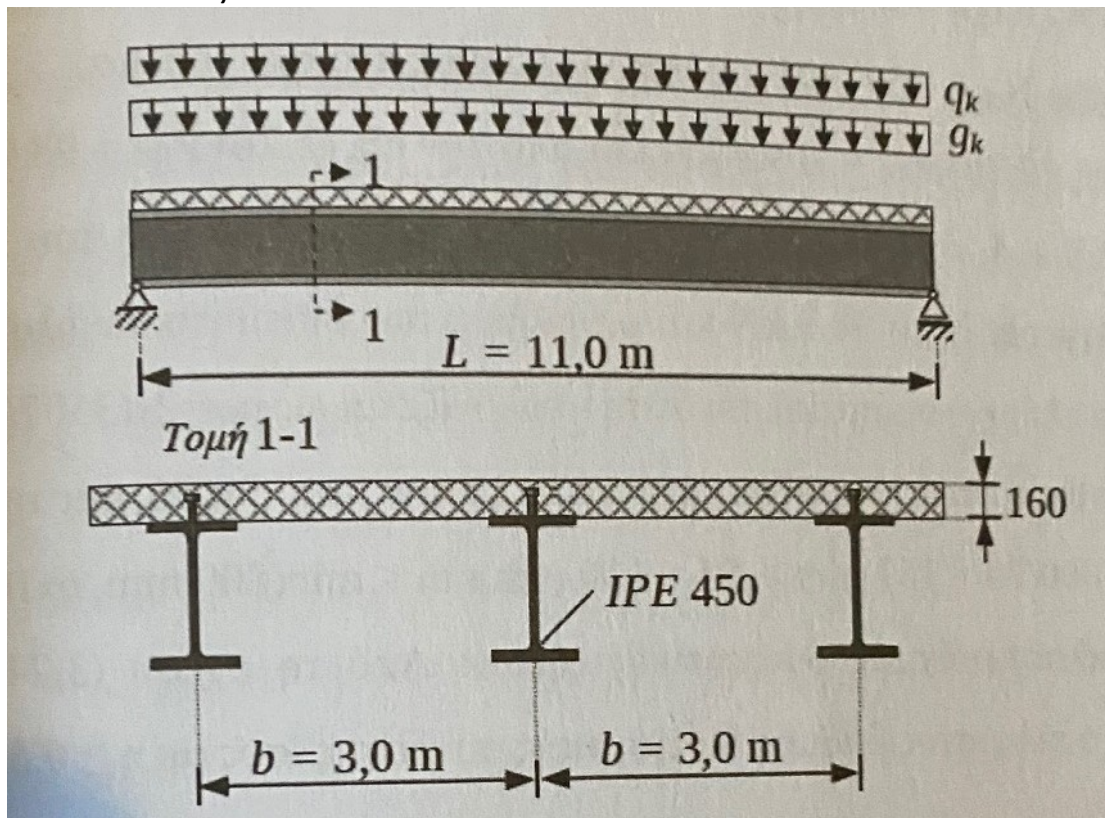


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Διαστασιολόγηση μεσαίας δοκού

Δεδομένα:

- Χάλυβας S355, σκυρόδεμα C25/30
- Δοκός: IPE450
- Διατμητικοί ύλοι: διάμετρος $d=22\text{mm}$, μήκος $h_{sc}=125\text{mm}$, αντοχή $f_u=450\text{MPa}$
- Η πλάκα κατασκευάζεται από έγχυτο σκυρόδεμα πάχους 110mm σε προκατασκευασμένες πλάκες πάχους 50mm . ($h_c=110\text{mm}$, $h_t=110+50=160\text{mm}$)
- Ίδιο Βάρος πλάκας 4KN/m^2 , βάρος μεταλλικής δοκού (και προσαρτημάτων) 82.5Kg/m , επικαλύψεις δαπέδων 2.5KN/m^2 , κινητά φορτία 5KN/m^2
- Η δοκός είναι υποστυλωμένη κατά την κατασκευή της πλάκας



S355: $f_y=355\text{MPa}$

C25/30: $f_{ck}=25\text{MPa}$, $E_{cm}=31\text{GPa}$

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες αντοχής σκυροδεμάτων, χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_{ck} (κυλίνδρων) και χαρακτηριστικές εφελκυστικές αντοχές f_{ct} του σκυροδέματος [MPa]

Σκυρόδεμα	[12]	[16]	C 20/25	C 25/30	C 30/37 (30/35)	C 35/45 (35/40)	C 40/50 (40/45)	C 45/55 (45/50)	C 50/60 (50/55)
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ctm}	1.6	1.9	2.2	2.6 (2.5)	2.9 (2.8)	3.2 (3.1)	3.5 (3.4)	3.8(3.7)	4.1 (4.0)
$f_{ctk\ 0.05}$	1.1 (1.2)	1.3 (1.4)	1.5 (1.6)	1.8	2.0	2.2	2.5 (2.4)	2.7 (2.6)	2.9 (2.8)
$f_{ctk\ 0.95}$	2.0	2.5 (2.4)	2.9 (2.8)	3.3 (3.2)	3.8 (3.6)	4.2 (4.0)	4.6 (4.4)	4.9 (4.8)	5.3 (5.2)

() στο NEKOΣ

Πίνακας 3.2: Μέση Τιμή του Επιβατικού Μέρους Ελαστικότητας [GPa]

Σκυρόδεμα	[12]	[16]	C 20/25	C 25/30	C 30/37 (30/35)	C 35/45 (35/40)	C 40/50 (40/45)	C 45/55 (45/50)	C 50/60 (50/55)
E_{cm}	26	27.5 (28)	29	30.5 (31)	32	33.5 (34)	35	36	37

IPE450: $A_a=9880\text{mm}^2$, $h_a=450\text{mm}$, $b_f=190\text{mm}$, $t_f=14.6\text{mm}$,
 $t_w=9.4\text{mm}$, $r=21\text{mm}$, $I_a=33740*10^4\text{mm}^4$, $W_{pl,a}=1702*10^3\text{mm}^3$

Τιμή σχεδιασμού του ομοιόμορφου κατανεμημένου φορτίου για οριακή κατάσταση αστοχίας και για τον υπολογισμό μακροχρόνιου βέλους κάμψης

Φορτία:

Μόνιμα:

$$g|B+g_{\epsilon\pi}=4\text{KN/m}^2+2.5\text{KN/m}^2=6.5\text{KN/m}^2$$

$$g_{\pi\lambda}=6.5\text{KN/m}^2*3=19.5\text{KN/m}$$

$$g_{\delta\sigma\kappa}=82.5\text{Kg/m}=82.5*9.81*10^{-3}=0.809\text{KN/m}$$

$$g_k=19.5\text{KN/m}+0.809\text{KN/m}=20.31\text{KN/m}$$

Κινητά:

$$q_k=5\text{KN/m}^2=5\text{KN/m}^2*3=15\text{KN/m}$$

Συνδυασμός Δράσεων:

$$1.35 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 1.35 \cdot 20.31 \text{ kN/m} + 1.5 \cdot 15 \text{ kN/m} = 49.92 \text{ kN/m}$$

Στιγμιαίο βέλος κάμψης λόγω μόνιμων και κινητών φορτίων:

$$1.00 \cdot g_k + 0.5 \cdot q_k = 1.00 \cdot 20.31 \text{ kN/m} + 0.5 \cdot 15 \text{ kN/m} = 27.81 \text{ kN/m}$$

Βέλος κάμψης λόγω μακροχρόνιων δράσεων:

$$1.00 \cdot g_k + 0.3 \cdot q_k = 1.00 \cdot 20.31 \text{ kN/m} + 0.3 \cdot 15 \text{ kN/m} = 24.81 \text{ kN/m}$$

Συνεργαζόμενο πλάτος δοκού

$$b_{eff} = L/4 = 11 \text{ m} / 4 = 2.75 \text{ m} < 3 \text{ m} \quad b_{eff} = 2.75 \text{ m} = 2750 \text{ mm}$$

Αντοχή σε κάμψη για πλήρη διατμητική σύνδεση και σε εγκάρσια τέμνουσα

$$M_{ED} = 49.92 \cdot 11^2 / 8 = 755.04 \text{ kNm}$$

$$V_{ED} = 49.92 \cdot 11 / 2 = 274.56 \text{ kN}$$

• Ουδέτερος άξονας στην πλάκα σκυροδέματος

Κατ' αρχήν προσδιορίζεται η θέση του ουδέτερου άξονα (ύψος x από την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος), βάσει της κατανομής των τάσεων του Σχ. 3.3β:

$$N_{c,f} = \frac{A_a f_y}{\gamma_{M0}} = b_{eff} x \frac{0.85 f_{ck}}{\gamma_c}, \quad x \leq h_c \quad (3.1)$$

όπου A_a = εμβαδόν διατομής χάλυβα. Ισορροπία ροπών ως προς το σημείο εφαρμογής της θλιπτικής δύναμης $N_{c,f}$ στο σκυρόδεμα δίνει την πλαστική ροπή σχεδιασμού της διατομής $M_{pl,Rd}$:

$$M_{pl,Rd} = \frac{A_a f_y}{\gamma_{M0}} \left(h_g + h_t - \frac{x}{2} \right) \quad (3.2)$$

Από τη σχ.3.1

$$x = (A_a \cdot f_y \cdot \gamma_c) / (\gamma_{M0} \cdot b_{eff} \cdot 0.85 \cdot f_{ck}) =$$

$$= (9880 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5) / (1.0 \cdot 2750 \text{ mm} \cdot 0.85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2) = 90 \text{ mm}$$

$$x=90\text{mm}<h_c=110\text{mm}$$

$$N_{cf}=A_a \cdot f_y / \gamma_{M0} = (9880\text{mm}^2 \cdot 355\text{N/mm}^2) / 1.0 = 3507400\text{N} = 3507\text{KN}$$

Καμπτική αντοχή δοκού:

Από τη σχ3.2

$$\text{και } x=90\text{mm}, h_g=ha/2=450/2=225\text{mm}$$

$$M_{pl,Rd} = (9880\text{mm}^2 \cdot 355\text{N/mm}^2 / 1.0) \cdot (225 + 160 - 90/2) \cdot 10^{-6} =$$

$$1192.5\text{KNm} > M_{ED} = 755.04\text{KNm}, \text{ όλη η διατομή καταπονείται σε εφελκυσμό}$$

Αντοχή διατομής σε εγκάρσια διάτμηση:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

Επιφάνεια διάτμησης

$$A_v = A_a - 2b_f t_f + (t_w + 2r) t_f$$

$$\text{Άρα } A_v = 9880\text{mm}^2 - 2 \cdot 190\text{mm} \cdot 14.6\text{mm} + (9.4\text{mm} + 2 \cdot 21) \cdot 14.6\text{mm} = 5082\text{mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 5082\text{mm}^2 \cdot (355\text{N/mm}^2 / \sqrt{3}) / 1.0 = 1041603\text{N} = 1041.6\text{KN} > V_{ED} = 274.56\text{KN}$$

Πλαστική ροπή χαλύβδινης διατομής:

$$M_{pl,a,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot W_{pl,a}$$

$$M_{pl,a,Rd} = 355\text{N/mm}^2 / 1.0 \cdot 1702 \cdot 10^6 \text{mm}^3 = 604.2\text{KNm}$$

$$N_c = \left(\frac{M_{Rd} - M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}} \right) N_{c,f}$$

$$n = n_f \frac{N_c}{N_{c,f}} = \frac{N_c}{P_{Rd}}$$

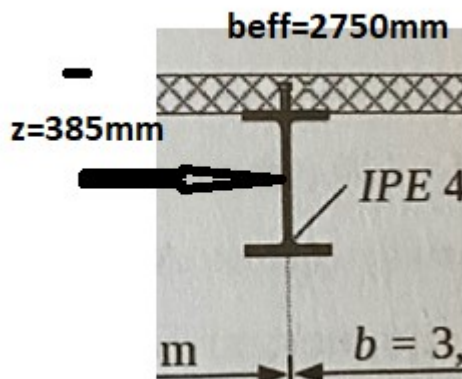
$$N_c = \left(\frac{MRd - M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}} \right) * N_{c,f} = \left(\frac{755.04 - 604.2}{1192.5 - 604.2} \right) * N_{c,f}$$

$$= 0.26 * 3507 = 899.3KN$$

Άρα απομείωση $1 - 0.25 = 0.85$

$$MRd = 0.85 * (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) + M_{pl,a,Rd} = 1104.3KNm$$

Μακροχρόνιο βέλος κάμψης:



Στιγμαίο βέλος κάμψης για φορτίο 27.81KN/m

$$A_a(z_q - hc) < 0.5 * beff * \frac{hc^2}{n}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{31} = 6.77$$

$$A_a = 9880mm^2, \quad z = (h_a/2 + h_t) = (450/2 + 160) = 385mm, \quad hc = 110mm,$$

$$beff = L/4 = 11000/4 = 2750mm$$

$$9880 * (385 - 110) < 0.5 * 2750 * \frac{110^2}{6.77} \text{ δεν ισχύει}$$

Διότι $2717 * 10^3 > 2457.53 * 10^3$, άρα ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται εκτός σκυροδέματος.

Υπολογισμός ύψους θλιβόμενης ζώνης:

$$Aa(zq - x) = beff * hc * \frac{x - hc/2}{n}$$

$$nq = \frac{Ea}{Ec} = \frac{210}{31} = 6.77$$

$$Aa=9880\text{mm}^2, z=385\text{mm}, hc=110\text{mm}, beff=L/4=11000/4=2750\text{mm}$$

$$9880(385 - x) = 2750 * 110 * \frac{x - 110/2}{6.77}$$

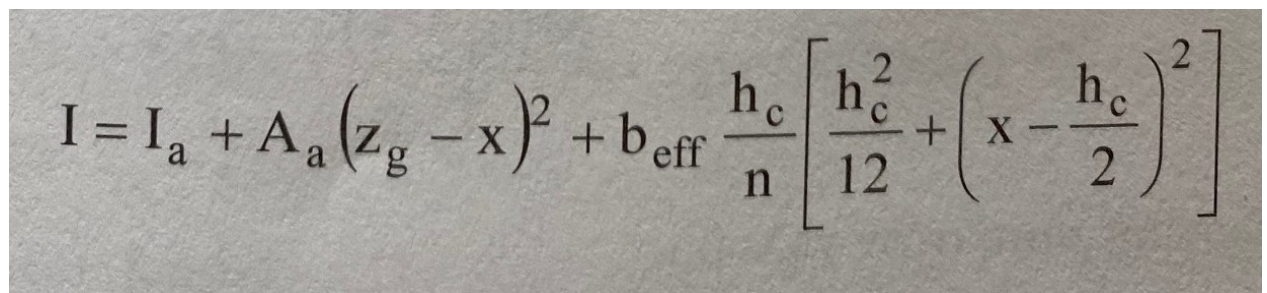
$$(9880*385-9880*x)*6.77=302500*x-302500*55 \rightarrow$$

$$25751726-66887.6x=302500x-16637500 \rightarrow$$

$$42389226=369387.6x$$

$$x=114.8\text{mm}$$

Ροπή αδράνειας σύμμικτης διατομής

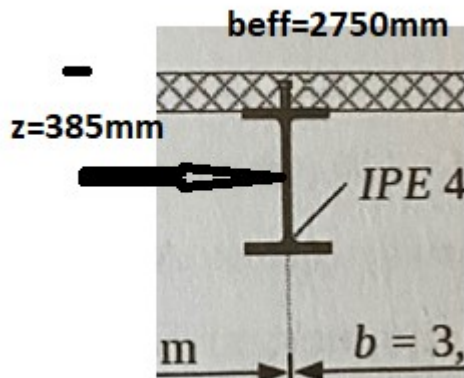

$$I = I_a + A_a (z_g - x)^2 + b_{\text{eff}} \frac{h_c}{n} \left[\frac{h_c^2}{12} + \left(x - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I = 33740 * 10^4 + 9880 * (385 - 114.8)^2 + 2750 * \frac{110}{6.77} * \left[\frac{110^2}{12} + \left(114.8 - \frac{110}{2} \right)^2 \right] = 1263.56 * 10^6 \text{mm}^4$$

Άρα η βύθιση:

$$\delta\sigma\tau = \frac{5 * w * L^4}{384 * Ea * I} = \frac{5 * 27.8 * 11^4 * 10^9}{384 * 210 * 1263.56 * 10^6} = 20\text{mm}$$

Βέλος κάμψης λόγω μακροχρόνιων δράσεων για φορτίο 24.8KN/m
Μακροχρόνιο βέλος κάμψης:



Στιγμαίο βέλος κάμψης για φορτίο 27.81KN/m

$$Aa(zq - hc) < 0.5 * beff * \frac{hc^2}{n}$$

$$n = \frac{Ea}{Ec/3} = \frac{210}{31/3} = 20.32$$

$$Aa=9880\text{mm}^2, \quad z=(ha/2+ht)=(450/2+160)=385\text{mm}, \quad hc=110\text{mm},$$

$$beff=L/4=11000/4=2750\text{mm}$$

$$9880 * (385 - 110) < 0.5 * 2750 * \frac{110^2}{20.32} \text{ δεν ισχύει}$$

Διότι $2717 * 10^3 > 818.8 * 10^3$, άρα ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται εκτός σκυροδέματος.

Υπολογισμός ύψους θλιβόμενης ζώνης:

$$Aa(zq - x) = beff * hc * \frac{x - hc/2}{n}$$

$$n = \frac{Ea}{Ec/3} = \frac{210}{31/3} = 20.32$$

$$Aa=9880\text{mm}^2, \quad z=385\text{mm}, \quad hc=110\text{mm}, \quad beff=L/4=11000/4=2750\text{mm}$$

$$9880(385 - x) = 2750 * 110 * \frac{x - 110/2}{20.32}$$

$$(9880 \cdot 385 - 9880 \cdot x) \cdot 20.32 = 302500 \cdot x - 302500 \cdot 55 \rightarrow$$

$$77293216 - 200761.6 = 302500x - 16637500 \rightarrow$$

$$93930716 = 503261.6x$$

$$x = 186.6 \text{ mm}$$

Ροπή αδράνειας σύμμικτης διατομής

$$I = I_a + A_a (z_g - x)^2 + b_{\text{eff}} \frac{h_c}{n} \left[\frac{h_c^2}{12} + \left(x - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I = 33740 \cdot 10^4 + 9880 \cdot (385 - 114.8)^2 + 2750 \cdot \frac{110}{20.32}$$

$$\cdot \left[\frac{110^2}{12} + \left(114.8 - \frac{110}{2} \right)^2 \right] = 999.13 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Άρα η βύθιση:

$$\delta = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E_a \cdot I} = \frac{5 \cdot 24.8 \cdot 11^4 \cdot 10^9}{384 \cdot 210 \cdot 999.13 \cdot 10^6} = 22.5 \text{ mm}$$

Μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος $L/250 = 11000/250 = 44 \text{ mm}$

$$\delta = 22.5 \text{ mm} < 44 \text{ mm}$$

Αριθμός διατμητικών ήλων

$$N_{cf} = A_a \cdot f_y / \gamma_{M0} = (9880 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2) / 1.0 = 3507400 \text{ N} = 3507 \text{ kN}$$

$$N_{cf} < 0.85 \cdot f_{cd} \cdot h_c \cdot b_{\text{eff}} \rightarrow$$

$$3507 \text{ kN} < 0.85 \cdot \frac{25}{1.5} \cdot 110 \cdot 2750 \cdot 10^{-3}$$

3507 kN < 4285 kN, άρα ο ουδέτερος άξονας στο σκυρόδεμα
Αντοχή διατμητικού ήλου:

• Αντοχή Σχεδιασμού των Συνδέσμων Διάτμησης [6.3.2.1]

1. Συμπαγείς πλάκες

Η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση P_{Rd} ενός ήλου κεφαλής θα πρέπει να είναι η

$$\min \begin{cases} P_{Rd} = 0.8 f_u (\pi d^2 / 4) / \gamma_v \\ P_{Rd} = 0.29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} / \gamma_v \end{cases}$$

όπου h το ύψος και d η διάμετρος των συνδέσμων

f_u = η οριακή αντοχή σε εφελκυσμό του υλικού των συνδέσμων ($\leq 500 \text{ N/mm}^2$). Συνήθως είναι 450 N/mm^2 .

$\alpha = 0.2 [(h/d) + 1]$ για $3 \leq h/d \leq 4$ και

$\alpha = 1$ για $h/d > 4$.

$$h/d = 125/22 = 5.68 > 4 \text{ \u00c4ρα } \alpha = 1$$

$$P_{Rd} = \frac{0.29 * 1 * 22^2 * \sqrt{25 * 31000}}{1.25} * 10^{-3} = 98851 \text{ N} = 98.9 \text{ KN}$$

Αριθμός ήλων για \u00f3λο το \u00e1νοιγμα της δοκού: $2 * 3507 / 98.9 = 71$

($3507 / 98.9 = 35.46$ για το μισ\u00f3 \u00e1νοιγμα της δοκού)

Οι \u00e9λοι τοποθετούνται 1 στο μέσον και οι υπολοιποι 70 ανά $11000 / 70 = 157 \text{ mm}$

Ελάχιστη απόσταση των διατμητικών \u00e9λων $5d = 5 * 22 = 110 \text{ mm}$

Μέγιστη απόσταση $\min(800 \text{ mm}, 6 * ht)$, $\min(800, 6 * 160) \rightarrow \min(800, 960) \rightarrow 800 \text{ mm}$

$$800 > 157 > 110$$

$11000 / 800 = 13.75$, τουλάχιστον 14 διατμητικοί \u00e9λοι

$11000 / 110 = 100$, το πολύ 100 διατμητικοί \u00e9λοι