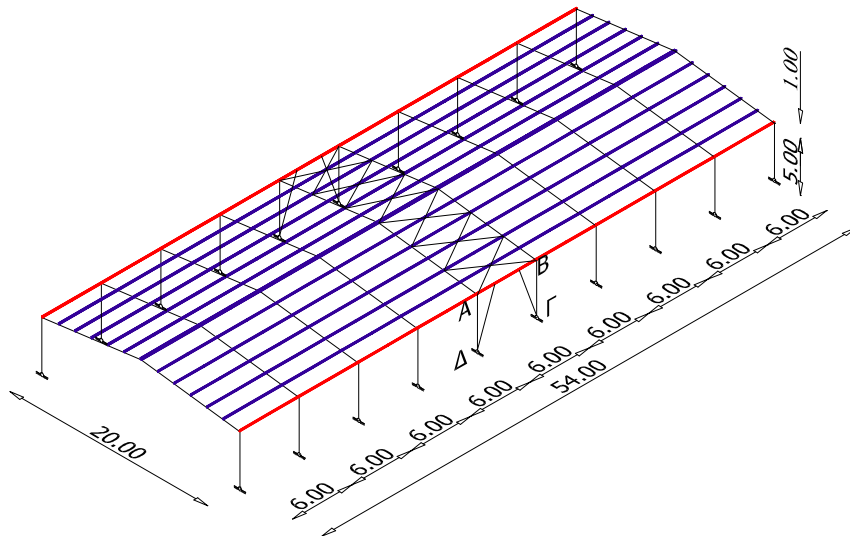


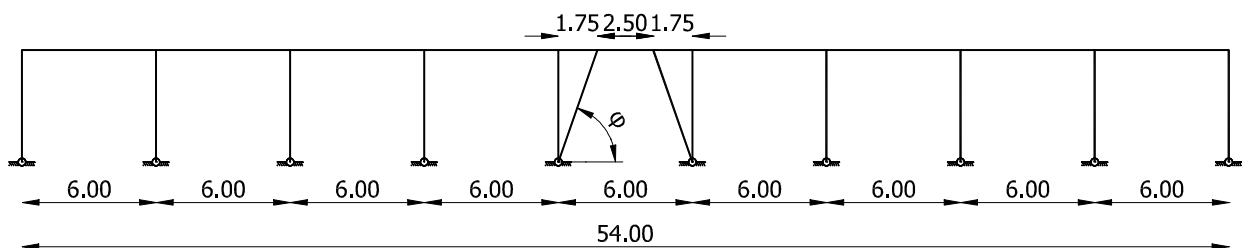
Ιούνιος 2012

Άσκηση 15

Στο υπόστεγο της άσκησης 12 ζητείται η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος επάρκειας έναντι σεισμού, σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000, της δοκού σύζευξης (από τη σειρά ΗΕΒ) και του κατακόρυφου συνδέσμου δυσκαμψίας με εκκεντρότητα (από κοίλη τετραγωνική διατομή).



Σχήμα 1: Προοπτικό στεγάστρου



Σχήμα 2: Πλάγια όψη υποστέγου

ΛΥΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ 15

1. ΓΕΝΙΚΑ

Στους έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας, το βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι η σύνδεση του ενός τουλάχιστον άκρου της κάθε διαγωνίου με το ζυγώμα γίνεται με εκκεντρότητα ως προς τον αντίστοιχο κόμβο (υποστυλώματος – ζυγώματος). Το τμήμα του ζυγώματος που αποτελεί την έκκεντρη σύζευξη ονομάζεται «δοκός σύζευξης» και υπόκειται σε μεγάλη διατμητική και καμπτική καταπόνηση από οριζόντια φορτία. Στο τμήμα αυτό είναι ευκολότερο να συγκεντρωθούν οι απαιτήσεις πλαστιμότητας. Έτσι, οι δοκοί σύζευξης πρέπει να υπολογίζονται και να μορφώνονται έτσι ώστε να παρέχουν επαρκή πλαστιμότητα. Τα άλλα στοιχεία (στύλοι, διαγώνιοι και υπόλοιπο τμήμα των ζυγμάτων) πρέπει να ελέγχονται με ικανοτικό σχεδιασμό, ώστε η διαρροή να περιορίζεται στις δοκούς σύζευξης.

2. ΦΟΡΤΙΑ

- Μόνιμο φορτίο στέγης: $g = 0,80 \text{ kN/m}^2$
- Χιόνι επί της στέγης: $s = 1,25 \text{ kN/m}^2$
- Σεισμός
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III: $A=0,36 \cdot g$
Έδαφος κατηγορίας: B
Θεμελιώδης περίοδος ταλάντωσης του πλαισίου: $T_1 < T < T_2$
Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης: $\beta_0=2,50$
Συντελεστής θεμελίωσης: $\theta=1,00$
Κατηγορία σπουδαιότητας Σ_2 : $\gamma_i=1,00$
Ποσοστό απόσβεσης: $\zeta=3\%$
(κοχλιωτή και συγκολλητή μεταλλική κατασκευή)

Διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης

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

Συντελεστής συμπεριφοράς για δικτυωτούς συνδέσμους με εκκεντρότητα

$$q=4,00.$$

Οριζόντια φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{n \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} = 1,00 \times 0,36g \times \frac{1,183 \times 1,00 \times 2,50}{4,0} = 0,266g$$

3. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

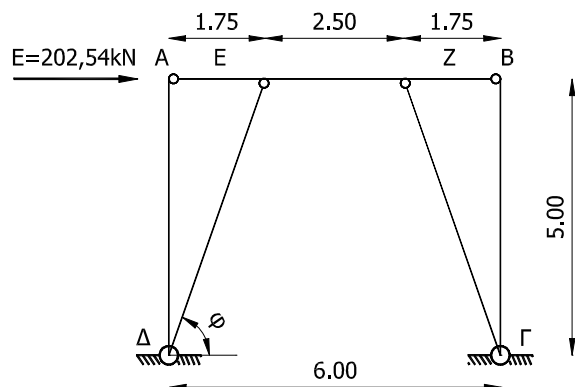
Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στην §3 της άσκησης 12, το οριζόντιο φορτίο για το οποίο θα πρέπει να διαστασιολογηθεί ο κατακόρυφος σύνδεσμος δυσκαμψίας είναι:

$$q=450,50 \text{ kN} \times 3/4 + 3,36 \text{ kN/m} \times 20 \text{ m} = 405,08 \text{ kN}$$

Σημειώνεται ότι στην άσκηση 12 είχε χρησιμοποιηθεί συντελεστής συμπεριφοράς ίσος με 3, ενώ στην συγκεκριμένη άσκηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί συντελεστής συμπεριφοράς ίσος με 4.

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

$$E = \frac{405,08 \text{ kN}}{2} = 202,54 \text{ kN}$$



Σχήμα 1: Κατακόρυφος σύνδεσμος δυσκαμψίας με εκκεντρότητα

Στον τύπο αυτό του κατακόρυφου διαγωνίου συνδέσμου δυσκαμψίας η συμμετοχή της θλιβόμενης ράβδου είναι απαραίτητη για την ανάληψη των οριζοντίων δυνάμεων.

$$\tan \varphi = 5/1.75 = 2.857 \rightarrow \varphi = 70.71^\circ$$

$$\cos \varphi = 0.33$$

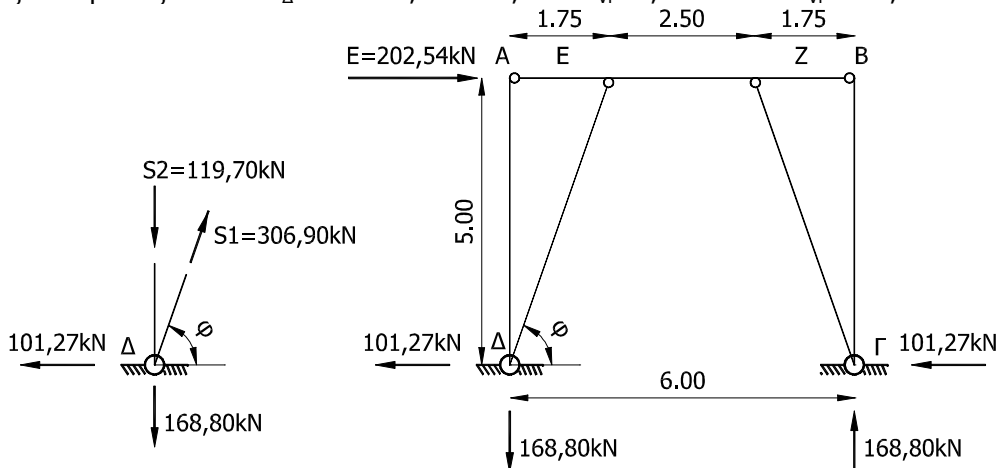
$$\sin \varphi = 0.94$$

Οριζόντιες αντιδράσεις:

$$R_{H\Delta} = R_{H\Gamma} = 202.54 \text{ kN} / 2 = 101.27 \text{ kN}$$

Κατακόρυφες αντιδράσεις:

$$\Sigma M_{\Delta} = 0 \Rightarrow 202.54 \text{ kN} \times 5.00 \text{ m} - R_{V\Gamma} \times 6.00 \text{ m} = 0 \Rightarrow R_{V\Gamma} = 168.80 \text{ kN}$$



Σχήμα 2: Επίλυση πλευρικού πλαισίου

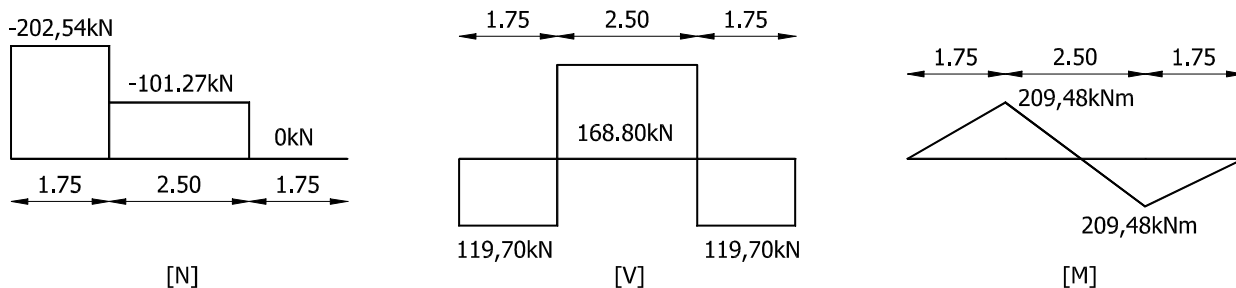
Η κάθε μία διαγώνιος του συνδέσμου παραλαμβάνει δύναμη ίση με:

$$S1 \cos \varphi = 101.27 \text{ kN} \Rightarrow S1 = 101.27 \text{ kN} / 0.33 = 306.90 \text{ kN}$$

Αξονική δύναμη υποστυλώματος:

$$S2 + 168.80 \text{ kN} = S1 \sin \varphi \Rightarrow S2 = -168.80 \text{ kN} + 306.90 \text{ kN} \times 0.94 = 119.70 \text{ kN}$$

Το υποστύλωμα έχει πρόσθετα εντατικά μεγέθη από τη συμμετοχή του στο πλαίσιο της εγκάρσιας διεύθυνσης.



Σχήμα 3: Εντατικά μεγέθη κεφαλοδοκού

4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΥΖΕΥΞΗΣ

4.1. Επιλογή διατομής δοκού σύζευξης

Υποθέτοντας ότι η διατομή της κεφαλοδοκού είναι κατηγορίας 1, θα πρέπει να ισχύει:

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow W_{pl,y} \geq \frac{20948,00 \text{ kNcm} \times 1,00}{23,5 \text{ kN/cm}^2} = 891,40 \text{ cm}^3$$

Η διατομή που ικανοποιεί την παραπάνω συνθήκη από τη σειρά HEB είναι η HEB240. Οι αντοχές της διατομής δοκού σύζευξης είναι:

$$M_{pc} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \times f_y = 1053 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2 = 24745,5 \text{ kNcm}$$

$$V_{pc} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\sqrt{3}} = \frac{33,23 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3}} = 450,86 \text{ kN}$$

Ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της διατομής είναι:

$$\ell_0 = 2M_{pc} / V_{pc} = 1,10 \text{ m}$$

$$\ell_c / \ell_0 = 2,50 / 1,10 = 2,27 > 1,30$$

Η διατομή, εφόσον παρουσιάζει λόγο $\ell_c / \ell_0 > 1,30$, αστοχεί καμπτικά. Ωστόσο, σε περίπτωση που ισχύει $\ell_c / \ell_0 \geq 1,40$, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν απαιτούνται ενδιάμεσες νευρώσεις.

4.2. Έλεγχος δοκού σύζευξης

Οι διατομές των δοκών σύζευξης πρέπει να είναι κατηγορίας A.

Κορμός: $(240 - 2 \times 17) / 10 = 20 < 33\epsilon$ (εξετάζεται για καθαρή θλίψη)

Προεξέχον τμήμα πέλματος: $(240 / 2 - 21 - 10 / 2) / 17 = 5,5 < 9\epsilon$ (εξετάζεται για καθαρή θλίψη)

Πέλμα: $240 / 17 = 14 < 20\epsilon$ (εξετάζεται για καθαρή θλίψη)

$$\text{όπου } \epsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1$$

Οι δοκοί σύζευξης με μηχανισμό καμπτικών πλαστικών αρθρώσεων, διαστασιολογούνται όπως οι δοκοί των πλαισίων. Ισχύει:

$$M_s / M_{pc} = \frac{20948 \text{ kNcm}}{1053 \text{ cm}^3 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,85 < 1,00$$

$$N_s / N_{pc} = \frac{101,27 \text{ kN}}{106,0 \text{ cm}^2 \times 23,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,04 < 0,15$$

όπου:

M_s : η μέγιστη ροπή που προκύπτει από τους σεισμικούς συνδυασμούς

N_s : η μέγιστη αξονική δύναμη που προκύπτει από τους σεισμικούς συνδυασμούς

N_{pc} , M_{pc} είναι οι αντοχές αξονικής και ροπής της διατομής στη θέση πλαστικής άρθρωσης

Αν θεωρήσουμε τη δοκό σύζευξης ως αμφιέριστη στη θέση της πλαστικής άρθρωσης τότε:

- η τέμνουσα της δοκού θεωρούμενης ως αμφιερίστου στη θέση πλαστικής άρθρωσης είναι:

$V_0 = 0$ είναι (η δοκός σύζευξης δεν παραλαμβάνει άμεσα φορτία από τη στέγη)

- η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην οριακή καμπτική αντοχή των άκρων της δοκού υπολογιζόμενη με την ανώτερη τιμή της τάσης διαρροής είναι:

$$V_M = (M_{RA} + M_{RB}) / \ell = 2 \times 247,46 \text{ kNm} / 2,50 \text{ m} = 197,97 \text{ kN}$$

όπου ℓ : το άνοιγμα της δοκού

- η αντοχή σε τέμνουσα της διατομής στη θέση πλαστικής άρθρωσης είναι:

$$V_{pc} = 450,86 \text{ kN}$$

Και η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην οριακή καμπτική αντοχή των άκρων της δοκού υπολογιζόμενη με την ανώτερη τιμή της τάσης διαρροής είναι:

$$(V_o + V_M)/V_{pc} = 0,44 < 0,50$$

Όλοι οι έλεγχοι πληρούνται και επομένως επαρκούν.

4.3. Νευρώσεις

Στα άκρα των δοκών σύζευξης πρέπει να ενισχύονται με αμφίπλευρες νευρώσεις καθ' όλο το ύψος του κορμού, με πάχος νευρώσεων $t = \max\{0,75t_w ; 10\text{mm}\} = \max\{0,75 \times 10\text{mm} ; 10\text{mm}\} = 10\text{mm}$.

Επιλέγεται πάχος 10mm.

4.4. Ικανοτικός συντελεστής

Τα υποστυλώματα, το υπόλοιπο τμήμα της κεφαλοδοκού και οι διαγώνιοι θα πρέπει να ελέγχονται σε κάμψη και λυγισμό και να διαστασιολογούνται με ικανοτικό συντελεστή ίσο με:

$$\alpha_{cd} = 1,20 \min\{V_{pdi}/V_{sdi} ; M_{pdi}/M_{sdi}\} = 1,20 \min\{450,86\text{kN} / 168,80\text{kN} ; 247,46\text{kNm}/209,48\text{kNm}\} = 1,20 \min\{2,67 ; 1,18\} = 1,42$$

όπου

V_{sdi} και M_{sdi} : είναι αντίστοιχα, η τέμνουσα και η ροπή από τον σεισμικό συνδυασμό στη θέση της πλαστικής άρθρωσης της δοκού σύζευξης

V_{pdi} και M_{pdi} : είναι οι αντίστοιχες οριακές αντοχές της διατομής της δοκού σύζευξης.

5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΥ ΤΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ

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

$$N_{Ed} = 1,42 \times 306,90\text{kN} = 434,80\text{kN}$$

Διαστασιολογείται η θλιβόμενη διαγώνιος.

Μετά από δοκιμές επιλέγουμε για τη διαγώνιο του κατακόρυφου συνδέσμου τετραγωνική κοίλη διατομή 140/140/8 με $A = 41,55\text{cm}^2$ και $i = 5,36\text{cm}$

Για κοίλες διατομές εν θερμώ έλαση η καμπύλη λυγισμού είναι η a.

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

$$L_y = L_z = \sqrt{1,75^2 + 5,00^2} = 5,30\text{cm} = 530\text{cm}$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα δίνεται ως εξής:

$$\bar{\lambda} = \frac{L}{i \times \lambda_1} = \frac{530\text{cm}}{5,36\text{cm} \times 93,91} = 1,05$$

όπου

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000\text{MPa}}{235\text{MPa}}} = 93,91$$

Για ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda} = 1,05$, ο συντελεστής χ , για καμπύλη λυγισμού a, είναι ίσος με $\chi = 0,63$.

Αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,63 \times 41,55\text{m}^2 \times 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 615,15\text{kN} > N_{Ed} = 435,80\text{kN}$$

6. ΣΧΟΛΙΑ

- Τα ακραία τμήματα της κεφαλοδοκού διαστασιολογούνται λαμβάνοντας υπόψη τον ικανοτικό συντελεστή και μπορούν να ενισχυθούν με προσθήκη λεπίδων στα πέλματα.
- Οι συνδέσεις στα άκρα της διαγώνιου του κατακόρυφου συνδέσμου δεν απαιτείται να διαθέτουν υπεραντοχή έναντι της διαγώνιου

- Η κεφαλοδοκός γενικώς πρέπει να ελέγχεται σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (ο έλεγχος αυτός έχει παραλειφθεί στο συγκεκριμένο παράδειγμα, γιατί η κεφαλοδοκός θεωρείται ότι δεν είναι ευαίσθητη σε πλευρικό λυγισμό, λόγω του ότι είναι πλατύπελμη και έχει σχετικά μικρό μήκος).