

Αντισεισμικές Κατασκευές

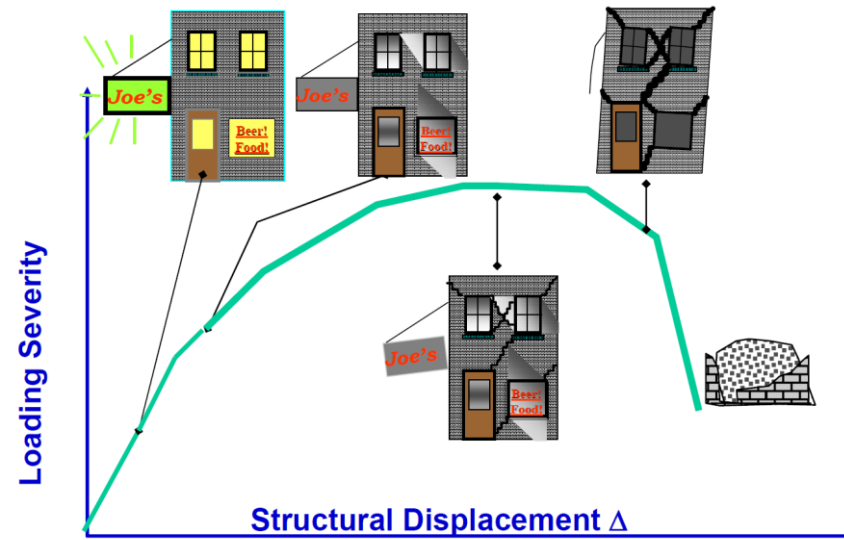
Κανόνες για φέροντα στοιχεία από οπλισμένο
σκυρόδεμα



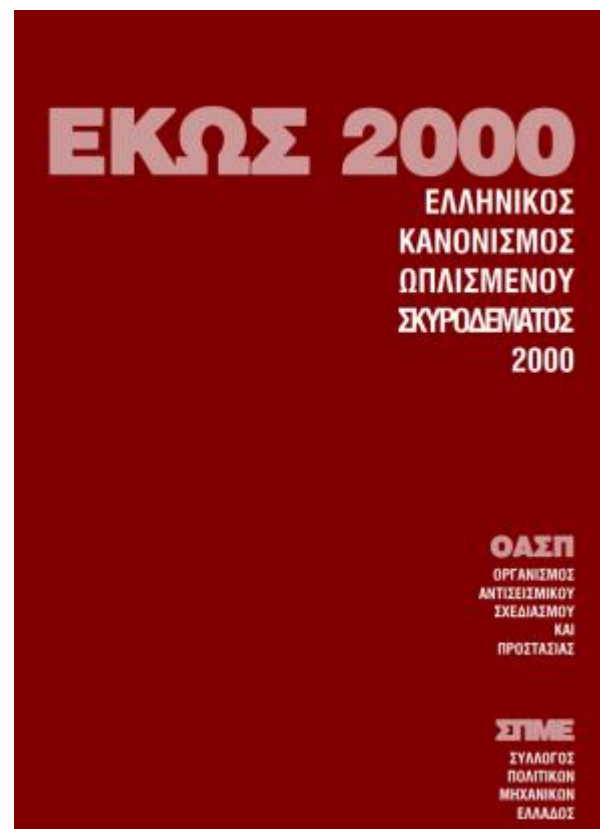
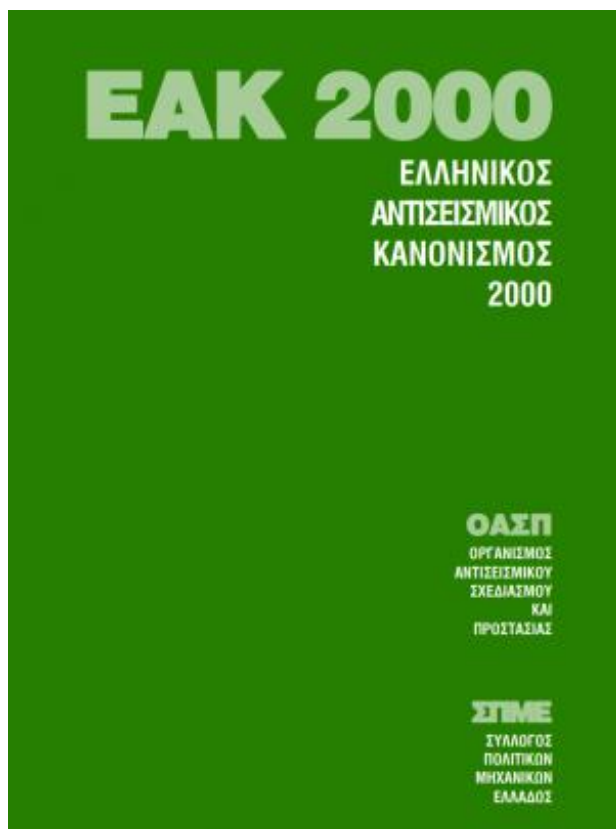
ΑΣΠΑΙΤΕ

Σκοπός

- Αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας
- Εξασφάλιση πλαστιμότητας μελών και κατασκευής



Κανονιστικό πλαίσιο



Διατμητική αστοχία – Υποστυλώματα

Η τέμνουσα σχεδιασμού $V_{CD,c}$ σε κάθε διεύθυνση πλαισίου στο οποίο ανήκει το υποστυλώμα:

$$V_{CD,c} = 1.4 \cdot (M_{R,c1} + M_{R,c2})/l_c \leq q \cdot V_{E,c}$$

$M_{R,c1}, M_{R,c2}$	οι αντοχές σε κάμψη στα άκρα του υποστυλώματος
l_c	το μήκος του υποστυλώματος
q	ο συντελεστής συμπεριφοράς
$V_{E,c}$	η σεισμική τέμνουσα του υποστυλώματος

Διατμητική αστοχία – Δοκοί

Η τέμνουσα σχεδιασμού $V_{CD,b}$ της δοκού:

$$V_{CD,b} = V_{0,b} + \Delta V_{CD,b}$$

$$\Delta V_{CD,b} = 1.2 \cdot (M_{R,b1} + M_{R,b2})/l_b \leq q \cdot V_{E,b}/1.2$$

$V_{0,b}$	η τέμνουσα της δοκού υπό τα μη σεισμικά φορτία
$M_{R,b1}, M_{R,b2}$	οι αντοχές σε κάμψη στα άκρα της δοκού
l_b	το μήκος της δοκού
q	ο συντελεστής συμπεριφοράς
$V_{E,b}$	η σεισμική τέμνουσα της δοκού

Διατμητική αστοχία – Βάση τοιχώματος

Η τέμνουσα σχεδιασμού $V_{CD,w0}$ στη βάση του τοιχώματος:

$$V_{CD,w0} = \alpha_{CD} \cdot V_{E,w0}$$

$$\alpha_{CD} = \gamma_{RD} \cdot M_{R,w0} / M_{E,w0} \leq q$$

γ_{RD}	συντελεστής ασφαλείας (= 1.30)
$M_{R,w0}$	η καμπτική αντοχή στη βάση του τοιχώματος
$V_{E,w0}$	η σεισμική τέμνουσα στη βάση του τοιχώματος
$M_{E,w0}$	η σεισμική ροπή στη βάση του τοιχώματος
q	ο συντελεστής συμπεριφοράς

Διατμητική αστοχία – Υπόλοιπο μήκος τοιχώματος

Η τέμνουσα σχεδιασμού $V_{CD,w}$ στο υπόλοιπο μήκος του τοιχώματος:

$$V_{CD,w} = \alpha_{CD} \cdot V_{E,w} \geq V_{CD,w0}/3$$

$$\alpha_{CD} = \gamma_{RD} \cdot M_{R,w0}/M_{E,w0} \leq q$$

γ_{RD}	συντελεστής ασφαλείας (= 1.30)
$M_{R,w0}$	η καμπτική αντοχή στη βάση του τοιχώματος
$V_{E,w0}$	η σεισμική τέμνουσα στη βάση του τοιχώματος
$M_{E,w0}$	η σεισμική ροπή στη βάση του τοιχώματος
q	ο συντελεστής συμπεριφοράς

Διατμητική αστοχία – Τοίχωμα

- Ο συντελεστής $\gamma_{RD} = 1.30$ εκφράζει την **πιθανή επαύξηση της αντοχής της διατομής** λόγω κράτυνσης του οπλισμού και περίσφιγξης του σκυροδέματος καθώς και υποτίμησης της πραγματικής αντοχής των τοιχωμάτων λόγω απλοποιητικών παραδοχών στο σχεδιασμό.
- Σε κτήρια με υπόγειους ορόφους ελέγχεται με προσοχή ο σχεδιασμός των τοιχωμάτων στον πρώτο υπόγειο όροφο καθώς εκεί παρατηρείται **σημαντική αύξηση της τέμνουσας**.

Καμπτική αστοχία – Τοίχωμα

- Η ροπή σχεδιασμού $M_{CD,w}$ του τοιχώματος:

$$M_{CD,w} = \alpha_{CD} \cdot M_{E,w}$$

$$\alpha_{CD} = \gamma_{RD} \cdot M_{R,w0} / M_{E,w0} \leq q$$

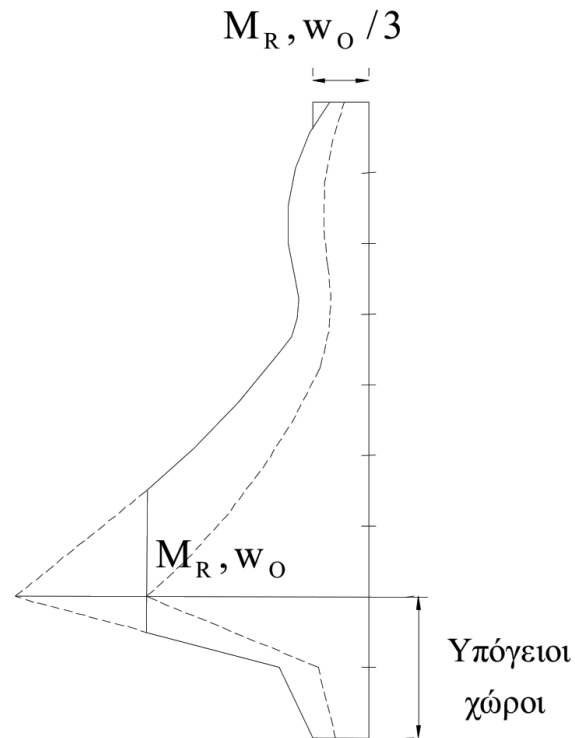
$$M_{R,w0} / 3 \leq M_{CD,w} \leq M_{R,w0}$$

γ_{RD}	συντελεστής ασφαλείας (= 1.30)
$M_{R,w0}$	η καμπτική αντοχή στη βάση του τοιχώματος
$M_{E,w}$	η σεισμική ροπή του τοιχώματος
q	ο συντελεστής συμπεριφοράς

Περιβάλουσες σχεδιασμού τοιχώματος

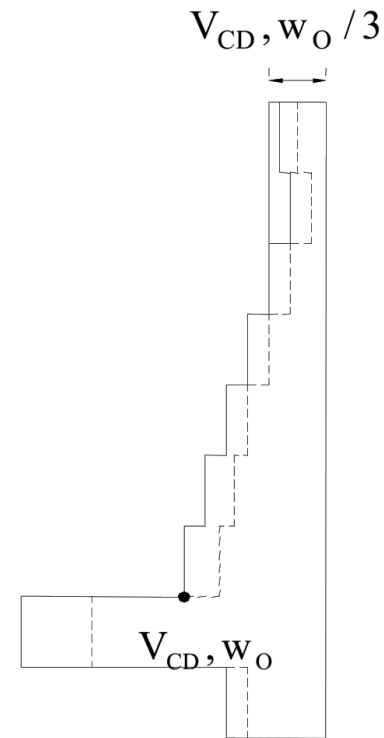
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ

ΡΟΠΩΝ



Περιβάλουσα Σχεδιασμού

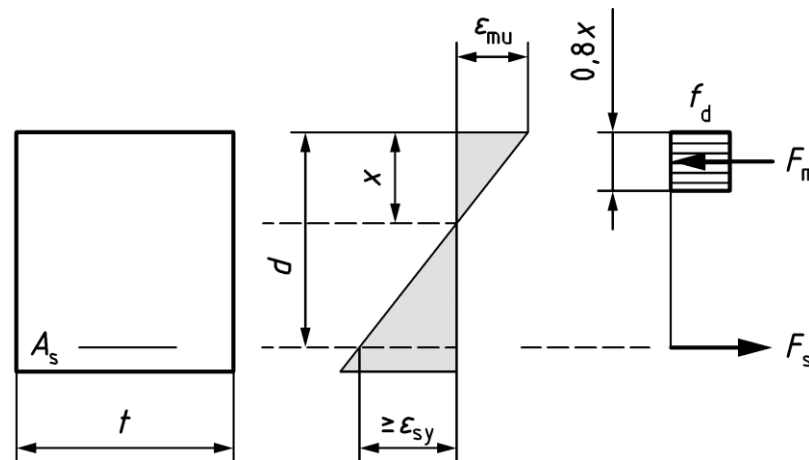
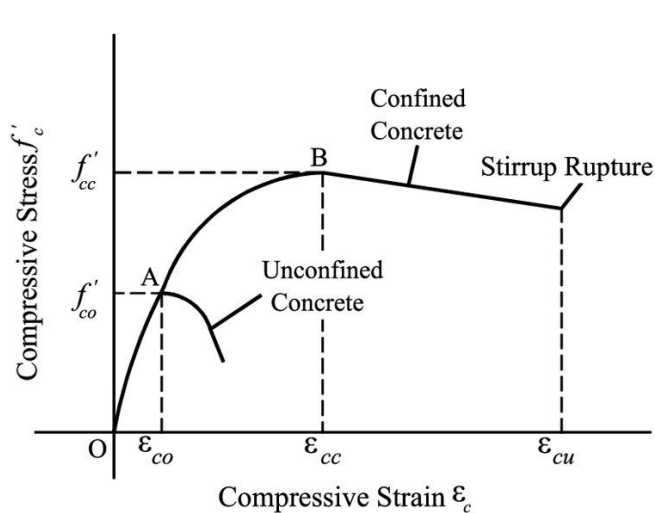
ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ



Περιβάλουσα Ανάλυσης

Πλαστικές αρθρώσεις – Εξασφάλιση πλαστιμότητας

- Στις πλαστικές αρθρώσεις οπλισμένου σκυροδέματος η πλαστιμότητα του μέλους επιτυγχάνεται μέσω της εξασφάλισης της πλάστιμης συμπεριφοράς της θλιβόμενης ζώνης.
- Απαιτείται ανηγμένη βράχυνση (παραμόρφωση σε θλίψη) μεγαλύτερη από την οριακή τιμή για το σκυρόδεμα $\epsilon_{cu} = 0.35\%$
- Αυτές οι απαιτήσεις ικανοποιούνται:
 - Στα υποστυλώματα μέσω της περίσφιγξης του σκυροδέματος
 - Στις δοκούς μέσω του περιορισμού του εφελκυσμένου οπλισμού



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Δοκοί

Μέγιστο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού στις περιοχές όπου αναμένεται σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων:

$$\rho_{\max} = 0.65 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015 \leq \frac{7}{f_{yd}}$$

f_{cd} θλιπτική αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος [MPa]

f_{yd} αντοχή σχεδιασμού χάλυβα [MPa]

$\frac{\rho'}{\rho}$ λόγος θλιβόμενου προς εφελκυσμένο οπλισμό

Σκοπός: διευκόλυνση σκυροδέτησης και αποφυγή ψαθυρότητας σε κάμψη

Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Δοκοί

- Κρίσιμες περιοχές θεωρούνται τα ακραία τμήματα της δοκού με μήκος ίσο με 2 φορές το ύψος της δοκού

$$l_{cr} = 2 \cdot h_b$$

- Στις περιοχές όπου αναμένονται πλαστικές αρθρώσεις (εντός του κρίσιμου μήκους l_{cr}), το ποσοστό του θλιβόμενου οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% του εφελκυόμενου:

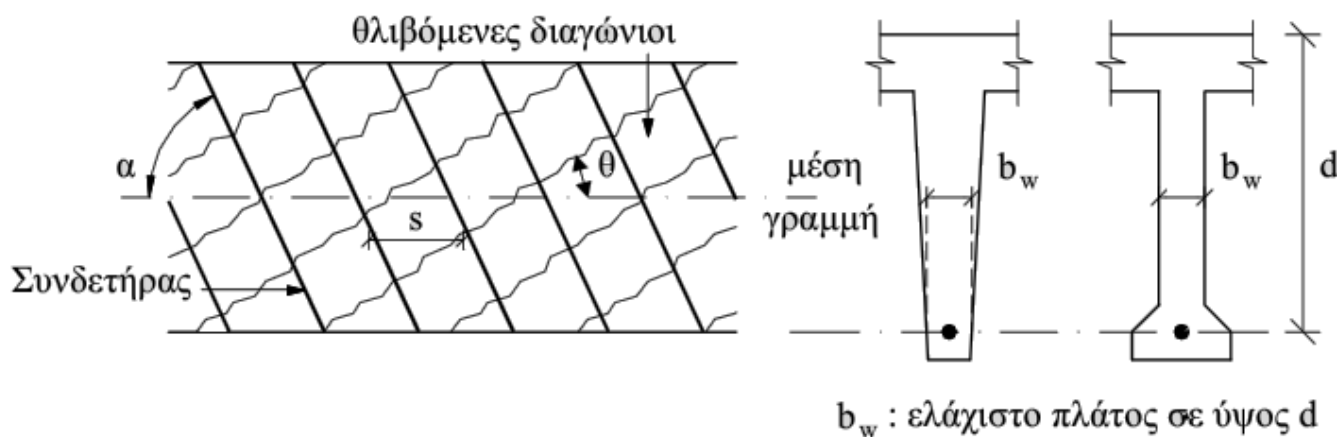
$$\frac{\rho'}{\rho} \geq 0.5$$

Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Δοκοί

- Το ελάχιστο ποσοστό διατμητικού οπλισμού ρ_w ,min ορίζεται ως

Σκυρόδεμα	S 220	S 400	S 500
C12 – C20	0.0016	0.0009	0.0007
C25 – C35	0.0024	0.0013	0.0011
C40 – C50	0.0030	0.0016	0.0013

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}$$



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Δοκοί

- Σύσταση: μέγιστη διάμετρος συνδετήρων 12 mm
- Μέγιστη απόσταση συνδετήρων s_{max} γενικά

$$V_{Sd} \leq \frac{1}{5} \cdot V_{Rd2} \quad \Rightarrow \quad s_{max} = 0.8 \cdot d \leq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{5} \cdot V_{Rd2} < V_{Sd} \leq \frac{2}{3} \cdot V_{Rd2} \quad \Rightarrow \quad s_{max} = 0.6 \cdot d \leq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{2}{3} \cdot V_{Rd2} < V_{Sd} \quad \Rightarrow \quad s_{max} = 0.3 \cdot d \leq 200 \text{ mm}$$

V_{Sd} η τέμνουσα σχεδιασμού

V_{Rd2} η τέμνουσα αντοχής λόγω λοξής θλίψης

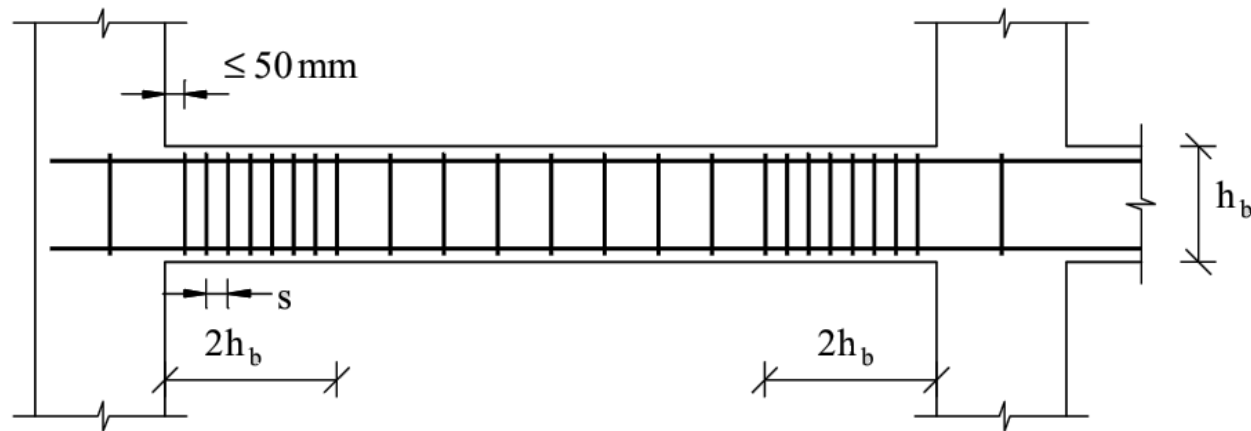
d το στατικό ύψος της δοκού

Σκοπός: εξασφάλιση απομένουσας αντοχής μετά τη ρηγμάτωση και πριν τη θραύση

Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Δοκοί

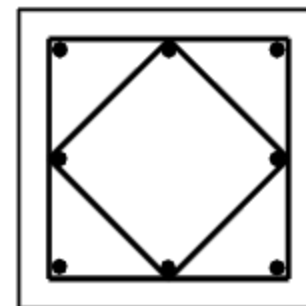
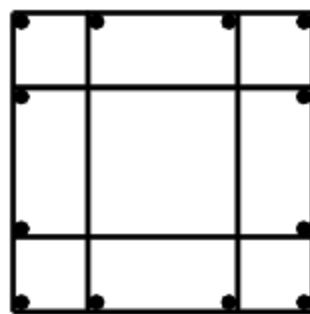
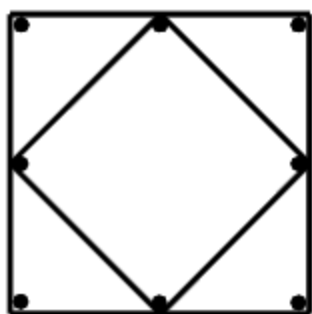
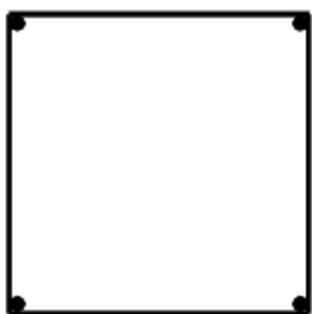
- Στις κρίσιμες περιοχές, η μέγιστη απόσταση των συνδετήρων δεν υπερβαίνει την ελάχιστη από τις παρακάτω τιμές:

- Το 1/3 του ύψους της δοκού
- 10 φορές τη διάμετρο της λεπτότερης διαμήκου ράβδου
- 20 φορές τη διάμετρο των συνδετήρων
- 200 mm



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

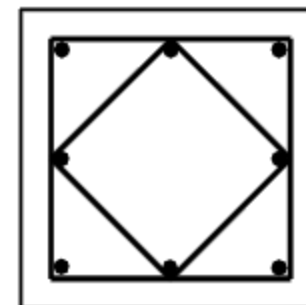
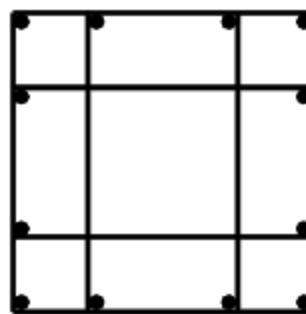
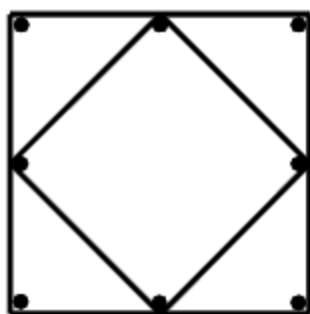
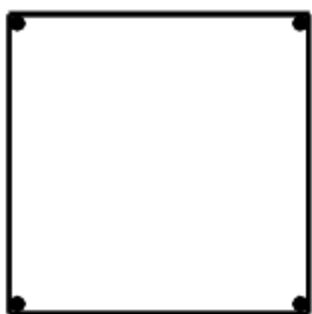
- Διαμήκειες ράβδοι
 - Ελάχιστη διάμετρος: 14 mm
 - Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού: 0.01
 - Μέγιστο ποσοστό οπλισμού: 0.04
- Πρέπει να συγκρατούνται από συνδετήρες ή εγκάρσιους συνδέσμους
- Μέγιστη απόσταση: 200 mm (πλην περίπτωσης πλευράς 300 mm)



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

Σκοπός εγκάρσιου οπλισμού

- Εξασφάλιση πλαστιμότητας
- Βελτίωση συνάφειας σκυροδέματος – διαμήκων ράβδων
- Αποτροπή λυγισμού διαμήκων ράβδων
- Εξασφάλιση διατμητικής αντοχής



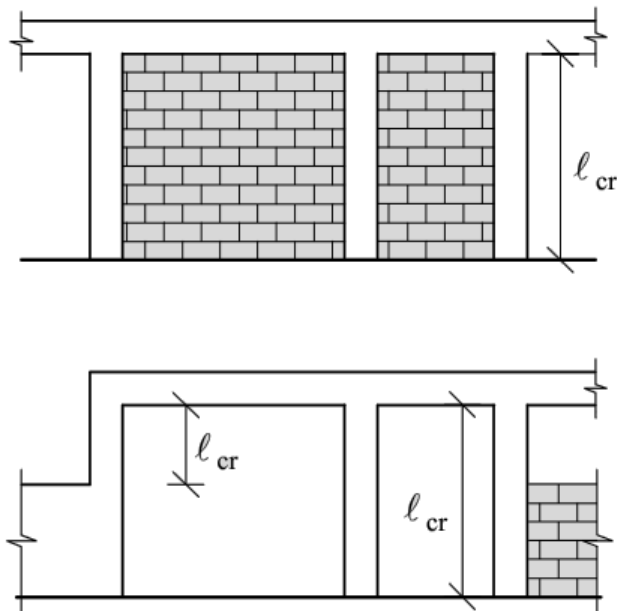
Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

- Ελάχιστη διάμετρος εγκάρσιων ράβδων
 - Ελάχιστη διάμετρος: 6 mm ή 1/4 μέγιστης διαμέτρου διαμήκων
- Μέγιστη απόσταση συνδετήρων γενικώς
 - 12 φορές την ελάχιστη διάμετρο των διαμήκων
 - Η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος
 - 300 mm
- Μέγιστη απόσταση συνδετήρων στις κρίσιμες περιοχές
 - 8 φορές την ελάχιστη διάμετρο των διαμήκων
 - 50% της μικρότερης πλευράς του υποστυλώματος
 - 100 mm

Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

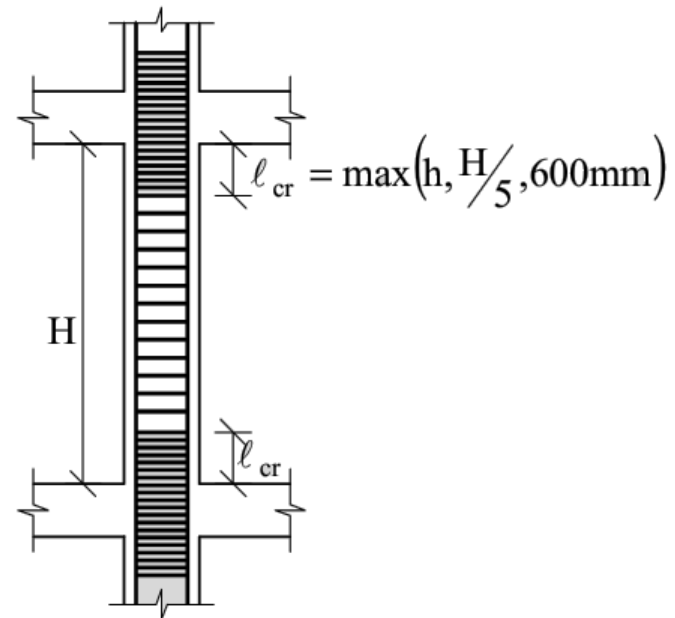
- Κρίσιμες περιοχές l_{cr}

- 1/5 καθαρού ύψους ορόφου
- Η μεγαλύτερη διάσταση του υποστυλώματος
- 600 mm



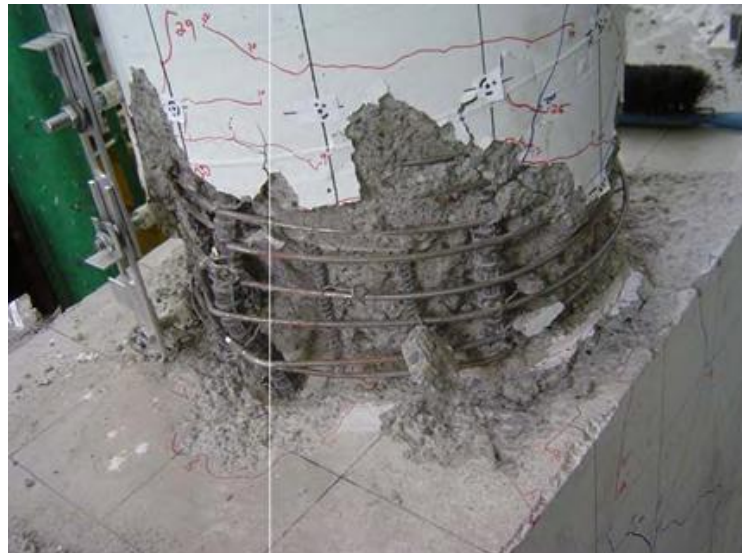
- Φύσει και θέσει **κοντά υποστυλώματα**

- Τοιχοπλήρωση στη μία πλευρά: ολόκληρο το μήκος είναι κρίσιμο
- Διακοπτόμενη τοιχοπλήρωση: ολόκληρο το μήκος είναι κρίσιμο
- Εν μέρει σύνδεση με τοίχωμα: το υπόλοιπο μήκος είναι κρίσιμο



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

- Στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων πλαισιακών συστημάτων πρέπει να παρέχεται ικανοποιητικός **οπλισμός περίσφιγξης**.
- Ο οπλισμός περίσφιγξης
 - Αντισταθμίζει την απώλεια εμβαδού διατομής σκυροδέματος έξω από τους συνδετήρες μετά την απώλεια λόγω αποφλοίωσης του σκυροδέματος έξω από τους συνδετήρες
 - Προσδίδει ικανότητα πλαστικής στροφής στην κρίσιμη περιοχή



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

Το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού περίσφιγξης ω_{wd}

$$\omega_{wd} = \frac{[\text{όγκος κλειστών συνδετήρων}]}{[\text{όγκος σκυροδέματος πυρήνα}]} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

οφείλει να ικανοποιεί τη σχέση

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0.85 \cdot \nu_d \cdot \left(0.35 \cdot \frac{A_c}{A_0} + 0.15 \right) - 0.035, \quad \omega_{wd} \geq 0.10$$

α συντελεστής αποδοτικότητας περίσφιγξης

A_c εμβαδόν διατομής σκυροδέματος

A_0 εμβαδόν πυρήνα σκυροδέματος

ν_d ανηγμένο αξονικό φορτίο $= N_{sd}/(A_c \cdot f_{cd})$

Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

Ο συντελεστής αποδοτικότητας περίσφιγξης α εξαρτάται από τη διάταξη των συνδετήρων και της απόστασης μεταξύ τους.

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$$

α_n συντελεστής συναρτήσεως της διάταξης των συνδετήρων

α_s συντελεστής συναρτήσεως της απόστασης

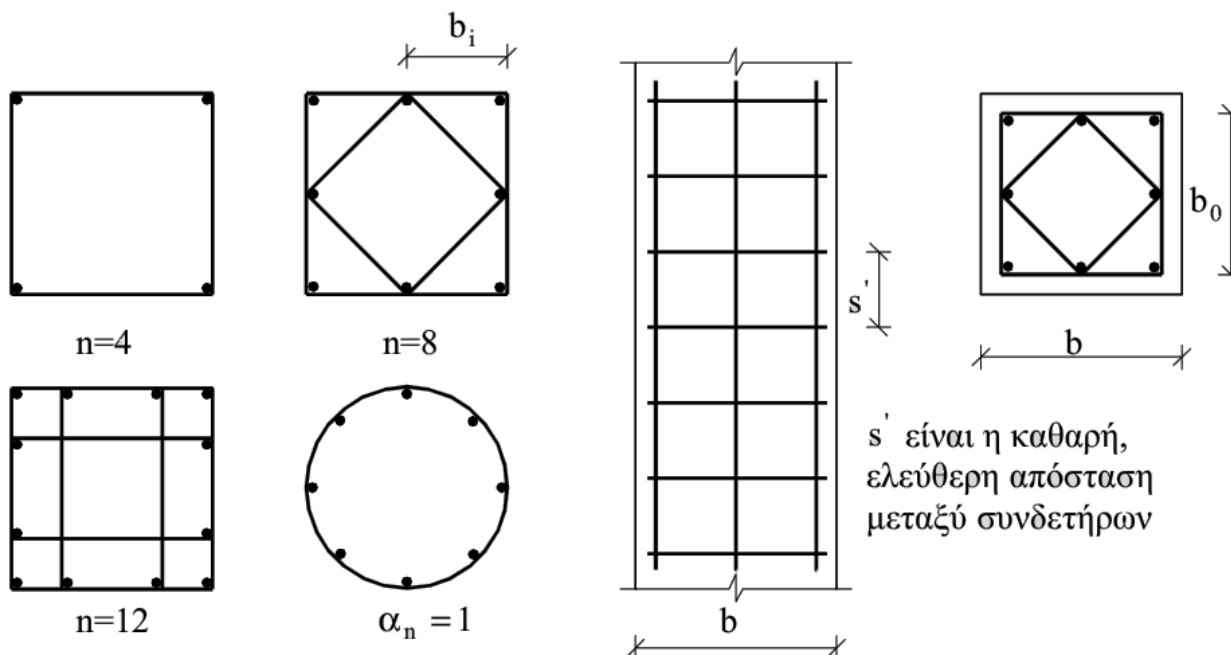
Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

Αναλόγως της διάταξης των συνδετήρων

$$\alpha_n = 1 - \sum_{i=1}^n b_i^2 / 6 \cdot A_0$$

n αριθμός «κορυφών» συνδετήρων ή «κόμβων» με εγκάρσιους συνδέσμους που συγκρατούν διαμήκεις ράβδους

b_i απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών «κορυφών» ή «κόμβων»



$A_0 = b_0^2$: εμβαδόν πυρήνα, $A_C = b^2$: εμβαδόν υποστυλώματος

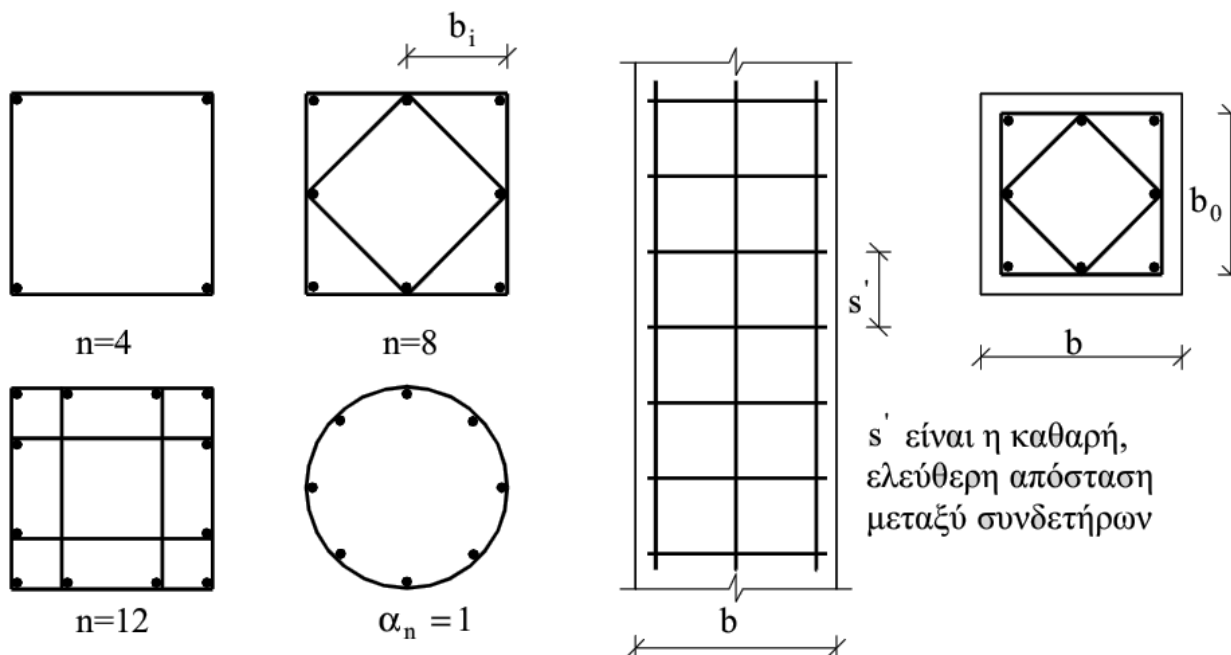
Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Υποστυλώματα

Αναλόγως της απόστασης των συνδετήρων

$$\alpha_s = (1 - s'/2 \cdot b_0)^2$$

s' καθαρή ελεύθερη απόσταση μεταξύ συνδετήρων

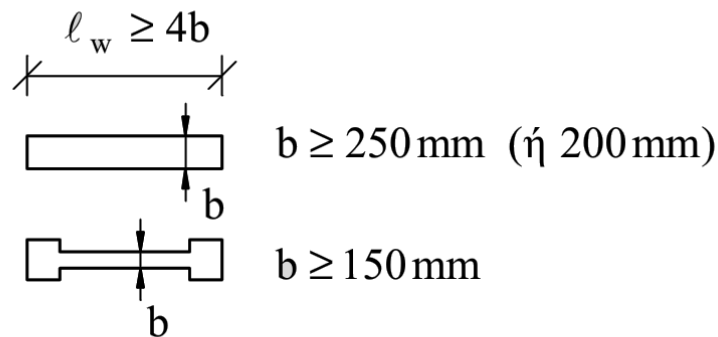
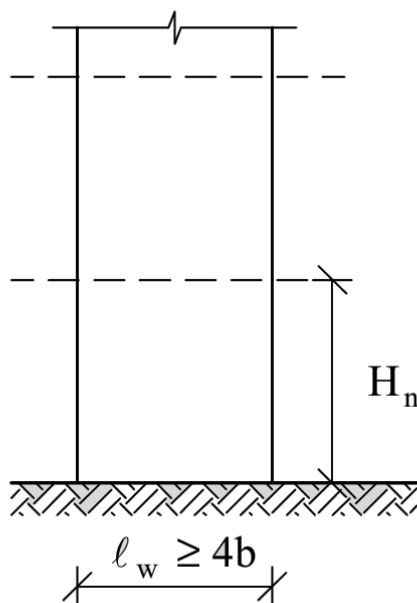
b_0 το πλάτος της διατομής του πυρήνα



$$A_0 = b_0^2 : \text{εμβαδόν πυρήνα}, \quad A_C = b^2 : \text{εμβαδόν υποστυλώματος}$$

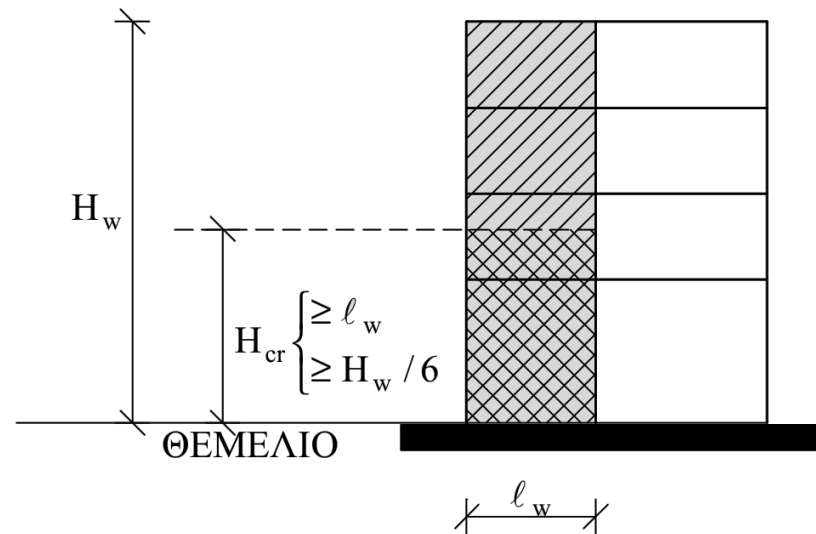
Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Τοιχώματα

- Λόγος πλευρών: $l_w/b \geq 4$
- Ελάχιστο πάχος κορμού
 - Τοίχωμα που καταλήγει σε υποστυλώματα: $b \geq 150 \text{ mm}$
 - Διαφορετικά: $b \geq 250 \text{ mm}$ ή $b \geq 200 \text{ mm}$ (χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας)
 - Γενικώς: $b \geq H_n/20$ εκτός και αν $b \geq q \cdot l_w/60$ (για έλεγχο πλευρικής ευστάθειας)



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Τοιχώματα

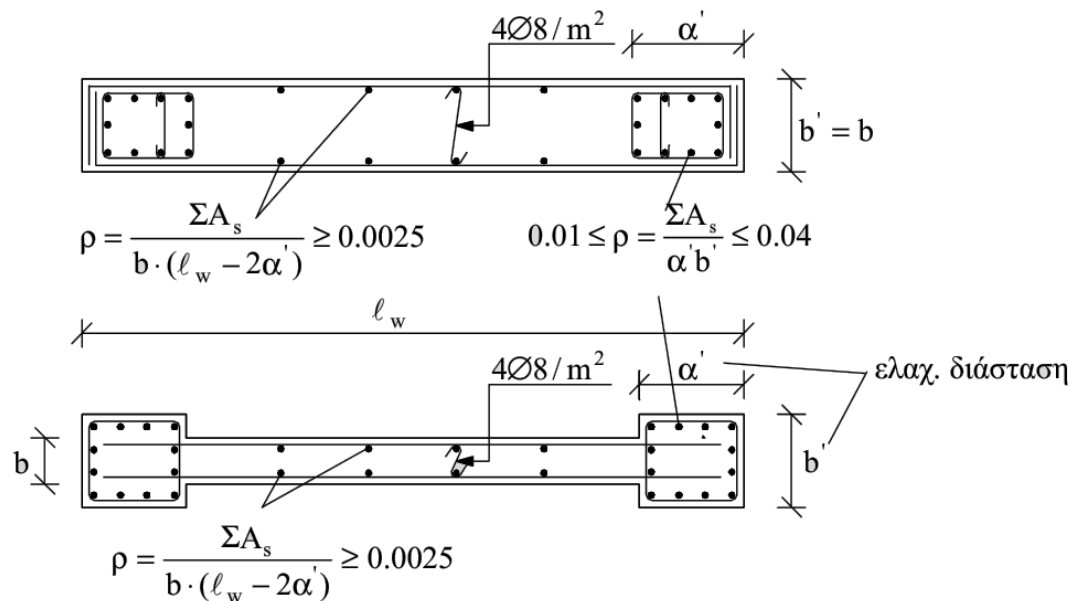
- Μήκος κρίσιμης περιοχής
 - Τουλάχιστον ίσο με το μήκος του τοιχώματος l_w
 - Τουλάχιστον ίσο με το 1/6 του ύψους του τοιχώματος H_w



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Τοιχώματα

- Κατακόρυφες ράβδοι κορμού
 - Ελάχιστη διάμετρος: 10 mm
 - Μέγιστη διάμετρος: $1/10 b_w$
 - Ελάχιστο ποσοστό : 0.25% εντός H_{cr} , 0.15% εκτός H_{cr}
 - Μέγιστη απόσταση: 200 mm εντός H_{cr} , 300 mm εκτός H_{cr}
- Οριζόντιες ράβδοι κορμού
 - Σχηματισμός εσχάρας με κατακόρυφες ράβδους

$$\alpha' > (1.5b \text{ ή } 0.15\ell_w) \text{ ή όπου } \varepsilon_c < -0.2\%$$



Κανόνες και λεπτομέρειες όπλισης – Τοιχώματα

- Ακραίες περιοχές (περισφιγμένα άκρα)
 - Ελάχιστο μήκος: $\max[1.5 \cdot b, 0.15 \cdot l_w]$
 - Ποσοστό διαμήκουσ οπλισμού: 1% - 4 %

