

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3^ο

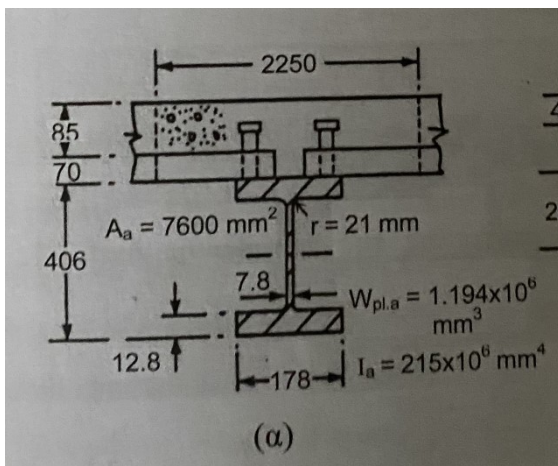
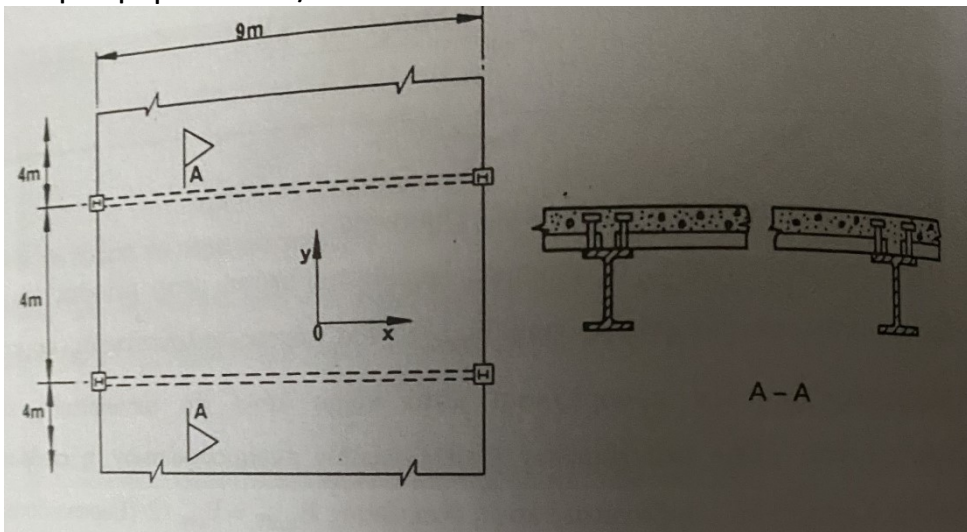
Να γίνει η διαστασιολόγηση μιας σύμμικτης δοκού που φέρει η σύμμικτη πλάκα. Να γίνει η παραδοχή ότι η κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος η δοκός είναι μη υποσυλωμένη.

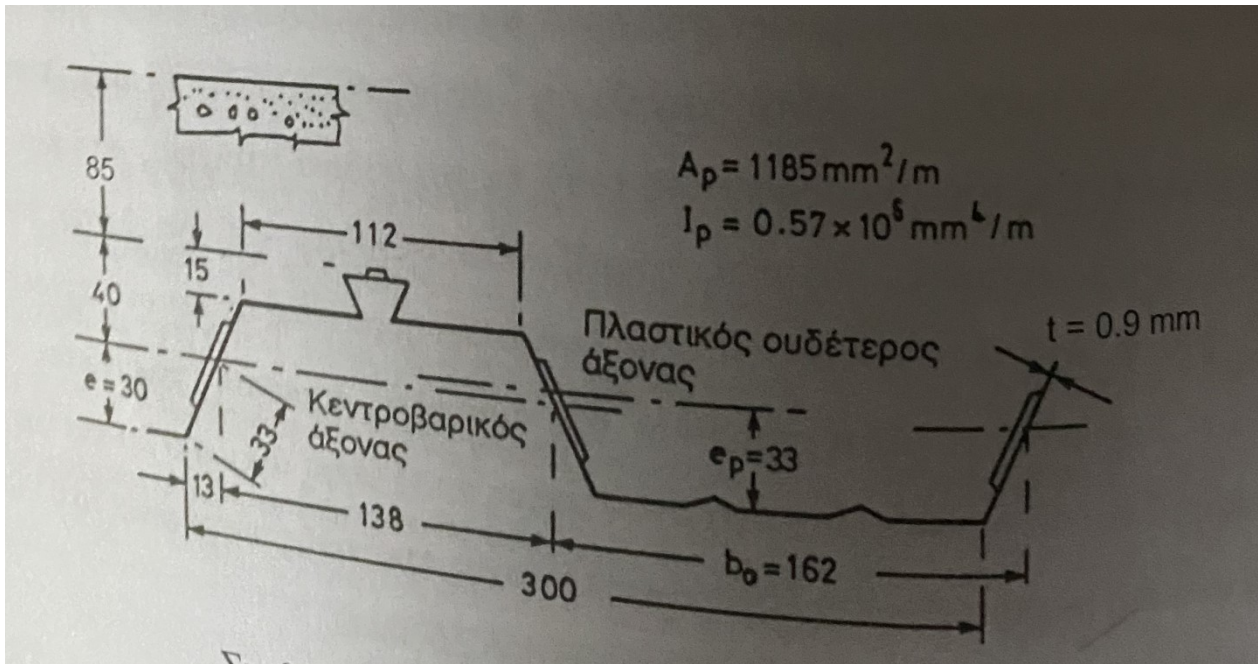
Υλικά:

- Ελαφροσκυρόδεμα $\rho=1900\text{Kg/m}^3$, C25/30. Για τον ερπυσμό $E_{\text{ceff}}=E_{\text{cm}}/3$.
- Δομικός χάλυβας S355, χάλυβας οπλισμού $f_{sk}=500\text{N/mm}^2$. Χαλυβδόφυλλα $F_{yk}=280\text{N/mm}^2$.
- Διατμητικοί ήλοι διάμετρος 19mm, μήκος 100mm, $f_u=450\text{N/mm}^2$

Φορτία:

- Ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος: 20KN/m^3
- Ίδιο βάρος χάλυβα: 77KN/m^3
- Ίδιο βάρος δοκού (μαζί με υλικό πυροπροστασίας): 2.2KN/m
- Επικάλυψη δαπέδων και οροφής: 1.3KN/m^2
- Φορτίο τοιχοπληρώσεων: 1.2KN/m^2
- Ίδιο βάρος σύμμικτης πλάκας: 2.4KN/m^2
- Κινητό φορτίο: 5KN/m^2





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 ΝΕΚΟΣ

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

Φορτία:

Μόνιμα:

$$g_{\text{πλ}} = (1.3 + 1.2 + 2.4) \cdot 4 = 19.60 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{δοκ}} = 2.2 \text{ kN/m}$$

$$g = 19.60 + 2.20 = 21.80 \text{ kN/m}$$

Κινητά:

$$q_{\text{πλ}} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ kN/m}$$

Συνδυασμός δράσεων:

$$gd+qd=1.35 \cdot g+1.50 \cdot q=1.35 \cdot 21.80+1.5 \cdot 20=59.40 \text{KN/m}$$

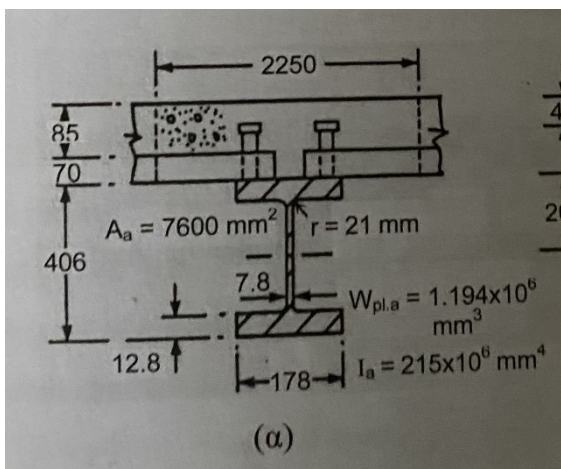
Εντατικά μεγέθη:

Ροπή σχεδιασμού για άνοιγμα 9m

$$M_{ED}=59.40 \cdot 9^2/8=601 \text{KNm}$$

Εγκάρσια τέμνουσα σχεδιασμού

$$V_{ED}=59.40 \cdot 9/2=267 \text{KN}$$



$$A_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \left(\frac{h_a}{2} + h_t - \frac{h_c}{2} \right) \geq M_{Ed}$$

$$S355 \rightarrow f_y=355 \text{N/mm}^2, \gamma_{M0}=1.0$$

$$h_a=406 \text{mm}$$

$$h_t=85+70=155 \text{mm}$$

$$h_c=85 \text{mm}$$

$$7600 \text{mm}^2 \cdot 355 (\text{N/mm}^2) / 1 \cdot (406 \text{mm} / 2 + 155 \text{mm} - 85 \text{mm} / 2) \cdot 10^{-6} =$$

851.22KNm > M_{ED}=601KNm (αν δεν ισχύει πρέπει να αλλαχτεί η διατομή του δομικού χάλυβα)

Ύψος θλιβόμενης ζώνης:

- 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 σκυροδέμα δίνει την πλαστική ροπή σχεδιασμού της διατομής $M_{pl,Rd}$:

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

$$b_{eff} = L/4 = 9/42.25m = 2250mm$$

$$\begin{aligned} \text{Από τη σχ.3.1 } x &= (A_a * f_y * \gamma_c) / (\gamma_{M0} * b_{eff} * 0.85 * f_{ck}) = \\ &= (7600mm^2 * 355N/mm^2 * 1.5) / (1.0 * 2250mm * 0.85 * 25N/mm^2) = 84.64mm \end{aligned}$$

$$N_{c,f} = A_a * f_y / \gamma_{M0} = (7600mm^2 * 355N/mm^2) / 1.0 = 2698000N = 2698KN$$

Καμπτική αντοχή δοκού:

Από τη σχ3.2

και $x = 84.64mm$, $h_g = h_a/2 = 406/2 = 203mm$

$$M_{pl,Rd} = (7600mm^2 * 355N/mm^2 / 1.0) * (203 + 155 - 84.64/2) * 10^{-6} = 851.70KNm > M_{ED} = 601KNm$$

Αντοχή διατομής σε εγκάρσια διάτμηση:

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

Επιφάνεια διάτμησης

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

$$\text{Άρα } A_v = 7600mm^2 - 2 * 178mm * 12.8mm + (7.8mm + 2 * 21) * 12.8 = 3680mm^2$$

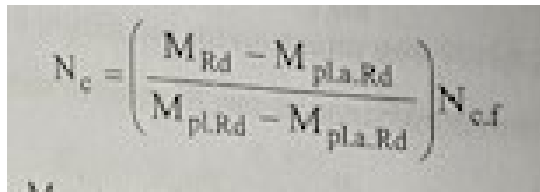
$$V_{pl,Rd} = 3680mm^2 * (355N/mm^2 / \sqrt{3}) / 1.0 = 754250N = 754.25KN > V_{ED} = 267KN$$

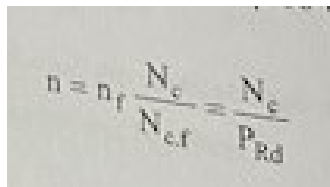
Διατμητικοί Ήλοι:

Πλαστική ροπή χαλύβδινης διατομής:

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

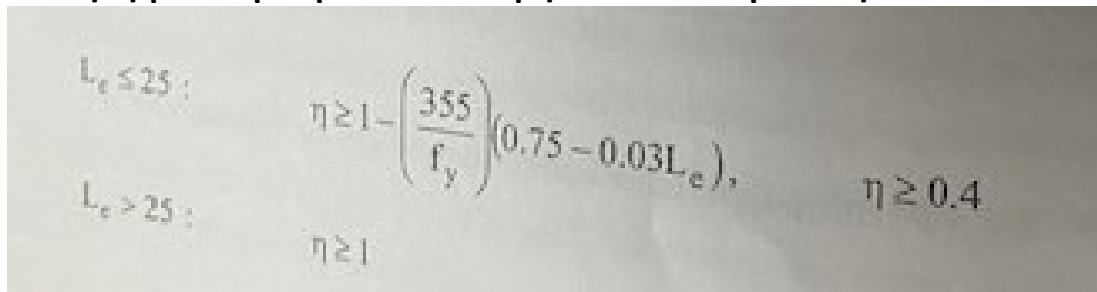
$$M_{pl,a,Rd} = 355 \text{ N/mm}^2 / 1.0 * 1194 * 10^6 \text{ mm}^3 = 424 \text{ kNm}$$


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


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

$$n = \left(\frac{MRd - M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}} \right) * n_f = \left(\frac{601 - 424}{852 - 424} \right) * n_f = 0.41 n_f$$

Συνθήκη για να μπορούν να θεωρηθούν πλάστιμοι οι ήλοι


$$\begin{aligned} L_e \leq 25: & \quad \eta \geq 1 - \left(\frac{355}{f_y} \right) (0.75 - 0.03 L_e), & \quad \eta \geq 0.4 \\ L_e > 25: & \quad \eta \geq 1 \end{aligned}$$

$$L_e = 9.00 \text{ m} < 25 \text{ m} \rightarrow \eta \geq 1 - \left(\frac{355}{f_y} \right) * (0.75 - 0.03 * L_e)$$

$$\eta \geq 1 - 355/355 * (0.75 - 0.03 * 9) =$$

$$\eta \geq 0.52 > 0.4, \rightarrow$$

$$\text{Άρα } n = 0.52 * n_f \rightarrow N_c = 0.52 * N_{c,f} = 0.52 * 2698 = 1403 \text{ kN}$$

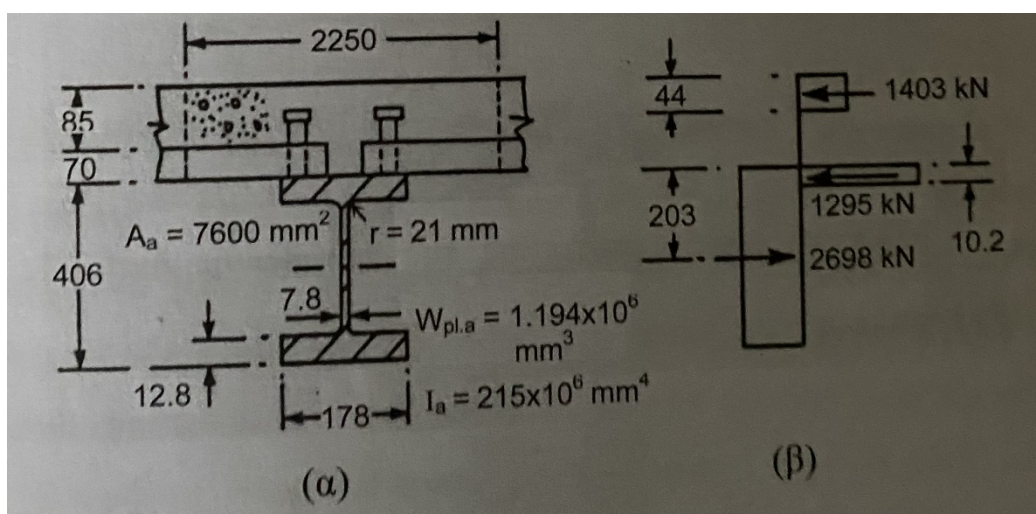
$$x_c = 0.52 * 84.64 \text{ mm} = 44 \text{ mm}$$

Πάχος θλιβόμενου πέλματος

$$N_{acf} = 2b_f t_f \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{acf} = N_{cf} - N_c$$

$$t_f = \frac{N_{acf} * \gamma_{M0}}{2 * b_f * f_y} = \frac{2698 - 1403}{2 * 178 * 355} = 10.2 \text{ mm} < t_f = 12.8 \text{ mm}$$



Δύναμη στο θλιβόμενο πέλμα

$$2698 \text{ kN} - 1403 \text{ kN} = 1295 \text{ kN}$$

Ισορροπία ροπών ως προς την ακραία θλιβόμενη ίνα:

$$M_{pl, RD} = 2698 \text{ kN} * (0.203 + 0.070 + 0.085) - 1403 * 0.022 -$$

$$1295 * (0.102 + 0.070 + 0.085) = 2698 * 0.358 - 1403 * 0.022 -$$

$$1295 * 0.16 = 728 \text{ kNm} > M_{ED} = 601 \text{ kNm}$$

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 $h/d > 4$.

$h/d = 100/19 = 5.26 > 4$ άρα $\alpha = 1$

$$P_{Rd} = \frac{0.29 * 1 * 19^2 * \sqrt{25 * 19100}}{1.25} * 10^{-3} = 57.9 \text{ KN}$$

Πίνακας 2.1 Άνω όρια $k_{t,max}$ για τον συντελεστή k_t

Αριθμός διατμητικών ήλων ανά νεύρωση	Πάχος χαλυβδόφυλλου (mm)	Ήλοι με διάμετρο μέχρι 20 mm και συγκολλημένοι δια μέσου του χαλυβδόφυλλου	Χαλυβδόφυλλο με οπές και ήλοι διαμέτρου 19 mm ή 22 mm
$n_r = 1$	≤ 1.0	0.85	
	> 1.0	1.0	0.75
$n_r = 2$	≤ 1.0	0.70	0.75
	> 1.0	0.80	0.60
			0.60

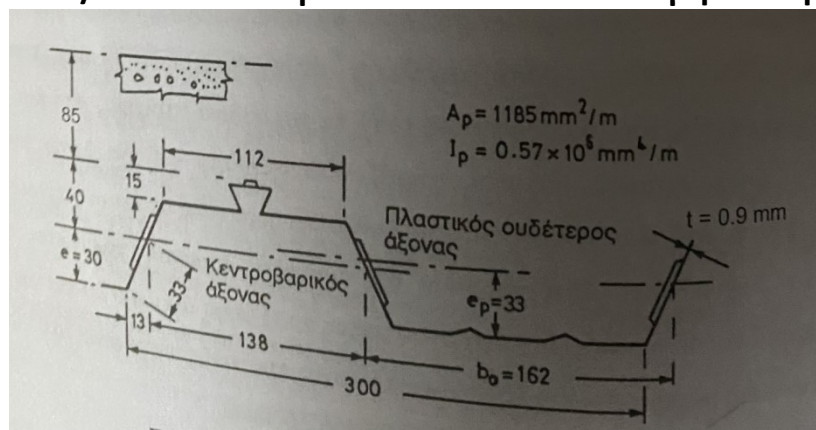
Υποθέτω $n_r = 2$ και πάχος χαλυβδόφυλλου $< 1 \text{ mm}$ άρα $k_t = 0.70$

Άρα η αντοχή του διατμητικού ήλου μειώνεται σε:

$$k_t * P_{Rd} = 0.70 * 57.90 \text{ KN} = 40.50 \text{ KN}$$

Αριθμός διατμητικών ήλων για κάθε μισό του ανοίγματος

$1403/40.5=34.64$ Άρα απαιτούνται 35 διατμητικοί ήλοι.



Η σύμμικτη πλάκα έχει νευρώσεις ανά 300mm (0.3m). Εφόσον το μισό άνοιγμα έχει μήκος $9.0m/2=4.50m$ οι συνολικές νευρώσεις ανά μισό του ανοίγματος: $4.50m/0.30m=15$

Τοποθετώ 35 διατμητικούς ήλους σε 15 νευρώσεις.

Επομένως τοποθετούνται 3 διατμητικοί ήλοι στις πρώτες 5 νευρώσεις , και στις επόμενες 10 νευρώσεις 2 διατμητικούς ήλους

Παραμόρφωσεις – Βύθιση

Φορτία

Μόνιμο (χαλύβδινη δοκός) $g_1=9.6+2.2=11.8KN/m$

Μόνιμο (σύμμικτη δοκός) $g_2=10KN/m$

Κινητό $q=20KN/m$

Βέλος κάμψης:

$$\delta a = \frac{5 * w * L^4}{384 * E a * I} = \frac{5 * w * 9^4 * 10^9}{384 * 210 * I} = 407 * 10^6 * w/I$$

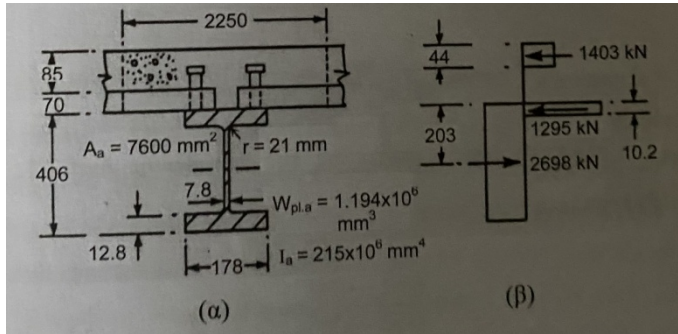
Βύθιση χαλύβδινης δοκού: $w=11.8KN/m$, $I=215*10^6mm^4$

$$\delta a = 407 * 10^6 * \frac{11.8}{215 * 10^6} = 22.34mm$$

$L/22.34mm=402.86$

$\delta a=22.34mm (L/402.86)$

Βύθιση κινητά φορτία: $w=20KN/m$



$$z = 203 + 70 + 85 = 358 \text{ mm}$$

ύψος θλιβόμενης ζώνης x

$$A_a(zq - x) = b_{eff} * hc * \frac{x - hc/2}{n}$$

$$nq = \frac{Ea}{Ec} = \frac{210}{19.1} = 11$$

$$A_a = 7600 \text{ mm}^2, z = 358 \text{ mm}, hc = 100 \text{ mm}, b_{eff} = L/4 = 9000/4 = 2250 \text{ mm}$$

$$7600(358 - x) = 2250 * 100 * \frac{x - 100/2}{11}$$

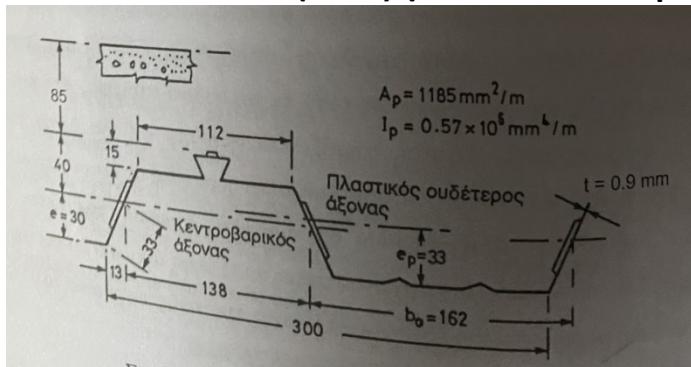
$$(7600 * 358 - 7600 * x) * 11 = 225000 * x - 225000 * 50$$

$$29928800 - 83600x = 225000x - 11250000$$

$$41178800 = 308600x$$

$$x = 133,44 \text{ mm}$$

$hc = 85 + 15 = 100 \text{ mm}$ (όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα)



Ροπή αδράνειας σύμμικτης διατομής

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

$$I = 215 * 10^6 + 7600 * (358 - 133.44)^2 + 2250 * \frac{100}{11} * \left[\frac{100^2}{12} + \left(133.44 - \frac{100}{2} \right)^2 \right] = 758 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Άρα η βύθιση:

$$\delta q = \frac{5 * w * L^4}{384 * E a * I} = \frac{5 * w * 9^4 * 10^9}{384 * 210 * I} = 407 * 10^6 * w / I$$

$$\delta q = 407 * 10^6 * \frac{20}{758 * 10^6} = 10.74 \text{ mm}$$

$$L/10.74 = 9000/10.74 = 838$$

$$\delta q = 10.74 \text{ mm (L/838)}$$

Μόνιμο φορτίο σύμμικτης δοκού $w=10\text{KN/m}$

$$z=203+70+85=358\text{mm}$$

ύψος θλιβόμενης ζώνης x

$$A a (z q - x) = b e f f * h c * \frac{x - h c / 2}{n}$$

$$n g = 3 * n q = 3 * \frac{E a}{E c} = 3 * \frac{210}{19.1} = 33$$

$$A a = 7600 \text{ mm}^2, z = 358 \text{ mm}, h c = 100 \text{ mm}, b e f f = L / 4 = 9000 / 4 = 2250 \text{ mm}$$

$$7600(358 - x) = 2250 * 100 * \frac{x - 100/2}{33}$$

$$(7600 * 358 - 7600 * x) * 33 = 225000 * x - 225000 * 50$$

$$89786400 - 250800x = 225000x - 11250000$$

$$101036400 = 475800x$$

$$x = 212.35 \text{ mm}$$

Ροπή αδράνειας σύμμικτης διατομής

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

$$I = 215 * 10^6 + 7600 * (358 - 212.35)^2 + 2250 * \frac{100}{33} * \left[\frac{100^2}{12} + \left(212.35 - \frac{100}{2} \right)^2 \right] = 561 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Άρα η βύθιση:

$$\delta g = \frac{5 * w * L^4}{384 * E a * I} = \frac{5 * w * 9^4 * 10^9}{384 * 210 * I} = 407 * 10^6 * w / I$$

$$\delta g = 407 * 10^6 * \frac{10}{561 * 10^6} = 7.26 \text{ mm}$$

$$L / 7.26 = 9000 / 7.26 = 1240$$

$$\delta g = 7.26 \text{ mm} (L / 1240)$$

Άρα η συνολική βύθιση δ:

$$\delta = \delta a + \delta q + \delta g = 22.34 + 10.74 + 7.26 = 40.34 \text{ mm}$$

$$L / 40.34 = 223$$

$\delta = 40.34 \text{ mm} \rightarrow L / 223 > L / 250$ γι αυτό συνιστάται προφόρτιση και ανύψωση της δοκού με κριώματα