



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μάθημα : Σιδηρές Κατασκευές ΙΙ

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

Διάρκεια 2 ώρες και 30 λεπτά

25 Σεπτεμβρίου 2008

Επαναληπτική εξέταση

Ο φέρων οργανισμός διώροφου κτιρίου γραφείων, από χάλυβα ποιότητας S235, έχει την κάτοψη του σχήματος 1α και την όψη του σχήματος 1β. Όλες οι δοκοί συνδέονται αρθρωτά με τα υποστυλώματα. Στο εσωτερικό κάθε φατνώματος 8.10m x 8.10m υπάρχουν δευτερεύουσες δοκοί ανά 2,70m κατά τη διεύθυνση x που εδράζονται αρθρωτά στα άκρα τους επί των κυρίων δοκών της διεύθυνσης y. Στην κάτοψη σημειώνονται με έντονη γραμμή οι θέσεις των κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας που ενεργοποιούνται μόνο για την παραλαβή οριζόντιων φορτίων. Στοιχεία των συνδέσμων δίνονται στο σχήμα 2. Σε όλες τις στάθμες του κτιρίου υπάρχει πλάκα που εξασφαλίζει διαφραγματική λειτουργία, ώστε τα οριζόντια φορτία να κατανέμονται εξ ίσου στους κατακόρυφους συνδέσμους της αντίστοιχης διεύθυνσης.

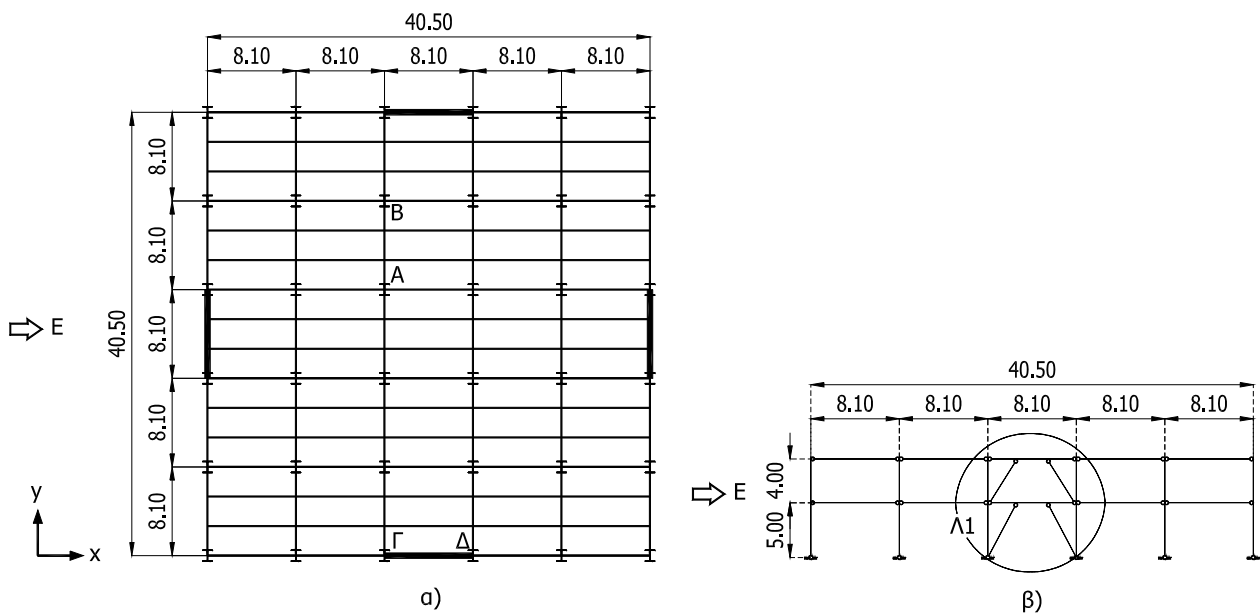
Ζητείται:

- Na γίνει η εκλογή της απαιτούμενης διατομής από τη σειρά IPE για τις δευτερεύουσες δοκούς σε περίπτωση που η πλάκα από σκυρόδεμα συνδέεται με αυτές με τέτοιο τρόπο ώστε να παρεμποδίζεται η πλευρική μετάθεση του θλιβόμενου πέλματός τους.
- Na ελεγχθεί η διατομή του ερωτήματος (α) για την περίπτωση που η παραπάνω πλευρική μετάθεση δεν παρεμποδίζεται. Σε περίπτωση ανεπάρκειας να αναφέρετε συνοπτικά εναλλακτικούς τρόπους αντιμετώπισης.
- Na γίνει ο έλεγχος έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού της κυρίας δοκού AB διατομής HEA 500, κάνοντας, εάν απαιτείται, απλοποιητικές παραδοχές, για την περίπτωση που ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός δεν παρεμποδίζεται από τις πλάκες.
- Na ελεγχθεί η δοκός σύζευξης στη στάθμη οροφής ισογείου που ανήκει στον κατακόρυφο σύνδεσμο δυσκαμψίας της θέσης ΓΔ. Η διατομή της δοκού σύζευξης είναι συγκολλητή και δίνεται στο σχήμα 3. Να θεωρηθεί ότι η δοκός είναι πλευρικά εξασφαλισμένη.
- Na γίνει ο έλεγχος των διαγωνίων ράβδων του συνδέσμου του ισογείου από κοίλη κυκλική διατομή $\Phi 244,5 \times 16$ ($A=114,9 \text{ cm}^2$, $i=8,10 \text{ cm}$) ψυχρής έλασης.
- Na προσδιοριστεί ο απαιτούμενος αριθμός προεντεταμένων κοχλιών M22/10.9, ανθεκτικών σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας, για τη σύνδεση της διαγωνίου επί της δοκού, με κριτήριο μόνο την αντοχή έναντι ολίσθησης. Να γίνει επίσης σκαρίφημα της σύνδεσης. Οι επιφάνειες τριβής να θεωρηθούν αμμοβολισμένες.

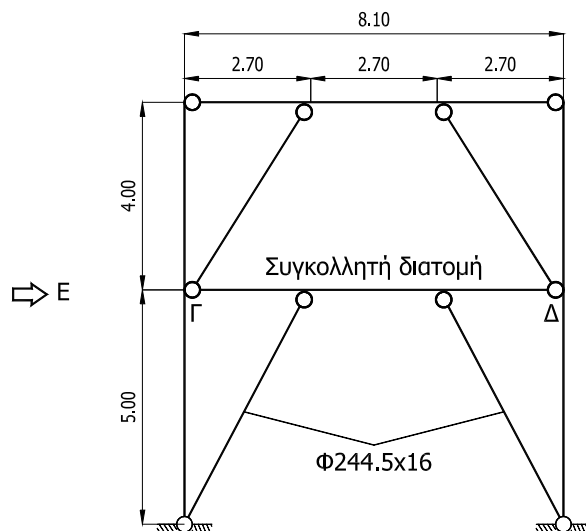
Σε κάθε στάθμη υπάρχουν μόνιμα φορτία $g=3,20 \text{ kN/m}^2$ (στα οποία περιλαμβάνονται τα ίδια βάρη της μεταλλικής κατασκευής) και ωφέλιμα φορτία $p=3,50 \text{ kN/m}^2$. Τα σεισμικά φορτία να προσδιοριστούν θεωρώντας κτίριο σπουδαιότητας Σ2 ($\gamma=1,0$) που κατασκευάζεται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ ($A=0,24g$). Ο συντελεστής θεμελίωσης θ να ληφθεί ίσος προς 1,0 και το ποσοστό απόσβεσης $\zeta=3\%$ (διορθωτικός συντελεστής $\eta=1,183$). Έχει αποφασιστεί το κτίριο να μελετηθεί με τη μεγαλύτερη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q .

Βαθμολογική βαρύτητα ερωτημάτων:

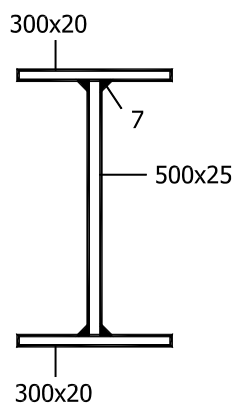
α	β	γ	δ	ε	στ	Σύνολο
1,0 μον.	1,5 μον.	1,5 μον.	4,5 μον.	2,0 μον.	1,5 μον.	12,0 μον.



Σχήμα 1: α) Κάτοψη τυπικού ορόφου, β) όψη κτιρίου



Σχήμα 2: Όψη κατακόρυφου συνδέσμου (Λεπτομέρεια 1)



Σχήμα 3: Συγκολλητή διατομή δοκού σύζευξης

ΛΥΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ**α) Δευτερεύουσα δοκός με πλευρική εξασφάλιση**

Πλάτος ζώνης επιρροής: 2,70m
 Μόνιμο φορτίο: $g=3,20\text{kN/m}^2 \times 2,70\text{m}=8,64\text{kN/m}$
 Κινητό φορτίο: $q=3,50\text{kN/m}^2 \times 2,70\text{m}=9,45\text{kN/m}$
 Συνδυασμός σε ΟΚΑ $q_{Ed}=1,35 \times 8,64 + 1,50 \times 9,45 = 25,84\text{kN/m}$
 Καμπτική ροπή: $M_{Ed}=25,84 \times 8,10^2/8 = 211,92\text{kNm} = 21192\text{kNcm}$
 Τέμνουσα δύναμη: $V_{Ed}=25,84 \times 8,10/2 = 104,65\text{kN}$
 Θα πρέπει να ισχύει:

$$\frac{W_{pl,Rd} f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed} \Rightarrow W_{pl,Rd} \geq \frac{21192\text{kNcm} \times 1,00}{23,5\text{kN/cm}^2} = 901,80\text{cm}^3$$

IPE360: με $W_{pl,Rd}=1019\text{cm}^3$, $I_y=16270\text{cm}^4$ και $A_{vz}=35,14\text{cm}^2$

Από πίνακες η διατομή IPE360 από χάλυβα ποιότητας S235 που υπόκειται σε καθαρή κάμψη ανήκει στην κατηγορία 1.

Επίσης σύμφωνα με τον έλεγχο σε διάτμηση ισχύει:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 35,14\text{cm}^2 \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 476,77\text{kN} > V_{Ed}=104,65\text{kN}$$

Επομένως η διατομή που επιλέχθηκε επαρκεί σε ΟΚΑ.

Συνδυασμός σε ΟΚΛ: $1,00 \times 8,64 + 1,00 \times 9,45 = 18,09\text{kN/m}$

Μόνιμα και κινητά φορτία:

$$w = \frac{5 \times 0,18\text{kN/cm} \times (810\text{cm})^4}{384 \times 21000\text{kN/cm}^2 \times 16270\text{cm}^4} = 2,95\text{cm} < w_{\max}=810/250=3,24\text{cm}$$

Κινητά φορτία:

$$w = \frac{5 \times 0,0945\text{kN/cm} \times (810\text{cm})^4}{384 \times 21000\text{kN/cm}^2 \times 16270\text{cm}^4} = 1,55\text{cm} < w_{\max}=810/300=2,70\text{cm}$$

Επομένως η διατομή επαρκεί σε ΟΚΛ.

β) Δευτερεύουσα δοκός χωρίς πλευρική εξασφάλιση

Για τη διατομή IPE360, θα έχουμε:

$$W_{pl,y}=1019\text{cm}^3 \quad I_T=37,32\text{cm}^4 \quad I_z=1043\text{cm}^4 \quad I_w=313600\text{cm}^6 \quad L_T=810\text{cm}$$

Επίσης:

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

$$k=k_w=1,00$$

$$C_1=1,132, C_2=0,459, C_3=0,525$$

$$z_a=360\text{mm}/2=180\text{mm}=18\text{cm}$$

(το φορτίο εφαρμόζεται στο άνω πέλμα)

$$z_s=0$$

(Κ.Δ=Κ.Β.)

$$z_j=0$$

(για διατομή διπλής συμμετρίας)

$$z_g=z_a-z_s=18\text{cm}$$

Επομένως η κρίσιμη ροπή θα είναι:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k L_T)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k L_T)^2 G I_T}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0,5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\} =$$

$$= 1,132 \frac{\pi^2 \times 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 1043\text{cm}^4}{(1,0 \times 810\text{cm})^2} \times$$

$$\times \left\{ \left[\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \frac{313600 \text{ cm}^6}{1043 \text{ cm}^4} + \frac{(1,0 \times 810 \text{ cm})^2 \times 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 37,32 \text{ cm}^4}{\pi^2 \times 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 1043 \text{ cm}^4} + (0,459 \times 18)^2 \right]^{0,5} - (0,459 \times 18) \right\} =$$

$$= 10282,23 \text{ kNcm}$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα πλευρικού λυγισμού θα είναι:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1019 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{10282,23 \text{ kNcm}}} = 1,53 > 0,20, \text{ απαιτείται να ληφθεί υπόψη ο πλευρικός λυγισμός}$$

Για $h/b=330/170=1,94 < 2$, η καμπύλη λυγισμού για ελατές διατομές είναι η a , επομένως $\chi_{LT}=0,36$.

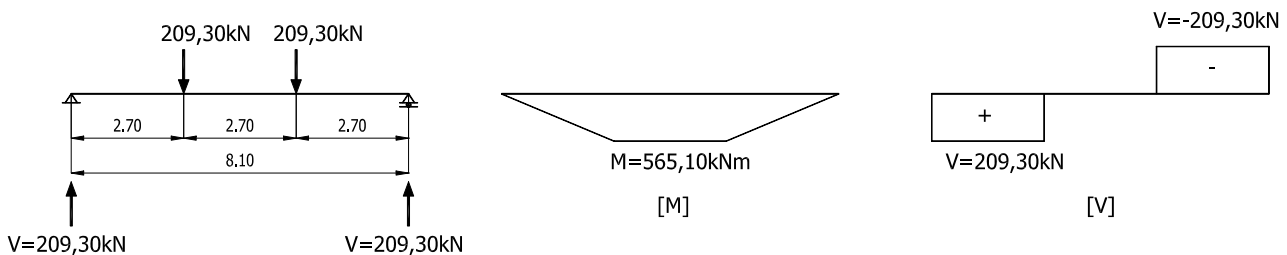
Η ροπή αντοχής σε στρεπτοκαμπτικό (πλευρικό) λυγισμό δίνεται ως εξής:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,36 \times 1019 \text{ cm}^3 \times \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 8620,74 \text{ kNcm} < M_{Ed} = 21192 \text{ kNcm}$$

Επομένως η διατομή IPE360 δεν επαρκεί. Προτείνεται είτε αύξηση διατομής, είτε αλλαγή τύπου διατομής σε πλατύπελμη. Διαφορετικά θα πρέπει να εξασφαλιστεί πλευρικά η δοκός με κατάλληλη σύνδεση με την πλάκα, ή με τοποθέτηση οριζοντίων συνδέσμων.

γ) Κύρια δοκός AB

Η κύρια δοκός AB δέχεται τα φορτία των δευτερευουσών δοκών από δύο ανοίγματα. Τα εντατικά μεγέθη της κύριας δοκού δίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1: Εντατικά μεγέθη στην κύρια δοκό

Επομένως για τη διατομή HEA500, θα έχουμε:

$$W_{pl,y} = 3949 \text{ cm}^3 \quad I_T = 309,3 \text{ cm}^4 \quad I_z = 10370 \text{ cm}^4 \quad I_w = 5643000 \text{ cm}^6 \quad L_T = 810 \text{ cm} \quad A_{vz} = 74,72 \text{ cm}^2$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο σε διάτμηση ισχύει:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 74,72 \text{ cm}^2 \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 1013,78 \text{ kN} > V_{Ed} = 209,30 \text{ kN}$$

Επίσης:

$$k = k_w = 1,00$$

Θεωρώντας επί το δυσμενέστερο ότι η μέγιστη ροπή ασκείται σε όλο το μήκος της δοκού:

$$C_1 = 1,0, C_2 = 0,0, C_3 = 1,0$$

Θεωρώντας ότι τα φορτία ασκούνται στο Κ.Β. των δοκών μέσω συνδέσεων κορμού:

$$z_a = z_s = z_j = z_g = 0$$

Επομένως η κρίσιμη ροπή θα είναι:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k L_T)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k L_T)^2 G I_T}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right\}^{0,5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) =$$

$$= 1,0 \frac{\pi^2 \times 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 10370 \text{ cm}^4}{(1,0 \times 810 \text{ cm})^2} \times \left\{ \left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \frac{5643000 \text{ cm}^6}{10370 \text{ cm}^4} + \frac{(1,0 \times 810 \text{ cm})^2 \times 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 309,30 \text{ cm}^4}{\pi^2 \times 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 10370 \text{ cm}^4} \right\}^{0,5} =$$

$$= 118420,65 \text{ kNcm}$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα πλευρικού λυγισμού θα είναι:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3949 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{118420,65 \text{ kNcm}}} = 0,88 > 0,20, \text{ απαιτείται να ληφθεί υπόψη ο πλευρικός λυγισμός}$$

Για $h/b=490/300=1,63 < 2$, η καμπύλη λυγισμού για ελατές διατομές είναι η a , επομένως $\chi_{LT}=0,74$.
Η ροπή αντοχής σε στρεπτοκαμπτικό (πλευρικό) λυγισμό δίνεται ως εξής:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,74 \times 3949 \text{ cm}^3 \times \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 68673,11 \text{ kNcm} > M_{Ed}=56510 \text{ kNcm}$$

Επομένως η διατομή HEA500 επαρκεί.

δ) Δοκός σύζευξης

Κατακόρυφα φορτία που συνδυάζονται με το σεισμό:

$$g + \psi_2 \cdot q = 3,20 + 0,30 \times 3,50 = 4,25 \text{ kN/m}^2$$

Συνολικό κατακόρυφο φορτίο: $4,25 \text{ kN/m}^2 \times 2 \times 5 \times 8,10 \text{ m} \times 5 \times 8,10 \text{ m} = 13942 \text{ kN}$

Οριζόντια φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{n \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} = 1,00 \times 0,24g \times \frac{1,183 \times 1,00 \times 2,50}{4,0} = 0,178g$$

Η συνολική οριζόντια σεισμική δύναμη θα είναι: $Q_E = M \times \Phi_d(T) = 13942 \text{ kN} / g \times 0,178g = 2482 \text{ kN}$

Θεωρούμε ισοκατανομή στους 2 κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας οπότε στον καθένα μεταβιβάζεται δύναμη ίση με:

$$E = \frac{2482 \text{ kN}}{2} = 1241 \text{ kN}$$

$$\tan \varphi = 5/2,70 = 1,85 \rightarrow \varphi = 61,63^\circ, \cos \varphi = 0,475, \sin \varphi = 0,88$$

Οριζόντιες αντιδράσεις: $H = 1241 \text{ kN} / 2 = 620,50 \text{ kN}$

Η κάθε μία διαγώνιος του συνδέσμου παραλαμβάνει δύναμη ίση με:

$$S1 = H / \cos \varphi = 620,50 \text{ kN} / 0,475 = 1306 \text{ kN}$$

Κατακόρυφο φορτίο ανά διαγώνιο επί της δοκού:

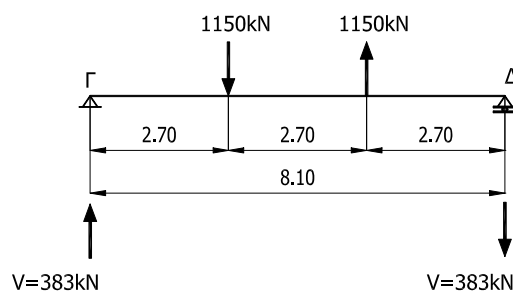
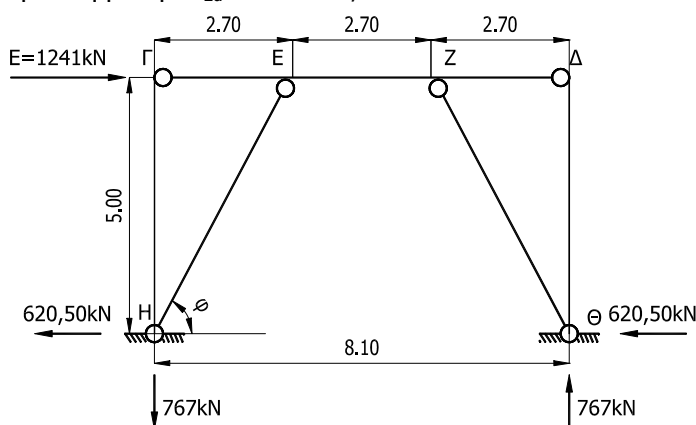
$$S1 \sin \varphi = 1306 \text{ kN} \times 0,88 = 1150 \text{ kN}$$

Εντατικά μεγέθη επί της δοκού σύζευξης λόγω των δυνάμεων από τις διαγωνίους

$$\text{Αντίδραση: } V = 1150 \times 2,70 / 8,10 = 383 \text{ kN}$$

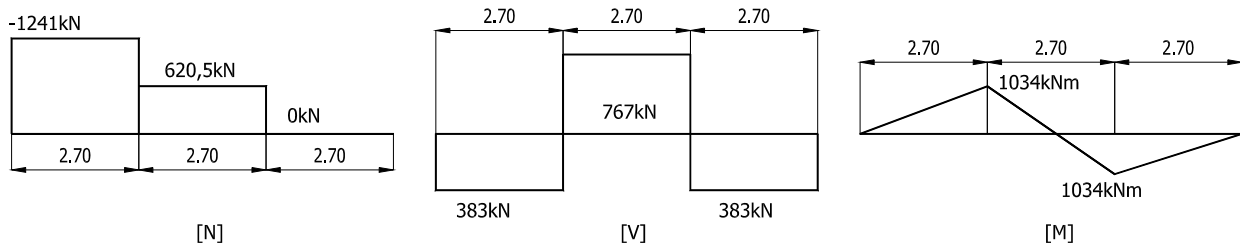
$$\text{Τέμνουσα δύναμη } V_{Ed,FE,Z\Delta} = 383 \text{ kN}, V_{Ed,EZ} = V = 1150 - 383 = 767 \text{ kN}$$

$$\text{Καμπτική ροπή: } M_{Ed} = 383 \text{ kN} \times 2,70 \text{ m} = 1034 \text{ kNm}$$



Σχήμα 2: Ανάλυση δυνάμεων στη διαγώνιο

Τα εντατικά μεγέθη επί της δοκού ΓΔ λόγω των δυνάμεων από τις διαγωνίους, δίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3: Εντατικά μεγέθη κεφαλοδοκού

Κατηγορία κορμού: $\frac{c}{t_w} = \frac{500\text{mm} - 2 \times 7\text{mm} \times \sqrt{2}}{25\text{mm}} = 19,2 < 72\varepsilon$

Κατηγορία πέλματος: $\frac{c}{t_f} = \frac{(300 - 25)\text{mm} / 2 - 7\text{mm} \sqrt{2}}{20\text{mm}} = 6,4 < 9\varepsilon$

όπου $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1$. Επομένως η διατομή είναι κατηγορίας 1.

Εμβαδόν διατομής: $A = 30\text{cm} \times 2,0\text{cm} \times 2 + 50\text{cm} \times 2,5\text{cm} = 245\text{cm}^2$

$W_y = W_{pl,y} = 2S = 2 \times (30\text{cm} \times 2,0\text{cm} \times (25\text{cm} + 2,0\text{cm}/2) + 25\text{cm} \times 2,5\text{cm} \times 12,5\text{cm}) = 4682,50\text{cm}^3$

$A_w = h_w t_w = 50\text{cm} \times 2,5\text{cm} = 125\text{cm}$

$M_{Ed} = 103400\text{kNcm} \leq M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4682,50\text{cm}^3 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 110038,75\text{kNcm}$

Σύμφωνα με τον έλεγχο σε διάτμηση ισχύει:

$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 125,0\text{cm}^2 \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 1695,97\text{kN} > V_{Ed} = 767\text{kN}$

Τύπος δοκού σύζευξης:

$\ell_c = 2,70\text{m}$

$\ell_0 = 2M_{pc} / V_{pc} = 2 \times 1100,4\text{kNm} / 1695,97 = 1,30\text{m}$

όπου M_{pc} και V_{pc} είναι η αντοχή σε κάμψη και διάτμηση της διατομής της δοκού σύζευξης.

Ισχύει: $\ell_c / \ell_0 = 2,70 / 1,30 = 2,08 > 1,30$, επομένως αναπτύσσεται κυρίως καμπτική διαρροή (καμπτική πλαστική άρθρωση).

Οι διατομές των δοκών σύζευξης είναι κατηγορίας A, εφόσον ισχύει:

Κορμός: $500/25 = 20 < 66\varepsilon$

Πέλμα: $300/20 = 15 < 20\varepsilon$

όπου $\varepsilon = 1$

Για τη δοκό σύζευξης με μηχανισμό καμπτικών πλαστικών αρθρώσεων, θα πρέπει να ισχύει:

$M_s/M_{pc} \leq 1,00$ $N_s/N_{pc} \leq 0,15$ $(V_o + V_M)/V_{pc} \leq 0,50$

Επομένως:

$M_s/M_{pc} = \frac{1034\text{kNm}}{1100,40\text{kNm}} = 0,94 < 1,00$

$N_s/N_{pc} = \frac{620,50\text{kN}}{245\text{cm}^2 \times 23,5\text{kN/cm}^2} = 0,11 < 0,15$

$V_o = 0$ (η δοκός σύζευξης δεν παραλαμβάνει άμεσα φορτία)

$V_M = (M_{RA} + M_{RB}) / \ell = 2 \times 1100,40\text{kNm} / 2,70\text{m} = 815,11\text{kN}$

$V_{pc} = 1695,97\text{kN}$

$(V_o + V_M)/V_{pc} = 0,48 < 0,50$

ε) Διαγώνιες ράβδοι

Οι διαγώνιες ράβδοι ελέγχονται σε λυγισμό και διαστασιολογούνται με ικανοτικό συντελεστή ίσο με:

$$\alpha_{cd} = 1,20 \min \{ V_{pdi} / V_{sdi} ; M_{pdi} / M_{sdi} \} = 1,20 \min \{ 1695,97 \text{ kN} / 767 \text{ kN} ; 1100,40 \text{ kNm} / 1034 \text{ kNm} \} = 1,20 \min \{ 2,21 ; 1,06 \} = 1,27 < 4$$

Το αξονικό φορτίο για το οποίο θα πρέπει να διαστασιολογηθεί η διαγώνιος του κατακόρυφου συνδέσμου δυσκαμψίας είναι:

$$N_{Ed} = 1,27 \times 1306 \text{ kN} = 1658,62 \text{ kN}$$

Διαστασιολογείται η θλιβόμενη διαγώνιος.

Για κοίλες διατομές εν ψυχρώ έλασης η καμπύλη λυγισμού είναι η c.

Το μήκος λυγισμού κατά τους δύο άξονες θα είναι ίσο με:

$$L_y = L_z = \sqrt{2,70^2 + 5,00^2} = 5,68 \text{ m} = 568 \text{ cm}$$

Η ανηγμένη λυγρότητα δίνεται ως εξής:

$$\bar{\lambda} = \frac{L}{i \times \lambda_1} = \frac{568 \text{ cm}}{8,10 \text{ cm} \times 93,91} = 0,75 \rightarrow \chi = 0,70$$

Έλεγχος σε λυγισμό:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,70 \times 114,90 \text{ m}^2 \times 23,5 \text{ kN} / \text{cm}^2}{1,00} = 1890,11 \text{ kN} > N_{Ed} = 1658,62 \text{ kN}$$

στ) Κοχλιωτή σύνδεση

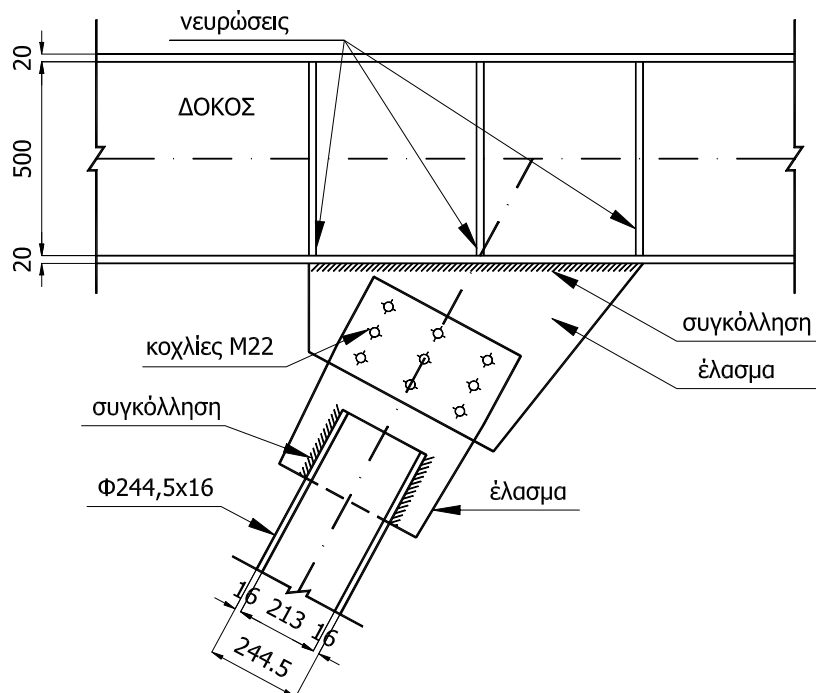
Η δύναμη προέντασης του κάθε κοχλία M22 (10.9) θα είναι:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s = 0,7 \times 100 \text{ kN} / \text{cm}^2 \times 3,03 \text{ cm}^2 = 212,10 \text{ kN}$$

Το πλήθος των απαιτούμενων κοχλιών προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη την αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση:

$$F_{s,Rd} = m \frac{k_s \eta \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \geq F_{v,Ed} \Rightarrow m \frac{1,0 \times 2 \times 0,5}{1,10} 212,10 \geq 1658,62 \text{ kN} \Rightarrow m = 8,60 \rightarrow m = 9$$

όπου χρησιμοποιήθηκε $k_s = 1,00$ (κανονικές οπές) και $\mu = 0,5$ για αμβολισμένες επιφάνειες.



Σχήμα 4: Σύνδεση διαγωνίου με δοκό