



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μάθημα : Σιδηρές Κατασκευές II

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

Διάρκεια 2,5 ώρες

12 Οκτωβρίου 2011

Επαναληπτική εξέταση

Γέφυρα τριών ανοιγμάτων συνολικού μήκους 36,00m (Σχήμα 1) και πλάτους 9,00m έχει κατάστρωμα αποτελούμενο από δύο κύριες δοκούς διατομής HEB 1000 και πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος (Σχήμα 2). Η συνέχεια των κυρίων δοκών αποκαθίσταται πλήρως στις ενδιάμεσες θέσεις Α και Β (Σχήμα 1) μέσω λεπίδων πελμάτων και κορμού (Σχήμα 3). Η γέφυρα στηρίζεται σε ενδιάμεσες θέσεις επί μεταλλικών μεσοβάθρων με τη γεωμετρία που φαίνεται στο Σχήμα 4.

Ζητούνται:

α) Ο έλεγχος της επάρκειας των κυρίων δοκών για το ενδιάμεσο άνοιγμα των 22,00m έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, κατά τη φάση κατασκευής της γέφυρας (υπάρχοντα φορτία: ίδιο βάρος κυρίων δοκών και νωπό σκυρόδεμα), θεωρώντας απλοποιητικά το άνοιγμα αυτό ως αμφίπακτο. Σε περίπτωση ανεπάρκειας να προταθεί αιτιολογημένος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος (χωρίς υπολογισμούς).

β) Ο έλεγχος των συγκολλήσεων (πάχους 12mm) των λεπίδων των πελμάτων επί των κυρίων δοκών.

γ) Ο έλεγχος της κοχλίωσης των λεπίδων των κορμού επί των κυρίων δοκών (τοποθετούνται δύο λεπίδες εκατέρωθεν κάθε κορμού).

δ) Ο έλεγχος επάρκειας των διαγωνίων ράβδων των μεσοβάθρων κοίλης κυκλικής διατομής CHS 114.3x8.0 ($A = 26,70\text{cm}^2$, $i = 3,77\text{cm}$) για την εγκάρσια σεισμική καταπόνηση. Να θεωρηθεί ότι δύο διαγώνιες ράβδοι συνδέονται στο σημείο τομής τους.

ε) Ο έλεγχος επάρκειας της οριζόντιας κεφαλοδοκού Δ των μεσοβάθρων διατομής HEA 260.

Δίδονται:

α) Ποιότητα χάλυβα S355.

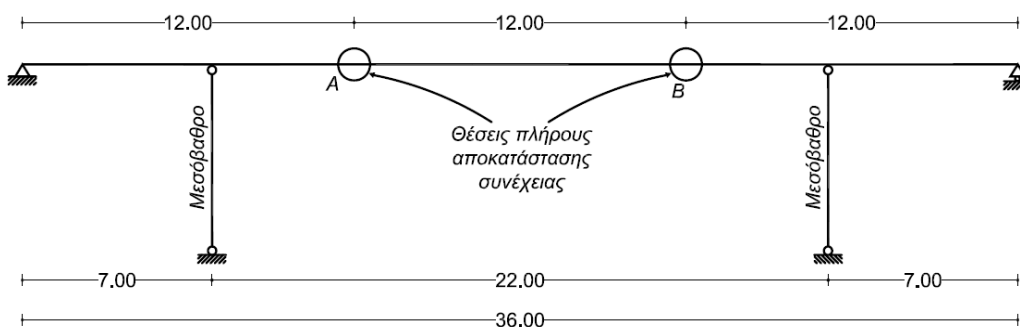
β) Μόνιμα φορτία γέφυρας $2,0\text{kN/m}^2$ (στα οποία δεν περιλαμβάνεται το ίδιο βάρος των κυρίων δοκών HEB1000 ούτε το βάρος της πλάκας του καταστρώματος) και κινητά φορτία $5,0\text{kN/m}^2$ (ομοιόμορφα κατανεμημένα).

γ) Για την πλήρη αποκατάσταση της διατομής στις θέσεις Α και Β θα ληφθούν υπόψη η πλαστική ροπή αντοχής της διατομής και η τέμνουσα που αναπτύσσεται στην ΟΚΑ και είναι ίση με 530,00 kN.

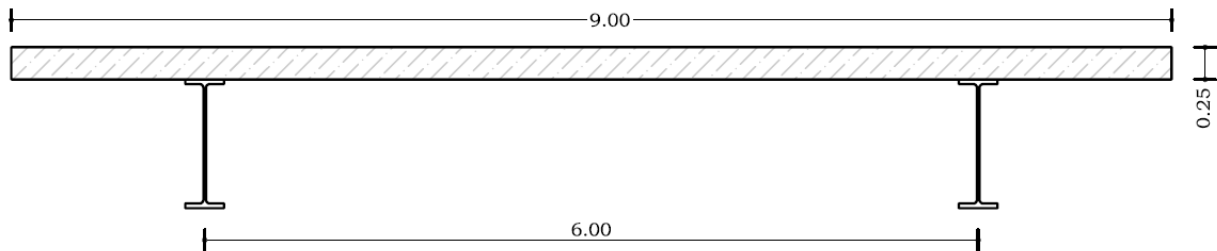
δ) Κοχλίες M30 ποιότητας 10.9 ανθεκτικοί σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Οι κοχλίες θα τοποθετηθούν σε κανονικές οπές, οι δε επιφάνειες επαφής κατατάσσονται στην κατηγορία Α.

ε) Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III, συντελεστής συμπεριφοράς για σεισμική καταπόνηση στην εγκάρσια διεύθυνση της γέφυρας $q=3$, κατηγορία σπουδαιότητας Σ_2 , συντελεστής θεμελίωσης $\theta=1,00$, $\psi_2=0,2$. Να θεωρηθεί απλοποιητικά ότι η σεισμική δύναμη Ε ασκείται στην κεφαλή του μεσοβάθρου (Σχήμα 4).

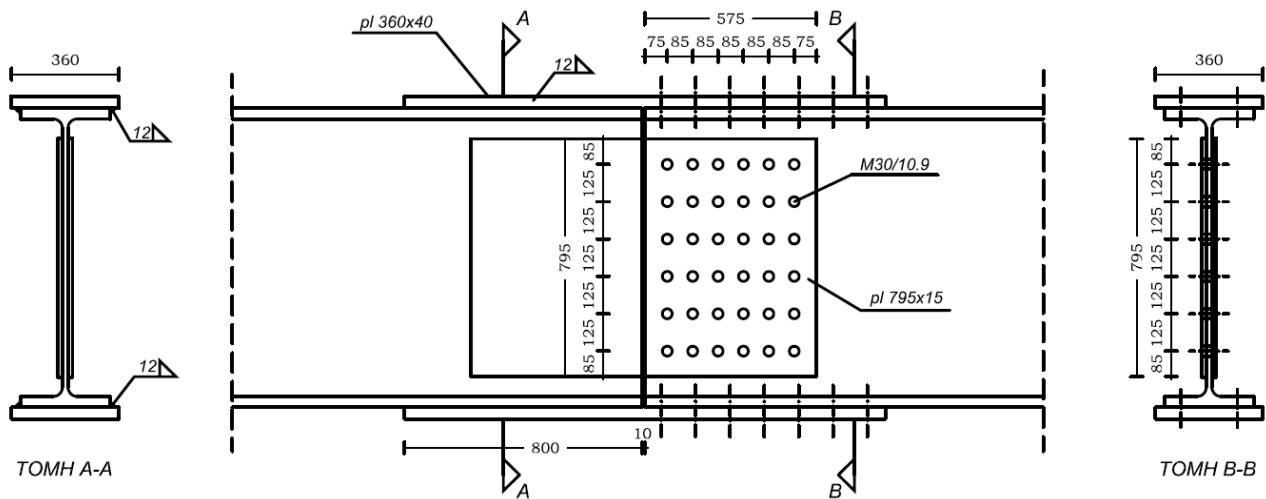
Σημείωση: Η αντίδραση λόγω κατακορύφων φορτίων επί των μεσοβάθρων, για γραμμικό ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο q (Σχήμα 5), είναι ίση με $V = 19,40q$ (q σε kN/m και V σε kN).



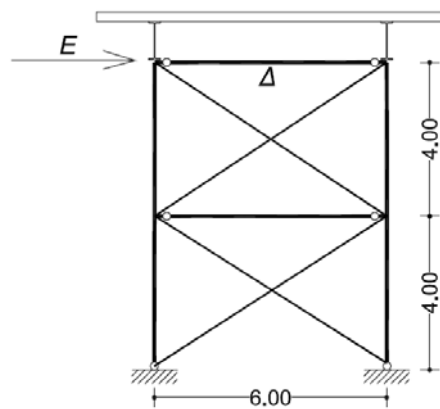
Σχήμα 1: Μηκοτομή γέφυρας



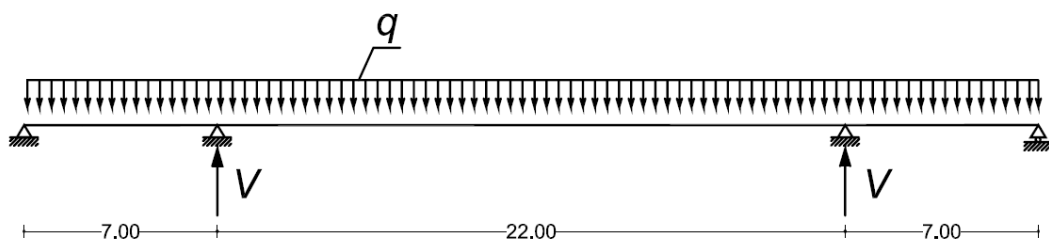
Σχήμα 2: Εγκάρσια τομή καταστρώματος



Σχήμα 3: Σύνδεση αποκατάστασης συνέχειας HEB 1000



Σχήμα 4: Όψη μεσοβάθρου



Σχήμα 5: Αντιδράσεις μεσοβάθρων για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο q

ΛΥΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ**1. ΚΥΡΙΑ ΔΟΚΟΣ****1.1. Φορτία και συνδυασμοί φορτίσεων**

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι:

Μόνιμο φορτίο:	$g = 2,00\text{kN/m}^2$
IB πλάκας:	$g_n = 0,25\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 6,25\text{kN/m}^2$
IB δοκού:	$g_d = 3,14\text{kN/m}$
Κινητό φορτίο γέφυρας:	$p = 5,00\text{kN/m}^2$

Η κατανομή των φορτίων ανά κύρια δοκό στη φάση κατασκευής της πεζογέφυρας είναι:

$$G = 6,25\text{kN/m}^2 \times 4,50\text{m} + 3,14\text{kN/m} = 31,265\text{kN/m}$$

Επομένως το φορτίο σχεδιασμού για κάθε δοκό στη φάση κατασκευής είναι:

$$q_{Ed} = 1,35G = 1,35 \times 31,265\text{kN/m} = 42,21\text{kN/m}$$

Η κατανομή των φορτίων ανά κύρια δοκό στη φάση λειτουργίας της πεζογέφυρας είναι:

$$G = (2,00\text{kN/m}^2 + 6,25\text{kN/m}^2) \times 4,50\text{m} + 3,14\text{kN/m} = 40,265\text{kN/m}$$

$$P = 5,00\text{kN/m}^2 \times 4,50\text{m} = 22,50\text{kN/m}$$

Επομένως το φορτίο σχεδιασμού για κάθε δοκό στη φάση λειτουργίας είναι:

$$q_{Ed} = 1,35G + 1,50P = 1,35 \times 40,265\text{kN/m} + 1,50 \times 22,50\text{kN/m} = 88,10\text{kN/m}$$

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΡΙΑΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**2.1. Εντατικά μεγέθη κύριας δοκού στη φάση κατασκευής**

Θεωρώντας ως αμφίπακτη τη δοκό του μεσαίου ανοίγματος τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται είναι:

Μέγιστη καμπτική ροπή στη στήριξη:

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed}L^2}{12} = \frac{42,21\text{kN/m} \times (22,00\text{m})^2}{12} = 1702,47\text{kNm} = 170247\text{kNcm}$$

Μέγιστη καμπτική ροπή στο άνοιγμα:

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed}L^2}{24} = \frac{42,21\text{kN/m} \times (22,00\text{m})^2}{24} = 851,23\text{kNm} = 85123\text{kNcm}$$

Μέγιστη τέμνουσα δύναμη: $V_{Ed} = q_{Ed}L/2 = 42,21\text{kN/m} \times 22,00\text{m}/2 = 464,31\text{kN}$

2.2. Έλεγχος σε πλευρικό λυγισμό

Λαμβάνοντας υπόψη τα εσωτερικά τμήματα της δοκού και θεωρώντας υπέρ της ασφαλείας ότι σ' αυτά τα τμήματα το διάγραμμα των καμπτικών ροπών είναι αντίστοιχο με αυτό της αμφίπακτης δοκού με $C_1 = 1,285$, $C_2 = 1,562$ και $C_3 = 0,753$ η ελαστική κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού, είναι:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL_T)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL_T)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 Z_g - C_3 Z_j)^2 \right]^{0,5} - (C_2 Z_g - C_3 Z_j) \right\} \Rightarrow$$

$$M_{cr} = 1,285 \frac{\pi^2 \times 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 16280 \text{cm}^4}{(1,0 \times 2200 \text{cm})^2} \times$$

$$\left\{ \left[\frac{1,0}{1,0} \right]^2 \frac{37640000 \text{cm}^6}{16280 \text{cm}^4} + \frac{(1,0 \times 2200 \text{cm})^2 \times 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 1254 \text{cm}^4}{\pi^2 \times 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 16280 \text{cm}^4} + (1,562 \times 50 \text{cm})^2 \right\}^{0,5} - (1,562 \times 50 \text{cm}) \Bigg\} =$$

$$= 65718 \text{kNcm}$$

Ισχύει: $M_{Ed} = 170247 \text{kNcm} > M_{cr} = 65718 \text{kNcm}$

Επομένως η δοκός δεν επαρκεί στη φάση κατασκευής. Προτείνεται η τοποθέτηση οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας που να παρέχουν πλευρική εξασφάλιση στην κύρια δοκό, έτσι ώστε να μειωθεί το μήκος L_T μεταξύ δύο συνεχόμενων σημείων πλευρικών εξασφαλίσεων.

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΤΙΣ ΛΕΠΙΔΕΣ ΠΕΛΜΑΤΩΝ

Η συγκόλληση στις θέσεις αποκατάστασης συνέχειας διαστασιολογείται για ροπή ίση με την καμπτική αντοχή της δοκού η οποία είναι:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0} = 14860 \text{cm}^3 \times 35,5 \text{kN/cm}^2 / 1,00 = 527530 \text{kNcm}$$

Η ροπή αυτή κατανέμεται στα πέλματα και στον κορμό με βάση την αναλογία της πλαστικής ροπής αντίστασης.

$$W_{pl,f} = 2bt_f(h - t_f) / 2 = 2 \times 30 \text{cm} \times 3,60 \text{cm} \times (100 \text{cm} - 3,60 \text{cm}) / 2 = 10411 \text{cm}^3$$

$$M_{Ed,f} = \frac{W_{pl,f}}{W_{pl}} M_{Ed} = \frac{10411 \text{cm}^3}{14860 \text{cm}^3} \times 527530 \text{kNcm} = 369590 \text{kNcm}$$

Η ροπή $M_{Ed,f}$ που κατανέμεται στα πέλματα αναλύεται σε ζεύγος δυνάμεων.

$$N_{f,Ed} = \frac{M_{Ed,f}}{h_{lep}} = \frac{369590 \text{kNcm}}{100 \text{cm} + 4,0 \text{cm}} = 3554 \text{kN} \text{ όπου } h_{lep} \text{ η απόσταση των κέντρων των λεπίδων πελμάτων.}$$

Πάχος συγκόλλησης $a = 12 \text{mm} = 1,2 \text{cm} < 0,70 \times t_{min} = 0,70 \times 3,60 \text{cm} = 2,52 \text{cm}$

Η αντοχή της συγκόλλησης δίνεται ως εξής:

$$f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{Mw}} = \frac{51 \text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} \times 0,90 \times 1,25} = 26,17 \text{kN/cm}^2$$

Ισχύει:

$$N_{Ed,f} = 3554 \text{kN} < 2 \ell_1 a f_{v,wd} = 2 \times 80 \text{cm} \times 1,2 \text{cm} \times 26,17 \text{kN/cm}^2 = 5025 \text{kN}$$

Επομένως η συγκόλληση των λεπίδων στα πέλματα της κύριας δοκού επαρκεί.

4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΟΧΛΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΛΕΠΙΔΕΣ ΚΟΡΜΟΥ

Για τον έλεγχο της κοχλίωσης του κορμού θα ληφθεί υπόψη τέμνουσα δύναμη ίση με: $V_{Ed} = 530 \text{kN}$.

Η ροπή που παραλαμβάνεται από την κοχλίωση του κορμού στις θέσεις αποκατάστασης συνέχειας, λόγω της καμπτικής αντοχής της δοκού, είναι ίση με:

$$M_{Ed,w} = M_{pl,Rd} - M_{Ed,f} = 527530 \text{kNcm} - 369590 \text{kNcm} = 157940 \text{kNcm}$$

Η ροπή για την οποία θα διαστασιολογηθεί η κοχλίωση είναι ίση με:

$$M_{Ed,b} = M_{Ed,w} + V_{Ed} \times s = 157940 + 530,00 \times (0,5 \text{cm} + 7,5 \text{cm} + 2 \times 8,5 \text{cm} + 8,5 \text{cm} / 2) = 173442,50 \text{kNcm}$$

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

$$I_p = \sum_i (x_i^2 + y_i^2) = 2 \times 6 \times (21,25 \text{cm})^2 + 2 \times 6 \times (12,75 \text{cm})^2 + 2 \times 6 \times (4,25 \text{cm})^2 +$$

$$+ 2 \times 6 \times (31,25 \text{cm})^2 + 2 \times 6 \times (18,75 \text{cm})^2 + 2 \times 6 \times (6,25 \text{cm})^2 = 23992 \text{cm}^2$$

$$F_{V,Ed,x} = \frac{M_{Ed,w}}{I_p} y_1 = \frac{173442,5 \text{ kNcm}}{23992 \text{ cm}^4} \times 31,25 \text{ cm} = 225,91 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed,y} = \frac{M_{Ed,w}}{I_p} x_1 + \frac{V_{Ed}}{m} = \frac{173442,5 \text{ kNcm}}{23992 \text{ cm}^4} \times 21,25 \text{ cm} + \frac{530 \text{ N}}{36} = 168,34 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{(F_{V,Ed,x})^2 + (F_{V,Ed,y})^2} = \sqrt{(225,91 \text{ kN})^2 + (168,34 \text{ kN})^2} = 281,73 \text{ kN}$$

4.1. Έλεγχος σε ολίσθηση

Για την αποκατάσταση της συνέχειας στα πέλματα χρησιμοποιούμε κοχλίες M30 ποιότητας 10.9.

Η δύναμη προέντασης του κάθε κοχλία θα είναι:

$$F_{p,C,w} = 0,7 f_{ub} A_s = 0,7 \times 100 \text{ kN/cm}^2 \times 5,61 \text{ cm}^2 = 392,70 \text{ kN}$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση των προεντεταμένων κοχλίων θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη που πρέπει να παραλάβουν οι κοχλίες δηλαδή τη δράση $F_{V,Ed}$.

$$F_{s,Rd,w} = \frac{k_s \eta \mu}{Y_{M3}} F_{p,C,w} = \frac{1,00 \times 2 \times 0,5}{1,10} \times 392,70 \text{ kN} = 357,00 \text{ kN} > 281,73 \text{ kN}$$

4.2. Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγος των οπών

κατά x-x

$$a = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{75 \text{ mm}}{3 \times 33 \text{ mm}}; \frac{85 \text{ mm}}{3 \times 33 \text{ mm}} - \frac{1}{4}; \frac{100 \text{ kN/cm}^2}{51 \text{ kN/cm}^2}; 1 \right\} = \{0,76; 0,61; 1,96; 1,00\} = 0,61$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{85 \text{ mm}}{33 \text{ mm}} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{5,51; 2,5\} = 2,50$$

Η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας για δυνάμεις κατά x-x είναι:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a f_u d_{t_{\min}}}{Y_{M2}} = \frac{2,50 \times 0,61 \times 51 \text{ kN/cm}^2 \times 3,0 \text{ cm} \times 1,90 \text{ cm}}{1,25} = 354,65 \text{ kN} > 225,91 \text{ kN} = F_{V,Ed,x}$$

κατά y-y

$$a = \min \left\{ \frac{85 \text{ mm}}{3 \times 33 \text{ mm}}; \frac{125 \text{ mm}}{3 \times 33 \text{ mm}} - \frac{1}{4}; \frac{100 \text{ kN/cm}^2}{51 \text{ kN/cm}^2}; 1 \right\} = \{0,86; 1,01; 1,96; 1,00\} = 0,86$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{75 \text{ mm}}{33 \text{ mm}} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{4,66; 2,5\} = 2,50$$

Η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας για δυνάμεις κατά y-y είναι:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a f_u d_{t_{\min}}}{Y_{M2}} = \frac{2,50 \times 0,86 \times 51 \text{ kN/cm}^2 \times 3,0 \text{ cm} \times 1,90 \text{ cm}}{1,25} = 500,00 \text{ kN} > 168,34 \text{ kN} = F_{V,Ed,y}$$

Επομένως η κοχλίωση του κορμού επαρκεί.

5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΓΩΝΙΩΝ

5.1. Σεισμική δράση

Ποσοστό απόσβεσης: $\zeta = 3\%$ (κοχλιωτή και συγκολλητή μεταλλική κατασκευή)

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

Συντελεστής συμπεριφοράς: $q = 3,00$.

Οριζόντια φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{n \cdot \theta \cdot \beta_o}{q} = 1,00 \times 0,36g \times \frac{1,183 \times 1,00 \times 2,50}{3,0} = 0,355g$$

Το κατακόρυφο φορτίο που εφαρμόζεται στη γέφυρα κατά τον σεισμικό συνδυασμό είναι:

$$q_{Ed} = G + 0,20Q = 2 \times (40,265 \text{ kN/m} + 0,20 \times 22,50 \text{ kN/m}) = 89,53 \text{ kN/m}$$

Η αντίδραση λόγω κατακόρυφων φορτίων επί των μεσοβάθρων είναι:

$$V = 19,40 \times q_{Ed} = 1737 \text{ kN}$$

Θεωρούμε ότι το παραπάνω κατακόρυφο φορτίο αποτελεί και την ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής, επομένως η συνολική οριζόντια σεισμική δύναμη θα είναι:

$$E = V \times \Phi_d(T) = 1738 \text{ kN/g} \times 0,355g = 617 \text{ kN}$$

Οι οριζόντιες δυνάμεις εναλλασσόμενης φοράς αναλαμβάνονται μόνο από τις εκάστοτε εφελκυσόμενες διαγωνίους, ενώ αγνοείται η συμμετοχή των θλιβομένων διαγωνίων. Έτσι η δύναμη που παραλαμβάνει η κάθε εφελκυσόμενη ράβδος του κατακόρυφου συνδέσμου δυσκαμψία θα είναι:

$$N_{Ed} = \frac{E}{\cos \alpha} = \frac{617 \text{ kN}}{\cos 33,69} = 742 \text{ kN}$$

όπου

$$\tan \alpha = \frac{4}{6} = 0,67 \Rightarrow \alpha = 33,69^\circ$$

5.2. Περιορισμός λυγηρότητας

Θα πρέπει να ισχύει:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \leq 1,50 \Rightarrow \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot I} \cdot \ell^2} \leq 1,50 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\ell}{\pi \cdot i} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{360,5 \text{ cm}}{3,77 \text{ cm} \times \pi} \times \sqrt{\frac{35,5 \text{ kN/m}^2}{21000 \text{ kN/m}^2}} = 1,25 < 1,50$$

όπου το μήκος λυγισμού είναι το μισό μήκος της διαγωνίου:

$$\ell = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(6,0 \text{ m})^2 + (4,0 \text{ m})^2} = 3,605 \text{ m} = 360,5 \text{ cm}$$

5.3. Έλεγχος σε εφελκυσμό διαγωνίου

Αντοχή διαρροής της διατομής της διαγωνίου:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26,70 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 947,85 \text{ kN} > 742 \text{ kN} = N_{Ed}$$

6. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΕΦΑΛΟΔΟΚΟΥ

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

$$a_{CD} = \frac{(1,20 \cdot N_{pdi} - N_{vdi})}{N_{Edi}} \leq q \Rightarrow a_{CD} = \frac{(1,20 \times 947,85 \text{ kN} - 0)}{742 \text{ kN}} = 1,53 < q = 3,00 \Rightarrow a_{CD} = 1,53$$

Επομένως:

$$N_{Ed} = a_{CD} \times E = 1,53 \times 617 \text{ kN} = 944 \text{ kN}$$

6.1. Κατηγορία διατομής

Από τους πίνακες των προτύπων διατομών για καθαρή θλίψη η διατομή HEA260 για ποιότητα χάλυβα S355 ανήκει στην κατηγορία 3.

6.2. Υπολογισμός αντοχής σε λυγισμό**6.2.1. Καμπύλη λυγισμού**

Για πρότυπη διατομή διπλού ταυ και για χάλυβα S355, ισχύει:

$$h/b=250/260=0,96 < 1,2 \text{ και } t_f=12,5\text{mm} < 100\text{mm}$$

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

Το μήκος λυγισμού κατά τους δύο άξονες θα είναι ίσο με: $L_y=L_z=600\text{cm}$

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

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_z}{i_z \times \lambda_1} = \frac{600\text{cm}}{6,50\text{cm} \times 76,41} = 1,21$$

όπου

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000\text{MPa}}{355\text{MPa}}} = 76,41$$

Για ανηγμένη λυγηρότητα κατά τον άξονα z $\bar{\lambda}_z = 1,21$ ο συντελεστής χ_z , για καμπύλη λυγισμού c είναι ίσος με $\chi_z=0,43$.

Η αντοχή του μέλους σε λυγισμό είναι:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,43 \times 86,8\text{cm}^2 \times 35,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 1325,00\text{kN} > N_{Ed} = 944\text{kN} \text{ (επαρκεί)}$$