



Μάθημα: Δομική Μηχανική 3

Ακαδ. Έτος 2014-2015

Διδάσκουσα: Μαρίνα Μωρέττη

**ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΚΩΝ
ΠΕΡΙ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ – ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ – ΜΟΡΦΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ**

Περιεχόμενα

- **Περί πλαστιμότητας** σελ. 2
- **Περί Αγκυρώσεων** σελ. 4
- **Πιθανές μορφές αστοχίας δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα** σελ. 9
- **Διαστασιολόγηση έναντι τέμνουσας** σελ. 16
- **Βήματα για τον υπολογισμό και την διαστασιολόγηση δοκών** σελ. 20
- **Διευκρινίσεις σχετικά με ορισμένα από τα Βήματα 1 ως 21:** σελ. 21
- **Συγκεντρωτικά στοιχεία για επιλογή κατάλληλων διαστάσεων δοκών** σελ. 39

- Περί πλαστιμότητας

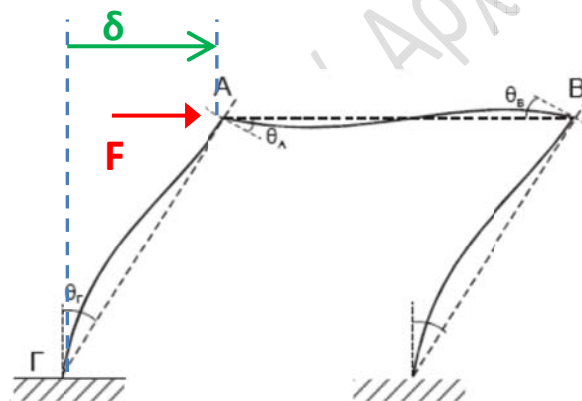
➡ Τι σημαίνει «πλαστιμότητα» ενός φέροντος στοιχείου/φορέα;

Είναι η ικανότητα του στοιχείου/φορέα να παραμορφώνεται χωρίς σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητάς του, δηλαδή της αντίστασης που προβάλλει στην παραμόρφωση (M_{Rd} , V_{Rd}).

- Επιτρέπει την απόσβεση ενέργειας κατά την διάρκεια ενός σεισμού. (Όσο μεγαλύτερες είναι οι παραμορφώσεις ενός φορέα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόσβεση ενέργειας).
- Επιθυμητή** συμπεριφορά σε περίπτωση σεισμού

Σε περίπτωση σεισμού:

Με την αύξηση της οριζόντιας (αδρανειακής) δύναμης F λόγω σεισμού, το στοιχείο/ο φορέας πρέπει να μπορεί να παραμορφωθεί (μετακίνηση δ στο σχήμα) χωρίς να μειωθεί σημαντικά η αντίσταση που προβάλλει (M_{Rd} , V_{Rd}).



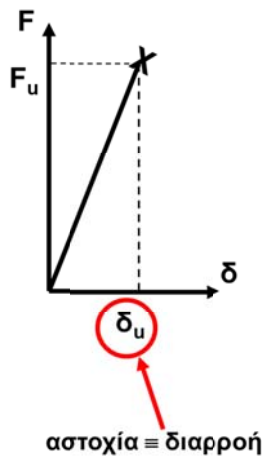
Φορέας που υποβάλλεται σε οριζόντια φόρτιση F λόγω σεισμού και αντίστοιχες παραμορφώσεις (οριζόντια μετακίνηση δ και στρόφες διατομών θ)

➡ Τι σημαίνει «ψαθυρή» συμπεριφορά ενός φέροντος στοιχείου/φορέα;

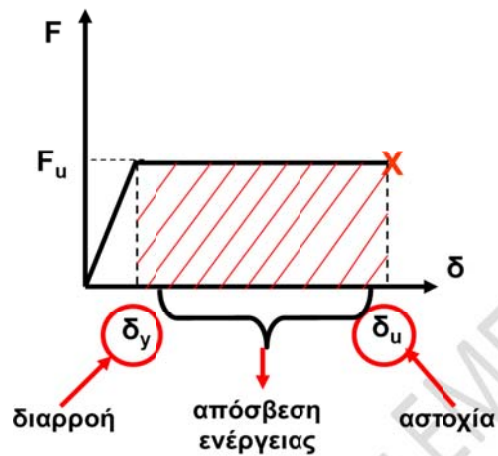
Είναι το αντίθετο της πλαστιμής συμπεριφοράς.

Όταν η δράση γίνει ίση με την αντίσταση στις διάφορες κρίσιμες διατομές του φορέα ($E_d = R_d$) ο φορέας καταρρέει απότομα σε μικρές παραμορφώσεις.

- ΔΕΝ επιτρέπει μεγάλη απόσβεση ενέργειας κατά την διάρκεια ενός σεισμού.
- Ανεπιθύμητη** συμπεριφορά σε περίπτωση σεισμού



Ψαθυρή συμπεριφορά
 \Rightarrow μικρό $\frac{\delta_u}{\delta_y}$



Πλάσטיμη συμπεριφορά
 \Rightarrow μεγάλο $\frac{\delta_u}{\delta_y}$

Πλάσטיμη και Ψαθυρή συμπεριφορά φορέα

όπου: δ_y = παραμόρφωση που οδηγεί σε διαρροή (yield)

δ_u = παραμόρφωση που οδηγεί σε αστοχία (ultimate)



Η **πλάσטיμη συμπεριφορά** ενός φορέα εξασφαλίζεται μέσω της σωστής διαστασιολόγησης:

- Τρόποι αστοχίας που οδηγούν σε **πλάσטיμη** συμπεριφορά:
 - Η αστοχία των δοκών να προηγείται της αστοχίας των υποστυλωμάτων σε έναν κόμβο
 - Αστοχία σε κάμψη με διαρροή του διαμήκους οπλισμού (άρα εξασφάλιση μικρού ποσοστού οπλισμού ρ στις δοκούς)
- Τρόποι αστοχίας που οδηγούν σε **ψαθυρή** συμπεριφορά:
 - Αστοχία έναντι τέμνουσας
 - α) Είτε διαγώνια θλιπτική αστοχία σκυροδέματος ($V_d \geq V_{Rd,max}$)
 - β) Είτε ανεπάρκεια συνδετήρων ($V_d \geq V_{Rd,s}$)
 - Αστοχία αγκυρώσεων
 - Αστοχία υποστυλωμάτων πριν την αστοχία των δοκών σε έναν κόμβο.
- Φέροντα στοιχεία που σχεδιάζονται χωρίς πλαστιμότητα (διότι θεωρούμε ότι συμπεριφέρονται ελαστικά):
 - Πλάκες, Θεμέλια

- Περί Αγκυρώσεων

Μήκος ℓ_b ευθύγραμμης αγκύρωσης ράβδου διαμήκους σπλισμού:


$$\ell_b = a \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

όπου:

\varnothing η διάμετρος της ράβδου

f_{bd} η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας σύμφωνα με τον Πίνακα 1

f_{yd} η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του χάλυβα (για B500 $f_{yd} = \frac{500 \text{ MPa}}{1.15}$)

$\alpha = 1$ ευθύγραμμη αγκύρωση 

$\alpha = 0.70$ καμπύλη αγκύρωση σε κόμβο 

Πίνακας 1: Βασικές τιμές του f_{bd} (MPa) (ΕΚΩΣ 2000)

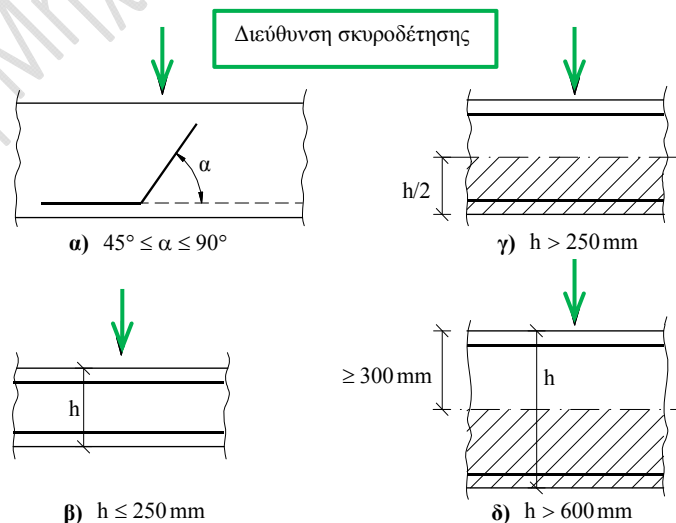
Περιοχή συνάφειας I	f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45
	Ράβδοι $\varnothing \leq 32$ υψηλής συνάφειας	1.65	2.00	2.32	2.69	3.04	3.37	3.68	3.99
Περιοχή συνάφειας II	70% των τιμών της περιοχής συνάφειας I								

Περιοχή συνάφειας I f_{bd}^I : Ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

→ κόμβοι, υποστυλώματα, οριζόντια στοιχεία (δοκοί, πλάκες) με ύψος ≤ 25 cm

Περιοχή συνάφειας II f_{bd}^{II} : Δυσμενείς συνθήκες συνάφειας

→ το επάνω τμήμα οριζόντιων στοιχείων (δοκών, πλακών) με ύψος > 25 cm



α,β) ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

γ,δ) ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας μόνο για ράβδους στις διαγραμμιζόμενες περιοχές

ΕΚΩΣ 2000 (Σ17.1)

Πίνακας 2α: Ελάχιστο μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης ℓ_b ράβδων διαμέτρου \varnothing , χάλυβα B500, σε συνθήκες ευνοϊκές (Ε) και δυσμενείς (Δ): δίνεται ο λόγος ℓ_b / \varnothing

		C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45
ℓ_b / \varnothing	E (I)	54	47	40	36	32	30	27
	Δ (II)	78	67	58	51	46	42	39

Πίνακας 2β: Ελάχιστο μήκος καμπύλης αγκύρωσης $\ell_{b,net} = 0.7\ell_b^I$ ράβδων διαμέτρου \varnothing , χάλυβα B500 για διάμετρο τυμπάνου καμπύλωσης $D \geq 20\varnothing$ (κόμβος: συνθήκες I (Ε))

	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45
$\ell_{b,net} / \varnothing$	38	33	28	25	23	21	19

Παράδειγμα: Ζητούνται τα μήκη αγκύρωσης ράβδου Φ16 σε σκυρόδεμα C20/25

- (1) ευθύγραμμης αγκύρωσης σε Δυσμενείς συνθήκες συνάφειας
- (2) καμπύλης αγκύρωσης $\ell_{b,net}$ σε ακραίο κόμβο

1) Μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης:

1α) Αναλυτικά:

Περιοχή συνάφειας II (από Πίνακα 1 για $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$):

$$f_{bd}^II = 0.70 \times f_{bd}^I = 0.70 \times 2.32 \text{ MPa} = 1.624 \text{ MPa}$$

$$\ell_b = a \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = 1.0 \times \frac{16 \text{ mm}}{4} \times \frac{500 / 1.15 \text{ MPa}}{1.624 \text{ MPa}} = 1071 \text{ mm} = 107 \text{ cm}$$

1β) Μέσω του Πίνακα 2α:

Από Πίνακα 2 για $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ και συνθήκες συνάφειας Δ:

$$\ell_b / \varnothing = 67 \rightarrow \ell_b = 67 \varnothing = 67 \times 16 \text{ mm} = 1072 \text{ mm} = 107 \text{ cm}$$

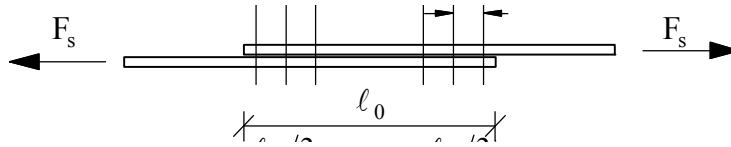
2) Μήκος καμπύλης αγκύρωσης σε ακραίο κόμβο:

Από Πίνακα 2β για $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$:

$$\ell_{b,net} / \varnothing = 33 \rightarrow \ell_b = 33 \varnothing = 33 \times 16 \text{ mm} = 528 \text{ mm} \approx 53 \text{ cm}$$



Μήκος υπερκάλυψης ℓ_0 διαμήκων ράβδων



$$\ell_0 = \alpha_1 \ell_b$$

όπου: ℓ_b το ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης της ράβδου με την μεγαλύτερη διάμετρο

α_1 = συντελεστής που εξαρτάται από το % των ράβδων που υπερκαλύπτονται σε μία διατομή
 = 1.50 για ποσοστό 100% των ράβδων: Ευρωκώδικας 2 ($\alpha_1=2.00$, ποσοστό 100% ΕΚΩΣ2000)
 = 1.40 για ποσοστό 50% των ράβδων: Ευρωκώδικας 2

★ Ανάγκη υπερκάλυψης ράβδων:

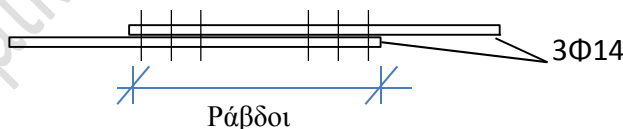
λ.χ. λόγω του μέγιστου ευθύγραμμου μήκους ράβδων στο εμπόριο: $L_{\max}=12 \text{ m}$ (ή 14m)

λ.χ. λόγω αναμονών κατακορύφων στοιχείων κατά την διακοπή σκυροδέτησης

Παράδειγμα:

Ζητείται το μήκος υπερκάλυψης διαμήκων ράβδων 3Φ14 στο άνω πέλμα δοκού Δ25/60 με σκυρόδεμα C20/25. Έστω ότι οι ράβδοι υπερκαλύπτονται και οι 3 στην ίδια διατομή.

- Συνθήκες συνάφειας (άνω ράβδοι σε δοκό $h=60 \text{ cm} > 25 \text{ cm}$): Δυσμενείς –Περιοχή συνάφειας II
 → από Πίνακα 2 για C20, Δ:
 $\ell_b / \varnothing = 67 \rightarrow \ell_b = 67 \varnothing = 67 \times 14 \text{ mm} = 938 \text{ mm} \approx 94 \text{ cm}$
- Υπερκαλύπτονται όλες οι ράβδοι στην ίδια διατομή: (ποσοστό 100%)
 → $\alpha_1 = 1.5$
 $\ell_0 = \alpha_1 \ell_b = 1.50 \times 94 \text{ cm} = 141 \text{ cm}$



- ➔ Ελάχιστη διάσταση υποστυλώματος h_c στο οποίο αγκυρώνονται ράβδοι δοκών διαμέτρου \varnothing_L παράλληλες προς την διάσταση h_c

Βάσει ΕΚΩΣ 2000

Ελάχιστο ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης ράβδου δοκού εντός υποστυλώματος:

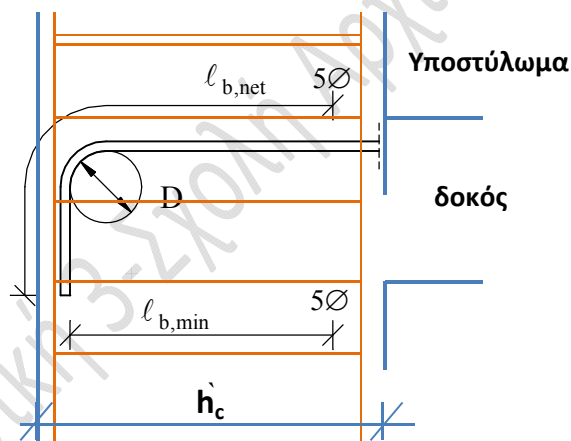
$$\ell_{b,min} = 0.3\ell_b \quad (1)$$

Στο μήκος (1) πρέπει να προστεθούν:

c πάχος επικάλυψης

\varnothing_w διάμετρος συνδετήρα υποστυλώματος, διότι το καμπύλο τμήμα του διαμήκους οπλισμού πρέπει να περιβάλλεται από τους συνδετήρες του υποστυλώματος

$5\varnothing_L$ διότι η διαρροή του διαμήκους οπλισμού της δοκού θεωρούμε ότι ενδέχεται να προχωρήσει μέσα από την παρειά του υποστυλώματος σε μήκος $5\varnothing_L$



Παράδειγμα:

Ζητείται το ελάχιστο πλάτος υποστυλώματος h_c για την αγκύρωση οπλισμού δοκού $\Phi 14$.
Σκυρόδεμα C20/25.

- Συνθήκες συνάφειας (εντός κόμβου): Ευμενείς – Περιοχή συνάφειας I

→ από Πίνακα 2 για C20, E:

$$\ell_b / \varnothing = 47 \rightarrow \ell_b = 47 \varnothing$$

- Εστω συνδετήρες υποστυλώματος: $\varnothing_w = 10 \text{ mm}$

Εστω πάχος επικάλυψης: c = 35 mm

$$h_c \geq 0.3\ell_b + 5\varnothing_L + \varnothing_w + c = 0.3 \times 47\varnothing_L + 5\varnothing_L + \varnothing_w + c = 19.1\varnothing_L + \varnothing_w + c \rightarrow$$

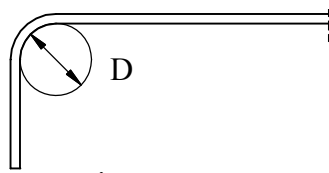
$$\rightarrow h_c \geq 19.1 \times 14 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 35 \text{ mm} = 312 \text{ mm} = 31.2 \text{ cm}$$

Πίνακας 3: Ελάχιστο πλάτος υποστυλώματος ($h_c - c - \varnothing_w$) σε cm
για την αγκύρωση ράβδων δοκού διαμέτρου \varnothing_L , χάλυβα B500 σε **ακραίο** κόμβο (ΕΚΩΣ 2000)

	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45
$(h_c - c - \varnothing_w) / \varnothing_{L,max}$	21.3	19	17.1	15.7	14.7	13.9	13.2

$\varnothing_{L,max}$: η μέγιστη διάμετρος του διαμήκους οπλισμού της δοκού που αγκυρώνεται στην διάσταση h_c του υποστυλώματος. (Ενδέχεται σε μία δοκό να χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία διαμέτροι ράβδων, λ.χ. $\varnothing 12$ και $\varnothing 14$).

➡ **Ελάχιστη Διάμετρος τυμπάνου καμπύλωσης οπλισμού στον κόμβο:** $D \geq 20 \varnothing_L$



Η μέση διατμητική τάση " τ_i ", ή μέση ανηγμένη τέμνουσα, που χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις κατά τον σχεδιασμό (λ.χ. στην διάτρηση) ορίζεται ως εξής:

$$\tau_i = \frac{V}{bh}$$

όπου: V = τέμνουσα που αναπτύσσεται στην διατομή

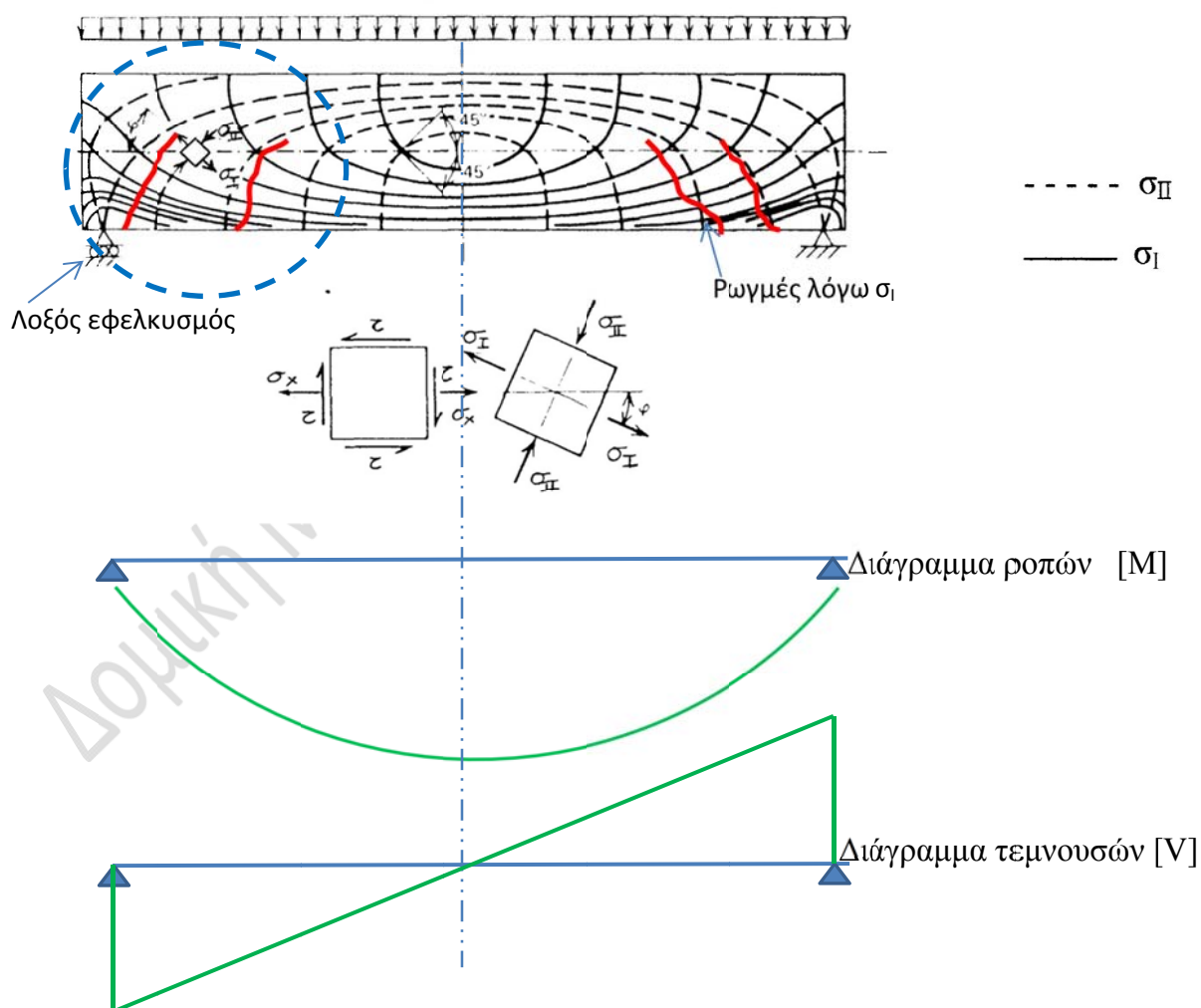
b, h = πλάτος και ύψος διατομής

Τάσεις που αναπτύσσονται λόγω ροπής και τέμνουσας

Στην περίπτωση μιας άοπλης αμφιέρειστης δοκού η οποία φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο, οι τροχιές των κύριων τάσεων " σ_I " που αναπτύσσονται προ της ρηγματώσεως (αν η δοκός θεωρηθεί ομογενής και ισότροπη) φαίνονται στο Σχήμα 2.

" σ_I " = κύριες εφελκυστικές τάσεις

" σ_{II} " = κύριες θλιπτικές τάσεις (κάθετες στις σ_I)



Σχήμα 2 – Εντατικά μεγέθη M, V και τροχιές κυρίων τάσεων σ_I, σ_{II} σε αμφιέρειστη δοκό

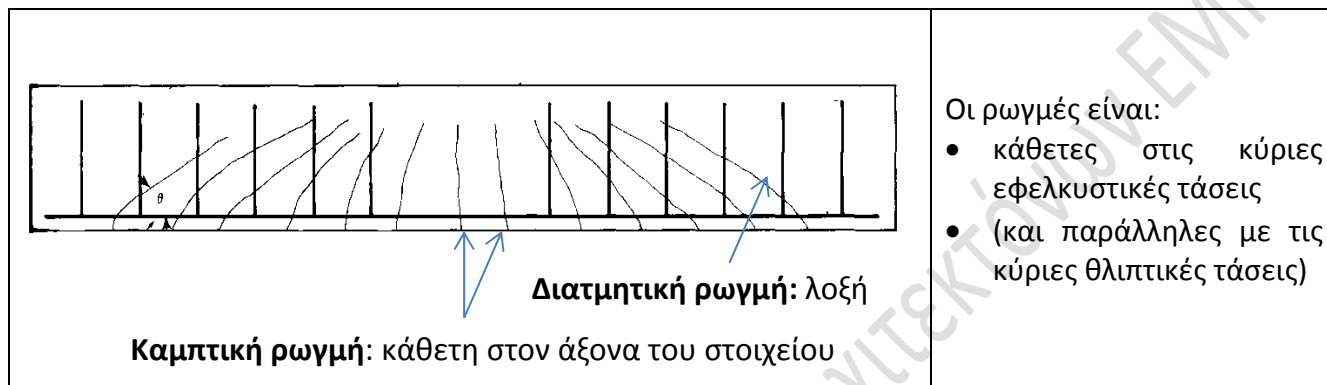


Οι ρωγμές λόγω εφελκυσμού ανοίγουν κάθετα στις κύριες εφελκυστικές τάσεις



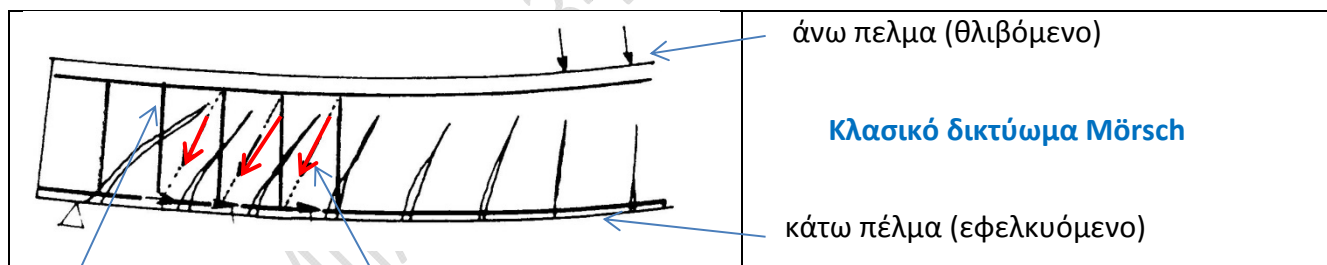
Αστοχία σε εφελκυσμό: διακεκριμένη ρωγμή

Σχήμα 3 – Ρηγμάτωση λόγω καθαρού εφελκυσμού



Σχήμα 4 – Μορφολογία ρηγμάτωσης αμφιέριστης δοκού υπό ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο

Προσομοίωμα μεταφοράς δυνάμεων σε γραμμικά στοιχεία



ορθοστάτης

θλιβόμενη διαγώνιος

Σχήμα 5– **Κλασικό δικτύωμα Mörsch** για διαστασιολόγηση γραμμικών στοιχείων έναντι τέμνουσας

- Το **άνω πέλμα** του δικτυώματος (θλιβόμενο πέλμα δοκού) θεωρούμε ότι αποτελείται από σκυρόδεμα και από τον θλιβόμενο διαμήκη οπλισμό.
- Το **κάτω πέλμα** του δικτυώματος (εφελκυσμένο πέλμα δοκού) αποτελείται από τον εφελκυσμένο διαμήκη οπλισμό.
- Οι **ορθοστάτες** υποκαθιστούν τους συνδετήρες
- Οι **θλιβόμενες διαγώνιοι** μεταξύ διαδοχικών ορθοστατών αποτελούνται από σκυρόδεμα.

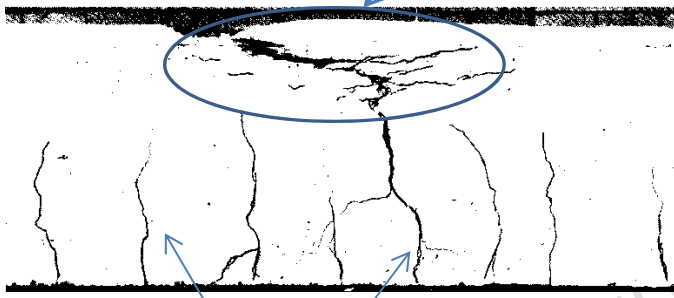
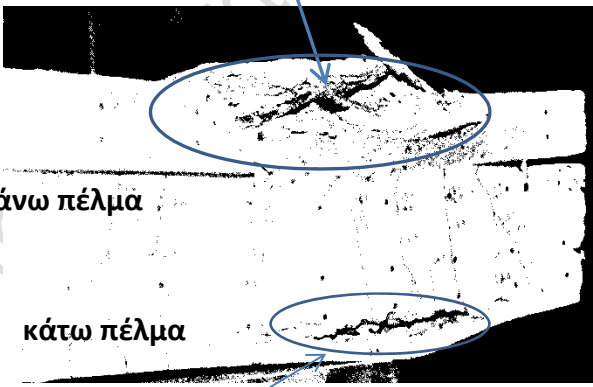
Περιγραφή τρόπων αστοχίας δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα

Ορισμός

«Γραμμικά στοιχεία» ονομάζονται τα στοιχεία των οποίων η μία διάσταση είναι κατά 5 φορές μεγαλύτερη από τις άλλες διαστάσεις τους.

λ.χ. δοκός με μήκος $L=5m$ για να θεωρηθεί γραμμικό στοιχείο θα πρέπει οι διαστάσεις της διατομής της να είναι μικρότερες από $1/5L = 1m$.

α) Τρόποι αστοχίας δοκού λόγω κάμψης

θλιπτική αστοχία σκυροδέματος	<u>εκτεταμένη θραύση</u> σκυροδέματος (λόγω θλιπτικής αστοχίας)
	 άνω πέλμα κάτω πέλμα
Καμπτικές ρωγμές λόγω εφελκυσμού	Αστοχία συνάφειας χάλυβα-σκυροδέματος

Σχήμα 6 – Πιθανές μορφές αστοχίας δοκού λόγω κάμψης

- **άνω πέλμα** του δικτυώματος: κίνδυνος θλιπτικής αστοχίας σκυροδέματος

→ όταν υπερβληθεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος



Ψαθυρός τρόπος αστοχίας (επιδίωξη αποφυγής κατά τον σχεδιασμό)

- **κάτω πέλμα** του δικτυώματος:

Οι καμπτικές ρωγμές δημιουργούνται όταν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος $\sigma > f_{ct}$, δηλαδή σε μικρή παραμόρφωση. Όσο αυξάνονται οι δρώσες ροπές, τόσο διευρύνονται οι ρωγμές (αφενός καθ' ύψος της δοκούς αλλά και το εύρος τους (=το ανοίγμα των ρωγμών) με αποτέλεσμα την διαρροή του διαμήκους εφελκυσμένου οπλισμού όταν $\epsilon_s = \epsilon_{sy}$

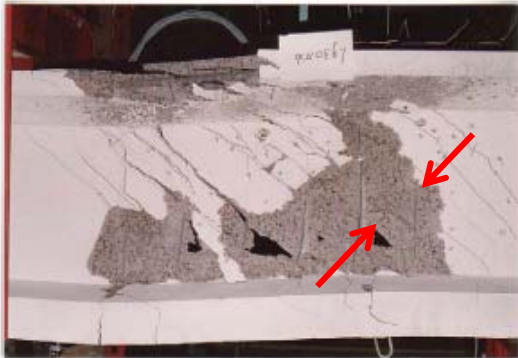


Πλάστιμος τρόπος αστοχίας (επιδιωκόμενος κατά τον σχεδιασμό)

β) Τρόποι αστοχίας δοκού λόγω τέμνουσας

β1) Αστοχία λόγω θλιπτικής αστοχίας του σκυροδέματος

(→έλεγχος επάρκειας θλιπτήρων δικτυώματος Morsch)

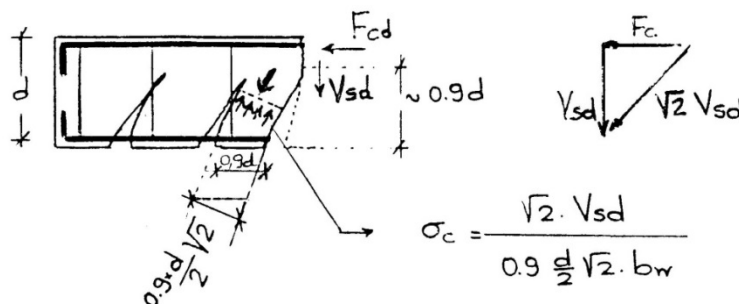


Πότε αποτρέπεται ο κίνδυνος διαγώνιας θλιπτικής αστοχίας του σκυροδέματος;

Πρέπει:

Η δρώσα τέμνουσα η παράλληλη με την διεύθυνση των ρωγμών ($=\sqrt{2}V_d$) να είναι μικρότερη από την αντοχή του στοιχείου σε διαγώνια θλίψη ($=V_{Rd,max}$).

- Για γωνία ρωγμών $\theta = 45^\circ$ από ανάλυση των δυνάμεων (Σχήμα 7) προκύπτει η ανίσωση που πρέπει να ισχύει προκειμένου να αποτραπεί η θλιπτική αστοχία του σκυροδέματος λόγω τέμνουσας.



Σχήμα 7 - Τάση σκυροδέματος λόγω λοξής θλίψεως διαγώνιων δικτυώματος Moersch.

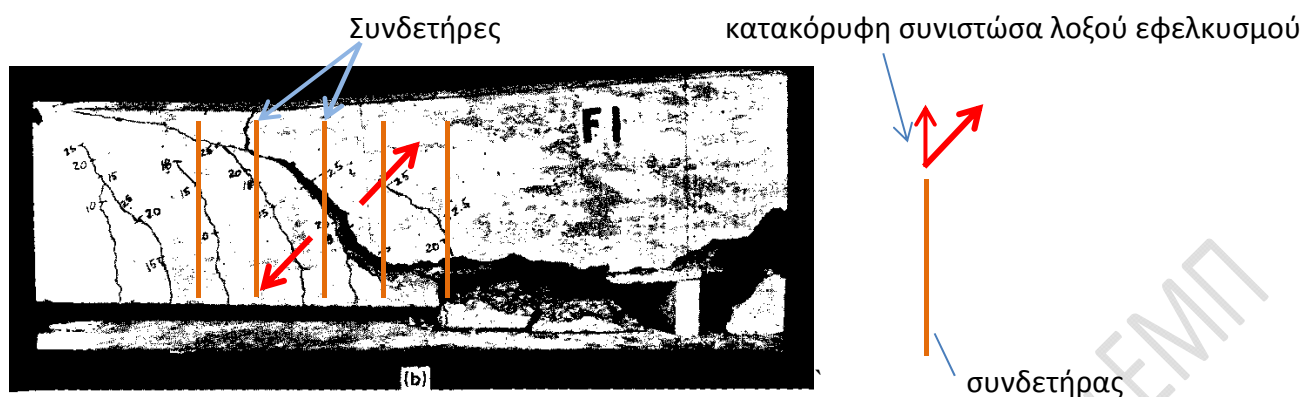
Υπολογίζεται η τάση σ_c που αναπτύσσεται στην διατομή του διαγώνιου θλιπτήρα του δικτυώματος Moersch (βλ. Σχήμα 7). Για να μην αστοχήσει ο θλιπτήρας πρέπει:

$$\sigma_c \leq v f_{cd} ,$$

όπου: $v = 0,70 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$ (μείωση αντοχής σκυροδέματος λόγω εγκάρσιου εφελκυσμού ΕΚΩΣ2000)

$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} 0.9 d v f_{cd} b_w \quad (\text{Εξ. 1})$$

β2) Αστοχία λόγω λοξού εφελκυσμού: (→έλεγχος επάρκειας ορθοστατών δικτυώματος Morsch)

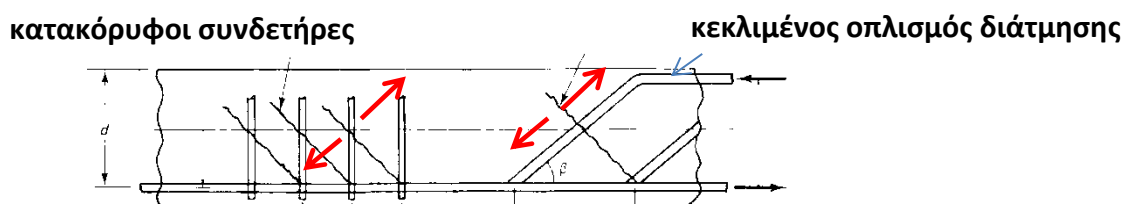


Σχήμα 7 – Διατμητική ρηγμάτωση λόγω λοξού εφελκυσμού

- Λόγω των λοξών εφελκυστικών τάσεων ανοίγουν λοξές («διατμητικές») ρωγμές. (Όταν τοπικά η κύρια τάση στο σκυρόδεμα γίνει ίση με την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος: $\sigma_c = f_{ct}$).
- Μετά την ρηγμάτωση αρχίζουν να ενεργοποιούνται οι συνδετήρες. (Διότι για να ενεργοποιηθεί μία ράβδος οπλισμού πρέπει να υπάρχει ανηγμένη παραμόρφωση, δηλαδή αύξηση του μήκους της. Αύξηση μήκους της ράβδου προϋποθέτει ρηγμάτωση του περιβάλλοντος σκυροδέματος).
- Εάν οι συνδετήρες επαρκούν για την ανάληψη της δρώσας τέμνουσας, τότε το εύρος (άνοιγμα) των ρωγμών παραμένει μικρό και η δοκός δεν κινδυνεύει να αστοχήσει όπως στο Σχήμα 7.

➡ Η βέλτιστη διάταξη του οπλισμού (ώστε να είναι κατά το δυνατόν αποτελεσματικότερος) είναι να τοποθετηθεί παράλληλα προς τις κύριες εφελκυστικές τάσεις.

Επειδή η διεύθυνση των λοξών εφελκυστικών τάσεων είναι μεταβαλλομένη, οι συνδετήρες τοποθετούνται κάθετα στον άξονα του στοιχείου και αναλαμβάνουν την κατακόρυφη συνιστώσα των λοξών εφελκυστικών δυνάμεων.





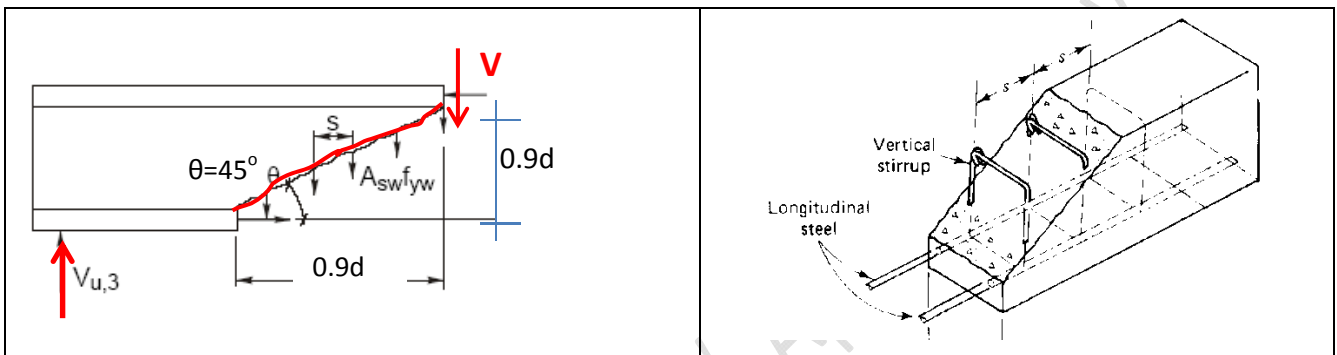
Πόσοι συνδετήρες χρειάζονται για να αποτραπεί ο κίνδυνος λόγω λοξού εφελκυσμού;

Πρέπει:

Οι συνδετήρες που κόβονται από μία πιθανή λοξή ρωγμή να μπορούν να αναλάβουν την δρώσα τέμνουσα.

Παραδοχές:

- Η γωνία θ της πιθανής διατμητικής ρωγμής ως προς τον άξονα του στοιχείου είναι: 45°
- Η κατακόρυφη προβολή της ρωγμής είναι $0.9d$



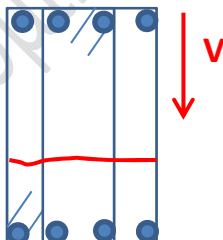
- Πλήθος συνδετήρων που κόβει η ρωγμή: $\frac{0.9d}{s}$, όπου s = απόσταση μεταξύ των συνδετήρων
- Μέγιστη δύναμη που μπορούν να αναλάβουν οι συνδετήρες που κόβονται από την ρωγμή:

Δύναμη = (πλήθος συνδετήρων) \times (φέρουσα ικανότητα ενός συνδετήρα)

$$V_{wd} = \left(\frac{0.9d}{s} \right) \times (A_{sw} \times f_{wyd}) = 0.9 \times d \times \frac{A_{sw}}{s} \times f_{wyd} \quad (\text{εξ. 2})$$

όπου s = απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

A_{sw} = διατομή όλων των σκελών του συνδετήρα των παράλληλων στην τέμνουσα



Παράδειγμα:

Πλήθος σκελών ενός συνδετήρα που κόβονται από την ρωγμή: 4

Διατομή δοκού

Οπλισμός: 4 ράβδοι εφελκυσόμενος + 4 ράβδοι εφελκυσόμενος + 4-τμητος συνδετήρας



ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

Ελέγχονται οι ανισώσεις ασφαλείας:

Δράση \leq Αντίσταση

$$E_d \leq R_d$$

$$V_d \leq V_{Rd}$$

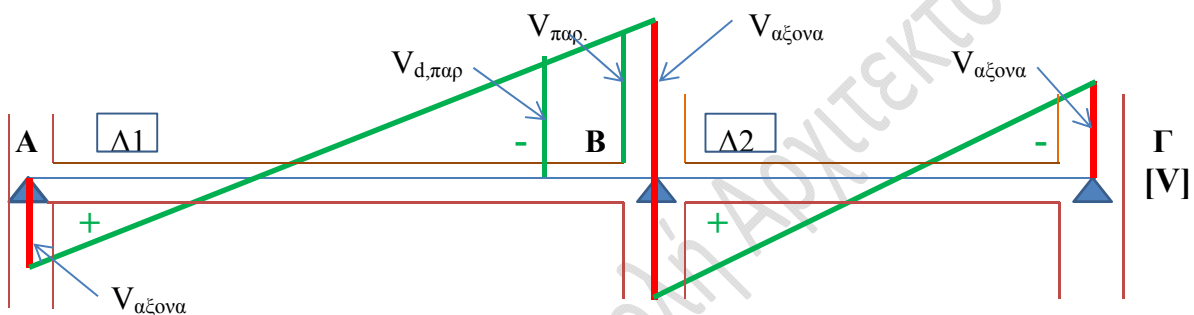
όπου:

E = Effect of actions (= αποτέλεσμα δράσεων: M_d, V_d)

R = Resistance (= αντίσταση)

d = design (μεγέθη σχεδιασμού που έχουν προκύψει από τα φορτία σχεδιασμού $1,35g+1.50q$)

V_d = η δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού



Διάγραμμα τεμνουσών κατά μήκος της δοκού

Γίνονται τρεις έλεγχοι:

1^{ος} Έλεγχος: Επάρκεια διατομής έναντι διαγώνιας θλίψης του σκυροδέματος

→ Για την αποφυγή της λοξής θλιπτικής αστοχίας σκυροδέματος

$$V_d \leq V_{Rd,max} \quad (A)$$

όπου:

V_d = η δρώσα τέμνουσα $V_{παρ}$ στην παρειά του στοιχείου (στον κόμβο)

→ Χάριν απλότητας μπορεί να λαμβάνεται η τέμνουσα που υπολογίζεται στον άξονα των στοιχείων, $V_{αξονα}$ (η οποία είναι μεγαλύτερη από την τέμνουσα παρειάς, $V_{παρ}$)

$V_{Rd,max}$ = η αντίσταση του στοιχείου έναντι λοξής θλίψης του σκυροδέματος

$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \times 0.9 \times d \times b_w \times \nu_1 \times f_{cd} \quad \text{με: } \nu_1 = 0.70 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \geq 0.50, \quad f_{ck} (MPa) \quad (\epsilon\chi.1)$$

ν_1 = συντελεστής μείωσης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος παρουσία εγκάρσιου εφελκυσμού (βάσει ΕΚΩΣ 2000)

Εάν δεν πληροίται η ανίσωση (A) υπάρχει κίνδυνος θλιπτικής αστοχίας του σκυροδέματος (εξαιρετικά ψαθυρή). Η μόνη λύση είναι η **αύξηση των διαστάσεων της διατομής**.

Η προσθήκη σπλισμού **ΔΕΝ** αποτρέπει την αστοχία αυτήν.

Αν $V_d > V_{Rd,max}$ απαιτείται

- είτε αύξηση του πλάτους b_w της δοκού
- είτε αύξηση του ύψους h_w (d) της δοκού

ισοδύναμα

2^{ος} Έλεγχος: Υπολογισμός απαιτούμενων συνδετήρων

→ Για την αποφυγή της αστοχίας έναντι λοξού εφελκυσμού απαιτείται η ύπαρξη επαρκών συνδετήρων ώστε να παραληφθεί η δρώσα τέμνουσα

$$V_d \leq V_{wd} \quad (A)$$

όπου:

V_d = η δρώσα τέμνουσα σε απόσταση d από την παρειά $V_{d,παρ}$ του στοιχείου (στον κόμβο)

→ Χάριν απλότητας μπορεί να λαμβάνεται η τέμνουσα που υπολογίζεται στον άξονα των στοιχείων, $V_{\alphaξονα}$ (η οποία είναι μεγαλύτερη από την τέμνουσα $V_{d,παρ}$)

V_{wd} = η δύναμη που μπορούν να αναλάβουν οι συνδετήρες (αντίσταση)

Για την επάρκεια ενός φέροντος στοιχείου έναντι λοξού εφελκυσμού:

Θα πρέπει η δρώσα τέμνουσα V_d να είναι μικρότερη από την αντοχή των συνδετήρων V_{wd} :

$$V_d \leq V_{wd} \rightarrow V_d \leq 0.9 \times d \times \frac{A_{sw}}{s} \times f_{wyd} \quad (\text{εξ. 2})$$

Στην (εξ. 2) υπάρχουν δύο παράμετροι:

- η διατομή των συνδετήρων A_{sw} , και
- η απόστασή τους s.



Για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων συνδετήρων γίνεται συνήθως η παραδοχή της διατομής των συνδετήρων:

α) της διαμέτρου των συνδετήρων: $\varnothing 8$, $\varnothing 10$ ή $\varnothing 12$ (σπανιότερα, μόνον για μεγάλες V_d)

β) των σκελών των συνδετήρων. Γενικώς 2-τμητος (= 2 σκέλη)*

→ και μετά από την (εξ. 2) υπολογίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση s

*Σημ. Στις δοκούς με συνήθη πλάτη ($b=25-40\text{ cm}$) κατά κανόνα τοποθετούνται δίτμητοι συνδετήρες, εκτός εάν η τέμνουσα είναι πολύ μεγάλη οπότε γαι την ανάληψή της ενδεχομένως να απαιτηθούν περισσότερα σκέλη.



Πρόταση:

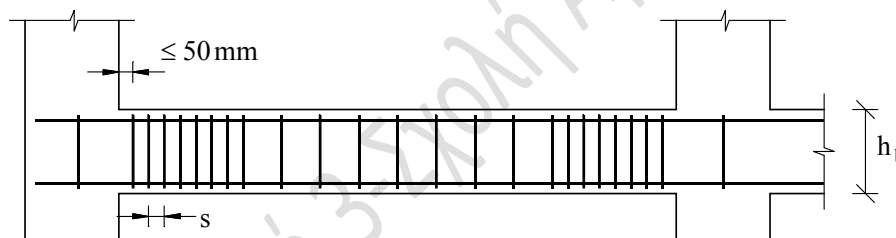
Μονάδες στην εξίσωση για τον προσδιορισμό της απόστασης s των συνδετήρων:

$$s(m) \leq \frac{0.9 \times d(m) \times A_{sw}(cm^2) \times f_{wyd}(MPa)}{V_d(kN)} \times 0.10 \quad (\text{εξ. 2α})$$

3^{ος} Έλεγχος: Μέγιστη απόσταση συνδετήρων

Οι αποστάσεις των συνδετήρων εντός της κρίσιμης περιοχής των δοκών (=σε απόσταση $2h$ από την παρειά της δοκού στον κόμβο –ΕΚΩΣ2000–) πυκνώνουν:

- Για την εξασφάλιση πλαστικής συμπεριφοράς σε περίπτωση σεισμού
- Λόγω των μεγαλύτερων αναπτυσσόμενων τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 8 – Πύκνωση των συνδετήρων των δοκών στις κρίσιμες περιοχές

Μέγιστη απόσταση συνδετήρων s_{max} εντός κρίσιμης περιοχής

- $h_b/3$ το $1/3$ του ύψους της δοκού
- $10 \varnothing_{L,min}$ 10 φορές τη διάμετρο της λεπτότερης διαμήκου ράβδου,
- $20 \varnothing_w$ 20 φορές τη διάμετρο των συνδετήρων,

Μέγιστη απόσταση συνδετήρων s_{max} σε περιοχές υπερκάλυψης διαμήκων ράβδων

- $h_b/4$ το $1/3$ του ύψους της δοκού
- $8 \varnothing_{L,min}$ 10 φορές τη διάμετρο της λεπτότερης διαμήκου ράβδου,
- 150 mm

⇒ Ενώσεις του διαμήκου οπλισμού με υπερκάλυψη επιτρέπονται μόνο εκτός των κρίσιμων περιοχών της δοκού (παρ. 18.3.4, 17.7.2.1 ΕΚΩΣ).



Συνιστάται να αποφεύγονται: Αποστάσεις συνδετήρων μικρότερες από 10-15cm.
Διάμετρος συνδετήρων $\varnothing 12$

Παράδειγμα:

Έστω δοκός με διατομή 25/40, στατικό ύψος $d=35\text{cm}$, ελάχιστη διάμετρο διαμήκουσ οπλισμού $\varnothing_{L,\min} = 14\text{ mm}$, σκυρόδεμα C20/30, χάλυβα B500, και δρώσα τέμνουσα $V_d=210\text{ kN}$. Ζητούνται:

α) Ο έλεγχος επάρκειας της δοκού

β) οι ελάχιστοι απαιτούμενοι συνδετήρες για την ασφαλή ανάληψη της τέμνουσας.

→ Έστω ότι θα χρησιμοποιηθούν δίτμητοι συνδετήρες διαμέτρου $\varnothing 8$: $A_w = 2 \times 0.50\text{cm}^2$

α) Έλεγχος επάρκειας της δοκού (εξ. 1):

$$V_{Rd,\max} = \frac{1}{2} \times 0.9 \times d \times b_w \times \nu_1 \times f_{cd} = \frac{1}{2} \times 0.9 \times 0.35\text{m} \times 0.25\text{m} \times 0.644 \times \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 338.1\text{ kN}$$

$$\text{όπου: } \nu_1 = 0.70 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.70 \times \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0.644 \geq 0.50, \quad f_{ck} (\text{MPa})$$

➡ Είναι $V_d = 210\text{ kN} < V_{Rd,\max} = 338.1\text{ kN}$: Η διατομή επαρκεί ✓

β) Υπολογισμός απαιτούμενων συνδετήρων (εξ. 2):

$$V_d \leq 0.9 \times d \times \frac{A_{sw}}{s} \times f_{wyd} \rightarrow s(m) \leq \frac{0.9 \times 0.35\text{m} \times (2 \times 0.5 \times 10^{-4}\text{m}^2) \times 500 / 1.15 \times 10^3\text{ kN/m}^2}{210\text{ kN}} = 0.064\text{m}$$

→ Σ $\varnothing 8/6$

Επειδή η απόσταση που προκύπτει είναι μικρή θα τεθούν συνδετήρες $\varnothing 10$: $A_w = 2 \times 0.79\text{cm}^2$

$$\text{Για } \underline{\text{δίτμητους}} \text{ } \Sigma \varnothing 10: \rightarrow s(m) \leq \frac{0.9 \times 0.35\text{m} \times (2 \times 0.79) \times 500 / 1.15}{210\text{ kN}} \times 0.10 = 0.102\text{m} \rightarrow \Sigma \varnothing 10/10$$

γ) Έλεγχος μέγιστης επιτρεπόμενης απόστασης συνδετήρων s_{\max} :

Μέγιστη απόσταση συνδετήρων s_{\max} εντός κρίσιμης περιοχής εκτός περιοχής υπερκάλυψης:

$$s_{\max} = \min \begin{cases} h_b/3 & = 35\text{cm} / 3 = 11.6\text{ cm} > 10\text{ cm} \\ 10 \varnothing_{L,\min} & = 10 \times 1.4\text{ cm} = 14\text{ cm} \\ 20 \varnothing_w & = 20 \times 1.0\text{ cm} = 20\text{ cm} \end{cases}$$

Αρα τίθενται συνδετήρες **$\Sigma \varnothing 10/10$**

- **Βήματα για τον υπολογισμό και την διαστασιολόγηση δοκών.**

Βήμα 1^ο: Υπόθεση διαστάσεων διατομής δοκού: b_w, h_w

Βήμα 2^ο: Υπολογισμός θεωρητικού μήκους δοκών ℓ_θ

Βήμα 3^ο: Εκτίμηση απόστασης d_1 (ΚΒ διαμήκους οπλισμού από παρειά δοκού) ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος (πάχος επικάλυψης, c)

Βήμα 4^ο: Έλεγχος λειτουργικότητας (το d που επελέγη πληροί $d \geq \frac{\alpha \ell_\theta}{20}$: αποφυγή ελέγχου βελών)

Βήμα 5^ο: Υπολογισμός εμβαδών επιρροής του φορτίου των πλακών στις δοκούς

Βήμα 6^ο: Μετατροπή του κατανεμημένου φορτίου πλακών σε ομοιόμορφο φορτίο

Βήμα 7^ο: Υπολογισμός των φορτίων σχεδιασμού p_d των δοκών (ομοιόμορφο κατανεμημένο)

Βήμα 8^ο: Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους δοκών, b_{eff}

Βήμα 9^ο: Στατική επίλυση (προσδιορισμός διαγραμμάτων M_d, V_d)

Βήμα 10^ο: Έλεγχος επάρκειας έναντι λοξής θλίψης (ενδεχόμενη αύξηση διαστάσεων b_w, h_w)

Βήμα 11^ο: Υπολογισμός ελάχιστου και μέγιστου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού, ρ_{min} και ρ_{max}

Βήμα 12^ο: Έλεγχος επάρκειας διατομής έναντι κάμψης

Βήμα 13^ο: Υπολογισμός ποσοστού απαιτούμενων διαμήκων οπλισμών λόγω M_d : ρ

Βήμα 14^ο: Επιλογή διαμέτρου ράβδων διαμήκους οπλισμού

14α: Έλεγχος ότι το πλάτος των υπ/των επαρκεί για την αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών

14β: Έλεγχος ότι οι διαμήκεις ράβδοι χωράνε στην διατομή

Βήμα 15^ο: Ενδεχόμενη αλλαγή διαστάσεων διατομής, υπολογισμός νέων ρ_{min} και ρ_{max} (Βήμα 11^ο) και επανέλεγχος διατομής (Βήμα 12^ο).

Βήμα 16^ο: Επιλογή ράβδων οπλισμού σε όλες τις θέσεις των δοκών

α) του οπλισμού που προέκυψε για την ανάληψη των ροπών M_d

β) του πρόσθετου οπλισμού που απαιτείται για λόγους αντισεισμικότητας (από κατασκευαστικές απαιτήσεις, άνευ υπολογισμών)

Βήμα 17^ο: Υπολογισμός λεπτομερειών όπλισης: Μήκη αγκύρωσης, D τυμπάνου καμπύλωσης, κλπ.

Βήμα 18^ο: Υπολογισμός συνδετήρων

Βήμα 19^ο: Σχεδιασμός αναπτυγμάτων διαμήκων οπλισμών

Βήμα 20^ο: Προμέτρηση υλικών (εάν ζητείται)

- Διευκρινίσεις σχετικά με ορισμένα από τα Βήματα 1 ως 21:

Βήμα 1^ο: Προεκτίμηση (παραδοχή) διαστάσεων διατομής δοκού: b_w , h_w

Για τον έλεγχο επάρκειας της διατομής μίας δοκού έναντι των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών (M_d , V_d) γίνεται αρχικώς **μία παραδοχή διαστάσεων**. Οι διαστάσεις αυτές μετά τους υπολογισμούς των εντατικών μεγεθών και των ελέγχων πιθανότατα θα χρειαστούν τροποποίηση:

- είτε να αυξηθούν (εάν δεν επαρκούν)
- είτε να μειωθούν εάν δεν απαιτείται τόσο μεγάλη διατομή.

➡ Συνήθως επιλέγεται το επιθυμητό πλάτος, b_w , της δοκού (λ.χ. καθορίζεται από το πάχος των τοίχων ώστε να μην προεξέχουν οι δοκοί) και καθορίζεται το ύψος βάσει των ελέγχων επάρκειας της διατομής έναντι των εντατικών μεγεθών (M_d , V_d).

Ελάχιστο επιτρεπόμενο πλάτος δοκών: $\min b_w = 25 \text{ cm}$

➡ Ύψος δοκών:

- Θεώρηση ενιαίου ύψους δοκού h μεγαλύτερου από εκείνο που προκύπτει από τον έλεγχο λειτουργικότητας (Βήμα 3^ο)
- Το φορτίο λόγω του ίδιου βάρους των δοκών θα υπολογιστεί για το h που υποθέσαμε.
- Μετά την στατική επίλυση και τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών (M_d , V_d), θα ακολουθήσει η διαστασιολόγηση (προσδιορισμός των διαστάσεων της διατομής) ώστε να αναλαμβάνονται με ασφάλεια τα εντατικά μεγέθη.
- Εάν η διατομή δεν επαρκεί, θα απαιτηθεί αύξηση των διαστάσεων της δοκού.

ΔΕΝ χρειάζεται να διορθωθεί το ίδιο βάρος και να γίνει πάλι η στατική επίλυση, καθώς οι διαφορές θα είναι αμεληταίες.



Στις δοκούς :

Ο καθοριστικός έλεγχος για τον προσδιορισμό του ελάχιστου ύψους ΔΕΝ είναι ο έλεγχος λειτουργικότητας (αποφυγή ακριβούς ελέγχου βελών).

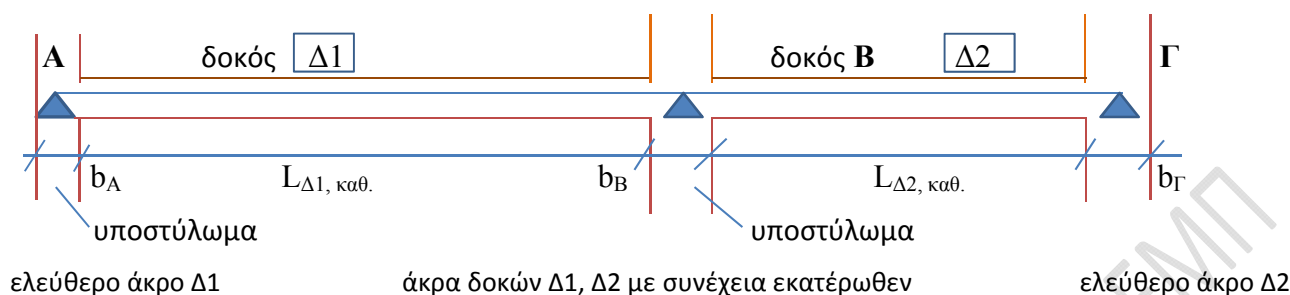
Το ελάχιστο ύψος προκύπτει κατά κανόνα από την διαστασιολόγηση έναντι κάμψης (ροπή M_d), και έναντι τέμνουσας (τέμνουσα V_d).



Στο τέλος της παρούσας ενότητας παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας με τις παραμέτρους που καθορίζουν το ελάχιστο και το μέγιστο ύψος δοκού.

Βήμα 2^ο: Υπολογισμός θεωρητικού μήκους δοκών ℓ_θ

→ Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τις πλάκες.

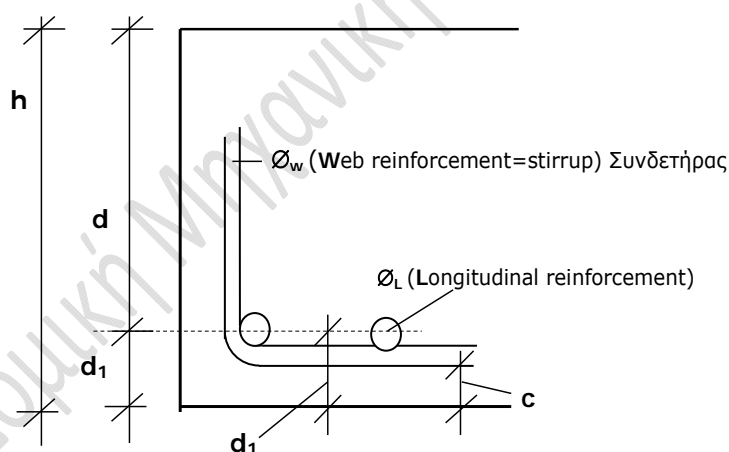


$$\ell_{\theta\Delta 1} = \min \left\{ \begin{array}{l} L_{\Delta 1, \text{ καθ.}} + b_A / 3 + b_B / 2 \\ L_{\Delta 1, \text{ καθ.}} \times 1.05 \end{array} \right.$$

«Συνέχεια» στο άκρο δοκού νοείται όταν πέρα από το άκρο αυτό υπάρχει άλλη δοκός κατά μήκος (όχι εγκάρσια): Στο σχήμα συνέχεια υπάρχει στο δεξιό άκρο της Δ1 και στο αριστερό άκρο της Δ2.

Βήμα 3^ο: Εκτίμηση απόστασης d_1 (ΚΒ διαμήκους οπλισμού από παρειά δοκού).

Το πάχος επικάλυψης, c , για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας του φέροντος οργανισμού υπολογίζεται ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος.



$$d_1 = c + \frac{1}{2} \varnothing_L + \varnothing_w$$

$$d = h - d_1$$

h = ύψος στοιχείου (height of the element)

d = στατικό ύψος στοιχείου (effective depth of element)

c = επικάλυψη οπλισμού (concrete cover)

d_1 = απόσταση Κ.Β. διαμ. οπλισμού από την εξωτερική επιφάνεια σκυροδέματος

\varnothing_L = διάμετρος ράβδου διαμήκους οπλισμού (Rebar diameter of longitudinal reinforcement)

\varnothing_w = διάμετρος ράβδου συνδετήρα (Rebar diameter of stirrup)



Για τον υπολογισμό του στατικού ύψους d γίνεται η παραδοχή διαμέτρου ράβδων (\max πιθανές $\varnothing \rightarrow \max d_l \rightarrow \min d \rightarrow$ περισσότερος οπλισμός: υπέρ της ασφαλείας)

Γενικώς μπορούν να λαμβάνονται:

- Διαμήκης οπλισμός $\varnothing_L = 20 \text{ mm}$
- Συνδετήρες $\varnothing_w = 10 \text{ mm}$



Εάν τελικώς κατά την διαστασιολόγηση επιλεγούν διαφορετικές διαμέτροι $\varnothing_L, \varnothing_w$ από αυτές που έχουν υποθεθεί για τον υπολογισμό του ύψους d , δεν χρειάζεται να ξαναγίνουν οι υπολογισμοί με το τροποποιημένο d , δεδομένου ότι το μικρότερο στατικό ύψος είναι δυσμενέστερο (οδηγεί σε περισσότερον οπλισμό).



Η απαίτηση του ελάχιστου πάχους επικάλυψης διαφέρει στους κανονισμούς ΕΚΩΣ 2000 (Ελληνικός Κανονισμός Ωπλ. Σκυροδέματος) και Ευρωκώδικα 2 -βλ. τα δύο σχετικά έγγραφα στο Mycourses-:

1. «επικάλυψη σκυροδέματος κατά ΕΚΩΣ»,
2. «επικάλυψη σκυροδέματος σύμφωνα με Ευρωκώδικα 2»

Βήμα 4^ο: Έλεγχος λειτουργικότητας (για την αποφυγή επακριβούς ελέγχου βελών κάμψης)

→ το d που επελέγη πρέπει να πληροί την σχέση: $d \geq \frac{\alpha \ell_\theta}{20}$

όπου: $\alpha = 1.00$ αμφιέριστη, $\alpha = 0.85$ μονόπακτη
 $\alpha = 0.70$ αμφίπακτη, $\alpha = 2.00$ πρόβολος
 ℓ_θ = θεωρητικό μήκος δοκού



Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμεύσει ως μία πρώτη εκτίμηση του στατικού ύψους d . Κατά κανόνα όμως το τελικό ύψος της δοκού προκύπτει λόγω των εντατικών μεγεθών M_d, V_d : ώστε οι διαστάσεις τις διατομής να επαρκούν για την ασφαλή ανάληψη των φορτίων.

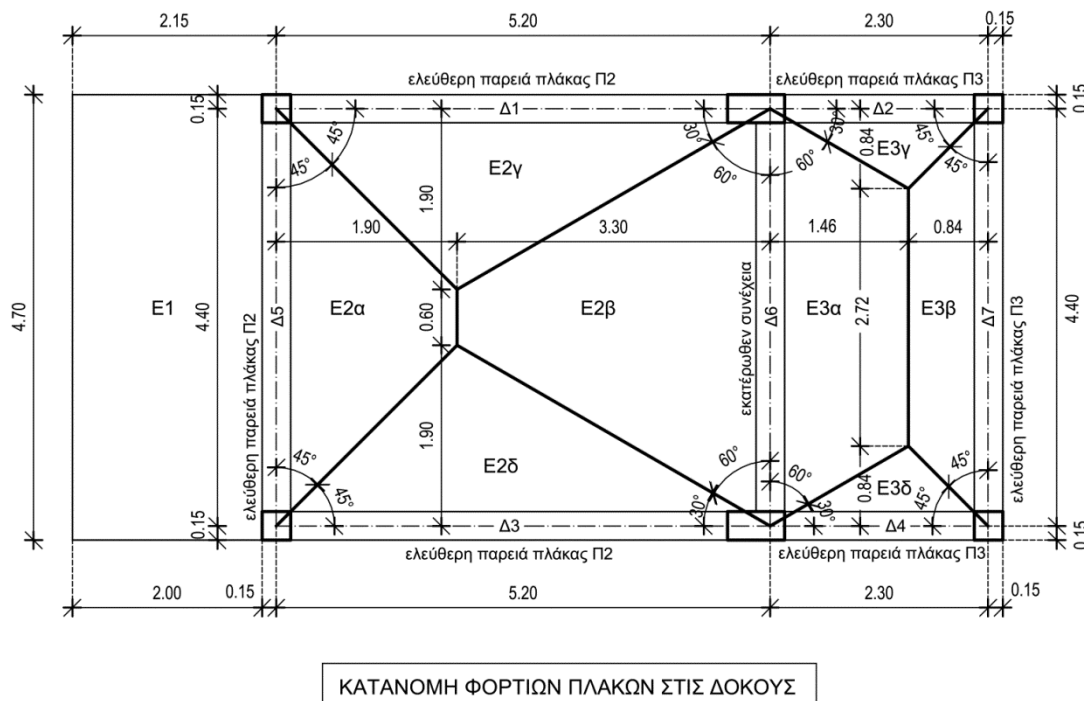
Η αντίστοιχη σχέση στις πλάκες είναι παρόμοια αλλά διαφέρει λίγο:

Στις **πλάκες**: $d \geq \frac{\alpha \ell_\theta}{30}$



όπου: $\alpha = 1.00$ αμφιέριστη, $\alpha = 0.80$ μονόπακτη
 $\alpha = 0.60$ αμφίπακτη, $\alpha = 2.40$ πρόβολος

Βήμα 5^ο: Υπολογισμός εμβαδών επιρροής του φορτίου των πλακών στις δοκούς



Πώς χαράσσονται οι γραμμές κατανομής των φορτίων των πλακών στις δοκούς:

- Από κάθε γωνία της πλάκας, στο σημείο τομής των αξόνων των δοκών, χαράσσονται ευθείες που σχηματίζουν με τους άξονες των δοκών τις εξής γωνίες:
 - **Γωνία 45°** : όταν υπάρχουν ίδιες συνθήκες συνέχειας εκατέρωθεν των δοκών
 Δηλαδή: είτε δεν υπάρχει πλάκα από την άλλη πλευρά και των 2 δοκών
 είτε υπάρχει πλάκα από την άλλη πλευρά και των 2 δοκών
 - **Γωνία 30° + 60°** : όταν ΔΕΝ υπάρχουν ίδιες συνθήκες συνέχειας εκατέρωθεν των δοκών
 60° ως προς την δοκό από την άλλη πλευρά της οποίας υπάρχει πλάκα (=συνέχεια)
 30° ως προς την δοκό από την άλλη πλευρά της οποίας δεν υπάρχει πλάκα

Βήμα 6^ο: Μετατροπή του κατανεμημένου φορτίου των πλακών σε ομοιόμορφο φορτίο

Στην δοκό Δ6 του σχήματος έστω ότι το επιφανειακό κατενεμημένο φορτίο των πλακών είναι: $g_{\pi\lambda}$ (kN/m²) και ότι ζητείται το γραμμικό ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο της δοκού Δ6 $g_{\delta\sigma\kappa}$ (kN/m)

$$g_{\delta\sigma\kappa} \left(\frac{kN}{m} \right) = \frac{(E2\beta + E3\alpha)m^2}{\ell_{\Delta 6, \theta}(m)} \times g_{\pi\lambda} \left(\frac{kN}{m^2} \right)$$

όπου E2β και E3α τα εμβαδά επιρροής του φορτίου των πλακών εκατέρωθεν της Δ6.

Βήμα 7^ο: Υπολογισμός των φορτίων σχεδιασμού p_d των δοκών (ομοιόμορφο κατανεμημένο)

→ Εξηγείται αναλυτικά στο λυμένο παράδειγμα των δοκών

Βήμα 8^ο: Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους δοκών, b_{eff}



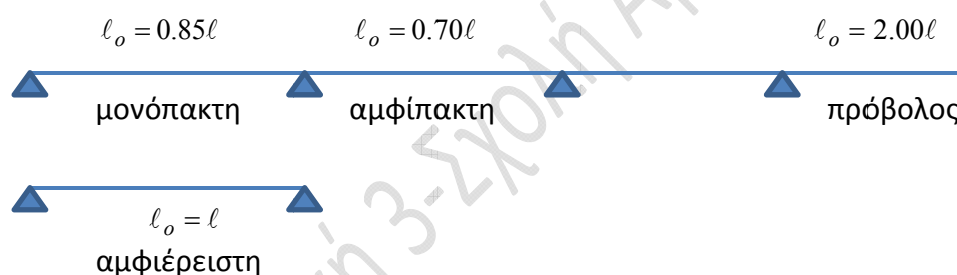
Κατά την κάμψη της δοκού συμμετέχει και η πλάκα στην ανάληψη της ροπής όταν η πλάκα θλίβεται λόγω της ροπής M_d .

Το πλάτος συμμετοχής της πλάκας στην κάμψη της δοκού συμβολίζεται με b_{eff}

Υπαρξη πλακών μόνον από μία πλευρά της δοκού: $\rightarrow b_{eff} = b_w + \frac{\ell_o}{10}$

Υπαρξη πλακών εκατέρωθεν της δοκού: $\rightarrow b_{eff} = b_w + 2\frac{\ell_o}{10} = b_w + \frac{\ell_o}{5}$

όπου ℓ_o = μήκος μεταξύ διαδοχικών σημείων μηδενισμού του διαγράμματος των ροπών



<p>Πλάκα υπό θλίψη</p>	<p>Πλάκα υπό θλίψη</p>	<p>Πλάκα υπό θλίψη</p>
κανονική δοκός	ανεστραμμένη δοκός	κανονική δοκός
Υπαρξη πλακών εκατέρωθεν της δοκού		Υπαρξη πλάκας μόνον από την μία πλευρά της δοκού



Σε κανονική δοκό: b_{eff} στον υπολογισμό του οπλισμού λόγω ροπής στο άνοιγμα

Σε ανεστραμμένη δοκό: b_{eff} στον υπολογισμό του οπλισμού λόγω ροπής στην στήριξη

Βήμα 9^ο : Στατική επίλυση (προσδιορισμός διαγραμμάτων M_d , V_d)

Οι δοκοί επιλύονται ως ανεξάρτητες δοκοί μεταξύ διαδοχικών στηρίξεων (με τις κατάλληλες συνθήκες στήριξης: απλή έδραση ή πάκτωση) με μήκος ίσο με το θεωρητικό ℓ_θ .

Βήμα 10^ο : Έλεγχος επάρκειας έναντι λοξής θλίψης

Ο έλεγχος αυτός είναι καλό να γίνεται αμέσως μετά την στατική επίλυση. Προϋποθέτει την γνώση μόνον των διαστάσεων της διατομής (b , d) και την ποιότητα του σκυροδέματος (f_{cd}).

Ενώ για τον έλεγχο επάρκειας έναντι κάμψης απαιτείται ο υπολογισμός των οπλισμών της διατομής.

Ελέγχεται η ανίσωση ασφαλείας:

Δράση \leq Αντίσταση

$$E_d \leq R_d$$

E =Effect of actions (=αποτέλεσμα δράσεων, R =Resistance)

$$V_d \leq V_{Rd,max}$$

(10.1)

όπου:

E = Effect of actions (= αποτέλεσμα δράσεων: M_d , V_d)

R = Resistance (= αντίσταση)

d = design (μεγέθη σχεδιασμού που έχουν προκύψει από τα φορτία σχεδιασμού $1,35g+1.50q$)

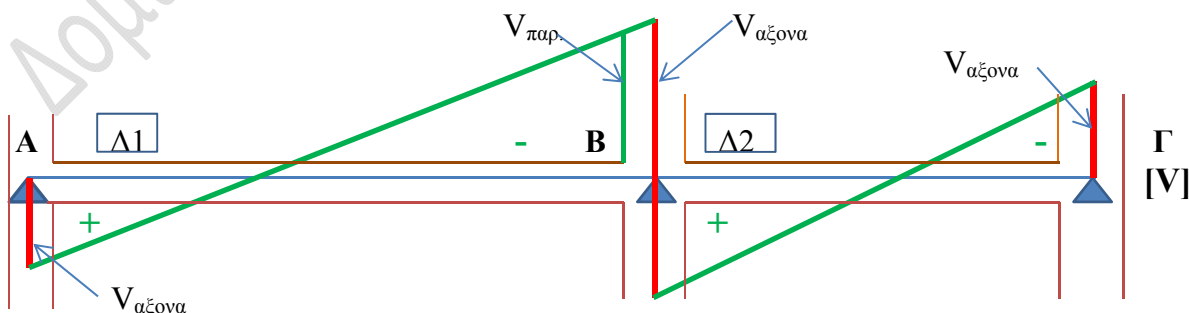
V_d = η δρώσα τέμνουσα $V_{παρ}$ στην παρειά του στοιχείου (στον κόμβο)

→ Χάριν απλότητας μπορεί να λαμβάνεται η τέμνουσα που υπολογίζεται στον άξονα των στοιχείων, $V_{αξονα}$ (η οποία είναι μεγαλύτερη από την τέμνουσα παρειάς, $V_{παρ}$)

$V_{Rd,max}$ = η αντίσταση του στοιχείου έναντι λοξής θλίψης του σκυροδέματος

$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \times 0.9 \times d \times b_w \times v_1 \times f_{cd} \quad \text{με: } v_1 = 0.70 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \geq 0.50, \quad f_{ck} (MPa) \quad (10.2)$$

v_1 = συντελεστής μείωσης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος παρουσία εγκάρσιου εφελκυσμού (βάσει ΕΚΩΣ 2000)



Εάν δεν πληροίται η ανίσωση (10.1) υπάρχει κίνδυνος θλιπτικής αστοχίας του σκυροδέματος (εξαιρετικά ψαθυρή). Η μόνη λύση είναι η **αύξηση των διαστάσεων της διατομής**.

Η προσθήκη οπλισμού **ΔΕΝ** αποτρέπει την αστοχία αυτήν.

Αν $V_d > V_{Rd,max}$ απαιτείται

- είτε αύξηση του πλάτους b_w της δοκού
- είτε αύξηση του ύψους h_w (d) της δοκού

} **ισοδύναμα**

Ο έλεγχος επάρκειας των διαστάσεων της διατομής έναντι λοξής θλίψης γίνεται ως εξής: Θεωρώντας πλάτος δοκού b_w , υπολογίζεται το ελάχιστο στατικό ύψος d της δοκού για το οποίο ισχύει η ανίσωση (10.1). Προφανώς ο έλεγχος γίνεται για την μεγαλύτερη τέμνουσα, V_d , που ασκείται στην δοκό.

$$V_d \leq V_{Rd,max} \rightarrow V_d \leq \frac{1}{2} \times 0.9 \times d \times b_w \times v_1 \times f_{cd} \rightarrow d \geq \frac{2 \times V_d}{0.9 \times b_w \times v_1 \times f_{cd}} \quad (10.3)$$


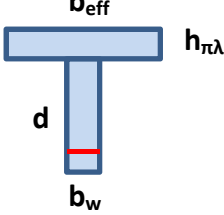
😊 Μετά την στατική επίλυση και τον προσδιορισμό του διαγράμματος τεμνουσών μπορεί να εκτιμηθεί από την (10.3) μία τιμή για το ελάχιστο στατικό ύψος, d , της διατομής.

Βήμα 11°: Υπολογισμός ελάχιστου και μέγιστου γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού, ρ_{min} και ρ_{max}

Γεωμετρικό ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού ρ δοκών:

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{\text{Εμβαδόν εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού}}{\text{Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος κάθετης στην διεύθυνση του διαμήκους οπλισμού}}$$

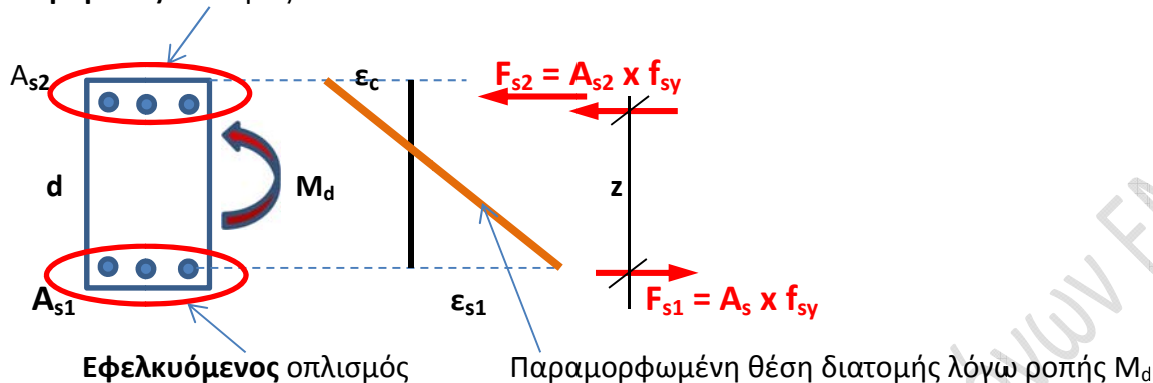
α) Εμβαδόν σκυροδέματος A_c :

 <p>$A_c = b_w \times d$</p>	 <p>$A_c = b_w \times (d - h_{\pi\lambda}) + b_{eff} \times h_{\pi\lambda}$</p>
Ορθογωνική διατομή	Πλακοδοκός
Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος A_c για τον υπολογισμό του γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού, ρ	

β) Οπλισμός A_s :

Το εμβαδόν όλων των ράβδων του **εφελκυσμένου** οπλισμού.

Θλιβόμενος οπλισμός



Ορισμοί:

Εφελκυσμένος οπλισμός: Ο οπλισμός που βρίσκεται στο τμήμα της διατομής που βρίσκεται υπό εφελκυσμό και ο οποίος συνυπολογίζεται για την ανάληψη της δρώσας ροπής M_d .

Θλιβόμενος οπλισμός: Ο οπλισμός που βρίσκεται στο τμήμα της διατομής που βρίσκεται υπό θλίψη. Ο οπλισμός αυτός συμμετέχει στην ανάληψη της δρώσας ροπής.

γ) Ελάχιστο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού δοκού:

➡ Για την αποφυγή ρηγμάτωσης (έλεγχος λειτουργικότητας) απαιτείται ελάχιστος εφελκυσμένος οπλισμός:

$$\rho_{\min} = \frac{1}{2} \frac{f_{ct,m}}{f_{yd}} \quad \text{Έλεγχος λειτουργικότητας (αποφυγή ρηγμάτωσης)} \quad (11.1)$$

όπου: $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3}$ Μέση εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος

$$\rightarrow A_{s,\min} = \rho_{\min} \times A_c$$

Πίνακας 4: Ελάχιστο γεωμετρικό ποσοστό ρ_{\min} (%) διαμήκους οπλισμού B500 δοκών

	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45
ρ_{\min} (%)	1.8	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7	4.0	4.4

δ) Μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού δοκού:



Προϋπόθεση για την πλαστική συμπεριφορά ενός φορέα στον σεισμό είναι η διαρροή του διαμήκους οπλισμού των δοκών.

Για τον λόγο αυτόν τίθεται άνω όριο στο ποσοστό του διαμήκους οπλισμού: ρ_{\max}

- Χάριν απλούστευσης του υπολογισμού του απαιτούμενου οπλισμού κάμψης των δοκών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας κάμψης παρουσία μόνον εφελκόμενου οπλισμού (δηλαδή να αγνοηθεί η συνεισφορά του θλιβόμενου οπλισμού).

Η αγνόηση του θλιβόμενου οπλισμού στον υπολογισμό της ροπής αντοχής M_{Rd} μίας διατομής είναι υπέρ της ασφαλείας.

Στην περίπτωση αυτή ως άνω όριο του γεωμετρικού ποσοστού του εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού μπορεί να ληφθεί το ποσοστό ω_1 πέρα από το οποίο για την εξασφάλιση διαρροής του διαμήκους οπλισμού ($\epsilon_{s1} \geq \epsilon_{sy1} = 2.17\text{‰}$) απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός.

Δηλαδή $\mu_d = 0.315$

$$\text{και } \omega_{1\max} = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = 0.425 \rightarrow \rho_{\max} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0.425 \rightarrow \rho_{\max} = 0.425 \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (11.2)$$

μ_{sd}	ω_1	$\xi_u = x_u/d$	$\zeta_u = z_u/d$	$\epsilon_c (\text{‰})$	$\epsilon_{s1} (\text{‰})$	$\sigma_{sd} \text{ (MPa)}$	
						S400	S500
0,020	0,020	0,030	0,988	3,50	113,17	347,826	434,783
0,290	0,375	0,545	0,773	3,50	2,92		
0,300	0,394	0,572	0,762	3,50	2,62		
0,310	0,413	0,601	0,750	3,50	2,32		
0,315	0,425	0,617	0,743	3,50	2,17		434,783
0,320	0,434	0,630	0,738	3,50	2,06		410,559
0,330	0,455	0,662	0,725	3,50	1,79	347,826	357,830
0,340	0,478	0,695	0,711	3,50	1,54	307,057	307,057
0,350	0,503	0,731	0,696	3,50	1,29	257,837	257,837



Διαρροή διαμήκους οπλισμού: ανηγμένη παραμόρφωση εφελκόμενου χάλυβα:

$$\epsilon_{s1} \geq \epsilon_{sy1} = 2.17\text{‰} \quad \text{όπου: } \epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500/1.15 \text{ MPa}}{200.000 \text{ MPa}} = 2.17\text{‰}$$

Για $\mu_d < 0.315$: \rightarrow ο εφελκόμενος οπλισμός διαρρέει και $\epsilon_{s1} \geq \epsilon_{sy1} = 2.17\text{‰}$

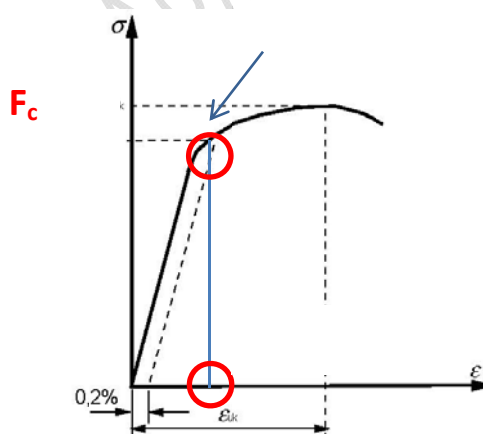
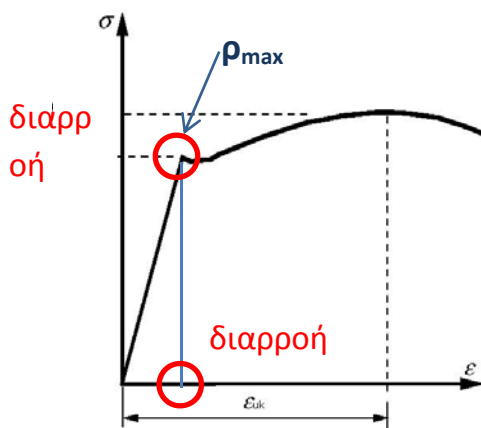
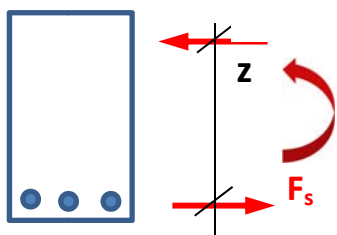
Για $\mu_d > 0.315$: \rightarrow ο εφελκόμενος οπλισμός δεν διαρρέει $\epsilon_{s1} < \epsilon_{sy1} = 2.17\text{‰}$

Επομένως:

Το ελάχιστο στατικό ύψος, d , της διατομής για το οποίο ο διαμήκης οπλισμός διαρρέει (με την υπόθεση ότι αμελούμε τον θλιβόμενο οπλισμό) είναι:

Πίνακας Κάμψης με μόνον εφελκόμενο οπλισμό: $\omega_{\max}=0.425 \rightarrow \mu_d = 0.315$

$$\mu_d = \frac{M_d}{bd^2 f_{cd}} \leq 0.315 \rightarrow d \geq \sqrt{\frac{M_d}{0.315 \times b \times f_{cd}}} \quad (11.3)$$



Χάλυβας κατεργασμένος εν θερμώ $f_{sy}=500\text{MPa}$

Χάλυβας κατεργασμένος εν ψυχρώ **B500**

Διάγραμμα τάσεων (σ)–ανηγμένων παραμορφώσεων (ϵ_s) χάλυβα (εφελκυσμός και θλίψη)

Η διαρροή του διαμήκους οπλισμού επιτρέπει τις αυξημένες παραμορφώσεις του φορέα, που οδηγούν σε πλάσιμη συμπεριφορά του φορέα. Με την προϋπόθεση, βεβαίως, ότι έχει αποκλειστεί το ενδεχόμενο ψαθυρών μορφών αστοχίας.

Ενδεικτικά:

- ανηγμένη παραμόρφωση αστοχίας χάλυβα: $\epsilon_{su} = 65 \%$ (σε θλίψη + εφελκυσμό)
- ανηγμένη παραμόρφωση αστοχίας σκυροδέματος: $\epsilon_{cu} = 3.5\%$ (σε θλίψη)

➡ το σκυρόδεμα αστοχεί **ψαθυρά**, ενώ ο χάλυβας αστοχεί **πλάστιμα**...

Επί πλέον –προαιρετικές- πληροφορίες:



Βάσει του ΕΚΩΣ 2000, για δοκούς με απαιτήσεις αντισεισμικότητας το **μέγιστο** γεωμετρικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού δοκών :

Άνοιγμα: $\rho_{\max} = \frac{7}{f_{yd}} = \frac{7}{500/1.15} = 0.0161 = 1.61\% \rightarrow \omega_{\max} = \rho_{\max} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} =$

$$\rho_{\max} = \frac{A_{s,\max}}{b \times d} \rightarrow A_{s,\max} = \rho_{\max} \times b \times d = \frac{1.61}{100} \times b \times d$$

Στήριξη:

$$\rho_{\max} = 0.65 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015 \leq \frac{7}{f_{yd}} = 1.61\% \quad (A)$$

Όπου ρ' = το γεωμετρικό ποσοστό του θλιβόμενου διαμήκους οπλισμού στην στήριξη.

Για λόγους αντισεισμικότητας πρέπει να είναι: $\frac{\rho'}{\rho} \geq 0.50$

(11.4)

Για $\frac{\rho'}{\rho} = 0.50 \rightarrow$

$$\rho_{\max} = 0.65 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015 = 0.65 \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \times 0.50 + 0.0015 = 0.325 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + 0.0015 < 1.61\%$$

Βάσει της (11.4) $\left(\frac{\rho'}{\rho} = 0.50 \right)$ το μέγιστο γεωμετρικό ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού δοκών δίνεται στον Πίνακα 5 βάσει ΕΚΩΣ2000 **για δοκούς με απαιτήσεις αντισεισμικότητας:**

Πίνακας 5: Μέγιστο γεωμετρικό ποσοστό ρ_{\max} (‰), αντίστοιχα ω_{\max} διαμήκους οπλισμού B500 δοκών **στην στήριξη** και αντίστοιχα μ_d (από πίνακα κάμψης μόνον εφελκυσμένου)

	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45
ρ_{\max} (‰)	9.5	11.5	14.0	16.1	16.1	16.1	16.1
$\omega_{\max} \cdot 10^{-3}$	386	374	364	350	300	263	233
μ_d	0.296	0.289	0.284	0.276	0.246	0.221	0.200

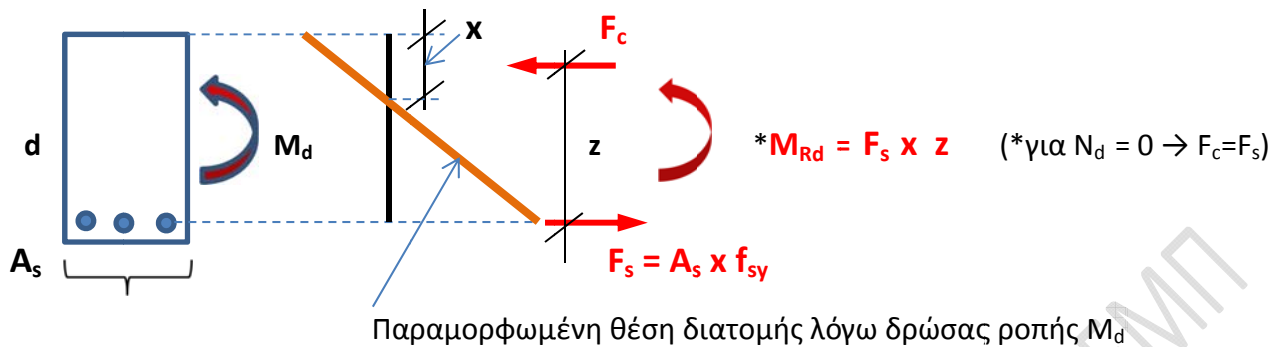
όπου: $\omega_{\max} = \rho_{\max} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$

Πίνακας 6: Μέγιστο γεωμετρικό ποσοστό ρ_{\max} (‰) και αντίστοιχο ω_{\max} διαμήκους οπλισμού B500 δοκών **στο άνοιγμα***

	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45
ρ_{\max} (‰)	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1
$\omega_{\max} \cdot 10^{-3}$	656	525	420	350	300	263	233

* Στο άνοιγμα των δοκών δεν απαιτείται πλαστιμότητα γι' αυτό τα % οπλισμού είναι μεγαλύτερα απ' ό,τι στην στήριξη (δεν είναι απαραίτητη η διαρροή του διαμήκους οπλισμού).

Βήμα 12^ο: Έλεγχος επάρκειας διατομής έναντι κάμψης



M_d = ροπή σχεδιασμού (από την στατική επίλυση)

→ **δράση**

M_{Rd} = Ροπή αντοχής διατομής (αντίσταση στην επιβαλλόμενη ροπή)

→ **αντίσταση**

z = μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων

x = ύψος θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος

F_c = θλιπτική δύναμη σκυροδέματος (εσωτερική δύναμη)

F_s = εφελκυστική δύναμη χάλυβα (εσωτερική δύναμη)



*(Η διατομή στρέφεται έτσι ώστε να αναπτυχθούν εσωτερικά εντατικά μεγέθη, F_c , F_s , ικανά να ισορροπήσουν τα εξωτερικά επιβαλλόμενα εντατικά μεγέθη, εν προκειμένω την ροπή M_d).

→ Όταν η δράσα αξονική δύναμη N στην διατομή είναι $N=0$, τότε $F_c = F_s$ και **$M_{Rd} = F_s \times z$**



Για να επαρκεί μία διατομή σε κάμψη, δηλαδή να μπορεί να αναλάβει με ασφάλεια την δράσα ροπή σχεδιασμού M_d λόγω των φορτίων σχεδιασμού (η οποία προκύπτει από την στατική επίλυση) πρέπει να πληροίται η ανίσωση ασφαλείας:

Δράση ≤ Αντίσταση

$$M_d \leq M_{Rd}$$

(12.1)



Δηλαδή: Να διαθέτει επαρκείς διαστάσεις σε συνδυασμό με επαρκή διαμήκη οπλισμό

Αν $M_d > M_{Rd}$

απαιτείται

είτε αύξηση του πλάτους b_w της δοκού
(λιγότερο αποδοτικό από την αύξηση του ύψους h_w)

είτε αύξηση του ύψους h_w της δοκού
(πιο αποδοτικό λόγω αύξησης του μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων)

Έστω ότι θέλουμε να διαστασιολογήσουμε μία διατομή πλάτους b_w έτσι ώστε να αναλάβει δρώσα ροπή M_d .

Εξετάζονται δύο περιπτώσεις:

- (1) Ύψος διατομής: h_1
- (2) Ύψος διατομής: $h_2 > h_1$

Ερώτημα: Ποια από τις δύο διατομές θα έχει λιγότερο οπλισμό και γιατί;

Απάντηση: Η διατομή (2) λόγω μεγαλύτερου ύψους από την (1): $h_2 > h_1$ θα έχει και μεγαλύτερο μοχλοβραχίονα z εσωτερικών δυνάμεων κατά την στρόφη* της διατομής: $z_2 > z_1$. Δεδομένου ότι ασκείται η ίδια δρώσα ροπή M_d και στις δύο περιπτώσεις, η ροπή αντίστασης της διατομής θα είναι ίση και στις δύο περιπτώσεις:

$$(1) M_d \leq M_{Rd1} = F_{s1} \times z_1$$

$$(2) M_d \leq M_{Rd2} = F_{s2} \times z_2$$

Για την περίπτωση ισότητας δρώσας ροπής M_d και ροπής αντίστασης M_{Rd} της διατομής:

$$M_{Rd} = M_{Rd1} = M_{Rd2} \rightarrow F_{s1} \times z_1 = F_{s2} \times z_2 \rightarrow (A_{s1} f_{sy}) \times z_1 = (A_{s2} f_{sy}) \times z_2 \rightarrow$$

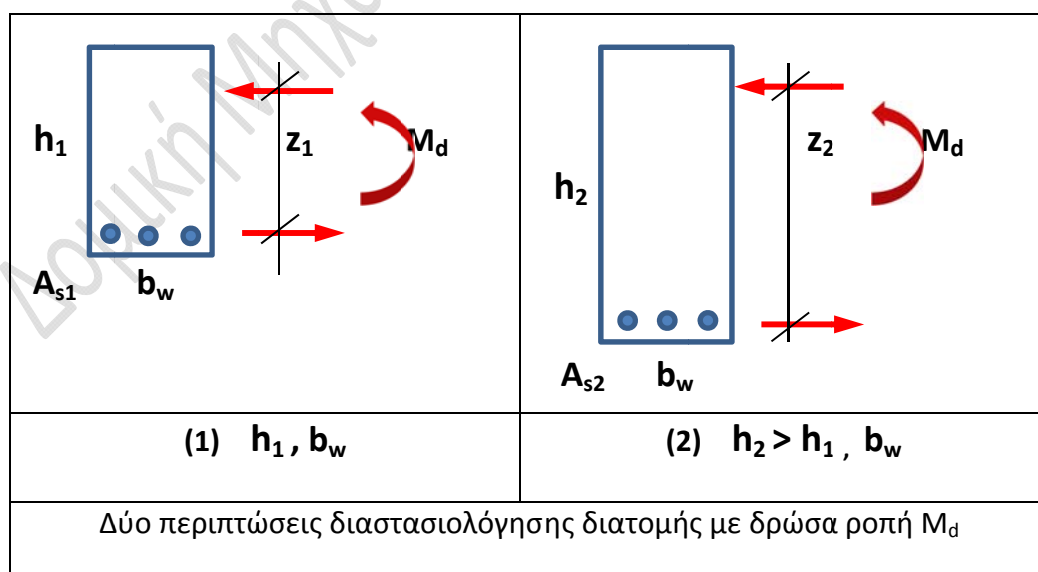
$$\rightarrow A_{s1} \times z_1 = A_{s2} \times z_2 \quad (11.2)$$

Εφόσον $z_2 > z_1$, από την (11.2) προκύπτει ότι: $A_{s1} > A_{s2}$

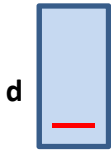
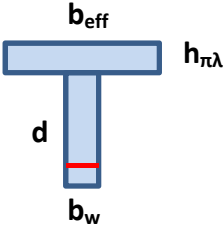


Επομένως:

Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος μιας διατομής, τόσο λιγότερος οπλισμός απαιτείται για την ανάληψη μίας συγκεκριμένης δρώσας ροπής M_d (για ίδιο πλάτος διατομής b_w , για τα ίδια χαρακτηριστικά χάλυβα f_{sy}).



Βήμα 13^ο: Υπολογισμός ποσοστού απαιτούμενων διαμήκων οπλισμών λόγω M_d : ρ

 $A_c = b_w \times d$	 $A_c = b_w \times (d - h_{\pi\lambda}) + b_{eff} \times h_{\pi\lambda}$
Ορθογωνική διατομή	Πλακοδοκός
Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος A_c για τον υπολογισμό του γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού: ρ , ρ_{min} , ρ_{max}	

- Ορθογωνική διατομή δοκού: (πλάτος διατομής b_w)

$$\mu_d = \frac{M_d}{b_w d^2 f_{cd}} \rightarrow \omega \quad \text{από Πίνακα κάμψης ορθογωνικής διατομής (μόνον με εφελκυσμένο)}$$

$$\omega = \frac{A_s}{b_w d} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \rightarrow A_s = \omega \times b_w \times d \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{Θα πρέπει} \quad A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

- Διατομή δοκού Πλακοδοκός: (συνεργαζόμενο πλάτος διατομής b_{eff})

$$\mu_d = \frac{M_d}{b_{eff} d^2 f_{cd}} \rightarrow \omega \quad \text{από Πίνακα κάμψης ορθογωνικής διατομής (μόνον με εφελκυσμένο)*}$$

$$\omega = \frac{A_s}{b_{eff} d} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \rightarrow A_s = \omega \times b_{eff} \times d \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{Θα πρέπει} \quad A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$



Στην περίπτωση πλακοδοκού για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας κάμψης για ορθογωνικές διατομές θεωρώντας ως πλάτος διατομής το συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού b_{eff} .

Πρέπει να γίνει έλεγχος εάν για την δρώσα ροπή M_d , (δηλαδή για το αντίστοιχο ανηγμένο μ_d) το ύψος της θλιβόμενης ζώνης, x , βρίσκεται ή όχι μέσα στο πάχος της πλάκας $h_{\pi\lambda}$.

- Εάν $x \leq h_{\pi\lambda}$ (αυτό συμβαίνει σχεδόν πάντοτε)
 - όλη η πλάκα θλίβεται (λόγω των ορθών τάσεων)
 - Η παραδοχή της ορθογωνικής διατομής με $b_w = b_{eff}$: **ΣΩΣΤΗ**

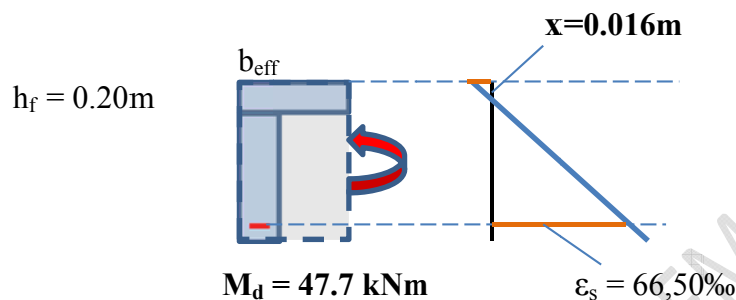
- Εάν $x > h_{\pi\lambda}$ (σπάνιο)
 - Λόγω των ορθών τάσεων θλίβεται όλη η πλάκα στο b_{eff} αλλά και ένα τμήμα του κορμού της δοκού $b=b_w$. Επομένως είναι λάθος να θεωρήσουμε ότι η δοκός είναι ορθογωνική με πλάτος $b_w = b_{eff}$.



Το ύψος x της θλιβόμενης ζώνης υπολογίζεται από τον Πίνακα κάμψης ορθογωνικής διατομής $\mu_d \rightarrow \xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \times d$

Παράδειγμα:

$x=0.016\text{m} < h_{\pi\lambda} = 0.20\text{m} \rightarrow$ η διατομή μπορεί να θεωρηθεί ορθογωνική με πλάτος b_{eff}



Βήμα 14^ο: Επιλογή διαμέτρου ράβδων διαμήκους οπλισμού

➡ Στις δοκούς χρησιμοποιούνται ράβδοι: Ø12, Ø14, Ø16, Ø18, Ø20 (καλό να αποφεύγεται)

Εμβαδά διατομών, A_s :

Ø (mm)	A_s (cm ²)
12	1.13
14	1.54
16	2.00
18	2.54
20	3.14

Βήμα 14α: Έλεγχος ότι το πλάτος των υπ/των επαρκεί για την αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών

➡ Ανάλογα με την διάσταση του υποστυλώματος την παράλληλη στον άξονα της δοκού (δηλαδή την διάσταση του υποστυλώματος στην οποία εδράζεται η δοκός) επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί διάμετρος διαμήκους οπλισμού η οποία να εξασφαλίζει την επαρκή αγκύρωση του διαμήκους οπλισμού της δοκού στο υποστύλωμα, βάσει του Πίνακα 3 («περί Αγκυρώσεων»).

Πίνακας 3: Ελάχιστο πλάτος υποστυλώματος ($h_c - c - \varnothing_w$) σε cm

για την αγκύρωση ράβδων δοκού διαμέτρου \varnothing_L χάλυβα B500 σε ακραίο κόμβο (ΕΚΩΣ 2000)

	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45
$(h_c - c - \varnothing_w) / \varnothing_{L,\max}$	21.3	19	17.1	15.7	14.7	13.9	13.2

$\varnothing_{L,\max}$: η μέγιστη διάμετρος του διαμήκους οπλισμού της δοκού που αγκυρώνεται στην διάσταση h_c του υποστυλώματος. (Ενδέχεται σε μία δοκό να χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία διαμέτροι ράβδων, λ.χ. Ø12 και Ø14).

Βήμα 14β: Έλεγχος ότι οι διαμήκεις ράβδοι χωράνε στην διατομή

→ **Ελάχιστη καθαρή απόσταση, s_L** , μεταξύ των ράβδων οπλισμού στην ίδια στρώση: εκτός των περιοχών ενώσεων (υπερκάλυψης)

- η μεγαλύτερη διάμετρος των ράβδων
- 20 mm,
- $d_{\alpha\delta\rho} + 5 \text{ mm}$, όπου $d_{\alpha\delta\rho}$ = διάσταση μεγίστου κόκκου αδρανών

→ **Ελάχιστη καθαρή απόσταση, s_1** , μεταξύ σειρών ράβδων οπλισμού:

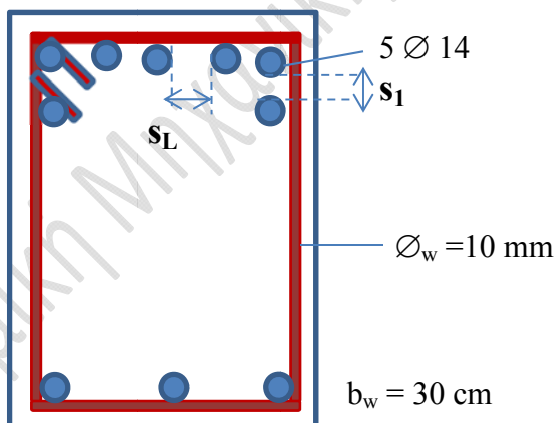
- 25 mm,
- $\geq 2/3 d_{\alpha\delta\rho}$, όπου $d_{\alpha\delta\rho}$ = διάσταση μεγίστου κόκκου αδρανών

➡ Καλό είναι να αποφεύγεται η τοποθέτηση διαμήκων ράβδων (εκτός περιοχών επικάλυψης) σε δύο στρώσεις (εκτός των περιοχών υπερκάλυψης), διότι οδηγεί σε κακές συνθήκες συνάφειας χάλυβα-σκυροδέματος.

Σε περίπτωση που απαιτηθεί, ενδέχεται να τοποθετούνται σε δεύτερη στρώση μόνον δύο ράβδοι στις γωνίες των συνδετήρων (όπου είναι ευκολότερο να στερεωθούν επάνω στον συνδετήρα). Η καθαρή απόσταση μεταξύ των ράβδων των δύο στρώσεων πρέπει να είναι μεγαλύτερη από s_1 .

Παράδειγμα:

- Χωράνε 5Ø14 σε μία στρώση σε δοκό πλάτους $b=30\text{cm}$? $\max d_{\alpha\delta\rho} = 3.0\text{cm}$
- Ποια είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο στρώσεων διαμήκους οπλισμού;



- Επικάλυψη $c = 3.5\text{cm}$
- \varnothing_w συνδετήρα: 10 mm
- \varnothing_L 14 mm
- $\max d_{\alpha\delta\rho} = 3.0\text{cm}$

→ Άρα για $\varnothing 14$ και $\max d_{\alpha\delta\rho} = 3.0\text{cm}$

$$s_L = \max \begin{matrix} 1.4 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \\ (3.0 + 0.5) \text{ cm} = \boxed{3.5 \text{ cm}} \end{matrix}$$

5 ράβδοι $\varnothing 14$ σε μία σειρά:

→ 4 μεταξύ τους κενά S_L :

→ $S_L = [b - 2 \times (c + \varnothing_w) - 5 \times \varnothing_L] / 4 = [30 - 2 \times (3.5 + 1) - 5 \times 1.4] / 4 = 3.50 \text{ cm}$ ✓ Χωράνε

→ Η ελάχιστη απόσταση, s_1 , μεταξύ δύο στρώσεων διαμήκους οπλισμού είναι:

$$s_1 \geq \max\left(\frac{2}{3} d_{\alpha\delta\rho}, 25\text{mm}\right) = \max\left(\frac{2}{3} \times 30\text{mm}, 25\text{mm}\right) = \max(20\text{mm}, 25\text{mm}) = 25\text{mm}$$

Βήμα 16β: Πρόσθετος οπλισμός που απαιτείται για λόγους αντισεισμικότητας
(λόγω κατασκευαστικών απαιτήσεων, χωρίς υπολογισμό της ροπής)

Πρόσθετοι οπλισμοί στην δοκό (σχεδιασμός με απαιτήσεις αντισεισμικότητας ΕΚΩΣ, παρ.18.3.2)

α) Στα άκρα των δοκών στις ενώσεις με τους κόμβους (σε μήκος $2 \cdot h_b$ από τις εσωτερικές παρειές στήριξης), η διατομή A'_s του θλιβόμενου οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το μισό του εφελκυσμένου οπλισμού A_s στην στήριξη.

$$A'_s \geq \frac{1}{2} A_s$$

β) Σε όλο το μήκος του πάνω πέλματος πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον το $1/4$ του μεγαλύτερου από τους οπλισμούς πάνω πέλματος των εκατέρωθεν στηρίξεων.

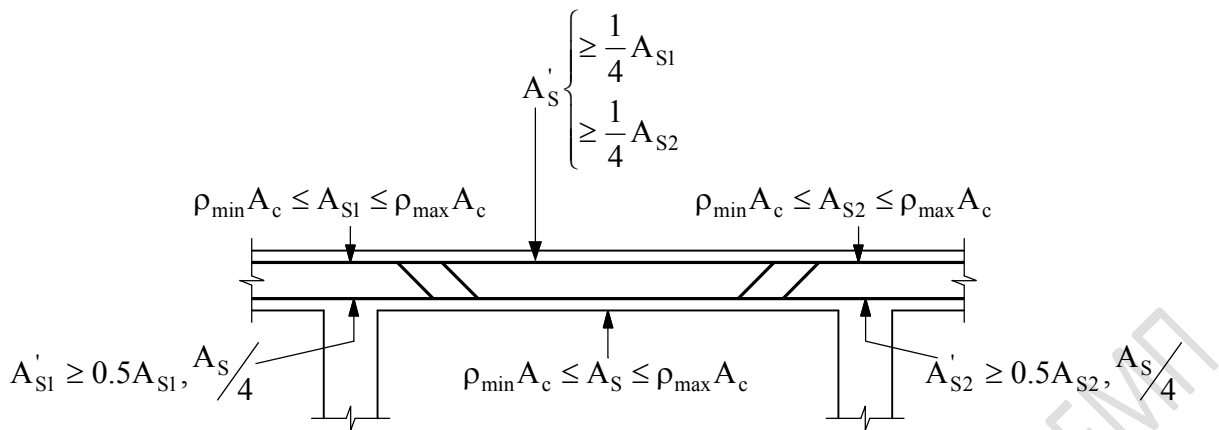
γ) Σε όλο το μήκος του πάνω και κάτω πέλματος απαιτούνται τουλάχιστον 2 ράβδοι διαμέτρου 12mm (στις γωνίες των συνδετήρων).

Σκοπός του κανόνα **α** είναι

- Να καλύψει το ενδεχόμενο αντιστροφής της φοράς της καμπτικής έντασης κοντά στις στηρίξεις.
 - Να εξασφαλίσει ικανοποιητική πλαστιμότητα στις περιοχές πιθανών πλαστικών αρθρώσεων (=μήκος $2 \cdot h_b$ από τις εσωτερικές παρειές στήριξης).
- Οι θλιβόμενοι οπλισμοί μπορούν να περατούνται σε απόσταση $2 \cdot h_b$ από τις εσωτερικές παρειές στήριξης.

Σκοπός των κανόνων **β και γ** είναι

- Να υπάρχουν διαμήκεις ράβδοι στις γωνίες των συνδετήρων.
- Να καλύψουν το ενδεχόμενο ανάπτυξης, σε τυχόν σημείο της δοκού, ροπών με μέγεθος και πρόσημο που δεν έχουν προβλεφθεί από τον υπολογισμό.

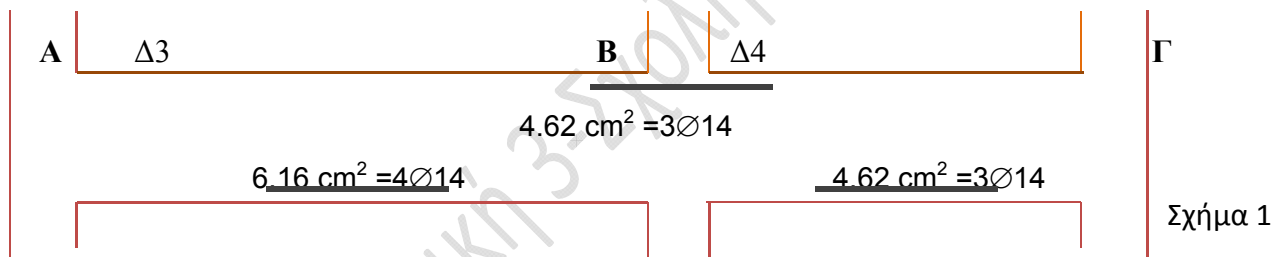


Σχηματική απεικόνιση απαιτήσεων πρόσθετων οπλισμών σε δοκό

Παράδειγμα:

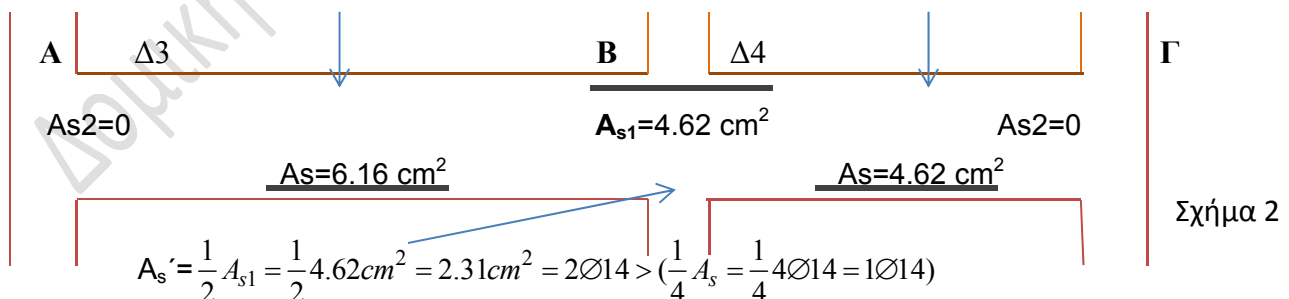
Δίνονται οι Δοκοί Δ3-Δ4 στις οποίες σημειώνονται οι οπλισμοί που έχουν προκύψει βάσει των ροπών που υπολογίστηκαν από τα φορτία σχεδιασμού.

Στο Σχήμα 1 στις δοκούς Δ3-Δ4 αναγράφονται οι διαμήκεις οπλισμοί που προέκυψαν λόγω ροπών στα ανοίγματα και στις στηρίξεις.



Στο Σχήμα 2 στις δοκούς Δ3-Δ4 σημειώνεται ο υπολογισμός των πρόσθετων οπλισμών (θλιβόμενος οπλισμός στήριξης, και θλιβόμενος οπλισμός ανοιγμάτων).

$$A'_s \geq \frac{1}{4} A_{s1} = \frac{1}{4} 4.62 \text{ cm}^2 = 1.15 \text{ cm}^2 \rightarrow 1\text{Ø14} (\text{min } 2\text{Ø14}) \quad A'_s \geq \frac{1}{4} A_{s1} = \frac{1}{4} 4.62 \text{ cm}^2 = 1.15 \text{ cm}^2 \rightarrow 1\text{Ø14} (\text{min } 2\text{Ø14})$$



Το απαιτούμενο εμβαδόν των πρόσθετων οπλισμών μπορεί να υπολογιστεί

- είτε βάσει του απαιτούμενου (υπολογιζόμενου) οπλισμού A_{s1} στις στηρίξεις
- είτε βάσει της διατομής του οπλισμού A_{s1} που τελικώς τοποθετείται στις στηρίξεις

- Συγκεντρωτικά στοιχεία για την επιλογή των κατάλληλων διαστάσεων των δοκών



Στις πλάκες :

Ο καθοριστικός έλεγχος για τον προσδιορισμό του **ελάχιστου ύψους** πλακών είναι ο έλεγχος λειτουργικότητας (αποφυγή ακριβούς ελέγχου βελών).

Στις δοκούς :

Ο καθοριστικός έλεγχος για τον προσδιορισμό του ελάχιστου ύψους ΔΕΝ είναι ο έλεγχος λειτουργικότητας (=αποφυγή ακριβούς ελέγχου βελών).

Το ελάχιστο ύψος προκύπτει κατά κανόνα από την διαστασιολόγηση έναντι κάμψης (ροπή M_d), και έναντι τέμνουσας (τέμνουσα V_d).

Για τον έλεγχο επάρκειας της διατομής μίας δοκού έναντι των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών (M_d , V_d) γίνεται αρχικώς **μία παραδοχή διαστάσεων**. Οι διαστάσεις αυτές μετά τους υπολογισμούς των εντατικών μεγεθών και των ελέγχων πιθανότατα θα χρειαστούν τροποποίηση:

- είτε να αυξηθούν (εάν δεν επαρκούν)
- είτε να μειωθούν εάν δεν απαιτείται τόσο μεγάλη διατομή.



Συνήθως επιλέγεται το επιθυμητό πλάτος, b_w , της δοκού (λ.χ. καθορίζεται από το πάχος των τοίχων ώστε να μην προεξέχουν οι δοκοί) και καθορίζεται το ύψος βάσει της ανωτέρω διαδικασίας.

Ελάχιστο πλάτος δοκών: $\min b_w = 25 \text{ cm}$

Αναλυτικότερα, το **ελάχιστο ύψος μίας δοκού** καθορίζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:



Αποφυγή ελέγχου βελών κάμψης:

Ο έλεγχος αυτός δεν είναι συνήθως καθοριστικός στις δοκούς.

$$\Rightarrow d \geq \frac{\alpha l_{\theta}}{20} \text{ (χρησιμεύει ως μία πρώτη εκτίμηση του ύψους)}$$

όπου: $\alpha = 1.00$ αμφιέρειστη
 $\alpha = 0.85$ μονόπακτη
 $\alpha = 0.70$ αμφίπακτη
 $\alpha = 2.00$ αμφίπακτη

Επάρκεια έναντι V_d (τέμνουσας):

Οι διαστάσεις της διατομής ($b \times h$) πρέπει να επαρκούν για την ασφαλή ανάληψη της τέμνουσας, V , και την αποφυγή διαγώνιας θλιπτικής αστοχίας του σκυροδέματος:

$$\Rightarrow \text{Κριτήριο: } V_d < V_{Rd, \max}$$

Επάρκεια έναντι M_d (κάμψης):

Οι διαστάσεις της διατομής ($b \times h$) πρέπει να επαρκούν για την ασφαλή ανάληψη των εντατικών μεγεθών (M , N).

$$\Rightarrow \text{Κριτήριο: } (\rho < \rho_{\max})$$

Να χωράνε οι ράβδοι στην διατομή:

Να υπάρχει χώρος να περάσει το σκυρόδεμα ανάμεσα στις ράβδους του διαμήκους οπλισμού. Διαφορετικά δεν θα υπάρχει καλή συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος.

Να αποφεύγονται δύο στρώσεις εφελκυσμένου οπλισμού, πλην των γωνιών του συνδετήρα –και αυτό κατ'εξαίρεση-.

**Μικρή διάμετρος
ράβδων οπλισμού:**

Για την εξασφάλιση καλής αγκύρωσης των ράβδων του διαμήκους οπλισμού καλό είναι να χρησιμοποιούνται ράβδοι με μικρότερη διάμετρο **και πάντως όχι μεγαλύτερη από Φ18**.

Επισημαίνεται ότι όσο μικρότερη διάμετρος οπλισμού χρησιμοποιηθεί, τόσο περισσότερες ράβδοι απαιτούνται για την ανάληψη της ροπής (με ενδεχόμενο «συνωστισμό» στην διατομή!)

**Επάρκεια πλάτους
υποστυλώματος για
αγκύρωση των ράβδων**

Ελέγχεται το διαθέσιμο πλάτος υποστυλώματος σε συνδυασμό με την μέγιστη διάμετρο που επιλέγεται ως διαμήκης οπλισμός.

Το **μέγιστο ύψος μίας δοκού** καθορίζεται από τους ακόλουθους (στατικούς) παράγοντες:



**Να μην γίνει η δοκός
«υψίκορμη»:**

Το ύψος της διατομής, h , να είναι τέτοιο ώστε η σχέση του με το μήκος L της δοκού να είναι: $L/h > (4 \text{ ως } 5)$.

Διαφορετικά η δοκός πρέπει να αντιμετωπιστεί ως υψίκορμη.

**Συσχέτιση με τις
διαστάσεις του
υποστυλώματος στον
κόμβο.**

Ποιοτική (και όχι ποσοτική) εξήγηση:

Στους **κόμβους** των πλαισίων, όπου συντρέχουν δοκοί και υποστυλώματα, τα υποστυλώματα πρέπει να είναι ισχυρότερα από τις συντρέχουσες δοκούς. Αρα εάν η διατομή των δοκών είναι μεγάλη, τότε υποχρεωτικά θα πρέπει να μεγαλώσουν και οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων ώστε τα υποστυλώματα να είναι ισχυρότερα των δοκών.

Γιατί: Όστε σε περίπτωση σεισμού να αστοχήσουν οι δοκοί (ως ασθενέστερες) και όχι τα υποστυλώματα, τα οποία είναι κρίσιμα για την αποφυγή κατάρρευσης του κτηρίου !

⇒ Ικανοτικός έλεγχος κόμβου (ΔΕΝ θα ασχοληθούμε στην Δομική 3)