

Συνεπώς, πρέπει²⁶:

$$V_{Rd1} = V_{wd} \Rightarrow \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40\rho_l) \cdot b_w \cdot d = \frac{0.9d}{s} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \Rightarrow$$

$$\min \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40\rho_l)}{0.9 f_{ywd}}$$

Με κάποιες παραδοχές για τα k και ρ_l προκύπτει το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού ρ_w (συνδετήρες) στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 9.3

Συνιστώμενες τιμές του $\min \rho_w = A_{sw} / (b_w \cdot s)$

Σκυρόδεμα ↓	Χάλυβας→	S220	S400	S500
C12-C20		0.0016	0.0009	0.0007
C25-C35		0,0024	0,0013	0,0011
C40-C50		0,0030	0,0016	0,0013

Το A_{sw} παριστάνει το εμβαδό όλων των κατακορύφων σκελών ενός συνδετήρα.

Πχ για C20/25 και S400 $\Rightarrow \min \rho_w = 0.0009$

9.6.2.2 Μέγιστη απόσταση συνδετήρων

Η μέγιστη απόσταση s_{max} μεταξύ δύο συνδετήρων καθορίζεται ως εξής:

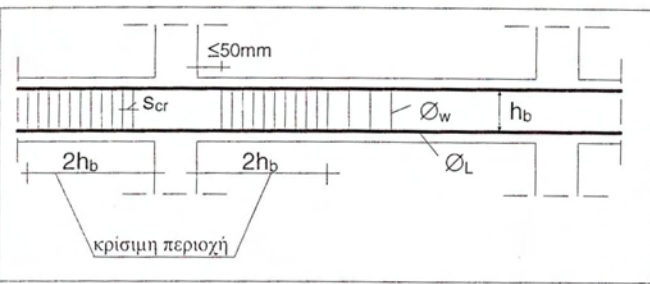
Av $V_{Sd} \leq 0.2V_{Rd2}$	$s_{max} = 0.8d \leq 300mm$
Av $0.2V_{Rd2} < V_{Sd} \leq 0.67V_{Rd2}$	$s_{max} = 0.6d \leq 300mm$
Av $V_{Sd} > 0.67V_{Rd2}$	$s_{max} = 0.3d \leq 200mm$

Με τον παραπάνω περιορισμό εξασφαλίζεται η συνθήκη ώστε κάθε λοξό ρήγμα να τέμνει τουλάχιστο ένα συνδετήρα σε περιοχές μικρής διάτμησης και τουλάχιστον δύο συνδετήρες σε περιοχές μεγάλης διάτμησης.

²⁶ Αν οι συνδετήρες κλίνουν υπό γωνία α ως προς τον άξονα της δοκού, πράγμα μη

9.6.2.3 Συνδετήρες στις κρίσιμες περιοχές δοκών

Για την απόσταση s_{cr} των συνδετήρων και τη διάμετρό τους στις κρίσιμες περιοχές αντισεισμικών δοκών πρέπει να ισχύουν τα εξής:

	$\varnothing_w$	s_{cr}
	$\geq 8mm$	$\leq 0.33h_b$ $\leq 10 \min \varnothing_L$ $\leq 20 \varnothing_w$ $\leq 200mm$

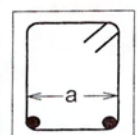
9.6.2.4 Συνδετήρες στις ενώσεις του διαμήκου οπλισμού δοκών

Ενώσεις (ματίσματα) του διαμήκου οπλισμού με υπερκάλυψη των άκρων επιτρέπονται μόνο εκτός των κρίσιμων περιοχών της δοκού. Σε μια τέτοια ένωση η μέγιστη απόσταση s_{max} των συνδετήρων πρέπει να είναι:

$$s_{max} = \min(h_b / 4, 8 \min \varnothing_L, 150mm)$$

9.6.2.5 Μέγιστη απόσταση σκελών συνδετήρα

Η μέγιστη απόσταση a μεταξύ των σκελών ενός συνδετήρα (εγκάρσιος διεύθυνση) δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Διατμητική επιπόνηση	Μέγιστη απόσταση a σκελών συνδετήρα	
Av $V_{Sd} < 0.2V_{Rd2}$	$d \leq 500mm$	
Av $0.2V_{Rd2} < V_{Sd} \leq 0.67V_{Rd2}$	$0.6d \leq 300mm$	
Av $V_{Sd} > 0.67V_{Rd2}$	$0.3d \leq 200mm$	

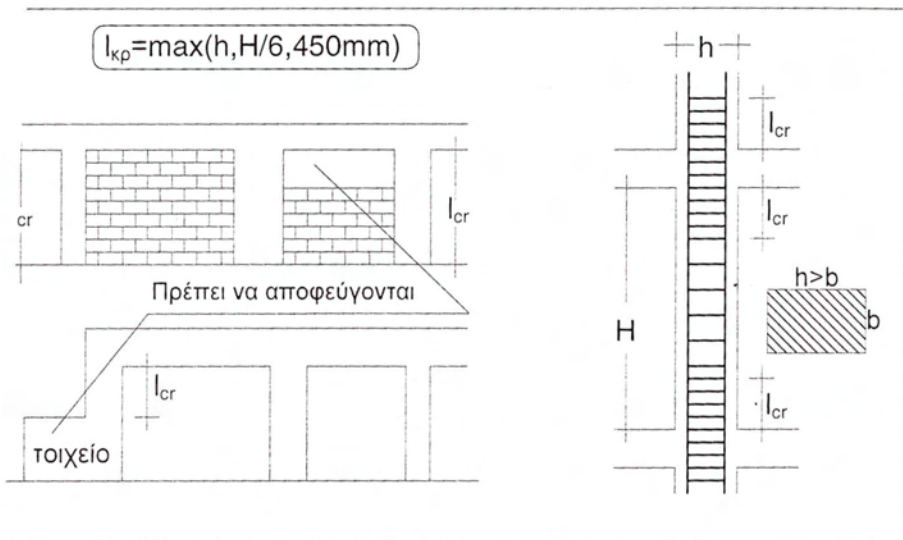
Η μέγιστη διάμετρος των συνδετήρων $\varnothing_w$ πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από 12mm.

3 Υποστυλώματα

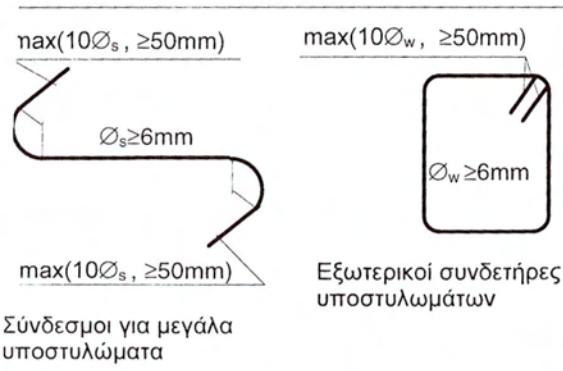
3.1 Κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων

κρίσιμες περιοχές υποστυλώματος πάνω και κάτω σε μήκος $l_{cr}(h, H/6, 450\text{mm})$ θεωρούνται πάντοτε κρίσιμες.

Ένας υποστυλός θεωρείται **ολόκληρο κρίσιμο**, όταν υπάρχει μόνο από τη μια μεριά (και τα γωνιακά) ή όταν υπάρχει τοίχος από τη μια μεριά ή και τις δυο μεριές, που δεν εκτείνεται όμως σε όλο το ύψος. Επίσης, όταν μέρος του ύψους του υποστυλώματος συνδέεται με ένα, τότε κρίσιμο είναι όλο το υπόλοιπο ύψος.



3.3.2 Εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων (συνδετήρες, σύνδεσμοι)

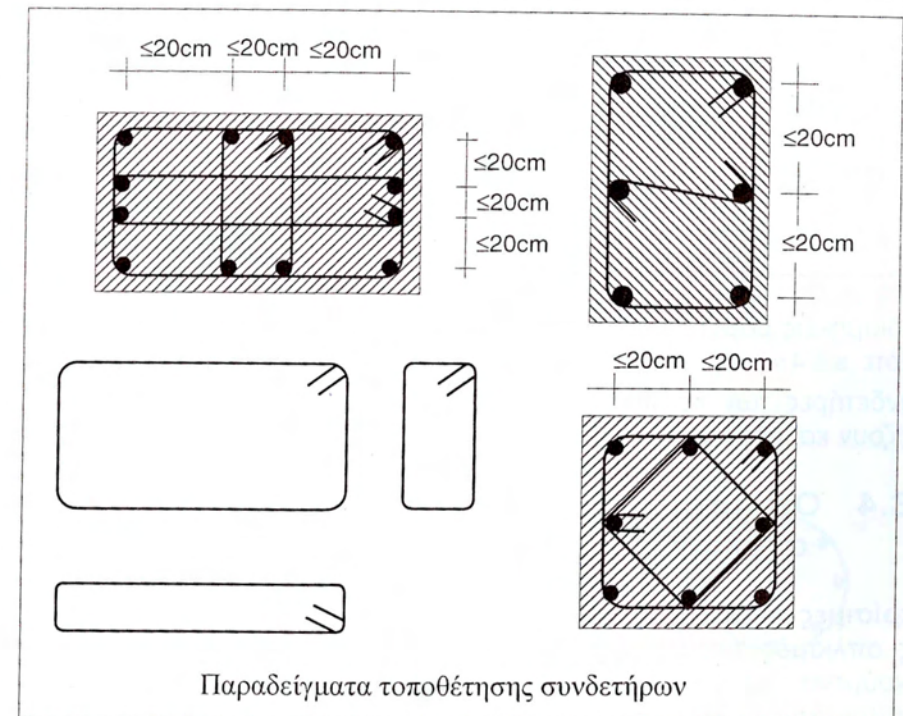


Οι διαμήκιοι οπλισμοί πρέπει να συγκρατούνται με **συνδετήρες** με μικρή κατά το δυνατό διάμετρο. Στα μεγάλα υποστυλώματα η συγκράτηση των διαμήκων οπλισμών μπορεί να γίνει με τη βοήθεια **σιγμοειδούς οπλισμού** (σύνδεσμοι) με άγκιστρα.

Στα κυκλικά υποστυλώματα η συγκράτηση μπορεί να γίνει με κυκλικούς συνδετήρες ή με σπειροειδή οπλισμό. Αν η ποιότητα του χάλυβα του διαμήκου οπλισμού είναι διαφορετική από αυτή των συνδετήρων, πρέπει:

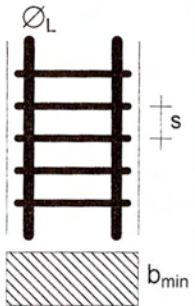
$$\phi_w \geq \frac{1}{3} \sqrt{\frac{f_{yd} \text{ διαμήκου οπλισμού}}{f_{yd} \text{ εγκάρσιου οπλισμού}}}$$

Οι πυκνοί συνδετήρες εξασφαλίζουν ικανοποιητική πλαστιμότητα, βελτιώνουν τη συνάφεια του σκυροδέματος με τους διαμήκιοι οπλισμούς, αποτρέπουν την πιθανότητα λυγισμού των διαμήκων ράβδων. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται μερικά παραδείγματα τοποθέτησης συνδετήρων.



9.6.3.3 Συνδετήρες στις κρίσιμες και μη κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων

διάμετρος των εγκάρσιων οπλισμών και η απόσταση μεταξύ των στις κρίσιμες και μη κρίσιμες περιοχές (§ 9.6.3.1) των υποστυλωμάτων αίνονται στον επόμενο πίνακα.

Περιοχή	Διάμετρος συνδετήρων ($\varnothing_w$)	Απόσταση συνδετήρων	
μη κρίσιμη	$\varnothing_w \geq \max\left(6\text{mm}, \frac{1}{4}\varnothing_{L,\max}\right)$	$s \leq \min\left\{\begin{matrix} 12\min\varnothing_L \\ b_{\min} \\ 300\text{mm} \end{matrix}\right\}$	
κρίσιμη	$\varnothing_w \geq \max\left(8\text{mm}, \frac{1}{3}\varnothing_{L,\max}\right)$	$s \leq \min\left\{\begin{matrix} 8\min\varnothing_L \\ 0.5b_{\min} \\ 100\text{mm} \end{matrix}\right\}$	

Αν οι διαμήκεις ράβδοι ενώνονται με υπερκάλυψη μέσα στις κρίσιμες περιοχές, τότε $s \leq 4\min\varnothing_L$.

Οι συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών των υποστυλωμάτων πρέπει να συνεχίζουν και μέσα στους κόμβους.

9.6.3.4 Οπλισμός Περίσφιγξης κρίσιμων περιοχών στύλων

Στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικός οπλισμός περίσφιγξης (Βέβαια ισχύουν και τα όσα αναφέρθηκαν προηγούμενα για τον εγκάρσιο οπλισμό των κρίσιμων περιοχών των υποστυλωμάτων). Η διάταξη αυτή αφορά αποκλειστικά υποστυλώματα αμιγών πλαισιακών φορέων και όχι υποστυλώματα με κατάλληλα διαμορφωμένο μικτό σύστημα σύμφωνα με την § 4.1.4.2.β του ΕΑΚ υπό την προϋπόθεση όμως ότι $n_v > 0,60$ (σχέση 4.8, ΕΑΚ)²⁷.

²⁷ Το n_v ισούται με την τέμνουσα των τοιχωμάτων στη βάση διά της συνολικής

Το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό (ω_{wd}) του οπλισμού περίσφιγξης:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετ.}}{\text{όγκος σκυροδέμ. πυρήνα}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{V_w}{V_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση: $\omega_{wd} \geq \omega_{wd,\lim} \geq 0,10$

όπου $\omega_{wd,\lim}$ είναι:

$$\omega_{wd,\lim} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{2}{3} v_d \left(0,35 \cdot \frac{A_c}{A_o} + 0,15 \right)$$

A_c = το εμβαδό ολόκληρης της διατομής σκυροδέματος του στύλου

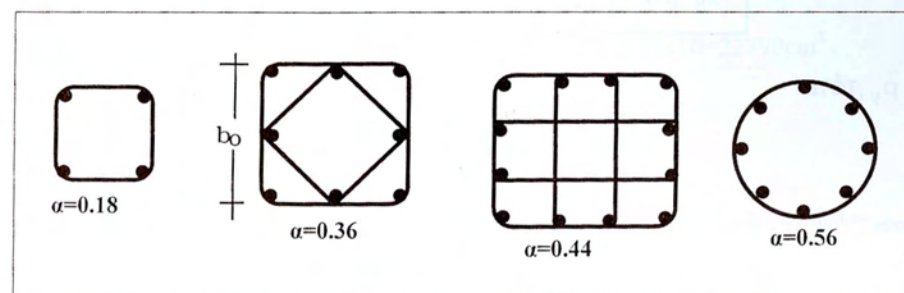
A_o = το εμβαδό της διατομής του περισφιγμένου σκυροδέματος (πυρήνας)

$v_d = N_{sd}/A_c \cdot f_{cd} \leq 0,65$ (ανηγμένο αξονικό φορτίο)

N_{sd} = τιμή σχεδιασμού του μέγιστου θλιπτικού φορτίου κατά τη σεισμική δράση σχεδιασμού

α = συντελεστής αποδοτικότητας περίσφιγξης εξαρτώμενος από τη διάταξη των συνδετήρων.

Αν $s'/b_o = 0,5$, ο α δίνεται στο σχήμα 9.16.



Σχήμα 9.16

Αν $s'/b_o < 0,5$ τότε αντί του α λαμβάνεται το α' με τιμή ίση με:

$$\alpha' = 1,8 \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{s'}{b_o} \right)^2 \cdot \alpha$$

ε βάση την παραπάνω σχέση προέκυψαν οι τιμές του πίνακα 2.2. Το προς διακύμανσης της f_{ctm} είναι από $(0.7 \div 1.3)f_{ctm}$. Δηλαδή, η κατώτερη τιμή και $f_{ctk,0.05} = 0.70 \cdot f_{ctm}$ και η ανώτερη $f_{ctk,0.95} = 1.3 \cdot f_{ctm}$.

Πχ για C20/25 είναι:

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot 20^{2/3} = 2.21 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot 2.21 \approx 1.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,0.95} = 1.3 \cdot 2.21 \approx 2.9 \text{ MPa}$$

καμπτική εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος $f_{ct,fl}$ προκύπτει από τη σχέση:

$$f_{ct,fl} = 2f_{ct}$$

Δηλαδή, η καμπτική εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την εφελκυστική αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό.

Πίνακας 2.2

Αντοχές σκυροδέματος για διάφορα είδη καταπόνησης και μέτρο ελαστικότητας

Αντοχές	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
Θλιπτική f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Εφελκυστική f_{ctm} (MPa)	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2.0	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3
Διατμητική T_{Rd} (MPa)	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	0.48
Συνάφεια f_{bd} (MPa) Λείες ράβδοι Περιοχή I	0.73	0.87	1.0	1.2	1.33	1.47	1.67	1.80	1.93
Συνάφεια f_{bd} (MPa) Λεπιδωτά Περιοχή I	1.65	1.95	2.25	2.7	3.0	3.3	3.75	4.05	4.35
Μέτρο Ελαστικότητας E_{cm} (GPa)	26	28	29	31	32	34	35	36	37

Οι αντοχές συνάφειας στην περιοχή II είναι το 70% των τιμών της περιοχής I.

2.2.3 Μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος

Η μέση τιμή του επιβατικού μέτρου ελαστικότητας για διάφορες σκυροδέματος φαίνεται στον πίνακα 2.2 και προκύπτει με βάση τη

$$E_{cm} = 9.5(f_{ck} + 8)^{1/3}$$

$$E_{cm} \Rightarrow \text{GPa}, f_{ck} \Rightarrow \text{MPa} \quad (1 \text{ GPa} = 1000 \text{ MPa})$$

$$\text{Πχ για C20/25} \Rightarrow E_{cm} = 2.9 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

2.2.4 Θερμοκρασιακές μεταβολές

Το σκυρόδεμα, όπως όλα τα σώματα, διαστέλλεται ή συστέλλεται με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του σκυροδέματος παίρνεται ίσος με $10^{-5}/^\circ\text{C}$ (ίδιος με του χάλυβα).

Για παράδειγμα παίρνουμε ένα κτήριο μήκους 40m. Για μεταβολή θερμοκρασίας κατά 15°C μεταξύ μέρας και νύχτας, το υποστεί μεταβολή στο μήκος του ίση με:

$$\Delta l = 10^{-5} \cdot 15 \cdot 40 \cdot 10^3 = 6 \text{ mm}$$

Για $t > 25^\circ\text{C}$ η σκλήρυνση του σκυροδέματος επιταχύνεται, ενώ για $t < 5^\circ\text{C}$ η σκλήρυνση εμποδίζεται αισθητά. Στις καλύτερες θερμοκρασίες σκυροδέτησης είναι από 18° έως 25°C . Στο τέλος της σκλήρυνσης το σκυρόδεμα δεν επηρεάζεται σοβαρά από θερμοκρασιακές μεταβολές.

Οι υψηλές θερμοκρασίες (πχ από πυρκαγιές μέχρι 1100°C) μειώνουν την αντοχή του σκυροδέματος⁶. Γενικά έργα από σκυρόδεμα κινδυνεύουν από πυρκαγιές μέσης έκτασης και μικρής διάρκειας.

⁵ Το μέτρο ελαστικότητας για όλες τις ποιότητες χάλυβων είναι:

$$E_s = 200 \text{ GPa} = 200 \times 10^3 \text{ MPa} = 2 \times 10^5 \text{ MPa} = 2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2 = 20 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

⁶ Μετά τους 250°C η αντοχή σε εφελκυσμό του χάλυβα μειώνεται αισθητά. Μετά τους επόμενους 100°C τόσο το όριο διαρροής όσο και το όριο μείωσης της αντοχής πέφτουν απότομα. Γι' αυτό θερμοκρασίες πάνω από 300°C επικίνδυνες για τα έργα. Η αντοχή πρακτικά εξαφανίζεται (πέφτει περίπου 30%) στους 600° με 700°C .