



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μάθημα : Σιδηρές Κατασκευές II

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

9 Ιουλίου 2008

Τελική εξέταση

Θέμα 1 (6 μονάδες):

Στο στέγαστρο κερκίδων μικρού σταδίου από χάλυβα ποιότητας S235 διατάσσονται κύριοι φορείς, όπως αυτοί που φαίνονται στο Σχ. 1, ανά 8,0 m. Η επιστέγαση που τοποθετείται επί της δοκού AB διατομής HEB 550 έχει σχεδιαστεί να δέχεται φορτία βαρύτητας, μόνιμα $0,80 \text{ kN/m}^2$ και χιόνι $1,25 \text{ kN/m}^2$. Ζητείται:

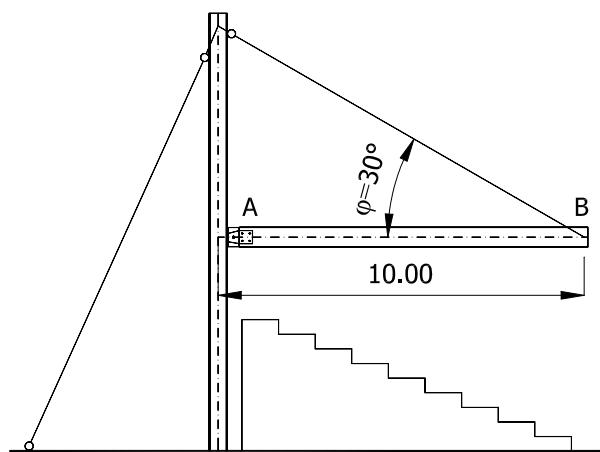
A. ο έλεγχος της σύνδεσης της δοκού AB επί του υποστυλώματος, που γίνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 2, και ειδικότερα:

(α) των κοχλιών M27/8.8,

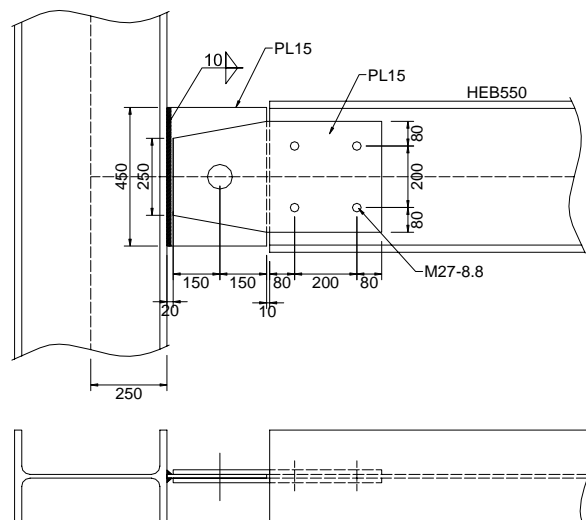
(β) του πείρου Φ50 (στην οριακή κατάσταση αστοχίας) από υλικό με τάση διαρροής 300 MPa και τάση θραύσης 450 MPa, ο οποίος τοποθετείται σε οπή διαμέτρου 54 mm,

(γ) της συγκόλλησης επί του πέλματος του υποστυλώματος.

B. Εάν για το σχεδιασμό πρέπει επί πλέον να ληφθεί υπόψη άνωση από άνεμο ίση προς $1,50 \text{ kN/m}^2$, αναφέρατε ποιοτικά (χωρίς υπολογισμούς) σε ποια στοιχεία της κατασκευής πρέπει να δοθεί προσοχή και για ποιους λόγους.



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Θέμα 2 (6 μονάδες):

Το τριώροφο κτίριο του σχήματος 3 κατασκευάζεται από χάλυβα ποιότητας S275. Τα δάπεδα διαμορφώνονται ως σύμμικτες πλάκες με μέσο πάχος σκυροδέματος 12cm. Τα οριζόντια φορτία παραλαμβάνονται αποκλειστικά από τους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας, που σημειώνονται στην κάτοψη με έντονη γραμμή, και όλες οι συνδέσεις διαμορφώνονται ως αρθρωτές.

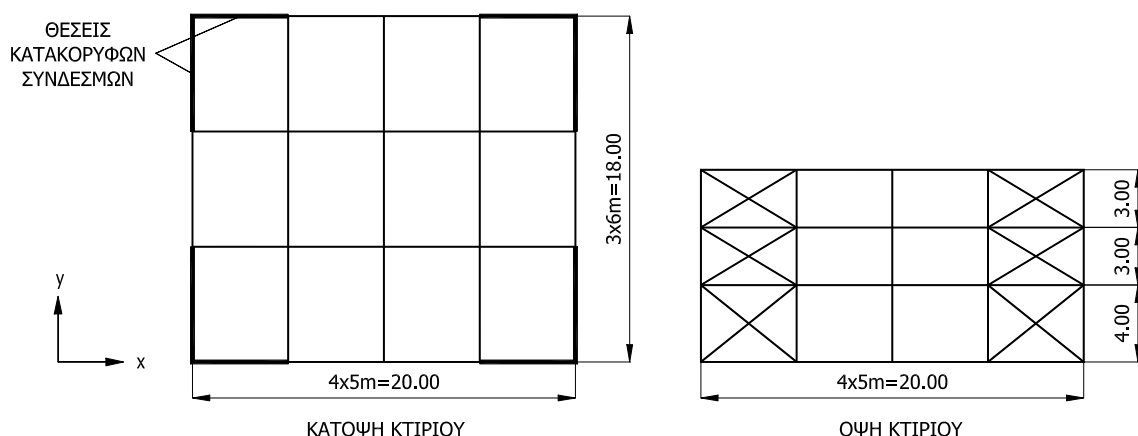
Τα μόνιμα φορτία σε κάθε στάθμη περιλαμβάνουν το ίδιο βάρος της μεταλλικής κατασκευής, που εκτιμάται ίσο προς 1,00kN/m², το βάρος της επικάλυψης που είναι ίσο προς 1,50kN/m² και το ίδιο βάρος της πλάκας σκυροδέματος (ειδικό βάρος σκυροδέματος 25kN/m³). Τα κινητά φορτία σε κάθε στάθμη είναι ίσα με 2,00kN/m², εκτός από το δώμα, όπου το κινητό φορτίο είναι ίσο με 1,00kN/m².

Το κτίριο κατασκευάζεται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II (A=0,24·g), έχει συντελεστή θεμελίωσης θ=1,00 και ανήκει σε κατηγορία σπουδαιότητας Σ₂ (γ_I=1,00). Για τον υπολογισμό του ποσοστού απόσβεσης θεωρείται κοχλιωτή και συγκολλητή μεταλλική κατασκευή. Η οριζόντια φασματική επιτάχυνση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{n \cdot \theta \cdot \beta_o}{q}, \text{ όπου } n = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}}$$

Ζητείται η διαστασιολόγηση των κατακορύφων συνδέσμων δυσκαμψίας του ισογείου που ενεργοποιούνται για σεισμό κατά τη διεύθυνση Χ, και συγκεκριμένα:

- ο υπολογισμός της ελάχιστης απαιτούμενης διατομής των διαγωνίων, από τη σειρά CHS.
- η μόρφωση της ακραίας σύνδεσης κάθε διαγωνίου μέσω επιπέδου ελάσματος που θα συγκολληθεί στην κύρια διατομή και μονότμητων κοχλιών M24/8.8 (να γίνει υπολογισμός και να σχεδιαστεί σκαρίφημα).
- η επιλογή της ελάχιστης απαιτούμενης διατομής των κεφαλοδοκών από τη σειρά CHS.



Σχήμα 3

CHS	d	t	A	I _T /2	W	i
	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
88.9 x 3.2	88.9	3.2	8.62	79.2	17.8	3.03
88.9 x 4.0	88.9	4	10.67	96.34	21.67	3.005
88.9 x 5.0	88.9	5	13.18	116.4	26.18	2.972
88.9 x 6.0	88.9	6	15.6	135	30.4	2.94
88.9 x 6.3	88.9	6.3	16.35	140.2	31.55	2.929
101.6 x 4.0	101.6	4	12.26	146.3	28.8	3.454
101.6 x 5.0	101.6	5	15.17	177.5	34.93	3.42
101.6 x 6.3	101.6	6.3	18.86	215.1	42.34	3.377
101.6 x 8.0	101.6	8	23.52	259.5	51.08	3.321
101.6 x 10.0	101.6	10	28.78	305.4	60.12	3.258
114.3 x 5.0	114.3	5	17.17	256.9	44.96	3.868
114.3 x 6.3	114.3	6.3	21.38	312.7	54.72	3.825
114.3 x 8.0	114.3	8	26.72	379.5	66.4	3.769
114.3 x 10.0	114.3	10	32.77	449.7	78.68	3.704

CHS	d	t	A	I _T /2	W	i
	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
139.7 x 4.0	139.7	4	17.1	393	56.2	4.8
139.7 x 5.0	139.7	5	21.16	480.5	68.8	4.766
139.7 x 6.3	139.7	6.3	26.4	588.6	84.27	4.722
139.7 x 8.0	139.7	8	33.1	720.3	103.1	4.665
139.7 x 10.0	139.7	10	40.75	861.9	123.4	4.599
139.7 x 12.5	139.7	12.5	49.95	1020	146	4.519
168.3 x 5.0	168.3	5	25.7	856	102	5.78
168.3 x 6.3	168.3	6.3	32.06	1053	125.2	5.732
168.3 x 8.0	168.3	8	40.29	1297	154.2	5.675
168.3 x 10.0	168.3	10	49.73	1564	185.9	5.608
168.3 x 12.5	168.3	12.5	61.18	1868	222	5.526
177.8 x 6.3	177.8	6.3	33.94	1250	140.6	6.068
177.8 x 8.0	177.8	8	42.68	1541	173.4	6.01
177.8 x 10.0	177.8	10	52.72	1862	209.4	5.943
177.8 x 12.5	177.8	12.5	64.91	2230	250.8	5.861

Πίνακας 1: Γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά κοίλων κυκλικών διατομών

ΛΥΣΗ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

1. ΘΕΜΑ 1^ο

1.1. Στατική επίλυση συστήματος

Μήκος αμφιέριστης δοκού: $10,00\text{m} - 0,25 - 0,02 - 0,15 = 9,58\text{m}$ Συνδυασμός φορτίσεων σε ΟΚΑ: $1,35 \times 0,80\text{kN/m}^2 \times 8,0\text{m} + 1,50 \times 1,25\text{kN/m}^2 \times 8,0\text{m} = 23,64\text{kN/m}$ Αντίδραση στα άκρα της δοκού AB: $V_{Ed} = 23,64\text{kN/m} \times 9,58\text{m} / 2 = 113,24\text{kN}$ Αξονική δύναμη αναρτήρα: $S \times \sin 30^\circ = 113,24\text{kN} \Rightarrow S = 226,48\text{kN}$ Αξονική θλιπτική δύναμη στη δοκό: $N_{Ed} = 226,48\text{kN} \times \cos 30^\circ = 196,14\text{kN}$

1.2. Έλεγχος κοιλίωσης

Η πολική ροπή αδράνειας της κοιλίωσης ως προς το Κ.Β. της κοιλίωσης είναι:

$$I_p = \sum_i (x_i^2 + y_i^2) = 4 \times (10,0\text{cm})^2 + 4 \times (10,0\text{cm})^2 = 800\text{cm}^2$$

Απόσταση κ.β. κοιλίωσης από πείρο: $150 + 10 + 80 + 100 = 340\text{mm} = 34\text{cm}$

Η ροπή που παραλαμβάνει η κοιλίωση θεωρείται ότι είναι:

$$M_{Ed} = 113,24\text{kN} \times 34\text{cm} = 3850,16\text{kNcm}$$

Οι δυνάμεις στον ακραίο κοιλία είναι:

$$F_{V,Ed,x} = \frac{M_{Ed}}{I_p} y_1 + \frac{N_{Ed}}{m} = \frac{3850,16\text{kNcm}}{800\text{cm}^4} \times 10,0\text{cm} + \frac{196,14\text{kN}}{4} = 97,16\text{kN}$$

$$F_{V,Ed,y} = \frac{M_{Ed}}{I_p} x_1 + \frac{V_{Ed}}{m} = \frac{3850,16\text{kNcm}}{800\text{cm}^4} \times 10,0\text{cm} + \frac{113,24\text{kN}}{4} = 76,44\text{kN}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{(F_{V,Ed,x})^2 + (F_{V,Ed,y})^2} = \sqrt{(97,16\text{kN})^2 + (76,44\text{kN})^2} = 123,62\text{kN}$$

Αντοχή ενός κοιλία:

$$\text{Εμβαδόν διατομής κοιλία } A = \pi d^2 / 4 = \pi (2,7\text{cm})^2 / 4 = 5,73\text{cm}^2$$

$$F_{v,Rd} = n \frac{\alpha_v A f_{ub}}{\gamma_{M2}} \Rightarrow F_{v,Rd} = 2 \times \frac{0,60 \times 5,73\text{cm}^2 \times 80\text{kN/cm}^2}{1,25} = 440,06\text{kN} > F_{V,Ed} = 123,62\text{kN}$$

(επαρκεί)

Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας των οπών:κατά x-x

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{80\text{mm}}{3 \times 30\text{mm}}; \frac{200\text{mm}}{3 \times 30\text{mm}} - \frac{1}{4}; \frac{80\text{kN/cm}^2}{36\text{kN/cm}^2}; 1 \right\} =$$

$$= \min \{0,89; 1,97; 2,22; 1,00\} = 0,89$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{80\text{mm}}{30\text{mm}} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{5,77; 2,5\} = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha f_u d t_{\min}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \times 0,89 \times 36\text{kN/cm}^2 \times 2,7\text{cm} \times 1,50\text{cm}}{1,25} = 259,52\text{kN} > 97,16\text{kN} = F_{V,Ed,x}$$

(επαρκεί)

κατά y-y

$$\alpha = 0,89, k_1 = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = 259,52\text{kN} > 76,44\text{kN} = F_{V,Ed,y} \text{ (επαρκεί)}$$

1.3. Έλεγχος πείρου

Εντατικά μεγέθη πείρου:

Διατμητική δύναμη: $F = \sqrt{113,24^2 + 196,14^2} = 226,48 \text{ kN}$

Ροπή: $M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4c + 2a) = \frac{226,48 \text{ kN}}{8} (1,5 \text{ cm} + 0 + 2 \times 1,5 \text{ cm}) = 127,40 \text{ kNcm}$

Χαρακτηριστικά πείρου:

Εμβαδόν: $A = \pi d^2 / 4 = \pi (5,0 \text{ cm})^2 / 4 = 19,63 \text{ cm}^2$

Ελαστική ροπή αντίστασης: $W_{el} = \pi d^3 / 32 = \pi \times (5,00 \text{ cm})^3 / 32 = 12,27 \text{ cm}^3$

Αντοχή σε διάτμηση:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \frac{A f_{up}}{\gamma_{M2}} \Rightarrow F_{v,Rd} = \frac{0,60 \times 19,63 \text{ cm}^2 \times 45 \text{ kN/cm}^2}{1,25} \times 2 = 848,02 \text{ kN} > 226,48 \text{ kN} \text{ (επαρκεί)}$$

Αντοχή σε κάμψη:

$$M_{Rd} = \frac{1,5 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \times 12,27 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ kN/m}^2}{1,00} = 552,15 \text{ kNcm} > 127,40 \text{ kNcm} \text{ (επαρκεί)}$$

Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 t d f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \times 1,5 \text{ cm} \times 5,0 \text{ cm} \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 264,38 \text{ kN} > 226,48 \text{ kN} \text{ (επαρκεί)}$$

Αντοχή σε αλληλεπίδραση διάτμησης και ροπής:

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[\frac{127,40 \text{ kNcm}}{552,15 \text{ kNcm}} \right]^2 + \left[\frac{226,48 \text{ kN}}{848,02 \text{ kN}} \right]^2 = 0,12 < 1$$

Έλεγχος αποστάσεων:

$$\text{Ελάχιστη απόσταση στεφανιού: } \frac{F_{sd} \gamma_{M0}}{2 t f_y} + \frac{2 d_0}{3} = \frac{226,48 \text{ kN} \times 1,00}{2 \times 1,5 \text{ cm} \times 23,5 \text{ kN/cm}^2} + \frac{2 \times 5,4 \text{ cm}}{3} = 6,81 \text{ cm}$$

Η μικρότερη απόσταση είναι: $a = 25 \text{ cm} / 2 - 5,4 \text{ cm} / 2 = 9,80 \text{ cm} > 6,81 \text{ cm}$

1.4. Έλεγχος συγκόλλησης

Εντατικά μεγέθη συγκόλλησης:

Ροπή: $M = 113,24 \text{ kN} \times 17 \text{ cm} = 1925,08 \text{ kNcm}$

Τέμνουσα: $V = 113,24 \text{ kN}$

Αξονική δύναμη: $N = 196,14 \text{ kN}$

Χαρακτηριστικά συγκόλλησης:

Ροπή αντίστασης συγκόλλησης: $W = 2 \times 1,0 \text{ cm} \times (45 \text{ cm})^2 / 6 = 675 \text{ cm}^3$

Εμβαδόν συγκόλλησης: $A = 2 \times 1,0 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} = 90 \text{ cm}^2$

Ορθές τάσεις:

λόγω ροπής: $\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{1925,08 \text{ kNcm}}{675 \text{ cm}^3} = 2,85 \text{ kN/cm}^2$

λόγω αξονικής δύναμης: $\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{196,14 \text{ kN}}{90 \text{ cm}^2} = 2,18 \text{ kN/cm}^2$

Αντοχή συγκόλλησης:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \times \beta_w} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \times 1,25 \times 0,80} = 20,78 \text{ kN/cm}^2, \text{ όπου } \beta_w = 0,80 \text{ για S235}$$

Συνολική ορθή τάση στα άκρα της συγκόλλησης:

$$\sigma = \sigma_M + \sigma_N = 2,85 + 2,18 = 5,03 \text{ kN/cm}^2 < 20,78 \text{ kN/cm}^2 \text{ (επαρκεί)}$$

Μέγιστες διατμητικές τάσεις:

λόγω τέμνουσας δύναμης: $\tau_v = \frac{1,50 \times V}{A} = \frac{1,50 \times 113,24 \text{ kN}}{90 \text{ cm}^2} = 1,89 \text{ kN/cm}^2$

Συνολική τάση στο μέσον της συγκόλλησης:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_N^2 + \tau_v^2} = \sqrt{2,18^2 + 1,89^2} = 2,89 \text{ kN/cm}^2 < 20,78 \text{ kN/cm}^2 \text{ (επαρκεί)}$$

Έλεγχος πάχους συγκόλλησης:

$$a = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm} < 0,70 \times t_{\min} = 0,70 \times 1,50 \text{ cm} = 1,05 \text{ cm}$$

1.5. Φορτία αναρρόφησης

Με τα φορτία της υποπίεσης του ανέμου το φορτίο του συνδυασμού αστοχίας θα έχει φορά προς τα πάνω. Αυτό θα έχει ως συνέπεια τη διαστασιολόγηση του αναρτήρα έτσι ώστε να μπορεί να παραλάβει θλίψη, και τη διαστασιολόγηση της δοκού λαμβάνοντας υπόψη ότι το θλιβόμενο κάτω πέλμα δεν είναι πλευρικά εξασφαλισμένο και επομένως ο έλεγχος έναντι πλευρικού λυγισμού θα είναι δυσμενέστερος από την περίπτωση που τα φορτία του συνδυασμού αστοχίας έχουν φορά προς τα κάτω και το θλιβόμενο πέλμα είναι το άνω πέλμα της δοκού, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί πλευρικά εξασφαλισμένο λόγω των διαδοκίδων του στεγάστρου πιθανόν και της επικάλυψης αυτού.

2. ΘΕΜΑ 2^ο

2.1. Φορτία σχεδιασμού

Μόνιμα φορτία (ίδιο βάρος, πλάκα, επικάλυψη):

$$g = 1,00 \text{ kN/m}^2 + 0,12 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^2 + 1,50 \text{ kN/m}^2 = 5,50 \text{ kN/m}^2$$

Συνολικό μόνιμων φορτίων: $G = 3 \times 20 \text{ m} \times 18 \text{ m} \times 5,50 \text{ kN/m}^2 = 5940 \text{ kN}$

Συνολικό κινητών φορτίων: $Q = 20 \text{ m} \times 18 \text{ m} \times (2 \times 2,00 \text{ kN/m}^2 + 1,00 \text{ kN/m}^2) = 1800 \text{ kN}$

Συνολικό κατακόρυφο φορτίο κατασκευής (για τον σεισμικό συνδυασμό $G + \psi_2 \cdot Q$ όπου $\psi_2 = 0,3$ για κινητό φορτίο):

$$5940 \text{ kN} + 0,3 \times 1800 \text{ kN} = 6480 \text{ kN}$$

Ποσοστό απόσβεσης:

$$\zeta = 3\%$$

Διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης: $n = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} = \sqrt{\frac{7}{2 + 3}} = 1,183$

Οριζόντια φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{n \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} = 1,00 \times 0,24 \text{ g} \times \frac{1,183 \times 1,00 \times 2,50}{3,0} = 0,237 \text{ g}$$

Η συνολική οριζόντια σεισμική δύναμη είναι:

$$Q_E = M \times \Phi_d(T) = 6480 \text{ kN} / \text{g} \times 0,237 \text{ g} = 1535,76 \text{ kN}$$

Η οποία ισοκατανέμεται στους 4 κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας ανά διεύθυνση, οπότε στον καθένα μεταβιβάζεται δύναμη ίση με:

$$E = \frac{1535,76 \text{ kN}}{4} = 383,94 \text{ kN}$$

Η δύναμη που παραλαμβάνει η κάθε εφελκυστική διαγώνιος κατά τη διεύθυνση x είναι:

$$N_{Ed} = \frac{383,94 \text{ kN}}{\cos 38,66} = 491,68 \text{ kN}$$

όπου η γωνία δίνεται ως εξής: $\tan \alpha = \frac{4}{5} = 0,8 \Rightarrow \alpha = 38,66^\circ$

2.2. Διαστασιολόγηση διαγωνίου

2.2.1. Περιορισμός λυγηρότητας

Θα πρέπει να ισχύει:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} \leq 1,50 \text{ όπου } N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{\ell^2}$$

$$i \geq \frac{\ell}{1,5 \times \pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \Rightarrow i \geq \frac{320,16 \text{ cm}}{1,5 \times \pi} \times \sqrt{\frac{27,5 \text{ kN/m}^2}{21000 \text{ kN/m}^2}} \Rightarrow i \geq 2,46 \text{ cm}$$

όπου το μήκος λυγισμού είναι το μισό μήκος της διαγωνίου:

$$\ell = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(4,0 \text{ m})^2 + (5,0 \text{ m})^2} = 3,2016 \text{ m} = 320,16 \text{ cm}$$

2.2.2. Έλεγχος σε εφελκυσμό διαγωνίου

Θα πρέπει να ισχύει επίσης:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{Ed} \Rightarrow \frac{A \times 27,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} \geq 491,68 \text{ kN} \Rightarrow A \geq 17,88 \text{ cm}^2$$

2.2.3. Επιλογή διατομής διαγωνίου

Επιλέγεται κοίλη κυκλική διατομή 101,6/6,3 με:

$A = 18,86 \text{ cm}^2 > 17,88 \text{ cm}^2$ και $i = 3,377 \text{ cm} > 2,46 \text{ cm}$

Και με αντοχή σε εφελκυσμό: $N_{pl,Rd} = 18,86 \text{ cm}^2 \times 27,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,00 = 518,65 \text{ kN}$

2.2.4. Αντοχή κοχλίων σε διάτμηση

Η αντοχή των κοχλίων είναι: $F_{v,Rd} = n \frac{\alpha_v A f_{ub}}{\gamma_{M2}} m$

με $(A = \pi d^2 / 4 = \pi (2,4 \text{ cm})^2 / 4 = 4,52 \text{ cm}^2)$

$$F_{v,Rd} = 1 \times \frac{0,60 \times 4,52 \text{ cm}^2 \times 80 \text{ kN/cm}^2}{1,25} \times m = (173,57 \times m) \text{ kN} > 1,20 \times N_{pl,Rd}$$

$$= 1,20 \times 518,65 \text{ kN} = 622,38 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow m > 3,58$$

Επιλέγονται 4 κοχλίες M24 (8.8) με συνολική αντοχή σε διάτμηση: $F_{v,Rd} = 694,27 \text{ kN}$

2.3. Έλασμα στο άκρο της διαγωνίου

2.3.1. Επιλογή ελάσματος

Επιλέγεται πλάτος ελάσματος ίσο με 120mm, ενώ θα πρέπει να ισχύει:

$$12 \text{ cm} \times t \geq 18,86 \text{ cm}^2 \Rightarrow t \geq 1,57 \text{ cm}$$

Επιλέγεται πάχος ελάσματος $t = 16 \text{ mm}$

α) Αντοχή διαρροής της διατομής του ελάσματος:

$$N_{pl,Rd,ελασμ} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12\text{cm} \times 1,6\text{cm} \times 27,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 528\text{kN} > 518,65\text{kN}$$

β) Αντοχή απομειωμένης διατομής:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,90 \times (b'-2,6\text{cm}) \times 1,6\text{cm} \times 43\text{kN/cm}^2}{1,25} \geq N_{pl,Rd} = 518,65\text{kN}$$

$\Rightarrow b' \geq 13,07\text{cm}$: απαιτούμενο πλάτος του ελάσματος στη θέση της πρώτης οπής.

Επιλέγεται $b'=140\text{mm}$ με αντοχή απομειωμένης διατομής:

$$N_{u,Rd,ελασμ} = \frac{0,90 \times (14\text{cm} - 2,6\text{cm}) \times 1,6\text{cm} \times 43\text{kN/cm}^2}{1,25} = 564,71\text{kN}$$

γ) Ικανοποιείται το κριτήριο ολκιμότητας εφόσον ισχύει $N_{u,Rd,ελασμ}=564,71\text{kN} > N_{pl,Rd}=518,65\text{kN}$

2.3.2. Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας

Η συνολική αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας θα είναι:

$$F_{b,Rd} = n \frac{k_1 \alpha f_u d_{tmin}}{\gamma_{M2}} \Rightarrow F_{b,Rd} = 4 \times \frac{2,50 \times \alpha \times 43\text{kN/cm}^2 \times 2,4\text{cm} \times 1,6\text{cm}}{1,25} = (1320,96\alpha)\text{kN}$$

Θα πρέπει να ισχύει:

$$1,20N_{pl,Rd} \leq F_{b,Rd} \leq F_{v,Rd} \Rightarrow \frac{622,38}{1320,96} \leq \alpha \leq \frac{694,27}{1320,96} \Rightarrow 0,471 \leq \alpha \leq 0,526$$

όπου

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_o}, \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$$

Θα πρέπει δηλαδή να ισχύει:

$$0,471 \leq \frac{e_1}{3 \cdot d_o} \leq 0,526 \Rightarrow 0,471 \times 3 \times 26\text{mm} \leq e_1 \leq 0,526 \times 3 \times 26\text{mm} \Rightarrow 36,74 \leq e_1 \leq 41,03\text{mm} \text{ και}$$

$$0,471 \leq \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4} \leq 0,526 \Rightarrow \left(0,471 + \frac{1}{4}\right) \times 3 \times 26\text{mm} \leq p_1 \leq \left(0,526 + \frac{1}{4}\right) \times 3 \times 26\text{mm} \Rightarrow 56,24 \leq p_1 \leq 60,53\text{mm}$$

Ελάχιστες αποστάσεις:

$$\min e_1 = 1,2d_o = 1,2 \times 26\text{mm} = 31,20\text{mm}$$

$$\min p_1 = 2,2d_o = 2,2 \times 26\text{mm} = 57,20\text{mm}$$

Μέγιστες αποστάσεις

$$\max e_1 = 40\text{mm} + 4t = 40 + 4 \times 16\text{mm} = 104,00\text{mm}$$

$$\max p_1 = \min(14t; 200\text{mm}) = \min(14 \times 16\text{mm}; 200\text{mm}) = \min(224\text{mm}; 200\text{mm}) = 200\text{mm}$$

Επιλέγουμε:

$$e_1 = 40\text{mm} \text{ και } p_1 = 60\text{mm}$$

Επομένως:

$$\alpha = \min\left\{\frac{40\text{mm}}{3 \times 26\text{mm}}; \frac{60\text{mm}}{3 \times 26\text{mm}} - \frac{1}{4}; \frac{80\text{kN/cm}^2}{43\text{kN/cm}^2}; 1\right\} = \{0,513; 0,519; 1,86; 1\} = 0,513$$

Η συνολική αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας θα είναι:

$$F_{b,Rd} = 4 \times \frac{2,50 \times 0,513 \times 43\text{kN/cm}^2 \times 2,4\text{cm} \times 1,6\text{cm}}{1,25} = 677,65\text{kN} > 622,38\text{kN}$$

Επίσης ισχύει το κριτήριο ολκιμότητας, εφόσον ισχύει:

$$F_{b,Rd} = 677,65\text{kN} < F_{v,Rd} = 694,27\text{kN}$$

2.3.3. Αντοχή συγκόλλησης

Η αντοχή της συγκόλλησης δίνεται ως εξής:

$$f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{Mw}} = \frac{43\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} \times 0,85 \times 1,25} = 23,37\text{kN/cm}^2$$

όπου $\beta_w = 0,85$ για S275

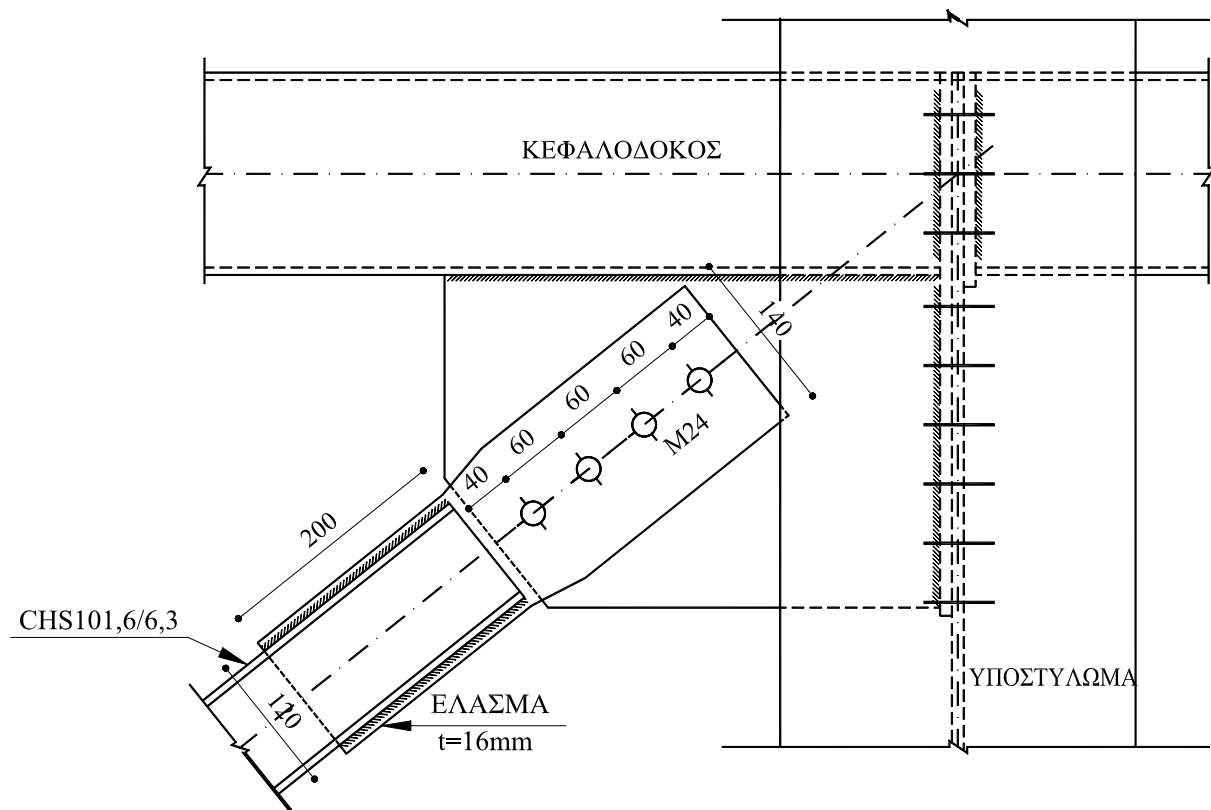
Επιλέγεται πάχος συγκόλλησης 4mm. Το απαιτούμενο μήκος συγκόλλησης υπολογίζεται ως εξής:

$$1,20N_{Pl,Rd} \leq 4\ell\alpha f_{vw,d} \Rightarrow \ell \geq \frac{1,20N_{Pl,Rd}}{4\alpha f_{vw,d}} \Rightarrow \ell \geq \frac{622,38\text{kN}}{4 \times 0,4\text{cm} \times 23,37\text{kN/cm}^2} = 16,64\text{cm}$$

Επιλέγεται μήκος συγκόλλησης 20cm.

Έλεγχος πάχους συγκόλλησης:

$$\alpha = 4\text{mm} = 0,4\text{cm} < 0,70 \times t_{\min} = 0,70 \times 0,63\text{cm} = 0,44\text{cm}$$



Σχήμα 1: Λεπτομέρεια κόμβου διαγωνίου/κεφαλοδοκού/υποστυλώματος

2.4. Διαστασιολόγηση κεφαλοδοκού**2.4.1. Συντελεστής ικανοτικής μεγέθυνσης**

$$\alpha_{CD} = \frac{(1,20 \cdot N_{Pdi} - N_{vdi})}{N_{Edi}} \leq q$$

$$\alpha_{CD} = \frac{622,38\text{kN}}{491,68\text{kN}} = 1,27 < q = 3,00 \Rightarrow \alpha_{CD} = 1,27$$

Επομένως:

$$N_{Ed} = \alpha_{CD} \cdot E = 1,27 \times 383,94\text{kN} = 487,60\text{kN}$$

2.4.2. Έλεγχος λυγισμού

Η επιλογή γίνεται με το κριτήριο αντοχής σε λυγισμό:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \Rightarrow A \geq \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi f_y} \Rightarrow A \geq \frac{487,60 \text{ kN} \times 1,00}{0,6 \times 27,5 \text{ kN/cm}^2} = 29,55 \text{ cm}^2$$

Υποθέσαμε αυθαίρετα ότι $\chi=0,60$, που κρίνεται εύλογο για κοίλη διατομή.

Επιλέγουμε διατομή CHS 168,3/6,3 με εμβαδόν διατομής: $A=32,06 \text{ cm}^2$ και $i=5,732 \text{ cm}$

2.4.3. Υπολογισμός αντοχής σε λυγισμό

Καμπύλη λυγισμού για κοίλη διατομή με εν θερμώ έλαση: a

Μήκος λυγισμού κατά τη διεύθυνση x του κτιρίου: $L=500 \text{ cm}$

$$\text{Ανηγμένη λυγηρότητα: } \bar{\lambda} = \frac{L}{i \times \lambda_1} = \frac{500 \text{ cm}}{5,732 \text{ cm} \times 86,81} = 1,00$$

όπου

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000 \text{ MPa}}{275 \text{ MPa}}} = 86,81$$

Μειωτικός συντελεστής $\chi=0,67$:

2.4.4. Αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,67 \times 32,06 \text{ cm}^2 \times 27,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 590,71 \text{ kN} > N_{Ed} = 487,60 \text{ kN} \text{ (επαρκεί)}$$