



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μάθημα : Σιδηρές Κατασκευές II

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

Διάρκεια 2 ώρες και 30 λεπτά

24 Ιουνίου 2011

Τελική εξέταση

Δεξαμενή νερού που μπορεί να θεωρηθεί ως απολύτως δύσκαμπτο στοιχείο, διαστάσεων $8,00\text{m} \times 8,00\text{m} \times 3,20\text{m}$ και ίδιου βάρους 300kN , εδράζεται σε τέσσερα μεταλλικά υποστυλώματα κοίλης τετραγωνικής διατομής SHS400.400.16, πακτωμένα στη βάση τους (Σχήμα 1Α). Η σύνδεση της κεφαλής των υποστυλωμάτων επί της δεξαμενής είναι δύσκαμπτη ώστε η στήριξη να μπορεί να προσομοιωθεί ως κυλιόμενη πάκτωση.

Α) Ζητείται ο έλεγχος του δυσμενέστερου υποστυλώματος για σεισμική δύναμη E η οποία θα προκύψει κατά προσέγγιση θεωρώντας ως ταλαντούμενη μάζα το ίδιο βάρος και το πλήρες περιεχόμενο της δεξαμενής. Δίνεται η φασματική σεισμική επιτάχυνση $0,24g$ που έχει υπολογιστεί με συντελεστή συμπεριφοράς $q=3.0$ (Ειδικό βάρος νερού, το οποίο θεωρείται για την κατασκευή ως μόνιμο φορτίο, 10kN/m^3). **(Mov. 3,0)**

Β) Εναλλακτικά τα υποστυλώματα μπορεί να κατασκευαστούν ως αμφιαρθρωτά κοίλης τετραγωνικής διατομής SHS250.250.8 με κεφαλοδοκούς διατομής HEB200 και χιαστί ράβδους σε όλες τις όψεις (Σχήμα 1Β). Ζητείται:

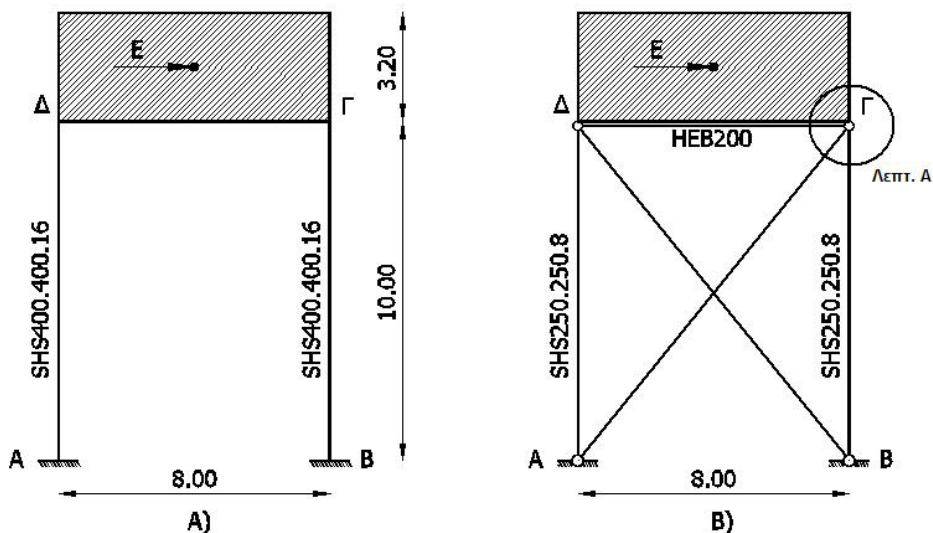
α) να προσδιοριστεί η απαιτούμενη κοίλη τετραγωνική διατομή για τις διαγώνιες ράβδους για την ως άνω σεισμική δύναμη. Οι διαγώνιες κάθε συνδέσμου θα συνδέονται μεταξύ τους στη θέση τομής τους. **(Mov. 1,5)**

β) στη σύνδεση του σχήματος 2 (λεπτομέρεια Α) να προσδιοριστούν ο απαιτούμενος αριθμός κοχλιών και τα στοιχεία της συγκόλλησης (πάχος a και μήκος l). Οι κοχλίες θα τοποθετηθούν σε μία σειρά και θα είναι προεντεταμένοι M24/10.9, ανθεκτικοί σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Η σύνδεση θα γίνει με τη χρήση τριών επίπεδων ελασμάτων (δύο επιφάνειες τριβής), το ένα εκ των οποίων θα συγκολληθεί στην κύρια διατομή (διαγώνια ράβδος) και θα έχει πάχος 15mm , ενώ τα δύο εξωτερικά ελάσματα θα συνδεθούν στο υποστυλωμα και την κεφαλοδοκό και θα έχουν πάχος 10mm το καθένα. Οι οπές θα είναι κανονικές και οι επιφάνειες επαφής κατηγορίας Α. Η συγκόλληση μεταξύ της διαγωνίου ράβδου και του κομβοελάσματος θα γίνει με εξωραφές. **(Mov. 2,5)**

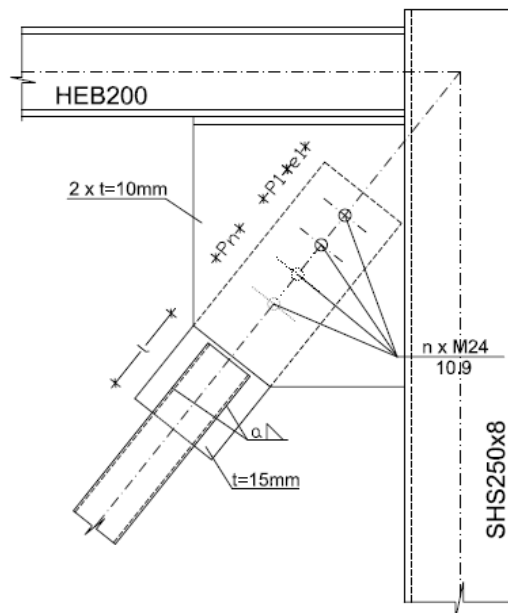
γ) να γίνει έλεγχος της διατομής της κεφαλοδοκού, λαμβανομένου υπόψη ότι έχει ληφθεί μέριμνα κατά το σχεδιασμό ώστε να μην αναλαμβάνει μέρος από το κατακόρυφο φορτίο της δεξαμενής. **(Mov. 1,5)**

δ) να γίνει έλεγχος της διατομής των υποστυλωμάτων. **(Mov. 1,5)**

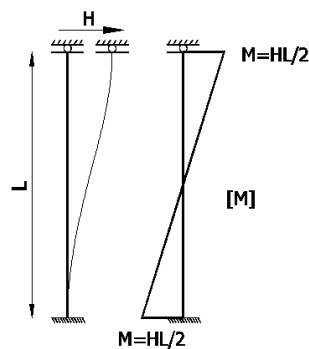
Αμελούνται τα ίδια βάρη των μεταλλικών στοιχείων τα οποία θα είναι ποιότητας S235. Στον πίνακα 1 δίνονται τα χαρακτηριστικά των κοίλων τετραγωνικών διατομών και στο σχήμα 3 η μορφή του διαγράμματος ροπών του υποστυλώματος στο ερώτημα Α.



Σχήμα 1: Δεξαμενή νερού εδραζόμενη σε Α) πακτωμένα υποστυλώματα Β) αμφιαρθρωτά υποστυλώματα



Σχήμα 2: Λεπτομέρεια Α (σύνδεση διαγωνίου με κόμβο υποστυλώματος-κεφαλοδοκού)



Σχήμα 3: Διάγραμμα ροπών πακτωμένου στη βάση υποστυλώματος με κυλιόμενη πάκτωση στην κορυφή

$b \times b \times t$	b	b	t	r_i	A	Mass	I_y	W_y	i_y	$W_{pl,y}$
mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	Kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³
100x100x4	100	100	4	4	15.19	11.92	231.8	46.36	3.91	54.4
100x100x5	100	100	5	5	18.73	14.7	279.4	55.89	3.86	66.4
100x100x6.3	100	100	6.3	6.3	23.19	18.2	335.6	67.11	3.8	80.9
100x100x8	100	100	8	8	28.75	22.57	399.6	79.92	3.73	98.17
100x100x10	100	100	10	10	34.93	27.42	462.1	92.42	3.64	116.22
120x120x5	120	120	5	5	22.73	17.84	497.7	82.95	4.68	97.6
120x120x6.3	120	120	6.3	6.3	28.23	22.16	602.9	100.5	4.62	120
120x120x8	120	120	8	8	35.15	27.6	726.3	121.1	4.55	146
120x120x10	120	120	10	10	42.93	33.7	852.1	142	4.46	175
120x120x12.5	120	120	12.5	12.5	52.07	40.88	981.8	163.6	4.34	206.78
140x140x5	140	140	5	5	26.73	20.98	807.5	115.4	5.5	135
140x140x6.3	140	140	6.3	6.3	33.27	26.11	983.9	140.6	5.44	166
140x140x8	140	140	8	8	41.55	32.62	1195	170.7	5.36	204
140x140x10	140	140	10	10	50.93	39.98	1416	202.3	5.27	246
140x140x12.5	140	140	12.5	12.5	62.07	48.73	1653	236.1	5.16	293.22
250x250x8	250	250	8	8	76.75	60.25	7455	596.4	9.86	694
400x400x16	400	400	16	16	243	190.8	59344	2967	15.6	3484

Πίνακας 1: Γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά κοίλων τετραγωνικών διατομών θερμής έλασης

ΛΥΣΗ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

1. ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Κατακόρυφα φορτία δεξαμενής: $300\text{kN} + 8,00\text{m} \times 8,00\text{m} \times 3,20\text{m} \times 10,00\text{kN/m}^3 = 2348\text{kN}$

Σεισμική δύναμη: $Q_E = M \times \Phi_d(T) = 2348\text{kN}/g \times 0,24g = 563,52\text{kN}$

Δύναμη σε κάθε υποστυλώμα:

Οριζόντιο φορτίο $H = Q_E/4 = 563,52\text{kN}/4 = 140,88\text{kN}$

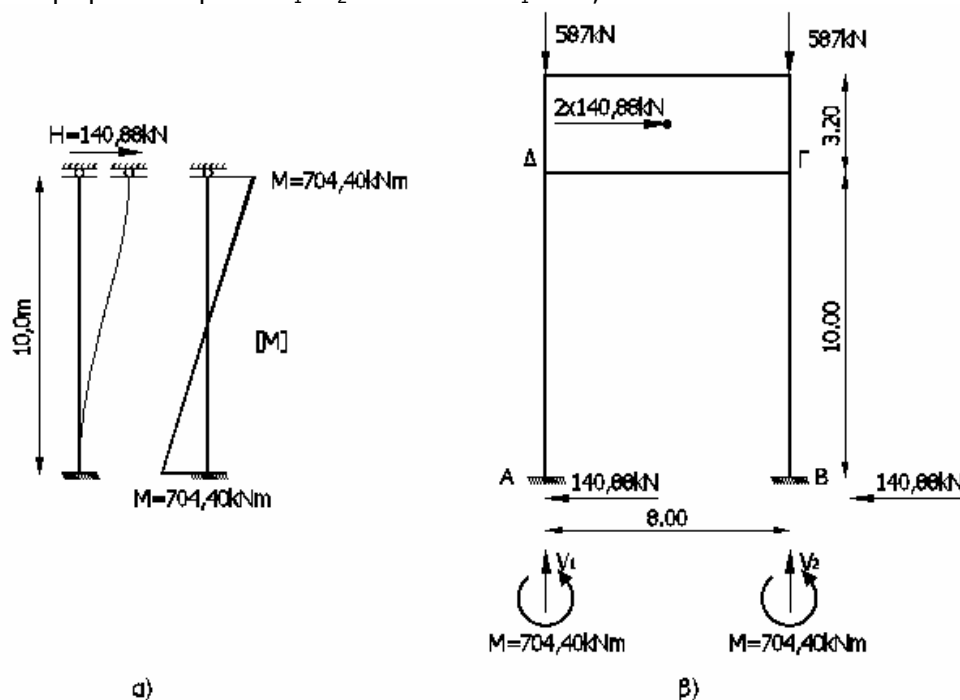
Ροπή: $M = H \times L/2 = 140,88\text{kN} \times 10,00\text{m}/2 = 704,40\text{kN}$ (Σχήμα 1α)

Αξονικό φορτίο λόγω κατακορύφων φορτίων: $P = 2348\text{kN}/4 = 587\text{kN}$

Αντιδράσεις στις στηρίξεις (Σχήμα 1β):

Ως προς σημείο A: $V_2 \times 8,00\text{m} - 587\text{kN} \times 8,00\text{m} - 2 \times 140,88\text{kN} \times 11,60\text{m} + 2 \times 704,40\text{kNm} = 0 \rightarrow V_2 = 819,45\text{kN}$

Ισορροπία κατακορύφων δυνάμεων: $V_1 + V_2 = 2 \times 587\text{kN} \rightarrow V_1 = 354,55\text{kN}$



Σχήμα 1: α) Διάγραμμα ροπών υποστυλώματος, β) Στατική επίλυση πλαισίου

Εντατικά μεγέθη δυσμενέστερου υποστυλώματος:

Τέμνουσα δύναμη $V_{Ed} = 140,88\text{kN}$

Καμπτική ροπή: $M_{Ed} = 704,40\text{kNm} = 70440\text{kNcm}$

Αξονικό θλιπτικό φορτίο: $N_{Ed} = 819,45\text{kN}$

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΚΤΩΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Κατάταξη διατομής

$$c = 400\text{mm} - 2 \times 16\text{mm} - 2 \times 16\text{mm} = 336\text{mm}$$

$$t = 16\text{mm}$$

$$c/t = 21,00 < 33\varepsilon = 33 \text{ (κατηγορία 1)}$$

Πλαστικός έλεγχος διάτμησης

$$A_n = A_h/(b+h) = 243,00\text{cm}^2 \times (40\text{cm} - 1,6\text{cm}) / (40\text{cm} - 1,6\text{cm} + 40\text{cm} - 1,6\text{cm}) = 121,5\text{cm}^2$$

Η αντοχή σε διάτμηση είναι:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_n \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 121,50\text{cm}^2 \times \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 1648,48\text{kN} > V_{Ed} = 140,88\text{kN} \text{ (επαρκεί)}$$

Δεν απαιτείται απομείωση της καμπτικής αντοχής λόγω παρουσίας τέμνουσας δύναμης.

Έλεγχος διατομής σε αξονική δύναμη και κάμψη:

Ισχύει:

$$N_{pl,Rd} = 243 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2 = 5710,50 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = 3484 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2 = 81874 \text{ kNcm}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = \frac{819,45 \text{ kN}}{5710,50 \text{ kN}} = 0,14$$

$$a_w = (A - 2bt) / A = (243 \text{ cm}^2 - 2 \times (40 \text{ cm} - 1,6 \text{ cm}) \times 1,6 \text{ cm}) / 243 \text{ cm}^2 = 0,49 < 0,50$$

$$(1 - n) / (1 - 0,5a_w) = (1 - 0,14) / (1 - 0,5 \times 0,49) = 1,14$$

Επομένως:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 81874 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} = 70440 \text{ kNcm} < M_{N,y,Rd} = 81874 \text{ kNcm}$$

Έλεγχος μέλους σε θλίψη και κάμψη:

Για υποστυλώμα πακτωμένο στη βάση με κυλιόμενη πάκτωση στην κορυφή, το μήκος λυγισμού είναι: $1,00 \times L = 10,00 \text{ m}$

Η κοίλη τετραγωνική διατομή δεν είναι ευαίσθητη σε στρεπτικές καταπονήσεις επομένως $\chi_{LT} = 1,00$.

Η καμπύλη λυγισμού για κοίλες διατομές εν θερμώ έλασης είναι η α.

Ανηγμένη λυγηρότητα:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_y}{i \times \lambda_1} = \frac{1000 \text{ cm}}{15,60 \text{ cm} \times 93,91} = 0,68$$

$$\text{όπου } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91$$

Για καμπύλη λυγισμού α, $\chi_y = 0,86$

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο ισχύει: $\psi = -1$, $c_{my} = 0,60 - 0,40 = 0,20 < 0,4 \rightarrow c_{my} = 0,40$

$$\bar{\lambda}_y - 0,2 = 0,68 - 0,20 = 0,48 < 0,80$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,40 \left(1 + 0,48 \frac{819,45 \text{ kN}}{0,86 \cdot 5710,50 \text{ kN}} \right) = 0,43$$

Έλεγχος για τον σεισμικό συνδυασμό:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{819,45 \text{ kN}}{0,86 \cdot 5710,50 \text{ kN}} + 0,43 \frac{70440 \text{ kNcm}}{1,00 \times 81874 \text{ kNcm}} =$$

$$= 0,17 + 0,37 = 0,54 < 1,00$$

Επομένως η διατομή SHS400.400.16 επαρκεί.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΥ

$$\tan \varphi = \frac{10,00}{8,00} = 1,25 \Rightarrow \varphi = 51,34^\circ$$

$$N_{Ed} = \frac{2 \cdot 140,88 \text{ kN}}{\cos 51,34^\circ} = 451,03 \text{ kN}$$

Θα πρέπει να ισχύει:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \geq N_{Ed} \Rightarrow A \geq \frac{451,03 \text{ kN} \cdot 1,00}{23,5 \text{ kN/cm}^2} = 19,19 \text{ cm}^2$$

και επίσης:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot I}} \cdot \ell^2 \leq 1,50 \Rightarrow i \geq \frac{\ell}{1,5 \times \pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \Rightarrow i \geq \frac{640 \text{ cm}}{1,5 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{23,5 \text{ kN/m}^2}{21000 \text{ kN/m}^2}} = 4,54 \text{ cm}$$

$$\text{όπου το μήκος λυγισμού είναι το μισό μήκος της διαγωνίου: } \ell = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(10,0 \text{ m})^2 + (8,0 \text{ m})^2} = 6,40 \text{ m} = 640 \text{ cm}$$

Επιλέγεται κοίλη τετραγωνική διατομή SHS120/120/5 με $A = 22,73 \text{ cm}^2$ και $i = 4,68 \text{ cm}$

Αντοχή διαρροής της διατομής της διαγωνίου:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{22,73 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 534,16 \text{ kN} > N_{Ed} = 451,03 \text{ kN} \text{ (επαρκεί)}$$

4. ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΧΛΙΕΣ

Οι κοχλίες θα διαστασιολογηθούν για δύναμη:

$$N_{Ed} = 1,20 \times N_{pl,Rd, \text{διαγωνίου}} = 1,20 \times 534,16 \text{ kN} = 640,99 \text{ kN}$$

Έλεγχος κοχλίων

Η δύναμη προέντασης του κοχλία M24 θα είναι:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s = 0,7 \times 100 \text{ kN/cm}^2 \times 3,53 \text{ cm}^2 = 247,10 \text{ kN}$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση ενός προεντεταμένου κοχλία λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} \quad F_{p,C} = \frac{1,00 \times 2 \times 0,5}{1,10} \times 247,10 \text{ kN} = 224,64 \text{ kN}$$

Θα πρέπει να ισχύει:

$$m \times F_{s,Rd} \geq F_{v,Ed} = N_{Ed} \Rightarrow m \times 224,64 \text{ kN} \geq 640,99 \text{ kN} \Rightarrow m = 2,62 \Rightarrow m = 3$$

Τοποθετούνται 3 κοχλίες M24.

Πλάτος ελάσματος:

Θα πρέπει να ισχύει:

α) Αντοχή της απομειωμένης διατομής του ελάσματος:

$$N_{pl,Rd, \text{ελασμ}} = \frac{A_{\text{net}} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(b - 2,6 \text{ cm}) \times 1,5 \text{ cm} \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} > 1,20 N_{pl,Rd} = 640,99 \text{ kN} \Rightarrow b \geq 20,78 \text{ cm}$$

Επιλέγεται $b = 22 \text{ cm}$.

Ελάχιστες και μέγιστες αποστάσεις:

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

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

$$\max e_1 = 40 \text{ mm} + 4t = 40 + 4 \times 10 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$\max p_1 = \min(14t; 200 \text{ mm}) = \min(14 \times 10 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = \min(140 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = 140 \text{ mm}$$

Επιλέγουμε:

$$e_1 = 65 \text{ mm} \text{ και } p_1 = 85 \text{ mm}$$

Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{65 \text{ mm}}{3 \times 26 \text{ mm}}; \frac{85 \text{ mm}}{3 \times 26 \text{ mm}} - \frac{1}{4}; \frac{100 \text{ kN/cm}^2}{36 \text{ kN/cm}^2}; 1 \right\} = \{0,83; 0,84; 2,78; 1\} = 0,83$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{110 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{10,15; 2,5\} = 2,50$$

Συνολική αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας

$$F_{b,Rd} = n \frac{k_1 \alpha f_u d_{t \min}}{\gamma_{M2}} \Rightarrow F_{b,Rd} = 3 \times \frac{2,50 \times 0,83 \times 36 \text{ kN/cm}^2 \times 2,4 \text{ cm} \times 1,50 \text{ cm}}{1,25} = 645,41 \text{ kN} > 640,99 \text{ kN} = N_{Ed}$$

5. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Μέγιστο πάχος συγκόλλησης:

$$0,70 \times t_{\min} = 0,70 \times 0,63 \text{ cm} = 0,44 \text{ cm}$$

Επιλέγεται πάχος συγκόλλησης $4 \text{ mm} < 4,4 \text{ cm}$.

Η αντοχή της συγκόλλησης δίνεται ως εξής:

$$f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \times 0,80 \times 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Το απαιτούμενο μήκος συγκόλλησης υπολογίζεται ως εξής:

$$1,20N_{Pl,Rd} \leq 4\ell af_{vw,d} \Rightarrow \ell \geq \frac{1,20N_{Pl,Rd}}{4af_{vw,d}} \Rightarrow \ell \geq \frac{640,99kN}{4 \times 0,4cm \times 20,78kN/cm^2} = 19,28cm$$

Επιλέγεται μήκος συγκόλλησης 200mm=20cm < 150a=60cm.

6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΕΦΑΛΟΔΟΚΟΥ ΣΕ ΟΚΑ

Η κεφαλοδοκός πρέπει να διαστασιολογηθεί με τα μεγέθη της σεισμικής έντασης πολλαπλασιασμένα επί τον συντελεστή ικανοτικής μεγέθυνσης.

$$a_{CD} = \frac{(1,20 \cdot N_{Pdi} - N_{vdi})}{N_{Edi}} \leq q \Rightarrow a_{CD} = \frac{640,99kN}{451,03kN} = 1,42 < q = 3,00 \Rightarrow a_{CD} = 1,42$$

Η θλιπτική δύναμη της κεφαλοδοκού υπό τη σεισμική δράση του σεισμικού συνδυασμού είναι:

$$N_{Edi} = 2 \times 140,88kN = 281,76kN$$

Επομένως:

$$N_{Ed} = a_{CD} \cdot E = 1,42 \cdot 281,76kN = 400,10kN$$

Από τους πίνακες των προτύπων διατομών για καθαρή θλίψη η διατομή HEB200 για ποιότητα χάλυβα S235 ανήκει στην κατηγορία 1.

Για πρότυπη διατομή διπλού ταυ και για χάλυβα S235, ισχύει:

$$h/b = 200/200 = 1,00 < 1,2 \text{ και } t_f = 15mm < 100mm$$

Επομένως η καμπύλη λυγισμού είναι η b για λυγισμό περί τον άξονα γ-γ και c περί τον άξονα z-z.

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

$$L_y = L_z = 800cm$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα ως προς τον άξονα ασθενή άξονα z-z δίνεται ως εξής:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_z}{i_z \times \lambda_1} = \frac{800cm}{5,07cm \times 93,91} = 1,68 \rightarrow \chi_z = 0,26$$

Η αντοχή σε λυγισμό είναι:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,26 \times 78,1cm^2 \times 23,5kN/cm^2}{1,00} = 477,19kN > N_{Ed} = 400,10kN \text{ (επαρκεί)}$$

7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Το υποστυλώματα παραλαμβάνουν κατακόρυφο φορτίο από το βάρος της δεξαμενής ίσο με 587kN. Λόγω σεισμού, το δυσμενέστερο υποστυλώμα θα παραλάβει πρόσθετη θλιπτική δύναμη ίση με:

$$N_E = 281,76kN \times \tan 51,34^\circ = 352,20kN$$

Η ικανοτική δράση στο δυσμενέστερο υποστυλώμα είναι:

$$N_{Ed} = 587kN + 1,42 \times 352,20kN = 1087,12kN$$

Λυγηρότητες και μειωτικοί συντελεστές:

Μήκη λυγισμού: $L_y = L_z = 10,00m = 1000cm$

Ανηγμένη λυγηρότητα:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_y}{i_y \times \lambda_1} = \frac{1000cm}{9,86cm \times 93,91} = 1,08$$

Για καμπύλη λυγισμού a, $\chi_y = 0,61$

Η αντοχή σε λυγισμό είναι:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,61 \times 76,75cm^2 \times 23,5kN/cm^2}{1,00} = 1100,21kN > N_{Ed} = 1087,12kN \text{ (επαρκεί)}$$