \text{ kN}$$

Tvar porušení 3

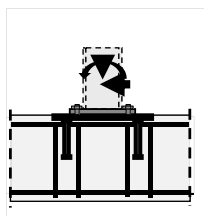
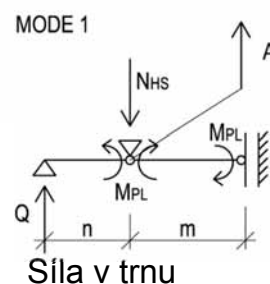
$$F_{T,3,Rd,1} = \sum F_{t,Rd} = 437,9 \text{ kN}$$

Tvar porušení 1 rozhoduje

$$A = \min(F_{T,1,Rd,1}; F_{T,2,Rd,1}; F_{T,3,Rd,1}) = \min(77,7; 192,3; 437,9) = 77,7 \text{ kN}$$

$$Q = \frac{l_{eff,1} \cdot m_{pl,Rd,1}}{n} \cdot 2 = \frac{l_{eff,1} \cdot \frac{t_{p,1}^2 \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_{M0}}}{n} \cdot 2 = \frac{175 \cdot \frac{10^2 \cdot 355}{4 \cdot 1,0}}{50} \cdot 2 = 62,1 \text{ kN}$$

$$N_{HS} = A + Q = 77,7 + 62,1 = 139,8 \text{ kN}$$



Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Krok 2.3 Kotevní šrouby v tahu

Únosnost této komponenty v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{n \cdot k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0.9 \cdot 303 \cdot 800}{1.25} = 349 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu v tahu je 174.5 kN.

Krok 2.4 Vytržení trnu se závitem z kotevní desky

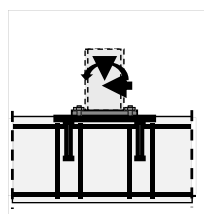
Únosnost ve vytržení

$$F_{p,Rd,v} = \frac{A_v \cdot f_{uk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = \frac{t_{p1} \cdot l_{v,eff,1} \cdot f_{uk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = \frac{t_{p1} \cdot 2 \pi \cdot \left(a_{wt} + \frac{d_{bolt}}{2}\right) \cdot f_{uk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = \underline{251.61 \text{ kN}}$$

Krok 2.5 Vytržení trnu s hlavou z kotevní desky

Únosnost ve vytržení

$$F_{p,Rd,v} = \frac{A_v \cdot f_{uk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = \frac{t_{p1} \cdot l_{v,eff,1} \cdot f_{uk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = \frac{t_{p1} \cdot 2 \pi \cdot \left(a_{wt} + \frac{d_{bolt}}{2}\right) \cdot f_{uk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = \underline{177.6 \text{ kN}}$$



9

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Krok 2.6 Kotevní trny v tahu

Únosnost komponenty pro dva trny

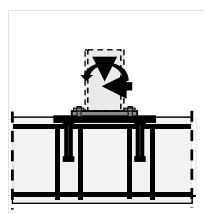
$$F_{t,Rd} = \frac{n \cdot k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0.9 \cdot \pi \cdot \left(\frac{22}{2}\right)^2 \cdot 800}{1.25} = 437.9 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho trnu v tahu 218.9 kN

Krok 2.7 Kotevní trny ve smyku

Smyková únosnost komponenty

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot \pi \cdot \left(\frac{22}{2}\right)^2}{1.25} = 146 \text{ kN}$$



10

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

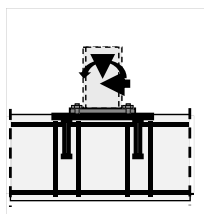
Krok 2.8 Vytržení kotevního trnu

Únosnost komponenty

$$N_{Rk,p} = n \cdot p_{uk} \cdot A_h = n \cdot 12 \cdot f_{ck} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_h^2 - d^2) = 2 \cdot 12 \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (37^2 - 22^2) = 500.5 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mc}} = \frac{500.5}{1.5} = 333.6 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho kotevního trnu 166.8 kN



11

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Krok 2.9 Vytržení betonového kužele – nevyztužená patkaÚnosnost komponenty, pro délku trnů s hlavou $h_{ef} = 200 \text{ mm}$

$$N_{Rd} = N_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{A,N} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} / \gamma_{Mc}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot h_{ef}^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5} = 12.7 \cdot 200^{1.5} \cdot 30^{0.5} \text{ N} = 196.75 \text{ kN}$$

$$\psi_{A,N} = \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} = \frac{420\,000}{360\,000} = 1.17$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 = (2 c_{cr,N})^2 = (2 (1.5 \cdot h_{ef}))^2 = (2(1.5 \cdot 200))^2 = 360\,000 \text{ mm}^2$$

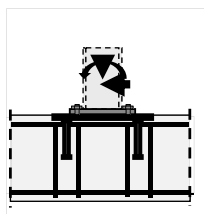
$$A_{c,N} = ((1.5 \cdot h_{ef}) \cdot 2) \cdot (1.5 \cdot h_{ef} + p + 1.5 \cdot h_{ef}) =$$

$$= ((1.5 \cdot 200) \cdot 2) \cdot (1.5 \cdot 200 + 100 + 1.5 \cdot 200) = 420\,000 \text{ mm}^2$$

součinitel $\psi_{s,N} = 1.0$ pro minimální vzdálenost k okraji $c_{min} > c_{cr} = 1.5 h_{ef}$ Součinitel $\psi_{re,N} = 1.0$ pro rovnoměrně rozmístěnou výztuže

$$N_{Rk,c} = 196.75 \cdot 1.17 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 230.2 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{229.5}{1.5} = 153 \text{ kN}$$



12

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Krok 2.10 Vytržení betonového kužele – vyztužená patkaPro průměr kotevních trnů $d = 22$ mm a $d_s = 8$ mm,
Součinitel vyztužení

$$\psi_{\text{supp}} = 2.5 - \frac{x}{h_{\text{ef}}} = 2.3$$

$$\text{kde } x = \frac{d}{2} + \left(5 \cdot \frac{d_s}{2} - \frac{d}{2}\right) + \frac{\left(\frac{d_s}{2} + 10\right)}{\tan 35}$$

a únosnost

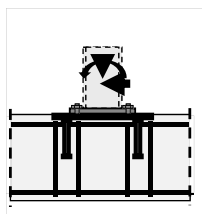
$$N_{\text{Rd,max}} = \frac{\psi_{\text{supp}} \cdot N_{\text{Rk,c}}}{\gamma_{\text{Mc}}} = \frac{2.3 \cdot 230.2}{1.5} = 353 \text{ kN}$$

Součinitel tuhosti vyztuženého betonového bloku

$$k_{\text{c,de}} = \alpha_c \cdot [f_{\text{ck}} \cdot h_{\text{ef}}]^{0.5} \cdot \psi_{\text{A,N}} \cdot \psi_{\text{s,N}} \cdot \psi_{\text{re,N}} = -537 \cdot [30 \cdot 200]^{0.5} \cdot 1.17 \cdot 1.0 \cdot 1.0 =$$

$$= -48.7 \text{ kN/mm}$$

kde

 $\alpha_c = -537$ je součinitel namáháním betonu v tahu

13

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Přetržení třmíneků na mezi kluzu oceli

$$N_{\text{Rd,1}} = N_{\text{Rd,s,re}} + N_{\text{Rd,c}} + \delta_{\text{Rd,s}} \cdot k_{\text{c,de}} =$$

$$= A_{\text{s,nom}} \cdot \frac{f_{\text{yk,s}}}{\gamma_{\text{Ms}}} + N_{\text{Rd,c}} + \frac{2 \cdot N_{\text{Rd,s,re}}^2}{\alpha_s \cdot f_{\text{ck}} \cdot d_{\text{s,nom}}^4 \cdot (n \cdot n_{\text{re}})^2} \cdot k_{\text{c,de}} =$$

$$= n \cdot n_{\text{re}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{s,nom}}^2}{4}\right) \cdot \frac{f_{\text{yk,s}}}{\gamma_{\text{Ms}}} + N_{\text{Rd,c}} + \frac{2 \cdot \left(n \cdot n_{\text{re}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{s,nom}}^2}{4}\right) \cdot \frac{f_{\text{yk,s}}}{\gamma_{\text{Ms}}}\right)^2}{\alpha_s \cdot f_{\text{ck}} \cdot d_{\text{s,nom}}^4 \cdot (n \cdot n_{\text{re}})^2} \cdot k_{\text{c,de}} =$$

$$= 174.8 + 153 + 0.642 \cdot (-48.7) = 307.7 \text{ kN}$$

kde

 $\alpha_s = 12$

je součinitel tepelné roztažnosti oceli

 $n_{\text{re}} = 4$

celkový počet svislých výztuží na jeden kotevní trn

 $N_{\text{Rd,s,re}}$

návrhová únosnost výztuže pro porušení v tahu

 $d_{\text{s,re}} = 8$ mm

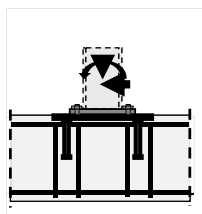
průměr výztuže

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

návrhová mez kluzu materiálu výztuže

 $\gamma_{\text{Ms}} = 1.15$

dílní součinitel spolehlivosti



14

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Porušení smykové výztuže

$$N_{Rd,2} = N_{Rd,b,re} + N_{Rd,c} + \delta_{Rd,b} \cdot k_{c,de} = \sum n_{re} l_1 \pi \cdot d_{s,re} \cdot \frac{f_{bd}}{\alpha} + N_{Rd,c} + \delta_{Rd,b} \cdot k_{c,de} =$$

$$= n \cdot n_{re} \cdot l_1 \cdot \pi \cdot d_s \cdot \frac{f_{bd}}{\alpha} + N_{Rd,c} + \frac{2 \cdot N_{Rd,b,re}^2}{\alpha_s \cdot f_{ck} \cdot d_{s,re}^4} \cdot k_{c,de} =$$

$$= n \cdot n_{re} \cdot h_{ef} \cdot d_p \cdot d_{s,t} \cdot \frac{d_{s,a}}{1.5} \cdot \pi \cdot d_s \cdot \frac{2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk;0,05}}{\alpha \cdot \gamma_{Mc}} + N_{Rd,c}$$

$$+ \frac{2 \cdot \left(n \cdot n_{re} \cdot l_1 \cdot \pi \cdot d_s \cdot \frac{f_{bd}}{\alpha} \right)^2}{\alpha_s \cdot f_{ck} \cdot d_{s,re}^4} k_{c,de} =$$

$$= 517 + 153 + 0.049 \cdot (-48.7) = 344 \text{ kN}$$

kde

 l_1 $d_p = 25 \text{ mm}$ $f_{bd} = 3 \text{ N/mm}^2$ $\alpha = 0.7 \cdot 0.7 = 0.49$ $\eta_1 = 1.0$ $\eta_2 = 1.0$

je kotevní délka [mm],

krytí betonu

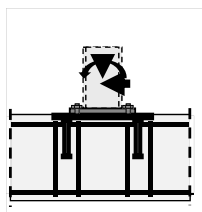
mez pevnosti na mezi soudržnosti podle EN1992-1-1:2006

součinitel tvaru deformace a krytí betonu

součinitel výztuže a betonu pro svislou výztuž (0.7 pro vodorovnou)

součinitel pro průměry $\leq 32 \text{ mm}$ a $\eta_2 = (132 - \text{průměr})/100$ pro průměry $\geq 32 \text{ mm}$

15

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

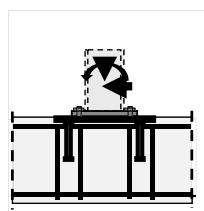
Krok 2.11 Páčení kužele betonuÚnosnost komponenty (pro 2 trny v tahu, 2 trny v tlaku) $n = 2$

$$V_{Rd,CP} = n \cdot N_{Rd,c} = 2 \cdot 153 = 306.1 \text{ kN}$$

Krok 2.12 Komponenta kotevní deska namáhaná tahem

Únosnost kotevní desky v tahu

$$F_{t,Rd,1} = A_{plate,1} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = t_{p,1} \cdot b_{p,1} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 10 \cdot 350 \cdot \frac{355}{1.0} = 1\,242.5 \text{ kN}$$

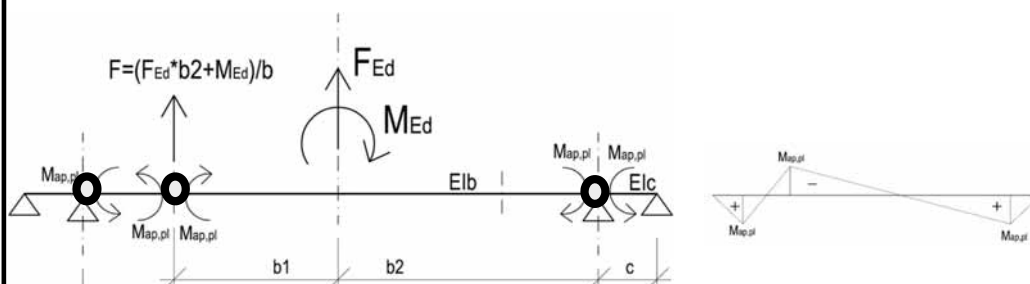


16

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Pro výpočet plastické deformace pro model spojitého nosníku se třemi plastickými klouby v místě trnů s hlavou a trnu se závitem

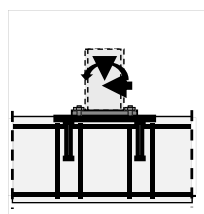


$$M_{pl} = \frac{b_{p1} \cdot t_{p1}^2 \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{35 \cdot 10^3 \cdot 355}{4 \cdot 1} = 3106 \text{ kNm}$$

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot p \cdot t_{p1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 350 \cdot 10^3 = 29.2 \cdot 10^3 \text{ mm}^4; I_b = \infty$$

$$\delta_{T-STUB} = \frac{1}{E I_b} \cdot \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot M_{pl} + \frac{1}{E I_c} \cdot \frac{1}{3} \cdot b \cdot c \cdot M_{pl} =$$

$$= 3.04 \text{ mm}$$

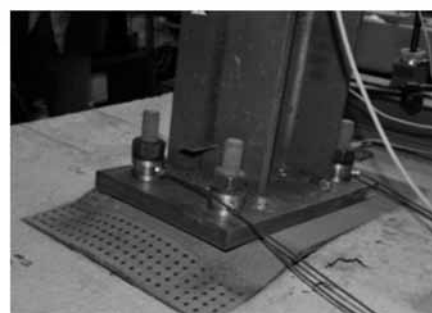


Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

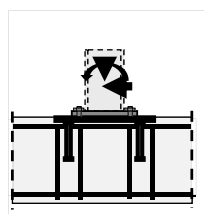
Plastická deformace kotevní desky na mezi únosnosti komponenty protlačení kotevní desky trnem s hlavou

$$F_{p,Rd,V} = 177.6 \text{ kN}$$



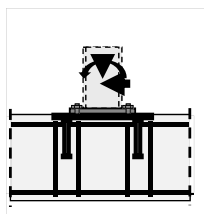
$$\delta_{p,tot} = \sqrt{a_{ap}^2 - a^2} = \sqrt{(a + \Delta a)^2 - a^2} = \sqrt{\left(a + \frac{a \cdot F_{mem}}{E \cdot t_p \cdot w_{fic}}\right)^2 - a^2} = \sqrt{\left(a + \frac{a \cdot F_{MAX}}{E \cdot t_p \cdot d_{stud}}\right)^2 - a^2} =$$

$$= 13.64 \text{ mm}$$



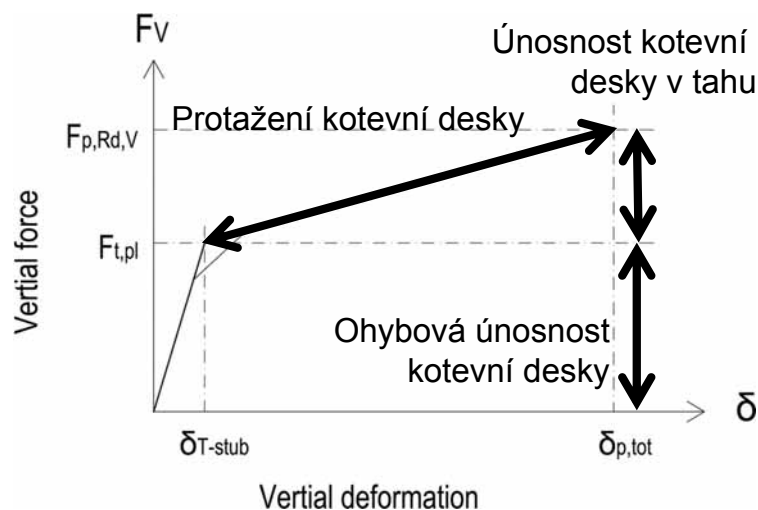
Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj



Vodorovná síla pro danou deformaci

$$F_{p,Rd,H} = \frac{F_{p,Rd,V} \cdot a}{\delta_{p,tot}} = \frac{177.6 \cdot 80}{13.64} = 1\,041.6 \text{ kN}$$

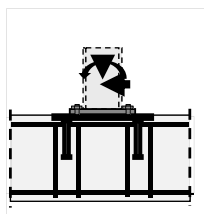


Lineární závislost deformace a svislé síly

19

Kotvení patní a kotevní deskou

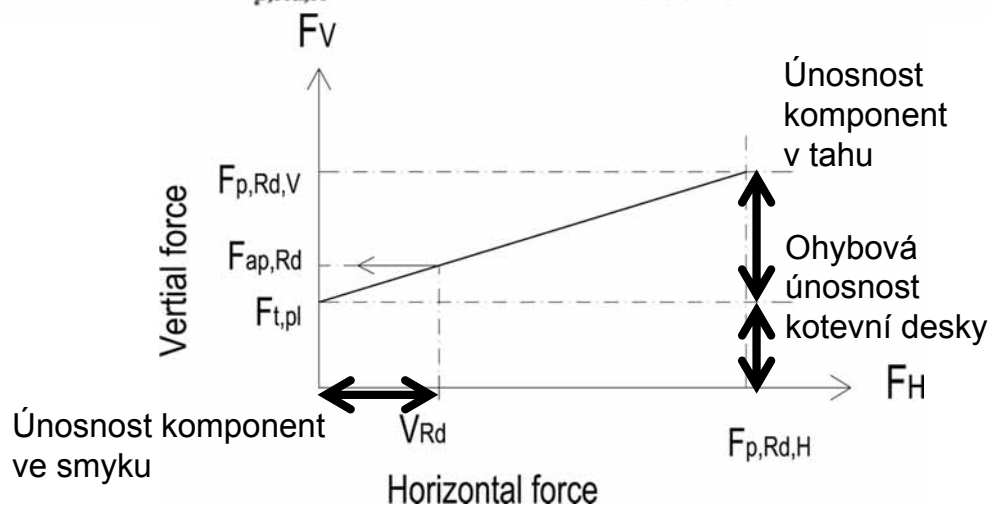
Kloubový přípoj



Namáhání kotevních trnů ve smyku $V_{Rd} = 146 \text{ kN}$

Z lineární závislosti mezi deformacemi, vertikálními a horizontálními silami se stanoví únosnost

$$F_{ap,Rd} = F_{t,pl} + \frac{F_{p,Rd,V} - F_{t,pl}}{F_{p,Rd,H}} \cdot V_{Rd} = 77.7 + \frac{177.6 - 77.7}{1\,041.6} \cdot 146 = 91.7 \text{ kN}$$



Lineární závislost deformace a svislé síly

20

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Deformace na mezi únosnosti $F_{ap,Rd} = 91.7$ kN je

$$\delta_{ap,tot} = \delta_{T-stub} + \frac{F_{ap,Rd} - F_{t,pl}}{F_{p,Rd,V} - F_{t,pl}} \cdot \delta_{p,tot} = 3.04 + \frac{91.7 - 77.7}{177.6 - 77.7} \cdot 13.64 = 4.95 \text{ mm}$$

Působící síla v místě kotevních trnů při tahové síle v kotevní desce

$$N_{HS} = A + Q = 91.7 + 62.1 = 153.8 \text{ kN}$$

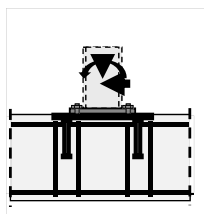
Krok 2.13 Interakce smyku a tahu v kotevních šroubech

Kombinace smykového a tahového namáhání kotevních šroubů

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{146}{146}\right)^2 + \left(\frac{91.7 - 77.7}{1.4 \cdot 349}\right)^2 \leq 1.00$$

$$1.0008 \cong 1.00$$



21

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Krok 2.14 interakce smyku a tahu v kotevních trněch

Kombinace smykového a tahového namáhání kotevních trnů

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{146}{146}\right)^2 + \left(\frac{153.8 - 77.7}{1.4 \cdot 437.9}\right)^2 \leq 1$$

$$1.015 \text{ is not } \leq 1$$

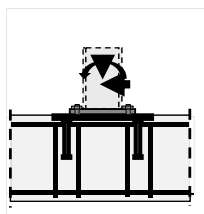
Krok 2.15 Interakce smyku a tahu v kotevních šroubech –

Kombinace smykového a tahového namáhání kotevních trnů

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^{\frac{3}{2}} + \left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}}\right)^{\frac{3}{2}} \leq 1$$

$$\left(\frac{146}{307.7}\right)^{\frac{3}{2}} + \left(\frac{153.8 - 77.7}{306.1}\right)^{\frac{3}{2}} \leq 1$$

$$0.45 \leq 1$$



22

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Při snížení působících sil na 98% budou interakce

$$\left(\frac{143.08}{146}\right)^2 + \left(\frac{91.4 - 77.7}{1.4 \cdot 349}\right)^2 \leq 1$$

pro trny se závitem

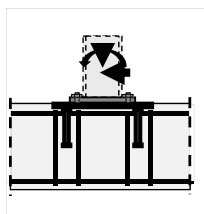
$$0.961 \leq 1$$



$$\left(\frac{143.08}{146}\right)^2 + \left(\frac{153.8 - 77.7}{1.4 \cdot 437.9}\right)^2 \leq 1$$

pro trny s hlavou

$$0.976 \leq 1$$



23

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Krok 3 Beton v tlaku

Efektivní šířka tlačené plochy

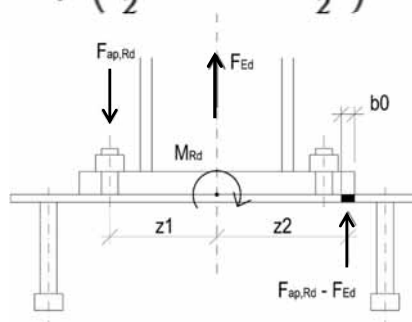
$$b_0 = \frac{F_{t1,1} - F_{Ed}}{a_0 \cdot f_{jd}} = \frac{F_{t1,1} - F_{Ed}}{a_0 \cdot \frac{3 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{(87.8 - 45) \cdot 10^3}{250 \cdot \frac{3 \cdot (30 + 10)}{1.5}} = 2.14 \text{ mm}$$

Momentová únosnost pro působící síly

$$M_{Rd} = F_{t1,1} \cdot z_1 + (F_{t1,1} - F_{Ed}) \cdot z_2 =$$

$$= 87.8 \cdot \left(\frac{200}{2} + 40\right) + (87.8 - 45) \cdot \left(\frac{200}{2} + 2 \cdot 40 - \frac{2.14}{2}\right) = 20.0 \text{ kNm}$$

**Navržený spoj při zatížení
působícími silami a momentem
vyhovuje**



24

□ Kotvení patní a kotevní deskou

- hodnoty komponent - ocel
 - T profil patní desky v tahu -> rozhoduje MODE 3
 - kotevní šrouby v tahu $F_{T,3,Rd,2} = 349 \text{ kN}$
 - T profil kotevní desky v ohybu -> rozhoduje MODE 1 $F_{T,1,Rd,1} = 77.7 \text{ kN}$
 - kotevní šroub v tahu $F_{t,Rd,b} = 349 \text{ kN}$
 - vytržení kotevního šroubu z kotevní desky $F_{p,Rd,b} = 256.1 \text{ kN}$
 - vytržení kotevního trnu z kotevní desky $F_{p,Rd,s} = 177.6 \text{ kN}$
 - kotevní trny v tahu (přetržení) $F_{t,Rd,s} = 437,9 \text{ kN}$
 - kotevní trny ve smyku $F_{v,Rd,s} = 146 \text{ kN}$
- hodnoty komponent – beton
 - vytržení kotevního trnu $N_{Rd,p} = 333.6 \text{ kN}$
 - vytržení betonového kužele-nevyztužená patka $N_{Rd,c} = 153 \text{ kN}$
 - vytržení betonového kužele-vyztužená patka $N_{Rd,MAX} = 353 \text{ kN}$
 - přetržení třmíneků na mezi kluzu oceli $N_{Rd,1} = 307.7 \text{ kN}$
 - porušení smykové $N_{Rd,2} = 344 \text{ kN}$
 - vypáčení kužele betonu $V_{Rd,CP} = 306.1 \text{ kN}$

25

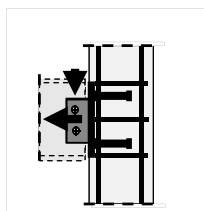
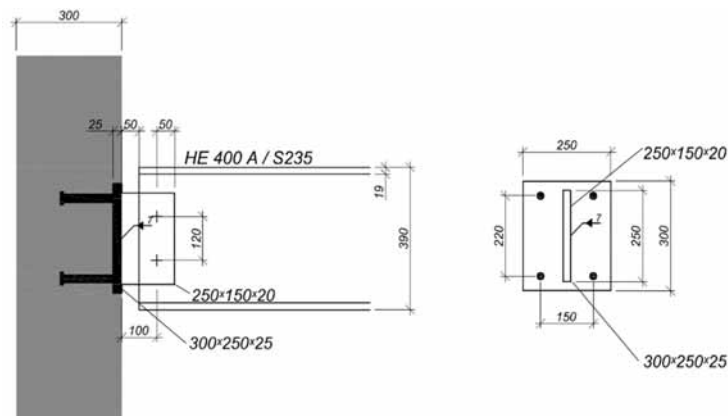
Řešené příklady

□ Kloubový přípoj

Ulrike Kuhlmann
Jakob Ruopp

Kotvení patní a
kotevní deskou

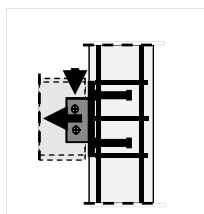
Kloubový přípoj



26

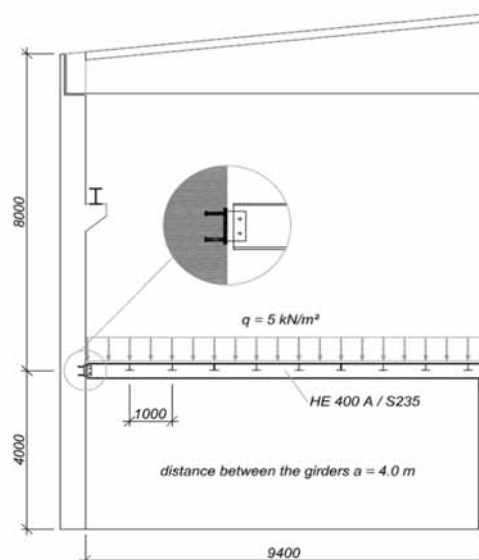
Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj



Přehled

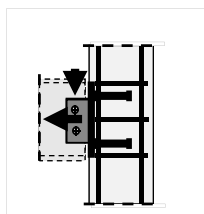
- Ocelová plošina je instalována v průmyslové budově
- Plošina se seskládá z HE400A, v síti po 4 metrech
- Betonová stěna a ocelový nosník budou napojeny kloubovým ocelovo-betonovým přípojem
- nosnost bude zvýšena použitím přidavné výztuže



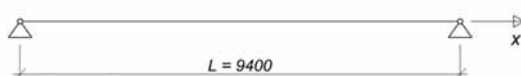
27

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj



Konstrukční systém a návrh nosníku



Prosý nosník

Zatížení na nosník – charakteristická hodnota vlastní tíha nosníku s připojením na:

- podlahu a jiné nosníky $4.0 \text{ m} \cdot 1.0 \text{ kN/m}^2 = 4.0 \text{ kN/m}$

celkové zatížení od vlastní tíhy $g_k = 6.0 \text{ kN/m}$

celkové užité zatížení $q_k = 4.0 \text{ m} \cdot 5.0 \text{ kN/m}^2 = 20.0 \text{ kN/m}$

Návrhové síly:

Smyk $V_{z,Ed} = 9.4 \text{ m} \cdot 1.35 \cdot 6.0 + 1.5 \cdot 20.0 / 2 = 179 \text{ kN} \approx 180 \text{ kN} < V_{pl,z,Rd} = 778.1 \text{ kN}$

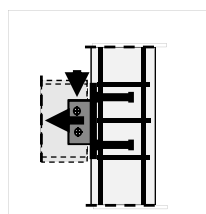
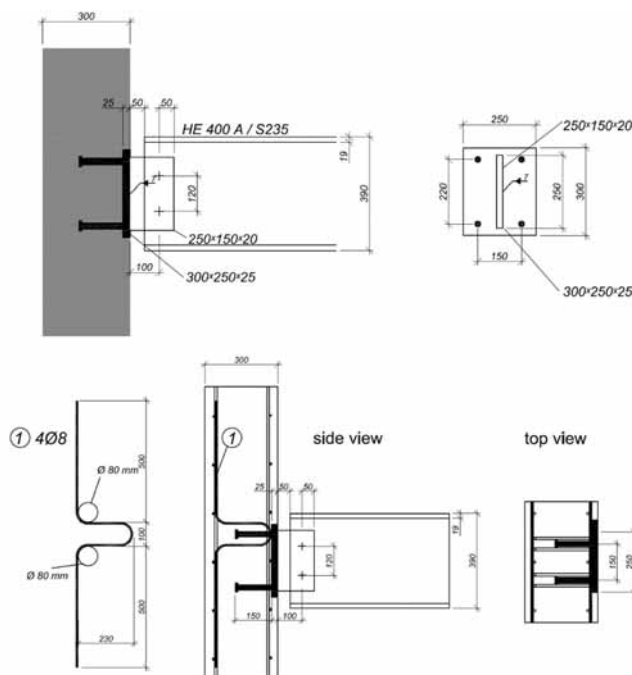
Moment $M_{y,Ed} = (9.4)^2 \cdot 1.35 \cdot 6.0 + 1.5 \cdot 20.0 / 8 = 420 \text{ kNm} \leq M_{y,Rd} = 543 \text{ kNm}$

28

Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Konstrukční systém a návrh nosníku



Kotvení patní a
kotevní deskou

Kloubový přípoj

Spojení mezi nosníkem HE 400 A a kotevním plechem

(značení rozměrů dle EN 1993-1-8, tabulka 3.3)

$$e_1 = 65 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 22 = 26.4 \text{ mm} \quad e_2 = 50 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 22 = 26.4 \text{ mm}$$

$$p_1 = 120 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 2.2 \cdot 22 = 48.4 \text{ mm}$$

Smyková únosnost v trnech

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub} / \gamma_{M2} = 0.5 \cdot 3.14 \cdot 100 / 1.25 = 125.6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,1} = n_v \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 125.6 = 251.2 \text{ kN}$$

Únosnost trnů v otláčení (EN 1993-1-8 Tab. 3.4)

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2.5 \cdot 0.98 \cdot 36 \cdot 2.2 \cdot 2 / 1.25 = 310.5 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min [2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7; 1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7; 2.5] = \min [4.66; 2.5]$$

$$\alpha_b = \min [e_1 / (3 \cdot d_0); f_{ub}/f_u; 1.0] = \min [0.98; 2.78; 1.0]$$

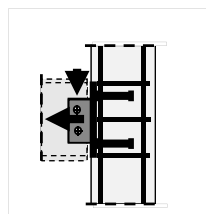
$$V_{Rd,2} = 310.5 \text{ kN}$$

Únosnost trnů v otláčení (EN 1993-1-8 Tab. 3.4)

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2.5 \cdot 0.98 \cdot 36 \cdot 2.2 \cdot 1.9 / 1.25 = 294.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,3} = 294.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min [V_{Rd,1}; V_{Rd,2}; V_{Rd,3}] = 251.2 \text{ kN} \leq V_{Ed} = 180/2 = 90 \text{ kN}$$



Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Přivaření výztuhy ke kotevnímu plechu

- Svar dokola, kde $a = 7 \text{ mm}$
- Napětí způsobené posouvající silou a ohybovým momentem

$$W_{el,w} = a_w \cdot I_{w,eff}^2 / 6 = 1.4 \cdot 25 / 6 = 156.25 \text{ cm}^2$$

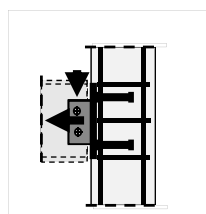
$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36.0 / (0.8 \cdot 1.25) = 26 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{II} = V_{Ed} / (2 \cdot a_w \cdot I_{w,eff}) = 180 / (2 \cdot 0.7 \cdot 25) = 5.2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_w = M_{Ed} / W = 1800 / 156.25 = 11.52 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{(\sigma_{kolma})^2 + 3(\tau_{kolme}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{(8.2^2 + 3(8.2^2 + 5.2^2))} = 18.71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\leq \sigma_{w,Rd} = 26 \text{ kN/cm}^2$$

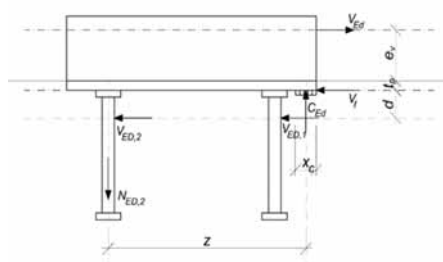


Kotvení patní a kotevní deskou

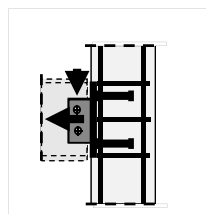
Kloubový přípoj

Návrh přípoje k betonové části

Ověřování se provádí postupným způsobem v souladu s DM I, tabulka 5.1



Smykové namáhání přípoje:
 $V_{Ed} = 180 \text{ kN}$



Tab. 5.1 Verification of the design resistance of the joint

Step	Description	Formula
The eccentricity e_s and the shear force V_{Ed} are known.		
1	Evaluation of the tension force caused by the shear load Estimation of x_c and calculation of the tension component $N_{Ed,2}$	x_c is depending on x_c $N_{Ed,2} = \frac{V_{Ed} \cdot (e_s + d + t_s) - V_{Ed} \cdot d}{z}$
2	Verification of compression height. Check if the assumption for x_c is OK. If x_c is estimated too small go back to Step 1 and try again. For most cases $f_{tj} = 3 f_{td}$	$\sum N_i C_{i,j} = N_{Ed,2} \quad x_c = \frac{C_{Ed}}{b \cdot f_{tj}}$
3	Evaluation of the tension resistance Calculation of $N_{Ed,s}$	Without Stirrups $N_{Ed,s} = \min \begin{cases} N_{Ed,s,1} \\ N_{Ed,s,2} \\ N_{Ed,s,3} \\ N_{Ed,s,4} \end{cases}$ With Stirrups $N_{Ed,s} = \min \begin{cases} N_{Ed,s,1} \\ N_{Ed,s,2} \\ N_{Ed,s,3} \\ N_{Ed,s,4} \\ N_{Ed,s,5} \end{cases}$
4	Calculation of the shear resistance	$V_{Ed,s} = 0.5 \cdot N_{Ed,s}$ $V_{Ed,s,p} = k \cdot \min[N_{Ed,s,1}, N_{Ed,s,2}, N_{Ed,s,3}, N_{Ed,s,4}, N_{Ed,s,5}]$
5	Verification of interaction conditions	Possible failure modes Steel failure of the headed studs $V_{Ed,s} = V_{Ed} - V_{Ed,s} - V_f$ Concrete failure $V_{Ed,2} = \frac{V_{Ed} - V_f}{2}$ $\left(\frac{N_{Ed,2}}{N_{Ed,s,2}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Ed,2}}{V_{Ed,s,2}} \right)^2 \leq 1$ $\left(\frac{N_{Ed,2}}{N_{Ed,s,2}} \right)^{3/2} + \left(\frac{V_{Ed,2}}{V_{Ed,s,2}} \right)^{3/2} \leq 1$ $N_{Ed,s,2}$ is not including $N_{Ed,s,1}$ Are both interaction equations OK? YES Design calculation finished NO The load carrying capacity of the joint is not sufficient. The joint has to be improved.

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Návrh přípoje k betonové části

Krok 1 : Vyhodnocení tahové síly způsobené smykovým namáháním

$$N_{Ed,2} = V_{Ed} \cdot (e_v + d + t_p) - V_f \cdot d / z$$

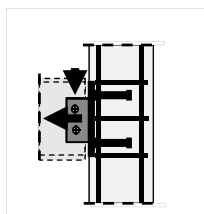
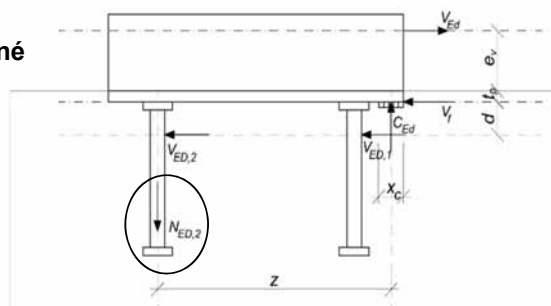
$$N_{Ed,2} \cdot (1 + 0.2 \cdot d / z) = V_{Ed} \cdot (e_v + d + t_p) / z$$

Odhad výšky komprese: $x_c = 20 \text{ mm}$

$$z = 40 + 220 - x_c / 2 = 40 + 220 - 20 / 2 = 250 \text{ mm}$$

$$N_{Ed,2} \cdot (1 + 0.2 \cdot 220 / 250) = V_{Ed} \cdot (10 + 2.2 + 2.5) / 25$$

Potom se tahová síla rovná $N_{Ed,2} = 104 \text{ kN}$



33

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Návrh přípoje k betonové části

Krok 2: Ověření oblasti v tlaku

Výpočet tlakové síly

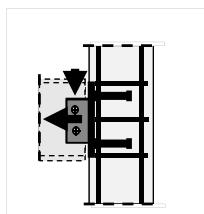
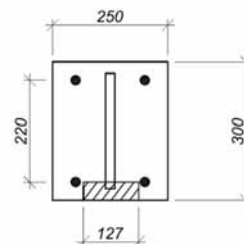
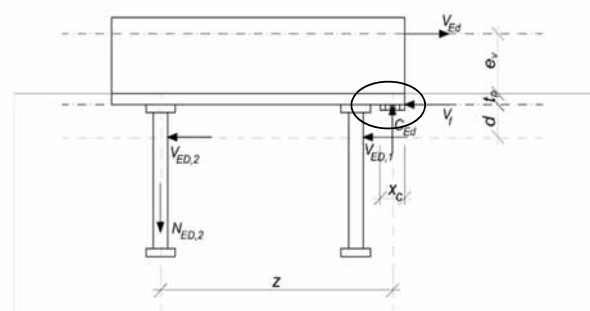
$$\sum^N C_{Ed} = N_{Ed,2} = 104 \text{ kN}$$

Výška oblasti v tlaku

$$x_c = C_{Ed} / (b \cdot f_{jd}) = C_{Ed} / (b \cdot 3 \cdot f_{cd}) = 104 / (12.7 \cdot 17) = 16 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha / \gamma_{Mc} = 1.7 \text{ N/mm}^2$$

Předpokládaná hodnota tlačené výšky (20 mm) je větší než napočítaná hodnota. Rameno vnitřních sil bylo zvoleno malé tedy jsme na straně bezpečnosti



34

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Návrh přípoje k betonové části

Krok 3: Vyhodnocení tahové únosnosti

- porušení přetržením

$$N_{Rd,s} = n_a \cdot A_s \cdot f_{uk} / \gamma_{Ms} = 2 \cdot 38 \cdot 45 / 1.15 = 297.3 \text{ kN} > N_{Ed}$$

- vytržení trnu

$$N_{Rd,p} = n \cdot p_{uk} \cdot A_h / \gamma_{Mc} = n \cdot p_k \cdot f_{ck} \cdot \pi/4 \cdot (d_h/2 - d/2) / \gamma_{Mc} = 2 \cdot 12 \cdot 30 \cdot \pi/4 \cdot (35/2 - 22/2) / 1.5 = 279.3 \text{ kN} > N_{Ed}$$

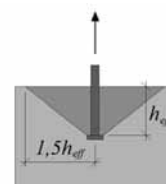
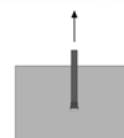
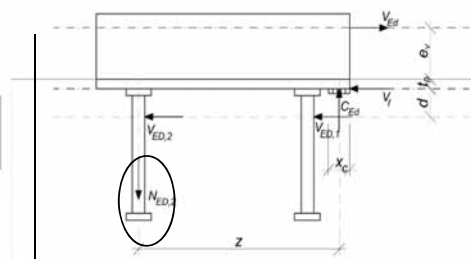
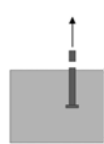
- vytržení betonového kužele (patka bez výztuže)

$$N_{Rd} = N_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{A,N} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} / \gamma_{Mc}$$

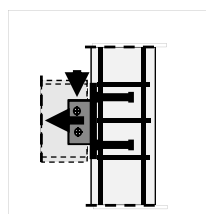
$$N_{Rk,c} = k_1 \cdot h_{ef}^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5} = 12.7 \cdot 165^{1.5} \cdot 30^{0.5} = 147.4 \text{ kN}$$

$$\psi_{A,N} = A_{c,N} / A_{c,N}^0 = 319275 / 245025 = 1.3$$

$$N_{Rd} = 147.4 \cdot 1.3 \cdot 1 \cdot 1 / 1.5 = 128.1 \text{ kN} > N_{Ed}$$



35



Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Návrh přípoje k betonové části

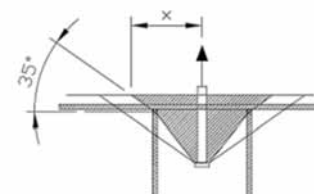
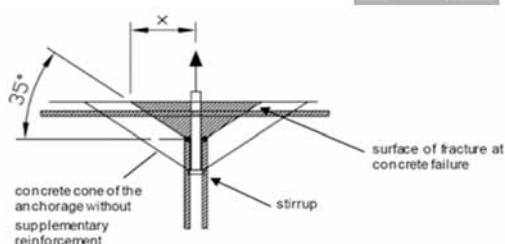
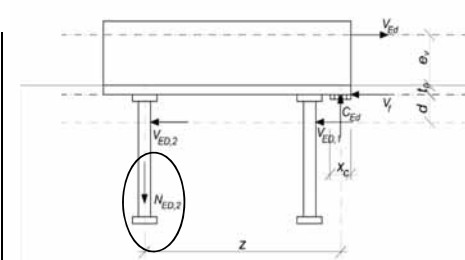
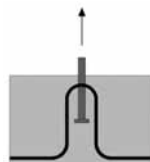
Krok 3: Vyhodnocení tahové únosnosti

- vytržení betonového kužele (patka s výztuží)
- porušení betonu

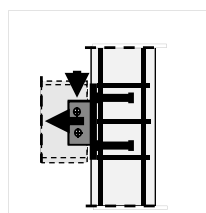
$$N_{Rk,u,max} = \psi_{supp} \cdot N_{Rk,c} = 2.26 \cdot 147.4 = 333.24 \text{ kN}$$

faktor pro vyztužení betonu

$$\psi_{supp} = 2.5 - x/h_{ef} = 2.26$$



36



Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Návrh přípoje k betonové části

Krok 3: Vyhodnocení tahové únosnosti

- vytržení betonového kužele (vyztužená patka)
- plné využití výztuže nastane

$$N_{Rd,1} = N_{Rd,s,re} + N_{Rd,c} + \delta_{Rd,s} \cdot k_{C,de}$$

$$= 201.1 + 128.1 + 0.642 \cdot (-49.23) = 271.3 \text{ kN}$$

normálnová síla v záběsu výztuže

$$N_{Rd,s,re} = A_{s,y} \cdot f_{s,y,d} = n \cdot n_{re} \cdot \pi \cdot (d_{s,nom}^2 / 4) \cdot f_{yk,s} / \gamma_{Ms}$$

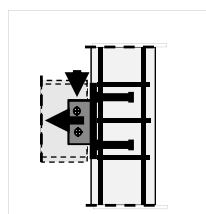
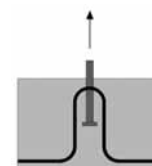
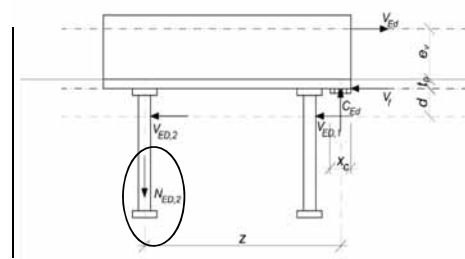
$$= 201.1$$

deformace výztuže při plné únosnosti

$$\delta_{Rd,s} = 2 \cdot (A_{s,y} \cdot f_{s,y,d})^2 / ((\alpha_s \cdot f_{ck} \cdot d_{s,nom}^4 \cdot (n \cdot n_{re})^2)$$

$$= 2 \cdot (103 \cdot 201.1)^2 / (12100 \cdot 30 \cdot 8^4 \cdot 2^2 \cdot 4^2) = 0.642 \text{ mm}$$

$$k_{C,de} = \alpha_c \cdot [f_{ck} \cdot h_{ef}]^{0.5} \cdot \psi_{A,N} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = -49.23 \text{ kN/mm}$$



37

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj

Návrh přípoje k betonové části

Krok 3: Vyhodnocení tahové únosnosti

- Vytržení kužele betonu (vyztužená patka)
- Porušení smykové výztuže

$$NRd,2 = NRd,b,re + NRd,c + \delta_{Rd,b} \cdot k_{C,de}$$

$$= 221.6 + 128.1 + 0.066 \cdot (-49.23) = 346.4 \text{ kN}$$

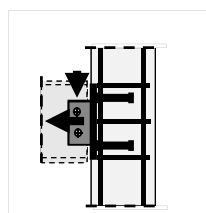
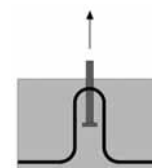
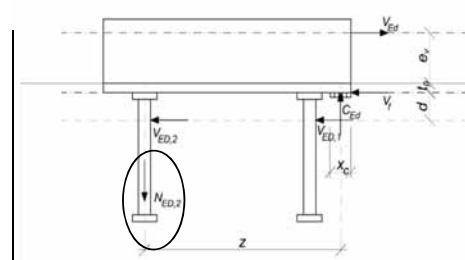
kotevní síla všech zavěšených nohou výztuží

$$N_{Rd,b,re} = n \cdot n_{re} \cdot l_1 \cdot \pi \cdot d_s \cdot f_{bd} / \alpha = 221.6 \text{ kN}$$

deformace vyztužení při plné únosnosti

$$\delta_{Rd,b} = 2 \cdot (N_{sbu})^2 / (\alpha_s \cdot f_{ck} \cdot d_s^4) = 0.066 \text{ mm}$$

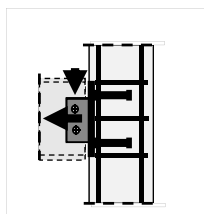
$$k_{C,de} = \alpha_c \cdot [f_{ck} \cdot h_{ef}]^{0.5} \cdot \psi_{A,N} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = -49.23 \text{ kN/mm}$$



38

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj



Návrh přípoje k betonové části

Krok 4: Vyhodnocení smykové únosnosti

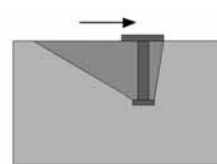
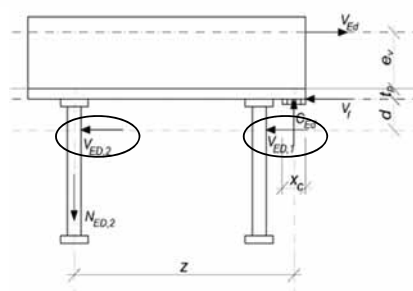
- porušení ocelových trnů ve smyku

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

$$= 0.6 \cdot 800 \cdot \pi \cdot (22/2)^2 / 1.25 = 146 \text{ kN}$$

- vypáčení kužele betonu

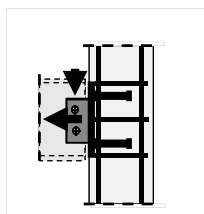
$$V_{Rd,cp} = 2 \cdot N_{Rd,c} = 2 \cdot 128.1 = 256.2 \text{ kN}$$



39

Kotvení patní a kotevní deskou

Kloubový přípoj



Návrh přípoje k betonové části

Krok 5: Vyhodnocení interakční podmínky

- interakce tahu a smyku – ocel

$$V_{Ed,2} = V_{Ed} - V_{Rd,s} - V_f = 180 - 185 - 20 = -25 \text{ kN}$$

- smykové namáhání je dáno součten čelních kotev
- (dvojice tažených kotev)

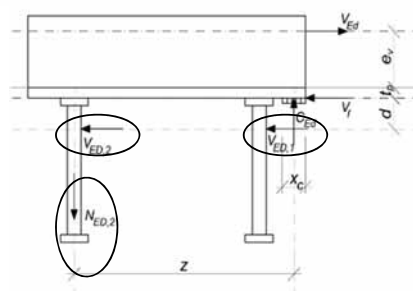
$$(V_{ed,2} / V_{Rd})^2 + (N_{Ed,2} / N_{Rd,u,s})^2 \leq 1$$

$$0.23 \leq 1$$

- - interakce tahu a smyku - beton

$$(V_{ed,2} / V_{Rd})^{3/2} + (N_{Ed,2} / N_{Rd,u})^{3/2} \leq 1$$

$$0.41 \leq 1$$



40

- Kloubový přípoj hodnoty jednotlivých komponent – beton
 - vytržení kotevního trnu $N_{Rd,p} = 279.3 \text{ kN}$
 - vytržení betonového kužele-nevyztužená patka $N_{Rd,c} = 128.1 \text{ kN}$
 - vytržení betonového kužele-vyztužená patka $N_{Rd,MAX} = 333.24 \text{ kN}$
 - přetržení třmíneků na mezi kluzu oceli $N_{Rd,1} = 271.3 \text{ kN}$
 - porušení smykové výztuže $N_{Rd,2} = 346.4 \text{ kN}$
 - vypáčení kužele betonu $V_{Rd,CF} = 256.2 \text{ kN}$

Děkuji za pozornost

Sarka.Beckova@fsv.cvut.cz