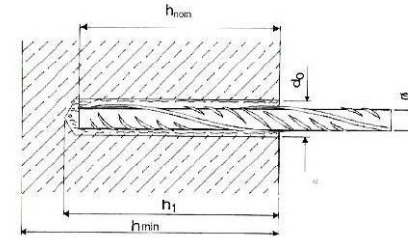




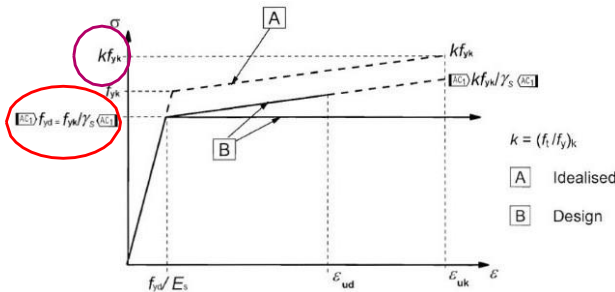
Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος

- Αγκυρώσεις

Δρ. Σπυρίδων Διαμαντόπουλος
Δεκέμβριος 2024



A_s



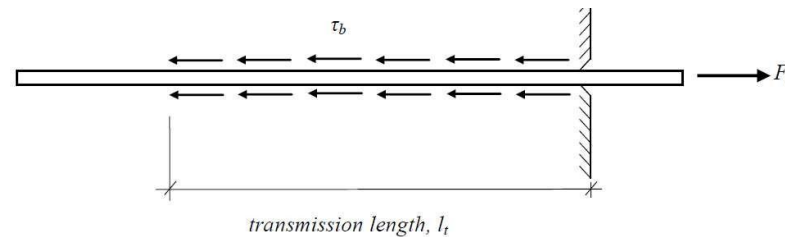
Η αγκύρωση της ράβδου πρέπει να αντέχει τη δύναμη: $F_s = A_s \cdot k \cdot f_{yk}$
και σε όρους σχεδιασμού (μετά από επεξεργασία πιθανοτήτων, αντοχών, σχέσεων κ.λπ.)

$$F_{sd} = A_s \cdot f_{yd}$$

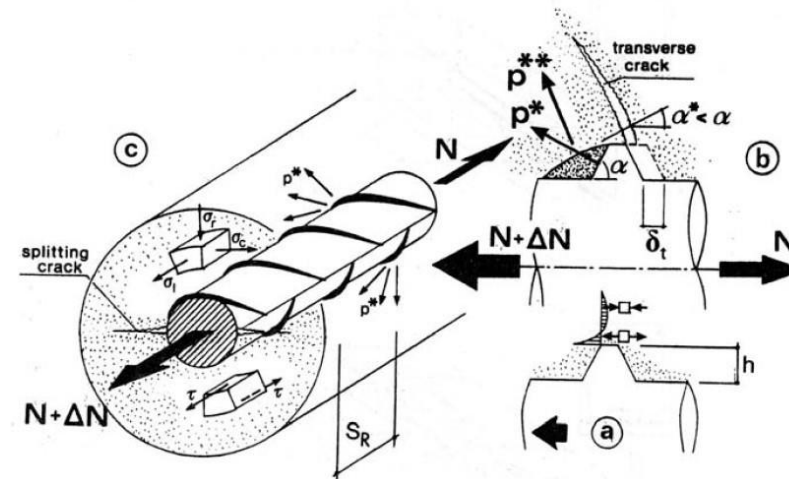
- Κάθε ράβδος οπλισμού πρέπει να είναι αγκυρωμένη στο μέσον που την περιβάλλει, δηλαδή στο σκυρόδεμα, στη θέση στην οποία υπολογίστηκε για να παραλάβει εφελκυσμό ή θλίψη.
- Αφορά **όλους τους οπλισμούς**: κάμψης, διάτμησης, στρέψης κ.λπ. Δηλαδή διαμήκεις, συνδετήρες, συνδέσμους κ.λπ.
- Η αγκύρωση των ράβδων είναι ένας από τους τρεις **κρίκους της επάρκειας** ενός μέλους: κάμψη, διάτμηση, **αγκύρωση**.

Συνάφεια

- Η αγκύρωση των ράβδων οπλισμού, δηλαδή η μεταφορά της εφελκυστικής τους δύναμης στο σκυρόδεμα αλλά και η συνεργασία των υλικών χάλυβα - σκυροδέματος γενικότερα, γίνεται μέσω των τάσεων συνάφειας τ_b .
- Οι τάσεις συνάφειας τ_b , αναπτύσσονται στην περιφέρεια της ράβδου του οπλισμού.

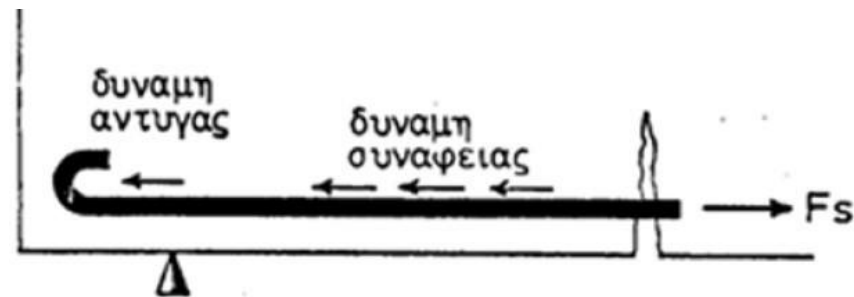


- Η ανάπτυξη της συνάφειας είναι αποτέλεσμα πολλών μηχανισμών που ενεργοποιούνται διαδοχικά. Αρχικά αναπτύσσεται πρόσφυση και στη συνέχεια τριβή. Η αυξημένη τραχύτητα της ράβδου και η αυξημένη εγκάρσια πίεση αυξάνουν την τριβή.
- Στους χάλυβες που φέρουν νευρώσεις η συνάφεια οφείλεται κυρίως στην αντίσταση του σκυροδέματος που είναι εγκλωβισμένο μεταξύ των νευρώσεων.



Συνάφεια

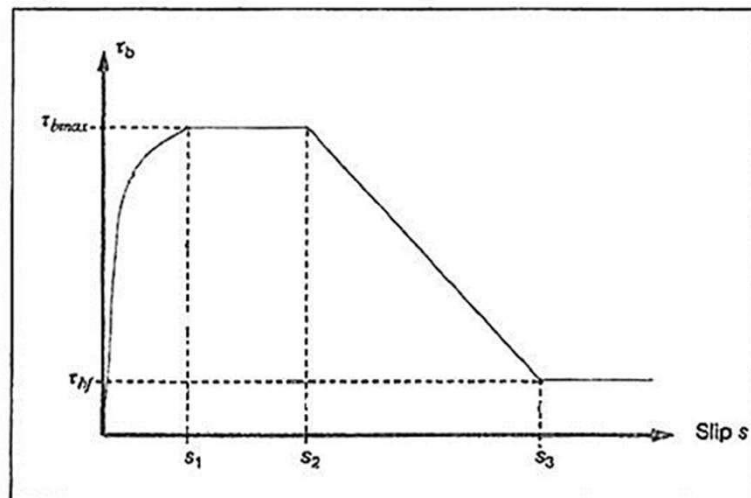
- Η συνάφεια εξασφαλίζει τη συνεργασία των δύο υλικών στο οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά και τη λειτουργία του.
- Όσο η εφελκυστική παραμόρφωση του χάλυβα βρίσκεται στα όρια της εφελκυστικής παραμόρφωσης που μπορεί να αναπτύξει και το σκυρόδεμα (0.15‰ - 0.25‰ περίπου), τα δύο υλικά φαίνονται ως ενιαίο δομικό υλικό. Όταν η εφελκυστική παραμόρφωση υπερβεί την ικανότητα παραμόρφωσης του σκυροδέματος, ανοίγει η πρώτη ρωγμή.
- Αμέσως μετά το άνοιγμα της ρωγμής, όλη η εφελκυστική δύναμη αναλαμβάνεται από το χάλυβα.



- Η αύξηση της έντασης επιφέρει διάδοση τη ρηγμάτωσης στην εφελκυσόμενη περιοχή.
- Η τάση συνάφειας δεν είναι σταθερή σε όλο το μήκος αγκύρωσης.

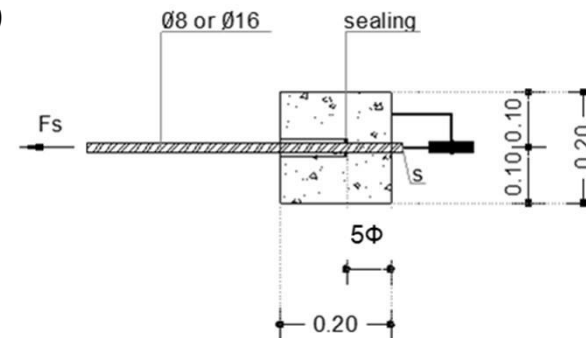
ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΗ ΣΧΕΣΗ $\tau_b - s$

Για σύγχρονους νευροχάλυβες και “καλές” συνθήκες συνάφειας (fib Model Code 2010)



- 1^{ος} κλάδος, $0 \leq s \leq s_1$: $\tau_b = \tau_{b,max} * (s/s_1)^{0.4}$
- 2^{ος} κλάδος, $s_1 \leq s \leq s_2$: $\tau_b = \tau_{b,max}$
- 3^{ος} κλάδος, $s_2 \leq s \leq s_3$: $\tau_b = \tau_{b,max} - (\tau_{b,max} - \tau_{b,f}) * (s - s_2) / (s_3 - s_2)$
- 4^{ος} κλάδος, $s_3 \leq s$: $\tau_b = \tau_{b,f}$

f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53
$\tau_{b,max}$ (MPa)	11,18	12,25	13,23	14,36	15,41	16,39	17,32	18,20



ΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

s : σχετική ολίσθηση ράβδου δοκιμίου

5Φ : μήκος συνάφειας/αγκύρωσης

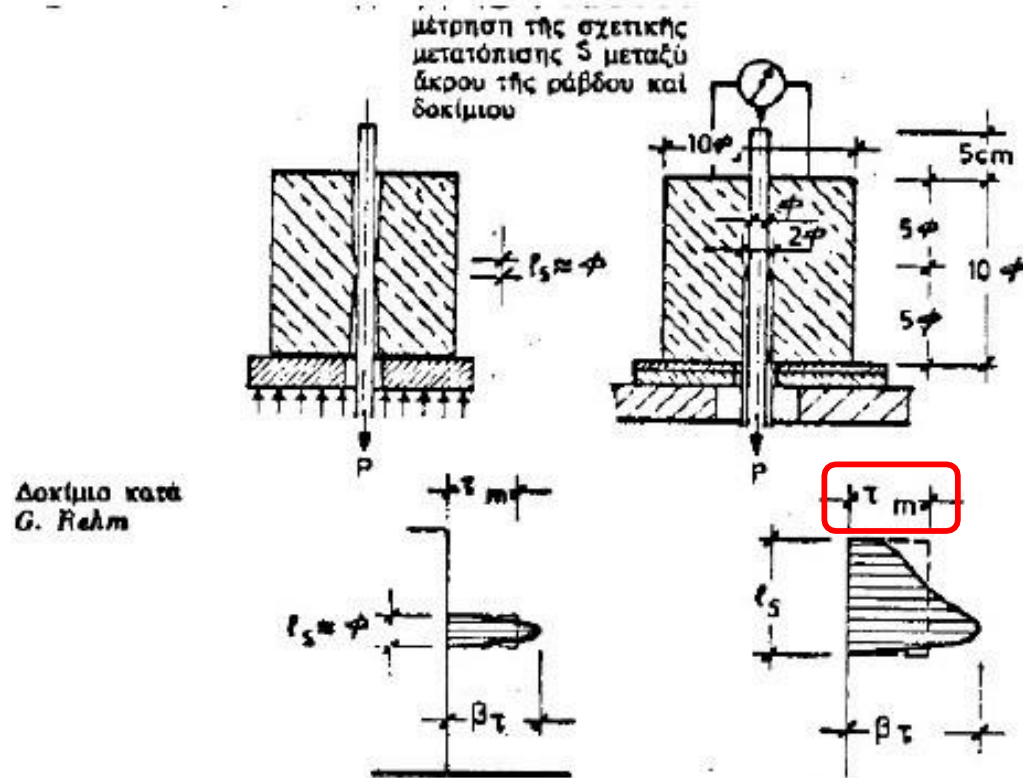
$$\tau_{b,max} = 2.5 * (f_{cm})^{1/2} \text{ MPa}$$

$$\tau_{b,f} = 0.40 * \tau_{b,max} \text{ MPa}$$

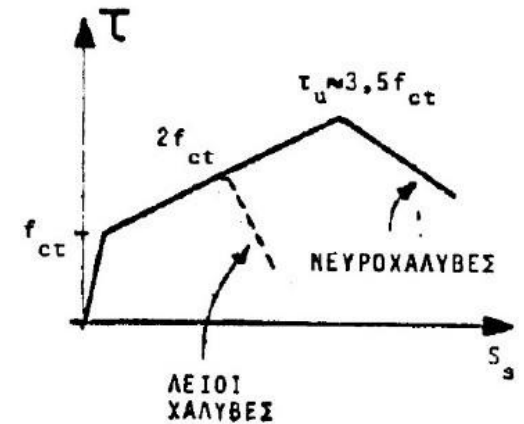
f_{cm} : η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε MPa.

$s_1=1\text{mm}$, $s_2=2\text{mm}$, $s_3=c$ όπου c : η καθαρή απόσταση μεταξύ εγκάρσιων νευρώσεων της ράβδου οπλισμού σε mm ($\approx 0.4\Phi$)

ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΗ ΣΧΕΣΗ $\tau_b - s$



Δοκίμιο κατά τις
συστάσεις του
RILEM/CEB/FIP

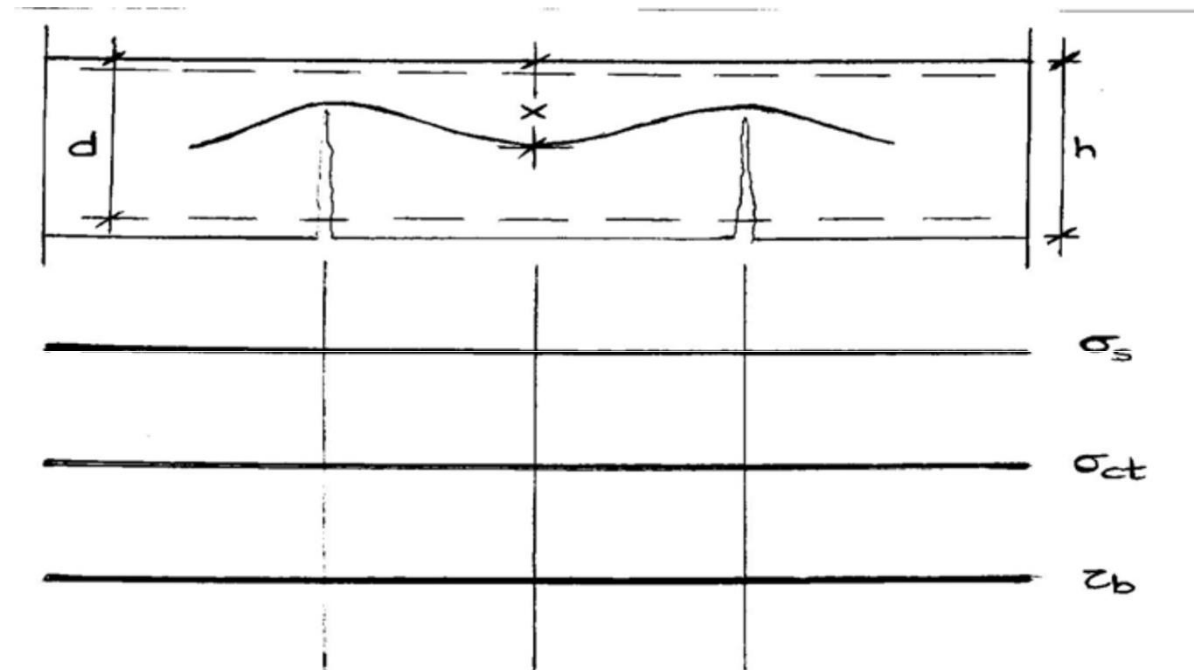


RILEM: International Union of Laboratories and Experts in
Construction Materials, Systems and Structures
CEB: Comité Euro-International du Béton
FIB: International Federation for Structural Concrete

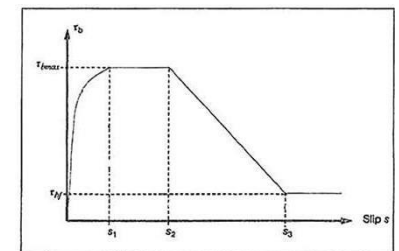
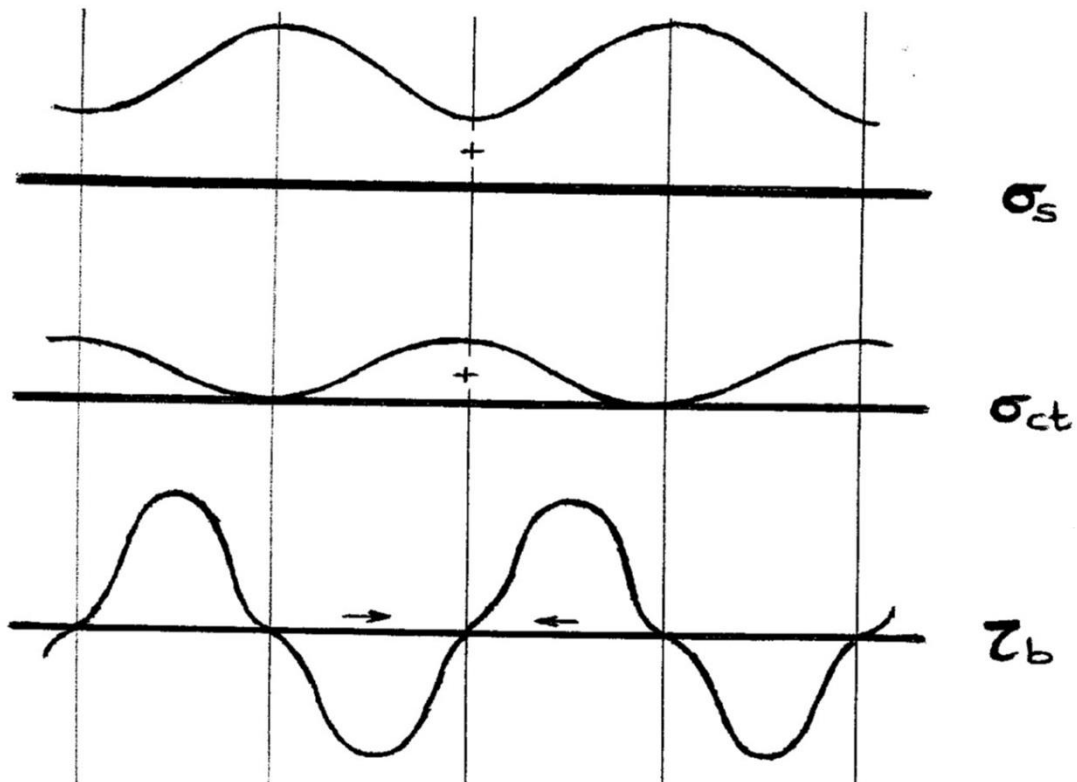
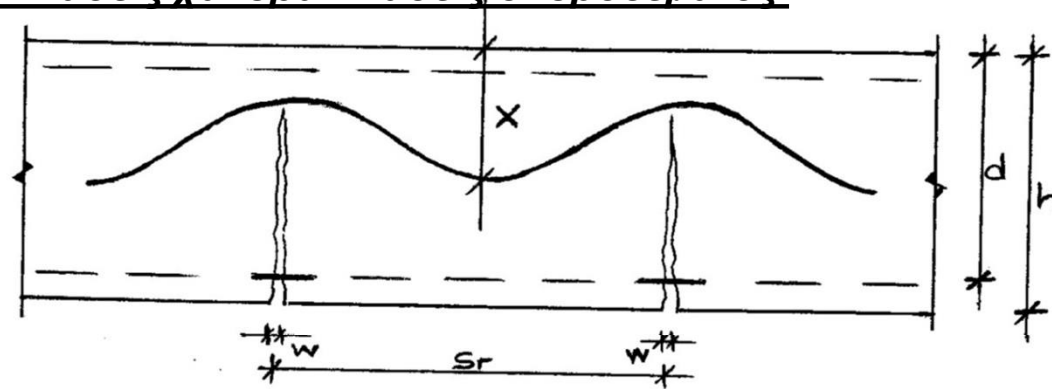
$$\tau_m = \frac{P}{u \cdot l_s} \quad \tau_m = \frac{2}{3} \cdot \tau_u = \frac{2}{3} \cdot 3.5 \cdot f_{ct} \cong 2.3 \cdot f_{ct}$$

Τάσεις συνάφειας – τάσεις χάλυβα – τάσεις σκυροδέματος.

Δίδεται σκαρίφημα μηκοτομής καμπτόμενης δοκού από Ω.Σ., περίπου στο μέσον της και μεταξύ δύο διαδοχικών καμπτικών ρωγμών, σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Να σχεδιάσετε ποιοτικά (πάνω στους άξονες τάσεων που δίδονται) τη μεταβολή, μεταξύ των δύο ρωγμών, των τάσεων του οπλισμού, σ_s , του περιβάλλοντος την ράβδο σκυροδέματος, σ_{ct} , και της τάσεως συνάφειας, τ_b , μεταξύ των δύο υλικών.



Τάσεις συνάφειας – τάσεις χάλυβα – τάσεις σκυροδέματος.

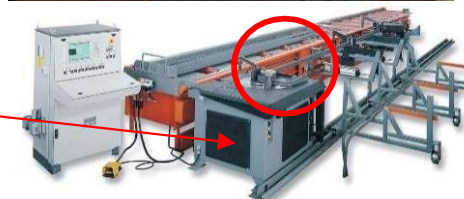


Επιτρεπόμενες διάμετροι τυμπάνου για την κάμψη των ράβδων του οπλισμού

Table 8.1N: Minimum mandrel diameter to avoid damage to reinforcement

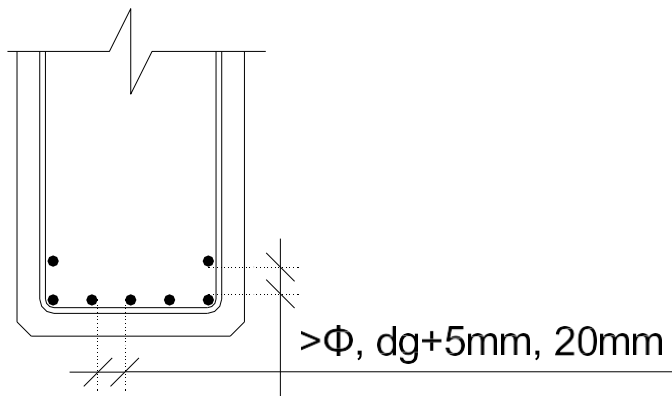
a) for bars and wire

Bar diameter	Minimum mandrel diameter for bends, hooks and loops (see Figure 8.1)
$\phi \leq 16 \text{ mm}$	4ϕ
$\phi > 16 \text{ mm}$	7ϕ



- Η καμπύλωση του οπλισμού με αυτούς τους κανόνες αφορά την προστασία του χάλυβα, και εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση που απαιτείται μία ευθύγραμμη ράβδος οπλισμού να πάρει άλλο σχήμα.

Απόσταση οπλισμών



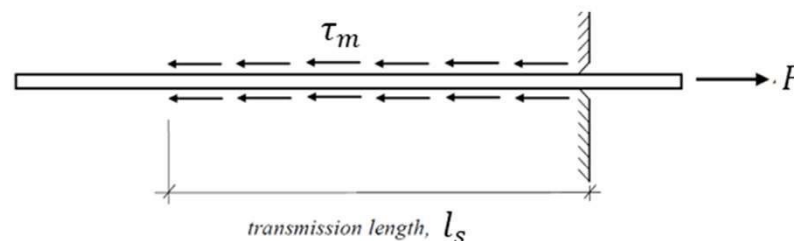
d_g : μέγιστη διάσταση κόκκου αδρανούς
=31.50mm για το σύνηθες σκυρόδεμα
=16.00mm για το λεπτοσκυρόδεμα*

* Όταν προβλέπεται λεπτοσκυρόδεμα, αυτό πρέπει να αναγράφεται σαφώς στον πίνακα υλικών στα σχέδια.

Ορισμοί

Μέση τάση συνάφειας: $\tau_m = \frac{P}{u \cdot l_s}$

u : η περίμετρος της ράβδου



Οριακή τάση συνάφειας (EC2 §8.4.2)

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

$$n_1 = 1 \text{ για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας} \\ = 0.7 \text{ για δυσμενείς συνθήκες συνάφειας}$$

$$n_2 = 1 \text{ για } \phi \leq 32 \\ = \frac{(132-\phi)}{100} \text{ για } \phi > 32$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0.05}}{1.5}$$

f_{ck} (Mpa)	12	16	20	25	30	35	40	45
f_{ctm} (MPa)	1,57	1,90	2,21	2,56	2,90	3,21	3,51	3,80
$f_{ctk0,05}$ (Mpa)	1,10	1,33	1,55	1,80	2,03	2,25	2,46	2,66
f_{ctd} (Mpa)	0,73	0,89	1,03	1,20	1,35	1,50	1,64	1,77
f_{bd} (Mpa) (ευνοϊκές)	1,65	2,00	2,32	2,69	3,04	3,37	3,68	3,99

$t_{b,max}$ (MPa)	11,18	12,25	13,23	14,36	15,41	16,39	17,32	18,20
-------------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Ορισμοί

Οριακή τάση συνάφειας

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

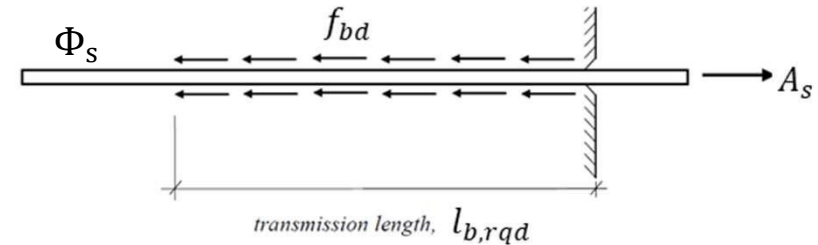
$$n_1 = 1 \text{ για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας} \\ = 0.7 \text{ για δυσμενείς συνθήκες συνάφειας}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0.05}}{1.5}$$

$$n_2 = 1 \text{ για } \phi \leq 32 \\ = \frac{(132-\phi)}{100} \text{ για } \phi > 32$$

Βασικό μήκος αγκύρωσης

$$A_s = \sigma_{sd} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \Phi_s^2}{4} \right) \quad \text{όπου } \sigma_{sd}: \text{ η τάση του χάλυβα}$$



$$f_{bd} \cdot l_{b,rqd} \cdot (\pi \cdot \Phi_s) = \sigma_{sd} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \Phi_s^2}{4} \right) \rightarrow l_{b,rqd} = \frac{\Phi_s}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Εφόσον: $\sigma_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 435 \text{ MPa}$, $n_1 = 1$ και $n_2 = 1$

f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45
f_{ctm} (MPa)	1,57	1,90	2,21	2,56	2,90	3,21	3,51	3,80
$f_{ctk0,05}$ (MPa)	1,10	1,33	1,55	1,80	2,03	2,25	2,46	2,66
f_{ctd} (MPa)	0,73	0,89	1,03	1,20	1,35	1,50	1,64	1,77
f_{bd} (MPa) (ευνοϊκές)	1,65	2,00	2,32	2,69	3,04	3,37	3,68	3,99
$l_{b,rqd}/\phi$ (ευνοϊκές)	65,83	54,34	46,83	40,36	35,74	32,25	29,50	27,27

Ορισμοί

Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού

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

α_1 : συντελεστής που εξαρτάται από το σχήμα της ράβδου

α_2 : συντελεστής που εξαρτάται από τη διατιθέμενη επικάλυψη

α_3 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω μη συγκολλημένων ράβδων οπλισμού

α_4 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω συγκολλημένων ράβδων οπλισμού

α_5 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω επιβολής πίεσης

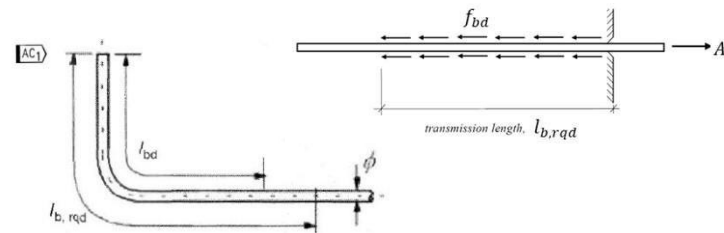
$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \geq 0.70$
--

$$l_{bd,min} = \max(0.3 \cdot l_{b,rqd}, 10\emptyset, 100 \text{ mm})$$

Τρόποι αγκύρωσης

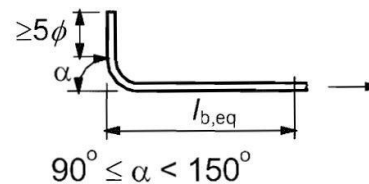
Οι αγκυρώσεις είναι εν γένει γραμμικές. Αυτό που διαφοροποιείται είναι ο τρόπος που διαμορφώνεται το άκρο της ράβδου.

- ❖ **Ευθύγραμμη ή καμπύλη χωρίς διαμόρφωση στο άκρο**



a) Basic tension anchorage length, $l_{b, rqd}$, for any shape measured along the centerline $\overline{AC_1}$

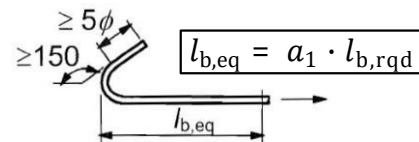
- ❖ **Με τυπική καμπύλωση (bend=γάντζος) στο άκρο**



b) Equivalent anchorage length for standard bend $l_{b, eq} = a_1 \cdot l_{b, rqd}$

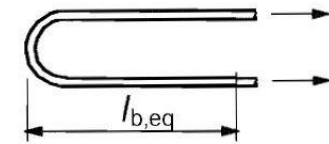
- ❖ **Με τυπικό άγκιστρο (hook=αγκίστρι) στο άκρο**

Παρόλο που μοιάζει με την τυπική καμπύλωση, ο κανονισμός επιβάλλει κατά περίπτωση τη συγκεκριμένη διαμόρφωση. Π.χ. οι συνδετήρες της στρέψης πρέπει να κλείνουν με άγκιστρο.



c) Equivalent anchorage length for standard hook $l_{b, eq} = a_1 \cdot l_{b, rqd}$

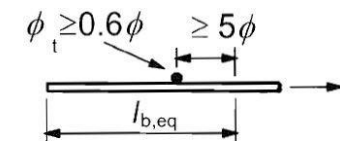
- ❖ **Τυπικός βρόχος**



d) Equivalent anchorage length for standard loop

$$l_{b, eq} = a_1 \cdot l_{b, rqd}$$

- ❖ **Με συγκολλητή εγκάρσια ράβδο**



e) Equivalent anchorage length for welded transverse bar

$$l_{b, eq} = a_4 \cdot l_{b, rqd}$$

Τρόποι αγκύρωσης

❖ **Ευθύγραμμη:** Ο πλέον απλός τρόπος αγκύρωσης αλλά απαιτεί να διαθέτεις μεγάλο μήκος δομικού στοιχείου πέραν της θέσης όπου απαιτείται η αγκύρωση.

❖ **Καμπύλη**

Οι κανόνες που αφορούν την καμπύλη αγκύρωση εφαρμόζονται και στην αγκύρωση μορφής τυπικού βρόχου

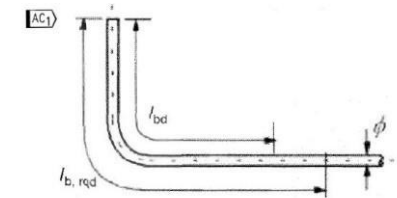
- Η ιδιαιτερότητα της **καμπύλης** αγκύρωσης (έναντι των τύπων “**bend**” ή “**hook**” είναι ότι μπορεί να διαθέτει χωρίς περιορισμό μήκους ευθύγραμμα τμήματα τόσο πριν την είσοδο όσο και μετά την έξοδο από την καμπύλη.
- Για να μπορεί να συμβεί αυτό πρέπει η ράβδος του οπλισμού να καμπυλώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε στο καμπύλο τμήμα να μεταφέρει στο **σκυρόδεμα περιορισμένες θλιπτικές τάσεις**.
- Αυτό επιτυγχάνεται εάν ο οπλισμός καμπυλωθεί με τη βοήθεια τυμπάνου με ελάχιστη διάμετρο $\Phi_{m,min}$, όπου:

$$\Phi_{m,min} \geq \frac{F_{bt} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \phi} \right)}{f_{cd}}$$

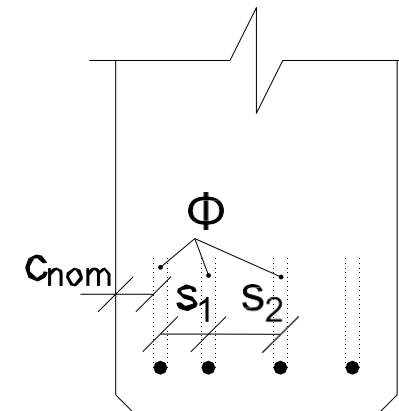
F_{bt} : η εφελκυστική δύναμη που ασκείται στη ράβδο του οπλισμού **στην αρχή της καμπύλης**

$$a_b = \min \left\{ \left(c_{nom} + \frac{\phi}{2} \right), \frac{s_1}{2} \right\} \text{ ή } \min \left\{ \frac{s_1}{2}, \frac{s_2}{2} \right\}$$

- Γενικά, είναι μια δύσκολη αγκύρωση και υπολογιστικά και κατασκευαστικά και πρέπει να διερευνάται αφού έχει εξαντληθεί η δυνατότητα αξιοποίησης των άλλων τρόπων αγκύρωσης και των μειωτικών συντελεστών του βασικού μήκους αγκύρωσης.



a) Basic tension anchorage length, $l_{b,req}$, for any shape measured along the centerline $\overline{AC1}$



Συντελεστές α_i

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

α_1 : συντελεστής που εξαρτάται από το σχήμα της ράβδου

α_2 : συντελεστής που εξαρτάται από τη διατιθέμενη επικάλυψη

α_3 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω μη συγκολλημένων ράβδων οπλισμού

α_4 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω συγκολλημένων ράβδων οπλισμού

α_5 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω επιβολής πίεσης

Table 8.2: Values of α_1 , α_2 , α_3 , α_4 and α_5 coefficients

Influencing factor	Type of anchorage	Reinforcement bar	
		In tension	In compression
Shape of bars	Straight	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_1 = 0,7$ if $c_d > 3\phi$ otherwise $\alpha_1 = 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Concrete cover	Straight	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Confinement by transverse reinforcement not welded to main reinforcement	All types	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Confinement by welded transverse reinforcement*	All types, position and size as specified in Figure 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Confinement by transverse pressure	All types	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

where:

$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$

ΣA_{st} cross-sectional area of the transverse reinforcement along the design anchorage length l_{bd}

$\Sigma A_{st,min}$ cross-sectional area of the minimum transverse reinforcement = 0,25 A_s for beams and 0 for slabs

A_s area of a single anchored bar with maximum bar diameter

K values shown in Figure 8.4

p transverse pressure [MPa] at ultimate limit state along l_{bd}

* See also 8.6: For direct supports l_{bd} may be taken less than $l_{b,min}$ provided that there is at least one transverse wire welded within the support. This should be at least 15 mm from the face of the support.

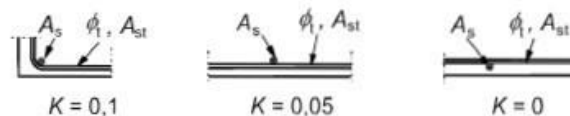
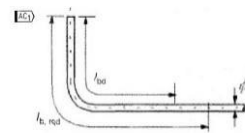


Figure 8.4: Values of K for beams and slabs

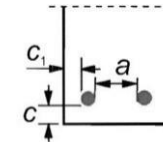
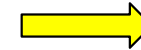
Συντελεστές α_i

Influencing factor	Type of anchorage	Reinforcement bar	
		In tension	In compression
Shape of bars	Straight	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_1 = 0,7$ if $c_d > 3\phi$ otherwise $\alpha_1 = 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Concrete cover	Straight	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_2 = 1,0$

❖ Ευθύγραμμη ή με καμπύλη

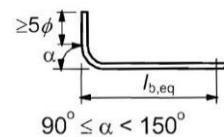


a) Basic tension anchorage length, $l_{b,eqd}$, for any shape measured along the centerline (EN)

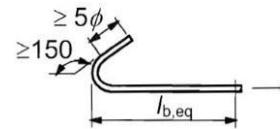


a) Straight bars
 $c_d = \min(a/2, c_1, c)$

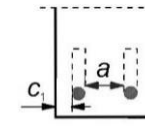
❖ Με γάντζο ή με άγκιστρο



b) Equivalent anchorage length for standard bend
 $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$

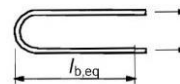


c) Equivalent anchorage length for standard hook

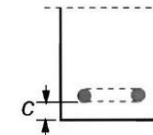
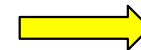


b) Bent or hooked bars
 $c_d = \min(a/2, c_1)$

❖ Με βρόγχο



d) Equivalent anchorage length for standard loop



c) Looped bars
 $c_d = c$

Συντελεστές α_i

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

α_1 : συντελεστής που εξαρτάται από το σχήμα της ράβδου

α_2 : συντελεστής που εξαρτάται από τη διατιθέμενη επικάλυψη

α_3 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω μη συγκολλημένων ράβδων οπλισμού

α_4 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω συγκολλημένων ράβδων οπλισμού

α_5 : συντελεστής που εξαρτάται από την εγκάρσια περίσφιξη μέσω επιβολής πίεσης

ΠΡΟΣΟΧΗ

Όταν οι οπλισμοί καταπονούνται σε **ΘΛΙΤΗ** οι συντελεστές $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$.

Table 8.2: Values of α_1 , α_2 , α_3 , α_4 and α_5 coefficients

Influencing factor	Type of anchorage	Reinforcement bar	
		In tension	In compression
Shape of bars	Straight	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_1 = 0,7$ if $c_d > 3\phi$ otherwise $\alpha_1 = 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Concrete cover	Straight	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Confinement by transverse reinforcement not welded to main reinforcement	All types	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Confinement by welded transverse reinforcement*	All types, position and size as specified in Figure 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Confinement by transverse pressure	All types	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

where:

$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$
 ΣA_{st} cross-sectional area of the transverse reinforcement along the design anchorage length l_{bd}
 $\Sigma A_{st,min}$ cross-sectional area of the minimum transverse reinforcement = $0,25 A_s$ for beams and 0 for slabs
 A_s area of a single anchored bar with maximum bar diameter
 K values shown in Figure 8.4
 p transverse pressure [MPa] at ultimate limit state along l_{bd}

* See also 8.6: For direct supports l_{bd} may be taken less than $l_{b,min}$ provided that there is at least one transverse wire welded within the support. This should be at least 15 mm from the face of the support.

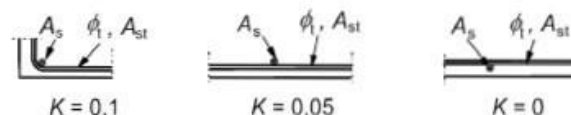
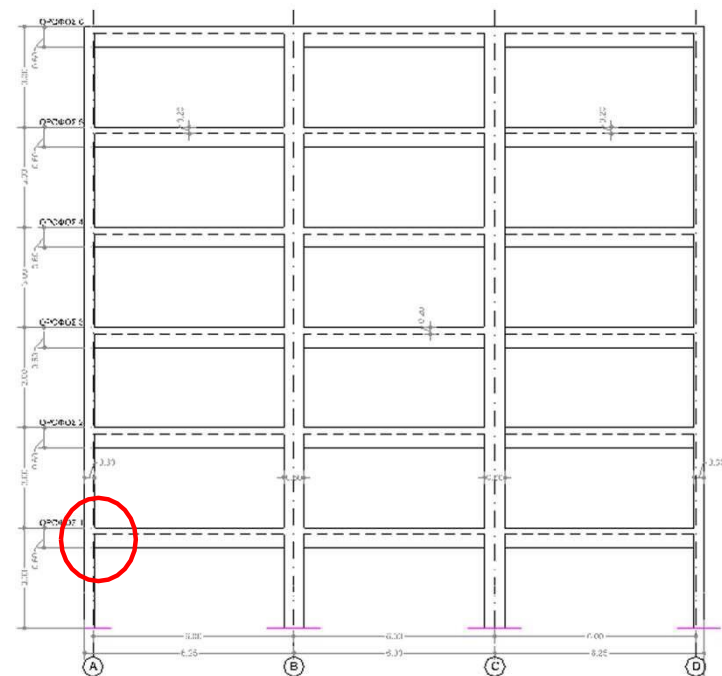
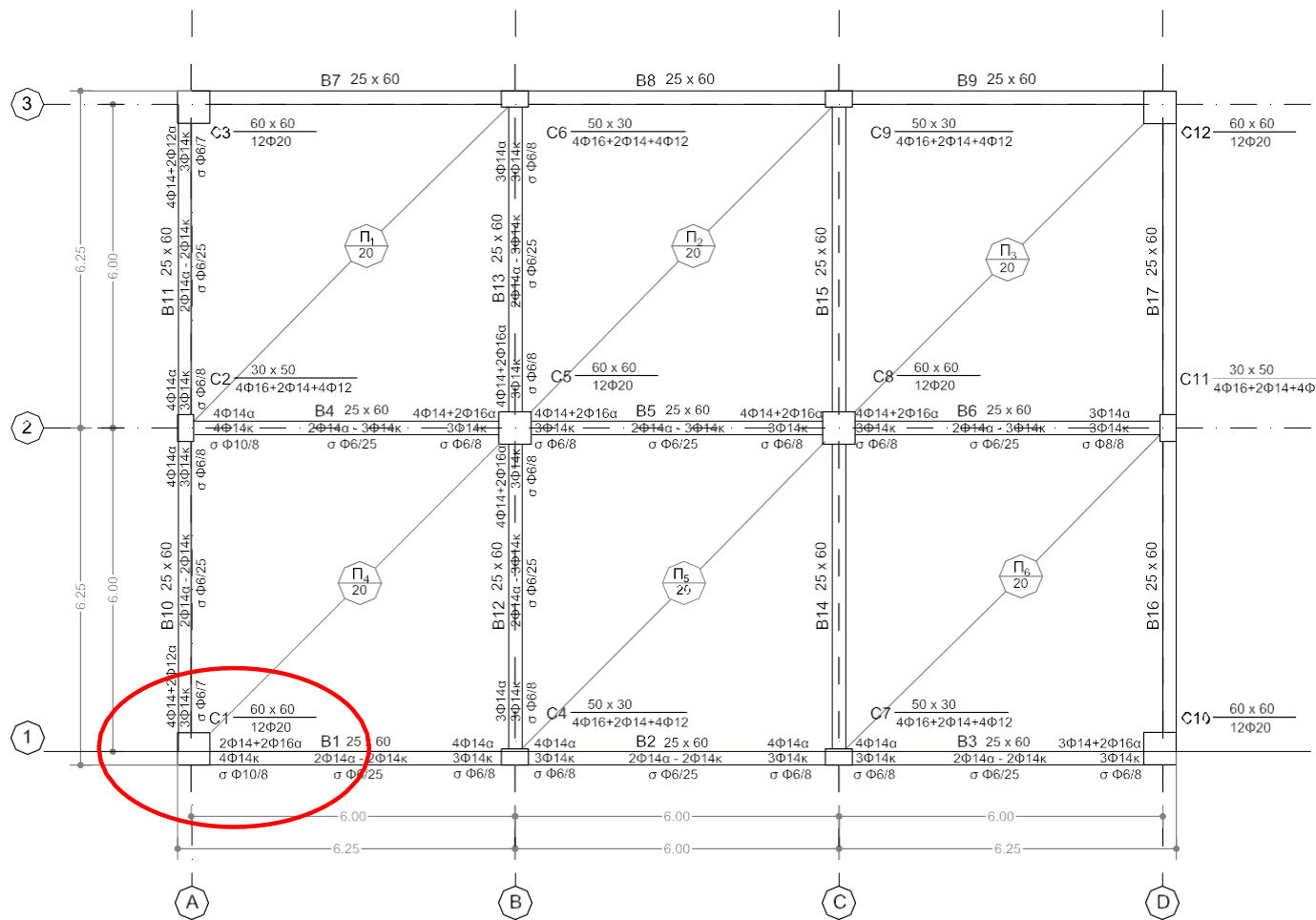
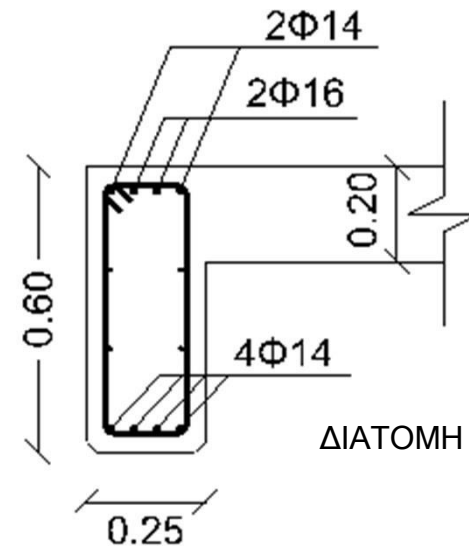
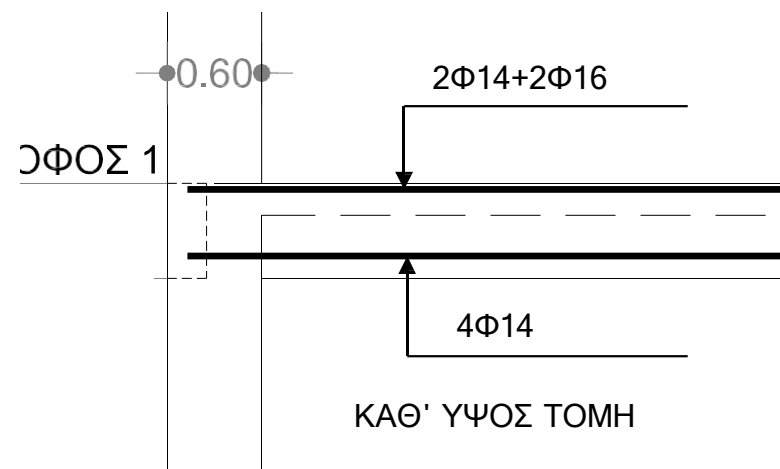
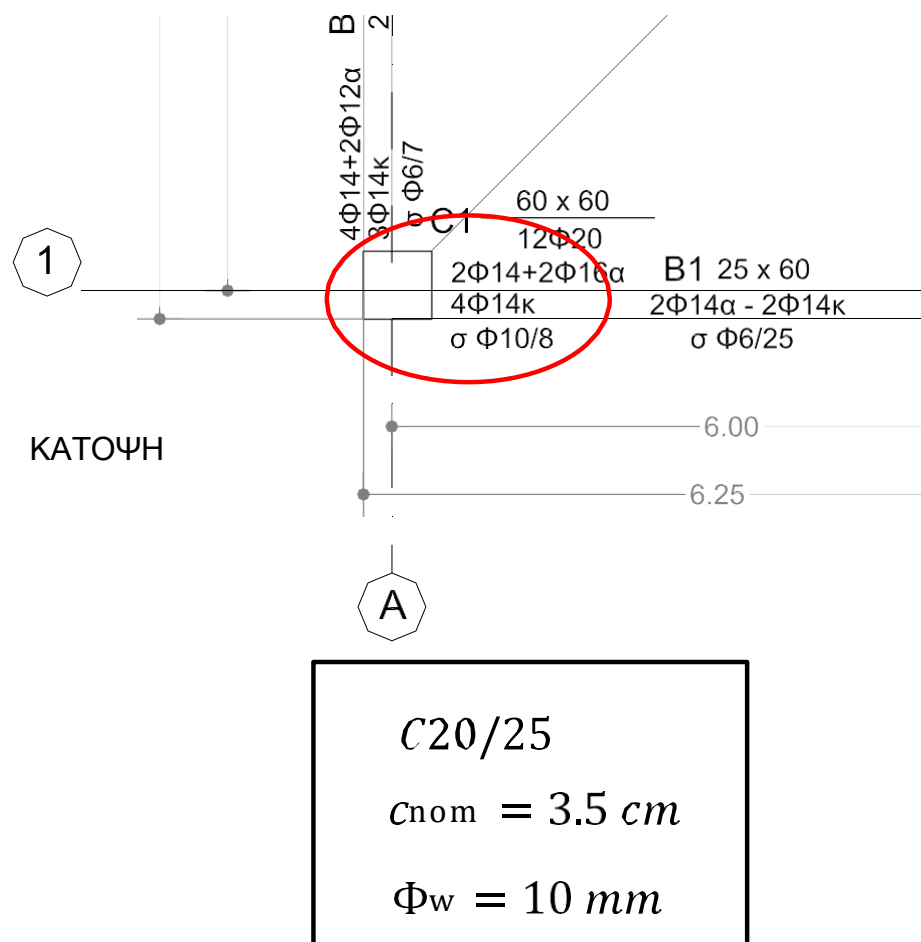


Figure 8.4: Values of K for beams and slabs

Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών



Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών



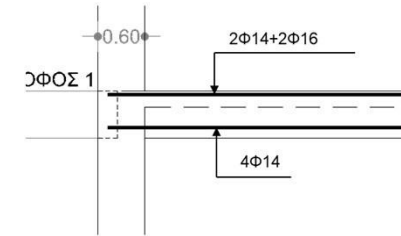
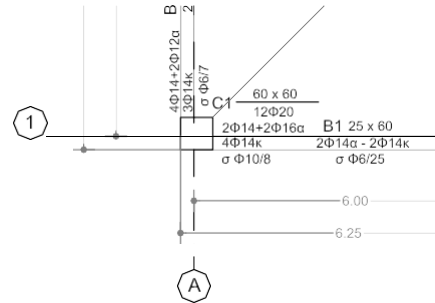
Δοκός με απαιτήσεις αντισεισμικότητας $\rightarrow \sigma_s = f_{yd}$

Σε μέλη χωρίς απαιτήσεις αντισεισμικότητας οι οπλισμοί αγκυρώνονται για την εκάστοτε τάση λειτουργίας τους, στην είσοδο της αγκύρωσης.

Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών

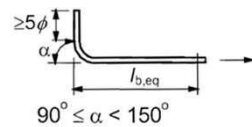
A. Αγκύρωση άνω οπλισμού

$$C25/30 \quad c_{nom} = 3.5 \text{ cm} \quad \Phi_w = 10 \text{ mm}$$



1. Διερεύνηση δυνατότητας αξιοποίησης διαμόρφωσης γάντζου

❖ Με τυπική καμπύλωση (bend=γάντζος) στο άκρο

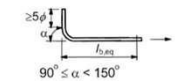


b) Equivalent anchorage length for standard bend $l_{b,eq} = \alpha_1 l_{b,reqd}$

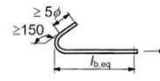
Table 8.2: Values of α_1 , α_2 , α_3 , α_4 and α_5 coefficients

Influencing factor	Type of anchorage	Reinforcement bar	
		In tension	In compression
Shape of bars	Straight	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_1 = 0,7$ if $c_d > 3\phi$ otherwise $\alpha_1 = 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_1 = 1,0$

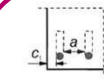
❖ Με γάντζο ή με άγκιστρο



b) Equivalent anchorage length for standard bend



c) Equivalent anchorage length for standard hook



b) Bent or hooked bars $c_d = \min(a/2, c_1)$

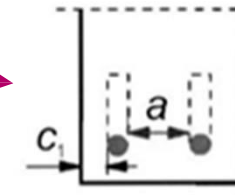
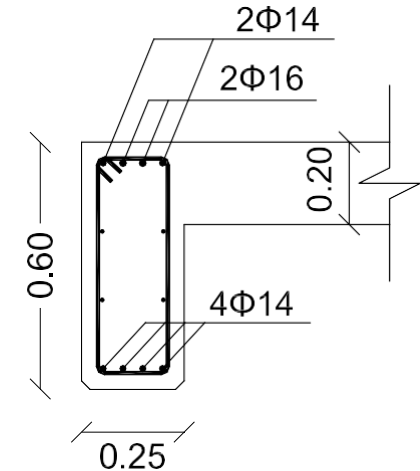
$$a = \frac{(0.25 - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \Phi_w - 4 \cdot \Phi_L)}{3} = \frac{0.25 - 2 \cdot 0.035 - 2 \cdot 0.01 - 4 \cdot 0.014}{3} = 0.035 \text{ m} = 3.5 \text{ cm}$$

$$c_1 = c_{nom} + \Phi_w = 4.5 \text{ cm} \rightarrow c_d = \min\left(4.5, \frac{3.5}{2}\right) = 1.75 \text{ cm}$$

$$c_d = 1.75 \text{ cm} < 3 \cdot \Phi_L = 3 \cdot 1.4 = 4.2 \text{ cm}$$

Συνεπώς με αυτή τη διάταξη οπλισμού:

- δεν μπορούμε να αξιοποιήσουμε τον μειωτικό συντελεστή α_1 που αφορά την αγκύρωση με γάντζο.
- πρέπει να διερευνήσουμε τη δυνατότητα ευθύγραμμης ή καμπύλης αγκύρωσης.

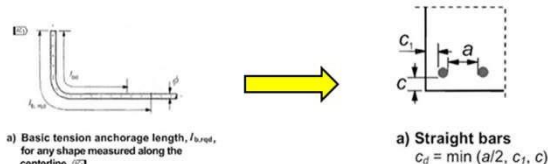


b) Bent or hooked bars $c_d = \min(a/2, c_1)$

Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών

2. Ευθύγραμμη αγκύρωση άνω οπλισμού Φ16

❖ Ευθύγραμμη ή με καμπύλη

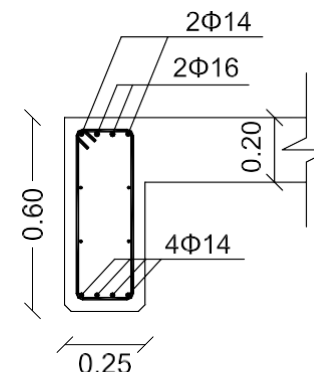
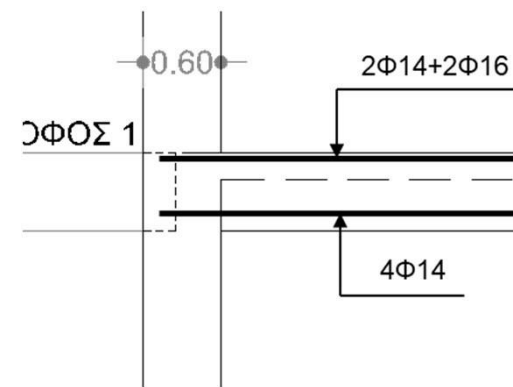
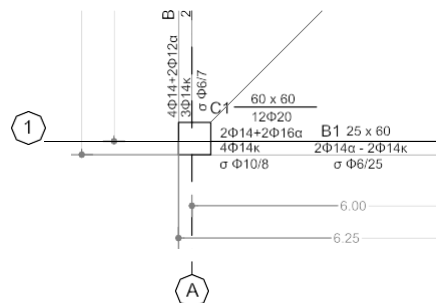


Το c_d διατηρείται σταθερό και για αυτή την περίπτωση καθώς το c είναι πολύ μεγάλο (βλ. ύψος υποστυλώματος).

Concrete cover	Straight	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_2 = 1,0$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (1,75 - 1,6)}{1,6} = 0,99$$

Απαιτούμενο ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης l_{bd}



f_{ck} (Mpa)	12	16	20	25
f_{ctm} (Mpa)	1,57	1,90	2,21	2,56
$f_{ctk0,05}$ (Mpa)	1,10	1,33	1,55	1,80
f_{ctd} (Mpa)	0,73	0,89	1,03	1,20
f_{bd} (Mpa) (ευνοϊκές)	1,65	2,00	2,32	2,69
$l_{b,reqd}/\phi$ (ευνοϊκές)	65,83	54,34	46,83	40,36

Συνθήκες συνάφειας δυσμενείς, ανεξάρτητα από τη θέση διακοπής σκυροδέτησης.

$$l_{bd} = \alpha_2 \cdot l_{b,reqd} = \alpha_2 \cdot \frac{\Phi_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad f_{bd} = 2,25 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,20 = 1,89 \text{ MPa}$$

$$l_{bd} = \alpha_2 \cdot l_{b,reqd} = 0,99 \cdot \frac{1,6}{4} \cdot \frac{435}{1,89} = 91 \text{ cm} > 56 \text{ cm}$$

Συνεπώς δεν είναι δυνατή η ευθύγραμμη αγκύρωση.

Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών

3. Καμπύλη αγκύρωση άνω οπλισμού Φ16

Διάμετρος τυμπάνου καμπύλωσης:

$$\Phi_{m,min} \geq \frac{F_{bt} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \phi} \right)}{f_{cd}}$$

$$f_{cd} = \frac{25000}{1.5} = 16667 \text{ kN/m}^2$$

$$a_b = \min \left\{ \left(c_{nom} + \Phi_w + \frac{\phi}{2} \right), \frac{s_1}{2} \right\} \rightarrow a_b = \min \left\{ \left(3.5 + 1 + \frac{1.6}{2} \right), \frac{3.5 + 1.6}{2} \right\} \rightarrow a_b$$

$$= 2.55 \text{ cm}$$

$$\Phi_{m,min} \geq \frac{F_{bt} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \phi} \right)}{f_{cd}}$$

a_b το ήμισιο της απόστασης των ΚΒ των ράβδων. Για την ράβδο την γειτονική στην παρειά του σκυροδέματος
 $a_b = c + \Phi/2$

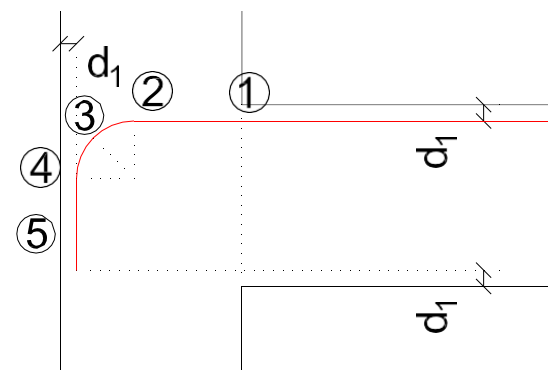
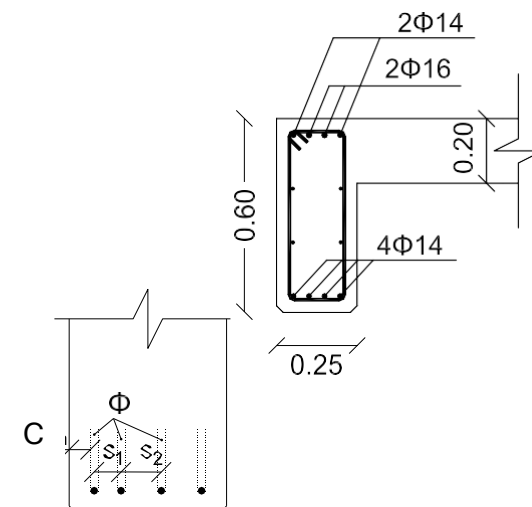
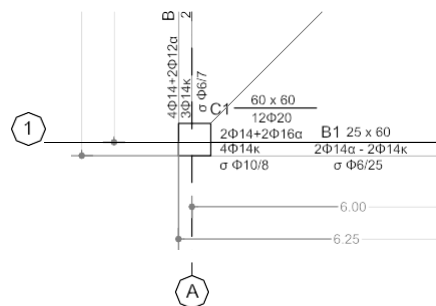
Επειδή η F_{bt} είναι η εφελκυστική δύναμη της ράβδου του οπλισμού **στην αρχή της καμπύλης** θα γίνει μια αρχική εκτίμηση με $F_{bt} = A_s \cdot f_{yd}$ και θα διορθωθεί στη συνέχεια.

$$\Phi_{m,min} \geq \frac{2.01 \cdot 43.5 \cdot \left(\frac{1}{0.026} + \frac{1}{2 \cdot 0.016} \right)}{16667} = 0.37 \text{ m} \rightarrow R_{m,min} = 0.19 \text{ m}$$

Μήκος τμήματος 1-2: $l_{12} = 0.60 - 0.053 - 0.19 = 0.36 \text{ m}$ και τάση συνάφειας $f_{bd} = 1.89 \text{ MPa}$

Εφελκυστική δύναμη στην είσοδο της καμπύλης: $F_{bt} = f_{yd} \cdot A_s - \pi \cdot \phi \cdot l_{12} \cdot f_{bd} = 43.5 \cdot 2.01 - \pi \cdot 0.016 \cdot 0.36 \cdot 1890 = 53.30 \text{ kN}$

$$\Phi_{m,min} \geq \frac{53.30 \cdot \left(\frac{1}{0.026} + \frac{1}{2 \cdot 0.016} \right)}{16667} = 0.22 \text{ m} \rightarrow R_{m,min} = 0.11 \text{ m}$$



Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών

Διορθωμένο μήκος τμήματος 1-2: $l_{12} = 0.60 - 0.053 - 0.11 = 0.44m$
(συνθήκες δυσμενείς & τάση συνάφειας $f_{bd} = 1.89 MPa$)

Δυσμενείς συνθήκες αγκύρωσης στο τμήμα 1-2-3: $l_{123} =$
 $(0.60 - 0.053 - 0.11) + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.11}{8} = 0.53 m$

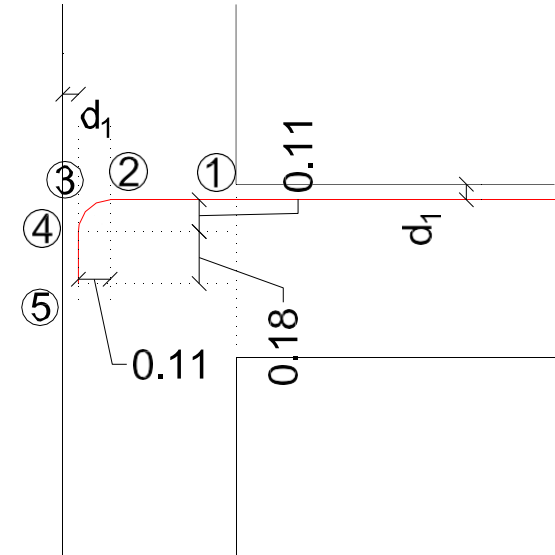
Τμήμα 3-4-5: συνθήκες ευμενείς & τάση συνάφειας $f_{bd} = 2.69 MPa$

Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης.

$$f_{yd} \cdot A_s = \pi \cdot \Phi \cdot l_{12} \cdot f_{bd,ng} + \pi \cdot \Phi \cdot l_{345} \cdot f_{bd,g} \rightarrow$$

$$\rightarrow l_{345} = \frac{f_{yd} \cdot A_s - \pi \cdot \Phi \cdot l_{12} \cdot f_{bd,ng}}{\pi \cdot \Phi \cdot f_{bd,g}} = \frac{43.5 \cdot 2.01 - \pi \cdot 0.016 \cdot 0.53 \cdot 1890}{\pi \cdot 0.016 \cdot 2690} = 0.27 m$$

Συνεπώς μετά την έξοδο από την καμπύλη απαιτείται επιπλέον ευθύγραμμο μήκος : $l_{45} = 0.27 - \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.11}{8} = \mathbf{0.18 m}$



Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών

4. Διερεύνηση δυνατότητας αξιοποίησης συντελεστών α_i με αλλαγή διάταξης οπλισμού.

Επειδή στη διάταξη 2Φ16+2Φ14 αυτό που κυρίως εμπόδισε την αξιοποίηση των συντελεστών α_i , ήταν η μικρή απόσταση μεταξύ των οπλισμών (βλέπε α στη συνέχεια),

$$a = \frac{(0.25 - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \Phi_w - 4 \cdot \Phi_L)}{3} = \frac{0.25 - 2 \cdot 0.035 - 2 \cdot 0.01 - 4 \cdot 0.014}{3} = 0.035 \text{ m} = 3.5 \text{ cm}$$

$$c_1 = c_{nom} + \Phi_w = 4.5 \text{ cm} \rightarrow c_d = \min\left(4.5, \frac{3.5}{2}\right) = 1.75 \text{ cm}$$

αντικαθιστούμε τον άνω οπλισμό 2Φ14+2Φ16 με τον ισοδύναμο 3Φ18
($2 \cdot 1.54 + 2 \cdot 2.01 = 7.1 < 3 \cdot 2.54 = 7.62 \text{ cm}^2$)

$$a = \frac{(0.25 - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \Phi_w - 3 \cdot \Phi_L)}{2} = \frac{0.25 - 2 \cdot 0.035 - 2 \cdot 0.01 - 3 \cdot 0.018}{2} = 0.053 \text{ m} = 5.3 \text{ cm}$$

$$c_1 = c_{nom} + \Phi_w = 4.5 \text{ cm} \rightarrow c_d = \min\left(4.5, \frac{5.3}{2}\right) = 2.65 \text{ cm}$$

$$c_d = 2.65 \text{ cm} < 3 \cdot \Phi_L = 3 \cdot 1.8 = 5.4 \text{ cm}$$

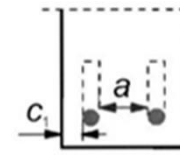
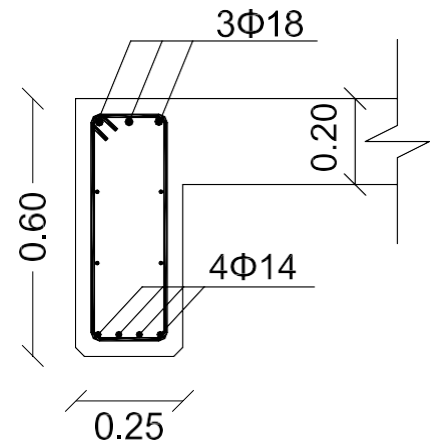
Συνεπώς με αυτή τη διάταξη οπλισμού:

- δεν μπορούμε να αξιοποιήσουμε τον μειωτικό συντελεστή α_1 που αφορά την αγκύρωση με γάντζο.
- πρέπει να διερευνήσουμε τη δυνατότητα ευθύγραμμης ή καμπύλης αγκύρωσης.

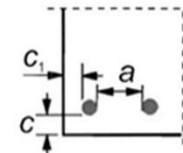
Το c_d διατηρείται σταθερό και για αυτή την περίπτωση καθώς $c = c_1 = c_{nom} + \Phi_w$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0.15 \cdot (2.65 - 1.8)}{1.8} = 0.93$$

$$l_{bd} = \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} = 0.93 \cdot \frac{1.8}{4} \cdot \frac{435}{1.89} = 96 \text{ cm} > 56 \text{ cm}$$



b) Bent or hooked bars
 $c_d = \min(a/2, c_1)$



a) Straight bars
 $c_d = \min(a/2, c_1, c)$

Concrete cover	Straight	$\alpha_2 = 1 - 0.15 (c_d - \phi) / \phi$ ≥ 0.7 ≤ 1.0	$\alpha_2 = 1.0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_2 = 1 - 0.15 (c_d - 3\phi) / \phi$ ≥ 0.7 ≤ 1.0 (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_2 = 1.0$

Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών

Σχόλια

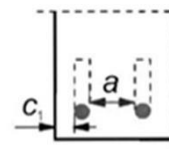
Ο συντελεστής c_d μπορεί να μην είναι ίδιος για όλες τις ράβδους και αυτό να παράγει διαφορετικές δυνατότητες αγκύρωσης.

Και στα δύο παραδείγματα (2Φ14+2Φ16 και 3Φ18), το c_d καθορίστηκε από την απόσταση μεταξύ των οπλισμών, οπότε δεν υπάρχει διαφοροποίηση του c_d μεταξύ μεσαίων και ακραίων ράβδων.

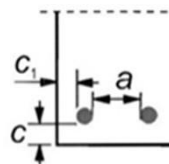
Εάν όμως το c_d καθορίζεται από την επικάλυψη, οι ακραίες ράβδοι έχουν διαφορετικό (δυσμενέστερο) c_d από τις μεσαίες, οπότε και οι μειωτικοί συντελεστές α_i διαφοροποιούνται.

Παρατηρούμε επιπλέον ότι η ράβδος 4 στο παράδειγμα 2Φ14+2Φ16 και η ράβδος 3 στο παράδειγμα 3Φ18 όπως και όλες οι ράβδοι στις κεντρικές δοκούς, δεν επηρεάζονται από τις πλευρικές αποστάσεις c_1 των οπλισμών.

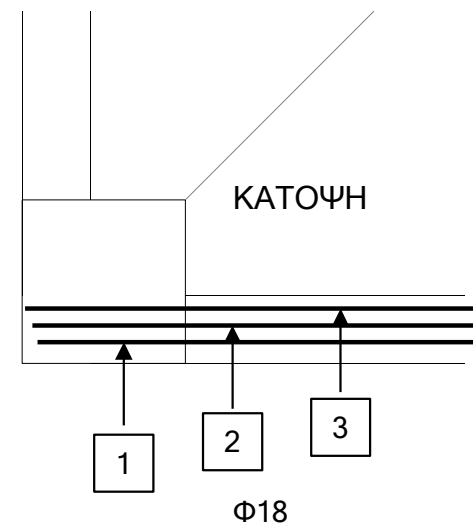
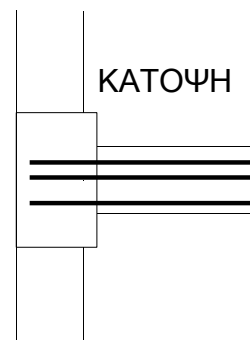
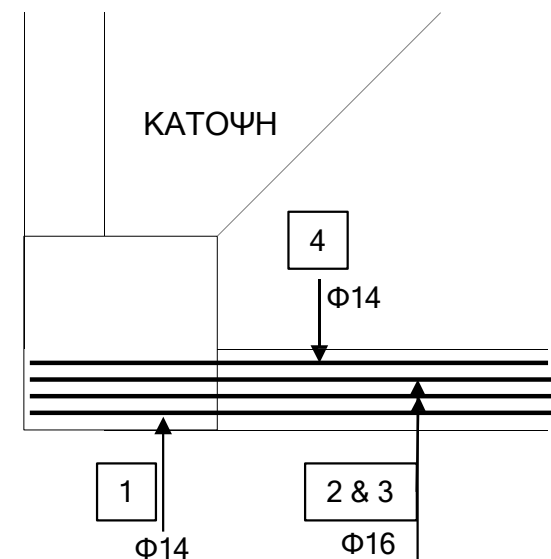
Στο παράδειγμα (2Φ14+2Φ16), δεν διαφοροποιήθηκαν οι απαιτήσεις αγκύρωσης ανάλογα με τη διαφορετικότητα των διαμέτρων, ωστόσο εάν οι ανάγκες το απαιτούν, πρέπει να γίνεται.



b) Bent or hooked bars
 $c_d = \min(a/2, c_1)$



a) Straight bars
 $c_d = \min(a/2, c_1, c)$



Εφαρμογή 2 – Αγκυρώσεις οπλισμών δοκών

B. Αγκύρωση κάτω οπλισμού

1. Διερεύνηση δυνατότητας αξιοποίησης διαμόρφωσης γάντζου: όπως και στον άνω οπλισμό, δεν υπάρχει.
2. Ευθύγραμμη αγκύρωση κάτω οπλισμού Φ16

Συνθήκες συνάφειας ευμενείς, ανεξάρτητα από τη θέση διακοπής σκυροδέτησης.

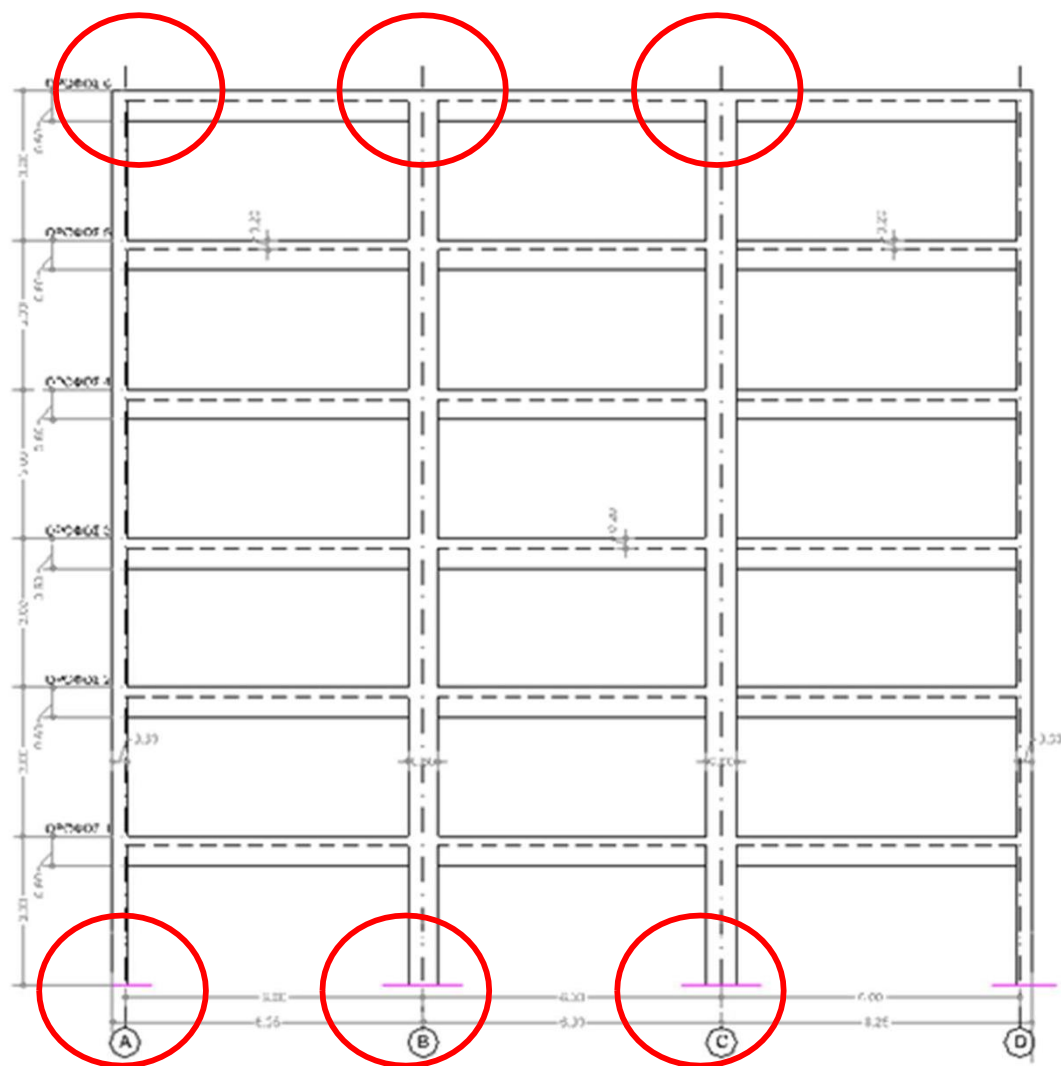
$$l_{bd} = a_2 \cdot l_{b,rqd} = a_2 \cdot \frac{\Phi_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad f_{bd} = 2.25 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.20 = 2.69 \text{ MPa}$$

$$a_2 = 1 - \frac{0.15 \cdot \left(\frac{3.5}{2} - 1.6 \right)}{1.6} = 0.99$$

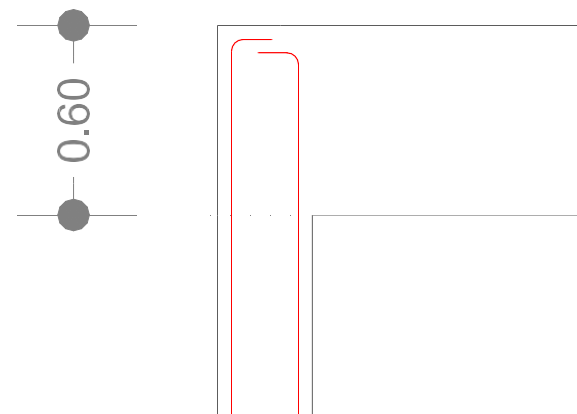
$$l_{bd} = a_2 \cdot l_{b,rqd} = 0.99 \cdot \frac{1.6}{4} \cdot \frac{435}{2.69} = 64 \text{ cm} < 56 \text{ cm}$$

Συνεπώς η ευθύγραμμη αγκύρωση δεν επαρκεί.

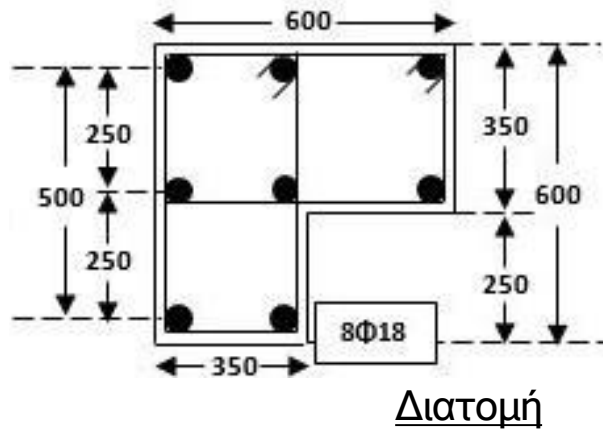
Εφαρμογή 3 - Αγκυρώσεις οπλισμών υποστυλωμάτων



ΟΡΟΦΟΣ 6

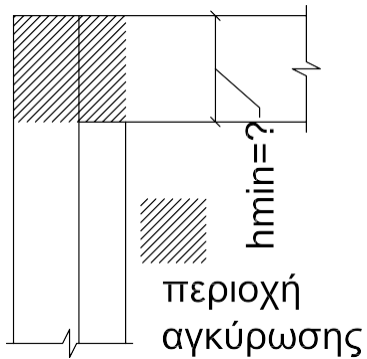


Εφαρμογή 3 - Αγκυρώσεις οπλισμών υποστυλωμάτων

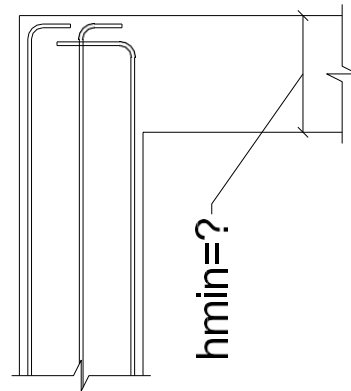


Το υποστύλωμα είναι τοποθετημένο σε εξωτερική γωνία κτηρίου και ανήκει στον τελευταίο όροφο. Να υπολογισθεί το ελάχιστο δυνατό ύψος των δοκών της τελευταίας στάθμης ώστε να είναι εφικτή η αγκύρωση των οπλισμών του στύλου σε αυτές (να παρατεθεί και σχετικό σκαρίφημα).

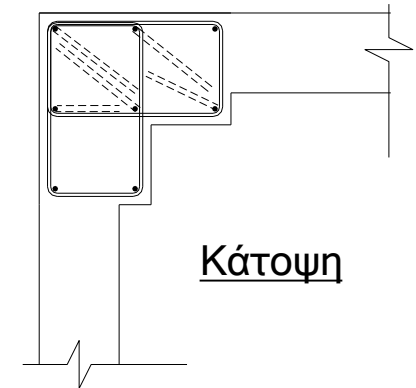
C30/37



Καθ' ύψος τομή



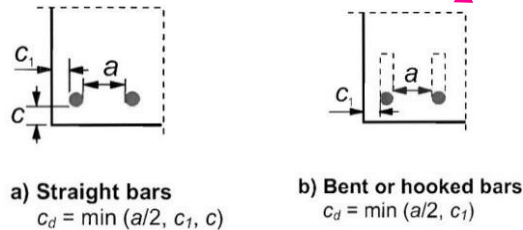
Καθ' ύψος τομή



Εφαρμογή 3 - Αγκυρώσεις οπλισμών υποστυλωμάτων

ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

- ❖ Μειωτικοί συντελεστές για αγκύρωση ράβδων **με** ορθογωνικό άγκιστρο (για όλες τις ράβδους εκτός των τριών εσωτερικών) ή **χωρίς** ορθογωνικό άγκιστρο (για όλες τις ράβδους):



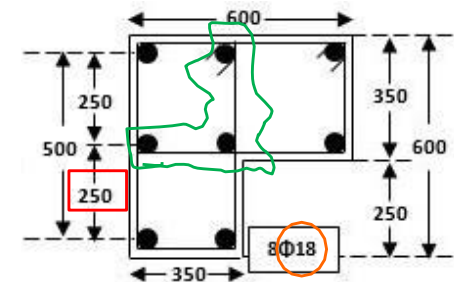
Influencing factor	Type of anchorage	Reinforcement bar	
		In tension	In compression
Shape of bars	Straight	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_1 = 0,7$ if $c_d > 3\phi$ otherwise $\alpha_1 = 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Concrete cover	Straight	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_2 = 1,0$

- Ο όρος c_d είναι καθοριστικός για τη δυνατότητα αξιοποίησης μειωτικών συντελεστών α_i
- Οι μεγαλύτερες επικαλύψεις εκτός της προστασίας του χάλυβα έναντι οξειδώσεων παρέχουν και διευκόλυνση στο χειρισμό των αγκυρώσεων.

$$c_1 = c = 5,00 - \frac{\Phi}{2} = 5,00 - \frac{1,80}{2} = 4,10 \text{ cm}$$

$$\alpha = 25 - \Phi = 23,20 \text{ cm}$$

$$c_d = 4,10 \text{ cm} < 3 \cdot \Phi = 3 \cdot 1,8 = 5,40 \text{ cm} \rightarrow \alpha_1 = 1,00$$



Εφόσον δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ο συντελεστής α_1 , η ράβδος θα αγκυρωθεί χωρίς γάντζο ή άγκιστρο, οπότε:

$$\alpha_2 = \left[1 - 0,15 \cdot \frac{(c_d - \Phi)}{\Phi} \right] = 1 - 0,15 \cdot \frac{(4,10 - 1,80)}{1,80} = 0,81$$

Εφαρμογή 3 - Αγκυρώσεις οπλισμών υποστυλωμάτων
ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

- **Κατακόρυφη** ευθύγραμμη αγκύρωση χωρίς άγκιστρο, απαιτούμενο μήκος κατακόρυφης ευθύγραμμης αγκύρωσης:

$$l_{db,1} = \frac{\Phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \cdot \alpha_2 = \frac{0.018}{4} \cdot \frac{435}{3.04} \cdot 0.81 = 0.52 \text{ m}$$

Απαιτούμενο ύψος δοκού:

$$h_{b,1} = 0.52 + 0.05 = 0.57 \text{ m}$$

f_{ck} (Mpa)	12	16	20	25	30	35	40	45
f_{ctm} (Mpa)	1,57	1,90	2,21	2,56	2,90	3,21	3,51	3,80
$f_{ctk0,05}$ (Mpa)	1,10	1,33	1,55	1,80	2,03	2,25	2,46	2,66
f_{ctd} (Mpa)	0,73	0,89	1,03	1,20	1,35	1,50	1,64	1,77
f_{bd} (Mpa) (ΕΥΝΟΙΚΕΣ)	1,65	2,00	2,32	2,69	3,04	3,37	3,68	3,99
$l_{b,rqd}/\Phi$ (ΕΥΝΟΙΚΕΣ)	65,83	54,34	46,83	40,36	35,74	32,25	29,50	27,27

- ❖ Μειωτικοί συντελεστές για αγκύρωση ράβδου με ορθογωνικό άγκιστρο, (αφορά τις τρεις εσωτερικές ράβδους και από αυτές ελέγχεται η γωνιακή):

$$c_1 = 4.10 \cdot \sqrt{2} = 5.80 \text{ cm και } \alpha \gg \rightarrow c_d = 5.80 > 3 \cdot \Phi = 5.40 \text{ cm} \rightarrow \alpha_1 = 0.70$$

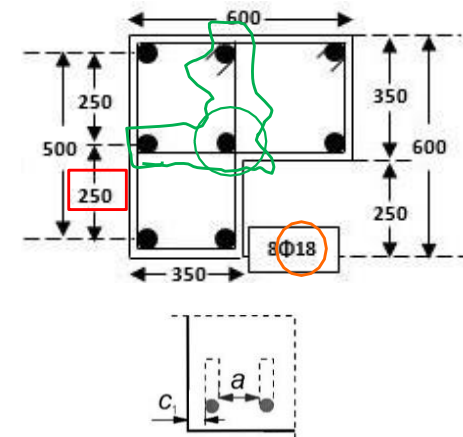
$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \cdot \frac{(c_d - 3 \cdot \Phi)}{\Phi} = 1 - 0.15 \cdot \frac{(5.80 - 3 \cdot 1.80)}{1.80} = 0.97$$

- **Κατακόρυφη ευθύγραμμη αγκύρωση με άγκιστρο**, απαιτούμενο μήκος κατακόρυφης ευθύγραμμης αγκύρωσης με άγκιστρο:

$$l_{db,2} = \frac{\Phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \cdot a_1 \cdot \alpha_2 = \frac{0.018}{4} \cdot \frac{435}{3.04} \cdot 0.70 \cdot 0.97 = 0.43 \text{ m}$$

Απαιτούμενο ύψος δοκού:

$$h_{b,2} = 0.43 + 0.05 = 0.48 \text{ m}$$



b) Bent or hooked bars
 $c_d = \min (a/2, c_1)$

Influencing factor	Type of anchorage	Reinforcement bar	
		In tension	In compression
Shape of bars	Straight	$a_1 = 1,0$	$a_1 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$a_1 = 0,7$ if $c_d > 3\phi$ otherwise $a_1 = 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$a_1 = 1,0$
Concrete cover	Straight	$a_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$a_2 = 1,0$
	Other than straight	$a_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi)/\phi$	

Εφαρμογή 3 - Αγκυρώσεις οπλισμών υποστυλωμάτων

ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

- Αγκύρωση με καμπύλη με εκατέρωθεν ευθύγραμμα τμήματα

Εφόσον δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ο συντελεστής α_1 , η ράβδος θα αγκυρωθεί χωρίς άγκιστρο, οπότε: $\alpha_2 = 1 - 0.15 \cdot \frac{(c_d - \Phi)}{\Phi} = 0.81$

Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης με καμπύλη και ευθύγραμμα τμήματα (απλοποιητικά για δυσμενείς συνθήκες αγκύρωσης):

$$l_{db,3} = \frac{\Phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \cdot \alpha_2 = \frac{0.018}{4} \cdot \frac{435}{2.13} \cdot 0.81 = 0.74 \text{ m}$$

$$l_{db,1} = \frac{0.018}{4} \cdot \frac{435}{3.04} \cdot 0.81 = 0.52 \text{ m}$$

Διάμετρος τυμπάνου για τη διαμόρφωση της καμπύλης (απλοποιητική εκτίμηση):

$$\Phi_{m,min} \geq \frac{F_{bt} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \Phi} \right)}{f_{cd}}$$

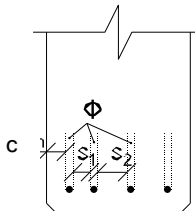
$$F_{bt} = \frac{\pi \cdot 1.8^2}{4} \cdot 43.5 = 110 \text{ kN}$$

ϕ	12	14	16	18	20	22	25	28
F_{bt} (kN)	49,15	66,90	87,37	110,58	136,52	165,19	213,32	267,58
$\Phi_{m,min}$	0,15	0,19	0,22	0,26	0,31	0,35	0,43	0,51

Για $\alpha_b = 5 \text{ cm}$ και $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$$a_b = \min \left\{ \left(c_{nom} + \frac{\phi}{2} \right), \frac{s_1}{2} \right\} \text{ ή } \min \left\{ \frac{s_1}{2}, \frac{s_2}{2} \right\}$$

$$\alpha_b = 5 \text{ cm}$$



$$\Phi_{m,min} = \frac{110 \cdot \left(\frac{1}{0.05} + \frac{1}{2 \cdot 0.018} \right)}{20000} = 0.26 \text{ m} \rightarrow R_{m,min} = 0.13 \text{ m} \rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{m,min}}{4} = 0.21 \text{ m}$$

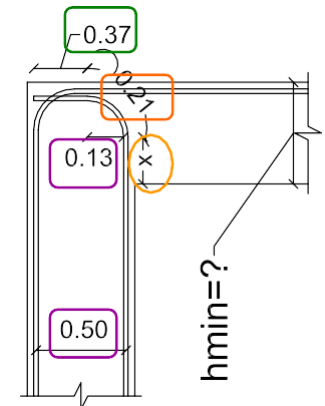
Διατιθέμενο ευθύγραμμο μήκος στο πλάτος του υποστυλώματος μετά το πέρας της καμπύλης: $0.50 - 0.13 = 0.37 \text{ m}$

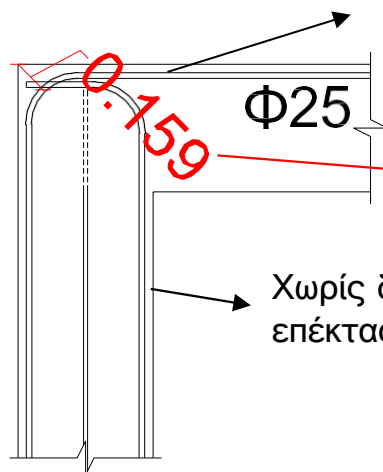
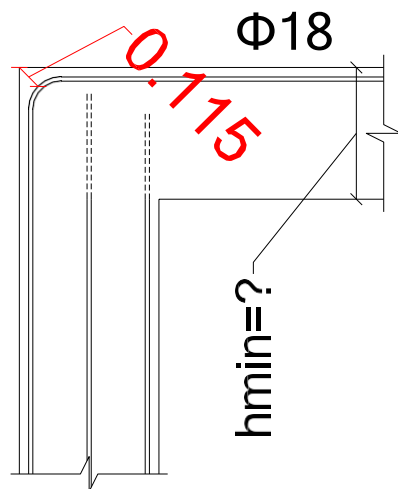
Διατιθέμενο μήκος αγκύρωσης από το πέρας μέχρι την αρχή της καμπύλης: $0.37 + 0.21 = 0.58 \text{ m}$

Απαιτούμενο πρόσθετο ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης πριν από την αρχή της καμπύλης:

$$0.74 - 0.58 = 0.16 \text{ m}$$

$$\text{Απαιτούμενο ύψος δοκού: } h_k = 0.16 + 0.13 + 0.05 = 0.34 \text{ m}$$



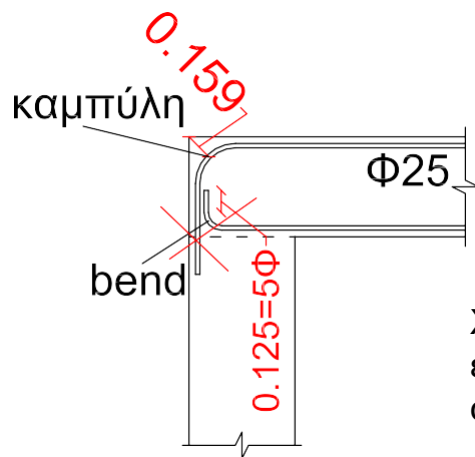


Δυνατότητα επέκτασης
μέσα στη δοκό

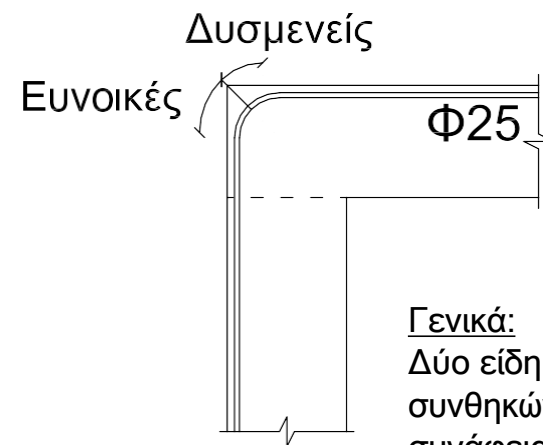
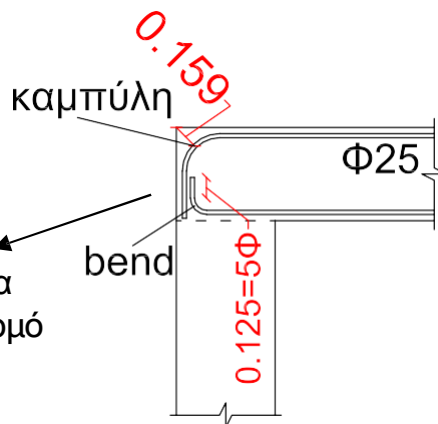
Χωρίς δυνατότητα
επέκτασης

Σύμφωνα με την EC2 §J.1(3)
όταν η επικάλυψη είναι
μεγαλύτερη από 7 cm απαιτείται
η τοποθέτηση επιδερμικού
οπλισμού.

Αγκύρωση οπλισμών υποστυλωμάτων



Χωρίς δυνατότητα
επέκτασης (βλ. αρμό
σκυροδέτησης)



Γενικά:
Δύο είδη
συνθηκών
συνάφειας

Αγκύρωση οπλισμών δοκών

Εφαρμογή 3 - Αγκυρώσεις οπλισμών υποστυλωμάτων

ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Συντελεστές $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$

$$l_{db,5} = \frac{\Phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{0.018}{4} \cdot \frac{435}{3.04} = 0.65 \text{ m}$$

Table 8.2: Values of α_1 , α_2 , α_3 , α_4 and α_5 coefficients

Influencing factor	Type of anchorage	Reinforcement bar	
		In tension	In compression
Shape of bars	Straight	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_1 = 0,7$ if $c_d > 3\phi$ otherwise $\alpha_1 = 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Concrete cover	Straight	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Other than straight (see Figure 8.1 (b), (c) and (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (see Figure 8.3 for values of c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Confinement by transverse reinforcement not welded to main reinforcement	All types	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Confinement by welded transverse reinforcement*	All types, position and size as specified in Figure 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Confinement by transverse pressure	All types	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

f_{ck} (Mpa)	12	16	20	25	30	35	40	45
f_{ctm} (Mpa)	1,57	1,90	2,21	2,56	2,90	3,21	3,51	3,80
$f_{ctk0,05}$ (Mpa)	1,10	1,33	1,55	1,80	2,03	2,25	2,46	2,66
f_{ctd} (Mpa)	0,73	0,89	1,03	1,20	1,35	1,50	1,64	1,77
f_{bd} (Mpa) (ευνοϊκές)	1,65	2,00	2,32	2,69	3,04	3,37	3,68	3,99
$l_{b,rqd}/\phi$ (ευνοϊκές)	65,83	54,34	46,83	40,36	35,74	32,25	29,50	27,27

ΕΝΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Οι ράβδοι οπλισμού παράγονται σε μήκη 12.00 και 14.00 m

Οι δεκατετράμετρες ράβδοι οπλισμού διακινούνται δύσκολα και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εργοτάξια μεγάλων τεχνικών.

Στα συνήθη οικοδομικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ράβδοι οπλισμού μήκους μέχρι 12.00 m.

Για λόγους οικονομίας των υλικών, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται τέτοια μήκη ράβδων, ώστε να μην παράγονται υπόλοιπα (ρετάλια), που απορρίπτονται (αλλά χρεώνονται).

Έτσι είναι σκόπιμο να συνδυάζονται μήκη υποπολλαπλάσια των 12μετρων (ή των 14μετρων ράβδων, δηλαδή 7μετρες, 6μετρες, 4μετρες, 3μετρες κλπ.

Σε κάθε περίπτωση που απαιτείται χρήση ράβδων οπλισμού μεγαλύτερου μήκους από 12.00 m ή 14.00 αναλόγως του εργοταξίου), γίνονται ενώσεις ράβδων.

Ενώσεις γίνονται και σε όλες τις περιπτώσεις που η κατασκευή απαιτεί διακοπή σκυροδέτησης, σε συγκεκριμένες θέσεις, με συνέπεια τη διακοπή των ράβδων και τη συνέχεια τους στην επόμενη φάση με ένωση.

Ενώσεις γίνονται:

- Με υπερκάλυψη των ράβδων, με ή χωρίς άγκιστρα (ματίσματα)
- Με συγκόλληση
- Με μηχανικά μέσα που εξασφαλίζουν μεταφορά δυνάμεων (θλιπτικών ή εφελκυστικών).

Οι ενώσεις με υπερκάλυψη των ράβδων, (το μάτισμα των ράβδων), είναι ακόμα η πιο διαδεδομένη τεχνική ένωσης.

Οι ματίσεις πρέπει να διαμορφώνονται έτσι ώστε:

- Να εξασφαλίζεται η μεταβίβαση των δυνάμεων από την μία στην άλλη ράβδο (μέσω του σκυροδέματος που τις περιβάλλει).
- Να αποφευχθούν έντονες ρηγματώσεις που επηρεάζουν την συμπεριφορά της κατασκευής.
- Να αποφευχθεί αποφλοίωση του σκυροδέματος στην περιοχή της ένωσης.

Πρέπει να αποφεύγεται να γίνονται ματίσεις σε θέσεις υψηλών εντάσεων (ροπών/δυνάμεων).

Οι ματίσεις πρέπει να ακολουθούν τους κανόνες του σχήματος:

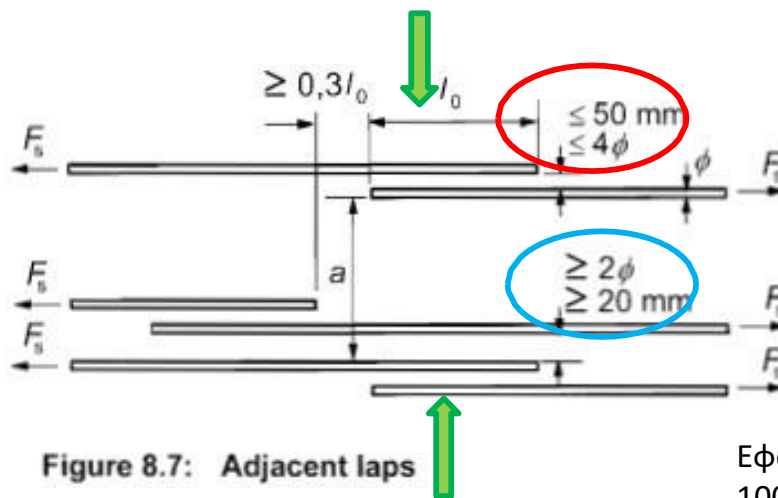


Figure 8.7: Adjacent laps

Διαφορετικά το μήκος l_0 αυξάνεται με μήκος ίσο με την καθαρή απόσταση.

Γειτονικές θεωρούνται οι επικαλύψεις που τα κέντρα τους απέχουν λιγότερο από $1.3 \cdot l_0$

Η καθαρή απόσταση μεταξύ γειτονικών ράβδων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $2 \cdot \phi$ ή 20 mm

Εφόσον τηρούνται τα παραπάνω επιτρέπεται να ματιστεί στην ίδια θέση το 100% των ράβδων σε εφελκυσμό μιας στρώσης. Εάν οι ράβδοι είναι τοποθετημένες σε δύο στρώσεις επιτρέπεται να ματιστεί το 50% .

Το μήκος μάτισης l_0 υπολογίζεται:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5$ και $l_{b,rqd}$: όπως στις αγκυρώσεις

$$l_{0,min} \geq \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \phi; 200 \text{ mm})$$

$$1 < \alpha_6 = \left(\frac{\rho_1}{25}\right)^{0.5} < 1.5$$

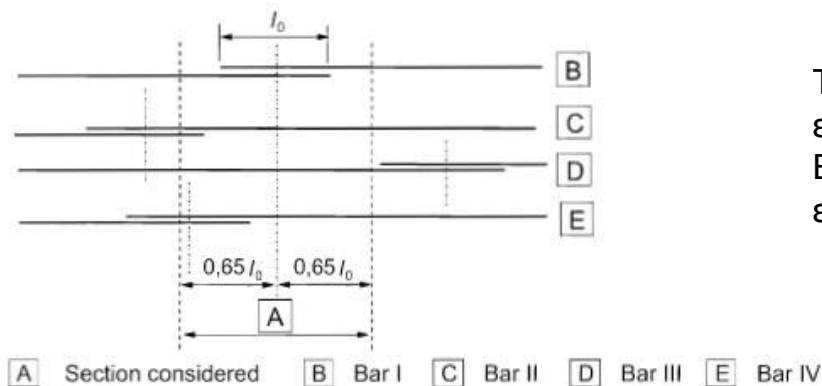
όπου ρ_1 είναι το ποσοστό των οπλισμών που ματίζονται μέσα στο $\pm 0.65 \cdot l_0$ από το κέντρο του θεωρούμενου μήκους μάτισης

Table 8.3: Values of the coefficient α_6

Percentage of lapped bars relative to the total cross-section area	< 25%	33%	50%	>50%
α_6	1	1,15	1,4	1,5

Note: Intermediate values may be determined by interpolation.

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ



Example: Bars II and III are outside the section being considered: % = 50 and $\alpha_6 = 1,4$

Figure 8.8: Percentage of lapped bars in one lapped section

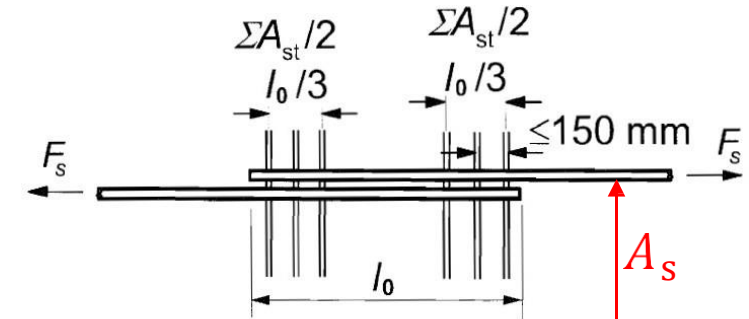
Το κέντρο της μάτισης της ράβδου C και της ράβδου D είναι εκτός του $\pm 0.65 \cdot l_0$, ενώ η ράβδος E είναι εντός του $\pm 0.65 \cdot l_0$. Επομένως από τις 4 ράβδους ματίζονται οι δύο μέσα στην επίμαχη περιοχή, δηλαδή το 50% αυτών, συνεπώς $\alpha_6 = 1.4$

Εγκάρσιος οπλισμός στην περιοχή των υπερκαλύψεων

- Ο εγκάρσιος οπλισμός τοποθετείται για την παραλαβή εγκάρσιων εφελκυστικών δυνάμεων.

Οπλισμός σε εφελκυσμό.

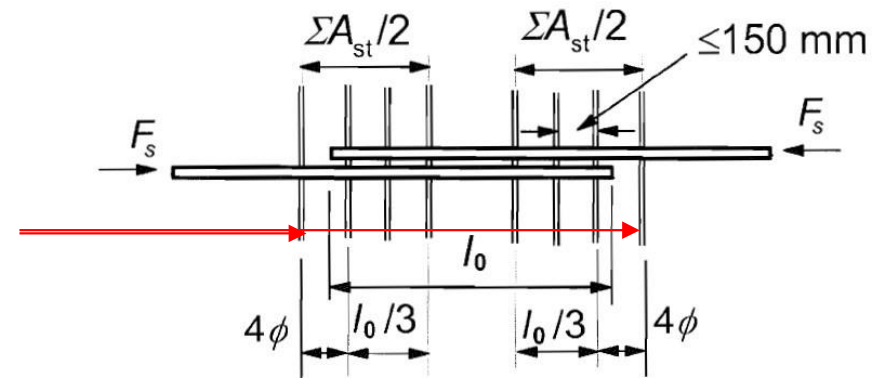
- Εάν ματίζονται ράβδοι με διάμετρο μικρότερη του $\Phi 18$, ή ματίζεται ποσοστό μικρότερο του 25% ο εγκάρσιος οπλισμός, που τοποθετείται για οποιονδήποτε άλλο λόγο, επαρκεί.
- Εάν ματίζονται ράβδοι με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση του $\Phi 20$, τότε $\sum A_{st} \geq 1.0 A_s$. (Τοποθετούνται κάθετα στον οπλισμό που ματίζεται, και έξω από αυτόν – δηλαδή προς την πλευρά του ξυλοτύπου)
- Εάν ματίζεται ποσοστό οπλισμού μεγαλύτερο του 50% και η μεταξύ τους απόσταση α είναι $\leq 10\phi$, τότε οι εγκάρσιοι οπλισμοί πρέπει να έχουν μορφή συνδετήρα ή U

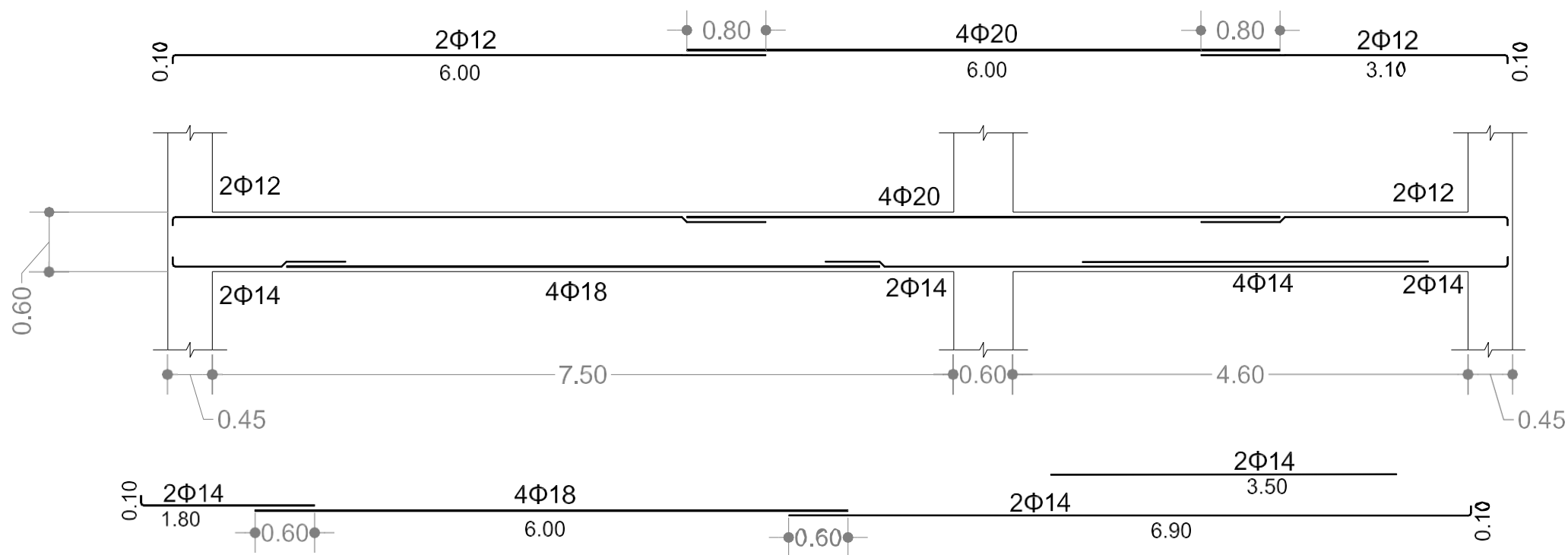


a) bars in tension

Οπλισμός σε θλίψη.

- Πέραν των ανωτέρω πρέπει να τοποθετείται μια επιπλέον ράβδος οπλισμού έξω από το τέλος της υπερκάλυψης και σε απόσταση 4ϕ .

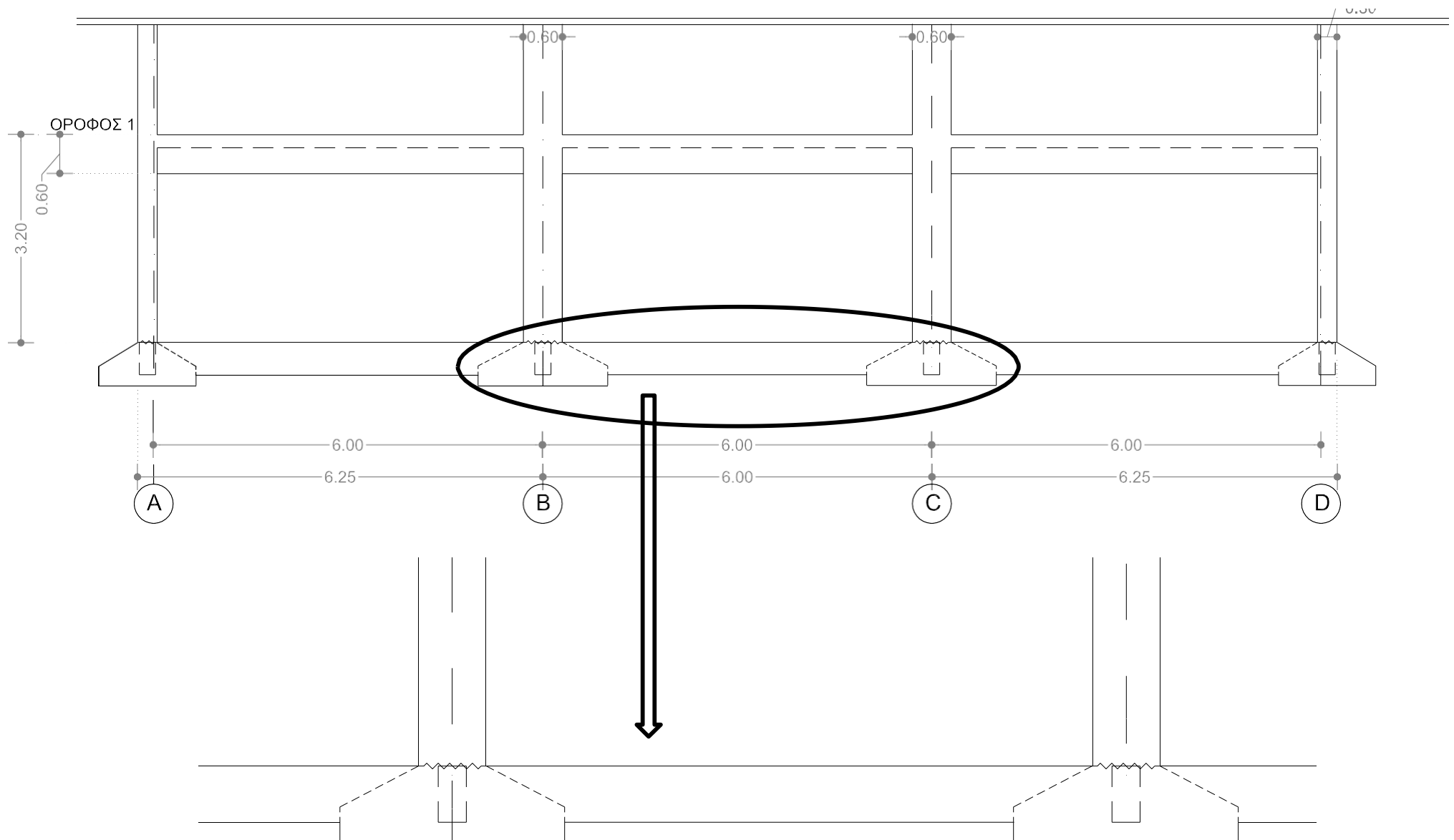




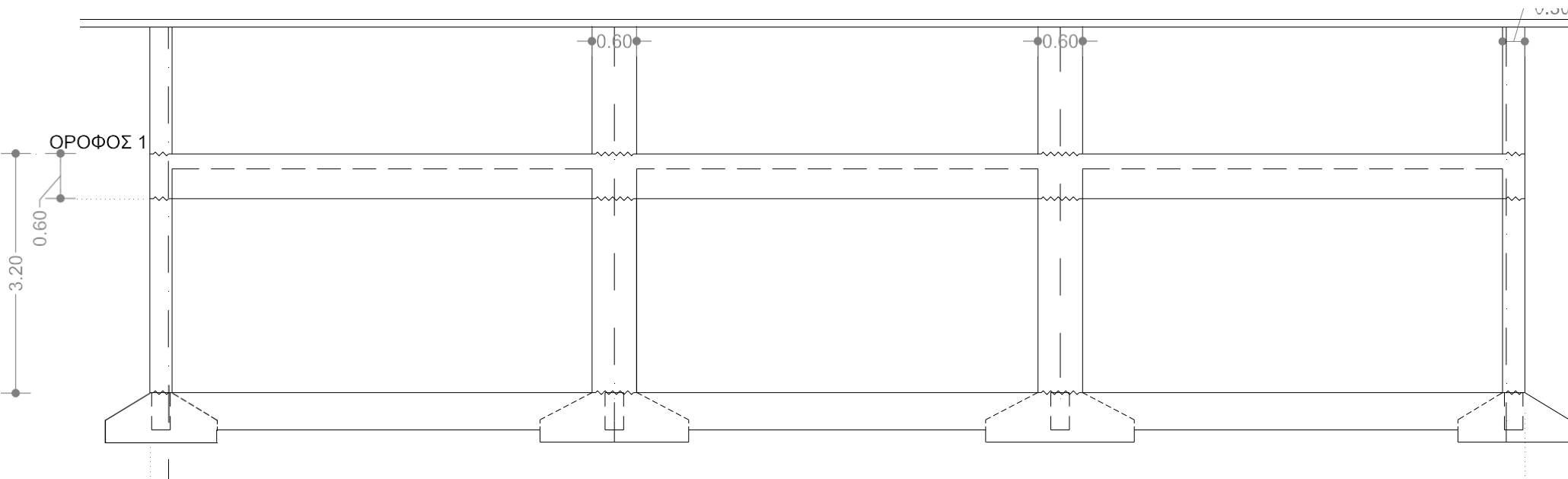
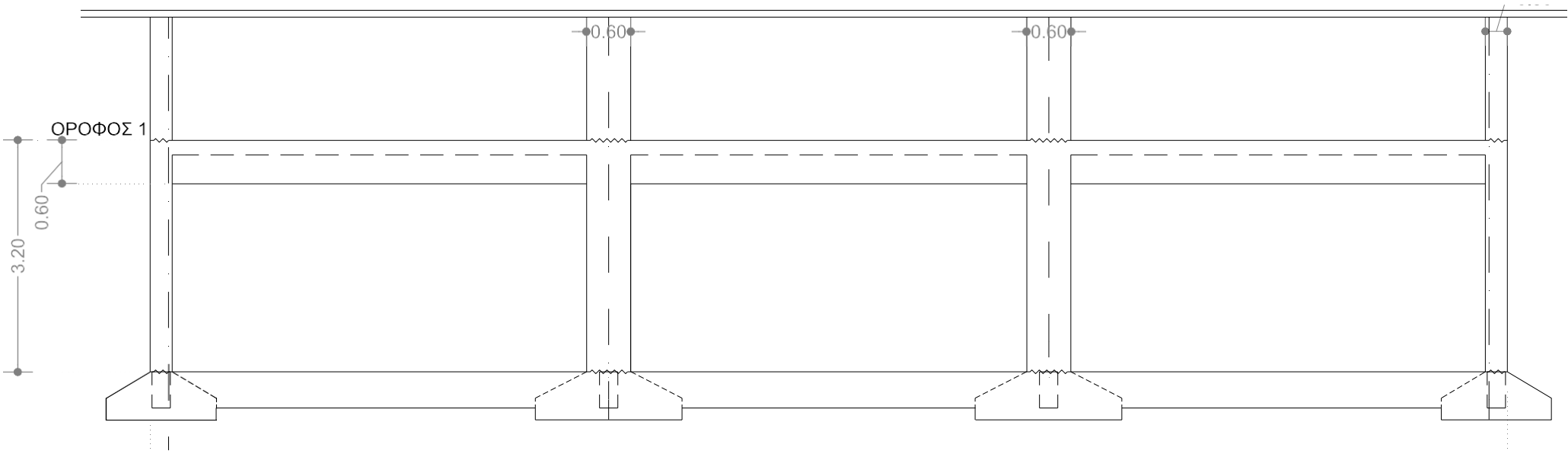
Οι θέσεις διακοπής των κύριων οπλισμών και τα μήκη αγκύρωσης πρέπει να ελέγχονται ως προς την κάλυψη του διαγράμματος ροπών, μετά από την παράθεσή του.

Πρέπει να διευκρινίζεται με απόλυτη σαφήνεια ο τρόπος τοποθέτησης των ράβδων.

ΑΡΜΟΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ



ΑΡΜΟΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ



ΑΡΜΟΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ

