

α) Σχεδιασμός έναντι κάμψης

$$w_d = 1,35g_k + 1,50q_k = 1,35 \times 60,0 + 1,50 \times 18,0 = 108,0 \text{ kN/m}$$

$$\max M = w_d l^2 / 8 = 108,0 \times 6,0^2 / 8 = 486,0 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{486,0}{0,30 \times 0,540^2 \times 0,85 \times 30000 / 1,50} = 0,327$$

Με $\mu_{Eds} = 0,327$ από Νομογράφημα Tafel 2c και $d_2/d = 50/540 = 0,093 \rightarrow \omega_1 = 0,399 \quad \omega_2 = 0,035$

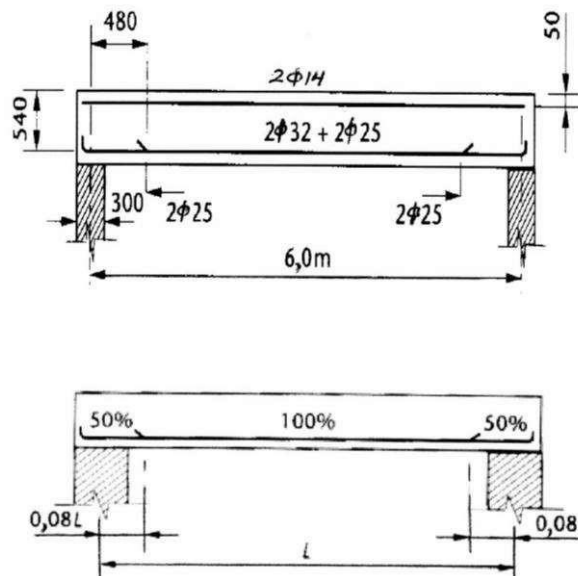
$$A_{s1} = \omega_1 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,399 \times 30 \times 54 \times \frac{0,85 \times 30 / 1,50}{500 / 1,15} = 25,3 \text{ cm}^2$$

και

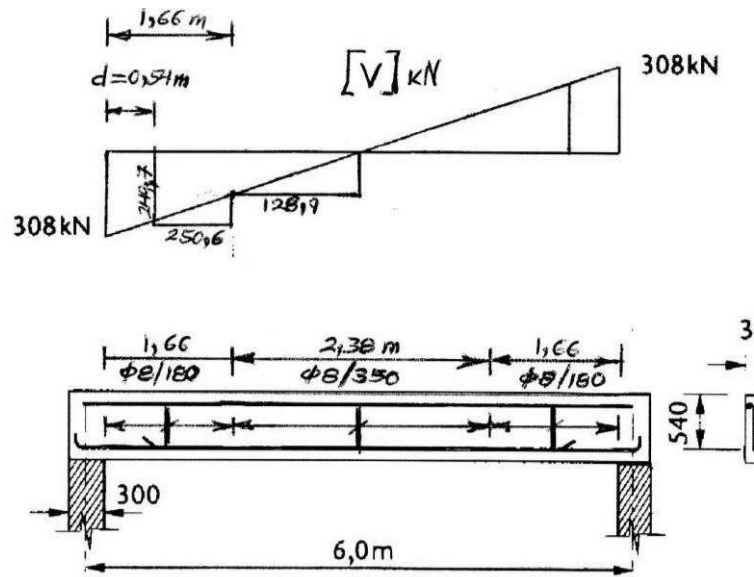
$$A_{s2} = \omega_2 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,035 \times 30 \times 54 \times \frac{0,85 \times 30 / 1,50}{500 / 1,15} = 2,2 \text{ cm}^2$$

Επιλέγονται κάτω $2\Phi 32 + 2\Phi 25$ ($=25,9 \text{ cm}^2$) και άνω $2\Phi 14$ ($=3,08 \text{ cm}^2$)

Οι κάτω οπλισμοί αγκυρώνονται στις στηρίξεις με άγκιστρα όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα βασισμένο σε απλοποιητικούς πρακτικούς κανόνες κλιμάκωσης



β) Σχεδιασμός έναντι διάτμησης



Μέγιστη τέμνουσα σχεδιασμού στη στήριξη $V_{Ed} = w_u \times \text{μήκος δοκού}/2 = 108 \times 6/2 = 324,0 \text{ kN}$

Τέμνουσα σχεδιασμού στην παρειά της στήριξης $V_{Ed,x=0} = 324,0 - 108,0 \times 0,15 = 308,0 \text{ kN}$

Τέμνουσα σχεδιασμού σε d από παρειά στήριξης $V_{Ed,x=d} = 308,0 - 108,0 \times 0,540 = 249,7 \text{ kN}$

1) Έλεγχος αγνόησης της διάτμησης

Αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς σπλισμό διάτμησης:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

όπου

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{540}} = 1,61 \leq 2 \rightarrow k = 1,61$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{25,92}{30,0 \times 54,0} = 0,016 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{0}{300 \times 600} = 0$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,50 = 0,12$$

$$\text{άρα } V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d$$

$$= \left[0,12 \times 1,61 (100 \times 0,016 \times 30)^{1/3} + 0,15 \times 0 \right] \times 0,300 \times 0,540 \times 10^3 = 113,7 \text{ kNm}$$

$$k_1 = 0,15$$

$$V_{\min} = (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$= (0,035 \times 1,61^{3/2} \times 30^{1/2} + 0,15 \times 0) \times 0,300 \times 0,540 \times 10^3 = 63,4 \text{ kN}$$

$$\text{Επομένως } V_{Rd,c} = 113,7 \text{ kN}$$

Αφού $V_{Ed,x=0} = 308,0 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 113,7 \text{ kN}$ τότε απαιτείται σπλισμός διάτμησης στην δοκό.

2) Έλεγχος επάρκειας διαγώνιων θλιπτήρων σκυροδέματος

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{0}{300 \times 600} = 0$$

$$V'_{Rdc} = 0,24 f_{ck}^{1/3} (1 + 1,2 \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}) b_w z = 0,24 \times 30^{1/3} \times (1 + 1,2 \times \frac{0}{30/1,50}) \times 300 \times 0,9 \times 540 \times 10^{-3} = 108,7 \text{ kN}$$

$$\cot \theta_\alpha = \frac{1,2 - 1,4 \sigma_{cd} / f_{cd}}{1 - V'_{Rdc} / V_{Ed,x=d}} = \frac{1,2 - 1,4 \times 0}{1 - 108,7 / 249,7} = 2,13 < 2,5 \rightarrow \theta_\alpha = 25,2^\circ$$

$$V_{Rd, \max(25,2^\circ)} = 0,18(1 - f_{ck} / 250)f_{ck}b_w d \sin 2\theta = 0,18 \times (1 - 30 / 250) \times 30 \times 300 \times 540 \times \sin(2 \times 25,2^\circ) \times 10^{-3} = 593,2 \text{ kN} > V_{Ed, x=0} = 308,0 \text{ kN}$$

Επομένως η διατομή επαρκεί.

Επιλογή γωνίας $\theta=25,2^\circ$.

3) Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης

$$\left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{\min} = \rho_{w, \min} b_w = (0,08\sqrt{f_{ck}} / f_{ywk}) b_w = (0,08\sqrt{30} / 500) 300 = 0,26 \text{ mm} = 2,6 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$s_{l, \max} = 0,75d = 0,75 \times 54 = 40,5 \text{ cm}$$

Επιλέγονται $\Phi 8/350$ ($=2.87 \text{ cm}^2/\text{m}$)

και η αντοχή σε τέμνουσα αυτών των ελάχιστων συνδετήρων είναι

$$V_{Rd, \min} = \frac{A_{sw}}{s} 0,9d f_{ywd} \cot \theta = 0,287 \times 0,9 \times 540 \times (500 / 1,15) \times \cot(25,2^\circ) \times 10^{-3} = 128,9 \text{ kN}$$

$$\text{Απόσταση από παρειά στήριξης } x = \frac{V_{Ed, x=0} - V_{\min}}{w_u} = \frac{308,0 - 128,9}{108,0} = 1,66 \text{ m}$$

4) Οπλισμός διάτμησης

Σε απόσταση d από παρειά στήριξης με $\theta=25,2^\circ$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed, x=d}}{0,9d f_{ywd} \cot \theta} = \frac{249,7 \times 10^3}{0,9 \times 540 \times (500 / 1,15) \times \cot(25,2^\circ)} \text{ mm} = 0,556 \text{ mm} = 5,56 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Επιλέγονται $\Phi 8/180$ ($A_{sw} / s = 5,58 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

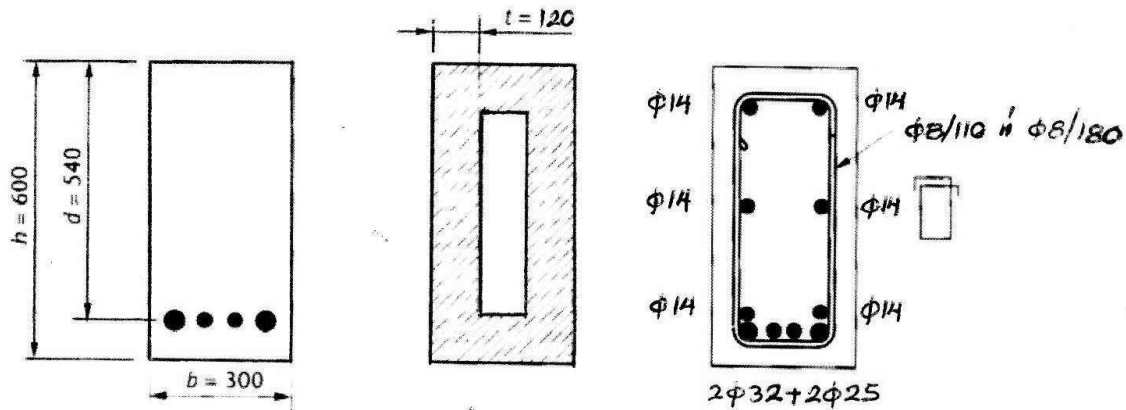
και η αντοχή σε τέμνουσα αυτών των συνδετήρων είναι

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0,9d f_{ywk} \cot \theta = 0,558 \times 0,9 \times 540 \times (500 / 1,15) \times \cot(25,2^\circ) \times 10^{-3} = 250,6 \text{ kN}$$

4) Πρόσθετη εφελκυστική δύναμη στον διαμήκη οπλισμό κάμψης λόγω τέμνουσας

$$\Delta F_{ld} = 0,5 V_{Ed, x=0} \cot \theta = 0,5 \times 308,0 \times \cot(25,2^\circ) = 327,3 \text{ kN}$$

γ) Σχεδιασμός έναντι στρέψης



$$t_{ef} = \max \{A/u, 2(c+\Phi_{\text{συνδ}}+0,5\Phi)\} \leq t_{\text{πραγματικό}}$$

$$t_{ef} = \max \left\{ \frac{A}{u}, 2c \right\} = \max \left\{ \frac{300 \times 600}{2(300 + 600)}, 2 \times 60 \right\} = \max \{100, 120\} = 120 \text{ mm}$$

$$A_k = (b - t_{ef})(h - t_{ef}) = (300 - 120)(600 - 120) = 86400 \text{ mm}^2$$

$$u_k = 2(b + h - 2t_{ef}) = 2(300 + 600 - 2 \times 120) = 1320 \text{ mm}$$

1) Έλεγχος αγνόησης της στρέψης

$$\text{Βρέθηκε } V_{Ed,x=0} = 308,0 \text{ kN} \quad V_{Rd,c} = 113,7 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 24,0 \text{ kNm}$$

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} 2A_k t_{ef} = (\alpha_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_c) 2A_k t_{ef} = (1,0 \times 1,5 / 1,50) \times 2 \times 86400 \times 120 \times 10^{-6} = 20,7 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} / T_{Rd,c} + V_{Ed} / V_{Rd,c} \leq 1,0$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{24,0}{20,7} + \frac{308,0}{113,7} = 3,87 > 1,0 \quad \text{και επομένως δεν αρκεί ένας ελάχιστος οπλισμός στρέψης.}$$

2) Έλεγχος επάρκειας διαγώνιων θλιπτήρων σκυροδέματος

Επιλέχθηκε από διάτμηση γωνία $\theta = 25,2^\circ$.

$$\begin{aligned} V_{Rd,\max(25,2^\circ)} &= 0,18(1 - f_{ck} / 250) f_{ck} b_w d \sin 2\theta = \\ &= 0,18 \times (1 - 30 / 250) \times 30 \times 300 \times 540 \times \sin(2 \times 25,2^\circ) \times 10^{-3} \\ &= 593,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Ed,x=0} = 308,0 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 24,0 \text{ kNm}$$

$$\text{Με } \alpha_{cw} = 1 \quad \text{και } \nu = 0,6 \left[1 - (f_{ck} / 250) \right]$$

$$\begin{aligned} T_{Rd,\max} &= \nu \alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{ef} \sin(2\theta) = \\ &= [0,6 \times (1 - 30 / 250)] \times 1 \times 30 \times 0,086400 \times 0,120 \times \sin(2 \times 25,2^\circ) \times 10^3 \\ &= 126,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,\max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}} = \frac{24,0}{126,5} + \frac{308,0}{593,2} = 0,71 < 1,0$$

Επομένως υπάρχει επάρκεια των διαγώνιων θλιπτήρων σκυροδέματος.

3) Συνδετήρες λόγω στρέψης και διάτμησης

Για ένα σκέλος συνδετήρα λόγω στρέψης

$$\frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{1}{2f_{ywd} \cot \theta} \frac{T_{Ed}}{A_k} = \frac{1}{2 \times 500 / 1,15 \times \cot 25,2^\circ} \frac{24,0 \times 10^6}{86400} \text{ mm} = 0,150 \text{ mm} = 1,50 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Από διάτμηση βρέθηκε για δύο σκέλη συνδετήρα ότι απαιτείται $A_{sw} / s = 5,56 \text{ cm}^2 / m$

Επομένως για ταυτόχρονη στρέψη και διάτμηση και για δύο σκέλη συνδετήρα

στην παρειά δοκού $A_{sw} / s = 2 \times 1,50 + 5,56 = 8,56 \text{ cm}^2 / m$

σε απόσταση $x=1,66 \text{ m}$ από παρειά δοκού $A_{sw} / s = 2 \times 1,50 + 2,32 = 5,32 \text{ cm}^2 / m$

Επιλέγονται

από παρειά δοκού μέχρι $x=1,66 \text{ m} \rightarrow \Phi 8/110 (A_{sw} / s = 9,14 \text{ cm}^2 / m)$

από $x=1,66 \text{ m}$ μέχρι μέσο δοκού $\rightarrow \Phi 8/180 (A_{sw} / s = 5,59 \text{ cm}^2 / m)$

4) Διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης και κάμψης

Ο πρόσθετος διαμήκης οπλισμός που απαιτείται λόγω στρέψης είναι

$$\sum A_{sl} = u_k \frac{T_{\text{Ed}}}{2f_{yd} A_k} \cot \theta = 132,0 \times \frac{24,0 \times 100}{2 \times 50,0 / 1,15 \times 864,0} \cot 25,2^\circ = 8,96 \text{ cm}^2$$

Ο πρόσθετος αυτός διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης προστίθεται στον διαμήκη οπλισμό λόγω κάμψης και επιλέγεται να είναι 6Φ14 ($=9,24 \text{ cm}^2$), ένας σε κάθε γωνία και ένας σε κάθε μια από τις δεξιά & αριστερά πλευρές.