



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

**Αντισεισμικός σχεδιασμός 3-όροφου επίπεδου πλαισίου
δύο ίσων ανοιγμάτων**

Μάθημα: Σύνθεση και Σχεδιασμός Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος

Υπεύθυνος: Διονύσης Μπισκίνης

Εργασία 2/2

Αλέξανδρος Καναβός
A.M.: 1034637

Πάτρα, Μάιος 2021

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Ορισμός του προβλήματος	1
1.2	Δεδομένα	1
2	Επίλυση	3
2.1	Διαστασιολόγηση διαμήκων οπλισμών των δοκών του 1ου ορόφου	3
2.1.1	Μέλος 78	4
2.1.2	Μέλος 89	6
2.2	Διαστασιολόγηση κατακόρυφων οπλισμών των υποστυλωμάτων του 1ου ορόφου σύμφωνα με τον ικανοτικό σχεδιασμό σε κάμψη	8
2.2.1	Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών στις στηρίξεις	8
2.2.2	Ικανοτικός σχεδιασμός υποστυλωμάτων	9
2.3	Υπολογισμός τεμνουσών σχεδιασμού των δοκών και υποστυλωμάτων του 1ου ορόφου σύμφωνα με τον ικανοτικό σχεδιασμό σε διάτμηση	11
2.3.1	Ικανοτική τέμνουσα δοκών	11
2.3.2	Ικανοτική τέμνουσα υποστυλωμάτων	12
	Βιβλιογραφία	15

1. Εισαγωγή

1.1 Ορισμός του προβλήματος

Η παρούσα αναφορά πραγματεύεται το πρόβλημα αντισεισμικού σχεδιασμού 3-όροφου επίπεδου πλαισίου δύο ανοιγμάτων. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα δεδομένα, όπως αυτά προκύπτουν από την ελαστική στατική ανάλυση της κατασκευής και παραμετροποιημένα ($X_1 = 6$, $X_2 = 3$, $X_3 = 7$) με τον αριθμό μητρώου του συγγραφέα της εν λόγω αναφοράς, και τα ζητούμενα του προβλήματος. Στο δεύτερο μέρος γίνεται η αναλυτική επίλυση του προβλήματος και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής.

1.2 Δεδομένα

Τα δεδομένα του προβλήματος που αφορούν τα εντατικά μεγέθη (στο καθαρό μήκος των μελών) και προέκυψαν από την ελαστική στατική ανάλυση της κατασκευής, φαίνονται στους πίνακες παρακάτω (Πίν. 1.1, 1.2, 1.3). Επιπλέον δεδομένα του προβλήματος είναι επιγραμματικά τα εξής.

- Το ύψος ορόφου είναι $3m$ και τα ανοίγματα $6m$ (από μέσο στήριξης σε μέσο στήριξης).
- Το μεσαίο υποστύλωμα έχει διατομή $0.4m \times 0.4m$ και τα ακραία $0.35m \times 0.35m$.
- Οι δοκοί έχουν διατομή $0.3m \times 0.6m$ και οι πλάκες έχουν πάχος $0.15m$.
- Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση κατά Ευρωκώδικα 8 (ΚΠΜ).
- Σκυρόδεμα $C25/30$ ($X_2 = 3$) και χάλυβας $B500C$.
- Τα εντατικά μεγέθη λόγω $1.35G + 1.5Q$ είναι 1.7 φορές μεγαλύτερα απ' τα αντίστοιχα λόγω $G + \psi_2 Q$.
- Θεωρείται πως κατά καλή προσέγγιση είναι $d_1 = d_2$.

$X_3 = 7$	$M_{1,2}$	$M_{2,1}$	$M_{2,3}$	$M_{3,2}$	$M_{4,5}$	$M_{5,4}$	$M_{5,6}$	$M_{6,5}$	$M_{7,8}$	$M_{8,7}$	$M_{8,9}$	$M_{9,8}$
$+E$	65	-58.5	58.5	-65	110	-104.5	104.5	-110	130	-123.5	123.5	-130
$-E$	-65	58.5	-58.5	65	-110	104.5	-104.5	110	-130	123.5	-123.5	130
$G + \psi_2 Q$	-50	-100	-100	-50	-70	-95	-95	-70	-60	-100	-100	-60
$1.35G + 1.5Q$	-85	-170	-170	-85	-119	-161.5	-161.5	-119	-102	-170	-170	-102

Πίνακας 1.1: Ροπές δοκών στις παρειές των κόμβων (KNm)

$X_3 = 7$	$M_{1,4}$	$M_{4,1}$	$M_{2,5}$	$M_{5,2}$	$M_{3,6}$	$M_{6,3}$	$M_{4,7}$	$M_{7,4}$	$M_{5,8}$	$M_{8,5}$	$M_{6,9}$	$M_{9,6}$	$M_{7,10}$	$M_{10,7}$	$M_{8,11}$	$M_{11,8}$	$M_{9,12}$	$M_{12,9}$
$+E$	40	-36	80	-72	-40	36	65	-58.5	110	-99	-65	58.5	65	-85	110	-130	-65	85
$-E$	-40	36	-80	72	40	-36	-65	58.5	-110	99	65	-58.5	-65	85	-110	130	65	-85
$G + \psi_2 Q$	-45	40	0	0	-45	40	-35	36	0	0	-35	36	-28	20	0	0	-28	20

Πίνακας 1.2: Ροπές υποστυλωμάτων στις παρειές των κόμβων (KNm)

$X_1 = 6$	$N_{1,4}$	$N_{4,7}$	$N_{7,10}$	$N_{2,5}$	$N_{5,8}$	$N_{8,11}$	$N_{3,6}$	$N_{6,9}$	$N_{9,12}$
$+E$	20	60	120	0	0	0	-20	-60	-120
$-E$	-20	-60	-120	0	0	0	20	60	120
$G + \psi_2 Q$	-140	-300	-420	-350	-700	-1050	-140	-300	-420
$G + \psi_2 Q + E$	-120	-240	-300	-350	-700	-1050	-160	-360	-540
$G + \psi_2 Q - E$	-160	-360	-540	-350	-700	-1050	-120	-240	-300
$1.35G + 1.5Q$	-238	-510	-714	-595	-1190	-1785	-238	-510	-714

Πίνακας 1.3: Αξονικές δυνάμεις μελών (KN)

2. Επίλυση

2.1 Διαστασιολόγηση διαμήκων οπλισμών των δοκών του 1ου ορόφου

Για τις δοκούς με διατομή $0.3m \times 0.6m$ υπολογίζεται η επικάλυψη και το στατικό ύψος ως εξής.

$$c_{nom} = 50mm \rightarrow d_1 = c_{nom} + \phi_h + \phi_L/2 = 50 + 8 + 14/2 = 65mm$$

και

$$d = 600 - 65 = 535mm$$

Το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} στις διατομές (περιοχές) των δοκών όπου συναντάται θλίψη στο άνω μέρος προκύπτουν ως εξής.

$$b_{eff,7} = 0.5 \cdot 6/10 + 0.2 \cdot 3 = 0.9 > 0.6 \Rightarrow b_{eff,8} = 0.6 \cdot 2 + 0.3 = 1.5m$$

$$b_{eff,78,mid} = 0.7 \cdot 6/10 + 0.2 \cdot 3 = 1.02 > 0.84 \Rightarrow b_{eff,78,mid} = 0.84 \cdot 2 + 0.3 = 1.98m$$

$$b_{eff,8} = 0.3 \cdot 6/10 + 0.2 \cdot 3 = 0.78 > 0.36 \Rightarrow b_{eff,8} = 0.36 \cdot 2 + 0.3 = 1.02m$$

$$b_{eff,89,mid} = 0.7 \cdot 6/10 + 0.2 \cdot 3 = 1.02 > 0.84 \Rightarrow b_{eff,78,mid} = 0.84 \cdot 2 + 0.3 = 1.98m$$

$$b_{eff,9} = 0.5 \cdot 6/10 + 0.2 \cdot 3 = 0.9 > 0.6 \Rightarrow b_{eff,9} = 0.6 \cdot 2 + 0.3 = 1.5m$$

Για τις δοκούς και για ΚΠΜ οι κατασκευαστικοί κανόνες που ορίζονται από τους Ευρωκώδικες 2 και 8 απαιτούν τα παρακάτω, με βάση τα οποία επιλέγονται οι τοποθετούμενοι οπλισμοί. Χάριν συντομίας, οι σχετικές συγκρίσεις με τα κατασκευαστικά ελάχιστα παραλείπονται, όμως διενεργούνται σε όλους τους υπολογισμούς και τους επηρεάζουν αναλόγως.

$$\rho_{min} = \frac{A_{s,min}}{bd} = 0.5 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.5 \cdot \frac{2.56}{500} = 5.12 \cdot 10^{-3}$$

$$A_s = 308mm^2$$

$$A_{s,bottom,support} \geq 0.5A_{s,top,support}$$

$$A_{s,bottom,support} \geq 0.25A_{s,bottom,mid}$$

Για φόρτιση $1.35G + 1.5Q$, από τη διαφορά του αθροίσματος των αξονικών του εισογείου και του 1ου ορόφου διαιρεμένη με $12m$ προκύπτει το φορτίο, έστω $q(KN/m)$, που αναλαμβάνουν οι δοκοί του 1ου ορόφου. Το ημιάθροισμα των ροπών των στηρίξεων κάθε δοκού είναι $-(170 + 102)/2 = -136KNm$.

$$q = \frac{(714 + 1785 + 714) - (510 + 1190 + 510)}{12} = 84KN/m$$

$$M_{7,8,mid} = M_{8,9,mid} = -136 + ql^2/8 = -136 + 84 \cdot 6^2/8 = 242KNm$$

2.1.1 Μέλος 78

Δεξιά παρειά κόμβου 7:

$$\left. \begin{array}{l} G + \psi_2 Q + E \rightarrow M_{7,8} = -60 + 130 = 70 \\ G + \psi_2 Q - E \rightarrow M_{7,8} = -60 - 130 = -190 \\ 1.35G + 1.5Q \rightarrow M_{7,8} = -102 \end{array} \right\} \Rightarrow M_{7,8,top} = -190, M_{7,8,bottom} = 70$$

$$M_{7,8,top} = -190 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{190}{0.3 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.156$$

$$\omega_{top} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.171$$

$$A_{s,top} = \omega_{top} bd \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.171 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 0.171 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 894mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 3\Phi 20 = 942mm^2$$

$$M_{7,8,bottom} = 70 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} d^2 f_{cd}} = \frac{70}{1.5 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.012$$

$$\omega_{bottom} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.012$$

$$A_{s,bottom} = \omega_{bottom} b_{eff} d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.012 \cdot 1.5 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 303mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 2\Phi 20 = 628mm^2$$

Αριστερή παρειά κόμβου 8:

$$\left. \begin{array}{l} G + \psi_2 Q + E \rightarrow M_{8,7} = -100 - 123.5 = -223.5 \\ G + \psi_2 Q - E \rightarrow M_{8,7} = -100 + 123.5 = 23.5 \\ 1.35G + 1.5Q \rightarrow M_{8,7} = -170 \end{array} \right\} \Rightarrow M_{8,7,top} = -223.5, M_{8,7,bottom} = 23.5$$

$$M_{8,7,top} = -223.5 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{223.5}{0.3 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.184$$

$$\omega_{top} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.206$$

$$A_{s,top} = \omega_{top} b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.206 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 0.206 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 1074mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 4\Phi 20 = 1256mm^2$$

$$M_{8,7,bottom} = 23.5 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} d^2 f_{cd}} = \frac{23.5}{1.02 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.006$$

$$\omega_{bottom} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.006$$

$$A_{s,bottom} = \omega_{bottom} b_{eff} d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.006 \cdot 1.02 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 102mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 2\Phi 20 = 628mm^2$$

Άνοιγμα:

$$M_{7,8,mid} = 242 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} d^2 f_{cd}} = \frac{242}{1.98 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.030$$

$$\omega_{mid} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.031$$

$$A_{s,mid} = \omega_{mid} b_{eff} d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.031 \cdot 1.98 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 0.031 \cdot 1.98 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 1057 mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 4\Phi 20 = 1256 mm^2$$

2.1.2 Μέλος 89

Δεξιά παρειά κόμβου 8:

$$\left. \begin{array}{l} G + \psi_2 Q + E \rightarrow M_{8,9} = -100 + 123.5 = 23.5 \\ G + \psi_2 Q - E \rightarrow M_{8,9} = -100 - 123.5 = -223.5 \\ 1.35G + 1.5Q \rightarrow M_{8,9} = -170 \end{array} \right\} \Rightarrow M_{8,9,top} = -223.5, M_{8,9,bottom} = 23.5$$

$$M_{8,9,top} = -223.5 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{223.5}{0.3 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.184$$

$$\omega_{top} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.206$$

$$A_{s,top} = \omega_{top} b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.206 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 0.206 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 1074 mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 4\Phi 20 = 1256 mm^2$$

$$M_{8,9,bottom} = 23.5 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} d^2 f_{cd}} = \frac{23.5}{1.02 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.006$$

$$\omega_{bottom} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.006$$

$$A_{s,bottom} = \omega_{bottom} b_{eff} d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.006 \cdot 1.02 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 102 mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 2\Phi 20 = 628 mm^2$$

Αριστερή παρειά κόμβου 9:

$$\left. \begin{aligned} G + \psi_2 Q + E &\rightarrow M_{9,8} = -60 - 130 = -190 \\ G + \psi_2 Q - E &\rightarrow M_{9,8} = -60 + 130 = 70 \\ 1.35G + 1.5Q &\rightarrow M_{9,8} = -102 \end{aligned} \right\} \Rightarrow M_{9,8,top} = -190, M_{9,8,bottom} = 70$$

$$M_{9,8,top} = -190 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{190}{0.3 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.156$$

$$\omega_{top} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.171$$

$$A_{s,top} = \omega_{top} b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.171 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 0.171 \cdot 0.3 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 894 mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 3\Phi 20 = 942 mm^2$$

$$M_{9,8,bottom} = 70 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} d^2 f_{cd}} = \frac{70}{1.5 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.012$$

$$\omega_{bottom} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.012$$

$$A_{s,bottom} = \omega_{bottom} b_{eff} d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.012 \cdot 1.5 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 303 mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 2\Phi 20 = 628 mm^2$$

Ανοίγμα:

$$M_{9,8,mid} = 242 \rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} d^2 f_{cd}} = \frac{242}{1.98 \cdot 0.535^2 \cdot 14.16 \cdot 10^3} = 0.030$$

$$\omega_{mid} = 0.973 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_{sd}}{0.973}} \right) = 0.031$$

$$A_{s,mid} = \omega_{mid} b_{eff} d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.031 \cdot 1.98 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 0.031 \cdot 1.98 \cdot 0.535 \cdot \frac{14.16}{434.78} = 1057 mm^2$$

Άρα τοποθετούνται:

$$A_\tau = 4\Phi 20 = 1256 mm^2$$

Άρα τελικά οι διαμήκεις οπλισμοί των δοκών του 1ου ορόφου, όπως προέκυψαν από τους άνωθεν υπολογισμούς, φαίνονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα.

Θέση	Κόμβος 7	Άνοιγμα 78	Κόμβος 8	Άνοιγμα 89	Κόμβος 9
Κάτω	2Φ20	4Φ20	2Φ20	4Φ20	2Φ20
Πάνω	3Φ20	—	4Φ20	—	3Φ20

Πίνακας 2.1: Διαμήκεις οπλισμοί δοκών 1ου ορόφου

2.2 Διαστασιολόγηση κατακόρυφων οπλισμών των υποστυλωμάτων του 1ου ορόφου σύμφωνα με τον ικανοτικό σχεδιασμό σε κάμψη

2.2.1 Υπολογισμός ροπών αντοχής δοκών στις στηρίξεις

Οι οπλισμοί (A_{s1} , A_{s2}) των δοκών έχουν προκύψει από τη διαστασιολόγησή τους που έγινε στην προηγούμενη ενότητα και χρησιμοποιούνται παρακάτω για τον υπολογισμό των ροπών αντοχής.

Για την εύρεση της ροπής αντοχής των δοκών στις στηρίξεις όταν εφελκύεται το κάτω πέλμα χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις.

$$A_c = bh - A_{s1} \rightarrow \omega_1 = \frac{A_{s1} f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

$$M_{Rb} = A_{s1} f_{yd} (d - d_2)$$

Για την εύρεση της ροπής αντοχής των δοκών στις στηρίξεις όταν εφελκύεται το πάνω πέλμα χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις.

$$A_c = (0.15b_{eff} + 0.45b) - (A_{s1} + A_{s2}) \rightarrow \omega_1 = \frac{A_{s1} f_{yd}}{A_c f_{cd}} \rightarrow \omega_2 = \frac{A_{s2} f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

$$M_{Rb} = A_{s2} f_{yd} (d - d_2) + (\omega_1 - \omega_2) (1 - 0.514(\omega_1 - \omega_2)) b_{eff} d^2 f_{cd}$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών των ροπών αντοχής (σε KNm) στις στηρίξεις των δοκών φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίν. 2.2).

M_{Rb}	Κόμβος 7	Κόμβος 8	Κόμβος 9
Εφελκυσμός κάτω	128.3	128.3	128.3
Εφελκυσμός πάνω	289.6	397.3	289.6

Πίνακας 2.2: Ροπές αντοχής δοκών 1ου ορόφου

2.2.2 Ικανοτικός σχεδιασμός υποστυλωμάτων

Κόμβος 7

Για φόρτιση $G + \psi_2 Q + E$ έχουμε:

$$M_{CD} = \gamma_{Rd} M_{Rb} = 1.3 \cdot 128.3 \cdot \frac{37}{59.5} = 103.7 \text{ KNm}$$

$$N_d = \frac{N_{above} + N_{below}}{2} = \frac{240 + 300}{2} = 270 \text{ KN}$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{103.7}{0.35 \cdot 0.35^2 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.171$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{270}{0.35 \cdot 0.35 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.155$$

$$d_1/h = 0.185 \rightarrow \omega_{tot} = 0.35$$

Για φόρτιση $G + \psi_2 Q - E$ έχουμε:

$$M_{CD} = \gamma_{Rd} M_{Rb} = 1.3 \cdot 289.6 \cdot \frac{93}{187.5} = 186.7 \text{ KNm}$$

$$N_d = \frac{N_{above} + N_{below}}{2} = \frac{360 + 540}{2} = 450 \text{ KN}$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{186.7}{0.35 \cdot 0.35^2 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.307$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{450}{0.35 \cdot 0.35 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.259$$

$$d_1/h = 0.185 \rightarrow \omega_{tot} = 0.62$$

Άρα για τη διαστασιολόγηση έχουμε:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 2473 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0.01 b h = 1225 \text{ mm}^2 \leq A_{s,tot}$$

Τοποθετούνται $8\Phi 20 = 2512 \text{ mm}^2$

Κόμβος 8

Για φόρτιση $G + \psi_2 Q + E$ έχουμε:

$$M_{CD} = \gamma_{Rd} M_{Rb} = 1.3 \cdot (397.3 + 128.3) \cdot \frac{99}{209} = 323.7 \text{ KNm}$$

$$N_d = \frac{N_{above} + N_{below}}{2} = \frac{700 + 1050}{2} = 875 \text{ KN}$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{323.7}{0.40 \cdot 0.40^2 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.357$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{875}{0.40 \cdot 0.40 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.386$$

$$d_1/h = 0.185 \rightarrow \omega_{tot} = 0.70$$

Για φόρτιση $G + \psi_2 Q - E$ έχουμε:

$$M_{CD} = \gamma_{Rd} M_{Rb} = 1.3 \cdot (397.3 + 128.3) \cdot \frac{99}{209} = 323.7 \text{ KNm}$$

$$N_d = \frac{N_{above} + N_{below}}{2} = \frac{700 + 1050}{2} = 875 \text{ KN}$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{323.7}{0.40 \cdot 0.40^2 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.357$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{875}{0.40 \cdot 0.40 \cdot 14.16 \cdot 1000} = 0.386$$

$$d_1/h = 0.185 \rightarrow \omega_{tot} = 0.70$$

Άρα για τη διαστασιολόγηση έχουμε:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 3647 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0.01 b h = 1600 \text{ mm}^2 \leq A_{s,tot}$$

Τοποθετούνται $12\Phi 20 = 3768 \text{ mm}^2$

Κόμβος 9

Λόγω συμμετρίας, προκύπτουν ακριβώς οι ίδιες απαιτήσεις οπλισμού με τον κόμβο 7.

Άρα στα ακραία υποστυλώματα τοποθετούνται $8\Phi 20$ και στο μεσαίο $12\Phi 20$. Να σημειωθεί πως ο οπλισμός του κεντρικού υποστυλώματος, αλλά ενδεχομένως και των ακραίων είναι αρκετά μεγάλος για τη διατομή τους (μεγάλο ω), το οποίο αν δεν οφείλεται σε υπολογιστικό λάθος, ίσως οφείλεται στα δεδομένα του προβλήματος.

2.3 Υπολογισμός τεμνουσών σχεδιασμού των δοκών και υποστυλωμάτων του 1ου ορόφου σύμφωνα με τον ικανοτικό σχεδιασμό σε διάτμηση

2.3.1 Ικανοτική τέμνουσα δοκών

Μέλος 78

Αφού έχει προηγηθεί ικανοτικός σχεδιασμός υποστυλωμάτων σε κάμψη, χρειάζεται να υπολογιστεί το άθροισμα τέμνουσας λόγω σεισμού και αυτής λόγω οιονεί μόνιμων κατακορύφων φορτίων αμφιερείστου, χωρίς κάποια διόρθωση.

Η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναπτυχθεί στη δοκό λόγω σεισμού (+E, -E) είναι:

$$V_{CD,E}^+ = \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,\alpha}^- + M_{Rd,\tau}^+}{l_n} = 1.0 \frac{289.6 + 128.3}{6} = 69.65 \text{ KN}$$

$$V_{CD,E}^- = \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd,\alpha}^+ + M_{Rd,\tau}^-}{l_n} = 1.0 \frac{128.3 + 397.3}{6} = 87.60 \text{ KN}$$

Οι τέμνουσες στα άκρα της δοκού λόγω $G + \psi_2 Q$ εκτιμώνται βάσει των ροπών στα άκρα, όπως προέκυψαν από την ανάλυση. Δηλαδή είναι:

$$V_7 = \frac{ql}{2} + \frac{M_8 - M_7}{l} = 245.3 \text{ KN}$$

$$V_8 = V_7 - ql = -258.7 \text{ KN}$$

Οι τέμνουσες λόγω οιονεί μόνιμων κατακορύφων φορτίων αμφιερείστου είναι:

$$V_{G+\psi_2 Q, \alpha \mu \phi}(7) = V_{G+\psi_2 Q}(7) - \frac{M_{G+\psi_2 Q, \tau} - M_{G+\psi_2 Q, \alpha}}{l_n} = 245.3 - \frac{-100 + 60}{6} = 252 \text{ KN}$$

$$V_{G+\psi_2 Q, \alpha \mu \phi}(8) = V_{G+\psi_2 Q}(8) - \frac{M_{G+\psi_2 Q, \tau} - M_{G+\psi_2 Q, \alpha}}{l_n} = -258.7 - \frac{-100 + 60}{6} = -252 \text{ KN}$$

Οι μέγιστες θετικές και αρνητικές τέμνουσες που είναι δυνατόν να αναπτυχθούν σε μία διατομή της δοκού (εν προκειμένω στα άκρα της), σύμφωνα με τον ικανοτικό σχεδιασμό σε διάτμηση είναι:

$$\max V_{Ed}^+(7) = V_{CD,E}^+ + V_{G+\psi_2 Q, \alpha \mu \phi}(7) = 69.65 + 252 = 321.65 \text{ KN}$$

$$\min V_{Ed}^-(7) = -V_{CD,E}^- + V_{G+\psi_2 Q, \alpha \mu \phi}(7) = -87.60 + 252 = 164.4 \text{ KN}$$

$$\max V_{Ed}^+(8) = V_{CD,E}^+ + V_{G+\psi_2 Q, \alpha \mu \phi}(8) = 69.65 - 252 = -182.35 \text{ KN}$$

$$\min V_{Ed}^{-}(8) = -V_{CD,E}^{-} + V_{G+\psi_2 Q, \alpha \mu \phi}(8) = -87.60 - 252 = -339.6 \text{ KN}$$

Άρα για τη στήριξη στον κόμβο 7 (αρχή) κρίσιμη είναι η τέμνουσα 321.65 KN και για τη στήριξη στον κόμβο 8 (τέλος) κρίσιμη είναι η τέμνουσα 339.6 KN.

Μέλος 89

Για το μέλος 89 ισχύουν ακριβώς τα ίδια αφού είναι απόλυτα συμμετρικό ως προς τον κόμβο 8. Οπότε τα αποτελέσματα που αφορούν τον κόμβο 7, αφορούν και τον κόμβο 9 και φυσικά τα αποτελέσματα του κόμβου 8 (κοινός κόμβος) είναι ταυτόσημα.

2.3.2 Ικανοτική τέμνουσα υποστυλμάτων

Μεσαίο υποστύλωμα

$$A_s = 3768 \text{ mm}^2 \rightarrow \omega_{tot} = \frac{A_s f_{yd}}{bh f_{cd}} = \frac{3768}{0.4 \cdot 0.4} \frac{434.78}{14.16} = 0.72$$

$$N = -1050 \text{ KN} \rightarrow \nu_d = \frac{N}{bh f_{cd}} = 0.463$$

$$\mu_{Rd} = 0.35 \rightarrow M_{Rd} = \mu_{Rd} bh^2 f_{cd} = 317 \text{ KNm}$$

Για το μεσαίο υποστύλωμα του άνωθεν ορόφου, έστω με ίδιο οπλισμό (σταθερό καθ' ύψος) με αυτό του 1ου είναι:

$$\omega_{tot} = 0.72$$

$$N = -700 \text{ KN} \rightarrow \nu_d = \frac{N}{bh f_{cd}} = 0.308$$

$$\mu_{Rd} = 0.30 \rightarrow M_{Rd} = \mu_{Rd} bh^2 f_{cd} = 271 \text{ KNm}$$

Άρα η ικανοτική τέμνουσα του μεσαίου υποστυλώματος είναι:

$$\begin{aligned} V_{CD} &= \gamma_{Rd} \cdot \frac{M^{\kappa}_{Rdc} \cdot (\sum M_{Rdb} / \sum M_{Rdc}) + M^{\beta}_{Rdc}}{h_n} = \\ &= 1.0 \cdot \frac{317 \cdot (397.3 + 128.3) / (317 + 271) + 317}{2.4 (= 3.00 - 0.60)} = \\ &= 250.1 \text{ KN} \end{aligned}$$

Ακραία υποστυλώματα (όμοια μεταξύ τους) - Έστω υπό εξέταση το μέλος 710

Για $G + \psi 2Q + E$:

$$A_s = 2512 \text{ mm}^2 \rightarrow \omega_{tot} = \frac{A_s}{bh} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2512}{0.35 \cdot 0.35} \frac{434.78}{14.16} = 0.63$$

$$N = -300 \text{ KN} \rightarrow \nu_d = \frac{N}{bh f_{cd}} = 0.173$$

$$\mu_{Rd} = 0.23 \rightarrow M_{Rd} = \mu_{Rd} b h^2 f_{cd} = 139.6 \text{ KNm}$$

Για το ακραίο υποστυλώμα του άνωθεν ορόφου (μέλος 47), έστω με ίδιο οπλισμό (σταθερό καθ' ύψος) με αυτό του 1ου είναι:

$$\omega_{tot} = 0.63$$

$$N = -240 \text{ KN} \rightarrow \nu_d = \frac{N}{bh f_{cd}} = 0.138$$

$$\mu_{Rd} = 0.22 \rightarrow M_{Rd} = \mu_{Rd} b h^2 f_{cd} = 133.5 \text{ KNm}$$

Άρα η ικανοτική τέμνουσα του ακραίου υποστυλώματος είναι:

$$\begin{aligned} V_{CD,+E} &= \gamma_{Rd} \cdot \frac{M^{\kappa}_{Rdc} \cdot (\sum M_{Rdb} / \sum M_{Rdc}) + M^{\beta}_{Rdc}}{h_n} = \\ &= 1.0 \cdot \frac{139.5 \cdot (289.6 + 128.3) / (139.5 + 133.5) + 139.5}{2.4 (= 3.00 - 0.60)} = \\ &= 147.1 \text{ KN} \end{aligned}$$

Για $G + \psi 2Q - E$:

$$A_s = 2512 \text{ mm}^2 \rightarrow \omega_{tot} = \frac{A_s}{bh} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2512}{0.35 \cdot 0.35} \frac{434.78}{14.16} = 0.63$$

$$N = -540 \text{ KN} \rightarrow \nu_d = \frac{N}{bh f_{cd}} = 0.311$$

$$\mu_{Rd} = 0.26 \rightarrow M_{Rd} = \mu_{Rd} b h^2 f_{cd} = 157.8 \text{ KNm}$$

Για το ακραίο υποστυλώμα του άνωθεν ορόφου (μέλος 47), έστω με ίδιο οπλισμό (σταθερό καθ' ύψος) με αυτό του 1ου είναι:

$$\omega_{tot} = 0.63$$

$$N = -360KN \rightarrow \nu_d = \frac{N}{bh f_{cd}} = 0.207$$

$$\mu_{Rd} = 0.25 \rightarrow M_{Rd} = \mu_{Rd} b h^2 f_{cd} = 151.7 KNm$$

Άρα η ικανοτική τέμνουσα του ακραίου υποστυλώματος είναι:

$$\begin{aligned} V_{CD,-E} &= \gamma_{Rd} \cdot \frac{M^{\kappa}_{Rdc} \cdot (\sum M_{Rdb} / \sum M_{Rdc}) + M^{\beta}_{Rdc}}{h_n} = \\ &= 1.0 \cdot \frac{157.8 \cdot (289.6 + 128.3) / (157.8 + 151.7) + 157.8}{2.4 (= 3.00 - 0.60)} = \\ &= 154.5 KN \end{aligned}$$

Συνεπώς η κρίσιμη ικανοτική τέμνουσα σχεδιασμού των ακραίων υποστυλωμάτων είναι ίση με 154.5 KN και η αντίστοιχη κρίσιμη τέμνουσα για το μεσαίο υποστυλώμα είναι ίση με 250.1 KN.

Βιβλιογραφία

- Μπισκίνης Διονύσης. *Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος*. Πάτρα, Ελλάδα: Ψηφιακό αρχείο σημειώσεων, 2021.
- Φαρδής Μιχαήλ. *Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος Μέρος III*. Πάτρα, Ελλάδα: Τμήμα Εκτυπώσεων Τυπογραφείου Πανεπιστημίου Πατρών, 2018.

