

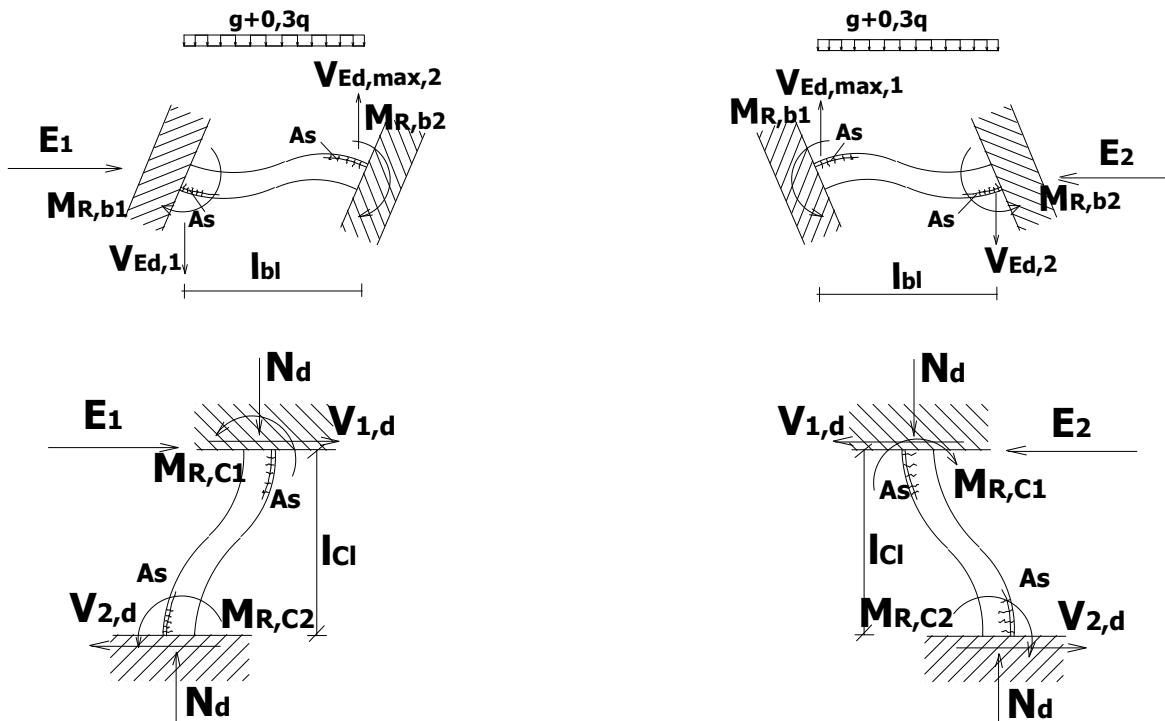
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛ/ΡΙΚΗΣ ΤΕ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ II

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ

ΜΕ ΤΟΝ EC 2 & EC 8

ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΑΚΑΛΕΤΣΗΣ

Δρ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ - ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A. ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	3
B. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ	14
Γ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ	43
Δ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ	66
Ε. ΒΛΑΒΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	117

A. ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

1. Βασικές αρχές

Η τεχνολογία του ικανοτικού σχεδιασμού επιδιώκει να εξασφαλισθεί στη κατασκευή η ικανότητα για τη μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση ενέργειας χωρίς μερική ή ολική αστοχία (κατάρρευση).

Τα εργαλεία για την επιτυχία του στόχου του ικανοτικού σχεδιασμού για τη μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση ενέργειας από τη κατασκευή, είναι:

- Χρήση όλων των αποθεμάτων αντοχής της κατασκευής (αντοχή επί μέρους στοιχείων).
- Ιεράρχηση βλαβών και εξασφάλιση εκδήλωσής τους με την επιθυμητή σειρά.
- Κατανομή των βλαβών σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό δομικών στοιχείων.

Για να επιτευχθούν οι στόχοι του ικανοτικού σχεδιασμού οι σύγχρονοι κανονισμοί προβλέπουν ειδικές διαδικασίες σχεδιασμού (CEB 1998, EAK-2000, EC8) με σκοπό:

- α) Την εξασφάλιση της γενικής και τοπικής πλαστιμότητας.
- β) Την αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου
- γ) Την εξασφάλιση των κρισίμων διατομών έναντι ψαθυρών διατμητικών μορφών αστοχίας.

Οι ειδικές διατάξεις για την εξασφάλιση των στόχων του ικανοτικού σχεδιασμού στον Ευρωκώδικα 8 είναι:

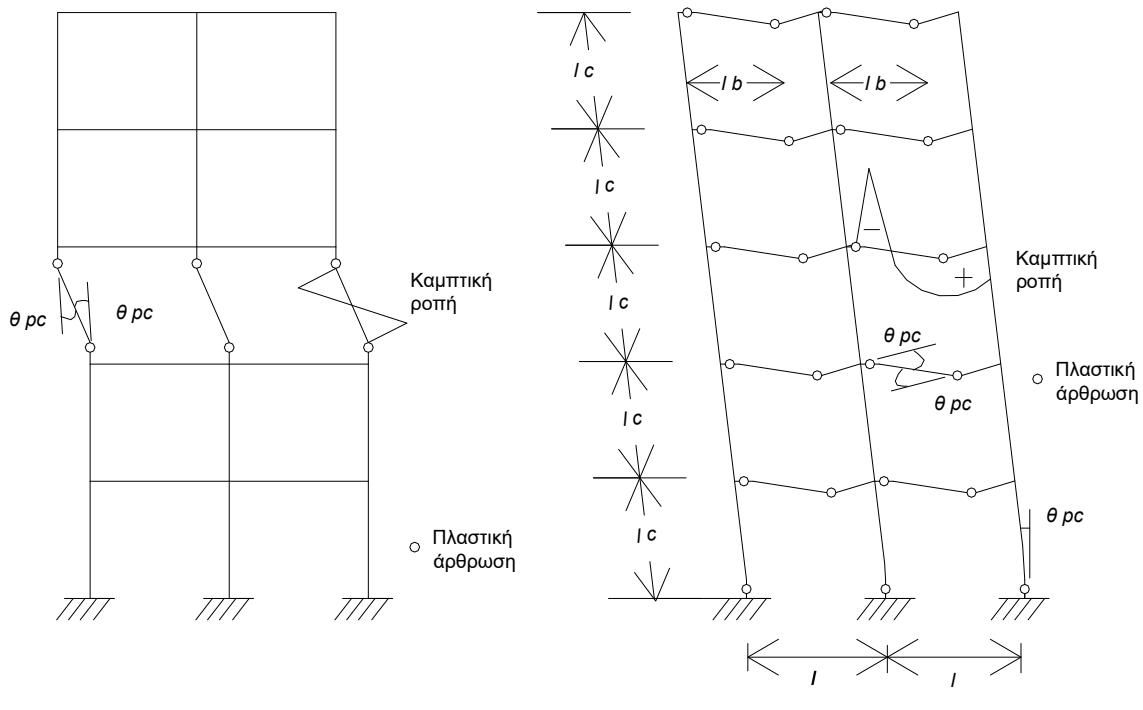
- α. Ειδική συνθήκη στους κόμβους για την αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου.
- β. Συνθήκη τοπικής πλαστιμότητας
- γ. Ικανοτικός σχεδιασμός δοκών. Υπολογισμός ειδικών τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού δοκών για την αποφυγή ψαθυρής αστοχίας στις θέσεις όπου είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων
- δ. Ικανοτικός σχεδιασμός Υποστυλωμάτων. Υπολογισμός ειδικών τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού υποστυλωμάτων για την αποφυγή ψαθυρής αστοχίας στις θέσεις όπου είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων.
- ε. Ικανοτικός σχεδιασμός Πλάστιμων Τοιχωμάτων. Υπολογισμός ειδικών τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού τοιχωμάτων για την ενδεχόμενη αύξηση της τέμνουσας δύναμης μετά τη διαρροή.

Στις επόμενες παραγράφους αναλύεται ο Ικανοτικός Σχεδιασμός και οι αντίστοιχες απαιτήσεις κατά τον Ευρωκώδικα 8.

2. Αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

Σκοπός

Η βασική απαίτηση να αποφεύγεται ο σχηματισμός μηχανισμού ορόφου εξασφαλίζεται όταν το σύνολο της αντοχής των υποστυλωμάτων στους κόμβους είναι μεγαλύτερο από το σύνολο της αντοχής των δοκών. Εφαρμόζεται στα πλαισιωτά δομικά συστήματα καθώς και σε συστήματα ισοδύναμης πλαισιακής λειτουργίας.



Σχ. 1.1 Μηχανισμοί κατάρρευσης πλαισιακών φορέων: Μηχανισμός στύλων ή ορόφου (αριστερά) και μηχανισμός δοκών (δεξιά) .

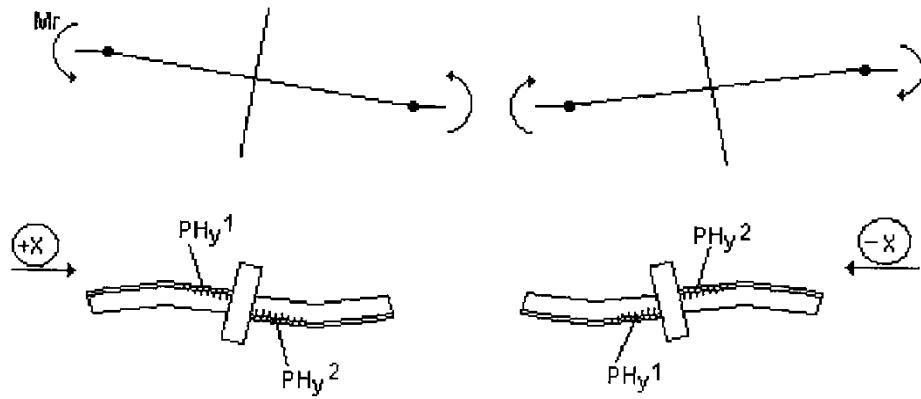
Πώς γίνεται

Απαιτείται κατά το σχεδιασμό έναντι κάμψεως των υποστυλωμάτων και ανεξαρτήτως των ροπών σχεδιασμού που προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων, να ληφθεί υπόψη ότι πρέπει να ισχύει η παρακάτω συνθήκη σε όλους τους κόμβους:

$$\Sigma M_{Rc} \geq 1.3 \Sigma M_{Rb} \quad (1)$$

Η εφαρμογή της σχέσης (1) πρέπει να ικανοποιείται κατά τους δύο άξονες ανάλυσης x και y και κατά τις δύο διευθύνσεις (θετική και αρνητική) σε κάθε άξονα. Για το σκοπό αυτό:

- α) Για κάθε διεύθυνση σεισμού στον εν λόγω κόμβο εφαρμόζονται ετερόσημες ροπές στα άκρα, ώστε να σχηματισθούν οι παρακάτω μηχανισμοί:



Σχ. 1.2 Στροφές διατομών και Πλαστικές αρθρώσεις.

β) Προσδιορίζονται οι ροπές αστοχίας με τον υπάρχοντα πραγματικό οπλισμό των δοκών και υποστηλωμάτων στις διατομές παρειών. Επομένως θα πρέπει να προηγηθεί διαστασιολόγηση των δοκών και υποστηλωμάτων.

Τι μεγέθη παριστάνουν τα σύμβολα

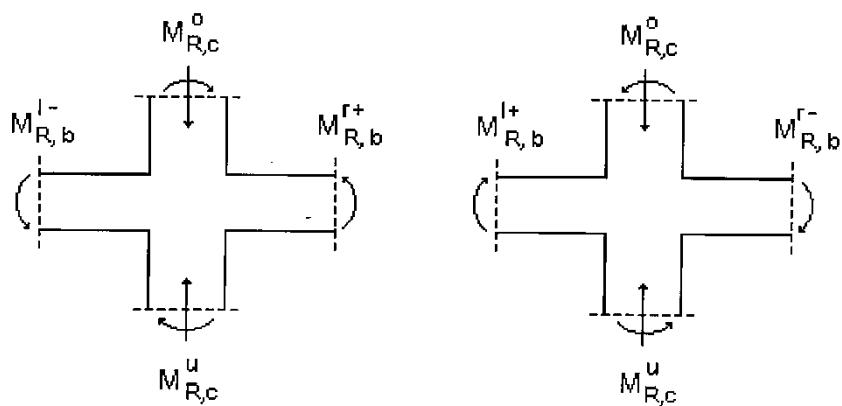
$\Sigma M_{R,c}$ άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης. Χρησιμοποιείται η μικρότερη τιμή των ροπών αντοχής λαμβάνοντας υπόψη τη δυσμενέστερη από τις αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα εξεταζόμενα υποστυλώματα.

$\Sigma M_{R,b}$ άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

$$\text{Πρέπει: } |M_{R,c}^o| + |M_{R,c}^u| \geq \gamma_{Rd} \cdot (|M_{R,b}^{1-}| + |M_{R,b}^{r+}|)$$

$$\text{και } |M_{R,c}^o| + |M_{R,c}^u| \geq \gamma_{Rd} \cdot (|M_{R,b}^{1+}| + |M_{R,b}^{r-}|)$$

$$\text{ή } \sum |M_{R,C}| > \gamma_{Rd} \cdot \sum |M_{R,b}| \text{ και } \gamma_{Rd} = 1.30$$



Σχ. 1.3 Ροπές αντοχής κόμβου.

Εξαιρέσεις

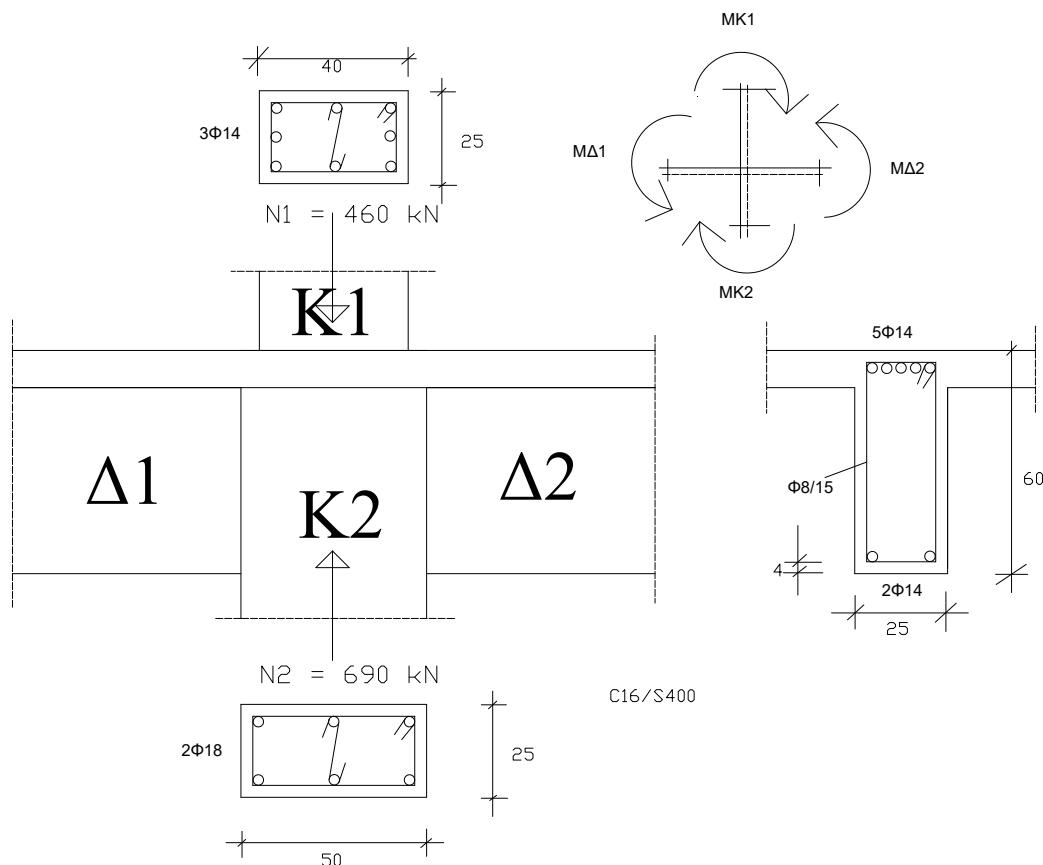
- Η σχέση (1) δεν εφαρμόζεται στο δώμα πολυωρόφων συστημάτων.
- Σε επίπεδα πλαίσια με περίπου ίδιες διατομές η σχέση (1) δεν είναι αναγκαίο να ικανοποιείται σε όλα τα υποστυλώματα αλλά επιτρέπεται να ικανοποιείται σε 3 από κάθε 4 υποστυλώματα.
- Η σχέση (1) δεν είναι αναγκαίο να εφαρμόζεται στο ισόγειο διωρόφων κατασκευών εφόσον για την ανηγμένη αξονική v_d όλων των υποστυλωμάτων ισχύει $v_d \leq 0.3$.

Εφαρμογή – Εξασφάλιση μηχανισμού δοκών

Στον κόμβο του Σχήματος να εξεταστεί αν ισχύει η βασική αρχή του αντισεισμικού σχεδιασμού σύμφωνα με την οποία κατά την διάρκεια ενός πολύ μεγάλου σεισμού πρέπει πρώτα να αστοχήσουν οι δοκοί και μετά τα υποστυλώματα.

Δηλαδή να εξεταστεί αν ισχύει η σχέση: $|M_{R,K1}| + |M_{R,K2}| \geq \gamma_{Rd} \cdot (|M_{R,\Delta 1}| + |M_{R,\Delta 2}|)$, που σημαίνει,

«Το αθροισμα των ροπών αντοχής των στύλων υπό την συνεπίδραση των N , να είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των ροπών αντοχής των δοκών»



Σχ. 1.4 Ο κόμβος της εφαρμογής

Ροπές αντοχής στύλων :

Για τον υπολογισμό των ροπών χρησιμοποιούνται διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N για συμμετρικό οπλισμό.

Επιλέγεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N για σκυρόδεμα C16, χάλυβα S400 και $d_1/h = 4/50 \cdot 40 = 0,10$:

K1:

$$A_s = 3\Phi 14 = 4,62 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\text{tot}} = 2 \cdot 4,62 = 9,24 \text{ cm}^2 \rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_{\text{tot}} &= \frac{A_{\text{tot}}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_y d}{f_{cd}} = \frac{9,24}{25 \cdot 40} \cdot \frac{400/1,15}{16/1,5} = 0,30 \\ v &= \frac{Nd}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-460}{0,25 \cdot 0,40 \cdot \frac{16 \cdot 10^3}{1,5}} = -0,43 \end{aligned} \right\} \mu = 0,21$$

$$M_{RK1} = \mu_{sd} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,21 \cdot 0,25 \cdot 0,40^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 89,6 \text{ kNm}$$

K2 :

$$A_s = 2\Phi 18 = 5,09 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\text{tot}} = 2 \cdot 5,09 = 10,18 \text{ cm}^2 \rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_{\text{tot}} &= \frac{A_{\text{tot}}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_y d}{f_{cd}} = \frac{10,18}{25 \cdot 50} \cdot \frac{400/1,15}{16/1,5} = 0,27 \\ v &= \frac{Nd}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-690}{0,25 \cdot 0,50 \cdot \frac{16 \cdot 10^3}{1,5}} = -0,52 \end{aligned} \right\} \mu = 0,19$$

$$M_{RK2} = \mu_{sd} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,19 \cdot 0,25 \cdot 0,50^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 126,7 \text{ kNm}$$

Ροπές αντοχής δοκών :

Με χρήση των πινάκων CEB για τον σχεδιασμό ορθογωνικών διατομών:

Δ1 :

Εφελκυσμός άνω ίνας : $A_s = 5\Phi 14 = 7,7 \text{ cm}^2$.

$$\omega = \frac{As \cdot f_y d}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{7,7 \cdot 400/1,15}{25 \cdot 56 \cdot 16/1,5} = 0,18 \rightarrow \mu_{sd} = 0,16$$

$$M_{RΔ1} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,16 \cdot 0,25 \cdot 0,56^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 133,8 \text{ kNm}$$

Δ2 :

Εφελκυσμός κάνω ίνας : $A_s = 2\Phi 14 = 3,08 \text{ cm}^2$.

$$\omega = \frac{As \cdot f_y d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{3,08 \cdot 400/1,15}{25 \cdot 56 \cdot 16/1,5} = 0,07 \rightarrow \mu_{sd} = 0,07$$

$$M_{RΔ1} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,07 \cdot 0,25 \cdot 0,56^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 58,54 \text{ kNm}$$

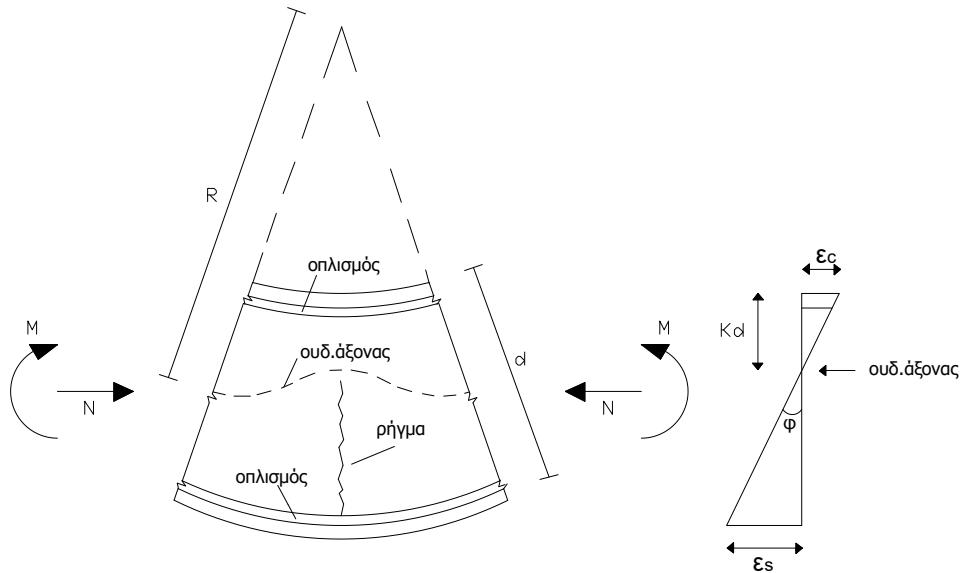
Έλεγχος :

$89,6 + 126,7 > 1,3 (133,8 + 58,54) \rightarrow 216,3 > 250,04 \rightarrow$ δεν ισχύει και άρα δεν εξασφαλίζεται μηχανισμός δοκών.

3. Συνθήκη τοπικής πλαστιμότητας

Σκοπός

Πρέπει να παρέχεται ικανοποιητική πλαστιμότητα καμπυλοτήτων στις πιθανές περιοχές σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων, για την εξασφάλιση της απαιτούμενης γενικής πλαστιμότητας του δομικού συστήματος. Οι περιοχές αυτές είναι κυρίως οι κρίσιμες περιοχές των σεισμικών στοιχείων (δοκών, υποστυλωμάτων, πλάστιμων τοιχωμάτων).



Σχ.1.5 Παραμόρφωση καμπτόμενου μέλους

Πώς γίνεται

Απαιτείται η πλαστιμότητα καμπυλοτήτων μ_ϕ των περιοχών όπου είναι πιθανό να σχηματισθεί πλαστική άρθρωση να έχει τουλάχιστον τις ακόλουθες τιμές:

$$\mu_\phi = 2q_o - 1 \quad \text{av } T_1 \geq T_C \quad (2\alpha)$$

$$\mu_\phi = 1 + 2(q_o - 1) T_C / T_1 \quad \text{av } T_1 < T_C \quad (2\beta)$$

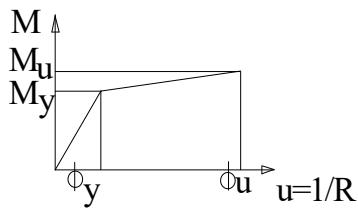
Τι μεγέθη παριστάνουν τα σύμβολα

μ_ϕ πλαστιμότητα καμπυλοτήτων η οποία ορίζεται στη συγκεκριμένη περίπτωση από τον λόγο $\mu_\phi = \phi_{u0,85} / \phi_y$ όπου $\phi_{u0,85}$ οριακή (μέγιστη) καμπυλότητα που ορίζεται ως η καμπυλότητα που αντιστοιχεί σε πτώση της καμπτικής αντοχής στο 85% της οριακής (μέγιστης) τιμής και ϕ_y καμπυλότητα διαρροής (Σχ.1.6).

q_o συντελεστής συμπεριφοράς (βασική τιμή)

T_1 θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου

T_C άνω όριο της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης του φάσματος σχεδιασμού



Σχ.1.6 Διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων απλά οπλισμένης διατομής

4. Τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού δοκών

Σκοπός

Η αποφυγή ψαθυρών διατμητικών αστοχιών των δοκών, στις κρίσιμες περιοχές των οποίων είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων.

Αυτό πρέπει να γίνεται διότι οι ειδικές διατάξεις για την εξασφάλιση της απαραίτητης πλαστιμότητας, αυξάνουν ασύμμετρα την καμπτική αντοχή των στοιχείων (υπεραντοχή δοκών), ενώ δεν τα εξασφαλίζουν παράλληλα έναντι της τέμνουσας που αντιστοιχεί στην πρόσθετη αντοχή σε ροπή.

Πώς γίνεται

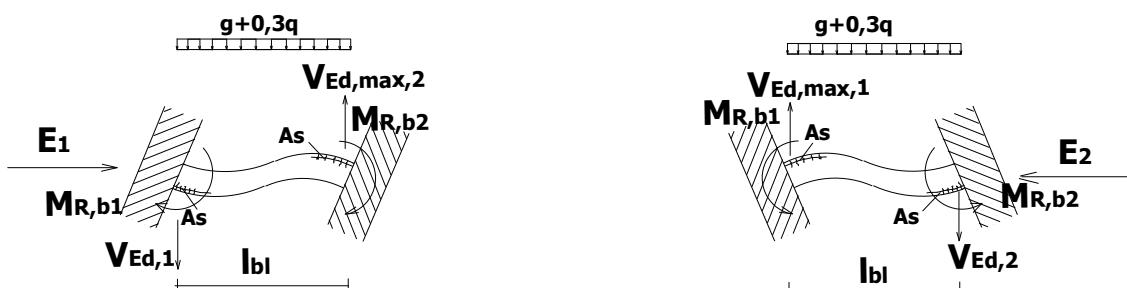
Κατά το σχεδιασμό των áκρων της δοκού έναντι τέμνουσας και ανεξαρτήτως των τεμνουσών σχεδιασμού που προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων, απαιτείται να ληφθούν ως δρώσεις τέμνουσες σχεδιασμού οι ικανοτικές τέμνουσες $V_{Ed,max,i}$, $V_{Ed,min,i}$ όπου $i = 1,2$ τα δύο áκρα της δοκού. Αυτές προκύπτουν όταν αναπτυχθούν στα áκρα 1,2 της δοκού οι μέγιστες θετικές και οι μέγιστες αρνητικές ροπές $M_{i,d}$ όπου $i = 1,2$

Οι ικανοτικές τέμνουσες $V_{Ed,max,i}$, $V_{Ed,min,i}$ δίνονται από τις σχέσεις

$$V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + (\vec{M}_{1,d} + \vec{M}_{2,d}) / l_{bl} \quad (3\alpha)$$

$$V_{Ed,min,i} = V_{0,i} + (\vec{M}_{1,d} + \vec{M}_{2,d}) / l_{bl} \quad (3\beta)$$

όπου $i = 1$ και 2 τα δύο áκρα της δοκού



Σχ.1.7 Προσδιορισμός ικανοτικής τέμνουσας δοκών

Τι μεγέθη παριστάνουν τα σύμβολα

$V_{0,i}$ η τέμνουσα που αναπτύσσεται στη δοκό από το εγκάρσιο φορτίο στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού. Στις συνήθεις περιπτώσεις των οικοδομικών έργων τα φορτία αυτά προέρχονται από τον συνδυασμό $g + 0.3q$.

$$V_{0,i} = \frac{(g + 0.3q)l_{bl}}{2}$$

l_{bl} το καθαρό μήκος της δοκού

$\vec{M}_{1,d}, \vec{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά τη θετική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 της δοκού
 $\vec{M}_{1,d}, \vec{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά την αρνητική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 της δοκού

Οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται από τις σχέσεις

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rb,i} \quad \text{εφόσον } \sum M_{Rc} \geq \sum M_{Rb} \quad (4\alpha)$$

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rb,i} \frac{\sum M_{Rc}}{\sum M_{Rb}} \quad \text{εφόσον } \sum M_{Rc} < \sum M_{Rb} \quad (4\beta)$$

γ_{Rd} συντελεστής που εκφράσει την επιρροή της κράτυνσης του χάλυβα

- για κατασκευές DCM $\gamma_{Rd}=1.0$
- για κατασκευές DCH $\gamma_{Rd}=1.2$

$M_{Rb,i}$ σχεδιαστική ροπή αντοχής της δοκού στο άκρο i κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

$\sum M_{Rc}$ άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης. Χρησιμοποιείται η τιμή των ροπών αντοχής λαμβάνοντες υπόψη τις αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα υποστυλώματα κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

$\sum M_{Rb}$ άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

5. Τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού υποστυλωμάτων

Σκοπός

Η αποφυγή ψαθυρών διατμητικών αστοχιών των υποστυλωμάτων, στις άκρες των οποίων είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων.

Αυτό πρέπει να γίνεται διότι οι ειδικές διατάξεις για την εξασφάλιση της απαραίτητης πλαστιμότητας, αυξάνουν ασύμμετρα την καμπτική αντοχή των στοιχείων (υπεραντοχή

υποστυλωμάτων), ενώ δεν τα εξασφαλίζουν παράλληλα έναντι της τέμνουσας που αντιστοιχεί στην πρόσθετη αντοχή σε ροπή.

Πώς γίνεται

Κατά το σχεδιασμό των άκρων υποστυλώματος έναντι τέμνουσας και ανεξαρτήτως των τεμνουσών σχεδιασμού που προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων, απαιτείται να ληφθούν ως δρώσες τέμνουσες σχεδιασμού οι ικανοτικές τέμνουσες

$$V_{Ed,max,i}, V_{Ed,min,i}$$

Οι $V_{Ed,max,i}$, $V_{Ed,min,i}$ προκύπτουν όταν αναπτυχθούν στα δύο άκρα 1,2 του υποστυλώματος οι μέγιστες θετικές και οι μέγιστες αρνητικές ροπές $M_{i,d}$ όπου $i=1,2$.

Οι ικανοτικές τέμνουσες $V_{Ed,max,i}$, $V_{Ed,min,i}$ δίνονται από τις σχέσεις

$$V_{Ed,max,i} = (\overrightarrow{M}_{1,d} + \overrightarrow{M}_{2,d}) / l_{cl} \quad (5\alpha)$$

$$V_{Ed,min,i} = (\overleftarrow{M}_{1,d} + \overleftarrow{M}_{2,d}) / l_{cl} \quad (5\beta)$$

και $i=1$ και 2 τα δύο άκρα του υποστυλώματος



Σχ.1.8 Προσδιορισμός ικανοτικής τέμνουσας υποστηλωμάτων

Τι μεγέθη παριστάνονταν τα σύμβολα

$\overrightarrow{M}_{1,d}$, $\overrightarrow{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά τη θετική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 του υποστυλώματος

$\overleftarrow{M}_{1,d}$, $\overleftarrow{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά την αρνητική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 του υποστυλώματος

l_{cl} το καθαρό μήκος του υποστυλώματος

Οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται από τις σχέσεις

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \quad \text{εφόσον } \sum M_{Rb} \geq \sum M_{Rc} \quad (6\alpha)$$

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} \quad \text{εφόσον } \sum M_{Rb} < \sum M_{Rc} \quad (6\beta)$$

γ_{Rd} συντελεστής που εκφράσει την επιρροή της κράτυνσης του χάλυβα και της περίσφιξης του σκυροδέματος

- για κατασκευές DCM $\gamma_{Rd} = 1.1$
- για κατασκευές DCH $\gamma_{Rd} = 1.3$

M_{Rbi} σχεδιαστική ροπή αντοχής της δοκού στο άκρο ή κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης

ΣM_{Rc} άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης. Χρησιμοποιείται τιμή των ροπών αντοχής λαμβάνοντες υπόψη τις αξονικές δυνάμεις πού αναπτύσσονται στα εξεταζόμενα υποστυλώματα κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

ΣM_{Rb} άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

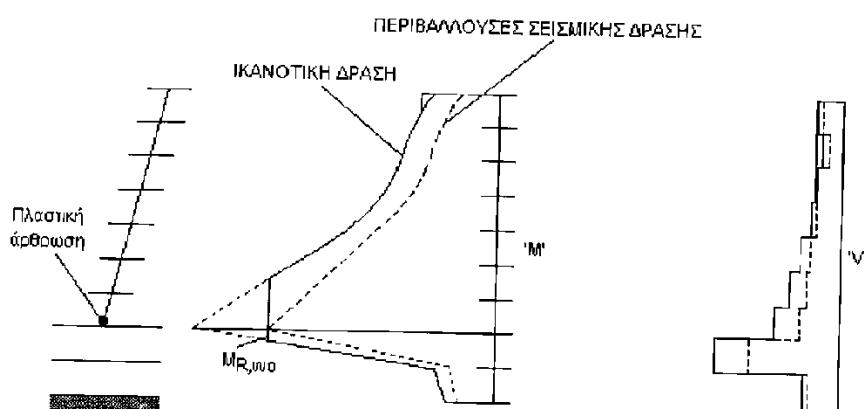
6. Αποφυγή αύξησης τέμνουσας δύναμης τοιχωμάτων

Σκοπός

Η αποφυγή ψαθυρών διατμητικών αστοχιών στη βάση των τοιχωμάτων, λόγω ενδεχόμενης αύξησης της σεισμικής τέμνουσας δύναμης μετά από διαρροή.

Πώς γίνεται

Για την αποφυγή των συνεπειών από ενδεχόμενη αύξηση της τέμνουσας δύναμης στη βάση του τοιχώματος μετά από διαρροή προβλέπεται αύξηση των τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού. Στο κεφάλαιο σχεδιασμού των τοιχωμάτων περιγράφεται η "Περιβάλλοντα σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων των τοιχωμάτων" και γίνεται πλήρης ανάπτυξη των αιτιών και του τρόπου αύξησης των τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού των τοιχωμάτων.



Σχ. 1.9 Ικανοτικά μεγέθη M , V τοιχωμάτων.

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά οι διατάξεις επαύξησης των τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού για τις διάφορες περιπτώσεις τοιχωμάτων.

(α) Σε κατασκευές DCM

- Για πλάστιμα τοιχώματα

Λαμβάνονται ως τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού των πλάστιμων τοιχωμάτων οι τέμνουσες δυνάμεις που υπολογίζονται από την ανάλυση επηυξημένες κατά 50%.

- Για μεγάλα ελαφρώς οπλισμένα τοιχώματα

Λαμβάνεται σε κάθε όροφο ως τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού η τέμνουσα δύναμη που υπολογίζεται από την ανάλυση πολλαπλασιασμένη επί $(q+1)/2$

(β) Σε κατασκευές DCH

Προβλέπεται η επαύξηση των τεμνουσών δυνάμεων των τοιχωμάτων που υπολογίζονται από την ανάλυση επί ένα μεγεθυντικό συντελεστή «ε» οποίος υπολογίζεται με τη σχέση

$$\varepsilon = \sqrt{(1,2 \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}})^2 + 0,1(q \frac{S_e(T_c)}{S_e(T_1)})^2} \leq q \quad (7)$$

αλλά πρέπει σε κάθε περίπτωση $\varepsilon \geq 1,5$

Ειδικά για "κοντά τοιχώματα" δηλαδή για τοιχώματα στα οποία ισχύει ότι ο λόγος του ύψους h_w , προς την οριζόντια διάσταση είναι l_w είναι $h_w/l_w \leq 2$ επειδή δεν υφίσταται σε αυτά η επιρροή ανωτέρων ιδιομορφών ο μεγεθυντικός συντελεστής ε απλοποιείται ως εξής:

$$\varepsilon = 1,2 \frac{M_{Rd}}{M_{Ed0}} \leq q \quad (8)$$

B. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ

1. Γενικά – Γεωμετρικά στοιχεία

Δοκοί θεωρούνται συνήθως οριζόντια γραμμικά δομικά στοιχεία τα οποία φέρουν κατακόρυφα φορτία εγκάρσια προς τον άξονά τους, έχουν ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού ($v_d = N_{Ed}/A_cf_{cd}$) όχι μεγαλύτερη από 0.1 και άρα ευρίσκονται υπό επικρατούσα καμπτική ένταση.

Για τις δοκούς ισχύουν οι παρακάτω γεωμετρικοί περιορισμοί για τις Κατασκευές DCM και DCH κατά EC8 (2004):

(α) Το πλάτος της δοκού (σχ. 2.1) θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση

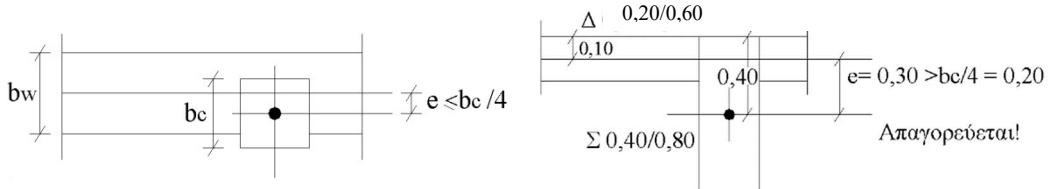
$$b_w \leq \min \begin{cases} b_c + h_w \\ 2b_c \end{cases} \quad (1)$$

όπου

b_w το πλάτος της δοκού

h_w το ύψος της δοκού

b_c το πλάτος του υποστυλώματος (κάθετα προς τον άξονα της δοκού)



Σχ. 2.1 Στήριξη δοκού-υποστυλώματος (κατόψεις)

(β) Η οριζόντια εκκεντρότητα e , του άξονα της δοκού σε σχέση με αυτόν του υποστυλώματος, στη στήριξη της δοκού, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/4 της κάθετης, ως προς τον άξονα της δοκού, διάστασης (πλάτος) του στηρίζοντος υποστυλώματος (σχ. 2.1).

(γ) Ειδικά για κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCH) πρέπει επί πλέον να ισχύουν

- Απαίτηση ελάχιστου πάχους της δοκού $b_w \geq 200 \text{ mm}$
- Με σκοπό να μπορούν να αγνοούνται φαινόμενα στρέβλωσης θα πρέπει να ικανοποιούνται οι σχέσεις :

- για μόνιμες καταστάσεις $\frac{l_{ot}}{b} \leq \frac{50}{(h/b)^{1/3}}$ και $h/b \leq 2.5$

- για παροδικές καταστάσεις $\frac{l_{0t}}{b} \leq \frac{70}{(h/b)^{1/3}}$ και $h/b \leq 3.5$

όπου

l_{0t} η απόσταση μεταξύ στηρίξεων

h το ύψος της δοκού στο μέσον της l_{0t}

b το πλάτος του θλιβομένου πέλματος

Οι σχέσεις αυτές έχουν κυρίως εφαρμογή (είναι κρίσιμες) στις υψίκορμες (λυγηρές) δοκούς.

Ακόμη, στήριξη δοκού παραπλεύρως του κόμβου θεωρείται ως μη καλή κατασκευαστική διάταξη και θα πρέπει να αποφεύγεται.

2. Κρίσιμες περιοχές δοκών

Στα τμήματα των δοκών αμέσως δίπλα στις παρειές των υποστυλωμάτων υπάρχει συνήθως αυξημένη πιθανότητα σχηματισμού πλαστικής άρθρωσης και έτσι χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες περιοχές. Επί πλέον στις παρειές των υποστυλωμάτων υπάρχει το ενδεχόμενο υπό ορισμένες συνθήκες να παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια σεισμικής διέγερσης αντιστροφή της φοράς της καμπτικής ή και της διατμητικής εντάσεως.

Το μήκος των κρίσιμων περιοχών L_{cr} μιας δοκού καθορίζεται (σχ. 2.2) ως εξής:

Σε κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCM)

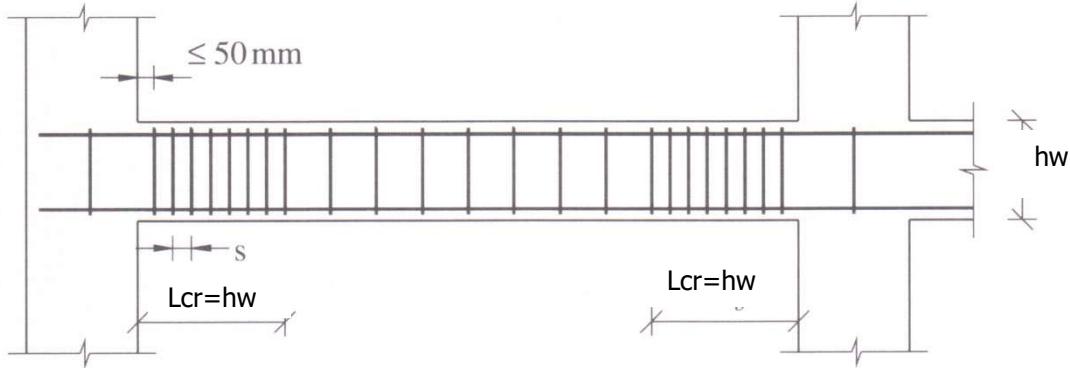
$$L_{cr} = h_w . \quad (2\alpha)$$

Σε κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCH)

$$L_{cr} = 1.5 h_w \quad (2\beta)$$

Με σκοπό να εξασφαλισθεί ικανοποιητική πλαστιμότητα στις περιοχές πιθανών πλαστικών αρθρώσεων καθώς και να καλυφθεί το ενδεχόμενο αντιστροφής της φοράς της καμπτικής ή και της διατμητικής εντάσεως κατά τη διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων προβλέπονται ειδικές διατάξεις για τους οπλισμούς των κρίσιμων περιοχών.

Κρίσιμη περιοχή θεωρείται ακόμη η περιοχή έδρασης μεγάλου συγκεντρωμένου φορτίου, όπως φυτευτό υποστύλωμα. Στη περίπτωση αυτή η κρίσιμη περιοχή λαμβάνεται ίση με 2 φορές το ύψος της δοκού h_w εκατέρωθεν του τμήματος εφαρμογής του συγκεντρωμένου φορτίου. Αυτό εφαρμόζεται σε όλες τις κατασκευές (DCM και DCH).



Σχ. 2.2 Κρίσιμες περιοχές δοκών (κατασκευές DCM)

3. Διαμήκεις οπλισμοί κατά EC8 (2004)

3.1 Γενικά

Ο υπολογισμός των διαμήκων οπλισμών των δοκών βασίζεται στους ελέγχους έναντι κάμψεως.

Από τους ελέγχους έναντι κάμψεως υπολογίζονται:

(α) Οι απαιτούμενοι εφελκυόμενοι οπλισμοί (A_s) στο άνοιγμα στο κάτω μέρος της διατομής και

(β) Οι απαιτούμενοι εφελκυόμενοι οπλισμοί στις στηρίξεις (1 και 2 στο σχ. 2.3) στο άνω μέρος της διατομής ($A_{s,1}$ και $A_{s,2}$ αντίστοιχα) και αν απαιτούνται και οι θλιβόμενοι οπλισμοί στο κάτω μέρος των διατομών 1 και 2 ($A_{s,1}'$ και $A_{s,2}'$, αντίστοιχα στο σχ. 2.3).

Πέραν από τους ελέγχους σε κάμψη τοποθετούνται και πρόσθετοι οπλισμοί από απαιτήσεις-περιορισμούς για ελάχιστους και μέγιστους οπλισμούς και κατασκευαστικές διατάξεις σύμφωνα με την επόμενη παράγραφο.

3.2. Κατασκευαστική διαμόρφωση

1) Για κατασκευές DCM και DCH

Οι παρακάτω απαιτήσεις και κατασκευαστικές διατάξεις ισχύουν για όλες τις κατασκευές (μέσης και υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας).

α) Το ελάχιστο γεωμετρικό ποσοστό εφελκυομένου διαμήκους οπλισμού σε κάθε θέση δίδεται από τη σχέση $\rho_{min} = (1/2)(f_{ctm}/f_{yk})$ (3)

όπου f_{ctm} η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος

f_{yk} η χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή του χάλυβα

Από τη σχέση (3) προκύπτει ο βιοηθητικός πίνακας

$\rho_{min} (\%)$	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
B500C (S500)	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10

β) Στις κρίσιμες περιοχές των δοκών που αποτελούν τις θέσεις στις οποίες υπάρχει πιθανότητα σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων το γεωμετρικό ποσοστό ρ του εφελκυόμενου διαμήκους οπλισμού δεν πρέπει να υπερβαίνει το μέγιστο γεωμετρικό ποσοστό δηλαδή την τιμή ρ_{max} :

$$\rho \leq \rho_{max} = \rho' + (0.0018/\mu_{\phi}\epsilon_{sy,d}) (f_{cd}/f_{yd}) \quad (4)$$

όπου ρ και ρ' το γεωμετρικό ποσοστό του εφελκυόμενου και θλιβομένου οπλισμού της διατομής, αντίστοιχα.

γ) Με σκοπό να εξασφαλισθεί ικανοποιητική πλαστιμότητα στις περιοχές πιθανών πλαστικών αρθρώσεων καθώς και να καλυφθεί το ενδεχόμενο αντιστροφής της φοράς της καμπτικής εντάσεως κοντά στις στηρίξεις κατά τη διάρκεια σεισμικής διέγερσης θα πρέπει μέσα στις κρίσιμες περιοχές να τίθεται θλιβόμενος οπλισμός ρ' (κάτω) τουλάχιστον ίσος με το μισό του εφελκυόμενου οπλισμού ρ (άνω) στην ίδια διατομή επί πλέον του θλιβομένου οπλισμού (ρ'_{apart}) που πιθανώς απαιτείται στη διατομή από τον έλεγχο κάμψης.

Δηλαδή πρέπει να ικανοποιείται η σχέση

$$\rho' \geq \rho'_{apart} + (1/2) \rho \quad (5)$$

όπου

ρ ο συνολικός εφελκυόμενος οπλισμός που τίθεται στη στήριξη (τελικός οπλισμός στήριξης άνω)

ρ'_{apart} ο θλιβόμενος οπλισμός που πιθανώς απαιτείται στη στήριξη και προκύπτει από τον έλεγχο σε κάμψη στις παρειές της στήριξης (απαιτούμενος οπλισμός στήριξης κάτω)

ρ' ο συνολικός θλιβόμενος οπλισμός που τελικά τίθεται στη στήριξη (τελικός οπλισμός στήριξης κάτω)

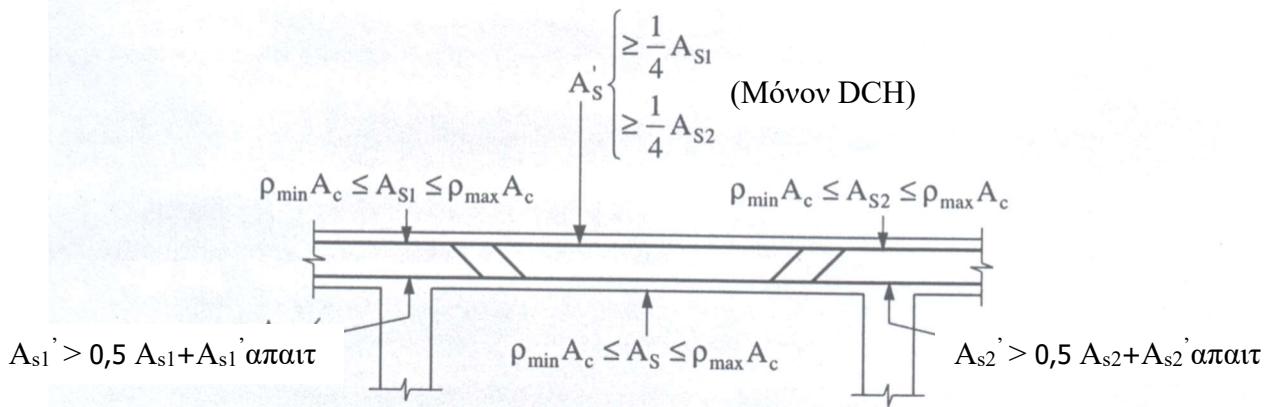
2) Ειδικά για κατασκευές DCH

Ειδικά για τις κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH) και επί πλέον των διατάξεων της προηγούμενης παραγράφου, πρέπει να πληρούνται και οι παρακάτω συνθήκες.

α) Σε όλο το μήκος της δοκού άνω ($A_s^{''\text{ανω}}$) πρέπει να τίθεται τουλάχιστον το 1/4 του μεγαλύτερου από τους οπλισμούς άνω πέλματος (εφελκυόμενοι) των δύο στηρίξεων της δοκού ($A_{s,1}^{''\text{ανω}}$ και $A_{s,2}^{''\text{ανω}}$), δηλαδή :

$$A_s^{\text{ανω}} \geq \max \left\{ \frac{1}{4} A_{s,1}^{\text{ανω}}, \frac{1}{4} A_{s,2}^{\text{ανω}} \right\} \quad (6)$$

β) Σε όλο το μήκος της δοκού άνω και κάτω τίθενται σε κάθε περίπτωση τουλάχιστον 2Ø14 υψηλής συνάφειας.



Σχ. 2.3 Περιορισμοί και κατασκευαστικές διατάξεις διαμήκων οπλισμών σε δοκούς.

3.3. Τοποθέτηση οπλισμού άνω στις στηρίξεις (κατασκευές DCM και DCH)

Σε πλακοδοκούς διατομής Γ ή Γ μονολιθικά συνδεδεμένες με τη πλάκα ο άνω οπλισμός στις στηρίξεις συνιστάται να τοποθετείται εντός του πλάτους του κορμού της δοκού. Μπορεί όμως μέρος του άνω οπλισμού να τοποθετηθεί και έξω από το πλάτος του κορμού της δοκού μέσα στη πλάκα εκατέρωθεν της δοκού. Αν όμως μέρος του άνω οπλισμού τοποθετηθεί πέραν του πλάτους του κορμού δηλαδή εντός της πλάκας, ορίζονται από τη κάθε παρειά του υποστυλώματος (ή της δοκού, οποιοδήποτε βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τον άξονα της δοκού) πλάτος b_a από αριστερά και πλάτος b_δ από δεξιά εντός των οποίων θα τοποθετηθεί ο οπλισμός. Τα πλάτη αυτά, b_a και b_δ , θα πρέπει να ικανοποιούν τα εξής.

(I) Για στήριξη της δοκού επί εσωτερικών υποστυλωμάτων

Το κάθε πλάτος θα είναι 4 φορές το πάχος της πλάκας ($b_a = b_\delta = 4h_f$) εφόσον στη στήριξη υπάρχουν εγκάρσιες δοκοί παρομοίου ύψους.

Το κάθε πλάτος θα είναι 2 φορές το πάχος της πλάκας ($b_a = b_\delta = 2h_f$) εφόσον στη στήριξη δεν υπάρχουν εγκάρσιες δοκοί ή τοιχώματα.

(II) Σε στήριξη της δοκού σε εξωτερικά υποστυλώματα

Το κάθε πλάτος θα είναι 2 φορές το πάχος της πλάκας ($b_a = b_\delta = 2h_f$) εφόσον στη στήριξη υπάρχουν εγκάρσιες δοκοί παρομοίου ύψους και εφ' όσον ο οπλισμός της δοκού αγκυρώνεται εκεί.

Δεν επιτρέπεται ($b_a = b_\delta = 0$) εφόσον στη στήριξη δεν υπάρχουν εγκάρσιες δοκοί ή τοιχώματα. Με άλλη διατύπωση η παραπάνω πρόβλεψη σημαίνει επίσης ότι είναι δυνατόν να συνυπολογισθεί στον άνω οπλισμό των στηρίξεων μιας δοκού, επί πλέον των διαμήκων ράβδων που βρίσκονται μέσα στο πλάτος της δοκού και οι ράβδοι που βρίσκονται στην πλάκα εκατέρωθεν της δοκού και εντός πλάτους από τη παρειά του υποστυλώματος ή της δοκού (οποιοδήποτε βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τον άξονα της δοκού) ίσου με τα μήκη που αναφέρονται παραπάνω.

Σε καμία Όμως περίπτωση το πλάτος που καθορίζεται παραπάνω δεν θα είναι μεγαλύτερο από το συνεργαζόμενο πλάτος δοκού.

4. Οπλισμός διατμήσεως κατά EC2 και EC8

4.1. Γενικά

Ο οπλισμός διατμήσεως στις δοκούς υπολογίζεται με βάση τους ελέγχους έναντι διατμήσεως (EC2).

Επί των ελέγχων έναντι διατμήσεως και ειδικά για τις κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH) προβλέπονται στον EC8 ειδικοί περιορισμοί.

Ο οπλισμός διατμήσεως αποτελείται κυρίως από συνδετήρες αλλά στον Ευρωκώδικα 2 επιτρέπεται και η χρήση συνδυασμού συνδετήρων και λοξών ράβδων. Οι οπλισμοί διατμήσεως που τελικά τοποθετούνται θα πρέπει να ικανοποιούν και κάποιες ελάχιστες απαιτήσεις (γενικοί περιορισμοί). Εκτός από τους γενικούς περιορισμούς οι οποίοι ισχύουν γενικά σε όλο το μήκος του στοιχείου, υπάρχουν και οι ειδικοί περιορισμοί που ισχύουν μόνο για τους οπλισμούς διατμήσεως στις κρίσιμες περιοχές. Σε αυτές ισχύουν αυστηρότεροι περιορισμοί διότι εκεί κατά τη διάρκεια των σεισμικών διεγέρσεων υπάρχει μεγάλη πιθανότητα δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων.

Ο οπλισμός διάτμησης γενικά εκφράζεται από το γεωμετρικό ποσοστό ρ_w το οποίο ορίζεται με τη σχέση

$$\rho_w = A_{sw}/(s b_w \sin \alpha) \quad (7\alpha)$$

στη συνήθη περίπτωση που τοποθετούνται μόνο συνδετήρες κάθετοι στον άξονα της δοκού (δ ηλαδή $\alpha = 90^\circ$) η σχέση (7α) παίρνει τη συνήθη μορφή

$$\rho_w = A_{sw}/(s b_w) \quad (7\beta)$$

όπου

ρ_w το γεωμετρικό ποσοστό των οπλισμών διάτμησης

A_{sw} το συνολικό εμβαδόν των συνδετήρων που υπάρχουν μέσα σε μήκος s

s η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οπλισμών διάτμησης (συνδετήρων) μετρούμενη επί του άξονα της δοκού

b_w το πλάτος της δοκού

α η γωνία μεταξύ οπλισμού διάτμησης και του άξονα της δοκού

4.2. Γενικοί περιορισμοί των οπλισμών διατμήσεως των δοκών (DCM και DCH)

Οι γενικοί περιορισμοί που αναφέρονται σε αυτή την παράγραφο ισχύουν για όλες τις κατασκευές (μέσης και υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας).

(α) Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης

Πρέπει σε κάθε περίπτωση και σε κάθε θέση ο υφιστάμενος οπλισμός διάτμησης ρ_w , να είναι τουλάχιστον ίσος με τον ελάχιστο οπλισμό $\rho_{w,min}$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min} = 0.08(\sqrt{f_{ck}} / f_{yk}) \quad (8)$$

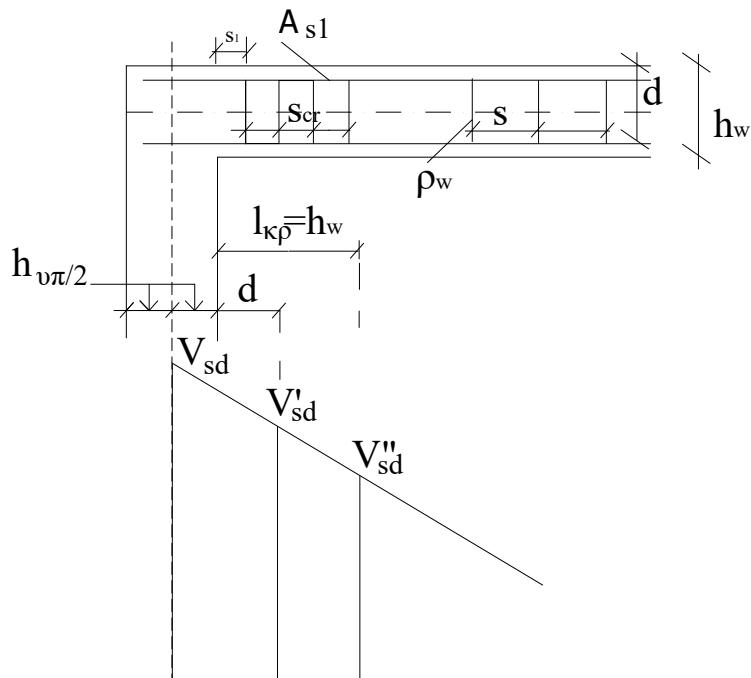
όπου f_{ck} η χαρακτηριστική τιμή αντοχής σε θλίψη του σκυροδέματος
 f_{yk} η χαρακτηριστική τιμή αντοχής σε εφελκυσμό του χάλυβα

(β) Θέση του πρώτου συνδετήρα

Ο πρώτος συνδετήρας της δοκού μετά τη παρειά του υποστυλώματος πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση s_1 από την παρειά όχι μεγαλύτερη από 50 mm, $s_1 < 50$ mm.

(γ) Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρα

Η διάμετρος των συνδετήρων d_{bw} που χρησιμοποιούνται δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι μικρότερη από 6 mm : $d_{bw} \geq 6$ mm



Σχ. 2.4 Περιορισμοί οπλισμών διάτμησης (συνδετήρων) σε δοκού

4.3. Περιορισμοί των οπλισμών διατμήσεως στη κρίσιμη περιοχή

Κατασκευές DCM. Για κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων s_{cr} μέσα στη κρίσιμη περιοχή πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από την μέγιστη επιτρεπτή απόσταση s_{max} που δίδεται από τη σχέση

$$s_{cr} \leq s_{max} = \min \begin{cases} h_w / 4 \\ 24 d_{bw} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 d_{bL} \end{cases} \quad (9a)$$

όπου

h_w το ύψος της δοκού

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

d_{bL} η ελαχίστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

Κατασκευές DCH. Για κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων s_{cr} στην κρίσιμη περιοχή πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από την μέγιστη επιτρεπτή απόσταση s_{max} που δίδεται από τη σχέση.

$$s_{cr} \leq s_{max} = \min \begin{cases} h_w / 4 \\ 24 d_{bw} \\ 175 \text{ mm} \\ 6 d_{bL} \end{cases} \quad (9b)$$

όπου

h_w το ύψος της δοκού

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

d_{bL} η ελαχίστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

4.4. Ειδικοί περιορισμοί των ελέγχων διατμήσεως σε κατασκευές DCH

Ο υπολογισμός των οπλισμών διατμήσεως γίνεται με βάση τους ελέγχους έναντι διατμήσεως (EC2). Ειδικά όμως για τις κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCH) υπάρχουν επί πλέον οι παρακάτω περιορισμοί οι οποίοι θα πρέπει να ικανοποιούνται.

(α) Κλίση θλιπτήρα θ

Στις κρίσιμες περιοχές των δοκών η κλίση θ του θλιπτήρα πρέπει να λαμβάνεται $\theta = 45^\circ$

(β) Τοποθέτηση δισδιαγώνιου οπλισμού

Στη περίπτωση που προβλέπεται σχεδόν πλήρης αντιστροφή της δρώσας τέμνουνσας δύναμης και ταυτόχρονα οι τιμές που λαμβάνει αυτή είναι μεγάλες θα πρέπει να προβλέπεται η τοποθέτηση δισδιαγωνίου οπλισμού. Προς το σκοπό αυτό εξετάζεται η αλγεβρική τιμή του

λόγου της ελάχιστης δρώσας τέμνουσας δύναμης ($V_{Ed,min}$) προς τη μέγιστη δρώσα τέμνουσα δύναμη ($V_{Ed,max}$), δηλαδή του λόγου

$$\zeta = V_{Ed,min} / V_{Ed,max} \quad (10)$$

Αν $\zeta < -0.5$

δηλαδή όταν αναμένεται σχεδόν πλήρης αντιστροφή των τεμνουσών δυνάμεων κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης σχεδιασμού και ταυτόχρονα ισχύει η σχέση

$$|V_E|_{max} > (2+\zeta) f_{ctd} b_w d \quad (11)$$

θα πρέπει να τίθεται δισδιαγώνιος οπλισμός και συνδετήρες.

Δηλαδή διατάσσεται λοξός οπλισμός σε δύο διευθύνσεις (δισδιαγώνιος)

- είτε σε γωνίες $\pm 45^\circ$ ως προς τον άξονα της δοκού
- είτε κατά τις διευθύνσεις των διαγωνίων της δοκού

και πρέπει ο λοξός και οι συνδετήρες να παραλάβουν ίση τέμνουσα:

ο λοξός οπλισμός να παραλαμβάνει τέμνουσα ίση με $(1/2) |V_E|_{max}$

και οι συνδετήρες επίσης τέμνουσα ίση με $(1/2) |V_E|_{max}$

και άρα ο υπολογισμός του δισδιαγώνιου οπλισμού γίνεται ως εξής:

$$1/2 |V_E|_{max} \leq 2 A_s f_y \sin \alpha \rightarrow A_s \geq \frac{|V_E|_{max}}{4f_y \sin \alpha}$$

A_s το εμβαδόν του λοξού οπλισμού στη μια διεύθυνση

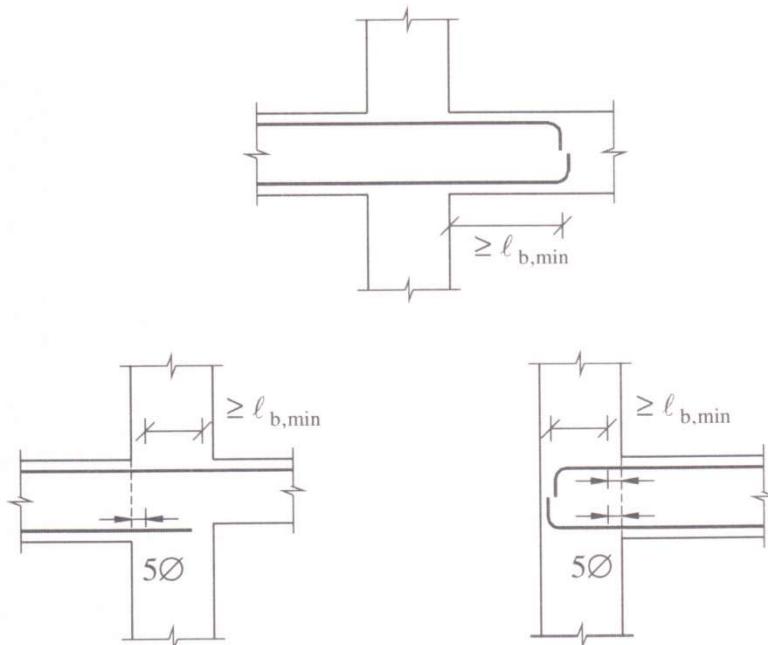
α η γωνία του λοξού οπλισμού και του άξονα της δοκού ($\alpha=45^\circ$ ή $\tan \alpha \sim (d-d')/l_b$ όπου l_b το μήκος της δοκού)

5. Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού στις στηρίζεις

Στις ενδιάμεσες στηρίζεις οι διαμήκεις οπλισμοί, άνω και κάτω πρέπει να συνεχίζουν, ευθύγραμμα, πέρα από τη στήριξη, στο επόμενο άνοιγμα και για μήκος τουλάχιστον ίσο με τη κρίσιμη περιοχή της δοκού L_{cr} . Το συνολικό μήκος αγκύρωσης ακολουθεί τις διατάξεις περί αγκυρώσεων ($l_{b,net}$).

Το μήκος αγκύρωσης των οπλισμών της δοκού μέσα σε κόμβο αρχίζει και μετράται

- σε κατασκευές DCM από την παρειά του κόμβου
- σε κατασκευές DCH μετά από απόσταση ίση με $5d_{bL}$ από την παρειά, όπου d_{bL} η διάμετρος του οπλισμού.



Σχ. 2.5 Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

Η αστοχία από συνάφεια των διαμήκων ράβδων που διέρχονται μέσα από σώμα του κόμβου εξασφαλίζεται όταν η διάμετρος d_{bL} των οπλισμών αυτών ικανοποιεί την ακόλουθη συνθήκη:

- Για εσωτερικούς κόμβους

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7.5f_{ctm}}{\gamma_{Rd}f_{yd}} \cdot \frac{1+0.8v_d}{1+0.75k_D(\frac{\rho'}{\rho_{max}})} \quad (12)$$

Η απαίτηση αυτή είναι σχετικά αυστηρή και πολλές φορές έχει ως αποτέλεσμα:

- (α) Να είναι κρίσιμη για τον καθορισμό του μήκους του κόμβου και άρα να επηρεάζεται και ο καθορισμός της αντίστοιχης διάστασης του υποστυλώματος.
- (β) Να μην είναι ευχερής η χρήση οπλισμών μεγάλης διαμέτρου στις δοκούς (καταλήγει στην χρήση οπλισμών μικρής διαμέτρου στις δοκούς).

- Για εξωτερικούς κόμβους

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7.5f_{ctm}}{\gamma_{Rd}f_{yd}} \cdot (1 + 0.8v_d) \quad (13)$$

όπου

h_c η διάσταση του υποστυλώματος παράλληλα προς τη ράβδο

f_{ctm} η μέση τιμή της αντοχής του σκυροδέματος σε εφελκυσμό

f_{yd} η σχεδιαστική αντοχή διαρροής του χάλυβα

$k_D = 2/3$ για κατασκευές DCM

$= 1.0$ για κατασκευές DCH

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος, η μικρότερη για συνδυασμό δράσεων με σεισμό $v_d = N_{Ed} / f_{cd} A_c$

ρ' ποσοστό θλιβομένων διαμήκων ράβδων στο κόμβο

ρ_{max} μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυστικού οπλισμού

γ_{Rd} = 1.0 για κατασκευές DCM

= 1.2 για κατασκευές DCH (λόγω υπεραντοχής από τη κράτυνση του διαμήκους οπλισμού της δοκού)

Στις ακραίες στηρίξεις αν η απαίτηση της σχέσης (13) δεν είναι δυνατό να ικανοποιηθεί λόγω των διαστάσεων του κόμβου (μικρό μήκος h_c) τότε:

(α) Είναι δυνατόν να υλοποιηθεί ήβωση (επέκταση) υπό μορφή μικρού προβόλου προς τα έξω της δοκού ώστε να αυξηθεί η αντίστοιχη διάσταση του κόμβου (η διάσταση h_c) και έτσι να ικανοποιείται η σχέση (13).

(β) Είναι δυνατόν οι ράβδοι να καμφθούν προς το εσωτερικό του κόμβου με ελάχιστο μήκος μετά την κάμψην ίσο με $10d_{bL}$. Σε αυτή την περίπτωση τοποθετούνται κοντά στο εσωτερικό μέρος της καμπύλης κάμψης των ράβδων και εγκάρσιοι οπλισμοί με $d_{bw} > 0.6 d_{bL}$.

Η διάμετρος τυμπάνου κάμψης σε περίπτωση καμπτόμενων οπλισμών υπολογίζεται ως εξής :

(α) έχει ως ελάχιστες τιμές

$$4\emptyset \text{ αν } \emptyset \leq 16 \text{ mm και } 7\emptyset \text{ αν } \emptyset > 16 \text{ mm} \quad (14)$$

Οι τιμές αυτές επαρκούν μόνον αν ικανοποιούνται τα εξής:

- Η αγκύρωση έχει συνολικό μήκος τόσον ώστε μετά το άκρο της κάμψης να απαιτείται επί πλέον μήκος το πολύ μέχρι $5\emptyset$.

- Το επίπεδο κάμψης της ράβδου δεν είναι κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος και έχουν τοποθετηθεί κοντά στο εσωτερικό μέρος της καμπύλης κάμψης και εγκάρσιοι οπλισμοί.

(β) Αν δεν είναι επαρκείς οι ελάχιστες τιμές που δίδονται από τις σχέσεις (14) τότε η διάμετρος τον τυμπάνου κάμψης $\emptyset_{m,min}$ δίδεται από τη σχέση:

$$\emptyset_{m,min} \geq F_{bt} \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\emptyset} \right) / f_{cd}$$

Όπου

F_{bt} η εφελκυστική δύναμη της ράβδου (που αγκυρώνεται) στην αρχή της καμπύλωσης υπό τα φορτία αστοχίας

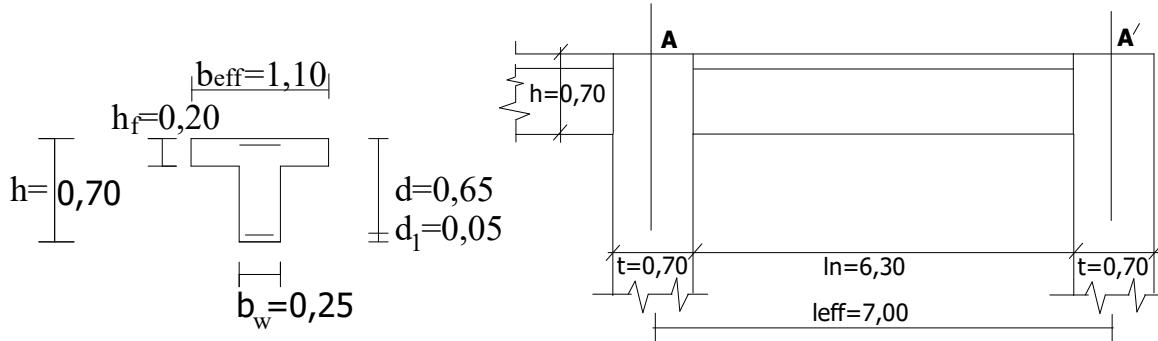
a_b το μισό της απόστασης μεταξύ των ράβδων από κέντρο σε κέντρο. Αν είναι κοντά στην επιφάνεια τότε ως a_b λαμβάνεται η επικάλυψη αυξημένη κατά $\emptyset/2$.

8. Εφαρμογή - Σχεδιασμός δοκού

Στο παρακάτω σχ. 8.1 φαίνεται μεσαίο πλαίσιο συνήθους κατασκευής κατοικιών κατηγορίας πλαστιμότητας DCM. Οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων είναι 70/30 cm ενώ οι αρχικές διαστάσεις της τυπικής δοκού είναι $b_w/h = 25/70$ cm και δίδονται στο σχ. 8.1.

Η δοκός είναι μεσαία και απέχει από την προηγούμενη και την επόμενη 5m (καθαρό άνοιγμα).

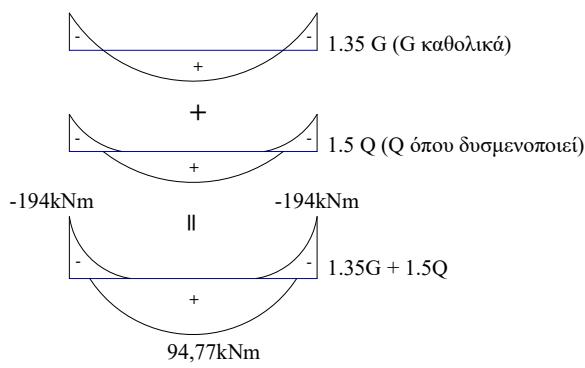
Η κατηγορία εδάφους είναι B (κατά EC8).



Σχ. 8.1 Μεσαίο πλαίσιο συνήθους κατασκευής κατοικιών. Γεωμετρία πλαισίου.

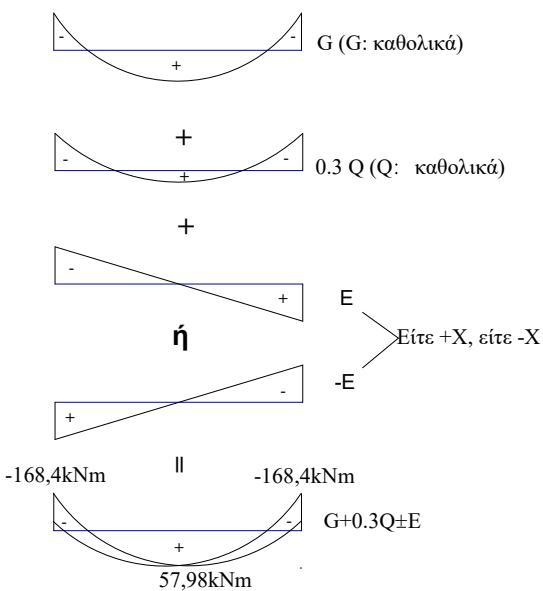
O.K.A. Χωρίς σεισμό:

1.35 G + 1.5Q (Q: εναλλακτά)



O.K.A. Με σεισμό:

G + 0.3 Q±E (Q : καθολικά)

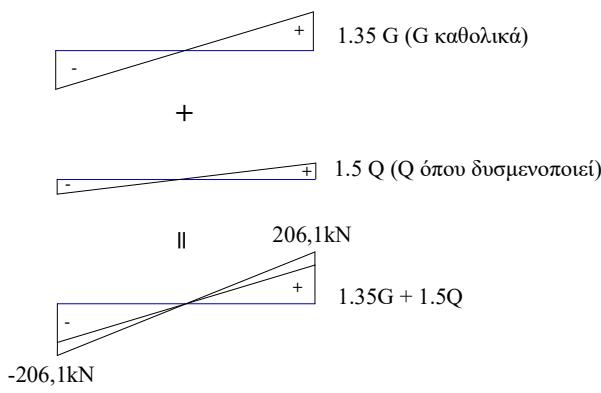


Σχ. 8.2 Οι οριακές τιμές των εντατικών μεγεθών ροπών κάμψης της δοκού A-A' όπως αντές προκύπτουν, εν γένει, από τις αναλύσεις του δομικού συστήματος για συνήθεις και σεισμικές

δράσεις (οι τιμές στις στηρίξεις αντιστοιχούν στις παρειές των υποστηλωμάτων)

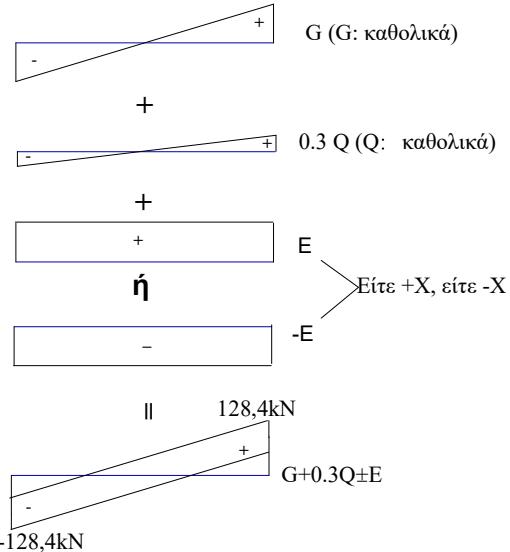
O.K.A. Χωρίς σεισμό:

$1.35 G + 1.5Q$ (Q: εναλλακτά)



O.K.A. Με σεισμό:

$G + 0.3 Q \pm E$ (Q : καθολικά)



Σχ. 8.3 Οι οριακές τιμές των εντατικών μεγεθών τεμνουσών δυνάμεων της δοκού A-A' όπως αυτές προκύπτουν, εν γένει, από τις αναλύσεις του δομικού συστήματος για συνήθεις και σεισμικές δράσεις(οι τιμές στις στηρίξεις αντιστοιχούν στις παρειές των υποστηλωμάτων)

Δεδομένα:

Εντατικά Μεγέθη: Τα εντατικά μεγέθη της δοκού A-A' όπως αυτά προέκυψαν από αναλύσεις του δομικού συστήματος για συνήθεις και σεισμικές δράσεις δίδονται στα σχ. 8.2 και σχ. 8.3.

Υλικά : Σκυρόδεμα C30 – Χάλυβας B500C (S500)

Κανονισμοί: Ευρωκώδικες EC2 & EC8.

Ζητούνται:

Ο πλήρης σχεδιασμός της δοκού A-A'.

Επίλυση

1. Θεωρητικό άνοιγμα

Ο υπολογισμός του θεωρητικού ανοίγματος γίνεται σύμφωνα με τον EC2.

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$$

όπου

$$l_n \quad \text{το καθαρό άνοιγμα ανάμεσα στις δυο παρειές των στηρίξεων A και A', } \quad l_n=6,30m \\ \text{στην ακραία στήριξη A': } a_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} (1/2)h=(1/2)0,70 \\ (1/2)t=(1/2)0,70 \end{array} \right\} = 0,350 \text{ m}$$

$$\text{στη μεσαία στήριξη } A : a_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} (1/2)h = (1/2)0,70 \\ (1/2)t = (1/2)0,70 \end{array} \right\} = 0,350 \text{ m}$$

όπου h το ύψος της διατομής της δοκού $h = 0,70 \text{ m}$
 t το πλάτος του υποστηλώματος της στήριξης $t = 0,70 \text{ m}$

Άρα

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2 = 6,30 + 0,350 + 0,350 = 7,00 \text{ m}$$

Με βάση αυτό το θεωρητικό άνοιγμα υπολογίζονται στα σχ. 8.2 και σχ. 8.3 τα εντατικά μεγέθη στα κέντρα των υποστηλωμάτων και δίδονται τελικά, κατόπιν αναγωγής, στις παρειές των υποστηλωμάτων.

2. Φορτία

a. Μόνιμα φορτία

Δίδεται $G=32 \text{ kN/m}$

β. Μεταβλητά φορτία

Δίδεται $Q=10 \text{ kN/m}$

3. Υπολογισμός διαμήκους οπλισμού (οπλισμός κάμψης)

3.1 Συνδυασμός φορτίσεων - Ροπές σχεδιασμού (Σχ. 8.2)

Συνδυασμοί φορτίσεων

1ος Συνδυασμός (χωρίς σεισμό) : $M_{sd} = \gamma_g M_g + \gamma_q M_q$

όπου $\gamma_g = 1.35$ για δυσμενή επιρροή και 1.00 για ευνοϊκή επιρροή

$\gamma_q = 1.50$ για δυσμενή επιρροή και 0.00 για ευνοϊκή επιρροή

2ος και 3ος Συνδυασμός (με σεισμό) : $M_{sd} = M_g + \psi_2 M_q \pm M_E$

όπου $\psi_2 = 0.30$ τιμή μεταβλητών φορτίων για χρόνια δράση

Ροπές σχεδιασμού

Άνοιγμα:

α) Από συνδυασμό δράσεων χωρίς σεισμό:

$$M_{sd} = 94,77 \text{ kNm}$$

β) Από συνδυασμό δράσεων με σεισμό:

$$M_{sd} = 57,98 \text{ kNm}$$

Στήριξη A και A' :

α) Από συνδυασμό δράσεων χωρίς σεισμό:

$$M_{A, sd} = -194,00 \text{ kNm}$$

β) Από συνδυασμό με σεισμό:

$$M_{A,sd} = -168,40 \text{ kNm}$$

3.2. Έλεγχος σε κάμψη

3.2.1. Άνοιγμα

Ροπή σχεδιασμού

Η ροπή σχεδιασμού στο άνοιγμα προέρχεται από συνδυασμούς χωρίς σεισμό και είναι: $M_{sd} = 94,77 \text{ kNm}$. Άρα η δοκός λειτουργεί στο άνοιγμα ως πλακοδοκός και οπλίζεται με βάση τη μέγιστη ροπή.

Συνεργαζόμενο πλάτος

Το συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού b_{eff} για όλες τις οριακές καταστάσεις υπολογίζεται προσεγγιστικά ως

$$b_{eff} = b_w + l_0 / 5 = b_w + 0,6l_{eff} / 5 = 0,25 + 0,6 * 7 / 5 = 1,10 \text{ m}$$

Υπολογισμός οπλισμού

Με χρήση του πίνακα CEB για τον σχεδιασμό των πλακοδοκών υπολογίζεται το μ_{sd} και το μ_{lim} ελέγχεται αν χρειάζεται θλιβόμενος οπλισμός και κατόπιν υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού ως εξής:

$$h_f/d = 20/65 = 0,30$$

$$b_{eff} / b_w = 110/25 = 4,4$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff}d^2f_{cd}} = \frac{0.09477\text{MNm}}{1.10 \cdot 0.65^2 \frac{30}{1.5}} = 0,01 \quad \left. \right\} \omega = 21/1000, \mu_{sd} = 0,01 < \mu_{lim} = 0.236$$

οπότε απαιτείται μόνο εφελκυόμενος οπλισμός (κάτω), ίσος με:

$$A_{sl} = \omega bd \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{21}{1000} 110 \cdot 65 \frac{30/1.5}{500/1.15} = 6,91 \text{ cm}^2$$

Άρα, τοποθετείται κάτω οπλισμός 4Ø16 ($8,04 \text{ cm}^2$).

3.2.2. Στηρίξεις Α και Α'

Οπλισμός άνω

Οι ροπές σχεδιασμού των στηρίξεων Α και Α' λαμβάνονται μετά από σύγκριση των ροπών που προκύπτουν από όλους τους συνδυασμούς φορτίσεων:

από συνδυασμό χωρίς σεισμό: $M_{A,sd} = M_{A',sd} = -194,00 \text{ kNm}$

από συνδυασμούς με σεισμό: $M_{A,sd} = M_{A',sd} = -168,4 \text{ kNm}$

και άρα η τελική ροπή σχεδιασμού των στηρίξεων Α και Α' είναι:

$$M_{A,sd} = M_{A',sd} = -194,00 \text{ kNm}$$

ενώ για θετική ροπή σχεδιασμού δεν θα γίνει έλεγχος καθώς δεν προέκυψε θετική ροπή κατά τον υπολογισμό των συνδυασμών φορτίσεων και η τοποθέτηση των οπλισμών καλύπτεται σε κάθε περίπτωση από τον οπλισμό που τοποθετείται κάτω στις στηρίζεις λόγω των περιορισμών του κανονισμού.

Η δοκός συμπεριφέρεται ως ορθογωνική διατομή.

Με χρήση των πινάκων CEB για τον σχεδιασμό ορθογωνικών διατομών

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 f_{cd}} = \frac{194}{0.25 \cdot 65^2 \frac{30 \cdot 10^3}{1.5}} = 0,0961 < \mu_{lim} = 0.316$$

$$A_{s1} = \omega b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0961 \cdot 25 \cdot 65 \frac{30/1.5}{500/1.15} = 7,18 \text{ cm}^2$$

τοποθετούνται 4Ø16 (8,04 cm²)

Οπλισμός κάτω

Ο οπλισμός κάτω, ω' , υπολογίζεται με βάση τον περιορισμό $\omega' \geq 0.5\omega$ και άρα: $\omega' \geq 0.5 \omega \rightarrow A_{s2} \geq 8,04/2 \rightarrow A_{s2} \geq 4,02 \text{ cm}^2$

3.3. Ελάχιστος, μέγιστος και κατασκευαστικός οπλισμός

Οι οπλισμοί που έχουν ήδη υπολογισθεί στις κρίσιμες διατομές της δοκού, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να μην είναι λιγότεροι σε ποσότητα από τους ελάχιστους αλλά ούτε περισσότεροι από τους μέγιστους επιτρεπόμενους όπως αυτοί ορίζονται στον EC2.

Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός

Από τη σχέση $\rho_{min} = \frac{1}{2} \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$ για C30 και S500 : $\rho_{min} = 2.90 \text{ \%}$

$$\text{Άρα } minA_{s1} = 0.0029 \cdot 25 \cdot 65 = 4,71 \text{ cm}^2 (2Ø16=4,02 \text{ cm}^2 < 4,71 \text{ cm}^2)$$

Επομένως σε άνω παρειά στο άνοιγμα και κάτω παρειά στη στήριξη με βάση την απαίτηση ελάχιστου οπλισμού πρέπει τοποθετηθούν 4,71 cm² και επειδή χρησιμοποιούνται παντού Ø16 τοποθετούνται τελικά 3Ø16 (6,03 cm²)

Μέγιστος διαμήκης οπλισμός

- Για κρίσιμες περιοχές και C30 , B500C

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0.0018}{\mu_{\varphi} \varepsilon_{sy,d}} \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0.0018}{3.9 \cdot (500/1.15)/200000} \frac{30/1.5}{500/1.15} = 0.00977 = 9,77 \text{ \%}$$

όπου $\rho' = 0$ (δυσμενής περίπτωση)

$\mu_{\varphi} = 3.9$ έστω ότι πρόκειται για πλαισιωτό πολυώροφο πολύστυλο δομικό σύστημα

- Για μη κρίσιμες περιοχές $\Rightarrow \rho_{max} = 4.0 \text{ \%}$

Επομένως

- Κρίσιμες περιοχές $A_{s,max} = 0.00977 \cdot 25 \cdot 65 = 15,88 \text{ cm}^2 < 8,04 \text{ cm}^2$

- Μη κρίσιμες περιοχές $A_{s,max} = 0.04 \cdot 25 \cdot 65 = 65,00 \text{ cm}^2 < 8,04 \text{ cm}^2$

3.4. Τελικοί οπλισμοί κάμψης

Με βάση τους απαιτούμενους οπλισμούς που υπολογίσθηκαν παραπάνω και τις απαιτήσεις των Ευρωκωδίκων (EC2 και EC8), οι τελικοί οπλισμοί της δοκού είναι:

Στήριξη Α και Α':

Άνω => 4Ø16 ($8,04 \text{ cm}^2$)

Κάτω => 3Ø16 ($6,03 \text{ cm}^2$)

Άνοιγμα:

Άνω => 3Ø16 ($6,03 \text{ cm}^2$)

Κάτω => 4Ø16 ($8,04 \text{ cm}^2$)

4. Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

4.1 Κρίσιμες περιοχές

Οι περιοχές πρωτεύουσας σεισμικής δοκού σε μήκος $l_{cr} = h_w$ από την ακραία διατομή που η δοκός συνδέεται με κόμβο δοκού-υποστυλώματος πρέπει να θεωρούνται ως κρίσιμες περιοχές. Άρα, στην εξεταζόμενη δοκό κρίσιμες περιοχές θεωρούνται τα τμήματα:

- Τμήμα μήκους $l_{cr} = 0,70 \text{ m}$ στη δεξιά παρειά της στήριξεως Α.
- Τμήμα μήκους $l_{cr} = 0,70 \text{ m}$ στην αριστερή παρειά της στήριξεως Α'.

4.2 Συνδυασμοί φορτίσεων - Τέμνουσες σχεδιασμού (Σχ. 8.3)

4.2.1 Τέμνουσες από συνδυασμούς φορτίσεων

1ος Συνδυασμός (χωρίς σεισμό): $V_{sd} = \gamma_g V_g + \gamma_q V_q$ ($\gamma_g = 1.35, \gamma_q = 1.50$)

2ος και 3ος Συνδυασμός (με σεισμό): $V_{sd} = V_g + \psi_2 V_q \pm V_E$ ($\psi_2 = 0.30$)

Στήριξη Α και Α':

a) Από συνδυασμό δράσεων χωρίς σεισμό στις παρειές των υποστηλωμάτων

$V_{A,sd} = -206,10 \text{ kN}$

- Σε απόσταση $d = 0,65 \text{ m}$ από την παρειά των υποστηλωμάτων

$$V_{A,sd}^d = V_{A,sd} + [d](1,35G + 1,50Q) = -206,10 + [0,65] \cdot (1,35 \cdot 32 + 1,50 \cdot 10) = -168,27 \text{ kN}$$

- Σε απόσταση $h = 0,70 \text{ m}$ από την παρειά των υποστηλωμάτων

$$V_{A,sd}^h = V_{A,sd} + [h](1,35G + 1,50Q) = -206,10 + [0,70] \cdot (1,35 \cdot 32 + 1,50 \cdot 10) = -165,36 \text{ kN}$$

a) Από συνδυασμό δράσεων με σεισμό στις παρειές των υποστηλωμάτων

$$V_{A,sd} = -128,40 \text{ kN}$$

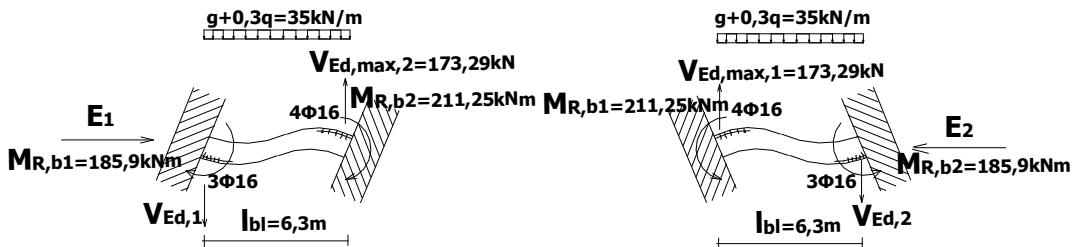
- Σε απόσταση $d = 0,65 \text{ m}$ από την παρειά των υποστηλωμάτων

$$V_{A,sd}^d = V_{A,sd} + [d](G + 0,3Q) = -128,40 + [0,65] \cdot (32 + 0,3 \cdot 10) = -105,65 \text{ kN}$$

- Σε απόσταση $h = 0,70 \text{ m}$ από την παρειά των υποστηλωμάτων

$$V_{A,sd}^h = V_{A,sd} + [h](G + 0,3Q) = -128,40 + [0,70] \cdot (32 + 0,3 \cdot 10) = -103,90 \text{ kN}$$

4.2.2. Τέμνουσες από Ικανοτικό σχεδιασμό



Σχ. 8.4 Υπολογισμός ικανοτικών τεμνουσών δοκού

Υπολογισμός της $V_{0,i}$ (τέμνουσα της δοκού υπό τα φορτία $G + 0,3Q$)

$$V_{0,i} = \frac{(G + 0,3Q)l_{bl}}{2} = \frac{(32 + 10 \cdot 0,3) \cdot 6,30}{2} = 110,25 \text{ kN}$$

Υπολογιστικές αντοχές για \vec{E}

Προσδιορίζονται οι υπολογιστικές αντοχές $M_{id,1}$, $M_{id,2}$ (με συντελεστές ασφαλείας), όπως αυτές ενεργοποιούνται για σεισμική δράση με φορά από αριστερά προς δεξιά (\vec{E}).

Στο άκρο 1 (στήριξη A) η δοκός λειτουργεί ως πλακοδοκός με εφελκυόμενο οπλισμό $3\varnothing 16(6,03 \text{ cm}^2)$. Από τον πίνακα της CEB για πλακοδοκούς προκύπτει ότι:

$$\left. \begin{aligned} 1000\omega &= \frac{1000 A_{sl}}{b_{eff}d} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{1000 \cdot 6,03}{110 \cdot 65} \frac{500/1.15}{30/1.5} = 18,33 \\ h_f / d &= 20/65 = 0,3 \\ b_{eff} / b_w &= 110/25 \cong 5 \end{aligned} \right\} \mu_{Rd} = 0,02$$

$$\xrightarrow{\text{Αρα}} M_{Rb,1} = \mu_{Rd} b_{eff} d^2 f_{cd} = 0,02 \cdot 1,10 \cdot 0,65^2 \cdot 0,30 \cdot 10^3 / 1,50 = 185,9 \text{ kNm}$$

Στο άκρο 2 (στήριξη A') η δοκός λειτουργεί ως ορθογωνική δοκός με εφελκυόμενο οπλισμό $4\varnothing 16(8,04 \text{ cm}^2)$. Από τους πίνακες CEB για ορθογωνική διατομή προκύπτει:

$$\omega = \frac{A_{sl}}{bd} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{8,04}{25 \cdot 65} \frac{500/1.15}{30/1.5} = 0,108 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,10$$

$$\xrightarrow{\text{Αρα}} M_{Rb,2} = \mu_{Rd} b d^2 f_{cd} = 0,10 \cdot 0,25 \cdot 0,65^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,50 = 211,25 \text{ kNm}$$

Θεωρώντες επί το δυσμενέστερον ότι $\Sigma M_{Rc} \geq \Sigma M_{Rb}$ προκύπτει ότι οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται από τις σχέσεις (4α) του Α κεφαλαίου:

$$M_{1d} = M_{Rb,1} = 185,90 \text{ kNm}$$

$$M_{2d} = M_{Rb,2i} = 211,25 \text{ kNm}$$

Επομένως

$$\Delta V_{Ed,max,i} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_{bl}} = \frac{185,90 + 211,25}{6,30} = 63,04 \text{ kN}$$

$$\text{και τέλος } V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + \Delta V_{Ed,max,i} = 110,25 + 63,04 = 173,29 \text{ kN}$$

Υπολογιστικές αντοχές για Ε

Προσδιορίζονται οι υπολογιστικές αντοχές $M_{id,1}$, $M_{i,d,2}$ (με συντελεστές ασφαλείας), όπως αυτές ενεργοποιούνται για σεισμική δράση με φορά από δεξιά προς αριστερά (Ε).

Στο άκρο 1 (στήριξη Α) η δοκός λειτουργεί ως ορθογωνική δοκός με εφελκυόμενο οπλισμό $4\varnothing 16$ ($8,04 \text{ cm}^2$). Από τους πίνακες CEB για ορθογωνική διατομή προκύπτει:

$$\omega = \frac{A_{sl}}{bd} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{8,04}{25 \cdot 65} \frac{500/1.15}{30/1.5} = 0,108 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,10$$

$$\text{Αρα } M_{Rb,1} = \mu_{Rd} bd^2 f_{cd} = 0,10 \cdot 0,25 \cdot 0,65^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,50 = 211,25 \text{ kNm}$$

Στο άκρο 2 (στήριξη Α') η δοκός λειτουργεί ως πλακοδοκός με εφελκυόμενο οπλισμό $3\varnothing 16$ ($6,03 \text{ cm}^2$). Από τον πίνακα της CEB για πλακοδοκούς προκύπτει ότι:

$$1000\omega = \frac{1000 A_{sl}}{b_{eff}d} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{1000 \cdot 6,03}{110 \cdot 65} \frac{500/1.15}{30/1.5} = 18,33$$

$$\left. \begin{array}{l} h_f / d = 20/65 = 0,3 \\ b_{eff} / b_w = 110/25 \approx 5 \end{array} \right\} \mu_{Rd} = 0,02$$

$$\text{Αρα } M_{Rb,2} = \mu_{Rd} b_{eff} b^2 f_{cd} = 0,02 \cdot 1,10 \cdot 0,65^2 \cdot 0,30 \cdot 10^3 / 1,50 = 185,9 \text{ kNm}$$

Θεωρώντες επί το δυσμενέστερον ότι $\Sigma M_{Rc} \geq \Sigma M_{Rb}$ προκύπτει ότι οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται από τις σχέσεις (4α) του Α κεφαλαίου:

$$M_{1d} = M_{Rb,1} = -211,25 \text{ kNm}$$

$$M_{2d} = M_{Rb,2i} = -185,90 \text{ kNm}$$

Επομένως

$$\Delta V_{Ed,min,i} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_{bl}} = -\frac{211,25 + 185,90}{6,30} = -63,04 \text{ kN}$$

$$\text{και τέλος } V_{Ed,min,i} = V_{0,i} + \Delta V_{Ed,min,i} = 110,25 - 63,04 = 47,21 \text{ kN}$$

Τελικές υπολογιστικές αντοχές στην παρειά των υποστηλωμάτων

Τελικά από τις φορτίσεις Ε και Ε' προκύπτουν οι τιμές

$$V_{Ed,max,i} = 173,29 \text{ kN} \text{ και } V_{Ed,min,i} = 47,21 \text{ kN}$$

4.3. Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

Οι διαστάσεις του κορμού πρέπει να είναι τέτοιες ώστε η παρακάτω σχέση να ικανοποιείται σε όλο το μήκος της δοκού.

Πρέπει $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$

όπου

V_{Ed} η τέμνουσα σχεδιασμού στην διατομή παρειάς (δράση)

$V_{Rd,max}$ η αντοχή σχεδιασμού του λοξού θλιπτήρα

Ο έλεγχος απαιτείται να ικανοποιείται με τις δυσμενέστερες τιμές τεμνουσών σχεδιασμού αλλά και με τις ικανοτικές τέμνουσες σχεδιασμού.

Η Αντοχή σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα $V_{Rd,max}$ δίδεται από τη σχέση

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

όπου

$\alpha_{cw} = 1.0$ (για μη προεντεταμένη κατασκευή)

$v_1 = 0.60$ για $f_{ck} \leq 60$ MPa

$z = 0,9d = 0,9 \cdot 0,65 = 0,59$ m

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,59 \cdot 0,60 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5}{2,5 + 0,40} = 610,35 \text{ kN}$$

Ο έλεγχος $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ γίνεται για **τέμνουσα V_{Ed} με και χωρίς σεισμό και για την τέμνουσα από ικανοτικό έλεγχο** η οποία συνήθως είναι η δυσμενέστερη.

Εδώ, όμως, μέγιστη είναι η $V_{Ed} = \max(206.1, 128.40, 173.29) = 206,10$ kN

Σε κάθε περίπτωση ισχύει

$V_{Rd,max} \geq V_{Ed} \rightarrow 610,35 \text{ kN} > 206,10 \text{ kN}$ και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται σε όλο το μήκος

4.4. Έλεγχος αν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης δίδεται από τη σχέση

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$$

όπου:

$C_{Rd,c} =$ συντελεστής από δοκιμές, $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \text{ (d σε mm)} \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{650}} = 1,308$$

$k_1 = 0,15$

ρ_1 ποσοστό εφελκυομένου χάλυβα

f_{ck} χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

b_w μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυόμενη περιοχή

d ενεργό ύψος διατομής

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A < 0,20 \quad f_{cd} = 0,20 \cdot 30/1,5 = 4 \text{ MPa}$$

όπου N_{Ed} είναι το αξονικό φορτίο διατομής λόγω φόρτισης ή προέντασης. Εδώ είναι $N_{Ed} = 0 \rightarrow$

$$\sigma_{cp} = 0$$

Στήριξη A και A':

Δεξιά παρειά στήριξης A και αριστερή παρειά στήριξης A'

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{25 \cdot 65} = 0,0049$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k(100\rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \Rightarrow$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,308 \cdot (100 \cdot 0,0049 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] 0,25 \cdot 0,65 \cdot 10^3 = 62,48 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,max} = 206,10 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 62,48 \text{ kN}$$

Άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

4.5 Υπολογισμός οπλισμού

Ο οπλισμός (συνδετήρες) εξάγεται από τη σχέση $V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$

όπου $V_{Rd,s}$ η αντοχή για δοκούς με οπλισμό διάτμησης η οποία προκύπτει από τη σχέση

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

και άρα οι συνδετήρες προκύπτουν από τη σχέση

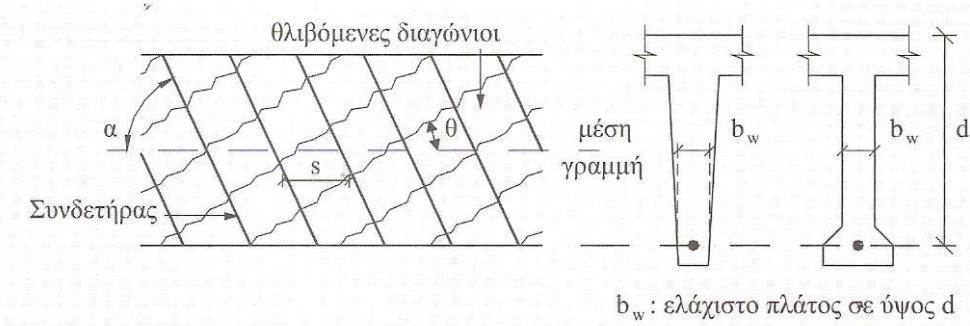
$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \rightarrow V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta \geq V_{Ed} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot\theta}$$

όπου

$z = 0.9 d$ κατά EC2

f_{ywd} θα πρέπει να μειώνεται σε $f_{ywd} = 0.8 f_{yk}$ σύμφωνα με EC2

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται η γωνία $\theta = 45^\circ \rightarrow \cot\theta = 1,0$ διότι δεν είναι επιθυμητή η πιθανή αλλαγή του d . Με αυτή την επιλογή εξασφαλίζεται ότι υπάρχει αποδεκτή λύση για $d=0,65$ αλλά προκύπτει έτσι η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα σε συνδετήρες για το δεδομένο d . Κατόπιν όμως είναι δυνατόν να γίνει μία νέα δοκιμή με μικρότερη γωνία θ ώστε να προκύψει νέα λύση με λιγότερους συνδετήρες για το ίδιο d . Στην περίπτωση που προκύψουν οπλισμοί διάτμησης (συνδετήρες) λιγότεροι από τους ελάχιστους συνδετήρες τότε προφανώς θα τοποθετηθούν οι ελάχιστοι συνδετήρες.



Σχ. 8.5 Συμβολισμοί υπολογισμών διάτμησης

Στήριξη Α και Α':

Παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι από **συνδυασμό δράσεων χωρίς σεισμό**:

$$V_{Ed} = -206,10 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{206,10 \cdot 10^{-3}}{0.90 \cdot 0.65 \cdot 0.80 \cdot 500 \cdot 1.00} = 0.00095 \text{ m} = 0,095 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0.095 \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτμητοι } (A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Αρα } s \leq \frac{A_{sw}}{0,095} = \frac{1,01}{0,095} \rightarrow s \leq 10,63 \text{ cm}$$

Επομένως απαιτούνται $\varnothing 8/10,6$ τουλάχιστον

Σε απόσταση d από τη παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι για δράσεις χωρίς σεισμό:

$$V_{Ed} = -168,27 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{168,27 \cdot 10^{-3}}{0.90 \cdot 0.65 \cdot 0.80 \cdot 500 \cdot 1.00} = 0.00072 \text{ m} = 0.072 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0.072 \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτμητοι } (A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1.01 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Αρα } s \leq \frac{A_{sw}}{0,072} = \frac{1,01}{0,072} \rightarrow s \leq 14,03 \text{ cm}$$

Επομένως μέσα στις κρίσιμες περιοχές και έως τη παρειά απαιτούνται $\varnothing 8/14$ τουλάχιστον

Σε απόσταση h από τη παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι για δράσεις χωρίς σεισμό:

$$V_{Ed} = -165,36 \text{ KN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{165,36 \cdot 10^{-3}}{0.90 \cdot 0.65 \cdot 0.80 \cdot 500 \cdot 1.00} = 0.00071 \text{ m} = 0.071 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0.071 \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτμητοι } (A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1.01 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Αρα } s \leq \frac{A_{sw}}{0.071} = \frac{1.01}{0.071} \rightarrow s \leq 14,23 \text{ cm}$$

Επομένως στις μη κρίσιμες περιοχές απαιτούνται $\varnothing 8/14$ τουλάχιστον

4.6. Ελάχιστοι συνδετήρες

4.6.1. Ελάχιστοι συνδετήρες μη κρίσιμων περιοχών

- Διάμετρος συνδετήρων τουλάχιστον $\varnothing 6$. Εδώ επιλέχθηκαν $\varnothing 8 > \varnothing 6$
- Μέγιστη απόσταση συνδετήρων $s_{1,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,65 = 0,49 \text{ m} = 49 \text{ cm}$
- Ελάχιστο ποσοστό συνδετήρων για C30 και S500

$$\rho_{w,min} = 0.08 \left(\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \right) = 0.08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0.00088$$

έστω συνδετήρες $\varnothing 8$ δίτμητοι, οπότε

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w} \leq \rho_{w,min} \rightarrow s \leq \frac{A_{sw}}{b_w \rho_{w,min}} = \frac{1.01}{25 \cdot 0.00088} = 46 \text{ cm}$$

Επομένως οι ελάχιστοι συνδετήρες των μη κρίσιμων περιοχών είναι $\varnothing 8/46$

4.6.1. Ελάχιστοι συνδετήρες κρίσιμων περιοχών

Για τους ελάχιστους συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών ισχύουν οι περιορισμοί:

$$s_{cr} \leq s_{max} = \min \begin{cases} h_w / 4 \\ 24 d_{bw} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 d_{bL} \end{cases}$$

όπου

h_w το ύψος της δοκού

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

d_{bL} η ελαχίστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

και για συνδετήρες $\varnothing 8$ δίτμητους

$$s_{cr} \leq s_{max} = \min \begin{cases} h_w / 4 = 700/4=175 \text{ mm} \\ 24 d_{bw}=24 \times 8=192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 d_{bL} = 8 \times 16=128 \text{ mm} \end{cases} = 128 \text{ mm}$$

Επομένως οι ελάχιστοι συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών είναι $\varnothing 8/12$

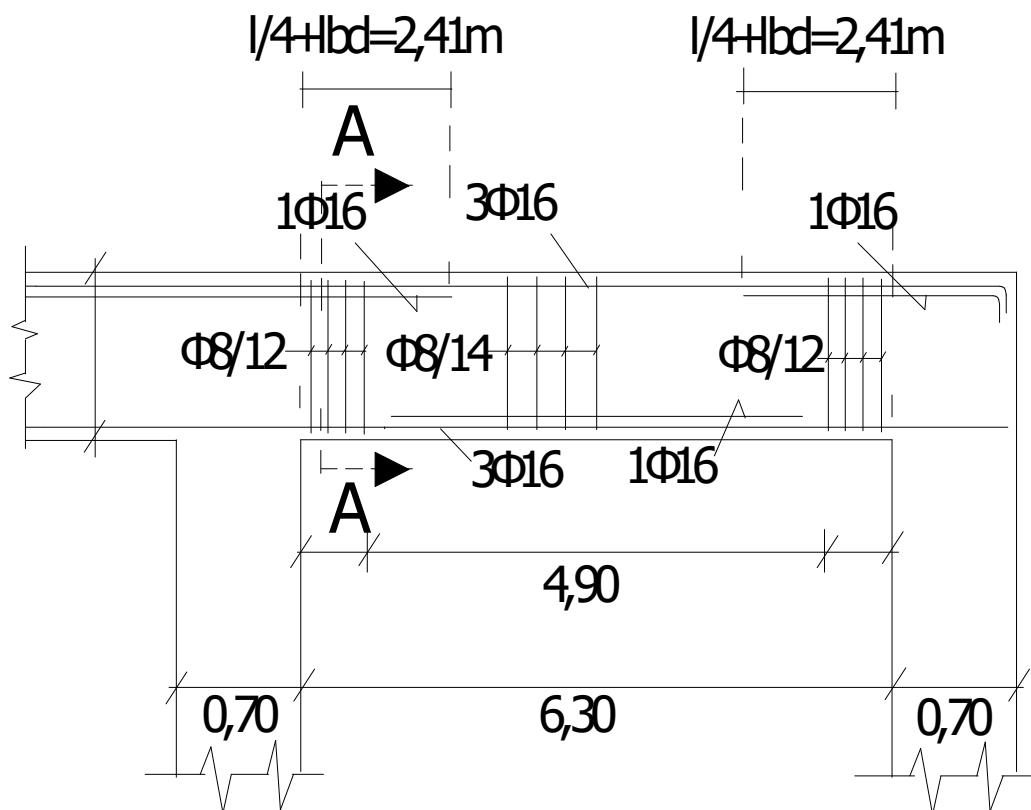
4.7. Τελικοί οπλισμοί διάτμησης

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς και τους ελάχιστους επιτρεπτούς συνδετήρες προκύπτει ότι θα πρέπει να τοποθετηθούν κατά μήκος της δοκού τουλάχιστον:

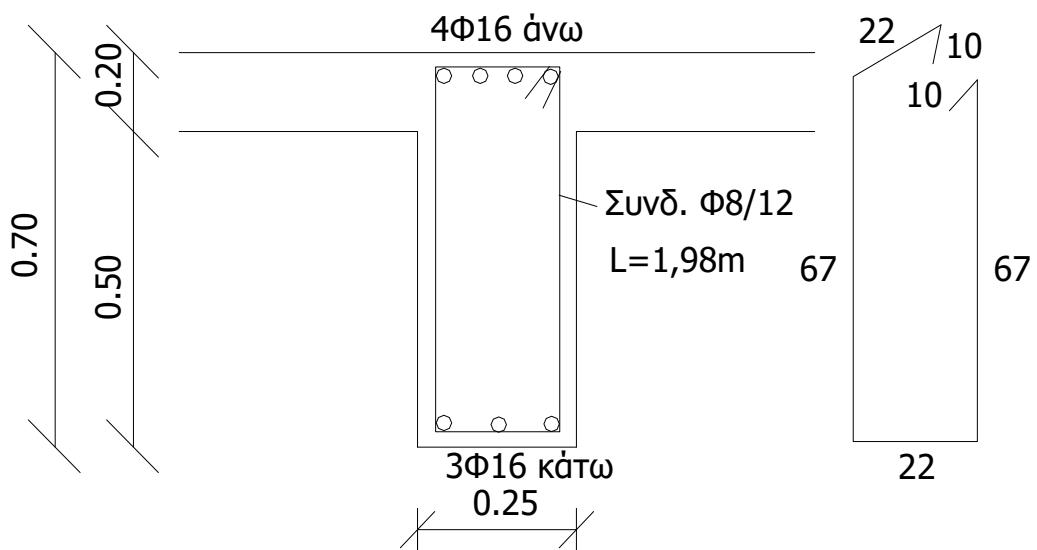
- Στις ακραίες κρίσιμες περιοχές του ανοίγματος $\underline{\varnothing 8/12 \text{ cm}}$

- Στις μη κρίσιμες περιοχές του ανοίγματος

$\text{Ø}8/14 \text{ cm}$



TΟΜΗ Α-Α



Σχ. 8.6 Διάταξη οπλισμών κάμψης και διάτμησης

5. Υπολογισμός αγκυρώσεων και διάταξη οπλισμών

5.1. Οριακή τάση συνάφειας f_{bd}

Η τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας, f_{bd} , για ράβδους με νευρώσεις κατά τον EC2 μπορεί να ληφθεί ως:

$$f_{bd} = 2,25 n_1 n_2 f_{ctd}$$

όπου:

- f_{ctd} η τιμή της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού του σκυροδέματος. Δίδεται από τη σχέση

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_c$$

$$\alpha_{ct} = 1.0, f_{ctk,0.05} = 2.0 \text{ MPa} \text{ για C30 (από Πιν. 3.1 του EC2), } \gamma_c = 1,5$$

και άρα

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_c = 1.0 \cdot 2.0 / 1.5 = 1.33$$

- n_1 συντελεστής που έχει σχέση με την ποιότητα των συνθηκών συνάφειας και τη θέση της ράβδου κατά τη σκυροδέτηση και λαμβάνει τις τιμές

$$n_1 = 1.0 \text{ για ευνοϊκές συνθήκες}$$

$$n_1 = 0.7 \text{ για όλες τις άλλες περιπτώσεις}$$

- n_2 σχετίζεται με τη διάμετρο των ράβδων και $n_2 = 1.0$ για $\emptyset \leq 32 \text{ mm}$. Τελικά επειδή η δοκός έχει ύψος $h = 70 \text{ cm} > 25 \text{ cm}$ και άρα:

Οι ράβδοι της κάτω παρειάς βρίσκονται σε **ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας**, οπότε

$$f_{bd} = 2,25 n_1 n_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

Οι ράβδοι της πάνω παρειάς βρίσκονται σε **μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας**, οπότε

$$f_{bd} = 2,25 n_1 n_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,10 \text{ MPa}$$

5.2. Βασικό μήκος αγκύρωσης l_b

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον τύπο του χάλυβα και τα χαρακτηριστικά συνάφειας των ράβδων. Το βασικό απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{b,rqd}$ για αγκύρωση ευθύγραμμης ράβδου που καταπονείται με δύναμη ίση με $A_s \cdot \sigma_{yd}$ και με την παραδοχή σταθερής συνάφειας ίσης με f_{bd} δίδεται κατά τον EC2 από τη σχέση:

$$l_{b,rqd} = \emptyset / 4 \cdot (\sigma_{yd} / f_{bd})$$

όπου

σ_{yd} είναι η τάση σχεδιασμού της ράβδου στη θέση όπου αρχίζει να μετράται η αγκύρωση άρα για σκυρόδεμα C30 και χάλυβα B500C

$$\sigma_{yd} = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

οπότε ισχύει για ράβδους $\varnothing 16$ ότι

για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας (ράβδοι της κάτω παρειάς)

$$l_{b,rqd} = \varnothing/4 \cdot (\sigma_{yd} / f_{bd}) = 16/4 (434,78/3,0) = 579,71 = 580 \text{ mm}$$

για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας (ράβδοι της άνω παρειάς)

$$l_{b,rqd} = \varnothing/4 \cdot (\sigma_{yd} / f_{bd}) = 16/4 (434,78/2,10) = 828,15 = 828 \text{ mm}$$

5.3. Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd}

Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού κατά τον EC2 δίδεται από τη σχέση:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

όπου

α_1 : επιρροή της μορφής των ράβδων, λαμβάνεται $\alpha_1 = 1.0$

α_2 : επιρροή της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος, λαμβάνεται $\alpha_2 = 1.0$

α_3 : αναφέρεται στην επιρροή της περίσφιξης μέσω εγκάρσιου οπλισμού λαμβάνεται $\alpha_3 = 1.0$

α_4 : αναφέρεται στην επίδραση συγκολλημένων εγκάρσιων ράβδων κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd} . Δεν υπάρχει αυτή η περίπτωση στην εφαρμογή.

α_5 : επιρροή της πίεσης εγκάρσιας περίσφιξης. Δεν υπάρχει στην εφαρμογή

(Πρέπει σε κάθε περίπτωση να ισχύει $\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \geq 0.7$)

Άρα σε κάθε περίπτωση

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 l_{b,rqd} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 l_{b,rqd} = l_{b,rqd} \text{ και πρέπει } l_{bd} \geq l_{b,min}$$

5.4. Ελάχιστο μήκος αγκύρωσης $l_{b,min}$ (Σχ. 2.5)

Για αγκυρώσεις υπό εφελκυσμό και ράβδους $\varnothing 16$

- για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.3 l_{b,rqd} = 0.3 \cdot 580 = 174 \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot 16 = 160 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 174 \text{ mm}$$

- για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.3 l_{b,rqd} = 0.3 \cdot 828 = 248 \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot 16 = 160 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 248 \text{ mm}$$

Για αγκυρώσεις υπό θλίψη και ράβδους $\varnothing 16$

- για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.6 l_{b,rqd} = 0.6 \cdot 580 = 348 \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot 16 = 160 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 348 \text{ mm}$$

- για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.6 l_{b,rqd} = 0.6 \cdot 828 = 497 \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot 16 = 160 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 497 \text{ mm}$$

Άρα τελικά για ράβδους $\varnothing 16$

Για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας (ράβδοι της κάτω παρειάς)

$l_{bd} = 580 \text{ mm} (> 174 \text{ και } 348 \text{ mm})$

Για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας (ράβδοι της άνω παρειάς)

$l_{bd} = 828 \text{ mm} (> 248 \text{ και } 497 \text{ mm})$

5.5. Διάταξη αγκύρωσης

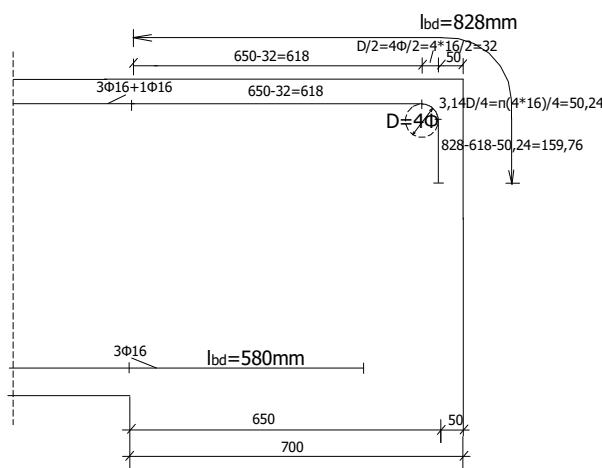
Οι αγκυρώσεις στη κάτω παρειά της στήριξης είναι ευθύγραμμες διότι τα μήκη που υπολογίσθηκαν είναι μικρότερα από τη αντίστοιχη πλευρά του υποστυλώματος ενώ στην άνω παρειά της στήριξης απαιτείται καμπύλωση των ράβδων $\varnothing 16$ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ετσι:

- Ράβδοι $\varnothing 16$ της **κάτω παρειάς** (ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας)

Ευθύγραμμη αγκύρωση με μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 580 \text{ mm}$

- Ράβδοι $\varnothing 16$ της **άνω παρειάς** (μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας - Σε άλλη φάση η σκυροδέτηση του άνω υποστυλώματος)

Αγκύρωση με κάμψη οπλισμών και συνολικό μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = 828 \text{ mm}$



Σχ. 8.7 Αγκυρώσεις διαμήκων οπλισμών στη στήριξη

6. Έλεγχος για αστοχία από συνάφεια στους κόμβους Α και Α'

6.1. Έλεγχος στον κόμβο Α (EC8)

Η αστοχία από συνάφεια των διαμήκων ράβδων που διέρχονται μέσα από σώμα εσωτερικού κόμβου εξασφαλίζεται όταν η διάμετρος d_{bL} των οπλισμών αυτών ικανοποιεί την συνθήκη:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7.5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0.8 v_d}{1 + 0.75 k_D \left(\frac{\rho'}{\rho_{max}} \right)}$$

όπου

h_c η διάσταση του υποστυλώματος παράλληλα προς την ράβδο

f_{ctm} η μέση τιμή της αντοχής του σκυροδέματος σε εφελκυσμό. Για C30 $\rightarrow f_{ctm} = 2.9$ MPa από Πιν. 3.1 του EC2

f_y η σχεδιαστική αντοχή διαρροής του χάλυβα

$\gamma_{Rd} = 1.0$ για κατασκευές DCM

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος, η μικρότερη για συνδυασμό δράσεων με σεισμό $v_d = N_{Ed}/f_{cd}A_c$. Από τα δεδομένα της εφαρμογής $N_{Ed,A} = 404,80$ kN

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

- Η ανηγμένη αξονική δύναμη

$$v_{d,A} = \frac{N_{Ed,A}}{f_{cd}A_c} = \frac{404,8 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{30}{1,5}\right)(0,30 \cdot 0,70)} = 0,096$$

- Το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυστικού οπλισμού ρ_{max}

Οι οπλισμοί κάτω (θλιβόμενοι) 3Ø16 (6,03 cm²)

$$\rho' = \frac{A_{s2}}{b_{w}h} = \frac{6,03}{25 \cdot 65} = 0,0037 = 3,70\%$$

Το ρ_{max} δίδεται από τη σχέση

$$\rho_{max,A} = \rho' + \frac{0,0018 f_{cd}}{\mu_{\varphi} \varepsilon_{sy,d} f_{yd}} = 0,0037 + \frac{0,0018}{3,9 \frac{500}{1,15 \cdot 200000}} \frac{30/1,5}{500/1,15} = 0,0135$$

- $k_D = 2/3 = 0,667$ για κατασκευές DCM

Τελικά

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot \frac{1+0,8v_d}{1+0,75k_D\left(\frac{\rho'}{\rho_{max}}\right)} = \frac{7,5 \cdot 2,9}{1,0 \cdot \frac{500}{1,15}} \cdot \frac{1+0,8 \cdot 0,096}{1+0,75 \cdot 0,667 \cdot \frac{0,0037}{0,0135}} = 0,047$$

$$d_{bL} \leq 0,047 h_c = 0,047 \cdot 700 \text{ mm} = 32,9 \text{ mm}$$

άρα επιτρέπονται να χρησιμοποιηθούν ράβδοι μέχρι διαμέτρου 32,9 mm και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται αφού στην δοκό χρησιμοποιούνται ράβδοι Ø16.

6.2. Έλεγχος στον κόμβο Α' (EC8)

Η αστοχία από συνάφεια των διαμήκων ράβδων που διέρχονται μέσα από σώμα εξωτερικού κόμβου εξασφαλίζεται όταν η διάμετρος των οπλισμών αυτών ικανοποιεί την συνθήκη:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7.5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot (1 + 0.08 v_d)$$

και ισχύουν οι συμβολισμοί όπως εξηγηθήκαν στη προηγούμενη παράγραφο 6.1

Τελικά

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot (1 + 0,08 v_d) = \frac{7,5 \cdot 2,9}{1,0 \cdot \frac{500}{1,15}} (1 + 0,08 \cdot 0,096) = 0,054 \rightarrow$$

$$d_{bL} \leq 0,054 h_c = 0,054 \cdot 700 \text{ mm} = 37,71 \text{ mm}$$

άρα επιτρέπονται να χρησιμοποιηθούν ράβδοι μέχρι διαμέτρου 37,74 mm και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται αφού στην δοκό χρησιμοποιούνται ράβδοι Ø16.



Σχ. 8.8 Διαμόρφωση οπλισμού ακραίου και μεσαίου κόμβου δοκού-υποστηλώματος

Γ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

1. Γενικά Χαρακτηριστικά – Γεωμετρικά στοιχεία

1.1 Γενικά στοιχεία

Υποστυλώματα θεωρούνται συνήθως τα κατακόρυφα, γραμμικά δομικά στοιχεία. Διαφέρουν από τις δοκούς κατά τον τρόπο της εντάσεως που υφίστανται, διότι συνήθως ευρίσκονται υπό κυριαρχούσα θλίψη με ταυτόχρονη κάμψη, ενώ διαφέρουν από τα τοιχώματα κατά την γεωμετρία τους διότι οι διαστάσεις της διατομής των υποστυλωμάτων δεν απέχουν πολύ μεταξύ τους (γραμμικά στοιχεία). Για να θεωρηθεί ένα στοιχείο ως υποστύλωμα η μία διάσταση του δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 4πλάσιου της άλλης (EC2).

1.2 Γεωμετρικοί περιορισμοί

α) Οι διαστάσεις της διατομής των υποστυλωμάτων πρέπει να δίδουν εμβαδόν A_c που να ικανοποιεί τη παρακάτω συνθήκη περιορισμού της θλιπτικής έντασης

$$- \text{ για κατασκευές πλαστιμότητας μέσης (DCM) : } v_d \leq 0.65 \quad (1\alpha)$$

$$- \text{ για κατασκευές πλαστιμότητας υψηλής (DCH) : } v_d \leq 0.55 \quad (1\beta)$$

όπου: $v_d = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$

N_d η δρώσα θλιπτική δύναμη για συνδυασμούς δράσεων με σεισμό

A_c το συνολικό εμβαδόν της διατομής

$O \cdot$ περιορισμός της θλιπτικής έντασης επιβάλλεται για να υπάρχει στη διατομή η δυνατότητα εξασφάλισης επαρκούς πλαστιμότητας.

β) Για τις κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας μέσης (DCM) δεν υπάρχει απαίτηση ελάχιστης διάστασης για τη διατομή των υποστυλωμάτων.

Για τις κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας υψηλής (DCH) υπάρχει ο περιορισμός ότι η ελάχιστη πλευρά του υποστυλώματος είναι 25cm.

γ) Γενικά δεν θα πρέπει να τοποθετούνται σωλήνες (υδρορροές) μέσα στο υποστύλωμα.

2. Διαμήκεις οπλισμοί

2.1. Υπολογισμός

Ο προσδιορισμός, του απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού βασίζεται κυρίως στον σχεδιασμό έναντι των μεγεθών ορθής έντασης (κάμψη με αξονική θλιπτική δύναμη) και δευτερευόντως,

στον έλεγχο έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από ευστάθεια (λυγισμός). Ο τελικός οπλισμός του υποστυλώματος θα πρέπει να ικανοποιεί επί πλέον :

α) Τους πρόσθετους περιορισμούς (κατασκευαστικές διατάξεις) που θέτουν οι Ευρωκώδικες 2 & 8 όπως αυτοί αναφέρονται εν συντομίᾳ στην επόμενη παράγραφο 2.2 .

β) Τον ικανοτικό σχεδιασμό για την αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου όπως αυτός ορίζεται στον Ευρωκώδικα 8.

Ως τελικές ροπές σχεδιασμού λαμβάνονται οι δυσμενέστερες μεταξύ αυτών που προκύπτουν από τους συνδυασμούς φορτίσεων και αυτών του ικανοτικού σχεδιασμού.

2.2 Περιορισμοί EC8

α) Ελάχιστη διάμετρος διαμηκών οπλισμών $\min \varnothing_L = 8 \text{ mm}$

β) Γεωμετρικό ποσοστό ρ του διαμήκους οπλισμού επί της διατομής του υποστυλώματος (όπου $\rho = A_{\text{stot}} / b \cdot h$):

$$\text{Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός } \rho_{\min} = 0,01 \text{ (1\%)} \quad (2\alpha)$$

$$\text{Μέγιστος διαμήκης οπλισμός } \rho_{\max} = 0,04 \text{ (4\%)} \quad (2\beta)$$

γ) Θα πρέπει να προβλέπεται σε κάθε πλευρά υποστυλώματος μια ενδιάμεση ράβδος. Άρα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον 3 ράβδοι ανά πλευρά.

δ) Η απόσταση μεταξύ των διαμήκων ράβδων (b_i) στη διατομή δεν πρέπει να υπερβαίνει μια μέγιστη απόσταση ως εξής:

$$- \text{ κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας μέσης (DCM) : } b_i \leq 20 \text{ cm} \quad (3\alpha)$$

$$- \text{ κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας υψηλής (DCH) : } b_i \leq 15 \text{ cm} \quad (3\beta)$$

ε) Για υποστυλώματα με πολυγωνική διατομή θα πρέπει κατ' ελάχιστον να τίθεται σε κάθε γωνία 1 ράβδος διαμήκους οπλισμού.

στ) Για υποστυλώματα με κυκλική διατομή υπάρχει ο περιορισμός να τίθενται τουλάχιστον 4 ράβδοι διαμήκους οπλισμού.

3. Κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων

Τα τμήματα των υποστυλωμάτων στα οποία αναμένεται να δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις σε περίπτωση σεισμικής διέγερσης της κατασκευής ονομάζονται κρίσιμες περιοχές. Κρίσιμες περιοχές θεωρούνται γενικά τα ακραία τμήματα του υποστυλώματος σε μήκους l_{cr} από κάθε ακραία διατομή (παρειά) (σχ. 3.1).

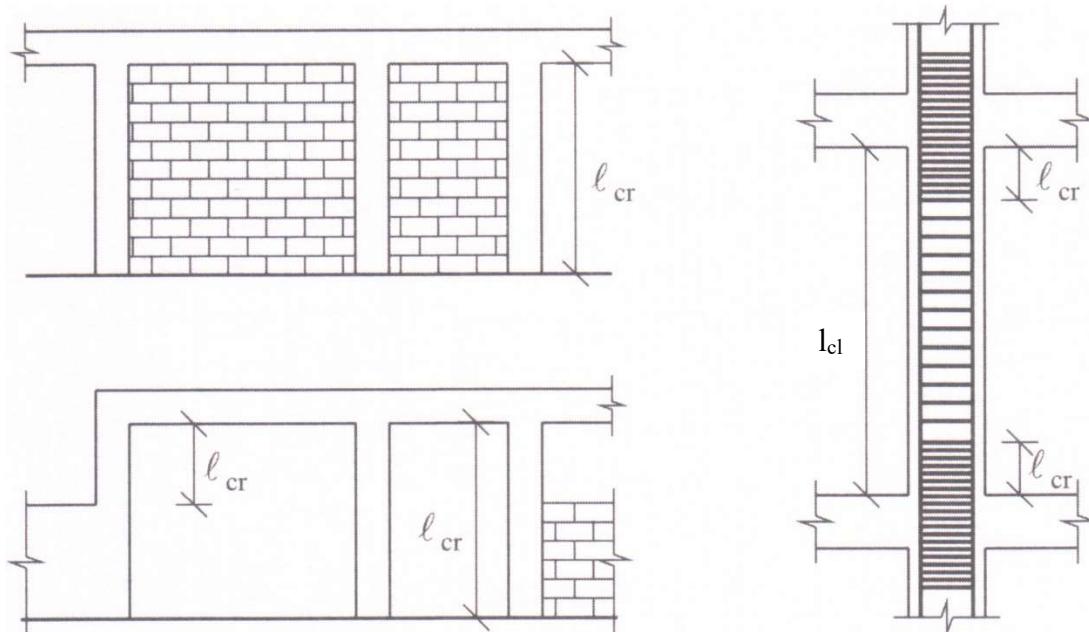
$$- \text{ κατασκευές πλαστιμότητας μέσης (DCM): } l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ l_{cl} / 6 \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right\} \quad (4\alpha)$$

- κατασκευές πλαστιμότητας υψηλής (DCH): $l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.5 h_c \\ l_{cl} / 6 \\ 0,60 \text{ m} \end{array} \right\}$ (4β)

όπου h_c η μεγαλύτερη διάσταση της διατομής και l_{cl} το καθαρό ύψος του υποστυλώματος

- Για κατασκευές DCH στους 2 κατώτερους ορόφους οι συνδετήρες που προδιαγράφονται για τις κρίσιμες περιοχές τοποθετούνται σε μήκος μεγαλύτερο από το κρίσιμο κατά 50%, δηλαδή σε συνολικό μήκος : $l_{cr} + 0,5 l_{cr}$

- Όταν σε ένα υποστύλωμα ισχύει $l_c / h_c < 3.0$ (όπου l_c το συνολικό μήκος του υποστυλώματος) τότε αυτό θεωρείται κρίσιμο σε όλο το μήκος του διότι τότε το υποστύλωμα έχει διατμητική (ψαθυρή) συμπεριφορά.



Σχ. 3.1 Κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων

4. Εγκάρσιοι οπλισμοί (συνδετήρες)

4.1. Σημασία των εγκάρσιων οπλισμών

Οι εγκάρσιοι οπλισμοί (συνδετήρες) επηρεάζουν σημαντικά την συνολική ικανότητα του υποστυλώματος. Η μεγάλη και ευεργετική επιρροή των εγκάρσιων οπλισμών στην ικανότητα των υποστυλωμάτων αναγνωρίζεται από όλους τους σύγχρονους κανονισμούς. Για το λόγο αυτό υπάρχουν ειδικές διατάξεις για την τοποθέτηση επαρκών συνδετήρων σε όλο το μήκος του υποστυλώματος.

Ειδικώτερα για τις κρίσιμες περιοχές περιλαμβάνονται επί πλέον έλεγχοι ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη τοπική πλαστιμότητα. Στην περίπτωση αυτή ο εγκάρσιος οπλισμός ονομάζεται οπλισμός περίσφιξης.

Ως απλός εγκάρσιος οπλισμός οι συνδετήρες:

- Συγκρατούν τους διαμήκεις οπλισμούς.
- Βελτιώνουν σημαντικά την διατμητική αντοχή του στοιχείου.
- Εξασφαλίζουν τις ράβδους του διαμήκους οπλισμού έναντι λυγισμού.

Ως οπλισμός περίσφιξης του σκυροδέματος, οι συνδετήρες προκαλούν:

- Σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας.
- Αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος.
- Βελτίωση της συνάφειας σκυροδέματος - διαμηκών ράβδων.

4.2. Υπολογισμός

- Ο προσδιορισμός του εγκάρσιου οπλισμού (συνδετήρων) στις περιοχές που αναμένονται πλαστικές αρθρώσεις (κρίσιμες περιοχές) γίνεται με βάση τους παρακάτω ελέγχους και ειδικές διατάξεις των κανονισμών :
- α) Τον έλεγχο έναντι τέμνουσας.
- β) Τις ελάχιστες απαιτήσεις και περιορισμούς του Ευρωκώδικα 2.
- γ) Τις απαιτήσεις για την τοποθέτηση επαρκούς οπλισμού περίσφιξης (EC8).
- δ) Τις ειδικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 για την αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας (διατμητική αστοχία). Οι διατάξεις αυτές ανήκουν στο γενικό πλαίσιο του Ικανοτικού Σχεδιασμού που νιοθετεί ο EC8.
- Στο τμήμα του υποστυλώματος εκτός των κρίσιμων περιοχών ο υπολογισμός του εγκάρσιου οπλισμού βασίζεται (α) στον έλεγχο έναντι τέμνουσας και β) στις κατασκευαστικές διατάξεις και περιορισμούς. Συνήθως εκτός των κρίσιμων περιοχών οι υπάρχουσες κατασκευαστικές διατάξεις και περιορισμοί υπερκαλύπτουν τις απαιτήσεις του ελέγχου έναντι τέμνουσας.

4.3. Ελάχιστες απαιτήσεις - περιορισμοί

(α) Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων

- Γενικά, η μικρότερη διάμετρος που επιτρέπεται για τους συνδετήρες για όλο το μήκος του υποστυλώματος (κρίσιμες και μη κρίσιμες περιοχές) είναι:

$$d_{bw} \geq \begin{cases} 6 \text{ mm} \\ (1/4)d_{bL,max} \end{cases} \quad (5\alpha)$$

όπου

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

$d_{bL,max}$ η μεγαλύτερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων.

- Ειδικότερα για τις κρίσιμες περιοχές στις κατασκευές DCH ισχύει επί πλέον ο περιορισμός

$$d_{bw} \geq 0,4 d_{bL,max} \sqrt{f_{ydL}/f_{ydw}} \quad (5\beta)$$

όπου

$d_{bL,max}$ η μεγαλύτερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

f_{ydL} , f_{ydw} οι τάσεις διαρροής σχεδιασμού των διαμήκων ράβδων (f_{ydL}) και των συνδετήρων

(f_{ydw}) αντίστοιχα

(β) Μέγιστη απόσταση συνδετήρων

- Μη κρίσιμες περιοχές

Για κατασκευές μέσης και υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM και DCH) η μεγίστη απόσταση, s_{max} , λαμβάνεται από :

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_{min} \\ 20 d_{bL,min} \\ 400 \text{ mm} \end{cases} \quad (6)$$

όπου $d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

b_{min} η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος

- Κρίσιμες περιοχές

- Κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM).

Η μεγίστη απόσταση, s_{max} , στις κρίσιμες περιοχές λαμβάνεται από :

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_0/2 \\ 8 d_{bL,min} \\ 175 \text{ mm} \end{cases} \quad (7)$$

όπου

$d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

b_0 η μικρότερη πλευρά του πυρήνα σκυροδέματος υποστυλώματος έως τον άξονα των

συνδετήρων (πυρήνας υπό περίσφιξη)

- Για κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH)

Η μεγίστη απόσταση, s_{max} , στις κρίσιμες περιοχές λαμβάνεται από :

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_0/3 \\ 6 d_{bL,min} \\ 125 \text{ mm} \end{cases} \quad (8)$$

όπου

$d_{bL,\min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

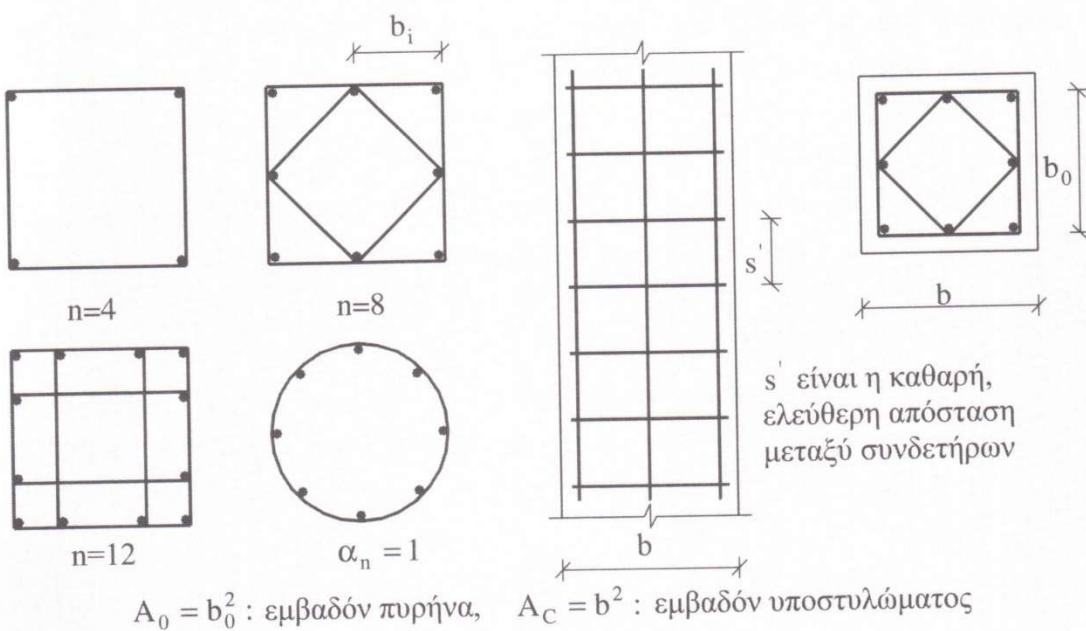
b_0 η μικρότερη πλευρά του πυρήνα σκυροδέματος υποστυλώματος έως τον άξονα των συνδετήρων (πυρήνας υπό περίσφιξη)

Για τις κατασκευές DCH στους 2 κατώτατους ορόφους οι συνδετήρες που προδιαγράφονται για τις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων DCH θα πρέπει να τοποθετούνται σε μήκος μεγαλύτερο από το κρίσιμο κατά 50%, δηλαδή σε συνολικό μήκος $l_{cr} + 0,5l_{cr}$ (9)

4.4. Οπλισμός περίσφιξης

4.4.1. Γενικά

Ο Ευρωκώδικας 8 προκειμένου να εξασφαλίσει επαρκή τοπική πλαστιμότητα στις κρίσιμες περιοχές των υποστυλωμάτων προβλέπει για τις περιοχές αυτές ειδικές διατάξεις για την τοποθέτηση επαρκούς οπλισμού περίσφιξης. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζει τα υποστυλώματα που αποτελούν κρίσιμα στοιχεία μιας κατασκευής έναντι αστοχίας στην περίπτωση που σχηματισθούν σε αυτά πλαστικές αρθρώσεις κατά την διάρκεια μιας σεισμικής διεγέρσεως. Ο οπλισμός περίσφιξης εκτός από την εξασφάλιση επαρκούς πλαστιμότητας αυξάνει και την αντοχή του σκυροδέματος αφού δημιουργεί σε αυτό συνθήκες περίσφιξης. Με αυτόν τον τρόπο αντισταθμίζεται και το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος που χάνεται κατά την αποφλοίωση (σκυρόδεμα επικαλύψεως έξω από την περίσφιξη).



Σχ 3.2 Τοποθέτηση του οπλισμού περίσφιξης υποστυλωμάτων

4.4.2. Απαιτήσεις περίσφιξης σε κατασκευές DCM

- Οι απαιτήσεις για οπλισμό περίσφιξης στα υποστυλώματα των κατασκευών μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM) περιορίζονται μόνο στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων.

Για την πρόβλεψη του οπλισμού περίσφιξης χρησιμοποιείται το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού των συνδετήρων, ω_{wd} , που ορίζεται ως εξής :

$$\omega_{wd} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετήρων}}{\text{όγκος πυρήνα σκυροδ.υπό περίσφιξη}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (10)$$

- Πρέπει να τοποθετηθούν κλειστοί συνδετήρες στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων, έτσι ώστε το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού των συνδετήρων αυτών, ω_{wd} να ικανοποιεί την σχέση:

$$\alpha\omega_{wd} \geq 30 \mu_\varphi v_d \varepsilon_{sy,d} \left(\frac{b_c}{b_0} \right) - 0,035 \quad (11)$$

όπου

μ_φ η απαιτούμενη τιμή του συντελεστή πλαστιμότητας καμπυλοτήτων. Δίδεται από τις σχέσεις:

$$\mu_\varphi = 2q_o - 1 \quad \text{εάν } T_1 \geq T_c \text{ και}$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2(q_o - 1) T_c/T_1 \quad \text{εάν } T_1 < T_c$$

όπου

q_o η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς

T_1 η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου

T_c η μεγαλύτερη περίοδος στο ανώτατο σημείο της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης του φάσματος

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη. Δίδεται από τη σχέση $v_d = N_{Ed}/(A_c f_{cd})$

A_c εμβαδόν ολόκληρης της διατομής σκυροδέματος

N_{Ed} η τιμή σχεδιασμού του θλιπτικού φορτίου κατά τη σεισμική δράση σχεδιασμού

$\varepsilon_{sy,d}$ η τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα

b_c η διάσταση της διατομής κάθετα προς την οριζόντια διεύθυνση προς την οποία υπολογίζεται η τιμή του μ_φ που λαμβάνεται υπόψη

b_0 η αντίστοιχη της b_c διάσταση του υπό περίσφιξη πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων)

α ο συντελεστής απόδοσης της περίσφιξης

- Ελάχιστη απαίτηση στη βάση

Ακόμη για τον οπλισμό περίσφιξης στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων τίθεται ελάχιστη απαίτηση σύμφωνα με τη σχέση

$$\omega_{wd} \geq 0,08 \quad (12)$$

4.4.3. Απαιτήσεις περίσφιξης σε κατασκευές DCH

(α) Κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων (στο ισόγειο)

- Πρέπει να τοποθετηθούν κλειστοί συνδετήρες όπως στη περίπτωση των υποστυλωμάτων DCM που να ικανοποιούν τη σχέση

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30\mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0.035 \quad (13)$$

όπου

οι συμβολισμοί επεξηγούνται στη προηγούμενη παράγραφο 4.4.2.

- Ελάχιστη απαίτηση στη βάση

Για τον οπλισμό περίσφιξης στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων DCH η ελάχιστη απαίτηση είναι

$$\omega_{wd} \geq 0.12 \quad (14)$$

(β) Κρίσιμες περιοχές των υποστυλωμάτων (εκτός από τη βάση τους)

- Πρέπει να τοποθετηθούν κλειστοί συνδετήρες όπως στη περίπτωση των υποστυλωμάτων DCM που να ικανοποιούν τη σχέση

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30\mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0.035 \quad (15)$$

όπου

οι συμβολισμοί επεξηγούνται στη προηγούμενη παράγραφο 4.4.2.

- Ελάχιστη απαίτηση στη βάση

Για τον οπλισμό περίσφιξης στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων DCH η ελάχιστη απαίτηση είναι

$$\omega_{wd} \geq 0.08 \quad (16)$$

4.4.4. Εκτίμηση του συντελεστή απόδοσης α της περίσφιξης

Ο συντελεστής απόδοσης α μιας περίσφιξης δίδεται από τη σχέση

$$\alpha = \alpha_n \alpha_s \quad (17)$$

Οι επί μέρους συντελεστές α_n και α_s μπορούν να προσδιορισθούν ως εξής (Σχ 3.2):

- Για ορθογωνικές διατομές

$$\alpha_n = 1 - \sum_1^n b_i^2 / 6 A_o \quad (18\alpha)$$

αν $b_i = 4b_o/n$ τότε η σχέση γίνεται $\alpha_n = 1 - 8/3n$

$$\alpha_s = (1-s/2b_o) (1-s/2h_o) \quad (18\beta)$$

όπου

η το πλήθος των διαμήκων ράβδων (ο αριθμός κορυφών συνδετήρων) που συγκρατούνται από συνδετήρες (κλειστούς ή μονοσκελείς)

b_i απόσταση μεταξύ διαδοχικών διαμήκων ράβδων που συγκρατούνται με συνδετήρες, η οποία δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 200 mm (EC8)

s η απόσταση μεταξύ συνδετήρων

b_o το πλάτος της διατομής του πυρήνα (μετράται από τους άξονες των συνδετήρων)

- Για κυκλικές διατομές

Για κυκλικά υποστυλώματα με κυκλικούς συνδετήρες και διάμετρο πυρήνα υπό περίσφιξη D_o (μετράται από τον άξονα των συνδετήρων)

$a_n = 1$ και

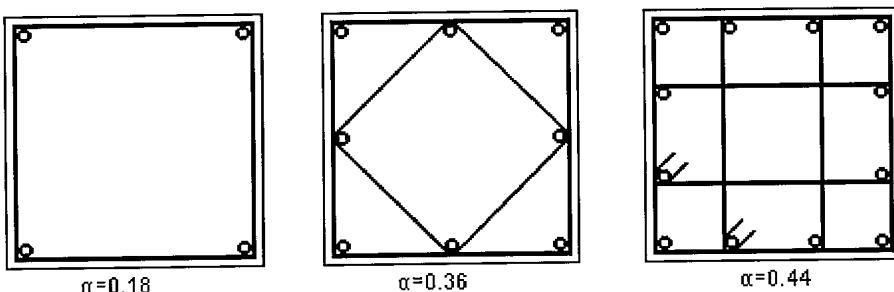
$$a_s = (1-s/2D_o)^2$$

Για κυκλικά υποστυλώματα με σπειροειδείς συνδετήρες και διάμετρο πυρήνα υπό περίσφιξη D_o (μετράται από τον άξονα των συνδετήρων)

$a_n = 1$ και

$$a_s = (1-s/2D_o)$$

Αν $s/b_o = 1/2$, όπου s η απόσταση των συνδετήρων και b_o η πλευρά του σκυροδέματος υπό περίσφιξη (πυρήνας), ο συντελεστής α δίνεται για διάφορες διατάξεις συνδετήρων στο σχήμα 3.3. Η διάταξη αυτή αν και δεν διευκρινίζεται ρητώς, αναφέρεται σε τετραγωνικά υποστυλώματα ή σε τετραγωνικές διατάξεις συνδετήρων.



Σχ. 3.3 Συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης για διάφορες διατάξεις συνδετήρων

Η αποδοτική περίσφιξη αντιστοιχεί σε μία αξονοσυμμετρική τριαξονική εντατική κατάσταση $|\sigma_1| > |\sigma_2 = \sigma_3|$. Για τη πραγματοποίησή της απαιτούνται δύο προϋποθέσεις (α) η διάταξη των συνδετήρων οφείλει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερη προς τον κύκλο ή το τετράγωνο, ακόμη και αν η διατομή είναι ορθογωνική και (β) τα προς κάθε κατεύθυνση γεωμετρικά ποσοστά συνδετήρων οφείλουν να είναι ίσα ($\rho_x = \rho_y$).

Σε περίπτωση ορθογωνικών υποστυλωμάτων πρέπει η περίσφιξη να επιβάλλεται με περίπου τετραγωνικές διατάξεις συνδετήρων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη, περίπου,

περίσφιξη ολόκληρου του πυρήνα. Επί πλέον τα γεωμετρικά ποσοστά συνδετήρων προς κάθε κατεύθυνση θα πρέπει να είναι ίσα ($\rho_x = \rho_y$). Με αυτές τις προϋποθέσεις :

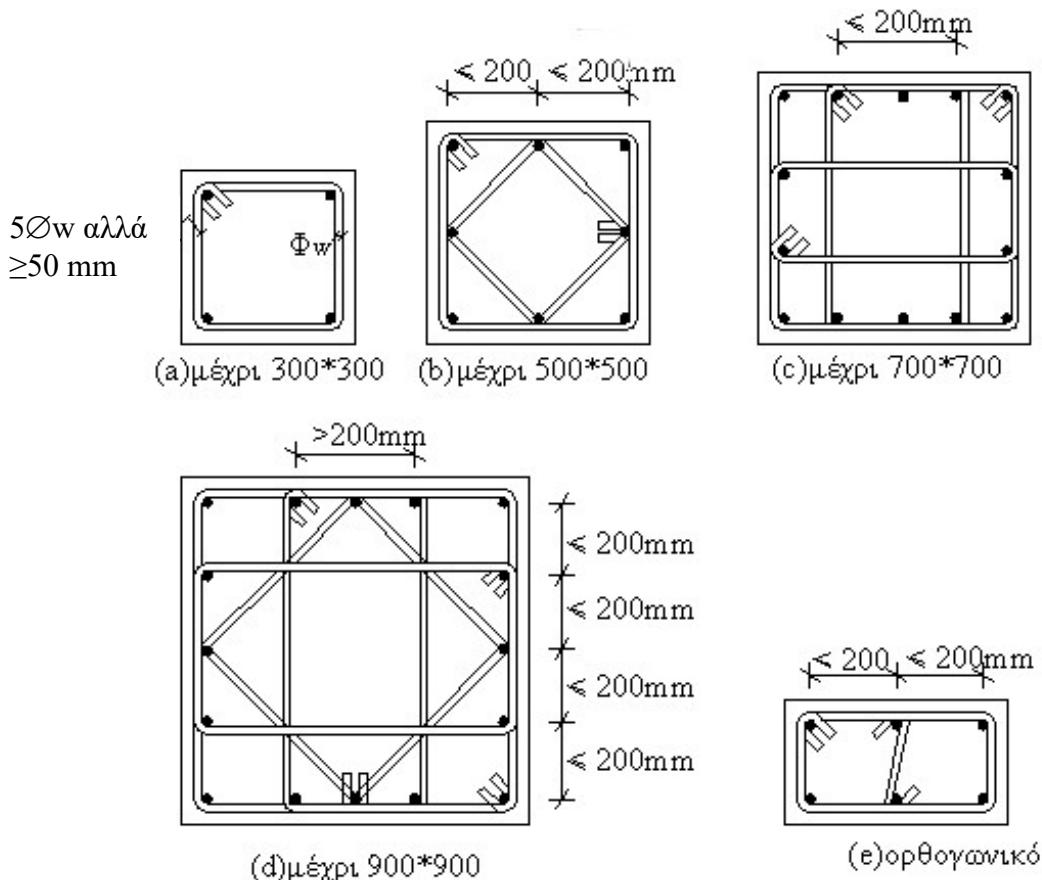
$$\omega_{wd} = (\rho_x + \rho_y) \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \cong 2\rho_x \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

αν $\rho_x \neq \rho_y$ τότε θα λαμβάνεται υπόψη η μικρότερη τιμή ρ_{min} :

$$\omega_{wd} = 2\rho_{min} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

4.6 Αγκύρωση συνδετήρων

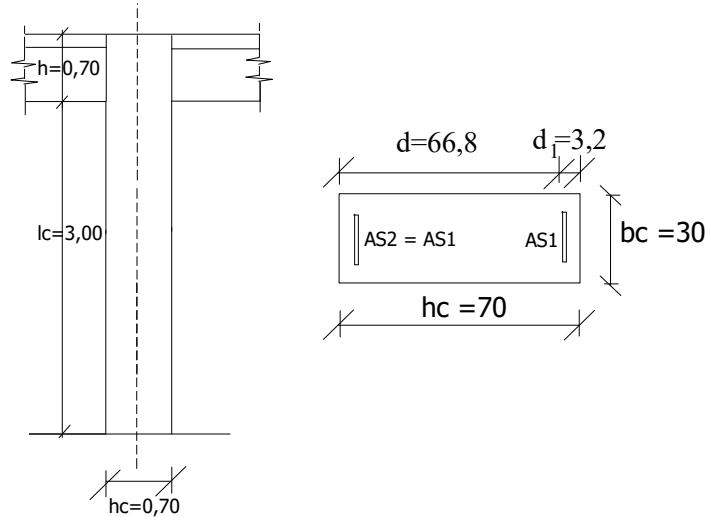
Η αγκύρωση των συνδετήρων των υποστυλωμάτων μπορεί να γίνεται σύμφωνα με το σχήμα 3.4. Αν γίνεται με άγκιστρο θα πρέπει το μήκος άγκιστρου να είναι $5\varnothing$ αλλά ≥ 50 mm (όπου \varnothing η διάμετρος του συνδετήρα). Αν γίνεται με κάμψη της ράβδου του συνδετήρα κατά 90° θα πρέπει το μήκος που κάμφηκε να είναι $10\varnothing$ αλλά ≥ 70 mm.



Σχ. 3.4 Διαμόρφωση και αγκύρωση συνδετήρων σε υποστηλώματα

5. Εφαρμογή - Σχεδιασμός υποστυλώματος

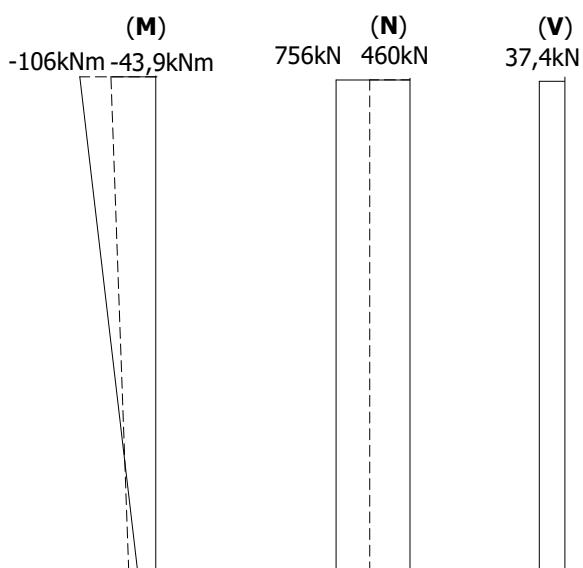
Ζητείται ο σχεδιασμός του υποστυλώματος ορθογωνικής διατομής με πλευρά $b=30\text{cm}$ και ύψος $h=70\text{cm}$ (σχ. 5.1) το οποίο αποτελεί μέρος ενός μονώροφου πλαισίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Δίδεται καθαρό ύψος ορόφου $3,0 \text{ m}$.



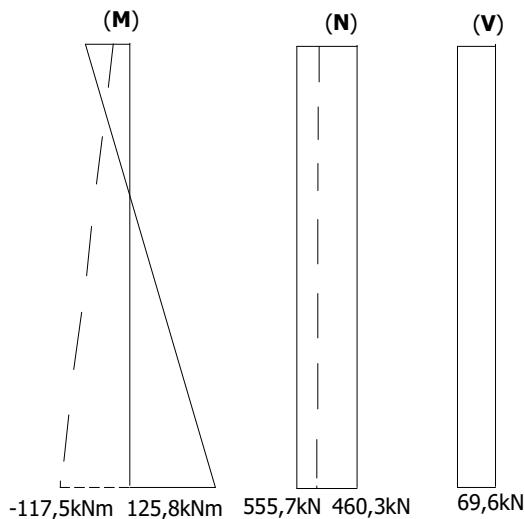
Σχ. 5.1 Γεωμετρικά στοιχεία υποστηλώματος

Στα Σχ. 5.2 και Πίνακα 1 δίνονται τα εντατικά μεγέθη για κατακόρυφα φορτία του υποστυλώματος, όπως προέκυψαν από επίλυση του πλαισίου για μόνιμα και μεταβλητά φορτία (συνήθεις δράσεις).

Αντίστοιχα, στα Σχ. 5.3 και Πίνακα 1 δίνονται τα εντατικά μεγέθη του υποστυλώματος από επίλυση του πλαισίου για οριζόντια ισοδύναμη στατική φόρτιση (σεισμικές δράσεις).



Σχ. 5.2 Εντατικά μεγέθη για κατακόρυφα φορτία (Συνήθεις δράσεις)



Σχ. 5.3 Εντατικά μεγέθη για οριζόντια ισοδύναμη φόρτιση (Σεισμικές δράσεις)

Οι ροπές και οι τέμνουσες που δίδονται, να θεωρηθούν σε όλες τις περιπτώσεις ως τιμές παρειάς.

Ο σχεδιασμός θα γίνει σύμφωνα με τις διατάξεις των EC2 και EC8 για κατασκευή με μέσο επίπεδο πλαστιμότητας (κατασκευή DCM).

Υλικά: Σκυρόδεμα C30, Χάλυβας διαμήκων οπλισμών και συνδετήρων B500C (S500)

1. Υπολογισμός διαμήκων οπλισμών (κύριου οπλισμού)

1.1. Μεγέθη σχεδιασμού

Συνδυασμοί δράσεων:

- χωρίς σεισμό $S_d = S (1.35G + 1.50Q)$ (1ος συνδυασμός)
- με σεισμό $S_d = S (G + 0.3Q \pm E)$ (2ος και 3ος συνδυασμός)

Πίνακα 1. Κρίσιμος συνδυασμός τιμών M_{sd} και N_{sd}

Διατομή	Συνδυασμός δράσεων χωρίς σεισμό ^(1ος συνδυασμός) $S_d = S (1.35G + 1.50Q)$ min/max		Συνδυασμοί δράσεων με σεισμό ^(2ος και 3ος συνδυασμός) $S_d = S (G + 0.3Q \pm E)$ min/max	
	Ακραία M_y	Ταυτόχρονη N	Ακραία M_y	Ταυτόχρονη N
Κάτω	- -	- -	-117,5 125,8	-460,3 -555,7
Άνω	-106,0 -43,9	-756,9 -460,3	- -	- -

Παρατηρούμε ότι η αξονική δύναμη παραμένει σε όλες τις περιπτώσεις θλιπτική. Επειδή, όμως, η ροπή από σεισμικές δράσεις, που είναι καθοριστική για την όπλιση, αλλάζει πρόσημο, ανάλογα με τη φορά της σεισμικής δράσης, τίθεται στο υποστύλωμα **συμμετρικός οπλισμός**. Παρατηρείται, επίσης, από τους συνδυασμούς φορτίσεων ότι τα σχεδιαστικά μεγέθη άνω και κάτω διαφέρουν ουσιαστικά από απόψεως ροπής σχεδιασμού. Ωστόσο, επιλογή είναι να διατηρηθεί **ενιαίος οπλισμός σε όλο το μήκος** του υποστυλώματος. Στον Πίνακα 1 δίδεται ο κρίσιμος συνδυασμός τιμών M_{sd} και N_{sd} με βάση τις οποίες θα υπολογισθεί ο ενιαίος αυτός συμμετρικός οπλισμός.

1.2. Υπολογισμός οπλισμών

Στους υπολογισμούς λαμβάνεται επικάλυψη 1.5cm. Άρα θεωρώντας συνδετήρες $\varnothing 8$ και διαμήκεις οπλισμούς $\varnothing 18$ η συνολική απόσταση του κέντρου βάρους του οπλισμού από την άκρη της διατομής θα είναι

$$d_1 = d_2 = 15 + \varnothing_\sigma + \varnothing_L/2 = 15 + 8 + 18/2 = 32 \text{ mm}$$

Επειδή ο οπλισμός είναι συμμετρικός $d_1 = d_2$.

Για τον υπολογισμό των οπλισμών χρησιμοποιούνται διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N. Ο σχεδιασμός με χρήση διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης δίδει συμμετρικό οπλισμό.

Επιλέγεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N για σκυρόδεμα C30, χάλυβα S500 και $d_1/h = 3,2/70 = 0,05$.

- Άνω

1ος συνδυασμός - min My

$$\left. \begin{array}{l} M_{sd} = 106,00 \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{106 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70^2 \cdot \frac{30}{1.5}} = 0,036 \\ N_{sd} = 756,90 \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{756,9 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70 \cdot \frac{30}{1.5}} = 0,18 \end{array} \right\} \omega_{tot} = 0$$

1ος συνδυασμός - max My

$$\left. \begin{array}{l} M_{sd} = 43,9 \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{43,9 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70^2 \cdot \frac{30}{1.5}} = 0,015 \\ N_{sd} = 460,3 \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{460,3 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70 \cdot \frac{30}{1.5}} = 0,109 \end{array} \right\} \omega_{tot} = 0,02$$

- Κάτω

2ος και 3ος συνδυασμός- min My

$$\left. \begin{array}{l} M_{sd} = 117,5 \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{117,5 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70^2 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,04 \\ N_{sd} = 460,3 \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{460,3 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,109 \end{array} \right\} \omega_{tot} = 0$$

2ος και 3ος συνδυασμός- max My

$$\left. \begin{array}{l} M_{sd} = 125,8 \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{125,8 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70^2 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,043 \\ N_{sd} = 555,7 \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{555,7 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,132 \end{array} \right\} \omega_{tot} = 0$$

- Στους συνδυασμούς δράσεων με σεισμό ισχύει παντού η απαίτηση για πλαστιμότητα: $v_d \leq 0,65$

- Ο 1ος συνδυασμός φορτίσεων στην άνω διατομή απαιτεί τον περισσότερο συνολικό οπλισμό (το μεγαλύτερο $\omega_{tot} = 0,02$). Με βάση το αποτέλεσμα αυτό υπολογίζονται οι απαιτούμενοι οπλισμοί:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{bh}{f_{yd}/f_{cd}} = 0,02 \frac{30cm \cdot 70cm}{\frac{500}{1,15} / \frac{30}{1,5}} = 1,93 cm^2$$

Ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός είναι 1% και προκύπτει από την σχέση

$$A_{s,tot} = 0,01 bh = 0,01 \cdot 30 \cdot 70 = 21 cm^2 > 1,93 cm^2$$

Τελικά τοποθετούνται 8Ø18 ($20,36 cm^2 \approx 21 cm^2$) συνολικός οπλισμός (Σχ. 5.6).

Δηλαδή τοποθετούνται 4Ø18 ανά πλευρά κατά τη διεύθυνση της καταπόνησης.

Στις άλλες δύο πλευρές τοποθετούνται ανά $(70-2 \cdot 3,2)/4 = 15,9 cm$ $3 \varnothing 14$ με τους αντίστοιχους κατά γ πολλαπλούς συνδετήρες, σύμφωνα με τον περιορισμό ότι σε κάθε πλευρά θα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον 3 ράβδοι ανα αποστάσεις $bi < 20 cm$. Κατά x δεν απαιτείται ενδιάμεσος συνδετήρας, αφού $30-2 \cdot 3,2 = 23,6 \approx 20 cm = bi$

2. Υπολογισμός εγκάρσιων οπλισμών (συνδετήρες)

2.1. Κρίσιμες περιοχές

Το μήκος των ακραίων κρισίμων περιοχών του υποστυλώματος δίδεται από τη σχέση :

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ l_{cl}/6 \\ 0,45 m \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c = 0,70 \\ l_{cl}/6 = 3/6 = 0,50 \\ 0,45 m \end{array} \right\} = 0,70$$

Άρα ως κρίσιμες περιοχές θεωρούνται τα ακραία τμήματα, μήκους 70 cm του υποστυλώματος.

2.2 Συνδυασμοί φορτίσεων - Τέμνουσες σχεδιασμού εντός κρισίμων περιοχών

2.2.1 Τέμνουσες από συνδυασμούς φορτίσεων (Σχ. 5.2, 5.3)

Συνδυασμοί δράσεων :

$$-\text{χωρίς σεισμό } S_d = S (1.35G + 1.50Q) \quad (1\text{ος συνδυασμός})$$

$$-\text{ με σεισμό } S_d = S (G + 0.3Q) \pm E \quad (2\text{ος και } 3\text{ος συνδυασμός})$$

οπότε

1ος συνδυασμός

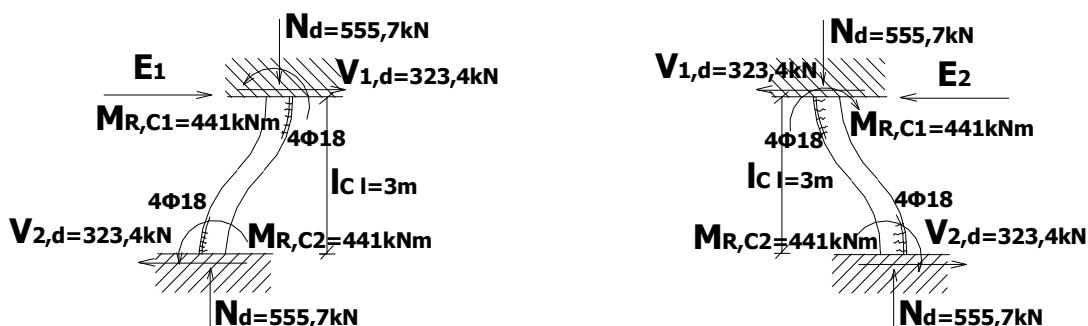
$$V_{sd} = (1,35V_g + 1,5V_q) = 37,4 \text{ kN}$$

2ος και 3ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (V_g + 0.3 V_q + V_E) = 69,6 \text{ kN}$$

2.2.2. Τέμνουσες από Ικανοτικό σχεδιασμό

Επί πλέον, σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό (EC8) για αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας (διατμητική αστοχία) θα πρέπει η τέμνουσα σχεδιασμού των υποστυλωμάτων να προσδιορίζεται και από τις ροπές αντοχής στα άκρα τους.



Σχ. 5.4 Υπολογισμός ικανοτικής τέμνουσας υποστηλώματος

Για ενιαίο συμμετρικό οπλισμό $8\varnothing 18$ ($20,36 \text{ cm}^2$) σε όλο το μήκος του υποστυλώματος προσδιορίζονται οι σχεδιαστικές τιμές των ροπών αντοχής $M_{Rd,c1}$ και $M_{Rd,c2}$. Κατά τον υπολογισμό των $M_{Rd,c1}$ και $M_{Rd,c2}$ χρησιμοποιείται η μέγιστη τιμή N_d του συνδυασμού με σεισμό διότι αυτή δίνει τις μεγαλύτερες ροπές αντοχής.

Για τον υπολογισμό των ροπών αντοχής χρησιμοποιούνται πάλι τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N. Επιλέγεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N για σκυρόδεμα C30, χάλυβα S500 και $d_1/h = 3,2/70 = 0,05$:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{\text{tot}} &= \frac{A_{s,\text{tot}} f_{yd}}{bh f_{cd}} = \frac{20,36}{30 \cdot 70} \frac{500/1.15}{30/1.5} = 0,21 \\ N_{sd} &= 555,7 \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{555,7 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70 \cdot \frac{30}{1.5}} = 0,132 \end{aligned} \right\} \rightarrow \mu_d = 0,15 \rightarrow$$

$$M_{Rd,c1} = M_{Rd,c2} = \mu_{Rd} bh^2 f_{cd} = 0,15 \cdot 0,30 \cdot 0,70^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1.50 = 441,00 \text{ kNm}$$

Θεωρούμε επί το δυσμενέστερο ότι $\Sigma M_{Rb} \geq \Sigma M_{Rc}$ οπότε ισχύει ότι

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \quad \text{όπου } \gamma_{Rd} = 1,1$$

άρα

$$V_{Rd,max,i} = 1,1(M_{Rc,1} + M_{Rc,2})/l_c = 1,1(441 + 441)/3,0 = 323,4 \text{ kN}$$

Δηλαδή $V_{Rd,max,i} = 323,4$ και $V_{Rd,min,i} = -323,4$ και παρατηρείται τελικά ότι η ικανοτική τέμνουσα είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες δρώσες τέμνουσες σχεδιασμού που προκύπτουν από τους συνδυασμούς φορτίσεων και άρα οι υπολογισμοί για συνδετήρες θα γίνουν με βάση την τέμνουσα αυτή: $V_{Ed} = \max(37,4, 69,6, 323,4) = 323,4 \text{ kN}$

2.3. Αντοχές σχεδιασμού - Έλεγχοι εντός κρισίμων περιοχών

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης γίνεται με το «δικτυωματικό μοντέλο μεταβλητής γωνίας» βάσει του οποίου γίνεται εκτίμηση της γωνίας κλίσης θ των θλιβόμενων διαγωνίων του σκυροδέματος.

2.3.1. Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

Οι διαστάσεις του κορμού πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται σε όλο το μήκος της δοκού η σχέση $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$

Τέμνουσες V_{Ed}

$$V_{Ed} = \max(37,4, 69,6, 323,4) = 323,4 \text{ kN}$$

Αντοχή σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα $V_{Rd,max}$

Η αντοχή $V_{Rd,max}$ δίδεται από τη σχέση

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

όπου

$$\alpha_{cw} = 1,0 \quad (\text{για μη προεντεταμένη κατασκευή})$$

$$v_1 = 0,60 \quad (\text{για } fck \leq 60 \text{ MPa})$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 66,8 = 60,12 \text{ cm} = 0,60 \text{ m}$$

και

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,0 \cdot 0,30 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot (\frac{30}{1,5}) \cdot 10^3}{2,5 + 0,40} = 744,83 \text{kN}$$

Ο έλεγχος $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ γίνεται στις παρειές για τέμνουσα με και χωρίς σεισμό και για την τέμνουσα από ικανοτικό έλεγχο η οποία συνήθως είναι η δυσμενέστερη. Σε κάθε περίπτωση ισχύει $V_{Rd,max} = 744,38 \text{kN} > V_{Ed}=323,4 \text{kN}$ και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

2.3.2. Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

- Αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης

Η αντοχή δίδεται από τη σχέση

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$$

όπου

$$C_{Rd,c} = \text{συντελεστής από δοκιμές}, C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c=0,18/1,5=0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{668}} = 1,547 \leq 2,0 \quad (d \text{ σε mm})$$

ρ_1 : ποσοστό εφελκυομένου χάλυβα, $A_{sl} = 4\varnothing 18$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{10,18}{30 \cdot 66,8} = 0,005$$

f_{ck} : χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος = 30 MPa

b_w : μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυόμενη περιοχή = 0,30m

d : ενεργό ύψος διατομής = 0,668m

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0,20 \quad f_{cd} = 0,2 \cdot 30 / 1,5 = 4 \text{ MPa}$ όπου N_{Ed} είναι το αξονικό φορτίο διατομής λόγω φόρτισης ή προέντασης

$$\sigma_{cp} = \frac{460,3 \cdot 10^{-3}}{0,30 \cdot 0,70} = 2,19 \text{ MPa} \leq 0,20 \quad f_{cd} = 4 \text{ MPa}$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές η αντοχή $V_{Rd,c}$ υπολογίζεται ως εξής

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,547 \cdot (100 \cdot 0,005 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 2,19] \cdot 0,30 \cdot 0,668 \cdot 10^3 = 157,72 \text{ kN}$$

Ο έλεγχος $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ γίνεται στις παρειές για τέμνουσα με και χωρίς σεισμό και για την τέμνουσα από ικανοτικό έλεγχο η οποία συνήθως είναι η δυσμενέστερη. Σε κάθε περίπτωση ισχύει $V_{Rd,c} = 157,72 \text{ kN} < V_{Ed}=323,4 \text{ kN}$ και άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

2.4 Υπολογισμός οπλισμού

Ο οπλισμός (συνδετήρες) εξάγεται από τη σχέση $V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$

όπου $V_{Rd,s}$ η αντοχή για υποστυλώματα με οπλισμό διάτμησης η οποία προκύπτει από τη σχέση

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta$$

και άρα οι συνδετήρες προκύπτουν από τη σχέση

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \rightarrow V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot\theta \geq V_{Ed} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot\theta}$$

όπου

$z = 0.9 d$ κατά EC2

f_{ywd} θα πρέπει να μειώνεται σε $f_{ywd} = 0.8 f_y$ σύμφωνα με EC2

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται η γωνία $\theta = 45^\circ \rightarrow \cot\theta = 1,0$ διότι δεν είναι επιθυμητή η πιθανή αλλαγή του d . Με αυτή την επιλογή εξασφαλίζεται ότι υπάρχει αποδεκτή λύση για $d=0,668$ αλλά προκύπτει έτσι η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα σε συνδετήρες για το δεδομένο d . Κατόπιν όμως είναι δυνατόν να γίνει μία νέα δοκιμή με μικρότερη γωνία θ ώστε να προκύψει νέα λύση με λιγότερους συνδετήρες για το ίδιο d . Στην περίπτωση που προκύψουν οπλισμοί διάτμησης (συνδετήρες) λιγότεροι από τους ελάχιστους συνδετήρες τότε προφανώς θα τοποθετηθούν οι ελάχιστοι συνδετήρες.

Παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι η ικανοτική τέμνουσα:

$$V_{Ed}=323,4 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot\theta} = \frac{323,4 \cdot 10^{-3}}{0,90 \cdot 0,668 \cdot 0,80 \cdot 500 \cdot 1,00} = 0,00134 \text{ m} = 0,134 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0,134 \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτμητοι } (A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Αρα } s \leq \frac{A_{sw}}{0,134} = \frac{1,01}{0,134} \rightarrow s \leq 7,54 \text{ cm}$$

Επομένως απαιτούνται $\varnothing 8/7,5$ τουλάχιστον

2.5 Ελάχιστοι συνδετήρες κρίσιμων περιοχών

-Μέγιστη απόσταση

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_o/2 = [300 - 2(15 + 8/2)]/2 = 131 \text{ mm} \\ 8d_{bL,min} = 8 \cdot 14 = 112 \text{ mm} \\ 175 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow s_{max} = 11 \text{ cm}$$

όπου

$d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

b_0 η μικρότερη πλευρά του πυρήνα σκυροδέματος υποστυλώματος έως τον άξονα των συνδετήρων (πυρήνας υπό περίσφιξη)

- Διάμετρος

$$d_{bw} \geq \begin{cases} 6 \text{ mm} \\ 1/4 d_{bL,max} = 18 \text{ mm}/4 = 4,5 \text{ mm} \end{cases}$$

όπου

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

$d_{bL,max}$ η μεγαλύτερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων.

Άρα ελάχιστοι συνδετήρες στις κρίσιμες περιοχές $\varnothing 8/11$

Επομένως τοποθετούνται στις κρίσιμες περιοχές $\varnothing 8/7,5$ ($7,5 \text{ cm} < 11 \text{ cm}$)

2.6 Οπλισμός περίσφιξης κρισίμων περιοχών

Οι απαιτήσεις για οπλισμό περίσφιξης στα υποστυλώματα των κατασκευών μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM) περιορίζονται μόνο στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων.

- Υπάρχον Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού ω_{wd} των συνδετήρων $\varnothing 8/7,5$ (Σχ. 5.6)

Μήκος σκέλους περιμετρικού συνδετήρα κατά x: $70,0 - 1,5 - 1,5 - 0,8/2 - 0,8/2 = 66,2 \text{ cm}$

Μήκος σκέλους περιμετρικού συνδετήρα κατά y: $30,0 - 1,5 - 1,5 - 0,8/2 - 0,8/2 = 26,2 \text{ cm}$

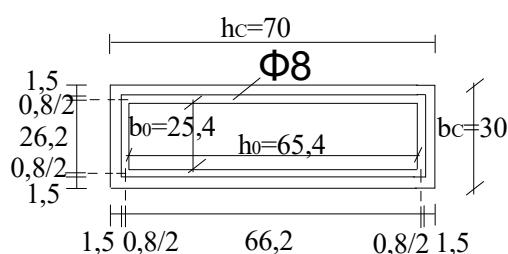
Μήκος σκέλους εσωτερικού συνδετήρα κατά x: $15,9 \cdot 2 = 31,8 \text{ cm}$

Μήκος σκέλους εσωτερικού συνδετήρα κατά y: $26,2 \text{ cm}$

Επειδή $\Sigma l_x = (66,2 + 31,8) \cdot 2 = 196 \text{ cm} > \Sigma l_y = (26,2 + 26,2) \cdot 2 = 104,8 \text{ cm} \rightarrow \rho x > \rho y = \rho min \rightarrow$

$$\omega_{wd} = 2\rho min \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετήρων}}{\text{όγκος σκυροδ. πυρήνα}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{(26,2 + 26,2) \cdot 2 \cdot 0,5}{(66,2 - 0,8) \cdot (26,2 - 0,8) \cdot 7,5} \cdot \frac{\frac{500}{1,15}}{\frac{30}{1,5}}$$

$$= 0,185$$



Σχ. 5.5 Διαστάσεις του υπό περίσφιξη πυρήνα και μήκος σκελών περιμετρικών συνδετήρων

- Απαιτούμενο Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού ω_{wd} των συνδετήρων

Πρέπει οι κλειστοί συνδετήρες στη κρίσιμη περιοχή στη βάση του υποστυλώματος να ικανοποιούν την σχέση:

$$\alpha_{wd} \geq 30\mu_{\varphi}v_d\varepsilon_{sy,d}(b_c/b_o)-0.035$$

και ελάχιστη απαίτηση στη βάση $\omega_{wd} \geq 0.08$

όπου

μ_{φ} η απαιτούμενη τιμή του συντελεστή πλαστιμότητας καμπυλοτήτων, δίδεται από τις σχέσεις:

$$\mu_{\varphi} = 2q_o - 1 \quad \text{εάν } T_1 \geq T_c \quad \text{και}$$

$$\mu_{\varphi} = 1+2(q_o - 1)T_c/T_1 \quad \text{εάν } T_1 < T_c$$

όπου

q_o η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς

T_1 η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου

T_c η μεγαλύτερη περίοδος στο ανώτατο σημείο της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης του φάσματος

Με βάση τα παραπάνω

- για μονώροφο λαμβάνεται περίπου $T \approx 0,1$ άρα $T < T_c$
- για Κατηγορία εδάφους A, $T_c = 0,2\text{sec}$
- για μονώροφο πολύστυλο DCM από Πίνακα προσδιορίζεται: $q=3,3$ άρα

$$\mu_{\varphi} = 1+2(q_o - 1)T_c/T_1 = 1+2(3,3-1)0,2/0,1=10,2$$

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη, δίδεται από τη σχέση $v_d = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$

$$v_d = N_{Ed} / (A_c f_{cd}) = 555,1 \cdot 10^{-3} / (0,3 \cdot 0,7 \cdot 30/1.5) = 0,132$$

A_c εμβαδόν ολόκληρης της διατομής σκυροδέματος

N_{Ed} η τιμή σχεδιασμού του θλιπτικού φορτίου κατά τη σεισμική δράση σχεδιασμού

$\varepsilon_{sy,d}$ η τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα

b_c η διάσταση της διατομής κάθετα προς την οριζόντια διεύθυνση προς την οποία υπολογίζεται η τιμή του μ_{φ} που λαμβάνεται υπόψη

b_o η αντίστοιχη της b_c διάσταση του υπό περίσφιξη πυρήνα (Σχ. 5.5)

α ο συντελεστής απόδοσης της περίσφιξης ίσος με $\alpha = a_n a_s$

Για ορθογωνικές διατομές:

$$\alpha_n = 1 - \sum b_i^2 / 6b_o h_o, a_s = (1-s/2b_o)(1-s/2h_o)$$

η είναι το συνολικό πλήθος διαμήκων ράβδων που συγκρατούνται από κλειστούς συνδετήρες ή μονοσκελείς συνδετήρες, και

b_i είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ράβδων που συγκρατούνται με συνδετήρες

Επομένως

$$\alpha_n = 1 - \sum_n b_i^2 / 6b_o h_o = 1 - \frac{15,9^2 \cdot 8 + 23,6^2 \cdot 2}{6 \cdot 65,4 \cdot 25,4} = 1 - \frac{2022,48 + 1113,92}{9966,96} = 0,685$$

$$a_s = (1 - s/2b_o) (1 - s/2h_o) = [1 - 7,5/(2 \cdot 25,4)][1 - 7,5/(2 \cdot 65,4)] = 0,851 \cdot 0,943 = 0,802$$

$$\alpha = \alpha_n \alpha_s = 0,685 \cdot 0,802 = 0,549$$

Άρα πρέπει

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0,035 \rightarrow \omega_{wd} \geq (1/\alpha) [30 \mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0,035]$$

$$\rightarrow \omega_{wd} \geq \frac{1}{0,549} \left(30 \cdot 10,2 \cdot 0,132 \frac{500}{1,15 \cdot 200000} \left(\frac{30}{25,4} \right) - 0,035 \right) = 0,125$$

και επειδή οι συνδετήρες Ø8/7,5 που έχουν τοποθετηθεί ως συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών έχουν μηχανικό οπλισμό $\omega_{wd} = 0,185$ προκύπτει ότι $\omega_{wd} = 0,185 \geq 0,125$

Ο έλεγχος ικανοποιείται και άρα οι συνδετήρες Ø8/7,5 είναι ικανοποιητικοί και στην κρίσιμη περιοχή στη βάση του υποστυλώματος

2.7 Συνδυασμοί φορτίσεων-Τέμνουσες σχεδιασμού εκτός κρισίμων περιοχών (Σχ. 5.2, 5.3)

Τα μεγέθη σχεδιασμού εκτός κρισίμων περιοχών είναι τα ίδια με τα μεγέθη σχεδιασμού που έχουν υπολογισθεί στις κρίσιμες περιοχές. Εκτός κρισίμων περιοχών δεν απαιτείται ικανοτικός έλεγχος ούτε έλεγχος περίσφιξης.

Συνδυασμοί δράσεων :

$$-\text{χωρίς σεισμό } S_d = S (1.35G + 1.50Q) \quad (1\text{ος συνδυασμός})$$

$$-\text{ με σεισμό } S_d = S (G + 0.3Q) \pm E \quad (2\text{ος και } 3\text{ος συνδυασμός})$$

οπότε

1ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (1,35V_g + 1,5V_q) = 37,4 \text{ kN}$$

2ος και 3ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (V_g + 0.3 V_q + V_E) = 69,6 \text{ kN}$$

2.8 Αντοχές σχεδιασμού - Έλεγχοι εκτός κρισίμων περιοχών

Η αντοχή $V_{Rd,c}$ στη μη κρίσιμη περιοχή έχει την ίδια τιμή με την αντοχή $V_{Rd,c}$ στη κρίσιμη περιοχή επειδή όλα τα χαρακτηριστικά της διατομής και οι οπλισμοί είναι τα ίδια σε όλο το μήκος του υποστυλώματος.

Άρα $V_{Rd,c} = 157,72 \text{ kN}$.

Ο έλεγχος $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ γίνεται στις παρειές για τέμνουσα με και χωρίς σεισμό. Σε κάθε περίπτωση ισχύει $V_{Rd,c} = 157,72 \text{ kN} > \max V_{Ed} = 69,6 \text{ kN}$ και άρα δεν απαιτείται οπλισμός

διάτμησης και τελικώς τοποθετούνται στις μη κρίσιμες περιοχές οι ελάχιστοι συνδετήρες που απαιτούνται στις μη κρίσιμες περιοχές.

2.9 Ελάχιστοι συνδετήρες μη κρίσιμων περιοχών

Στις μη κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων για κατασκευές DCM (και DCH) η μεγίστη απόσταση, s_{max} , λαμβάνεται από :

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_{min} = 300\text{mm} \\ 2d_{bL,min} = 20 \times 14 = 280\text{mm} \\ 400\text{mm} \end{cases} \quad \text{άρα } s_{max} = 28\text{cm}$$

όπου

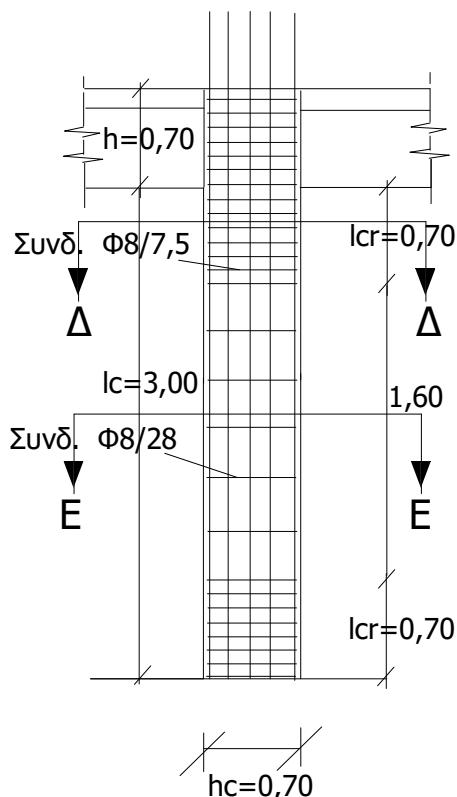
$2d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

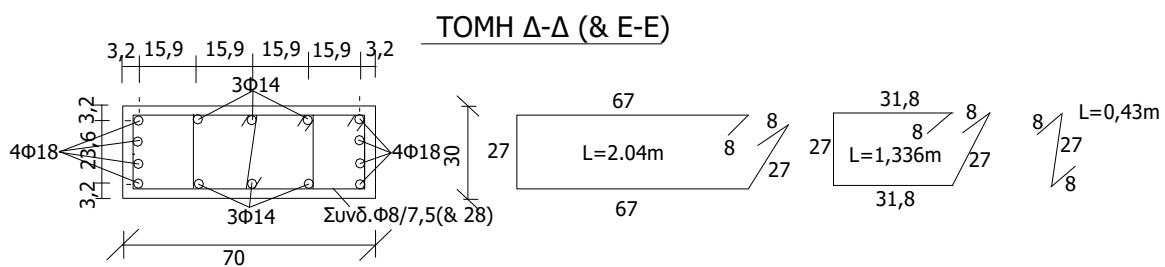
b_{min} η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος

Άρα τοποθετούνται στις μη κρίσιμες Φ8/28.

3. Διάταξη οπλισμών

Η κατά το ύψος τομή και η διατομή του υποστυλώματος μορφώνεται σύμφωνα με το παρακάτω Σχ. 5.6.





Σχ. 5.6 Διάταξη οπλισμού υποστηλώματος



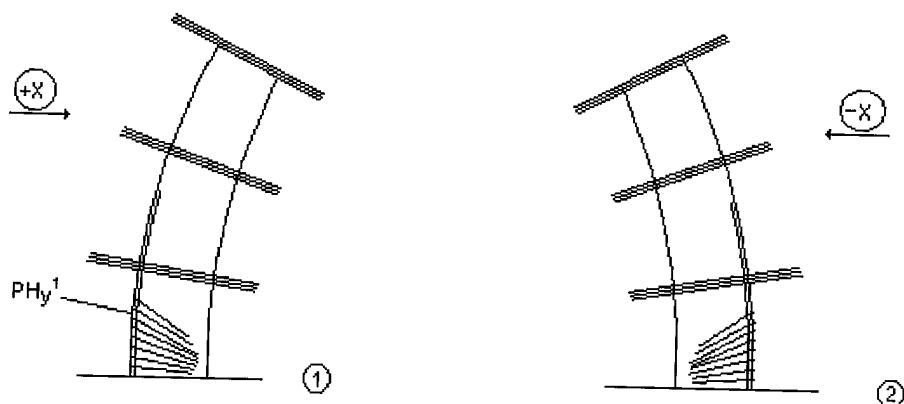
Σχ. 5.7 Διαμόρφωση οπλισμού υποστηλώματος

Δ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

1. Χαρακτηριστικά των τοιχωμάτων

Τα τοιχώματα από ωπλισμένο σκυρόδεμα αποτελούν τα κύρια δομικά στοιχεία για την αντιμετώπιση των οριζοντίων δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τη σεισμική διέγερση των συνήθων οικοδομικών έργων. Χρησιμοποιούνται είτε σε συνδυασμό με πλαίσια είτε και μόνα τους για την παραλαβή των οριζοντίων σεισμικών δράσεων. Τα κύρια χαρακτηριστικά που καθιστούν τα στοιχεία αυτά σχεδόν απαραίτητα για την αντιμετώπιση των σεισμικών δράσεων, είναι η πολύ μεγάλη δυσκαμψία και αντοχή που παρουσιάζουν έναντι οριζοντίων καταπονήσεων.

Βασικό χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς των στοιχείων αυτών στις πολυώροφες κατασκευές κατά μια σεισμική διέγερση, είναι ότι δρουν ως καμπτικοί πρόβολοι με πλήρη ή μερική πάκτωση στη βάση όπου και συγκεντρώνεται η κύρια καμπτική καταπόνηση. Βασική επιδίωξη του σχεδιασμού τους είναι σε περίπτωση μετελαστικής απόκρισης υπό σεισμική φόρτιση να αναπτύσσουν μια πλαστική άρθρωση στη βάση ενώ το υπόλοιπο μέρος να παραμένει στην ελαστική περιοχή (σχ. 4.1).



Σχ. 4.1 Πλαστική άρθρωση τοιχωμάτων.

2. Ορισμοί

Σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (EC2 και EC8) τοίχωμα θεωρείται ένα κατακόρυφο στοιχείο από ωπλισμένο σκυρόδεμα που φέρει άλλα στοιχεία και έχει επιμήκη διατομή με λόγο μήκους (l_w) προς πάχος (b_w) μεγαλύτερο του 4 (δηλαδή $l_w / b_w > 4$). Τα στοιχεία αυτά σχεδιάζονται με βάση τις διατάξεις σχεδιασμού των τοιχωμάτων.

Περαιτέρω με βάση τη γεωμετρία τους η οποία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την αναμενόμενη σεισμική συμπεριφορά τους τα τοιχώματα κατατάσσονται από τον EC8 σε δύο κατηγορίες:

(α) Πλάστιμα τοιχώματα

Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα συνήθη τοιχώματα από ωπλισμένο σκυρόδεμα τα οποία είναι πακτωμένα στη βάση ώστε να αποτρέπεται έτσι η σχετική στροφή της βάσης τους και συμπεριφέρονται έτσι ως καμπτικοί πρόβολοι. Επί πλέον αυτά είναι σχεδιασμένα με ειδικές κατασκευαστικές διατάξεις έτσι ώστε να απορροφάται ενέργεια με τη δημιουργία μιας ζώνης καμπτικής πλαστικής άρθρωσης μόλις πάνω από τη βάση τους. Η περιοχή αυτή προβλέπεται να είναι απηλαγμένη από ανοίγματα ή μεγάλες οπές. Τα πλάστιμα τοιχώματα προβλέπονται στις κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM) και στις κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH). Ειδικές κατασκευαστικές διατάξεις υπάρχουν σε κάθε περίπτωση.

(β) Μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα

Σε αυτή τη κατηγορία κατατάσσονται τοιχώματα των οποίων η μια οριζόντια διάσταση (l_w), δηλαδή η μία διάσταση της διατομής, είναι μεγάλη τουλάχιστον 4 μέτρα ή τα δύο τρίτα του ύψους του τοιχώματος όποιο από τα δύο είναι μικρότερο. Δηλαδή ισχύει:

$$l_w \geq \min \begin{cases} 4m \\ 2/3h_w \end{cases} \quad (1)$$

Τα μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα αναμένεται να αναπτύξουν περιορισμένη ρηγμάτωση και περιορισμένη μετελαστική συμπεριφορά (πλαστιμότητα) υπό τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού. Τα στοιχεία αυτά αφενός λόγω των διαστάσεων τους και αφετέρου επειδή δεν είναι δυνατόν να είναι πλήρως πακτωμένα στη βάση τους θεωρείται ότι δεν μπορεί να σχεδιασθούν αποτελεσματικά για απελευθέρωση ενέργειας μέσω πλαστικής άρθρώσεως στη βάση (EC8).

Τα μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα προβλέπονται μόνο στις κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM) και υπάρχουν ειδικές κατασκευαστικές διατάξεις όπλισης για αυτά.

3. Ελάχιστο πάχος κορμού τοιχωμάτων

Για το πάχος των τοιχωμάτων ισχύει ο εξής γεωμετρικός περιορισμός (σχ. 4.2):

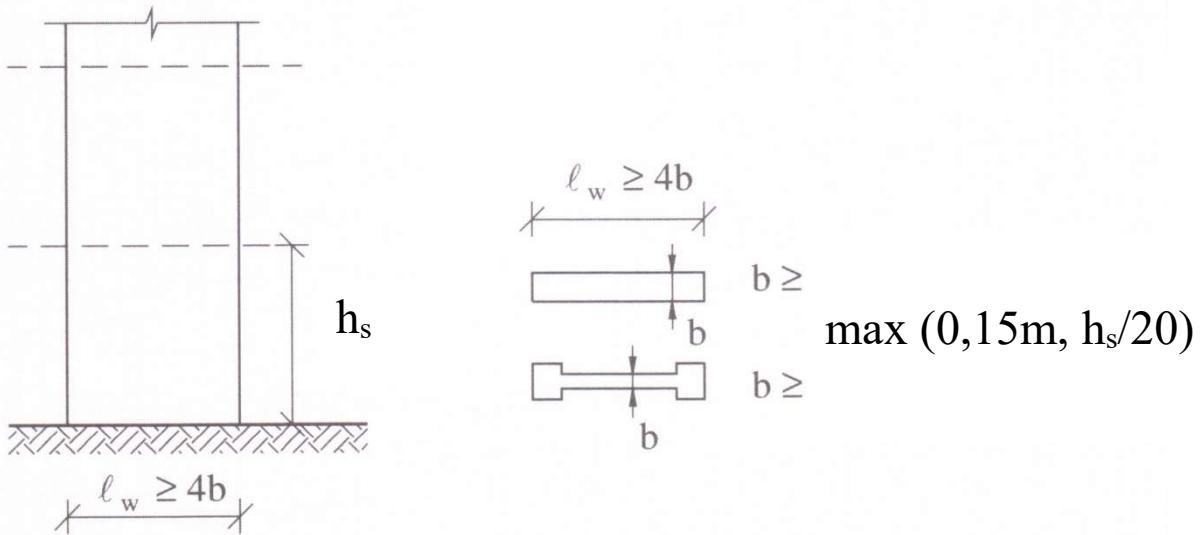
$$b_{w0} \geq \max \begin{cases} 0,15 \text{ m} \\ h_s/20 \end{cases} \quad (2)$$

όπου

b_{w0} το ελάχιστο πάχος του κορμού

h_s το καθαρό ύψος ορόφου

Ο παραπάνω περιορισμός για το πάχος κορμού ισχύει για όλες τις περιπτώσεις των τοιχωμάτων που προβλέπονται από τον Ευρωκώδικα 8.



Σχ. 4.2 Γεωμετρικά στοιχεία τοιχωμάτων

4. Αξονικό φορτίο νd τοιχωμάτων

Κατά τον Ευρωκώδικα 8 υπάρχει περιορισμός για το ανηγμένο αξονικό φορτίο v_d των τοιχωμάτων. Ειδικότερα πρέπει:

- Για κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM) : $v_d \leq 0,40$ (3α)
- Για κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH): $v_d \leq 0,35$ (3β)

Για τη διαμόρφωση τοιχώματος με την ελάχιστη δυνατή επιφάνεια διατομής και για τοίχωμα ορθογωνικής διατομής, $A_c = l_w b_{w0}$, χρησιμοποιούμε κατ' αρχήν την σχέση (2) για να εκτιμήσουμε το μικρότερο αποδεκτό πάχος κορμού b_{w0} και κατόπιν με βάση τις σχέσεις (3α) ή (3β) υπολογίζουμε την άλλη διάσταση της διατομής ως εξής:

$$\text{DCM} : v_d = N_d A_c f_{cd,0} \leq 0,40 \rightarrow A_c \geq N_d / (0,40 f_{cd,0}) \rightarrow l_w \geq N_d / (0,40 f_{cd,0} b_{w0})$$

$$\text{DCM} : v_d = N_d A_c f_{cd,0} \leq 0,35 \rightarrow A_c \geq N_d / (0,35 f_{cd,0}) \rightarrow l_w \geq N_d / (0,35 f_{cd,0} b_{w0})$$

5. Κρίσιμη περιοχή για τα πλάστιμα τοιχώματα

Ενα τμήμα του τοιχώματος πάνω από τη βάση του θεωρείται κρίσιμη περιοχή και προβλέπονται ειδικές αυστηρότερες, διατάξεις διαμόρφωσης και όπλισης για το τμήμα αυτό σε σχέση με το υπόλοιπο στοιχείο.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 ως κρίσιμη περιοχή για τα πλάστιμα τοιχώματα σε κατασκευές μέσης και υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCM και DCH) - (σχ. 4.3) λαμβάνεται ένα τμήμα h_{cr} του συνολικού ύψους του τοιχώματος αμέσως πάνω από τη βάση του. Το ύψος h_{cr} εκτιμάται από τη σχέση:

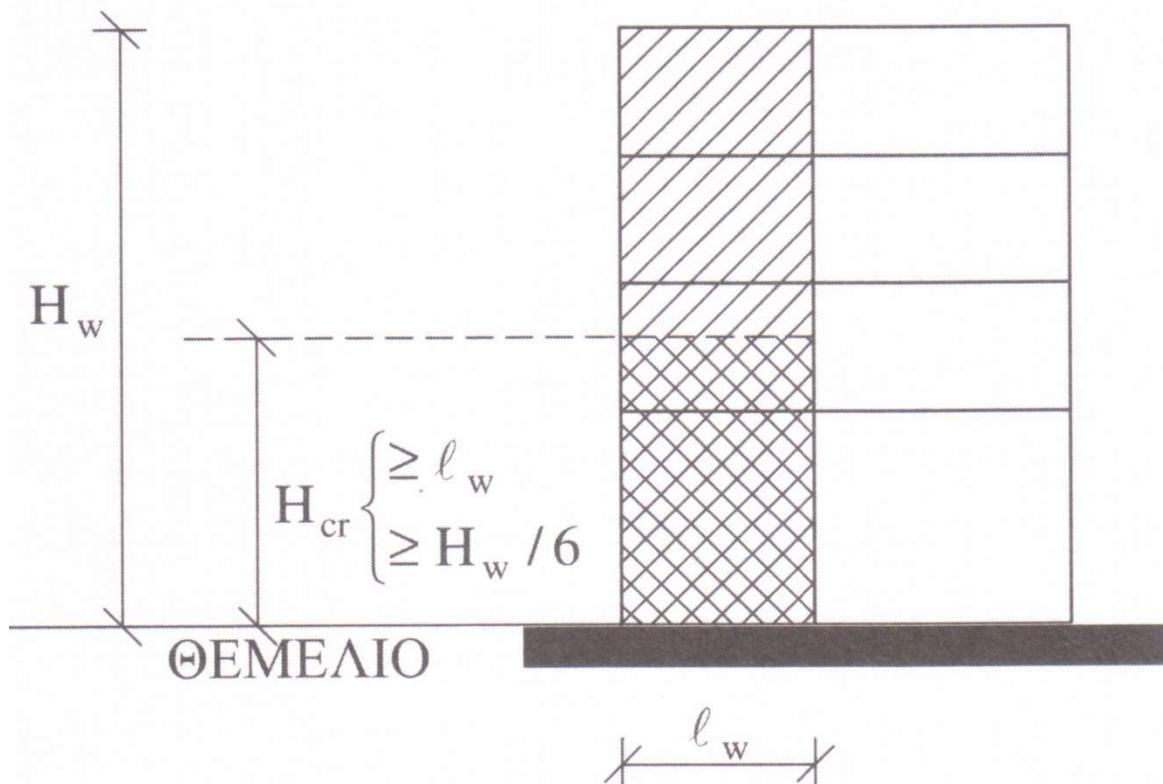
$$H_{cr} = \max \begin{cases} l_w \\ H_w/6 \end{cases} \quad (4)$$

όπου h_w συνολικό ύψος από την βάση του τοιχώματος ως την κορυφή του.

Σε κάθε περίπτωση όμως πρέπει να ικανοποιείται και η σχέση

$$H_{cr} \leq \begin{cases} 2l_w & \text{για } n \leq 6 \text{ ορόφους} \\ 2h_s & \text{για } n \geq 7 \text{ ορόφους} \end{cases} \quad (5)$$

όπου h_s το καθαρό ύψος ορόφου



Σχ.4.3 Κρίσιμη περιοχή τοιχώματος

6. Ακραίες περιοχές τοιχωμάτων

Πλάστιμων τοιχωμάτων

Τα ακραία τμήματα της διατομής των πλάστιμων τοιχωμάτων θα πρέπει να διαμορφώνονται και να οπλίζονται ως υποστυλώματα (ψευδούποστυλώματα) που οπλίζονται με βάση ειδικές διατάξεις όπλισης (Σχ. 4.4). Οι οπλισμοί αυτοί εξαρτώνται (α) από τη κατηγορία πλαστιμότητας της κατασκευής (DCM ή DCH) και (β) από τη θέση της ακραίας περιοχής, δηλαδή εάν βρίσκεται στη κρίσιμη περιοχή του τοιχώματος ή σε ανώτερο όροφο.

Το κάθε ένα από αυτά τα δύο ακραία τμήματα έχει μήκος l_c και πλάτος b_w . Το ελάχιστο μήκος των ακραίων περιοχών εκτιμάται από τη σχέση:

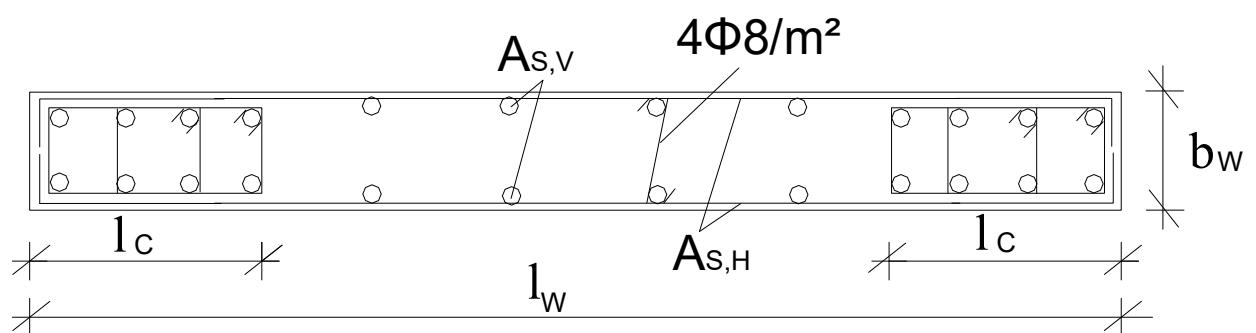
$$l_c \geq \max \begin{cases} 0,15l_w \\ 1,50b_w \end{cases} \quad (6)$$

σε κάθε όμως περίπτωση το τμήμα b_w θα πρέπει ικανοποιεί και τις συνθήκες:

$$\text{Εάν } l_c \leq \max \begin{cases} 0,20l_w \\ 2b_w \end{cases} \quad \text{πρέπει } b_w \geq \max \begin{cases} 0,20m \\ h_s/15 \end{cases}$$

$$\text{Εάν } l_c > \max \begin{cases} 0,20l_w \\ 2b_w \end{cases} \quad \text{πρέπει } b_w \geq \max \begin{cases} 0,20m \\ h_s/10 \end{cases}$$

όπου l_w , b_w το μήκος και το πλάτος του τοιχώματος, αντίστοιχα, h_s το καθαρό ύψος ορόφου



Σχ. 4.4 Διαμόρφωση ακραίων περιοχών πλάστιμου τοιχώματος (DCM και DCH)

Μεγάλων ελαφρά οπλισμένων τοιχωμάτων

Οι κατακόρυφες ράβδοι που υπολογίζεται ότι απαιτούνται από τον έλεγχο κάμψης με ορθή δύναμη συγκεντρώνονται σε ακραίες περιοχές των μεγάλων ελαφρά οπλισμένων τοιχωμάτων που έχουν πλάτος b_w ίσο με το πλάτος του τοιχώματος και μήκος l_c που ορίζεται από τη σχέση:

$$l_c \geq \max \left\{ \begin{array}{l} b_w \\ 3b_w \sigma_{cm}/f_{cd} \end{array} \right\} \quad (7)$$

όπου

b_w το πλάτος του τοιχώματος

σ_{cm} ή μέση τιμή τάσης του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη στην οριακή κατάσταση αστοχίας από κάμψη με αξονική δύναμη

7. Περιορισμοί οπλισμού τοιχωμάτων

7.1. Γενικές διατάξεις

Οι γενικές διατάξεις ισχύουν για όλες τις περιπτώσεις των τοιχωμάτων.

Κατακόρυφος οπλισμός

Ο κατακόρυφος οπλισμός θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ του ελαχίστου $A_{s,vmin}$ και του μεγίστου $A_{s,vmax}$ όπου:

$$A_{s,vmin} = 0,002A_c \text{ (μπορεί να τίθεται μισός σε κάθε παρειά)}$$

$$A_{s,vmax} = 0,040A_c$$

Η απόσταση μεταξύ δύο κατακορύφων ράβδων δεν πρέπει να υπερβαίνει το $\min(3b_w \text{ ή } 3b_{w0}, 400mm)$

Οριζόντιος οπλισμός

Η συνολική ποσότητα του οριζόντιου οπλισμού (άθροισμα των οπλισμών των δύο παρειών) έχει ως ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή την $A_{s,hmin}$ όπου

$$A_{s,hmin} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,001A_c \\ 0,25A_{sv} \end{array} \right\}$$

Η απόσταση μεταξύ δύο οριζόντιων ράβδων δεν πρέπει να υπερβαίνει 400mm

7.2. Διαμήκης οπλισμός ακραίων περιοχών

Πέραν των απαιτήσεων των γενικών διατάξεων της προηγούμενης παραγράφου 7.1 που προέρχονται από τον EC2 για τον διαμήκη οπλισμόν των ακραίων περιοχών των τοιχωμάτων θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω περιορισμοί (EC8).

7.2.1. Πλάστιμα τοιχώματα

Οι ελάχιστες απαιτήσεις και οι περιορισμοί μεγίστου διαμήκους οπλισμού των ακραίων περιοχών των πλάστιμων τοιχωμάτων είναι οι ίδιες για κατασκευές μέσης και υψηλής κατηγορίας πλαστικότητας (DCM και DCH) και εξαρτώνται από τον όροφο. Ειδικότερα:

(α) Κρίσιμη περιοχή

Οι περιορισμοί των οπλισμών των ακραίων περιοχών, όταν ο όροφος στον οποίον ανήκουν βρίσκεται μέσα στη κρίσιμη περιοχή του τοιχώματος, είναι

$$\text{- Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός } \rho_{\min} = \frac{A_s}{l_c b_w} \geq 0,5\% \quad (8\alpha)$$

$$\text{- Μέγιστος επιτρεπτός οπλισμός } \rho_{\max} = \frac{A_s}{l_c b_w} = 4\% \quad (8\beta)$$

(β) Μη κρίσιμη περιοχή

Οι περιορισμοί των οπλισμών όταν οι ακραίες περιοχές ανήκουν σε όροφο ο οποίος βρίσκεται σε μη κρίσιμη περιοχή του τοιχώματος είναι

$$\text{- Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός } \rho_{\min} = \frac{A_s}{l_c b_w} \geq 0,2\% \quad (9)$$

(αν η θλιβόμενη παραμόρφωση του σκυροδέματος $\varepsilon_c > 2\%$ ο τότε $\rho_{\min} = 0,5\%$).

- Δεν υπάρχει ιδιαίτερος περιορισμός μεγίστου οπλισμού. Ισχύουν οι γενικές διατάξεις της προηγούμενης παραγράφου 7.1.

7.2.2. Μεγάλα ελαφρά ωπλισμένα τοιχώματα

(α) Διάμετρος κατακόρυφων ράβδων

- Στο χαμηλότερο όροφο και σε κάθε όροφο που το μήκος l_w του τοιχώματος μειώνεται περισσότερο από $h_s/3$ όπου h_s το ύψος του ορόφου, ισχύει ότι η διάμετρος των κατακορύφων ράβδων θα πρέπει να είναι $d_{bL} \geq 12 \text{ mm}$
- Στους υπολοίπους ορόφους η διάμετρος των κατακορύφων ράβδων θα πρέπει να είναι $d_{bL} \geq 10 \text{ mm}$

(β) Συνδετήρες

Σε όλους τους ορόφους οι διαμήκεις οπλισμοί προβλέπεται να περιβάλλονται με κλειστούς ή και μονοσκελείς συνδετήρες:

- Με διάμετρο $d_{bw} \geq \max \begin{cases} 6\text{mm} \\ d_{bL}/3 \end{cases}$ και
Σε αποστάσεις όχι μεγαλύτερες από $\min(100\text{ mm}, 8d_{bL})$

7.3. Οπλισμός κορμού

Πέραν των απαιτήσεων των γενικών διατάξεων της παραγράφου 7.1 που προέρχονται από τον EC2:

- Για τα **πλάστιμα τοιχώματα** θα πρέπει επί πλέον να ικανοποιούνται και οι παρακάτω αναφερόμενες ελάχιστες απαιτήσεις και οι περιορισμοί μεγίστου οπλισμού του κορμού που εξαρτώνται από την κατηγορία πλαστιμότητας της κατασκευής (EC8).
- Για τα **μεγάλα ελαφρά ωπλισμένα τοιχώματα** δεν υπάρχουν άλλες ειδικότερες απαιτήσεις.

Οπλισμός κορμού των πλάστιμων τοιχωμάτων

(α) Κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM)

- Οριζόντιος οπλισμός

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } \rho_{h,min} = \max \begin{cases} 1\% \\ 0,25\rho_v \end{cases} \quad (10\alpha)$$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ των οριζοντίων ράβδων $s_{h,max} \leq 400\text{ mm}$ (10\beta)

- Κατακόρυφος οπλισμός

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } \rho_{v,min} = 2\% \quad (11\alpha)$$

$$\text{Μέγιστος επιτρεπόμενος οπλισμός } \rho_{v,max} = 4\% \quad (11\beta)$$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ των κατακορύφων ράβδων

$$s_{v,max} = \min \begin{cases} 400\text{mm} \\ 3b_{w0} \end{cases} \quad (11\gamma)$$

(β) Κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH)

- Οριζόντιος οπλισμός

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } \rho_{h,min} = 2\% \quad (12\alpha)$$

Ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή διαμέτρου οριζοντίου οπλισμού

$$8\text{mm} \leq d_{bh} \leq (b_{w0}/8)$$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ των οριζοντίων ράβδων

$$s_{h,\max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 250 \text{ mm} \\ 25d_{bh} \end{array} \right.$$

- Κατακόρυφος οπλισμός

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } \rho_{v,min} = 2\% \quad (13\alpha)$$

$$\text{Μέγιστος επιτρεπόμενος οπλισμός } \rho_{v,max} = 4 \% \quad (13\beta)$$

Ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή διαμέτρου κατακορύφου οπλισμού

$$8\text{mm} \leq d_{bh} \leq (b_{w0}/8) \quad (13\gamma)$$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ των κατακορύφων ράβδων

$$S_{v,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 250 \text{ mm} \\ 25d_{bv} \end{array} \right. \quad (13\delta)$$

7.4. Οπλισμός περίσφιξης ακραίων περιοχών

Πέραν των απαιτήσεων των γενικών διατάξεων της παραγράφου 7.1 που προέρχονται από τον EC2 :

- Για τα **πλάστιμα τοιχώματα** θα πρέπει επί πλέον να ικανοποιούνται και οι παρακάτω αναφερόμενες απαιτήσεις και οι περιορισμοί για την εξασφάλιση της απαιτούμενης περίσφιξης των ακραίων περιοχών των τοιχωμάτων (EC8).
- Για τα **μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα** δεν υπάρχουν άλλες ειδικότερες απαιτήσεις

Οπλισμός περίσφιξης των ακραίων περιοχών των πλάστιμων τοιχωμάτων

7.4.1. Κρίσιμη περιοχή

Όταν οι ακραίες περιοχές σε κατασκευές μέσης και υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM και DCH) βρίσκονται μέσα στη κρίσιμη περιοχή του τοιχώματος πρέπει να τοποθετηθούν κλειστοί συνδετήρες στις ακραίες περιοχές των τοιχωμάτων, έτσι ώστε το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού των συνδετήρων αυτών, ω_{wd} , να ικανοποιεί την σχέση:

$$\alpha \omega_{wd} > 30 \mu_\phi (v_d + \omega_v) \epsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0,035 \quad (14)$$

όπου

α ο συντελεστής απόδοσης της περίσφιξης όπως αναλύεται για τα υποστυλώματα

μ_ϕ η απαιτούμενη τιμή του συντελεστή πλαστιμότητας καμπυλοτήτων, δίδεται από τις σχέσεις:

$$\mu_\phi = 2 q_o' - 1 \quad \text{εάν } T_1 \geq T_c \text{ και}$$

$$\mu_\phi = 1 + 2(q_o' - 1)T_c/T_1 \quad \text{εάν } T_1 < T_c$$

και q_o' είναι ίσο με το γινόμενο του q_o επί τη μέγιστη τιμή του λόγου M_{Ed}/M_{Rd}

$$\delta\text{λαδή } q_o' = q_o \cdot \max \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \quad (15)$$

q_o η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς

T_1 η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου

T_c η μεγαλύτερη περίοδος στο ανώτατο σημείο της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης του φάσματος

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη, δίδεται από τη σχέση $v_d = N_{Ed}/(A_c f_{cd})$

A_c εμβαδόν ολόκληρης της διατομής σκυροδέματος

N_{Ed} η τιμή σχεδιασμού του θλιπτικού φορτίου κατά τη σεισμική δράση σχεδιασμού

ων το μηχανικό ποσοστό του κατακορύφου οπλισμού του κορμού ανηγμένου στη διατομή, ων = $\rho_v f_{yd}/f_{cd}$

$\epsilon_{sy,d}$ η τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα

b_c η διάσταση της διατομής κάθετα προς την οριζόντια διεύθυνση προς την οποία υπολογίζεται η τιμή του μ_ϕ που λαμβάνεται υπόψη

b_o η αντίστοιχη της b_c διάσταση του υπό περίσφιξη πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων)

Επί πλέον περιορισμοί στις κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM)

- Η ελάχιστη επιτρεπτή τιμή για το μηχανικό ποσοστό του κατακορύφου οπλισμού στις ακραίες περιοχές τοιχωμάτων είναι $\omega_{wd} = 0,08$

$$- \text{Μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση συνδετήρων } s_{max} = \min \begin{cases} b_o/2 \\ 175 \text{ mm} \\ 8d_{bL,min} \end{cases} \quad (16)$$

όπου $d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων, b_o η μικρότερη πλευρά του πυρήνα σκυροδέματος της ακραίας περιοχής έως τον άξονα των συνδετήρων (πυρήνας υπό περίσφιξη)

Επί πλέον περιορισμοί στις κατασκευές υψηλής κατηγορίας, πλαστιμότητας (DCH)

- Η ελάχιστη επιτρεπτή τιμή για το μηχανικό ποσοστό του κατακορύφου οπλισμού στις ακραίες περιοχές τοιχωμάτων είναι $\omega_{wd} = 0,12$.

- Ελάχιστη τιμή διαμέτρου συνδετήρων

$$d_{bw} > \max \begin{cases} 0,40 d_{bL,max} \sqrt{(f_{ydl}/f_{ydw})} \\ 6mm \end{cases} \quad (17a)$$

- Μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση συνδετήρων

$$s_{\max} < \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/3 \\ 125 \text{ mm} \\ 6 d_{bL,\min} \end{array} \right\} \quad (17\beta)$$

όπου $d_{bL,\min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων, b_o η μικρότερη πλευρά του πυρήνα σκυροδέματος της ακραίας περιοχής έως τον άξονα των συνδετήρων (πυρήνας υπό περίσφιξη). Στον όροφο ακριβώς άνω της κρίσιμης περιοχής στις κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH) θα πρέπει στις ακραίες περιοχές των πλάστιμων τοιχωμάτων να επιβάλλεται περίσφιξη δηλαδή να εφαρμόζεται η σχέση (14). Σε αυτή όμως τη περίπτωση επιτρέπεται το γινόμενο $\alpha \cdot \omega_{wd}$ να είναι μειωμένο κατά 50%.

7.4.2. Μη κρίσιμη περιοχή

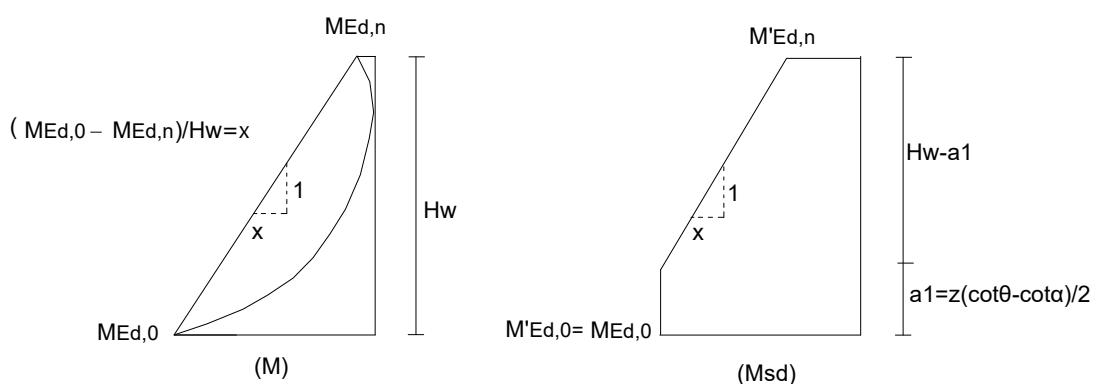
Στις ακραίες περιοχές που βρίσκονται εκτός της κρίσιμης περιοχής του τοιχώματος επιβάλλεται για κατασκευές μέσης και υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM και DCH) μόνον ο περιορισμός

- Ελάχιστος οπλισμός $\rho_{v,min} = 0,5 \%$ (18)

8. Μεγέθη σχεδιασμού πλάστιμων τοιχωμάτων (Περιβάλλονσες σχεδιασμού)

8.1. Περιβάλλονσα σχεδιασμού ροπών κάμψεως

Με σκοπό να ληφθεί υπόψη η επιρροή διαφόρων προβλημάτων που προκύπτουν από τον τρόπο αστοχίας των τοιχωμάτων, προβλέπεται κατά τον σχεδιασμό των πλάστιμων τοιχωμάτων έναντι κάμψεως η χάραξη μιας περιβάλλονσας ροπών κάμψεως σχεδιασμού (σχ. 4.5). Αυτή προέρχεται από τις ροπές που προέκυψαν από την ανάλυση για σεισμικές δράσεις με βάση κανόνες που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων και μετάθεση του διαγράμματος των ροπών.



Σχ. 4.5 Περιβάλλονσα σχεδιασμού ροπών κάμψεως πλάστιμων τοιχωμάτων

Η χάραξη της περιβάλλουσας σχεδιασμού των ροπών κάμψεως πλάστιμου τοιχώματος γίνεται με τα παρακάτω βήματα:

- (1) Υπολογισμός και χάραξη του διαγράμματος ροπών καθ' ύψος του τοιχώματος έτσι όπως αυτές προσδιορίζονται από την ανάλυση του δομικού συστήματος για σεισμικές δράσεις.
- (2) Από το σημείο της μέγιστης ροπής του τοιχώματος που βρίσκεται στη βάση του, δηλαδή το σημείο $M_{Ed,0}$ στο σχ. 4.5a, χαράσσεται ευθύγραμμο τμήμα προς ένα σημείο του διαγράμματος των ροπών το οποίο προσδιορίζεται έτσι ώστε το ευθύγραμμο αυτό τμήμα να αφήνει το διάγραμμα ροπών από τη μία πλευρά. Δηλαδή το ευθύγραμμο τμήμα να μην τέμνει το διάγραμμα ροπών. Στο σχήμα 4.5a το σημείο αυτό είναι το σημείο $M_{Ed,n}$. Το διάγραμμα που προκύπτει είναι μια γραμμική περιβάλλουσα που λαμβάνει υπόψη ότι οι πραγματικές ροπές ενδέχεται να λαμβάνουν σε ορισμένα σημεία μεγαλύτερες τιμές από αυτές που προκύπτουν από την ανάλυση.
- (3) Γίνεται κατακόρυφη μετάθεση της γραμμικής περιβάλλουσας που προέκυψε με φορά προς τα άνω κατά τμήμα a_1 (σχ. 4.5β) ενώ ταυτόχρονα επιμηκύνεται μια οριζόντια γραμμή από το ανώτατο σημείο της περιβάλλουσας έως την τομή των δύο τμημάτων (σημείο M' στο σχήμα 4.5β). Κατ' αυτό τον τρόπο σχηματίζεται η τελική περιβάλλουσα ροπών κάμψεως του τοιχώματος. Το μήκος του τμήματος a_1 μπορεί να προσδιορισθεί από τη σχέση

$$a_1 = z(\cot\theta - \cot\alpha)/2 \quad (19)$$

όπου

z ο μοχλοβραχίονας της διατομής ο οποίος γενικά μπορεί να λαμβάνεται $z = 0.8l_w$

θ η γωνία που σχηματίζουν οι λοξοί θλιπτήρες του σκυροδέματος με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα του τοιχώματος

α η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτμησης με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα του τοιχώματος, δηλαδή 90°

- (4) Η τιμή της ροπής σχεδιασμού σε ένα οποιοδήποτε σημείο του τοιχώματος σε ύψος x είναι η ροπή $M'_{Ed,x}$ η οποία προσδιορίζεται από το σημείο που η οριζόντια ευθεία σε ύψος x τέμνει τη περιβάλλουσα.

8.2. Περιβάλλουσα σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων

Για τα πλάστιμα τοιχώματα, όπως ήδη αναφέρθηκε, προβλέπεται κατά την πραγματοποίηση του σεισμού σχεδιασμού η δημιουργία στη βάση του τοιχώματος πλαστικής άρθρωσης ενώ στους υπολοίπους ορόφους το τοίχωμα θα πρέπει να παραμένει στην ελαστική περιοχή. Από την ελαστική ανάλυση υπολογίζεται η καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών ροπών και των

αντίστοιχων τεμνουσών δυνάμεων. Επειδή όμως από τον σχεδιασμό προκύπτει καμπτική αντοχή στη βάση του τοιχώματος, M_{Rd0} , μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σεισμική ροπή, M_{Ed0} , τα σεισμικά μεγέθη εντάσεως, τέμνουσες και ροπές, που πραγματικά αναπτύσσονται καθ' ύψος του τοιχώματος κατά την δημιουργία της πλαστικής άρθρωσης στη βάση του θα έχουν μεγαλύτερες τιμές από αυτές που υπολογίζονται από την ελαστική ανάλυση για τις σεισμικές δράσεις. Με σκοπό να γίνει μια διόρθωση στις σεισμικές τέμνουσες η οποία να λαμβάνει υπόψη αυτή την αύξηση, μια αρχική προσέγγιση είναι η χρήση ενός διορθωτικού, αυξητικού, συντελεστή ίσου με τον λόγο M_{Rd0}/M_{Ed0} . Ο σχεδιασμός αυτός αποτελεί μέρος του Ικανοτικού Σχεδιασμού και με τον τρόπο αυτό γίνεται προσπάθεια προσέγγισης της τελικής πραγματικής καθ' ύψος κατανομής των αναπτυσσομένου σεισμικών τεμνουσών δυνάμεων και την αποφυγή ψαθυρών διατμητικών αστοχιών.

Επίσης στις εύκαμπτες κατασκευές οι ανώτερες ιδιομορφές επηρεάζουν σημαντικά την σεισμική απόκριση του δομικού συστήματος. Άρα με την αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής αναμένεται αύξηση της επιρροής των ανωτέρων ιδιομορφών. Με βάση λοιπόν το γεγονός ότι η αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής αυξάνει και την επιρροή των ανωτέρων ιδιομορφών, η ιδιοπεριόδος της θεμελιώδους (πρώτης) ιδιομορφής T_1 δίνει ένα μέτρο για την επιρροή αυτή. Όσο μεγαλύτερη είναι η T_1 τόσο μικρότερη είναι η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης που εισάγεται στο σύστημα $S_e(T_1)$ αλλά τόσο σημαντικότερη γίνεται η επιρροή των ανωτέρων ιδιομορφών. Αυτή η επιρροή θα πρέπει να αντικατοπτρίζεται με τη χρήση ενός διορθωτικού, αυξητικού συντελεστή που θα πρέπει να αυξάνεται με την αύξηση της T_1 και την αντίστοιχη μείωση της $S_e(T_1)$. Προς το σκοπό αυτό έχει προταθεί ο λόγος $S_e(T_c)/S_e(T_1)$ ο οποίος αυξάνεται με την μείωση της $S_e(T_1)$.

Με βάση όλα τα παραπάνω οι τέμνουσες δυνάμεις του τοιχώματος όπως υπολογίζονται από την ελαστική ανάλυση για τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού πολλαπλασιάζονται με ένα μεγεθυντικό συντελεστή ε ως εξής

$$V'_{Ed} = \varepsilon V_{Ed} \quad (20)$$

όπου

V'_{Ed} η τέμνουσα σχεδιασμού

V_{Ed} η τέμνουσα που προκύπτει από την ελαστική ανάλυση

Ο συντελεστής ε όπως αναλύθηκε παραπάνω έχει διορθωτικό χαρακτήρα και υπολογίζεται σύμφωνα με τα παρακάτω.

a) Κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (DCH)

$$\varepsilon = \sqrt{(1,2 \frac{M_{Rd0}}{M_{Ed0}})^2 + 0,1(q \frac{S_e(T_c)}{S_e(T_1)})^2} \leq q \quad (21)$$

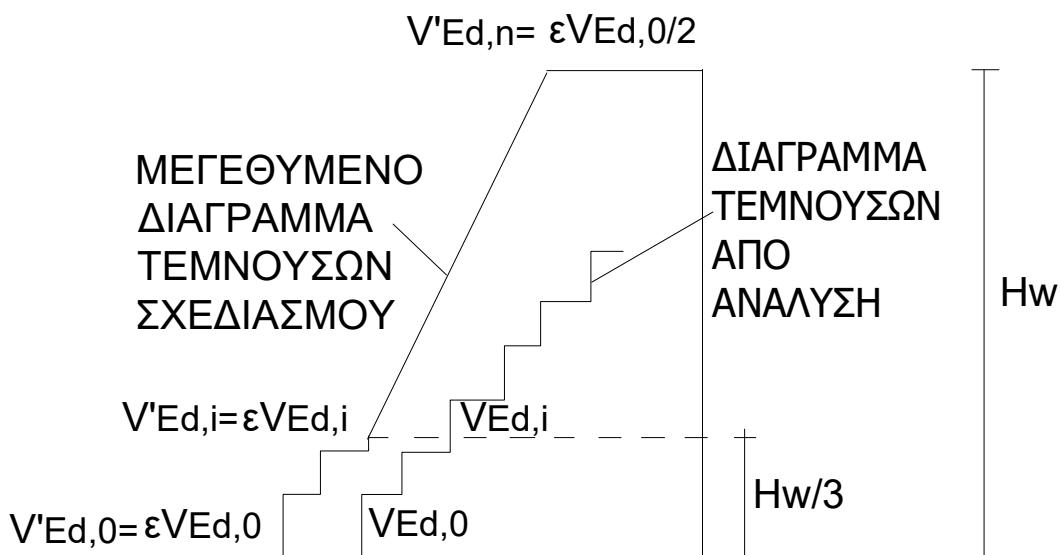
αλλά πρέπει σε κάθε περίπτωση $\varepsilon \geq 1,5$

Ειδικά για "κοντά τοιχώματα" δηλαδή για τοιχώματα στα οποία ισχύει ότι ο λόγος του ύψους h_w προς την οριζόντια διάσταση είναι $h_w / l_w \leq 2$ επειδή δεν υφίσταται σε αυτά η επιρροή ανωτέρων ιδιομορφών ο μεγεθυντικός συντελεστής ε απλοποιείται ως εξής

$$\varepsilon = 1,2 \frac{M_{Rd0}}{M_{Ed0}} \leq q$$

(β) Κατασκευές μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM)

Για λόγους απλότητας στις κατασκευές DCM ο συντελεστής λαμβάνεται $\varepsilon = 1,5$ (22)



Σχ. 4.6 Περιβάλλουσα σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων πλάστιμων τοιχωμάτων

Η χάραξη της περιβάλλουσας σχεδιασμού των τεμνουσών δυνάμεων πλάστιμου τοιχώματος γίνεται με τα παρακάτω βήματα:

(1) Υπολογισμός και χάραξη του διαγράμματος τεμνουσών δυνάμεων καθ' ύψος του τοιχώματος έτσι όπως αυτές προσδιορίζονται από την ανάλυση του δομικού συστήματος για σεισμικές δράσεις. Είναι οι τιμές $V_{Ed,i}$ για τους ορόφους $i=0$ έως n στο σχ. 4.6 (ως 0 εκλαμβάνεται η στάθμη της πάκτωσης του τοιχώματος συνήθως η βάση στο ισόγειο).

(2) Υπολογισμός των τιμών $V'_{Ed,i}$ σε όλους τους ορόφους με βάση τη σχέση

$$V'_{Ed,i} = \varepsilon V_{Ed,i} \quad \text{για } i = 0 - n \quad (23)$$

(ως 0 εκλαμβάνεται η στάθμη της πάκτωσης του τοιχώματος, συνήθως η βάση στο ισόγειο)

Χαράσσεται η περιβάλλουσα των επηγέννημένων τεμνουσών δυνάμεων, μετά την αύξηση των τιμών με τη χρήση του διορθωτικού συντελεστή ε .

(3) Υπολογισμός της τιμής της ζητούμενης περιβάλλουσας σχεδιασμού των τεμνουσών δυνάμεων στη κορυφή του τοιχώματος ($V'_{Ed,n}$). Κατά τον EC8 η τιμή της ζητούμενης περιβάλλουσας σχεδιασμού των τεμνουσών δυνάμεων στη κορυφή του τοιχώματος ($V'_{Ed,n}$) δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από το ήμισυ της τιμής της τέμνουσας δύναμης στη βάση του τοιχώματος ($V'_{Ed,0}$):

$$V'_{Ed,n} = \varepsilon V_{Ed,n} \geq V'_{Ed,0} / 2 = \varepsilon V_{Ed,0} / 2 \quad (24)$$

Έτσι υπολογίζεται η τιμή στη κορυφή του τοιχώματος και ορίζεται το σημείο $V'_{Ed,n}$.

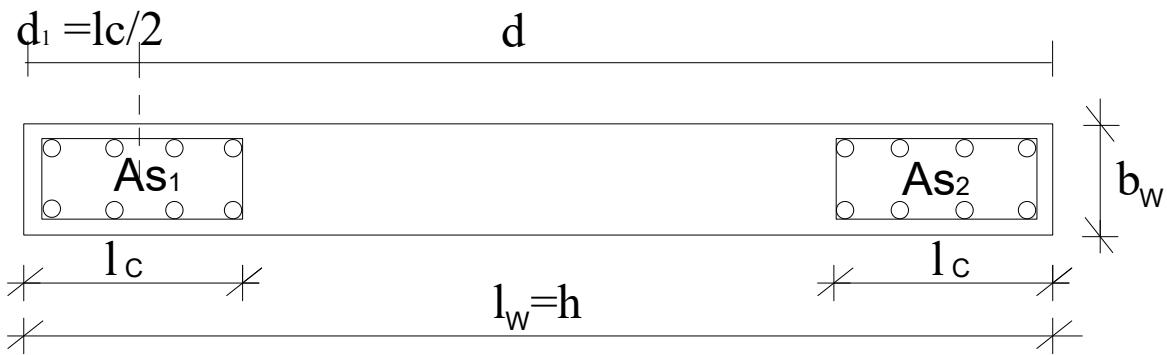
(4) Από τη βάση του τοιχώματος και μέχρις ύψους $H_w/3$ η περιβάλλουσα των επηυξημένων τιμών των τεμνουσών δυνάμεων διατηρείται με τη μορφή που προέκυψε στο βήμα 2. Κατόπιν χαράσσεται το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει το σημείο αυτό με το $V'_{Ed,n}$ στη κορυφή του τοιχώματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο χαράσσεται η τελική περιβάλλουσα σχεδιασμού των τεμνουσών δυνάμεων του τοιχώματος η οποία φαίνεται στο σχ. 4.6.

(5) Η τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού $V'_{Ed,x}$ σε μια θέση του τοιχώματος σε ύψος x από τη βάση μπορεί να προσδιορισθεί από το σημείο που η οριζόντια ευθεία σε ύψος x τέμνει τη περιβάλλουσα.

9. Σχεδιασμός τοιχωμάτων έναντι κάμψεως

Γίνεται η προσεγγιστική παραδοχή ότι όλος ο οπλισμός των ακραίων ψευδοϋποστυλωμάτων είναι συγκεντρωμένος σε ένα σημείο, το κέντρο βάρους των διατομών των διαμήκων ράβδων. Κατ' αυτόν τον τρόπο προσεγγιστικά, θεωρείται ότι όλη η διατομή του τοιχώματος είναι μια απλή ορθογωνική διατομή με συγκεντρωμένους οπλισμούς στα άκρα και με αυξημένη επικάλυψη. Η διαδικασία που ακολουθείται σύμφωνα με αυτή τον προσεγγιστικό τρόπο όπλισης των τοιχωμάτων είναι:

- Προσδιορίζεται το γεωμετρικό κέντρο της διατομής των ακραίων ψευδοϋποστυλωμάτων.
- Θεωρείται ότι όλος ο οπλισμός του κάθε ψευδοϋποστυλώματος είναι συγκεντρωμένος στο γεωμετρικό κέντρο του και ότι αυτός είναι ο συνολικός οπλισμός κάμψεως του τοιχώματος. Με αυτόν τον τρόπο η αρχική διατομή μετατρέπεται σε μία απλή ορθογωνική διατομή, με συμμετρικό οπλισμό, υπό κάμψη με αξονική δύναμη.
- Με βάση τα μεγέθη εντάσεως σχεδιασμού υπολογίζεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σχεδιασμού ορθογωνικών διατομών με συμμετρικό οπλισμό, ο απαιτούμενος συμμετρικός οπλισμός.
- Ο οπλισμός που υπολογίσθηκε κατανέμεται εξ ίσου και περιμετρικά στα ακραία ψευδοϋποστυλώματα του τοιχώματος.



Σχ. 4.7 Σχεδιασμός τοιχωμάτων έναντι κάμψεως

10. Σχεδιασμός τοιχωμάτων έναντι διατμήσεως

10.1. Διαδικασία ελέγχου έναντι διατμήσεως - Πεδίο εφαρμογής

Ο σχεδιασμός ενός τοιχώματος έναντι διατμήσεως γίνεται με βάση τον έλεγχο του στοιχείου έναντι τέμνουσας. Η γενική διαδικασία ελέγχου σε τέμνουσα περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

(α) Έλεγχος αν απαιτείται υπολογιστικός οπλισμός διάτμησης.

Στις περιοχές ενός τοιχώματος όπου ισχύει η σχέση

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \quad (25)$$

δεν απαιτείται υπολογιστικός οπλισμός διάτμησης.

Τίθεται βέβαια σε κάθε περίπτωση ο ελάχιστος οπλισμός όπως αυτός ορίζεται από τις διατάξεις των ελαχίστων οπλισμών τοιχώματος (οριζόντιος και κατακόρυφος οπλισμός κορμού).

(β) Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης.

Σε περιοχές όπου απαιτείται υπολογιστικός οπλισμός διάτμησης δηλαδή ισχύει η σχέση $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ θα πρέπει να τίθεται επαρκής οπλισμός διάτμησης έτσι ώστε να ικανοποιείται η σχέση $V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$

Από τον έλεγχο της σχετικής σχέσης υπολογίζεται ο οπλισμός διάτμησης.

(γ) Έλεγχος έναντι θραύσης των λοξών θλιπτήμων σκυροδέματος.

Σε περιοχές όπου απαιτείται υπολογιστικός οπλισμός διάτμησης δηλαδή ισχύει η σχέση $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ η V_{Ed} δεν θα πρέπει να υπερβαίνει σε καμμία θέση τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή $V_{Rd,max}$.

Δηλαδή θα πρέπει σε κάθε περίπτωση και σε κάθε θέση να ισχύει

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad (27)$$

Ο έλεγχος της σχέσης (27) γίνεται για να εξασφαλίζεται το στοιχείο από τη θραύση των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος. Εφόσον δεν ικανοποιείται ο έλεγχος αυτός απαιτείται αλλαγή διαστάσεων.

Οπου

$V_{Rd,c}$ η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης.

Ο υπολογισμός της τιμής της $V_{Rd,c}$ περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο (§10.2.)

$V_{Rd,s}$ η τιμή σχεδιασμού της τέμνουσας (αντοχής) που μπορεί αν αναληφθεί από τον οπλισμό (κατά τη διαρροή του) σε στοιχεία με διατμητικό οπλισμό (§ 10.3.)

$V_{Rd,max}$ η τιμή σχεδιασμού της τέμνουσας (αντοχής) που μπορεί να αναληφθεί από το τοίχωμα με βάση την αντοχή έναντι θραύσης των λοξών θλιπτήρων.

Η διαδικασία ελέγχου σε διάτμηση όπως περιγράφεται συνοπτικά σε αυτή τη παράγραφο εφαρμόζεται γενικά για όλα τα τοιχώματα. Δηλαδή εφαρμόζεται για τα πλάστιμα τοιχώματα και τα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα των κατασκευών μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCM) και τα πλάστιμα τοιχώματα των κατασκευών υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCH).

Ειδικές διατάξεις προβλέπονται επί πλέον (α) για τα μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα των κατασκευών μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCM) και (β) για τα πλάστιμα τοιχώματα των κατασκευών υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCH). Οι ειδικές διατάξεις παρατίθενται σε επόμενη παράγραφο (§ 10.4.).

10.2. Υπολογισμός της αντοχής σε διάτμηση χωρίς οπλισμό διάτμησης ($V_{Rd,c}$)

Η τιμή της αντοχής σχεδιασμού σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης δίδεται από τη σχέση

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_{wd} \quad (28)$$

Η $V_{Rd,c}$ έχει ελάχιστη τιμή η οποία καθορίζεται από τη σχέση

$$V_{Rd,c} \geq (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_{wd} \quad (29)$$

Οι μεταβλητές $C_{Rd,c}$, k , k_1 και V_{min} δίδονται από τις παρακάτω σχέσεις

$$\text{η μεταβλητή } C_{Rd,c} \text{ από τη σχέση } C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c \quad (30)$$

$$\text{η μεταβλητή } k \text{ από τη σχέση } k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (d \text{ σε mm}) \quad (31)$$

$$\text{μεταβλητή } k_1 \text{ από τη σχέση } k_1 = 0,15 \quad (32)$$

$$\text{η μεταβλητή } V_{min} \text{ από τη σχέση } V_{min} = 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad (33)$$

το γεωμετρικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού έχει τον περιορισμό

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02 \quad (34)$$

η αξονική τάση έχει τον περιορισμό

$$\sigma_{cp} = N_E/A_c < 0,2 f_{cd} \quad (f_{cd} \text{ σε MPa}) \quad (35)$$

όπου

A_{sl} το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού

b_w το ελάχιστο πάχος της διατομής στην εφελκυόμενη περιοχή

σ_{ep} αξονική τάση

N_E αξονική φόρτιση ($N_E > 0$ για θλίψη)

A_c το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος (σε mm^2)

10.3. Υπολογισμός της αντοχής που μπορεί αν αναληφθεί από τον οπλισμό $V_{Rd,s}$ και αντοχής έναντι θραύσης των λοξών θλιπτήρων $V_{Rd,max}$

10.3.1. Αντοχή $V_{Rd,s}$

Η τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού (αντοχή σχεδιασμού) που μπορεί να αναληφθεί από τους οπλισμούς σε στοιχεία με οπλισμό διάτμησης ($V_{Rd,s}$), λαμβάνεται από τη σχέση

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} Z f_{ywd} \cot \theta \quad (36)$$

όπου

A_{sw} το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης

s η απόσταση μεταξύ των οπλισμών διάτμησης (οριζόντιων ράβδων ή συνδετήρων)

Z ο μοχλοβραχίονας της διατομής (προσεγγιστική τιμή $Z = 0,8 l_w$)

Η τιμή αντοχής σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης f_{ywd} θα πρέπει να λαμβάνεται μειωμένη σύμφωνα με τη σχέση

$$f_{ywd} = 0,8 f_{yw} \quad (37)$$

Η γωνία θ που σχηματίζουν οι λοξοί θλιπτήρες σκυροδέματος με τη κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας (δηλαδή την οριζόντια διεύθυνση στα τοιχώματα) δεν θα πρέπει να εκλαμβάνεται πέραν ορισμένων ορίων. Οι συνιστώμενες τιμές είναι

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5 \quad (38)$$

10.3.2. Αντοχή $V_{Rd,max}$

Η $V_{Rd,max}$ δηλαδή η τιμή σχεδιασμού της τέμνουσας (αντοχής) που μπορεί να αναληφθεί από το τοίχωμα με βάση την αντοχή έναντι θραύσης των λοξών θλιπτήρων δίδεται από τη σχέση

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w Z v_1 f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad (39)$$

όπου

α_{cw} Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα.

Συνιστάται η τιμή

$\alpha_{cw} = 1,0$ σε στοιχεία χωρίς αξονικό φορτίο και

$\alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$ αν η αξονική ένταση σ_{cp} είναι $0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 f_{cd}$

$\alpha_{cw} = 1,25$ αν η αξονική ένταση σ_{cp} είναι $0,25 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,50 f_{cd}$

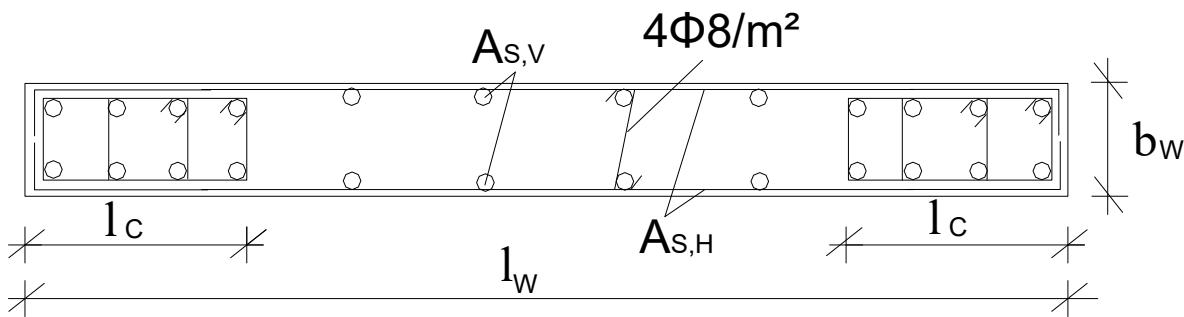
σ_{cp} η μέση θλιπτική τάση του σκυροδέματος (με θετικό πρόσημο) λόγω του αξονικού φορτίου σχεδιασμού

Ζ ο μοχλοβραχίονας της διατομής (προσεγγιστική τιμή $z = 0,8 l_w$)

v_1 μειωτικός συντελεστής λόγω της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος από τη διάτμηση.

Συνιστάται η τιμή $v_1 = 0,6$ για σκυρόδεμα $f_{ck} \leq 60$ MPa

Θη γωνία που σχηματίζουν οι λοξοί θλιπτήρες σκυροδέματος με τη κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας (δηλαδή την οριζόντια διεύθυνση στα τοιχώματα). Οι συνιστώμενες τιμές είναι $1 < \cot\theta \leq 2,5$.



Σχ. 4.8 Σχεδιασμός τοιχωμάτων έναντι διατμήσεως

10.4. Ειδικές διατάξεις

10.4.1. Για μεγάλα τοιχώματα ελαφρά οπλισμένα (κατασκευές DCM)

Ειδικά για τα ρεγάλα ελαφρά ωπλισμένα τοιχώματα στις θέσεις όπου δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης δηλαδή όπου ισχύει $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ δεν απαιτείται η πρόβλεψη ούτε ελάχιστου οπλισμού διάτμησης. Η ελάχιστη τιμή του οπλισμού διάτμησης είναι η ελάχιστη τιμή που προβλέπεται γενικά για τα τοιχώματα.

10.4.2. Για τα πλάστιμα τοιχώματα σε κατασκευές DCH

Για τις κατασκευές υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (κατασκευές DCH) προβλέπονται οι παρακάτω ειδικές διατάξεις.

(a) Υπολογισμός της αντοχής $V_{Rd,max}$

Οι τιμές της αντοχής $V_{Rd,max}$ υπολογίζονται σύμφωνα με τη σχέση (39) αλλά με τις προσεγγίσεις:

- ο μοχλοβραχίονας λαμβάνεται $z = 0,86l_w$
- η γωνία θ (κλίση του θλιπτήρα) έτσι ώστε $\tan\theta = 1$

Έτσι η σχέση (39) διαφοροποιείται ως εξής

$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \alpha_{cw} b_w 0,8 l_w v_1 f_{cd} \quad (40)$$

Η σχέση (40) εφαρμόζεται στις θέσεις εκτός της κρίσιμης περιοχής των τοιχωμάτων.

Ειδικά για τις θέσεις εντός της κρίσιμης περιοχής των τοιχωμάτων η $V_{Rd,max}$ εκλαμβάνεται ίση με το 40% της τιμής που υπολογίζεται από τη σχέση (40).

(β) Υπολογισμός του οπλισμού του κορμού λόγω διάτμησης

Στις κατασκευές DCH για τον υπολογισμό του οπλισμού του κορμού λαμβάνεται υπόψη ο λόγος διάτμησης του τοιχώματος α_s . Ο λόγος διάτμησης α_s ορίζεται ως

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}l_w} \quad (41)$$

Σε κάθε όροφο θα πρέπει να υπολογίζεται η μέγιστη τιμή του λόγου διάτμησης.

Με βάση τη μέγιστη τιμή του λόγου διάτμησης ισχύουν τα εξής:

Περίπτωση $\alpha_s \geq 2,0$

Ακολουθείται η γενική διαδικασία υπολογισμού του οπλισμού διάτμησης χωρίς διαφοροποιήσεις όπως περιγράφεται στη παράγραφο 10.1. με την ειδική διάταξη για κατασκευές DCH της παραγράφου 10.4.2.α για τον υπολογισμό της αντοχής $V_{Rd,max}$

Περίπτωση $\alpha_s < 2,0$

- Οι οριζόντιες ράβδοι του κορμού υπολογίζονται από τη σχέση

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} + 0,75 \rho_h f_{yd,h} b_{wo} \alpha_s l_w \rightarrow \rho_h = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{0,75 f_{yd,h} b_{wo} \alpha_s l_w} \quad (42)$$

- Οι κατακόρυφοι ράβδοι του κορμού υπολογίζονται από τη σχέση

$$\rho_h f_{yd,h} b_{wo} z \leq \rho_v f_{yd,v} b_{wo} z + \min N_{Ed} \rightarrow \rho_v = \frac{\rho_h f_{yd,h} b_{wo} z - \min N_{Ed}}{f_{yd,v} b_{wo} z} \quad (43)$$

όπου

ρ_h το γεωμετρικό ποσοστό των οριζόντιων ράβδων του κορμού του τοιχώματος σύμφωνα με τη σχέση $\rho_h = A_h / (b_{wo} s_h)$

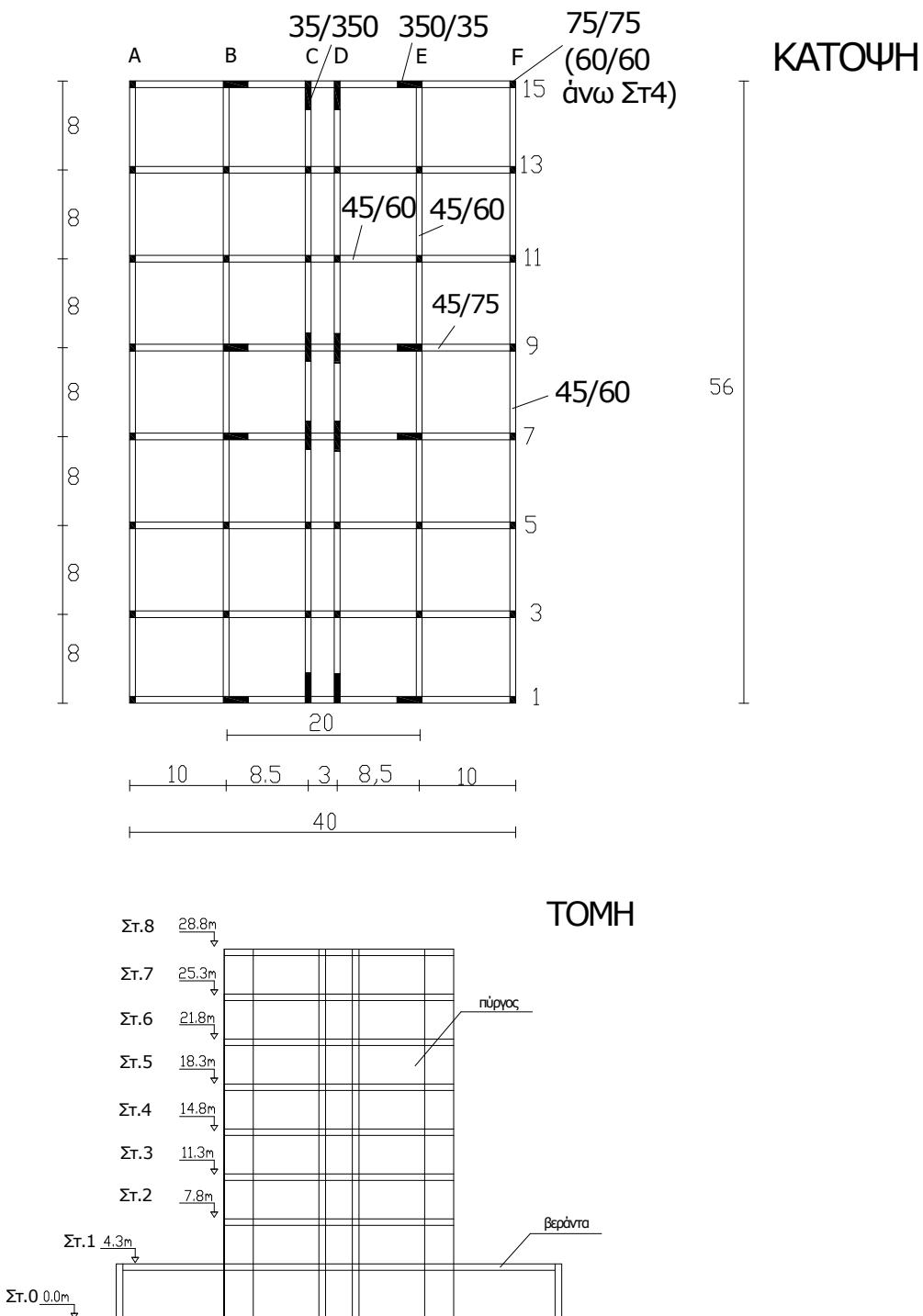
ρ_v το γεωμετρικό ποσοστό των κατακορύφων ράβδων του κορμού του τοιχώματος

σύμφωνα με τη σχέση $\rho_v = A_v / (b_{wo} s_v)$

$f_{yd,h}$ η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής του οριζόντιου οπλισμού του κορμού

$f_{yd,v}$ η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής του κατακορύφου οπλισμού του κορμού

11. Εφαρμογή - Σχεδιασμός τοιχωμάτων (από το [1])



Σχ. 11.1 Δομικό Σύστημα

11.1 Δεδομένα

Δίδεται οκταώροφο ξενοδοχείο με μεικτό δομικό σύστημα από πλαίσια και τοιχώματα (σχ. 11.1). Θα μελετηθούν τα δομικά τοιχώματα στις γραμμές του καννάβου 1, 7, 9 και 15.

Η κατασκευή έχει υπολογισθεί για φορτία βαρύτητας και σεισμική ισοδύναμη πλευρική φόρτιση. Τα τοιχώματα έχουν διαστάσεις 350cm × 35cm με την εξωτερική πλευρά να βρίσκεται στις γραμμές καννάβου Β και Ε. Ο οπλισμός είναι κατηγορίας S500 και το σκυρόδεμα κατηγορίας C 25/30. Η επικάλυψη των κυρίων ράβδων οπλισμού στα τοιχώματα είναι 4,5cm. Θεωρείται ότι το δόμημα αντιστηρίζεται στην γ διεύθυνση, αναλαμβάνοντας σεισμό μόνο στη γ διεύθυνση και ότι πρόκειται να σχεδιασθεί για κατηγορία πλαστιμότητας DCM.

11.2 Αποτίμηση του συντελεστή q

Τα πλευρικά φορτία ορόφων δίδονται από ισοδύναμη πλευρική φόρτιση:

<u>Στάθμη</u>	<u>Πλευρική δύναμη (kN)</u>
8	3448
7	4592
6	3952
5	3328
4	2720
3	2112
2	1456
<u>1</u>	<u>1384</u>

Τέμνουσα βάσης 22.992 kN

Εστω ότι ισχύει για το τμήμα της συνολικής τέμνουσας βάσης που παραλαμβάνεται από τα τοιχώματα:

$$V_{total} = 22.992 \text{ kN}$$

$$V_{frames} = 8.218 \text{ kN}$$

$$V_{walls} = 14.774 \text{ kN}$$

$$V_{wall}/V_{total} = 14774/22992 = 0,64 \geq 0,5 \leq 0,65$$

Με βάση τα ανωτέρω, το δόμημα χαρακτηρίζεται ως δυαδικό σύστημα ισοδύναμο με τοιχωματικό. Αρα

$$q = q_0 \cdot k_w$$

Σύμφωνα με τον Πιν. 5.1 του EC8:

$$DCM + δυαδικό σύστημα \rightarrow q_0 = 3a_u/a_1$$

Ο λόγος a_u/a_1 εξαρτάται από την κατηγοριοποίηση της κατασκευής. Για πολυόρωφα, πολύστυλα, ισοδύναμα προς τοιχώματα δυαδικά συστήματα, ο EC8 επιτρέπει την παραδοχή $a_u/a_1 = 1,2$, εκτός εάν λαμβάνεται μια πιο ακριβής τιμή από υπολογισμό pushover.

$$q_0 = 3 \times 1,2 = 3,6$$

$$k_w = (1 + h_w/l_w)/3 \leq 1$$

$$k_w = (1 + 28,8/3,5)/3 = 3,06$$

Ως εκ τούτου $k_w = 1$, οπότε

$$q = 3,6 \times 1 = 3,6$$

11.3 Καμπτικός σχεδιασμός - Σχεδιασμός της διατομής της βάσης του τοιχώματος

- Δράσεις σχεδιασμού τοιχώματος στη διατομή βάσης, έστω:

Για μέγιστη αξονική δύναμη

$$N_{Ed} = 5956 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 21282 \text{ KNm}$$

Για ελάχιστη αξονική δύναμη

$$N_{Ed} = 3097 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 20947 \text{ KNm}$$

Γίνεται χρήση σχεδιαστικών διαγραμμάτων με παραδοχή συμμετρικού οπλισμού S500 και $d_1/h = 0,1$ (d_1 η απόσταση από το κέντρο του εφελκυόμενου οπλισμού μέχρι το άκρο της διατομής του τοιχώματος).

- Έλεγχος ανηγμένου αξονικού φορτίου για N_{max}

$$v_d = \frac{N_d}{bhf_{cd}} = \frac{5956 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,5 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,243$$

$v_{max} < 0,4 \rightarrow$ η αξονική δύναμη δεν υπερβαίνει το μέγιστο όριο για κατασκευές DCM.

$v_{max} > 0,2 \rightarrow$ χρειάζεται ρητά να σχεδιασθούν τα οριακά στοιχεία για πλαστιμότητα

- Κατάσταση με N_{max}

$$\left. \begin{array}{l} \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{21282 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,50^2 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,248 \\ v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{-5956 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,5 \cdot \frac{30}{1,5}} = -0,243 \end{array} \right\} \omega_{tot} = 0,42$$

- Κατάσταση με N_{min}

$$\left. \begin{array}{l} \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{20947 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,50^2 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,244 \\ v_d = \frac{N_d}{bhf_{cd}} = \frac{-3097 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,5 \cdot \frac{30}{1,5}} = -0,126 \end{array} \right\} \omega_{tot} = 0,50$$

Για $\max \omega_{tot} = 0,50$:

$$A_{s,tot} = \omega \cdot bh \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,50 \times 35 \times 350 \times \frac{\frac{30}{1,5}}{\frac{500}{1,15}} = 281,75 \text{cm}^2 \rightarrow 2 \times 140,875 \text{cm}^2$$

$A_{s,tot}$ = συνολική επιφάνεια του καμπτικού οπλισμού στα οριακά στοιχεία της διατομής τοιχώματος.

Πριν να ορισθούν λεπτομερώς ο αριθμός και η διάμετρος των ράβδων του καμπτικού οπλισμού, πρέπει να εκτιμηθεί το μήκος των οριακών στοιχείων.

- Ελάχιστο μήκος των οριακών στοιχείων:

$$0,15lw = 0,15 \times 3,5 = 0,525 \text{m}$$

(lw είναι το μήκος της διατομής του τοιχώματος)

$$1,5bw = 1,5 \times 0,35 = 0,525 \text{m}$$

(bw είναι το πλάτος της διατομής του τοιχώματος)

- Μήκος των οριακών στοιχείων (h_0)- Σχ. 11.3:

$$h_0 = x_u \cdot (1 - \varepsilon_{cu2}/\varepsilon_{cu2,c})$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}$$

$$x_u = (v_d + \omega_v) \frac{l_w b_c}{b_0}$$

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_\varphi (v_d + \omega_v) \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

b_0 είναι η ελάχιστη διάσταση του πυρήνα σκυροδέματος, μετρημένη στην αξονική γραμμή των συνδετήρων.

x_u είναι το ύψος της θλιβόμενης ζώνης

ε_{cu2} είναι η μέγιστη παραμόρφωση του απερίσφιγκτου σκυρ/τος.

$\varepsilon_{cu2,c}$ είναι η μέγιστη παραμόρφωση του περισφιγμένου σκυρ/τος.

α είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης.

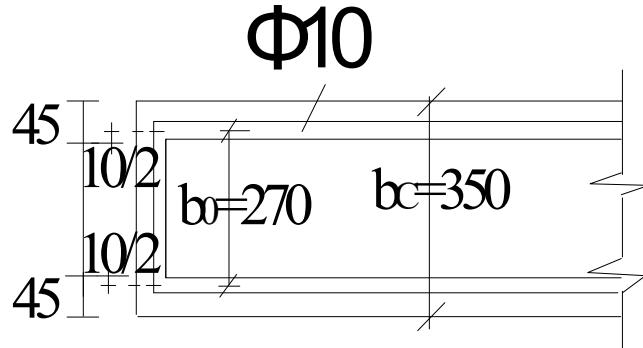
ω_{wd} είναι το μηχανικό ποσοστό του οπλισμού περίσφιξης.

$$\omega_{wd} = \frac{V_{\text{οπλισμού περίσφιξης}}{V_{\text{πυρήνα σκυροδέματος}}} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Με παραδοχή επικάλυψης σκυροδέματος του κύριου καμπτικού οπλισμού 45mm και συνδετήρες Φ 10mm, Σχ. 11.2:

$$b_0 = 350 - 2 \times 45 + 10 = 270\text{mm}$$

$$b_c = 350\text{mm}$$



Σχ. 11.2 Υπολογισμός πυρήνα σκυροδέματος

$\rho_v = A_{s,v}/A_c$ ο λόγος του κατακόρυφου οπλισμού του κορμού
ελάχιστο ποσό του κατακόρυφου οπλισμού κορμού:

$$A_{s,v_{min}} = 0,002A_c = 0,002 \times 35 \times 100 = 7,00\text{cm}^2/\text{m} \rightarrow 9\Phi 10/\text{m} \rightarrow \Phi 10/11 \text{ ή } 2 \text{ σκέλη } \Phi 10/22$$

Τελικά τοποθετούνται Φ10/20 δίτμητοι ($7,85\text{cm}^2/\text{m}$)

Θεωρώντας ότι $M_{Rd} = M_{Ed}$ και $T_1 > T_c$

$$\mu_\varphi = 2q_0 - 1 = 2 \times 3,6 - 1 = 6,2$$

$\varepsilon_{sy,d} = \frac{500/1,15}{200000} = 0,002175$ η τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης μήκυνσης του χάλυβα στη διαρροή.

ω_v = μηχανικό ποσοστό κατακόρυφου οπλισμού κορμού.

$$\omega_v = \rho_v \frac{f_{yd,v}}{f_{cd}} = \frac{7,85}{35 \times 100} \frac{500/1,15}{30/1,5} = 0,049$$

$$a\omega_{wd} = 30 \cdot 6,2 \cdot (0,243 + 0,049) \cdot 0,002175 \frac{350}{270} - 0,035 = 0,118$$

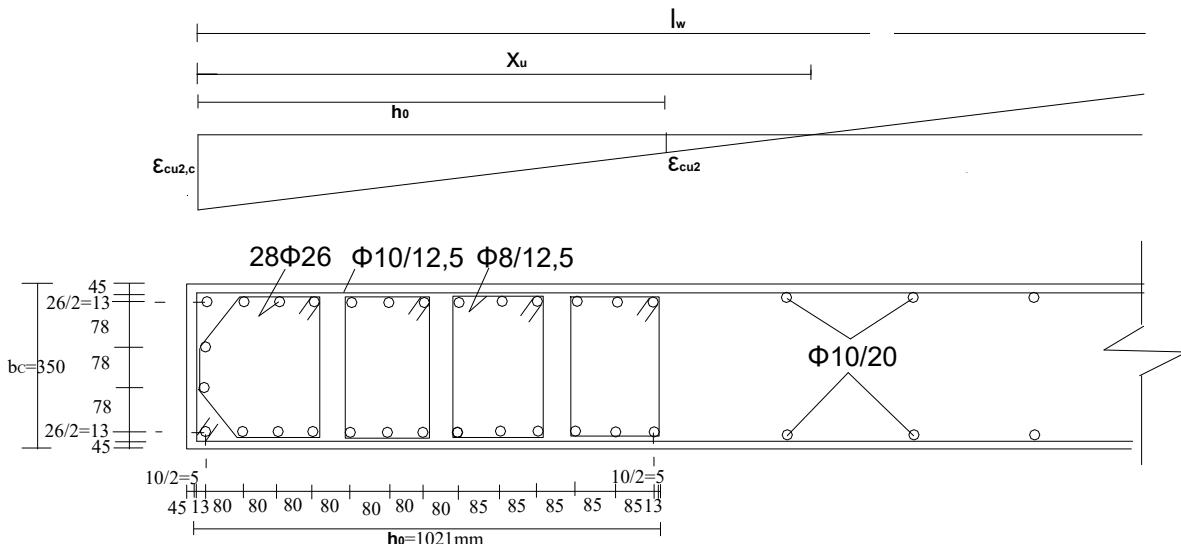
$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \times 0,118 = 0,0153$$

$$x_u = (0,243 + 0,049) \frac{350 \times 35}{27,0} = 132,5\text{cm}$$

Μήκος των συνοριακών στοιχείων

$$h_0 = 132,5 \cdot (1 - 0,0035/0,0153) = 102,2\text{cm}$$

Γνωρίζοντας τη ποσότητα του καμπτικού οπλισμού και το μήκος των συνοριακών στοιχείων είναι δυνατόν να κατασκευάσουμε μια πρώτη σχεδίαση σε λεπτομέρεια των συνοριακών στοιχείων. Το Σχ. 11.3 δείχνει μια πιθανή λύση με καμπτικό οπλισμό 28Φ26 ($148,68 > 140,88 \text{cm}^2$).



Σχ. 11.3 Πιθανή κατασκευαστική λεπτομέρεια των συνοριακών στοιχείων του τοιχώματος

$$h_0 = 7 \times 80 + 5 \times 85 + \frac{10}{2} + \frac{26}{2} + \frac{10}{2} + \frac{26}{2} = 1021 \text{mm} \approx 1022 \text{mm}$$

Κατά τον υπολογισμό της διάστασης των συνοριακών στοιχείων θεωρείται ότι η διάμετρος των συνδετήρων και αγκίστρων είναι $\Phi 10 \text{mm}$.

Η προτεινόμενη κατασκευαστική λεπτομέρεια των συνοριακών στοιχείων συμφωνεί με τις απαιτήσεις του EC8 και EC2, σύμφωνα με τις οποίες είναι αναγκαίο

- κάθε κατά μήκος ράβδος να περιβάλλεται με συνδετήρες ή εγκάρσιο άγκιστρο και
- η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κατά μήκος ράβδων που περιβάλλονται με συνδετήρες και εγκάρσια άγκιστρα να μην ξεπερνά τα 200mm .
- καμμία ράβδος σε θλιβόμενη ζώνη δεν πρέπει να απέχει περισσότερο από 150mm από μια εντεινόμενη ράβδο.

Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και πολλές άλλες εναλλακτικές επιλογές που να συμφωνούν με τις απαιτήσεις του EC8 και EC2 για το σχεδιασμό των συνοριακών στοιχείων.

- Ελάχιστη επικάλυψη σκυροδέματος στον κύριο κατακόρυφο οπλισμό:

$$c_{\text{norm}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

$$c_{\text{min}} = \Phi = 26 \text{mm}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{mm}$$

$$c_{\text{norm}} = 26 + 10 = 36 \text{mm} < 45 \text{mm}$$

- Ελάχιστη απόσταση μεταξύ των καμπτικών ράβδων:

$$\max \begin{cases} k_1 \Phi = 1 \times 26 = 26\text{mm} \\ d_g + k_2 = 25 + 5 = 30\text{mm} \\ 20\text{mm} \end{cases}$$

d_g = μέγιστο μέγεθος αδρανούς

Από το σχ. 7 προκύπτει ότι οι απαιτήσεις ικανοποιούνται: $78 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$

11.4 Διατμητικός σχεδιασμός - Σχεδιασμός της διατομής της βάσης του τοιχώματος

- Η τιμή σχεδιασμού της τέμνουνσας

Από τη γενική δομική ανάλυση έστω ότι αποκτάται ως:

$$V_{Ed} = 2401\text{kN} \text{ οπότε, τιμή σχεδιασμού, κατά το Σχ. 11.5, } V_{Sd} = 2401 \cdot 1,5 = 3602\text{kN}$$

- Διατμητική αντοχή που αναλαμβάνεται από τη θλιπτική αντοχή των διαγώνιων αντηρίδων

$$V_{Rd,max} = \frac{a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$a_{cw} = 1$ για μη προεντεταμένες κατασκευές

$$b_w = 0,35m$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot (0,9 \cdot 3,5) = 2,835m, d = 0,9 \times 3,5$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

Οι οριακές τιμές που συστήνονται στον EC2 είναι $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$.

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται η γωνία $\theta = 45^\circ \rightarrow \cot \theta = 2,5, \tan \theta = 0,4$ διότι δεν είναι επιθυμητή η πιθανή αλλαγή του d

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \times 0,35 \times 2,835 \cdot 0,528 \times \left(\frac{30}{1,5} \right) \cdot 10^3}{2,5 + 0,4} = 3613\text{kN} > V_{Sd} = 3602\text{kN}$$

Αν $V_{Rd,max} < V_{Sd}$ (που συνδέεται με την $\cot \theta = 2,5$) είναι αναγκαίο να ληφθεί μικρότερη τιμή για την $\cot \theta$ μέχρις ότου $V_{Rd,max} > V_{Sd}$. Αυτό προφανώς οδηγεί σε μεγαλύτερο ποσό συνδετήρων.

- Διατμητική αντοχή που αναλαμβάνεται από συνδετήρες λόγω διαγώνιου εφελκυσμού

$$V_{Rd,s} = \frac{A_s}{s} z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

Σύμφωνα με την ανωτέρω σχέση, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της $\cot\theta$ ($\theta = \eta$ κλίση των διαγωνίων θλιβόμενων αντηρίδων) τόσο μικρότερη είναι η απαιτούμενη ποσότητα των συνδετήρων.

Υπολογισμός του ποσού των συνδετήρων (θεωρώντας τη μέγιστη $\cot\theta = 2,5$ για ελάχιστους συνδετήρες):

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{sd}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta} = \frac{3602 \cdot 10^{-3}}{2,835 \cdot (\frac{500}{1,15}) \cdot 2,5} = 0,00117 \text{ m} = 0,117 \text{ cm} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0,117 \text{ cm. Έστω } \varnothing 10 \text{ δίτμητοι } (A_{sw} = 2 \times 0,79 = 1,58 \text{ cm}^2)$$

$$A_{rho} s \leq \frac{A_{sw}}{0,117} = \frac{1,58}{0,117} \rightarrow s \leq 13,5 \text{ cm}$$

Θέτω $\Phi 10/12,5$ δίτμητους ($12,56 \text{ cm}^2/\text{m}$) – Σχ. 11.3

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot A_{sv,min} = 0,25 \cdot 7,85 = 1,97 \text{ cm}^2/\text{m} \\ 0,001 A_c = 0,001 \cdot 35 \cdot 100 = 3,50 \text{ cm}^2/\text{m} \end{cases}$$

Επιβεβαίωση του ελάχιστου οριζόντιου οπλισμού του τοιχείου: $12,56 \text{ cm}^2/\text{m} > 3,5 \text{ cm}^2/\text{m}$

Ο πιο πάνω σχεδιασμός αντιπροσωπεύει τον πιο οικονομικό σχεδιασμό ως προς τα όρια της $\cot\theta$ που συστήνονται από το EC8.

11.5 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες για τοπική πλαστιμότητα

- Ύψος της πλαστικής άρθρωσης

Υπεράνω της βάσης του τοιχώματος για το σκοπό της τοποθέτησης οπλισμού περίσφιξης:

$$h_{cr} = \max\{l_w, h_w/6\} \rightarrow h_{cr} = \max\left\{3,5, \frac{28,8}{6}\right\} = 4,8 \text{ m}$$

$$h_{cr} \leq 2 \times l_w = 2 \times 3,5 = 7 \text{ m}$$

$$h_{cr} \leq 2h_s = 2 \times 4,3 = 8,6 \text{ m}$$

$$A_{rho} h_{cr} = 4,8 \text{ m}$$

- Υπολογισμός του οπλισμού περίσφιξης στα συνοριακά στοιχεία

Σύμφωνα με τα προηγούμενα πρέπει:

$$a_{owd} \geq 0,118$$

$$a = a_n \cdot a_s$$

$$a_n = 1 - \Sigma b_i^2 / (6 \cdot b_0 \cdot h_0)$$

$$a_s = \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right)$$

Όλες οι αποστάσεις (b_i, b_0, h_0, s) μετρώνται από τους άξονες των συνδετήρων ή του καμπτικού

οπλισμού. Οι τιμές b_i βασίζονται στη λεπτομέρεια των ακραίων μελών και αντιπροσωπεύουν την απόσταση μεταξύ διαδοχικών περιβαλόμενων με συνδετήρες ράβδων. Οι κατά μήκος ράβδοι που δεν περιβάλλονται από συνδετήρες ή εγκάρσια άγκιστρα δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της αποδοτικότητας της περίσφιγξης. Αυτό οδηγεί σε τιμές $b_i = 160\text{mm}$ που λαμβάνονται αντί των ζευγών των τιμών $b_i = 80\text{mm}$. Σύμφωνα με τα Σχ.11.2 και Σχ.11.3 η τιμή του a_n πρέπει να υπολογισθεί ως εξής:

$$a_n = 1 - \frac{[2 \times (80^2 + 160^2 + 80^2 + 160^2 + 80^2 + 170^2 + 85^2 + 170^2) + 3 \times 78^2]}{(6 \times 270 \times 1021)}$$

$$= 0,825$$

Οι αποστάσεις των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερέχουν καμίας από τις ακόλουθες τιμές:

$$s = \min\left(\frac{b_0}{2}, 175, 8d_{bl}\right)$$

$b_0 = 270\text{mm}$ (πλάτος του περισφιγμένου συνοριακού στοιχείου)

d_{bl} = διάμετρος του καμπτικού οπλισμού

$$s = \min\left(\frac{270}{2}, 175, 8 \cdot 26\right) = 135\text{mm}$$

Τελικά λαμβάνεται απόσταση $s = 0,125\text{m}$ για να συμφωνεί με την απόσταση των συνδετήρων έναντι τέμνουσας. Να σημειωθεί ότι λαμβάνοντας αποστάσεις συνδετήρων 125mm , η ελάχιστη διάμετρος των κατά μήκος καμπτικών ράβδων εντός των συνοριακών στοιχείων πρέπει να είναι 16mm . Αν οι αποστάσεις ήταν 150mm η ελάχιστη διάμετρος των κατά μήκος ράβδων θα έπρεπε να ήταν 20 mm . Λαμβάνοντας λοιπόν $s = 0,125\text{m}$:

$$a_s = \left(1 - \frac{125}{2 \times 270}\right) \times \left(1 - \frac{125}{2 \times 1021}\right) = 0,72$$

$$a = 0,825 \times 0,72 = 0,59$$

$$a\omega_{wd} = 0,118 \rightarrow 0,59 \cdot \omega_{wd} = 0,118 \rightarrow \omega_{wd} = 0,20$$

$$\omega_{wd} \geq \omega_{wd,min} = 0,08$$

Υπολογισμός του ω_{wd} για την υπόψη λεπτομέρεια των συνοριακών στοιχείων

Μήκος των συνδετήρων περίσφιγξης:

$$\text{Εξωτερικοί συνδετήρες} = 270 + 2 \cdot 1021 = 2312\text{mm}$$

Εσωτερικοί συνδετήρες

$$= 2 \times (2 \times 80 + 26 + 10) + 2 \times (2 \times 85 + 26 + 10) + 7 \times 270 + 78 + 2 \\ \times \sqrt{(78 + 26 + 10/2)^2 + (80 + 26/2 + 10/2)^2} = 2879,16\text{mm}$$

Εξωτερικοί συνδετήρες (=συνδετήρες που επίσης συνεισφέρουν στη περίσφιγξη του σκυροδέματος) $\Phi = 10\text{mm}$

Εσωτερικοί συνδετήρες $\Phi = 8\text{mm}$

Όγκος συνδετήρων/m (s=0,125m)

$$V = \frac{1}{0,125} \times (2312 \times \pi \times 10^2 / 4 + 2879,16 \times \pi \times 8^2 / 4) = 2.609.127,99 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\omega_{wd} = \frac{2.609.127,99}{1021 \cdot 270 \cdot 1000} \cdot \frac{\frac{500}{1,15}}{\frac{30}{1,5}} = 0,206 > 0,20 \text{ o. κ.}$$

- Αρα

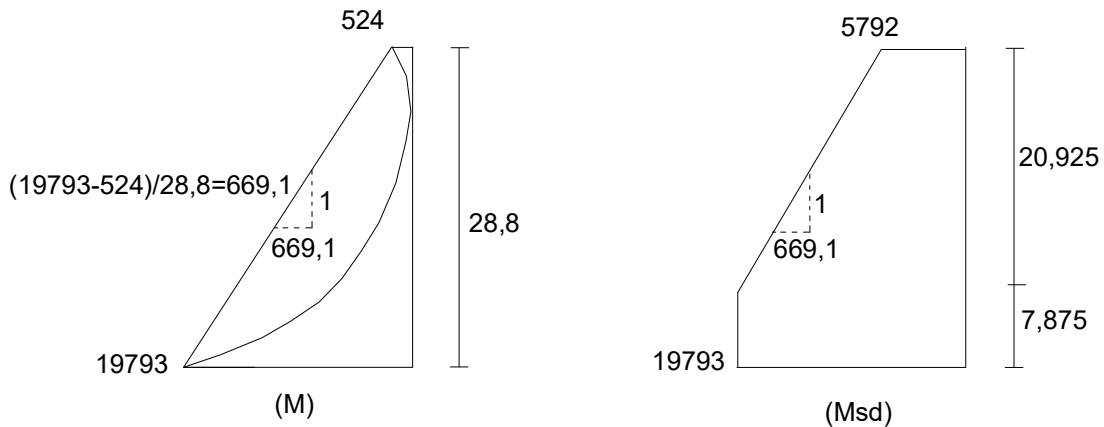
Τοποθετούνται εξωτερικοί συνδετήρες (συνδετήρες από το ένα άκρο της διατομής του τοιχώματος μέχρι το άλλο): 2 σκέλη Φ10 ανά αποστάσεις 125mm.

Τοποθετούνται, επίσης, εσωτερικοί συνδετήρες (σύμφωνα με την κατασκευαστική λεπτομέρεια των συνοριακών στοιχείων) Φ8 ανά αποστάσεις 125mm.

11.6 Σχεδιασμός τοιχώματος πάνω από την πλαστική άρθρωση

Ο σχεδιασμός του τοιχώματος πάνω από την πλαστική άρθρωση στη βάση, είναι διαφορετικός από τον σχεδιασμό της πλαστικής άρθρωσης σε δύο κύρια χαρακτηριστικά στοιχεία:

1. Βασίζεται στις διατάξεις του EC2, αφού όλες αυτές οι ζώνες υποτίθεται ότι παραμένουν στην ελαστική περιοχή κατά την διάρκεια της σεισμικής δράσεως. Δεν χρειάζεται να υπάρχει οπλισμός περίσφιγξης.
2. Για να επιβεβαιωθεί ότι το τοίχωμα παραμένει ελαστικό υπεράνω της άρθρωσης της βάσης, θεωρώντας τις αβεβαιότητες στην δυναμική συμπεριφορά του δομήματος, οι καμπτικές ροπές και οι τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού που αποκτώνται από την ανάλυση μεγεθύνονται:



Σχ. 11.4 Διαγράμματα καμπτικών ροπών

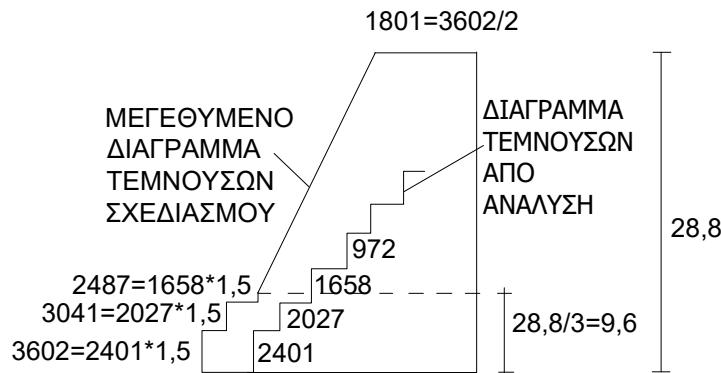
A. Από το διάγραμμα καμπτικών ροπών του Σχ. 11.4α που αποκτήθηκε από την ανάλυση προκύπτει η παρακάτω γραμμική περιβάλλονσα καμπτικών ροπών σχεδιασμού (Σχ. 11.4β): Το διάγραμμα σηκώνεται προς τα πάνω σε μια απόσταση a_1 προσδιορίζοντας ανύψωση

εφελκυσμού που συμφωνεί με την κλίση της αντηρίδας που λαμβάνεται κατά τον υπολογισμό σε διάτμηση στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας.

$$a_1 = d \times \cotg\theta = 3150 \times 2,5 = 7875 \text{mm} = 7,875 \text{m} \quad (d = 0,9 \times 3500)$$

Η τελική ροπή στην κορυφή δίνεται ως:

$$M_{top} = 19793 - 669,1 \times (28,8 - 7,875) = 5792 \text{KNm}$$



Σχ. 11.5 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων

B. Από το διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων που αποκτήθηκε από την ανάλυση προκύπτει η παρακάτω γραμμική περιβάλλονσα τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού (Σχ. 11.5):

$$V_{wall,base} = 2401 \times 1,5 = 3602 \text{kN}$$

$$V_{wall,top} = \frac{V_{wall,base}}{2} = \frac{3602}{2} = 1801 \text{kN}$$

Η προσέγγιση στο σχεδιασμό των ελαστικών διατομών στις υψηλότερες στάθμες είναι η εξής:

1. Επιλογή μίας στάθμης η οποία θα ήταν κατάλληλη για το πρώτο κομμάτιασμα του καμπτικού οπλισμού (έστω η στάθμη του τρίτου ορόφου σ' αυτήν την περίπτωση).
2. Εκτέλεση του σχεδιασμού για τις ροπές και τις τέμνουσες όπως περιγράφηκε προηγουμένως με χρήση των τιμών από τα Σχ. 11.4β και Σχ. 11.5β και την κατάλληλη αξονική δύναμη της στάθμης που επιλέχθηκε.
3. Δεν υπάρχουν άλλες απαιτήσεις για την διαμόρφωση των συνοριακών στοιχείων υπεράνω του ύψους της κρίσιμης περιοχής, πέραν των οδηγιών του EC2.



Σχ. 11.6 Διαμόρφωση οπλισμού τοιχώματος

Ε. ΒΛΑΒΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

1. Γενικά

Οι σεισμοί είναι αδέκαστοι κριτές, ξεσκεπάζουν όλα τα σφάλματα και αυτά της μελέτης και της κατασκευής και αυτά της χρήσης του κτιρίου. Οι απώλειες σε έμψυχο και σε άψυχο υλικό είναι γενικά μεγάλες. Υπολογίζεται ότι περίπου 10.000 άνθρωποι κάθε χρόνο χάνουν τη ζωή τους από τους σεισμούς.

Οι κυριότεροι στόχοι των διαφόρων σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- α) Για σεισμούς μικρής έντασης, που η πιθανότητα επαναλήψεώς τους είναι συγκριτικά μεγάλη, τα διάφορα στοιχεία των κατασκευών πρέπει να εργάζονται κάτω του ορίου ελαστικότητας ώστε να μην παρουσιάζουν καμία βλάβη.
- β) Για σεισμούς μέσης έντασης οι βλάβες, που θα παρουσιαστούν στον φέροντα οργανισμό και στον οργανισμό πληρώσεως πρέπει να είναι δευτερεύουσας σημασίας, επισκευάσιμες, έχοντας σαν κόστος επισκευής μικρότερο από ένα οριακό ποσοστό του κόστους ανακατασκευής (δίδονται σχετικά διάφοροι τύποι για τον υπολογισμό αυτού του οριακού ποσοστού).
- γ) Για τον μέγιστο αναμενόμενο σεισμό στον τόπο αυτού, πρέπει η κατασκευή να μπορεί να αντισταθεί χωρίς να καταρρεύσει έστω και με σοβαρές βλάβες.
- δ) Οι ειδικές κατασκευές όπως, τα Νοσοκομεία, τα Κέντρα Επικοινωνιών, οι Αποθήκες ευφλέκτων ή επικινδύνων υγρών, τα Φράγματα, οι Σταθμοί παραγωγής ενέργειας και ιδιαίτερα οι Πυρηνικοί Σταθμοί παραγωγής ενέργειας, πρέπει να έχουν τέτοια συμπεριφορά κατά τον σεισμό ώστε να παρουσιάσουν πολύ λίγες ή καθόλου βλάβες λόγω της μεγάλης σημασίας που έχει η απρόσκοπη λειτουργία τους ή λόγω του μεγάλου κινδύνου που δημιουργείται έστω και αν σημειωθούν μικρές σχετικά βλάβες σ' αυτές.

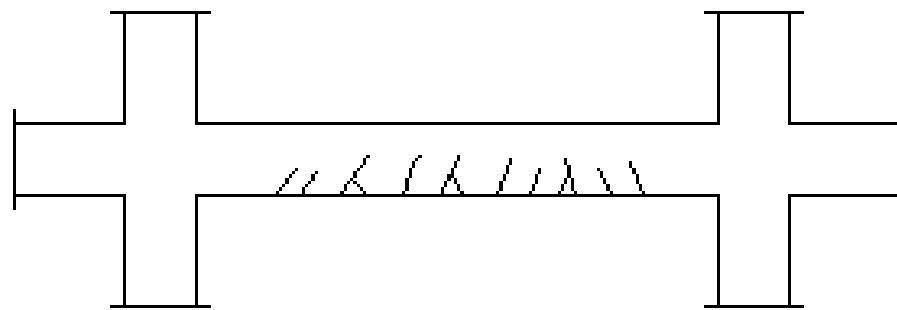
Είναι λοιπόν προφανές ότι ο σχεδιασμός μπορεί να γίνει σωστά μόνο από ανθρώπους με σωστή γνώση του σεισμικού φαινόμενου και των διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν την συμπεριφορά των κατασκευών όταν αυτές υφίστανται ισχυρές σεισμικές καταπονήσεις.

Πολύτιμο οδηγό αποτελούν τα διδάγματα που αντλούνται από τις βλάβες των κατασκευών σε πραγματικούς σεισμούς. Για το λόγο αυτό στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τη σεισμική παθολογία του σκελετού των οικοδομικών έργων.

2. Βλάβες δοκών

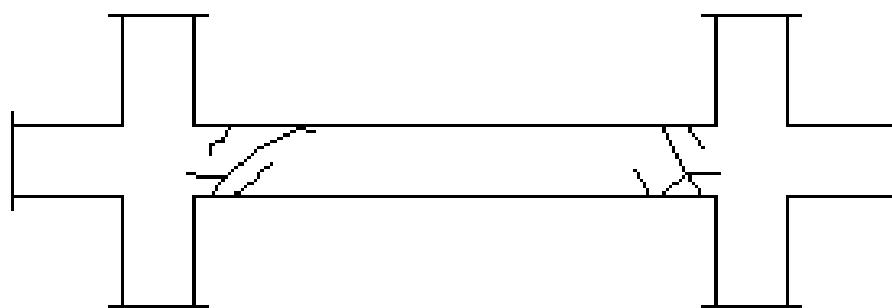
Είναι των εξής τύπων:

- α) Εγκάρσια καμπτικά - εφελκυστικά ρήγματα ανοίγματος (Σχ. 1). Αίτια έχουν υφιστάμενα ρήγματα (από κατακόρυφα φορτία) τα οποία η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού έκανε εμφανή. Γενικά, δεν εγκυμονούν κινδύνους για την κατασκευή.



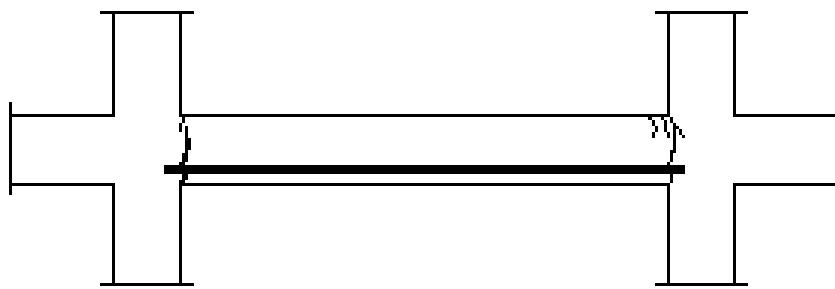
Σχ. 1 Εγκάρσια εφελκυστικά ρήγματα ανοίγματος δοκών

- β) Λοξά διατμητικά ρήγματα (Σχ 2). Αίτιο έχουν ανεπαρκή οπλισμό έναντι τέμνουσας. Εξ άλλου ο λοξός οπλισμός είναι ακατάλληλος για ετερόσημη V. Είναι πιο επικίνδυνα από τα καμπτικά (ψαθυρότερη μορφή αστοχίας) αλλά δεν δημιουργούν κίνδυνο ευστάθειας του κτιρίου.



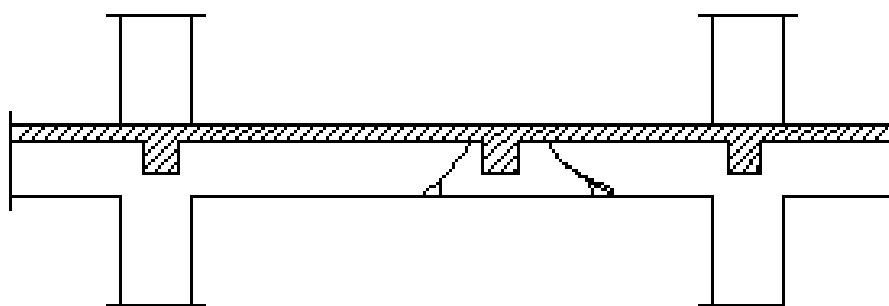
Σχ. 2 Λοξά διατμητικά ρήγματα δοκών

- γ) Καμπτικά ρήγματα στηρίξεων (Σχ 3). Είναι τα αναμενόμενα ρήγματα από σεισμό. Αίτιο έχουν την ανεπαρκή ποσότητα ή αγκύρωση του οπλισμού στο κάτω πέλμα.



Σχ. 3. Καμπτικά ρήγματα στηρίξεων δοκών

δ) Ρήγματα στις εδράσεις δευτερευουσών δοκών ή «φυτευτών» υποστυλωμάτων. Αίτιο έχουν την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού. Η αντιμετώπισή τους γίνεται με συνδετήρες ή αναρτήρες.



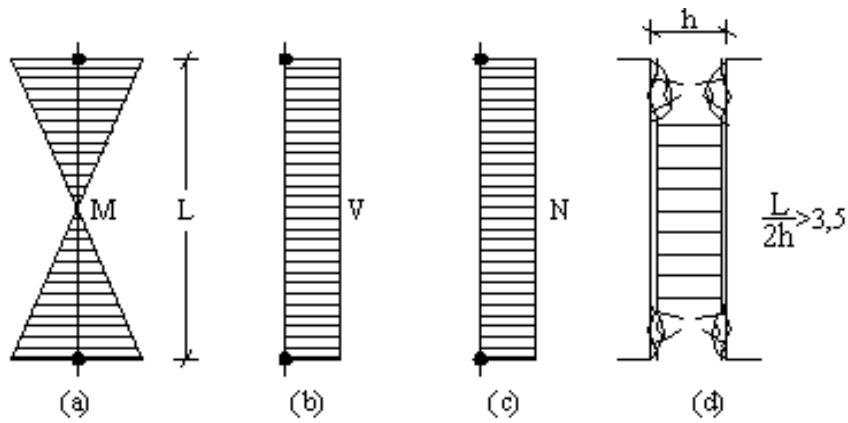
Σχ. 4. Ρήγματα στις εδράσεις δευτερευουσών δοκών

3. Βλάβες υποστυλωμάτων

α) Βλάβες από αστοχία καμπτικού τύπου (Σχ. 5) εμφανίζονται σε υποστυλώματα μέσης και μεγάλης λυγηρότητας

$$\alpha = \frac{M}{Vh} = \frac{0,5 VL}{Vh} = \frac{L}{2h} > 3,5$$

Συνίστανται σε: αποφλοίωση επικάλυψης – συντριβή, λυγισμό διαμήκων ράβδων, θραύση συνδετήρων λόγω διόγκωσης του πυρήνα. Βασικές αιτίες έχουν τη χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος, αραιούς συνδετήρες, ισχυρά ζυγώματα.



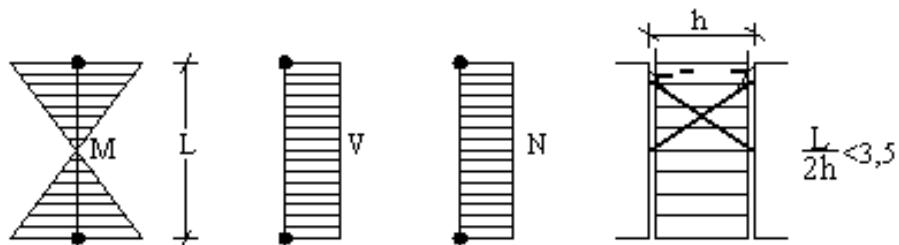
Σχ. 5. Αστοχία καμπτικού τύπου υποστυλωμάτων

β) Βλάβες από μικτούς τύπους αστοχίας (κάμψη + διάτμηση) (Σχ. 6). Εμφανίζεται σε υποστυλώματα μέσης λυγηρότητας ή και με ανεπαρκή οπλισμό συνδετήρων:

$$\alpha = \frac{M}{Vh} = \frac{0,5 VL}{Vh} = \frac{L}{2h} < 3,5$$

Για τη συνήθη τιμή $L=3m$ προκύπτει $0,40 m < h$

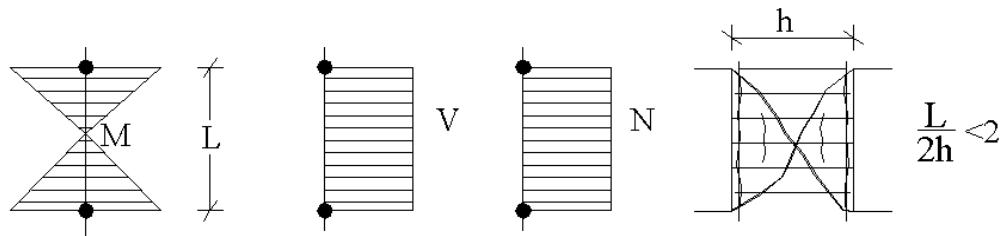
Βασικές αιτίες έχουν την ανεπάρκεια του εγκάρσιου οπλισμού. Είναι σοβαρότερες από τις βλάβες καμπτικού τύπου.



Σχ. 6 Μικτοί τύποι αστοχίας (κάμψη + διάτμηση) υποστυλωμάτων

γ) Βλάβες από διατμητική αστοχία από διάρρηξη (εκρηκτικού τύπου) (Σχ. 7).

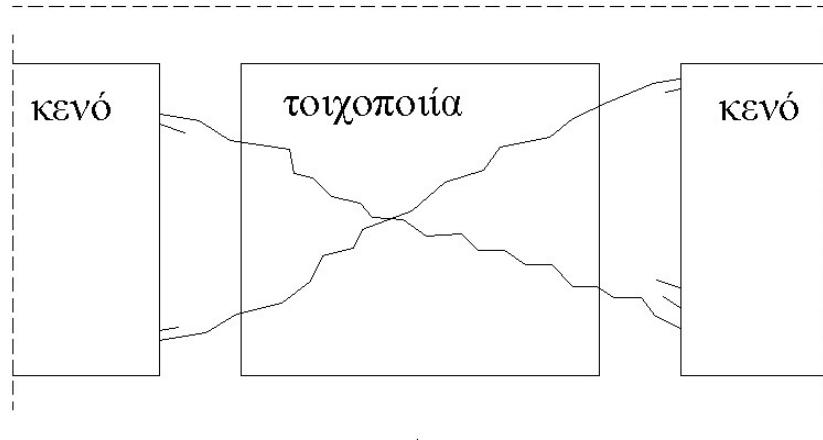
Εμφανίζεται όπου $\alpha < 2,0$ δηλαδή στα κοντά υποστυλώματα. Οδηγεί πολλές φορές σε εντυπωσιακή κατάρρευση του κτιρίου.



Σχ. 7 Διατμητική αστοχία από διάρρηξη υποστυλωμάτων

δ) Διατμητική αστοχία από αλληλεπίδραση με τις τοιχοπληρώσεις (Σχ. 8).

Την αστοχία της τοιχοποιίας παρακολουθούν και τα υποστυλώματα (περίπτωση μονόπλευρης επαφής).



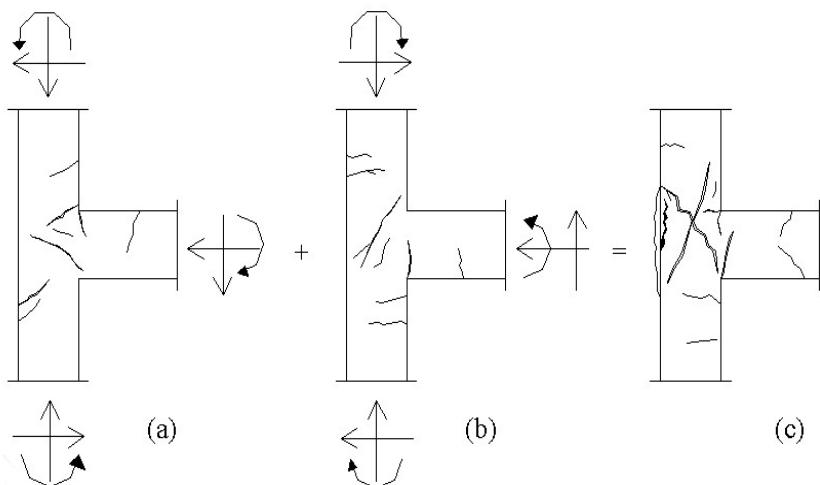
Σχ. 8. Αλληλεπίδραση υποστυλωμάτων με τις τοιχοπληρώσεις

Σε όλες τις περιπτώσεις η αστοχία των υποστυλωμάτων είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη γιατί συνεπάγεται αλλοίωση ή καταστροφή του φέροντος συστήματος κατακόρυφων στοιχείων.

4. Βλάβες σε γωνιακούς ή εξωτερικούς κόμβους

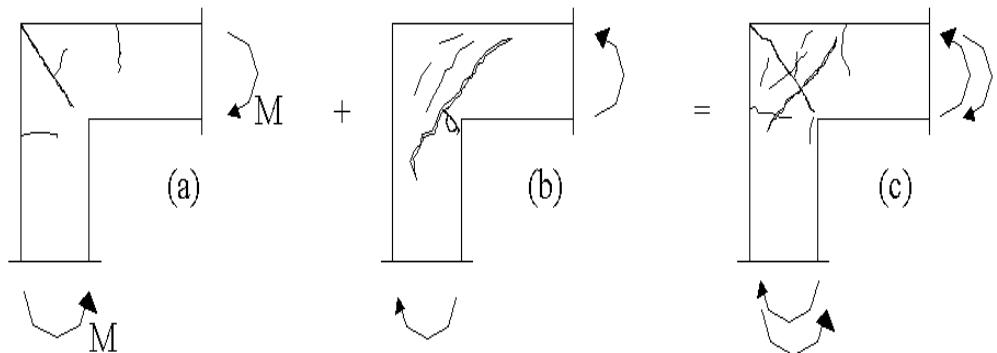
Θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές γιατί υποβαθμίζουν την ακαμψία του φέροντος στοιχείου. Δεν είναι όμως συνήθεις διότι κατά κανόνα αστοχούν πρώτα τα στοιχεία που συμβάλλουν στον κόμβο.

α) Γωνιακοί κόμβοι



Σχ. 9 Γωνιακοί κόμβοι

β) Εξωτερικοί κόμβοι.

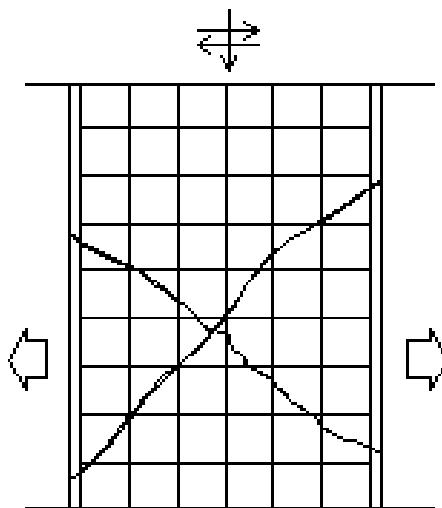


Σχ. 10 Εξωτερικοί κόμβοι

5. Βλάβες τοιχωμάτων

α) Ρωγμές από τέμνουσα.

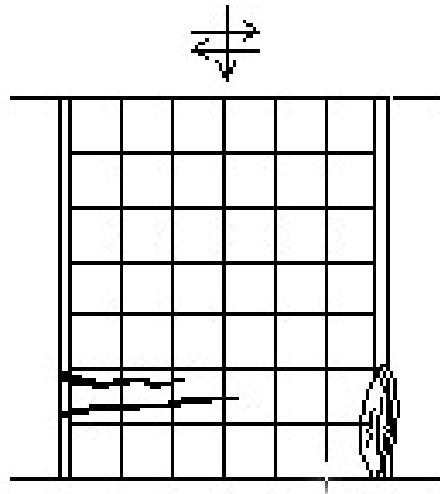
Είναι τυπική βλάβη και εκδηλώνεται με χιαστί ρωγμές. Η αστοχία εμφανίζεται όταν δεν διαμορφώνονται κρυφοκολώνες στα άκρα.



Σχ. 11. Ρωγμές από τέμνουσα τοιχωμάτων

β) Καμπτικές ρωγμές.

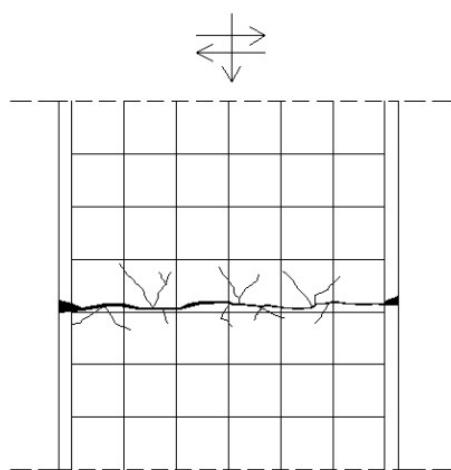
Είναι πολύ σπάνιες, διότι αναπτύσσονται πολύ μικρότερες ροπές από τις υπολογισθείσες στη βάση του τοιχείου λόγω στροφής του πεδίου από παραμόρφωση του εδάφους.



Σχ. 12. Καμπτικές ρωγμές τοιχωμάτων.

γ) Ρηγμάτωση στον αρμό σκυροδέματος.

Είναι συνηθέστατη. Αιτία έχει την κακή κατασκευαστική διαμόρφωση του αρμού και τον ανεπαρκή κατακόρυφο οπλισμό σχάρας.



Σχ. 13. Ρηγμάτωση στον αρμό σκυροδέματος τοιχωμάτων

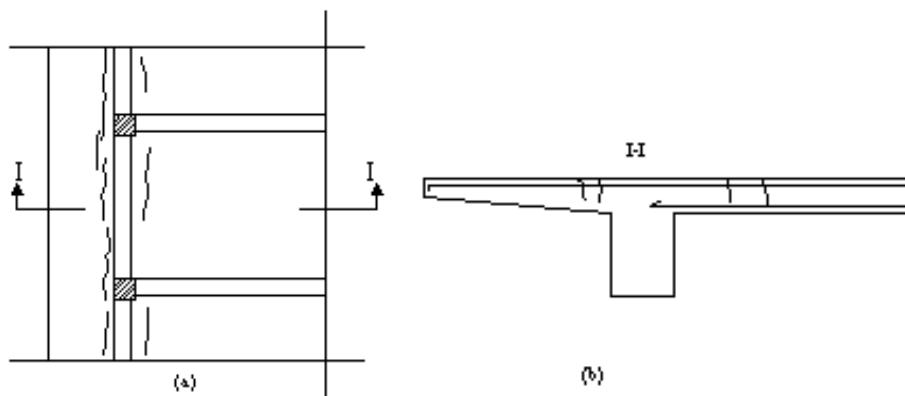
6. Βλάβες πλακών

Οι συνηθέστεροι τύποι βλαβών είναι οι εξής:

α) Ρήγματα παράλληλα ή κάθετα προς τους οπλισμούς, σε τυχαίες θέσεις. Είναι ο συχνότερος τύπος βλάβης. Πιθανά αίτια έχει την διεύρυνση τριχοειδών ρηγμάτων που προϋπήρχαν (από

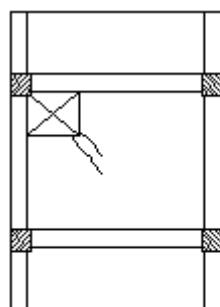
καμπτική λειτουργία ή συνηθέστερα από θερμοκρασιακές μεταβολές) και έγιναν εμφανή λόγω της σεισμικής διέγερσης. Ενίοτε οφείλονται και σε καθιζήσεις υποστυλωμάτων.

β) Ρήγματα σε κρίσιμες διατομές μεγάλων ανοιγμάτων ή μεγάλων προβόλων, κάθετα προς τους κύριους οπλισμούς (Σχ. 14). Πιθανή αιτία έχουν την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης.



Σχ. 14. Ρήγματα σε κρίσιμες διατομές πλακών

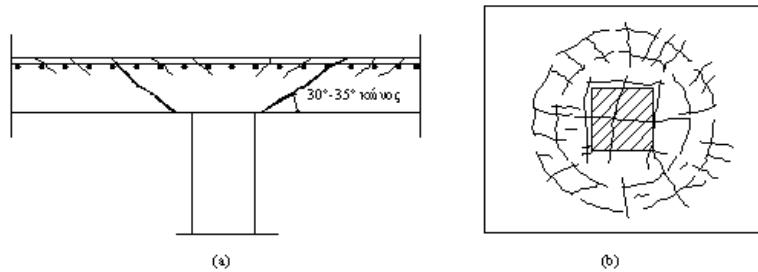
γ) Ρήγματα σε περιοχές ανωμαλιών της κάτοψης (φωταγωγοί, ανοίγματα κλιμακοστασίων κλπ.) (Σχ. 15). Πιθανή αιτία έχουν την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού.



Σχ. 15. Ρήγματα σε περιοχές ανωμαλιών της κάτοψης πλακών

Γενικά και οι τρεις αυτοί τύποι βλαβών δεν είναι επικίνδυνοι, αλλά πρέπει να επισκευάζονται (λειτουργικές απαιτήσεις).

δ) Ρήγματα σε σημεία συγκεντρώσεως μεγάλων σεισμικών δυνάμεων π.χ. συνδέσεις πλακών με τοιχώματα ή μυκητοειδείς πλάκες (Σχ. 16). Εκεί εμφανίζεται αστοχία διάτρησης που επιτείνεται από την ανακυκλιζόμενη καμπτική επιπόνηση.



Σχ. 16. Ρηγμάτωση σε μυκητοειδείς πλάκες

7. Βλάβες οργανισμού πλήρωσης

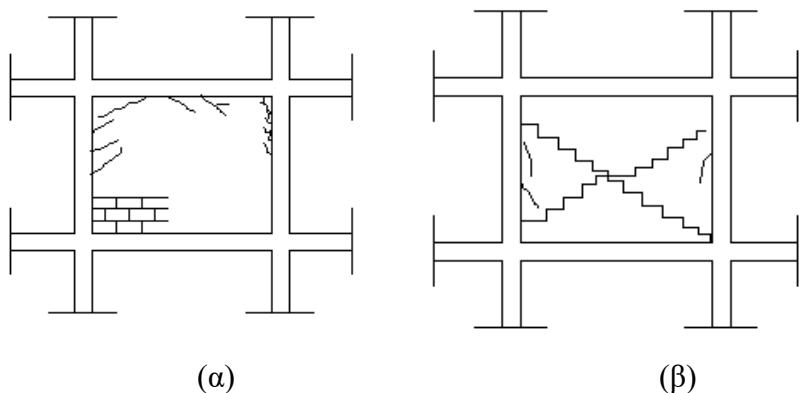
Η τυπική τοιχοπλήρωση στα κτίρια από Ο/Σ είναι η πλινθοδομή σε επαφή με τα περιβάλλοντα στοιχεία του φέροντος οργανισμού. Η πλινθοδομή έχει μικρότερη αντοχή από το Ο/Σ, γι' αυτό και αστοχεί πρώτη στη διάρκεια του σεισμού. Οι συνηθέστεροι τύποι βλαβών είναι οι εξής:

α) Ρήγματα αποκόλλησης από το περιβάλλον πλαίσιο (Σχ. 17α).

Είναι τα πρώτα που εμφανίζονται, αρχικά στο επίχρισμα και έπειτα διαπερνούν τις τοιχοποιίες

β) Χιαστί ρήγματα (Σχ. 17β).

Ακολουθούν τους αρμούς πλίνθων – κονιάματος. Όταν είναι επιφανειακά έχουμε «ελαφρά» βλάβη. Όταν είναι διαμπερή έχουμε «σοβαρή» βλάβη. Μπορεί να συμβεί και κατάρρευση της τοιχοπλήρωσης.



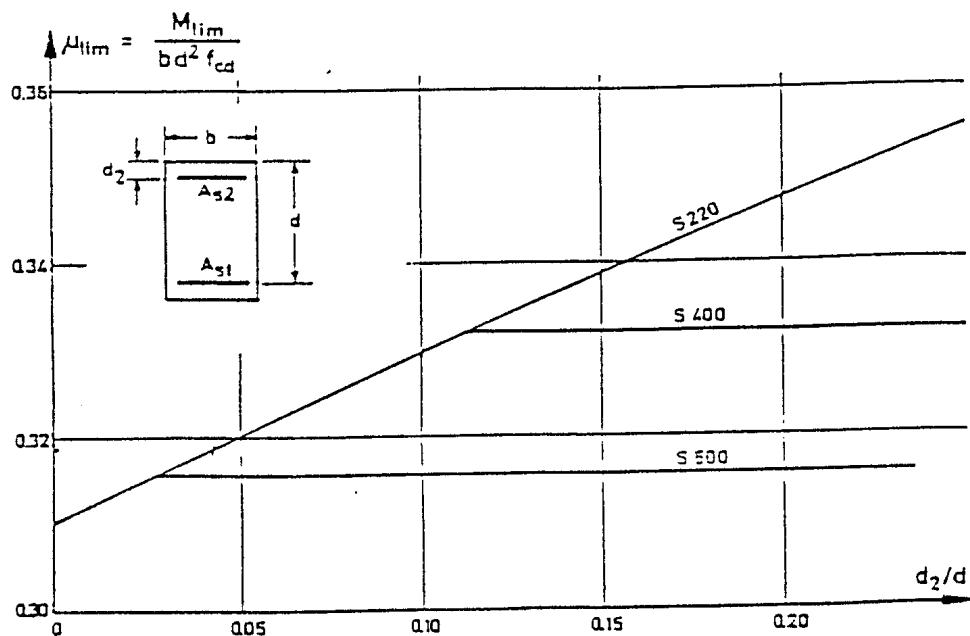
Σχ. 17 Βλάβες οργανισμού πλήρωσης

Γενικά οι βλάβες αυτές δεν είναι κρίσιμες για την ευστάθεια, αλλά είναι δαπανηρές στην αποκατάσταση.



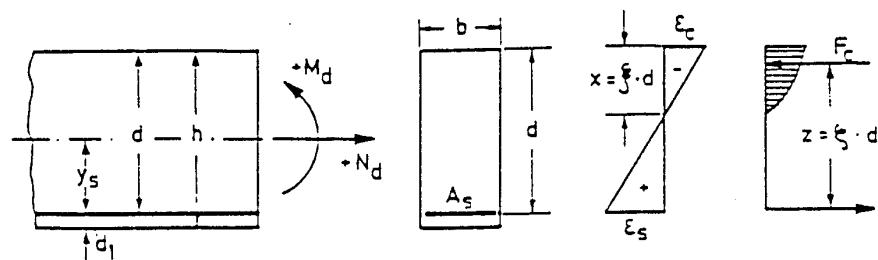
Σχ. 18. Διατμητικές αστοχίες δοκού, υποστυλώματος, τοιχώματος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΠΙΝΑΚΕΣ C.E.B.



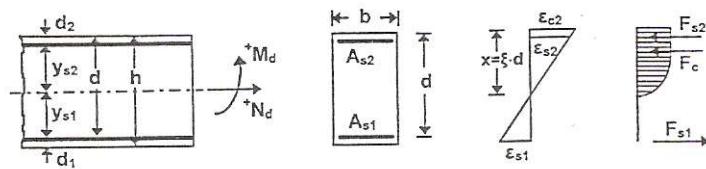
Σχ. 1 Ανηγμένη οριακή ροπή μ_{lim} .

Πιν. 1 Γενικός πίνακας υπολογισμού οπλισμού ορθωγωνικών διατομών υπό κάμψη με ή
χωρίς αξονική δύναμη χωρίς θλιβόμενο οπλισμό.



μ_{sd}	ω	$\xi = \frac{x}{d}$	$\zeta = \frac{z}{d}$	ϵ_c [%]	ϵ_s [%]	σ_{sd} [MPa] S220	σ_{sd} [MPa] S400	σ_{sd} [MPa] S500
0.01	0.0102	0.050	0.983	-0.52	10.00	191	348	435
0.02	0.0205	0.072	0.975	-0.77	10.00			
0.03	0.0310	0.089	0.969	-0.98	10.00			
0.04	0.0415	0.104	0.963	-1.16	10.00			
0.05	0.0522	0.118	0.958	-1.34	10.00			
0.06	0.0630	0.131	0.953	-1.51	10.00			
0.07	0.0739	0.144	0.947	-1.68	10.00			
0.08	0.0849	0.156	0.942	-1.85	10.00			
0.09	0.0961	0.168	0.937	-2.03	10.00			
0.10	0.1074	0.181	0.931	-2.21	10.00			
0.11	0.119	0.194	0.925	-2.40	10.00			
0.12	0.131	0.207	0.919	-2.60	10.00			
0.13	0.143	0.220	0.912	-2.82	10.00			
0.14	0.155	0.233	0.905	-3.04	10.00			
0.15	0.167	0.247	0.899	-3.27	10.00			
0.16	0.179	0.261	0.892	-3.50	9.92			
0.17	0.192	0.280	0.884	-3.50	9.02			
0.18	0.206	0.299	0.878	-3.50	8.22			
0.19	0.219	0.318	0.868	-3.50	7.50			
0.20	0.233	0.338	0.859	-3.50	6.85			
0.21	0.247	0.359	0.851	-3.50	6.26			
0.22	0.261	0.380	0.842	-3.50	5.72			
0.23	0.276	0.401	0.833	-3.50	5.22			
0.24	0.291	0.423	0.824	-3.50	4.77			
0.25	0.307	0.446	0.814	-3.50	4.35			
0.26	0.323	0.470	0.805	-3.50	3.95			
0.27	0.340	0.494	0.795	-3.50	3.59			
0.28	0.357	0.519	0.784	-3.50	3.24			
0.29	0.375	0.545	0.773	-3.50	2.92			
0.30	0.394	0.572	0.762	-3.50	2.62			
0.31	0.413	0.600	0.750	-3.50	2.33			435
0.32	0.434	0.630	0.738	-3.50	2.05			410
0.33	0.455	0.662	0.725	-3.50	1.79		348	352
0.34	0.478	0.695	0.711	-3.50	1.54		308	308
0.35	0.503	0.731	0.696	-3.50	1.29		258	258
0.36	0.529	0.770	0.680	-3.50	1.05	191	210	210
0.37	0.559	0.812	0.662	-3.50	0.81	162	162	162
0.38	0.592	0.860	0.642	-3.50	0.57	104	104	104
0.39	0.630	0.915	0.619	-3.50	0.32	64	64	64

Πιν. 2 Γενικός πίνακας υπολογισμού οπλισμού ορθογωνικών διατομών υπό κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη με χρήση και θλιβόμενου οπλισμού (S500).



$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} > \mu_{lim}$$

$$A_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{sd})$$

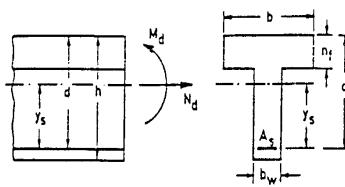
$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{1}{f_{yk}} = 0.617$$

$$1 + \frac{805}{f_{yk}}$$

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

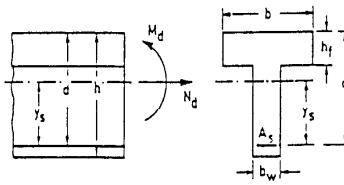
μ_{sd}	$d_2/d=0.05$		$d_2/d=0.10$		$d_2/d=0.15$		$d_2/d=0.20$	
	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2
0.32	0.429	0.005	0.429	0.005	0.430	0.005	0.430	0.006
0.33	0.440	0.015	0.441	0.016	0.441	0.017	0.443	0.018
0.34	0.450	0.026	0.452	0.027	0.453	0.029	0.455	0.031
0.35	0.461	0.036	0.463	0.038	0.465	0.041	0.468	0.043
0.36	0.471	0.047	0.474	0.049	0.477	0.052	0.480	0.056
0.37	0.482	0.057	0.485	0.061	0.489	0.064	0.493	0.068
0.38	0.492	0.068	0.496	0.072	0.500	0.076	0.505	0.081
0.39	0.503	0.078	0.507	0.083	0.512	0.088	0.518	0.093
0.40	0.513	0.089	0.518	0.094	0.524	0.099	0.530	0.106
0.41	0.524	0.099	0.529	0.105	0.536	0.111	0.543	0.118
0.42	0.534	0.110	0.541	0.116	0.547	0.123	0.555	0.131
0.43	0.545	0.120	0.552	0.127	0.559	0.135	0.568	0.143
0.44	0.555	0.131	0.563	0.	0.574	0.146	0.580	0.156
0.45	0.566	0.142	0.574	0.149	0.583	0.158	0.593	0.168
0.46	0.577	0.152	0.585	0.161	0.594	0.170	0.605	0.181
0.47	0.587	0.163	0.596	0.172	0.606	0.182	0.618	0.193
0.48	0.598	0.173	0.607	0.183	0.618	0.193	0.630	0.206
0.49	0.608	0.184	0.618	0.194	0.630	0.205	0.643	0.218
0.50	0.619	0.194	0.629	0.205	0.641	0.217	0.655	0.231

Πιν. 3 Γενικός πίνακας υπολογισμού οπλισμού πλακοδοκών.



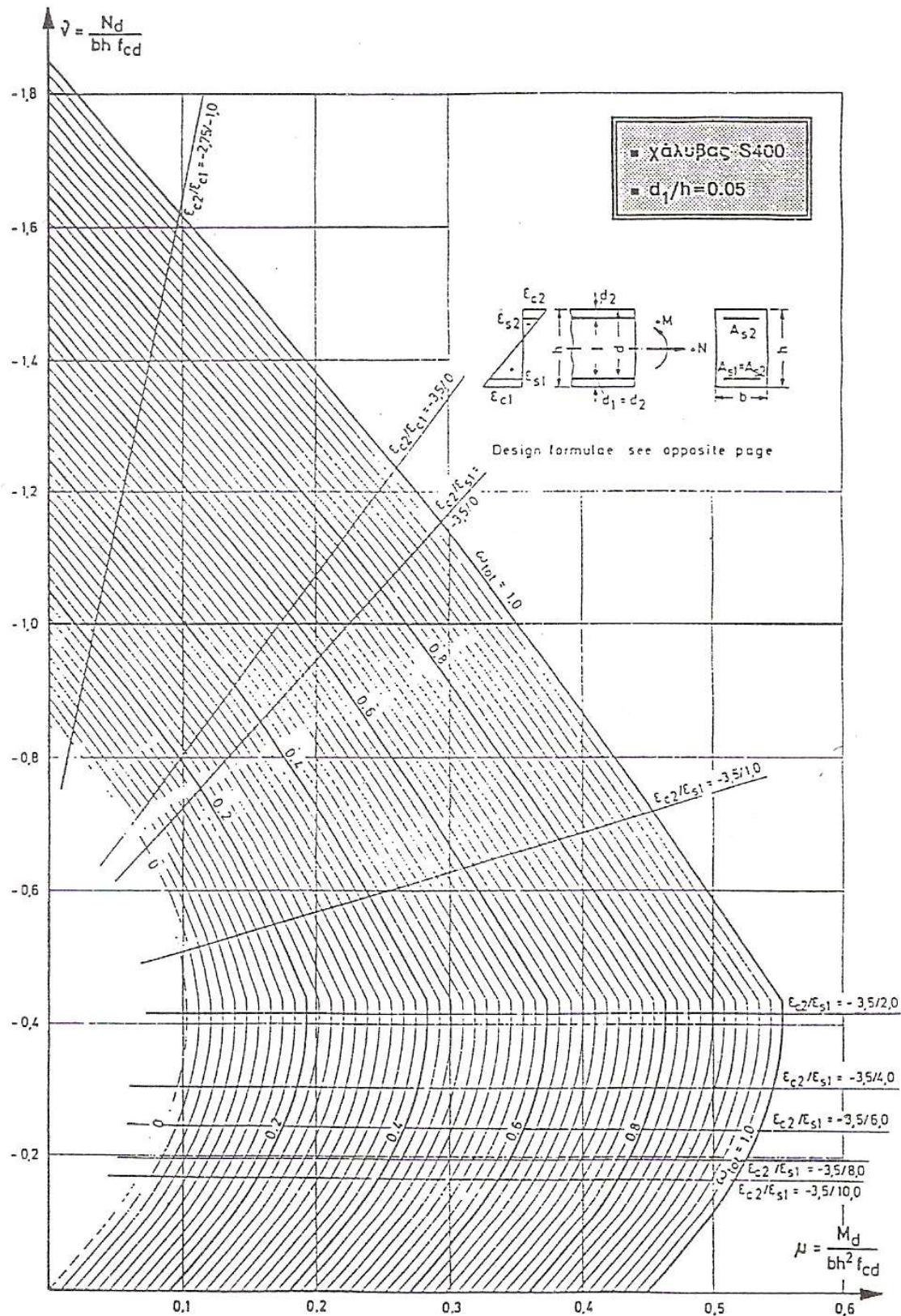
μ_d	h/d = 0.05					h/d = 0.10					h/d = 0.15				
	1000 ω for $b/b_w =$					1000 ω for $b/b_w =$					1000 ω for $b/b_w =$				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
0.02	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
0.04	41	41	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
0.06	65	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
0.08	91	87	85	84	84	84	85	85	85	85	85	85	85	85	85
0.10		114	110	107	111	108	108	107	107	107	107	107	107	107	107
0.12		146	137	131		138	134	132	131	130	130	130	130	130	131
0.14			166	155			164	158	155		157	155	155	155	
0.16			199	179			200	188	179		192	184	182	179	
0.18			237	206			220	206			219	211	206		
0.20			233				259	233			244	233			
0.22			261					261			283	251			
0.24			291					291				291			
0.26			323					323				323			
0.28			357					357				357			
0.30			394					394				394			
0.32			434					434				434			

S220 } μ_{efm}	0.070	0.099	0.138	0.186	0.330	0.106	0.131	0.164	0.205	0.330	0.139	0.160	0.189	0.224	0.330
S400 } $1000 \omega_{\text{efm}}$	84	125	180	249	455	122	159	208	270	455	160	192	237	291	455
S500 } μ_{efm}	0.069	0.096	0.133	0.178	0.316	0.104	0.128	0.159	0.198	0.316	0.138	0.157	0.184	0.217	0.316
	81	119	170	233	424	119	153	198	254	424	157	187	226	276	424

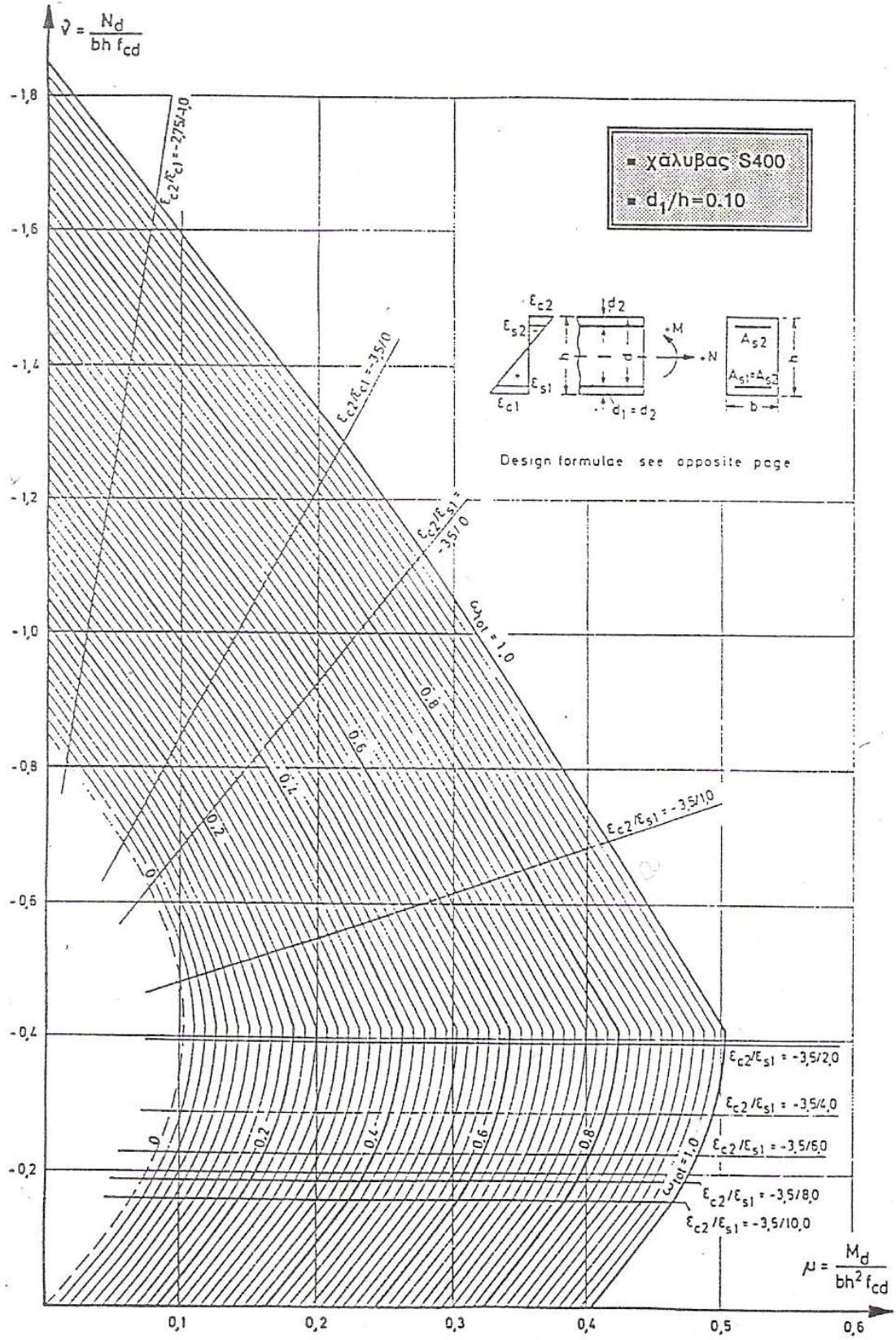


μ_d	h/d = 0.20					h/d = 0.30					h/d = 0.40				
	1000 ω for $b/b_w =$					1000 ω for $b/b_w =$					1000 ω for $b/b_w =$				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
0.02	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
0.04	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
0.06	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
0.08	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
0.10	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
0.12	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131
0.14	154	154	154	154	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
0.16	180	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179
0.18	210	207	206	205	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206
0.20		241	236	233	232	232	233	233	233	233	233	233	233	233	233
0.22			270	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261
0.24			309	291		293	292	291	291	291	291	291	291	291	291
0.26				323			328	323	322	322	322	323	323	323	323
0.28				357			357		357	357	357	357	357	357	357
0.30				394			394				396	394			
0.32				434			434					434			

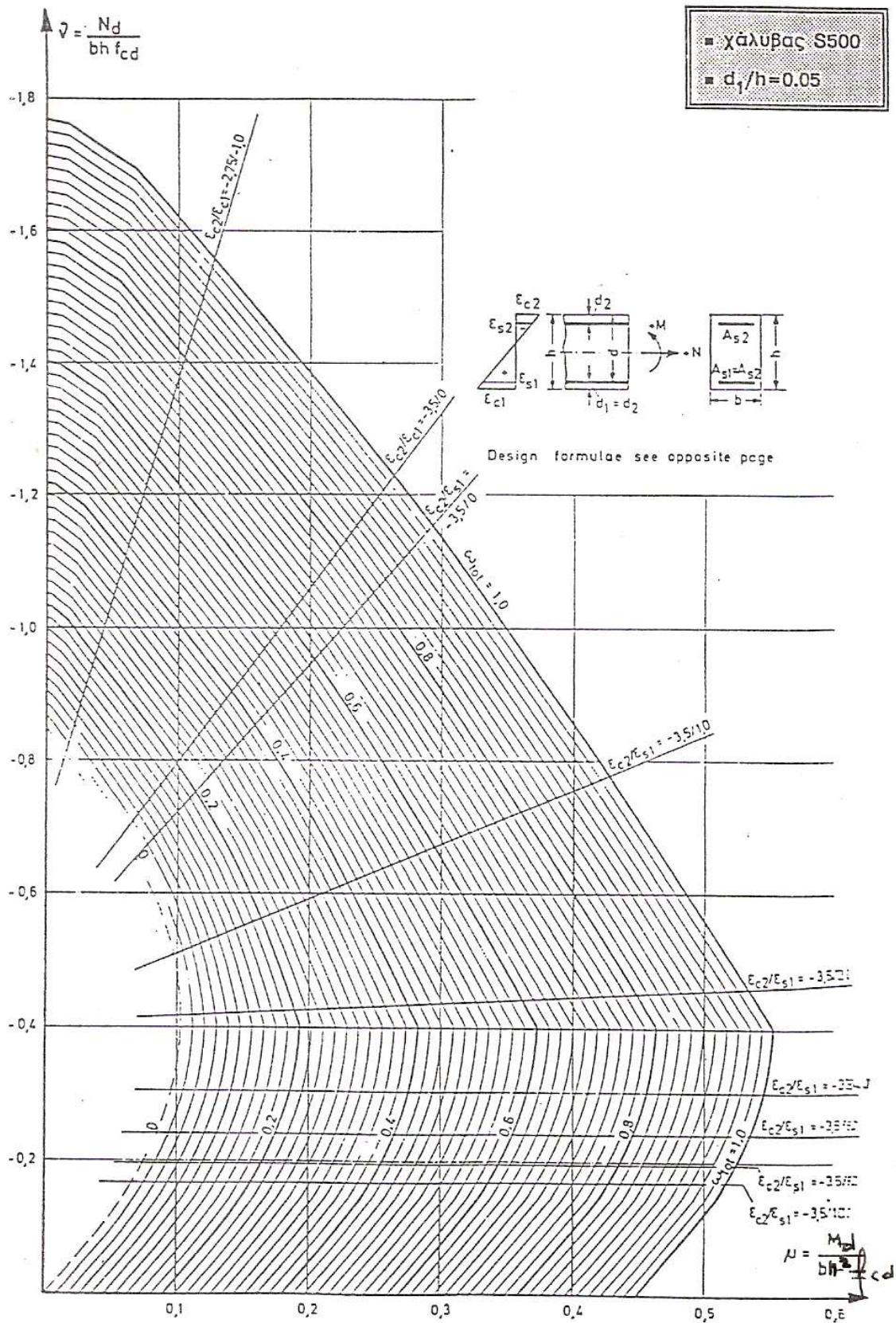
S220 } μ_{efm}	0.171	0.188	0.212	0.241	0.330	0.228	0.239	0.254	0.273	0.330	0.279	0.285	0.293	0.302	0.330
S400 } $1000 \omega_{\text{efm}}$	198	227	265	312	455	275	295	322	355	455	354	367	381	400	455
S500 } μ_{efm}	0.169	0.186	0.207	0.234	0.316	0.227	0.236	0.250	0.266	0.316	0.273	0.278	0.284	0.292	0.316
	195	221	255	297	424	272	289	311	340	424	343	352	364	379	424



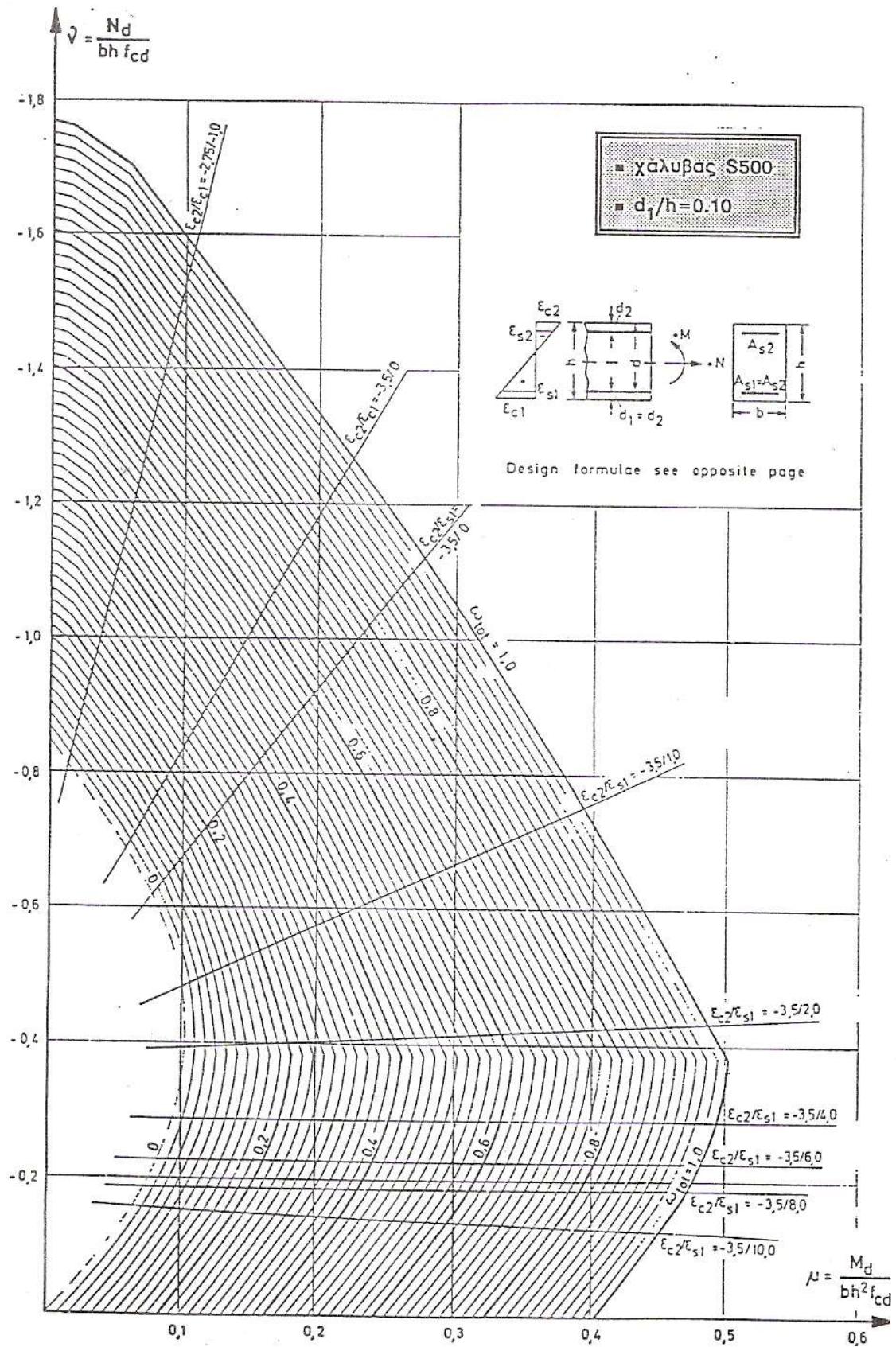
Σχ. 2 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπών - αξονικών δυνάμεων σε ορθογωνική διατομή συμμετρικά οπλισμένη (S400, $d_1/h=0,05$).



Σχ. 3 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπών - αξονικών δυνάμεων σε ορθογωνική διατομή συμμετρικά οπλισμένη (S400, $d_1/h=0,10$).



Σχ. 4 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπών - αξονικών δυνάμεων σε ορθογωνική διατομή συμμετρικά οπλισμένη (S500, $d_1/h=0,05$).



Σχ. 5 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπών - αξονικών δυνάμεων σε ορθογωνική διατομή συμμετρικά οπλισμένη (S500, $d_1/h=0,10$).

Πιν. 3 Διατομές σιδηρών ράβδων σύμφωνα με DIN 488 σε cm^2

Διάμετρος mm	Βάρος kg/m	'Αριθμός ρ & β δων									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,154	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,57	1,96
6	0,222	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,85
7	0,302	0,38	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85
8	0,395	0,50	1,00	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,208	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	1,578	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
18	1,998	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45
20	2,466	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
22	2,984	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01
24	3,551	4,52	9,05	13,57	18,10	22,62	27,14	31,67	36,19	40,72	45,21
26	4,168	5,31	10,62	13,93	21,21	26,55	31,86	37,17	42,47	47,78	53,09
28	4,834	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58
30	5,550	7,07	11,14	21,21	28,27	35,34	42,41	49,48	56,55	63,62	70,69
32	6,313	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahmed Y. Elghazouli, “Seismic design of buildings to Eurocode 8”, Spon Press, New York, 2009.
2. CEN European Standard EN 1992-1-1, “Eurocode 2: Design of Concrete Structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings”, Brussels: Comite European de Normalisation, Dec. 2004.
3. CEN European Standard EN 1998-1, “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, Brussels: Comite European de Normalisation, Dec. 2004.
4. M. N. Fardis, “Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings, based on EN-Eurocode 8, Series: Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering”, Springer, New York, 2009.
5. Γ. Πενέλης, Α. Κάππος, «Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1990.
6. Χρήστος Καραγιάννης, «Σχεδιασμός, Συμπεριφορά Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού», Εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη, 2014.