



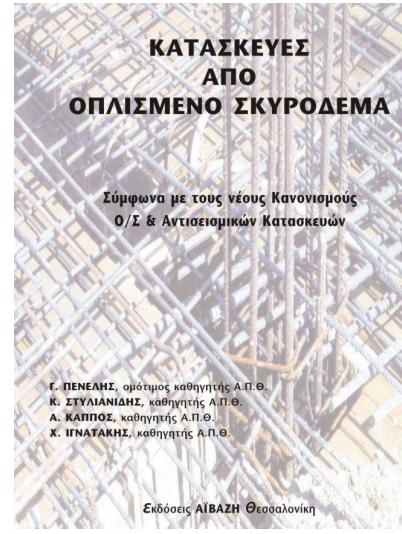
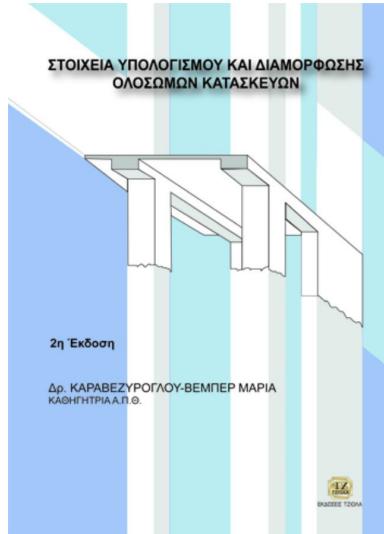
ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Οπλισμένο Σκυρόδεμα I

Ενότητα 1: Εισαγωγή

Γεώργιος Παναγόπουλος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Προτεινόμενα συγγράμματα (Εύδοξος)



- Τσώνος Α. Δ. (2017) Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Εκδόσεις Σοφία
- Καραβεζύρογλου Βέμπερ Μ. (2013) Στοιχεία Υπολογισμού και Διαμόρφωσης Ολόσωμων Κατασκευών, Εκδόσεις Τζιόλα
- Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Γ. (2008) Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Εκδόσεις Αϊβαζή
- Γεωργόπουλος Θ. (2015) Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Τόμος Α

Ιστοσελίδες και ηλεκτρονικό υλικό

- Ιστοσελίδα μαθήματος
<https://elearning.cm.ihu.gr/course/view.php?id=659>
- Προσωπική ιστοσελίδα διδάσκοντα
<http://teicm.panagop.com>
- Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα στο ΤΕΙ ΚΜ
<http://opencourses.teicm.gr/>



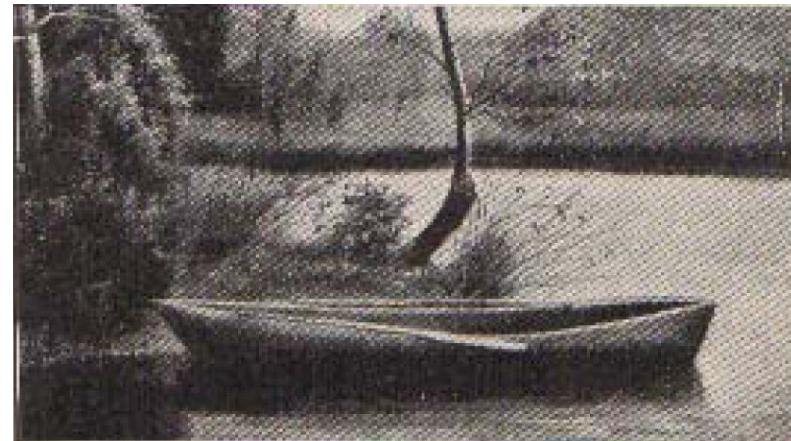
Ιστορική αναδρομή (1/3)

- Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι σήμερα το **επικρατέστερο** δομικό υλικό στην Ελλάδα (και όχι μόνο)
- Το σκυρόδεμα ως υλικό ήταν γνωστό από την εποχή των Ρωμαίων. Χρησιμοποιούνταν ως συνδετικό μέσο
- Η νέα εποχή του σκυροδέματος θεωρείται ότι εγκαινιάζεται με την εφεύρεση του τσιμέντου Portland από τον Joseph Aspdin το 1824



Ιστορική αναδρομή (2/3)

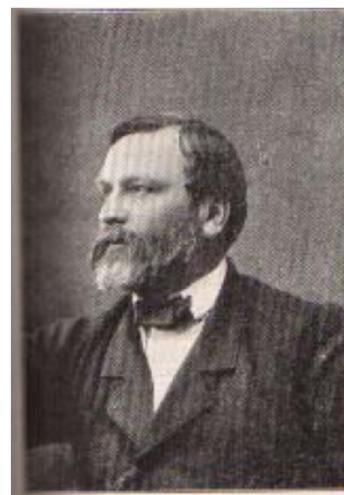
- Η πρώτη φορά που τοποθετήθηκε οπλισμός στο σκυρόδεμα ήταν το 1855 τον Jean-Louis Lambot στη Γαλλία
 - Για να κατασκευάσει τι;



- Την ίδια περίοδο ο Γάλλος κηπουρός Joseph Monier χρησιμοποιούσε μεταλλικά πλέγματα στην προσπάθειά του να κατασκευάσει πιο ανθεκτικές γλάστρες
- Πιθανότατα ο λόγος που είναι τόσο διαδεδομένη η χρήση του γαλλικού όρου «Μπετόν» για το σκυρόδεμα και «Μπετόν αρμέ» για το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ότι τα πρώτα βήματα του υλικού έγιναν στη Γαλλία

Ιστορική αναδρομή (3/3)

- Ο επίσης Γάλλος χτίστης Francois Coignet είναι ο πρώτος που εισάγει την χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος στην κατασκευή οικοδομών. Το σπίτι του F. Coignet από Ο/Σ στο Παρίσι διατηρείται ακόμα.
- Το 1873 ο William E. Ward κατασκευάζει στο Port Chester της Νέας Υόρκης το πρώτο σπίτι από οπλισμένο σκυρόδεμα στις Η.Π.Α., το «Ward's Castle» όπως ονομάστηκε, το οποίο διατηρείται μέχρι και σήμερα.



Πλεονεκτήματα Ο/Σ

Ο λόγος για τον οποίο επικράτησε το Ο/Σ ως ένα το δημοφιλέστερο δομικό υλικό είναι ότι συνδυάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα

- Είναι **οικονομικό**. Τα υλικά του (αδρανή, νερό, τσιμέντο) είναι φθηνά και προμηθεύονται εύκολα. Επιπλέον, κατά κανόνα δεν απαιτείται συντήρηση.
- Είναι **εύπλαστο** και **εύχρηστο**. Το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιαδήποτε μορφή ξυλοτύπου και να καλύψει σχεδόν όλες τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις
- Είναι **ανθεκτικό** στη μηχανική φθορά και στη φωτιά.
- Προσφέρεται για **μονολιθικές κατασκευές**, οι οποίες σαν πολλαπλά **στατικά αόριστες** έχουν μεγάλα περιθώρια αντοχής και ασφάλειας, ιδιαίτερα σε σεισμικές δράσεις.

Μειονεκτήματα Ο/Σ

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα του Ο/Σ τα οποία συχνά περιορίζουν τη χρήση του

- Έχει πολύ **μεγάλο ίδιο βάρος**, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα κυρίως σε κατασκευές με μεγάλα ανοίγματα (π.χ. γέφυρες). Τα ογκώδη δομικά στοιχεία (δοκοί, υποστυλώματα) που απαιτούνται συχνά δυσχεραίνουν το πρόβλημα.
- Το γεγονός ότι παρασκευάζεται επί τόπου αυξάνει τον κίνδυνο να παρουσιαστούν **κατασκευαστικά ελαττώματα**.
- Σε περιπτώσεις βλαβών οι **επισκευές** είναι ιδιαίτερα **δαπανηρές** και **δύσκολες** στην εφαρμογή.
- Οι **θερμομονωτικές** του ιδιότητες είναι **περιορισμένες**

Κανονισμοί οπλισμένου σκυροδέματος (1/4)

- Οι κατασκευές Ο/Σ σχεδιάζονται βάσει κανονισμών οι οποίοι έχουν ισχύ νόμων και η εφαρμογή τους είναι **υποχρεωτική**.
- Ο πρώτος κανονισμός εκδόθηκε στη Γαλλία το 1904 και στη συνέχεια ακολούθησε η Γερμανία το 1907 και οι Η.Π.Α. το 1909
- Οι **τελευταίοι** κανονισμοί για την Ελλάδα για τις κτιριακές (κυρίως) κατασκευές Ο/Σ είναι οι:
 - **ΕΚΩΣ2000:** Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος
 - **ΕΑΚ2000:** Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός
 - Οι κανονισμοί αυτοί είναι διαθέσιμοι σε ηλεκτρονική μορφή στην ιστοσελίδα του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ): www.oasp.gr
- Οι σύγχρονοι κανονισμοί, σε όλο τον κόσμο, στηρίζονται στη μέθοδο των οριακών καταστάσεων σε αντίθεση με τους παλιότερους κανονισμούς που στηρίζονταν στη μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων

Κανονισμοί οπλισμένου σκυροδέματος (2/4)

- Οι κανονισμοί **οπλισμένου σκυροδέματος** που ίσχυσαν στην Ελλάδα μέχρι σήμερα ήταν οι εξής:
 - 1954: *Περί Κανονισμών δια την μελέτην και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ απλισμένου σκυροδέματος*
 - 1991: *Ο Νέος Ελληνικός Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα (Ν.Ε.Κ.Ω.Σ.)*
 - 2001: *Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος - 2000 (Ε.Κ.Ω.Σ. - 2000)*. Μικρής κλίμακας τροποποιήσεις το 2003
- Αντίστοιχη εικόνα υπάρχει και για τους **αντισεισμικούς κανονισμούς**
 - 1959: *Βασιλικό Διάταγμα '59*. Εισαγωγή πρόσθετων άρθρων το 1984
 - 1995: *Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ν.Ε.Α.Κ.)*
 - 2001: *Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός – 2000 (Ε.Α.Κ. 2000)*. Τροποποιήσεις το 2003

Κανονισμοί οπλισμένου σκυροδέματος (3/4)

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης γίνεται μια προσπάθεια να καταργηθούν όλοι οι εθνικοί κανονισμοί των χωρών-μελών της (και όχι μόνο) και να αντικατασταθούν από τους **Ευρωκώδικες** οι οποίοι θα εφαρμόζονται σε όλη την επικράτεια.

Οι δομικοί Ευρωκώδικες είναι οι εξής:

Ευρωκώδικας 1 Δράσεις σε δομήματα

Ευρωκώδικας 2 Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα

Ευρωκώδικας 3 Σχεδιασμός των κατασκευών από χάλυβα

Ευρωκώδικας 4 Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα

Ευρωκώδικας 5 Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών

Ευρωκώδικας 6 Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία

Ευρωκώδικας 7 Γεωτεχνικός σχεδιασμός

Ευρωκώδικας 8 Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών

Ευρωκώδικας 9 Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο

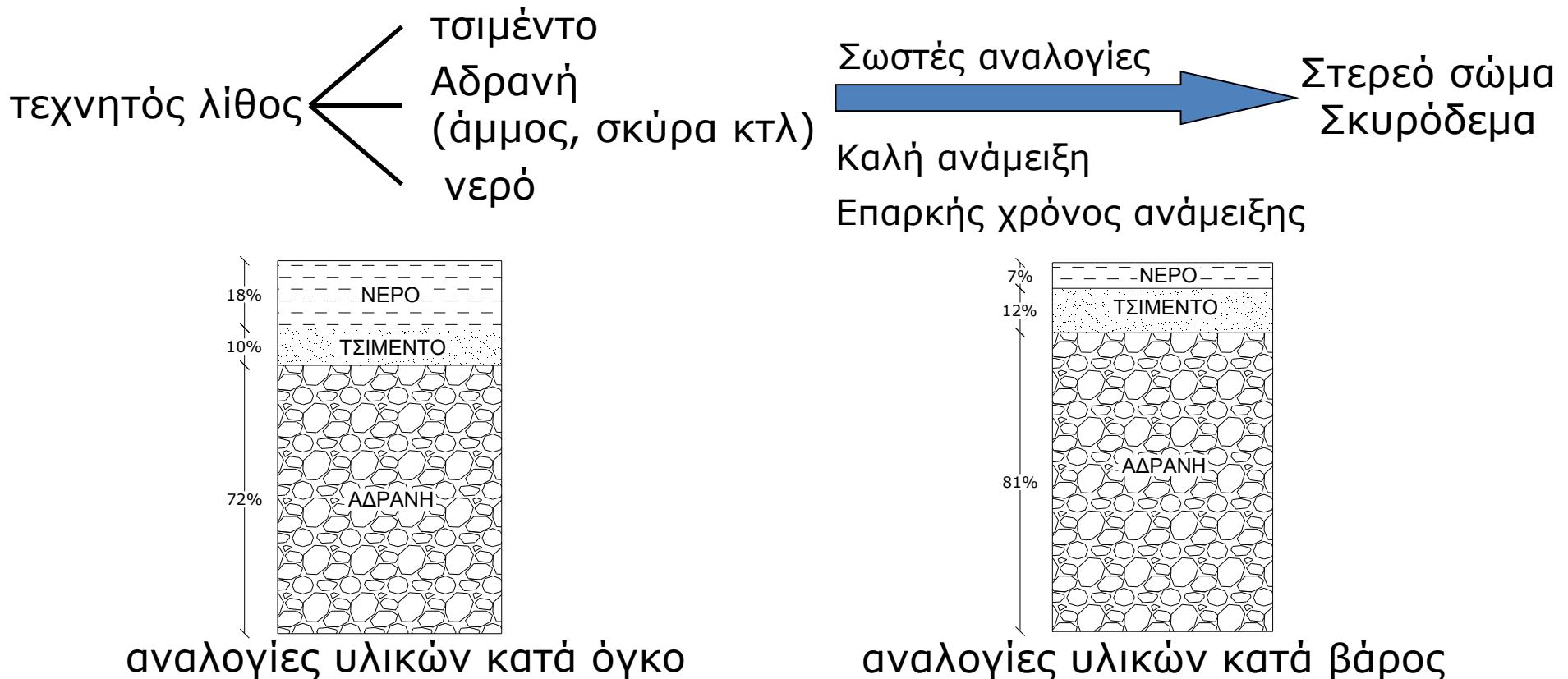
Κανονισμοί οπλισμένου σκυροδέματος (4/4)

- Σύμφωνα με πρόσφατη κοινή υπουργική απόφαση⁽¹⁾ εγκρίνεται η εφαρμογή και η χρήση, σε όλα τα Δημόσια και Ιδιωτικά έργα, των μεταφρασμένων στην Ελληνική γλώσσα κειμένων των Ευρωκωδίκων.
- Η εφαρμογή των εν λόγω προτύπων **δεν είναι υποχρεωτική**, αλλά υπόκειται στην διακριτική επιλογή του εκάστοτε Κυρίου του Έργου. Οι ισχύοντες πλέον Ευρωκώδικες παρατίθενται σε Παραρτήματα και ονομάζονται Ελληνικά Ευρωπαϊκά Πρότυπα (παράρτημα 1) και συνοδεύονται από τα Εθνικά Προσαρτήματά τους που ονομάζονται Ελληνικά Πρότυπα (παράρτημα 2).
- Για τα **προϋπάρχοντα κανονιστικά κείμενα δόμησης (εθνικές προδιαγραφές και κανονισμοί)** αίρεται η **υποχρεωτικότητα εφαρμογής**

⁽¹⁾ ΦΕΚ Β' 1457/5.6.2014 η ΚΥΑ ΔΙΠΑΔ/οικ. 372/30.5.2014 «Έγκριση εφαρμογής και χρήσης των Ευρωκωδίκων σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα»)

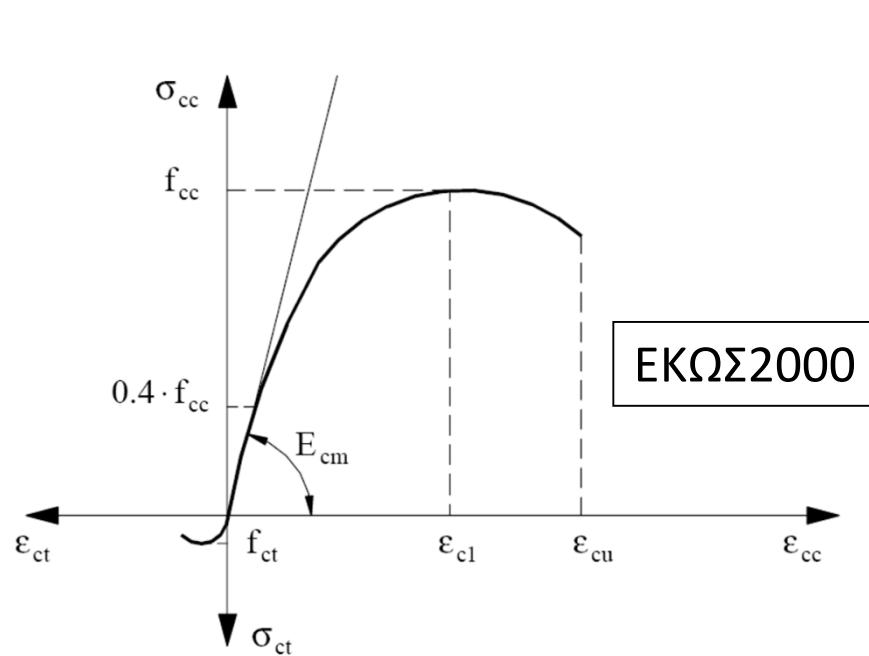
Υλικά άοπλου σκυροδέματος

- Το (άοπλο) σκυρόδεμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας **τεχνητός λίθος**

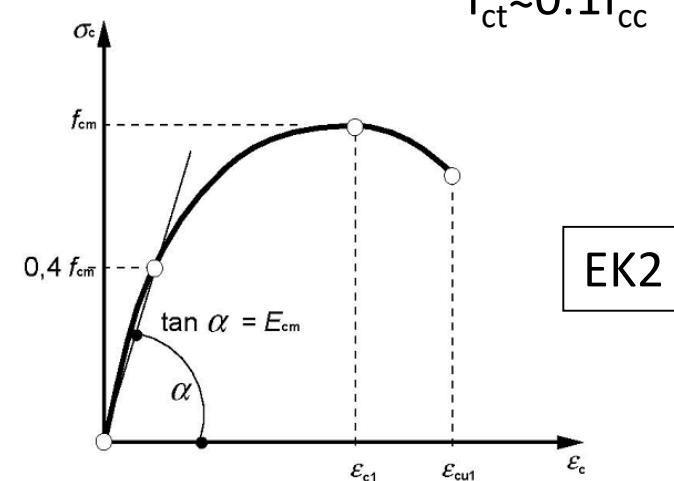


Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (1/2)

Το άοπλο σκυρόδεμα είναι ένα υλικό το οποίο παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη, πολύ μικρότερη όμως σε εφελκυσμό



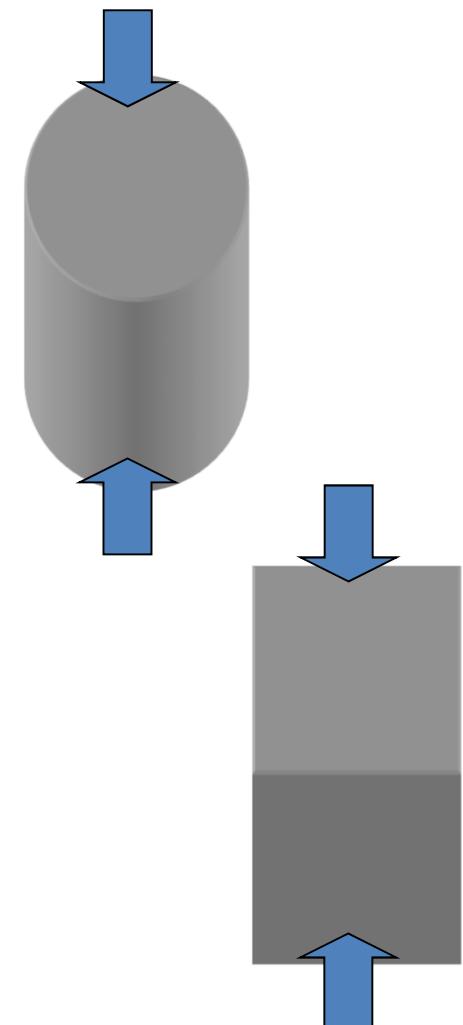
Ως τάξη μεγέθους
 $f_{ct} \approx 0.1 f_{cc}$



Σχηματικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος
(c=θλίψη, t=εφελκυσμός)

Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (2/2)

- Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος συμβολίζεται συνήθως ως f_c (c : concrete) στους κανονισμούς
- Αναφέρεται στην μονοαξονική θλιπτική αντοχή
- Μετράται στις **28 ημέρες** σε **κυλινδρικά δοκίμια** διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm ή **κυβικά δοκίμια** ακμής 150 mm
- Ο κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος ορίζει σαν βάση τη **χαρακτηριστική** θλιπτική αντοχή f_{ck} .
Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου f_{ck} ή κυβικού δοκιμίου $f_{ck,cube}$ θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου



Κατηγορίες σκυροδέματος

- Ορίζονται με βάση την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

Κατηγορίες σκυροδέματος και αντίστοιχες θλιπτικές αντοχές

	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55

- Ο Ευρωκώδικας 2 ωθεί στη χρήση σκυροδεμάτων μεγαλύτερης θλιπτικής αντοχής σε σχέση με τον ΕΚΩΣ2000
- Συνήθεις κατηγορίες σκυροδέματος για κτιριακά έργα τυπικών διαστάσεων είναι οι C20/25 και C25/30

Εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος

Μέτρο ελαστικότητας

Ενδεικτικές τιμές της εφελκυστικής αντοχής για διάφορες ποιότητες (MPa)

	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
$f_{ctk0.05}$	1.10	1.30	1.50	1.80	2.00	2.20	2.50	2.70
f_{ctm}	1.60	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80
$f_{ctk0.95}$	2.00	2.50	2.90	3.30	3.80	4.20	4.60	4.90

- Η μικρή αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό οδηγεί στην ανάγκη χρήσης **οπλισμών από χάλυβα** για την παραλαβή των **εφελκυστικών τάσεων** που εμφανίζονται στα δομικά στοιχεία των κατασκευών

Μέτρο ελαστικότητας (GPa)

	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
E_{cm}	27	29	30	31	33	34	35	36

Χάλυβας οπλισμών (1/4)

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται ως ράβδοι οπλισμού διακρίνονται:

α) Σύμφωνα με τη μέθοδο της παραγωγής.

- Οι ακολουθούμενες μέθοδοι παραγωγής είναι:
 - Θερμή έλαση, δίχως καμιά περαιτέρω επεξεργασία
 - Θερμή έλαση που ακολουθείται από μία άμεση εν σειρά θερμική κατεργασία
 - Ψυχρή κατεργασία με στρέψη ή με όλκηση (συρματοποίηση) του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση

β) Σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας σε:

- Λείες κυλινδρικές ράβδους ή σύρματα (και συγκολλητά δομικά πλέγματα)
- Ράβδους ή σύρματα υψηλής συνάφειας (και συγκολλητά δομικά πλέγματα), με νευρώσεις (νευροχάλυβες)

γ) Σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα σε:

- Χάλυβες συγκολλήσιμους υπό προϋποθέσεις
- Χάλυβες συγκολλήσιμους

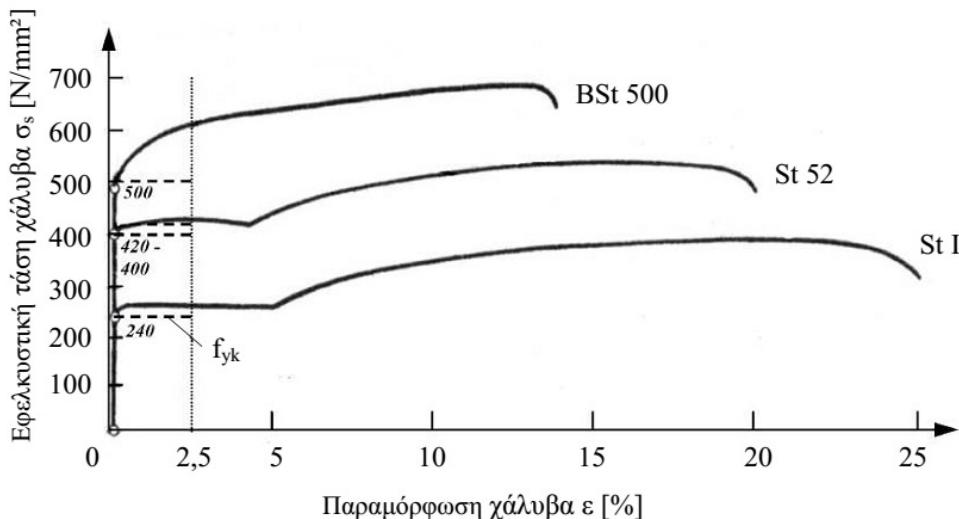
Χάλυβας οπλισμών (2/4)

Ονομαστική διάμετρος και ονομαστική διατομή των ράβδων (cm²)

Διάμετ. mm	Βάρος Kg/m	Αριθμός Σιδήρων									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,154	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
6	0,222	0,28	0,56	0,83	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
7	0,302	0,38	0,77	1,15	1,84	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85
8	0,395	0,50	1,00	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,208	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	1,578	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
18	1,998	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45
20	2,466	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
22	2,984	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01
24	3,551	4,52	9,05	13,57	18,10	22,62	27,14	31,67	36,19	40,72	45,24
26	4,168	5,31	10,62	15,93	21,24	26,55	31,86	37,17	42,47	47,78	53,09
28	4,834	6,16	13,32	18,47	24,63	30,79	36,98	43,10	49,26	55,42	61,58
30	5,550	7,07	14,14	21,21	28,27	35,34	42,41	49,48	56,55	63,62	70,69
32	6,313	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42

Χάλυβας οπλισμών (3/4)

- Ως χαρακτηριστική αντοχή f_{yk} (γ: yield=διαρροή) θεωρείται εκείνη η τιμή του ορίου διαρροής f_y κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου
- Οι κατηγορίες χάλυβα που χρησιμοποιούνται συνήθως ως ράβδοι οπλισμού είναι οι **B500A** και **B500C**, αντικαθιστώντας ουσιαστικά την ποιότητα S500



Διαγράμματα τάσεων -
παραμορφώσεων
χάλυβα οπλισμού⁽¹⁾

⁽¹⁾ Καραβεζύρογλου Μ. (2009), Διαχρονική θεώρηση των αντοχών σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμών βάσει των κανονισμών, 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος

Χάλυβας οπλισμών (4/4)

- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του χάλυβα είναι πολύ κοντά σε αυτόν του σκυροδέματος (πρακτικά είναι ο ίδιος).
- Η κοινή τους αυτή ιδιότητά βοηθά σημαντικά τη συνεργασία των δύο υλικών καθώς δεν αναπτύσσονται διαφορετικές παραμορφώσεις με τις μεταβολές της θερμοκρασίας, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει στην απώλεια της συνεργασίας τους.



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Οπλισμένο Σκυρόδεμα I

Ενότητα 2: Η μέθοδος των οριακών καταστάσεων

Γεώργιος Παναγόπουλος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Η μέθοδος των οριακών καταστάσεων

Βασικές έννοιες, φορτία, συνδυασμοί
δράσεων

Η μέθοδος των οριακών καταστάσεων (1/2)

Βασική σχέση υπολογισμού

$$S_d \leq R_d$$

S_d : δράση σχεδιασμού (d: design)

R_d : αντίσταση σχεδιασμού

- Ως δράσεις εννοούμε τις διάφορες φορτίσεις του φορέα και κατ' επέκταση τις διάφορες **εσωτερικές δυνάμεις** (εντατικά μεγέθη) που αναπτύσσονται (πχ M, V, N)
- Ο όρος **αντίσταση** χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη δυνατότητα του φορέα να **ανταπεξέλθει** στις διάφορες φορτίσεις. Για παράδειγμα μπορεί να αναφέρεται στη **διαθέσιμη αντοχή** των δομικών στοιχείων
 - Ροπή αντοχής, τέμνουσα αντοχής κ.τ.λ.
 - Επιτρεπόμενα μεγέθη **παραμορφώσεων** (π.χ βέλος κάμψης, άνοιγμα ρωγμής κ.τ.λ.)

Η μέθοδος των οριακών καταστάσεων (2/2)

Διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες οριακών καταστάσεων

1. Οριακές καταστάσεις αστοχίας

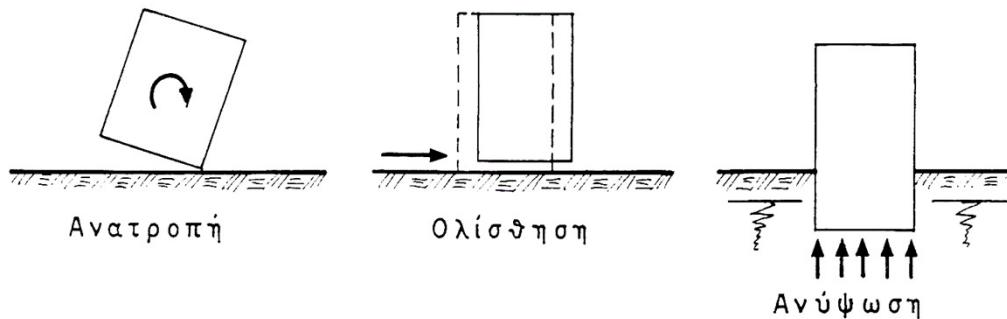
- Σχετίζονται με την **κατάρρευση** ή **αστοχία** μιας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ισορροπίας ή ευστάθειας
- Αφορούν μορφές αστοχίας που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την **ασφάλεια** των χρηστών

2. Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

- Σχετίζονται με την **ευκαμψία** της κατασκευής, δηλαδή την **παραμόρφωση**, τη **ρηγμάτωση** και την **ταλάντωση** που προκαλεί βλάβη σε δομικά και μη δομικά στοιχεία
- Πραγματεύονται τη διασφάλιση της **κανονικής**, **καθημερινής** **χρήσης** μιας κατασκευής και την εμπέδωση του **αισθήματος ασφαλείας** των χρηστών καθώς και την αποφυγή με αρνητικών επιδράσεων στην **αισθητική** της κατασκευής

Οριακές καταστάσεις αστοχίας (1/2)

1. Απώλεια στατικής ισορροπίας ενός στοιχείου ή του συνόλου της κατασκευής θεωρούμενης ως στερεού σώματος (ανατροπή, ολίσθηση, ανύψωση κτλ)



2. Μετατροπή του φορέα σε μηχανισμό

- Καλύτερη συμπεριφορά σε υπερστατικούς φορείς
- Οι περιοχές πιθανής αστοχίας πρέπει να διαθέτουν δυνατότητα ανελαστικής παραμόρφωσης (**πλαστιμότητα**) ώστε να μπορούν να επιτρέπουν παραμορφώσεις χωρίς σημαντική πτώση αντοχής

Οριακές καταστάσεις αστοχίας (2/2)

3. Οριακές καταστάσεις αντοχής σε κρίσιμες διατομές

- Έναντι ορθών εντατικών μεγεθών (ροπή κάμψης με αξονική δύναμη)
- Έναντι διατμητικών καταπονήσεων (τέμνουσα, στρέψη, διάτρηση, συνάφεια)

4. Οριακές καταστάσεις λυγισμού και ύβωσης

- Πρόκειται για οριακές καταστάσεις αστοχίας λόγω παραμόρφωσης του φορέα.
Σε λυγισμό εξετάζονται οι γραμμικοί φορείς και σε ύβωση οι επιφανειακοί
- Αποτελούν πρόβλημα κυρίως των εύκαμπτων κατασκευών (πχ μεταλλικές)

5. Οριακές καταστάσεις κόπωσης

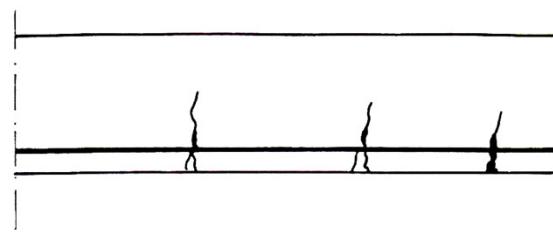
- Επαναλαμβανόμενη φόρτιση, πολλών κύκλων επανάληψης
- Ο σεισμός δεν αποτελεί τέτοια φόρτιση (λίγες επαναλήψεις)
- Δεν αποτελεί πρόβλημα όλων των φορέων, παρά μόνον ειδικών κατασκευών
(γέφυρες, βιομηχανικά κτίρια με μηχανές που προκαλούν ταλαντώσεις κ.α.)
- Αστοχία υπό ένταση μικρότερη της οριακής αντοχής μετά από ορισμένο
αριθμό κύκλων φόρτισης – αποφόρτισης

Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

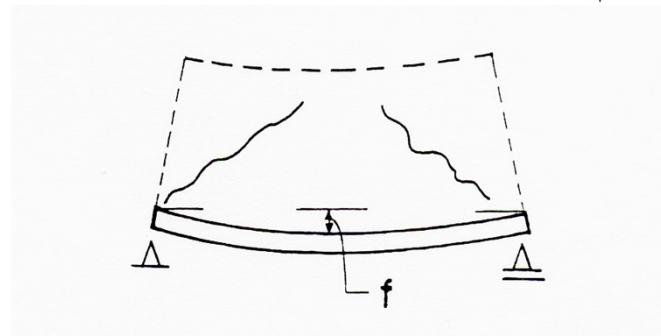
Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας προέρχονται από:

1. Ρηγμάτωση ή και υπέρβαση τάσεων
2. Παραμορφώσεις ή βέλη
3. Ταλαντώσεις

Ρηγμάτωση του
σκυροδέματος από
εφελκυσμό



Παραμορφώσεις ή
βέλη (κάμψης)

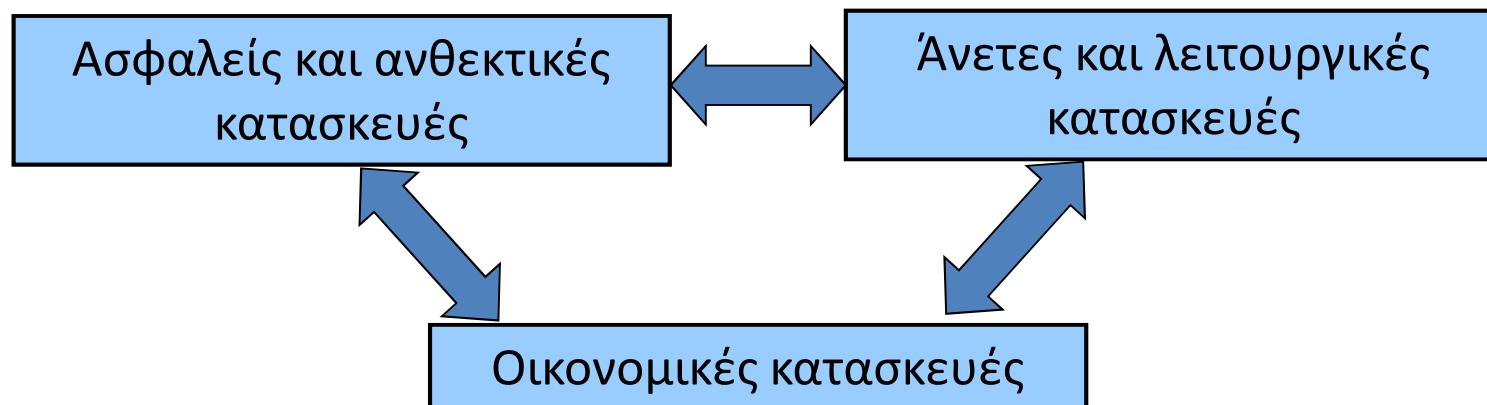


Η υπέρβαση ορισμένων ορίων
επιδρά:

- στην **αισθητική**
- στο **αίσθημα ασφαλείας**
- προκαλεί βλάβες **τοπικού χαρακτήρα** (τελειώματα, υπερκείμενες ψαθυρές τοιχοποιίες πλήρωσης κ.λ.π.)

Στόχος μεθόδου οριακών καταστάσεων

Τελικός στόχος είναι πάντα να σχεδιάζονται



...αλλά

- Οι ιδιότητες των υλικών δεν είναι γνωστές με ακρίβεια
- Τα φορτία δεν είναι γνωστά
- Οι μέθοδοι υπολογισμού είναι προσεγγιστικές

Δράσεις σχεδιασμού (1/2)

- Μόνιμες και μεταβλητές (με διάρκεια)
 - Αναφέρονται στις συνθήκες κανονικής χρήσης
- Τυχηματικές
 - Εξαιρετικές συνθήκες οι οποίες μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής ή και όχι. Πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση, συνέπειες τοπικής αστοχίας
- Σεισμικές
 - Απόκριση του φορέα σε σεισμικές διεγέρσεις -> Ευρωκώδικας 8
- Παροδικές
 - Καταστάσεις που εμφανίζονται στον φορέα για περιορισμένο χρονικό διάστημα, όπως κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή επισκευής

Δράσεις σχεδιασμού (2/2)

- Οι τιμές των δράσεων σχεδιασμού λαμβάνονται από τα σχετικά μέρη του EN1991 (Ευρωκώδικας 1)
 - **EN 1991-1.1 Πυκνότητες, ίδιο βάρος και επιβαλλόμενα φορτία**
 - EN 1991-1.2 Δράσεις πυρός
 - EN 1991-1.3 Φορτία χιονιού
 - EN 1991-1.4 Ανεμοπίεση
 - EN 1991-1.5 Θερμοκρασιακές δράσεις
 - EN 1991-1.6 Δράσεις κατά την εκτέλεση
 - EN 1991-1.7 Τυχηματικές δράσεις που οφείλονται σε κρούση ή εκρήξεις
 - EN 1991-2 Φορτία κυκλοφορίας γεφυρών
 - EN 1991-3 Δράσεις προκαλούμενες από γερανούς και λοιπά μηχανήματα
 - EN 1991-4 Δράσεις σε σιλό και δεξαμενές
- Δράσεις ωθήσεων εδάφους και πίεσης νερού λαμβάνονται από τον **Ευρωκώδικα 7**
- Οι σεισμικές δράσεις λαμβάνονται από τον **Ευρωκώδικα 8**

Τιμές σχεδιασμού

- Οι τιμές με τις οποίες οι δράσεις και οι αντιστάσεις εισάγονται στους υπολογισμούς (δηλαδή στην ανίσωση $S_d \leq R_d$) ονομάζονται **τιμές σχεδιασμού** και λαμβάνουν το **δείκτη d** (design).
- Οι τιμές σχεδιασμού S_d μιας δράσης προκύπτουν από τον **πολλαπλασιασμό** της χαρακτηριστικής της τιμής S_k επί τους επιμέρους συντελεστές ασφάλειας γ_f .

$$S_d = \gamma_f \cdot S_k$$

- Οι τιμές σχεδιασμού R_d ενός μεγέθους αντίστασης προκύπτουν από τη **διαίρεση** της χαρακτηριστικής του τιμής R_k με τους επιμέρους συντελεστές ασφάλειας γ_m

$$R_d = R_k / \gamma_m$$

Μόνιμες δράσεις

Στις μόνιμες δράσεις με χαρακτηριστική τιμή \mathbf{G}_k περιλαμβάνονται:

- Το ίδιο βάρος της φέρουσας κατασκευής
- Το βάρος του οργανισμού πλήρωσης (π.χ. τοιχοπληρώσεις), των επιστρώσεων (π.χ. δάπεδα) και επικαλύψεων
- Γενικά το βάρος κάθε πρόσθετης κατασκευής που θα παραμείνει μονίμως στο έργο

$$\mathbf{G}_d = \gamma_g \cdot \mathbf{G}_k$$

Επιμέρους συντελεστές ασφάλειας γ_G			
Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.35	1.00
	Τυχηματικοί	1.00	1.00
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.00	1.00

Μεταβλητές δράσεις

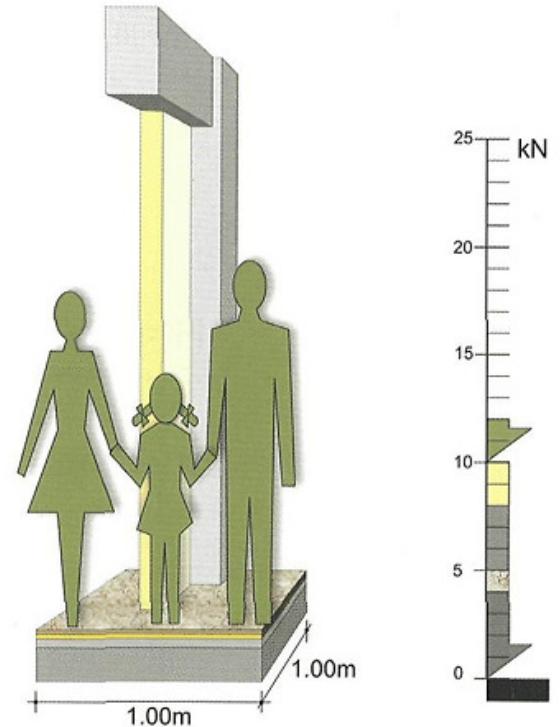
Στις μεταβλητές δράσεις με χαρακτηριστική τιμή Q_k περιλαμβάνονται:

- Τα ωφέλιμα φορτία μιας κατασκευής (εξοπλισμός, ένοικοι, οχήματα κτλ)
- Περιβαλλοντικές δράσεις όπως άνεμος, χιόνι κτλ
- Έμμεσες δράσεις / επιβαλλόμενες παραμόρφωσης (διαφορικές καθιζήσεις, θερμοκρασία, συστολή ξήρανσης κλπ.)

$$Q_d = \gamma_q \cdot Q_k$$

Επιμέρους συντελεστές ασφάλειας γ_q			
Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.50	0.00
	Τυχηματικοί	1.00	0.00
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.00	0.00

Τυπική φόρτιση κτιριακών κατασκευών

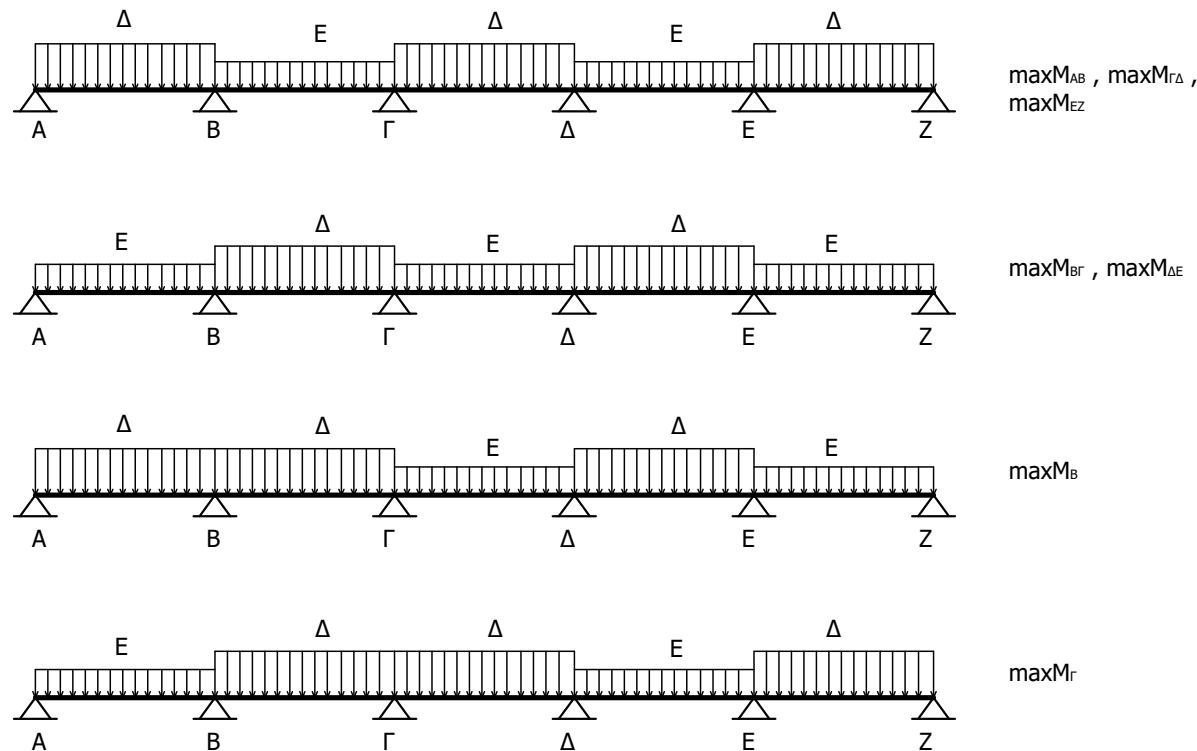


Τα ωφέλιμα φορτία είναι συνήθως της τάξης του 20% του συνόλου της φόρτισης της κατασκευής⁽¹⁾

⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Δυσμενείς και ευμενείς δράσεις

- **Δυσμενής** είναι μία δράση όταν λόγω της θέσης και της έντασής της προκαλεί τη δυσμενέστερη επίπτωση στο εξεταζόμενο μέγεθος.
- **Ευμενής** είναι μία δράση όταν προκαλεί την αντίθετη ακριβώς επίπτωση.



Συνδυασμοί δράσεων (1/3)

Οριακές καταστάσεις αστοχίας

- Θεμελιώδεις συνδυασμοί για μόνιμες και παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$
$$\begin{cases} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} & 0,85 \leq \xi \leq 1,00 \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{cases}$$

- Θεμελιώδεις συνδυασμοί για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Θεμελιώδεις συνδυασμοί για σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Συνδυασμοί δράσεων (2/3)

Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

- Χαρακτηριστικός συνδυασμός (μη αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Συχνός συνδυασμός (αναστρέψιμες ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Οιονεί μόνιμος συνδυασμός (αναστρέψιμες ΟΚΛ)

χρησιμοποιείται για μακροχρόνιες επιδράσεις και για την εμφάνιση του φορέα

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

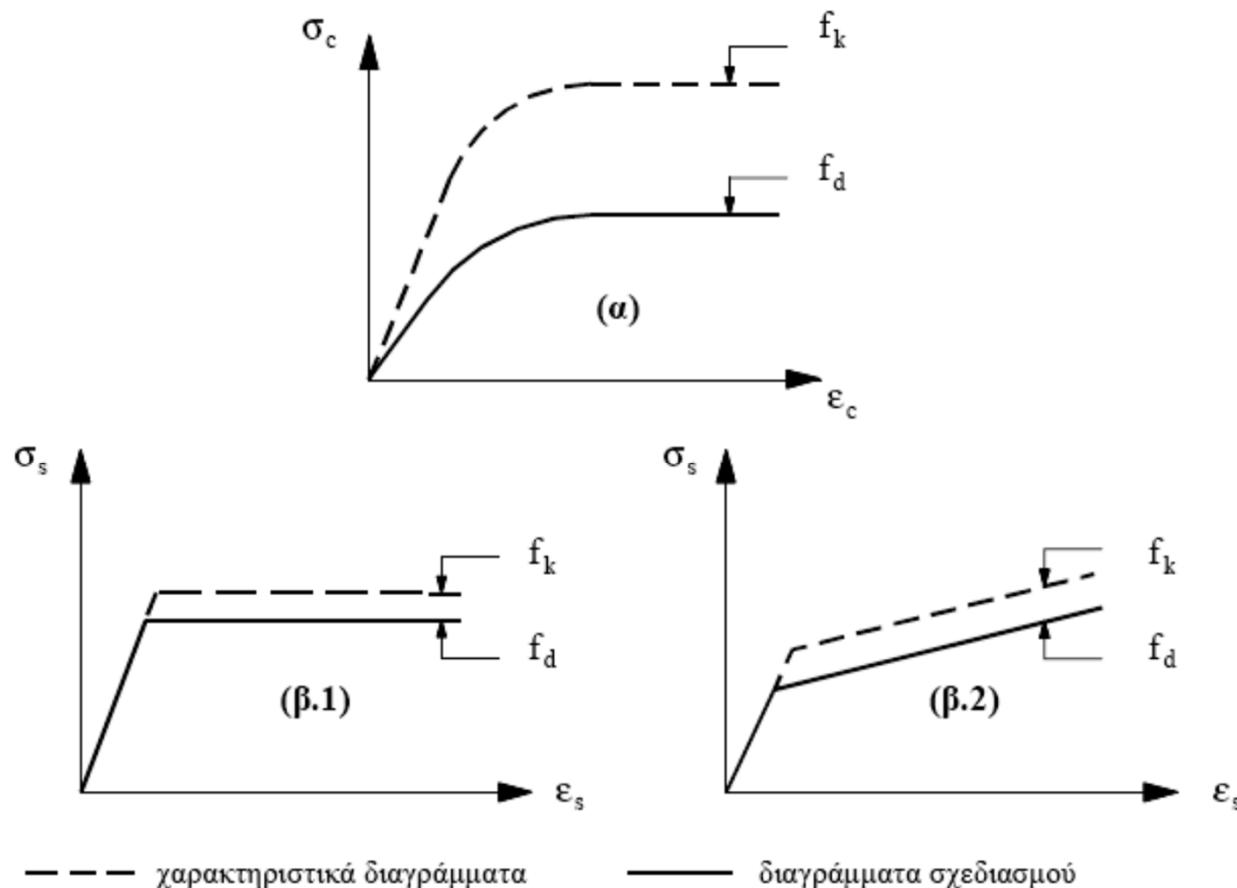
Συνδυασμοί δράσεων (3/3)

Προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ψ για κτίρια

Δράσεις	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1) Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών Κατηγορία B: χώροι γραφείων Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων βάρος οχημάτων $\leq 30kN$ Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $30kN < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160kN$ Κατηγορία H: στέγες	0,7 0,7 0,7 0,7 0,7 1,0 0,7 0,7	0,5 0,5 0,7 0,7 0,9 0,9 0,7 0,5	0,3 0,3 0,6 0,6 0,8 0,8 0,6 0,3 0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)* Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000$ m Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000$ m	0,70 0,70 0,50	0,50 0,50 0,20	0,20 0,20 0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές ψ μπορούν να καθορισθούν από το Εθνικό Προσάρτημα.			
* Για χώρες οι οποίες δεν αναφέρονται παρακάτω, βλέπε συναφείς τοπικές συνθήκες.			

Τιμές σχεδιασμού αντοχών (1/2)

Χρησιμοποιούνται ιδεατά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων των υλικών



Τιμές σχεδιασμού αντοχών (2/2)

Επιμέρους συντελεστές ασφάλειας γ_m			
Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
		γ_c	γ_s
Αστοχίας	Βασικοί	1.50	1.15
	Τυχηματικοί	1.20	1.00
	Τυχηματικοί με σεισμό	1.50	1.15
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.00	1.00

Πχ για B500C:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \rightarrow f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1.15 = 434.78 \text{ MPa}$$



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος I

Ενότητα 3: Κανόνες κατασκευαστικής διαμόρφωσης

Γεώργιος Παναγόπουλος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Κανόνες κατασκευαστικής διαμόρφωσης

Επικαλύψεις – Αγκυρώσεις – Ενώσεις

Ανθεκτικότητα Σε Διάρκεια

- Μια κατασκευή θεωρείται **ανθεκτική** εφόσον ικανοποιεί σε όλη τη διάρκεια του επιδιωκόμενου χρόνου ζωής της τις απαιτήσεις ευστάθειας, αντοχής και λειτουργικότητας, χωρίς σημαντικούς περιορισμούς χρηστικότητας ή υπερβολικές απαιτήσεις συντήρησης.
- Η προστασία έναντι **διάβρωσης** του σκυροδέματος και **οξείδωσης** των οπλισμών εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα της κατασκευής.
- Μέτρα προστασίας:
 - Επαρκές πάχος **επικάλυψης** των οπλισμών
 - Χαμηλή **διαπερατότητα** (χαμηλό πορώδες) του σκυροδέματος
 - **Προστατευτικές στρώσεις** επί της επιφάνειας του σκυροδέματος
- Κριτήρια σχεδιασμού:
 - **Διαβρωτικότητα** του **περιβάλλοντος** έκθεσης της κατασκευής
 - **Χρόνος ζωής σχεδιασμού** (κατηγορίες κατασκευής S1 έως S6)

Κατηγορίες διαβρωτικότητας περιβάλλοντος (1/4)

Κύριες κατηγορίες έκθεσης (ΕΝ 206-1)

Κατηγορία	Διαβρωτικοί παράγοντες
XO	Απουσία κινδύνου διάβρωσης ή προσβολής
XC	Κίνδυνος διάβρωσης από ενανθράκωση
XD	Κίνδυνος διάβρωσης από χλωριούχα (εκτός θαλασσινού νερού)
XS	Κίνδυνος διάβρωσης από χλωριούχα θαλασσινού νερού
XF	Κίνδυνος από κύκλους παγετού - απόψυξης
XA	Κίνδυνος χημικής προσβολής

Κατηγορίες διαβρωτικότητας περιβάλλοντος (2/4)

Διάκριση σε επί μέρους κατηγορίες έκθεσης (ΕC2 Πίνακας 4.1)

Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Πληροφοριακά παραδείγματα κατηγοριών έκθεσης
1. Απουσία κινδύνου διάβρωσης ή προσβολής		
XO	Για άοπλο σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα χωρίς ενσωματωμένο μέταλλο: όλες οι συνθήκες έκθεσης εκτός περιπτώσεων όπου υπάρχουν ψύξη/απόψυξη, επιφανειακή τριβή ή χημική προσβολή. Για οπλισμένο σκυρόδεμα: πολύ ξηρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος
2. Διάβρωση από ενανθράκωση		
XC1	Ξηρό ή μόνιμα υγρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με χαμηλή υγρασία αέρος Σκυρόδεμα μόνιμα βυθισμένο στο νερό
XC2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος υπό μακροχρόνια επαφή με το νερό. Πληθώρα θεμελιώσεων.
XC3	Μέτρια υγρασία	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με μέτρια ή υψηλή υγρασία αέρος Εξωτερικό σκυρόδεμα προστατευμένο από τη βροχή
XC4	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος σε επαφή με το νερό, εκτός της κατηγορίας έκθεσης XC2

Κατηγορίες διαβρωτικότητας περιβάλλοντος (3/4)

Διάκριση σε επί μέρους κατηγορίες έκθεσης (ΕC2 Πίνακας 4.1)

Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Πληροφοριακά παραδείγματα κατηγοριών έκθεσης
3. Διάβρωση από χλωριούχα (εκτός θαλασσινού νερού)		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε αερομεταφερόμενα χλωριούχα.
XD2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Πισίνες. Στοιχεία σκυροδέματος εκτεθειμένα σε βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν χλωριούχα.
XD3	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Τμήματα γεφυρών εκτεθειμένα σε ψεκασμό χλωριούχων. Πεζοδρόμια. Πλάκες χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων.
4. Διάβρωση από χλωριούχα θαλασσινού νερού		
XS1	Εκτεθειμένο σε áλατα θαλάσσης αερομεταφερόμενα αλλά χωρίς áμεση επαφή με το θαλασσινό νερό.	Κατασκευές κοντά ή επί της ακτής
XS2	Μόνιμα βυθισμένο σε θαλασσινό νερό	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Ζώνες παλίρροιας, παφλασμού και πιτσιλίσματος.	Τμήματα λιμενικών έργων

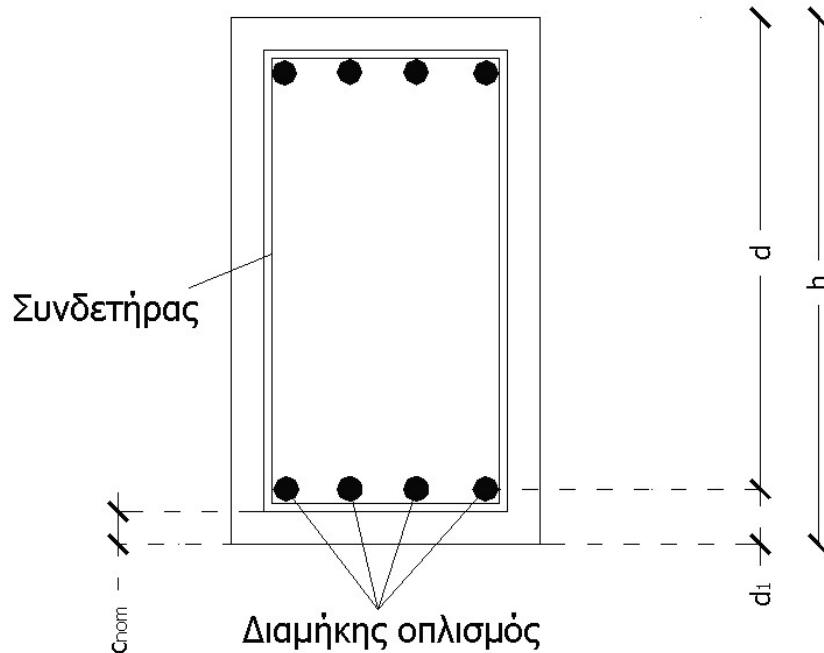
Κατηγορίες διαβρωτικότητας περιβάλλοντος (4/4)

Διάκριση σε επί μέρους κατηγορίες έκθεσης (ΕC2 Πίνακας 4.1)

Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Πληροφοριακά παραδείγματα κατηγοριών έκθεσης
5. Προσβολή παγετού / απόψυξης		
XF1	Μέτριας κλίμακας υδρεμποτισμός χωρίς, παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον παγετό.
XF2	Μέτριας κλίμακας υδρεμποτισμός με παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος κατασκευών οδοποιίας εκτεθειμένες σε παγετό και παράγοντες απόψυξης που μεταφέρονται με τον αέρα.
XF3	Εκτεταμένος υδρεμποτισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον παγετό.
XF4	Εκτεταμένος υδρεμποτισμός με παράγοντα απόψυξης ή θαλασσινό νερό	Καταστρώματα οδών ή γεφυρών εκτεθειμένα σε παράγοντες απόψυξης. Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε άμεσο ψεκασμό με παράγοντες απόψυξης και παγετό. Ζώνες παφλασμού σε λιμενικά έργα εκτεθειμένα σε παγετό.
6. Χημική προσβολή		
XA1	Ελαφρώς επιθετικό χημικό περιβάλλον	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA2	Μετρίως επιθετικό χημικό περιβάλλον	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA3	Ιδιαιτέρως επιθετικό χημικό περιβάλλον	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα

Επικαλύψεις οπλισμών (1/8)

- Εξασφάλιση επαρκούς συνάφειας
 - Επιβράδυνση διάβρωσης οπλισμών
 - Αύξηση ανθεκτικότητας σε πυρκαγιά
- } Αύξηση ανθεκτικότητας σε διάρκεια



d: Στατικό ύψος

$$d = h - d_1$$

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \emptyset_w + 0.5 \emptyset_L$$

\emptyset_w η διάμετρος του εγκάρσιου οπλισμού (συνδετήρες)
 \emptyset_L η διάμετρος του διαμήκους οπλισμού

Επικαλύψεις οπλισμών (2/8)

- Το ονομαστικό πάχος επικάλυψης c_{nom} πρέπει να δηλώνεται στα σχέδια

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad c_{min} = \max (c_{min,b}, c_{min,dur}, 10mm) \text{ όπου:}$$

- Δc_{dev} : Προσαύξηση έναντι κατασκευαστικών αποκλίσεων.

Συνήθως 10mm (υπό όρους: $10mm \geq \Delta c_{dev} \geq 5mm$)

- $c_{min,b}$: Ελάχιστη επικάλυψη εξασφάλισης συνάφειας

$c_{min,b}$: \emptyset ή ισοδύναμη διάμετρος \emptyset για δέσμες ράβδων

προσαύξηση κατά 5mm για μέγιστο αδρανές $>32mm$

- $c_{min,dur}$: Ελάχιστη επικάλυψη αναλόγως περιβαλλοντικών συνθηκών (mm)

Επικαλύψεις οπλισμών (3/8)

- $c_{min,dur}$: Ελάχιστη επικάλυψη αναλόγως περιβαλλοντικών συνθηκών (mm)

Κατηγορία Κατασκευής	Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4 *	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Επικαλύψεις οπλισμών (4/8)

- Κριτήρια και αντίστοιχες αυξομειώσεις κατηγορίας κατασκευής

Κριτήριο	Περιβάλλον έκθεσης						
	X0	XC1	XC2/ XC3	XC4	XD1	XD2/ XS1	XD3/ XS2/ XS3
Χρόνος ζωής σχεδιασμού 100 χρόνια	αύξηση κατά 2						
Κατηγορία σκυροδέματος	≥ C30/37 μείωση κατά 1	≥ C30/37 μείωση κατά 1	≥ C35/45 μείωση κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατά 1	≥ C45/55 μείωση κατά 1
Πλάκες ή κελύφη	μείωση κατά 1						
Διασφάλιση ποιότητας παραγωγής σκυροδέματος	μείωση κατά 1						

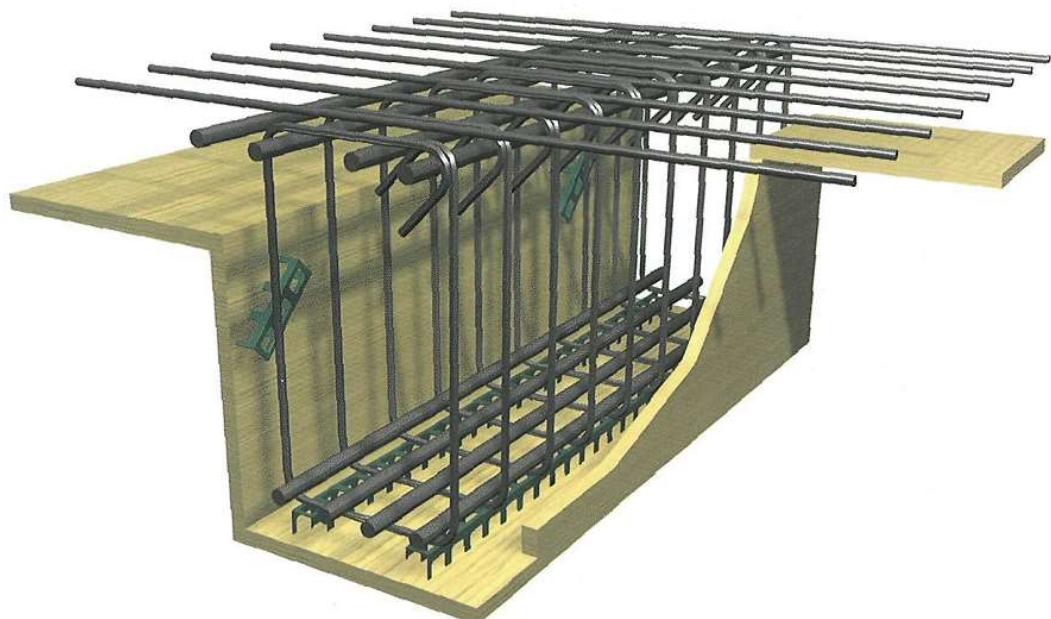
Επικαλύψεις οπλισμών (5/8)

- Οι επικαλύψεις στον ΕΚΩΣ2000

Ελάχιστες επικαλύψεις c_{min} (σε mm)						
Τιμές c_{min}				Διόρθωση για:		
Κατηγορία συνθηκών περιβάλλοντος				Πλάκες ή κελύφη	Προτανυόμενους τένοντες	Προεντεταμένους τένοντες
1	2	3	4	-5	+5	+10
20	25	30	30-45*			

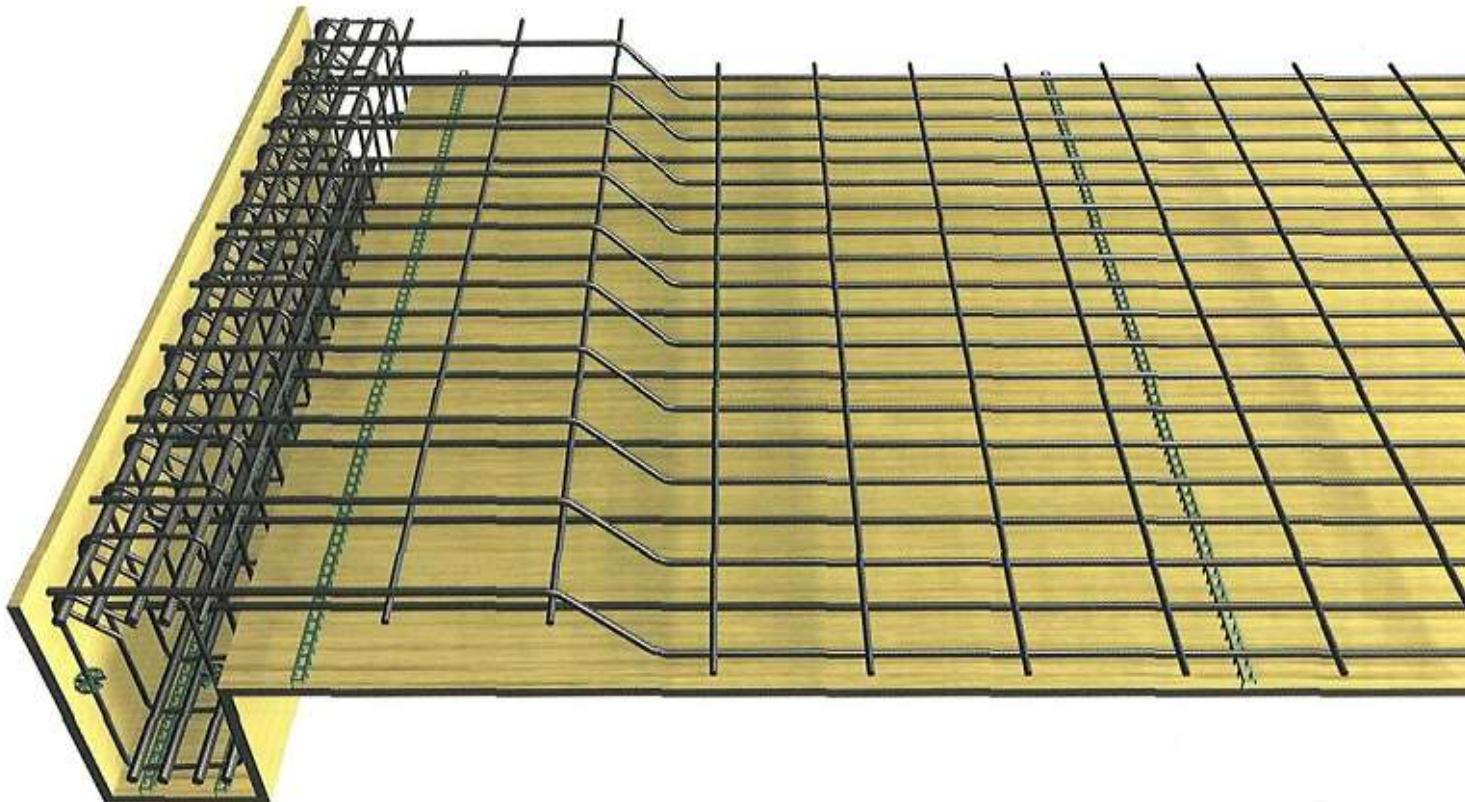
Κατηγορία	Χαρακτηριστικά
1 Ελάχιστα διαβρωτικό	<ul style="list-style-type: none">Εσωτερικοί χώροι κτιρίων κατοικιών ή γραφείωνΧώροι με μικρά διαστήματα υψηλής σχετική υγρασίας
2 Μετρίως διαβρωτικό	<ul style="list-style-type: none">Εσωτερικοί χώροι με υψηλή σχετική υγρασίαΕξωτερικοί χώροι χωρίς διαβρωτική ατμόσφαιραΦυσικό νερό χωρίς διαβρωτικές ουσίες
3 Παραθαλάσσιο	<ul style="list-style-type: none">Παραθαλλάσσιες περιοχές (απόσταση από την ακτή $\leq 1km$).
4 Πολύ διαβρωτικό	<ul style="list-style-type: none">Βιομηχανικές ζώνεςχώροι με υψηλή συγκέντρωση διαβρωτικών ουσιών
Δομικά στοιχεία με όψεις που εμπίπτουν σε διαφορετικές κατηγορίες σχεδιάζονται με τη δυσμενέστερη	

Επικαλύψεις οπλισμών (6/8)



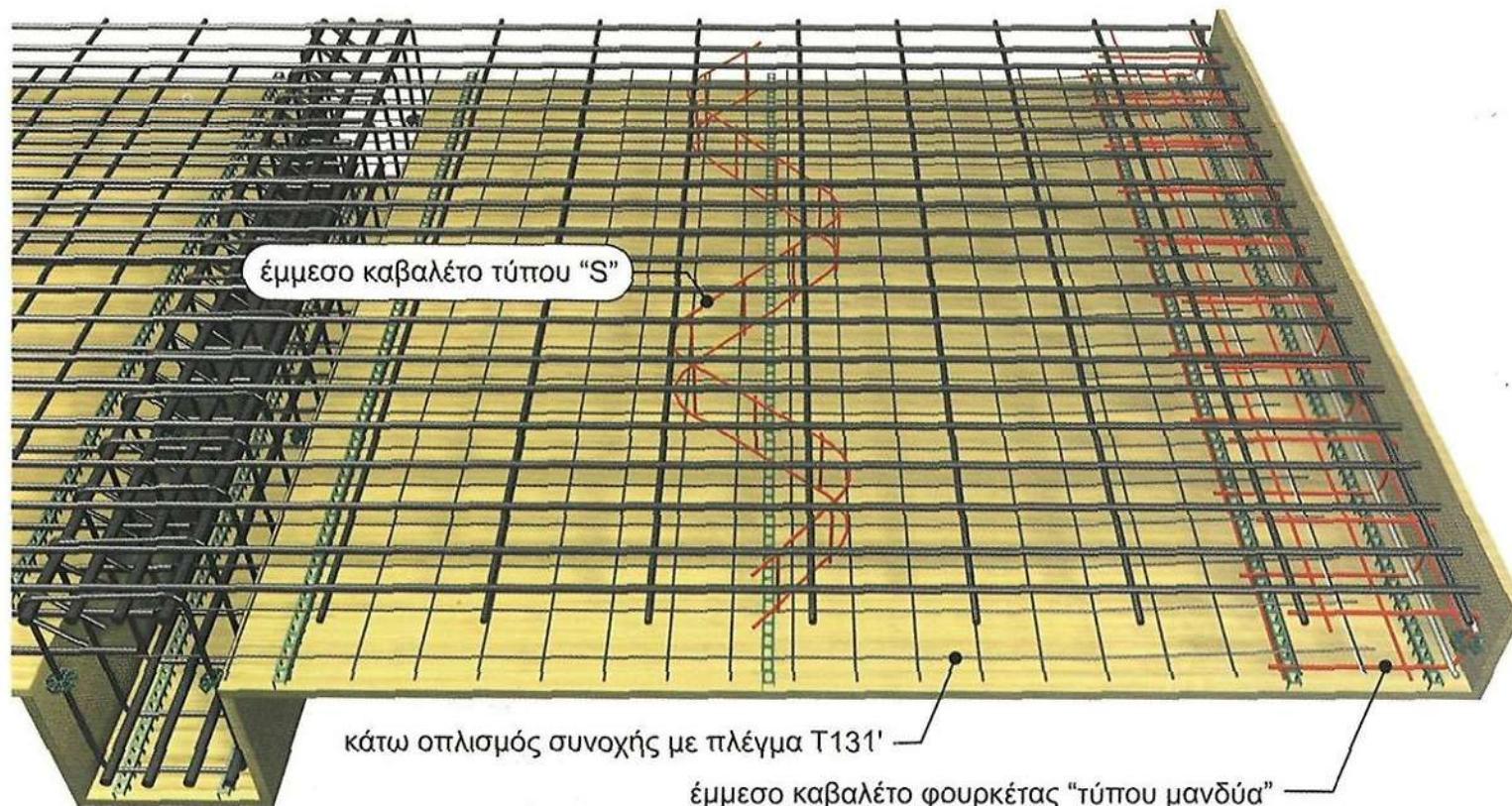
Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Επικαλύψεις οπλισμών (7/8)



Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Επικαλύψεις οπλισμών (8/8)



Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

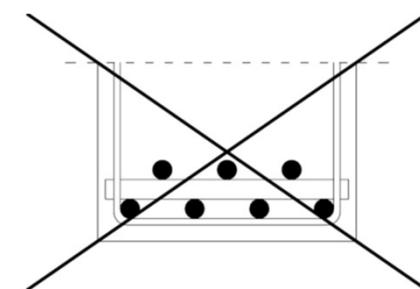
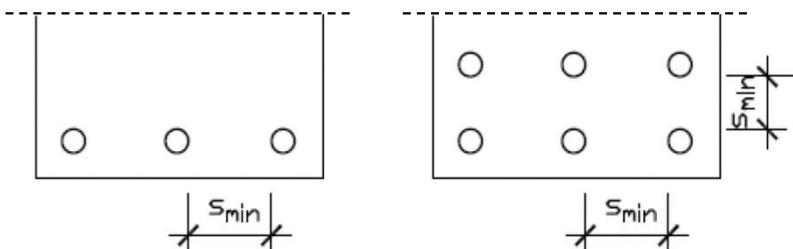
Αποστάσεις οπλισμών

- Απαιτούνται κατάλληλες αποστάσεις μεταξύ των ράβδων ώστε το σκυρόδεμα να διαστρωθεί και να συμπυκνωθεί ικανοποιητικά. Έτσι εξασφαλίζεται επαρκής συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμών
- Οι ράβδοι των επάλληλων στρώσεων θα πρέπει να διατάσσονται κατακόρυφα, η μια πάνω από την άλλη
- Ράβδοι που ματίζονται επιτρέπεται να εφάπτονται μεταξύ τους στο μήκος υπερκάλυψης
- Η καθαρή απόσταση (οριζοντίως και καθέτως) μεταξύ μεμονωμένων παράλληλων ράβδων ή οριζόντιων στρώσεων ράβδων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με:

$$S_{min} = \max \{ \emptyset, d_g + 5, 20 \} \text{ (mm)}$$

όπου:

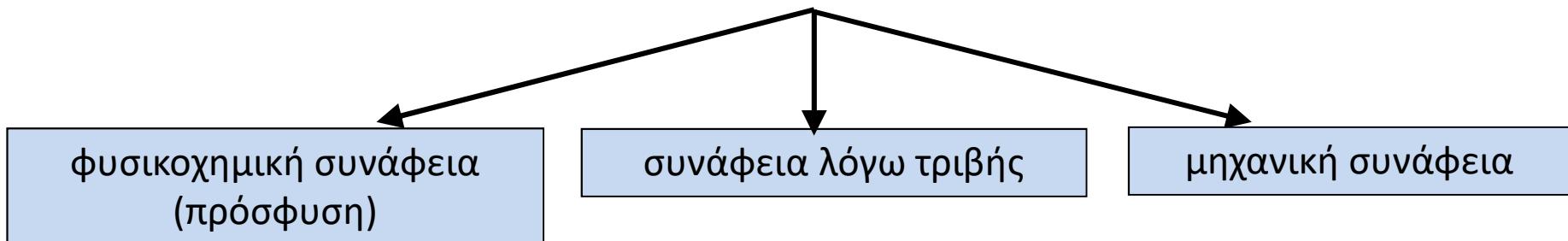
- \emptyset η διάμετρος της ράβδου
 d_g η μεγαλύτερη διάσταση των αδρανών



Απαγορεύεται

Συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος (1/4)

Ταυτόχρονη δράση 3 μηχανισμών



εξαρτάται από την τραχύτητα και την καθαρότητα επεξεργασίας του χάλυβα

καταστρέφεται για πολύ μικρές σχετικές ολισθήσεις

απαιτείται η ύπαρξη πιέσεων (δυνάμεων) κάθετων προς τη διεπιφάνεια των δύο υλικών

Εγκάρσιες πιέσεις προέρχονται

- από εγκάρσιες φορτίσεις
- από την περίσφιξη κυρίως των συνδετήρων
- από τη συστολή ξήρανσης. Ο συντελεστής τριβής κυμαίνεται μεταξύ $\mu=0.30-0.60$, ανάλογα με το βαθμό τραχύτητας του χάλυβα

ράβδοι με νευρώσεις

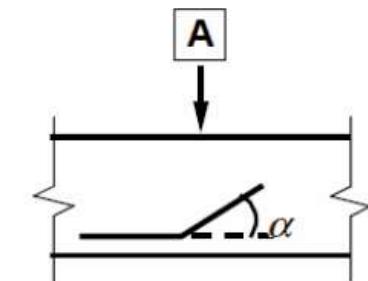


εντυπωσιακή αύξηση της συνολικής δύναμης συνάφειας

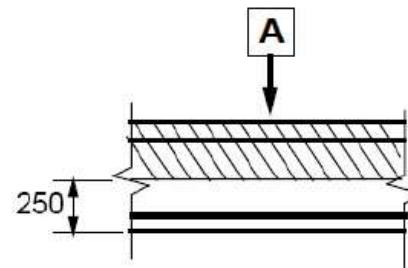
Συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος (2/4)

- η ποιότητα της συνάφειας εξαρτάται από
 - τη μορφή της επιφάνειας της ράβδου
 - τη διάσταση του δομικού στοιχείου και από τη θέση
 - την κλίση του οπλισμού κατά τη σκυροδέτηση
- Οι τάσεις συνάφειας θεωρούνται σταθερές κατά μήκος των ράβδων
- Ορίζεται η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας f_{bd} (b : bond)
- Η οριακή αντοχή συνάφειας εξαρτάται κυρίως από την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και τη θέση της ράβδου στο δομικό στοιχείο
- Διακρίνονται δύο περιοχές συνάφειας
 - Περιοχή συνάφειας I: όπου οι συνθήκες θεωρούνται ευνοϊκές
 - Περιοχή συνάφειας II: όπου οι συνθήκες θεωρούνται δυσμενείς

Συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος (3/4)

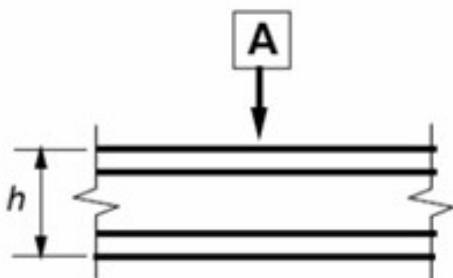


a) $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

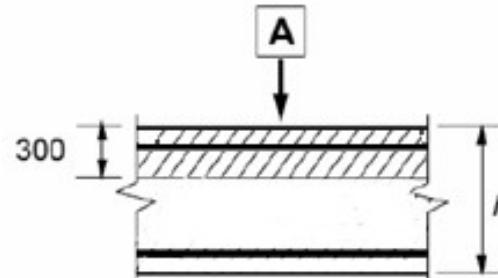


c) $h > 250 \text{ mm}$

A Διεύθυνση
σκυροδέτησης



b) $h \leq 250 \text{ mm}$



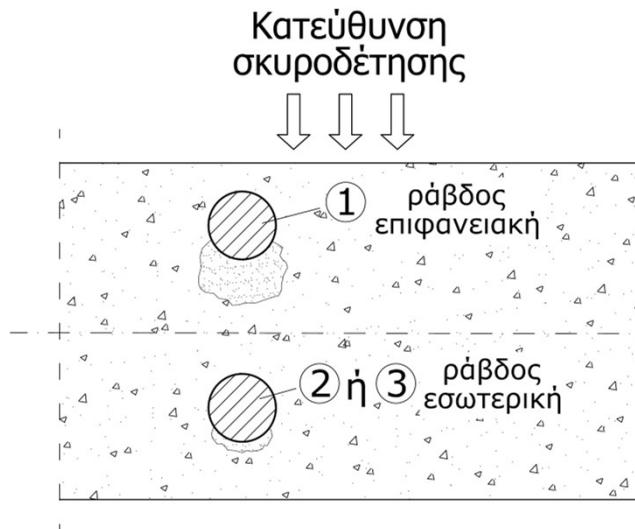
d) $h \geq 600 \text{ mm}$

Συνθήκες συνάφειας ευνοϊκές (Ε) : Λευκές περιοχές

Συνθήκες συνάφειας δυσμενείς (Δ) : Διαγραμμισμένες περιοχές

Συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος (4/4)

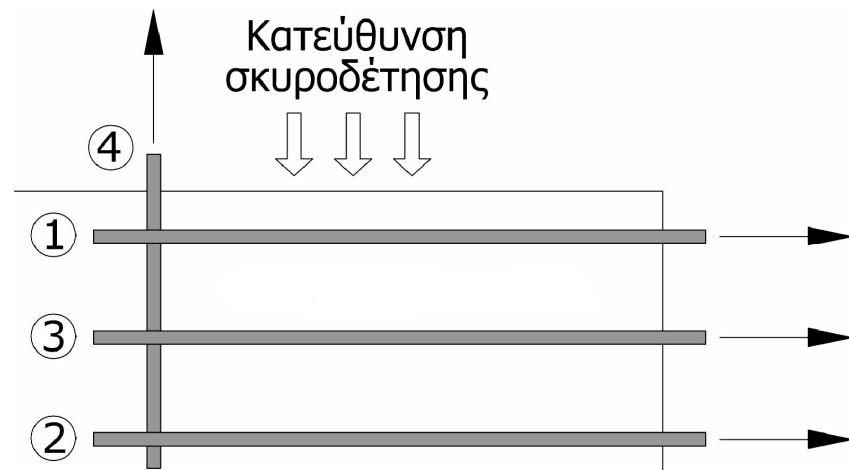
Επιρροή της θέσης της ράβδου στην τάση συνάφειας



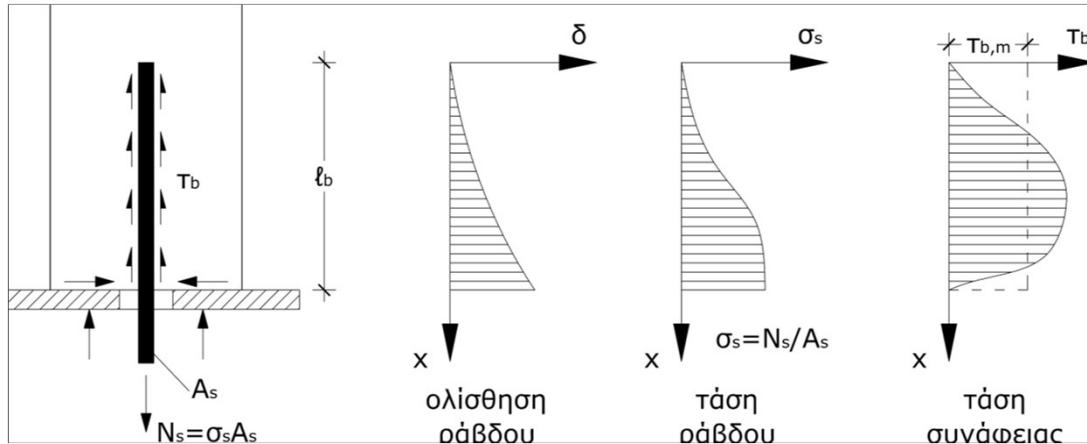
1-4

- (1) Δυσμενείς συνθήκες συνάφειας
-
- (4) Ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

- Κάτω από τις οριζόντιες ράβδους σχηματίζεται υδαρής θύλακας τσιμεντοπολτού που με την σκλήρυνση γίνεται πορώδης στρώση
- Ο θύλακας αυξάνεται όσο ψηλότερα βρίσκεται η ράβδος και όσο παχύτερο είναι το στοιχείο (εξίδρωση)



Αγκυρώσεις οπλισμών (1/7)



N_s : η εξωτερική δύναμη
εξόλκευσης

$$N_s = \tau_b (\pi d) I_b$$

Στην οριακή κατάσταση αστοχίας και για να προηγηθεί η διαρροή της ράβδου (πλάστιμη συμπεριφορά) αντί της εξόλκευσής της (ψαθυρή αστοχία) θα πρέπει

$$N_{sd} = A_s f_{yd} \leq f_{bd} (\pi d) I_b$$

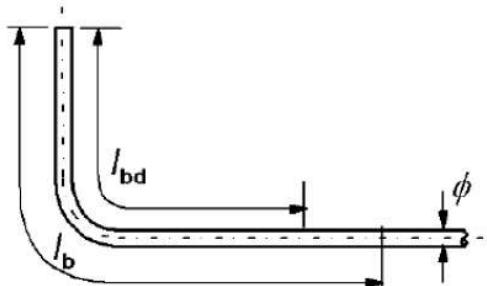


$$I_b \geq \frac{d}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

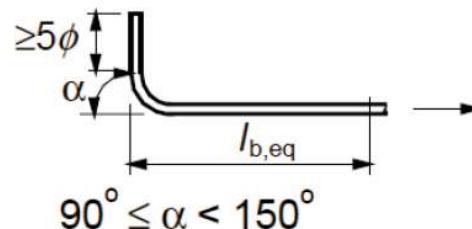
- I_b είναι το απαιτούμενο μήκος ώστε να διαρρεύσει η ράβδος χωρίς να ολισθήσει
- Όλες οι ράβδοι στα δομικά στοιχεία απαιτείται να προεκτείνονται για μήκος I_b το οποίο ονομάζεται **μήκος αγκύρωσης**

Αγκυρώσεις οπλισμών (2/7)

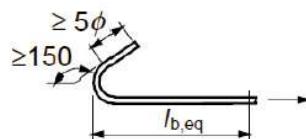
- Συνήθεις μορφές αγκύρωσης, πέρα από την ευθύγραμμη
- Σε ράβδους οπλισμού που υπόκεινται σε θλίψη, καμπυλώσεις και άγκιστρα στα άκρα τους δε συνεισφέρουν στην αγκύρωσή τους



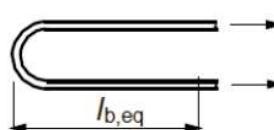
a) Βασικό μήκος αγκύρωσης υπό εφελκυσμό, l_b για οποιοδήποτε σχήμα μετρούμενο κατά μήκος του άξονα της ράβδου.



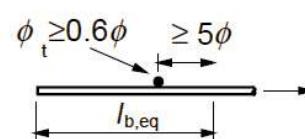
b) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπική καμπύλωση



c) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό άγκιστρο



d) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό βρόχο



e) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης με συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο

Μήκη αγκύρωσης

$l_{b,rqd}$: απαιτούμενο

l_{bd} : σχεδιασμού

$l_{b,eq}$: ισοδύναμο σχεδιασμού

Αγκυρώσεις οπλισμών (3/7)

Τάση συνάφειας οπλισμού - σκυροδέματος

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

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

όπου:

$$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c \quad \text{όπου } f_{ctk,0.05} \leq 3.1 \text{ MPa (τιμή για σκυρόδεμα C60/75)}$$

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

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

Αγκυρώσεις οπλισμών (4/7)

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

$$I_{b,rqd} = (\emptyset / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

όπου: $\sigma_{sd} = (A_{s,rqd} / A_{s,pvd}) \cdot f_{yd}$

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

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

Αγκυρώσεις οπλισμών (5/7)

Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού I_{bd}

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

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

όπου:

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

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

$$I_{b,min} > \max \{0.3I_{b,rqd}, 10\varnothing, 100mm\} \quad \text{αγκύρωση εφελκυόμενης ράβδου}$$

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

Αγκυρώσεις οπλισμών (6/7)

Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού I_{bd}

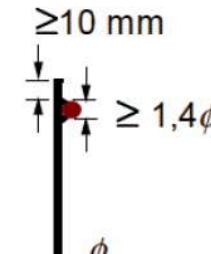
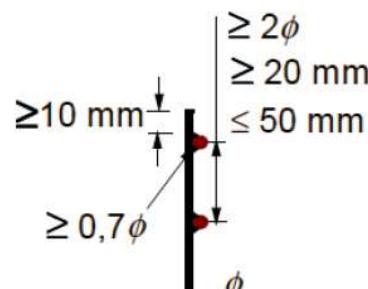
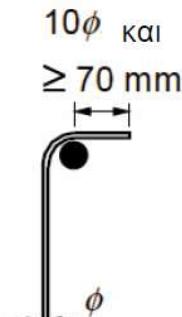
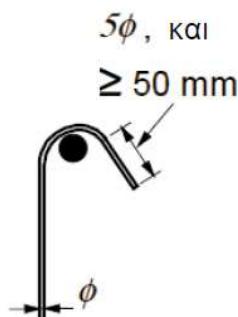
Τιμές των
συντελεστών

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$

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

Αγκυρώσεις οπλισμών (7/7)

Αγκύρωση συνδετήρων και οπλισμού διάτμησης



a)

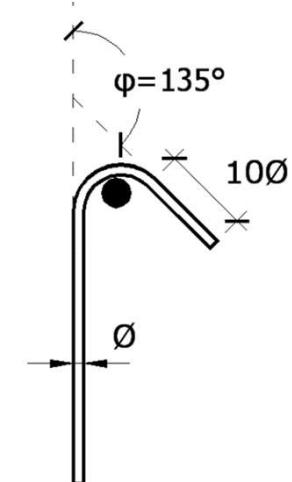
b)

c)

d)

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

- Σύμφωνα με τον EC8 για συνδετήρες σε δοκούς, υποστυλώματα και τοιχώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

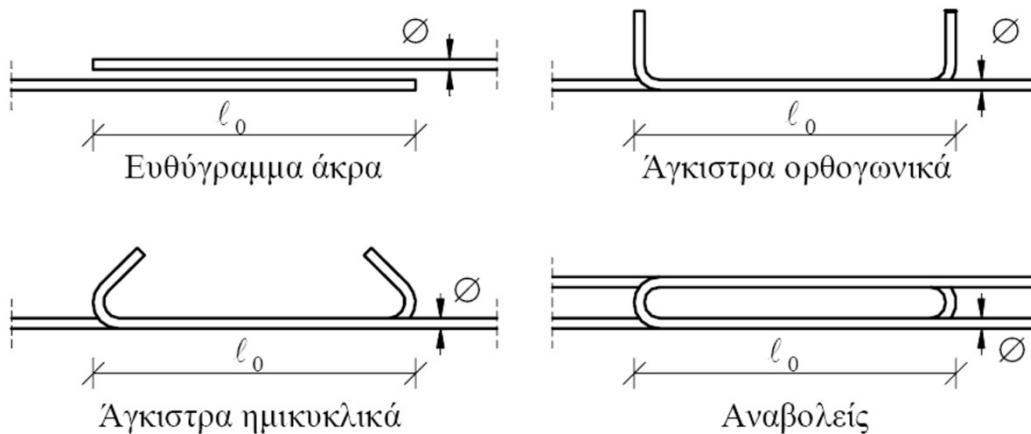


Ενώσεις οπλισμών (1/4)

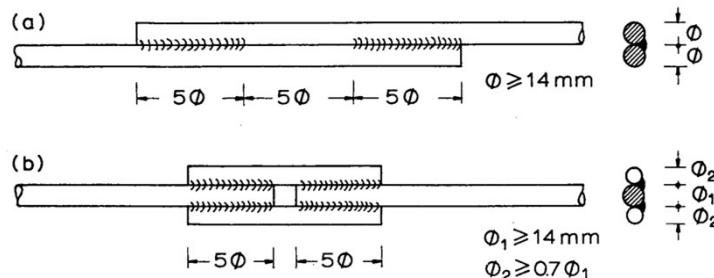
- Οι ενώσεις απαιτούνται για να εξασφαλίσουν τη μεταβίβαση της δύναμης από τη μια ράβδο στην άλλη όταν για κατασκευαστικούς λόγους δεν είναι δυνατή η διάταξη της ράβδου σε ενιαίο μήκος (π.χ. μεγάλα ανοίγματα δοκών, αδυναμία επεξεργασίας και τοποθέτησης κ.λ.π.)
- Οι ενώσεις μπορούν να γίνουν
 - Με υπερκάλυψη, σε διάφορες παραλλαγές, π.χ.
 - ευθύγραμμα áκρα
 - ημικυκλικά ή ορθογωνικά áγκιστρα,
 - αναβολείς,
 - ευθύγραμμα áκρα με συγκολλητούς εγκάρσιους οπλισμούς
 - Με συγκόλληση
 - Με μηχανικά μέσα

Ενώσεις οπλισμών (2/4)

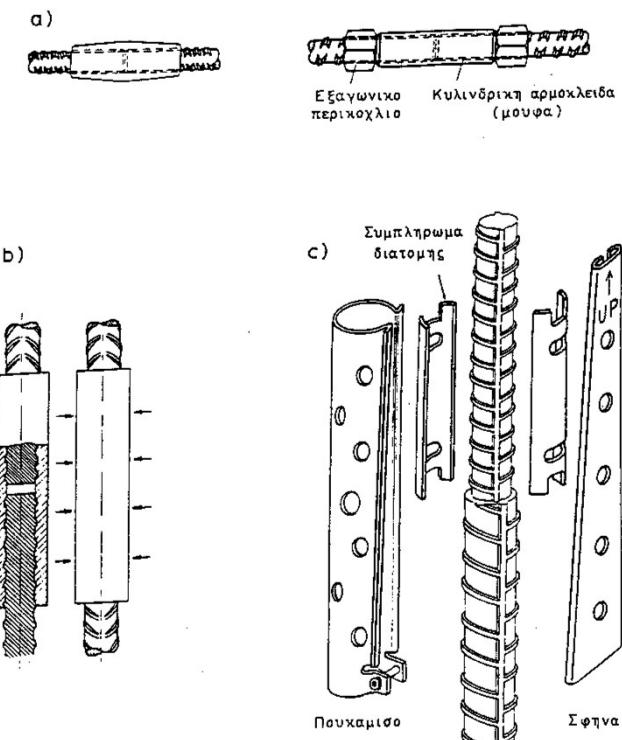
Ενώσεις με υπερκάλυψη



Ενώσεις με συγκόλληση



Κοχλιωτές ενώσεις



Ενώσεις οπλισμών (3/4)

- Το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης I_0 προκύπτει από κατάλληλη προσαύξηση του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού I_{bd} ανάλογα με το ποσοστό των ράβδων που ενώνονται σε μία θέση.

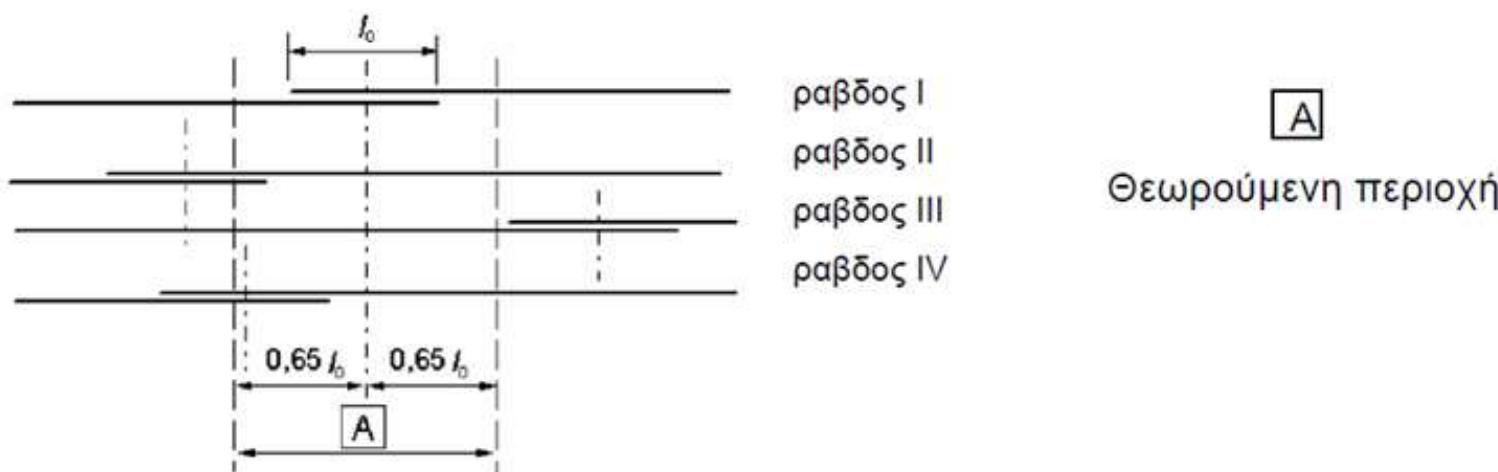
$$I_0 = \alpha_6 \cdot I_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot I_{b,rqd} \geq I_{0,min}$$

όπου:

- $I_{0,min} > \max\{0.3 \cdot \alpha_6 \cdot I_{b,rqd}, 15\emptyset, 200\text{mm}\}$
- Οι τιμές των α_1 , α_2 , α_3 και α_5 λαμβάνονται από τον πίνακα των αγκυρώσεων
- Κατά τον υπολογισμό του α_3 το $\Sigma A_{st,min}$ λαμβάνεται ίσο με $A_s \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd})$
όπου A_s είναι το εμβαδόν της διατομής μιας υπό ένωση ράβδου
- $\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0.5}$ και $1.0 \leq \alpha_6 \leq 1.5$. Όπου ρ_1 είναι το ποσοστό του οπλισμού που ενώνεται με υπερκάλυψη στην ίδια θέση η οποία ορίζεται ως το τμήμα του δομικού στοιχείου με μήκος $0.65 \cdot I_0$ εκατέρωθεν του μέσου της θεωρούμενης ένωσης

Ενώσεις οπλισμών (4/4)

Τιμές του συντελεστή α_6				
Ποσοστό των υπερκαλυπτόμενων ράβδων ως προς το συνολικό οπλισμό της διατομής	<25%	33%	50%	>50%
α_6	1.00	1.15	1.40	1.50



Παράδειγμα : Οι ενώσεις των ράβδων II και III είναι εκτός της θεωρούμενης περιοχής :

$$\rho_1 = 50\% \text{ και } \alpha_6 = 1,4$$



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Οπλισμένο Σκυρόδεμα I

Ενότητα 4: Διαστασιολόγηση για μεγέθη ορθής έντασης – Κάμψη δοκών

Γεώργιος Παναγόπουλος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Διαστασιολόγηση για μεγέθη ορθής έντασης

Προέχουσα κάμψη δοκών

Περιεχόμενα ενότητας

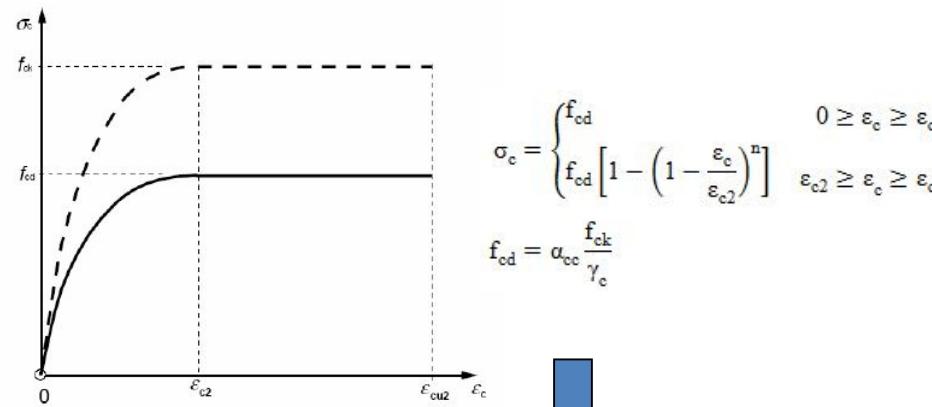
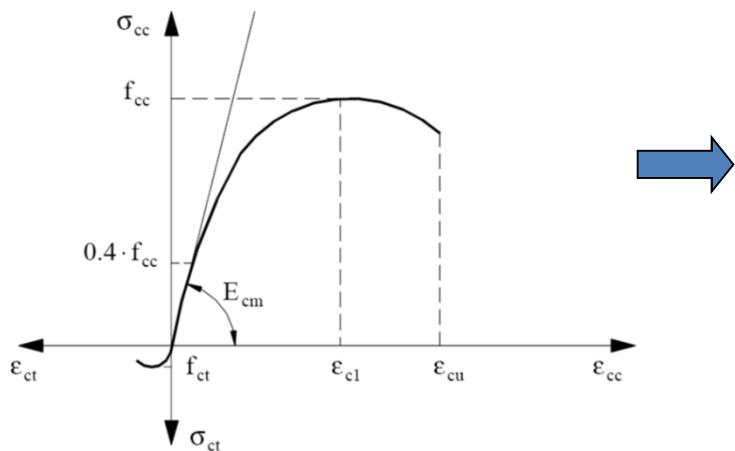
1. Παραδοχές διασταστιολόγησης
2. Συμπεριφορά δοκών σε κάμψη υπό κατακόρυφα φορτία
3. Εικόνες καμπτικής αστοχίας δοκών
4. Προέχουσα κάμψη ορθογωνικών διατομών

Παραδοχές διαστασιολόγησης

- Θεωρούνται ιδεατά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων
- Η διατομή παραμένει επίπεδη και κάθετη στον παραμορφωμένο άξονα του στοιχείου
- Ο οπλισμός υφίσταται τις ίδιες μεταβολές παραμορφώσεων με το περιβάλλον σκυρόδεμα (αγνοούνται πιθανές ολισθήσεις)
- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αμελείται
- Η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος λαμβάνεται ίση με
 - 3.5% σε κάμψη (καθαρή ή με αξονική δύναμη)
 - 2% σε κεντρική θλίψη

Παραδοχές διαστασιολόγησης

Ιδεατά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα

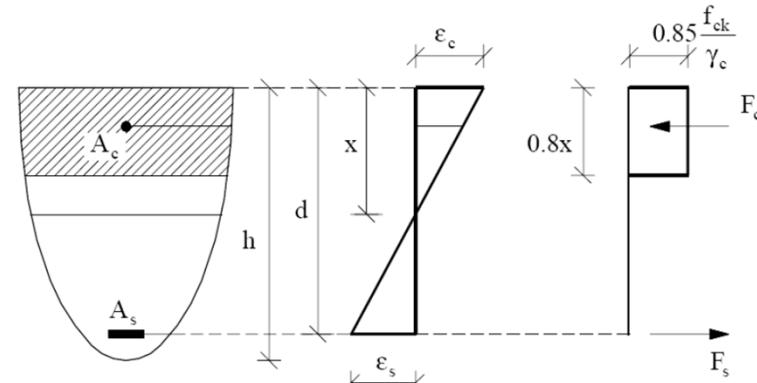


Σε ένα μήκος 0.20x από την ουδέτερη γραμμή η τάση είναι μηδέν

Στο υπόλοιπο 0.80x η τάση είναι σταθερή και έχει τιμή: $\alpha_{cc} f_{cd}$

Μειωτικός συντελεστής α_{cc} που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στη θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο που επιβάλλεται το φορτίο.

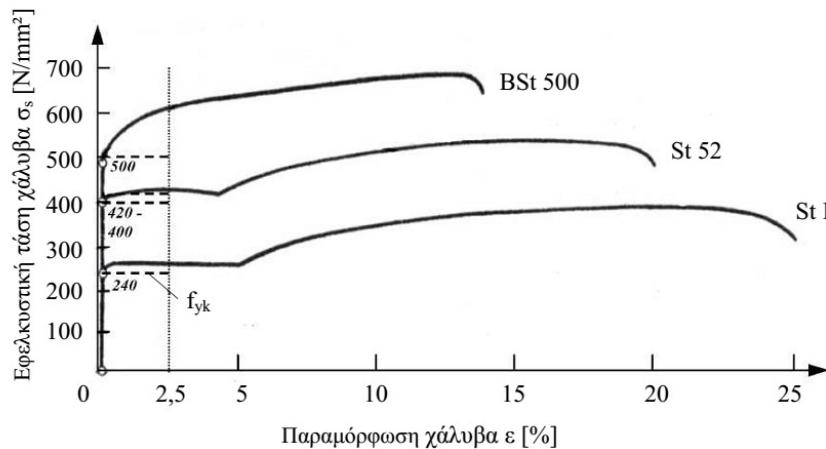
Συνιστώμενη τιμή: 1 (ΕC2) & 0.85 (ΕΚΟΣ)



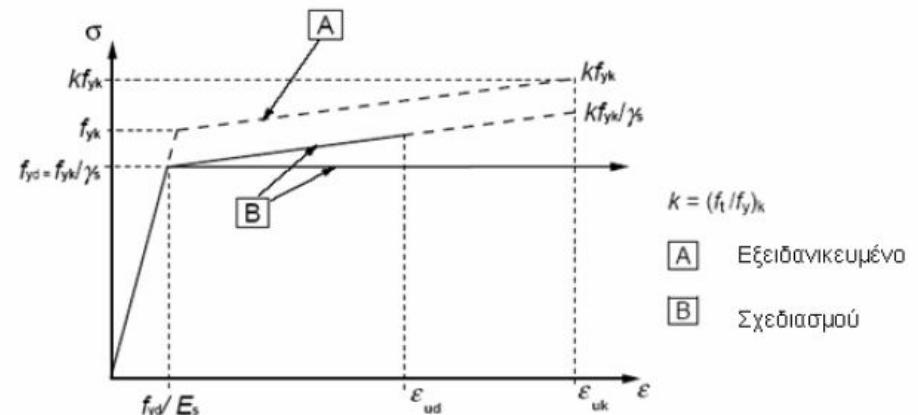
Οπλισμένο Σκυρόδεμα I
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Παραδοχές διαστασιολόγησης

Ιδεατά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων για το χάλυβα



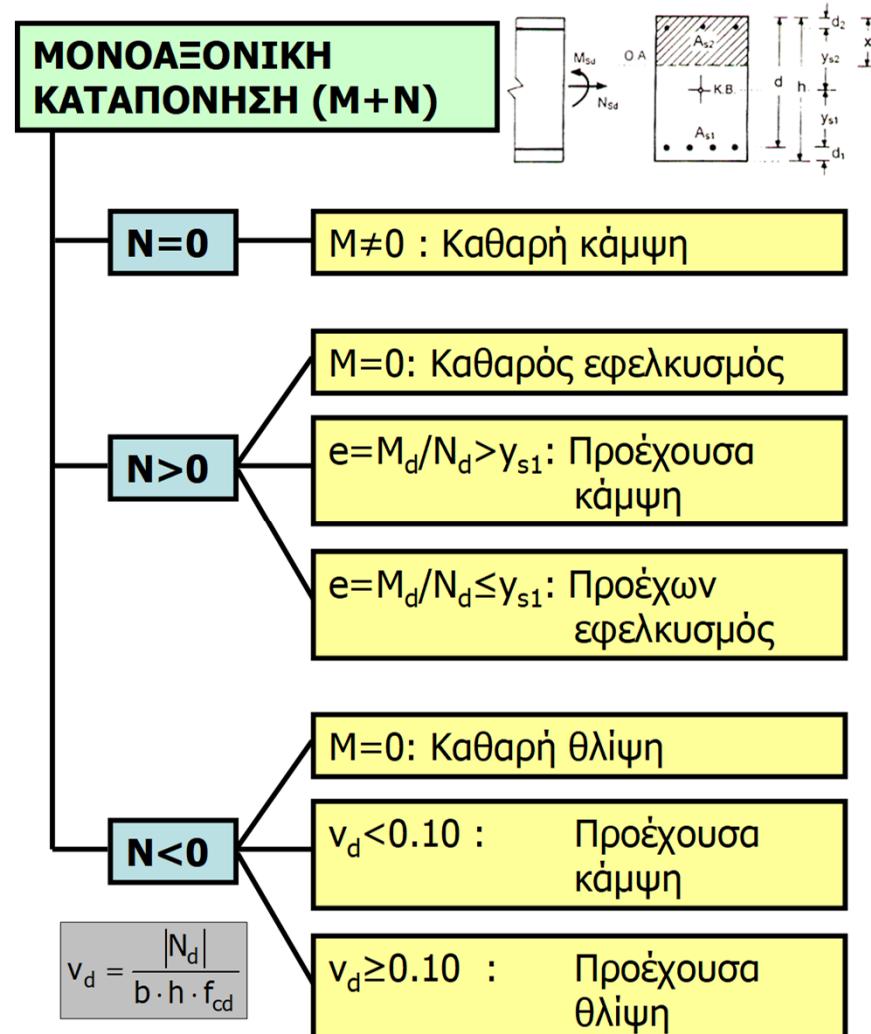
$$\sigma_{sd} = \begin{cases} +f_{yd} + (k - 1)f_{yd} \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_y}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_y} & \varepsilon_s > \varepsilon_y \\ E_s \cdot \varepsilon_s & |\varepsilon_s| < \varepsilon_y \\ -f_{yd} - (k - 1)f_{yd} \frac{|\varepsilon_s| - \varepsilon_y}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_y} & \varepsilon_s < -\varepsilon_y \end{cases}$$



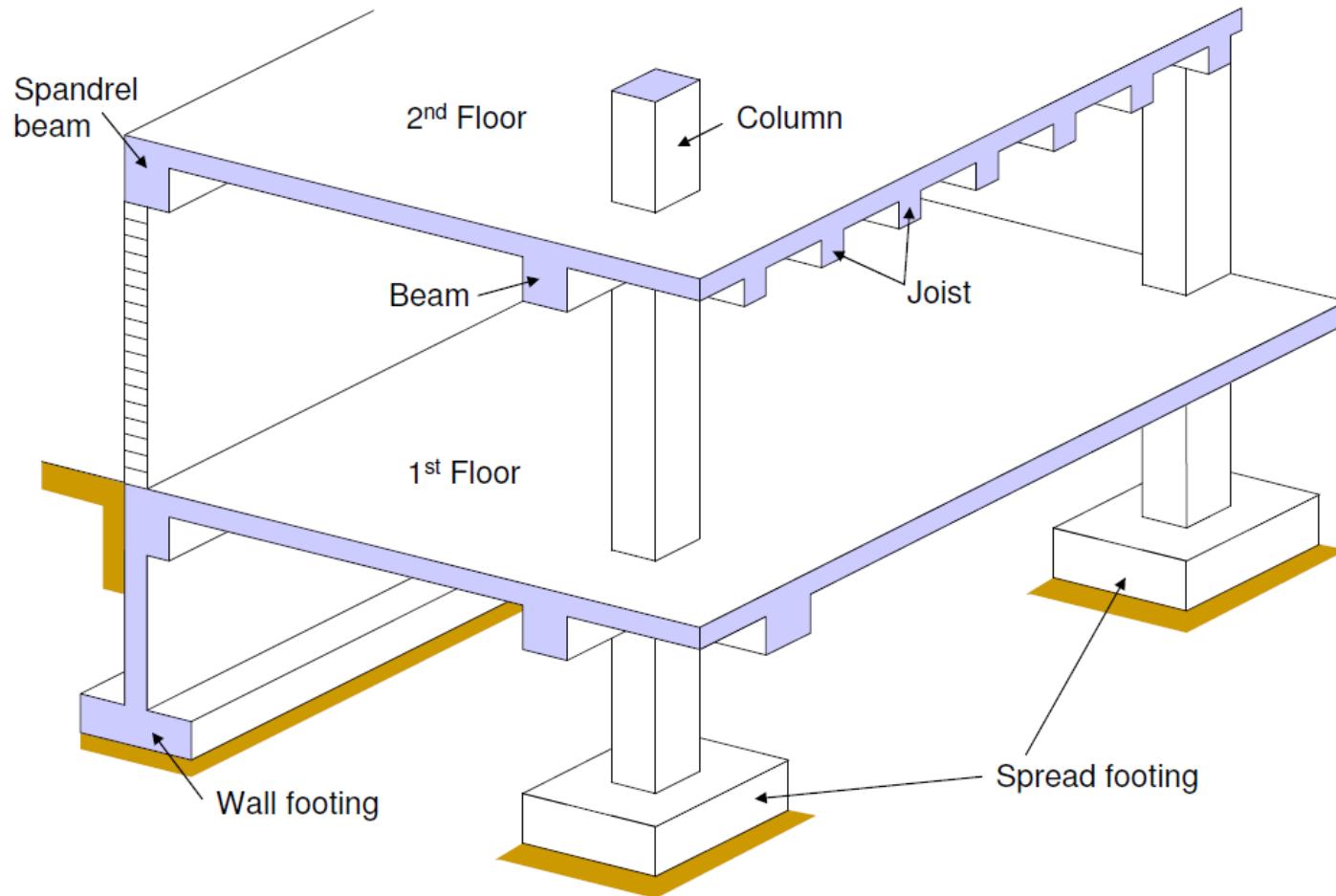
⁽¹⁾ Καραβεζύρογλου Μ. (2009), Διαχρονική θεώρηση των αντοχών σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμών βάσει των κανονισμών, 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος

Συνδυασμοί ροπής – αξονικού φορτίου (M-N)

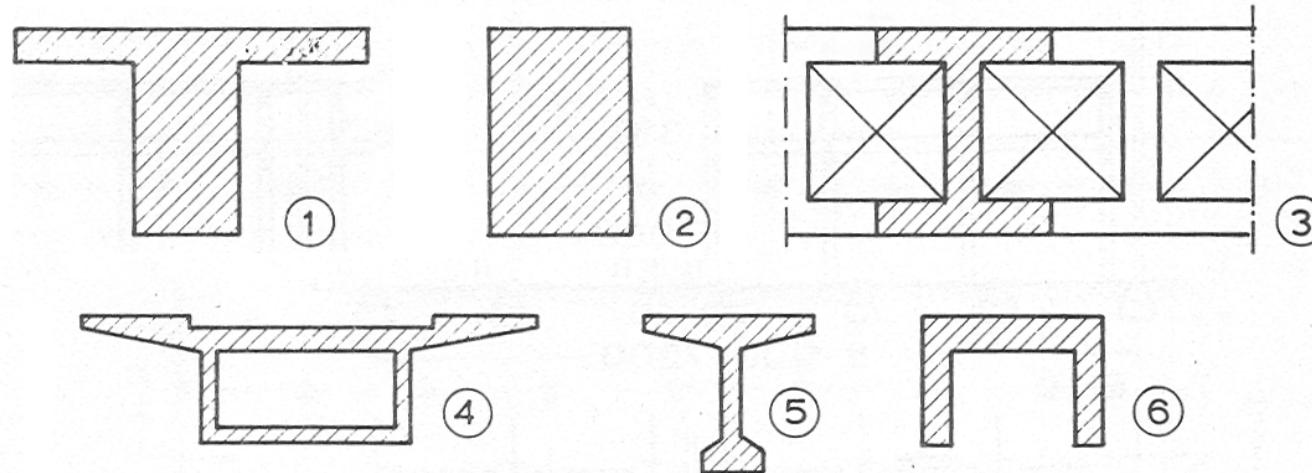
Διάκριση περιπτώσεων
(διαφορετική μεθοδολογία
υπολογισμού)



Φέρων οργανισμός κατασκευής Ο/Σ



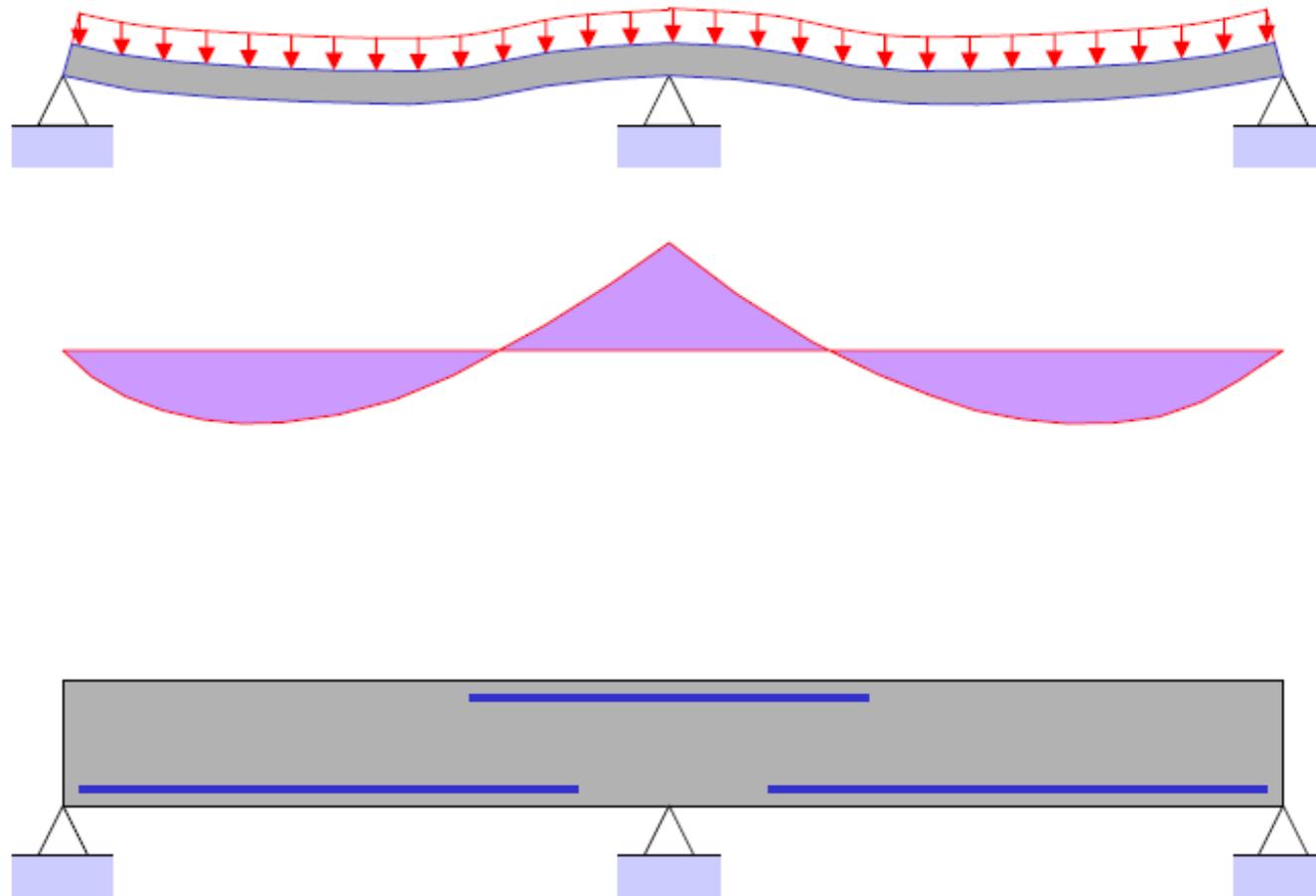
Τυπικές διατομές δοκών Ο/Σ



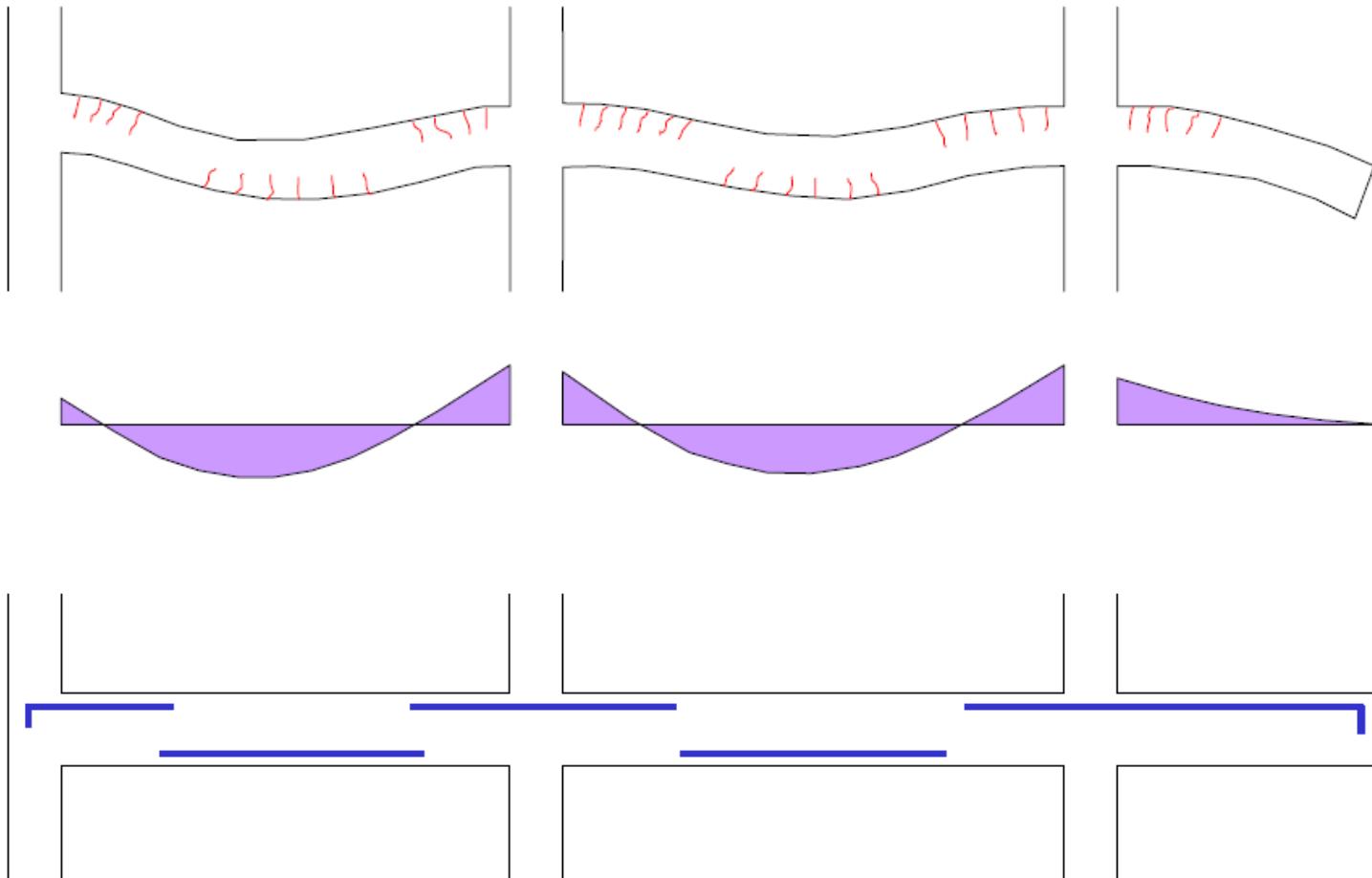
① Πλακοδοκός, ② Ορθογωνική, ③ Κυψελική, ④ Κιβωτοειδής,
⑤ Διατομή I, ⑥ Διατομή II

⁽¹⁾ Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Γ. (1995) "Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη

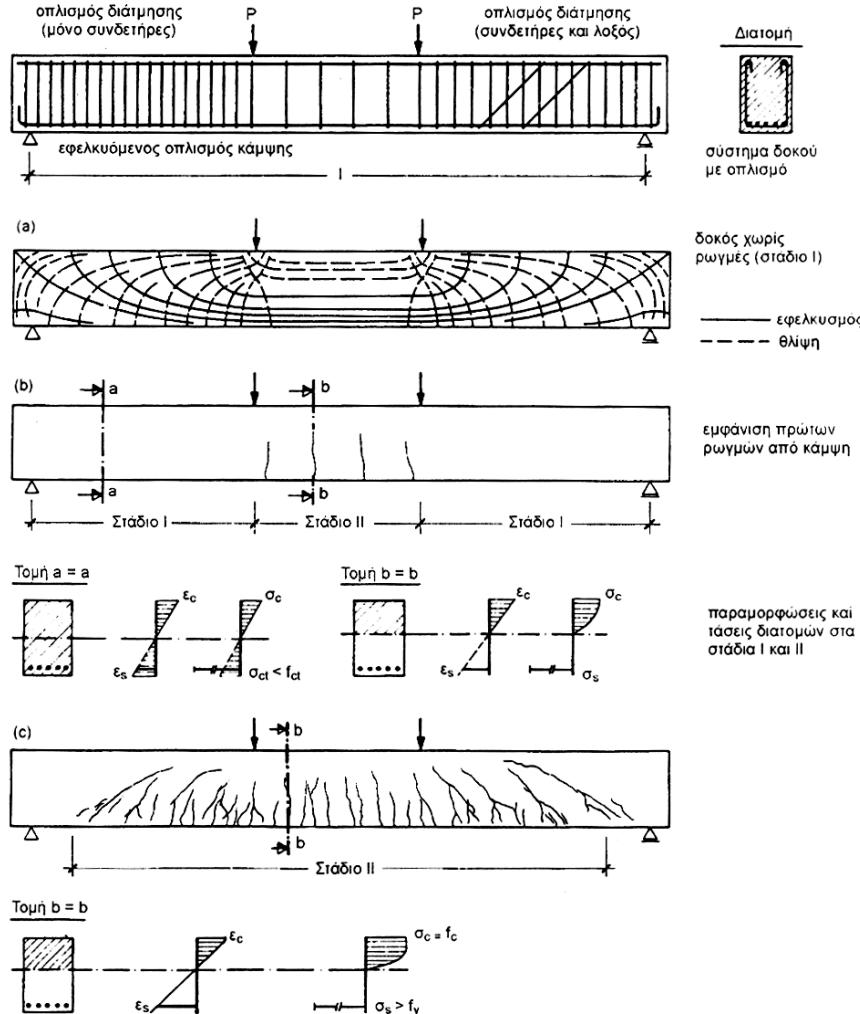
Συνεχής δοκός δύο ανοιγμάτων



Συνεχείς δοκοί υπό κατακόρυφα φορτία



Αμφιέρειστες δοκοί σε κάμψη



στάδιο I

$$\sigma_{ct} < f_{ct}$$

η ακραία τάση του σκυροδέματος σ_{ct} από κάμψη παραμένει μικρότερη από την αντοχή του σκυροδέματος f_{ct} σε εφελκυσμό από κάμψη

στάδιο II

$$\sigma_{ct} > f_{ct}$$

Οι εφελκυστικές τάσεις στα ρήγματα παραλαμβάνονται εξ ολοκλήρου από τον οπλισμό (ρηγματωμένη εφελκυσμένη ζώνη σκυροδέματος)

στάδιο III

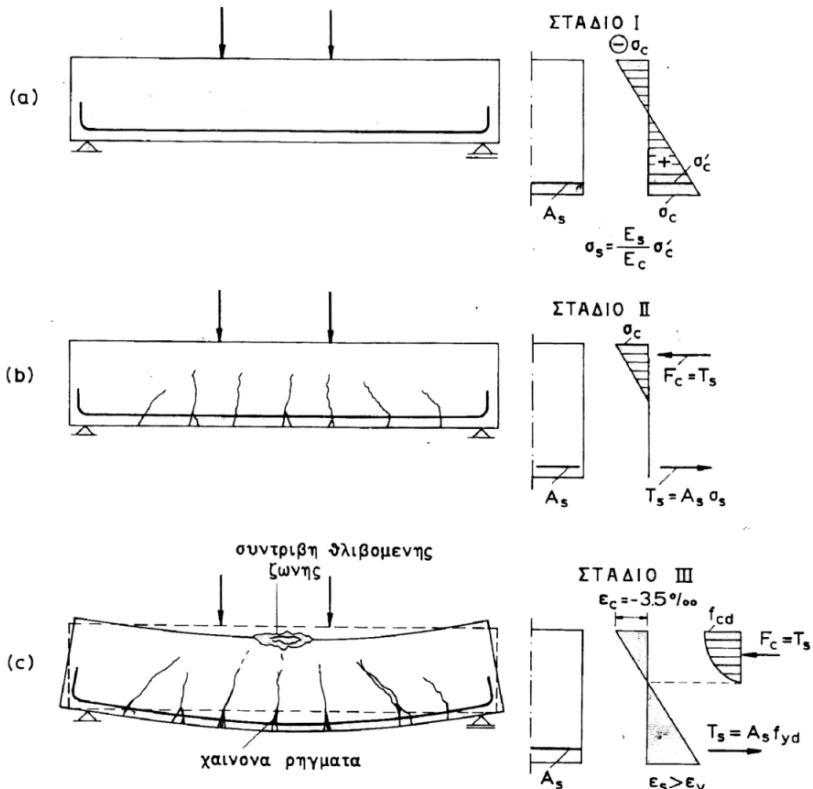
$$\sigma_s > f_y$$

Διαρροή του χάλυβα. Πολύ έντονες πλαστικές παραμόρφωσεις της δοκού (βέλος κάμψης)

Εικόνες καμπτικής αστοχίας δοκών Ο/Σ (1/4)

Διατομές “κανονικά” οπλισμένες

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$



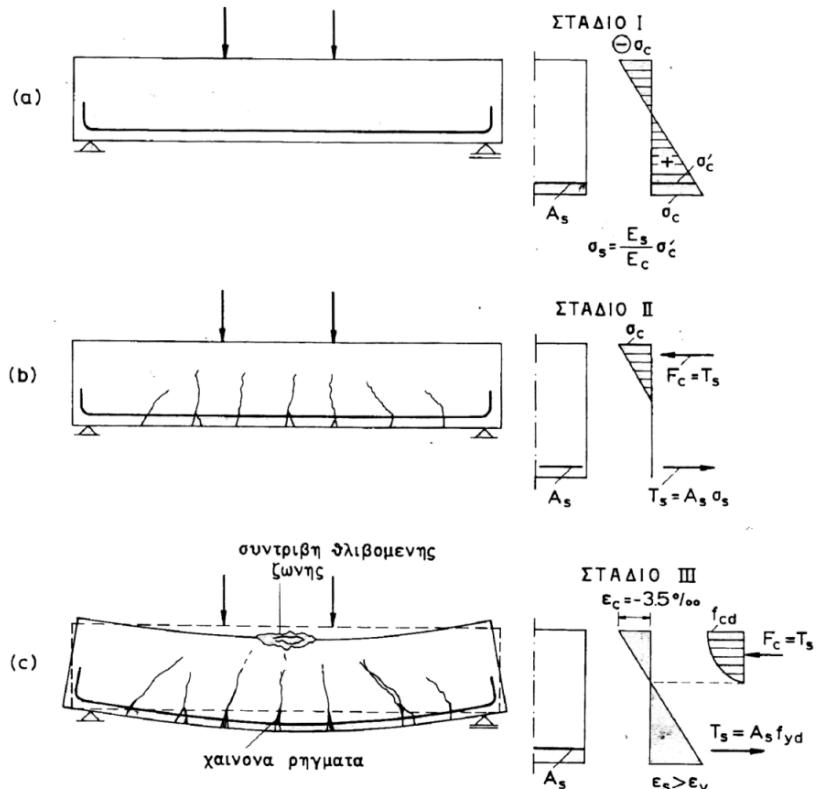
- Μετά την υπέρβαση της **εφελκυστικής αντοχής** του σκυροδέματος η δοκός μεταπίπτει από το στάδιο I στο στάδιο II.
 - Οι εφελκυστικές τάσεις παραλαμβάνονται **μόνο από τον οπλισμό**.
 - Εμφανίζονται τριχοειδή ρήγματα.
- Με την αύξηση του φορτίου και **εφόσον ο οπλισμός δε διαρρέει** τα ρήγματα αυτά **πληθαίνουν** σε αριθμό, παρουσιάζουν όμως μια ιδιαίτερα χαρακτηριστική ευστάθεια προχωρώντας καθύψος της διατομής με **ιδιαίτερα βραδείς ρυθμούς**

⁽¹⁾ Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Γ. (1995) "Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη

Εικόνες καμπτικής αστοχίας δοκών Ο/Σ (2/4)

Διατομές “κανονικά” οπλισμένες

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$



- Με την περαιτέρω αύξηση του φορτίου οι οπλισμοί φτάνουν στο **όριο διαρροής** τους χωρίς να έχει εξαντληθεί η φέρουσα ικανότητα της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (στάδιο III). Τότε τα τριχοειδή ρήγματα αρχίζουν γρήγορα να διευρύνονται και η δοκός να παρουσιάζει **μεγάλα βέλη κάμψης**
- Η τελική αστοχία επέρχεται συνήθως από τη **συντριβή** της θλιβόμενης ζώνης λόγω της αδυναμίας της να φέρει σε τόσο μικρό ύψος θλιπτική δύναμη ίση με τη δύναμη διαρροής του οπλισμού

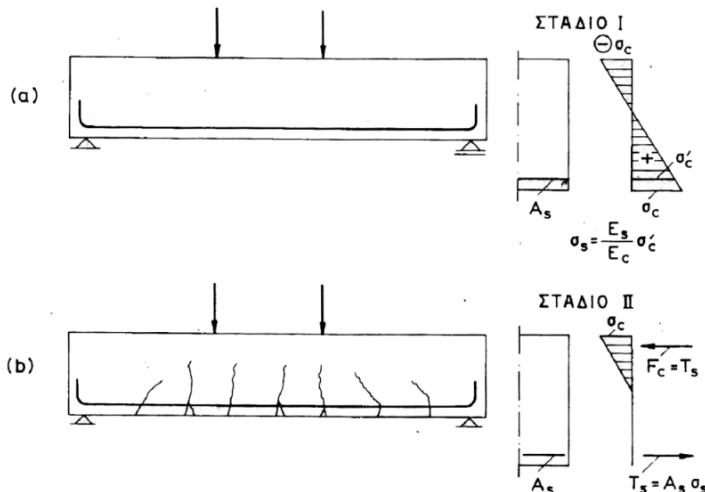
Πλάστιμη συμπεριφορά

⁽¹⁾ Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Γ. (1995) "Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη

Εικόνες καμπτικής αστοχίας δοκών Ο/Σ (3/4)

Διατομές “ασθενώς” οπλισμένες

$A_s < A_{s,min}$

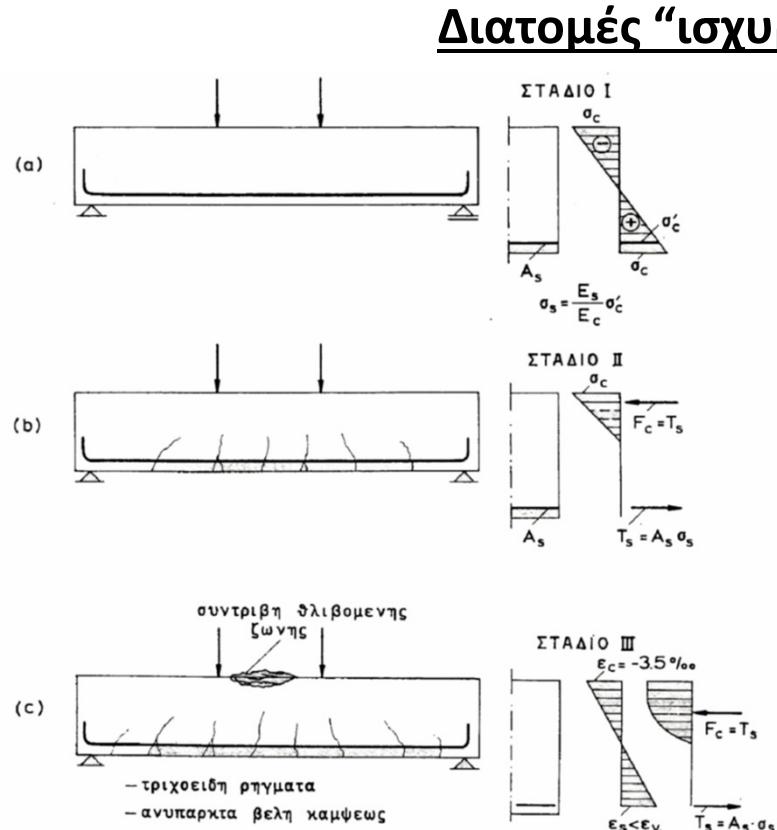


- Είναι οι διατομές με ιδιαίτερα **χαμηλό ποσοστό οπλισμού**
- Κατά τη μετάβαση από το στάδιο Ι στο στάδιο ΙΙ οι οπλισμοί δεν είναι σε θέση να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στην εφελκυόμενη ζώνη.
- Με την εμφάνιση των πρώτων ρηγμάτων ο οπλισμός διαρρέει και η δοκός καταρρέει, **χωρίς καμία προειδοποίηση**.
- Πρόβλεψη για τοποθέτηση ενός **ελάχιστου ποσοστού οπλισμού** στην εφελκυόμενη ζώνη ($A_{s,min}$).

Ψαθυρή συμπεριφορά

⁽¹⁾ Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Γ. (1995) "Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη

Εικόνες καμπτικής αστοχίας δοκών Ο/Σ (4/4)



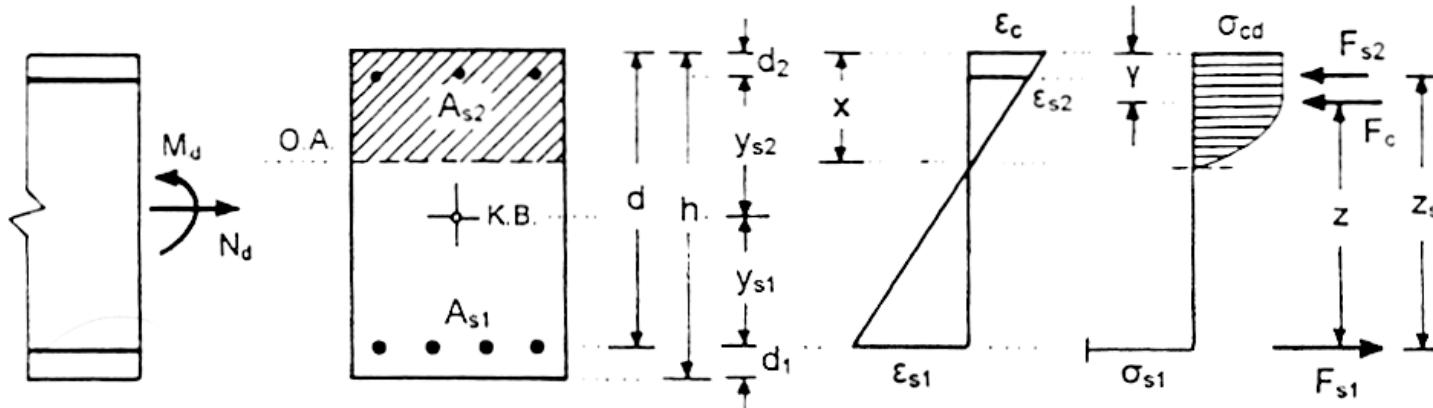
$A_s > A_{s,\max}$

- Στο στάδιο II. λόγω όμως του υψηλού ποσοστού οπλισμού οι αναπτυσσόμενες τάσεις στον χάλυβα είναι πολύ μικρές και τα τριχοειδή ρήγματα είναι λεπτότερα από ότι στις κανονικά οπλισμένες δοκούς
- Με την αύξηση του φορτίου και χωρίς κάποια σημαντική διεύρυνση ή επέκταση των τριχοειδών ρηγμάτων, εξαντλείται η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη πριν από τη διαρροή του οπλισμού.
- Αιφνίδια συντριβή της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος, χωρίς προειδοποιητικά ρήγματα μεγάλου εύρους ή μεγάλα βέλη κάμψης.
- Πρόβλεψη ενός **μέγιστου επιτρεπόμενου ποσοστού οπλισμού** στην εφελκυόμενη ζώνη ($A_{s,\max}$).

Ψαθυρή συμπεριφορά

⁽¹⁾ Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Γ. (1995) "Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη

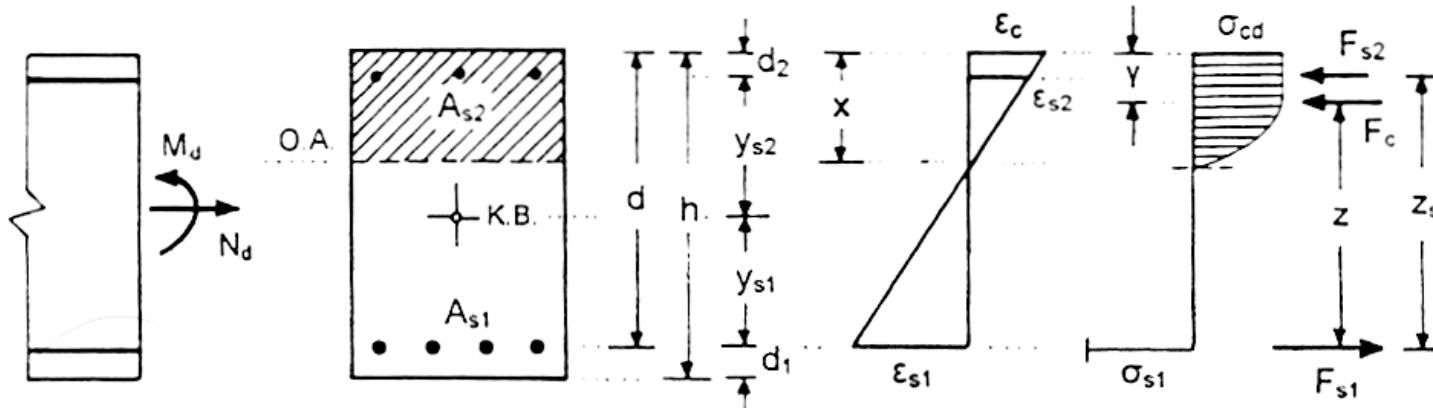
Προέχουσα κάμψη ορθογωνικών διατομών (1/6)



- F_c η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος
 F_{s1} η δύναμη του εφελκυόμενου οπλισμού
 F_{s2} η δύναμη του θλιβόμενου οπλισμού
 z ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων
 x το ύψος της θλιβόμενης ζώνης
 d το στατικό ύψος της διατομής
 y_{s1}, y_{s2} η απόσταση ανάμεσα στο κέντρο βάρους της διατομής και στο κέντρο βάρους του εφελκυόμενου και θλιβόμενου οπλισμού αντίστοιχα

**Θεώρηση
σταδίου II**

Προέχουσα κάμψη ορθογωνικών διατομών (2/6)



Οι εξισώσεις ισορροπίας $\Sigma N=0$ και $\Sigma M=0$, για ροπές ως προς το σημείο εφαρμογής της F_{s1} δίνουν αντίστοιχα:

$$N_d + F_c + F_{s2} - F_{s1} = 0$$

$$M_{sd} - F_c \cdot z - F_{s2} \cdot z_s = 0$$

M_{sd} : ροπή των εξωτερικών δυνάμεων ως προς το σημείο εφαρμογής της δύναμης F_{s1} . Η ροπή αυτή χρησιμοποιείται ουσιαστικά ως ροπή σχεδιασμού

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}$$

Προέχουσα κάμψη ορθογωνικών διατομών (3/6)

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}$$



$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 f_{cd}}$$

μ_{sd} : η ανηγμένη τιμή της ροπής σχεδιασμού

b το πλάτος της διατομής

d το στατικό ύψος

f_{cd} η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος

- Η ανηγμένη τιμή της ροπής συγκρίνεται με μια οριακή τιμή μ_{lim} η οποία προσδιορίζεται συναρτήσει της ποιότητας των υλικών και του λόγου d_2/d .
- Απλοποιητικά, για χάλυβα με $f_{yk}=500MPa$ και ποιότητες σκυροδέματος με $f_{ck}<50MPa$ μπορεί να θεωρηθεί ότι $\mu_{lim}=0.296$ (Καραβεζύρογλου, 2011)

Προέχουσα κάμψη ορθογωνικών διατομών (4/6)

Ανάλογα με το μέγεθος της μ_{sd} διακρίνονται δύο περιπτώσεις

1. Αν $\mu_{sd} \leq \mu_{lim}$ δεν απαιτείται η τοποθέτηση θλιβόμενου οπλισμού. Το μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω προσδιορίζεται από σχετικό πίνακα Ο απαιτούμενος εφελκυόμενος οπλισμός είναι:

$$A_s = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}}$$

2. Αν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$ τότε απαιτείται η τοποθέτηση και θλιβόμενου οπλισμού και τα μηχανικά ποσοστά οπλισμού ω_1 και ω_2 για τον εφελκυόμενο και θλιβόμενο οπλισμό αντίστοιχα προσδιορίζονται από διαφορετικούς πίνακες

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \rho_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}}$$

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \rho_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Προέχουσα κάμψη ορθογωνικών διατομών (5/6)

Πίνακας υπολογισμού οπλισμού κάμψης ορθογωνικών διατομών
χωρίς θλιβόμενο οπλισμό

μ_{sd}	ω	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	ε_c (%)	ε_s (%)
0.01	0.0101	0.030	0.990	0.77	25.00
0.02	0.0203	0.044	0.985	1.15	25.00
0.03	0.0306	0.055	0.980	1.46	25.00
0.04	0.0410	0.066	0.976	1.76	25.00
0.05	0.0515	0.076	0.971	2.06	25.00
0.06	0.0621	0.086	0.967	2.37	25.00
0.07	0.0728	0.097	0.962	2.68	25.00
0.08	0.0836	0.197	0.957	3.01	25.00
0.09	0.0946	0.118	0.951	3.35	25.00
0.10	0.1058	0.131	0.946	3.20	23.29
0.11	0.1170	0.145	0.940	3.50	20.71
0.12	0.1285	0.159	0.934	3.50	18.55
0.13	0.1401	0.173	0.928	3.50	16.73
0.14	0.1519	0.188	0.922	3.50	15.16

Προέχουσα κάμψη ορθογωνικών διατομών (6/6)

Πίνακες υπολογισμού οπλισμού κάμψης ορθογωνικών διατομών
με θλιβόμενο οπλισμό

μ_{sd}	ω_1	ω_2	$\xi=x/d$	$\zeta=z/d$	$\varepsilon_c (\%)$	$\varepsilon_s (\%)$
0.30	0.3670	0.004				
0.32	0.3870	0.025				
0.34	0.4080	0.045				
0.36	0.4280	0.066				
0.38	0.4490	0.086				
0.40	0.4690	0.107				
0.42	0.4900	0.128				
0.44	0.5100	0.148				
0.46	0.5310	0.169				
0.48	0.5510	0.19				
0.50	0.5720	0.21				
			0.81	0.45	3.50	4.278

Συντελεστές ρ_1 και ρ_2	ω_1 (Πίν.6.2)	d_2/d							
		0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
ρ_1	<0.363	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	0.469	1.000	1.005	1.010	1.015	1.020	1.026	1.032	1.038
	0.572	1.000	1.008	1.016	1.024	1.033	1.042	1.052	1.062
	0.674	1.000	1.010	1.020	1.030	1.042	1.053	1.065	1.078
	0.777	1.000	1.011	1.023	1.035	1.048	1.061	1.075	1.090
ρ_2		1.000	1.021	1.043	1.066	1.090	1.115	1.141	1.169



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Οπλισμένο Σκυρόδεμα I

Ενότητα 5: Κάμψη δοκών (συνέχεια) - Πλακοδοκοί

Γεώργιος Παναγόπουλος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Διαστασιολόγηση για μεγέθη ορθής έντασης

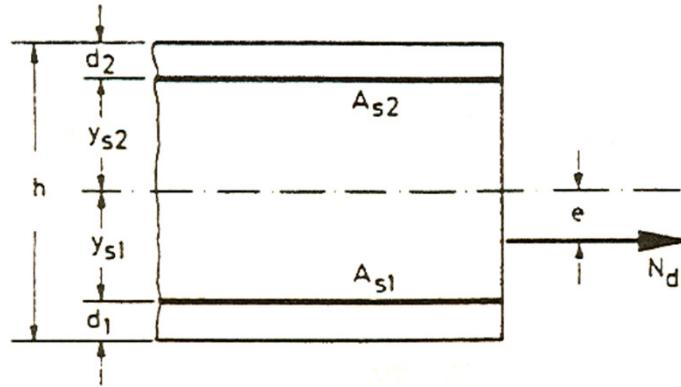
**Προέχων εφελκυσμός
Διαστασιολόγηση πλακοδοκών
Διατάξεις κανονισμών**

Περιεχόμενα ενότητας

1. Προέχων εφελκυσμός
2. Πλακοδοκοί
 - Λειτουργία
 - Συνεργαζόμενο πλάτος
 - Διαστασιολόγηση
3. Διατάξεις των EC2-EC8 για τις δοκούς
4. Κωδικοποίηση διαδικασίας διαστασιολόγησης δοκών σε κάμψη

Προέχων εφελκυσμός ορθογωνικών διατομών

Εφελκυστική δύναμη με εκκεντρότητα



Η διαδικασία υπολογισμού εξαρτάται από την τιμή της εκκεντρότητας

$$e = M_d / N_d$$

- Αν $e = M_d / N_d > y_{s1}$

η ουδέτερη γραμμή βρίσκεται μέσα στη διατομή. Υπάρχει θλιβόμενη ζώνη (Προέχουσα κάμψη)

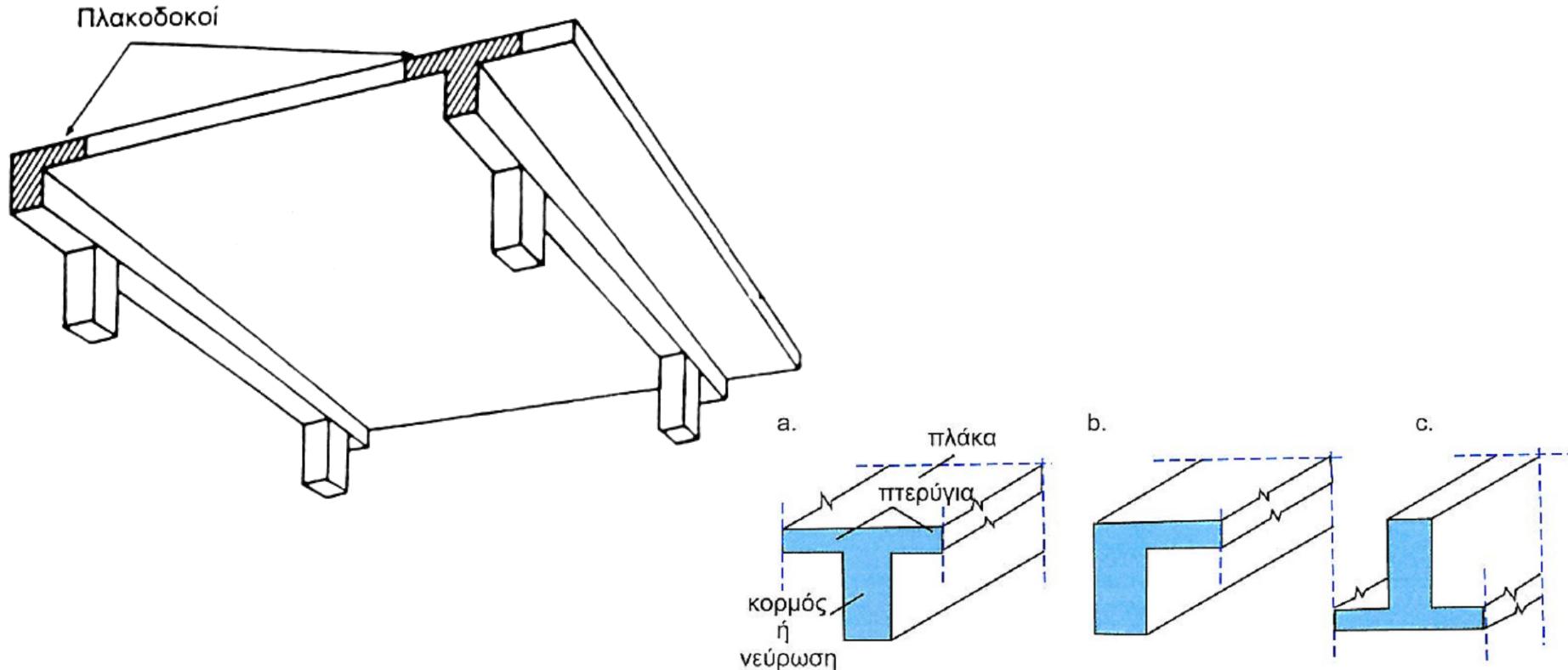
- Αν $e = M_d / N_d \leq y_{s1}$

τότε η ουδέτερη γραμμή βρίσκεται έξω από τη διατομή και σε όλο το ύψος της αναπτύσσονται εφελκυστικές παραμορφώσεις. Η περίπτωση αυτή ονομάζεται **προέχων εφελκυσμός** και ο απαιτούμενος οπλισμός υπολογίζεται μέσω των σχέσεων:

$$A_{s1} = \frac{N_d}{f_{yd}} \cdot \frac{y_{s2} + e}{y_{s1} + y_{s2}}$$

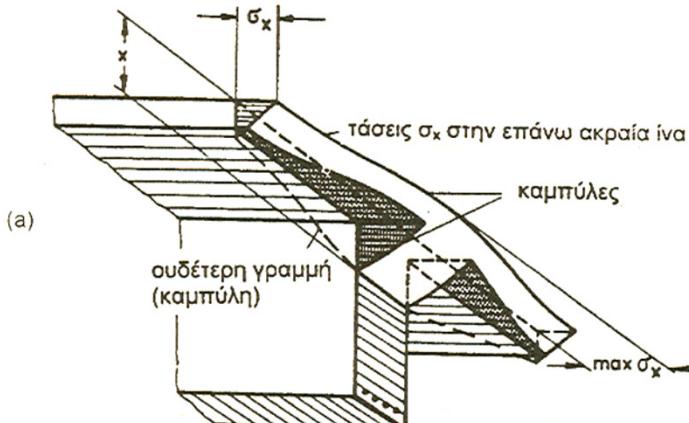
$$A_{s2} = \frac{N_d}{f_{yd}} \cdot \frac{y_{s1} - e}{y_{s1} + y_{s2}}$$

Κάμψη πλακοδοκών

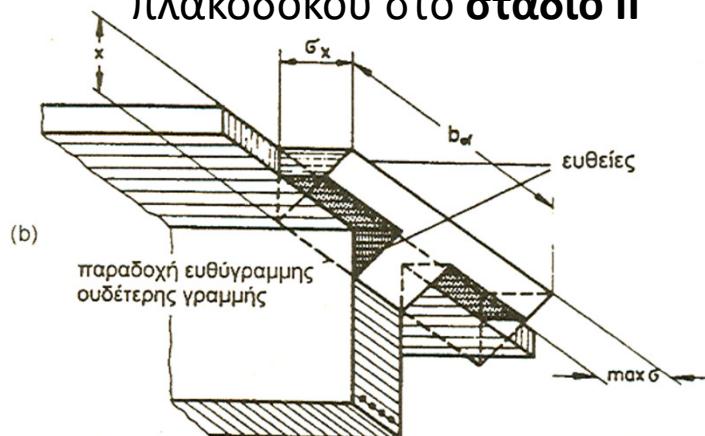


το σχήμα Τ ή Γ των διατομών προκύπτει από τη συνεργασία (λόγω της άκαμπτης μονολιθικής σύνδεσης μεταξύ τους) των στηριζόντων δοκών με τις στηριζόμενες σε αυτές πλάκες

Συνεργαζόμενο πλάτος

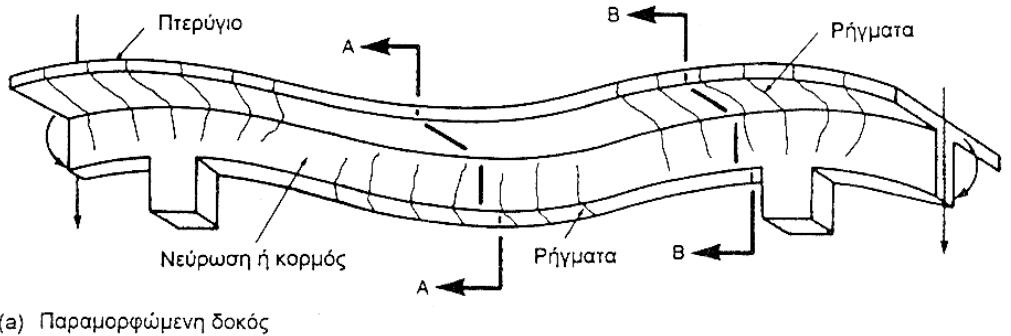


Κατανομή των θλιπτικών τάσεων πλακοδοκού στο στάδιο II

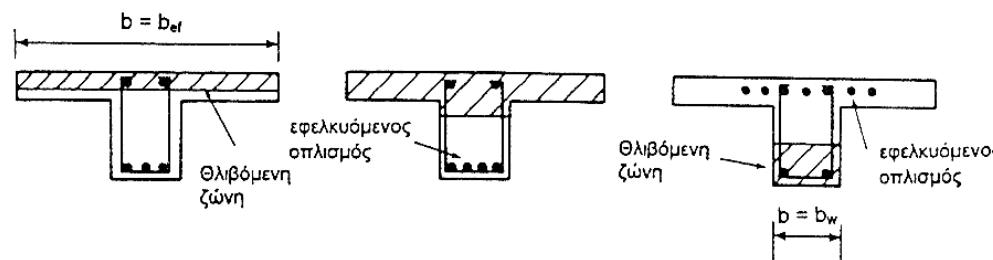


- Οι αναπτυσσόμενες θλιπτικές τάσεις στη θλιβόμενη ζώνη από την κάμψη της δοκού δεν περιορίζονται μόνο στο πλάτος της δοκού (κορμός) αλλά επεκτείνονται και σε κάποιο τμήμα της παρακείμενης πλάκας (ουσιαστικά δηλαδή στα πτερύγια της πλακοδοκού).
- Θεώρηση ομοιόμορφης κατανομή των τάσεων σε ένα περιορισμένο πλάτος της πλάκας εκατέρωθεν της δοκού, το οποίο ονομάζεται συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff}
- Το συνεργαζόμενο πλάτος ορίζεται με τη συνθήκη ότι η ομοιόμορφη τάση που αναπτύσσεται σε αυτό είναι ίση με τη μέγιστη τιμή της πραγματικής κατανομής των τάσεων και ότι η συνισταμένη θλιπτική δύναμη είναι ίση και στις δύο αυτές κατανομές.

Λειτουργία πλακοδοκού σε συνεχείς δοκούς



(a) Παραμορφώμενη δοκός



(b) Διατομή A - A
(ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη)

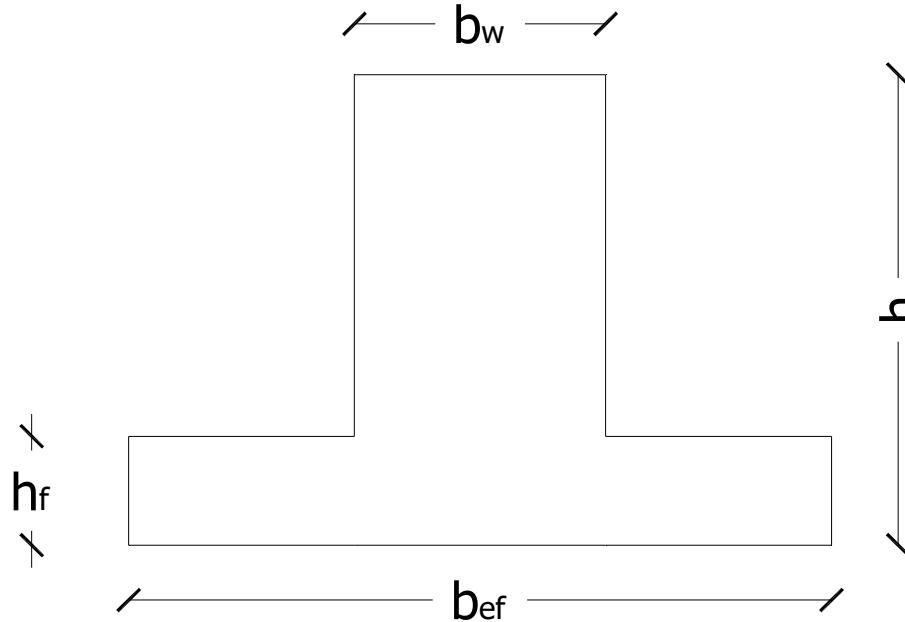
(c) Διατομή A - A
(θλιβόμενη ζώνη σχήματος T)

(d) Διατομή B - B
(αρνητική ροπή)

Για κανονικές πλακοδοκούς (πλάκα στο πάνω τμήμα της δοκού) ισχύει:

- Θετική ροπή: Λειτουργία πλακοδοκού (θλίβεται και τμήμα της πλάκας)
- Αρνητική ροπή: Λειτουργία ορθογωνικής διατομής (θλίβεται μόνο ο κορμός)

Αντεστραμμένες πλακοδοκοί

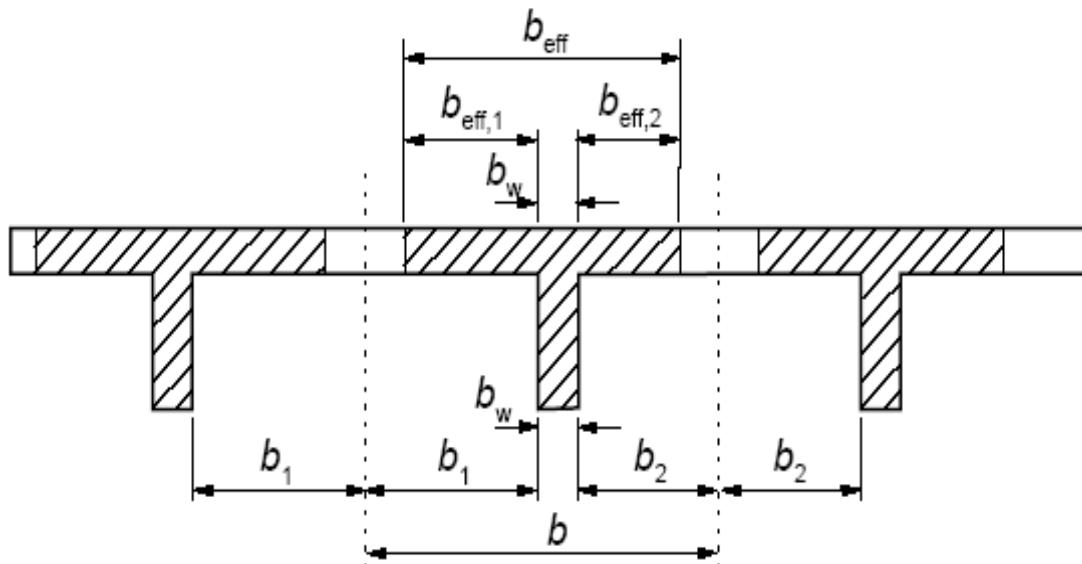


Για αντεστραμμένες πλακοδοκούς (πλάκα στο κάτω τμήμα της δοκού) ισχύει:

- Θετική ροπή: Λειτουργία ορθογωνικής διατομής (θλίβεται μόνο ο κορμός)
- Αρνητική ροπή: Λειτουργία πλακοδοκού (θλίβεται και τμήμα της πλάκας)

Συνεργαζόμενο πλάτος

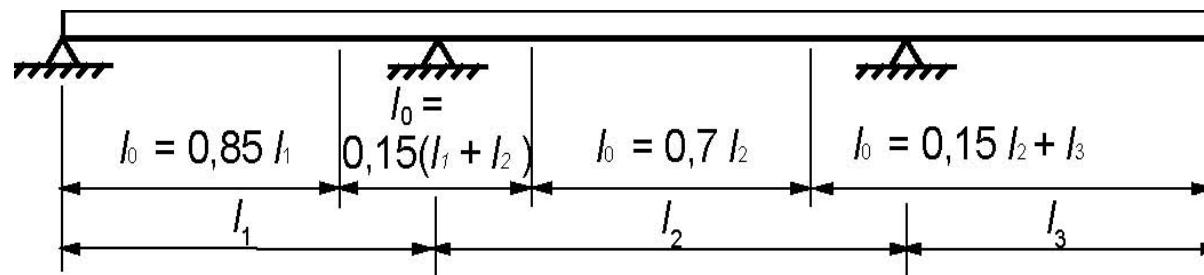
Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με το σχήμα



$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

$$b_{eff,i} = 0.2b_i + 0.1l_0 \leq 0.2l_0$$

$$b_{eff,i} \leq b_i$$

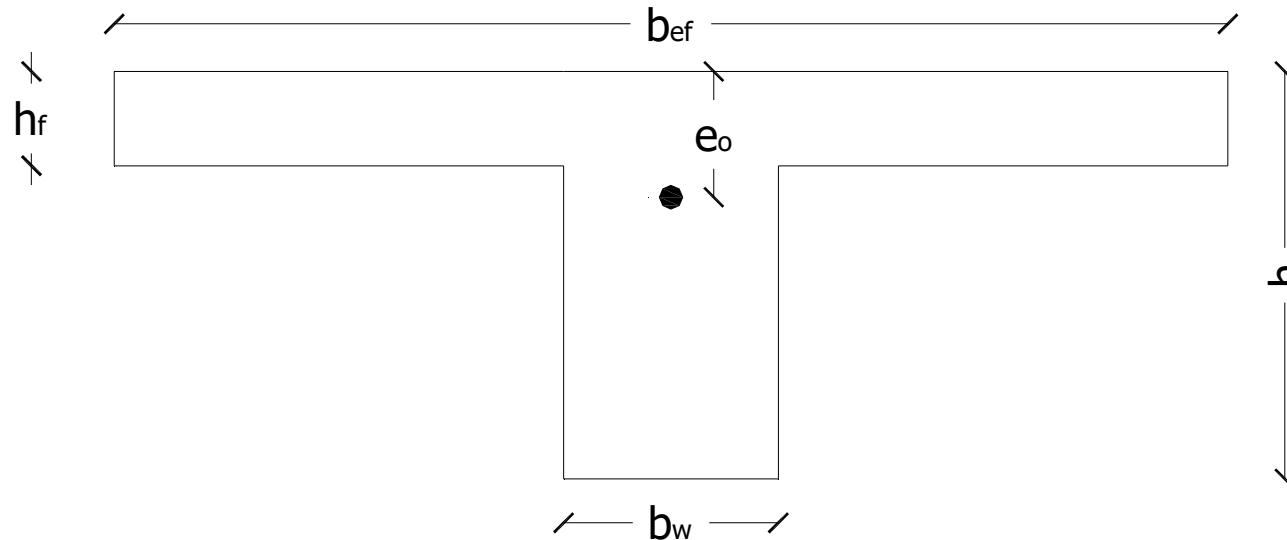


Υπολογισμός οπλισμού πλακοδοκών (1/3)

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}$$

Προσοχή στο y_{s1}

το κέντρο βάρους δε βρίσκεται στο μέσο της διατομής



$$e_o = \frac{h}{2} \cdot \frac{b_w \cdot (h - h_f)}{b_{eff} \cdot h_f + b_w \cdot (h - h_f)} + \frac{h_f}{2}$$

Υπολογισμός οπλισμού πλακοδοκών (2/3)

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \rightarrow \omega \rightarrow A_s = \omega \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}}$$

μ_{sd}	h_r/d=0.05					μ_{sd}	h_r/d=0.10					μ_{sd}	h_r/d=0.15					μ_{sd}	h_r/d=0.20					μ_{sd}	h_r/d=0.30					μ_{sd}	h_r/d=0.40				
	$\omega \gamma_{sd} b_{eff}/b_w =$						$\omega \gamma_{sd} b_{eff}/b_w =$						$\omega \gamma_{sd} b_{eff}/b_w =$						$\omega \gamma_{sd} b_{eff}/b_w =$						$\omega \gamma_{sd} b_{eff}/b_w =$										
	10	5	3	2	1		10	5	3	2	1		10	5	3	2	1		10	5	3	2	1		10	5	3	2	1		10	5	3	2	1
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.021	0.02	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.02	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.02	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.02	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.02					
0.04	0.041	0.041	0.041	0.041	0.042	0.04	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.04	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.04	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.04	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.04					
0.06	0.065	0.063	0.063	0.063	0.063	0.06	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.06	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.06	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.06	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.06					
0.08	0.091	0.087	0.085	0.084	0.08	0.084	0.084	0.085	0.085	0.085	0.085	0.08	0.084	0.084	0.085	0.085	0.085	0.08	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.08	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.08					
0.10	0.114	0.110	0.107	0.10	0.111	0.111	0.108	0.108	0.107	0.107	0.107	0.10	0.111	0.111	0.108	0.108	0.107	0.10	0.111	0.111	0.108	0.108	0.107	0.10	0.111	0.111	0.108	0.108	0.107	0.10					
0.12	0.146	0.137	0.131	0.12	0.138	0.138	0.134	0.132	0.131	0.131	0.131	0.12	0.138	0.138	0.134	0.132	0.131	0.12	0.138	0.138	0.134	0.132	0.131	0.12	0.138	0.138	0.134	0.132	0.131	0.12					
0.14	0.166	0.155	0.14	0.164	0.164	0.158	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.14	0.164	0.164	0.158	0.155	0.155	0.14	0.164	0.164	0.158	0.155	0.155	0.14	0.164	0.164	0.158	0.155	0.155	0.14					
0.16	0.199	0.179	0.16	0.200	0.200	0.188	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.16	0.199	0.199	0.179	0.179	0.179	0.16	0.199	0.199	0.179	0.179	0.179	0.16	0.199	0.199	0.179	0.179	0.179	0.16					
0.18	0.237	0.206	0.18	0.220	0.220	0.206	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.18	0.237	0.237	0.206	0.188	0.188	0.18	0.237	0.237	0.206	0.188	0.188	0.18	0.237	0.237	0.206	0.188	0.188	0.18					
0.20	0.233	0.20	0.18	0.259	0.259	0.233	0.20	0.206	0.206	0.206	0.206	0.20	0.233	0.233	0.206	0.206	0.206	0.20	0.233	0.233	0.206	0.206	0.206	0.20	0.233	0.233	0.206	0.206	0.206	0.20					
0.22	0.261	0.22	0.18	0.261	0.261	0.22	0.20	0.188	0.188	0.188	0.188	0.22	0.261	0.261	0.20	0.188	0.188	0.22	0.261	0.261	0.20	0.188	0.188	0.22	0.261	0.261	0.20	0.188	0.188	0.22					
0.24	0.291	0.24	0.20	0.291	0.291	0.24	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20	0.24	0.291	0.291	0.22	0.20	0.20	0.24	0.291	0.291	0.22	0.20	0.20	0.24	0.291	0.291	0.22	0.20	0.20	0.24					
0.26	0.323	0.26	0.20	0.323	0.323	0.26	0.24	0.22	0.22	0.22	0.22	0.26	0.323	0.323	0.24	0.22	0.22	0.26	0.323	0.323	0.24	0.22	0.22	0.26	0.323	0.323	0.24	0.22	0.22	0.26					
0.28	0.357	0.28	0.20	0.357	0.357	0.28	0.26	0.24	0.24	0.24	0.24	0.30	0.357	0.357	0.26	0.24	0.24	0.30	0.357	0.357	0.26	0.24	0.24	0.30	0.357	0.357	0.26	0.24	0.24	0.30					
0.30	0.394	0.30	0.20	0.394	0.394	0.30	0.28	0.26	0.26	0.26	0.26	0.32	0.434	0.434	0.30	0.28	0.28	0.32	0.434	0.434	0.30	0.28	0.28	0.32	0.434	0.434	0.30	0.28	0.28	0.32					
0.32	0.434	0.32	0.20	0.434	0.434	0.32	0.30	0.28	0.28	0.28	0.28	0.32	0.434	0.434	0.32	0.30	0.30	0.32	0.434	0.434	0.32	0.30	0.30	0.32	0.434	0.434	0.32	0.30	0.30	0.32					
μ_{lim}	0.069	0.096	0.133	0.178	0.316	μ_{lim}	0.104	0.128	0.159	0.198	0.316	μ_{lim}	0.104	0.128	0.159	0.198	0.316	μ_{lim}	0.169	0.186	0.207	0.234	0.316	μ_{lim}	0.227	0.236	0.25	0.266	0.316	μ_{lim}	0.273	0.278	0.284	0.292	0.316
ω_{lim}	0.008	0.119	0.170	0.233	0.424	ω_{lim}	0.119	0.153	0.198	0.254	0.424	ω_{lim}	0.119	0.153	0.198	0.254	0.424	ω_{lim}	0.195	0.221	0.255	0.297	0.424	ω_{lim}	0.272	0.289	0.311	0.34	0.424	ω_{lim}	0.343	0.352	0.364	0.379	0.424

Υπολογισμός οπλισμού πλακοδοκών (3/3)

- Αν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$ τότε απαιτείται η τοποθέτηση θλιβόμενου οπλισμού. Στην περίπτωση αυτή προσδιορίζεται η τιμή ω_{lim} από τους πίνακες
- Επιπλέον υπολογίζεται το μέγεθος $\Delta\mu$ ως εξής: $\Delta\mu = \mu_{sd} - \mu_{lim}$
- ο απαιτούμενος εφελκυόμενος οπλισμός είναι:

$$A_{s1} = \left(\omega_{lim} + \frac{\Delta\mu}{1 - d_2/d} \right) \cdot b_{ef} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

- και ο απαιτούμενος θλιβόμενος οπλισμός:

$$A_{s2} = \frac{\Delta\mu}{1 - d_2/d} \cdot b_{ef} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Υπολογισμός οπλισμού πλακοδοκών

- Αν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$ τότε απαιτείται η τοποθέτηση θλιβόμενου οπλισμού. Στην περίπτωση αυτή προσδιορίζεται η τιμή ω_{lim} από τους πίνακες
- Επιπλέον υπολογίζεται το μέγεθος $\Delta\mu$ ως εξής: $\Delta\mu = \mu_{sd} - \mu_{lim}$
- ο απαιτούμενος εφελκυόμενος οπλισμός είναι:

$$A_{s1} = \left(\omega_{lim} + \frac{\Delta\mu}{1 - d_2/d} \right) \cdot b_{ef} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

- και ο απαιτούμενος θλιβόμενος οπλισμός:

$$A_{s2} = \frac{\Delta\mu}{1 - d_2/d} \cdot b_{ef} \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Διατάξεις των EC2-EC8 για τις δοκούς (1/5)

- Δοκός: $I \geq 3h_w$, Υψηλορυθμη δοκός: $I < 3h_w$
- Στον E.C. 2 δεν υπάρχουν περιορισμοί για τη διαμόρφωση ή τις διαστάσεις διατομής των δοκών εκτός ειδικών περιπτώσεων:

Δοκοί με κίνδυνο πλευρικής στρέβλωσης. Τα φαινόμενα 2^{ης} τάξης λόγω στρέβλωσης επιτρέπεται να αγνοούνται εφόσον:

- Μόνιμες καταστάσεις: $h/b \leq 2.5$ και $I_{0t}/b \leq 50 / (h/b)^{1/3}$
- Παροδικές καταστάσεις: $h/b \leq 3.5$ και $I_{0t}/b \leq 70 / (h/b)^{1/3}$
όπου

I_{0t} : απόσταση μεταξύ σημείων στροφικών παγιώσεων

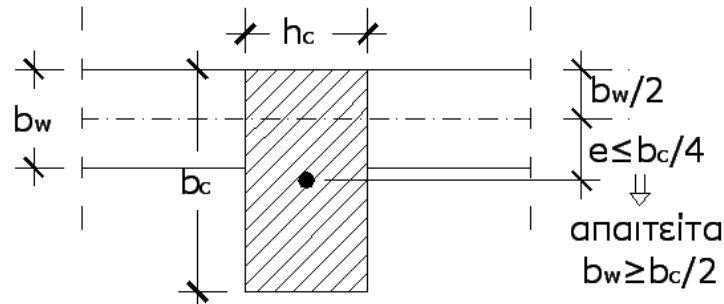
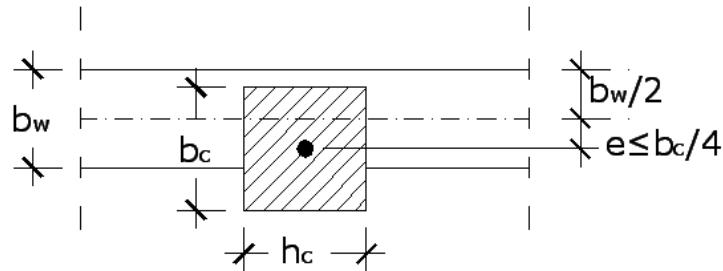
h : ολικό ύψος δοκού στο μέσο του I_{0t}

b : πλάτος του θλιβόμενου πέλματος

Διατάξεις των EC2-EC8 για τις δοκούς (2/5)

Γεωμετρικό περιορισμοί (από EC8)

- Δοκοί μέσης πλαστιμότητας (ΚΠΜ)
 - Πλάτος κύριας δοκού: $b_w \leq \min(b_c + h_w, 2b_c)$
 - Εκκεντρότητα αξόνων δοκού – στύλου: $e \leq b_c/4$



- Πρόσθετες διατάξεις για δοκούς υψηλής πλαστιμότητας (ΚΠΥ)
 - Πλάτος κύριας δοκού: $b_w \geq 200\text{mm}$
 - Λόγος ύψος/πλάτος κύριας δοκού
$$h_w/b_w \leq 3.5 \quad \text{και} \quad I_o/b_w \leq 70/(h_w/b_w)^{1/3}$$
όπου I_o το ελεύθερο άνοιγμα της δοκού μεταξύ στύλων

Διατάξεις των EC2-EC8 για τις δοκούς (3/5)

Ελάχιστα και μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού

- Ελάχιστος διαμήκης εφελκυόμενος οπλισμός:

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$

όπου: b_t το μέσο πλάτος στο ύψος της εφελκυόμενης περιοχής

Ελάχιστο ποσοστό εφελκυόμενου οπλισμού $\rho_{L,min} = A_{s,min} / (b_t \cdot d)$

Υλικά	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80	C90
$\rho_{L,min}$ (%)	1.30	1.30	1.35	1.51	1.66	1.82	1.98	2.13	2.18	2.29	2.39	2.50	2.60

Θεωρήθηκε $f_{yk}=500\text{MPa}$

- Μέγιστος διαμήκης εφελκυόμενος οπλισμός:

$$A_{s,max} = 0.040A_c$$

Σε περιοχές υπερκάλυψης επιτρέπεται, υπό τις προϋποθέσεις της §8.7.2,

$$A_{s,max} \leq 0.080A_c$$

Διατάξεις των EC2-EC8 για τις δοκούς (4/5)

Ελάχιστα και μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού (από EC8)

- Ελάχιστος εφελκυόμενος οπλισμός, γενικά: $\rho_{L,min} = 0,5 \cdot f_{ctm}/f_{yk}$

Ελάχιστο ποσοστό εφελκυόμενου οπλισμού $\rho_{L,min} = A_{s,min}/(b \cdot d)$

Υλικά	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80	C90
$\rho_{L,min} (\%)$	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10	4.20	4.40	4.60	4.80	5.00

Θεωρήθηκε $f_{yk}=500\text{MPa}$

- Μέγιστος εφελκυόμενος οπλισμός κρίσιμων περιοχών

$$\rho_{L,max} = \rho' + \frac{0.0018}{\mu_\varphi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Μέγιστο ποσοστό εφελκυόμενου οπλισμού στο I_{cr} : $\rho_{L,max} = A_{s,max}/(b \cdot d)$

Υλικά	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80	C90	
$\rho_{L,max} (%)$	KΠΜ	5.97	7.47	9.34	11.20	13.07	14.94	16.80	18.67	20.54	22.40	26.14	29.87	33.61
	KΠΥ	3.80	4.75	5.93	7.12	8.31	9.49	10.68	11.87	13.05	14.24	16.61	18.98	21.36

Θεωρήθηκαν: $\rho'=\rho_{L,max}/2$, $\varepsilon_{sy,d} \approx 2.174\%$, $\mu_\varphi=6.8$ (ΚΠΜ) ή 10.7 (ΚΠΥ) και χάλυβας κλάσης C ($f_{yd}=500/1.15\text{MPa}$)

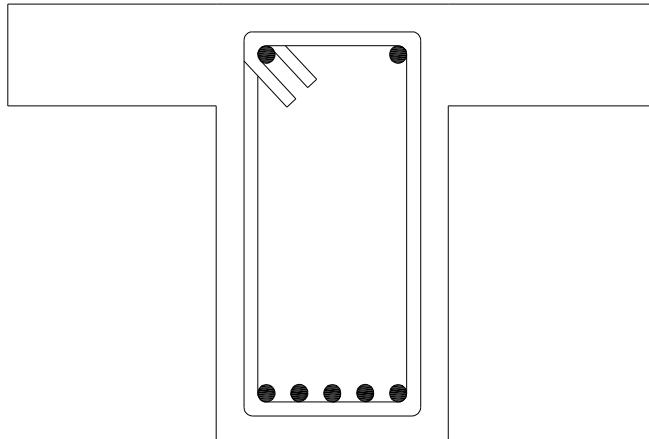
- ✓ Προσοχή: για χάλυβες κλάσης B επιβάλλεται $1.5\mu_\varphi$ με συνέπεια ριζική μείωση του $\rho_{L,max}$

Διατάξεις των EC2-EC8 για τις δοκούς (5/5)

Διαμήκεις οπλισμοί

- Ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος είναι συνήθως $\varnothing 12$ (στην πράξη $\geq \varnothing 14$)
- Σε μία διατομή μπορεί να χρησιμοποιούνται το πολύ δύο διαφορετικές διάμετροι διαμήκων ράβδων και θα πρέπει να ισχύει

2Φ14 (montage)



$$\varnothing_{L,min} \geq \frac{2}{3} \cdot \varnothing_{L,max}$$

τουλάχιστον 2 διαμήκεις ράβδοι και στο
θλιβόμενο τμήμα της δοκού για
κατασκευαστικούς λόγους (montage)

Συνοπτική διαδικασία διαστασιολόγησης δοκών σε κάμψη (1/2)

1. Αναγνώριση του στατικού συστήματος και επίλυσή του
2. Με βάση το διάγραμμα ροπών αναγνώριση των κρίσιμων θέσεων για την τοποθέτηση του διαμήκους οπλισμού (μέγιστες ροπές σε στηρίξεις και ανοίγματα). Έλεγχος σε ποιες θέσεις υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού και σε ποιες ορθογωνικής διατομής.
3. Αν υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού υπολογίζεται το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff}
4. Έλεγχος σε ποια περίπτωση μονοαξονικής καταπόνησης αντιστοιχεί η διατομή που επιλύεται
5. Σε περίπτωση που δε δίνεται το ύψος της δοκού γίνεται επιλογή από τον μηχανικό έτσι ώστε τελικά ο απαιτούμενος οπλισμός να είναι ανάμεσα στα ελάχιστα και μέγιστα επιτρεπόμενα όρια
6. Υπολογισμός της ανηγμένης ροπής σχεδιασμού μ_{sd} και σύγκρισή της με την οριακή τιμή μ_{lim} για να εξακριβωθεί αν απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός

Συνοπτική διαδικασία διαστασιολόγησης δοκών σε κάμψη (2/2)

7. Υπολογισμός του απαιτούμενου εφελκυόμενου (και αν χρειάζεται του θλιβόμενου) οπλισμού
8. Σύγκριση του απαιτούμενου οπλισμού με τον ελάχιστο και μέγιστο επιτρεπόμενο οπλισμό.
9. Αν προκύψει $A_s < A_{s\min}$ τότε τοποθετείται ο ελάχιστος οπλισμός
10. Αν προκύψει $A_s > A_{s\max}$ τότε απαιτείται αλλαγή διατομής και επανάληψη της διαδικασίας.
11. Επιλογή ράβδων οπλισμού και έλεγχος αν οι ράβδοι αυτές χωρούν σε μία στρώση
12. Τοποθέτηση του οπλισμού στη διατομή και σχεδίαση ενδεικτικών σκαριφημάτων με τη θέση του

Μέγιστος αριθμός ράβδων οπλισμού σε πλάτος b

\emptyset_L	Πλάτος δοκού (mm)											
	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
12	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	17	19
14	2	3	5	6	8	9	11	12	13	15	16	18
16	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	15	17
18	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	15	16
20	2	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15
22		3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14
25		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28		2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11
32		2	3	3	4	5	6	6	7	8	9	10

Για τον υπολογισμό των παραπάνω τιμών θεωρήθηκαν: Συνδετήρες $\emptyset 8$, επικάλυψη 35mm, μέγιστη διάμετρος αδρανών 16mm, $k_1=1$ mm, $k_2=5$ mm



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Οπλισμένο Σκυρόδεμα I

Ενότητα 6: Διαστασιολόγηση δοκών σε διάτμηση

Γεώργιος Παναγόπουλος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Διαστασιολόγηση δοκών σε διάτμηση

**Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση
Εικόνες διατμητικής αστοχίας
Υπολογισμός εγκάρσιου οπλισμού**

Περιεχόμενα ενότητας

1. Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση
2. Εικόνες διατμητικής αστοχίας
3. Υπολογισμός εγκάρσιου οπλισμού
4. Τυπικές εικόνες όπλισης δοκών Ο/Σ

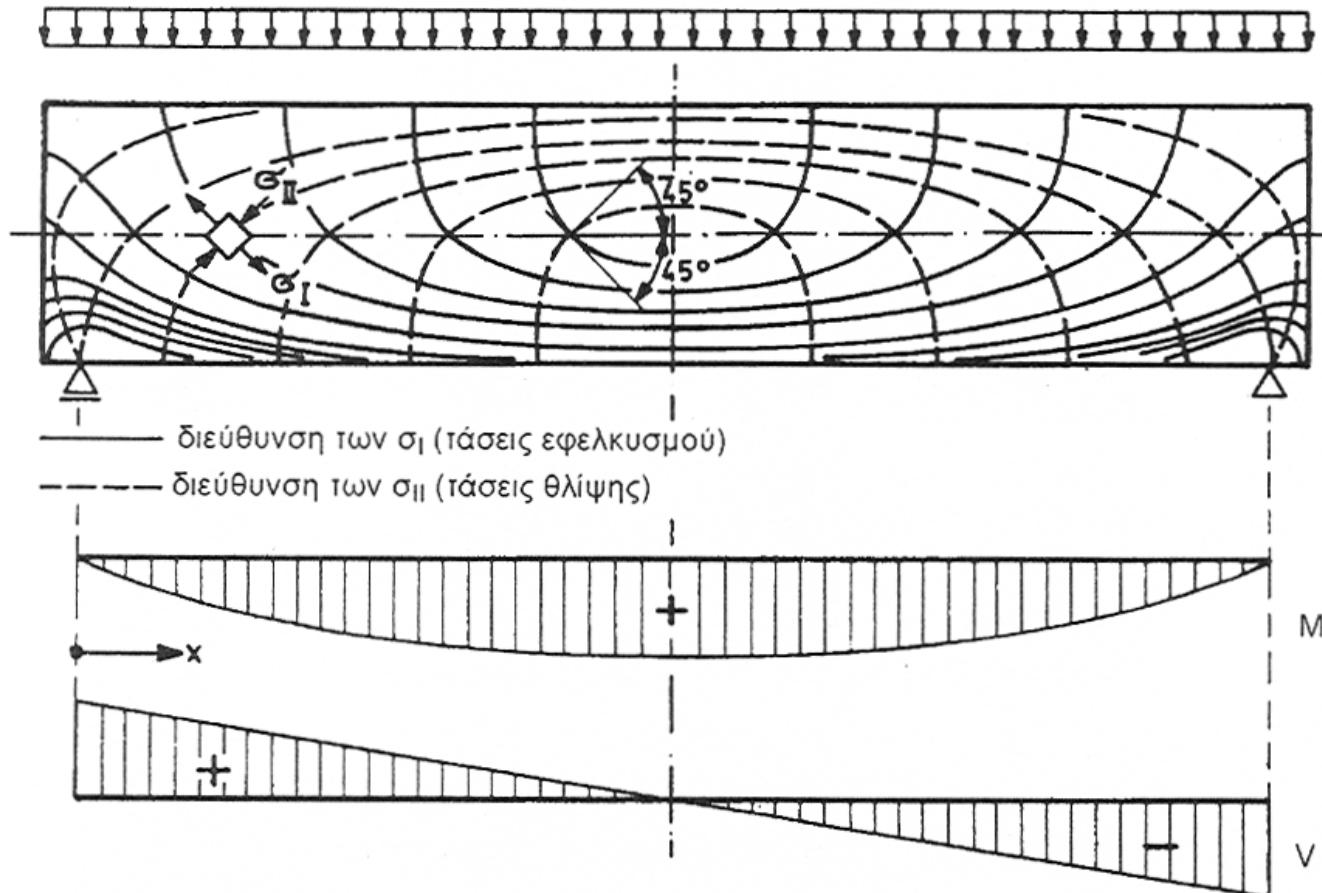
Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση (1/6)

- Κατά μήκος μιας δοκού εμφανίζονται μαζί με τις καμπτικές ροπές και τέμνουσες δυνάμεις
- Καθαρή τέμνουσα μόνο σε ελάχιστες θέσεις υφίσταται μέσα στους φορείς
- Η τέμνουσα δύναμη παράγει ροπή κάμψης και τη μεταβάλλει κατά μήκος του φορέα

$$V(x) = dM/dx$$

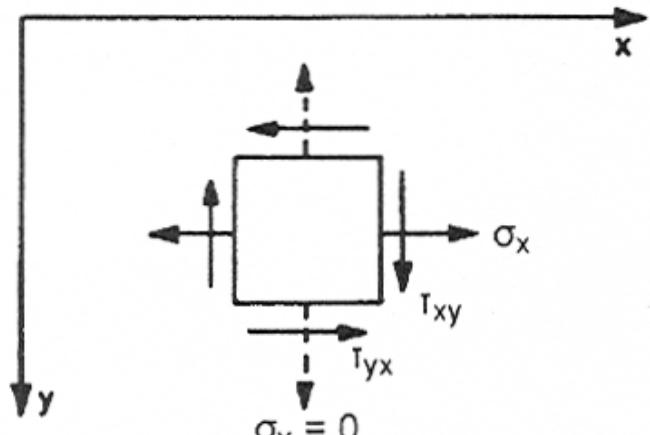
- Σε μια διατομή υπάρχει ένα σύστημα κύριων τάσεων σ_l και σ_{ll} (ή σ_1 και σ_2), εφελκυσμού και θλίψεως αντίστοιχα
- Οι κύριες τάσεις προκύπτουν από τις συνιστώσες τάσεις σ_x , σ_y και τ_{xy}

Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση (2/6)



Τροχιές κύριων τάσεων σε δοκό με ομοιόμορφη φόρτιση στο στάδιο I

Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση (3/6)



Καμπτική τάση:

$$\sigma_x = \pm \frac{M}{W}$$

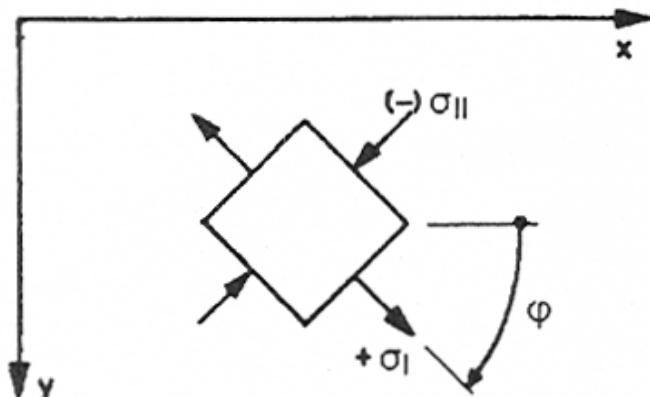
Διατμητική τάση:

$$\tau = \tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{V \cdot S}{J \cdot b}$$

Κύρια τάση εφελκυσμού: $\sigma_I = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2}$

Κύρια τάση θλίψης:

$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2}$$



Γωνία φ ανάμεσα στον άξονα +x και την σι:

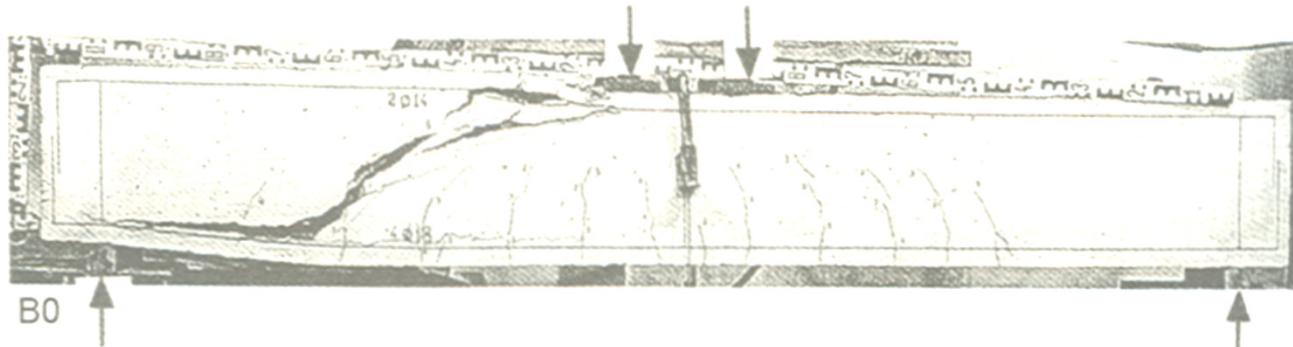
$$\tan \phi = \frac{\tau}{\sigma_I}$$

Καθορισμός των τάσεων σκυροδέματος δοκού στο στάδιο I

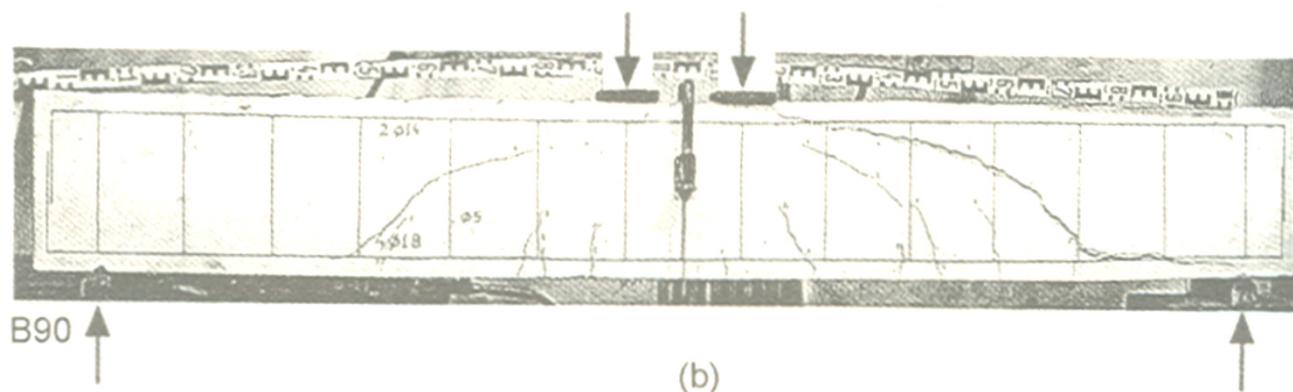
Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση (4/6)

- Όταν η κύρια εφελκυστική τάση σ_l στον κορμό υπερβεί την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ct} , παρουσιάζονται ρήγματα από διάτμηση περίπου κάθετα στη σ_l
- Λόγω διακοπής της συνέχειας του υλικού οι εφελκυστικές δυνάμεις παραλαμβάνονται από τους οπλισμούς διάτμησης
- Οι θλιπτικές δυνάμεις εξακολουθούν να παραλαμβάνονται από το σκυρόδεμα, εφόσον δεν ξεπερνούν την f_{cd}
- Η σκοπιμότερη διάταξη του οπλισμού διάτμησης θα ήταν να τοποθετηθεί κάθετα στη διεύθυνση των ρηγμάτων
- Για πρακτικούς λόγους ο οπλισμός διάτμησης αποτελείται κατά βάση από κατακόρυφους συνδετήρες (και σπανιότερα από λοξές διαμήκεις ράβδους)
- Στις δοκούς με απαιτήσεις αντισεισμικότητας δε συνιστάται η κάμψη του διαμήκους οπλισμού. Γιατί;

Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση (5/6)

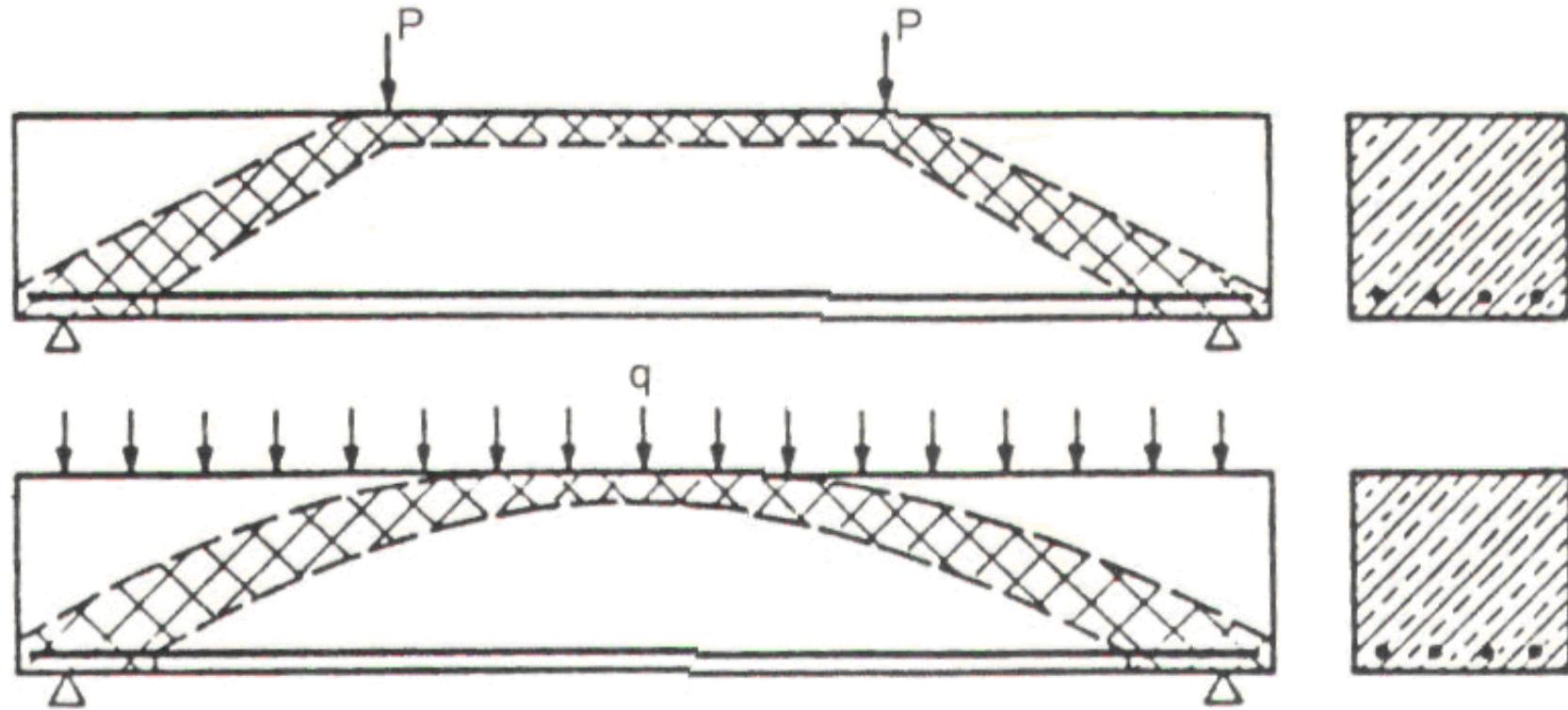


Εικόνα ρηγμάτωσης
δοκού
(a) Χωρίς συνδετήρες
(b) Με συνδετήρες



⁽¹⁾ Ζαράρης Πρ. (2002) "Μέθοδοι Υπολογισμού Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος", Αφοί Κυριακίδη, Θεσ/νίκη

Αμφιέρειστες δοκοί σε διάτμηση (6/6)

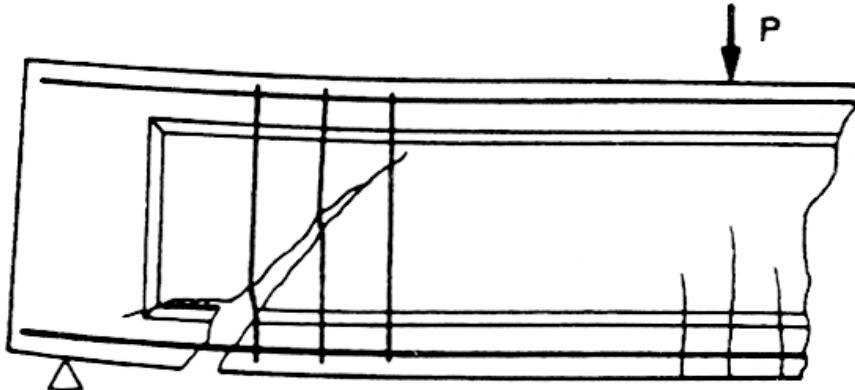


Η λειτουργία της δοκού στο στάδιο II (μετά τη ρηγμάτωση)

⁽¹⁾ Ζαράρης Πρ. (2002) "Μέθοδοι Υπολογισμού Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος", Αφοί Κυριακίδη, Θεσ/νίκη

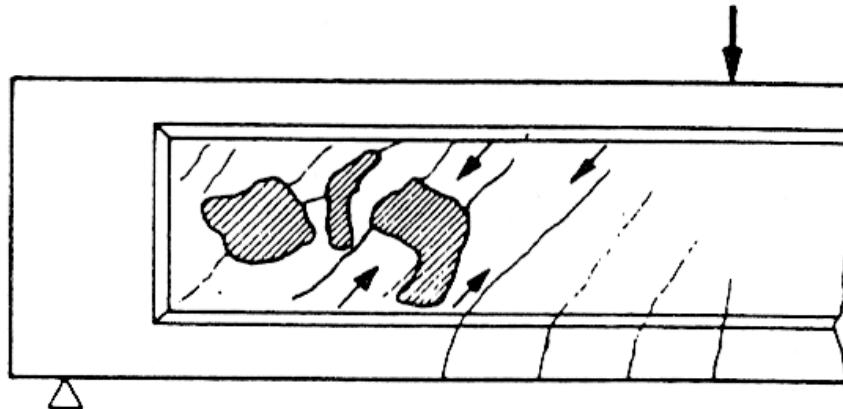
Τυπικές διατμητικές μορφές αστοχίας (1/2)

(a)



Οι διατμητικές αστοχίες είναι ψαθυρού τύπου και θα πρέπει να αποφεύγονται

(b)



Είναι προτιμότερο, αν συμβούν βλάβες, αυτές να είναι από κάμψη και όχι από διάτμηση -> ικανοτικός σχεδιασμός

⁽¹⁾ Ζαράρης Πρ. (2002) "Μέθοδοι Υπολογισμού Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος", Αφοί Κυριακίδη, Θεσ/νίκη

Τυπικές διατμητικές μορφές αστοχίας (2/2)

α) Αστοχία από διατμητικό εφελκυσμό.

Στην περίπτωση αυτή συμβαίνει διαρροή ή και θραύση των συνδετήρων. Για την αποφυγή αυτού του τύπου αστοχίας υπολογίζεται κατάλληλος **οπλισμός διάτμησης** (συνδετήρες), ώστε να παραλαμβάνεται η αντίστοιχη τέμνουσα δύναμη. Γίνεται ο έλεγχος: $V_{sd} < V_{Rd,s}$

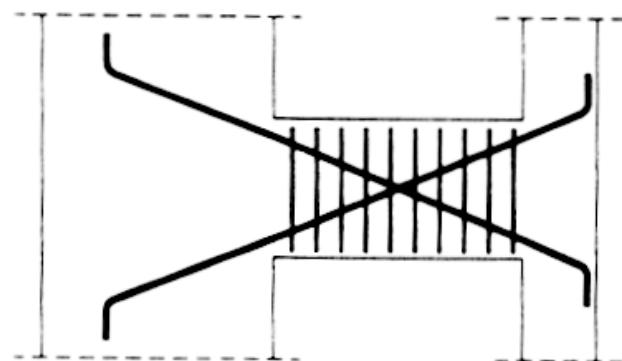
β) Αστοχία από συντριβή της θλιβόμενης διαγωνίου.

Στην περίπτωση αυτή συμβαίνει σύνθλιψη του σκυροδέματος μεταξύ των ρηγμάτων. Για την αποφυγή αυτού του τύπου αστοχίας οι **διαστάσεις της διατομής** πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να παραλαμβάνεται η αντίστοιχη τέμνουσα δύναμη. Γίνεται ο έλεγχος: $V_{sd} < V_{Rd,max}$

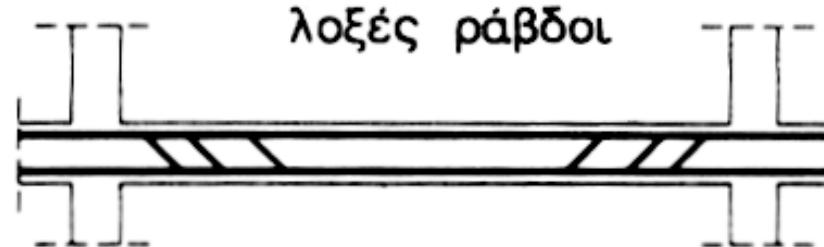
Τυπικές διατάξεις οπλισμού διάτμησης (1/4)



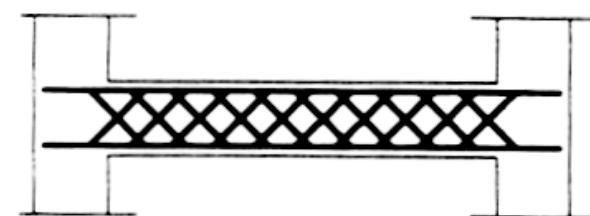
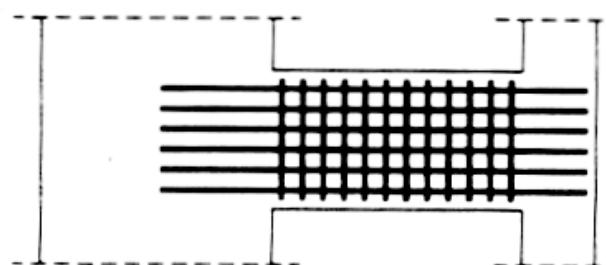
δισδιαγώνιος οπλισμός



δισδιαγώνιες λοξές ράβδοι

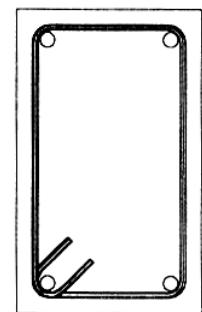
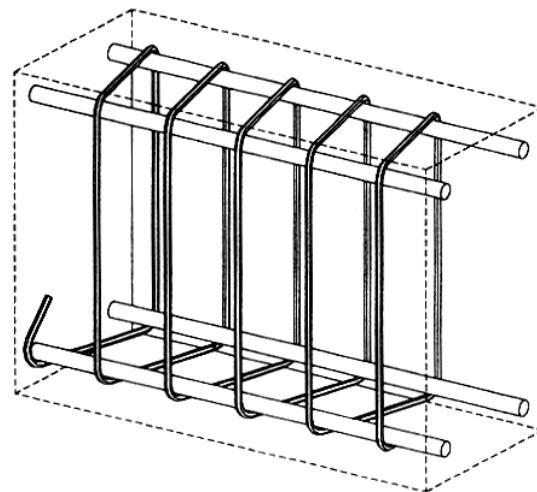
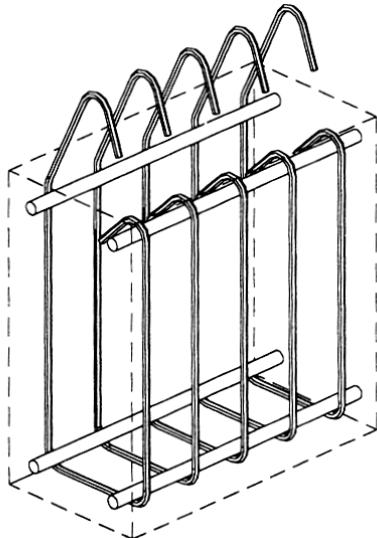
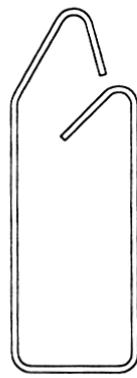


πλέγμα συνδετήρων



Τυπικές διατάξεις οπλισμού διάτμησης (2/4)

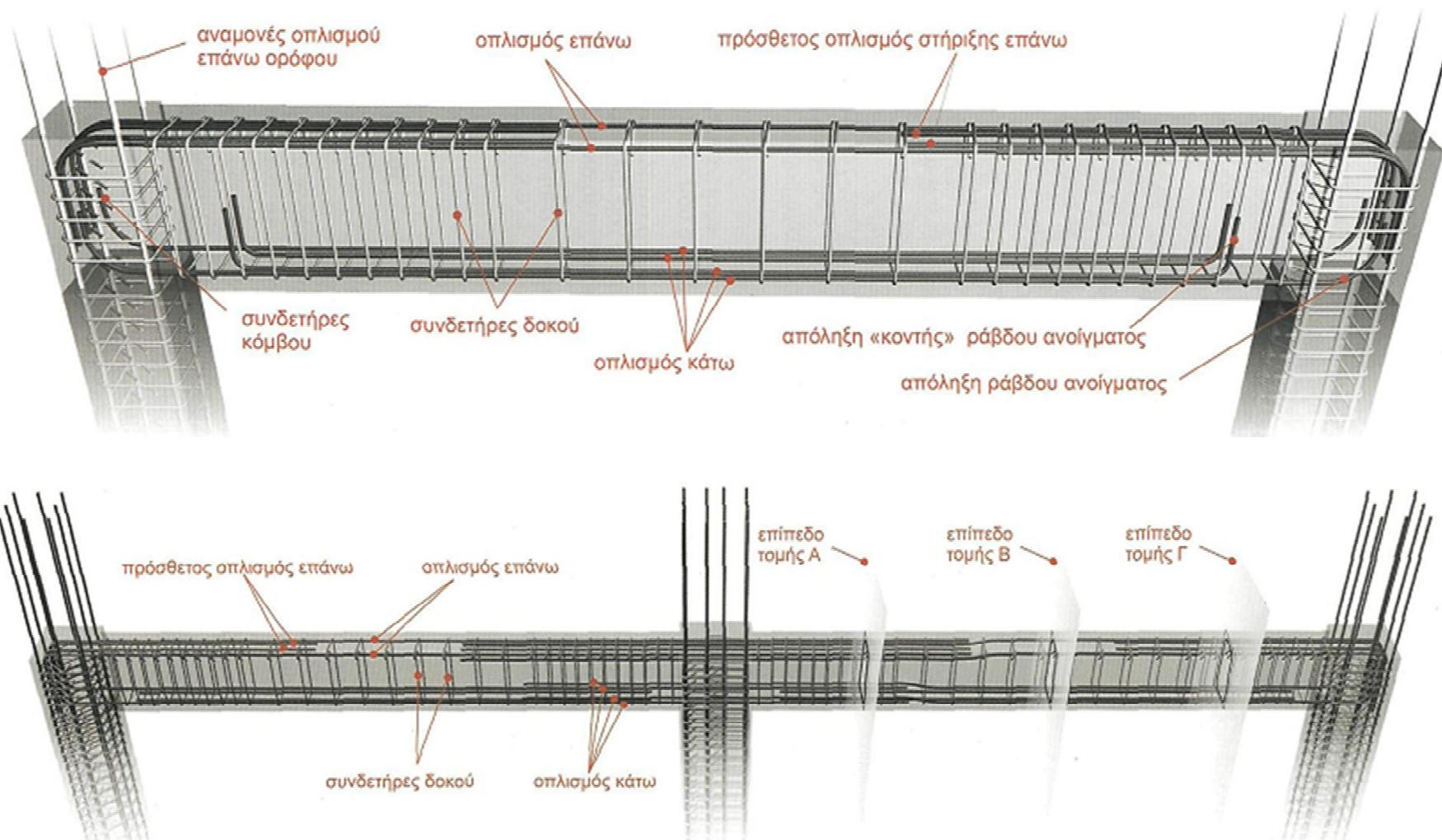
Η διάταξη που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην πράξη είναι οι συνδετήρες



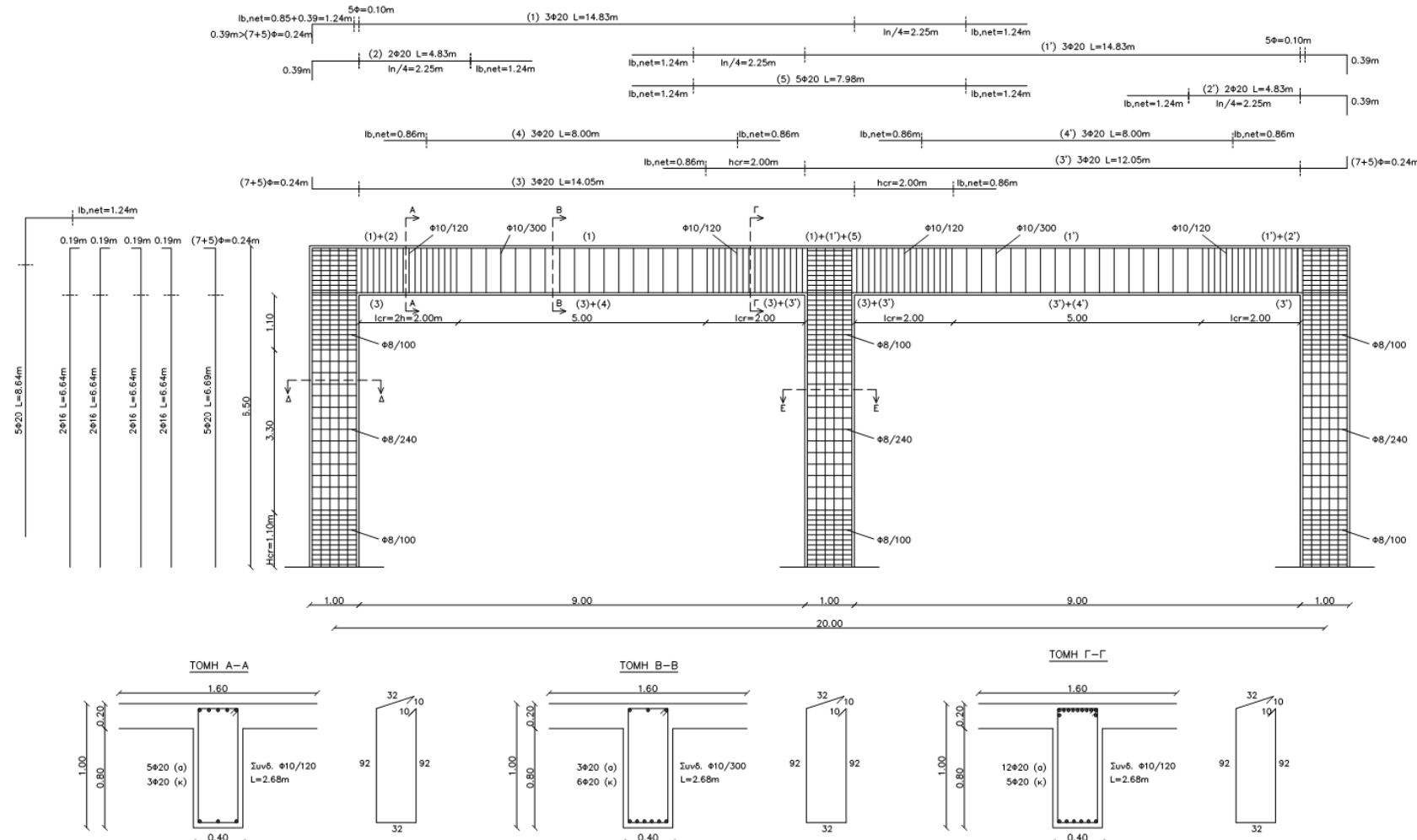
Μεμονωμένοι συνδετήρες δοκών

Συνδετήρες δοκών μορφής κλωβού,
“θώρακες”

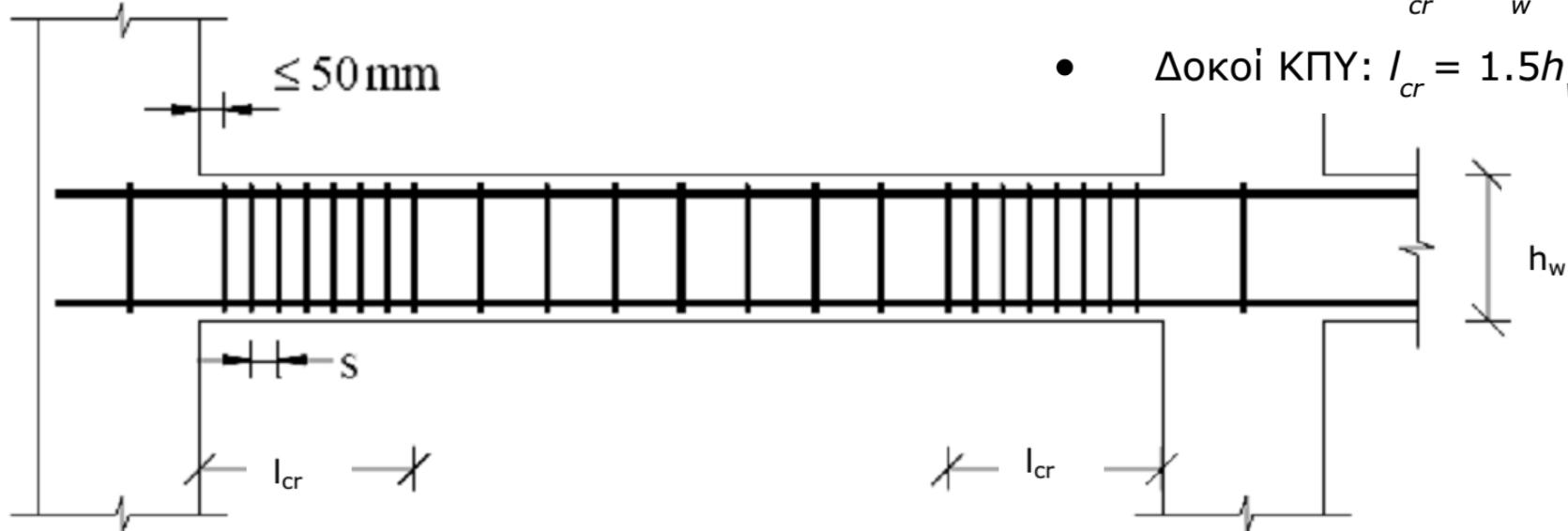
Τυπικές διατάξεις οπλισμού διάτμησης (3/4)



Τυπικές διατάξεις οπλισμού διάτμησης (4/4)



Κρίσιμες περιοχές δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (1/3)



Ως κρίσιμες περιοχές θεωρούνται

- Τα ακραία τμήματα της δοκού με μήκος I_{cr} από τις παρειές της στήριξης σε υποστύλωμα ή τοίχωμα ίσο με h_w ή $1.5h_w$, ανάλογα αν πρόκειται για κατασκευή ΚΠΜ ή ΚΠΥ, αντίστοιχα
- Οι περιοχές εκατέρωθεν των σημείων έδρασης μεγάλων συγκεντρωμένων φορτίων στο άνοιγμα για το ίδιο μήκος

Κρίσιμες περιοχές δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (2/3)

Ο λόγος που θεωρούνται οι συγκεκριμένες περιοχές ως κρίσιμες είναι ότι εκεί υπάρχει η **μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης βλαβών** (ιδιαίτερα για σεισμικές δράσεις).

Άρα στις θέσεις αυτές υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για:

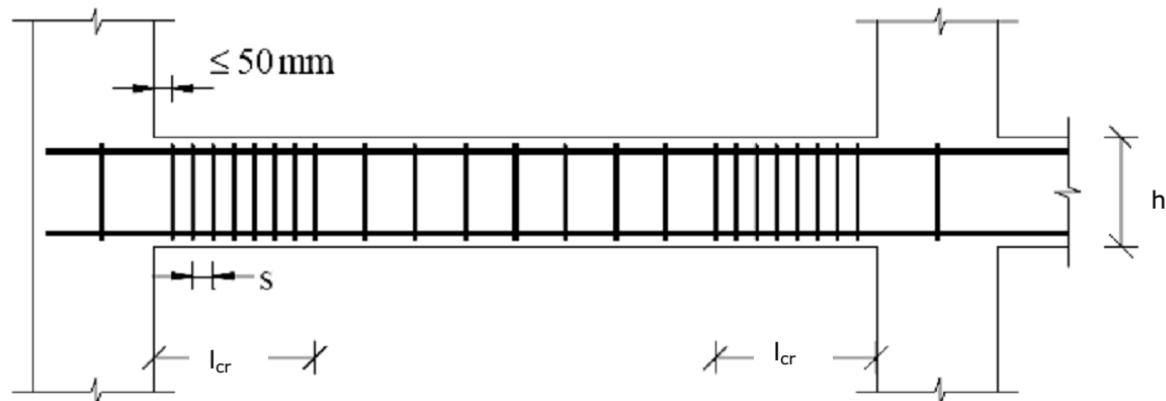
- Αυξημένη **διαθέσιμη πλαστιμότητα** ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες ψαθυρές μορφές αστοχίας
- Ικανότητα **απορρόφησης** σημαντικού ποσοστού **ενέργειας** μέσω **ανελαστικών παραμορφώσεων** (άρα και βλαβών)

Κρίσιμες περιοχές δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (3/3)

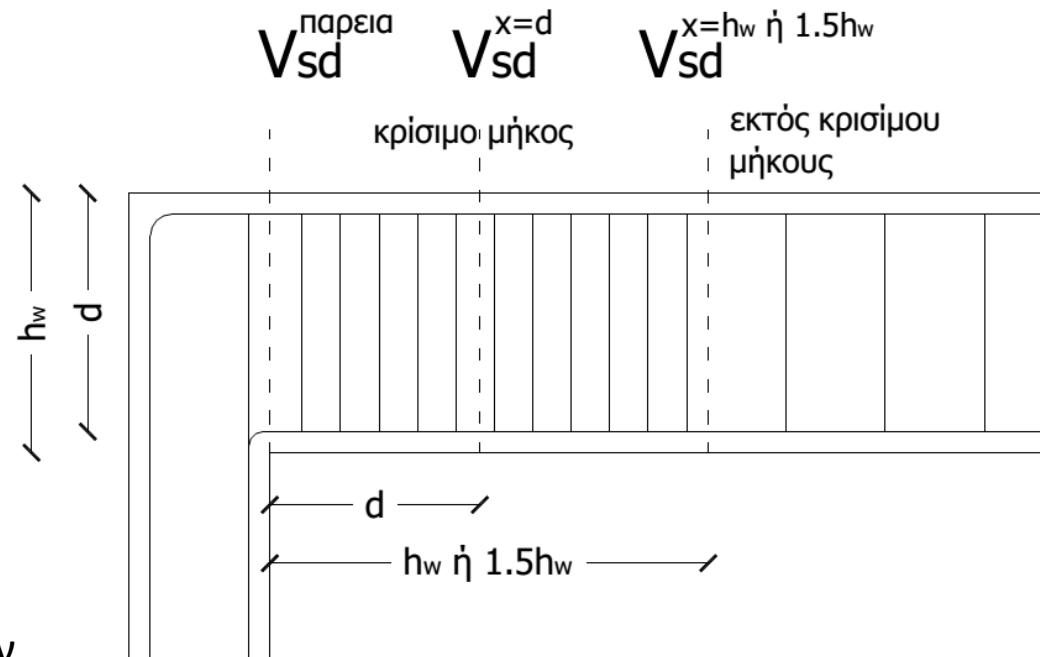
Για την επίτευξη των προηγούμενων στόχων γίνεται μια πύκνωση των συνδετήρων στις θέσεις αυτές σε σχέση με το υπόλοιπο μήκος της δοκού.

Με τον τρόπο αυτό:

- Εγκιβωτίζεται το σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα την αύξηση της οριακής του παραμόρφωσης και της αντοχής του σε συνάφεια
- Προστατεύονται οι διαμήκεις ράβδοι από λυγισμό
- Εξασφαλίζεται η διατμητική αντοχή της διατομής



Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (1/8)



- Απαραίτητο το διάγραμμα τεμνουσών
- Χρειάζονται οι τέμνουσες δυνάμεις σε τρεις θέσεις
 - Στην παρειά του υποστυλώματος (ή του τοιχώματος)
 - Σε απόσταση ίση με το στατικό ύψος d από την παρειά
 - Σε απόσταση από την παρειά ίση με h_{cr}

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (2/8)

1^{ος} Έλεγχος: Απαίτηση τοποθέτησης οπλισμού διάτμησης

$$V_{sd}^{x=d} \leq V_{Rd,c}$$

Αν ισχύει δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης (τοποθετείται ο ελάχιστος)

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

όπου:

$C_{Rd,c}$ συνιστώμενη τιμή $0.18/\gamma_c=0.12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \quad (d \text{ σε mm})$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

A_{sl} διατομή διαμήκους εφελκυόμενου οπλισμού, ο οποίος επεκτείνεται πέραν της διατομής στην οποία υπολογίζεται η $V_{Rd,c}$ κατά $d+l_{bd}$

k_1 συνιστώμενη τιμή 0.15

f_{ck} χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd}$$

N_{Ed} αξονική δύναμη στη διατομή σε N

A_c εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος σε mm^2

b_w το ελάχιστο πλάτος της διατομής την εφελκυόμενη ζώνη

d το στατικό ύψος της διατομής

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (3/8)

1^{ος} έλεγχος - Παρατήρηση:

Ουσιαστικά γίνεται έλεγχος αν η διατμητική αντοχή του σκυροδέματος, με τη βοήθεια του εφελκυόμενου οπλισμού (ελκυστήρας) μπορεί να παραλάβει τις διατμητικές δυνάμεις (κύριες εφελκυστικές τάσεις), χωρίς να απαιτείται οπλισμός διάτμησης (συνδετήρες).

Αν δεν τηρείται η σχέση επέρχεται αστοχία από **διατμητικό εφελκυσμό** (ρήγματα περίπου 45°).

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (4/8)

2^{ος} Έλεγχος: Περιορισμός λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

$$V_{sd}^{\text{παρεια}} \leq V_{Rd,max}$$

Οι διαστάσεις του κορμού πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η παραπάνω σχέση

$$V_{Rd,max} = \frac{a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

όπου:

a_{cw} συντελεστής για συνεκτίμηση εντατικής κατάστασης στο θλιβόμενο πέλμα ίσος με 1 για μη προεντεταμένες κατασκευές

v_1 δείκτης μείωσης αντοχής σκυροδέματος ρηγματωμένου από διάτμηση

$$v_1 = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

z μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων διατομής ($z = 0.9 \cdot d$)

θ γωνία κλίσης θλιβόμενων διαγωνίων σκυροδέματος

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (5/8)

2ος έλεγχος - Παρατήρηση:

Γίνεται ο έλεγχος αν η διατομή του σκυροδέματος μπορεί να παραλάβει τις διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται (κύριες θλιπτικές τάσεις).

Αν δεν τηρείται η σχέση επέρχεται αστοχία από συντριβή της θλιβόμενης διαγωνίου.

Η σχέση αυτή συνήθως ικανοποιείται εκτός από κάποιες σπάνιες περιπτώσεις σε διατομές με λεπτό κορμό (η $V_{Rd,max}$ προκύπτει συνήθως πολύ μεγαλύτερη της $V_{sd,παρ}$).

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (6/8)

3^{ος} Έλεγχος: Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

$$V_{sd}^{x=d \text{ ή } x=??} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

όπου

f_{ywd} τάση σχεδιασμού οπλισμού διάτμησης (συνήθως $f_{ywd} = f_{yd}$)

s απόσταση μεταξύ οπλισμών διάτμησης

A_{sw} εμβαδόν διατομής οπλισμού διάτμησης

$$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

$$21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

$A_{sw} = n \cdot A_{ραβδου}$, $n=2$ για έναν συνδετήρα (δίτμητος)

$n=4$ για διπλό (τετράτμητος) κτλ.

f_{ywd} τιμή σχεδιασμού αντοχής οπλισμού διάτμησης (συνήθως $f_{ywd} = f_{yd}$)

Οπότε λύνοντας ως προς το άγνωστο σκέλος της εξίσωσης προκύπτει:

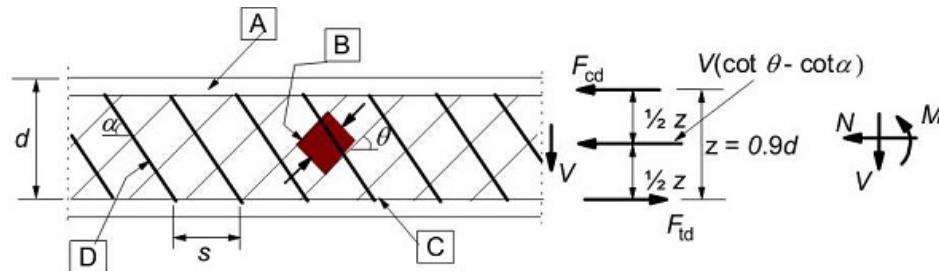
$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sd}^{x=d \text{ ή } x=??}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (7/8)

3^{ος} Έλεγχος: Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

Ως τέμνουσα υπολογισμού λαμβάνεται η τέμνουσα:

- σε απόσταση $x=d$ από την παρειά για τον υπολογισμό του οπλισμού διάτμησης εντός της κρίσιμης περιοχής (εντός $2h$)
- σε απόσταση $x=h_w$ (ΚΠΜ) ή $x=1.5h_w$ (ΚΠΥ) από την παρειά για τον υπολογισμό του οπλισμού διάτμησης εκτός της κρίσιμης περιοχής.



[A] - θλιβόμενο πέλμα, [B] - θλιπτήρες, [C] - εφελκυόμενη χορδή, [D] - οπλισμός διάτμησης

Μικρές τιμές της γωνίας θ (πχ $\theta=22^\circ$) οδηγούν σε ισχυρή δύναμη θλιπτήρων σκυροδέματος και συγχρόνως σε χαμηλή απαίτηση οπλισμού διάτμησης (απαίτηση μεγάλων διατομών με λιγότερο οπλισμό διάτμησης) ενώ αντίθετα, μεγάλες τιμές της θ (πχ $\theta=45^\circ$) ανακουφίζουν τους θλιπτήρες και επιτρέπουν μικρότερες διατομές, συγχρόνως όμως απαιτείται περισσότερος οπλισμός διάτμησης.

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης (8/8)

3^{ος} έλεγχος - Παρατήρηση:

- Από τη σχέση αυτή υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης όταν
$$V_{sd}^{x=d} > V_{Rd1}$$
- Στην περίπτωση αυτή ένα μέρος της τέμνουσας παραλαμβάνεται από το σκυρόδεμα και ένα μέρος από τους συνδετήρες. Ο ευρωκώδικας αγνοεί το μέρος που παραλαμβάνεται από το σκυρόδεμα σε αντίθεση με τον ΕΚΩΣ2000.
- Αν δεν τηρείται η σχέση επέρχεται αστοχία από διατμητικό εφελκυσμό (ρήγματα 45°), αφού βέβαια έχει προηγηθεί ο 2^{ος} έλεγχος.
- Προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή της τέμνουσας υπολογισμού για την τοποθέτηση των συνδετήρων εντός και εκτός κρίσιμης περιοχής.

Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης δοκών (1/2)

Το ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού $\rho_{w,min}$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin a} \geq \rho_{w,min} = \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

Σκυρόδεμα	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80	C90
$\rho_{w,min} (\%)$	0.64	0.72	0.80	0.88	0.95	1.01	1.07	1.13	1.19	1.24	1.34	1.43	1.52

Θεωρήθηκε $f_{yk}=500\text{MPa}$

$$\frac{A_{sw}}{s_{max} \cdot b_w \cdot \sin a} = \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \Rightarrow s_{max} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yk}}{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot \sin a}$$

Επιπλέον, δίνονται οι παρακάτω μέγιστες αποστάσεις για τον οπλισμό διάτμησης

- Απόσταση μεταξύ κεκαμμένων ράβδων: $s_{b,max} = 0.60 \cdot d \cdot (1 + \text{cota})$
- Απόσταση μεταξύ συνδετήρων ή συνδέσμων: $s_{l,max} = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \text{cota})$
- Εγκάρσια απόσταση σκελών συνδετήρα: $s_{t,max} = 0.75 \cdot d \leq 600\text{mm}$

Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης δοκών (2/2)

Ειδικά για τον οπλισμό διάτμησης στις κρίσιμες περιοχές των δοκών, ο ΕΚ8 ορίζει τις παρακάτω μέγιστες αποστάσεις, οι οποίες διαφοροποιούνται για ΚΠΜ και ΚΠΥ. Επιπλέον, η ελάχιστη διάμετρος για τους συνδετήρες είναι ίση με 6mm.

$$s \leq \begin{cases} h/4 \\ 24 \cdot \emptyset_w \\ 8 \cdot \emptyset_{L,min} \\ 225\text{mm} \end{cases}$$

Δοκοί ΚΠΜ:

$$s \leq \begin{cases} h/4 \\ 24 \cdot \emptyset_w \\ 6 \cdot \emptyset_{L,min} \\ 175\text{mm} \end{cases}$$

Δοκοί ΚΠΥ:



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Οπλισμένο Σκυρόδεμα I

Ενότητα 7: Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων

Γεώργιος Παναγόπουλος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων

Διαστασιολόγηση σε κάμψη με αξονικό φορτίο

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης

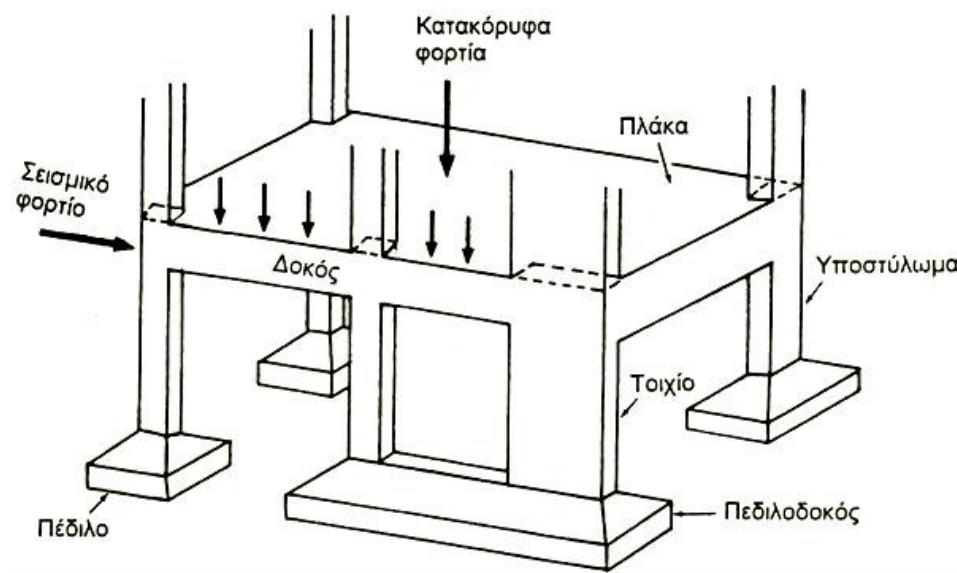
Μονοαξονική και διαξονική κάμψη

Περιεχόμενα ενότητας

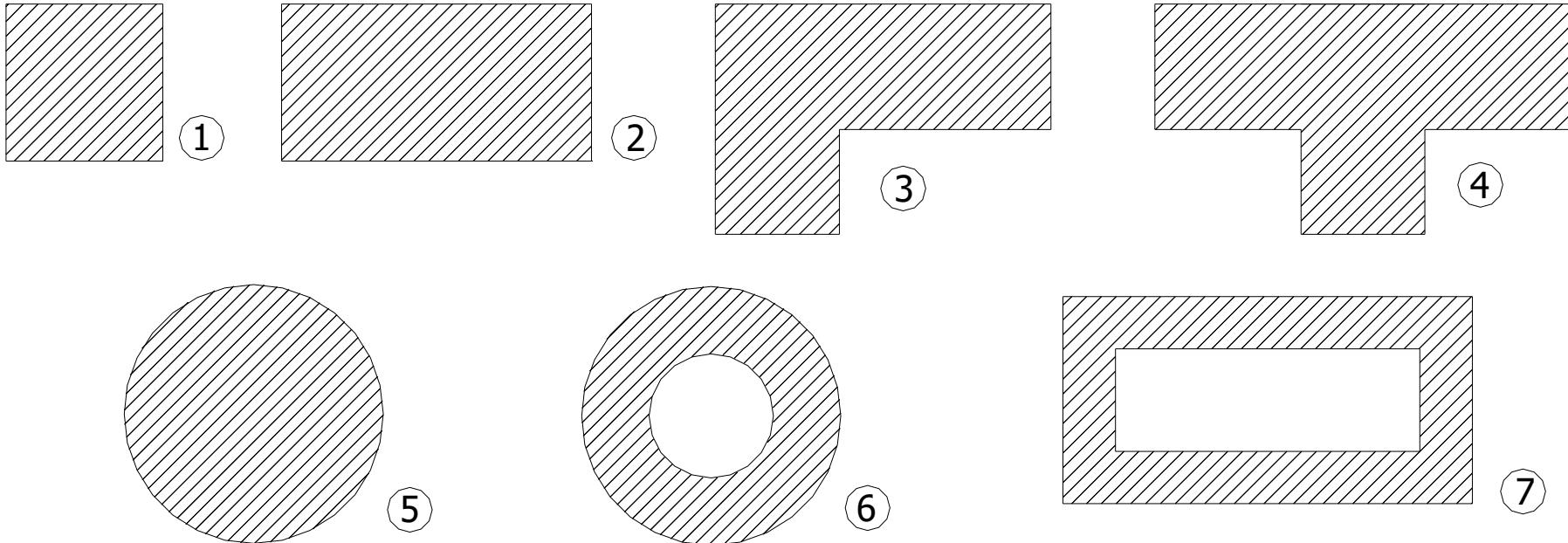
1. Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων
2. Διαστασιολόγηση σε κάμψη με αξονικό φορτίο
3. Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική και διαξονική κάμψη
4. Διατάξεις του ΕC για τους στύλους
5. Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων
Ο/Σ

Υποστυλώματα από Ο/Σ

- Τα υποστυλώματα μαζί με τα τοιχώματα αποτελούν τα κατακόρυφα στοιχεία του σκελετού των κατασκευών από Ο/Σ
- Ιδιαίτερα κρίσιμα για τη στατική επάρκεια του συνόλου της κατασκευής
- Σοβαρές βλάβες μπορούν να οδηγήσουν σε μερική ή ολική κατάρρευση (ιδιαίτερα για σεισμικές διεγέρσεις)



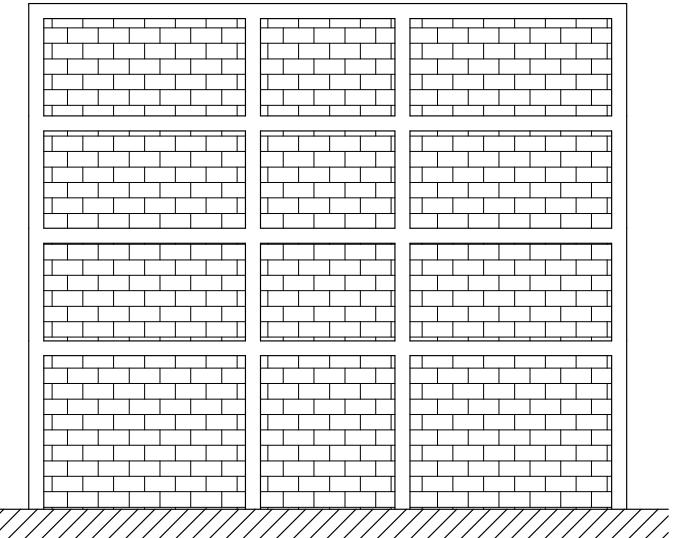
Τυπικές διατομές υποστυλωμάτων



- ① Τετραγωνικό υποστύλωμα
- ② Ορθογωνικό υποστύλωμα
- ③ Γωνιακό υποστύλωμα μορφής Γ
- ④ Γωνιακό υποστύλωμα μορφής Τ
- ⑤ Κυκλικό υποστύλωμα
- ⑥ Υποστύλωμα κοίλης κυκλικής διατομής
- ⑦ Υποστύλωμα κοίλης ορθογωνικής διατομής

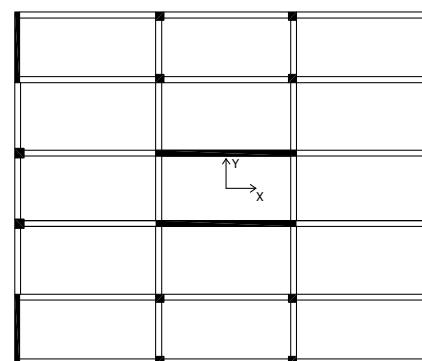
Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων

- Τα υποστυλώματα κατά κανόνα ανήκουν σε πλαίσια σε μία ή δύο διευθύνσεις
- Ύπαρξη αξονικού φορτίου (πάντα)
- Για κατακόρυφα φορτία το Ν πάντα θλιπτικό
- Καμπτικές ροπές σε δύο διευθύνσεις

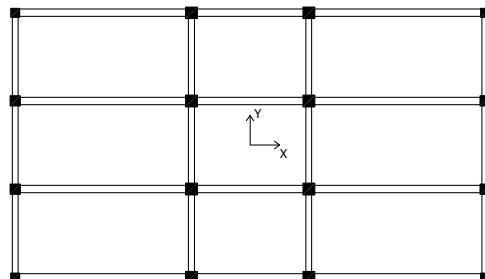


Όψη

Κατασκευή με μικτό σύστημα
(δοκοί - υποστυλώματα/τοιχεία)



Κατόψεις



Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (1/5)

Πλαίσιο υπό φορτία βαρύτητας



⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

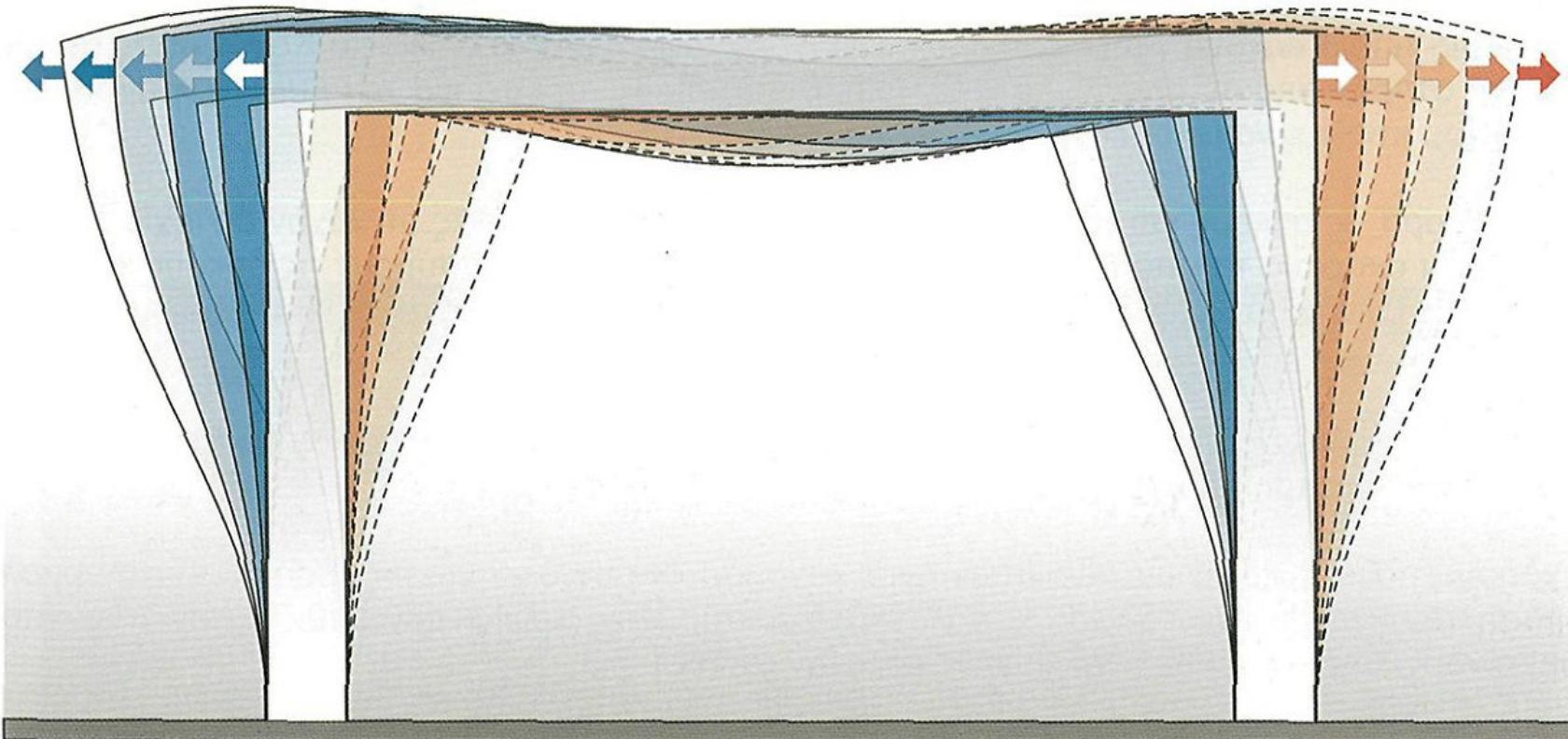
Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (2/5)



⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (3/5)

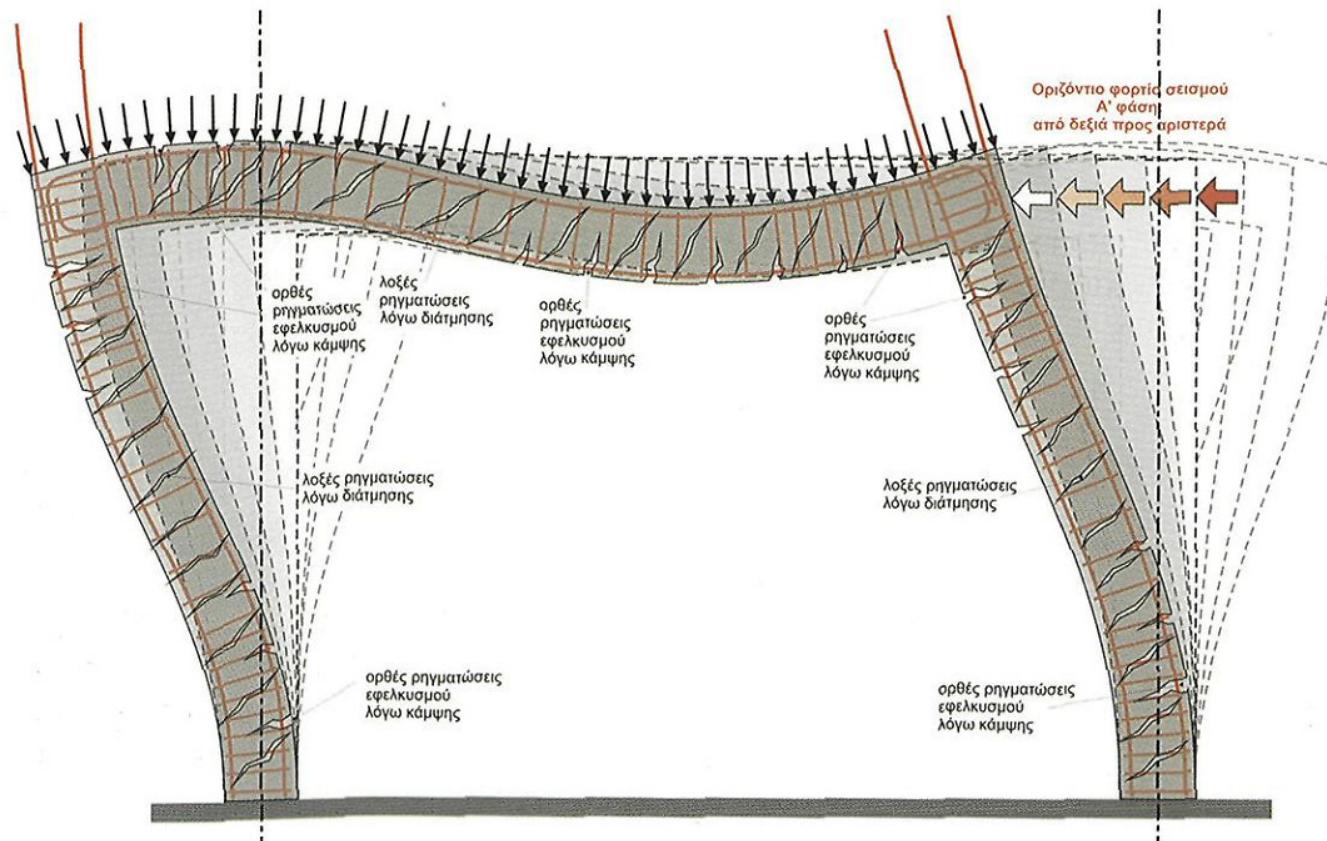
Πλαίσιο υπό σεισμική φόρτιση



⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (4/5)

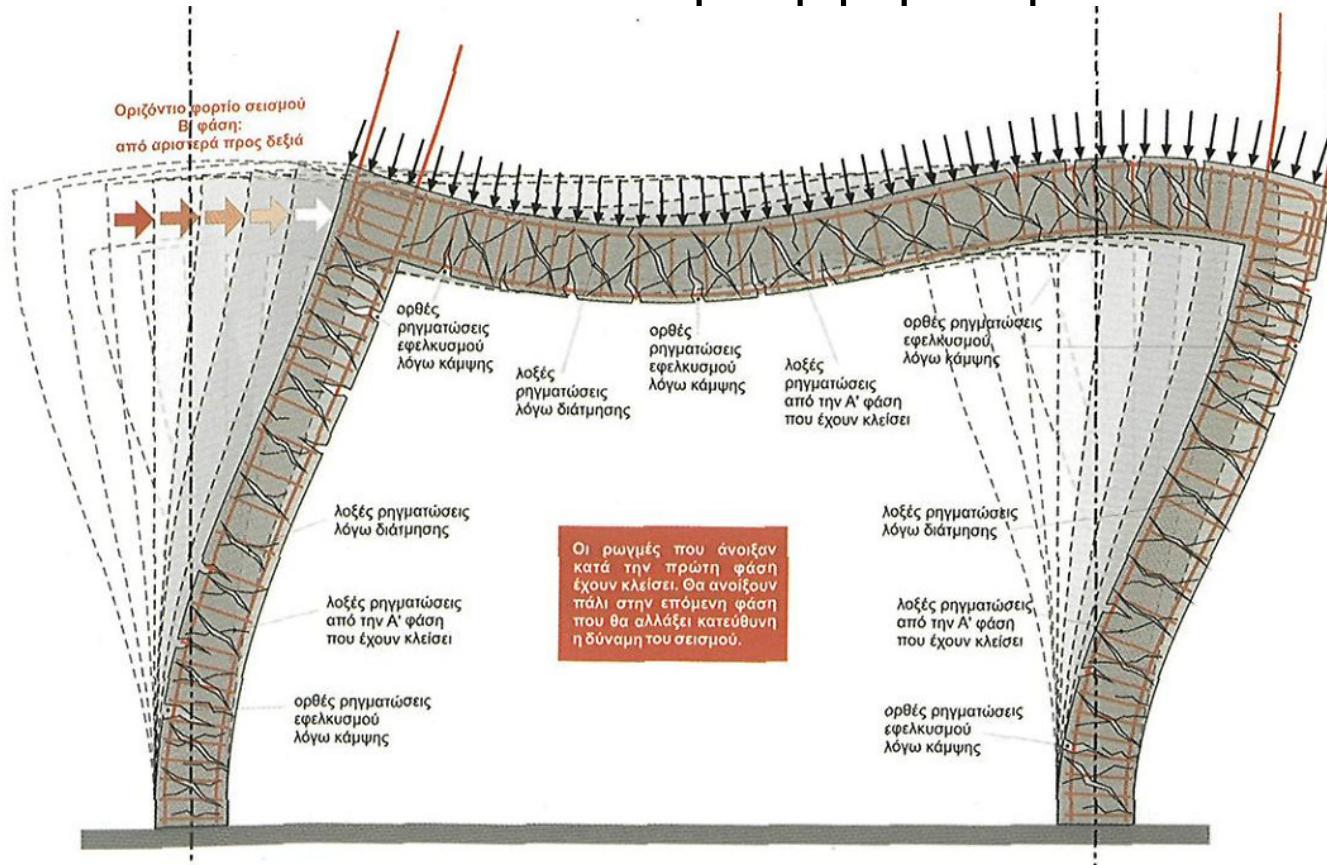
Πλαίσιο υπό σεισμική φόρτιση



⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (5/5)

Πλαίσιο υπό σεισμική φόρτιση



⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

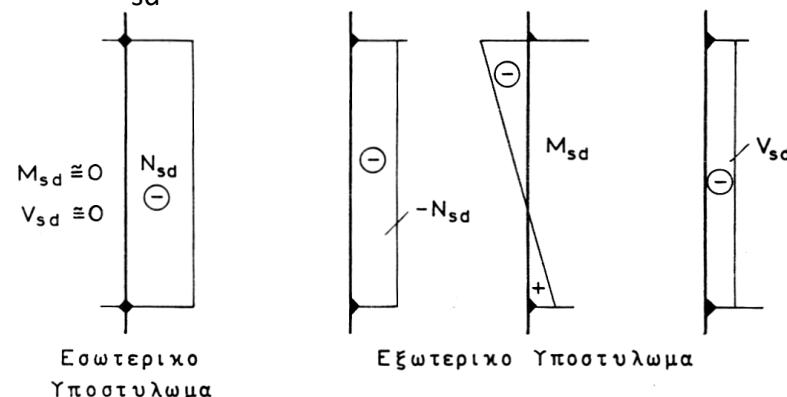
Εντατικά μεγέθη λόγω κατακόρυφων φορτίων

- **Εσωτερικά υποστυλώματα**

- Μεγάλες τιμές αξονικών δυνάμεων N_{sd}
- Μικρές τιμές (σχεδόν μηδενικές) των καμπτικών ροπων M_{sd}
- Μικρές τιμές (σχεδόν μηδενικές) των τεμνουσών V_{sd}

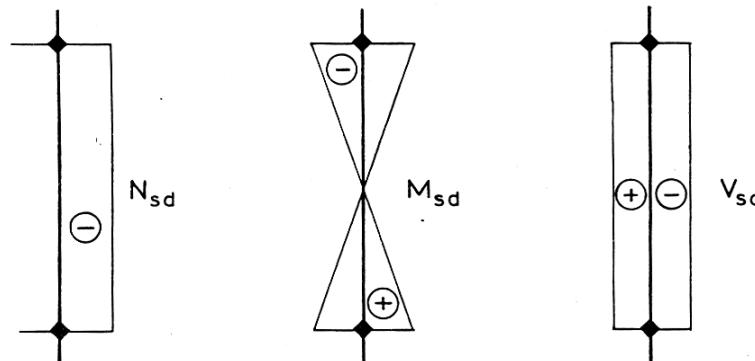
- **Εξωτερικά υποστυλώματα**

- Μεγάλες τιμές αξονικών δυνάμεων N_{sd}
- Υπολογίσιμου μεγέθους τιμές των καμπτικών ροπων M_{sd}
- Υπολογίσιμου μεγέθους τιμές των τεμνουσών V_{sd}



Εντατικά μεγέθη λόγω συνδυασμού κατακορύφων φορτίων και σεισμού ($G+0.30Q\pm E$)

- Μεγάλα N_{sd} , αλλά μικρότερα από ότι στα κατακόρυφα φορτία
- Μεγάλες διακυμάνσεις των N_{sd} ιδιαίτερα για τους εξωτερικούς στύλους. Είναι δυνατό να εμφανιστούν ακόμα και εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις.
- Μεγάλες τιμές M_{sd} με εναλλασσόμενο πρόσημο
- Μεγάλες τιμές V_{sd} με εναλλασσόμενο πρόσημο
- Μεγάλες τιμές των ροπών στην κορυφή και τη βάση. Μηδενίζονται περίπου στη μέση του ύψους
- Στην περίπτωση που υπάρχουν και τοιχώματα, ένα σημαντικό μερίδιο της σεισμικής δράσης παραλαμβάνεται από αυτά, οπότε οι τιμές των ροπών και των τεμνουσών μειώνονται σημαντικά.

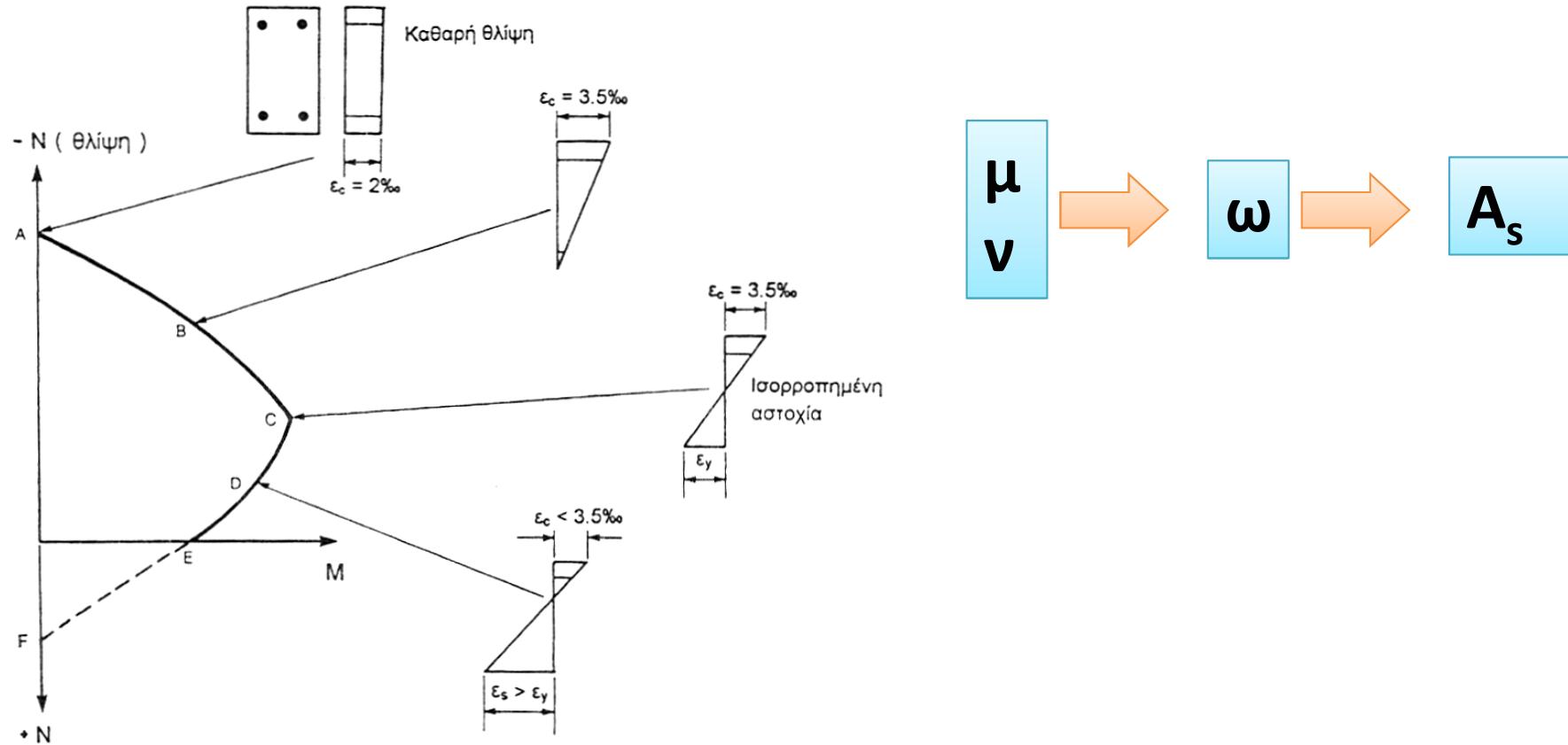


Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (1/6)

- Ο οπλισμός στα υποστυλώματα τοποθετείται συμμετρικά (στις παρειές)
- Οι τιμές του μηχανικού ποσοστού ω_{tot} προκύπτουν από διαγράμματα αλληλεπίδρασης ροπής(ών) – αξονικού φορτίου
- Στα υποστυλώματα χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης, ακόμα και αν η καταπόνηση δεν είναι προέχουσα θλίψη
- Διαφορετικά διαγράμματα για μονοαξονική ή διαξονική καταπόνηση
- Χρησιμοποιούνται οι ανηγμένες τιμές των M και N -> μ, ν
- Οι παραδοχές για τη θεώρηση της αστοχίας είναι ίδιες με αυτές της προέχουσας κάμψης (πχ. $\varepsilon_c=3.5\%$, $\varepsilon_s=2\%$ κτλ)

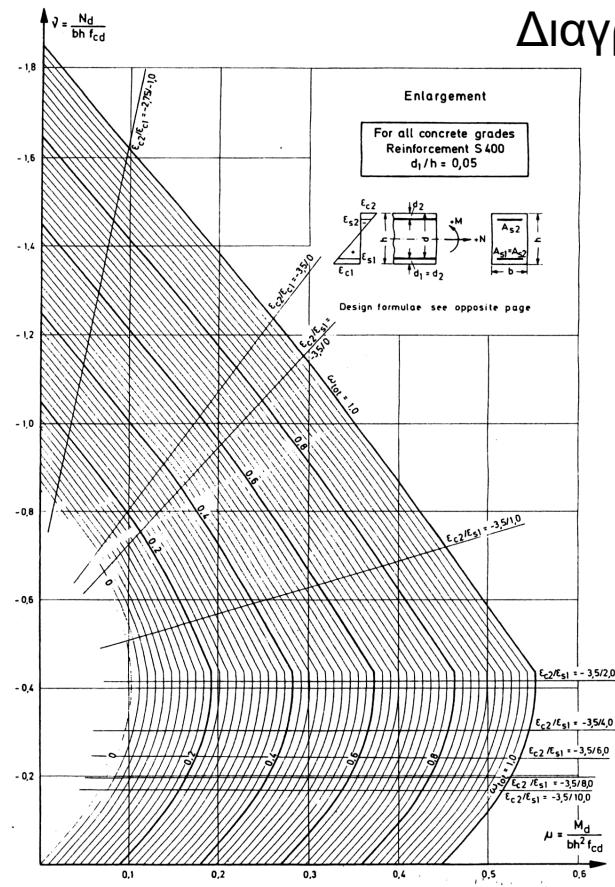
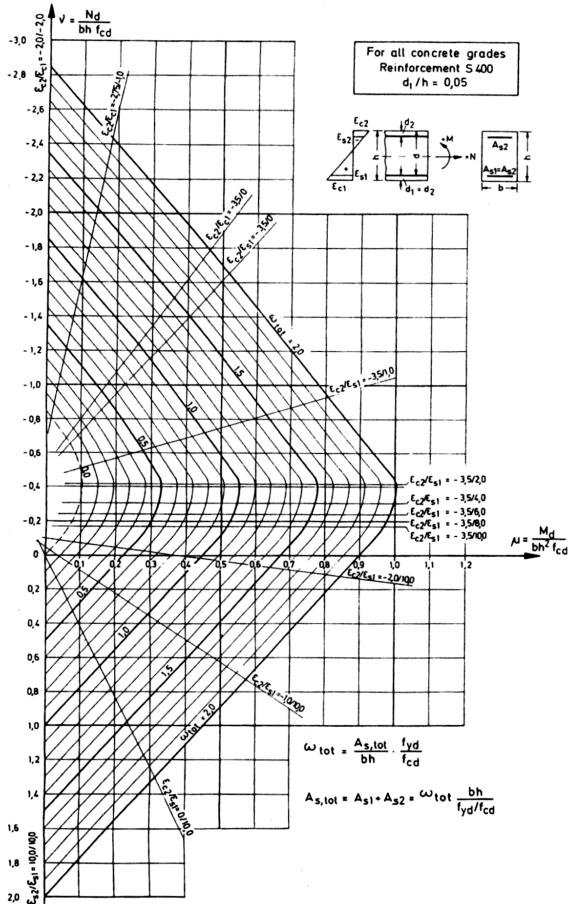
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (2/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη



Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (3/6)

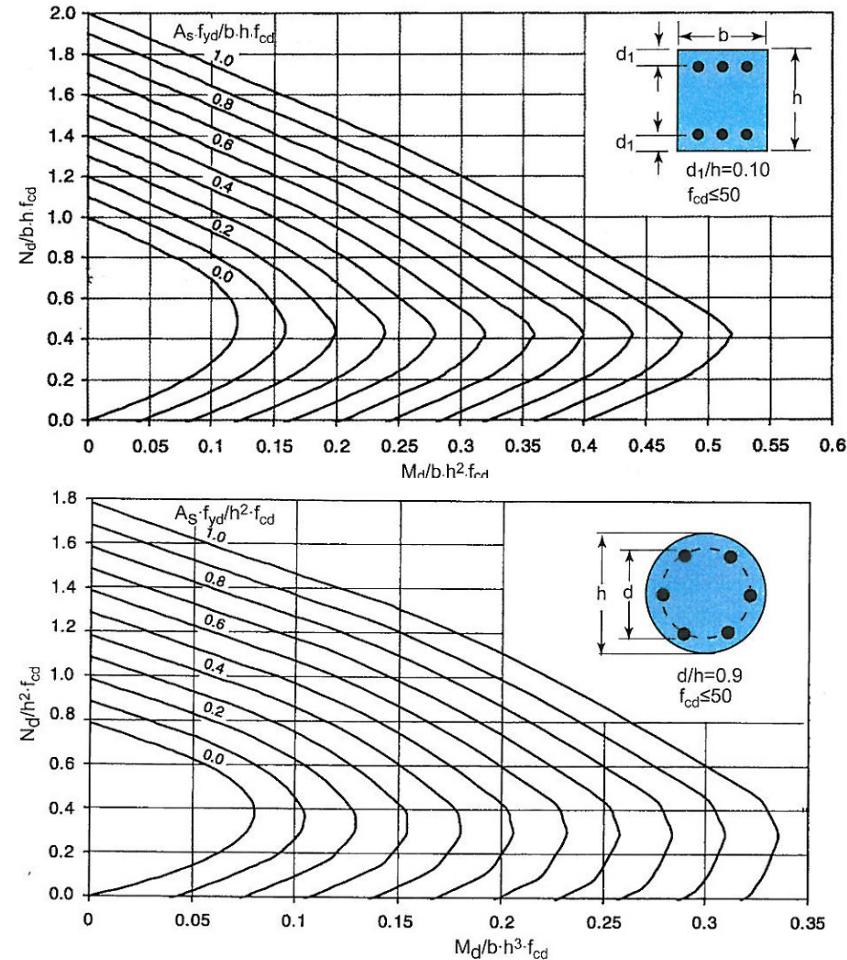
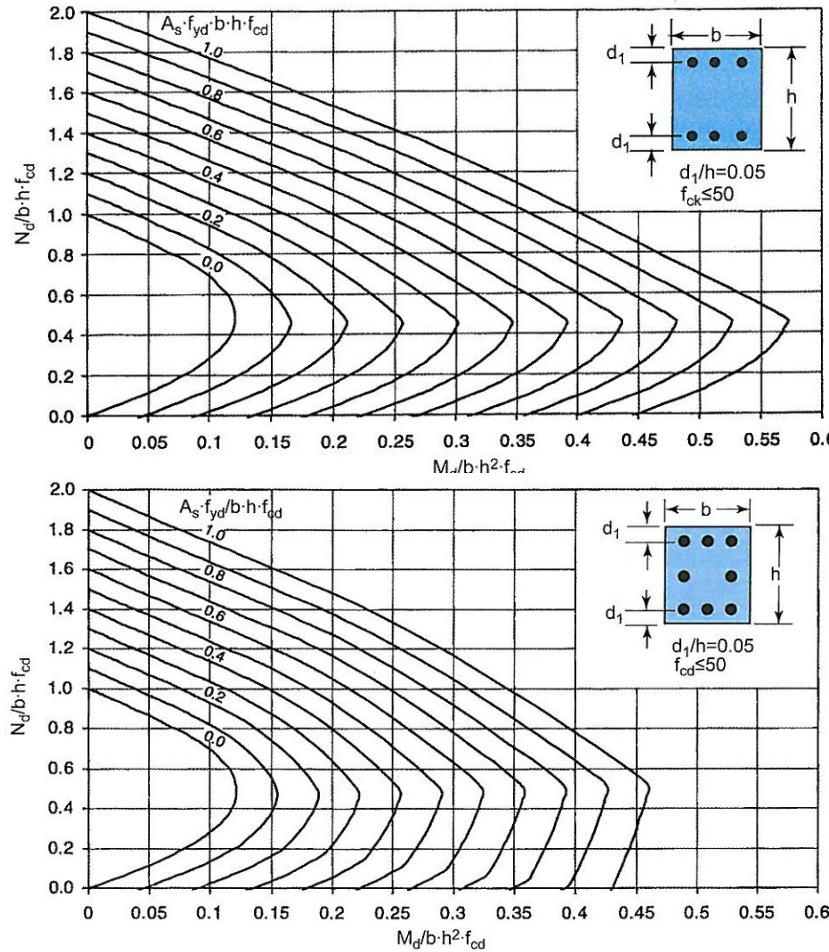
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη



Διαγράμματα CEB

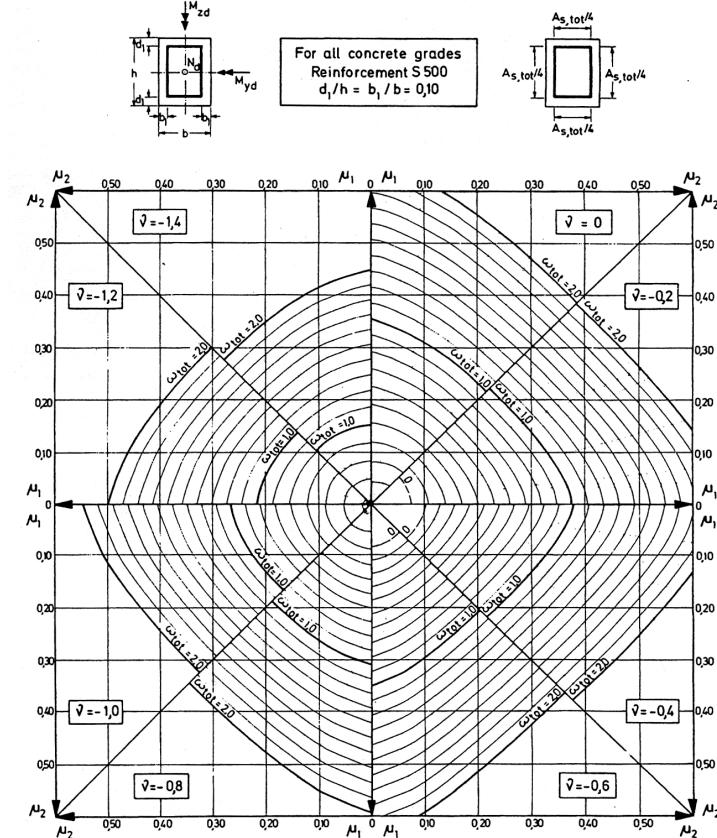
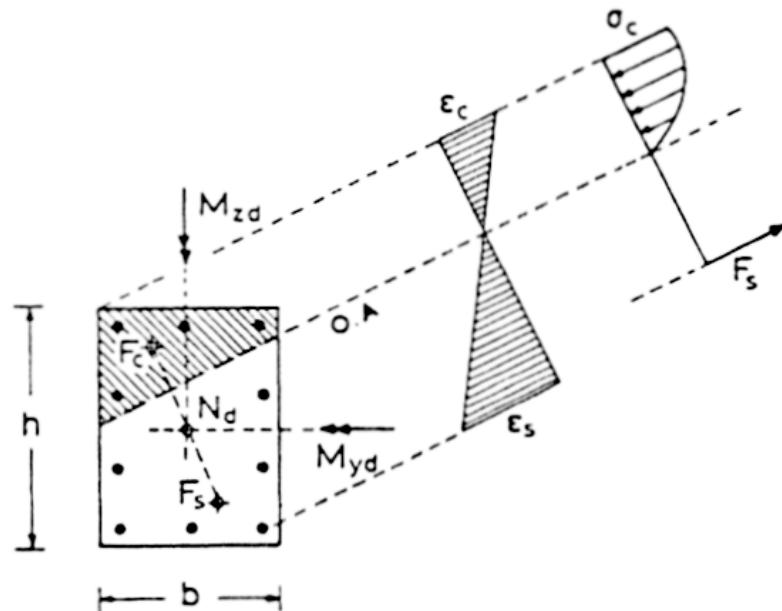
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (4/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη



Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (5/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη



$$\mu_y = \frac{|M_{yd}|}{bh^2 f_{cd}} \quad \text{if } \mu_y > \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_y; \mu_2 = \mu_z$$

$$\mu_z = \frac{|M_{zd}|}{b^2 h f_{cd}} \quad \text{if } \mu_y < \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_z; \mu_2 = \mu_y$$

$$v = \frac{N_d}{bh f_{cd}}$$

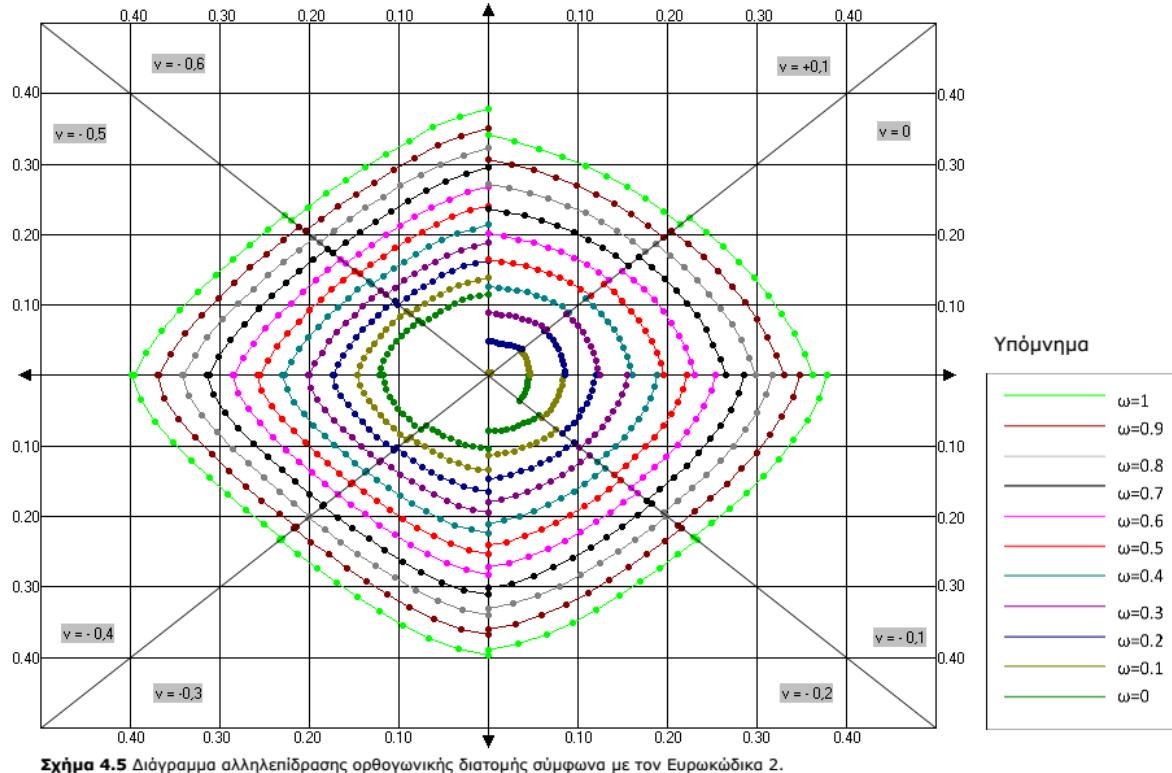
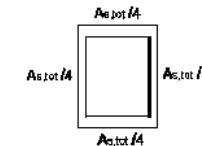
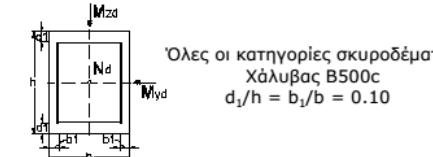
$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{bh} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{bh}{f_{yd}/f_{cd}}$$

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (6/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη

Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (διανεμημένη κατανομή οπλισμού)



⁽¹⁾Τσερτικίδου Δ. (2011) "Σχεδιασμός διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2", Διπλωματική εργασία, Τμ. Πολ. Μηχ/κών, ΑΠΘ

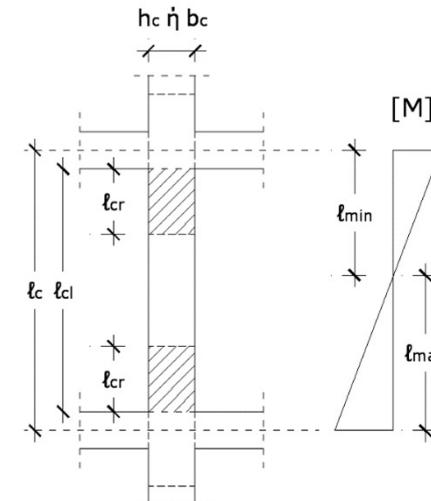
Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (1/3)

Γεωμετρικές διατάξεις

- Υποστύλωμα θεωρείται κατακόρυφο στοιχείο με λόγο διαστάσεων διατομής: $h_c/b_c \leq 4.0$, όπου $h_c \geq b_c$

Γεωμετρικές διατάξεις υποστυλωμάτων ΚΠΜ, ΚΠΥ (EC8 – 5.4, 5.5)

- Διαστάσεις διατομής (EC8 – 5.4.1.2.2, 5.5.1.2.2):
 - Υποστυλώματα ΚΠΜ, ΚΠΥ με συντελεστή μεταθετότητας ορόφου $\vartheta > 0.1$: $b_c \geq l_{max}/10$
 - Υποστυλώματα ΚΠΥ: $b_c \geq 250\text{mm}$
- Εμβαδόν διατομής (EC8 – 5.4.3.2.1, 5.5.3.2.1):
 - Υποστυλώματα ΚΠΜ : $v_d = N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd}) \leq 0.65$
 - Υποστυλώματα ΚΠΥ : $v_d = N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd}) \leq 0.55$
- Κρίσιμες περιοχές (EC8 – 5.4.3.2.2, 5.5.3.2.2)
 - $l_{cr} = l_{cl}$ εφόσον $l_c/h_c < 3$
 - Υποστυλώματα ΚΠΜ : $l_{cr} = \max(h_c, l_{cl}/6, 450\text{mm})$
 - Υποστυλώματα ΚΠΥ : $l_{cr} = \max(1.5h_c, l_{cl}/6, 600\text{mm})$



Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (2/3)

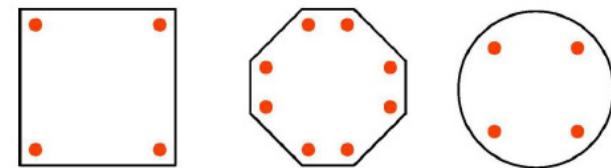
Διαμήκης οπλισμός

- Ελάχιστη διάμετρος ράβδων: $\emptyset_{min} \geq 8\text{mm}$
- Συνολική διατομή διαμήκων ράβδων

$$A_{s,min} = 0.10 \cdot N_{Ed} / f_{yd} \geq 0.002 \cdot A_c$$

$$A_{s,max} = 0.04 \cdot A_c \quad (\text{περιοχή υπερκάλυψης: } A_{s,max} = 0.08 \cdot A_c)$$

- Διάταξη και ελάχιστο πλήθος ράβδων στη διατομή
Πολυγωνικές: μία ράβδος ανά κορυφή

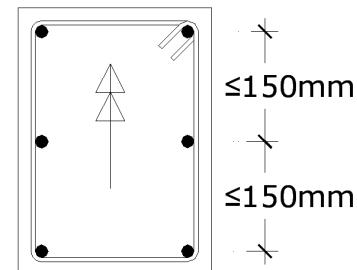


- Υποστυλώματα ΚΠΜ, ΚΠΥ:
 - Συνολικό ποσοστό διαμήκων ράβδων: $0.01 \leq \rho_{L,tot} \leq 0.04$
 - Σε συμμετρικές διατομές τοποθετείται συμμετρικός οπλισμός στις απέναντι πλευρές ($\rho_L = \rho_L'$)
 - Στο ύψος του κόμβου απαιτείται μία τουλάχιστον ενδιάμεση ράβδος σε κάθε πλευρά του υποστυλώματος
- Υποστυλώματα ΚΠΥ:
 - Στον κατώτατο όροφο απαιτείται $\rho_{L,πόδα} \geq \rho_{L,κεφαλής}$

Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (3/3)

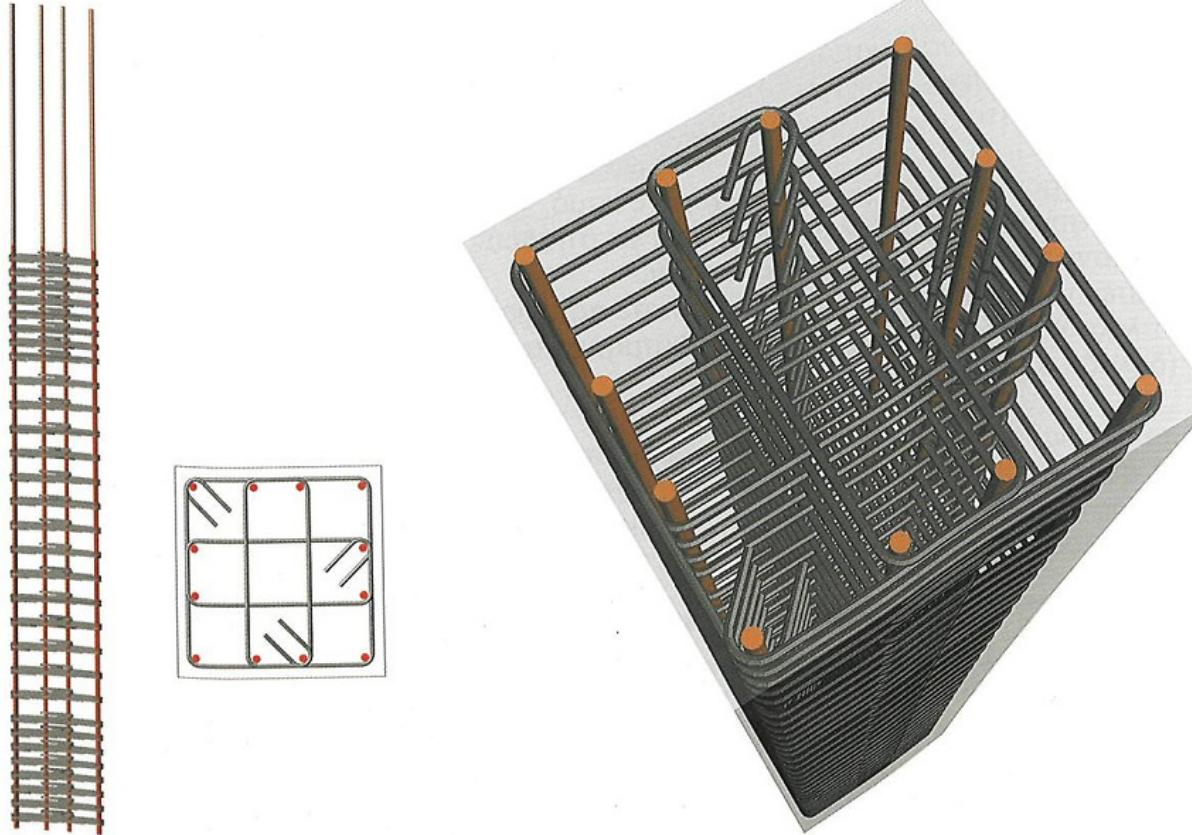
Εγκάρσιος οπλισμός

- Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων: $\emptyset_{w,min} = \max(6\text{mm}, \emptyset_{L,max}/4)$
- Ελάχιστη διάμετρος ράβδων συγκολλητών πλεγμάτων: $\emptyset_{min} = 5\text{mm}$
- Απόσταση μεταξύ συνδετήρων: $s_{cl,tmax} = \min(20\emptyset_{L,min}, b_c, 400\text{mm})$
- Απαιτείται απόσταση $0.6 \cdot s_{cl,tmax}$ στις ακόλουθες περιοχές:
 - Στα άκρα (κεφαλή, πόδας) σε μήκος h_c
 - Στο μήκος υπερκάλυψης εφόσον $\emptyset_{L,max} > 14\text{mm}$, όπου απαιτούνται τουλάχιστον 3 συνδετήρες
- Σε περιοχές εκτροπής των ράβδων με κλίση $>(1:12)$ (π.χ. θέση μεταβολής της διατομής του υποστυλώματος), οι δυνάμεις εκτροπής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη διάταξη των συνδετήρων
- Ράβδοι σε γωνίες συγκρατούνται από εγκάρσιο οπλισμό
- Διαμήκεις ράβδοι της θλιβόμενης παρειάς δεν επιτρέπεται να απέχουν $>150\text{mm}$ από συγκρατούμενη ράβδο



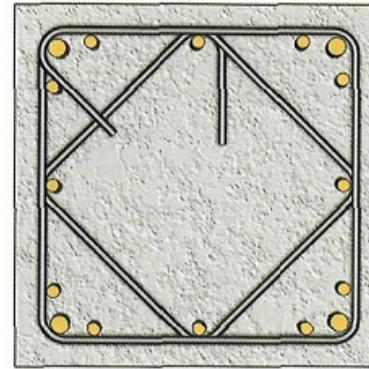
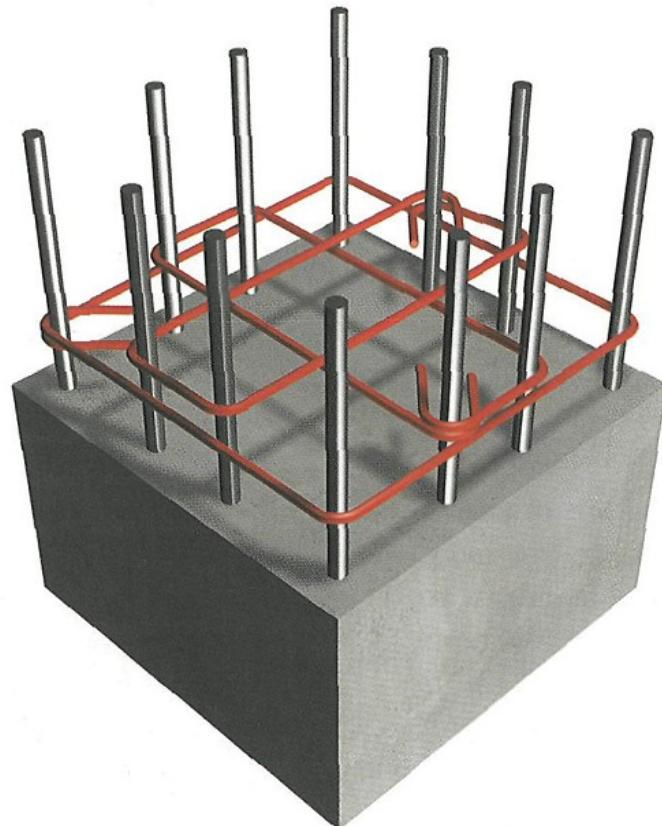
Οπλισμένο Σκυρόδεμα |
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (1/4)

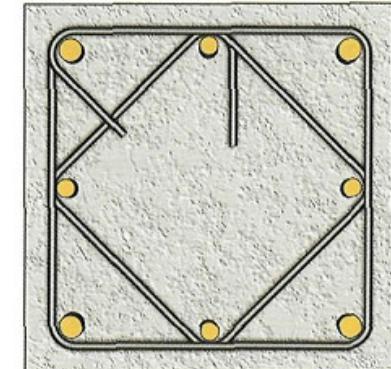


⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (2/4)



όπλιση με **16** ράβδους,
4Φ20+12Φ14



ισοδύναμη όπλιση με **8** ράβδους,
4Φ25+4Φ20

$$\rho_{\min} = 0.01$$

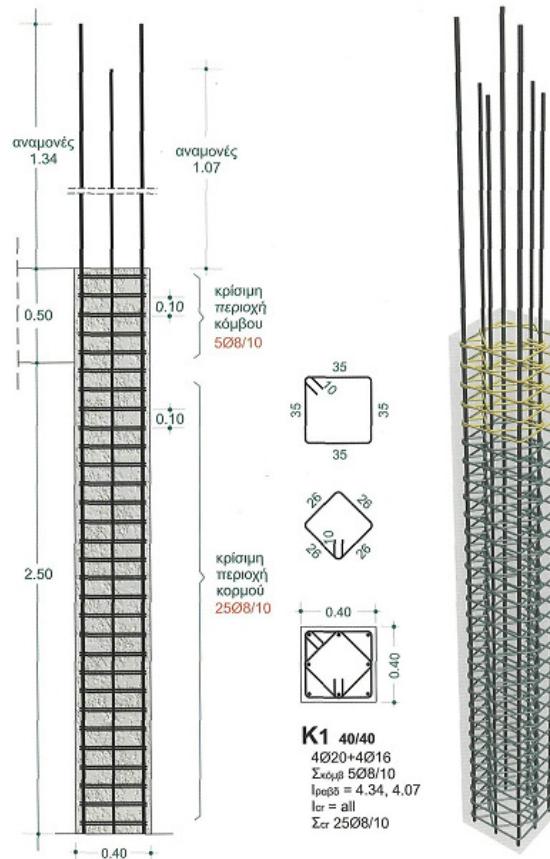
$$\rho_{\max} = 0.04$$

$$\rho_{\min,\text{παρ}} \approx 0.004$$

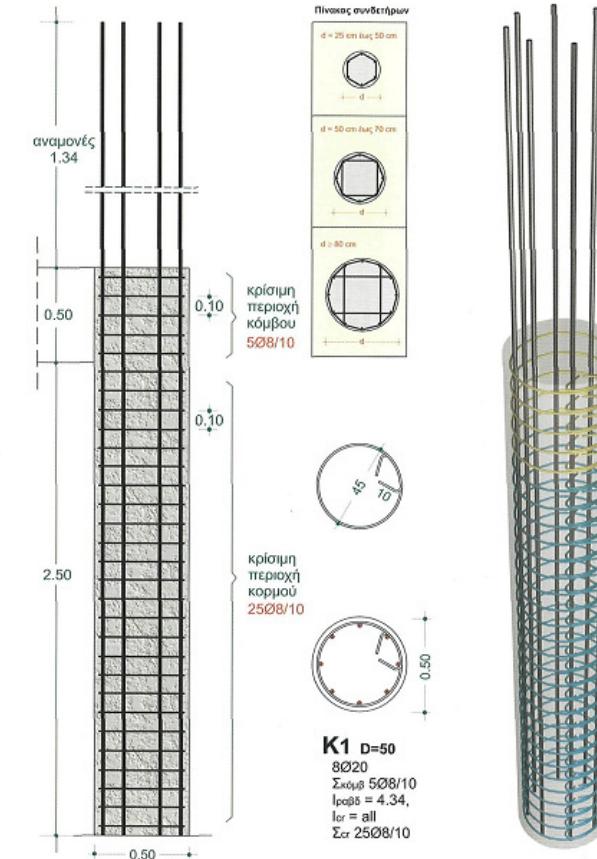
⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (3/4)

Υποστύλωμα διατομής 40x40cm



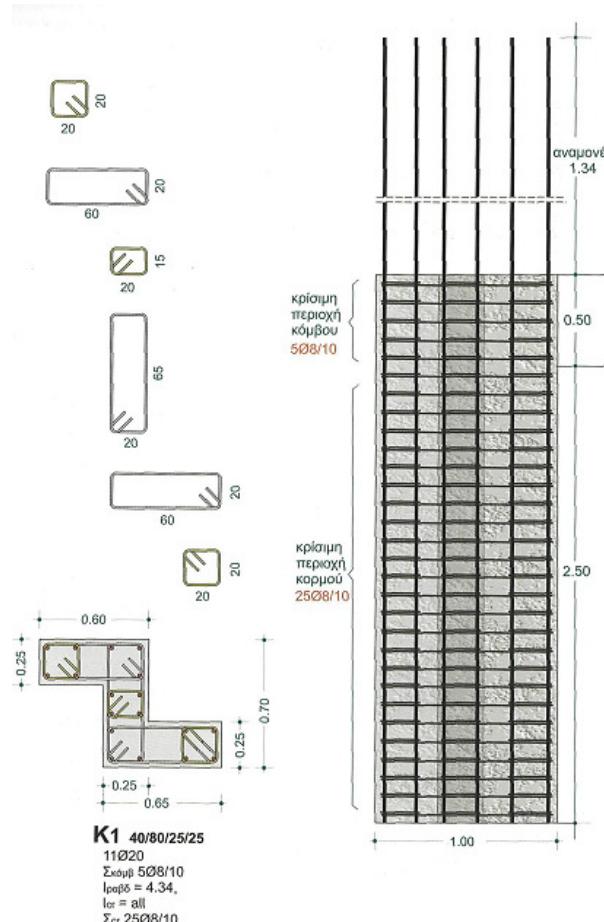
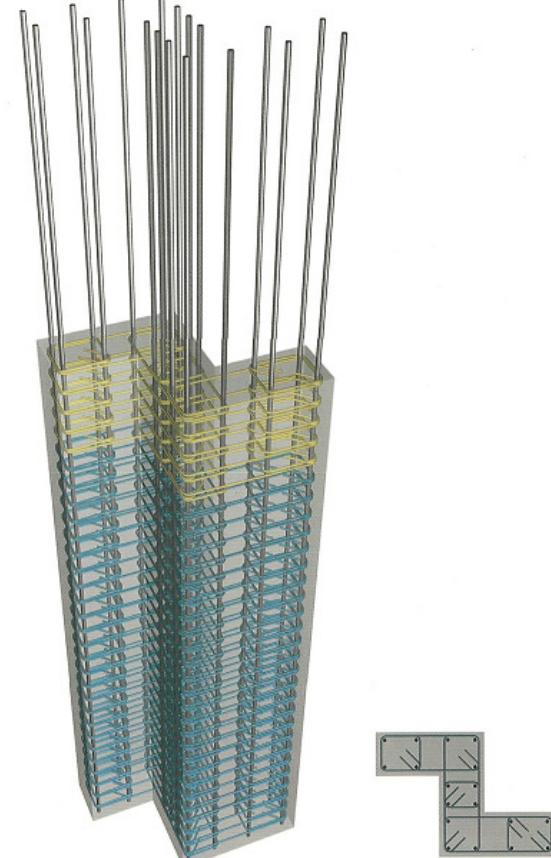
Υποστύλωμα κυκλικής διατομής D=50cm



⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (4/4)

Υποστύλωμα ζήτα 70x65x60x25x25x25cm



⁽¹⁾ Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα