

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ II

Γ. Παναγόπουλος, Λέκτορας Εφαρμογών
Δ. Κακαλέτσης, Καθηγητής



Σχεδιασμός δοκών (μέρος 2)

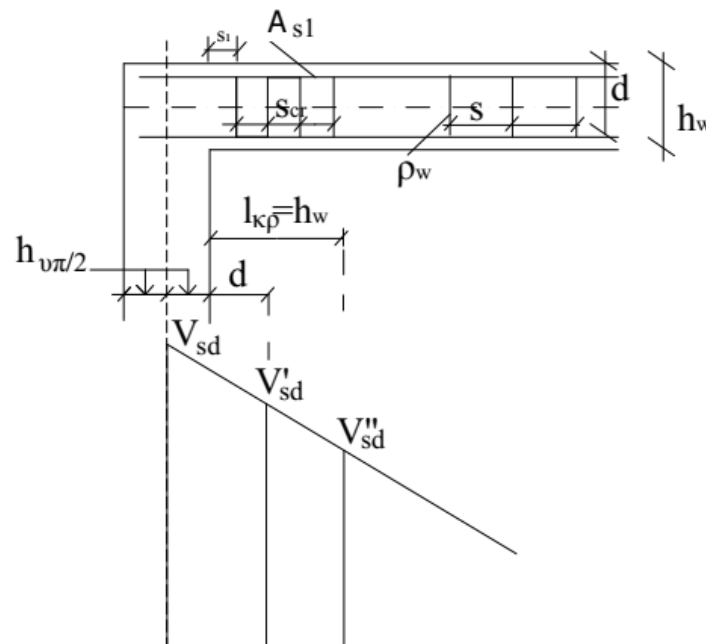
Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

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



Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

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':

α) 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

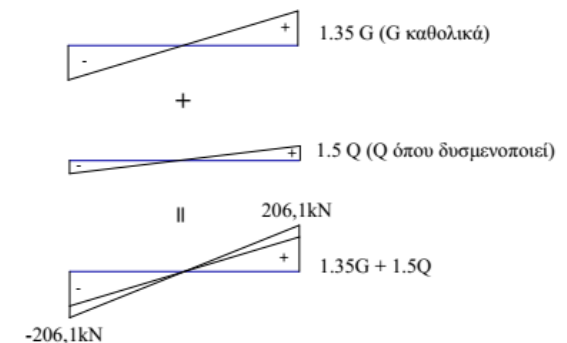
$$V_{A,sd}^d = V_{A,sd} + [d](1,35G + 1,50Q) = -206,10 + [0,65] \cdot (1,35 \cdot 32 + 1,50 \cdot 10) = -168,27 \text{ kN}$$

- Σε απόσταση $h = 0.70 \text{ m}$ από την παρειά των υποστηλωμάτων

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

Ο.Κ.Α. Χωρίς σεισμό:

$1.35 G + 1.5Q$ (Q: εναλλακτά)



Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

α) 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

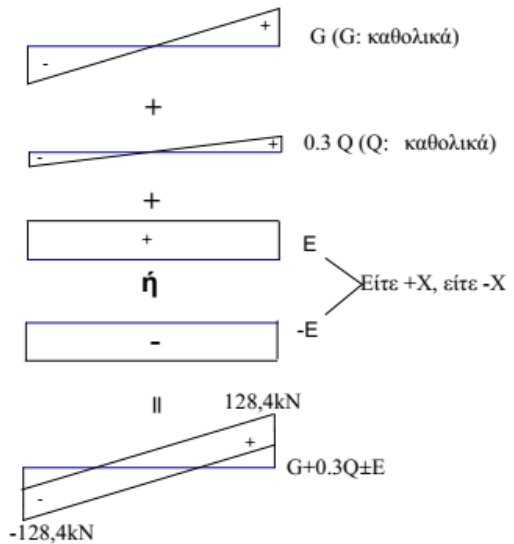
$$V_{A,sd}^d = V_{A,sd} + [d](G + 0,30Q) = -128,40 + [0,65] \cdot (32 + 0,3 \cdot 10) = -105,65 \text{ kN}$$

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

$$V_{A,sd}^h = V_{A,sd} + [h](G + 0,30Q) = -128,40 + [0,70] \cdot (32 + 0,3 \cdot 10) = -103,90 \text{ kN}$$

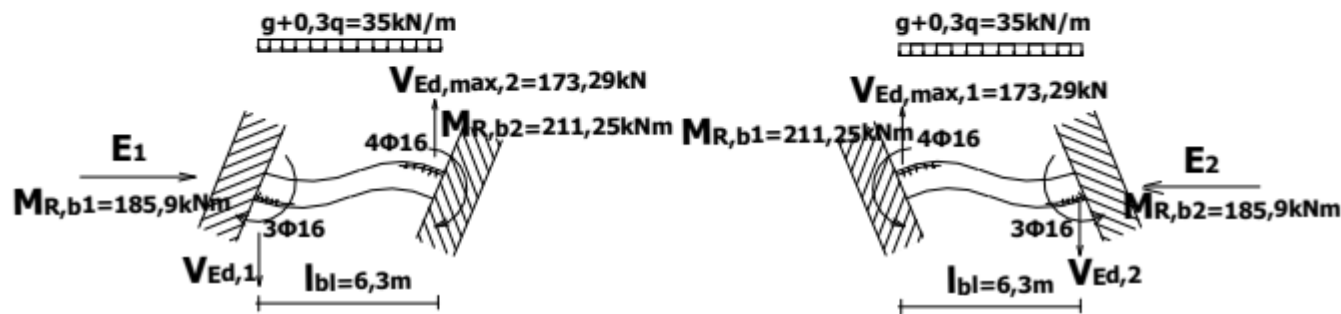
Ο.Κ.Α. Με σεισμό:

$$G + 0,3 Q \pm E \text{ (Q : καθολικά)}$$



Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

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 $G + 0.3Q$)

$$V_{0,i} = \frac{(G + 0.3Q)l_{bl}}{2} = \frac{(32 + 10 \cdot 0.3) \cdot 6.30}{2} = 110.25 \text{ kN}$$

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

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:

$$\left. \begin{aligned} 1000\omega &= \frac{1000 A_{sl}}{b_{eff}d} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{1000 \cdot 6,03}{110 \cdot 65} \frac{500/1.15}{30/1.5} = 18,33 \\ h_f / d &= 20/65 = 0,3 \\ b_{eff} / b_w &= 110/25 \cong 5 \end{aligned} \right\} \mu_{Rd} = 0.02$$

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

Στο άκρο 2 (στήριξη Α') η δοκός λειτουργεί ως ορθογωνική δοκός με εφελκυσμένο οπλισμό 4Ø16 (8,04 cm²). Από τους πίνακες CEB για ορθογωνική διατομή προκύπτει:

$$\omega = \frac{A_{sl}}{bd} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{8,04}{25 \cdot 65} \frac{500/1.15}{30/1.5} = 0,108 \rightarrow \mu_{Rd} = 0.10$$

$$\text{Αρα, } \vec{M}_{Rb,2} = \mu_{Rd} b d^2 f_{cd} = 0,10 \cdot 0,25 \cdot 0,65^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1.50 = 211,25 \text{ kNm}$$

Θεωρώντας 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:

$$\vec{M}_{1d} = \vec{M}_{Rb,1} = 185,90 \text{ kNm}$$

$$\vec{M}_{2d} = \vec{M}_{Rb,2i} = 211,25 \text{ kNm}$$

Επομένως

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

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

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

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

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

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

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

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

Υπολογιστικές αντοχές για \overleftarrow{E}

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

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

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

$$\text{Άρα } \overleftarrow{M}_{Rb,1} = \mu_{Rd} b d^2 f_{cd} = 0,10 \cdot 0,25 \cdot 0,65^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1.50 = 211,25 \text{ kNm}$$

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

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

$h_f / d = 20/65 = 0,3$
 $b_{eff} / b_w = 110/25 \cong 5$

$\mu_{Rd} = 0.02$

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

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

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

$$M_{2d} = \overleftarrow{M}_{Rb,2} = - 185,90 \text{ kNm}$$

Επομένως

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

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

Τελικές υπολογιστικές αντοχές στην παρεία των υποστηλωμάτων

Τελικά από τις φορτίσεις \overrightarrow{E} και \overleftarrow{E} προκύπτουν οι τιμές

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

4.3. Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

2^{ος} έλεγχος (Κατασκ. Οπλ. Σκυρ. Ι)

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

$$\text{Πρέπει } V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

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 $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,59 \cdot 0,60 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1.5}{2.5 + 0.40} = 610,35 \text{ kN}$$

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 $V_{Ed} = \max(206.1, 128.40, 173.29) = 206,10 \text{ kN}$

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

Δεν απαιτείται αλλαγή διατομής

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

4.4. Έλεγχος αν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

1^{ος} έλεγχος (Κατασκ. Οπλ. Σκυρ. Ι)

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

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

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_l ποσοστό εφελκυομένου χάλυβα

f_{ck} χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

b_w μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυόμενη περιοχή

d ενεργό ύψος διατομής

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

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

$$\sigma_{cp} = 0$$

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

Στήριξη A και A ':

Δεξιά παρειά στήριξης A και αριστερή παρειά στήριξης A '

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{8,04}{25 \cdot 65} = 0.0049$$

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,308 \cdot (100 \cdot 0.0049 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0] 0,25 \cdot 0.65 \cdot 10^3 = 62,48 \text{ kN}$$

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

Άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

4.5 Υπολογισμός οπλισμού

3^{ος} έλεγχος (Κατασκ. Οπλ. Σκυρ. Ι)

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

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

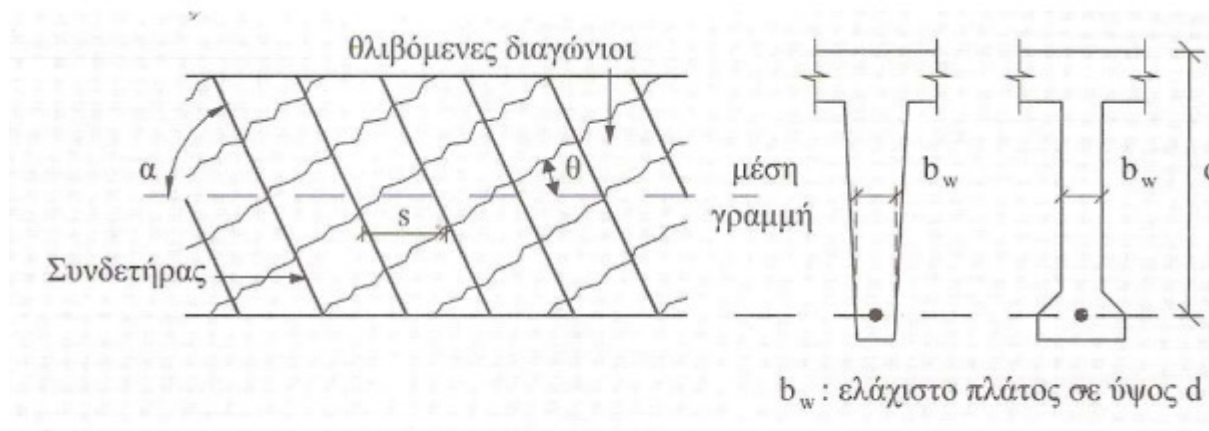
όπου

$z = 0.9 d$ κατά EC2

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

Στήριξη Α και Α' :

Παρειά

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

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

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{206,10 \cdot 10^{-3}}{0,90 \cdot 0,65 \cdot 0,80 \cdot 500 \cdot 1,00} = 0,00095 \text{ m} = 0,095 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0,095 \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

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

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

Σε απόσταση d από τη παρειά **Υπολογισμός συνδετήρων στην κρίσιμη περιοχή**

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι για δράσεις χωρίς σεισμό:

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

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{168,27 \cdot 10^{-3}}{0,90 \cdot 0,65 \cdot 0,80 \cdot 500 \cdot 1,00} = 0,00072 \text{ m} = 0,072 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0,072 \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

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

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

Σε απόσταση h από τη παρειά

Υπολογισμός συνδετήρων εκτός κρίσιμης περιοχής

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι για δράσεις χωρίς σεισμό:

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

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \frac{165,36 \cdot 10^{-3}}{0,90 \cdot 0,65 \cdot 0,80 \cdot 500 \cdot 1,00} = 0,00071 \text{ m} = 0,071 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0,071 \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Άρα } s \leq \frac{A_{sw}}{0,071} = \frac{1,01}{0,071} \rightarrow s \leq 14,23 \text{ cm}$$

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

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

4.6. Ελάχιστοι συνδετήρες

4.6.1. Ελάχιστοι συνδετήρες μη κρίσιμων περιοχών

- Διάμετρος συνδετήρων τουλάχιστον Ø6. Εδώ επιλέχθηκαν Ø8>Ø6
- Μέγιστη απόσταση συνδετήρων $s_{l,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,65 = 0,49m = 49cm$
- 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 Ø8 δίτητοι, οπότε

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

Επομένως οι ελάχιστοι συνδετήρες των μη κρίσιμων περιοχών είναι Ø8/46

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

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 $\varnothing 8$ δίτητους

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

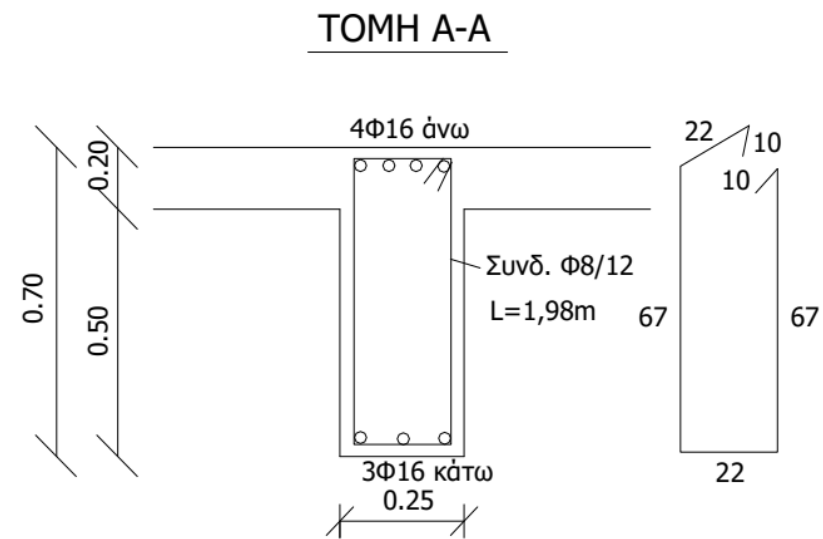
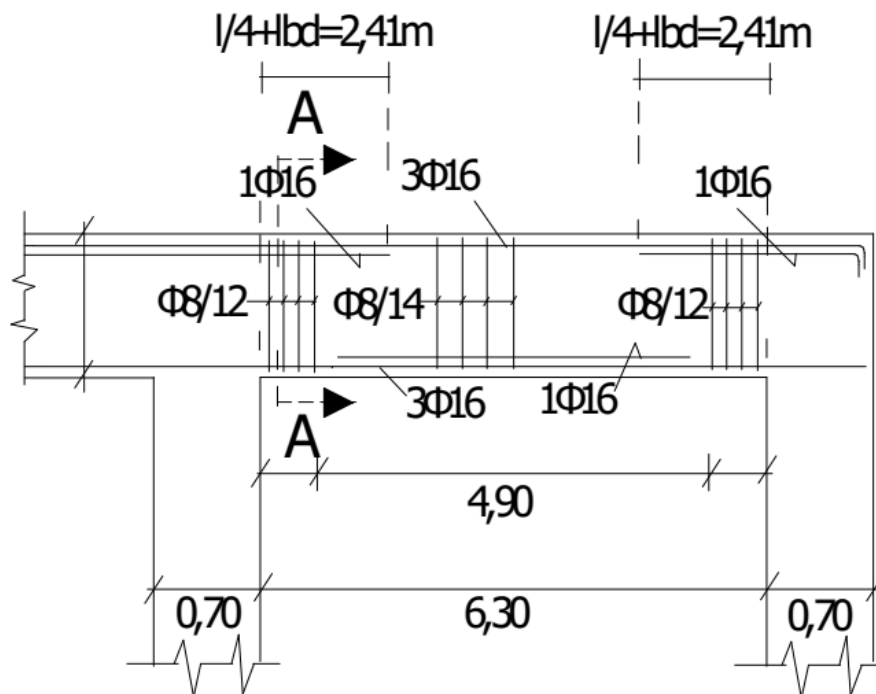
Επομένως οι ελάχιστοι συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών είναι $\varnothing 8/12$

Σχεδιασμός δοκών – Συνέχεια εφαρμογής

4.7. Τελικοί οπλισμοί διάτμησης

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

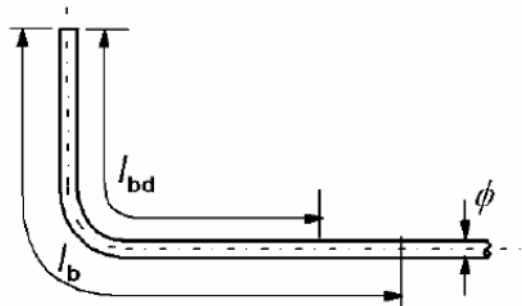
- Στις ακραίες κρίσιμες περιοχές του ανοίγματος Ø8/12 cm
- Στις μη κρίσιμες περιοχές του ανοίγματος Ø8/14 cm



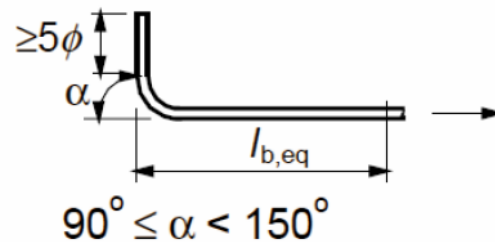
Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

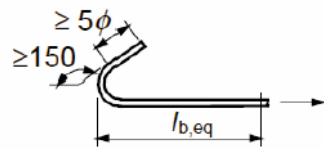
- Οπλισμοί, σύρματα ή πλέγματα πρέπει να αγκυρώνονται έτσι ώστε η δύναμη να μεταβιβάζεται ασφαλώς στο σκυρόδεμα μέσω συνάφειας, χωρίς τη δημιουργία διαμήκων ρωγμών ή την εκτίναξη της επικάλυψης
- Σε ράβδους οπλισμού που υπόκεινται σε θλίψη, καμπυλώσεις και άγκιστρα στα άκρα τους δε συνεισφέρουν στην αγκύρωσή τους



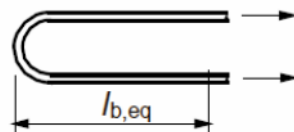
a) Βασικό μήκος αγκύρωσης υπό εφελκυσμό, l_b για οποιοδήποτε σχήμα μετρούμενο κατά μήκος του άξονα της ράβδου.



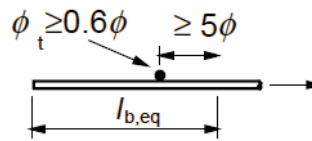
b) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπική καμπύλωση



c) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό άγκιστρο



d) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό βρόχο



e) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης με συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο

Μήκη αγκύρωσης

$l_{b,rqd}$: απαιτούμενο

l_{bd} : σχεδιασμού

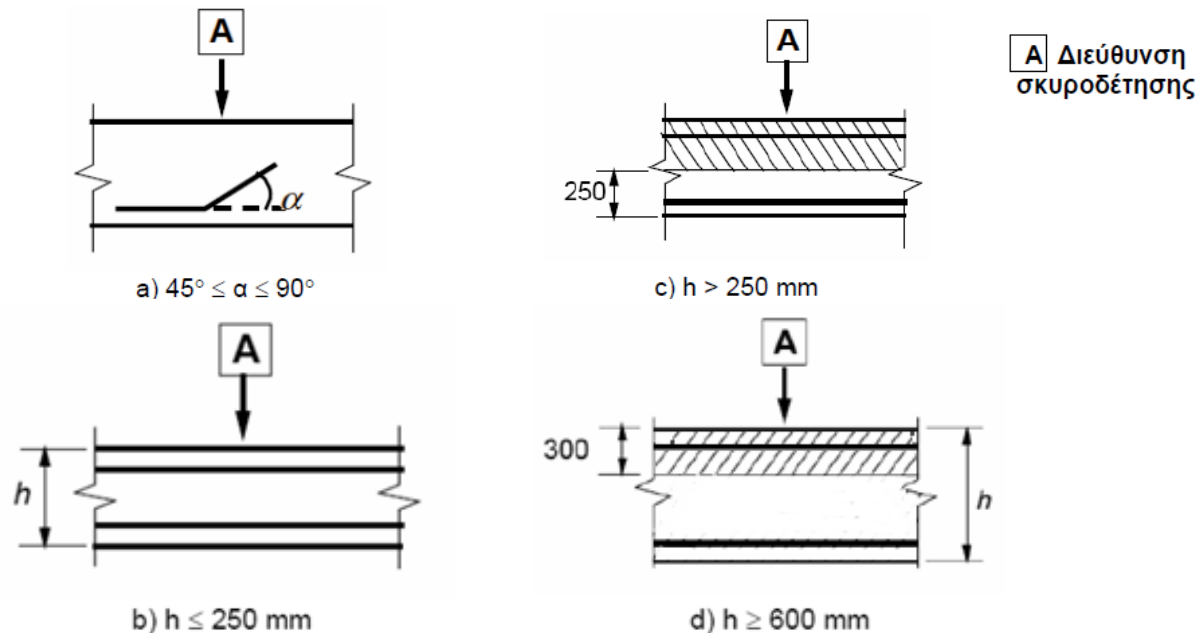
$l_{b,eq}$: ισοδύναμο σχεδιασμού

Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

Τάση συνάφειας οπλισμού - σκυροδέματος

- Η οριακή αντοχή συνάφειας εξαρτάται κυρίως από την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος ($f_{ctk,0.05}$) και τη θέση της ράβδου στο δομικό στοιχείο
- Ανάλογα με τη θέση, οι συνθήκες συνάφειας διακρίνονται σε “ευνοϊκές” ή “δυσμενείς”



Συνθήκες συνάφειας ευνοϊκές (Ε)
Συνθήκες συνάφειας δυσμενείς (Δ)

: Λευκές περιοχές
: Διαγραμμισμένες περιοχές

Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

Τάση συνάφειας οπλισμού - σκυροδέματος

- Τιμή σχεδιασμού f_{bd} της οριακής τάσης συνάφειας για νευροχάλυβες

$$f_{bd} = 2.25 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c \quad \text{όπου } f_{ctk,0.05} \leq 3.1 \text{MPa} \rightarrow \text{C60/75}$$

$$n_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας} \\ 0.7 & \text{για δυσμενείς συνθήκες ή χρήση ολισθαίνοντα ξυλοτύπου} \end{cases}$$

$$n_2 = \begin{cases} 1.0 & \text{για } \varnothing \leq 32 \\ (132 - \varnothing) / 100 & \text{για } \varnothing > 32 \end{cases}$$

Βασικό απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{b,rqd}$

$$l_{b,rqd} = (\varnothing / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd}) \quad \text{όπου: } \sigma_{sd} = (A_{s,rqd} / A_{s,pvd}) \cdot f_{yd}$$

Σκυρόδεμα		C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	≥C60
$l_{b,rqd}^{(1)}$	E	56Ø	48Ø	40Ø	36Ø	33Ø	29Ø	27Ø	25Ø	24Ø	23Ø
	Δ	80Ø	69Ø	58Ø	52Ø	47Ø	41Ø	38Ø	36Ø	35Ø	33Ø

(1) Θεωρήθηκε $\sigma_{sd} = f_{yd} = (500/1.15) \text{MPa}$

Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd}

- Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd} προκύπτει από κατάλληλη μείωση του βασικού απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης $l_{b,rqd}$ λόγω ευεργετικών παραγόντων, όπως το σχήμα της ράβδου, το πάχος επικάλυψης, η ύπαρξη εγκάρσιου οπλισμού ή εγκάρσιας πίεσης

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

όπου:

- | | |
|------------|---|
| α_1 | συντελεστής επίδρασης του σχήματος των ράβδων |
| α_2 | συντελεστής επίδρασης της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος |
| α_3 | συντελεστής επίδρασης της περίσφιγξης λόγω του εγκάρσιου οπλισμού |
| α_4 | συντελεστής επίδρασης λόγω εγκάρσιων συγκολλημένων ράβδων |
| α_5 | συντελεστής επιρροής πίεσης κάθετα στο επίπεδο διάρρηξης |

Δεν επιτρέπεται $(\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5) < 0.7$

$l_{b,min} > \max\{0.3l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100mm\}$ αγκύρωση εφελκυσμένης ράβδου

$l_{b,min} > \max\{0.6l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100mm\}$ αγκύρωση θλιβόμενης ράβδου

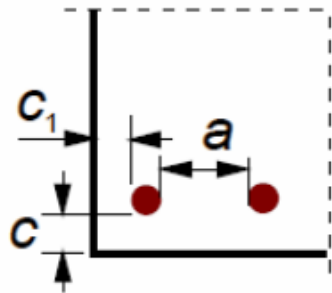
Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

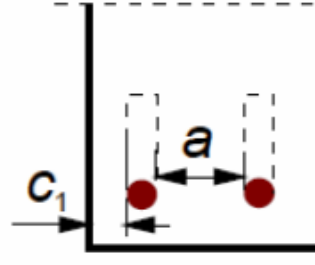
Παράγοντας επιρροής	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 8.1 (b), (c) και (d))	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $c_d > 3\varnothing$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 8.3 για τιμές του c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 8.1 (b), (c) και (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3\varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (βλέπε Σχήμα 8.3 για τιμές του c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Περίσφιξη με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-
όπου : $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$ ΣA_{st} εμβαδόν διατομής του εγκάρσιου οπλισμού κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd} $\Sigma A_{st,min}$ εμβαδόν διατομής του ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού ($0,25A_s$ για δοκούς και μηδενικό για πλάκες) A_s εμβαδόν διατομής της αγκυρούμενης ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο c_d, K τιμές που φαίνονται στα Σχήματα 8.3, 8.4 p εγκάρσια πίεση [MPa] στη κατάσταση αστοχίας κατά μήκος του l_{bd}			

Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

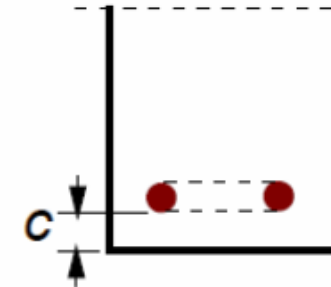
Αγκύρωση διαμήκων ράβδων



a) Ευθύγραμμες ράβδοι
 $c_d = \min(a/2, c_1, c)$

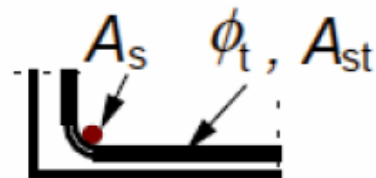


b) Καμπτόμενες ράβδοι ή άγκιστρα
 $c_d = \min(a/2, c_1)$

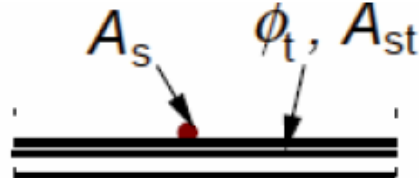


c) Βρόχοι
 $c_d = c$

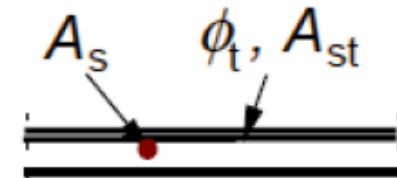
Σχήμα 8.3 : Τιμές του c_d για δοκούς και πλάκες



$K = 0,1$



$K = 0,05$



$K = 0$

Σχήμα 8.4 : Τιμές του K για δοκούς και πλάκες

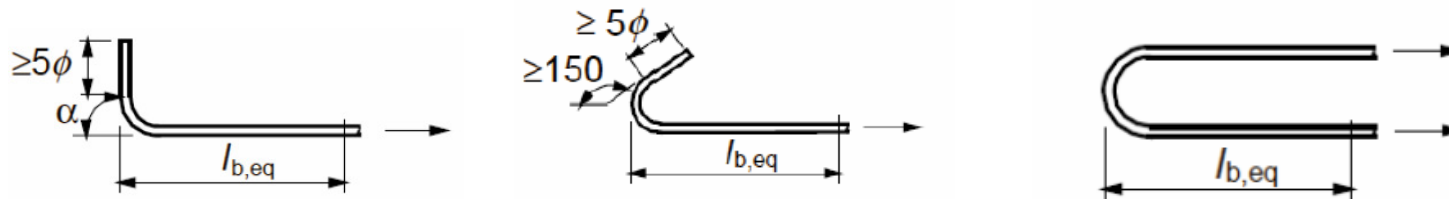
Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

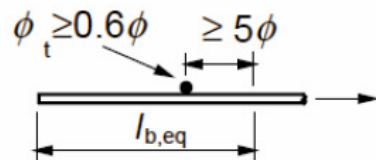
Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης $l_{b,eq}$

- Απλουστευτικά, στις ακόλουθες περιπτώσεις επιτρέπεται να αγνοηθεί η επιρροή των παραγόντων α_2 και α_3 του πίνακα

– Καμπύλο άκρο, άγκιστρο ή αναβολέας: $l_{bd} = l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd}$



– Εγκάρσια συγκολλημένη ράβδος: $l_{bd} = l_{b,eq} = \alpha_4 \cdot l_{b,rqd}$

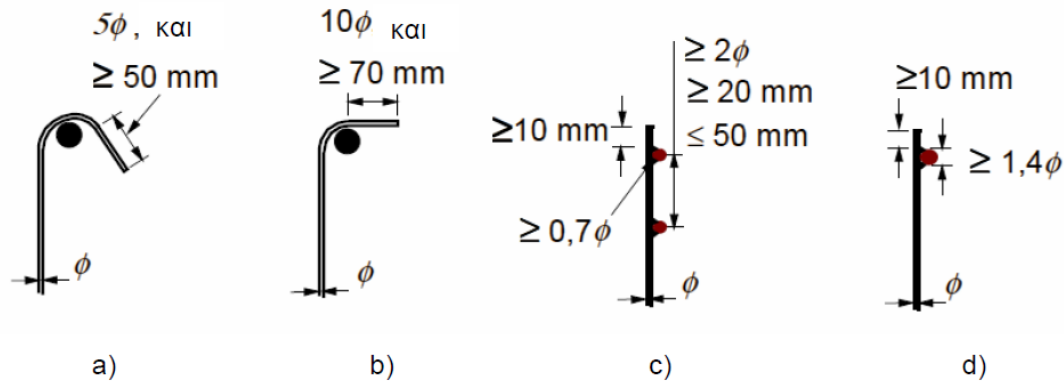


✓ Οι τιμές των α_1 , α_4 λαμβάνονται πάντα από τον πίνακα

Σχεδιασμός δοκών – Αγκυρώσεις οπλισμών

Αγκύρωση συνδετήρων και οπλισμού διάτμησης

- Η αγκύρωση συνδετήρων και άλλων μορφών οπλισμού διάτμησης γίνεται ως εξής:



Σημείωση : Στις περιπτώσεις c) και d) η επικάλυψη δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 3ϕ ή 50 mm.

Αγκύρωση συνδετήρων δομικών στοιχείων ΚΠΜ, ΚΠΥ (EC8 - 5.6.1):

- Για συνδετήρες σε δοκούς, υποστυλώματα και τοιχώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

