

Betongbalkar

a) Böjning

Om inte annat föreskrivits i uppgifterna, antas att balkarna är försedda med byglar $\phi 8$. Samtliga förekommande laster och efterfrågad momentkapacitet antas i brottgränstillstånd, det vill säga att elasticitetsgränsen har passerats för betong eller armeringsstål.

Analys av enkelarmerat tvärsnitt

Övning 1

Materialegenskaper

Betong C30/37 $(f_{cd} = 20 \text{ MPa})$

Dragarmering $\phi 16$ K500-CT $(f_{yd} = 435 \text{ MPa})$

$$A_s = 2 \cdot A_{\phi 16} = 2 \cdot 201 = 402 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^9} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till **bygel** $\phi_{\text{byg}} = 8 \text{ mm}$

$$c = C_{\min} + \Delta C_{\text{dev}}$$

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 20; 10) \text{ välj } C_{\min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 20 + 10 \text{ (avvikelse)} = 30 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant **längsgående armering** $\phi_{\text{huv}} = 16\text{mm}$

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (20; 20; 10) \text{ välj } C_{\min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 20 + 10 \text{ (avvikelse)} = 30 \text{ mm}$$

Välj C_{nom} för bygel + Bygeldiameter

$$C = 30 + 8 = 38 \text{ mm} \Rightarrow \text{Välj } \underline{\underline{C = 40 \text{ mm}}}$$

Bestämning av tyngdpunkten i armeringsgrupper

$$c_{tp} = c + \frac{\phi}{2} = 40 + \frac{16}{2} = 48 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - c_{tp} = 350 - 48 = 302 \text{ mm}$$

Bestämning av momentkapaciteten

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,2 \cdot 0,302 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,145 < \omega_{bal} = 0,493 \text{ ok!}$$

d.v.s. underarmerat tvärsnitt

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,145 \cdot \left[1 - \frac{0,145}{2}\right] = 0,134$$

$$M_{Rd} = m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,134 \cdot 0,2 \cdot 0,302^2 \cdot 20 \cdot 10^6 = 49 \text{ kNm}$$

Svar: $M_{Rd} = 49 \text{ kNm}$

Övning 2

Materialegenskaper

Betong C30/37 ($f_{cd} = 20 \text{ MPa}$)

Dragarmering Ks600ST ($f_{yd} = 522 \text{ MPa}$)

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel $\phi_{byg} = 8 \text{ mm}$

$$C = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 15; 10) \text{ välj } C_{min} = 15 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering $\phi_{huv} = 20 \text{ mm}$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (20; 15; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Välj $C = C_{nom}$ för bygel + Bygeldiameter

$$C = 25 + 8 = 33 \text{ mm} \Rightarrow \text{Välj } \underline{\mathbf{C = 35 mm}}$$

Bestämning av tyngdpunkten i armeringsgrupper

$$c_1 = c + \frac{\phi_{huv}}{2} = 35 + 10 = 45$$

$$c_2 = c + \phi_{huv} + a + \frac{\phi_{huv}}{2} = 35 + 20 + 37 + 10 = 102$$

$$a = \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\} = \max\{20; 37; 20\text{mm}\} = 37 \text{ mm}$$

$$c_{tp} = \frac{n_{rad1} \cdot c_1 + n_{rad2} \cdot c_2}{n_{tot}} = \frac{3 \cdot 45 + 3 \cdot 102}{6} = 73,5 \text{ mm} \approx 0,074$$

$$d = h - c_{tp} = 0,75 - 0,074 = 0,676$$

Bestämning av momentkapaciteten

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{1890 \cdot 10^{-6} \cdot 522 \cdot 10^6}{0,30 \cdot 0,676 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,243 < \omega_{bal} = 0,458 \text{ ok!}$$

d.v.s. underarmerat tvärsnitt

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,243 \cdot \left[1 - \frac{0,243}{2}\right] = 0,213$$

$$M_{Rd} = m \cdot b d^2 \cdot f_{cd} = 0,213 \cdot 0,30 \cdot 0,676^2 \cdot 20 \cdot 10^6 = 584 \text{ kNm}$$

Svar: $M_{Rd} = 584 \text{ kNm}$

Övning 3

Materialegenskaper

Betong C30/37 ($f_{cd} = 20 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel $\phi_{byg} = 8 \text{ mm}$

$$C = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 20; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 20 + 10 \text{ (avvikelse)} = 30 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering $\phi_{huv} = 12 \text{ mm}$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (12; 20; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Välj $C = C_{nom}$ för bygel + Bygeldiameter

$$C = 30 + 8 = 38 \text{ mm} \Rightarrow \text{Välj } \underline{\underline{C = 40 \text{ mm}}}$$

Bestämning av tyngdpunkten i armeringsgrupper

$$c_1 = c + \frac{\phi_{huv}}{2} = 40 + 6 = 46$$

$$c_2 = c + \phi_{huv} + a + \frac{\phi_{huv}}{2} = 40 + 12 + 25 + 6 = 83$$

$$a = \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\} = \max\{12; 25; 20\text{mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{tp} = \frac{n_{rad1} \cdot c_1 + n_{rad2} \cdot c_2}{n_{tot}} = \frac{5 \cdot 46 + 4 \cdot 83}{9} = 62,5 \text{ mm} \approx 0,063$$

$$d = h - c_{tp} = 0,60 - 0,063 = 0,537$$

Bestämning av momentkapaciteten

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{1020 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,35 \cdot 0,537 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,118 < \omega_{bal} = 0,493 \text{ ok!}$$

d.v.s. underarmerat tvärsnitt

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,118 \cdot \left[1 - \frac{0,118}{2}\right] = 0,111$$

$$M_{Rd} = m \cdot b d^2 \cdot f_{cd} = 0,111 \cdot 0,35 \cdot 0,537^2 \cdot 20 \cdot 10^6 = 224,14 \text{ kNm}$$

Svar: $M_{Rd} = 224,14 \text{ kNm}$

Övning 4

Materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel $\emptyset_{byg} = 8 \text{ mm}$

$$C = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 20; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 20 + 10 \text{ (avvikelse)} = 30 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (12; 20; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 20 + 10 \text{ (avvikelse)} = 30 \text{ mm}$$

Välj $C = C_{nom}$ för bygel + Bygeldiameter

$$C = 30 + 8 = 38 \text{ mm} \Rightarrow \text{Välj } \mathbf{C = 40 \text{ mm}}$$

Bestämning av tyngdpunkten i armeringsgrupper

$$c_1 = c + \frac{\emptyset_{huv}}{2} = 40 + 6 = 46$$

$$c_2 = c + \phi_{huv} + a + \frac{\phi_{huv}}{2} = 40 + 12 + 37 + 6 = 95$$

$$c_2 = c + \phi_{huv} + a + \phi_{huv} + a + \frac{\phi_{huv}}{2} = 40 + 12 + 37 + 12 + 37 + 6 = 144$$

$$a = \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\} = \max\{12; 32 + 5; 20\text{mm}\} = 37 \text{ mm}$$

$$c_{tp} = \frac{n_{rad1} \cdot c_1 + n_{rad2} \cdot c_2 + n_{rad3} \cdot c_3}{n_{tot}} = \frac{3 \cdot 46 + 3 \cdot 95 + 2 \cdot 144}{8} = 88,9 \text{ mm} = 0,089 \text{ m}$$

$$d = h - c_{tp} = 0,4 - 0,089 = 0,311 \text{ m}$$

Bestämning av momentkapaciteten

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{905 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,22 \cdot 0,311 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,334 < \omega_{bal} = 0,493 \text{ ok!}$$

d.v.s. underarmerat tvärsnitt

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,344 \cdot \left[1 - \frac{0,344}{2}\right] = 0,285$$

$$M_{Rd} = m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,285 \cdot 0,22 \cdot 0,311^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 101,3 \text{ kNm}$$

Svar: $M_{Rd} = 101,3 \text{ kNm}$

Övning 5

Materialegenskaper

Betong C16/20 ($f_{cd} = 10,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (12; 15; 10) \text{ välj } C_{min} = 15 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \Rightarrow \text{Välj } \mathbf{C=25 \text{ mm}}$$

$$c_{tp} = 25 + 6 = 31 \text{ mm} = 0,031$$

$$d = h - c_{tp} = 0,20 - 0,031 = 0,169 \text{ m}$$

Bestämning av momentkapaciteten

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

Vid beräkning av plattor beräknas i regel en plattstrimla med bredden 1 meter

$$A_s = \frac{1000}{150} \cdot 113 = 753 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\omega = \frac{753 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{1 \cdot 0,169 \cdot 10,7 \cdot 10^6} = 0,181 < \omega_{bal} = 0,493 \text{ ok!}$$

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,181 \cdot \left[1 - \frac{0,181}{2}\right] = 0,165$$

$$M_{Rd} = m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,165 \cdot 1 \cdot 0,169^2 \cdot 10,7 \cdot 10^6 = 50,4 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Rd} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} \Rightarrow q_d = \frac{8 \cdot M_{Rd}}{l^2} = \frac{8 \cdot 50,4}{3,5^2} = 33 \text{ kN/m}^2$$

Svar: $q_d = 33 \text{ kN/m}^2$

Övning 6

Materialegenskaper

Betong C16/20 ($f_{cd} = 10,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (16; 15; 10) \text{ välj } C_{min} = 16 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 16 + 10 = 26 \text{ mm} \Rightarrow \text{Välj } \mathbf{C = 30 \text{ mm}}$$

$$c_{tp} = 30 + 8 = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$$

$$d = h - c_{tp} = 0,25 - 0,038 = 0,212 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{30 \cdot 6^2}{8} = 135 \text{ kNm/m}$$

$$m = \frac{M_{Rd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{135 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,212^2 \cdot 10,7 \cdot 10^6} = 0,281$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,281} = 0,338$$

Bestämning av armeringsmängden per 1 meter

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,338 \cdot \frac{10,7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,212}{435 \cdot 10^6} = 1763 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

Vilket ger erforderligt antal stänger

$$n = \frac{A_s}{\phi_{16}} = \frac{1763}{201} = 8,8 \text{ st per meter t}$$

Denna ger centrumavståndet mellan stängerna

$$s = \frac{1000}{8,8} = 113 \text{ mm}$$

som avrundas nedåt till jämna 5 mm
välj armering $\varnothing 16$ mm med $s=110$ mm

Svar: välj armering $\varnothing 16$ d $s = 110$ mm

Övning 7

Materialegenskaper

Betong C20/25 ($f_{cd} = 13,3$ MPa)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435$ MPa)

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (12; 20; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 20 + 10 = 30 \text{ mm} \Rightarrow \text{Välj } \mathbf{C = 30 \text{ mm}}$$

$$c_{tp} = 30 + 6 = 36 \text{ mm} = 0,036$$

$$d = h - c_{tp} = 0,30 - 0,036 = 0,264 \text{ m}$$

Bestämning av momentkapaciteten

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

Vid beräkning av plattor beräknas i regel en plattstrimla med bredden 1 meter

$$A_s = \frac{1000}{110} \cdot 113 = 1027 \text{ mm}^2/\text{m}$$

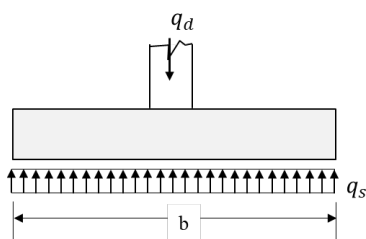
$$\omega = \frac{1027 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{1 \cdot 0,264 \cdot 13,3 \cdot 10^6} = 0,127 < \omega_{bal} = 0,493 \text{ ok!}$$

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,127 \cdot \left[1 - \frac{0,127}{2}\right] = 0,119$$

$$M_{Rd} = m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,119 \cdot 1 \cdot 0,264^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6 = 110,3 \text{ kNm/m}$$

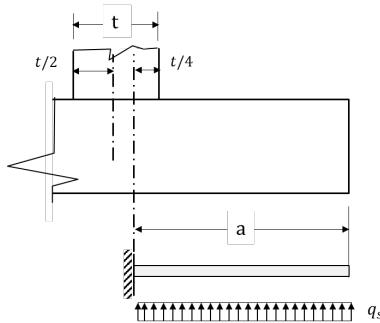
Största vägglast i brottgränstillstånd

Lasten q_d balanseras av ett nettomarktryck q_s med konstant intensitet



$$q_s = \frac{q_d}{b} = \frac{q_d}{1,5}$$

Teoretiskt upplag (ej hopgjuten mur och platta)



$$a = \frac{b - t}{2} + \frac{t}{4} \Rightarrow \frac{1500 - 250}{2} + \frac{250}{4} \approx 688 \text{ mm}$$

Enligt dimensioneringsvillkor:

$$M_{Rd} \geq M_{sd}$$

Där

$$M_{sd} = q_s \cdot \frac{a^2}{2}$$

$$110,3 \geq q_s \cdot \frac{0,688^2}{2}$$

$$q_s \leq \frac{110,3 \cdot 2}{0,688^2} = 466 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d \leq q_s \cdot b = 466 \cdot 1,5 = 699 \text{ kN/m}$$

Svar: $q_d = 699 \text{ kN/m}$

Övning 8

Materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel $\emptyset_{byg} = 8 \text{ mm}$

$$C = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 25; 10) \text{ välj } C_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 \text{ (avvikelse)} = 35 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 35 + 8 = 43 \text{ mm}$$

Avståndet till längsgående armering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (25; 25; 10) \text{ välj } C_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Välj **C = 45 mm**

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a = \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\} = \max\{12; 20 + 5 + 5; 20\text{mm}\} = 25 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden i överkant

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{\text{huv}} + a} = \frac{400 - 45 \cdot 2 + 25}{25 + 25} = 6,7 = 6 \text{ st}$$

samtliga armering ryms i ett lager

$$c_{tp} = 45 + 12,5 = 57,5 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{tp} = 750 - 57,5 = 692,5 \approx 0,693\text{m}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{2950 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,40 \cdot 0,693 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,277 < \omega_{bal} = 0,493 \text{ ok!}$$

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,277 \cdot \left[1 - \frac{0,277}{2}\right] = 0,24$$

$$M_{Rd} = m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,24 \cdot 0,40 \cdot 0,693^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 770 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = -P \cdot a - \frac{q \cdot l^2}{2} = -90 \cdot 1,5 - \frac{55 \cdot l^2}{2} = -770 \text{ kNm}$$

$$135 + 27,5 l^2 = 770$$

$$l \approx 4,9 \text{ m}$$

Svar: $l \approx 4,9 \text{ m}$

Övning 9

Materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel $\emptyset_{\text{byg}}=8 \text{ mm}$

$$C = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$$

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min,b}}; C_{\text{min,dur}}; 10\text{mm}\} = (8; 25; 10) \text{ välj } C_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 \text{ (avvikelse)} = 35 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 35 + 8 = 43 \text{ mm}$$

Avståndet till längsgående armering

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min,b}}; C_{\text{min,dur}}; 10\text{mm}\} = (25; 25; 10) \text{ välj } C_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Välj **C=45 mm**

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a = \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\} = \max\{12; 20 + 5 + 5; 20\text{mm}\} = 25 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden i överkant

$$n \leq \frac{b_{\text{min}} - 2C + a}{\emptyset_{\text{huv}} + a} = \frac{400 - 45 \cdot 2 + 25}{25 + 25} = 6,7 = 6 \text{ st}$$

samtliga armering ryms i ett lager

$$c_{tp} = 45 + 12,5 = 57,5 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{tp} = 750 - 57,5 = 692,5 \approx 0,693\text{m}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{2950 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,40 \cdot 0,693 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,277 < \omega_{\text{bal}} = 0,493 \text{ ok!}$$

$$m = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,277 \cdot \left[1 - \frac{0,277}{2}\right] = 0,24$$

$$M_{Rd} = m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,24 \cdot 0,40 \cdot 0,693^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 770 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = -P \cdot L - \frac{q \cdot L^2}{2} = -90L - \frac{55 \cdot L^2}{2} = -770 \text{ kNm}$$

$$90L + 27,5 L^2 = 770$$

$$L^2 + 3,273L - 28 = 0$$

$$L = -1,64 \pm \sqrt{2,68 + 28} \approx 3,9\text{m}$$

Svar: välj L = 3,9 m

Delresultanter:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2}$$

$$F_{c1} = 0,30 \cdot 0,8x \cdot f_{cd} \text{ (positiv)}$$

$$F_{c2} = 2 \cdot \left[\frac{1}{2} f_{cd} \cdot \frac{0,8x}{10} \cdot 0,8x \right] \text{ (negativ)}$$

$$\sum F_c = F_s$$

$$0,30 \cdot 0,8x \cdot f_{cd} - 2 \cdot \left[\frac{1}{2} f_{cd} \cdot \frac{0,8x}{10} \cdot 0,8x \right] = A_s \cdot f_{yd}$$

$$0,30 \cdot 0,8x \cdot 13,3 \cdot 10^6 - 13,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{(0,8)^2}{10} \cdot x^2 = 603 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6 \Rightarrow x = \mathbf{0,078m}$$

Deformationsvillkor

$$\varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = \varepsilon_s = \frac{0,442 - 0,078}{0,078} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = 16,3 \cdot 10^{-3} > \varepsilon_{sy} \quad \text{ok!}$$

Momentekvation om dragresultanten

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= 0,8x \cdot f_{cd} \cdot b(d - 0,4x) - 2 \cdot \left[\frac{1}{2} f_{cd} \cdot \frac{0,8x}{10} \cdot 0,8x \right] \left(d - \frac{2}{3} \cdot 0,8x \right) \\ &= 0,8 \cdot 0,078 \cdot 13,3 \cdot 10^6 \cdot 0,3(0,442 - 0,4 \cdot 0,078) - 13,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{(0,8)^2}{10} \\ &\quad \cdot 0,078^2 \left(0,442 - \frac{2}{3} \cdot 0,8 \cdot 0,078 \right) \approx 105 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Svar: $M_{Rd} = 105 \text{ kNm}$

Dimensionering av enkelarmerat tvärsnitt

Övning 11

Materialegenskaper

Betong C30/37 $(f_{cd}=20 \text{ MPa})$

Dragarmering $\phi 16$ KS600ST $(f_{yd}=522 \text{ MPa})$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 15; 10); \text{ V\AA}lj C_{\min}=15 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Avståndet till huvudarmering blir

$$C = 25 + \phi_{\text{byg}} = 25 + 8 = 33 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (16; 15; 10) \text{ v\AA}lj C_{\min} = 16 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 16 + 10 = 26 \text{ mm}; \text{ V\AA}lj C=35 \text{ mm}$$

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\phi}{2} = 35 + \frac{16}{2} = 43 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 750 - 43 = 707 \text{ mm}$$

Bestämning av erforderlig armering

$$m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{250 \cdot 10^3}{0,25 \cdot 0,707^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,1 < m_{\text{bal}} = 0,353$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1} \approx 0,11$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,11 \cdot \frac{20,0 \cdot 10^6 \cdot 0,25 \cdot 0,707}{522 \cdot 10^6} = 745 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\phi 16} = \frac{745}{201} = 3,7 \text{ st}$$

V\AA}lj: $4\phi 16 = 804 \text{ mm}^2$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\phi; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{16; 32 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ v\AA}lj a = 32 + 5 = 37 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\phi_{\text{huv}} + a} = \frac{250 - 35 \cdot 2 + 37}{16 + 37} = 6,7 = 4,1 \text{ st}$$

Svar: Välj 4 Ø16 i ett lager

Övning 12

Materialegenskaper

Betong C20/25 ($f_{cd} = 13,3 \text{ MPa}$)

Dragarmering Ø20 K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 15; 10); \text{Välj } C_{\min} = 15 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Avståndet till huvudarmering blir

$$C = 25 + \phi_{\text{byg}} = 25 + 8 = 33 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (20; 15; 10) \text{ välj } C_{\min} = 20\text{mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}; \text{Välj } C = 35 \text{ m}$$

Antag 1 lager

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\phi}{2} = 35 + 10 = 45 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 850 - 45 = 805\text{mm}$$

Bestämning av erforderlig armering

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{75 \cdot 8^2}{8} = 600 \text{ kNm}$$

$$m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{600 \cdot 10^3}{0,30 \cdot 0,805^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6} = 0,232 < m_{\text{bal}} = 0,353$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,232} \approx 0,268$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,268 \cdot \frac{13,3 \cdot 10^6 \cdot 0,300 \cdot 0,805}{435 \cdot 10^6} = 1979 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\phi_{20}} = \frac{1979}{314} = 6,3 \text{ st}$$

Välj: $7\emptyset 20 = 2200 \text{ mm}^2$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{16; 26 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 31 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{\text{huv}} + a} = \frac{300 - 35 \cdot 2 + 31}{20 + 31} = 5,1 = 5 \text{ st}$$

Bestämning av tyngdpunkten i armeringsgrupper

$$c_1 = c + \frac{\emptyset_{\text{huv}}}{2} = 35 + 10 = 45 \text{ mm}$$

$$c_2 = c + \emptyset_{\text{huv}} + a + \frac{\emptyset_{\text{huv}}}{2} = 35 + 20 + 31 + 10 = 96 \text{ mm}$$

$$c_{\text{tp}} = \frac{n_{\text{rad}1} \cdot c_1 + n_{\text{rad}2} \cdot c_2 + n_{\text{rad}3} \cdot c_3}{n_{\text{tot}}} = \frac{5 \cdot 45 + 2 \cdot 96}{7} = 59,6 \text{ mm} = 0,060 \text{ m}$$

$$d(\text{nytt}) = h - c_{\text{tp}} = 0,85 - 0,060 \approx 0,79 \text{ m}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{600 \cdot 10^3}{0,300 \cdot 0,79^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6} = 0,241 > m_{\text{bal}} = 0,371$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,241} \approx 0,28$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,28 \cdot \frac{13,3 \cdot 10^6 \cdot 0,30 \cdot 0,79}{435 \cdot 10^6} = 2029 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\emptyset 20} = \frac{2029}{314} = 6,46 \text{ st}$$

Svar: Välj 5+2 $\emptyset 20$ i två lager

Övning 13

Materialegenskaper

Betong C35/45 ($f_{cd} = 23,3 \text{ MPa}$)

Dragarmering $\emptyset 20$ K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{\text{sy}} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 20; 10); \text{ Välj } C_{\min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Avståndet till huvudarmering blir

$$C = 30 + \phi_{\text{byg}} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min,b}}; C_{\text{min,dur}}; 10\text{mm}\} = (25; 20; 10) \text{ välj } C_{\text{min}} = 25\text{mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm; Välj } C=40 \text{ m}$$

Antag 1 lager

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\phi}{2} = 40 + 12,5 = 52,5 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 850 - 52,5 = 797,5\text{mm} \approx 0,8\text{m}$$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\phi; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{25; 21 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 26 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$n \leq \frac{b_{\text{min}} - 2C + a}{\phi_{\text{huv}} + a} = \frac{400 - 2 \cdot 40 + 26}{25 + 26} = 6,8 \Rightarrow \text{välj max 6 st}$$

Bestämning av erforderlig armering

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{2} + P \cdot L = \frac{150 \cdot 1,8^2}{2} + 350 \cdot 1,8 = 873 \text{ kNm}$$

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{873 \cdot 10^3}{0,40 \cdot 0,8^2 \cdot 23,3 \cdot 10^6} = 0,147 < m_{\text{bal}} = 0,353$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,147} \approx 0,16$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,16 \cdot \frac{23,3 \cdot 10^6 \cdot 0,400 \cdot 0,8}{435 \cdot 10^6} = 2742 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\phi_{25}} = \frac{2742}{491} = 5,6 \text{ st}$$

$$\text{Välj: } 6\phi_{25} = 2950 \text{ mm}^2$$

Svar: Välj 6 ϕ_{25} i ett lager

Övning 14

Materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering ϕ_{12} K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\epsilon_s \geq \epsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

$$g_k = \text{Egentyngd plattan } 0,16 \cdot 25 = 4 + \text{Prmanent last } 10 = 14 \text{ kN/m}^2$$

Dimensionerande last

$$q_{Ed,6.10a} = 1,35 \cdot 0,91 \cdot 14 + 1,5 \cdot 0,91 \cdot 0,7 \cdot 15 = 31,53 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ed,6.10b} = 0,89 \cdot 1,35 \cdot 0,91 \cdot 14 + 1,5 \cdot 0,91 \cdot 15 = 35,78 \text{ kN/m}^2$$

$$\underline{\text{välj } q_d = 35,8 \text{ kN/m}^2}$$

$$R_A \cdot 4,88 - 35,8 \cdot 6,75 \cdot 3,225 = 0$$

$$\mathbf{R_A = 160 \text{ kN} \text{ och } R_B = 81,7 \text{ kN}}$$

Balk A

$$\text{Från plattan} = 160 \text{ k N/m}$$

$$\text{Egentyngd liv} = 0,46 \cdot 0,7 \cdot 25 = 8,05 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 160 + 8,05 = 168,05 \text{ kN/m}$$

Per meter platta:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{168,05 \cdot 8^2}{8} \approx 1344,4 \text{ kNm}$$

Balk B

$$\text{Från plattan} = 81,7 \text{ k N/m}$$

$$\text{Egentyngd liv} = 0,30 \cdot 0,7 \cdot 25 = 5,25 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 81,7 + 5,25 \approx 87 \text{ kN/m}$$

Per meter platta:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{87 \cdot 8^2}{8} \approx 696 \text{ kNm}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till huvudarmering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (35; 25; 10); \text{ Välj } C_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 35 + 10 = 35 \text{ mm}; \text{ Välj } \mathbf{C=45 \text{ m}}$$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{32; 16 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 32 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden Vid stöd A

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{\text{huv}} + a} = \frac{460 - 45 \cdot 2 + 32}{32 + 32} = 6,28 \text{ st väljmax 6 st}$$

Max antal armeringsstänger på bredden Vid stöd B

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{\text{huv}} + a} = \frac{300 - 45 \cdot 2 + 32}{32 + 32} = 3,78 \text{ st väljmax 3 st}$$

T-Balk A

$$b_w = 0,46 \text{ m}$$

$$b_{eff} = \frac{1}{10} \cdot 8 = 0,8 \text{ m}$$

$$b = b_w + 2 \cdot b_{eff}$$

$$b = 0,46 + 2 \cdot 0,8 = 2,06 \text{ m}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{tp} = 700 + 160 - 45 - 16 = 799 \text{ mm} \approx 0,8 \text{ m}$$

$$m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{1344,4 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,80^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,128 < m_{bal} = 0,353$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,128} \approx 0,137$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,137 \cdot \frac{16,7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,80}{435 \cdot 10^6} = 4208 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}, \text{ balk}$$

Antal stänger per meter balk

$$n = \frac{A_s}{\emptyset 32} = \frac{4208}{804} = 5,2 \text{ st} \Rightarrow \text{välj 6 } \emptyset 32 \text{ i en lager}$$

T-Balk B

$$b_w = 0,30 \text{ m}$$

$$b_{eff} = \frac{1}{10} \cdot 8 = 0,8 \text{ m}$$

$$b = b_w + b_{eff}$$

$$b = 0,30 + 0,8 = 1,1 \text{ m}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{tp} = 700 + 160 - 45 - 16 = 799 \text{ mm} \approx 0,8 \text{ m}$$

$$m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{696 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,80^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,065 < m_{bal} = 0,353$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,065} \approx 0,067$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,067 \cdot \frac{16,7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,80}{435 \cdot 10^6} = 2058 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}, \text{ balk}$$

Antal stänger per meter balk

$$n = \frac{A_s}{\emptyset 32} = \frac{2058}{804} = 2,55 \text{ st} \Rightarrow \text{välj 3 } \emptyset 32 \text{ i en lager}$$

Svar: Välj 6 $\emptyset 32$ vid balk A och 3 $\emptyset 32$ vid balk B

Övning 15

Materialegenskaper

Betong C16/20 $(f_{cd}=13,3 \text{ MPa})$

Dragarmering $\phi 12$ K500-CT $(f_{yd}=435 \text{ MPa})$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 20; 10); \text{ V\ddot{a}lj } C_{\min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Avståndet till huvudarmering blir

$$C = 30 + \phi_{\text{byg}} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (12; 20; 10) \text{ v\ddot{a}lj } C_{\min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}; \text{ V\ddot{a}lj } C = 40 \text{ mm}$$

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\phi}{2} = 40 + \frac{12}{2} = 46 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 400 - 46 = 354 \text{ mm}$$

Bestämning av erforderlig armering

$$m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{80 \cdot 10^3}{0,200 \cdot 0,354^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6} = 0,24 < m_{\text{bal}} = 0,371$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,24} \approx 0,28$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,28 \cdot \frac{13,3 \cdot 10^6 \cdot 0,20 \cdot 0,354}{435 \cdot 10^6} = 606 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\phi 12} = \frac{606}{113} = 5,3 \text{ st}$$

$$\text{V\ddot{a}lj: } 6\phi 12 = 679 \text{ mm}^2$$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{12; 32 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 32 + 5 = 37 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{huv} + a} = \frac{200 - 40 \cdot 2 + 37}{12 + 37} = 3,2 \text{ st}$$

Bestämning av tyngdpunkten i armeringsgrupper

$$c_1 = c + \frac{\emptyset_{huv}}{2} = 40 + 6 = 46 \text{ mm}$$

$$c_2 = c + \emptyset_{huv} + a + \frac{\emptyset_{huv}}{2} = 40 + 12 + 37 + 6 = 95 \text{ mm}$$

$$c_{tp} = \frac{n_{rad1} \cdot c_1 + n_{rad2} \cdot c_2 + n_{rad3} \cdot c_3}{n_{tot}} = \frac{3 \cdot 46 + 3 \cdot 95}{6} = 70,5 \text{ mm} = 0,071\text{m}$$

$$d(\text{nytt}) = h - c_{tp} = 0,400 - 0,071 = 0,33\text{m}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{80 \cdot 10^3}{0,200 \cdot 0,33^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6} = 0,276 > m_{bal} = 0,371$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,276} \approx 0,33$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,33 \cdot \frac{13,3 \cdot 10^6 \cdot 0,20 \cdot 0,33}{435 \cdot 10^6} = 666 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\emptyset_{12}} = \frac{666}{113} = 5,9 \text{ st}$$

Svar: Välj 3+3 \emptyset_{12} i två lager

Övning 16

Materialegenskaper

Betong C16/20 ($f_{cd}=10,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd}=435 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

$$C = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Effektiv balkhöjd blir

$$d = h - c - \frac{\emptyset_{huv}}{2} = 0,160 - 0,025 - 0,006 = 0,129 \text{ m}$$

Grundekvationerna ger följande

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{A_s \cdot 435 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 10,7 \cdot 10^6 \cdot 1,0} = 50,9A_s$$

vilket insatt i följande grundekvation blir

$$M_{Ed} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4x)$$

$$A_s = \frac{0,129}{40,8} \pm \sqrt{\left(\frac{0,129}{40,8}\right)^2 - \frac{31,5 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 435 \cdot 10^6}} = 3162 \cdot 10^6 \pm 2539 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$A_s = 623 \text{ m}^2/\text{m}$$

Huvudarmeringen $\emptyset 12$

$$n = \frac{A_s}{\emptyset} = \frac{623}{113} = 5,51 \text{ st per meter}$$

Detta ger centrumavståndet mellan stängerna

$$s = \frac{1000}{5,51} = 181 \text{ mm}$$

Svar: Välj armering $\emptyset 12$ med $s = 180 \text{ mm}$.

Övning 17

Materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering $\emptyset 12$ K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till huvudarmering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = 12; 25; 10); \text{Välj } C_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}; \text{Välj } C = 35 \text{ m}$$

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\emptyset}{2} = 35 + 6 = 41 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 190 - 41 = 149 \text{ mm}$$

$$q_{Ed,6.10a} = 1,35 \cdot 0,91 \cdot 25 \cdot 0,19 + 1,5 \cdot 0,91 \cdot 0,7 \cdot 4 = 9,66 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ed,6.10b} = 0,89 \cdot 1,35 \cdot 0,91 \cdot 25 \cdot 0,19 + 1,5 \cdot 0,91 \cdot 4 = 10,65 \text{ kN/m}^2$$

Per meter platta:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{10,65 \cdot 6^2}{8} \approx 47,9 \text{ kNm}$$

$$m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{47,9 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,149^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,129 < m_{bal} = 0,353 \text{ (underarmerat)}$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,129} \approx 0,139$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,139 \cdot \frac{16,7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,149}{435 \cdot 10^6} = 795 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{m}, \text{ balk}$$

Antal stänger per meter balk

$$n = \frac{A_s}{\emptyset 12} = \frac{795}{113} = 7 \text{ st}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{7} = 143 \text{ mm}$$

Svar: Välj $\emptyset 12$ s 140

Övning 18

Materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{cd}=16,7$ MPa)

Dragarmering Ks600S ($f_{yd}=522$ MPa)

$$m_{bal} = 0,353, \omega_{bal} = 0,458$$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

$$C = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{tp} = 220 - 35 - 8 = 177 \text{ mm}$$

Per meter platta:

$$M_{Rd} = m_{bal} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,353 \cdot 1 \cdot 0,177^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 184,7 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

$$q_d = \frac{M_{Rd} \cdot 8}{l^2} = \frac{184,7 \cdot 10^3 \cdot 8}{4,5^2} = 73 \text{ kNm/m}$$

$$A_s = \omega_{bal} \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,458 \cdot \frac{16,7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,177}{522 \cdot 10^6} = 2593 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{m}$$

Antal stänger per meter balk

$$n = \frac{A_s}{\emptyset 16} = \frac{2593}{201} = 12,9 \text{ st}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{12,9} = 77,5 \text{ mm}$$

Svar: Armering $\varnothing 16$ s 75.

$$q_d = 73 \text{ kNm/m}$$

Övning 19

Lösning

Materialegenskaper

Betong C35/45 ($f_{cd} = 23,3 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

Bestämning av täckande betongskikt

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$$

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min},b}; C_{\text{min},\text{dur}}; 10\text{mm}\} = (12; 25; 10) \text{ välj } C_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10 = 35 \text{ mm};$$

Eller

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min},b}; C_{\text{min},\text{dur}}; 10\text{mm}\} = (8; 25; 10) \text{ välj } C_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10 = 35 + 8 = 43 \text{ mm}; \text{ välj } C = 45 \text{ mm}$$

$$\text{Välj } C = 45 \text{ mm}$$

$$d = 300 - 45 = 255 \text{ mm}$$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\varnothing; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{12; 21 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ Välj } a = 26 \text{ mm}$$

Per meter platta:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot L^2}{2 \cdot 3} = \frac{30 \cdot 4^2}{6} = 80 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = F + \text{murens egentyngd} = 120 + \left(\frac{0,2 + 0,3}{2}\right) \cdot 4 \cdot 24 = 144 \text{ kN}$$

Excentriciteten till dragarmering (e_s) blir

$$e_s = 0,100 - 0,045 = 0,055 \text{ m}$$

$$e_0 = \max\left(\frac{h}{30} = \frac{300}{30} = 10 \text{ mm}, 20 \text{ mm}\right) \text{ välj } 20 \text{ mm}$$

$$M_s = M_{Ed} + N_{Ed}(e_s + e_0) = 80 + 144(0,055 + 0,020) \approx 91 \text{ kNm}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{91 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,255^2 \cdot 23,3 \cdot 10^6} = 0,06 < m_{bal} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs ej

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,06} = 0,062$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} - N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,062 \cdot 1 \cdot 0,255 \cdot 23,3 \cdot 10^6 - 144 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 516 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal stänger per meter balk

$$n = \frac{A_s}{A_{\emptyset 12}} = \frac{516}{113} = 4,55 \text{ st}$$

$$\text{välj } 5 \emptyset 12 = 566 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Svar: Välj $\emptyset 12$ s 200

Övning 20

Materialegenskaper

Betong C25/30 $(f_{cd}=16,7 \text{ MPa})$

Dragarmering $\emptyset 25$ K500-CT $(f_{yd}=435 \text{ MPa})$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Dimensionerande last

$$q_{Ed,6.10a} = 1,35 \cdot 1 \cdot 0,35 \cdot 0,75 \cdot 25 + 1 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 45 = 56,11 \text{ kN/m}$$

$$q_{Ed,6.10b} = 0,89 \cdot 1,35 \cdot 0,35 \cdot 0,75 \cdot 25 + 1 \cdot 1,5 \cdot 45 = 75,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{välj } q_d = 75,4 \text{ kN/m}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 20; 10); C_{\min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (32; 20; 10); C_{\min} = 32 \text{ mm}$$

$$C = 32 + 10 + \emptyset_{\text{byg}} = 32 + 10 + 8 = 50 \text{ mm, Välj } C = 50 \text{ mm}$$

$$c_{tp} = c + \frac{\emptyset}{2} = 50 + \frac{32}{2} = 66 \text{ mm}$$

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{tp} = 750 - 66 = 684 \text{ mm}$$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{12; 16 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ V\ddot{a}lj } a = 21 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden i underkant

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{huv} + a} = \frac{350 - 50 \cdot 2 + 21}{32 + 21} = 6,8 \text{ st}$$

$$A_s = \omega_{bal} \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,493 \cdot \frac{16,7 \cdot 10^6 \cdot 0,350 \cdot 0,684}{435 \cdot 10^6} = 4531 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\emptyset 32} = \frac{4531}{804} = 5,6 \text{ st}$$

$$\text{V\ddot{a}lj: } 6\emptyset 32 = 2824 \text{ mm}^2$$

$$M_{Rd} = m_{bal} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,372 \cdot 0,35 \cdot 0,684^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 1017 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

$$l = \sqrt{\frac{M_{Rd} \cdot 8}{q}} = \sqrt{\frac{1017 \cdot 10^3 \cdot 8}{75,4 \cdot 10^3}} = 10,4 \text{ m}$$

Svar: L=10,4m, armering 6 Ø 32

Övning 21 (dubbelarmerat)

Materialegenskaper

Betong C20/25 (f_{cd}=13,3 MPa)

Dragarmering Ø12 K500-CT (f_{yd}=435 MPa)

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 40; 10); \text{ V\ddot{a}lj } C_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 40 + 10 = 50 \text{ mm}$$

Avståndet till underkant längsgående armering

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (32; 40; 10); \text{ V\ddot{a}lj } C_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 40 + 10 = 50 \text{ mm};$$

$$C = 50 + \phi_{\text{byg}} = 50 + 8 = 58 \text{ mm, V\ddot{a}lj C = 60 mm}$$

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\phi}{2} = 60 + \frac{32}{2} = 76 \text{ mm}$$

Effektivh\u00f6jden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 820 - 76 = 724 \text{ mm}$$

Best\u00e4mning av erforderlig armering

$$m = \frac{M_{\text{Ed}}}{bd^2 f_{\text{cd}}} = \frac{520 \cdot 10^3}{0,340 \cdot 0,724^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6} = 0,219 < m_{\text{bal}} = 0,353$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,219} \approx 0,250$$

$$A_s = \omega \frac{f_{\text{cd}} \cdot b \cdot d}{f_{\text{yd}}} = 0,250 \cdot \frac{13,3 \cdot 10^6 \cdot 0,340 \cdot 0,724}{435 \cdot 10^6} = 1881 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\phi 32} = \frac{1881}{804} = 2,3 \text{ st}$$

$$\text{V\u00e4lj: } 3\phi 32 = 2410 \text{ mm}^2$$

Max antal armeringsst\u00e4nger p\u00e5 bredden i underkant

$$n \leq \frac{b_{\text{min}} - 2C + a}{\phi_{\text{huv}} + a} = \frac{340 - 60 \cdot 2 + 37}{32 + 37} = 3,7 \text{ st}$$

Max antal armeringsst\u00e4nger p\u00e5 bredden i \u00f6verkant

$$n \leq \frac{b_{\text{min}} - 2C + a}{\phi_{\text{huv}} + a} = \frac{340 - 60 \cdot 2 + 37}{25 + 37} = 4,15 \text{ st}$$

V\u00e4lj 3 \phi 32 i en lager

b) Antog 2 fulla lager \phi 32

$$c_{\text{tp}} = c + \phi_{\text{huv}} + \frac{a}{2} = 60 + 32 + 0,5 \cdot 37 = 110,5 \text{ mm} \approx 0,111 \text{ m}$$

Effektivh\u00f6jden blir

$$d = h - c_{\text{tp}} = 0,80 - 0,111 = 0,709 \text{ m}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_{\text{Ed}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1100 \cdot 10^3}{0,34 \cdot 0,709^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6} = 0,484 > m_{\text{bal}} = 0,371$$

Dubbelarmering beh\u00f6vs!

Enkelarmerat (del 1) klarar balken.

$$M_1 = m_{\text{bal}} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}} = 0,371 \cdot 0,34 \cdot 0,709^2 \cdot 13,3 \cdot 10^6 = 843 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M - M_1 = 1100 - 843 = 257 \text{ kNm}$$

Och kräver armeringen

$$A_{s1} = \omega_{bal} \frac{\omega_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = \frac{0,493 \cdot 13,3 \cdot 10^6 \cdot 0,34 \cdot 0,709}{435 \cdot 10^6} = 3634 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{257 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot (0,709 - 0,073)} = 929 \cdot 10^{-6} m^2$$

Total armeringsarea i underkant blir:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = (3634 + 929) \cdot 10^{-6} = 4563 \cdot 10^{-6} m^2$$

Total armeringsarea i överkant blir:

$$A'_s = A_{s2} = 929 \cdot 10^{-6} m^2$$

Antal armeringsstänger i underkant blir

$$n = \frac{A_s}{A_{\emptyset 32}} = \frac{4563}{804} = 5,6 \text{ st}$$

$$\text{välj } 6 \emptyset 32 = 4825 \cdot 10^{-6} m^2$$

Antal armeringsstänger i överkant blir

$$n = \frac{A'_s}{A_{\emptyset 25}} = \frac{929}{491} = 1,89 \text{ st} \quad \text{välj } 2 \emptyset 25 = 982 \cdot 10^{-6} m^2$$

Slutligen kontrollera stålspänningen σ'_s .

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{cu} \left(1 - \frac{0,8d'}{d \cdot \omega_{bal}} \right) = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,80 \cdot 0,073}{0,709 \cdot 0,493} \right) = 2,92 \cdot 10^{-3} > \varepsilon_{sy} (2,17 \cdot 10^{-3})$$

Varav

$$\sigma'_s = E_s \cdot \varepsilon'_s = 200 \cdot 10^9 \cdot 2,92 \cdot 10^{-3} = 584 \text{ MPa} > f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

d.v.s. tryckarmering uppnår flytspänning

Svar:

Välj 3 $\emptyset 32$ i en lager

Balken armeras med 2 $\emptyset 25$ i överkant och 3 + 3 $\emptyset 32$ i underkant

Övning 22

Materialegenskaper

Betong C35/45 ($f_{cd}=23,3$ MPa)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd}=435$ MPa)

Bestämning av täckande betongskikt

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (25; 25; 10) \text{ välj } C_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10(\text{avvikelse}) = 35 \text{ mm;}$$

Eller

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 25; 10) \text{ välj } C_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10 = 35 + 8 = 43 \text{ mm; välj } C = 45 \text{ mm}$$

$$\text{Välj } C = 45 \text{ mm}$$

$$\text{Välj } d' = 43 + 10 = 53 \text{ mm}$$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{25; 21 + 5; 20\text{mm}\}; \text{Välj } a = 26 \text{ mm}$$

Max antal armeringsstänger på bredden i underkant

$$n = \frac{b_{min} - 2C + a}{\emptyset_{huv} + a} = \frac{300 - 90 + 26}{25 + 26} = \frac{216}{46} = 4,6 \text{ st} \Rightarrow \text{Välj max 4 st}$$

Max antal armeringsstänger på bredden i överkant

$$n = \frac{b_{min} - 2C + a}{\emptyset_{huv} + a} = \frac{300 - 86 + 26}{20 + 26} = 5,2 = 5 \text{ st}$$

Antog 2 fulla lager $\phi 25$

$$c_{tp} = c + \emptyset_{huv} + 0,5a = 45 + 25 + 0,5 \cdot 26 = 83 = 0,083 \text{ m}$$

Effektivhöjden blir

$$d = h - c_{tp} = 0,650 - 0,083 \approx 0,57 \text{ m}$$

Överslagsräkning

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{0,9d \cdot f_{yd}} = \frac{870 \cdot 10^3}{0,513 \cdot 435 \cdot 10^6} = 3898 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \Rightarrow 8 \phi 25 = 3930 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{870 \cdot 10^3}{0,30 \cdot 0,57^2 \cdot 23,3 \cdot 10^6} = 0,383 > m_{bal} = 0,371$$

Balken bör dubbelarmeras!

Enkelarmerat (del 1) klarar balken

$$M_1 = m_{bal} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,371 \cdot 0,30 \cdot 0,57^2 \cdot 23,3 \cdot 10^6 = 843 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M - M_1 = 870 - 843 = 27 \text{ kNm}$$

Och kräver armeringen

$$A_{s1} = \omega_{bal} \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = 0,493 \cdot \frac{23,3 \cdot 10^6 \cdot 0,30 \cdot 0,57}{435 \cdot 10^6} = 4516 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{27 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot (0,57 - 0,053)} = 120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i underkant blir:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = (4516 + 120) \cdot 10^{-6} = 4636 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i överkant blir:

$$A'_s = A_{s2} = 120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal armeringsstänger i underkant blir:

$$n = \frac{A_s}{\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} = \frac{4636}{491} = 9,44 \text{ st}$$

Välj 10 $\phi 25$

Antal armeringsstänger i överkant blir:

$$n = \frac{A'_s}{\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} = \frac{120}{314} = 0,38 \text{ st}$$

Välj 1 $\phi 20$

Antog 3 fulla lager $\phi 25$

$$c_1 = c + \frac{\phi_{huv}}{2} = 45 + 12,5 = 57,5$$

$$c_2 = c + \phi_{huv} + a + \frac{\phi_{huv}}{2} = 57,5 + 25 + 26 = 108,5$$

$$c_3 = 108,5 + 25 + 26 = 159,5$$

$$c_{tp,n} = \frac{n_{r1} \cdot c_1 + n_{r2} \cdot c_2 + n_{r3} \cdot c_3}{n_{tot}} = \frac{4 \cdot 57,5 + 4 \cdot 108,5 + 4 \cdot 159,5}{12} = 108,5 \text{ mm}$$

$$d_n = h - c_{tp} = 0,650 - 0,1085 = 0,542$$

$$\frac{d}{d_n} = \frac{0,57}{0,542} = 1,052 \text{ ej ok!}$$

Räkna om med nytt (d)

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{870 \cdot 10^3}{0,300 \cdot 0,542^2 \cdot 23,3 \cdot 10^6} = 0,42 > m_{bal} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs!

$$M_1 = m_{bal} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,371 \cdot 0,300 \cdot 0,542^2 \cdot 23,3 \cdot 10^6 = 761 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M - M_1 = 870 - 761 = 109 \text{ kNm}$$

Och kräver armeringen

$$A_{s1} = \frac{\omega_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = \frac{0,493 \cdot 23,3 \cdot 10^6 \cdot 0,300 \cdot 0,542}{435 \cdot 10^6} = 4293 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{109 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot (0,542 - 0,053)} = 512 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i underkant blir:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = (4293 + 512) \cdot 10^{-6} = 4805 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal armeringsstänger i underkant blir:

$$n = \frac{A_s}{\phi_{25}} = \frac{4293}{491} = 9,8 \text{ st} \Rightarrow \text{Välj } 10 \phi_{25}$$

Antal armeringsstänger i överkant blir:

$$n = \frac{A'_s}{\phi_{20}} = \frac{512}{314} = 1,63 \text{ st} \Rightarrow 2 \phi_{20}$$

Slutligen kontrollera stålspänningen (σ'_s). Tryckarmeringens stukning blir

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu} \left(1 - \frac{0,8d'}{\omega_{bal}d} \right) = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,80 \cdot 0,053}{0,493 \cdot 0,552} \right) = 2,95 \cdot 10^{-3} > \epsilon_{sy} (2,17 \cdot 10^{-3})$$

$$\sigma'_s = E_s \cdot \epsilon'_s = 200 \cdot 10^9 \cdot 2,95 \cdot 10^{-3} = 591 \text{ MPa} > f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

d.v.s. tryckarmering uppnår flytspänning

Svar: Balken armeras med 2 ϕ_{20} i överkant och 10 ϕ_{25} i underkant

Övning 23

Lösning

Materialegenskaper

Betong C16/20 ($f_{cd}=10,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering Ks600S ($f_{yd}=522 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\epsilon_s \geq \epsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 10; 10); \text{Välj } C_{min} = 10 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

Avståndet till huvudarmering blir

$$C = 22 + \phi_{\text{byg}} = 20 + 8 = 28 \text{ mm, V\ddot{a}lj } C = 30 \text{ mm}$$

Avst\dd{a}ndet till underkant l\dd{a}ngsg\dd{a}ende armering

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min,b}}; C_{\text{min,dur}}; 10\text{mm}\} = (16; 10; 10) \text{ v\dd{a}lj } C_{\text{min}} = 16 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 16 + 10 = 26 \text{ mm;}$$

V\dd{a}lj } C = 30 mm

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\phi}{2} = 30 + \frac{16}{2} = 38 \text{ mm}$$

Antog 2 fulla lager } \phi 16

$$c_{\text{tp}} = c + \phi_{\text{huv}} + \frac{a}{2} = 30 + 16 + 0,5 \cdot 37 = 64,5\text{mm} \approx 0,065\text{m}$$

Effektivh\dd{ö}jden blir

$$d = h - c_{\text{tp}} = 0,40 - 0,065 = 0,335 \text{ m}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{155 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 0,335^2 \cdot 10,7 \cdot 10^6} = 0,587 > m_{\text{bal}} = 0,371$$

Dubbelarmering beh\dd{o}vs!

Enkelarmerat (del 1) klarar balken.

$$M_1 = m_{\text{bal}} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,371 \cdot 0,22 \cdot 0,335^2 \cdot 10,7 \cdot 10^6 = 98 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M - M_1 = 155 - 98 = 57 \text{ kNm}$$

Och kr\dd{a}ver armeringen

$$A_{s1} = \frac{\omega_{\text{bal}} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = \frac{0,493 \cdot 10,7 \cdot 10^6 \cdot 0,22 \cdot 0,335}{522 \cdot 10^6} \approx 745 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$d' = C + \frac{\phi_{\text{huv}}}{2} = 28 + 0,5 \cdot 12 = 34 \text{ mm} = 0,034 \text{ m}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{57 \cdot 10^3}{522 \cdot 10^6 \cdot (0,335 - 0,034)} = 363 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i underkant blir:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = (745 + 363) \cdot 10^{-6} = 1108 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i \dd{o}verkant blir:

$$A'_s = A_{s2} = 363 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal armeringsst\dd{a}nger i underkant blir

$$n = \frac{A_s}{A_{\phi 16}} = \frac{1108}{201} = 5,5 \text{ st}$$

$$\text{välj } 6 \text{ } \emptyset 16 = 1206 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal armeringsstänger i överkant blir

$$n = \frac{A'_s}{A_{\emptyset 25}} = \frac{363}{113} = 3,2 \text{ st} \quad \text{välj } 4 \text{ } \emptyset 12 = 452 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Max antal armeringsstänger på bredden i underkant

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{\text{huv}} + a} = \frac{220 - 30 \cdot 2 + 37}{16 + 37} = 3,7 \text{ st}$$

Max antal armeringsstänger på bredden i överkant

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2C + a}{\emptyset_{\text{huv}} + a} = \frac{220 - 28 \cdot 2 + 37}{12 + 37} = 4,1 \text{ st}$$

Slutligen kontrollera stålspanningen σ'_s .

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{cu} \left(1 - \frac{0,8d'}{d \cdot \omega_{bal}} \right) = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,80 \cdot 0,034}{0,335 \cdot 0,493} \right) = 2,92 \cdot 10^{-3} > \varepsilon_{sy} (2,17 \cdot 10^{-3})$$

Varav

$$\sigma'_s = E_s \cdot \varepsilon'_s = 200 \cdot 10^9 \cdot 2,93 \cdot 10^{-3} = 584 \text{ MPa} > f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

d.v.s. tryckarmering uppnår flytspänning

Svar: Balken armeras med 3 + 3 $\emptyset 16$ i överkant och 4 $\emptyset 20$ i underkant

Övning 24

Materialgenskaper

Betong C25/30 $(f_{cd}=16,7 \text{ MPa})$

Armering K500-CT $(f_{yd}=435 \text{ MPa})$

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT

$\omega_{bal} = 0,493$ och

$m_{bal} = 0,371$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till huvudarmering $\emptyset 20$

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$$

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min},b}; C_{\text{min},dur}; 10\text{mm}\} = (20; 25; 10) \text{ välj } C_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10(\text{avvikelse}) = 35 \text{ mm}$$

Avståndet underkant till bygel $\emptyset 8$

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$$

$$C_{\text{min}} = \max\{C_{\text{min},b}; C_{\text{min},dur}; 10\text{mm}\} = (8; 25; 10) \text{ välj } C_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10(\text{avvikelse}) = 35 \text{ mm}$$

Välj C_{nom} för bygel + Bygeldiameter

$$C = 35 + 8 = 43 \text{ mm}$$

Välj distanselement vid dragarmering $C=45$ (avrunda C_{nom})

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{32; 20 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 32 + 5 = 37 \text{ mm}$$

Antog 2 fulla lager $\phi 20$

$$c_{tp} = c + \emptyset_{\text{huv}} + \frac{a}{2} = 45 + 20 + 0,5 \cdot 37 = 83,5 \approx 0,084 \text{ m}$$

Effektivhöjden blir

$$d = h - c_{tp} = 0,6 - 0,084 = 0,516 \text{ m}$$

$$d' = C + \frac{\emptyset_{\text{huv}}}{2} = 43 + 0,5 \cdot 16 = 41\text{mm} = 0,051\text{m} \text{ (Inga distanselement i överkant)}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{620 \cdot 10^3}{0,32 \cdot 0,516^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,436 > m_{\text{bal}} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs!

Enkelarmerat (del 1) klarar balken.

$$M_1 = m_{\text{bal}} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,371 \cdot 0,32 \cdot 0,516^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 528 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M - M_1 = 620 - 528 = 92 \text{ kNm}$$

Och kräver armeringen

$$A_{s1} = \omega_{\text{bal}} \frac{\omega_{\text{bal}} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = \frac{0,493 \cdot 16,7 \cdot 10^6 \cdot 0,32 \cdot 0,516}{435 \cdot 10^6} = 3125 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{92 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot (0,518 - 0,051)} = 455 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i underkant blir:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = (3125 + 455) \cdot 10^{-6} = 3580 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i överkant blir:

$$A'_s = A_{s2} = 455 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal armeringsstänger i underkant blir

$$n = \frac{A_s}{A_{\emptyset 20}} = \frac{3580}{314} = 11,4 \text{ st}$$

$$\text{välj } 12 \emptyset 20 = 3770 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal armeringsstänger i överkant blir

$$n = \frac{A'_s}{A_{\phi 16}} = \frac{455}{201} = 2,26 \text{ st} \quad \text{välj } 3 \phi 16 = 603 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$b_{\min} \geq a(n-1) + 2c + n \cdot \phi_{huv}$$

$$320 \geq 37 \cdot (n-1) + 2 \cdot 45 + n \cdot 20$$

$$n \leq \frac{b_{\min} + 2c - a}{\phi_{huv} + a} = \frac{320 + 90 - 37}{20 + 37} = \frac{267}{57} = 4,68 \text{ st}$$

3 fulla lager, d.v.s. 4 $\phi 20$ i varje.

$$c_{tp,nytt} = c + \phi_{huv} + a + \frac{\phi}{2} = 45 + 20 + 37 + 10 = 112 = 0,112 \text{ m}$$

$$d_n = 0,6 - 0,112 = 0,488 \text{ m}$$

$$\frac{d}{d_n} = \frac{0,518}{0,488} = 1,057 \text{ ej ok!}$$

Räkna om med nytt (d)

$$m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{620 \cdot 10^3}{0,32 \cdot 0,488^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,487 > m_{bal} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs!

$$M_1 = m_{bal} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,371 \cdot 0,32 \cdot 0,488^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 472 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M - M_1 = 620 - 472 = 148 \text{ kNm}$$

Och kräver armeringen

$$A_{s1} = \frac{\omega_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = \frac{0,493 \cdot 16,7 \cdot 10^6 \cdot 0,32 \cdot 0,488}{435 \cdot 10^6} = 2956 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{148 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot (0,488 - 0,051)} = 779 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i underkant blir:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = (2956 + 779) \cdot 10^{-6} = 3735 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (12 \phi 20 = 3770 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ ok})$$

Total armeringsarea i överkant blir:

$$A'_s = A_{s2} = 779 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (4 \phi 16 = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2) \text{ ok}$$

Slutligen kontrollera stålspänningen (σ'_s). Tryckarmeringens stukning blir

$$\begin{aligned} \epsilon'_s &= \epsilon_{cu} \left(1 - \frac{0,8d'}{d\omega_{bal}} \right) = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,80 \cdot 0,051}{0,493 \cdot 0,488} \right) = 2,91 \cdot 10^{-3} \\ &> \epsilon_{sy} (2,17 \cdot 10^{-3}) \end{aligned}$$

Varav

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s = 200 \cdot 10^9 \cdot 2,91 \cdot 10^{-3} = 581 \text{ MPa} > f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

d.v.s. tryckarmering uppnår flytspänning

Svar: Balken armeras med 4 Ø16 i överkant och 12 Ø20 i underkant (4+4+4)

Övning 25

Materialegenskaper

Betong C35/30 $(f_{cd}=16,7 \text{ MPa})$

Dragarmering KS600ST $(f_{yd}=522 \text{ MPa})$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,458$ och $m_{bal} = 0,353$

Antag att armeringen flyter dvs.

$$\epsilon_s \geq \epsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min,uk} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (16; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 16 \text{ mm}$$

$$C_{uk} = 16 + 10(\text{avvikelse}) = 26 \text{ mm välj } C = 30 \text{ mm}$$

$$C_{min,ök} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (16; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 16 \text{ mm}$$

$$C_{ök} = 16 + 10(\text{avvikelse}) = 26 \text{ mm, Välj } C = 30 \text{ mm}$$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{16; 16 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 16 + 5 = 21 \text{ mm}$$

Effektivhöjden för dragarmering d blir

$$C_{tp} = C_{uk} + \emptyset_{huv} + 0,5a = 30 + 16 + 0,5 \cdot 21 = 56,5 \text{ mm}$$

$$d = h - C_{tp} = 450 - 56,5 = 393,5 \text{ mm}$$

Effektivhöjden för tryckarmering d blir

$$d' = C_{ök} + \frac{\emptyset_{huv}}{2} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

Armeringsdelen blir

$$A_s = 10 \cdot 201 = 2010 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 5 \cdot 201 = 1005 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2} = 2010 \cdot 10^{-6} - 1005 \cdot 10^{-6} = 1005 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$$

$$M_2 = f_{yd} \cdot A_{s1} (d - d') = 522 \cdot 10^6 \cdot 1005 \cdot 10^{-6} (0,3935 - 0,038) = 186,5 \text{ kNm}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{1005 \cdot 10^{-6} \cdot 522 \cdot 10^6}{0,25 \cdot 0,3934 \cdot 16,7 \cdot 10^6} = 0,319 < \omega_{bal} = 0,458$$

$$m = \omega \left[1 - \frac{\omega}{2} \right] = 0,319 \cdot \left[1 - \frac{0,319}{2} \right] = 0,268 < m_{bal} = 0,353$$

$$M_1 = m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,268 \cdot 0,25 \cdot 0,3935^2 \cdot 16,7 \cdot 10^6 = 172,3 \text{ kNm}$$

$$M = M_1 + M_2 = 172,3 + 186,5 = 358,8 \text{ kNm}$$

Tryckarmeringens spänning kontrolleras enligt

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \left(1 - \frac{0,8d}{\omega d} \right) = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,80 \cdot 0,038}{0,319 \cdot 0,3935} \right) = 3,63 \cdot 10^{-3} > \varepsilon_{sy} (2,61 \cdot 10^{-3})$$

Svar: $M_{Rd} = 358,8 \text{ kNm}$

Övning 26

Materialegenskaper

Betong C30/37 ($f_{cd} = 20 \text{ Mpa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ Mpa}$)

$$A_s = 4 \cdot 314 = 1257 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2 \cdot 201 = 402 \text{ mm}^2$$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Antag att armeringen flyter dvs.

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min,uk} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (20; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{uk} = 20 + 10(\text{avvikelse}) = 30 \text{ mm}$$

$$C_{min,ök} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (16; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 16 \text{ mm}$$

$$C_{ök} = 16 + 10(\text{avvikelse}) = 26 \text{ mm välj } C = 30 \text{ mm}$$

Effektivhöjden för dragarmering d blir

$$d = h - C_{uk} - \frac{\phi_{huv}}{2} = 500 - 30 - 10 = 460 \text{ mm}$$

Effektivhöjden för tryckarmering d' blir

$$d' = C_{ök} + \frac{\phi_{huv}}{2} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_s' = A_s$$

$$M_2 = f_{yd} \cdot A_s' (d - d') = 435 \cdot 10^6 \cdot 402 \cdot 10^{-6} (0,46 - 0,038) = 75,2 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{75,2 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 (0,46 - 0,030)} = 402 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$$

Armeringsdelen

$$A_{s1} = (1257 - 402) \cdot 10^{-6} = 855 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{855 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,25 \cdot 0,46 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,162 < \omega_{bal} = 0,493$$

Trots tryckarmeringen är tvärsnittet alltså underarmerat. Relativa moment blir;

$$m_1 = \omega \cdot \left[1 - \frac{\omega}{2}\right] = 0,162 \cdot \left[1 - \frac{0,162}{2}\right] = 0,145 < m_{bal} = 0,37$$

sedan erhålls

$$M_1 = m_1 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,145 \cdot 0,25 \cdot 0,46^2 \cdot 20 \cdot 10^6 = 153,4 \text{ kNm}$$

Och totala momentkapaciteten blir.

$$M_{Rd} = M_1 + M_2 = 153,4 + 75,2 = 228,6 \text{ kNm}$$

En kontroll av σ_s

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \left(1 - \frac{0,8d'}{\omega d}\right) = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,8 \cdot 0,025}{0,135 \cdot 0,46}\right) = 2,37 \cdot 10^{-3} > \varepsilon_{sy} (2,17 \cdot 10^{-3})$$

Varav

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s = 200 \cdot 10^9 \cdot 2,37 \cdot 10^{-3} = 474,6 \text{ MPa} > f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

Svar: $M_{Rd} = 228,6 \text{ kNm}$

Övning 27

Materialegenskaper

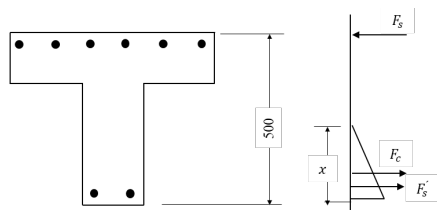
Betong C25/30 ($f_{cd}=16,7 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd}=435 \text{ MPa}$)

$E_s = 200 \text{ GPa}$

Antar att armeringen flyter, dvs.

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{syd} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$



$$F_s = F'_s + F_c$$

$$f_{yd} \cdot A_s = f_{yd} \cdot A'_s + f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,8x$$

$$435 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 201 \cdot 10^{-6} - 435 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 201 \cdot 10^{-6} - 16,7 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot x = 0$$

$$x = \frac{435 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 201 \cdot 10^{-6} - 435 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 201 \cdot 10^{-6}}{16,7 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,8} = 0,13 \text{ m}$$

Ståltöjningar:

$$\varepsilon_s = \frac{x - d'}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{0,13 - 0,05}{0,05} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = 5,6 \cdot 10^{-3} < \varepsilon_{sy} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - x}{x} \varepsilon_{cu} = \frac{0,4 - 0,13}{0,13} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = 7,27 \cdot 10^{-3} > \varepsilon_{sy} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{Rd} = F_s'(d - d') + F_c(d - 0,8x)$$

$$M_{Rd} = f_{yd} \cdot A_s' (d - d') + f_{cd} \cdot b \cdot 0,8x(d - 0,4x)$$

$$M_{Rd} = 435 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 201 \cdot 10^{-6} (0,4 - 0,05) + 16,7 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,13(0,4 - 0,052) \\ = 182 \text{ kNm}$$

Moment av q_d vid B:

$$M_{Rd} = \frac{q_d \cdot l^2}{2} \Rightarrow q_d = \frac{M_{Rd} \cdot 2}{l^2} = \frac{182 \cdot 2}{2,3^2} = 68,8 \text{ kN/m}$$

Svar: $q_d = 68,8 \text{ kN/m}$

Övning 28

Materialegenskaper

Betong C30/37 ($f_{cd}=20 \text{ MPa}$)

Armering K500-CT ($f_{yd}=435 \text{ MPa}$)

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till huvudarmering $\phi 20$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (20; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Avståndet underkant till bygel $\phi 8$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 10 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

Välj C_{nom} för bygel + Bygeldiameter

$$C_{\text{nom}} = 20 + 8 = 28 \text{ mm}$$

Välj $C = 30$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{20; 32 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 32 + 5 = 37 \text{ mm}$$

Antog 2 fulla lager $\phi 20$

$$c_{tp} = c + \emptyset_{huv} + \frac{a}{2} = 30 + 20 + 0,5 \cdot 37 = 68,5 \approx 0,069 \text{ m}$$

Effektivhöjden blir

$$d = h - c_{tp} = 0,600 - 0,069 = 0,531 \text{ m}$$

Excentriciteten till dragarmering (e_s) blir

$$e_s = d - 0,5h = 0,531 - 0,5 \cdot 0,600 = 0,231 \text{ m}$$

$$M_s = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot e_s = 400 - 200 \cdot 0,231 \approx 354 \text{ kNm}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{354 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 0,531^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,174 < m_{bal} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs ej (underarmerat tvärsnitt)

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,174} = 0,193$$

Vi har F_s och $N = \text{dragkraft}(+)$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,193 \cdot 0,36 \cdot 0,531 \cdot 20 \cdot 10^6 + 200 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 2156 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{\phi 20}} = \frac{2156}{314} = 6,87 \text{ st}$$

$$\text{välj } 7 \phi 20 = 2199 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$b_{min} \geq a(n - 1) + 2c + n \cdot \emptyset_{huv}$$

$$360 \geq 37 \cdot (n - 1) + 2 \cdot 30 + n \cdot 20$$

$$n \leq \frac{b_{min} - 2C + a}{\emptyset_{huv} + a} = \frac{360 - 60 + 37}{20 + 37} = \frac{337}{57} = 5,9 \text{ st}$$

2 lager lagar, dvs. (5+2) $\phi 20$.

$$c_{lag1} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

$$c_{lag2} = 30 + 20 + 37 + 10 = 97 \text{ mm}$$

$$c_{tp} = \frac{5 \cdot 40 + 2 \cdot 97}{7} \approx 56,3 \text{ mm}$$

$$d_n = 0,6 - 0,056 = 0,544 \text{ m}$$

$$\frac{d_n}{d} = \frac{0,544}{0,531} = 1,02 \text{ ej ok!}$$

Räkna om med nytt d

$$e_{s,nytt} = d_n - 0,5h = 0,544 - 0,5 \cdot 0,600 = 0,244 \text{ m}$$

$$M_s = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_s = 400 + (-200) \cdot 0,244 \approx 351 \text{ kNm}$$

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{351 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 0,544^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,165 < m_{bal} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs ej!

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,165} = 0,181$$

$$A_s = \frac{0,181 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,36 \cdot 0,544 + 200 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 2090 \cdot 10^3 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{\emptyset 20}} = \frac{2090}{314} = 6,7 \text{ st}$$

$$\text{välj } 7 \emptyset 20 = 2199 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Svar: Balken armeras med (5 + 2) $\emptyset 20$ i underkant

Övning 29

Materialegenskaper

Betong C30/37 $(f_{cd}=20 \text{ MPa})$

Armering K500-CT $(f_{yd}=435 \text{ MPa})$

$E_s = 200 \text{ GPa}$

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,493$ och $m_{bal} = 0,371$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till huvudarmering $\emptyset 20$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (20; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$C = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Avståndet underkant till bygel $\phi 8$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 10 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 10 + 10(\text{avvikelse}) = 20 \text{ mm}$$

Välj C_{nom} för bygel + Bygeldiameter

$$C_{nom} = 20 + 8 = 28 \text{ mm}$$

Välj $C=30$

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{20; 32 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 32 + 5 = 37 \text{ mm}$$

Antog 2 fulla lager $\phi 20$

$$c_{tp} = c + \emptyset_{huv} + \frac{a}{2} = 30 + 20 + 0,5 \cdot 37 = 68,5 \approx 0,069 \text{ m}$$

Effektivhöjden blir

$$d = h - c_{tp} = 0,600 - 0,069 = 0,531 \text{ m}$$

Excentriciteten till dragarmering (e_s) blir

$$e_s = d - 0,5h = 0,531 - 0,5 \cdot 0,600 = 0,231 \text{ m}$$

$$M_s = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_s = 400 + 200 \cdot 0,231 = 446,2 \text{ kNm}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{446,2 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 0,531^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,22 < m_{bal} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs ej (underarmerat tvärsnitt)

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,2} = 0,252$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} - N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,252 \cdot 0,36 \cdot 0,531 \cdot 20 \cdot 10^6 - 200 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 1775 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{\phi 20}} = \frac{1775}{314} = 5,7 \text{ st}$$

$$\text{välj } 6 \phi 20 = 1885 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$b_{min} \geq a(n - 1) + 2c + n \cdot \emptyset_{huv}$$

$$360 \geq 37 \cdot (n - 1) + 2 \cdot 30 + n \cdot 20$$

$$n \leq \frac{b_{min} - 2C + a}{\phi_{huv} + a} = \frac{360 - 60 + 37}{20 + 37} = \frac{337}{57} = 5,9 \text{ st}$$

Välj 2 lager 4 + 2Ø20.

Räkna om med nytt d

2 lagar dvs. (4+2) Ø20.

$$c_{lag1} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

$$c_{lag2} = 30 + 20 + 37 + 10 = 97 \text{ mm}$$

$$c_{tp,nytt} = \frac{4 \cdot 40 + 2 \cdot 97}{6} = 59 \text{ mm}$$

$$d_n = 0,6 - 0,059 = 0,541 \text{ m}$$

$$\frac{d_n}{d} = \frac{0,541}{0,531} = 1,019 \text{ ej ok!}$$

$$e_{s,nytt} = d_n - 0,5h = 0,541 - 0,5 \cdot 0,60 = 0,241 \text{ m}$$

$$M_{s,nytt} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_{s,nytt} = 400 + 200 \cdot 0,241 = 448 \text{ kNm}$$

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{448 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 0,541^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,213 < m_{bal} = 0,371$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,213} = 0,242$$

$$A_s = \frac{0,242 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,36 \cdot 0,541 - 200 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 1707 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{\phi 20}} = \frac{1707}{314} = 5,4 \text{ st}$$

$$\text{Välj } 6 \text{ } \phi 20 = 1885 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Svar: Balken armeras med 6 Ø20 i underkant

Övning 30

Materialegenskaper

Betong C30/37 ($f_{cd}=20$ MPa)

Armering K500-CT ($f_{yd}=435$ MPa)

$E_s = 200$ GPa

$M_{Ed} = 800$ kNm

$N_{Ed} = +200$ kN

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till huvudarmering $\phi 20$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (25; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Avståndet underkant till bygel $\phi 8$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 10; 10) \text{ välj } C_{min} = 10 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 10 + 10(\text{avvikelse}) = 20 \text{ mm}$$

Välj C_{nom} för bygel + Bygeldiameter

$$C_{nom} = 20 + 8 = 28 \text{ mm}$$

Välj C=35

Minsta fria avstånd mellan parallella armeringsstänger (a)

$$a \geq \max\{\emptyset; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a \geq \max\{25; 32 + 5; 20\text{mm}\}; \text{ välj } a = 32 + 5 = 37 \text{ mm}$$

Antog 2 fulla lagar $\phi 25$

$$c_{tp} = c + \emptyset_{huv} + \frac{a}{2} = 35 + 25 + 0,5 \cdot 37 = 78,5 \approx 0,079 \text{ m}$$

Effektivhöjden blir

$$d = h - c_{tp} = 0,600 - 0,079 = 0,521 \text{ m}$$

$$d' = 35 + 8 = 43 \text{ mm välj } 0,045\text{m}$$

Excentriciteten till dragarmering (e_s) blir

$$e_s = d - 0,5h = 0,521 - 0,5 \cdot 0,600 = 0,221 \text{ m}$$

$$M_s = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_s = 800 + 200 \cdot 0,221 \approx 844 \text{ kNm}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{844 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 0,521^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,432 > m_{bal} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs (överarmerat tvärsnitt)

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,432} = 0,631 > \omega_{bal} = 0,493$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} - N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,631 \cdot 0,36 \cdot 0,521 \cdot 20 \cdot 10^6 - 200 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 4982 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$b_{min} \geq a(n - 1) + 2c + n \cdot \phi_{huv}$$

$$360 \geq 37 \cdot (n - 1) + 2 \cdot 35 + n \cdot 25$$

$$n \leq \frac{b_{min} - 2c + a}{\phi_{huv} + a} = \frac{360 - 70 + 37}{25 + 37} = \frac{327}{62} = 5,27 \text{ st välj 5st}$$

$$A_{s1} = \frac{\omega_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} = \frac{0,493 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,36 \cdot 0,521}{435 \cdot 10^6} = 4251 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = A_s - A_{s1} = (4982 - 4251) \cdot 10^{-6} = 731 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea i överkant blir:

$$A'_s = A_{s2} = 731 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{Välj } 4\phi 16 = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Antal armeringsstänger i underkant blir

$$n = \frac{A_s}{A_{\phi 25}} = \frac{4982}{491} = 10,14 \text{ st}$$

$$\text{välj } 11\phi 25 = 5401 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$c_{lag1} = 35 + 12,5 = 47,5 \text{ mm}$$

$$c_{lag2} = 35 + 25 + 37 + 12,5 = 109,5 \text{ mm}$$

$$c_{lag3} = 35 + 25 + 37 + 25 + 37 + 12,5 = 171,5 \text{ mm}$$

$$c_{tp,nytt} = \frac{5 \cdot 47,5 + 5 \cdot 109,5 + 1 \cdot 171,5}{11} = 86,9 \text{ mm}$$

$$d_n = 0,6 - 0,0865 = 0,5135 \text{ m och } \frac{d}{d_n} = \frac{0,521}{0,5135} = 1,015 \text{ ok!}$$

Svar: Balken armeras med 5 + 5 + 1 $\phi 25$ i underkant och 4 $\phi 16$ i överkant

Övning 31

Materialegenskaper

Betong C30/37 ($f_{cd}=20$ MPa)

Armering K500-CT ($f_{yd}=522$ MPa)

$E_s = 200$ GPa

För armering K500 – CT $\omega_{bal} = 0,458$ och $m_{bal} = 0,353$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till huvudarmering $\phi 16$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}\} = (16; 25; 10) \text{ välj } C_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$C = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Välj C=35

Antog 1 lager $\phi 16$

$$c_{tp} = c + \frac{\phi_{huv}}{2} = 35 + 8 = 43 \text{ mm}$$

Effektivhöjden blir

$$d = h - c_{tp} = 0,45 - 0,043 = 0,407 \text{ m}$$

Excentriciteten till dragarmering (e_s) blir

$$e_s = d - 0,5h = 0,407 - 0,5 \cdot 0,45 = 0,182 \text{ m}$$

$$M_s = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_s = 280 + 150 \cdot 0,182 = 307,3 \text{ kNm}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{307,3 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,407^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,092 < m_{bal} = 0,353$$

Dubbelarmering behövs ej (underarmerat tvärsnitt)

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,092} = 0,097$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} - N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,097 \cdot 1,0 \cdot 0,407 \cdot 20 \cdot 10^6 - 150 \cdot 10^3}{522 \cdot 10^6} = 1225 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{m}}$$

$$n = \frac{A_s}{A_{\phi 16}} = \frac{1225}{201} = 6,1 \text{ st per meter}$$

Detta ger centrumavståndet mellan stängerna

$$s = \frac{1000}{6,1} = 163 \text{ mm}$$

Svar: Välj armering $\phi 16$ med $s = 160 \text{ mm}$.

Övning 32

Materialegenskaper

Betong C30/37 ($f_{cd}=20 \text{ MPa}$)

Dragarmering K500-CT ($f_{yd}=435 \text{ MPa}$)

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 25; 10); \text{Välj } C_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Avståndet till huvudarmering blir

$$C = 35 + \phi_{\text{byg}} = 35 + 8 = 43 \text{ mm} \text{ Välj } C=45 \text{ mm}$$

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\phi}{2} = 45 + \frac{20}{2} = 55 \text{ mm}$$

Anta ett lager

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 300 - 55 = 245 \text{ mm}$$

$$M_s = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 0 - 100 \cdot 0,3 = 30 \text{ kNm}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{30 \cdot 10^3}{0,40 \cdot 0,245^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,062 < m_{\text{bal}} = 0,371 \text{ ok!}$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,062} = 0,064$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,064 \cdot 0,4 \cdot 0,245 \cdot 20 \cdot 10^6 + 100 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 518 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{\phi 20}} = \frac{518}{314} = 1,65 \text{ st}$$

$$\text{välj } 2 \phi 20 = 628 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Svar: Välj 2 $\phi 12$

Övning 33

Materialegenskaper

Betong C30/37 $(f_{cd}=20 \text{ MPa})$

Dragarmering K500-CT $(f_{yd}=435 \text{ MPa})$

Antag att armeringen flyter:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

Bestämning av täckande betongskikt

Avståndet underkant till bygel

$$C_{\min} = \max\{C_{\min,b}; C_{\min,dur}; 10\text{mm}\} = (8; 25; 10); \text{ V\ddot{a}lj } C_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{\text{nom}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Avståndet till huvudarmering blir

$$C = 35 + \varnothing_{\text{byg}} = 35 + 8 = 43 \text{ mm} \text{ V\ddot{a}lj } C=45 \text{ mm}$$

$$c_{\text{tp}} = c + \frac{\varnothing}{2} = 45 + \frac{20}{2} = 55 \text{ mm}$$

Anta ett lager

Effektivhöjden d blir

$$d = h - C_{\text{tp}} = 500 - 55 = 445 \text{ mm}$$

Excentriciteten till dragarmering (e_s) blir

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

$$e_0 = \max\left(\frac{h}{30} = \frac{500}{30} = 16,7 \text{ mm}, 20 \text{ mm}\right) \text{ v\ddot{a}lj } 20 \text{ mm}$$

$$M_s = M_{Ed} - N_{Ed}(e_s + e_0) = 0 - 200(1,1 - 0,051 + 0,020) \approx 234 \text{ kNm}$$

Relativt momentet blir

$$m = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{234 \cdot 10^3}{0,25 \cdot 0,445^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,236 < m_{\text{bal}} = 0,371$$

Dubbelarmering behövs ej

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,236} = 0,273$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} - N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,273 \cdot 0,25 \cdot 0,445 \cdot 20 \cdot 10^6 - 200 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 936 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{\varnothing 20}} = \frac{923}{314} = 2,9 \text{ st}$$

$$\text{välj } 3 \text{ } \varnothing 20 = 943 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Max antal armeringsstänger på bredden

$$n \leq \frac{b_{\min} - 2c + a}{\varnothing_{\text{huv}} + a} = \frac{250 - 45 \cdot 2 + 37}{20 + 37} = 3,4 \text{ st ok!}$$

Välj 3 \varnothing 20 i en lager

b) Vid balanserad armering gäller följande;

$$m_{\text{bal}} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \Rightarrow$$

$$d = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b \cdot m_{\text{bal}} \cdot f_{cd}}} = \sqrt{\frac{234 \cdot 10^3}{0,25 \cdot 0,371 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,355 \text{ m}$$

$$h = d + c_{tp} = ,355 + 0,055 = 0,41 \text{ m}$$

Svar:

a) Välj 3 \varnothing 20 i en lager

b) h = 0,41m

Tvärkraft

Övning 34

$$C=45 \text{ mm}$$

$$C_{tp}=45+8=53 \text{ mm}$$

$$d=550-53=497\text{mm}$$

Ur jämviktsekvationer erhåll stödreaktionerna R_A och R_B

Moment kring B:

$$R_A \cdot 8 - \frac{q_d \cdot 8^2}{2} = 0$$

$$R_A = \frac{75 \cdot 8^2}{8 \cdot 2} = 300 \text{ kN} = V_{Ed,A}$$

$$\downarrow: R_A + R_B - q_d \cdot 8 = 0$$

$$R_B = 75 \cdot 9 - 300 = 300 \text{ kN} = V_{Ed,B}$$

Inverkan av last nära upplag

$$V_{Ed,red} = V_{Ed,max} - 0,94q_d \cdot d - P \left(1 - \frac{a_v}{2d}\right)$$

$$V_{Ed,Ared} = 300 - 0,94 \cdot 75 \cdot 0,497 - 0 =$$

$$V_{Ed,Ared} = 300 - 35 - 0 = 265\text{kN}$$

1.kontroll av livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] \text{ där } f_{ck} \text{ in}[MPa]$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 497 = 787,3 \text{ kN}$$

2. Kontroll för böjskjuvbrott (skjuvglidbrott)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d \right] \geq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{497}} = 1,63 < 2,0 \quad \text{OK!}$$

Tvärkraftskapacitet vid ändstöd med 6Ø20 som böjning

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{5 \cdot 201 \cdot 10^{-6}}{0,30 \cdot 0,497} = 0,0067 < 0,02 \quad \text{OK!}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad (\text{nationell parameter})$$

$$v_{\min} = 0,035 \sqrt{k^3 f_{ck}} = 0,035 \sqrt{1,63^3 \cdot 30} = 0,4$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,63 (100 \cdot 0,0067 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \cdot 300 \cdot 497 \right] = 79,3 \text{ kN}$$

$$(v_{\min} \cdot b_w \cdot d) = 0,4 \cdot 300 \cdot 497 = 59 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$V_{Rd,c} = 79,3 < V_{Ed,red} = 266,5 \text{ kN} \quad \text{Ej ok!}$$

$$V_{Rd,c} = 79,3 > v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 59 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Svar: Tvärkraftsarmering vid båda stöd behövs
dvs. att betongens tvärkraftskapacitet vid stöd A och B är ej tillräcklig.

Övning 35

Ur jämviktsekvationer erhåll stödreaktionerna R_A och R_B

Moment kring B:

$$R_A = P + q \cdot l = 160 + 25 \cdot 3,5 = 247,5 \text{ kN} = V_{Ed,A}$$

Täckande betongskikt

$$C=30 \text{ mm}$$

$$c_{tp} = c + 0,5\phi_{huv} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{tp} = 750 - 40 = 710 \text{ mm}$$

Inverkan av last nära upplag

$2d = 2 \cdot 0,71 = 1,42 \text{ m} > 1,4 \text{ m}$ lasten ligger inom område 1,42 m dvs. reduktion kräver

$$V_{Ed,red} = V_{Ed,max} - q \cdot d - p \left(1 - \frac{a_v}{2d} \right)$$

$$V_{Ed,Ared} = 247,5 - 25 \cdot 0,71 - 160 \cdot \left(1 - \frac{1,4}{2 \cdot 0,71} \right) = 227,5 \text{ kN}$$

1.kontroll av livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad \text{där } f_{ck} \text{ in[MPa]}$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 710 = 1312 \text{ kN}$$

2. Kontroll för böjskjuvbrott (skjuvglidbrott)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d \right] \geq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{710}} = 1,53 < 2,0 \quad \text{OK!}$$

Tvärkraftskapacitet vid ändstöd med 4Ø20 som böjning

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{6 \cdot 314 \cdot 10^{-6}}{0,35 \cdot 0,71} = 0,0076 < 0,02 \quad \text{OK!}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad (\text{nationell parameter})$$

$$v_{min} = 0,035\sqrt{k^3 f_{ck}} = 0,035\sqrt{1,53^3 \cdot 30} = 0,363$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,53(100 \cdot 0,0076 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \cdot 350 \cdot 710 \right] = 129,4 \text{ kN}$$

$$(v_{min} \cdot b_w \cdot d) = 0,363 \cdot 350 \cdot 710 = 90,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$V_{Rd,c} = 129,4 < V_{Ed,red} = 227,5 \text{ kN} \quad \text{inte Ok!}$$

$$V_{Rd,c} = 129,4 > 90,2 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Svar: Tvärkraftsarmering vid båda stöd behövs

Övning 36

Dimensionerande materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ och $f_{cd} = 16,7 \text{ Mpa}$)

Armering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ Mpa}$)

Täckande betong skikt

$$C_{nom} = C_{min} = \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \{C_{min,b}; C_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} =$$

$$C_{min,h} = \max\{25 \text{ mm}; 10; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$C_{min,byg} = \max\{8 \text{ mm}; 10; 10 \text{ mm}\} = 10 \text{ mm}$$

$$C_{min} = \max \begin{cases} 25 & \text{m. h. t. huvudarmering} \\ 10 + 8 & \text{m. h. t. byglar} \end{cases}$$

$$C_{min} = 25 + 10, \text{ välj } C = 35 \text{ mm}$$

$$C_{tp} = 35 + \frac{25}{2} = 47,5 \text{ mm}$$

$$d = 900 - 47,5 = 852,5 = 853 \text{ mm}$$

Beräkning av dimensionerande tvärkraft

Beräkna upplagsreaktioner

moment kring A:

$$R_B \cdot 7 - F_{Ed} \cdot 1,5 - \frac{q_d \cdot 7^2}{2} = 0$$

$$R_B = \frac{250 \cdot 1,5 + \frac{20 \cdot 7^2}{2}}{7} = 123,6 \text{ kN} = V_{Ed,A}$$

$$\downarrow: R_A + R_B - F_{Ed} - q_d \cdot 7 = 0$$

$$R_A = 250 + 20 \cdot 7 - 123,6 = 266,4 \text{ kN} = V_{Ed,A}$$

Inverkan av last nära upplag:

$2d = 2 \cdot 0,8525 = 1,705 \text{ m} > 1,5 \text{ m}$ lasten ligger inom område 1,705 m dvs. reduktion kräver

$$V_{Ed,red} = V_{Ed,max} - 0,94 \cdot q \cdot d - p \left(1 - \frac{a_v}{2d}\right)$$

$$V_{Ed,Ared} = 266,4 - 0,94 \cdot 20 \cdot 0,853 - 250 \cdot \left(1 - \frac{1,5}{2 \cdot 0,853}\right) = 220,2 \text{ kN}$$

a. Tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)(utan reducering)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_d \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \left[1 - \frac{25}{250}\right] = 0,54 \text{ Mpa}$$

$$V_{Ed} = 266,4 \leq 0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,7 \cdot 10^6 \cdot 400 \cdot 853 = 1537,6 \text{ kN ok!}$$

Kontroll för böjskjuvbrott(skjuvglidbrott) Kontroll av tvärkraftskapacitet i stöd A

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w d \right] \geq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

Där:

f_{ck} i MPa och b_w, d i mm

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{852,5}} = 1,48 \leq 2,0 \quad \text{OK!}$$

Tvärkraftskapacitet vid ändstöd med 5φ25 som böjning

$$\rho_l = \frac{A_{si}}{b_w \cdot d} = \frac{5 \cdot 491 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 0,8525} = 0,007 \leq 0,02 \text{ OK!}$$

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,48 \cdot (100 \cdot 0,007 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \cdot 400 \cdot 825,5 \right] = 159,17 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$v_{\min} = 0,035 \sqrt{1,48^3 \cdot 25} = 0,316$$

$$V_{Rd,c} = 159,17 \text{ kN} > 0,316 \cdot 400 \cdot 825,5 = 107,92 \text{ kN OK!}$$

Men

$$V_{Ed,A,red} = 220,2 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 107,92 \text{ kN Ej OK!}$$

Tvärkraftsarmering vid stöd A behövs

b. Dimensionering av tvärkraftsarmering

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

först kontrolleras om den övregränsen för tvärkraftkapaciteten, $V_{Rd,max}$, blir tillräcklig med $\cot\theta = 2,5$, detta är det värde som skulle ge minsta mängd skjuvarmering.

$$V_{Rd,c,max} = b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{cd} \cdot v \left(\frac{\cot\theta}{1 + \cot^2\theta} \right)$$

$$V_{Rd,c,max} = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,853 \cdot 16,7 \cdot 0,54 \left(\frac{2,5}{1 + (2,5)^2} \right) = 954,35 \text{ kN}$$

Detta ligger långt över aktuella tvärkrafter, varför ingenting hindrar att skjuvarmering dimensioneras för $\cot\theta = 2,5$.

Dimensionering av skjuvarmering enligt fackverksmodell

$$z \cdot \cot\theta = 0,9d \cdot \cot\theta = 0,9 \cdot 0,8525 \cdot 2,5 = 1,92 \text{ m}$$

$$x = \frac{R_A - F}{q} = \frac{266,4 - 250}{20} = 0,82 \text{ m från upplag}$$

där $V = 0$ M störst därför är $x = 0,82$ m

Tvärkraften i snitt 1 är:

$$x = 0,82$$

$$V_1 = q_d \cdot (x - 0,9d \cdot \cot\theta) = 20 \cdot (0,82 - 0,9 \cdot 0,853 \cdot 2,5) = -22 \text{ kN}$$

Erforderlig armeringsarea per längdhet blir

$$\frac{A_{sw,q}}{s} = \frac{V_1}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{22 \cdot 10^3}{435 \cdot 0,9 \cdot 0,853 \cdot 10^6 \cdot 2,5} = 23,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

Inverkan av last nära upplag

Punktlasten p_d till vänster om snitt inte påverkar skjuvarmeringen enligt jämviktsvillkorerna ovan, men den kräver skjuvarmering

Reducerad tvärkraft av koncentrerad last P_d blir

$$V_{\text{red,P}} = P_d \cdot \left(1 - \frac{a_v}{l}\right) \left(\frac{a_v}{2d}\right) = 250 \cdot \left(1 - \frac{1,5}{7}\right) \left(\frac{1,5}{2 \cdot 0,8525}\right) = 172,8 \text{ kN}$$

Armering för reducerad tvärkraft:

$$A_{\text{sw,P}} = \frac{V_{\text{red,P}}}{f_{ywd}} = \frac{172,8 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} = 397,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Denna armering fördelas inom längden $0,75a_v$:

$$\frac{A_{\text{sw,P}}}{s} = \frac{A_{\text{sw,P}}}{0,75 \cdot a_v} = \frac{397 \cdot 10^{-6}}{0,75 \cdot 1,5} = 353,13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

Total skjuvarmering

Mellan punktlast och upplag adderas detta värde till erforderlig armering för punktlasten enligt ovan.

Inom sträckan $0,75a_v = 0,75 \cdot 1,5 = 1,125 \text{ m}$

$$\frac{A_{\text{sw}}}{s} = 23,4 + 353,13 = 376,53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{376,53 \cdot 10^{-6}} = 0,268 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

I övriga delar är minimiarmering dimensionerande.

Kontroll

$$\rho_w = \frac{A_{\text{sw}}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,268 \cdot 0,4 \cdot 1} = 0,00094 > \rho_{w,\text{min}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{\text{ck}}}}{f_{\text{yk}}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} = 0,0008 \text{ ok!}$$

$$s_{l,\text{max}} = 0,75 \cdot d \leq 600 \text{ mm} = 0,75 \cdot 0,8525 = 0,64 \text{ m} \Rightarrow 600 \text{ mm}$$

Beräknas minimi tvärkraftsarmering

$$\rho_w = \frac{A_{\text{sw}}}{s \cdot b_w} \geq \rho_{w,\text{min}} \Rightarrow \left(\frac{A_{\text{sw}}}{s}\right)_{\text{min}} = \rho_{w,\text{min}} \cdot b_w$$

$$\rho_{w,\text{min}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{\text{ck}}}}{f_{\text{yk}}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} = 0,0008$$

$$\left(\frac{A_{\text{sw}}}{s}\right)_{\text{min}} = \rho_{w,\text{min}} \cdot b_w = 0,0008 \cdot 0,4 = 320 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{101}{320} = 0,32 \text{ m} < 0,75 \cdot d \leq 600 \text{ mm} = 0,75 \cdot 0,8525 = 0,64 \text{ m ok!}$$

Välj $s_{\text{min}} = 0,320 \text{ m}$

Svar: när $\theta = 21,8^\circ$

- Tvärkraftsarm i stöd A och Byglar $\phi 8$ s260 – N inom 1,92 m
- Minimi tvärkraftsarmering vid resten av balken byglar $\phi 8$ s320 – N.

Övning 37

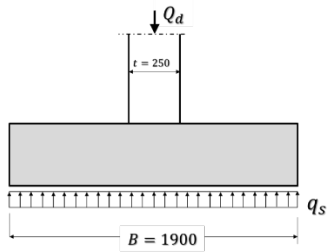
Dimensionerande materialegenskaper

Betong C20/25

($f_{cd} = 13,3 \text{ Mpa}$)

Armering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ Mpa}$)

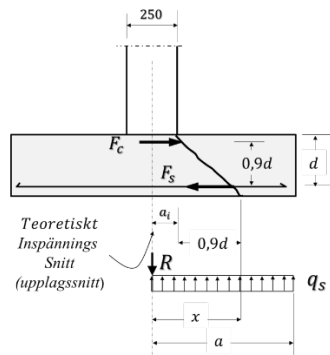
Beräkning av dimensionerande tvärkraft



Marktryck

Lasten q_d balanseras av ett marktryck med konstant intensitet:

$$q_s = \frac{Q_d}{B} = \frac{452}{1,9} = 238 \text{ kN/m}^2$$



$$a = B/2 = \frac{1,9}{2} = 0,95 \text{ m}$$

$$V_{Ed,max} = R = q_s \cdot a = 238 \cdot 0,95 = 226,1 \text{ kN/m}$$

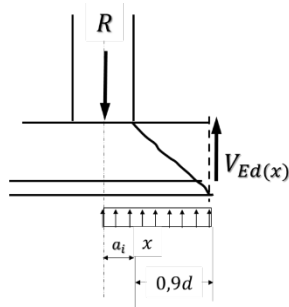
$$a_i = t/2 = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ m}$$

Dimensionerande tvärkraft

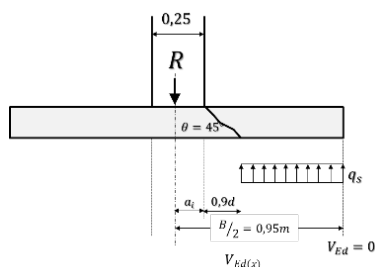
$$V_{Ed(x)} = R - q_s \cdot x$$

$$x = a_i + 0,9d = 0,125 + 0,90 \cdot 0,20 = 0,305 \text{ m}$$

$$V_{Ed(x)} = R - q_s \cdot x = 226,1 - 238 \cdot 0,305 = 153,5 \text{ kN}$$



Inverkan av last nära upplag



Last som är belägen inom $0,5d \leq a_v \leq 2d$ från upplagskant får reduceras med $\beta = \frac{a_v}{2d}$.

$2d = 2 \cdot 0,2 = 0,4$ m lasten ligger inom område 0,4 m dvs. reduktion kräver.

$$V_{Ed,red}(x) = V_{Ed(x)} - q_s \cdot d$$

$$V_{Ed,Ared}(x) = 153,5 - 238 \cdot 0,2 = 105,9 \text{ kN}$$

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

Vid denna kontroll får inte tvärkraften reduceras.

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed}(x=0) = R = 226,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,max} \leq 0,5v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

där

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \left[1 - \frac{20}{250} \right] = 0,552$$

$$V_{Rd,max} = 226,1 \cdot 10^3 \leq 0,5 \cdot 0,552 \cdot 13,3 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 734 \cdot 10^3 \quad \text{ok!}$$

Kontroll för böjskjuvbrott (skjuvglidbrott)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2,0 \leq 2,0 \quad \text{ok}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = s = 130 \text{ mm} \Rightarrow \left[n = \frac{1}{0,13} = 7,7 \text{ stänger/m} \right]$$

$$b_w = 1 \text{ m (strimla)}$$

$$\rho_l = \frac{1}{0,13} \cdot \frac{113 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,2} = 4,35 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{ok}$$

$$k_1 \sigma_{cp} = 0 \text{ (ingen normalkraft)}$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 4,35 \cdot 10^{-3} \cdot 20 + 0)^{\frac{1}{3}} \cdot 1000 \cdot 200 = 98,7 \text{ kN/m}$$

Kontroll:

$$v_{\min} = 0,035\sqrt{k^3 f_{ck}} = 0,035\sqrt{2,0^3 \cdot 20} = 0,443$$

$$(v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d =$$

$$= (0,443 + 0) \cdot 1000 \cdot 200 = 88,5 \cdot 10^3 < V_{Rd,c} = 98,7 \text{ kN/m} \quad \text{ok!}$$

Kontroll med avseende på skjuvglidbrott

Här får reducering av lasteffekt utnyttjas

$$V_{Rd,c} = 98,7 \cdot 10^3 < V_{Ed,red} = 105,9 \cdot 10^3 \quad (\text{ej OK!})$$

Svar: Kapaciteten med avseende på skjuvglidbrott är inte tillräcklig

Övning 38

$$V_{Ed} = \frac{125 \cdot 4}{6} + \frac{Q_d \cdot 6}{2} = 83,3 + 3q_d$$

Livtryckbrott

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 200 = 1056 \text{ kN}$$

$$q_d < \frac{1056 - 83,3}{3} = 1028 \text{ kN} (\text{ej dimensionerande})$$

böjskjuvbrott(skjuvglidbrott)

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w d \right]$$

$$\text{Med ett mista värde } V_{Rd,c} \leq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2 \leq 2,0 \quad \text{OK!}$$

Tvärkraftskapacitet

$$\rho_l = 0,01 \leq 0,02 \quad \text{OK!}$$

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 2(100 \cdot 0,01 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \cdot 1000 \cdot 200 \right] = 149,15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$v_{\min} = 0,035\sqrt{2^3 \cdot 30} = 0,54$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,54 \cdot 1000 \cdot 200 = 108 \text{ kN OK!}$$

$$V_{Ed} = \frac{125 \cdot 4}{6} + \frac{Q_d \cdot 6}{2} = 83,3 + 3q_d$$

$$83,3 + 3q_d = 149,15 \text{ kN/m}$$

$$q_d = \frac{149,15 - 83,3}{3} = 21,95 \text{ kN/m}^2$$

Svar: $q_d = 21,95 \text{ kN/m}^2$

Övning 39

$$V_{Ed} = 0,5P_d$$

Livtryckbrott

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 200 = 1056 \text{ kN}$$

$$P_d < \frac{1056}{0,5} = 2112 \text{ kN}$$

böjskjuvbrott(skjuvglidbrott)

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w d \right]$$

Med ett mista värde $V_{Rd,c} \geq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2 \leq 2,0 \quad \text{OK!}$$

Tvärkraftskapacitet

$$\rho_l = 0,01 \leq 0,02 \text{ OK!}$$

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 2(100 \cdot 0,01 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \cdot 1000 \cdot 200 \right] = 149,15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$v_{\min} = 0,035\sqrt{2^3 \cdot 30} = 0,54$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,54 \cdot 1000 \cdot 200 = 108 \text{ kN OK!}$$

$$0,5P_d = 149,15 \text{ kN/m}$$

$$\text{Svar: } P_d = \frac{149,15}{0,5} = 298,3 \text{ kN/m}$$

$$\underline{\text{Svar: } P_d = 298,3 \text{ kN/m}}$$

Övning 40

$$V_{Ed} = P_d$$

Livtryckbrott

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 400 = 422,4 \text{ kN}$$

$$P_d \leq 422,4 \text{ kN (ej dimensionerande)}$$

Böjskjuvbrott (skjuvglidbrott)

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w d \right]$$

$$\text{Med ett mista värde } V_{Rd,c} \geq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{400}} = 1,71 \leq 2,0 \quad \text{OK!}$$

Tvärkraftskapacitet

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,71(100 \cdot 0,015 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \cdot 200 \cdot 400 \right] = 58,38 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq (v_{\min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$v_{\min} = 0,035\sqrt{1,71^3 \cdot 30} = 0,43$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,43 \cdot 200 \cdot 400 = 34,4 \text{ kN OK!}$$

$$P_d = 58,38 \text{ kN}$$

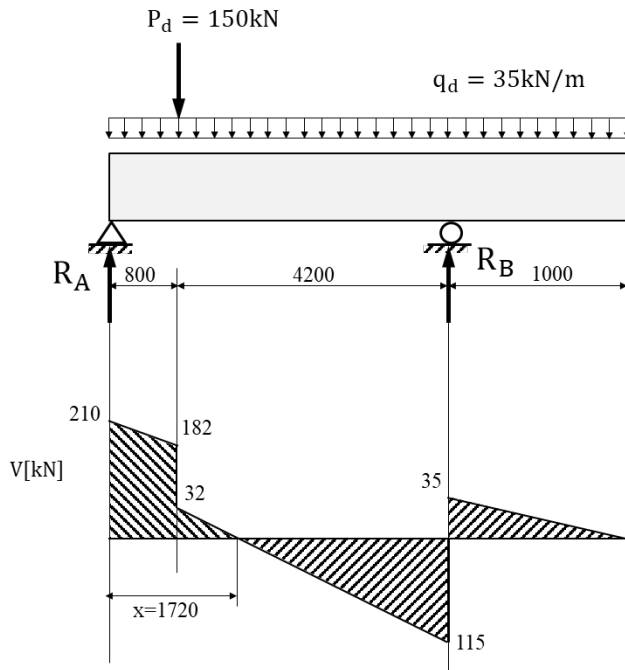
$$\underline{\text{Svar: } P_d = 58,38 \text{ kN}}$$

Övning 41

Dimensionerande materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ och $f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$)

Armering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)



Beräkna först upplagsreaktionerna.

Moment kring B

$$R_A \cdot 5 - P_d \cdot 4,2 - q_d \cdot 6 \cdot (5 - 3) = 0$$

$$R_A \cdot 5 - 150 \cdot 4,2 - 35 \cdot 6(5 - 3) = 0 \Rightarrow R_A = 210 \text{ kN}$$

$$\uparrow: R_B + R_A - 150 - 35 \cdot 6 = 0$$

$$R_B = -210 + 150 + 35 \cdot 6 = 0 \Rightarrow R_B = 150 \text{ kN}$$

Tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering.

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

$$V_{Ed} = V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \left[1 - \frac{25}{250} \right] = 0,54$$

$$210 \cdot 10^3 \leq 0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,7 \cdot 300 \cdot 450 = 608 \text{ kN}; \text{ ok.}$$

Kontroll för böjskjuvbrott (skjuvglidbrott)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

Inverkan av last nära upplag i delområde 1 blir

$$V_{Ed,red(x)} = V_{Ed(x)} - 0,94 q_d d - P \left(1 - \frac{a_v}{2d} \right)$$

$$V_{Ed,A,red} = 210 - 0,94 \cdot 35 \cdot 0,45 - 150 \left(1 - \frac{0,8}{2 \cdot 0,45}\right)$$

$$V_{Ed,A,red} = 210 - 14,8 - 16,7 = 178,5 \text{ kN}$$

Inverkan av last nära upplag i delområde 2 blir

$$V_{Ed,red(x)} = V_{Ed(x)} - 0,94 \cdot q_d \cdot d$$

$$V_{Ed,B,red} = 150 - 0,94 \cdot 35 \cdot 0,45 =$$

$$V_{Ed,B,red} = 150 - 14,8 = 135,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w d \right] \geq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1 + 0,67 = 1,67 \leq 2,0; \text{ ok.}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

Delområde 1

$$\rho_l = \frac{5 \cdot 314 \cdot 10^{-6}}{0,3 \cdot 0,45} = 0,0116 \leq 0,02; \text{ ok.}$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,0116 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \cdot 300 \cdot 450 = 82,2 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0,035 \sqrt{k^3 f_{ck}} = 0,035 \sqrt{1,67^3 \cdot 25} = 0,378$$

$$V_{Rd,c} = 82,2 \text{ kN} \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,378 \cdot 300 \cdot 450 = 51 \text{ kN}; \text{ ok.}$$

Men

$$V_{Rd,c} = 82,2 \text{ kN} < 178,5 \text{ kN} \Rightarrow \text{tvärkraftsarmering krävs.}$$

Delområde 2

$$\rho_l = \frac{2 \cdot 314 \cdot 10^{-6}}{0,3 \cdot 0,45} = 0,0047 \leq 0,02; \text{ ok.}$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,0047 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \cdot 300 \cdot 450 = 61,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 61,5 \text{ kN} \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,378 \cdot 300 \cdot 450 = 51 \text{ kN}; \text{ ok.}$$

Men

$$V_{Rd,c} = 61,5 \text{ kN} < 135,2 \text{ kN} \Rightarrow \text{tvärkraftsarmering krävs.}$$

Dimensionering av tvärkraftsarmering.

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

Välj vertikala byglar dvs. $\alpha = 90^\circ$

$$Z \approx 0,9d = 0,405m \quad - \text{ inre hävarm}$$

$$\cot \theta = 1 \quad - \text{ undre gräns för } \cot \theta \text{ enligt EC2}$$

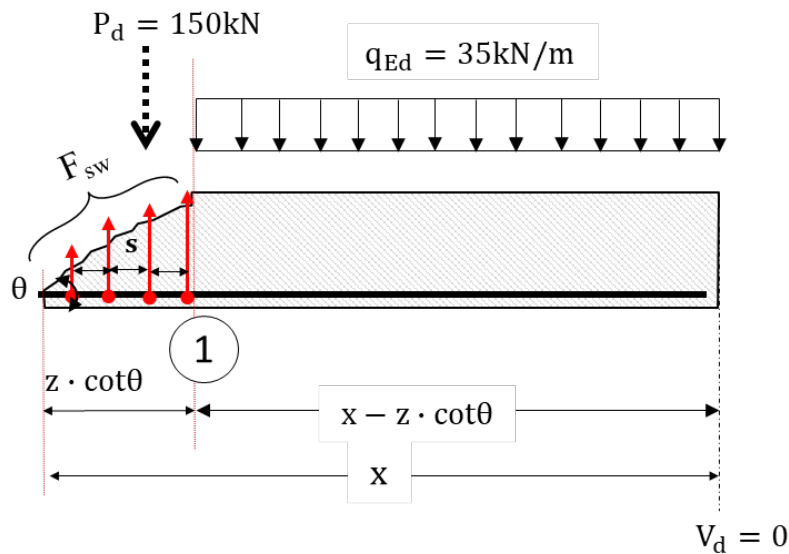
$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot 0,9d \cdot v \cdot f_{cd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot 0,54 \cdot 16,7 \cdot 10^6 \frac{1}{1 + 1^2} = 547,8 \cdot 10^3 \text{ N; ok.}$$

$$V_{Ed,A} \text{ och } V_{Ed,B} < V_{Rd,max} = 547,8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Delområde 1



Figuren ovan visar jämvikt villkoret. Skjuvarmeringen ska bära lasten från tvärkraftsnollpunkten till snittets övre kant.

$$V_{Ed}(x) = 0$$

$$0 = 210 - q_d \cdot x - 150$$

$$210 - 35 \cdot x - 150 = 0 \Rightarrow x = \frac{60}{35} \approx 1,72 \text{ m från upplag A}$$

Tvärkraften i snitt 1 är

$$V_1 = q_d \cdot (x - z \cot \theta) = 35(1,72 - 0,9 \cdot 0,45 \cdot 1) = 46 \text{ kN}$$

Vertikal jämvikt kräver att kraften i byglarna är lika med tvärkraften, under förutsättning att balkens egentygnd försummas.

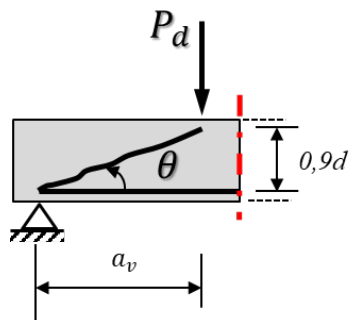
Kraften i byglarna är således

$$F_{sw} = \frac{z \cdot \cot \theta}{s} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} = V_1$$

Erforderlig armeringsarea per längdhet blir

$$\frac{A_{sw,q}}{s} = \frac{V_1}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta} = \frac{46 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot 1} = 261 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

Inverkan av last nära upplag



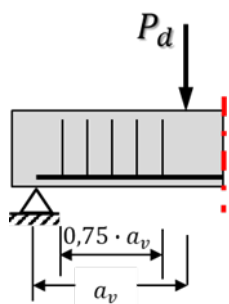
Reducerad tvärkraft av koncentrerad last P_d blir

$$V_{red,P} = P_d \cdot \left(1 - \frac{a_v}{l}\right) \left(\frac{a_v}{2d}\right) = 150 \cdot \left(1 - \frac{0,8}{6}\right) \left(\frac{0,8}{2 \cdot 0,45}\right) = 115,6 \text{ kN}$$

Armering för reducerad tvärkraft beräknas enligt

$$A_{sw,P} = \frac{V_{red,P}}{f_{ywd}} = \frac{115,6 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} \approx 266 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Denna armering fördelas inom längden $0,75a_v$



$$\frac{A_{sw,P}}{s} = \frac{A_{sw,P}}{0,75a_v} = \frac{265,7 \cdot 10^{-6}}{0,75 \cdot 0,8} = 443 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

Total skjuvarmering.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{A_{sw,q}}{s} + \frac{A_{sw,P}}{s} = 266 + 443 = 709 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{709 \cdot 10^{-6}} = 0,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Lägg samma armering i hela delområde 1.

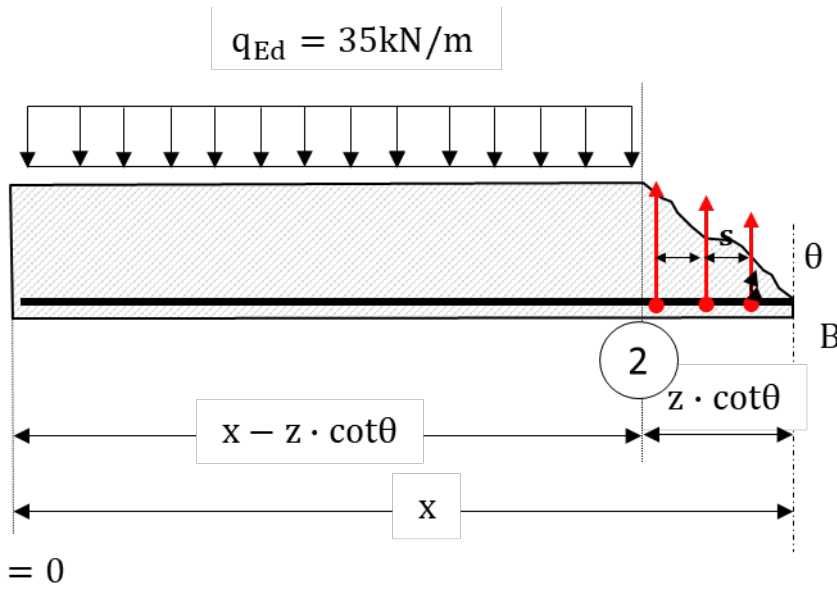
Kontroll görs

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,14 \cdot 0,3 \cdot 1} = 0,0024 > \rho_{w,min} = 0,0008; \text{ ok.}$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,45 = 0,338 \text{ m}; \text{ ok.}$$

Delområde 2

Skjuvarmeringen ska bära lasten från tvärkraftsnollpunkten till snittets övre kant.



$$x = 5 - 1,72 = 3,28 \text{ m}$$

Tvärkraften i snitt 1 är

$$V_2 = q_d \cdot (x - z \cdot \cot\theta) = 35(3,28 - 0,405 \cdot 1) = 100,6 \text{ kN}$$

Vertikal jämvikt kräver att kraften i byglarna är lika med tvärkraften förutsatt att balkens egentyngd försummas.

Kraften i byglarna är således

$$F_{sw} = \frac{z \cdot \cot\theta}{s} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} = V_2$$

Erforderlig armeringsarea per längdhet blir

$$\frac{A_{sw,q}}{s} = \frac{V_2}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{100,6 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,405 \cdot 1} = 571 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{571 \cdot 10^{-6}} = 0,177 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Kontroll görs

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,177 \cdot 0,3 \cdot 1} = 0,0019 > \rho_{w,min} = 0,0008; \text{ ok.}$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d(1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot 0,45 = 0,338 \text{ m}; \text{ ok.}$$

Svar: Delområde 1: Ø8 s140 – N. Delområde 2: Ø8 s170 – N.

Övning 42

Dimensionerande materialegenskaper

Betong C25/30 ($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ och $f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$)

Armering K500-CT ($f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

Beräkna först upplagsreaktionerna.

$$R_A = R_B$$

$$\uparrow: R_B + R_A - 2 \cdot 50 - 80 \cdot 4,5 = 0$$

$$R_A = R_B = 230 \text{ kN}$$

Tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering.

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

$$V_{Ed} = V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \left[1 - \frac{25}{250} \right] = 0,54$$

$$230 \cdot 10^3 < 0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,7 \cdot 120 \cdot 550 = 298 \text{ kN}; \text{ ok.}$$

Kontroll för böjskjuvbrott (skjuvglidbrott)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

Inverkan av last nära upplag i delområde 1 blir

$$V_{Ed,A,red(x)} = V_{Ed,B,red(x)} = V_{Ed} - 0,94 q_d d - P \left(1 - \frac{a_v}{2d} \right)$$

$$V_{Ed,A,red} = 230 - 0,94 \cdot 80 \cdot 0,55 - 50 \left(1 - \frac{0,8}{2 \cdot 0,55} \right)$$

$$V_{Ed,A,red} = 230 - 41,4 - 13,6 = 175 \text{ kN}$$

Tvärkraftskapacitet

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w d \right] \geq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1 + 0,67 = 1,6 \leq 2,0; \text{ ok.}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

$$\rho_l = \frac{4 \cdot 314 \cdot 10^{-6}}{0,12 \cdot 0,55} = 0,019 < 0,02; \text{ ok}$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,6 \cdot (100 \cdot 0,019 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \cdot 120 \cdot 550 = 45,9 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0,035 \sqrt{k^3 f_{ck}} = 0,035 \sqrt{1,6^3 \cdot 25} = 0,35$$

$$V_{Rd,c} = 45,9 \text{ kN} \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,35 \cdot 120 \cdot 550 = 23,1 \text{ kN}; \text{ ok.}$$

Men

$$V_{Rd,c} = 45,9 \text{ kN} < 175 \text{ kN} \Rightarrow \text{tvärkraftsarmering krävs.}$$

Dimensionering av tvärkraftsarmering.

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva)

Välj vertikala byglar dvs. $\alpha = 90^\circ$

$$Z \approx 0,9d = 0,495m \quad - \text{ inre hävarm}$$

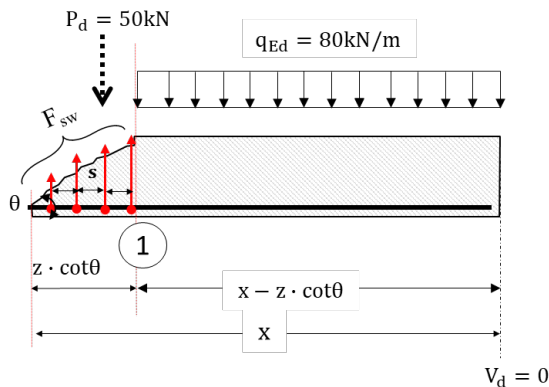
$$\cot \theta = 1 \quad - \text{ undre gräns för } \cot \theta \text{ enligt EC2}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot 0,9d \cdot v \cdot f_{cd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$V_{Rd,max} = 0,12 \cdot 0,495 \cdot 0,54 \cdot 16,7 \cdot 10^6 \frac{1}{1 + 1^2} = 267,8 \cdot 10^3 \text{ N; ok.}$$

$$V_{Ed,A} \text{ och } V_{Ed,B} < V_{Rd,max} = 267,8 \cdot 10^3 \text{ N}$$



Figuren ovan visar jämvikt villkoret. Skjuvarmeringen ska bära lasten från tvärkraftsnollpunkten till snittets övre kant.

$$V_{Ed}(x) = 0$$

$$230 - P_d - q_d \cdot x = 0$$

$$230 - 50 - 80 \cdot x = 0 \Rightarrow x = \frac{180}{80} \approx 2,25 \text{ m från upplag A}$$

Tvärkraften i snitt 1 är

$$V_1 = q_d \cdot (x - z \cot \theta) = 80(2,25 - 0,9 \cdot 0,55 \cdot 1) = 140,4 \text{ kN}$$

Vertikal jämvikt kräver att kraften i byglarna är lika med tvärkraften, under förutsättning att balkens egentyngd försummas.

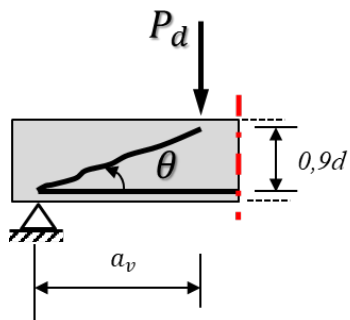
Kraften i byglarna är således

$$F_{sw} = \frac{z \cdot \cot \theta}{s} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} = V_1$$

Erforderlig armeringsarea per längdhet blir

$$\frac{A_{sw,q}}{s} = \frac{V_1}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta} = \frac{140,4 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot 1} = 65,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

Inverkan av last nära upplag



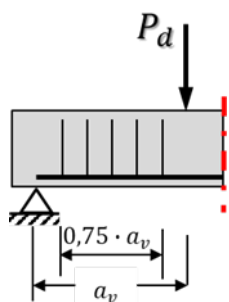
Reducerad tvärkraft av koncentrerad last P_d blir

$$V_{red,P} = P_d \cdot \left(1 - \frac{a_v}{l}\right) \left(\frac{a_v}{2d}\right) = 50 \cdot \left(1 - \frac{0,8}{4,5}\right) \left(\frac{0,8}{2 \cdot 0,55}\right) = 29,9 \text{ kN}$$

Armering för reducerad tvärkraft beräknas enligt

$$A_{sw,P} = \frac{V_{red,P}}{f_{ywd}} = \frac{29,9 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6} \approx 68,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Denna armering fördelas inom längden $0,75a_v$



$$\frac{A_{sw,P}}{s} = \frac{A_{sw,P}}{0,75a_v} = \frac{68,7 \cdot 10^{-6}}{0,75 \cdot 0,8} = 114,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

Total skjuvarmering.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{A_{sw,q}}{s} + \frac{A_{sw,P}}{s} = 68,7 + 114,5 = 183,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{183,2 \cdot 10^{-6}} = 0,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Lägg samma armering i hela balken.

Kontroll görs

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,55 \cdot 0,12 \cdot 1} = 0,0015 > \rho_{w,min} = 0,0008; \text{ ok.}$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,55 = 0,413 \text{ m};$$

Svar: Delområde 1: $\emptyset 8$ s400 – N.

Övning 43

Beräkna upplagsreaktioner

$$\uparrow 400 + 18 \cdot 3 - R_A = 0$$

$$R_A = 454 \text{ kN} = V_{Ed,A}$$

Reduktion för last nära upplag:

$a = 1,5 \text{ m} > 1,12 \Rightarrow$ ingen reduktion får göras i punktlasten
för konsolbalk gäller följande:

$$V_{Ed,A,red} = V_{Ed,A,max} - q \cdot d - p \left(1 - \frac{a_v}{2d}\right)$$

$$V_{Ed,A,red} = 454 - 18 \cdot 0,543 = 444 \text{ kN}$$

Tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering

Kontroll för livtryckbrott (krossning i sned trycksträva) utan reduktion

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$V_{Ed} = 267 \leq V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 543 \approx 717 \text{ kN} > 454 \text{ ok!}$$

Kontroll för böjskjuvbrott (skjuvglidbrott) Kontroll av tvärkraftskapacitet i stöd A (med reduktion)

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w d \right]$$

$$\text{Med ett mista värde } V_{Rd,c} \leq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{543}} = 1,61 \leq 2,0 \quad \text{OK!}$$

Tvärkraftskapacitet vid ändstöd med 5φ25 som böjning

$$\rho_l = \frac{A_{si}}{b_w \cdot d} = \frac{5 \cdot 491 \cdot 10^{-6}}{0,25 \cdot 0,543} = 0,018 \leq 0,02 \text{ OK!}$$

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,6(100 \cdot 0,018 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \cdot 250 \cdot 543 \right] = 98,5 \text{ kN} < (V_{A,red} = 227 \text{ kN}) \text{ Ej OK!}$$

$$V_{Rd,c} \geq (v_{min} \cdot b_w \cdot d)$$

$$v_{min} = 0,035 \sqrt{1,61^3 \cdot 30} = 0,392$$

$$V_{Rd,c} > 0,392 \cdot 250 \cdot 543 = 53,2 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Tvärkraftsarmering vid stöd A behövs ; reduktion av last nära upplag hjälper inte

Dimensionering av tvärkraftsarmering

Dimensionering av tvärkraftsarmering enligt fackverksmodell vid stöd A

Välj

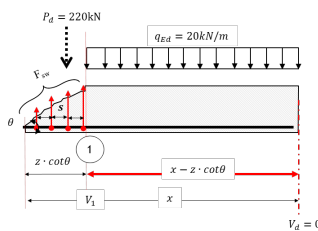
Välj vertikal byglar ($\alpha = 90^\circ$)

$\cot\theta = 2,5$ (övregräns för $\cot\theta$ enligt rekommendations värde)

$$Z \cdot \cot\theta = 0,9d \cdot \cot\theta = 0,9 \cdot 0,543 \cdot 2,5 = 1,22m$$

Tvärkraftsarmering skall klara hela tvärkraften utan bidrag från V_{Rdc} d.v.s. $V_{Ed} = V_{Rd,s}$

$$V_{Ed,A} = V_{Rd,s}$$



Tvärkraften i snitt 1 (högre del av balken) är:

$$R_A = P + x \cdot q_d$$

$$x = \frac{R_A - P}{q_d} = \frac{454 - 400}{18} = 3m$$

$$V_1 = q_d \cdot (x - z \cot\theta) = 18 \cdot (3 - 1,22) = 32 \text{ kN}$$

Kraften i byglarna är således

$$F_{sw} = \frac{z \cdot \cot\theta}{s} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} = V_1$$

Erforderlig armeringsarea per längdhet blir

$$\frac{A_{sw,q}}{s} = \frac{V_1}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{32 \cdot 10^3}{435 \cdot 1,22} = 60,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/m$$

Tvärkraft av koncentreras last P_d blir

$$V_{,P} = P_d = 400 \text{ kN}$$

Armering för tvärkraft blir:

$$A_{sw,P} = \frac{V_{,P}}{f_{ywd}} = \frac{400 \cdot 10^3}{435} = 919,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Denna armering fördelas inom längden $0,75a_v$:

$$\frac{A_{sw,P}}{s} = \frac{A_{sw,P}}{0,75a_v} = \frac{919 \cdot 10^{-6}}{0,75 \cdot 1,5} = 816,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/m$$

Total skjuvarmering

$$\frac{A_{sw}}{s} = (60,3 + 816,8) \cdot 10^{-6} = 877,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{877,1 \cdot 10^{-6}} = 0,115 \text{ m välj } s = 0,11 \text{ m}$$

Beräknas minimi tvärkraftsarmering

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} \geq \rho_{w,\min} \Rightarrow \left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,\min} \cdot b_w$$

$$\rho_{w,\min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min} = \rho_{w,\min} \cdot b_w = 0,00088 \cdot 0,25 = 219 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$S = \frac{101}{219} = 0,46 \text{ m} < 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,543 = 0,41 \text{ m ok!}$$

Välj $S_{\min} = 0,46 \text{ m}$

$s < s_{l,\max} = 0,41 \text{ m}$ ej ok!

Svar:

- Balken har ej tillräcklig betongtvärkraftskapacitet i stöd A, där tvärkraftsarmering erfordras.
- Tvärkraftsarm i stöd A Byglar $\phi 8$ s110-N.
- Minimi tvärkraftsarmering vid resten av balken byglar $\phi 8$ s410-N.

Övning 44 (sprick gränsning)

Dimensionerande materialegenskaper (bruksgränstillstånd)

Betong C30/37

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

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

Armering

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

Tvärsnittskonstanter i stadium II

Krympningens inverkan beaktas approximativt $x = x_{tp}$

Först undersöks var det neutrala lagret infaller

$$b_w \cdot x \cdot \frac{x}{2} = \alpha_{ef} \cdot A_s (d - x)$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{11} = 18,2$$

där

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{(\infty, t_0)}} = \frac{33}{1 + 2,3} = 11$$

$$1,0 \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 18,2 \cdot \frac{1,0}{0,150} \cdot 50,3 \cdot 10^{-6} (0,16 - x)$$

$$x^2 + 0,012x - 0,002 = 0$$

$$x = -\frac{b}{2a} \mp \sqrt{\frac{b^2}{4a^2} - \frac{c}{a}} = -\frac{0,012}{2} \mp \sqrt{\frac{0,012^2}{4} + 0,002} = -0,006 \mp 0,0452 \approx 0,04 \text{ m}$$

Tröghetsmoment i stadium II

$$I_{II} = \frac{b_w \cdot x^3}{3} + \alpha_{ef} \cdot A_s (d - x)^2$$

$$I_{II} = \frac{1,0 \cdot 0,04^3}{3} + 18,2 \cdot \frac{1,0}{0,150} \cdot 50,3 \cdot 10^{-6} (0,16 - 0,04)^2 = 0,109 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Stålpåkänning

$$\sigma_{sl} = \alpha_e \cdot \frac{M_l}{I_{II}} \cdot (d - x) = 18,2 \cdot \frac{0,18}{0,109 \cdot 10^{-3}} (0,16 - 0,04) = 3607 \text{ MPa}$$

Sprickbreddskontroll (stadium II)

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}(t)}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$k_t = 0,4 \quad (\text{långtidslast})$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad (\text{inget kryptal i detta sammanhang, se EC2, 7.3.4[2]})$$

$$\alpha_e = \frac{200}{33} = 6,06$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,9$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

Effektivt dragen betongarea $A_{c,eff}$

$$A_{c,eff} = b_f \cdot h_{c,ef}$$

$$h_{c,ef} = \min \left\{ 2,5(h-d); \frac{h-x}{3}; \frac{h}{2} \right\} = \min \left\{ 2,5(0,18-0,16); \frac{0,18-0,04}{3}; \frac{0,18}{2} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{0,05; 0,047; 0,09\} = 0,047 \text{ m}$$

$$A_{c,eff} = 1,0 \cdot 0,047 = 0,047 \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{1,0}{0,150} \cdot 50,3 \cdot 10^{-6} = 333,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{333,3 \cdot 10^{-6}}{0,047} = 0,008$$

Beräkna $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{3607 - 0,4 \frac{2,9}{0,008} (1 + 6,06 \cdot 0,008)}{200 \cdot 10^3} \geq 0,6 \cdot \frac{3607}{200 \cdot 10^3}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,017 > 0,0011$$

Beräkna maximalt sprickavstånd $s_{r,max}$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}}$$

$$k_1 = 0,8 \text{ vid god vidhäftning}$$

$$k_3 = 3,4 \text{ (nationell parameter, rekommenderat värde)}$$

$$k_4 = 0,425 \text{ (nationell parameter, rekommenderat värde)}$$

$$k_2 = 0,5 \text{ vid ren böjning}$$

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$c = 180 - 160 - \frac{8}{2} = 16 \text{ mm}$$

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot 16 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \frac{8}{0,008} = 224,4 \text{ mm}$$

Armeringens avstånd är mindre än $5 \left(c + \frac{\emptyset}{2} \right) = 5 \left(16 + \frac{8}{2} \right) = 100 \text{ mm}$; välj

$$s_{r,max} = 100 \text{ mm}$$

Beräkna sprickbredd

$$w_k = s_{r,\max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 100 \cdot 0,017 = 1,7 \cdot 10^{-4} m < w_{\max} = 4 \cdot 10^{-4} m$$

Svar:

Kravet uppfyller den rekommenderade gränsen.

Beräknad sprickbredd blir $1,7 \cdot 10^{-4} m < w_{\max} = 4 \cdot 10^{-4} m$.

Övning 45 (förankringskapacitet)

Dimensionerande materialegenskaper

Betong C30/37

$$f_{ctd} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} = 435 \text{ GPa}$$

Dragkraftsbehov i upplagsnitten

$$F_t = \frac{M_{Ed}}{z} + \Delta F_t \text{ där } M_{Ed} = 0 \text{ i upplagssnitten}$$

$$\Delta F_t = \frac{V_d^2}{2V_s}$$

Moment kring B:

$$R_A \cdot 4,0 - 15 \cdot 4 \cdot 2 - 20 \cdot 1 = 0$$

$$R_A = 35 \text{ kN}$$

$$\uparrow: R_A \cdot +R_A \cdot -q_d \cdot L - P_d = 0$$

$$R_B = 45 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0,9d}{s} = \frac{2 \cdot 50,3 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,35}{0,225} = 61,27 \text{ kN}$$

Stöd A:

$$\Delta F_t = \frac{V_{Ed}^2}{2V_{Rd,s}} = \frac{35^2}{2 \cdot 61,27} = 10 \text{ kN}$$

$$\Delta F_t = 0,5 \cdot 35 = 17,5 \text{ kN}$$

Stöd B:

$$\Delta F_t = \frac{V_{Ed}^2}{2V_{Rd,s}} = \frac{45^2}{2 \cdot 61,27} = 16,5 \text{ kN}$$

Dragkraftskapacitet

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

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{0,02}{4} \cdot \frac{435 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^6} = 0,725$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 10^6 = 3 \cdot 10^6$$

$$\alpha_1 = 1$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \left(\frac{0,050 - 0,020}{0,020} \right) = 0,78$$

$\alpha_3 = 1$ inga tvärgående stänger

$\alpha_4 = 1$ (inga svetsade stänger)

$\alpha_5 = 1$ (inte tryck vinkelrät spjälkningsplanet)

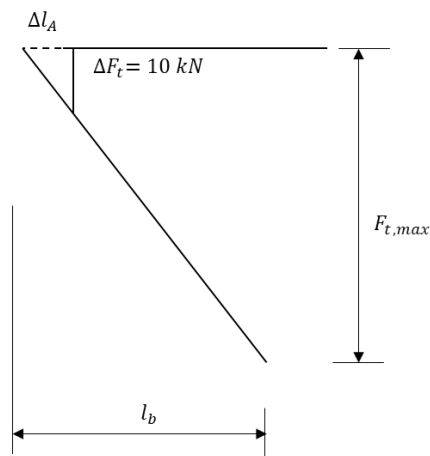
$$l_{b,d} = 1 \cdot 0,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,725 = 0,73 \geq l_{b,min}$$

$$l_b = l_{b,rqd} = 0,8m > l_{b,min} \geq \max(0,3 \cdot 0,73 = 0,22 ; 0,20, 0,1 m) \text{ välj } 0,22$$

$$l_{b,min} = 0,22 m < l_{b,d} = 0,725 m \text{ ok!}$$

Beräkning av L

Stöd A:



$$F_{t,max} = A_s \cdot f_{yd} = 2 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^{-6} = 273,2 kN$$

$$\frac{\Delta l_A}{\Delta F_t} = \frac{l_b}{F_{t,max}}$$

$$\Delta l_A = \frac{\Delta F_t}{F_{t,max}} \cdot l_b$$

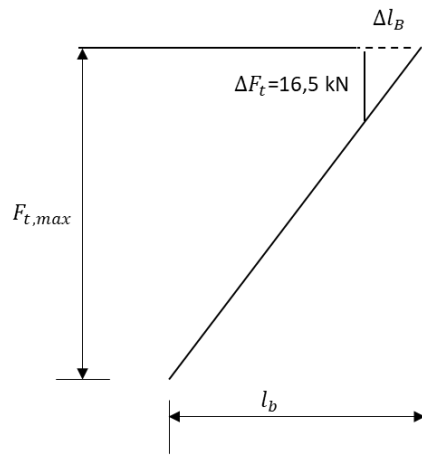
$$\Delta l_A = \frac{10}{273,2} \cdot 0,725 = 0,026m$$

Stöd B

$$\frac{\Delta l_B}{\Delta F_t} = \frac{l_b}{F_{t,max}}$$

$$\Delta l_B = \frac{\Delta F_t}{F_{t,max}} \cdot l_b$$

$$\Delta l_B = \frac{16,5}{273,2} \cdot 0,725 = 0,044m$$



$$L_{total} = L + \Delta l_{BA} + \Delta l_B = 4,0 + ,026 + ,044 = 4,07m$$