



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μάθημα : Σιδηρές Κατασκευές ΙΙ

Διδάσκοντες : Ι. Βάγιας – Γ. Ιωαννίδης – Χ. Γαντές
Ι. Μαλλής – Ξ. Λιγνός – Ι. Βασιλοπούλου – Α. Σπηλιόπουλος

Διάρκεια 2 ώρες και 30 λεπτά

23 Σεπτεμβρίου 2010

Επαναληπτική εξέταση

Τα κύρια φέροντα στοιχεία ενός στεγάστρου σταθμού τροφοδοσίας καυσίμων με διαστάσεις κάτοψης 13,80m x 12,0m είναι δύο υποστυλώματα διατομής HEA360 που είναι πακτωμένα στη βάση τους, δοκοί ABΓ διατομής IPE330 και αναρτήρες (Σχήμα 1α). Οι αναρτήρες είναι αρθρωτά συνδεδεμένοι με το υποστύλωμα και με τις δοκούς, ενώ οι δοκοί είναι πακτωμένες στο υποστύλωμα (Σχήμα 1β). Το διάγραμμα των ροπών που αναπτύσσεται στις δοκούς λόγω ενός ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου σχεδιασμού q , δίνεται στο Σχήμα 2. Η ποιότητα χάλυβα είναι S235. Ζητείται:

α) Να γίνει έλεγχος επάρκειας των δοκών IPE330 στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Τα φορτία ασκούνται στη στάθμη του άνω πέλματος των δοκών, οι οποίες διαθέτουν πλευρική προστασία μόνο στις θέσεις σύνδεσης με το υποστύλωμα και τον αναρτήρα.

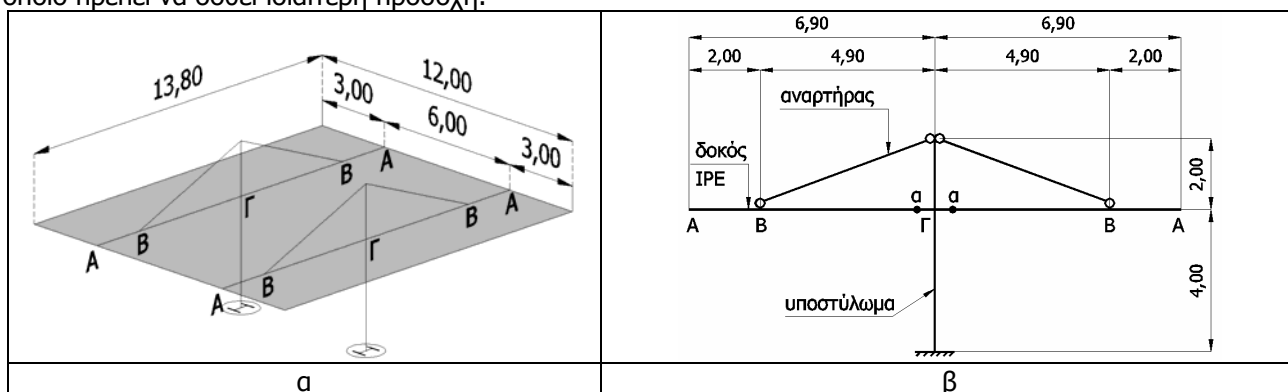
β) Στη θέση α εκτός υποστυλώματος (Σχήμα 1β) απαιτείται, για κατασκευαστικούς λόγους, η αποκατάσταση της συνέχειας της δοκού, η οποία θα είναι κοχλιωτή και πραγματοποιείται μέσω λεπίδων πέλματος πάχους 12mm και λεπίδων κορμού. Να προσδιοριστεί το πλήθος και η θέση των κοχλιών τριβής, ανθεκτικών σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας, που απαιτούνται για την πλήρη αποκατάσταση των πελμάτων, χρησιμοποιώντας κοχλίες M16/10.9 σε κανονικές οπές και διαμορφώνοντας επιφάνειες επαφής που κατατάσσονται στην κατηγορία A.

γ) Να γίνει έλεγχος της συγκόλλησης δοκού προς υποστύλωμα η οποία πραγματοποιείται με εξωρραφές πάχους $a_f=7\text{mm}$ εκατέρωθεν των πελμάτων και $a_w=5\text{mm}$ εκατέρωθεν του κορμού. Δεν έχουν εκτελεσθεί συγκολλήσεις στις περιοχές των ακτίνων συναρμογής κορμού-πέλματος (Σχήμα 3).

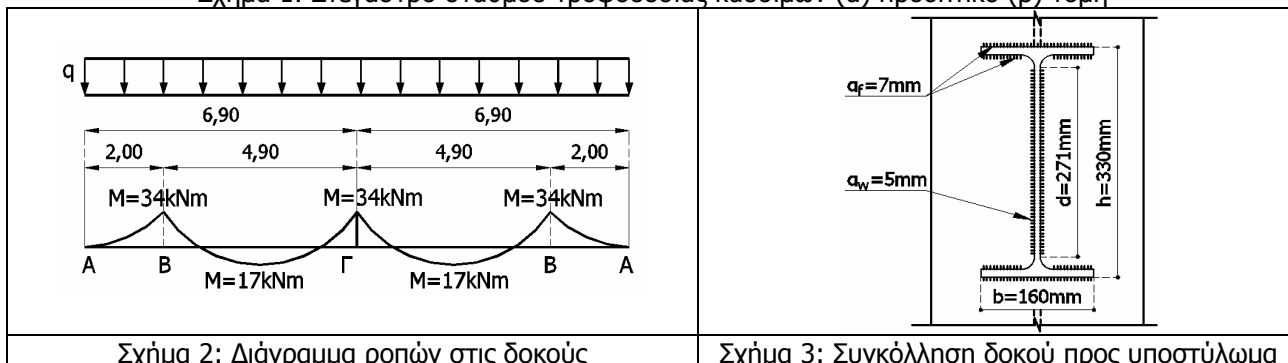
δ) Να γίνει έλεγχος του κορμού του υποστυλώματος σε θλίψη και διάτμηση στην περιοχή του κόμβου δοκών-υποστυλώματος.

ε) Να προταθεί τρόπος, ενδεχομένως και μέσω σκαριφήματος, με τον οποίο μπορεί να εξασφαλιστεί η πλευρική εξασφάλιση των δοκών η οποία αναφέρεται στο πρώτο ερώτημα.

στ) Σε περίπτωση ισχυρής άνωσης από τον άνεμο να εξηγηθεί ποιο είναι το στοιχείο του στεγάστρου στο οποίο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή.



Σχήμα 1: Στεγάστρο σταθμού τροφοδοσίας καυσίμων (α) προοπτικό (β) τομή



Σχήμα 2: Διάγραμμα ροπών στις δοκούς

Σχήμα 3: Συγκόλληση δοκού προς υποστύλωμα

Βαθμολογία: α) 4 μονάδες, β) 2,5 μονάδες, γ) 2,5 μονάδες, δ) 2,5 μονάδες, ε) 1,0 μονάδα, στ) 0,5 μονάδα

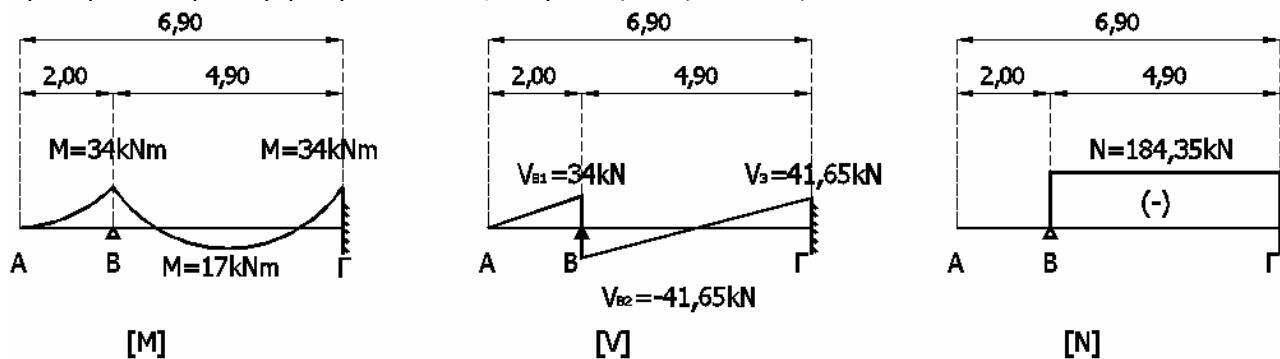
ΛΥΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

1. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

Φορτίο σχεδιασμού: $M_B = -q \times 2,00 \times 2,00 / 2 = -34,00 \text{ kNm} \Rightarrow q = 17,00 \text{ kN/m}$
 Αντιδράσεις στη δοκό: $\sum M_I = 0 \Rightarrow R_B \times 4,90 - 17,00 \times 6,90^2 / 2 + 34,00 = 0 \Rightarrow R_B = 75,65 \text{ kN}$
 $R_I = 17,00 \times 6,90 - 75,65 = 41,65 \text{ kN}$
 Τέμνουσα δύναμη: $V_{B1} = -17,00 \times 2,00 = -34,00 \text{ kN}$
 $V_{B2} = -34,00 + 75,65 = 41,65 \text{ kN}$
 $V_I = 41,65 \text{ kN}$

Αξονική εφελκυστική δύναμη στον αναρτήρα: $N_a = R_B / \cos \varphi = 75,65 / 0,38 = 199,08 \text{ kN}$
 όπου $\arctan \varphi = 4,9 / 2 \Rightarrow \varphi = 67,80^\circ$

Αξονική θλιπτική δύναμη στη δοκό: $N = N_a \times \sin \varphi = 199,08 \times 0,926 = 184,35 \text{ kN}$



Σχήμα 1: Εντατικά μεγέθη στη δοκό

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΕ Ο.Κ.Α.

Η διατομή ΙΡΕ330 ανήκει στην κατηγορία 2 για καθαρή θλίψη.

Έλεγχος σε διάτμηση

$A_{vz} = 30,81 \text{ cm}^2$ (από πίνακες)

Επομένως:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 30,81 \text{ cm}^2 \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 418,02 \text{ kN} > \max V_{Ed} = 41,65 \text{ kN}$$

Επαρκεί και δεν απαιτείται απομείωση καμπτικής αντοχής.

Έλεγχος διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική θλίψη

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{62,61 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 1471,34 \text{ kN}$$

Ισχύει $N_{Ed} = 184,35 \text{ kN} < 0,25 N_{pl,Rd} = 0,25 \times 1471,34 \text{ kN} = 367,83 \text{ kN}$

και

$$N_{Ed} = 184,35 < \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times (33 \text{ cm} - 2 \times 1,15 \text{ cm}) \times 0,75 \text{ cm} \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 270,54 \text{ kN}$$

Και τα δύο κριτήρια ικανοποιούνται επομένως δεν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής $M_{y,Rd}$.

Ισχύει:

$$M_{y,Ed} = 3400 \text{ kNcm} < M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{804,3 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 18901,05 \text{ kN}$$

Επομένως ικανοποιείται ο έλεγχος διατομής της δοκού.

Έλεγχος μέλους υπό κάμψη και θλίψη

Ισοδύναμο μήκος λυγισμού περί τον ισχυρό και ασθενή άξονα:

$L_y = 0,5 \times 490 \text{ cm} = 245 \text{ cm}$ (θεωρείται ως αμφίπακτη)

$L_z = 490 \text{ cm}$ (θεωρείται ως αμφιέριστη επί το δυσμενέστερο)

Οι λυγνρότητες ως προς τους άξονες y-y και z-z δίνονται αντίστοιχα:

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{245\text{cm}}{13,71\text{cm}} = 17,87 \quad \text{και} \quad \lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{490\text{cm}}{3,55\text{cm}} = 138,03$$

Οι ανηγμένες λυγνρότητες ως προς τους άξονες y-y και z-z δίνονται αντίστοιχα:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{17,87}{93,9} = 0,19 \xrightarrow{\text{καμπύλη}\alpha} \chi_y = 1,00 \quad \text{και} \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{138,03}{93,9} = 1,47 \xrightarrow{\text{καμπύλη}\beta} \chi_z = 0,35$$

όπου

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000\text{MPa}}{235\text{MPa}}} = 93,9$$

Η κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού για διατομές διπλής συμμετρίας δίνεται από τη σχέση:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL_T)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL_T)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right\}^{0,5} - (C_2 z_g)$$

$$G = \frac{E}{2(\nu + 1)} = \frac{21000\text{kN/cm}^2}{2(0,3 + 1)} = 8077\text{kN/cm}^2$$

$k=0,70$ (το ένα άκρο θεωρείται πακτωμένο και το άλλο ως ελεύθερη στρεπτική στήριξη)

$k_w=1,00$ (χρησιμοποιείται η συντηρητική τιμή)

$C_1=1,285$ (για διάγραμμα ροπών αμφίπακτης)

$C_2=1,562$

$I_T=28,15\text{cm}^4$ (από τους πίνακες των διατομών)

$I_w=199100\text{cm}^6$ (από τους πίνακες των διατομών)

$I_z=788,1\text{cm}^4$

$L_T=490\text{cm}$

$z_a=16,5\text{cm}$

$z_s=0$ (Κ.Δ=Κ.Β.)

$z_g=z_a-z_s=16,5\text{cm}$

Επομένως:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL_T)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL_T)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right\}^{0,5} - (C_2 z_g)$$

$$M_{cr} = 1,285 \frac{\pi^2 \times 21000\text{kN/cm}^2 \times 788,1\text{cm}^4}{(0,70 \times 490\text{cm})^2} \times$$

$$\times \left\{ \left[\frac{(0,70)}{1,00} \right]^2 \frac{199100\text{cm}^6}{788,1\text{cm}^4} + \frac{(0,70 \times 490\text{cm})^2 \times 8077\text{kN/cm}^2 \times 28,15\text{cm}^4}{\pi^2 \times 21000\text{kN/cm}^2 \times 788,1\text{cm}^4} + (1,562 \times 16,5)^2 \right\}^{0,5} - (1,562 \times 16,5) =$$

$$= 1784,08 \times 5,08 = 9063,31\text{kNcm}$$

Η ανηγμένη λυγνρότητα στρεπτοκαμπτικού λυγισμού θα είναι:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{804,3\text{cm}^3 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{9063,31\text{kNcm}}} = 1,44 > 0,20$$

Η επιρροή του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού δεν μπορεί να αγνοηθεί.

Ισχύει: $h/b=330/160 > 2,0$ επομένως η καμπύλη πλευρικού λυγισμού είναι η b και ο μειωτικός συντελεστής χ_{LT} ισούται με 0,36.

Οι συντελεστές αλληλεπίδρασης θα υπολογιστούν σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο. Ισχύει:

$$\bar{\lambda}_y - 0,2 = 0,19 - 0,20 = -0,01 < 0,80$$

Για τον υπολογισμό των συντελεστών C_m ισχύει $a_s=17,00/(-34,00)=-0,5$ και $\psi=1$:

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,1 - 0,8a_s = 0,50 > 0,40$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,50 \left(1 - 0,01 \frac{184,35 \text{ kN}}{1,00 \times \frac{62,61 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} \right) = 0,50$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] = \left[1 - \frac{0,1}{(0,50 - 0,25)} \cdot \frac{184,35 \text{ kN}}{0,35 \times \frac{62,61 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00}} \right] = 0,86$$

Ο τελικός έλεγχος για τη δοκό είναι:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{184,35 \text{ kN}}{1,00 \times \frac{1471,34 \text{ kN}}{1,00}} + 0,50 \frac{3400 \text{ kNcm}}{0,36 \times \frac{18901,05 \text{ kNcm}}{1,00}} =$$

$$0,13 + 0,25 = 0,38 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{184,35 \text{ kN}}{0,35 \times \frac{1471,34 \text{ kN}}{1,00}} + 0,86 \frac{3400 \text{ kNcm}}{0,36 \times \frac{18901,05 \text{ kNcm}}{1,00}} =$$

$$0,36 + 0,43 = 0,79 < 1$$

3. ΚΟΧΛΙΕΣ ΑΝΩ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ

Για την πλήρη αποκατάσταση συνέχειας της δοκού, οι κοχλίες του κάθε πέλματος θα πρέπει να μπορούν να παραλάβουν δύναμη ίση με την αντοχή του κάθε πέλματος, δηλαδή:

$$N_{Ed,f} = b \times t_f \times f_y = 16,0 \text{ cm} \times 1,15 \text{ cm} \times 23,5 \text{ kN/cm}^2 = 432,40 \text{ kN}$$

Η δύναμη προέντασης του κοχλία θα είναι:

$$F_{p,C,f} = 0,7 f_{ub} A_s = 0,7 \times 100 \text{ kN/cm}^2 \times 1,57 \text{ cm}^2 = 109,90 \text{ kN}$$

Αν m το πλήθος των κοχλίων θα πρέπει να ισχύει:

$$m \times F_{s,Rd,f} \geq F_{v,Ed,f} = N_{Ed,f} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m \times \frac{k_s \eta \mu}{\gamma_{M3}} \times F_{p,C,f} = m \times \frac{1,00 \times 1 \times 0,5}{1,10} \times 109,90 \text{ kN} = m \times 49,95 \text{ kN} \geq 432,40 \text{ kN} \Rightarrow m = 8,66 \Rightarrow m = 10$$

Θεωρώντας ότι η λεπίδα σύνδεσης στα πέλματα θα έχουν πλάτος όσο το πλάτος του πέλματος της δοκού, δηλαδή $b = 160 \text{ mm}$ και πάχος $t = 12 \text{ mm}$ οι ελάχιστες και μέγιστες επιτρεπόμενες αποστάσεις των οπών των κοχλίων θα είναι:

Ελάχιστες αποστάσεις κοχλίων

$$\min e_1 = 1,2 d_o = 1,2 \times 18 \text{ mm} = 21,6 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 d_o = 2,2 \times 18 \text{ mm} = 39,6 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 d_o = 1,2 \times 18 \text{ mm} = 21,6 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 d_o = 2,4 \times 18 \text{ mm} = 43,2 \text{ mm}$$

Από τους πίνακες των προτύπων διατομών $\min p_2 = 78 \text{ mm}$

Μέγιστες αποστάσεις

$$\max e_1 = 40 \text{ mm} + 4t = 40 + 4 \times 11,5 \text{ mm} = 86 \text{ mm}$$

$$\max p_1 = \min(14t; 200 \text{ mm}) = \min(14 \times 11,5 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = \min(161 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = 161 \text{ mm}$$

$$\max e_2 = 40 \text{ mm} + 4t = 40 + 4 \times 11,5 \text{ mm} = 86 \text{ mm}$$

$$\max p_2 = \min(14t; 200 \text{ mm}) = \min(14 \times 11,5 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = \min(161 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = 161 \text{ mm}$$

Από τους πίνακες των προτύπων διατομών $\min p_2 = 96 \text{ mm}$

Επιλέγουμε:

$$21,6 \text{ mm} < e_1 = 50 \text{ mm} < 86 \text{ mm}$$

$$39,6 \text{ mm} < p_1 = 70 \text{ mm} < 161 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{lll} 21,6\text{mm} & < e_2=40\text{mm} & < 86\text{mm} \\ 78,0\text{mm} & < p_2=80\text{mm} & < 96\text{mm} \end{array}$$

Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυνας των οπών

$$F_{b,Rd} = n \frac{k_1 a f_u d t_{\min}}{\gamma_{M2}}$$

$$a = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\}$$

$$a = \min \left\{ \frac{50\text{mm}}{3 \times 18\text{mm}}; \frac{70\text{mm}}{3 \times 18\text{mm}} - \frac{1}{4}; \frac{100\text{kN/cm}^2}{36\text{kN/cm}^2}; 1 \right\} = \{0,93; 1,05; 2,78; 1\} = 0,93$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{40\text{mm}}{18\text{mm}} - 1,7; 1,4 \frac{80\text{mm}}{18\text{mm}} - 1,7; 2,5 \right\} = \min\{4,52; 4,52; 2,50\} = 2,50$$

Συνολική αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας

$$F_{b,Rd} = 10 \times \frac{2,50 \times 0,93 \times 36\text{kN/cm}^2 \times 1,6\text{cm} \times 1,15\text{cm}}{1,25} = 1232,06\text{kN} > 432,40\text{kN} = N_{Ed,f}$$

4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ

Έλεγχος πάχους συγκόλλησης

κορμός: $a_w = 5\text{mm} < 0,7 \times t_w = 0,7 \times 7,5\text{mm} = 5,25\text{mm}$ πέλματα: $a_f = 7\text{mm} < 0,7 \times t_f = 0,7 \times 11,5\text{mm} = 8,05\text{mm}$

Το εμβαδόν της συγκόλλησης είναι:

$$A_{\text{weld}} = 2 \times a_w \times d + 2 \times a_f \times b + 2 \times a_f \times (b - t_w - 2r) = 2 \times 0,5 \times 27,1 + 2 \times 0,7 \times 16,0 + 2 \times 0,7 \times (16,0 - 0,75 - 2 \times 1,80) = 65,81\text{cm}^2$$

Η ροπή αδρανείας της συγκόλλησης θα είναι:

$$I_{\text{weld}} = 2 \times \frac{1}{12} \times a_w \times d^3 + 2 \times a_f \times b \times \left(\frac{h}{2}\right)^2 + 2 \times a_f \times (b - t_w - 2r) \times \left(\frac{h}{2} - t_f\right)^2 =$$

$$= 2 \times \frac{1}{12} \times 0,5\text{cm} \times (27,1\text{cm})^3 + 2 \times 0,7\text{cm} \times 16\text{cm} \times \left(\frac{33\text{cm}}{2}\right)^2 + 2 \times 0,7 \times (16\text{cm} - 0,75\text{cm} - 2 \times 1,8\text{cm}) \times \left(\frac{33\text{cm}}{2} - 1,15\text{cm}\right)^2 =$$

$$= 11600\text{cm}^4$$

Η τάση που προκαλεί στη συγκόλληση η τέμνουσα δύναμη είναι διατμητική παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης και ίση με:

$$\tau_{//} = \frac{V_{Ed}}{2da_w} = \frac{41,65\text{kN}}{2 \times 27,1\text{cm} \times 0,5\text{cm}} = 1,54\text{kN/cm}^2$$

Η αξονική δύναμη προκαλεί στη συγκόλληση ομοιόμορφη ορθή τάση:

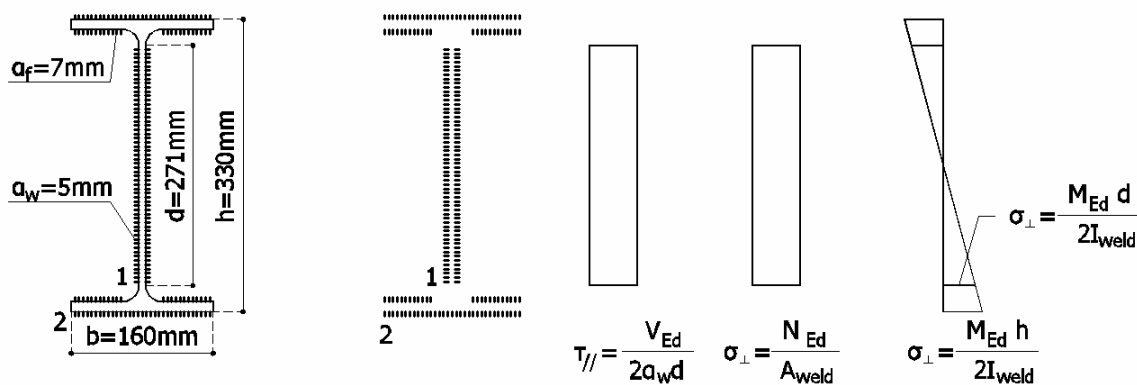
$$\sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{A_{\text{weld}}} = \frac{184,35\text{kN}}{65,81\text{cm}^2} = 2,80\text{kN/cm}^2$$

Η καμπτική ροπή προκαλεί τριγωνικό διάγραμμα ορθών τάσεων σ_{\perp} κάθετα στη ραφή. Στη θέση 1 που φαίνεται στο Σχήμα 2 η ορθή τάση λόγω της καμπτικής ροπής θα είναι:

$$\sigma_{\perp,1} = \frac{M_{Ed} d}{2I} = \frac{3400\text{kNcm} \times 27,1\text{cm}}{2 \times 11600\text{cm}^4} = 3,97\text{kN/cm}^2$$

ενώ στη θέση 2 θα είναι:

$$\sigma_{\perp,2} = \frac{M_{Ed} h}{2I} = \frac{3400\text{kNcm} \times 33\text{cm}}{2 \times 11600\text{cm}^4} = 4,84\text{kN/cm}^2$$



Σχήμα 2: Τάσεις στη συγκόλληση δοκού - υποστυλώματος

Αντοχή συγκολλήσεων

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\perp} + \sigma_{\perp,2} = 2,80 + 4,84 = 7,64 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{36,0 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 28,80 \text{ kN/cm}^2 \text{ (επαρκεί)}$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp} + \sigma_{\perp,1})^2 + (\tau_{//})^2} = \sqrt{(2,80 + 3,97)^2 + 1,54^2} = 6,94 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} = \frac{36,0 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2 \text{ (επαρκεί)}$$

5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΟΜΒΟΥ

Η θλιπτική δύναμη που αντιστοιχεί στο κάτω πέλμα της δοκού είναι:

$$N_{Ed,f} = b \times t_f / A_b \times N_{Ed} = 16,0 \times 1,15 / 62,61 \times 184,35 = 54,18 \text{ kN}$$

Η ροπή κάμψης του κόμβου αναλύεται σε ένα ζεύγος δυνάμεων στα πέλματα της δοκού:

$$M_{B,Ed} = F_{Ed} z = F_{Ed} = M_{B,Ed} / z$$

όπου z ο μοχλοβραχίονας των πελμάτων:

$$z = h_{IPE330} - t_{f,IPE330} = 330 \text{ mm} - 11,5 \text{ mm} = 318,5 \text{ mm} = 31,85 \text{ cm}$$

Επομένως:

$$F_{Ed} = M_{B,Ed} / z = 3400 \text{ kNcm} / 31,85 \text{ cm} = 106,75 \text{ kN}$$

Αντοχή σε διάτμηση κορμού υποστυλώματος

Ισχύει:

$$\frac{d}{t_w} < 69\epsilon \Rightarrow \frac{26,1 \text{ cm}}{1,0 \text{ cm}} = 26,10 < 69\epsilon = 69 \text{ όπου } \epsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1$$

Στον κορμό του υποστυλώματος αναπτύσσεται μέγιστη τέμνουσα δύναμη ίση με:

$$N_{Ed,f} + F_{Ed} = 54,18 + 106,75 = 160,93 \text{ kN}$$

Η επιφάνεια διάτμησης δίνεται από τον τύπο:

$$A_{vc} = A_c - 2 \times b_c \times t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) \times t_{fc} = 142,80 \text{ cm}^2 - 2 \times 30 \text{ cm} \times 1,75 \text{ cm} + (1,00 \text{ cm} + 2 \times 2,7 \text{ cm}) \times 1,75 \text{ cm} = 49 \text{ cm}^2$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση του μη ενισχυμένου κορμού υποστυλώματος προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,90 A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \times 49,0 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \times 1,0} = 664,82 \text{ kN}$$

Ωστόσο, εάν εκατέρωθεν του υποστυλώματος ασκούνται δύο ίσες και αντίθετες ροπές το φάτνωμα του κορμού του υποστυλώματος μεταξύ των πελμάτων των δοκών δεν διατέμνεται (δεν πάει να γίνει από ορθογώνιο πλάγιο παραλληλόγραμμο) και επομένως δεν υπάρχει σχετικός κίνδυνος αστοχίας.

Αντοχή σε εγκάρσια θλίψη κορμού υποστυλώματος

$\omega = 1$ ($\beta = 0$)

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + r) = 1,15 \text{ cm} + 2\sqrt{2} \times 0,7 \text{ cm} + 5 \times (1,75 \text{ cm} + 2,7 \text{ cm}) = 25,37 \text{ cm}$$

Υπολογισμός μειωτικού συντελεστή ρ

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}} = 0,932 \sqrt{\frac{25,37\text{cm} \times 26,1\text{cm} \times 23,5\text{kN/cm}^2}{21000\text{kN/cm}^2 \times (1,00\text{cm})^2}} = 0,80 > 0,72$$

$$\rho = (\bar{\lambda}_p - 0,2) / \bar{\lambda}_p^2 = \frac{(0,80 - 0,2)}{0,80^2} = 0,94$$

Υπολογισμός μειωτικού συντελεστή k_{wc}

Το μέγιστο φορτίο που παραλαμβάνει το υποστυλώμα είναι:

$$N_{c,Ed} = 17,00 \times 13,80 = 234,6\text{kN}$$

Η μέγιστη θλιπτική τάση λόγω αξονικής δύναμης στο υποστυλώμα δίπλα στην ακτίνα συναρμογής είναι:

$$\sigma_{\text{com},Ed} = \frac{N_{c,Ed}}{A_c} = \frac{234,60\text{kN}}{142,80} = 1,64\text{kN/cm}^2$$

Ισχύει:

$$\sigma_{\text{com},Ed} = 1,64\text{kN/cm}^2 < 0,7 \times 23,5\text{kN/cm}^2 = 16,45\text{kN/cm}^2$$

Επομένως $k_{wc} = 1,0$

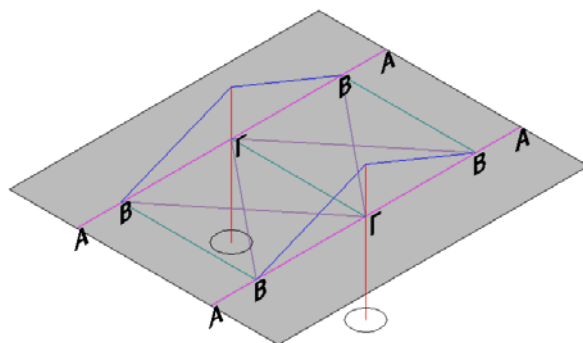
Υπολογισμός αντοχής κορμού υποστυλώματος σε θλίψη

$$F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} = \frac{1,00 \times 1,0 \times 0,98 \times 22,99\text{cm} \times 1,00\text{cm} \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 529,46\text{kN}$$

Άρα $F_{c,wc,Rd} = 529,46\text{kN} > F_c = 160,93\text{kN}$

6. ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΤΙΣ ΔΟΚΟΥΣ

Η πλευρική εξασφάλιση στις δοκού μπορεί να πραγματοποιηθεί με εγκάρσια μέλη που συνδέουν τα δύο συστήματα στα σημεία Β και Γ, καθώς και οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας που να συνδέουν τα σημεία Β και Γ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Πλευρική εξασφάλιση των δοκών

7. ΥΠΟΠΙΕΣΗ ΑΝΕΜΟΥ

Σε περίπτωση που πρέπει να ληφθεί υπόψη υποπίεση ανέμου, και δεδομένου ότι τα φορτία υποπίεσης ανέμου είναι μεγαλύτερα από τα μόνιμα φορτία, ο αναρτήρας θα πρέπει να ελεγχθεί σε θλίψη. Σε περίπτωση που ο αναρτήρας δεν σχεδιάζεται έτσι ώστε να μπορεί να παραλάβει θλίψη, οι δοκοί θα λειτουργήσουν ως πρόβολοι και πιθανόν η ροπή στο σημείο πάκτωσής τους με το υποστυλώμα να είναι μεγαλύτερη από τη ροπή με την οποία έχουν ελεγχθεί τόσο αυτές όσο και ο κορμός του υποστυλώματος. Επομένως ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον κόμβο δοκού – υποστυλώματος, στη συγκόλληση της δοκού με το υποστυλώμα καθώς και στον έλεγχο της δοκού.