



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΜΕΛΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ



ΠΗΛΙΧΟΥ ΣΟΦΙΑ

Α.Μ.: 41375

ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1: ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ	10
ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000	11
2.1.1: ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	11
2.1.2: ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	12
2.1.3: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	13
2.1.4: ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	15
2.2.1: ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	15
2.2.2: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	16
2.2.3: ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	17
2.2.4: ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.3: ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000	22
2.3.1: ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	22
2.3.1.1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ	22
2.3.1.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	22
2.3.1.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ	22
2.3.1.4: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ	23
2.3.1.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	24
2.3.1.6: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	24
2.3.2: ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	24
2.3.2.1: : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ	24
2.3.2.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	25
2.3.2.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	25
2.3.2.4: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	25
2.3.2.5: ΧΑΛΛΑΡΩΣΗ	26
2.3.2.6: ΟΛΚΙΜΟΤΗΤΑ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.4: ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	27
2.4.1: ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	27
2.4.1.1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ	27
2.4.1.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	27
2.4.1.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ	27
2.4.1.4: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ	28
2.4.1.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	28
2.4.1.6: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	29
2.4.2: ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	29
2.4.2.1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ	29
2.4.2.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	30
2.4.2.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	30
2.4.2.4: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	31
2.4.2.5: ΧΑΛΛΑΡΩΣΗ	31

ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1: ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000	33
3.1.1: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	33
3.1.2: ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	33
3.1.3: ΑΝΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	35
3.2.1: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	35
3.2.2: ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	37
3.2.3: ΑΝΤΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	38
ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ(Ο.Κ.Α.)	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.1: ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.1: Ο.Κ.Α. ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000	39
4.1.1: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΜΕΓΕΘΗ ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ	39
4.1.1.1: ΚΑΜΨΗ ΜΕ Η΄ ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	39
4.1.1.2: ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	40
4.1.2: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	41
4.1.2.1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	41
4.1.2.2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	42
4.1.2.3: ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΠΕΛΜΑΤΩΝ – ΚΟΡΜΟΥ	45
4.1.3: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΣΤΡΕΨΗ	45
4.1.3.1: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	45
4.1.4: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΔΙΑΤΡΗΣΗ	47
4.1.4.1: ΒΑΣΙΚΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	47
4.1.4.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	50
4.1.4.3: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	51
4.1.4.4: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.2: Ο.Κ.Α. ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	51
4.2.1: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΜΕΓΕΘΗ ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ	51
4.2.1.1: ΚΑΜΨΗ ΜΕ Η΄ ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	51
4.2.1.2: ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	53
4.2.2: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	53
4.2.2.1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	53
4.2.2.2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	54
4.2.2.3: ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΠΕΛΜΑΤΩΝ – ΚΟΡΜΟΥ	56
4.2.3: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΣΤΡΕΨΗ	56
4.2.3.1: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	56
4.2.4: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΔΙΑΤΡΗΣΗ	58
4.2.4.1: ΒΑΣΙΚΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	58
4.2.4.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	60
4.2.4.3: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	61
4.2.4.4: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	61
ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΗΣ	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1: ΚΑΝΟΝΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000	63
5.1.1: ΚΑΜΠΥΛΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ	63
5.1.2: ΟΡΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ	63
5.1.3: ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ	65
5.1.4: ΕΝΩΣΕΙΣ	67
5.1.5: ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	70

5.1.6: ΣΥΜΠΗΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ	71
5.1.7: ΔΕΣΜΕΣ ΡΑΒΔΩΝ	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.2: ΚΑΝΟΝΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	74
5.2.1: ΚΑΜΠΥΛΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ	74
5.2.2: 5.2.2: ΟΡΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ	75
5.2.3: ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ	75
5.2.4: ΕΝΩΣΕΙΣ	78
5.2.5: ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	81
5.2.6: ΣΥΜΠΗΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ	81
5.2.7: ΔΕΣΜΕΣ ΡΑΒΔΩΝ	82
ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.1: ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΑΚ 2000	85
6.1.1: ΓΕΝΙΚΑ	85
6.1.2: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	86
6.1.3: ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	86
6.1.4: ΔΟΚΟΙ	87
6.1.5: ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	87
6.1.6: ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	88
6.1.7: ΤΟΠΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.2: ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1998	90
6.2.1: ΓΕΝΙΚΑ	90
6.2.2: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	91
6.2.3: ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	92
6.2.4: ΔΟΚΟΙ	94
6.2.5: ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	97
6.2.6: ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	99
6.2.7: ΤΟΠΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ	103
ΕΝΟΤΗΤΑ 7: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.2: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ	106
7.2.1: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΟΣ 2000	107
7.2.2: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.3: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ	115
7.3.1: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΟΣ 2000	116
7.3.2: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.4: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ, ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ	124
7.4.1: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΟΣ 2000	125
7.4.2: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1992-1-1	130
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.5: ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟ	135
7.5.1: ΠΡΩΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	136
7.5.2: ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	139
ΕΝΟΤΗΤΑ 8: ΕΠΙΛΟΓΟΣ	142
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 143	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Εφελκυστική αντοχή σε MPa (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 2.1)	11
Πίνακας 2.2: Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας σε GPa (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 2.2)	13
Πίνακας 2.3: Τελικές τιμές του συντελεστή ϕ και της συστολής ξήρανσης ϵ_{cs} (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 2.3)	14
Πίνακας 2.4: Χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης σκυροδέματος (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.1)	17
Πίνακας 2.5: Τιμές ονομαστικής ανεμπόδιστης συστολής ξήρανσης $\epsilon_{cd,0}$ (σε / 00) για το σκυρόδεμα (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.2)	21
Πίνακας 2.6: Τιμές k_h (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.3)	22
Πίνακας 2.7: Πρόσθετες ιδιότητες χαλύβων για οπλισμένο σκυρόδεμα (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας Σ 3.1)	23
Πίνακας 2.8: Μέγιστες τιμές χαλάρωσης σε 1000 ώρες (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας Σ 3.2)	26
Πίνακας 2.9: Επιτρεπόμενες διαδικασίες συγκόλλησης και παραδείγματα εφαρμογής (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.4)	28
Πίνακας 3.1: Ελάχιστες επικαλύψεις σε mm (c_{min}) (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 5.1)	34
Πίνακας 3.2: Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντικές συνθήκες σύμφωνα με τον EN 206-1 (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.1)	36
Πίνακας 3.3: Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.3N)	37
Πίνακας 3.4: Απαιτήσεις τιμών ελαχίστης επικάλυψης $c_{min,dur}$ από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα οπλισμού (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.4N)	38
Πίνακας 3.5: Απαιτήσεις τιμών ελαχίστης επικάλυψης $c_{min,dur}$ από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα προέντασης (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.5N)	38
Πίνακας 5.1: Ελάχιστη διάμετρος D καμπύλωσης (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.1)	63
Πίνακας 5.2: Ελάχιστη διάμετρος D καμπύλωσης για συγκολλητούς οπλισμούς (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.2)	63
Πίνακας 5.3: Καθορισμός των περιοχών συνάφειας (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.3)	64
Πίνακας 5.4: Βασικές τιμές f_{bd} (MPa) (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.4)	65
Πίνακας 5.5: Τύποι ακυρώσεων και τιμές του συντελεστή α της εξίσωσης για το $I_{b,net}$ που ακολουθεί (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.1)	65
Πίνακας 5.6: Συντελεστές α_1 (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.5)	68
Πίνακας 5.7: Απαιτούμενος εγκάρσιος οπλισμός στην περιοχή υπερκάλυψης κύριων οπλισμών (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.6)	69
Πίνακας 5.8: Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου προς αποφυγή βλάβης των οπλισμών (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.1N)	74
Πίνακας 5.9: Τιμές των συντελεστών $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.2)	77
Πίνακας 5.10: Τιμές του συντελεστή α_6 (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.3)	79
Πίνακας 5.11: Απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης για δευτερεύοντα σύρματα δομικών πλεγμάτων (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.4)	81
Πίνακας 6.1: Συντελεστές σπουδαιότητας (EAK 2000, Πίνακας 2.3)	85
Πίνακας 6.2: Μέγιστες τιμές συμπεριφοράς q (EAK 2000, Πίνακας 2.6 (κομμάτι αυτού))	86
Πίνακας 6.3: Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτήρια (EN 1998, Πίνακας 4.3)	91
Πίνακας 6.4: Τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας γ_1 (Εθνικό Προσάρτημα EN 1998, Πίνακας 4)	91

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 2.1)	12
Σχήμα 2.2: παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.2)	13
Σχήμα 2.3: Ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 10.2)	13
Σχήμα 2.4: Σχηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.2)	17
Σχήμα 2.5: Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα για σκυρόδεμα υπό θλίψη (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.3)	18
Σχήμα 2.6: Ορθογωνική κατανομή τάσεων (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.5)	19
Σχήμα 2.7: Μέθοδος για τον υπολογισμό του συντελεστή ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0)$ για σκυρόδεμα υπό συνθήκες εσωτερικού χώρου (RH = 50%) (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.1 α)	20
Σχήμα 2.8: Μέθοδος για τον υπολογισμό του συντελεστή ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0)$ για σκυρόδεμα υπό συνθήκες υπαίθρου (RH = 80%) (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.1 β)	20
Σχήμα 2.9: Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 3.1)	24
Σχήμα 2.10: Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για χάλυβες προέντασης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 3.2)	25
Σχήμα 2.11: Σχηματικά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα οπλισμού (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.7)	29
Σχήμα 2.12: Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.8)	29
Σχήμα 2.13: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα προέντασης (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.9)	30
Σχήμα 2.14: Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα προέντασης (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.10)	31
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.1)	39
Σχήμα 4.2: Παραβολικό – ορθογώνιο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.2)	40
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα σχεδιασμού τάσεων – παραμορφώσεων για τον χάλυβα (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.3)	40
Σχήμα 4.4: Προσδιορισμός του A_{st} (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 11.1)	41
Σχήμα 4.5: Ισοδύναμη κοίλη διατομή (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 12.2)	46
Σχήμα 4.6: Κόλouroι κώνοι ή πυραμίδες διάτρησης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.1)	48
Σχήμα 4.7: Κρίσιμες διατομές μακριά από ελεύθερο άκρο πλάκας (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.4)	48
Σχήμα 4.8: Πλάκα επί κυκλικού υποστρώματος με διαπλάτυνση κεφαλής έτσι ώστε $l_H \leq 1.5 \cdot h_H$ (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.2)	49
Σχήμα 4.9: Πλάκα επί κυκλικού υποστρώματος με διαπλάτυνση κεφαλής έτσι ώστε $l_H > 1.5 \cdot (d + h_H)$ (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.3)	49
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.1)	52
Σχήμα 4.11: Παραβολικό – ορθογώνιο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.3)	52
Σχήμα 4.12: Διάγραμμα σχεδιασμού τάσεων – παραμορφώσεων για τον χάλυβα (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.10)	53
Σχήμα 4.13: Προσδιορισμός του A_{st} (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.3)	54
Σχήμα 4.14: Ισοδύναμη κοίλη διατομή (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.11)	57
Σχήμα 4.15: Μοντέλο υπολογισμού για τον έλεγχο της Ο.Κ. αστοχίας από διάτρηση (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.12α)	58
Σχήμα 4.16: Τυπικές βασικές περιμέτροι ελέγχου γύρω από φωρτιζόμενες επιφάνειες (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.13)	59
Σχήμα 4.17: Πλάκα με κιονόκρανο στο οποίο $l_H < 2.0 \cdot h_H$ (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.17)	59
Σχήμα 4.18: Πλάκα με κιονόκρανο στο οποίο $l_H > 2(d + h_H)$ (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.18)	60
Σχήμα 4.19: Περιμέτροι ελέγχου σε εσωτερικά υποστρώματα (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.22)	62
Σχήμα 5.1: Τυπικές συνθήκες συνάφειας (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.1)	64
Σχήμα 5.2: Μήκος αγκύρωσης για καμπύλες ράβδους με διάμετρο τυμπάνου D σύμφωνα με τις σειρές Β.1 και Β.3 του (Πίνακας 5.5) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.3)	67
Σχήμα 5.3: Απόσταση των ράβδων οπλισμού στην περιοχή ένωσης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 17.2)	68
Σχήμα 5.4: Διατάξεις του (Πίνακας 2.1) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.6 α&β)	69
Σχήμα 5.5: Διατάξεις του (Πίνακας 2.1) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.6 γ)	69
Σχήμα 5.6: Διατάξεις του (Πίνακας 2.1) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.7)	70
Σχήμα 5.7: Διατάξεις αγκυρώσεων συνδετήρων (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 17.3)	71
Σχήμα 5.8: Παράδειγμα αγκύρωσης κλιμακούμενων οπλισμών, οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται ως οπλισμοί διάτμησης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.10)	71
Σχήμα 5.9: Παράδειγμα αγκύρωσης κλιμακούμενων οπλισμών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως οπλισμοί διάτμησης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.11)	71
Σχήμα 5.10: Αγκυρώσεις σε ακραίες στηρίξεις (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.12)	72
Σχήμα 5.11: Αγκύρωση σε ενδιάμεση στήριξη για πλάκες και δοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.13)	73
Σχήμα 5.12: Διάκριση συνθηκών συνάφειας (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.2)	75
Σχήμα 5.13: Μέθοδοι αγκύρωσης μη ευθυγράμμων ράβδων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.1)	76
Σχήμα 5.14: Τιμές c_d για δοκούς και πλάκες (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.3)	77
Σχήμα 5.15: Τιμές του K για δοκούς και πλάκες (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.4)	77
Σχήμα 5.16: Γειτονικές ενώσεις με υπερκάλυψη (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.7)	78
Σχήμα 5.17: Εγκάρσιοι οπλισμοί σε περιοχές ενώσεων με υπερκάλυψη (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.9)	79
Σχήμα 5.18: Επικάλυψη συγκολλητών δομικών πλεγμάτων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.10)	80

Σχήμα 5.19: Αγκυρώσεις συνδετήρων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.5)	81
Σχήμα 5.20: Επιπρόσθετος οπλισμός στην ζώνη αγκύρωσης ράβδων μεγάλης διαμέτρου όπου δεν υπάρχει θλίψη στην εγκάρσια διεύθυνση (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.11)	82
Σχήμα 5.21: Αγκύρωση δέσμης με απαίτηση διαδοχικής διακοπής ράβδων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.12)	83
Σχήμα 5.22: Διάταξη ένωσης με υπερκάλυψη δέσμης ράβδων υπό εφελκυσμό που περιλαμβάνει τέταρτη πρόσθετη ράβδο (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.13)	84
Σχήμα 6.1: Περιβάλλουσες ροπών και τεμνουσών (ΕΑΚ 2000, Κεφάλαιο Β.1.4(2))	89
Σχήμα 6.2: Τιμές ικανοτικού σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων σε δοκούς (EN 1998, Σχήμα 5.1)	93
Σχήμα 6.3: Τέμνουσα δύναμη ικανοτικού σχεδιασμού σε υποστυλώματα (EN 1998, Σχήμα 5.2)	94
Σχήμα 6.4: Συνεργαζόμενο πλάτος πέλματος b_{eff} για δοκούς που εδράζονται σε υποστυλώματα (EN 1998, Σχήμα 5.5)	95
Σχήμα 6.5: Εγκάρσιος οπλισμός σε κρίσιμες περιοχές των δοκών (EN 1998, Σχήμα 5.6)	96
Σχήμα 6.6: Περιβάλλουσα σχεδιασμού ροπών κάμψεως σε λιγυρά τοιχώματα (EN 1998, Σχήμα 5.3)	100
Σχήμα 6.7: Περιβάλλουσα των διατμητικών δυνάμεων στα τοιχώματα διπλού συστήματος (EN 1998, Σχήμα 5.4)	100
Σχήμα 6.8: Περισφιγμένο στοιχείο άκρου στο ελεύθερο άκρο τοιχώματος (EN 1998, Σχήμα 5.8)	102
Σχήμα 6.9: Περισφιγμένο στοιχείο άκρου που δεν είναι απαραίτητο σε άκρο τοιχώματος με μεγάλο εγκάρσιο πέλμα (EN 1998, Σχήμα 5.9)	102
Σχήμα 6.10: Ελάχιστο πάχος περισφιγμένων στοιχείων άκρων (EN 1998, Σχήμα 5.10)	102
Σχήμα 6.11: Ελάχιστο πάχος περισφιγμένων στοιχείων άκρων σε τοιχώματα ΚΠΥ με μεγάλα πέλματα (EN 1998, Σχήμα 5.11)	103

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας, είναι να αναπτυχθεί ένα λογισμικό στο πρόγραμμα “Mathcad”, το οποίο θα βοηθήσει στον έλεγχο μελών οπλισμένου σκυροδέματος με πολύ ποιο γρήγορο και εύκολο τρόπο. Τα παραδείγματα έχουν αναπτυχθεί βασισμένα στους ευρωπαϊκούς κώδικες (EC2, EC8) αλλά και τούς ελληνικούς κώδικες (ΕΚΟΣ, ΕΑΚ).

Το θεωρητικό κομμάτι περιλαμβάνει κομμάτια των Κανονισμών Οπλισμένου Σκυροδέματος απαραίτητα για την διεκπεραίωση των παραδειγμάτων και το πρακτικό κομμάτι περιλαμβάνει τα παραδείγματα των εφαρμογών των Κανονισμών αυτών στο πρόγραμμα “Mathcad”.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1: ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει πολύ μεγάλο ρόλο τις τελευταίες δεκαετίες στον τομέα των κατασκευών στην Ελλάδα. Αποτελεί το επικρατέστερο δομικό υλικό σε πλήθος κατασκευών μεγάλων ή μικρών διαστάσεων.

Για τον λόγο αυτό και έχουν εκδοθεί αρκετοί κανονισμοί, όπως:

- Ο πρώτος κανονισμός που ίσχυσε στην Ελλάδα είναι ο **Κανονισμός για Μελέτη και Εκτέλεση Οικοδομικών Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα** σύμφωνα με το Βασιλικό Διάταγμα το **1954**.
- Ο πρώτος **Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός** στην Ελλάδα συντάχθηκε και άρχισε να ισχύει το **1959** σύμφωνα με το Βασιλικό Διάταγμα (**Β.Δ. 1959**).
- Το **1981** εκδίδεται ο **ΕΛΟΤ 346**, που αναφέρεται σε έτοιμο σκυρόδεμα, σύμφωνα με τις γερμανικές κατηγορίες σκυροδέματος.
- Το **1984**, ο **Αντισεισμικός Κανονισμός** του **1959** συμπληρώθηκε με πρόσθετα άρθρα, η αποκλειστική εφαρμογή των οποίων άρχισε το **1985**.
- Στην συνέχεια το **1985** θα ακολουθήσει ο **Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-85)**.
- Το **1991** εκδίδεται ο **Νέος Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΝΕΚΩΣ 1995)** και ο **Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ 1995)**, ο οποίος αναφέρει πρώτη φορά τις οριακές καταστάσεις.
- Το **1991**, σύμφωνα με την γενική επιτροπή του βρετανικού ινστιτούτου προτύπων, θα ψηφιστεί η χρήση του **EN 1992-1-1** ή αλλιώς **Ευρωκώδικας 2**. Ο τίτλος του είναι **Σχεδιασμός των κατασκευών από σκυρόδεμα**.
- Το **1997** ο **Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97)** θα αναθεωρηθεί και θα αναφέρεται σε κατηγορίες σκυροδέματος ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούμε και στους σύγχρονους κανονισμούς.
- Το **2000** έχουμε την εμφάνιση 2 κανονισμών υψίστης σπουδαιότητας, που μέχρι και σήμερα χρησιμοποιούνται. Οι κανονισμοί αυτοί είναι ο **Ελληνικός κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000)** και ο **Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ 2000)**.
- Επίσης το **2000**, το πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 206-1** εκδίδεται από την ευρωπαϊκή επιτροπή τυποποίησης. Έως και το **2004** όλοι οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης της Ε.Ε. είχαν την υποχρέωση να χρησιμοποιήσουν αυτόν ως πρότυπο. Ο **ΕΛΟΤ EN 206-1** περιλαμβάνει και τον **Ευρωκώδικα 2**.
- Στην συνέχεια, το **2002** αρχίζουν να ακολουθούνται τα **ευρωπαϊκά πρότυπα για το σκυρόδεμα (EN 196, EN 197-1)**. Έτσι και ο **ΚΤΣ-97** θα προσαρμοστεί στα πρότυπα αυτά.
- Το **2003** θα αναθεωρηθεί ο χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας **σύμφωνα με ΦΕΚ** για τον **ΕΑΚ 2000**.
- Στο τέλος του **2004**, θα εγκριθεί ο **Ευρωκώδικας 2** και ο αντισεισμικός κανονισμός **EN 1998-1** ή αλλιώς **Ευρωκώδικας 8**. Ο τίτλος του είναι **Προβλέψεις για την αντοχή των κατασκευών σε συνθήκες σεισμού**.

- Το **2016**, ο **Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-16)** θα δημοσιευτεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η εργασία αυτή έχει σκοπό την ανάπτυξη λογισμικού στο πρόγραμμα 'Mathcad' με σκοπό τον έλεγχο μελών σκυροδέματος με πιο εύκολο και γρήγορο τρόπο.

Χωρίζεται σε:

- Θεωρητικό μέρος, το οποίο αναφέρεται στις ενότητες:
 - ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ
 - ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ
 - ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ
 - ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Ο.Κ.Α.)
 - ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΗΣ
 - ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
- Αναλυτικό μέρος, το οποίο περιλαμβάνει ασκήσεις μελών οπλισμένου σκυροδέματος στο πρόγραμμα 'Mathcad'. Οι ασκήσεις αναφέρονται σε ελέγχους για:
 - Κάμψη και διάτμηση ορθογωνικής δοκού σύμφωνα με τον **ΕΚΟΣ 2000** και τον **EN 1992-1-1**.
 - Κάμψη, θλίψη, διάτμηση και λυγισμό υποστυλώματος σύμφωνα με τον **ΕΚΟΣ 2000** και τον **EN 1992-1-1**.
 - Κάμψη και διάτμηση πλακοδοκού σύμφωνα με τον **ΕΚΟΣ 2000** και τον **EN 1992-1-1**.
 - Εύρεση της καμπτικής ροπή αστοχίας δοκού με δεδομένη διατομή και οπλισμό.

ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000

(ΕΚΩΣ:2.3, 2.4, 2.5, 10.4.3.1, 10.4.3.2)

2.1.1: ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό, η **θλιπτική αντοχή** του σκυροδέματος βασίζεται στην χαρακτηριστική αντοχή δοκιμίων (f_{ck} σε MPa), μετά το πέρας 28 ημερών.

Οι επιτρεπόμενες κατηγορίες είναι:

C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C45/55, C50/60

Στις οποίες η χαρακτηριστική τους αντοχή (f_{ck}) είναι ο πρώτος αριθμός.

Ο κανονισμός αυτός καλύπτει σκυροδέματα έως C50/60 και όχι μεγαλύτερα.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί η **μέση θλιπτική αντοχή** (f_{cm} σε MPa).

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (MPa)}$$

Για την **εφελκυστική αντοχή** (f_{ct} σε MPa) οι τιμές δίνονται από (Πίνακας 2.1), ο οποίος προκύπτει από την σχέση:

$$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{(2/3)}, \text{ όπου } f_{ctm}, f_{ck} \text{ σε MPa}$$

Η εφελκυστική αντοχή (f_{ct}) είναι από $0.70 f_{ctm}$ μέχρι $1.30 f_{ctm}$.

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ctk0.05}$	1.10	1.30	1.50	1.80	2.00	2.20	2.50	2.70	2.90
f_{ctm}	1.60	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10
$f_{ctk0.95}$	2.00	2.50	2.90	3.30	3.80	4.20	4.60	4.90	5.30

Πίνακας 2.1: Εφελκυστική αντοχή σε MPa (ΕΚΩΣ 2000, Πινάκας 2.1)

Τέλος η εφελκυστική αντοχή (f_{ct}) μπορεί να υπολογιστεί διαμέσου της αντοχής εφελκυσμού από κάμψη ($f_{ct,fl}$), και της αντοχής εφελκυσμού από διάρρηξη ($f_{ct,sp}$):

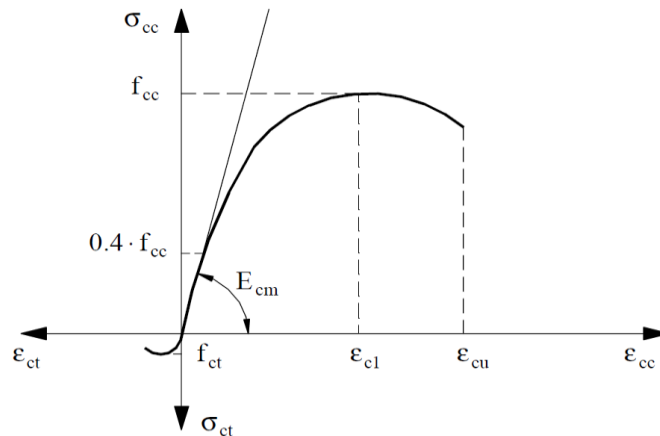
$$f_{ct} = 0.50 * f_{ct,fl}$$

$$f_{ct} = 0.90 * f_{ct,sp}$$

2.1.2: ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

- ΓΙΑ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην συνέχεια θα δούμε την **σηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων** του σκυροδέματος (Σχήμα 2.1):



Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 2.1)

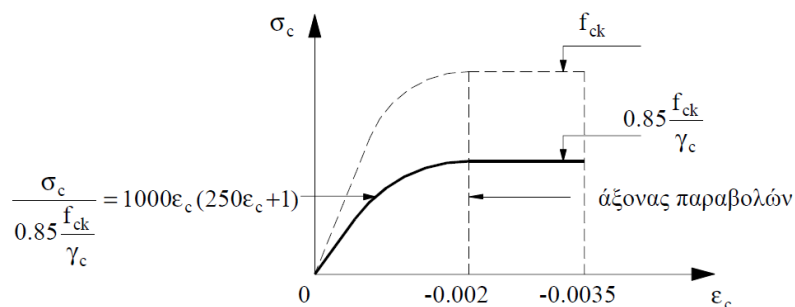
(Όπου c είναι η θλίψη και t ο εφελκυσμός.)

Σε συνήθεις περιπτώσεις η τετμημένη της κορυφής του διαγράμματος είναι μεταξύ -0.2% και -0.25%, η συμβατική παραμόρφωση θραύσης είναι μεταξύ -0.35% και -0.7% και η τάση θραύσης είναι μεταξύ $0.75f_c$ και $1.25f_c$.

Επίσης, τονίζεται πως η **κρίσιμη ανηγμένη παραμόρφωση** του σκυροδέματος **υπό εφελκυσμό** έχει τιμή +0.02% έως +0.04%, δηλαδή περίπου ίση με την **ελάχιστη τιμή της συστολής ξήρανσης**. Επομένως, και μόνο η συστολή ξήρανσης θα μπορούσε να οδηγήσει σε ρηγμάτωση (Πίνακας 2.3).

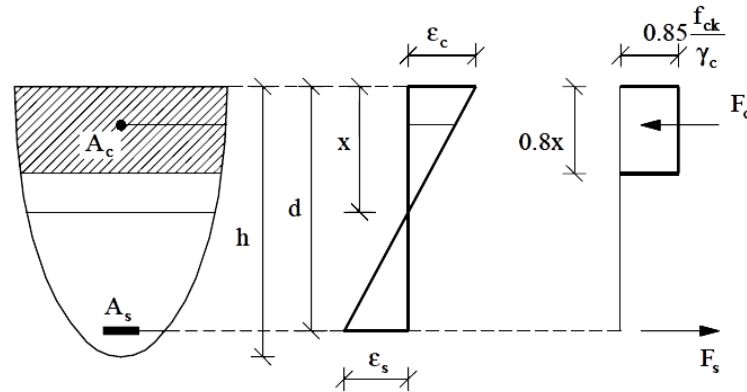
- ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ

Στην συνέχεια θα δούμε το **παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα για σκυρόδεμα** (Σχήμα 2.2) όπως το δείχνει στο κεφάλαιο 10.4.3.1 στον **ΕΚΟΣ 2000**.



Σχήμα 2.2: παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.2)

Στην **ορθογωνική κατανομή** των τάσεων, το ενεργό ύψος της θλιβόμενης ίνας είναι ίσο με το βάθος x επί τον συντελεστή 0.8 και η δρώσα αντοχή είναι ίση με την θλιπτική αντοχή σχεδιασμού (f_{cd}) επί τον συντελεστή 0.85, όπως δίνεται στο (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 10.2)

2.1.3: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το **επιβατικό μέτρο ελαστικότητας** E_{cm} είναι η κλίση της ευθείας του παραπάνω διαγράμματος σ - ϵ , που κατά επέκταση είναι το 40% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. (δηλαδή $\sigma_c \cong 0.40 * f_{ck}$)

Για το επιβατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{cm} σε GPa) οι τιμές δίνονται από τον (Πίνακας 2.2), ο οποίος προκύπτει από την σχέση:

$$E_{cm} = 9.50 * (f_{ck} + 8)^{1/3}, \text{ όπου } f_{ck} \text{ σε MPa}$$

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
E_{cm}	26	27.5	29	30.5	32	33.5	35	36	37

Πίνακας 2.2: Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας σε GPa (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 2.2)

Αν υπάρχει περίπτωση κατά την οποία $\sigma_c \cong 0.10 * f_{ck}$ τότε οι τιμές του πίνακα μπορούν να αυξηθούν κατά 10%.

2.1.4: ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Ο τελικός συντελεστής ερπυσμού (ϕ) και της τελική συστολή ξήρανσης (ϵ_{cs}), με δεδομένο ότι η θλιπτική τάση του σκυροδέματος είναι μικρότερη του $0.50 \cdot f_{ck}$, δίνονται από τον παρακάτω (Πίνακας 2.3):

$\phi(t_{\infty}, t_0)$						
Ηλικία t_0 τη στιγμή της φόρτισης (ημέρες)	Ιδεατό μέγεθος $2 \cdot A_c / u$ σε mm					
	50	150	600	50	150	600
	Ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες εσωτερικού χώρου (RH=50%)			Υγρές ατμοσφαιρικές συνθήκες υπαίθρου (RH=80%)		
1	5.50	4.60	3.70	3.60	3.20	2.90
7	3.90	3.10	2.60	2.60	2.30	2.00
28	3.00	2.50	2.00	1.90	1.70	1.50
90	2.40	2.00	1.60	1.50	1.40	1.20
365	1.80	1.50	1.20	1.10	1.00	1.00

$\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0) \cdot 10^3$			
Θέση του στοιχείου	Σχετική υγρασία (%)	Ιδεατό μέγεθος $2 \cdot A_c / u$ σε mm	
		≤ 150	≥ 600
Εσωτερικός χώρος	50	-0.60	-0.50
Υπαίθριος	80	-0.33	-0.28

RH = σχετική υγρασία.
 A_c είναι το εμβαδόν της διατομής του στοιχείου και u είναι η περίμετρος της διατομής σε επαφή με την ατμόσφαιρα.
 Στην περίπτωση κιβωτοειδούς διατομής ή διατομής με διάκενα της οποίας το εσωτερικό συγκοινωνεί με την ελεύθερη ατμόσφαιρα, το u θα περιλαμβάνει και την εσωτερική περίμετρο.
 Για ενδιάμεσα μεγέθη, μεταξύ 150 και 600 mm, μπορεί να γίνεται γραμμική παρεμβολή στις τιμές του Πίνακα.

Πίνακας 2.3: Τελικές τιμές του συντελεστή ϕ και της συστολής ξήρανσης ϵ_{cs} (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 2.3)

Οι τιμές του (Πίνακας 2.3) ισχύουν για σκυροδέματα υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος $+10^{\circ}\text{C} - +20^{\circ}\text{C}$.

Επίσης οι τιμές ϕ και ϵ_{cs} ισχύουν για εποχιακές διακυμάνσεις $-10^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$.

Σε περίπτωση που η σταθερή τάση σ_c είναι μικρότερη από $0.50 \cdot f_{ck}$ τότε ακολουθούν οι εξής παραδοχές:

- Οι ερπυστικές παραμορφώσεις συνδέονται γραμμικά με τις τάσεις και έτσι προκύπτει η σχέση:

$$E_{cc}(t, t_0) = (\sigma_{c0} / E_{c28}) \cdot \phi(t, t_0)$$

Όπου:

t_0 : η ηλικία του σκυροδέματος την στιγμή που άρχισε η φόρτιση

$\epsilon_{cc}(t, t_0)$: η ερπυστρική παραμόρφωση τη στιγμή $t (> t_0)$

σ_{c0} : η σταθερή τάση που εφαρμόζεται τη στιγμή t_0

E_{c28} : η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών

$\phi(t, t_0)$: ο συντελεστής ερπυσμού την στιγμή $t(>t_0)$

- Όταν η επιβαλλόμενη τάση μεταβάλλεται κατά διαστήματα οι ερπυστικές παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στο διάστημα επιβολής κάθε τιμής της τάσης προστίθενται.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως ο **συντελεστής θερμικής διαστολής** του σκυροδέματος είναι ίσος με $10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

(EN 1992: 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, 3.1.6, 3.1.7, 3.2.1,)

2.2.1: ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κανονισμό η **θλιπτική αντοχή** του σκυροδέματος βασίζεται στην χαρακτηριστική κυλινδρική ανοχή (f_{ck}) μετά το πέρας 28 ημερών, με μέγιστη τιμή C_{max} , η οποία είναι C90/105.

Επίσης ο ορισμός της **θλιπτικής αντοχής** σε χρόνο t ($f_{ck}(t)$) είναι:

- Για $3 < t < 28$ ημερών τότε $f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8$ (MPa)
- Για $t \geq 28$ ημερών τότε $f_{ck}(t) = f_{ck}$
- Για θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε διαφορετική ηλικία $f_{cm}(t)$ μπορούμε να κάνουμε τους υπολογισμούς μας σύμφωνα με τον τύπο $f_{ck}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm}$ και τον τύπο $\beta_{cc}(t) = e^{\{1 - \sqrt{28/t}\}}$

Όπου:

$f_{cm}(t)$ είναι η μέση θλιπτική αντοχή σε ηλικία t ημερών

f_{cm} είναι η μέση θλιπτική αντοχή σε ηλικία 28 ημερών

t είναι η ηλικία του σκυροδέματος σε ημέρες

$\beta_{cc}(t)$ είναι ο συντελεστής που εξαρτάται από την ηλικία t του σκυροδέματος

S είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου

Η **θλιπτική αντοχή σχεδιασμού** ορίζεται ως:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$$

Όπου:

γ_c είναι ο συντελεστής ασφαλείας

α_{cc} είναι ένας συντελεστής που είναι ίσο με 0,85 σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα**

Η **εφελκυστική αντοχή** του σκυροδέματος σε χρόνο t υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$f_{ctm}(t) = \beta_{cc}(t)^\alpha * f_{ctm}$$

όπου:

$\alpha = 1$ για $t < 28$ ημερών

$\alpha = 2/3$ για $t \geq 28$ ημερών

Η **εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού** ορίζεται ως:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

Όπου:

γ_c είναι ο συντελεστής ασφαλείας

α_{ct} είναι ένας συντελεστής που είναι ίσο με 1 σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα**

2.2.2: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το **μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος** (E_{cm}) είναι ένα μέγεθος που επηρεάζεται από τα μέτρα ελαστικότητας των συστατικών του.

Δηλαδή:

- Αν είναι ασβεστολιθικά – ψαμμιτικά έχουμε μείωση της τάξεως του 10% - 30%.
- Αν είναι βασαλτικά έχουμε μείωση της τιμής κατά 20%.

Η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας σε σχέση με τον χρόνο εκτιμάται από την σχέση:

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0,3} * E_{cm} \text{ και } E_{cm} = 22 (f_{cm}/10)^{0,3} (f_{cm} \text{ MPa})$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω ακολουθεί (Πίνακας 2.4) με πολύ σημαντικά στοιχεία.

Αντοχή														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$F_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ϵ_{cut1} (‰)		3,5								3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ϵ_{c2} (‰)		2,0								2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ϵ_{cut2} (‰)		3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
N		2,0								1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ϵ_{c3} (‰)		1,75								1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ϵ_{cut3} (‰)		3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

Πίνακας 2.4: Χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης σκυροδέματος (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.1)

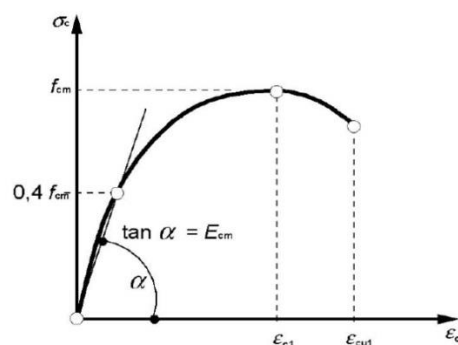
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Για τις ελαστικές παραμορφώσεις του σκυροδέματος σημαντικό ρόλο παίζει η σύσταση του.

2.2.3: ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

- ΓΙΑ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην συνέχεια θα δούμε την *σηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων για την μη γραμμική ανάλυση* (Σχήμα 2.4) του σκυροδέματος:



Σχήμα 2.4: Σηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.2)

Η σχέση ανάμεσα στην σ_c και ε_c δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_c/f_{cm} = (k\eta - \eta^2) / (1 + (k - 2)*\eta) \text{ ισχύει για } 0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$$

όπου

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$$

ε_{c1} : η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην κορυφή της τάσης

$$k = 1.05 E_{cm} * |\varepsilon_{c1}| / f_{cm}$$

ε_{cu1} : η ονομαστική παραμόρφωση αστοχίας

• ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ

Στην συνέχεια θα δούμε το **παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα για σκυρόδεμα υπό θλίψη** (Σχήμα 2.5) το οποίο προκύπτει από την σχέση:

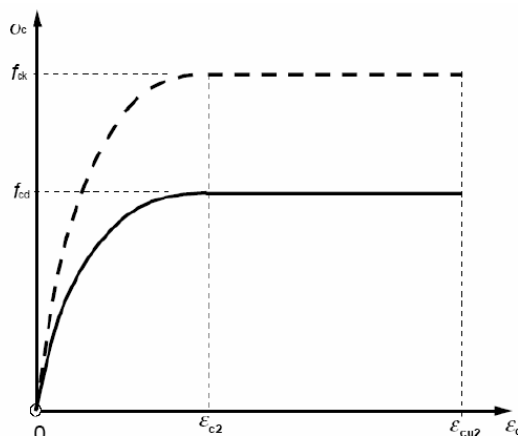
$$\sigma_c = f_{cd} * [1 - (1 - \varepsilon_c / \varepsilon_{c2})^n] \text{ για } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

όπου:

n: ένας εκθέτης που προκύπτει από τον (Πίνακας 2.4)

ε_{c2} : η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην μέγιστη αντοχή σύμφωνα με τον (Πίνακας 2.4)

ε_{cu2} : η παραμόρφωση αστοχίας σύμφωνα με τον (Πίνακας 2.4)



Σχήμα 2.5: Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα για σκυρόδεμα υπό θλίψη (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.3)

Ακόμη είναι δυνατό να θεωρηθεί **ορθώγωνικη κατανομή** (Σχήμα 2.6), η σχέση τάσεων – παραμορφώσεων. Στην σχέση αυτή, ο συντελεστής λ ορίζει το ενεργό ύψος της θλιβόμενης ζώνης και ο συντελεστής η ορίζει την δρώσα αντοχή.

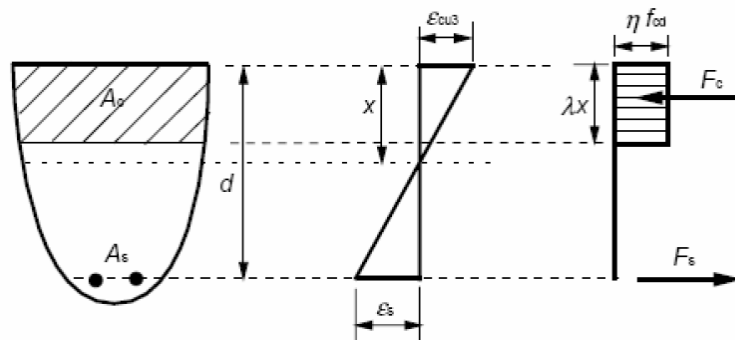
επομένως:

$$\lambda = 0.8 \text{ για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0.8 - (f_{ck} - 50)/400 \text{ για } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$

$$\eta = 1.0 \text{ για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\eta = 1.0 - (f_{ck} - 50)/200 \text{ για } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$



Σχήμα 2.6: Ορθογωνική κατανομή τάσεων (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.5)

2.2.4: ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ

Η εξάρτηση του **ερπυσμού και της συρρίκνωσης** του σκυροδέματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την υγρασία, την σύνθεση του σκυροδέματος και τις διαστάσεις του στοιχείου. Το σκυρόδεμα πρέπει να υποβάλλεται σε θλιπτική τάση **μικρότερη του $0.45 * f_{ck}(t_0)$** .

Αν ισχύει η παραπάνω σχέση για το σκυρόδεμα τότε, **η ερπυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος ($\epsilon_{cc}(\infty, t_0)$)** στην στιγμή $t = \infty$ δίνεται από την σχέση:

$$\epsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) * (\sigma_c / E_c)$$

όπου:

σ_c : η σταθερή θλιπτική τάση

$\epsilon_{cc}(\infty, t_0)$: η ερπυστική παραμόρφωση τη στιγμή $t = \infty$

t_0 : η ηλικία του σκυροδέματος την στιγμή που άρχισε η φόρτιση

$\varphi(\infty, t_0)$: ο συντελεστής ερπυσμού την στιγμή $t = \infty$

E_c : το εφαπτόμενο μέτρο ελαστικότητας, το οποίο λαμβάνεται $1.05 * E_{cm}$

Αν η θλιπτική τάση του σκυροδέματος **υπερβαίνει το $0.45 * f_{ck}(t_0)$** τότε πρέπει να εκτιμάται και η εξ ερπυσμού μη γραμμικότητα.

Δηλαδή:

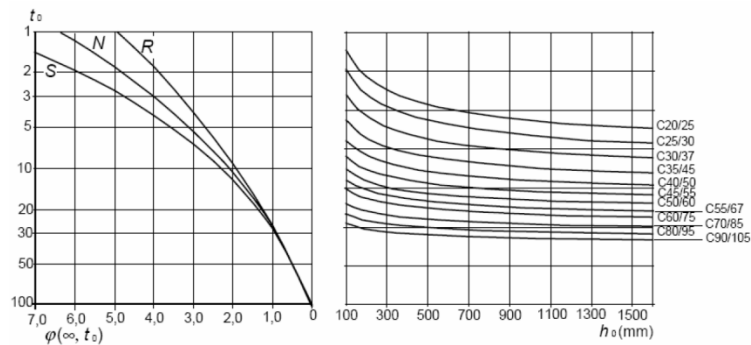
$$\phi_k(\infty, t_0) = \phi(\infty, t_0) * \exp(1,5 (k_\sigma - 0,45))$$

όπου:

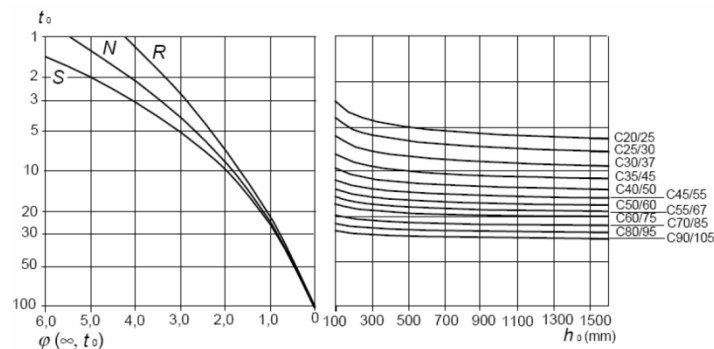
$\phi(\infty, t_0)$: ο συντελεστής ερπυσμού υπό μη γραμμικότητα

k_σ : η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων $\sigma_c/f_{cm}(t_0)$

Ακλουθούν τα (Σχήμα 2.7) και (Σχήμα 2.8) για τις διάφορες συνθήκες που επικρατούν σε έναν χώρο:



Σχήμα 2.7: Μέθοδος για τον υπολογισμό του συντελεστή ερπυσμού $\phi(\infty, t_0)$ για σκυρόδεμα υπό συνθήκες εσωτερικού χώρου (RH = 50%) (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.1 α)



Σχήμα 2.8: Μέθοδος για τον υπολογισμό του συντελεστή ερπυσμού $\phi(\infty, t_0)$ για σκυρόδεμα υπό συνθήκες υπαίθρου (RH = 80%) (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.1 β)

Όπου:

h_0 : το θεωρητικό μέγεθος, που είναι ίσο με $2 \cdot A_c / u$ (A_c το εμβαδό της διατομής του σκυροδέματος και u η περίμετρος του μέρους που είναι εκτεθειμένο σε ξήρανση)

Συνεπώς, οι τιμές της **συνολικής παραμόρφωσης συρρίκνωσης ϵ_{cs}** προκύπτουν από τον τύπο:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

όπου:

ε_{cd} : η παραμόρφωση συστολής ξήρανσης

ε_{ca} : η αυτογενής παραμόρφωση συστολής συρρίκνωσης

Η **τελική συστολή ξήρανσης ($\varepsilon_{cd,\infty}$)** προκύπτει από τον τύπο:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h * \varepsilon_{cd,0}$$

όπου:

$\varepsilon_{cd,0}$: η ανεμπόδιστη συστολή ξήρανσης όπως φαίνεται στον (Πίνακας 2.5)

k_h : ο συντελεστής που εξαρτάται από το ονομαστικό μέγεθος h_0

$f_{ck}/f_{ck,cube}$ (MPa)	Σχετική υγρασία (σε o/o)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0.64	0.60	0.50	0.31	0.17	0
40/50	0.51	0.48	0.40	0.25	0.14	0
60/75	0.41	0.38	0.32	0.20	0.11	0
80/95	0.33	0.31	0.26	0.16	0.09	0
90/105	0.30	0.28	0.23	0.15	0.05	0

Πίνακας 2.5: Τιμές ονομαστικής ανεμπόδιστης συστολής ξήρανσης $\varepsilon_{cd,0}$ (σε / 00) για το σκυρόδεμα (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.2)

Η **παραμόρφωση συστολής ξήρανσης σε σχέση με τον χρόνο** ακολουθεί την σχέση:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0}$$

όπου:

k_h : ο συντελεστής που εξαρτάται από το ονομαστικό μέγεθος h_0 σύμφωνα με τον (Πίνακας 2.6)

t_s : η ηλικία του σκυροδέματος στη αρχή της συστολής ξήρανσης

$$\beta_{ds}(t, t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0.04 * \nu h_0]$$

h_0 : το θεωρητικό μέγεθος, που είναι ίσο με $2 * A_c / u$ (A_c το εμβαδό της διατομής του σκυροδέματος και u η περίμετρος του μέρους που είναι εκτεθειμένο σε ξήρανση)

Τέλος η **αυτογενή παραμόρφωση συστολής συρρίκνωσης** είναι:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) * \varepsilon_{ca}(\infty)$$

όπου:

$$\varepsilon_{ca}(t) = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5})$$

t σε μέρες

Πίνακας 2.6: Τιμές k_h (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.3)

h_0	k_h
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.3: ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000

(ΚΕΦ 3.1.1, 3.1.3, 3.1.5, 3.1.6, 3.1.7, 3.2.1, 3.2.3, 3.2.6.1, 3.2.6.2, 3.2.6.3, 3.2.6.4, 3.2.7)

2.3.1: ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.3.1.1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ

Σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό, υπάρχει μια παραπομπή στον **ΕΛΟΤ 959 και 971**, στον οποίο αναφέρονται τα πιστοποιητικά που πρέπει να φέρουν οι χάλυβες ώστε να είναι αποδεκτοί.

Το όριο διαρροής του χάλυβα είναι μεταξύ 220MPa και 500MPa.

Δηλαδή οι κατηγορίες του χάλυβα είναι σύμφωνα με τον **ΕΛΟΤ 959,971**:

S220, S400, S500, S400s, S500s

Οι πρώτες τρεις κατηγορίες περιλαμβάνουν χάλυβες συγκολλησίμους σύμφωνα με τον **ΕΛΟΤ 959** και οι δύο κατηγορίες περιλαμβάνουν χάλυβες συγκολλησίμους σύμφωνα με τον **ΕΛΟΤ 971**.

2.3.1.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Χαρακτηριστική αντοχή (f_{yk}) είναι εκείνη η τιμή του ορίου διαρροής (f_y) ή του συμβατικού ορίου διαρροής ($f_{0.2}$) στην οποία υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.

2.3.1.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό **διακρίνονται σε δύο κατηγορίες**:

- Την **κατηγορία H**, που αφορά χάλυβες υψηλής πλαστιμότητας που καλύπτουν τις εξής προϋποθέσεις:

$$\varepsilon_{uk} > 5.0\% \text{ και } (f_t/f_y)_k > 1.08$$

- Την **κατηγορία N**, που αφορά χάλυβες συνήθους πλαστιμότητας που καλύπτουν τις εξής προϋποθέσεις:

$$\varepsilon_{uk} > 2.5\% \text{ και } (f_t/f_y)_k > 1.05$$

όπου:

ε_{uk} : χαρακτηριστική τιμή της ανηγμένης παραμόρφωσης υπό το μέγιστο φορτίο όπου η πιθανότητα υπέρβασης είναι 10%.

f_{tk} : χαρακτηριστική τιμή εφελκυστικής αντοχής

f_{yk} : χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα

Οι υψηλής πλαστιμότητας χάλυβες που τοποθετούνται σε κρίσιμες περιοχές δομικών στοιχείων, με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας πρέπει να ικανοποιούν τον (Πίνακας 2.7):

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
Χαρακτηριστικές τιμές σε ποσοσημόριο 90%		ΜΕ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ		ΧΩΡΙΣ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ	
		ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΛΟΙΠΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
I	Ομοιόμορφη ε_{uk}	$\geq 7\%$	Χάλυβας	Χάλυβας	Χάλυβας
II	$(f_t / f_y)_k$	≥ 1.1			
III		≤ 1.35	H	H	H (ή N)
IV		$(f_{y.act} / f_{y.nom})_k$	≤ 1.3		

Οι απαιτήσεις (I) και (II) εξασφαλίζουν μεγαλύτερα μήκη και στροφές πλαστικών αρθρώσεων και μεγαλύτερη αντοχή μετά την αποφλοίωση, και κατά συνέπεια μεγαλύτερη τοπική (και γενική) πλαστιμότητα των στοιχείων (και των φορέων).

Οι απαιτήσεις (III) και (IV) εξασφαλίζουν αξιόπιστο και οικονομικό έλεγχο περιορισμό των κατά τα άλλα επιθυμητών και επιδοκώμενων μεταπλαστικών παραμορφώσεων και μηχανισμών.

Πίνακας 2.7: Πρόσθετες ιδιότητες χαλύβων για οπλισμένο σκυρόδεμα (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας Σ 3.1)

2.3.1.4: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Για την **συγκόλληση του χάλυβα** υπάρχει παραπομπή στον **ΕΛΟΤ 959 και 971**. Για τα **συγκολλητά δομικά πλέγματα**, χρησιμοποιούνται οι χάλυβες S500 και S500s (λείας μορφής ή με νευρώσεις).

Όταν κατά τον υπολογισμό του μήκους αγκυρώσεως, λαμβάνεται υπόψη η παρουσία εγκάρσιων συγκολλημένων ραβδών, τότε κάθε συγκόλληση πρέπει να μπορεί να αναλάβει **τέμνουσα δύναμη ίση με:**

$$0.30f_{yk} * A_s$$

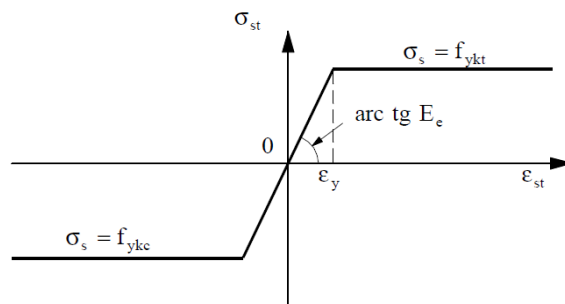
όπου:

A_s : η διατομή της μεγαλύτερης από τις ράβδους που συγκολλούνται

2.3.1.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Στα **διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων** υπάρχει η δυνατότητα να τα αντικαταστήσουμε με διγραμμικά ή τριγραμμικά διαγράμματα, ώστε η απλοποίηση αυτή να δίνει προσεγγίσεις υπέρ της ασφάλειας.

Στην περίπτωση όμως, που υπάρχει έλλειψη ακριβέστερων στοιχείων για τους χάλυβες θερμής έλασης ή τους χάλυβες ψυχρής κατεργασίας με όλκηση, χρησιμοποιούμε το ακόλουθο **διάγραμμα του ΕΚΩΣ 2000** (Σχήμα 2.9):



Σχήμα 2.9: Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000, Σχήμα Σ 3.1)

2.3.1.6: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το **μέτρο ελαστικότητας (E_s)** για τους χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος είναι ίσο με 200GPa.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως ο **συντελεστής θερμικής διαστολής** του χάλυβα είναι ίσος με $10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

2.3.2: ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

2.3.2.1: : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ

Ο χάλυβας προέντασης καλύπτονται από τον κανονισμό **ΕΚΩΣ 2000**.

Χωρίζονται σύμφωνα με:

- Την κατεργασία (θερμική ή μηχανική)
- Τον τύπο (σύρματα και ράβδοι ή συρματόσχοινα)
- Την μορφή (σύρματα και ράβδοι λείοι ή σύρματα και ράβδοι με νευρώσεις)

2.3.2.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η **χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα προέντασης** είναι ίδια με του χάλυβα σπλισμένου σκυροδέματος, με την μόνη διαφορά ότι η τιμή $f_{0,2}$ μπορεί να αντικατασταθεί με $f_{0,1}$ (δηλαδή παραμένουσα παραμόρφωση 0.1%).

Η πιο σωστή όμως προδιαγραφή για τον χάλυβα προέντασης, βασίζεται στο χαρακτηριστικό όριο διαρροής ($f_{p0.2k}$ ή $f_{p0.1k}$) και την χαρακτηριστική του εφελκυστική αντοχή (f_{ptk}).

Για την εφελκυστική αντοχή f_{ptk} , πρέπει να ισχύουν οι σχέσεις:

$$f_{ptk} \geq 1.10 * f_{0.2k} \text{ και } f_{ptk} \geq 1.05 * f_{0.2,obc}$$

όπου:

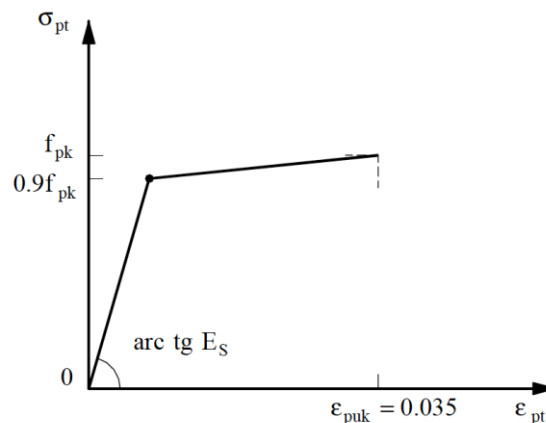
$f_{0.2,obc}$: είναι το όριο διαρροής που προκύπτει από τις δοκιμές εφελκυσμού.

2.3.2.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Κατά κύριο λόγο τα **διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων**, λαμβάνονται από τα σχετικά πιστοποιητικά των χαλύβων.

Όμως η επιρροή διαφόρων πρόσθετων παραμορφώσεων, που συνοδεύουν την επιμήκυνση κατά την στιγμή της επιβολής προέντασης, μπορεί να είναι σημαντική και πρέπει να λαμβάνεται κατάλληλα υπόψη.

Το ακόλουθο διάγραμμα (Σχήμα 2.10) βρίσκεται στον **ΕΚΟΣ 2000**:



Σχήμα 2.10: Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για χάλυβες προέντασης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 3.2)

2.3.2.4: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για τους **χάλυβες προέντασης το μέτρο ελαστικότητας (E_s)** μπορεί να ληφθεί ίσο με **200GPa**.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως ο **συντελεστής θερμικής διαστολής** του χάλυβα είναι ίσος με $10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

2.3.2.5: ΧΑΛΑΡΩΣΗ

Οι **τιμές χαλάρωσης** που λαμβάνονται υπόψη για τον τελικό υπολογισμό της δύναμης προέντασης, προσδιορίζονται βάσει:

- των δεδομένων των πιστοποιητικών
- το αποτέλεσμα δοκιμών χαλάρωσης
- τη διεθνή βιβλιογραφία για τις συνήθεις περιπτώσεις, άμα τα δεδομένα δεν είναι επαρκή ή αξιόπιστα

Η χαλάρωση για τις ακόλουθες **τιμές αρχικής προέντασης** εκτιμάται από τον τύπο:

$$\sigma_{p0} = 0.60 \cdot f_{ptk}, 0.70 \cdot f_{ptk}, 0.80 \cdot f_{ptk}$$

Κατάλληλες είναι οι τιμές που ανήκουν στο (Πίνακας 2.8) του **ΕΚΟΣ 2000**:

σ_{p0} / f_{ptk}	0.60	0.70	0.80
Χάλυβες προέντασης χωρίς ειδική μέριμνα έναντι χαλάρωσης, κλάσεως 1	4.00%	8.00%	12.00%
Χάλυβες προέντασης χαμηλής χαλάρωσης, κλάσεως 2	1.50%	3.00%	6.00%

Πίνακας 2.8: Μέγιστες τιμές χαλάρωσης σε 1000 ώρες (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας Σ 3.2)

Η απώλεια ($\Delta\sigma_{p,rel,1000}$) λόγω χαλάρωσης μπορεί να εκτιμηθεί από τον τύπο:

$$\Delta\sigma_{p,rel,t} / \Delta\sigma_{p,rel,1000} = (t/1000)^\beta$$

όπου:

β : είναι ο συντελεστής που είναι ανάλογος του τύπου του χάλυβα και της τιμής της αρχικής τάσης προέντασης. Αν δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία, το β είναι ίσο με:

$\beta \cong 0.12$ για κλάση 1

$\beta \cong 0.19$ για κλάση 2

2.3.2.6: ΟΛΚΙΜΟΤΗΤΑ

Η **ολκιμότητα** είναι **απαραίτητο προαπαιτούμενο** για τους χάλυβες προέντασης, ώστε να είναι δυνατή η ανακατανομή εντάσεως.

Η ολκιμότητα ικανοποιείται όταν στο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων η περιοχή πλαστικών παραμορφώσεων είναι τριπλάσια της περιοχής των ελαστικών παραμορφώσεων.

Τέλος, η παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο πρέπει να είναι τουλάχιστον 3.50%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.4: ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

(3.2.2, 3.2.3, 3.2.4, παράρτημα C, 3.2.5, 3.2.7, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.6,)

2.4.1: ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.4.1.1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ

Σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κανονισμό, το εύρος **αντοχής διαρροής του χάλυβα** (f_{yk}) κυμαίνεται από 400MPa μέχρι 600MPa.

2.4.1.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Το **όριο διαρροής** (f_{yk}) (ή το όριο 0.2%, $f_{0.2k}$) ορίζεται ως η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου διαρροής, διαιρεμένο προς το ονομαστικό εμβαδόν της διατομής.

Η **εφελκυστική αντοχή** (f_{tk}) ορίζεται ως το χαρακτηριστικό φορτίο σε άμεσο αξονικό εφελκυσμό, διαιρεμένο προς το ονομαστικό εμβαδόν της διατομής.

2.4.1.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

Για να **επαρκεί ένας οπλισμός σε πλαστιμότητα** πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις.

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα, σύμφωνα με το παράρτημα C του **EN 1992-1-1 διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:**

- Την **κατηγορία A**, που αφορά χάλυβες που καλύπτουν τις εξής προϋποθέσεις:

$$\epsilon_{uk} \geq 2.5\% \text{ και } (f_t/f_y)_k \geq 1.05$$

- Την **κατηγορία B**, που αφορά χάλυβες που καλύπτουν τις εξής προϋποθέσεις:

$$\epsilon_{uk} \geq 5.0\% \text{ και } (f_t/f_y)_k \geq 1.08$$

- Την **κατηγορία C**, που αφορά χάλυβες που καλύπτουν τις εξής προϋποθέσεις:

$$\epsilon_{uk} \geq 7.5\% \text{ και } 1.15 \leq (f_t/f_y)_k < 1.35$$

όπου:

ϵ_{uk} : χαρακτηριστική τιμή της ανηγμένης παραμόρφωσης στην μέγιστη δύναμη

f_{tk} : χαρακτηριστική τιμή εφελκυστικής αντοχής

f_{yk} : χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα

2.4.1.4: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Για τον χάλυβα ο **EN 10080** μιλάει για την συγκολλησιμότητα αλλά και ο **EN 1992-1-1** διαθέτει τον (Πίνακας 2.9):

Κατάσταση Φόρτισης	Μέθοδος Συγκόλλησης	Ράβδοι υπό εφελκυσμό ¹	Ράβδοι υπό θλίψη ¹
Κυρίως στατική (βλ. 6.8.1(2))	συγκόλληση με σπινθηρισμούς	μετωπική σύνδεση	
	Χειρωνακτική ηλεκτροσυγκόλληση τόξου και συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο	μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 20$ mm, σύνδεση με λωρίδες, σύνδεση κατά παράθεση, σταυρωτή σύνδεση ³ , σύνδεση με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	
	Ηλεκτροσυγκόλληση ενεργού προστατευτικού αερίου ²	σύνδεση με λωρίδες, σύνδεση κατά παράθεση, σταυρωτή σύνδεση ³ , σύνδεση με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	
		-	μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 20$ mm
	Συγκόλληση τριβής	μετωπική σύνδεση, σύνδεση με άλλους χάλυβες	
	σημειακή συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση	σύνδεση κατά παράθεση ⁴ , σταυρωτή σύνδεση ^{2,4}	
Όχι κυρίως στατική (βλ. 6.8.1(2))	συγκόλληση με σπινθηρισμούς	μετωπική σύνδεση	
	Χειρωνακτική ηλεκτροσυγκόλληση τόξου		μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 14$ mm
	Ηλεκτροσυγκόλληση ενεργού προστατευτικού αερίου ²		μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 14$ mm
	σημειακή συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση		σύνδεση κατά παράθεση ⁴ , σταυρωτή σύνδεση ^{2,4}
Σημειώσεις: 1. Επιτρέπεται μόνο η συγκόλληση ράβδων περίπου ίδιων ονομαστικών διαμέτρων. 2. Επιτρεπόμενος λόγος για ράβδους διαφορετικών διαμέτρων $\geq 0,57$ 3. Για φέρουσες ενώσεις: $\phi \leq 16$ mm 4. Για φέρουσες ενώσεις: $\phi \leq 28$ mm			

Πίνακας 2.9: Επιτρεπόμενες διαδικασίες συγκόλλησης και παραδείγματα εφαρμογής (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.4)

Αξίζει να σημειωθεί, πως η **αντοχή των συγκολλητών δομικών πλεγμάτων** είναι επαρκείς όταν η **δύναμη διάτμησης** είναι:

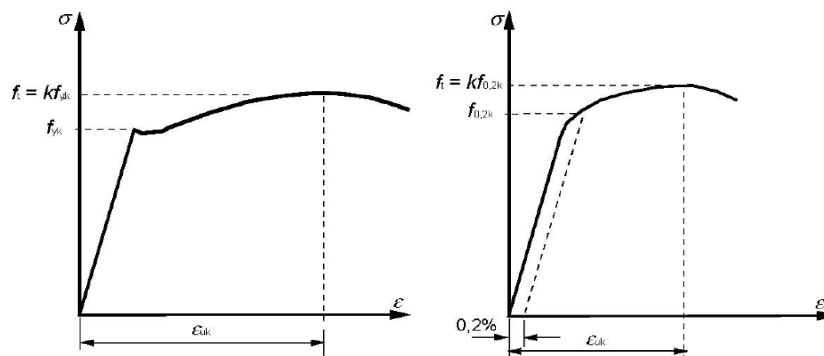
$$0.30f_{yk} * A_s$$

όπου:

A_s : ονομαστική επιφάνεια διατομής του σύρματος

2.4.1.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

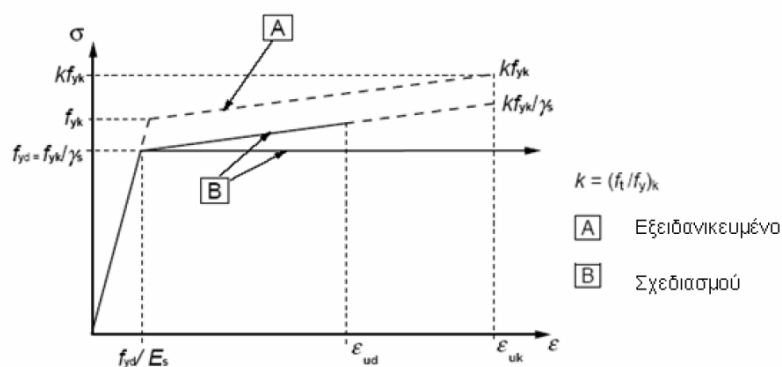
Στον ευρωπαϊκό κανονισμό δίνονται διαγράμματα (Σχήμα 2.11) και για **χάλυβες θερμής επεξεργασίας** αλλά και για **χάλυβες ψυχρής επεξεργασίας**.



Σχήμα 2.11: Σχηματικά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα οπλισμού (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.7)

Χάλυβας κατεργασμένος εν θερμώ (αριστερά) Χάλυβας κατεργασμένος εν ψυχρό (δεξιά)

Όμως το διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 2.12) είναι το πλέον απλοποιημένο.



Σχήμα 2.12: Εξειδανικευμένο διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.8)

2.4.1.6: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το **μέτρο ελαστικότητας (E_s)** για τους χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος είναι ίσο με 200GPa.

2.4.2: ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

2.4.2.1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ

Ο χάλυβας προέντασης καλύπτεται από τον κανονισμό **EN 1992-1-1**.

Ταξινομούνται σύμφωνα με:

- Την αντοχή, προσδιορίζοντας την τιμή του ορίου διαρροής 0.1% ($f_{p0.1k}$) καθώς και τον λόγο της αντοχής σε εφελκυσμό προς το συμβατικό όριο αντοχής ($f_{pk}/f_{p0.1k}$) και την μήκυνση στο μέγιστο φορτίο (ϵ_{uk}).
- Την κατηγορία, υποδηλώνοντας την συμπεριφορά χαλάρωσης
- Το μέγεθος
- Τα χαρακτηριστικά επιφανείας

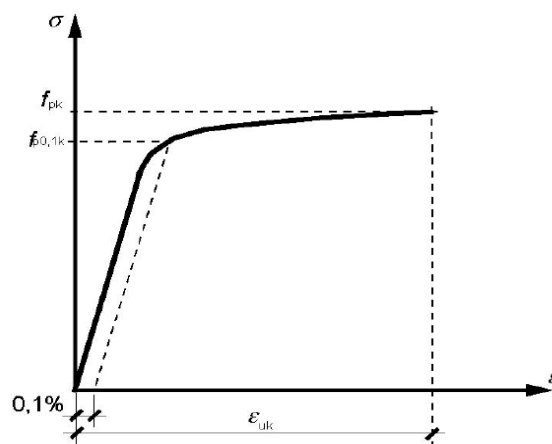
2.4.2.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η **συμβατή τάση διαρροής 0.1%** ($f_{p0.1k}$) ορίζεται ως η χαρακτηριστική τιμή του συμβατικού φορτίου 0.1%, διαιρεμένο προς το ονομαστικό εμβαδόν της διατομής.

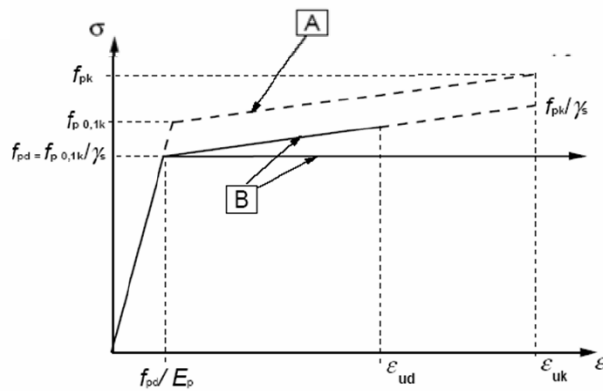
Η **εφελκυστική αντοχή** (f_{pk}) ορίζεται ως το χαρακτηριστικό μέγιστο φορτίο του άξονα εφελκυσμού, διαιρεμένο προς το ονομαστικό εμβαδόν της διατομής.

2.4.2.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Στον Ευρωπαϊκό κανονισμό δίνονται τα παρακάτω **διαγράμματα** (Σχήμα 2.13), (Σχήμα 2.14):



Σχήμα 2.13: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα προέντασης (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.9)



Σημείωση: Η τιμή της ϵ_{ud} για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να ληφθεί από το αντίστοιχο Εθνικό Πρόσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή είναι $0.9\epsilon_{uk}$. Εάν δεν είναι γνωστές περισσότερο ακριβείς τιμές, οι συνιστώμενες τιμές είναι $\epsilon_{ud} = 0.02$ και $f_{pd,0.1k}/f_{pk} = 0.9$

- A** Εξιδανικευμένη
B Σχεδιασμού

Σχήμα 2.14: Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα προέντασης (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.10)

2.4.2.4: ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για τους χάλυβες προέντασης η **τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας (E_p):**

- Για **σύρματα και ράβδους** είναι 205 GPa (η πραγματική τιμή κυμαίνεται από 195 GPa έως 210 GPa)
- Για **συρματόσχοινα** είναι 195 GPa (η πραγματική τιμή κυμαίνεται από 185 GPa έως 205 GPa)

2.4.2.5: ΧΑΛΑΡΩΣΗ

Στο ευρωκώδικα ορίζονται οι ακόλουθες **κατηγορίες χαλάρωσης**:

- **Κατηγορία 1:** για σύρματα και συρματόσχοινα με υψηλή χαλάρωση
- **Κατηγορία 2:** για σύρματα και συρματόσχοινα με χαμηλή χαλάρωση
- **Κατηγορία 3:** για εν θερμώ επεξεργασμένες ράβδους

Ο **υπολογισμός απωλειών λόγω χαλάρωσης** του χάλυβα προέντασης πρέπει να υπολογίζεται βάση της τιμής ρ_{1000} (δηλαδή το ποσοστό χαλάρωσης σε % στις 1000 ώρες μετά την τάνυση και σε μέση θερμοκρασία 20°C)

- Για την **Κατηγορία 1** υπάρχει ο τύπος:

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 5.39 \cdot \rho \cdot e^{6.7\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$$

- Για την **Κατηγορία 2** υπάρχει ο τύπος:

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0.66 \cdot \rho \cdot e^{9.1\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$$

- Για την **Κατηγορία 3** υπάρχει ο τύπος:

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 1.98 \cdot \rho \cdot e^{8\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$$

όπου:

$\Delta\sigma_{pr}$: η απόλυτη τιμή των απωλειών χαλάρωσης της προέντασης

σ_{pi} :

- για την προένταση μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος, είναι η απόλυτη τιμή της αρχικής προέντασης
- για την προένταση πριν την έγχυση του σκυροδέματος, είναι η μέγιστη εφελκυστική τάση που επιβάλλεται στον τένοντα μείον τις άμεσες απώλειες που συμβαίνουν κατά την διαδικασία της τάνυσης.

t: ο χρόνος μετά την τάνυση σε ώρες

μ : $=\sigma_{pi}/f_{pk}$

ρ_{1000} : το ποσοστό χαλάρωσης σε % στις 1000 ώρες μετά την τάνυση και σε μέση θερμοκρασία 20°C

Η θλιπτική τάση του σκυροδέματος, στην κατασκευή η οποία προκαλείται από τη δύναμη προέντασης και τα υπόλοιπα φορτία που ενεργούν τη στιγμή της τάνυσης ή της χαλάρωσης της προέντασης, πρέπει να μην υπερβαίνει την:

$$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}(t)$$

όπου:

$f_{ck}(t)$: η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος τη χρονική περίοδο t που υποβάλλεται στην δύναμη προέντασης

ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1: ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000

(5.1, 5.2)

3.1.1: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Για να έχει ανθεκτικότητα μια κατασκευή σε διάρκεια, πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- τα κριτήρια σχεδιασμού
- η χρήση, η συντήρηση και η επιθεώρηση κατά την διάρκεια ζωής του έργου
- τα ειδικά προστατευτικά μέτρα
- η μορφολογία των δομικών στοιχείων και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες
- η σύνθεση, οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των υλικών
- οι συνθήκες περιβάλλοντος

Επειδή οι *συνθήκες περιβάλλοντος* έχουν μεγάλη σημασία στην διάρκεια ζωής ενός κτηρίου, χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- **Κατηγορία 1:** Ελάχιστα διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. εσωτερικοί χώροι)
- **Κατηγορία 2:** Μερικώς διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. εσωτερικοί χώροι με αυξημένη υγρασία, εξωτερικοί χώροι)
- **Κατηγορία 3:** Παραθαλάσσιο περιβάλλον (παραθαλάσσιες περιοχές με απόσταση από την ακτή ≤ 1 km)
- **Κατηγορία 4:** Πολύ διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. βιομηχανικές ζώνες και χώροι με υψηλή περιεκτικότητα χημικών)

3.1.2: ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Η *ονομαστική τιμή της επικάλυψης σκυροδέματος (c_{nom})* πρέπει να είναι μεγαλύτερη 5 με 10 mm της *ελάχιστης τιμής του σκυροδέματος (c_{min})* σύμφωνα με τον **ΕΚΩΣ 2000**.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί πως η *ονομαστική τιμή της επικάλυψης σκυροδέματος (c_{nom})* λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό, ενώ η *ελάχιστη τιμή του σκυροδέματος (c_{min})* (Πίνακας 3.1) εξασφαλίζεται κατά την κατασκευή.

Τιμές c_{min}				Διόρθωση για:		
Κατηγορία συνθηκών περιβάλλοντος				Πλάκες ή κελύφη	Προτανωόμενους τένοντες	Προεντεταμένους τένοντες
1	2	3	4	-5	+5	+10
20	25	30	30-45*			

* Αναλόγως της διαβρωτικότητας του μέσου. Για προσβολή κατά την παρ.12.4 του Κ.Τ.Σ. ισχύει $c_{min} = 30,35,40$ και 45mm για ασθενή, μέτριο, ισχυρό και πολύ ισχυρό βαθμό προσβολής, αντιστοίχως.

Πίνακας 3.1: Ελάχιστες επικαλύψεις σε mm (c_{min}) (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 5.1)

Σύμφωνα με τον κανονισμό **η τελική τιμή της ελάχιστης επικάλυψης** πρέπει να είναι:

$$c_{min} \geq 15\text{mm} \text{ ή } c_{min} \geq (\varnothing + 10\text{mm} \text{ ή } 20\text{mm})$$

όπου:

\varnothing : διάμετρος ράβδων οπλισμού

Για τις ακόλουθες περιπτώσεις **η ελάχιστη τιμή c_{min}** είναι:

- 75 mm αν πρόκειται για σκυροδέτηση απευθείας σε μη διαμορφωμένο έδαφος
- 40 mm αν πρόκειται για σκυροδέτηση σε διαμορφωμένο έδαφος, με στρώση σκυροδέματος καθαριότητας
- 40 mm αν πρόκειται για σκυροδέτηση υποθαλάσσιων έργων ή έργων που διαβρέχονται με θαλασσινό νερό

Για σκυρόδεμα με αδρανή μεγίστου κόκκου >31.5 mm **η ελάχιστη επικάλυψη** αυξάνεται κατά 5 mm, για $c_{min} \leq 30$ mm.

3.1.3: ΑΝΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Τα οικοδομικά έργα οφείλουν να ικανοποιούν τις ανάλογες **απαιτήσεις ανοχών**.

Στον **ΕΚΟΣ 2000** η τιμή της ανοχής επικάλυψης κυμαίνεται μεταξύ 5mm και 10 mm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

(4.2, 4.3, 4.4)

3.2.1: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Για να έχει ανθεκτικότητα μια κατασκευή σε διάρκεια, πρέπει να εξετάζονται τα παρακάτω:

- η σύλληψη σχεδιασμού
- η επιλογή των υλικών
- οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες
- η εκτέλεση
- ο έλεγχος ποιότητας
- η επίβλεψη
- οι έλεγχοι
- τα ειδικά μέτρα

Οι **συνθήκες περιβάλλοντος** έχουν μεγάλη σημασία στην διάρκεια ζωής ενός κτηρίου, για αυτό χωρίζονται σε 6 βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τον **EN 1992-1-1** (Πίνακας 3.2).

Χαρακτηρισμός Κατηγορίας	Περιγραφή περιβάλλοντος	Πληροφοριακά παραδείγματα όπου οι κατηγορίες έκθεσης θα μπορούσαν να συμβούν
1 Χωρίς διακινδύνευση διάβρωσης ή προσβολής		
X0	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 μέτρια ή υψηλή 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 πολύ χαμηλή υγρασία αέρος Εξωτερικό σκυρόδεμα προσβαλλόμενο από τη βροχή
XC4	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος σε επαφή με το νερό, εκτός της κατηγορίας έκθεσης XC2

3 Διάβρωση από χλωριούχα		
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 άλατα θαλάσσης αερομεταφερόμενα αλλά χωρίς άμεση 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 πισιλίσματος.	Τμήματα λιμενικών έργων
5. Προσβολή ψύξης / απόψυξης		
XF1	Μέτριας κλίμακας υδρεμπτισμός χωρίς, παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF2	Μέτριας κλίμακας υδρεμπτισμός με παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος κατασκευών οδοποιίας εκτεθειμένες σε ψύξη και παράγοντες απόψυξης που μεταφέρονται με τον αέρα.
XF3	Εκτεταμένος υδρεμπτισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF4	Εκτεταμένος υδρεμπτισμός με παράγοντα απόψυξης ή θαλασσινό νερό	Καταστρώματα οδών ή γεφυρών εκτεθειμένα σε παράγοντες απόψυξης. Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε άμεσο ψεκασμό με παράγοντες απόψυξης. Ζώνες παφλασμού σε λιμενικά έργα εκτεθειμένα σε πάγο.
6. Χημική προσβολή		
XA1	Ελαφρώς επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA2	Μετρίως επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA3	Ιδιαίτερω επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες σύμφωνα με τον EN 206-1 (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.1)

Εκτός από τις συνθήκες του (Πίνακας 3.2), πρέπει να λαμβάνονται και συγκεκριμένες μορφές επιβλαβούς ή έμμεσης δράσης συμπεριλαμβανομένων των:

Χημικών προσβολών που προκύπτουν από π.χ.:

- χρήση του κτηρίου για αποθήκευση υγρών
- διαλύματα οξέων ή θεικών αλάτων
- χλωριούχα που περιέχονται στο σκυρόδεμα
- αλκαλικές αντιδράσεις αδρανών

Φυσικών προσβολών που προκύπτουν από π.χ.:

- θερμοκρασιακή μεταβολή
- επιφανειακή τριβή
- διείδυση νερού

3.2.2: ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Η ονομαστική επικάλυψη του σκυροδέματος (c_{nom}) πρέπει να καθορίζεται στα σχέδια.

Ορίζεται ως η ελάχιστη επικάλυψη (c_{min}) συν την σχεδιαστική ανοχή για την αντιμετώπιση αποκλίσεων (Δ_{cdev}). Δηλαδή:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta_{cdev}$$

Η ελάχιστη τιμή επικάλυψης (c_{min}) ορίζεται από τον τύπο:

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta_{c,dur,y} - \Delta_{c,dur,st} - \Delta_{c,dur,add}; 10mm\}$$

όπου:

$c_{min,b}$: η ελάχιστη επικάλυψη βάση απαίτησης συνάφειας

$c_{min,dur}$: η ελάχιστη επικάλυψη λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών

$\Delta_{c,dur,y}$: πρόσθετη ασφάλεια στοιχείου

$\Delta_{c,dur,st}$: η απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση χρήσης ανοξείδωτου χάλυβα

$\Delta_{c,dur}$: απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση πρόσθετης προστασίας

Εάν η μέγιστη ονομαστική διάσταση των αδρανών είναι μεγαλύτερη από 32mm τότε η $c_{min,b}$ πρέπει να προσαυξάνεται κατά 5 mm.

Σύμφωνα με τον EN 10080, οι τιμές της ελάχιστης επικάλυψης του οπλισμού, δίνονται από την $c_{min,dur}$.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.3) δίνεται η κατηγοριοποίηση της κατασκευής. Στον (Πίνακας 3.4) δίνονται απαιτήσεις τιμών $c_{min,dur}$ για χάλυβα οπλισμού και στον (Πίνακας 3.5) δίνονται απαιτήσεις τιμών $c_{min,dur}$ για χάλυβα προέντασης.

Κατηγορία Κατασκευής							
Κριτήριο	Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Χρόνος ζωής σχεδιασμού 100 χρόνια	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2
Κατηγορία αντοχής ^(1,2)	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C35/45 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C45/55 μείωση κατηγορίας κατά 1
Δομικό στοιχείο με γεωμετρία πλάκας (η θέση του οπλισμού δεν επηρεάζεται από τη διαδικασία κατασκευής)	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1
Διασφάλιση ειδικού ελέγχου ποιότητας παραγωγής σκυροδέματος	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1

Πίνακας 3.3: Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.3N)

Περιβαλλοντολογική απαίτηση για την $c_{min,dur}$ (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

Πίνακας 3.4: Απαιτήσεις τιμών ελαχίστης επικάλυψης $c_{min,dur}$ από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα σπλισμού (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.4N)

Περιβαλλοντολογική απαίτηση για την $c_{min,dur}$ (mm)							
Κατηγορία Κατασκευής	Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

Πίνακας 3.5: Απαιτήσεις τιμών ελαχίστης επικάλυψης $c_{min,dur}$ από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα προέντασης (EN 1992-1-1, Πίνακας 4.5N)

Η τιμή της **ελάχιστης επικάλυψης (c_{min})**:

- αυξάνεται τουλάχιστον κατά 5mm σε ανώμαλες επιφάνειες
- αυξάνεται κατά k_1 για την κατηγορία XM1, κατά k_2 για την κατηγορία XM2 και κατά k_3 για την κατηγορία XM3. (οι τιμές k_1 , k_2 , k_3 μπορούν να ληφθούν 5mm, 10mm, 15mm αντίστοιχα)

3.2.3: ΑΝΤΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η συνιστώμενη **σχεδιαστική τιμή για την αντιμετώπιση αποκλίσεων (Δ_{cdev})** σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** είναι 10mm.

Στην περίπτωση, στην οποία:

- η κατασκευή υπόκειται σε σύστημα διασφάλισης ποιότητας, στο οποίο έχουμε μετρήσεις της επικάλυψης του σκυροδέματος η Δ_{cdev} βρίσκεται μεταξύ 10mm και 5mm.
- χρησιμοποιείται όργανο ακριβής μέτρησης και απορρίπτονται όσα στοιχεία δεν συμμορφώνονται, η Δ_{cdev} κυμαίνεται μεταξύ 10mm και 0mm.

Ακόμη, και κατά την ύπαρξη τραχιάς επιφάνειας:

- για σκυρόδεμα χυτό επί διαμορφωμένου εδάφους, η **ελάχιστη επικάλυψη (c_{min})** πρέπει να είναι τουλάχιστον 40mm (σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα**).
- για σκυρόδεμα χυτό απευθείας επί του εδάφους, η **ελάχιστη επικάλυψη (c_{min})** πρέπει να είναι τουλάχιστον 75mm (σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα).

ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ(Ο.Κ.Α.)

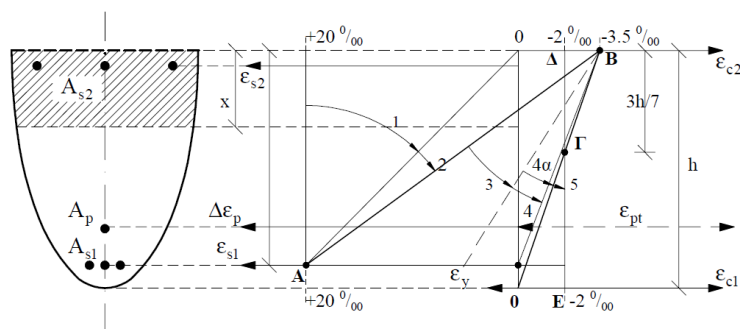
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.1: ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.1: Ο.Κ.Α. ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000

(ΚΕΦ 11.1.1, 11.1.2.1, 11.1.2.2, 11.2.2, 11.2.3.1, 11.2.3.2α, 11.2.3.2β, 11.2.5, 11.3.1, 11.3.2, 11.3.3, 12.2.1, 12.2.2, 12.2.3, 12.2.4, 12.3, 13.1.1, 13.1.2, 13.2, 13.2.1, 13.3, 13.4.1, 13.4.2.1, 13.4.2.2,)

4.1.1: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΜΕΓΕΘΗ ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

4.1.1.1: ΚΑΜΨΗ ΜΕ Η΄ ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 2.1) βλέπουμε τις παραμορφώσεις, σύμφωνα με τις οποίες υπολογίζεται η αντοχή.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.1)

Ακραίες θεωρούνται οι παραμορφώσεις οι οποίες διέρχονται από τα σημεία A, B, Γ.

Όταν το διάγραμμα παραμορφώσεων διέρχεται από το A είναι:

- είτε καθαρός εφελκυσμός ή εφελκυσμός με μικρή εκκεντρότητα.
- είτε καθαρή κάμψη ή κάμψη με αξονική δύναμη όπου $\epsilon_c > -0.035\%$.

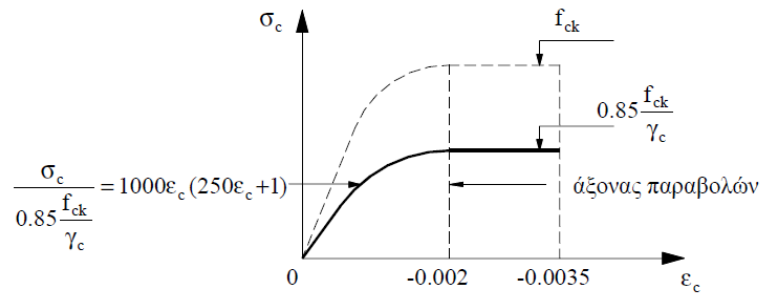
Όταν το διάγραμμα παραμορφώσεων διέρχεται από το σημείο B είναι:

- σε καθαρή κάμψη ή σε κάμψη με αξονική δύναμη

Όταν το διάγραμμα παραμορφώσεων διέρχεται από το σημείο Γ είναι:

- είτε κάμψη με αξονική θλιπτική δύναμη
- είτε σε καθαρή θλίψη

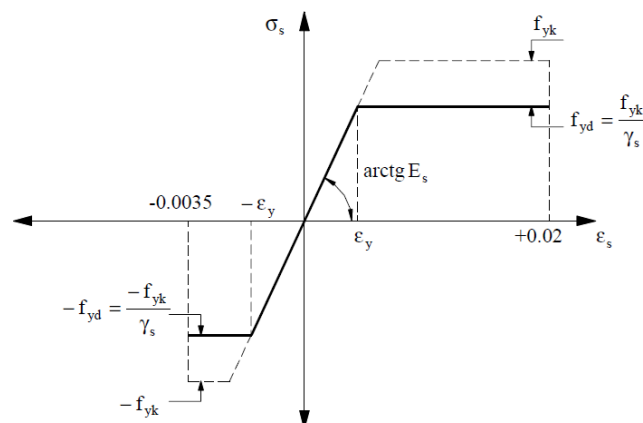
Για τον υπολογισμό της αντοχής μια διατομής χρησιμοποιείται **για το σκυρόδεμα** το επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 4.2):



Σχήμα 4.2: Παραβολικό – ορθογώνιο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.2)

Η θλιπτική παραμόρφωση δεν πρέπει να υπερβαίνει την ϵ_{cu} του παραπάνω διαγράμματος (Σχήμα 4.2).

Για τον υπολογισμό της αντοχής μιας διατομής χρησιμοποιείται για το **συνηθισμένο χάλυβα ή τον χάλυβα προέντασης** το επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 4.3):



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα σχεδιασμού τάσεων – παραμορφώσεων για τον χάλυβα (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 10.3)

4.1.1.2: ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για τον υπολογισμό της αντοχής πρέπει:

- η διατομή να είναι επίπεδη και κάθετη στον παραμορφωμένο άξονα
- ο σπλισμός να υφίσταται τις ίδιες μεταβολές παραμορφώσεων με το περιβάλλον σκυρόδεμα
- η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος να αμελείται
- η μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση του σπλισμού λαμβάνεται ίση με 0.02
- η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος λαμβάνεται ίση με 0.0035 σε κάμψη και 0.002 σε κεντρική θλίψη

4.1.2: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

4.1.2.1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Για να μην έχουμε απαίτηση σε οπλισμό διάτμησης, πρέπει η επιβαλλόμενη τέμνουσα σχεδιασμού να ικανοποιεί την συνθήκη:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1}$$

Η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} * k * (1.20 + 40 * \rho_l) + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d$$

όπου:

b_w : το πλάτος του στοιχείου

τ_{Rd} : η τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής

k : $1.60 - d \geq 1.00$ (d σε μέτρα)

ρ_l : $\{A_{sl} / (b_w * d)\} \leq 0.02$

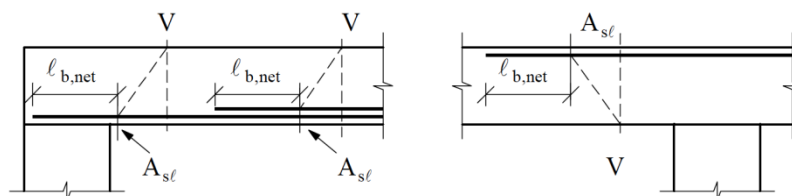
σ_{cp} : N_{Sd} / A_c

N_{Sd} : η ορθή δύναμη λόγω φόρτισης και προέντασης

A_{sl} : η διατομή διαμήκους εφελκυσμένου οπλισμού (Σχήμα 4.4)

d: το στατικό ύψος

Όταν ένα φορτίο ασκείται σε απόσταση $a_v < 2.5 * d$ από τον άξονα της στήριξης, η τιμή του τ_{Rd} επιτρέπεται να αυξηθεί πολλαπλασιάζοντας επί $\beta = (2.5 * d / a_v) < 3.00$



Σχήμα 4.4: Προσδιορισμός του A_{sl} (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 11.1)

4.1.2.2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Για τον **έλεγχο περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού**, οι διαστάσεις πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η σχέση:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

Για τον **έλεγχο οπλισμού έναντι τεμνουσών**, ο οπλισμός ένατσι τεμνουσών θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3}$$

όπου:

$$V_{Rd3} = V_{wd} + V_{cd}$$

- V_{wd} είναι η τέμνουσα που παραλαμβάνεται από τους οπλισμούς
- V_{cd} είναι η τέμνουσα που παραλαμβάνεται από το θλιβόμενο πλέγμα

Ο **υπολογισμός των αντοχών** μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, την τυπική και την γενική μέθοδο.

- **Τυπική μέθοδος**

Όταν έχουμε γραμμικά στοιχεία και τοιχώματα τότε:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} * v * f_{cd} * b_w * z$$

όπου:

$$v = 0.70 - (f_{ck}/200) \geq 0.50$$

$$z = 0.90 * d$$

Σε περίπτωση που υπάρχουν θλιπτικές δυνάμεις η τιμή της V_{Rd2} μειώνεται σε $V_{Rd2,red}$.

Για την **τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού** λόγω οπλισμού διάτμησης, όταν έχουμε οποιοδήποτε δομικό στοιχείο, τότε:

- Για δράσεις που **δεν περιλαμβάνουν σεισμό**:

$$V_{cd} = V_{Rd1}$$

&

$$V_{wd} = (A_{sw}/s) * 0.90 * d * f_{ywd} * (1 + \cot \alpha) * \sin \alpha$$

όπου:

A_{sw} : η διατομή του οπλισμού διάτμησης

s: η απόσταση μεταξύ ράβδων οπλισμού διάτμησης

α: η γωνία κλίσης οπλισμού διάτμησης

- Για δράσεις που περιλαμβάνουν σεισμό:

Λαμβάνονται **2 περιπτώσεις** αναλόγως της τιμής του λόγου $v_d = N_{sd} / A_{cfcd}$

1. Για $v_d > -0.10$ (στοιχεία χωρίς καμπτόμενα):

Για το V_{cd}

-για γραμμικά στοιχεία:

$$V_{cd} = 0.30 * V_{Rd1}$$

-για τοιχώματα:

$$V_{cd} = 0.25 * V_{Rd1}$$

Για το V_{wd}

-για γραμμικά στοιχεία:

Η συμβολή του οπλισμού κορμού εξαρτάται από το λόγο ζ (ζ είναι ο λόγος της ελάχιστης προς την μέγιστη τέμνουσα σε μία διατομή).

- Αν $\zeta \geq -0.50$ τότε:

$$V_{wd} = (A_{sw}/s) * 0.90 * d * f_{ywd} * (1 + \cot \alpha) * \sin \alpha$$

- Αν $\zeta < -0.50$ και $V_{sd} \leq 4.50 * (2 + \zeta) * \tau_{Rd} * b_w * d$ τότε:

$$V_{wd} = (A_{sw}/s) * 0.90 * d * f_{ywd} * (1 + \cot \alpha) * \sin \alpha$$

- Αν $\zeta < -0.50$ και $V_{sd} \leq 9.00 * (2 + \zeta) * \tau_{Rd} * b_w * d$ τότε:

Όλη η τέμνουσα πρέπει να αναληφθεί από δισδιαγώνιο οπλισμό.

-για τοιχώματα:

Στην περίπτωση τοιχωμάτων ο όρος V_{wd} εξαρτάται από το λόγο διατμήσεως $\alpha_s = M_{sd} / V_{sd} * l_w$.

- Αν $\alpha_s \geq 2.00$ τότε ο όρος V_{wd} υπολογίζεται όπως και για τα γραμμικά στοιχεία.

- Αν $\alpha_s \leq 1.30$ τότε:

$$V_{wd} = [\rho_h * f_{yd,h} * (\alpha_s - 0.30) + \rho_v * f_{yd,v} * (1.30 - \alpha_s)] * b_w * z$$

2. Για $v_d \leq -0.10$ (στοιχεία υπό κάμψη και θλίψη):

Για το V_{cd} στις κρίσιμες περιοχές **με αυξημένη πλαστιμότητα**

-για γραμμικά στοιχεία:

$$V_{cd} = 0.90 * V_{Rd1}$$

-για τοιχώματα:

$$V_{cd} = 0.70 * V_{Rd1}$$

Σε περίπτωση που έχουμε στοιχεία **χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας** το V_{cd} υπολογίζεται:

$$V_{cd} = V_{Rd1}$$

Για το V_{wd}

-για γραμμικά στοιχεία:

$$V_{wd} = (A_{sw}/s) * 0.90 * d * f_{ywd} * (1 + \cot\alpha) * \sin\alpha$$

-για τοιχώματα:

Στην περίπτωση τοιχωμάτων ο όρος V_{wd} εξαρτάται από το λόγο διατμήσεως $\alpha_s = M_{sd}/V_{sd} * l_w$.

○ Αν $\alpha_s \geq 2.00$ τότε ο όρος V_{wd} υπολογίζεται όπως και για τα γραμμικά στοιχεία.

○ Αν $\alpha_s \leq 1.30$ τότε:

$$V_{wd} = [\rho_h * f_{yd,h} * (\alpha_s - 0.30) + \rho_v * f_{yd,v} * (1.30 - \alpha_s)] * b_w * z$$

- **Γενική μέθοδος**

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην γωνία θ των θλιβόμενων διαγωνίων του σκυροδέματος

Σε περίπτωση δοκών με σταθερό διαμήκη οπλισμό:

$$0.40 < \cot\theta < 2.50$$

Σε περίπτωση δοκών με κλιμακούμενο διαμήκη οπλισμό:

$$0.50 < \cot\theta < 2.00$$

- Σε στοιχεία με οπλισμό διάτμησης κάθετο στον άξονα του στοιχείου ισχύουν:

$$V_{Rd2} = b_w * (0.90 * d) * \nu * f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

και

$$V_{Rd3} = (A_{sw}/s) * (0.90 * d) * f_{ywd} * \cot\theta$$

και

$$(A_{sw} * f_{ywd} / b_w * s) \leq \frac{1}{2} * \nu * f_{cd}$$

- Σε στοιχεία με κεκλιμένο οπλισμό διάτμησης προς τον άξονα του στοιχείου ισχύουν:

$$V_{Rd2} = b_w * (0.90 * d) * \nu * f_{cd} * (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta)$$

και

$$V_{Rd3} = (A_{sw}/s) * (0.90 * d) * f_{ywd} * (\cot\theta + \cot\alpha) * \sin\alpha$$

και

$$(A_{sw} * f_{ywd} / b_w * s) \leq (\frac{1}{2} * \nu * f_{cd} * \sin\alpha) / (1 - \cos\alpha)$$

4.1.2.3: ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΠΕΛΜΑΤΩΝ – ΚΟΡΜΟΥ

Οι συνδέσεις **πελμάτων – κορμού**, σύμφωνα με τον κανονισμό **ΕΚΩΣ 2000**, πρέπει να ελέγχονται έναντι διαμήκουσας τέμνουσας δύναμης.

Η δρώσα διαμήκης τέμνουσα δύναμη ανά μονάδα μήκους είναι:

$$V_{Sd} = (\Delta F_{d,max} / a_v)$$

Όπου:

$\Delta F_{d,max}$: μέγιστη τιμή της διαφοράς της διαμήκουσας δύναμης η οποία ενεργεί στο τμήμα του πέλματος προς τη μία πλευρά του κορμού

a_v : απόσταση ανάμεσα στα σημεία μηδενικής και μέγιστης ροπής κάμψης

Η τιμή της $\Delta F_{d,max}$ προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\Delta F_{d,max} = (M_{max} / z) * (A_1 / A_{tot})$$

Όπου:

A_1 : είναι το εμβαδόν σκυροδέματος του τμήματος του πέλματος προς τη μια πλευρά του κορμού για το θλιβόμενο πέλημα και το εμβαδόν διαμήκων οπλισμών που βρίσκονται στο τμήμα του πέλματος προς την πλευρά του κορμού για το εφελκυσμένο πέλημα.

A_{tot} : είναι το ολικό εμβαδόν της θλιβόμενης ζώνης για το θλιβόμενο πέλημα και το ολικό εμβαδόν διαμήκων εφελκυσμένων οπλισμών για το εφελκυσμένο πέλημα.

Για να υπολογίσουμε την **αντοχή λόγω λοξής θλίψης**:

$$V_{Rd2} = 0.20 * f_{cd} * h_f$$

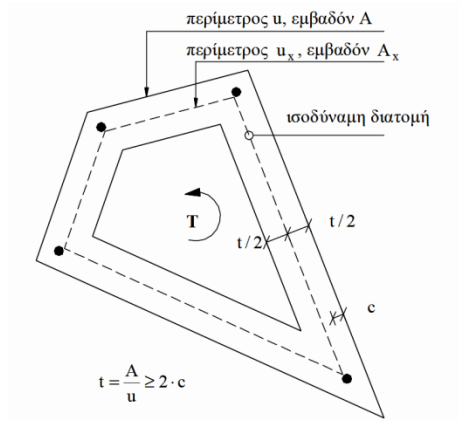
Για να υπολογίσουμε την **αντοχή λόγω εγκάρσιου οπλισμού**:

$$V_{Rd3} = (A_{sf} / s_f) * f_{yd} + 2.50 * \tau_{Rd} * h_f$$

4.1.3: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΣΤΡΕΨΗ

4.1.3.1: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στον κανονισμό αυτό, παραθέτει το (Σχήμα 4.5) που δίνει πληροφορίες για **την ισοδύναμη κοίλη διατομή**.



Σχήμα 4.5: Ισοδύναμη κοίλη διατομή (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 12.2)

όπου:

u: η περίμετρος της διατομής

A: η ολική επιφάνεια που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο

c: η επικάλυψη διαμήκων ράβδων

t: ισοδύναμο πάχος τοιχωμάτων

Για να υπάρχει **ταυτόχρονη αντοχή της διατομής σε στέψη και διάτμηση** πρέπει να ισχύουν:

- Για τις κοίλες διατομές:

$$(T_{Sd} / T_{Rd1}) + (V_{Sd} / V_{Rd2}) \leq 1.00$$

- Για άλλες διατομές:

$$(T_{Sd} / T_{Rd1})^2 + (V_{Sd} / V_{Rd2})^2 \leq 1.00$$

και

$$T_{Sd} \leq T_{Rd2}$$

και

$$T_{Sd} \leq T_{Rd3}$$

Η **ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στέψη** λόγω θλίψης των τοιχωμάτων είναι:

$$T_{Rd1} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t \cdot A_k / (\cot\theta + \cot\theta)$$

όπου:

t: το πάχος της ισοδύναμης διατομής

A_k : η επιφάνεια που περικλείεται από την πολυγωνική γραμμή που διέρχεται από το μέσον των τοιχωμάτων της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής.

$v = 0.70 \cdot (0.70 - f_{ck} / 200) \geq 0.35$. Είναι η τιμή αν οι εξωτερικοί συνδετήρες βρίσκονται μόνο στην εξωτερική περίμετρο της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής.

θ : η γωνία των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος με τον διαμήκη άξονα του στοιχείου

Η εύρεση του **εμβαδού των διατομών των συνδετήρων** γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$T_{Rd2} = 2 \cdot A_k \cdot (f_{ywd} \cdot A_{sw} / s) \cdot \cot \theta$$

όπου:

A_{sw} : το άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων για την ανάληψη της στρέψης

s : η απόσταση των συνδετήρων

Η εύρεση του **εμβαδού του διαμήκουσ οπλισμού** γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$T_{Rd3} = 2 \cdot A_k \cdot (f_{yld} \cdot A_{sl} / u_k) \cdot \tan \theta$$

όπου:

A_{sl} : το άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων για την ανάληψη της στέψης

θ : η γωνία που έχει ληφθεί υπόψη για τον υπολογισμό των συνδετήρων

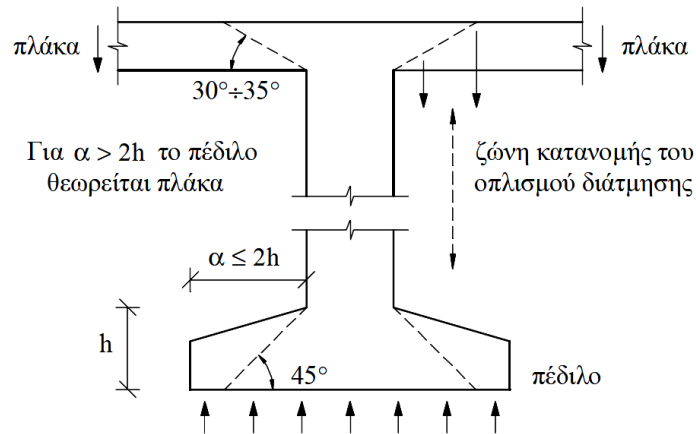
Στην **στέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση** οι τάσεις μπορούν να αγνοηθούν στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

4.1.4: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

4.1.4.1: ΒΑΣΙΚΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

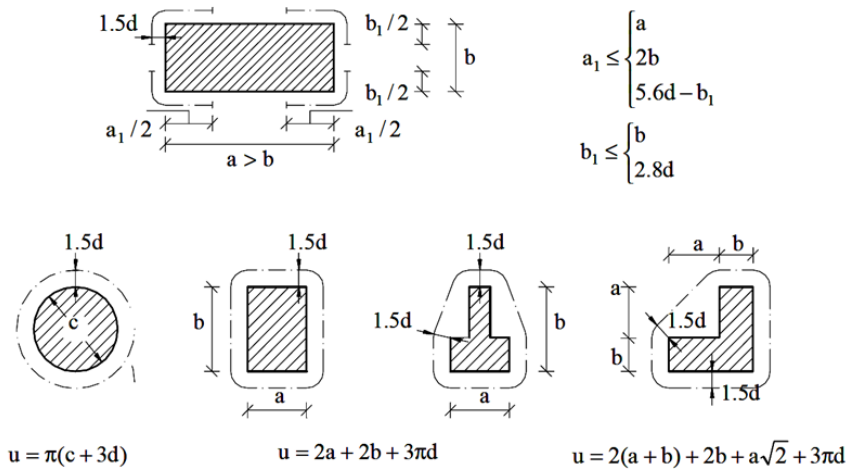
Η **διάτρηση** μπορεί να προέλθει από φορτίο ή αντίδραση συγκεντρωμένη σε μικρή επιφάνεια των πλακών, η οποία ονομάζεται **φορτιζόμενη επιφάνεια**.

Η οριακή κατάσταση χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό ενός κόλουρου κώνου ή μια κόλουρης πυραμίδας (Σχήμα 4.6), των οποίων η μικρή βάση συμπίπτει με την φορτιζόμενη επιφάνεια. Οι γενέτειρες είναι κεκλιμένες ως προς το επίπεδο της πλάκας **συνήθως υπό γωνία 30° και 35°**.



Σχήμα 4.6: Κόλουροι κώνοι ή πυραμίδες διάτρησης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.1)

Η **περίμετρος της κρίσιμης διατομής** (Σχήμα 4.7) περιλαμβάνει της φορτιζόμενη επιφάνεια. Ακόμη η απόσταση μεταξύ της κρίσιμης επιφάνειας και της φορτιζόμενης επιφάνειας δεν είναι μικρότερη από $1.50d$ και συγχρόνως η κρίσιμη διατομή έχει το μικρότερο δυνατό μήκος περιμέτρου.



Σχήμα 4.7: Κρίσιμες διατομές μακριά από ελεύθερο άκρο πλάκας (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.4)

Όσο αφορά τα υποστυλώματα με ενίσχυση ή διαπλάτυνση κεφαλής, έχουμε:

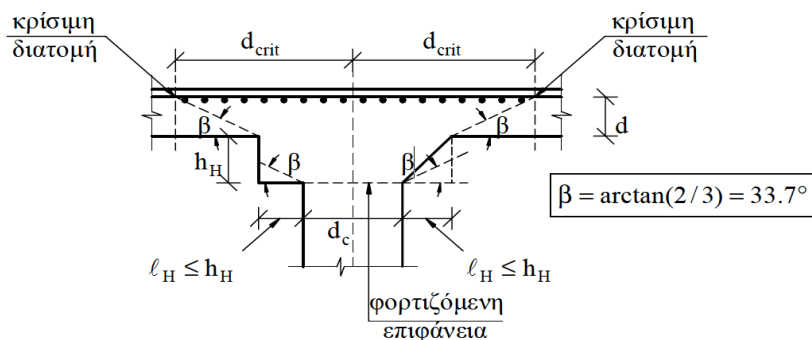
- για πλάκες επί κυκλικών υποστυλωμάτων με διαπλάτυνση κεφαλής όπου $l_H \leq 1.5 \cdot h_H$ (Σχήμα 4.8), ο έλεγχος σε διάτρηση απαιτείται μόνο για την κρίσιμη διατομή στην πλάκα, η οποία απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος d_{crit} ίση με:

$$d_{crit} = 1.5 \cdot d + l_H + 0.5 \cdot d_c$$

όπου:

d_c : διάμετρος υποστυλώματος

l_H και h_H : είναι αντιστοίχως η οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση της διαπλάτυνσης



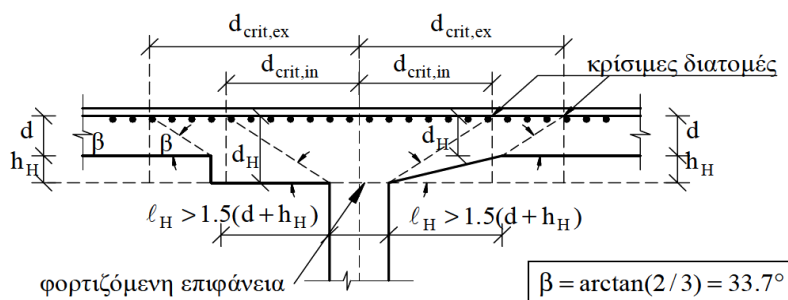
Σχήμα 4.8: Πλάκα επί κυκλικού υποστυλώματος με διαπλάτυνση κεφαλής έτσι ώστε $l_H \leq 1.5 \cdot h_H$ (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.2)

- για πλάκες επί κυκλικών υποστυλωμάτων με διαπλάτυνση κεφαλής όπου $l_H > 1.5 \cdot (d + h_H)$ (Σχήμα 4.9), ο έλεγχος σε διάτρηση απαιτείται:
 - και στην πλάκα (για ύψος d), σε διατομή που απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος απόσταση:

$$d_{crit,ex} = 1.5 + l_H + 0.5 \cdot d_c$$

- και στην διαπλάτυνση (για ενεργό ύψος d_H), σε διατομή που απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος απόσταση:

$$d_{crit,in} = 1.5 \cdot (d + h_H) + 0.5 \cdot d_c$$



Σχήμα 4.9: Πλάκα επί κυκλικού υποστυλώματος με διαπλάτυνση κεφαλής έτσι ώστε $l_H > 1.5 \cdot (d + h_H)$ (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 13.3)

- για διαπλατύνσεις με $1.5 \cdot h_H < l_H \leq 1.5 \cdot (d + h_H)$ ελέγχεται μια διατομή στην πλάκα σε απόσταση από το κέντρο του υποστυλώματος ίση με:

$$d_{crit} = 1.5 \cdot l_H + 0.5 \cdot d_c$$

- για ορθογώνια υποστυλώματα διατομής (b X h) με ορθογώνιες διαπλατύνσεις, συνολικής διατομής $l_1 \times l_2$ ($l_1 \leq l_2$) όπου:

$$l_1 = b + 2 \cdot l_{H1}, \quad l_2 = h + 2 \cdot l_{H2}$$

και η κρίσιμη διατομή απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος απόσταση ίση με την μικρότερη από τις ακόλουθες δύο:

$$d_{crit} = 1.5 \cdot d + 0.56 \cdot \sqrt{l_1 \cdot l_2} \quad \text{ή} \quad d_{crit} = 1.5 \cdot d + 0.69 \cdot l_1$$

4.1.4.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

- Όταν $V_{Sd} < V_{Rd1}$ **ισχύει** τότε δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης.
- Όταν η παραπάνω σχέση **δεν ισχύει** τότε:

$$V_{Sd} < V_{Rd2}$$

$$V_{Sd} < V_{Rd3}$$

Σε περίπτωση κεντρικού φορτίου ή αντίδρασης **η δρώσα τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού είναι:**

$$v_{Sd} = V_{Sd} / u$$

όπου:

V_{Sd} : τέμνουσα δύναμη που δρα κατά μήκος της περιμέτρου u για πλάκες ή κατά μήκος της βάσης του κώνου διάτμησης για πέδιλα

u: η περίμετρος της κρίσιμης διατομής

Σε περίπτωση έκκεντρου φορτίου η τιμή της V_{Sd} πολλαπλασιάζεται επί έναν συντελεστή β ο οποίος λαμβάνεται:

- Για γωνιακά υποστυλώματα $\beta = 1.50$
- Για περιμετρικά υποστυλώματα $\beta = 1.40$
- Για εσωτερικά υποστυλώματα $\beta = 1.15$

4.1.4.3: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής δύναμης αντοχής ανά μονάδα μήκους της κρίσιμης διατομής είναι:

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} * \kappa * (1.20 + 40 * \rho_l) * d$$

όπου:

τ_{Rd} : τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής

$\kappa = 1.60 - d \geq 1$ (d σε μέτρα)

$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} * \rho_{ly}} \leq 0.015$

ρ_{lx} και ρ_{ly} : ποσοστά διαμήκους οπλισμού x και y

$d = \frac{1}{2} * (d_x + d_y)$

d_x και d_y : στατικά ύψη x και y

Η τιμή της V_{Rd2} δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή της παρακάτω σχέσης:

$$V_{Rd2} = 1.60 * V_{Rd1}$$

4.1.4.4: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Ο οπλισμός διάτρησης υπολογίζεται από την σχέση την σχέση:

$$V_{Rd3} = V_{Rd1} + \sum A_{sw} * f_{yd} * \sin \alpha / u$$

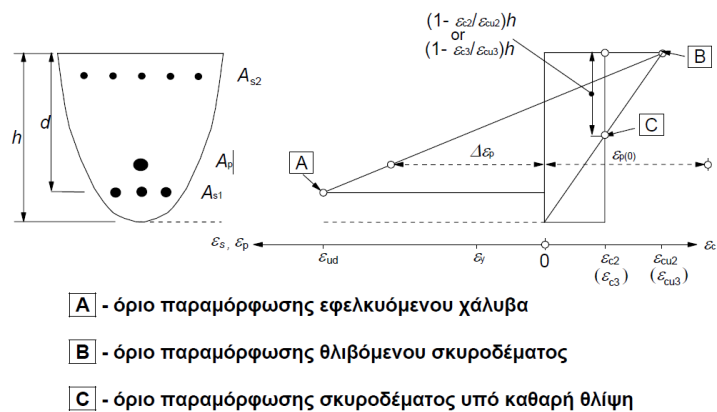
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.2: Ο.Κ.Α. ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

(ΚΕΦ 6.1, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4, 6.3.2, 6.3.3, 6.4.1, 6.4.2, 6.4.3, 6.4.4, 6.4.5)

4.2.1: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΜΕΓΕΘΗ ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

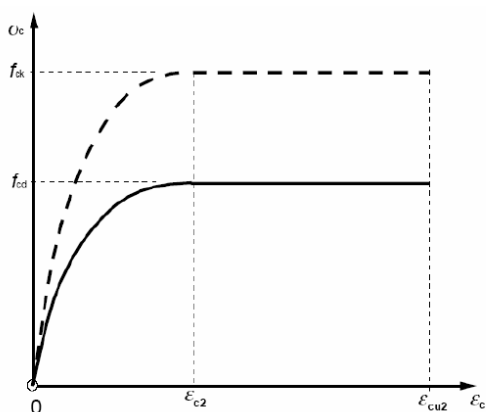
4.2.1.1: ΚΑΜΨΗ ΜΕ Η΄ ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.10) βλέπουμε τις παραμορφώσεις, σύμφωνα με τις οποίες υπολογίζεται η αντοχή.



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.1)

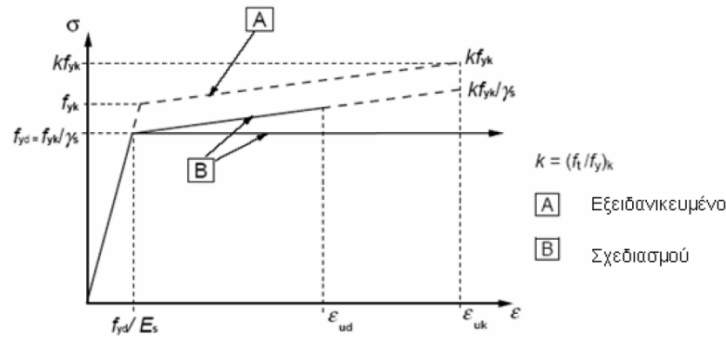
Για τον υπολογισμό της αντοχής μια διατομής χρησιμοποιείται **για το σκυρόδεμα** το επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 4.11):



Σχήμα 4.11: Παραβολικό – ορθογώνιο διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.3)

Η θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές ϵ_{cu2} ή ϵ_{cu3} , ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης.

Για τον υπολογισμό της αντοχής μιας διατομής χρησιμοποιείται **για το συνηθισμένο χάλυβα ή τον χάλυβα προέντασης** το επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 4.12):



Σχήμα 4.12: Διάγραμμα σχεδιασμού τάσεων – παραμορφώσεων για τον χάλυβα (EN 1992-1-1, Σχήμα 3.10)

4.2.1.2: ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για τον υπολογισμό της αντοχής πρέπει:

- να έχουμε αδιατάρακτες περιοχές δοκών, πλακών, στα οποία η διατομή τους πρέπει να είναι περίπου επίπεδη πριν και μετά την φόρτιση
- η παραμόρφωση των χαλαρών οπλισμών σε εφελκυσμό και θλίψη να είναι ίδια με εκείνη του περιβάλλοντος του σκυροδέματος
- η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος να αγνοείται
- οι τάσεις του θλιβόμενου οπλισμού να υπολογίζονται βάσει της σχέσης τάσης – παραμόρφωσης
- οι τάσεις του οπλισμού να υπολογίζονται βάσει των καμπύλων σχεδιασμού

4.2.2: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

4.2.2.1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Για να μην έχουμε απαίτηση σε οπλισμό διάτμησης, πρέπει η επιβαλλόμενη τέμνουσα σχεδιασμού να ικανοποιεί την συνθήκη:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

Η **τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα** προσδιορίζεται από την σχέση:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \text{ (σε N)}$$

$$\underline{\text{με ελάχιστη την } V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d}$$

όπου:

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

$$\rho_1 = (A_{s1} / b_w * d) \leq 0.02$$

A_{s1} : το εμβαδόν του εφελκυσμένου οπλισμού που εκτείνεται σε απόσταση $\geq (l_{bd} + d)$ πέρα από τη θεωρούμενη διατομή (Σχήμα 4.13)

b_w : το ελάχιστο πλάτος της διατομής στην εφελκυστική ζώνη

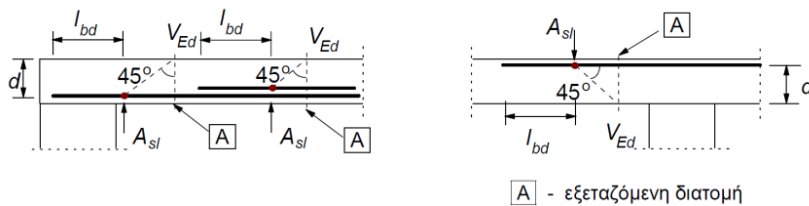
$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0.2f_{cd}$$

N_{Ed} : η αξονική δύναμη στη διατομή

A_c : το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος

$$V_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$$

Η συνιστώμενη τιμή για το $C_{Rd,c}$ είναι $0.18/\gamma_c$



Σχήμα 4.13: Προσδιορισμός του A_{sl} (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.3)

Σε προεντεταμένα στοιχεία, σε περιοχές που δεν έχουν ρηγματωθεί λόγω κάμψης η αντοχή σε τέμνουσα δίνεται από την σχέση:

$$V_{Rd,c} = (I * b_w / S) * \nu * ((f_{ctd})^2 + \alpha_l * \sigma_{cp} * f_{ctd})$$

όπου:

I : η ροπή αδράνειας

b_w : το πλάτος της διατομής στο κέντρο βάρους της

S : η ροπή αντιστάσεως της διατομής περί τον κεντροβαρικό άξονα

$$\alpha_l = I_x / I_{pt2}$$

I_x : η απόσταση της θεωρούμενης διατομής από το σημείο έναρξης του μήκους μετάβασης

I_{pt2} : το άνω όριο του μήκους μετάβασης

σ_{cp} : η θλιπτική τάση του σκυροδέματος στο κέντρο βάρους λόγω αξονικού φορτίου ή προέντασης ($\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$)

4.2.2.2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Για τον **έλεγχο περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού**, οι διαστάσεις πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η σχέση:

$$V_{Ed} > V_{Rd,c}$$

$$\text{έτσι ώστε } V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Η αντοχή σε τέμνουσα V_{Rd} λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή που προκύπτει από τις σχέσεις:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) * z * f_{ywd} * (\cot\theta + \cot\alpha) * \sin\alpha$$

και

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta)$$

όπου:

A_{sw} : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης

s : η απόσταση των συνδετήρων

f_{ywd} : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης

v_1 : δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης

α_{cw} : συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα

Η τιμή της $\cot\theta$ δίνεται στο **Εθνικό Προσάρτημα**.

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

Η **μέγιστη ενεργός διατομή του οπλισμού $A_{sw,max}$** για $\cot\theta = 1$ προκύπτει από την σχέση:

$$(A_{sw,max} * f_{ywd}) / (b_w * s) \leq (1/2 * \alpha_{cw} * v_1 * f_{cd}) / \sin\alpha$$

όπου:

f_{ywd} : η τιμή σχεδιασμού ορίου διαρροής οπλισμού διάτμησης

v_1 : δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης

α_{cw} : ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στην θλιβόμενη διαγώνιο

Σε στοιχεία με φορτία, **τα οποία ασκούνται στην πάνω παρειά δομικού στοιχείου**, μέσα σε μια απόσταση $0.5*d \leq a_v \leq 2.0*d$ η συμβολή του φορτίου αυτού στην **τέμνουσα V_{Ed}** μπορεί να μειωθεί με βάση το συντελεστή $\beta = a_v / 2*d$.

Η τέμνουσα V_{Ed} μετά την μείωση θα πρέπει να πληρεί την συνθήκη:

$$V_{Ed} \leq A_{sw} * f_{ywd} * \sin\alpha$$

4.2.2.3: ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΠΕΛΜΑΤΩΝ – ΚΟΡΜΟΥ

Οι συνδέσεις πελμάτων – κορμού, σύμφωνα με τον κανονισμό **EN 1992-1-1**, πρέπει να ελέγχονται έναντι διαμήκους τέμνουσας τάσης V_{Ed} .

Η **διαμήκης διατμητική τάση V_{Ed}** , στην ένωση μεταξύ πέλματος και κορμού δίνεται από την σχέση:

$$V_{Ed} = \Delta F_d / (h_f * \Delta X)$$

όπου:

h_f : το πάχος του πέλματος στην ένωση

ΔX : το μήκος του θεωρούμενου τμήματος

ΔF_d : η μεταβολή της ορθής δύναμης στο θεωρούμενο τμήμα

Η μέγιστη τιμή που επιτρέπεται για το ΔX είναι το μισό της απόστασης μεταξύ της διατομής όπου μηδενίζεται η ροπή και της διατομής όπου αναπτύσσεται η μέγιστη ροπή.

Το μήκος **ΔX δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει** την απόσταση μεταξύ των φορτίων, όπου ασκούνται μεμονωμένα φορτία.

Προς αποφυγήν της συντριβής των θλιπτήρων του πέλματος, η ακόλουθη σχέση πρέπει να ικανοποιείται:

$$V_{Ed} \leq v * f_{cd} * \sin \theta_f * \cos \theta_f$$

όπου:

Σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα**:

$1.0 \leq \cot \theta_f \leq 2.0$ για θλιβόμενα πέλματα ($45^\circ \geq \theta_f \geq 26.5^\circ$)

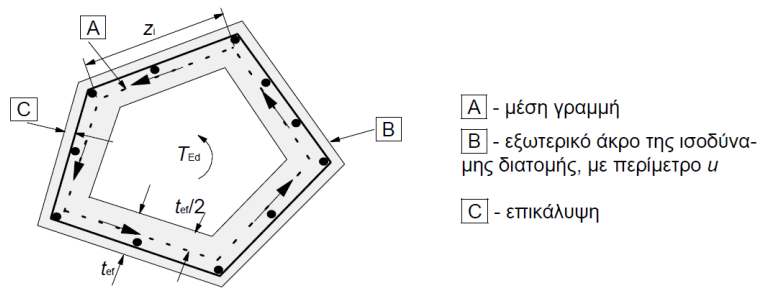
$1.0 \leq \cot \theta_f \leq 1.25$ για εφελκυσόμενα πέλματα ($45^\circ \geq \theta_f \geq 38.6^\circ$)

Εάν ισχύει $V_{Ed} \leq k * f_{ctd}$ τότε **δεν απαιτείται οπλισμός** πέραν εκείνου λόγω της κάμψης.

4.2.3: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΣΤΡΕΨΗ

4.2.3.1: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στον ευρωπαϊκό κανονισμό παραθέτει το (Σχήμα 4.14) που δίνει πληροφορίες για **την ισοδύναμη κοίλη διατομή**.



Σχήμα 4.14: Ισοδύναμη κοίλη διατομή (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.11)

όπου:

A_k : το εμβαδόν που περικλείεται από τη μέση γραμμή των επιμέρους τοιχωμάτων

$\tau_{t,i}$: η διατμητική τάση λόγω στρέψης στο τοίχωμα i

$t_{ef,i}$: το πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής

A : το συνολικό εμβαδόν της διατομής που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο

u : η εξωτερική περίμετρος της διατομής

Z_i : το μήκος του επιμέρους τοιχώματος i οριζόμενο από την απόσταση των σημείων τομής του με τα γειτονικά τοιχώματα

Για να υπάρχει **ταυτόχρονη αντοχή της διατομής σε στέψη και διάτμηση** από την αντοχή λοξών θλιπτήρων πρέπει να ισχύουν:

$$T_{Ed} / T_{Rd,max} + V_{Ed} / V_{Rd,max} \leq 1.0$$

όπου:

T_{Ed} : η τιμή σχεδιασμού της ροπής στέψης

V_{Ed} : η τέμνουσα σχεδιασμού

$T_{Rd,max}$: η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε στέψη

$T_{Rd,max} = 2 \cdot \nu \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$ (όπου ν δείκτης μείωσης της αντοχής και α_{cw} ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στην θλιβόμενη διαγώνιο)

$V_{Rd,max}$: η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα

Όσο αφορά **το εμβαδόν του διαμήκους οπλισμού**, γίνεται λόγος για την δυνατότητα τοποθέτησης συνδετήρων για την ανάληψη στρεπτικών δυνάμεων όμως **δεν δίνεται κάποια σχέση**.

Η εύρεση **του εμβαδού του διαμήκους οπλισμού** ΣA_{s1} γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$(\sum A_{sl} * f_{yd} / u_k) = (T_{Ed} / 2 * A_k) * \cot \theta$$

όπου:

u_k : η περίμετρος της περιοχής A_k

f_{yd} : η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής του διαμήκους σπλισμού A_{sl}

θ : η γωνία των λοξών θλιπτήρων

Στις κλειστές λεπτότοιχες διατομές και συμπαγείς διατομές η στέψη **με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση μπορεί να αγνοείται.**

4.2.4: Ο.Κ.Α ΑΠΟ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

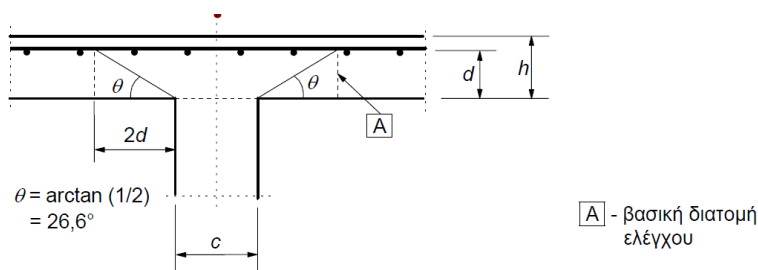
4.2.4.1: ΒΑΣΙΚΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η διάτρηση μπορεί να προέρχεται από ένα μεμονωμένο φορτίο ή αντίδραση, που δρα σε μια μικρή περιοχή, η οποία ονομάζεται **φορτιζόμενη επιφάνεια** A_{load} μια πλάκας ή ενός στοιχείου θεμελίωσης.

Ο υπολογισμός της γωνίας θ για τη βασική διατομή ελέγχου δίνεται από την σχέση:

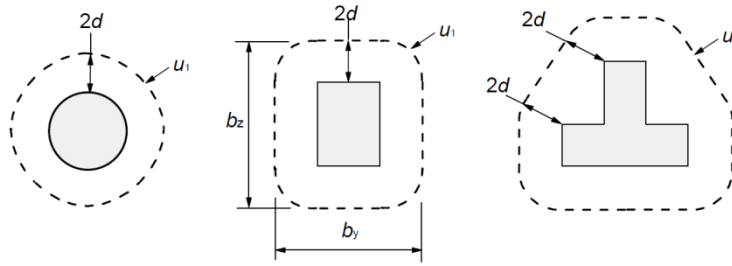
$$\theta = \arctan(1/2) = 26.6^\circ$$

Ένα καλό μοντέλο υπολογισμού για τον **έλεγχο από διάτρηση** δίνεται από το ακόλουθο (Σχήμα 4.15).



Σχήμα 4.15: Μοντέλο υπολογισμού για τον έλεγχο της Ο.Κ. αστοχίας από διάτρηση (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.12α)

Η **περίμετρος της διατομής u_1** λαμβάνεται σε μια απόσταση $2.0d$ από την **φορτιζόμενη επιφάνεια** (Σχήμα 4.16). Πρέπει να ορίζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το μήκος της.



Σχήμα 4.16: Τυπικές βασικές περιμέτροι ελέγχου γύρω από φωρτιζόμενες επιφάνειες (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.13)

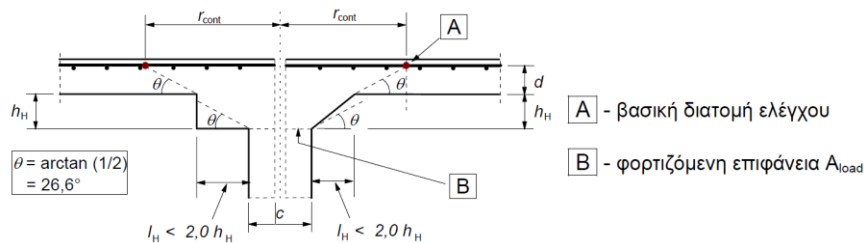
- Για πλάκες επί υποστυλωμάτων με διαπλάτυνση κεφαλής κυκλικής μορφής όπου $l_H < 2.0 \cdot h_H$ (Σχήμα 4.17), ο έλεγχος σε διάτρηση απαιτείται μόνο για την κρίσιμη διατομή στην πλάκα, η οποία απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος r_{cont} ίση με:

$$r_{cont} = 2 \cdot d + l_H + 0.5 \cdot c$$

όπου:

l_H : η απόσταση από την παρειά του υποστυλώματος μέχρι το άκρο του κιονόκρανου

c : η διάμετρος του κυκλικού υποστυλώματος



Σχήμα 4.17: Πλάκα με κιονόκρανο στο οποίο $l_H < 2.0 \cdot h_H$ (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.17)

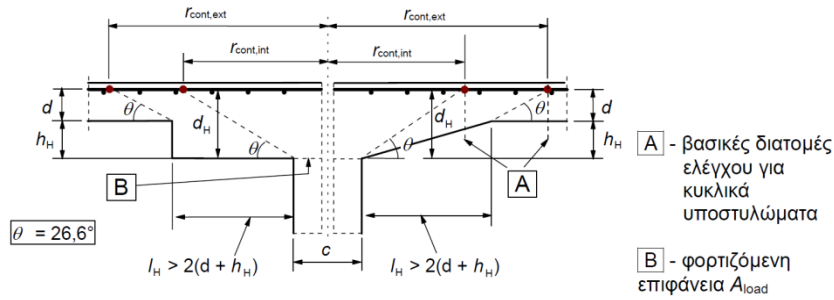
- Για πλάκες επί κυκλικών υποστυλωμάτων, όπου $l_H > 2.0 \cdot (d + h_H)$ (Σχήμα 4.18), οι αποστάσεις των διατομών ελέγχου από το κέντρο του υποστυλώματος:

- για την πλάκα:

$$r_{cont,ext} = l_H + 2d + 0.5c$$

- για την διαπλάτυνση:

$$r_{cont,int} = 2 \cdot (h_H + d) + 0.5c$$



Σχήμα 4.18: Πλάκα με κιονόκρανο στο οποίο $I_H > 2(d + h_H)$ (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.18)

- Για πλάκες επί υποστυλωμάτων με κιονόκρανα στα οποία $I_H > 2.0 \cdot h_H$ ο έλεγχος γίνεται τόσο εντός του κιονόκρανου όσο και στην πλάκα.
- Για πλάκες επί ορθογώνιων υποστυλωμάτων με ορθογώνιο κιονόκρανο το οποίο $I_H < 2.0 \cdot h_H$ και συνολικές διαστάσεις l_1 και l_2 ($l_1 = c_1 + 2l_{H1}$, $l_2 = c_2 + 2l_{H2}$, $l_1 \leq l_2$) η τιμή της r_{con} είναι ίση με την μικρότερη από τις ακόλουθες δύο:

$$r_{cont} = 2 \cdot d + 0.56 \cdot \sqrt{l_1 \cdot l_2} \text{ ή } r_{cont} = 2 \cdot d + 0.69 \cdot l_1$$

4.2.4.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Η διαδικασία ελέγχου που ακολουθεί, σύμφωνα με τον **EN 1992-1-1** είναι απαραίτητη.

- Στην βασική περίμετρο ελέγχου u_1 υπολογίζουμε την αντοχή της πλάκας έναντι διάτρησης και την συγκρίνουμε με την δρώσα τάση. Άρα:
 - όταν $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ **δεν απαιτείται** σπλισμός διάτρησης
 - όταν $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ **τότε απαιτείται** σπλισμός διάτρησης
- Στην περίμετρο του υποστυλώματος ή στην περίμετρο της **φορτιζόμενης επιφάνειας**, δεν επιτρέπεται υπέρβαση της μέγιστης αντοχής σε διάτρηση

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

όπου:

$V_{Rd,max}$: η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης αντοχής σε διάτρηση στην εξεταζόμενη διατομή ελέγχου

Όταν η αντίδραση σε μια στήριξη **δρα έκκεντρα** ως προς την περίμετρο ελέγχου, **η μέγιστη διατμητική τάση** πρέπει να λαμβάνεται ίση με:

$$v_{Ed} = \theta \cdot (V_{Ed} / u_i \cdot d)$$

όπου:

V_{Ed} : η δρώσα τέμνουσα

d : το στατικό μήκος της πλάκας $((d_y + d_z) / 2)$

d_y και d_z : τα στατικά ύψη στις διευθύνσεις y και z της διατομής ελέγχου

u_i : το μήκος της θεωρούμενης περιμέτρου ελέγχου

β : οι τιμές του δίνονται στο **Εθνικό Προσάρτημα** ή υπολογίζονται από αναλυτικές σχέσεις

Η **ασκούμενη διατμητική τάση** είναι ίση με:

$$v_{Ed} = V_{Ed} / u_i * d$$

Οι τιμές για το β σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** είναι:

- Για γωνιακά υποστυλώματα $\beta = 1.50$
- Για περιμετρικά υποστυλώματα $\beta = 1.40$
- Για εσωτερικά υποστυλώματα $\beta = 1.15$

4.2.4.3: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η **αντοχή σε διάτρηση** μπορεί να υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp} \text{ και } \geq (V_{min} + k_1 * \sigma_{cp})$$

όπου:

k_1 : σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** είναι 0.1

$$\rho_1 = \sqrt{(\rho_{1y} * \rho_{1z})} \leq 0.02$$

ρ_{1y} και ρ_{1z} : αναφέρονται στον εφελκόμενο οπλισμό με συνάφεια στις διευθύνσεις y και z , αντιστοίχως.

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{1y} + \sigma_{1z}) / 2$$

σ_{1y} και σ_{1z} : είναι οι ορθές τάσεις στο σκυρόδεμα της κρίσιμης διατομής στις διευθύνσεις y και z

$C_{Rd,c}$: σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** είναι $0.18 / \gamma_c$

4.2.4.4: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Όταν **απαιτείται οπλισμός διάτρησης**, υπολογίζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$V_{Rd,cs} = 0.75 * V_{Rd,c} + 1.5 * (d / s_r) * A_{sw} * f_{ywd,ef} * (1 / (u_1 * d)) * \sin \alpha$$

όπου:

A_{sw} : το εμβαδόν του οπλισμού διάτμησης καταμήκος μιας από τις περιμέτρους γύρω από το υποστυλώμα

s_r : η αξονική απόσταση των περιμέτρων του οπλισμού διάτμησης

$f_{ywd,ef}$: η δρώσα τιμή σχεδιασμού της αντοχής του οπλισμού διάτμησης

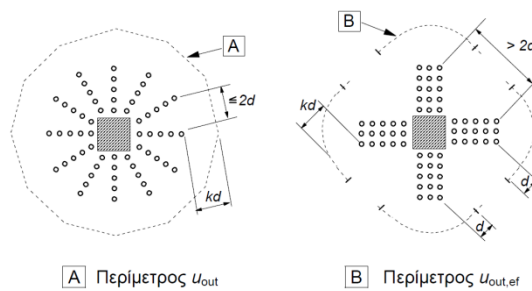
$$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25 * d \leq f_{ywd}$$

d : ο μέσος όρος των στατικών υψών σε δύο κάθετες διευθύνσεις

α : η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτμησης με το επίπεδο της πλάκας

Η **περίμετρος ελέγχου** σε εξωτερικά υποστυλώματα (Σχήμα 4.19) πέρα από την οποία **δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης** u_{out} δίνεται από την σχέση:

$$u_{out,ef} = \theta * V_{Ed} / (v_{Rd,c} * d)$$



Σχήμα 4.19: Περίμετροι ελέγχου σε εσωτερικά υποστυλώματα (EN 1992-1-1, Σχήμα 6.22)

ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1: ΚΑΝΟΝΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000

(ΚΕΦ 17.2.3, 17.5, 17.6.1, 17.6.2, 17.6.3, 17.6.4, 17.7.1, 17.7.2.1, 17.7.2.2, 17.7.2.3, 17.7.2.4, 17.7.3, 17.7.4, 17.8.3, 17.8.4, 17.8.5, 17.9, 17.9.1, 17.11, 17.12.1, 17.12.2)

5.1.1: ΚΑΜΠΥΛΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

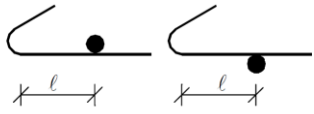
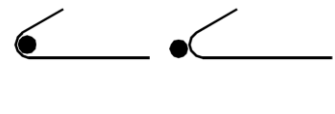
Η επιτρεπόμενη ελάχιστη διάμετρος D καμπύλωσης των ράβδων, σύμφωνα με τον κανονισμό, δίνεται από τον ακόλουθο (Πίνακας 5.1).

Α	Διάμετρος ράβδου \varnothing (mm)	Άγκιστρα	
		S220	S400, S500
1	$\varnothing < 20$	2.5 \varnothing	4.0 \varnothing
2	$\varnothing \geq 20$	5.0 \varnothing	7.0 \varnothing
Β	Επικάλυψη σκυροδέματος κάθετη στην επιφάνεια καμπύλωσης και απόσταση αξόνων ράβδων οπλισμού	Κάμψεις και άλλες καμπυλώσεις (π.χ. σε γωνίες πλαισίων)	
		S220	S400, S500
1	$> 100\text{mm}$ και $> 7\varnothing$	10 \varnothing	10 \varnothing
2 (*)	$> 50\text{mm}$ και $> 3\varnothing$	10 \varnothing	15 \varnothing
3 (*)	$\leq 50\text{mm}$ ή $\leq 3\varnothing$	15 \varnothing	20 \varnothing

(*) Αν κάμπτονται στην ίδια θέση ράβδοι περισσότερων στρώσεων τότε οι τιμές διαμέτρων D για ράβδους εσωτερικών στρώσεων θα αυξάνονται κατά 50%.

Πίνακας 5.1: Ελάχιστη διάμετρος D καμπύλωσης (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.1)

Για συγκολλητούς οπλισμούς και συγκολλητά δομικά πλέγματα που κάμπτονται μετά την συγκόλληση ισχύει (Πίνακας 5.2):

Συγκολλήσεις εκτός καμπύλου τμήματος	Συγκολλήσεις εντός καμπύλου τμήματος
	
$l < 4 \varnothing : 20 \varnothing$ $l \geq 4 \varnothing : \text{Ισχύουν οι τιμές του Πιν. 17.1}$	20 \varnothing

Πίνακας 5.2: Ελάχιστη διάμετρος D καμπύλωσης για συγκολλητούς οπλισμούς (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.2)

5.1.2: ΟΡΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

Η ποιότητα της συνάφειας εξαρτάται από:

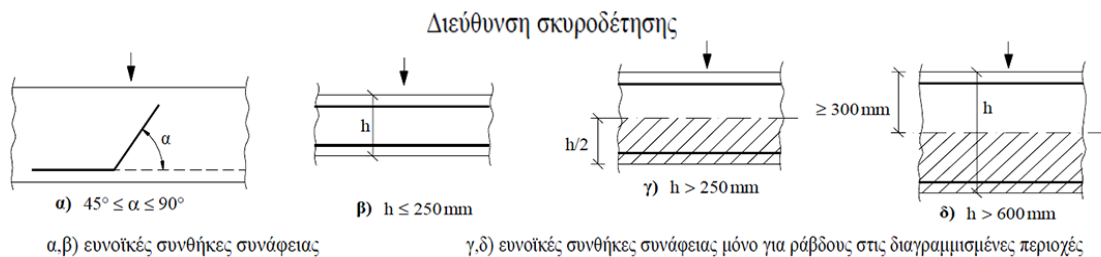
- την μορφή της επιφάνειας της ράβδου
- την διάσταση του δομικού στοιχείου
- την θέση και κλίση του οπλισμού κατά την σκυροδέτηση

Οι τάσεις συνάφειας θεωρούνται σταθερές κατά το μήκος των ράβδων.

Ο προσδιορισμός των μηκών αγκυρώσεως και υπερκαλύψεων βασίζεται στην τιμή σχεδιασμού της τάσεως συνάφειας f_{bd} .

Έχουμε **δύο περιοχές συνάφειας** (Σχήμα 5.1):

- **Περιοχή συνάφειας I:** οι συνθήκες συνάφειας είναι ευνοϊκές
- **Περιοχή συνάφειας II:** οι συνθήκες συνάφειας δεν είναι ευνοϊκές για ράβδους, οι οποίες:
 - έχουν κλίση ως προς την οριζόντια $0-45^\circ$ για κατακόρυφη σκυροδέτηση
 - βρίσκονται σε στοιχεία με πάχος κατά τη διεύθυνση σκυροδέτησεως μεγαλύτερο από 250 mm
 - είναι τοποθετημένες στο πάνω μισό πάχος του στοιχείου
 - το πάχος του σκυροδέματος που τις καλύπτει είναι μικρότερο από 300 mm



Σχήμα 5.1: Τυπικές συνθήκες συνάφειας (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.1)

Ο ακόλουθος (Πίνακας 5.3) του **ΕΚΟΣ 2000** καθορίζει τις περιοχές συνάφειας I και II.

		Πάχος στοιχείου			
		Μικρότερο ή ίσο από 250mm	Μεγαλύτερο από 250mm		
			Η ράβδος βρίσκεται στο:		
			Κάτω ήμισυ	Άνω ήμισυ	
Η ράβδος καλύπτεται από σκυρόδεμα πάχους:					
			< 300mm	≥ 300mm	
Κλίση ως προς την οριζόντια	0 – 45°	I	I	II	I
	45 – 90°	I	I	I	I

Πίνακας 5.3: Καθορισμός των περιοχών συνάφειας (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.3)

Οι τιμές του ακόλουθου (Πίνακας 5.4) για τις **βασικές τιμές σχεδιασμού f_{bd}** προκύπτουν από τους τύπους:

- για λείες ράβδους:

$$f_{bd} = f_{ckt0.05} / \gamma_c$$

- για ράβδους υψηλής συνάφειας:

$$f_{bd} = 2.25 * f_{ckt0.05} / \gamma_c$$

Περιοχή συνάφειας I	f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
	Λείες ράβδοι	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
	Ράβδοι $\varnothing \leq 32$ υψηλής συνάφειας	1.6	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.3
Περιοχή συνάφειας II	70% των τιμών της περιοχής συνάφειας I									

Πίνακας 5.4: Βασικές τιμές f_{bd} (MPa) (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.4)

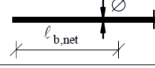
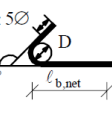
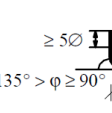
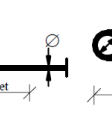
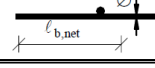
Για ράβδους με υψηλή συνάφεια και $\varnothing \leq 32\text{mm}$ οι τιμές f_{bd} πρέπει να μειώνονται πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή $\eta = (132 - \varnothing) / 100$. (\varnothing σε mm)

Η **ελάχιστη επικάλυψη** $\varnothing + 10\text{mm}$ ή 20mm είναι ικανή να καλύψει την ανάπτυξη και μεταβίβαση των τάσεων συνάφειας.

5.1.3: ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ

Οι αγκυρώσεις σύμφωνα με την αποδοτικότητα τους, **διακρίνονται σε 4 τύπους** (Πίνακας 5.5):

- ευθύγραμμες αγκυρώσεις
- καμπύλες αγκυρώσεις (άγκιστρα ημικυκλικά, ορθογωνικά, αναβολείς) με ελάχιστη διάμετρο D ίση με αυτή των σειρών A,1 και A,2 του ακόλουθου πίνακα
- ευθύγραμμες αγκυρώσεις με τουλάχιστον μια συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο στο μήκος της αγκύρωσης
- αγκυρώσεις με πρόσθετα στοιχεία

Τύποι Αγκύρωσης	Συντελεστής α	
	Ράβδοι υπό:	
	Εφ'όψει	Θάλη
1 	1.0	1.0
2 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>άγκιστρα ημικυκλικά</p>  <p>$\varnothing \geq 5\varnothing$ $\varphi \geq 135^\circ$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>άγκιστρα ορθογωνικά</p>  <p>$\geq 5\varnothing$ $135^\circ > \varphi \geq 90^\circ$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>αναβολείς</p>  </div> </div>	0.7	1.0
3 	0.7	0.7

Πίνακας 5.5: Τύποι αγκυρώσεων και τιμές του συντελεστή α της εξίσωσης για το $l_{b,net}$ που ακολουθεί (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.1)

Η ελάχιστη διάμετρος (D) καμπύλωσης αναβολέων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως ελκυστήρες, προσδιορίζεται από την σχέση:

$$D / \emptyset = (0.5 * \emptyset / e) * (f_{yd} / f_{cd})$$

όπου:

\emptyset : η διάμετρος της ράβδου

e: η απόσταση των διαφόρων στρώσεων των αναβολέων μεταξύ τους ή η εγκάρσια επικάλυψη σκυροδέματος των εξωτερικών στρώσεων.

Το βασικό μήκος αγκύρωσης l_b είναι το μήκος αυτό, με την πλήρη εκμετάλλευση της αντοχής της ράβδου.

Για μεμονωμένες ράβδους και συγκολλητά πλέγματα ραβδών με νευρώσεις **το l_b είναι:**

$$l_b = (\emptyset/4) * (f_{yd} / f_{bd})$$

όπου:

f_{bd} : η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας

f_{yd} : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του χάλυβα

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{b,net}$ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$l_{b,net} = \alpha * l_b * (A_{s,req} / A_{s,prov}) \geq l_{b,min}$$

όπου:

$A_{s,req}$: η θεωρητικά απαιτούμενη διατομή οπλισμού

$A_{s,prov}$: η υπάρχουσα διατομή οπλισμού

α : συντελεστής εξαρτώμενος από τον τύπο αγκύρωσης (≥ 0.5)

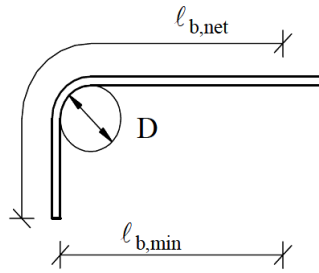
$l_{b,min}$: το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης

- $= 0.3 * l_b$ ($\geq 10\emptyset$) για ράβδους υπό εφελκυσμό
- $= 0.6 * l_b$ ($\geq 10\emptyset$) για ράβδους υπό θλίψη

l_b : το βασικό μήκος αγκύρωσης

Για ράβδους οι οποίες συμβάλλουν στην αντοχή κρίσιμων περιοχών δομικών στοιχείων, **με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας** και αγκυρώνονται μέσα στην κρίσιμη περιοχή, πρέπει να λαμβάνεται $A_{s,rep} / A_{s,prov} = 1.0$.

Τα συγκολλητά δομικά πλέγματα με λείες ράβδους, προσδιορίζονται από τον παραπάνω τύπο για το $l_{b,net}$, **εάν υπάρχουν εγκάρσιες ράβδοι εντός του μήκους αγκύρωσης** τουλάχιστον ίσες με $n = 4 * (A_{s,req} / A_{s,prov})$.



Σχήμα 5.2: Μήκος αγκύρωσης για καμπύλες ράβδους με διάμετρο τυμπάνου D σύμφωνα με τις σειρές B.1 και B.3 του (Πίνακας 5.5) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.3)

Σημαντικός είναι και ο ρόλος του **εγκάρσιου οπλισμού**, αφού σε περιοχές αγκυρώσεων πρέπει να τοποθετείται.

Το ελάχιστο εμβαδόν του εγκάρσιου οπλισμού πρέπει να είναι το **25%** του εμβαδού της μέγιστης από τις αγκυρούμενες ράβδους.

Ο σκοπός του εγκάρσιου οπλισμού είναι:

- η αποφυγή διαμήκης ρηγμάτωσης
- η αποφυγή της εκτίναξης του σκυροδέματος, η οποία οφείλεται στην πίεση που ασκείται στο σκυροδέμα από το άκρο θλιβόμενης ράβδου

5.1.4: ΕΝΩΣΕΙΣ

Οι ενώσεις οπλισμών μπορούν να γίνουν με:

- υπερκάλυψη των ράβδων με ευθύγραμμα άκρα
- συγκόλληση
- μηχανικά μέσα

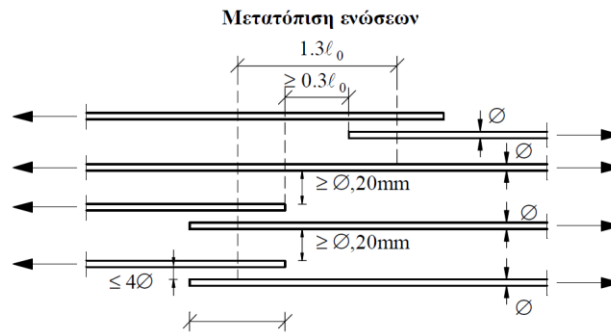
Η διάταξη για την **απόσταση αξόνων υπερκαλυπτόμενων ράβδων** είναι $\leq 4\phi$. Αν δεν μπορεί να τηρηθεί η παραπάνω διάταξη τότε, πρέπει **το μήκος της υπερκάλυψης** να αυξάνεται κατά $(\kappa - 4)\phi$.

όπου:

$$\kappa > 4$$

ϕ : η πραγματική απόσταση μεταξύ ράβδων

Όταν **η απόσταση των μέσων δύο γειτονικών ενώσεων** είναι μεγαλύτερη από $1.3 * l_0$, τότε **οι ενώσεις με υπερκάλυψη θεωρούνται μετατοπισμένες**.



Σχήμα 5.3: Απόσταση των ράβδων οπλισμού στην περιοχή ένωσης (ΕΚΩΣ 2000, Σχήμα 17.2)

Σύμφωνα με το παραπάνω (Σχήμα 5.3) του **ΕΚΩΣ 2000**, υπάρχουν οι εξής περιορισμοί:

- η διαμήκης απόσταση ανάμεσα σε δύο γειτονικές ενώσεις πρέπει να είναι $\geq 0.3 l_0$
- η απόσταση ανάμεσα σε δύο γειτονικές ράβδους πρέπει να είναι $\geq \emptyset, 20mm$

Το **απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης l_0 των εφελκόμενων ράβδων** υπολογίζεται με τον τύπο:

$$l_0 = \alpha_1 * l_{b,net} \geq l_{0,min}$$

όπου:

$l_{b,net}$: το μήκος αγκύρωσης

α_1 : συντελεστής που δίνεται στον (Πίνακας 5.6)

$l_{0,min}$: το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης ($=\max(0.3 * \alpha * \alpha_1 * l_b, 15\emptyset, 200mm)$)

Το **απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης l_0 των θλιβόμενων ράβδων** υπολογίζεται με τον τύπο:

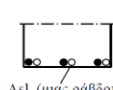
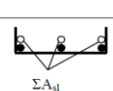
$$l_0 \geq l_{b,net}$$

Απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών ενώσεων (a)	Απόσταση από την πλησιέστερη επιφάνεια (b)	Για υπερκαλυπτόμενες ράβδους (ποσοστό σε σχέση με την ολική διατομή χάλυβα)					Για εγκάρσιους οπλισμούς διανομής
		20%	25%	33%	50%	>50%	
$a \leq 10\emptyset$ είτε $b \leq 5\emptyset$		1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	1.0
$a > 10\emptyset$ και $b > 5\emptyset$		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	

Πίνακας 5.6: Συντελεστές α_1 (ΕΚΩΣ 2000, Πίνακας 17.5)

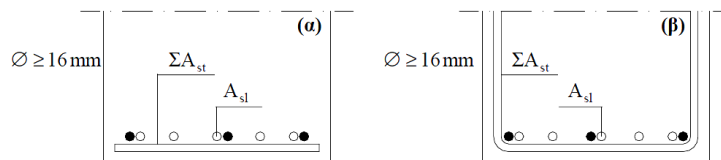
Σημαντικός είναι και ο **εγκάρσιος οπλισμός στις περιοχές υπερκαλύψεων**, αφού είναι αυτός που παραλαμβάνει τις εγκάρσιες εφελκυστικές δυνάμεις. Ο ήδη προϋπάρχων εγκάρσιος οπλισμός προτίθεται στον εγκάρσιο οπλισμό.

Ο απαιτούμενος εγκάρσιος οπλισμός δίνεται στον (Πίνακας 5.7).

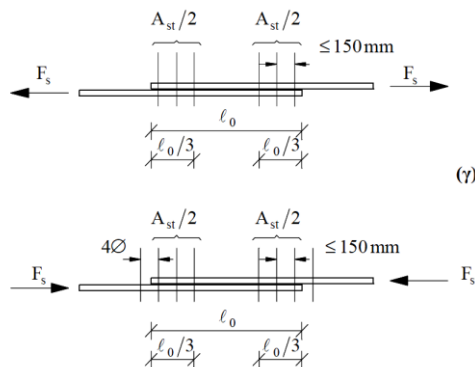
1	2	3	4	5		6
Θέση υπερκαλυπτόμενων ράβδων	∅ ράβδων (mm)	Ποσοστό υπερκαλυπτόμενων ράβδων	Απόσταση γειτονικών υπερκαλύψεων κατά την έννοια του μήκους	Εγκάρσιος οπλισμός ΣA _{st}		Σχήμα
				Ποσότητα	Τοποθέτηση	
 Asl (μιας ράβδου)	< 16	Τυχόν	Τυχούσα	Δεν απαιτείται ειδικότερη φροντίδα		Σ 17.6α
	≥ 16	≤ 20%	Τυχούσα	ΣA _{st} ≥ A _{sl}	Ευθύγραμμες ράβδοι τοποθετημένες εξ εσωτερικά	
		> 20% ≤ 50%				
		> 50%	≥ 10∅			
 ΣA _{sl}	Τυχόντα		ΣA _{st} ≥ ΣA _{sl}	Σε μορφή συνδετήρα	Σ 17.7	
Σημ. Μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση ράβδων εγκάρσιου οπλισμού ίση με 150 mm						

Πίνακας 5.7: Απαιτούμενος εγκάρσιος οπλισμός στην περιοχή υπερκάλυψης κύριων οπλισμών (ΕΚΟΣ 2000, Πίνακας 17.6)

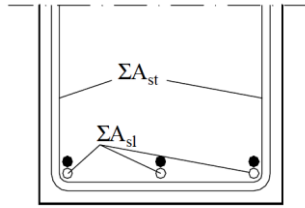
Τα επόμενα (Σχήμα 5.4), (Σχήμα 5.5), (Σχήμα 5.6) είναι τα σχήματα της στήλης 6 του παραπάνω (Πίνακας 5.7).



Σχήμα 5.4: Διατάξεις του (Πίνακας 2.1) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.6 α&β)



Σχήμα 5.5: Διατάξεις του (Πίνακας 2.1) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.6 γ)



Σχήμα 5.6: Διατάξεις του (Πίνακας 2.1) (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.7)

Με **κοχλίωση** επιτρέπεται να ενωθούν όλες οι ράβδοι σε μια διατομή.

Τα μέσα σύνδεσης **πρέπει να ικανοποιούν** τις παρακάτω απαιτήσεις:

- η δύναμη διαρροής να είναι αντίστοιχη του $1.0 \cdot f_{yk} \cdot A_s$
- η δύναμη αντοχής να είναι αντίστοιχη του $1.2 \cdot f_{tk} \cdot A_s$

όπου:

f_{yk} : το όριο διαρροής

f_{tk} : η εφελκυστική αντοχή

A_s : η διατομή της προς σύνδεσης ράβδου

Με **συγκόλληση** επιτρέπεται να ενωθούν όλες οι ράβδοι σε μια διατομή του δομικού στοιχείου.

5.1.5: ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

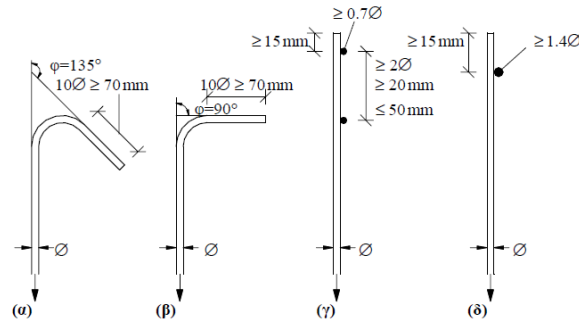
Οι οπλισμοί **διάτμησης** μπορούν να αποτελούνται από:

- κάθετους ή κεκλιμένους συνδετήρες και εγκάρσιους συνδέσμους
- κεκλιμένες λοξές ράβδους
- σπείρες
- συνδυασμό των πιο πάνω

Οι **κεκλιμένοι συνδετήρες** και κυρίως σε κρίσιμες περιοχές με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει να **εξασφαλίζονται έναντι μεταθέσεως** (π.χ. ηλεκτροσυγκόλληση πάνω στις διαμήκεις ράβδους)

Η αγκύρωση των συνδετήρων γίνεται σύμφωνα με το (Σχήμα 5.7).

Οι διατάξεις γ) και δ) στο ακόλουθο (Σχήμα 5.7) επιτρέπονται μόνο όταν η **επικάλυψη** στην περιοχή αγκύρωσης είναι **τουλάχιστον 50mm**.



Σχήμα 5.7: Διατάξεις αγκυρώσεων συνδετήρων (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα 17.3)

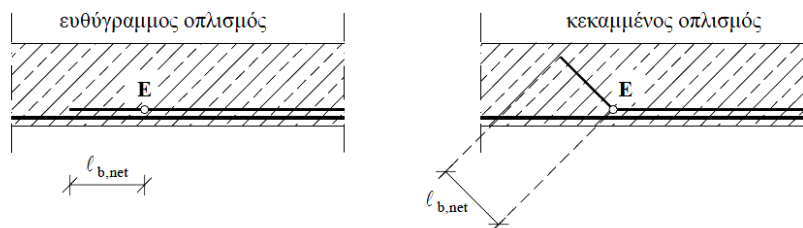
5.1.6: ΣΥΜΠΗΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, για τον **ΕΚΟΣ 2000** θα γίνει αναφορά:

❖ Στις ειδικές διατάξεις για τους εφελκόμενους οπλισμούς

- Για αγκυρώσεις εκτός στηρίξεων

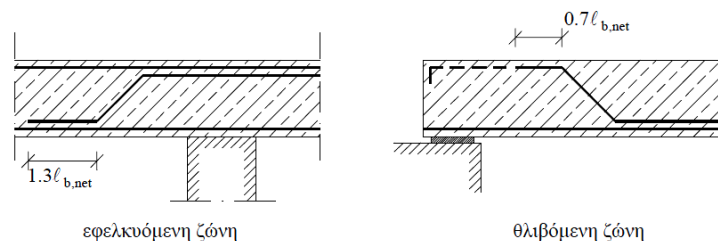
Το **μήκος αγκύρωσης οπλισμού** που **δεν** χρησιμοποιείται ως οπλισμός διάτμησης (Σχήμα 5.8), μετριέται από το θεωρητικό άκρο E και είναι ίσο με $l_{b,net}$



Σχήμα 5.8: Παράδειγμα αγκύρωσης κλιμακούμενων οπλισμών, οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται ως οπλισμοί διάτμησης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.10)

Τα **μήκη αγκύρωσης ράβδων** που κάμπτονται για να παραλάβουν και τέμνουσες, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσα με:

- $1.3 * l_{b,net}$ στις εφελκόμενες ζώνες (Σχήμα 5.9)
- $0.7 * l_{b,net}$ στις θλιβόμενες ζώνες (Σχήμα 5.9)



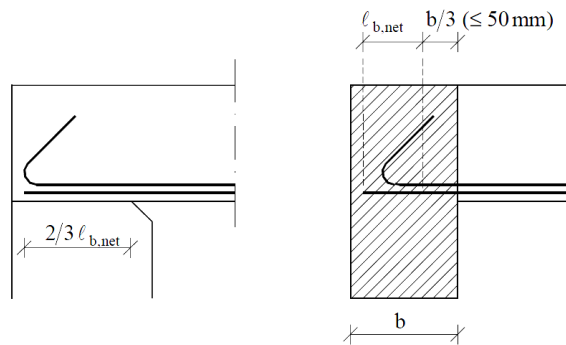
Σχήμα 5.9: Παράδειγμα αγκύρωσης κλιμακούμενων οπλισμών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως οπλισμοί διάτμησης (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.11)

- **Για αγκυρώσεις σε ακραίες στηρίξεις**

Η αγκύρωση σε ακραίες στηρίξεις, πρέπει **να μπορεί να αναλάβει εφελκυστική δύναμη**:

$$F_t = V_{Sd} * a_l / z$$

Το **μήκος αγκύρωσης** για άμεση στήριξη είναι ίσο με $2/3 * l_{b,net}$ όπως φαίνεται στο ακόλουθο (Σχήμα 5.10).

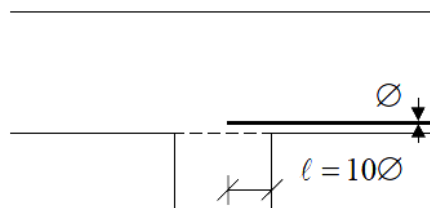


Σχήμα 5.10: Αγκυρώσεις σε ακραίες στηρίξεις (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.12)

- **Για αγκυρώσεις σε ενδιάμεσες στηρίξεις**

Ορισμένοι οπλισμοί προεκτείνονται **σε ενδιάμεσες στηρίξεις** ή σε ακραίες στηρίξεις που συνεχίζονται σε πρόβολο. Η διαμόρφωση της αγκύρωσης γίνεται ως εξής:

- Για δοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και για πλάκες (Σχήμα 5.11), οι οπλισμοί προεκτείνονται μέσα στη στήριξη τουλάχιστον κατά 10ϕ .
- Για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας η αγκύρωση γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις για αγκύρωση διαμήκους οπλισμού (κεφ 18.3.5 **ΕΚΩΣ 2000**)



Σχήμα 5.11: Αγκύρωση σε ενδιάμεση στήριξη για πλάκες και δοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (ΕΚΟΣ 2000, Σχήμα Σ 17.13)

❖ **Στον κανόνα για οπλισμούς συρραφής σε αρμούς διακοπής σκυροδέτησης**

Οι εσωτερικές επίπεδες επιφάνειες του σκυροδέματος που καταπονούνται από διατμητικές δυνάμεις, για τις οποίες δεν προβλέπονται ειδικοί έλεγχοι, **πρέπει να διασχίζονται από οπλισμούς** που θα αγκυρώνονται και στις δυο πλευρές των επιφανειών.

Οι οπλισμοί αυτοί πρέπει να **σχηματίζουν γωνία** με τις επιφάνειες αυτές 45° - 90°.

Η τιμή της **δύναμης ολίσθησης σχεδιασμού** ανά μονάδα μήκους αρμού, πρέπει να επαληθεύεται από την σχέση:

$$V_{Sd} \leq (A_s / s) * f_{yd} * (1 + \cot \alpha) * \sin \alpha$$

όπου:

A_s : το άθροισμα των διατομών των οπλισμών που σχηματίζουν στρώση οπλισμού συρραφής

s : η απόσταση μεταξύ των οπλισμών συρραφής

f_{yd} : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού συρραφής

α : η γωνία του οπλισμού με την υπόψη επίπεδη επιφάνεια

5.1.7: ΔΕΣΜΕΣ ΡΑΒΔΩΝ

Δέσμες ράβδων επιτρέπονται για μόνο για ράβδους υψηλής συνάφειας και διατομής **έως 28mm**. Οι ράβδοι μιας δέσμης πρέπει να έχουν ίδια διάμετρο και χαρακτηριστικά.

Σε διαδικασία μελέτης, οι δέσμες αντικαθίστανται από μια **ιδεατή ράβδο** που ορίζεται από την σχέση:

$$\emptyset_n = \emptyset n(n) \leq 55mm$$

όπου:

$n \leq 4$: για κατακόρυφες θλιβόμενες ράβδους και για ράβδους μιας ένωσης με υπερκάλυψη

$n \leq 3$: για όλες τις άλλες περιπτώσεις

Αγκυρώσεις και ενώσεις με υπερκάλυψη δεσμών, πραγματοποιούνται με την αγκύρωση και υπερκάλυψη των μεμονωμένων ράβδων.

Οι αγκυρώσεις των ράβδων μιας δέσμης επιτρέπεται να είναι **μόνο ευθύγραμμες**. Οι μεμονωμένες ράβδοι πρέπει να τελειώνουν κατά αποστάσεις.

Για δέσμες 2, 3 ή 4 ράβδων οι αποστάσεις αυτές θα πρέπει να είναι αντίστοιχα 1.2, 1.3 και 1.4 φορές το μήκος αγκύρωσης των μεμονωμένων ράβδων.

Σε καμιά διατομή, η δέσμη δεν μπορεί να αποτελείται από περισσότερες από 4 ράβδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.2: ΚΑΝΟΝΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

(ΚΕΦ 8.3, 8.4.1, 8.4.2, 8.4.3, 8.4.4, 8.5, 8.7.1, 8.7.2, 8.7.3, 8.7.4.1, 8.7.4.2, 8.7.5.1, 8.7.5.2, 8.8, 8.9.1, 8.9.2, 8.9.3)

5.2.1: ΚΑΜΠΥΛΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης μιας ράβδου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να υπάρχει αποφυγή:

- ρηγμάτων στη ράβδο
- αστοχία στο σκυρόδεμα στο εσωτερικό της καμπύλης της ράβδου

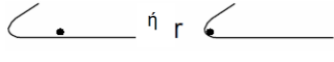
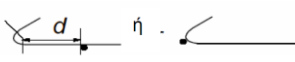
Άρα προς αποφυγή βλάβης στους οπλισμούς, η διάμετρος καμπύλωσης της ράβδου ή διάμετρος τυμπάνου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $\emptyset_{m,min}$.

Οι τιμές του $\emptyset_{m,min}$ αναφέρονται στο **Εθνικό Προσάρτημα**. Οι συνιστώμενες τιμές δίνονται στο (Πίνακας 5.8).

a) για ράβδους και σύρματα

Διάμετρος ράβδου	Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου για καμπυλώσεις, άγκιστρα και βρόχους (βλέπε σχήμα 8.1)
$\emptyset \leq 16 \text{ mm}$	4 \emptyset
$\emptyset > 16 \text{ mm}$	7 \emptyset

b) για συγκολλητούς οπλισμούς και δομικά πλέγματα που καμπυλώνονται μετά από συγκόλληση

Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου	
	
5 \emptyset	$d \geq 3\emptyset : 5\emptyset$ $d < 3\emptyset$ ή συγκόλληση εντός καμπύλου μήκους: 20 \emptyset
Σημείωση : Το μέγεθος τυμπάνου για συγκόλληση εντός καμπύλου μήκους μπορεί να μειωθεί στο 5 \emptyset όταν η συγκόλληση εκτελείται σύμφωνα με το prEN ISO 17660 Παράρτημα B	

Πίνακας 5.8: Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου προς αποφυγή βλάβης των οπλισμών (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.1N)

Η διάμετρος τυμπάνου δεν χρειάζεται να ελεγχθεί έναντι αστοχίας του σκυροδέματος όταν:

- η αγκύρωση της ράβδου δεν απαιτεί μεγαλύτερο μήκος από 5 \emptyset πέραν του άκρου καμπύλωσης
- η ράβδος δεν είναι τοποθετημένη επιφανειακά και υπάρχει μια εγκάρσια ράβδος με διάμετρο $\geq \emptyset$ εντός του καμπύλου μήκους
- η διάμετρος τυμπάνου είναι τουλάχιστον ίση με τις συνιστώμενες τιμές που δίνονται στον παραπάνω πίνακα

Διαφορετικά πρέπει η **διάμετρος τυμπάνου** να αυξηθεί σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση

$$\phi_{m,min} \geq F_{bt} * ((1 / a_b) + (1 / 2\phi)) / f_{cd}$$

όπου:

F_{bt} : η εφελκυστική δύναμη υπό τα φορτία αστοχίας σε μια ράβδο ή ομάδα ράβδων στην αρχή της καμπύλωσης

a_b : για συγκεκριμένη ράβδο ή ομάδα ράβδων, είναι το ήμισυ της απόστασης από το κέντρο σε κέντρο μεταξύ των ράβδων

: για μια ράβδο ή ομάδα ράβδων κοντά στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου, το a_b είναι ίσο με την επικάλυψη συν $\phi / 2$

5.2.2: 5.2.2: ΟΡΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

Η οριακή αντοχή συνάφειας πρέπει να είναι επαρκής ώστε να αποκλείεται αστοχία της συνάφειας.

Για ράβδους με νευρώσεις, η **τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας (f_{bd})** είναι:

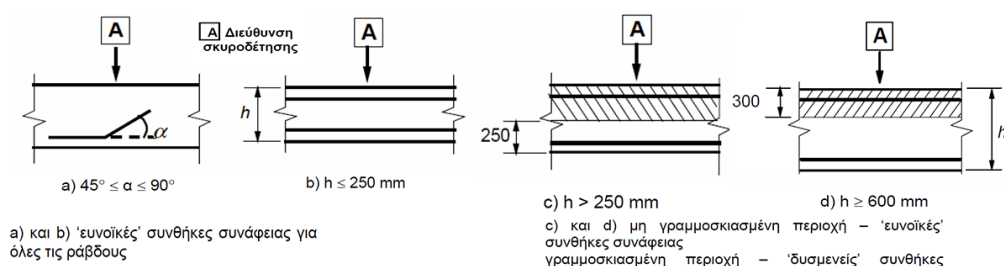
$$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

όπου:

f_{ctd} : η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος (σελ 16)

η_1 : όταν εξασφαλίζονται ευνοϊκές συνθήκες, ο συντελεστής αυτός είναι ίσος με 1.0. Ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση είναι ίσος με 0.7. Βλέπε (Σχήμα 5.12)

η_2 : 1.0 για $\phi \leq 32mm$ & $(132 - \phi) / 100$ για $\phi > 32mm$

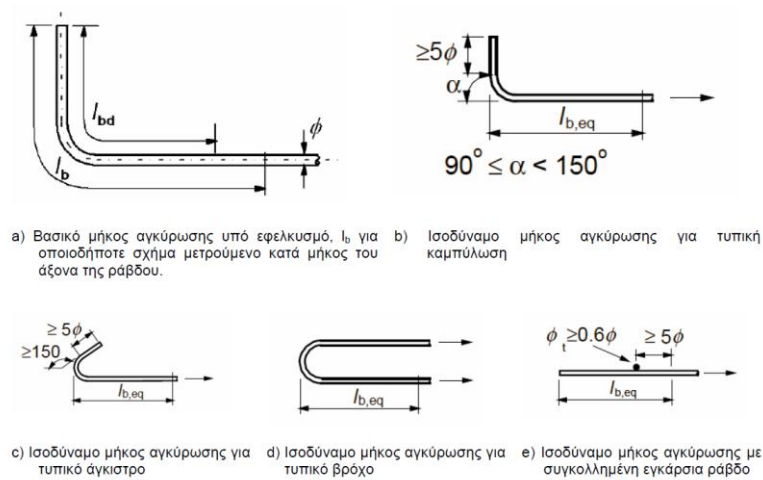


Σχήμα 5.12: Διακρίση συνθηκών συνάφειας (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.2)

5.2.3: ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ

Η αγκύρωση των ράβδων οπλισμού, των συρμάτων ή των συγκολλητών δομικών πλεγμάτων είναι απαραίτητη, ώστε να διασφαλίζεται η μεταβίβαση της δύναμης συνάφειας **με ασφάλεια στο σκυρόδεμα**, χωρίς την εμφάνιση διαμηκών ρηγματώσεων ή αποφλειώσεων.

Το επόμενο (Σχήμα 5.13) δείχνει τις μεθόδους αγκύρωσης σύμφωνα με τον EN 1992-1-1



Σχήμα 5.13: Μέθοδοι αγκύρωσης μη ευθυγράμμων ράβδων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.1)

Το βασικό μήκος αγκύρωσης $l_{b,rqd}$ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) * (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

όπου:

σ_{sd} : η τάση σχεδιασμού της ράβδου

Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd} είναι:

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

όπου:

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$: συντελεστές που δίνονται στον (Πίνακας 5.9)

α_1 : Αναφέρεται στην επιρροή της μορφής των ράβδων με την παραδοχή επαρκούς επικάλυψης (Σχήμα 5.13)

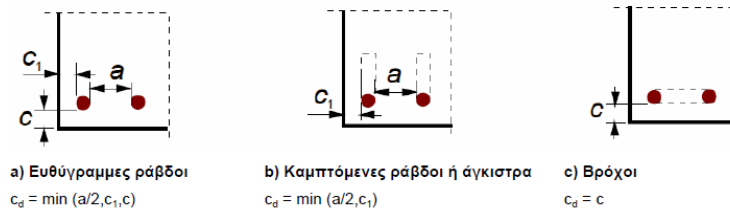
α_2 : Αναφέρεται στην επιρροή της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος (Σχήμα 5.14)

$l_{b,min}$: το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης

- $l_{b,min} > \max (0.3 * l_{b,rqd}, 10\phi, 100 \text{ mm})$
- $l_{b,min} > \max (0.6 * l_{b,rqd}, 10\phi, 100 \text{ mm})$

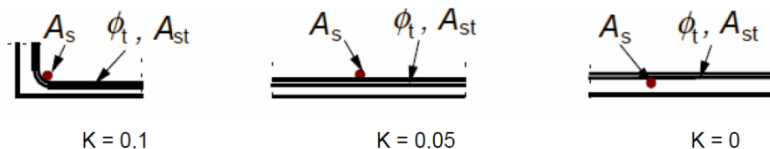
Παράγοντας επιρροής	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 8.1 (b), (c) και (d))	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $c_d > 3\phi$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 8.3 για τιμές του c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη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

Πίνακας 5.9: Τιμές των συντελεστών $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.2)



Σχήμα 5.14: Τιμές c_d για δοκούς και πλάκες (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.3)

Ακολουθεί (Σχήμα 5.15) για τις τιμές του K που αναφέρεται στον (Πίνακας 5.9).



Σχήμα 5.15: Τιμές του K για δοκούς και πλάκες (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.4)

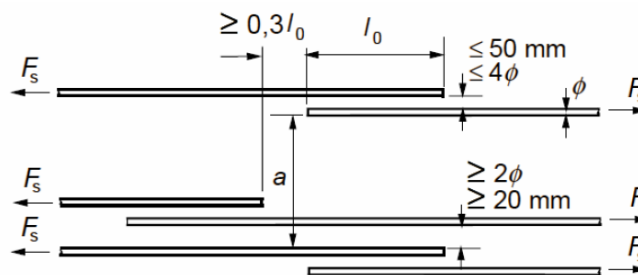
5.2.4: ΕΝΩΣΕΙΣ

Οι δυνάμεις μεταβιβάζονται από την μια ράβδο στην άλλη με:

- υπερκάλυψη των ράβδων με ευθύγραμμο άκρα
- συγκόλληση
- μηχανικά μέσα

Οι ενώσεις με υπερκάλυψη διατάσσονται σύμφωνα με (Σχήμα 5.16):

- την καθαρή απόσταση μεταξύ ζεύγους υπερκαλυπτόμενων ράβδων, που πρέπει να μην ξεπερνά τα 4ϕ ή 50 mm, αλλιώς το μήκος υπερκάλυψης πρέπει να αυξηθεί κατά $\geq 4\phi$ ή 50 mm
- την διαμήκης απόσταση μεταξύ 2 γειτονικών ενώσεων, που πρέπει να μην είναι μικρότερη από $0,3 \cdot l_0$, όπου l_0 είναι το μήκος υπερκάλυψης
- την καθαρή απόσταση μεταξύ γειτονικών ραβδών, που δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 2ϕ ή 20mm (σε περίπτωση γειτονικών ενώσεων)



Σχήμα 5.16: Γειτονικές ενώσεις με υπερκάλυψη (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.7)

Το μήκος υπερκάλυψης σχεδιασμού l_0 είναι:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

όπου:

$l_{b,rqd}$:

$$l_{0,min} > \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}, 15\phi, 200\text{mm}\}$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$: δίνονται σε παραπάνω πίνακα

$\alpha_6 = (\rho_1 / 25)^{0,5}$, όχι μεγαλύτερο του 1.5 ούτε μικρότερο από 1.0. Το ρ_1 είναι το ποσοστό των υπό ένωση ράβδων σε αποστάσεις $0,65 \cdot l_0$ (Πίνακας 5.10).

Ποσοστό των υπό ένωση ράβδων ως προς το συνολικό εμβαδόν ράβδων της διατομής	< 25%	33%	50%	> 50%
α_6	1	1,15	1,4	1,5
Σημείωση : Ενδιάμεσες τιμές καθορίζονται με γραμμική παρεμβολή				

Πίνακας 5.10: Τιμές του συντελεστή α_6 (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.3)

- Για εφελκυσμένες ράβδους

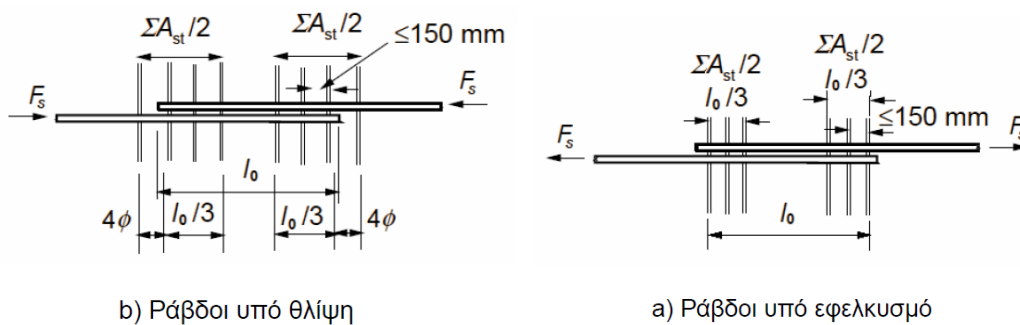
Όταν η διάμετρος ϕ των ράβδων με υπερκάλυψη < 20 mm ή το ποσοστό των ράβδων με υπερκάλυψη είναι μικρότερο από το 25 %, τότε τοποθετούνται **εγκάρσιοι οπλισμοί και συνδετήρες**.

Όταν η διάμετρος ϕ των ράβδων με υπερκάλυψη είναι $\geq 20\text{mm}$, **ο εγκάρσιος οπλισμός** πρέπει να έχει συνολική επιφάνεια ΣA_{st} όχι μικρότερη από την επιφάνεια A_s μίας υπό ένωση ράβδου.

Όταν το περισσότερο του 50% των ράβδων ενώνεται σε μια περιοχή και η απόσταση a μεταξύ γειτονικών υπερκαλύψεων είναι $\leq 10\phi$ (Σχήμα 5.16), οι **εγκάρσιοι οπλισμοί** θα πρέπει να έχουν τη μορφή συνδετήρων ή ράβδων σχήματος U αγκυρώσεων.

- Για μονίμως θλιβόμενες ράβδους

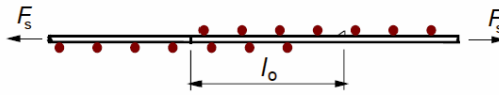
Οι ακραίες ράβδοι εγκάρσιου οπλισμού πρέπει να τοποθετούνται έξω από τα ακρα του μήκους υπερκάλυψης. Συγκεκριμένα πρέπει να τοποθετούνται σε αποστάσεις έως 4ϕ από το τέλος του μήκους υπερκάλυψης (Σχήμα 5.17).



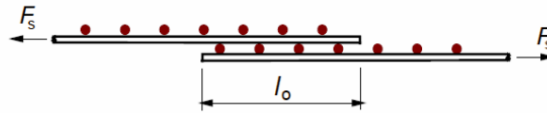
Σχήμα 5.17: Εγκάρσιοι οπλισμοί σε περιοχές ενώσεων με υπερκάλυψη (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.9)

Οι μέθοδοι υπερκάλυψης (Σχήμα 5.18) είναι οι επόμενοι δύο:

- Η ανεστραμμένη επίθεση δομικών πλεγμάτων
- Η απλή επίθεση δομικών πλεγμάτων



a) Ανεστραμμένη επίθεση δομικών πλεγμάτων



b) Απλή επίθεση δομικών πλεγμάτων

Σχήμα 5.18: Επικάλυψη συγκολλητών δομικών πλεγμάτων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.10)

Όταν έχουμε **καταπονήσεις κοπώσεως**, εφαρμόζουμε ανεστραμμένη επίθεση.

Για **ανεστραμμένη επίθεση δομικών πλεγμάτων**, η υπερκάλυψη για τις κύριες διαμήκειες ράβδους πρέπει να συμφωνεί με τις διατάξεις για ενώσεις με υπερκάλυψη που αναφέρονται πιο πάνω, στο κεφάλαιο αυτό.

Για **απλή επίθεση δομικών πλεγμάτων**, η υπερκάλυψη του κύριου οπλισμού πρέπει να διατάσσεται σε ζώνες όπου η υπολογιστική τάση του οπλισμού στην οριακή κατάσταση αστοχίας να μην υπερβαίνει το 80% της αντοχής σχεδιασμού.

Το ποσοστό του κύριου οπλισμού που επιτρέπεται να υπερκαλυφθεί προσδιορίζεται:

- Για ανεστραμμένη επίθεση δομικών πλεγμάτων, εφαρμόζονται οι τιμές για τον συντελεστή α_6 του παραπάνω πίνακα του ευρωκώδικα.
- Για απλή επίθεση δομικών πλεγμάτων, το ποσοστό του κύριου οπλισμού που επιτρέπεται να ενωθεί με υπερκάλυψη, εξαρτάται από το διατιθέμενο ανηγμένο εμβαδόν διατομής του συγκολλητού δομικού πλέγματος $(A_s / s)_{\text{prov}}$
 - 100% εάν $(A_s / s)_{\text{prov}} \leq 1200 \text{mm}^2 / \text{m}$
 - 60% εάν $(A_s / s)_{\text{prov}} > 1200 \text{mm}^2 / \text{m}$

Όλοι οι δευτερεύοντες οπλισμοί επιτρέπεται να υπερκαλύπτονται στην ίδια θέση.

Στον επόμενο (Πίνακας 5.11), βλέπουμε τις **ελάχιστες τιμές του μήκους υπερκάλυψης l_0** .

Στο **μήκος υπερκάλυψης δευτερευόντων ράβδων** θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο κύριες ράβδοι.

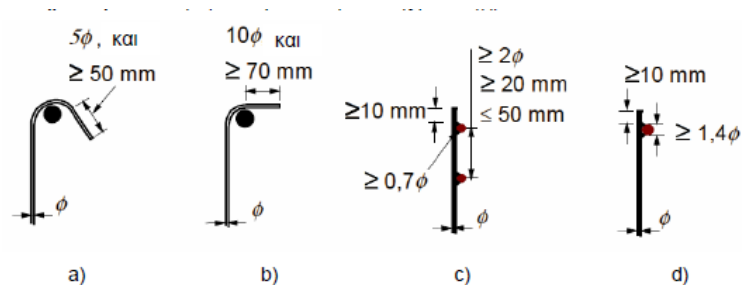
Διάμετρος δευτερευόντων συρμάτων (mm)	Μήκη υπερκάλυψης
$\varnothing \leq 6$	≥ 150 mm και τουλάχιστον 1 σημείο συγκόλλησης εγκάρσιας ράβδου εντός του μήκους υπερκάλυψης
$6 < \varnothing \leq 8,5$	≥ 250 mm και τουλάχιστον 2 σημεία συγκόλλησης εγκάρσιων ράβδων
$8,5 < \varnothing \leq 12$	≥ 350 mm και τουλάχιστον 2 σημεία συγκόλλησης εγκάρσιων ράβδων

Πίνακας 5.11: Απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης για δευτερεύοντα σύρματα δομικών πλεγμάτων (EN 1992-1-1, Πίνακας 8.4)

5.2.5: ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Η **αγκύρωση συνδετήρων και οπλισμών διάτμησης** (Σχήμα 5.19), εξασφαλίζεται με διαμόρφωση καμπύλου άκρου ή άγκιστρου, μέσω συγκολλημένων εγκάρσιων οπλισμών.

Μέσα στο άγκιστρο ή το καμπύλο άκρο **πρέπει να υπάρχει διαμήκης οπλισμός**.



Σχήμα 5.19: Αγκυρώσεις συνδετήρων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.5)

Στις περιπτώσεις c) και d) η επικάλυψη δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $3\varnothing$ ή 50mm.

5.2.6: ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, για τον **EN 1992-1-1** θα γίνει αναφορά:

❖ Στις ειδικές διατάξεις για τους εφελκυσμένους οπλισμούς

Το μήκος αγκύρωσης **υπό εφελκυσμό μερικών ράβδων**, μπορεί να οριστεί ως το ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης $l_{b,eq}$.

❖ Στους συμπληρωματικούς κανόνες για ράβδους μεγάλης διαμέτρου

Σε περιπτώσεις που έχουμε **διάμετρο ράβδου**, σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα $\varnothing_{large} = 32mm$** , ισχύουν τα ακόλουθα:

- Ο περιορισμός ρηγματώσης ικανοποιείται με διάταξη επιφανειακού οπλισμού ή με σχετικούς υπολογισμούς

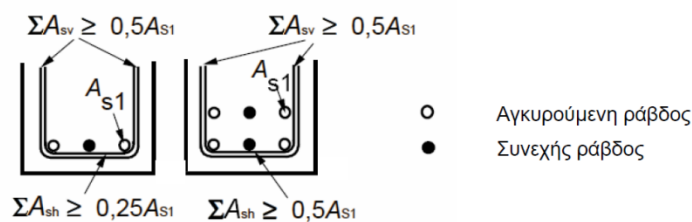
- Οι δυνάμεις απόσχισης είναι μεγαλύτερες και η δράση βλήτρου είναι ισχυρότερες. Έτσι αυτές οι ράβδοι πρέπει να αγκυρώνονται με μηχανικά μέσα.
- Δεν πρέπει να ενώνονται με υπερκάλυψη. Εξαιρούνται τα δομικά στοιχεία με ελάχιστη διάσταση διατομής 1,0m ή περιοχές όπου η τάση είναι μικρότερη από 80% της οριακής αντοχής σχεδιασμού.
- Πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για εγκάρσιους οπλισμούς πέραν των απαιτούμενων για διάτμηση στις ζώνες αγκύρωσης.
- Όταν έχουμε ευθύγραμμα μήκη αγκύρωσης (Σχήμα 5.20), **ο επιπρόσθετος εγκάρσιος οπλισμός** πρέπει να μην είναι μικρότερος από:
 - $A_{sh} = 0.25 * A_s * n_1$ (σε παράλληλη διεύθυνση προς το επίπεδο της εφελκόμενης παρειάς)
 - $A_{sv} = 0.25 * A_s * n_2$ (σε κάθετη διεύθυνση προς το επίπεδο της εφελκόμενης παρειάς)

όπου:

A_s : το εμβαδόν διατομής υπο αγκύρωση ράβδου

n_1 : ο αριθμός των ράβδων που αγκυρώνονται στην ίδια θέση του δομικού στοιχείου

n_2 : ο αριθμός των ράβδων που αγκυρώνονται σε κάθε στρώση
- Ο **επιπρόσθετος εγκάρσιος οπλισμός** πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανομημένος στην ζώνη αγκύρωσης και οι αποστάσεις των ράβδων δεν πρέπει να υπερβαίνουν το πενταπλάσιο της διαμέτρου του διαμήκους οπλισμού.



Παράδειγμα : Αριστερά $n_1 = 1, n_2 = 2$, ενώ δεξιά $n_1 = 2, n_2 = 2$

Σχήμα 5.20: Επιπρόσθετος οπλισμός στην ζώνη αγκύρωσης ράβδων μεγάλης διαμέτρου όπου δεν υπάρχει θλίψη στην εγκάρσια διεύθυνση (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.11)

5.2.7: ΔΕΣΜΕΣ ΡΑΒΔΩΝ

Σε μια **δέσμη ράβδων**, όλες οι ράβδοι πρέπει να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά.

Ράβδοι διαφορετικών μεγεθών μπορούν να αποτελέσουν δέσμη αρκεί ο λόγος των διαμέτρων τους δεν ξεπερνά το 1.7.

Σε διαδικασία μελέτης, οι δέσμες αντικαθίστανται από μια **ιδεατή ράβδο** που ορίζεται από την σχέση:

$$\phi_n = \phi V(n_b) < 55mm$$

όπου:

n_b : το πλήθος των ράβδων της δέσμης με μέγιστη τιμή:

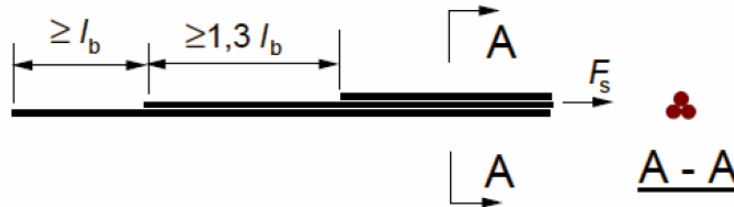
$n_b \leq 4$: για κατακόρυφες θλιβόμενες ράβδους και για ράβδους μιας ένωσης με υπερκάλυψη

$n_b \leq 3$: για όλες τις άλλες περιπτώσεις

Δέσμες ράβδων υπό εφελκυσμό μπορούν να πραγματοποιούνται πάνω από τις ακραίες και ενδιάμεσες στηρίξεις.

- Δέσμες με ισοδύναμη **διάμετρο** $< 32mm$ μπορούν να περατώνονται κοντά σε μια στήριξη χωρίς την απαίτηση διαδοχικής περάτωσης ράβδων.
- Δέσμες με ισοδύναμη **διάμετρο** $\geq 32mm$ που αγκυρώνονται κοντά σε στήριξη πρέπει να διακόπτονται κατά μήκος.

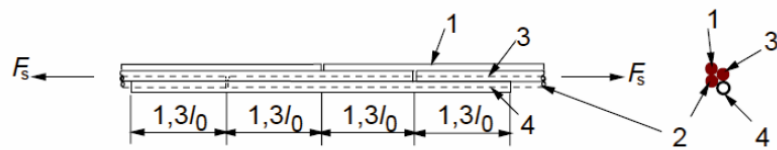
Όταν οι μεμονωμένες ράβδοι μιας δέσμης αγκυρώνονται **με απόσταση διακοπής** $> 1.3 * l_{b,reqd}$, για τον υπολογισμό του l_{bd} χρησιμοποιείται η διάμετρος της ράβδου (Σχήμα 5.21).



Σχήμα 5.21: Αγκύρωση δέσμης με απαίτηση διαδοχικής διακοπής ράβδων (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.12)

Δέσμες ράβδων υπό θλίψη μπορούν να αγκυρωθούν, χωρίς διακοπή ράβδων.

- Δέσμες με ισοδύναμη **διάμετρο** $< 32mm$, που αποτελούνται από 2 ράβδους, μπορούν να ενωθούν χωρίς διαδοχική περάτωση
- Δέσμες με ισοδύναμη **διάμετρο** $\geq 32mm$, που αποτελούνται από 2 ή 3 ράβδους, πρέπει να διακόπτονται διαδοχικά ανα αποστάσεις $1.3 * l_0$ (Σχήμα 5.22). Στην περίπτωση αυτή η μία επιπρόσθετη ράβδος χρησιμοποιείται για υπερκάλυψη. Σημαντικό είναι επίσης, να μην υπάρχουν παραπάνω από 4 ράβδους σε οποιαδήποτε θέση κατά μήκος της υπερκάλυψης. Δέσμες ράβδων με περισσότερες από 3 ράβδους δεν πρέπει να ματίζονται.



Σχήμα 5.22: Διάταξη ένωσης με υπερέκλυση δέσμης ράβδων υπό εφελκυσμό που περιλαμβάνει τέταρτη πρόσθετη ράβδο (EN 1992-1-1, Σχήμα 8.13)

ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.1: ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΑΚ 2000

(ΚΕΦ 2.3.5, 4.1.4, παράρτημα Β, Β.1.1, Β.1.2, Β.1.3, Β.1.4, Β.2)

6.1.1: ΓΕΝΙΚΑ

Στον ΕΑΚ 2000, δεν γίνεται αναφορά σε κατηγορίες πλαστιμότητας άρα η κατηγορία είναι μία.

Στο κεφάλαιο 2 του ΕΑΚ 2000 γίνεται λόγος, σε έναν πίνακα για τον συντελεστή συμπεριφοράς, στα **δομικά συστήματα για το οπλισμένο σκυρόδεμα**. Είναι τα εξής:

- Πλαίσια ή μικτά συστήματα
- Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι
- Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% στις συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.

Υπάρχουν **4 κατηγορίες σπουδαιότητας**, όπως φαίνεται στον (Πίνακας 6.1):

Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ ₁
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).	1.30

Πίνακας 6.1: Συντελεστές σπουδαιότητας (ΕΑΚ 2000, Πίνακας 2.3)

Τα κτήρια κατατάσσονται σε **4 κατηγορίες σπουδαιότητας**, ανάλογα με:

- τον κίνδυνο που συνεπάγεται για τον άνθρωπο.
- τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες σε περίπτωση καταστροφής ή διακοπή της λειτουργίας.

Σε κάθε κατηγορία αντιστοιχεί και μια τιμή για τον **συντελεστή σπουδαιότητας γ₁**.

6.1.2: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q εισάγει την μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά σε απεριόριστα ελαστικό σύστημα.

Σε περίπτωση επιθυμητής ελαστικής συμπεριφοράς $q = 1$.

Οι τιμές του (Πίνακας 6.2) ισχύουν με την προϋπόθεση ότι για τον σεισμό σχεδιασμού **έχουμε έναρξη διαρροής του συστήματος**. Με την περεταίρω αύξηση της φόρτισης είναι δυνατόν να σχηματιστεί μηχανισμός διαρροής με την δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων.

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.	2.00

Πίνακας 6.2: Μέγιστες τιμές συμπεριφοράς q (ΕΑΚ 2000, Πίνακας 2.6 (κομμάτι αυτού))

6.1.3: ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η εξασφάλιση ενός ελαστικοπλαστικού μηχανισμού απόκρισης του δομήματος στις αιχμές της σεισμική δράσης επιτυγχάνεται με τον **ικανοτικό σχεδιασμό**. Η μεθοδολογία του σχεδιασμού αυτού είναι η εξής:

- Σε πιθανές ενδεχόμενες θέσεις πλαστικών αρθρώσεων εξασφαλίζεται επαρκής τοπική πλαστιμότητα.
- Σύμφωνα με τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών ικανοτικού σχεδιασμού, γίνεται ο έλεγχος αποφυγής ψαθυρών μορφών αστοχίας σε όλα τα μέλη που έχουν ή είναι κοντά σε πλαστικές αρθρώσεις.
- Σε πολυώροφα κτίρια λαμβάνονται μέτρα για **αποφυγή μηχανικού ορόφου** (δηλαδή συγκέντρωση πλαστικών παραμορφώσεων σε έναν όροφο).
- **Η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού $M_{CD,c}$** , μπορεί να υπολογιστεί από την μέγιστη ροπή του υποστυλώματος M_{Ec} :

$$M_{CD,c} = \alpha_{CD} * M_{Ec}$$

όπου:

α_{CD} : συντελεστή ικανοτικής μεγέθυνσης του κόμβου

$$\alpha_{CD} = \gamma_{Rd} * \sum M_{Rd} / |\sum M_{Eb}|$$

$$\gamma_{Rd} = 1.40$$

$\sum M_{Rd}$: το άθροισμα των τελικών ροπών αντοχής των δοκών του κόμβου του πλαισίου

$\sum M_{Eb}$: το άθροισμα των ροπών όπως προκύπτουν για την ανάλυση που προκαλεί η ροπή M_{Ec}

6.1.4: ΔΟΚΟΙ

Για τους **δοκούς** στο παράρτημα Β, γίνεται λόγος σε:

- Τέμνουσα σχεδιασμού:

$$V_{CD,b} = V_{0,b} + \Delta V_{CD,b}$$

όπου:

$$\Delta V_{CD,b} = 1.20 * (M_{R,b1} + M_{R,b2}) / l_b \leq q * V_{E,b} / 1.20$$

$V_{0,b}$: η τέμνουσα σχεδιασμού της δοκού υπό μη σεισμικά φορτία

$M_{R,b1}$ και $M_{R,b2}$: οι ροπές αντοχής των άκρων της δοκού, κατά την φορά που ενεργοποιούνται κατά την σεισμική δράση

$V_{E,b}$: η σεισμική τέμνουσα της δοκού

l_b : το μήκος της δοκού

6.1.5: ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Για τα **υποστυλώματα** στο παράρτημα Β, γίνεται λόγος σε:

- Τέμνουσα σχεδιασμού:

$$V_{CD,c} = 1.40 * (M_{R,c1} + M_{R,c2}) / l_c \leq V_{E,c} * q$$

όπου:

$M_{R,c1}$ και $M_{R,c2}$: οι υπολογιστικές αντοχές σε κάμψη και αξονική δύναμη στα άκρα του υποστυλώματος, όπως προκύπτουν από την σεισμική δράση

$V_{E,c}$: η σεισμική τέμνουσα του υποστυλώματος

l_c : το μήκος του υποστυλώματος

Σε περίπτωση που έχουμε **δοκό ή υποστύλωμα** σε άκρο το οποίο **δεν προβλέπεται ο σχηματισμός πλαστική άρθρωσης**, ισχύουν τα εξής:

- Θα υπολογίζεται στους εκατέρωθεν κόμβους **ο συντελεστής ικανοτικής μεγέθυνσης α_{CD}** (όπως αναφέρεται πιο πάνω).
- Θα χρησιμοποιείται το **$\sum M_{R,c}$ αντί του $\sum M_{R,b}$** , σε κόμβους στους οποίους το άθροισμα των αντοχών των δοκών υπερβαίνει το άθροισμα των αντοχών των υποστυλωμάτων.
- Η τέμνουσα σχεδιασμού του υποστυλώματος ή δοκού δεν χρειάζεται να είναι μεγαλύτερη του:

$$V_{CD,e} = V_{0,e} + \Delta V_{CD,e}$$

όπου:

$$\Delta V_{CD,e} = (\alpha_{CD,1} * M_{E,e1} + \alpha_{CD,2} * M_{E,e2}) / l_e$$

$V_{0,e}$: η τέμνουσα του στοιχείου υπό μη σεισμικά φορτία συνδιασμού

$\alpha_{CD,1}$ και $\alpha_{CD,2}$: οι συντελεστές ικανοτικής μεγέθυνσης των κόμβων των άκρων του στοιχείου

$M_{E,e1}$ και $M_{E,e2}$: οι σεισμικές ροπές των άκρων του στοιχείου

l_e : το μήκος του στοιχείου

6.1.6: ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Τοιχώματα θεωρούνται τα κατακόρυφα στοιχεία που έχουν λόγο μήκος προς πλάτος μεγαλύτερο του 4.

- Τέμνουσα σχεδιασμού στην βάση του τοιχώματος:

$$V_{CD,w0} = \alpha_{CD} * V_{E,w0}$$

όπου:

$$\alpha_{CD} = \gamma_{Rd} * M_{R,w0} / M_{E,w0} \leq q$$

$$\gamma_{Rd} = 1.30$$

$M_{E,w0}$ και $V_{E,w0}$: οι μέγιστες ροπή και τέμνουσα που προκύπτουν από την σεισμική δράση στην βάση

$M_{R,w0}$: η υπολογιστική αντοχή σε κάμψη με αξονική δύναμη

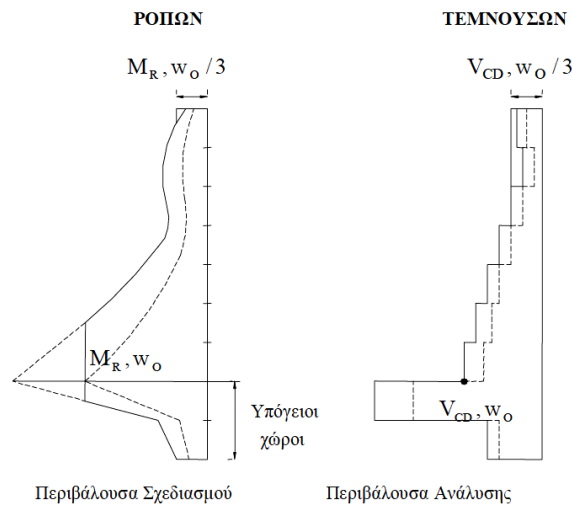
- Τέμνουσα σχεδιασμού στους υπόλοιπους ορόφους:

$$V_{CD,w} = \alpha_{CD} * V_{E,w} \geq V_{CD,w0} / 3$$

Σε κτίρια **με υπόγειους ορόφους** πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στον έλεγχο των τοιχωμάτων, ειδικά σε αυτό στον πρώτο υπόγειο όροφο (προκύπτει αρκετά αυξημένη τιμή τέμνουσας).

Το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 6.1), δείχνει την σχέση της περιβάλλουσας σχεδιασμού και της περιβάλλουσας ανάλυσης όπως προκύπτει από την ανάλυση, για τέμνουσες και ροπές.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ



Σχήμα 6.1: Περιβάλλουσες ροπών και τεμνουσών (ΕΑΚ 2000, Κεφάλαιο Β.1.4(2))

6.1.7: ΤΟΠΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Σε έναν πρόβολο η σχέση μεταξύ γενικής πλαστιμότητας μ_d και τοπικής πλαστιμότητας μ_c στην πλαστική άρθρωση στην βάση του προβόλου είναι:

$$\mu_d = 1 + 3 * \lambda_p * (1 - 0.50 * \lambda_p) * (\mu_c - 1)$$

&

$$\mu_c = 1 + (\mu_d - 1) / [3 * \lambda_p * (1 - 0.50 * \lambda_p)]$$

όπου:

$\lambda_p = l_p / l$ (δηλαδή = μήκος πλαστικής άρθρωσης / μήκος προβόλου)

Στις πλαστικές αρθρώσεις στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, πρέπει να εξασφαλίζεται η πλαστική συμπεριφορά τις θλιβόμενης ζώνης.

Όταν η θλιβόμενη ζώνη έχει μεγάλο βάθος, τα μέτρα μπορούν να περιοριστούν μέχρι το βάθος στο οποίο η βράχυνση είναι $0.50 * \epsilon_{cu}$. Τα μέτρα αυτά καθορίζονται στον κανονισμό μελέτης και κατασκευής έργων σκυροδέματος, και είναι:

- για δοκούς ο περιορισμός του ποσοστού του εφελκόμενου οπλισμού.
- για υποστυλώματα η περίσφιξη του σκυροδέματος με εγκάρσιο οπλισμό

Η μέγιστη καμπυλότητα είναι:

$$c_u = \epsilon_{cu} / (\xi_u * h)$$

όπου:

ξ_u : το ύψος της θλιβόμενης ζώνης

Η **καμπυλότητα στην διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού** είναι:

$$c_y = \varepsilon_{cy} / ((1 - \xi_u) * h)$$

Τα παραπάνω μεγέθη συνδέονται μέσω της **απαιτούμενης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων** με την σχέση:

$$c_u / c_y \geq \mu_c$$

Ο παραπάνω τύπος σε συνδιασμό με τους 2 προηγούμενους και με $\varepsilon_{cu} \leq 0.35\%$ και $\varepsilon_{cy} = 0.20\%$ γίνεται:

$$\xi_u \leq 1.75 * (1 - \xi_y) / \mu_c$$

Η **ελάχιστη τιμή της πλαστιμότητας καμπυλοτήτων** είναι ίση με $\mu_c = 10$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.2: ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1998

(ΚΕΦ 1.5.2, 2.1, 4.2.5, 4.4.2.3, 5.1.1, 5.2.3.4, 5.4.1.1, 5.4.1.2.1, 5.4.1.2.2, 5.4.1.2.3, 5.4.2.2, 5.4.2.3, 5.4.2.4, 5.4.2.5, 5.4.3.1.1, 5.4.3.1.2, 5.4.3.2.2, 5.4.3.4.1, 5.4.3.4.2, 5.5.1.1, 5.5.1.2.1, 5.5.1.2.2, 5.5.1.2.3, 5.5.2.1, 5.5.2.2, 5.5.3.2.2, 5.5.3.1.1, 5.5.3.1.2, 5.5.3.1.3, 5.5.2.4.1, 5.5.3.4.1, 7.1.2, 7.3.2,)

6.2.1: ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με τον **EN 1998** υπάρχουν 3 **κατηγορίες πλαστιμότητας**.

- ΚΠΧ (κατηγορία χαμηλής πλαστιμότητας)
- ΚΠΜ (κατηγορία μέτριας πλαστιμότητας)
- ΚΠΥ (κατηγορία υψηλής πλαστιμότητας)

Σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** δεν επιτρέπεται η επιλογή κατηγορίας πλαστιμότητας Χ.

Στο κεφάλαιο 4 του **EN 1998** γίνεται λόγος, σε έναν πίνακα για τις **κατηγορίες σπουδαιότητας** (Πίνακας 6.3).

Κατηγορία σπουδαιότητας	Κτίρια
I	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

Πίνακας 6.3: Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτήρια (EN 1998, Πίνακας 4.3)

Οι κατηγορίες σπουδαιότητας **χωρίζονται σε 4**, ανάλογα με:

- τις συνέπειες της κατάρρευσης σε ανθρώπινες ζωές
- την σημασία τους για τη δημόσια ασφάλεια
- την προστασία των πολιτών κατά την άμεση μετασεισμική περίοδο
- τις κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες

Ο **συντελεστής σπουδαιότητας γ_1** , πρέπει να παίρνει τέτοια τιμή ώστε να αντιστοιχεί σε υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή της περιόδου επαναφοράς του σεισμικού γεγονότος .

Στο **Εθνικό Προσάρτημα**, γίνεται λόγος για τον **συντελεστή σπουδαιότητας**, διαμέσου του ακόλουθου (Πίνακας 6.4):

Κατηγορία Σπουδαιότητας	I	II	III	IV
Συντελεστής Σπουδαιότητας γ_1	0,80	1,00	1,20	1,40

Πίνακας 6.4: Τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας γ_1 (Εθνικό Προσάρτημα EN 1998, Πίνακας 4)

6.2.2: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Είναι ο **συντελεστής** που χρησιμοποιείται, για λόγους μελέτης για την μείωση των δυνάμεων που προκύπτουν από γραμμική ανάλυση, ώστε να ληφθεί υπόψη η μη-γραμμική απόκριση του φορέα.

Το ισοζύγιο **μεταξύ αντοχής και ικανότητας απόδοσης ενέργειας** χαρακτηρίζεται από τις τιμές του **συντελεστή q** .

Για περιορισμένη πλαστική συμπεριφορά, η **ανώτατη τιμή του q θα είναι ίση με 1.5**.

Οι τιμές του **συντελεστή συμπεριφοράς** είναι:

- 1.5 για κτήρια σκυροδέματος
- μεταξύ 1.5 και 2.0 για κτήρια χάλυβα
- 1.5 για περιορισμένη πλαστική συμπεριφορά σύμμεικτων κτιρίων
- ≤ 4.0 για πλαστική συμπεριφορά με πλαστικές ζώνες από χάλυβα ή σύμμεικτες, σε μέτρια κατηγορία πλαστιμότητας (πίνακας 7.1, 7.2)
- ≤ 5.0 για πλαστική συμπεριφορά με πλαστικές ζώνες από χάλυβα ή σύμμεικτες, σε υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας (πίνακας 7.1, 7.2)

6.2.3: ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Στην **μέθοδο ικανοτικού σχεδιασμού** επιλέγονται στοιχεία του στατικού συστήματος, τα οποία μελετώνται και οι λεπτομέρειες τους διαμορφώνονται έτσι ώστε να αποδίδουν ενέργεια σε μεγάλες παραμορφώσεις. Η μεθοδολογία του σχεδιασμού αυτού είναι η εξής:

- Σε πολυώροφα κτήρια λαμβάνονται μέτρα για **αποφυγή μηχανικού ορόφου**.
- Σύμφωνα με τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών ικανοτικού σχεδιασμού, γίνεται ο έλεγχος αποφυγής ψαθυρών μορφών αστοχίας σε όλα τα μέλη που έχουν ή είναι κοντά σε πλαστικές αρθρώσεις.
- Σε πιθανές ενδεχόμενες θέσεις πλαστικών αρθρώσεων εξασφαλίζεται επαρκής τοπική πλαστιμότητα.
- η ακόλουθη συνθήκη **πρέπει να ικανοποιείται** σε όλους τους κόμβους μεταξύ βασικών ή δευτερευουσών σεισμικών δοκών και βασικών σεισμικών υποστυλωμάτων:

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 * \sum M_{Rb}$$

όπου:

$\sum M_{Rd}$: το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών του κόμβου

$\sum M_{Rc}$: το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων του κόμβου

- **Για δοκούς**

Σε **κύριες σεισμικές δοκούς**, οι τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού θα καθορίζονται σύμφωνα με τον **κανόνα ικανοτικού σχεδιασμού**, με βάση την ισορροπία της δοκού (Σχήμα 6.2) υπό:

- το **κατακόρυφο φορτίο** που δρα επί της δοκού στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού
- τις **ροπές άκρων** $M_{i,d}$, που αντιστοιχούν σε σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων για θετικές και αρνητικές διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης (με $i=1,2$ συμβολίζονται οι ακραίες διατομές της δοκού).

Οι ροπές $M_{i,d}$ υπολογίζονται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

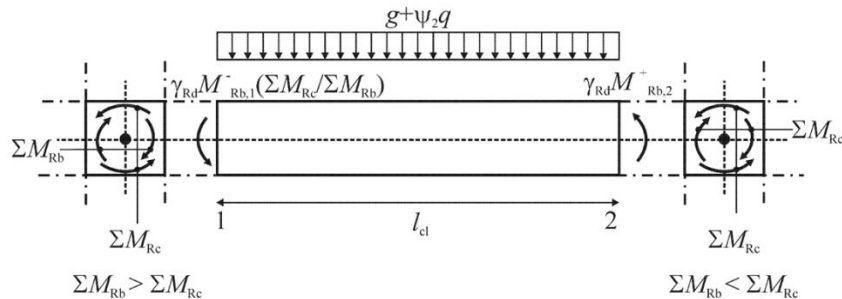
$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} * M_{Rd,i} * \min(1, \Sigma M_{Rc} / \Sigma M_{Rb})$$

όπου:

γ_{Rd} : ο συντελεστής υπεραντοχής, λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα, η οποία στην περίπτωση των δοκών ΚΠΜ μπορεί να ληφθεί ως ίσος με 1.0 και για ΚΠΥ ίσος με 1.2.

$M_{Rd,i}$: η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής στο άκρο i στην φορά της σεισμικής ροπής κάμψεως

ΣM_{Rc} & ΣM_{Rb} : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων του κόμβου & το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών του κόμβου αντίστοιχα.



Σχήμα 6.2: Τιμές ικανοτικού σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων σε δοκούς (EN 1998, Σχήμα 5.1)

- **Για υποστυλώματα**

Σε **κύρια σεισμικά υποστυλώματα**, οι τιμές σχεδιασμού των τεμνουσών δυνάμεων θα υπολογίζονται σύμφωνα με τον κανόνα ικανοτικού σχεδιασμού, με βάση την ισορροπία του υποστυλώματος (Σχήμα 6.3) υπό:

- τις **ροπές άκρων $M_{i,d}$** , που αντιστοιχούν σε σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων για θετικές και αρνητικές διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης (με $i=1,2$ συμβολίζονται οι ακραίες διατομές του υποστυλώματος)

Οι ροπές $M_{i,d}$ υπολογίζονται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

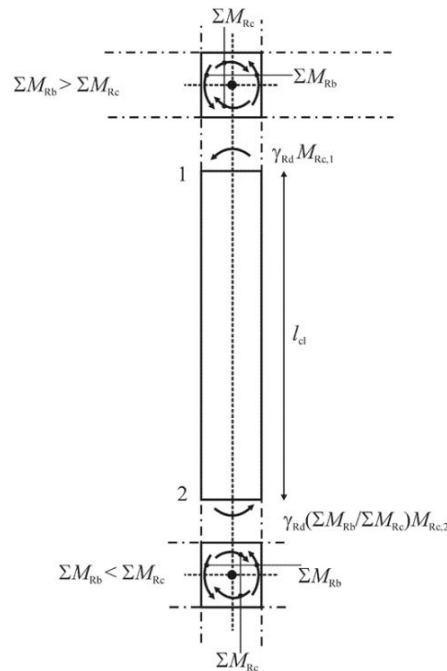
$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} * M_{Rc,i} * \min(1, \Sigma M_{Rb} / \Sigma M_{Rc})$$

όπου:

γ_{Rd} : ο συντελεστής υπεραντοχής, λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περίσφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος. Μπορεί να ληφθεί ως ίσος με 1.0 για ΜΠΜ και 1.3 για ΚΠΥ.

$M_{Rc,i}$: η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής στο άκρο i στην φορά της σεισμικής ροπής κάμψεως

ΣM_{Rc} & ΣM_{Rb} : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων του κόμβου & το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών του κόμβου αντίστοιχα.



Σχήμα 6.3: Τέμνουσα δύναμη ικανοτικού σχεδιασμού σε υποστυλώματα (EN 1998, Σχήμα 5.2)

6.2.4: ΔΟΚΟΙ

Δοκός ονομάζεται το φέρον στοιχείο, που κυρίως δέχεται κατακόρυφα φορτία.

Η **ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού** είναι:

$$v_d = N_{Ed} / A_c * f_{cd} \quad (v_d \leq 0.1)$$

- **Για ΚΠΜ**

Στην κατηγορία αυτή η χαμηλότερη κατηγορία σκυροδέματος είναι **C16/20** και η κατηγορία που χρησιμοποιείται για τον χάλυβα οπλισμού είναι η **B** και η **C**.

Το **πλάτος b_w μιας κύριας σεισμικής δοκού** θα ικανοποιεί την επόμενη έκφραση:

$$b_w \leq \min\{b_c + h_w ; 2 * b_c\}$$

όπου:

h_w : το ύψος της δοκού

b_c : το πλάτος του υποστυλώματος

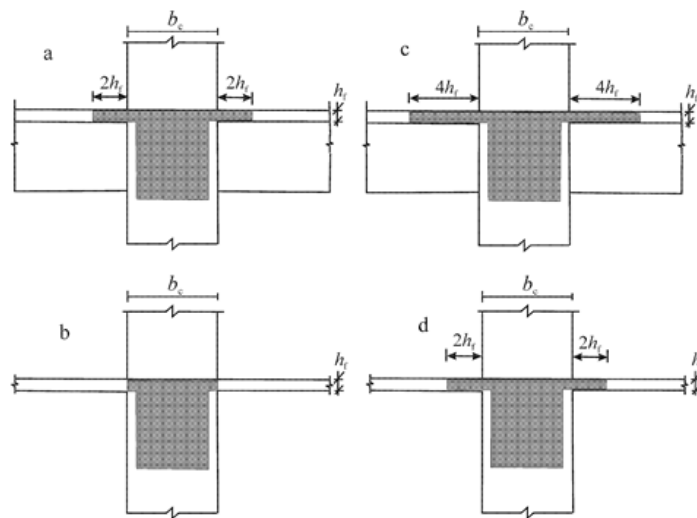
Το **συνεργαζόμενο πλάτος πέλματος b_{eff}** μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

- για κύριες σεισμικές δοκούς που εδράζονται σε εξωτερικά υποστυλώματα (Σχήμα 6.4) το a, b

$$b_{\text{eff}} = b_c \text{ ή } b_{\text{eff}} = b_c + 2 \cdot h_f$$

- για κύριες σεισμικές δοκούς που εδράζονται σε εξωτερικά υποστυλώματα (Σχήμα 6.4) το c, d

$$b_{\text{eff}} = b_c + 2 \cdot h_f$$



Σχήμα 6.4: Συνεργαζόμενο πλάτος πέλατος b_{eff} για δοκούς που εδράζονται σε υποστυλώματα (EN 1998, Σχήμα 5.5)

Το **ποσοστό οπλισμού της εφελκόμενης ζώνης ρ** δεν υπερβαίνει την ρ_{max} και δεν υπερβαίνει την ρ_{min} .

$$\rho_{\text{max}} = \rho' + (0.0018 / (\mu_{\phi} \cdot \epsilon_{\text{sy,d}})) \cdot (f_{\text{cd}} / f_{\text{yd}})$$

&

$$\rho_{\text{min}} = 0.5 \cdot (f_{\text{ctm}} / f_{\text{yk}})$$

όπου:

μ_{ϕ} : η πλαστιμότητα καμπυλότητας

$\epsilon_{\text{sy,d}}$: η τιμή σχεδιασμού ανηγμένης μήκυνσης χάλυβα σε διαρροή

ρ' : το ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού σε δοκούς

Μέσα στις **κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών δοκών**, θα προβλέπονται **συνδετήρες** που ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- η διάμετρος d_{bw} των συνδετήρων δεν θα είναι μικρότερη του 6
- η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων s είναι ίση με:

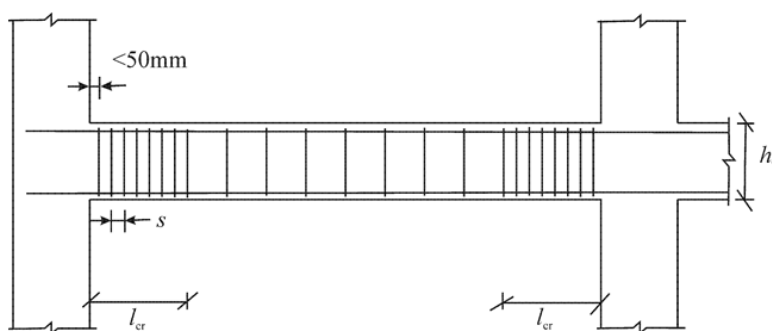
$$s = \min\{h_w / 4 ; 24 * d_{bw} ; 225 ; 8 * d_{bl}\}$$

όπου:

d_{bl} : η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

h_w : το ύψος της δοκού

- Ο πρώτος συνδετήρας, θα τοποθετείται σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 50 mm από την ακραία διατομή της δοκού, όπως φαίνεται στο (Σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.5: Εγκάρσιος οπλισμός σε κρίσιμες περιοχές των δοκών (EN 1998, Σχήμα 5.6)

- **Για ΚΠΥ**

Στην κατηγορία αυτή η χαμηλότερη κατηγορία σκυροδέματος είναι **C20/25** και η κατηγορία που χρησιμοποιείται για τον χάλυβα οπλισμού στις κρίσιμες περιοχές είναι η **C**.

Το πλάτος των κύριων σεισμικών δοκών **δεν θα είναι μικρότερο των 200mm**.

Το πλάτος b_w μιας κύριας σεισμικής δοκού είναι ίδιο με αυτό για ΚΠΜ.

Το **συνεργαζόμενο πλάτος πέλματος b_{eff}** είναι ίδιο με αυτό για ΚΠΜ.

Στις κρίσιμες περιοχές κύριων σεισμικών δοκών η κλίση θ του θλιπτήρα στο προσομοίωμα δικτυώματος θα είναι 45° .

Για την **διάταξη του διατμητικού οπλισμού μέσα στην κρίσιμη περιοχή**, στο άκρο μιας κύριας σεισμικής δοκού, όπου η δοκός συνδέεται με υποστύλωμα, πρέπει να διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις, που εξαρτώνται από το $\zeta = V_{Ed,min} / V_{Ed,max}$.

- Εάν $\zeta \geq -0.5$, τότε η διατμητική αντοχή υπολογίζεται σύμφωνα με τον **EN 1992-1-1**
- Εάν $\zeta < -0.5$,
 - Αν $|V_E|_{max} \leq (2 + \zeta) * f_{ctd} * b_w * d$, τότε η διατμητική αντοχή υπολογίζεται σύμφωνα με τον **EN 1992-1-1**

- Αν $|V_E|_{max} > (2 + \zeta) * f_{ctd} * b_w * d$, τότε ο έλεγχος διεξάγεται σύμφωνα με την συνθήκη:

$$0.5 * V_{Emax} \leq 2 * A_s * f_{yd} * \sin \alpha$$

όπου:

A_s : η διατομή του λοξού οπλισμού στην μία διεύθυνση που διασχίζει την ακραία διατομή της δοκού

α : η γωνία μεταξύ του λοξού οπλισμού και του άξονα της δοκού (κανονικά $\alpha = 45^\circ$)

Μέσα **στις κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών δοκών**, θα προβλέπονται **συνδετήρες** που ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

Το **ποσοστό οπλισμού της εφελκυσμένης ζώνης ρ** , ρ_{max} , ρ_{min} είναι ίδια με αυτό για ΚΠΜ.

Μέσα **στις κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών δοκών** για ΚΠΥ η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων s είναι ίση με:

$$s = \min\{h_w / 4 ; 24 * d_{bw} ; 175 ; 6 * d_{bl}\}$$

όπου:

d_{bl} : η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

h_w : το ύψος της δοκού

6.2.5: ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Υποστύλωμα ονομάζεται το φέρον στοιχείο, που φέρει φορτία βαρύτητας με αξονική θλίψη ή υπόκειται σε ανηγμένη ορθή αξονική δύναμη σχεδιασμού.

Η **ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού** είναι:

$$v_d = N_{Ed} / A_c * f_{cd} \quad (v_d \leq 0.1)$$

- **Για ΚΠΜ**

Εκτός **εάν $\vartheta \leq 0.1$** (ϑ : ο συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης του ορόφου), **οι διαστάσεις διατομής κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων** δεν πρέπει να είναι μικρότερες από το 1/10 της μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ του σημείου καμψής και των άκρων του υποστυλώματος.

Για το **ποσοστό διαμήκους οπλισμού ρ_1** ισχύει $0.01 \leq \rho_1 \leq 0.04$.

Σε συμμετρικές διατομές, πρέπει να προβλέπεται **συμμετρικός οπλισμός** (δηλαδή $\rho = \rho'$).

Όταν δεν θα υπάρχουν ακριβή στοιχεία, το **μήκος της κρίσιμης περιοχής l_{cr}** είναι:

$$l_{cr} = \max\{h_c ; l_{cl} / 6 ; 0.45\}$$

όπου:

h_c : η μεγαλύτερη διάσταση της διατομής του υποστυλώματος

l_{cl} : το καθαρό μήκος του υποστυλώματος

Όμως, αν $l_c / h_c < 3$, τότε ολόκληρο το ύψος του κύριου σεισμικού υποστυλώματος θα θεωρείται ως **κρίσιμη περιοχή**.

Μέσα στις κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων, θα προβλέπονται **συνδετήρες** που ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών διαμηκών ράβδων συγκρατούμενων με συνδετήρες δεν υπερβαίνει τα 200mm.
- η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων s δεν θα υπερβαίνει:

$$s = \min\{b_o / 2 ; 175 ; 8 * d_{bl}\}$$

όπου:

b_o : η ελάχιστη διάσταση του πυρήνα σκυροδέματος

d_{bl} : η ελάχιστη διάμετρος των διαμηκών ράβδων

Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q που χρησιμοποιείται, **δεν υπερβαίνει το 2.0**.

- Για ΚΠΥ

Η ελάχιστη διάσταση διατομής των κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων **δεν θα είναι μικρότερη των 250mm**.

Το ποσοστό διαμήκους σπλισμού ρ_1 είναι ίδιο με αυτό για ΚΠΜ.

Σε συμμετρικές διατομές, πρέπει να προβλέπεται **συμμετρικός σπλισμός** (δηλαδή $\rho = \rho'$).

Όταν δεν θα υπάρχουν ακριβή στοιχεία, το **μήκος της κρίσιμης περιοχής l_{cr}** είναι:

$$l_{cr} = \max\{1.5 * h_c ; l_{cl} / 6 ; 0.6\}$$

όπου:

h_c : η μεγαλύτερη διάσταση της διατομής του υποστυλώματος

l_{cl} : το καθαρό μήκος του υποστυλώματος

Αν $l_c / h_c < 3$, τότε ολόκληρο το ύψος του κύριου σεισμικού υποστυλώματος θα θεωρείται ως **κρίσιμη περιοχή**.

Μέσα στις κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων, θα προβλέπονται **συνδετήρες** που ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:

- Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών διαμηκών ράβδων συγκρατούμενων με συνδετήρες δεν υπερβαίνει τα 150mm.
- Η διάμετρος d_{bw} των συνδετήρων είναι τουλάχιστον ίση με:

$$d_{bw} \geq 0.4 * d_{dL, max} * \sqrt{f_{ydL} / f_{ydw}}$$

- η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων s δεν θα υπερβαίνει:

$$s = \min\{b_0 / 3 ; 125 ; 6 * d_{bL}\}$$

όπου:

b_0 : η ελάχιστη διάσταση του πυρήνα σκυροδέματος

d_{bL} : η ελάχιστη διάμετρος των διαμηκών ράβδων

6.2.6: ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Είναι το φέρον στοιχείο, που φέρει άλλα στοιχεία και **έχει επιμήκη διατομή** με λόγο μήκους προς πάχος $l_w/b_w > 4$.

- **Για ΚΠΜ**

Το **πάχος του κορμού b_{wo}** πρέπει να ικανοποιεί την ακόλουθη σχέση:

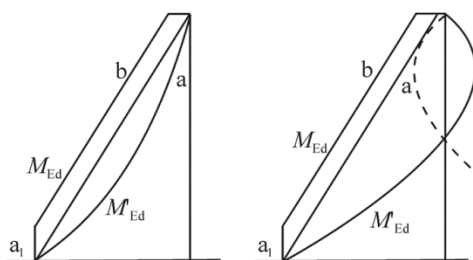
$$b_{wo} \geq \max\{0.15, h_s / 20\}$$

όπου:

h_s : το καθαρό ύψος ορόφου σε μέτρα

Το διάγραμμα καμπτικών ροπών σχεδιασμού κατά το ύψος του τοιχώματος, πρέπει να προκύπτει από την **περιβάλλουσα ροπών** κάμψευς (Σχήμα 6.6) της ανάλυσης, με την μετατόπιση της εφελκυστικής δύναμης.

Ακόμη, **σε διπλά συστήματα που περιέχουν λιγυρά τοιχώματα** πρέπει, να χρησιμοποιείται η **περιβάλλουσα σχεδιασμού** των τεμνουσών δυνάμεων (Σχήμα 6.7), για να ληφθούν υπόψη οι αβεβαιότητες λόγω επίδρασης υψηλότερων ιδιομορφών.

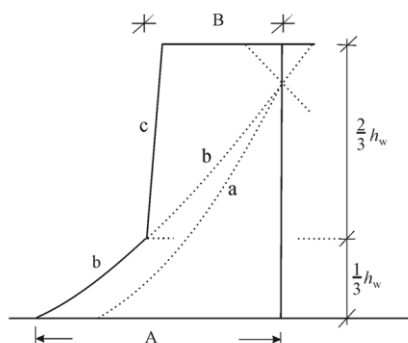


Σύμβολα

- a διάγραμμα ροπών από την ανάλυση
- b περιβάλλουσα σχεδιασμού
- a₁ μετατόπιση εφελκυστικής δύναμης

Σχήμα 6.6: Περιβάλλουσα σχεδιασμού ροπών κάμψευς σε λιγυρά τοιχώματα (EN 1998, Σχήμα 5.3)

(αριστερά: σύστημα τοιχώματος, δεξιά: διπλό σύστημα)



Σύμβολα

- a διάγραμμα τεμνουσών από την ανάλυση
- b διάγραμμα αυξημένων τεμνουσών
- c περιβάλλουσα σχεδιασμού
- A βάση τοιχώματος
- B κορυφή τοιχώματος \geq βάση τοιχώματος/2

Σχήμα 6.7: Περιβάλλουσα των διατμητικών δυνάμεων στα τοιχώματα διπλού συστήματος (EN 1998, Σχήμα 5.4)

Για να εξασφαλίζεται ότι, **η καμπτική διαρροή** προηγείται της επίτευξης της **ΟΚΑ σε διάτμηση**, πρέπει η **τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού V_{Ed}** να είναι:

$$V_{Ed} = V'_{Ed} * ((q+1) / 2)$$

όπου:

V'_{Ed} : τέμνουσα δύναμη σε τοίχωμα από την ανάλυση για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

Εάν η τιμή **του συντελεστή συμπεριφοράς $q < 2.0$** , η επίδραση της δυναμικής αξονικής δύναμης μπορεί να αγνοηθεί.

Όταν έχουμε κύρια σεισμικά τοιχώματα, σύμφωνα με τον **EN 1998-1**, η τιμή του **ανηγμένου αξονικού φορτίου v_d** δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.4.

Στον υπολογισμό της καμπτικής αντοχής, το **συνεργαζόμενο πλάτος πέλματος b_{eff}** θα λαμβάνεται έξω από την παρειά του κορμού και θα είναι το μικρότερο από:

- το πραγματικό πλάτος πέλματος
- το ήμισυ της απόστασης έως έναν παρόμοιο κορμό του τοιχώματος
- το 25% του συνολικού ύψους του τοιχώματος πάνω από την στάθμη που εξετάζουμε

Το ύψος της κρίσιμης περιοχής h_{cr} πάνω από την βάση του τοιχώματος είναι:

$$h_{cr} = \max\{l_w, h_w / 6\}$$

&

$$h_{cr} \leq \{2 * l_w, h_s \text{ (για } n \leq 6 \text{ ορόφους)}, 2 * h_s \text{ (για } n \geq 7 \text{ ορόφους)}\}$$

όπου:

h_s : το καθαρό ύψος ορόφου

Το **ύψος της ουδέτερης γραμμής x_u** στην οριακή καμπυλότητα μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$x_u = (v_d + \omega_v) * (l_w * b_c / b_o)$$

όπου:

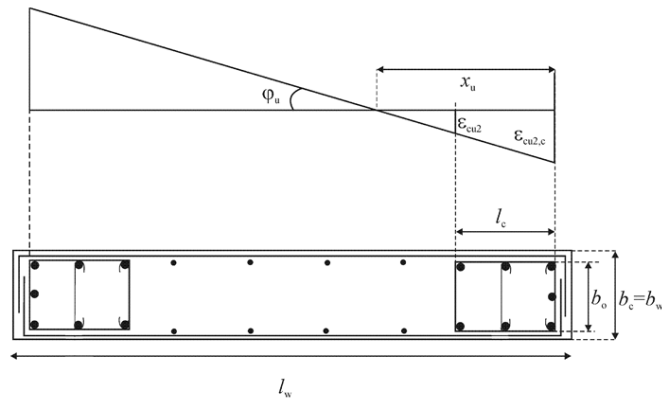
b_o : το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα στο εξόγκωμα ή πέγμα

v_d : η τιμή της ανηγμένης αξονικής δύναμης σχεδιασμού $v_d = (N_{Ed} / h_c * b_c * f_{cd})$

ω_v : το μηχανικό ποσοστό κατακόρυφου σπλισμού ($\omega_v = (A_{sv} / h_c * b_c) * f_{yd} / f_{cd}$)

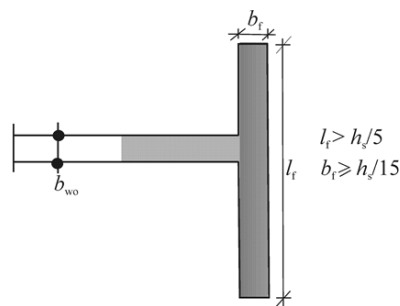
A_{sv} : η συνολική διατομή του κατακόρυφου σπλισμού στον κορμό

Ακολουθούν (Σχήμα 6.8), (Σχήμα 6.9), (Σχήμα 6.10), για περισφιγμένα στοιχεία άκρων.

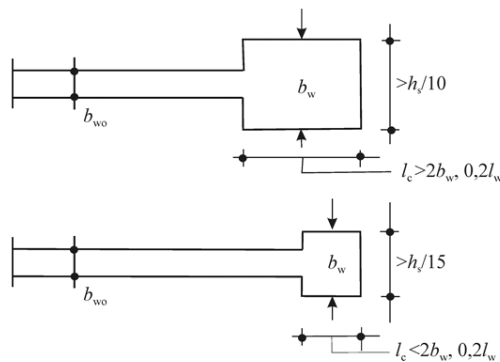


Σχήμα 6.8: Περισιφισμένο στοιχείο άκρου στο ελεύθερο άκρο τοιχώματος (EN 1998, Σχήμα 5.8)

(πάνω: ανηγμένες παραμορφώσεις σε οριακή καμπυλότητα – κάτω: διατομή τοιχώματος)



Σχήμα 6.9: Περισιφισμένο στοιχείο άκρου που δεν είναι απαραίτητο σε άκρο τοιχώματος με μεγάλο εγκάρσιο πέλμα (EN 1998, Σχήμα 5.9)



Σχήμα 6.10: Ελάχιστο πάχος περισιφισμένων στοιχείων άκρων (EN 1998, Σχήμα 5.10)

- Για ΚΠΥ

Η ελάχιστη διάσταση διατομής των κύριων σεισμικών υποστυλωμάτων δεν θα είναι μικρότερη των **250 mm**.

Το πάχος του κορμού b_{wo} είναι ίδιο με αυτό για ΚΠΜ.

Οι διατάξεις για **ΚΠΥ** αφορούν **ενιαία κύρια σεισμικά τοιχώματα** με πλήρη πάκτωση και αγκύρωση στην βάση τους, έτσι ώστε το τοίχωμα να μην είναι ελεύθερο να στρέφεται περί την βάση. Για τον λόγο αυτό **δεν επιτρέπονται τοιχώματα φυτευτά**.

Τα τυχαία ανοίγματα που δεν έχουν κανονική διάταξη, ώστε να οδηγούν σε συζευγμένα τοιχώματα, πρέπει **να αποφεύγονται σε κύρια σεισμικά τοιχώματα**.

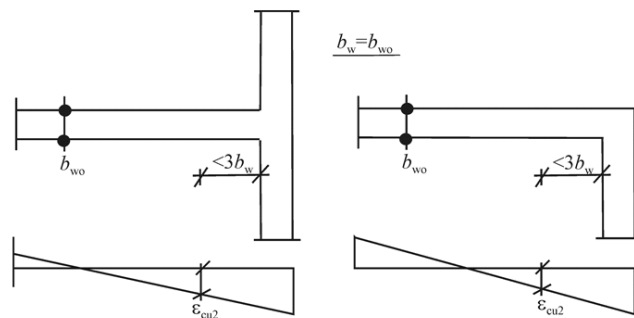
Το διάγραμμα καμπτικών ροπών σχεδιασμού είναι ίδια με αυτό για ΚΠΜ.

Όταν έχουμε κύρια σεισμικά τοιχώματα, σύμφωνα με τον **EN 1998-1**, η τιμή **του ανηγμένου αξονικού φορτίου v_d** δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.35.

Το ύψος της κρίσιμης περιοχής h_{cr} είναι ίδιο με αυτό για ΚΠΜ.

Το **ύψος της ουδέτερης γραμμής x_u** είναι ίδιο με αυτό για ΚΠΜ.

Ακολουθεί (Σχήμα 6.11), για περισφιγμένα στοιχεία άκρων.



Σχήμα 6.11: Ελάχιστο πάχος περισφιγμένων στοιχείων άκρων σε τοιχώματα ΚΠΥ με μεγάλα πέλματα (EN 1998, Σχήμα 5.11)

6.2.7: ΤΟΠΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Για να επιτευχθεί η **απαιτούμενη γενική πλαστιμότητα**, οι πιθανές περιοχές για σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων πρέπει:

- να διαθέτουν ικανότητα μεγάλης πλαστικής στροφής
- να παρέχεται ικανοποιητική πλαστιμότητα καμπυλότητας σε όλες τις κρίσιμες περιοχές των βασικών σεισμικών στοιχείων
- να αποτρέπεται τοπικός λυγισμός του θλιβομένου σπλισμού μέσα στις πιθανές περιοχές πλαστικών αρθρώσεων
- να χρησιμοποιούνται κατάλληλες ποιότητες σκυροδέματος και χάλυβα για την εξασφάλιση τοπικής πλαστιμότητας

Σε διαφορετική περίπτωση εξασφαλίζουμε **γενική πλαστιμότητα** αν:

- **Η πλαστιμότητα καμπυλότητας** είναι ίση με:

- $\mu_{\phi} = 2 * (q_o - 1)$ (αν $T_1 \geq T_c$)
- $\mu_{\phi} = 1 + (2 * (q_o - 1)) * (T_c / T_1)$ (αν $T_1 < T_c$)

όπου:

q_o : η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς από τον πίνακα 5.1. του **EN 1998**

- **Η πλαστιμότητα μετακίνησης** είναι ίση με:
 - $\mu_{\delta} = q$ (αν $T_1 \geq T_c$)
 - $\mu_{\delta} = 1 + (q - 1) * (T_c / T_1)$ (αν $T_1 < T_c$)

ΕΝΟΤΗΤΑ 7: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός του αναλυτικού μέρους που ακολουθεί είναι η ανάπτυξη λογισμικού για τον γρήγορο υπολογισμό σύμφωνα τόσο με τον **ΕΚΟΣ 2000** όσο και με τον **EN 1992-1-1**:

- των οπλισμών κάμψης και διάτμησης δοκού,
- των οπλισμών κάμψης, θλίψης και διάτμησης υποστυλώματος,
- των οπλισμών κάμψης και διάτμησης πλακοδοκού
- της καμπτικής ροπής αστοχίας δοκού με 3 δοκιμές

Το λογισμικό αναπτύχθηκε με το πρόγραμμα Mathcad PTL (2015) Το “Mathcad” είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστικής φύσεως, το οποίο γνωρίζει τους μηχανικούς όρους και τις μονάδες μέτρησης τους ώστε η επέμβαση και αλλαγή στοιχείων να είναι πολύ εύκολη.

Στα πλαίσια της εργασίας δημιουργήθηκαν ξεχωριστές εφαρμογές για τις παραπάνω περιπτώσεις και στην συνέχεια έγιναν εφαρμογές για την κάθε μία περίπτωση.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών, με χρήση του λογισμικού που αναπτύχθηκε. Αρχικά παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαστασιολόγησης ορθογωνικής δοκού οπλισμένου σκυροδέματος σε κάμψη και διάτμηση, σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς (ΕΚΟΣ 2000 και ΕΑΚ 2000) και στην συνέχεια σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (EN 1992 και EN 1998). Το παράδειγμα που ακολουθεί είναι μια διαστασιολόγηση πλακοδοκού οπλισμένου σκυροδέματος σε κάμψη και διάτμηση και ακολουθεί η διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος σε λυγισμό, κάμψη και διάτμηση. Τέλος παρουσιάζεται ένα παράδειγμα υπολογισμού της καμπτικής ροπής αστοχίας μιας δοκού με δεδομένη διατομή και οπλισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.2: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η πρώτη εφαρμογή που αναπτύχθηκε είναι η διαστασιολόγηση μιας ορθογωνικής διατομής δοκού σε κάμψη και διάτμηση σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς (ΕΚΟΣ 2000 και ΕΑΚ 2000) και στην συνέχεια σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (EN 1992 και EN 1998). Ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να τροποποιήσει τα δεδομένα της γεωμετρίας της δοκού (μήκος, διαστάσεις διατομής), την ποιότητα των υλικών, τα επιβαλλόμενα φορτία και τους συντελεστές ασφαλείας.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση μιας αμφιέριστης ορθογωνικής δοκού μήκους 5m, διατομής με πλάτος 25 cm και ύψος 50 cm. Η δοκός φορτίζεται με μόνιμο κατανεμημένο φορτίο 7.5 kN/m, φορτίο τοιχοποιίας και κινητό φορτίο 10 kN/m. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι σκυρόδεμα C20/25 και χάλυβας B500.

7.2.1: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΟΣ 2000

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΟΚΟΥ ΕΚΟΣ 2000

- μήκος δοκού : $l := 5 \text{ m}$ • πλάτος διατομής : $b := 0.25 \text{ m}$ • ύψος διατομής : $h := 0.50 \text{ m}$
- μόνιμο φορτίο : $g := 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ • κινητό φορτίο : $q := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- δρομική τοιχοποιία -> • φορτίο : $g_{\text{τοιχ}} := 2.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ • ύψος : $h_{\text{τοιχ}} := 2.5 \text{ m}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 13.333 \text{ MPa}$
- διατμητική αντοχή σκυροδέματος : $\tau_{Rd} := 0.26 \text{ MPa}$
- μέγιστη εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ctm} := 2.20 \text{ MPa}$ για $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα : $\gamma_s := 1.15$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα : $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού : $V_{sd} := 200 \text{ kN}$
- στατικό ύψος d : $d := 45.2 \text{ cm}$ **ΛΥΣΗ**

Έλεγχος σε κάμψη

φορτία

για την τοιχοποιία : $g_{\text{τοιχ}} := g_{\text{τοιχ}} \cdot h_{\text{τοιχ}} = 5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $g_{\text{φ}} := b \cdot h \cdot 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 3.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- συνολικό φορτίο : $s_d := 1.35 (g + g_{\text{τοιχ}} + g_{\text{φ}}) + 1.5 \cdot q = 36.431 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- ροπή σχεδιασμού δοκού : $M_{sd} := \frac{(s_d \cdot l^2)}{8} = 113.848 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- ανηγμένη ροπή : $\mu := \frac{M_{sd}}{(b \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0.167$

$$\mu < 0.330 \quad \text{αρκεί μόνο εφελκόμενος οπλισμός}$$

αρα το ω είναι $\omega = 0.189$

Απαιτούμενος οπλισμός

$$A_s := \omega \cdot b \cdot d \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) = 6.547 \text{ cm}^2$$

- ποσοστό οπλισμού: $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.006$
- ελάχιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού: $\rho_{min} := \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0.003$
- μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού: $\rho_{max} := 0.65 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015 = 0.011$

Σύμφωνα με τον πίνακα 8.4 στις Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος του Χουλιάρα ,επιλέγω 2Φ22

Έλεγχος ανάγκης οπλισμού διάτμησης

- συντελεστής: $k := 1.6 - \frac{d}{1 \text{ m}} = 1.148 > 1$ άρα $N_{sd} := 0 \text{ kN}$
- θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα λόγω αξονικής δύναμης: $\sigma_{cp} := \frac{N_{sd}}{A} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- διατομή διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού: $A_{s1} := 7.60 \text{ cm}^2$
- ποσοστό διαμήκους οπλισμού: $\rho_l := \frac{A_{s1}}{(b \cdot d)} = 0.007 < 0.02$
- τέμνουσα δύναμη αντοχής: $V_{Rd1} := (\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = 49.548 \text{ kN}$

$$V_{Rd1} = 49.548 \text{ kN} < V_{sd} \text{ άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

Έλεγχος επάρκειας σκυροδέματος

$$\nu := 0.7 - \frac{f_{ck}}{200 \text{ MPa}} = 0.6 > 0.5$$

- τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd2} := 0.5 \cdot \nu \cdot f_{ct} \cdot b \cdot 0.9 d = 406.8 \text{ kN} > V_{sd}$$

άρα η διατομή αντέχει σε θλίψη και δεν χρειάζεται αύξηση του πλάτους της

Έλεγχος οπλισμού διάτμησης

Εφόσον δεν περιλαμβάνεται σεισμός

Η τέμνουσα δύναμη θα παραληφθεί από συνδετήρες.
Η τέμνουσα που θα παραλάβει η διατομή του σκυροδέματος είναι:

$$V_{cd} := V_{Rd1} = 49.548 \text{ kN}$$

Η τέμνουσα που θα παραλάβουν οι συνδετήρες είναι $V_{wd} = V_{Rd3} - V_{cd} \Leftrightarrow V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}$

$$\text{άρα: } V_{wd} := V_{sd} - V_{cd} = 150.452 \text{ kN}$$

• Η αντοχή σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης είναι :

$$f_{ywd} := \frac{\left(500 \cdot 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)}{1.15} = 43.478 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

• γωνία κλίσης οπλισμού διάτμησης :

$$a := 90^\circ$$

$$\sin(a) = 1$$

$$\cos(a) = 0$$

συνδετήρες S500

(έχω κάθετους συνδετήρες γιατί στην Ελλάδα δεν χρησιμοποιούνται κεκλιμένοι)

Για να βγάλω τον λόγο της διατομής οπλισμού διάτμησης A_{sw} , προς την οριζόντια απόσταση μεταξύ των ραβδών του οπλισμού διάτμησης s , χρησιμοποιώ τον τύπο για το $V_{wd} = (A_{sw} / s) \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cos a / \sin a) \cdot \sin a$

Για διατμητικούς συνδετήρες φ8

• διάμετρος συνδετήρων : $d_w := 8 \text{ mm}$

• η διατομή του οπλισμού διάτμησης είναι : $A_{sw} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4} = 1.005 \text{ cm}^2$

• η απόσταση μεταξύ των συνδετηρών είναι :

$$s := \frac{A_{sw} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \left(\frac{1 + \cos(a)}{\sin(a)} \right) \cdot \sin(a)}{V_{wd}} = 11.818 \text{ cm}$$

άρα οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι φ8/14

• ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης : $\rho_{wmin} := 0.0007$ για C20 και S500

ο ελάχιστος οπλισμός διάτμησης υπολογίζεται από $A_{sw} = \rho_{wmin} \cdot s_{min} \cdot b \cdot \sin a$

άρα η μέγιστη απόσταση στο μέσο της δοκού είναι: $s_{max1} := \frac{A_{sw}}{\rho_{wmin} \cdot b \cdot \sin(a)} = 57.446 \text{ cm}$

άρα βάζω φ8/50

Εκτός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{\max 2} := \min(0.6 \cdot d, 30 \text{ cm}) = 27.12 \text{ cm}$$

ΚΕΣΠ 18.3.4 ΕΚΟΣ 2000

αφού $VRd2/5 < Vsd < 2VRd2/3$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/28

Εντός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{\max 3} := \min(1.3 \cdot h, 10 \cdot d_L, 20 \cdot d_W, 200 \text{ mm}) = 14 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/14

7.2.2: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΟΚΟΥ EN 1992-1-1

- μήκος δοκού : $l := 5 \text{ m}$ • πλάτος διατομής : $b := 0.25 \text{ m}$ • ύψος διατομής : $h := 0.50 \text{ m}$
- μόνιμο φορτίο : $g := 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ • κινητό φορτίο : $q := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- δρομική τοιχοποιία -> • φορτίο : $g_{\text{τοιχ}} := 2.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ • ύψος : $h_{\text{τοιχ}} := 2.5 \text{ m}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 11.333 \text{ MPa}$
- διατμητική αντοχή σκυροδέματος : $\tau_{Rd} := 0.26 \text{ MPa}$
- μέγιστη εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ctm} := 2.20 \text{ MPa}$ για $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα : $\gamma_s := 1.15$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα : $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού : $V_{sd} := 200 \text{ kN}$
- στατικό ύψος d : $d := 45.2 \text{ cm}$
- τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα : $E_s := 200 \text{ GPa}$

ΛΥΣΗ

Έλεγχος σε κάμψη

φορτία

για την τοιχοποιία : $g_{\text{τοιχ}} := g_{\text{τοιχ}} \cdot h_{\text{τοιχ}} = 5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $g_{\text{qβ}} := b \cdot h \cdot 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 3.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- συνολικό φορτίο : $s_d := 1.35 (g + g_{\text{τοιχ}} + g_{\text{qβ}}) + 1.5 \cdot q = 36.431 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- ροπή σχεδιασμού δοκού : $M_{sd} := \frac{(s_d \cdot l^2)}{8} = 113.848 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- ανηγμένη ροπή : $\mu := \frac{M_{sd}}{(b \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0.197 \quad \mu < 0.330$ αρκεί μόνο εφελκόμενος οπλισμός

αρα το ω είναι $\omega = 0.209$

Απαιτούμενος οπλισμός

$$A_s := \omega \cdot b \cdot d \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) = 6.147 \text{ cm}^2$$

- ποσοστό οπλισμού: $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.005$
- ελάχιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού: $\rho_{min} := \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0.003$
- βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς : $q_o := 3$
- δείκτης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων: $\mu_\varphi := 2 \cdot (q_o - 1) = 4$
- τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης μήκυνσης του χάλυβα στη διαρροή: $\varepsilon_{syd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.002$
- μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου στα άκρα της δοκού: $\rho_{max} := \rho' + \frac{0.0018}{\mu_\varphi \cdot \varepsilon_{syd}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.008$

επιλέγω 2Φ20 για την δοκό μου

Ελεγχος ανάγκης οπλισμού διάτμησης

- συντελεστής : $k := 1 + \sqrt{\left(\frac{200 \text{ mm}}{d} \right)} = 1.665 < 2,0$ $N_{Ed} := 0 \text{ kN}$
- θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα λόγω αξονικής δύναμης : $\sigma_{cp} := \frac{N_{Ed}}{A} = 0 \text{ MPa} < 0,2 \cdot f_{cd}$
- συντελεστής σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** : $k_1 := 0.15$
- διατομή διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού : $A_{s1} := A_s = 6.147 \text{ cm}^2$
- ποσοστό διαμήκους οπλισμού : $\rho_1 := \frac{A_{s1}}{(b \cdot d)} = 0.005 < 0,02$
- σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** : $C_{Rdc} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$

- τέμνουσα δύναμη αντοχής :

$$V_{Rdc} := \left(C_{Rdc} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \cdot MPa^{-1} \right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot MPa^{-1} \right) \cdot MPa \cdot b \cdot d = 50.032 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = 50.032 \text{ kN} < V_{sd} \text{ \u00e0ρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

- ελάχιστη τιμή τέμνουσας : $V_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(f_{ck} \cdot MPa^{-1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot MPa = 0.336 \text{ MPa}$

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης

- Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης : $\rho_{smin} := \frac{\left(0.08 \cdot \left(f_{ck} \cdot MPa^{-1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot MPa \right)}{f_{yk}} = 0.00072$
- μέγιστη απόσταση συνδετήρων : $s := 0.75 \cdot d = 33.9 \text{ cm}$
- Ελάχιστο εμβαδόν διατομής οπλισμού διάτμησης : $A_{smin} := \rho_{smin} \cdot b \cdot s = 0.606 \text{ cm}^2$

$$\text{γωνία } \theta := 45^\circ$$

$$\text{γωνία } \alpha := 90^\circ$$

$$\bullet \text{ μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων : } z := 0.9 \cdot d = 0.407 \text{ m}$$

$$\text{\u00e0ρα: } V_{Rdmin} := \left(\frac{A_{smin}}{s} \right) \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \left(\cot(\theta) + \cot(\alpha) \right) \cdot \sin(\alpha) = 31.639 \text{ kN}$$

Τέμνουσα με οπλισμό διάτμησης

σύμφωνα με το **Εθνικό Προσ\u00e4ρτημα**:

- δείκτης μείωσης αντοχής ρηγματωμένου σκυροδέματος : $\nu_1 := 0.6$ για $f_{ck} < 60 \text{ MPa}$
- συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα : $\alpha_{cw} := 1$ για μη προεντεταμένη κατασκευή

$$\text{\u00e0ρα: } V_{Rdmax} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 345.78 \text{ kN}$$

- διάμετρος συνδετήρων : $d_W := 8 \text{ mm}$

- εμβαδό οπλισμού διάτμησης : $A_{sm} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_W^2}{4} = 1.005 \text{ cm}^2 > A_{smin}$

Ξέρω ότι :

$$VR_{cd} > V_{sd} \Rightarrow (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta > VR_{d}$$

- απαιτούμενη απόσταση συνδετήρων: $s := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot(\theta)}{V_{sd}} = 8.89 \text{ cm}$

άρα οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι φ8/9 για την δοκό μου

Εκτός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{\max 2} := 0.75 \cdot d = 33.9 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/34

Εντός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{\max 3} := \min \left(\frac{h}{4}, 8 \cdot d_L, 24 \cdot d_W, 225 \text{ mm} \right) = 11.2 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.3: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η δεύτερη εφαρμογή που αναπτύχθηκε είναι η διαστασιολόγηση μιας πλακοδοκού σε κάμψη και διάτμηση σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς (ΕΚΟΣ 2000 και ΕΑΚ 2000) και στην συνέχεια σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (EN 1992 και EN 1998). Ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να τροποποιήσει τα δεδομένα της γεωμετρίας της δοκού (μήκος, διαστάσεις διατομής), την ποιότητα των υλικών, τα επιβαλλόμενα φορτία και τους συντελεστές ασφαλείας.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση μιας πλακοδοκού μήκους 6m, με συνεργαζόμενο πλάτος διατομής 1.5 m, πλάτος διατομής 25 cm και ύψος 50 cm. Η δοκός φορτίζεται με μόνιμο κατανεμημένο φορτίο 7.5 kN/m, φορτίο τοιχοποιίας και κινητό φορτίο 10 kN/m. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι σκυρόδεμα C20/25 και χάλυβας B500.

7.3.1: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΟΣ 2000

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ ΕΚΟΣ 2000

- μήκος δοκού : $l := 6 \text{ m}$ • ύψος διατομής : $h := 0.55 \text{ m}$
- συνεργαζόμενο πλάτος διατομής : $b_{ef} := 1.5 \text{ m}$
- πλάτος διατομής : $b_w := 0.25 \text{ m}$ • ύψος άνω διατομής : $h_f := 0.15 \text{ m}$
- μόνιμο φορτίο : $g := 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ • κινητό φορτίο : $q := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- δρομική τοιχοποιία -> • φορτίο: $g_{\text{τοιχ}} := 2.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ • ύψος: $h_{\text{τοιχ}} := 2.5 \text{ m}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 13.333 \text{ MPa}$
- διατμητική αντοχή σκυροδέματος : $\tau_{Rd} := 0.26 \text{ MPa}$
- εφελκιστική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ctm} := 2.2 \text{ MPa}$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα: $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα: $\gamma_s := 1.15$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού : $V_{sd} := 200 \text{ kN}$
- συντελεστής εντατικής καταστάσης για κάμψη : $k := 0.5$
- πάχος επικάλυψης κάτω οπλισμού : $d_1 := 0.05 \text{ m}$ • στατικό ύψος d : $d = 50.2 \text{ cm}$

ΛΥΣΗ

Έλεγχος σε κάμψη

φορτία

$$\text{για την τοιχοποιία : } g_{\text{τοιχ}} := g_{\text{τοιχ}} \cdot h_{\text{τοιχ}} = 5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad g_{\text{q}} := h \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 13.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\bullet \text{ συνολικό φορτίο : } s_d := 1.35 (g + g_{\text{τοιχ}} + g_{\text{q}}) + 1.5 \cdot q = 50.775 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- ροπή σχεδιασμού δοκού : $M_{sd} := \frac{(sd \cdot l^2)}{8} = 228.488 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- ανηγμένη ροπή : $\mu := \frac{M_{sd}}{(b_{ef} \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0.05$

$\mu < 0.183$ αρκεί μόνο εφελκόμενος οπλισμός

αρα για $\mu=0,05$ το ω είναι : $\omega = 0.053$

Απαιτούμενος οπλισμός

$$A_{s1} := \omega \cdot b_{ef} \cdot d \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) = 12.123 \text{ cm}^2$$

- ποσοστό οπλισμού: $\rho := \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = 0.01$

- ελάχιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού: $\rho_{min} := \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0.003$

- μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού: $\rho_{max} := 0.65 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015 = 0.011$

Σύμφωνα με τον πίνακα 8.4 στις Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος του Χουλιάρα ,επιλέγω 2Φ28

Ελεγχος ανάγκης οπλισμού διάτμησης

- συντελεστής : $k := 1.6 - \frac{d}{1 \text{ m}} = 1.098 > 1$ αρα $N_{sd} := 0 \text{ kN}$

- θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα λόγω αξονικής δύναμης : $\sigma_{cp} := \frac{N_{sd}}{A} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$\rho_l := \frac{A_{s1}}{(b_w \cdot d)} = 0.01 < 0.02$$

τέμνουσα δύναμη αντοχής

$$V_{Rd1} := (\tau_{Rd1} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 56.837 \text{ kN}$$

$$V_{Rd1} = 56.837 \text{ kN} < V_{sd} \text{ αρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

Έλεγχος επάρκειας σκυροδέματος

$$\nu := 0.7 - \frac{f_{ck}}{200 \text{ MPa}} = 0.6 > 0.5$$

$$V_{Rd2} := 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d = 451.8 \text{ kN} > V_{sd}$$

άρα η διατομή αντέχει σε θλίψη και δεν χρειάζεται αύξηση του πλάτους της

Έλεγχος οπλισμού διάτμησης

Εφόσον δεν περιλαμβάνεται σεισμός

Η τέμνουσα δύναμη θα παραληφθεί από συνδετήρες.
Η τέμνουσα που θα παραλάβει η διατομή του σκυροδέματος είναι:

$$V_{cd} := V_{Rd1} = 56.837 \text{ kN}$$

Η τέμνουσα που θα παραλάβουν οι συνδετήρες είναι $V_{wd} = V_{Rd3} - V_{cd} \Leftrightarrow V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}$

$$\text{άρα: } V_{wd} := V_{sd} - V_{cd} = 143.163 \text{ kN}$$

• Η αντοχή σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης είναι :

$$f_{ywd} := \frac{\left(500 \cdot 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)}{1.15} = 43.478 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

• γωνία κλίσης οπλισμού διάτμησης :

συνδετήρες S500

(έχω κάθετους συνδετήρες γιατί στην Ελλάδα δεν χρησιμοποιούνται κεκλιμένοι)

$$\alpha := 90^\circ$$

$$\sin(\alpha) = 1$$

$$\cos(\alpha) = 0$$

Για να βγάλω τον λόγο της διατομής οπλισμού διάτμησης A_{sw} , προς την οριζόντια απόσταση μεταξύ των ραβδών του οπλισμού διάτμησης s , χρησιμοποιώ τον τύπο για το $V_{wd} = (A_{sw} / s)^2 \cdot 0.9^2 \cdot d^2 \cdot f_{ywd}^2 \cdot (1 + \cos \alpha / \sin \alpha)^2 \cdot \sin \alpha$

Για διατμητικούς συνδετήρες φ8

• διάμετρος συνδετήρων : $d_w := 8 \text{ mm}$

• η διατομή του οπλισμού διάτμησης είναι :

$$A_{sw} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4} = 1.005 \text{ cm}^2$$

• η απόσταση μεταξύ των συνδετηρών είναι :

$$s := \frac{A_{sw} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \left(\frac{1 + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} \right) \cdot \sin(\alpha)}{V_{wd}} = 13.794 \text{ cm}$$

άρα οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι φ8/12

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης

- ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης : $\rho_{wmin} := 0.0007$ για C20 και S500

ο ελάχιστος οπλισμος διατμησης υπολογιζεται απο
 $A_{sw} = \rho_{wmin} \cdot s_{min} \cdot b \cdot \sin \alpha$

$$\text{αρα η μέγιστη απόσταση στο μέσο της δοκού είναι: } s_{max1} := \frac{A_{sw}}{\rho_{wmin} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 57.446 \text{ cm}$$

αρα βάζω φ8/50

Εκτός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{max} := \min(0.6 \cdot d, 30 \text{ cm}) = 30 \text{ cm} \quad \text{αφού } VRd2/5 < Vsd < 2VRd2/3$$

κειρ 18.3.4 ΕΚΟΣ 2000

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/30

Εντός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{max3} := \min(1.3 \cdot h, 10 \cdot d_L, 20 \cdot d_W, 200 \text{ mm}) = 14 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/14

7.3.2: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ EN 1992-1-1

- μήκος δοκού : $l := 6 \text{ m}$ • ύψος διατομής : $h := 0.55 \text{ m}$
- συνεργαζόμενο πλάτος διατομής : $b_{ef} := 1.5 \text{ m}$
- πλάτος κάτω διατομής : $b_w := 0.25 \text{ m}$ • ύψος άνω διατομής $h_f := 0.15 \text{ m}$
- μόνιμο φορτίο : $g := 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ • κινητό φορτίο : $q := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- δρομική τοιχοποιία -> • φορτίο: $g_{toix} := 2.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ • ύψος: $h_{toix} := 2.5 \text{ m}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 11.333 \text{ MPa}$
- διατμητική αντοχή σκυροδέματος : $\tau_{Rd} := 0.26 \text{ MPa}$
- εφελκιστική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ctm} := 2.2 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα: $\gamma_s := 1.15$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα: $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα : $E_s := 200 \text{ GPa}$
- τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού : $V_{sd} := 200 \text{ kN}$
- ορθή δύναμη καταπόνησης : $N_d := -200 \text{ kN}$
- συντελεστής εντατικής καταστάσης για κάμψη : $k := 0.5$
- πάχος επικάλυψης κάτω οπλισμού : $d_1 := 0.05 \text{ m}$ • στατικό ύψος d : $d = 50.2 \text{ cm}$

ΛΥΣΗ

Έλεγχος σε κάμψη

φορτία

$$\text{για την τοιχοποιία : } g_{toix} := g_{toix} \cdot h_{toix} = 5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad g_{q\beta} := h \cdot 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 13.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- συνολικό φορτίο : $sd := 1.35 (g + g_{toix} + g_{q\beta}) + 1.5 \cdot q = 50.775 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- ροπή σχεδιασμού : $M_{sd} := \frac{(s_d \cdot l^2)}{8} = 228.488 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- ανηγμένη ροπή : $\mu := \frac{M_{sd}}{(b_{ef} \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0.053$

$$\mu < 0.330 \quad \text{αρκεί μόνο εφελκόμενος οπλισμός}$$

αρα το ω είναι $\omega = 0.053$

Απαιτούμενος οπλισμός

$$A_{s1} := \omega \cdot b_{ef} \cdot d \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) = 10.305 \text{ cm}^2$$

- ποσοστό οπλισμού: $\rho := \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = 0.008$

- ελάχιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού: $\rho_{min} := \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0.003$

- βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς : $q_o := 3$

- δείκτης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων : $\mu_\varphi := 2 \cdot (q_o - 1) = 4$

- τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης μήκυνσης του χάλυβα στη διαρροή: $\varepsilon_{syd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.002$

- μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου στα άκρα της δοκού: $\rho_{max} := \rho' + \frac{0.0018}{\mu_\varphi \cdot \varepsilon_{syd}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.01$

άρα επιλέγω 2Φ26

Ελεγχος ανάγκης οπλισμού διάτμησης

- συντελεστής : $k := 1 + \sqrt{\left(\frac{200 \text{ mm}}{d} \right)} = 1.631 < 2.0$ $N_{Ed} := 0 \text{ kN}$

- θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα λόγω αξονικής δύναμης : $\sigma_{cp} := \frac{N_{Ed}}{A} = 0 \text{ MPa} < 0.2 \cdot f_{cd}$

- συντελεστής σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** : $k_1 = 0.15$

- ποσοστό διαμήκους οπλισμού : $\rho_1 := \frac{A_{s1}}{(b_w \cdot d)} = 0.008 < 0.02$

- σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα** : $C_{Rdc} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$

- τέμνουσα δύναμη αντοχής :

$$V_{Rdc} := \left(C_{Rdc} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \cdot MPa^{-1} \right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot MPa^{-1} \right) \cdot MPa \cdot b_w \cdot d = 62.441 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = 62.441 \text{ kN} \quad < V_{sd} \text{ \u00e1ρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

- ελάχιστη τιμή τέμνουσας : $V_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(f_{ck} \cdot MPa^{-1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot MPa \cdot cm^2 = 0.033 \text{ kN}$

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης

- Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης : $\rho_{smin} := \frac{\left(0.08 \cdot \left(f_{ck} \cdot MPa^{-1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot MPa \right)}{f_{yk}}$
γωνία = 0.00072
- μέγιστη απόσταση συνδετήρων : $s := 0.75 \cdot d = 37.65 \text{ cm}$
- Ελάχιστο εμβαδόν διατομής οπλισμού διάτμησης : $A_{smin} := \rho_{smin} \cdot b_w \cdot s = 0.674 \text{ cm}^2$

\u00e1ρα:

$$\theta := 45^\circ$$

$$\alpha := 90^\circ$$

$$\bullet \text{ μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυν\u00e1μεων : } z := 0.9 \cdot d = 0.452 \text{ m}$$

$$V_{Rdmin} := \left(\frac{A_{smin}}{s} \right) \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \left(\cot(\theta) + \cot(\alpha) \right) \cdot \sin(\alpha) = 35.139 \text{ kN}$$

Τέμνουσα με οπλισμό διάτμησης

σ\u00f9μφωνα με το **Εθνικό Προσ\u00e1ρτημα**:

- δείκτης μείωσης αντοχής ρηγματωμένου σκυροδέματος : $\nu_1 := 0.6$ για $f_{ck} < 60 \text{ MPa}$
- συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβ\u00f3μενο π\u00e9λημα : $\alpha_{cw} := 1$ για μη προεντεταμένη κατασκευή

$$\u00e1ρα : V_{Rdmax} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 384.03 \text{ kN}$$

- διάμετρος συνδετήρων : $d_W := 10 \text{ mm}$

- εμβαδό οπλισμού διάτμησης : $A_{sw} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_W^2}{4} = 1.571 \text{ cm}^2 > A_{swmin}$

Ξέρω ότι :

$$VRcd > Vsd \Rightarrow (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta > VRd$$

- απαιτούμενη απόσταση συνδετήρων: $s := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot(\theta)}{V_{sd}} = 15.428 \text{ cm}$

άρα οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι φ8/16 για την δοκό

Εκτός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{max2} := 0.75 \cdot d = 37.65 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/38

Εντός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{max3} := \min \left(\frac{h}{4}, 8 \cdot d_L, 24 \cdot d_W, 225 \text{ mm} \right) = 11.2 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.4: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ, ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η τρίτη εφαρμογή που αναπτύχθηκε είναι η διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος σε λυγισμό, κάμψη και διάτμηση σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς (ΕΚΟΣ 2000 και ΕΑΚ 2000) και στην συνέχεια σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (EN 1992 και EN 1998). Ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να τροποποιήσει τα δεδομένα της γεωμετρίας της δοκού (μήκος, διαστάσεις διατομής), την ποιότητα των υλικών και τους συντελεστές ασφαλείας.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση ενός υποστυλώματος μήκους 3m, διατομής με πλάτος 45 cm και ύψος 45 cm. Στο υποσύλωμα χρησιμοποιήθηκαν σκυρόδεμα C20/25 και χάλυβας B500.

7.4.1: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΚΟΣ 2000

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΕΚΟΣ 2000

- πλάτος διατομής : $b := 0.45 \text{ m}$
- μήκος υποστυλώματος : $l := 3 \text{ m}$
- ύψος διατομής : $h := 0.45 \text{ m}$
- $d_1 := 4.5 \text{ cm}$ $d_2 := d_1 = 4.5 \text{ cm}$
- θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 13.333 \text{ MPa}$
- διατμητική αντοχή σκυροδέματος : $\tau_{Rd} := 0.26 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα : $\gamma_s := 1.15$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα : $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- καμπτική ροπή καταπόνησης : $M_d := 275 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- ορθή δύναμη καταπόνησης : $N_d := 130 \text{ kN}$
- τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού : $V_d := 200 \text{ kN}$
- στατικό ύψος : $d := 360 \text{ mm}$
- είναι οπλισμένο με 4φ20

ΛΥΣΗ

Έλεγχος λυγισμού

- ροπή αδράνειας της διατομής : $I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 0.003 \text{ m}^4$
- επιφάνεια διατομής του σκυροδέματος : $A_c := b \cdot h = 0.203 \text{ m}^2$
- ακτίνα αδράνειας του υποστυλώματος : $i := \sqrt{\left(\frac{I_c}{A_c}\right)} = 0.13 \text{ m}$
- $l_0 := l = 3 \text{ m}$
- λυγρότητα : $\lambda := \frac{l_0}{i} = 23.094 \leq 200$
- ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού : $\nu_d := \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = 0.048 \leq 0.65$

υπολογίζω τα όρια για να δω το λ που βρίσκεται,σε πιο κριτήριο

$$\frac{15}{\sqrt{|\nu_d|}} = 68.36 \qquad \frac{75}{\sqrt{|\nu_d|}} = 341.8$$

Αφού $\max(25,68.36) > \lambda$, τότε **δεν απαιτείται έλεγχος** του υποστηλώματος σε **λυσισμό**, γιατί το υποστέλωμα δεν θεωρείται ευλυγιστό.

Έλεγχος σε μονοαξονική κάμψη και θλίψη

- ανηγμένη ροπή : $\mu_d := \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0.226$

- ανηγμένη δύναμη : $\nu_d := \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 0.048$

θα χρειαστώ το ω_{tot} οπότε : $\frac{d_1}{h} = 0.10$

Σύμφωνα με τον πίνακα 4,6ε σελ 116 στις Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος του Χουλιάρα $\omega_{tot} := 0.8$

όρα $A_{s,tot} := \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 49.68 \text{ cm}^2$

- Ελάχιστος οπλισμός της συνολικής διατομής $1\% \cdot b \cdot h = 20.25 \text{ cm}^2$

- Μέγιστος οπλισμός του υποστηλώματος $4\% \cdot b \cdot h = 81 \text{ cm}^2$

επομένως $A_{s1} := \frac{A_{s,tot}}{2} = 24.84 \text{ cm}^2$

$$A_{s2} := A_{s1}$$

Απο πίνακα 8,4 σελ 218 επιλέγω 6φ24 σε 2 απέναντι πλευρές του υποστηλώματος, στην διεύθυνση της δραστηκής ροής

Έλεγχος σε διάτμηση

ελάχιστη διάμετρος διαμήκων ράβδων: $d_{Lmin} := 20 \text{ mm}$

μέγιστη διάμετρος διαμήκων ράβδων: $d_{Lmax} := 20 \text{ mm}$

- ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων στις **κρίσιμες** περιοχές είναι

$$\min\phi := \max\left(8 \text{ mm}, \frac{d_{Lmin}}{3}\right) = 8 \text{ mm}$$

- μέγιστη απόσταση συνδετήρων στην **μη κρίσιμη** περιοχή

$$maxs := \min(12 \cdot d_{l,min}, b, 30 \text{ cm}) = 24 \text{ cm}$$

- μέγιστη απόσταση συνδετήρων στην **κρίσιμη** περιοχή

$$maxs' := \min\left(8 \cdot d_{l,max}, \frac{b}{2}, 10 \text{ cm}\right) = 10 \text{ cm}$$

Άρα τοποθετώ σε όλο το ύψος του υποστηλώματος ορθογωνικοί 8φ10

Έλεγχος ανάγκης οπλισμού διάτμησης

- συντελεστής : $k := 1.6 - \frac{d}{1 \text{ m}} = 1.24 < 2,0$

- εμβαδόν διατομής : $A = b \cdot h = 0.203 \text{ m}^2$

- ποσοστό διαμήκουσ οπλισμού : $\rho_l := \frac{A_{sl}}{(b \cdot d)} = 0.015 < 0,02$

- θλιπτική τάση στο σκυροδέμα λόγω αξονικής δύναμης : $\sigma_{cp} := \frac{N_d}{A} = 0.642 \text{ MPa} < 0,2 \cdot f_{cd}$
 $0.2 \cdot f_{cd} = 2.667 \text{ MPa}$

- τέμνουσα δύναμη αντοχής :

$$V_{Rdt} := (\tau_{Rdt} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = 110.308 \text{ kN}$$

$$V_{Rdt} = 110.308 \text{ kN} < V_d \text{ άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

Έλεγχος επάρκειας σκυροδέματος

$$\nu := 0.7 - \frac{f_{ck}}{200 \text{ MPa}} = 0.6 > 0.5$$

- τέμνουσα αντοχής σχεδιαμού λόγω λοξής θλίψης κορμού :

$$V_{Rdt2} := 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b \cdot 0.9 d = 583.2 \text{ kN} > V_{sd}$$

άρα η διατομή αντέχει σε θλίψη και δεν χρειάζεται αύξηση του πλάτους της

Έλεγχος οπλισμού διάτμησης

- τέμνουσα δύναμη που παραλαμβάνεται στο το θλιβόμενο πέλαμα : $V_{cd} := V_{Rd1} = 110.308 \text{ kN}$

Η τέμνουσα που θα παραλάβουν οι συνδετήρες είναι $V_{wd} = V_{Rd3} - V_{cd} \Leftrightarrow V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}$

$$V_{wd} := V_d - V_{cd} = 89.692 \text{ kN}$$

- Η αντοχή σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης είναι : γωνία κλίσης οπλισμού
διάτμησης $\alpha := 90^\circ$

$$f_{ywd} := \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 43.478 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= 1 \\ \cos(\alpha) &= 0 \end{aligned}$$

Για να βγάλω τον λόγο της διατομής οπλισμού διάτμησης A_{sw} , προς την οριζόντια απόσταση μεταξύ των ραβδών του οπλισμού διάτμησης s , χρησιμοποιώ τον τύπο για το $V_{wd} = (A_{sw} / s) \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cos \alpha / \sin \alpha) \cdot \sin \alpha$

Για διατμητικούς συνδετήρες φ8

- διάμετρος συνδετήρων : $d_w := 8 \text{ mm}$

- η διατομή του οπλισμού διάτμησης είναι : $A_{sw} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4} = 1.005 \text{ cm}^2$

- η απόσταση μεταξύ των συνδετηρων είναι : $s := \frac{A_{sw} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \left(\frac{1 + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} \right) \cdot \sin(\alpha)}{V_{wd}} = 15.789 \text{ cm}$

άρα οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι φ8/16

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης

- ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης : $\rho_{wmin} := 0.0007$ για C20 και S500

- ο ελαχίστος οπλισμος διατμησης υπολογίζεται απο : $A_{sw} = \rho_{w,min} \cdot s_{min} \cdot b \cdot \sin \alpha$

άρα η μέγιστη απόσταση στο μέσο της δοκού είναι: $s_{max1} := \frac{A_{sw}}{\rho_{wmin} \cdot b \cdot \sin(\alpha)} = 31.915 \text{ cm}$

άρα βάζω φ8/32

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{\max} := \min(0.6 \cdot d, 30 \text{ cm}) = 21.6 \text{ cm} \quad \text{αφού } VRd2 / 5 < Vsd < 2VRd2 / 3$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/22

Εκτός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{\max2} := \min(12 \cdot d_L, h, 30 \text{ cm}) = 16.8 \text{ cm}$$

κσφ 18.3.4 ΕΚΟΣ 2000

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/18

Εντός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{\max3} := \min\left(8 \cdot d_L, \frac{1}{2} \cdot h, 100 \text{ mm}\right) = 10 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/10

7.4.2: ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EN 1992-1-1

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ EN 1992-1-1

- πλάτος διατομής : $b := 0.45 \text{ m}$ • μήκος υποστυλώματος : $l := 3 \text{ m}$
- ύψος διατομής : $h := 0.45 \text{ m}$ $d_1 := 4.5 \text{ cm}$ $d_2 := d_1 = 4.5 \text{ cm}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 11.333 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα : $\gamma_s := 1.15$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα : $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- καμπτική ροπή καταπόνησης : $M_d := 275 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- ορθή δύναμη καταπόνησης : $N_d := 130 \text{ kN}$
- τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού : $V_d := 200 \text{ kN}$
- είναι οπλισμένο με 4φ20 $A := 0.7$ $B := 1.1$ $C := 0.7$
- στατικό ύψος : $d := 360 \text{ mm}$

ΛΥΣΗ

Έλεγχος λυγισμού

- ροπή αδράνειας της διατομής : $I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 0.003 \text{ m}^4$
- επιφάνεια διατομής του σκυροδέματος : $A_c := b \cdot h = 0.203 \text{ m}^2$
- ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού : $\nu_d := \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} = 0.0566 \leq 0.65$
- μικρότερο όριο λυγιρότητας : $\lambda_{lim} := 20 \cdot A \cdot B \cdot \frac{C}{\sqrt{|\nu_d|}} = 45.294$ $l_0 := l = 3 \text{ m}$
- ακτίνα αδράνειας του υποστυλώματος : $i := \sqrt{\left(\frac{I_c}{A_c}\right)} = 0.13 \text{ m}$

- λυγηρότητα : $\lambda := \frac{l_0}{i} = 23.094 \leq 200$

Αφού $\lambda < \lambda_{lim}$, τότε **δεν απαιτείται έλεγχος** του υποστηλώματος σε λυγισμό ,γιατί το υποστήλωμα δεν θεωρείται ευλύγιστο.

Έλεγχος σε μονοαξονική κάμψη και θλίψη

- ανηγμένη ροπή : $\mu_d := \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0.266$

- ανηγμένη δύναμη : $\nu_d := \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 0.057$

θα χρειαστώ το ω_{tot} οπότε : $\frac{d_1}{h} = 0.10$

$$\omega_{tot} := 0.8$$

$$\text{όρα } A_{s,tot} := \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 42.228 \text{ cm}^2$$

- Ελάχιστος οπλισμός της συνολικής διατομής $1\% \cdot b \cdot h = 20.25 \text{ cm}^2$
- Μέγιστος οπλισμός του υποστηλώματος $4\% \cdot b \cdot h = 81 \text{ cm}^2$

$$\text{επομένως } A_{s1} := \frac{A_{s,tot}}{2} = 21.114 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} := A_{s1}$$

επιλέγω 6φ22 σε 2 απέναντι πλευρές του υποστηλώματος ,στην διεύθυνση της καταπόνησης

Έλεγχος σε διάτμηση

ελάχιστη διάμετρος διαμήκων ράβδων: $d_{Lmin} := 20 \text{ mm}$

μέγιστη διάμετρος διαμήκων ράβδων: $d_{Lmax} := 20 \text{ mm}$

- ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων στις **κρίσιμες περιοχές** είναι

$$\min \phi := \max \left(6 \text{ mm}, \frac{d_{Lmin}}{4} \right) = 6 \text{ mm}$$

- μέγιστη απόσταση συνδετήρων στην **μη κρίσιμη** περιοχή

$$maxs := \min(20 \cdot d_{l,min}, b, 40 \text{ cm}) = 40 \text{ cm}$$

- μέγιστη απόσταση συνδετήρων στην **κρίσιμη** περιοχή

$$maxs' := \min\left(8 \cdot d_{l,max}, \frac{b}{2}, 17.5 \text{ cm}\right) = 16 \text{ cm}$$

Άρα τοποθετώ σε όλο το ύψος του υποστηλώματος ορθογωνικοί 8φ16

Επειδή, σύμφωνα με τον περιορισμό ότι σε κάθε πλευρά πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον 3 ράβδοι (EC8,12,παρ2.2), θα τοποθετήσω 1φ14 στις άλλες 2 πλευρές στην μέση.

Αντοχή σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα

- δείκτης μείωσης αντοχής ρηγματωμένου σκυροδέματος: $\nu_1 = 0.6$ για $f_{ck} < 60 \text{ MPa}$
- συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα: $\alpha_{cw} = 1$ για μη προεντεταμένη κατασκευή
- μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων: $z = 0.9 \cdot d = 0.324 \text{ m}$
- γωνία: $\theta = 45^\circ$

$$\text{άρα: } V_{Rd,max} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 495.72 \text{ kN}$$

$V_{Rd,max} > V_d$ άρα ο έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού **ικανοποιείται**

Έλεγχος ανάγκης οπλισμού διάτμησης

- συντελεστής: $k := 1 + \sqrt{\left(\frac{200 \text{ mm}}{d}\right)} = 1.745 < 2.0$
- συντελεστής σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα**: $k_1 = 0.15$
- ποσοστό διαμήκους οπλισμού: $\rho_1 := \frac{A_{s1}}{(b \cdot d)} = 0.013 < 0.02$
- εμβαδόν διατομής: $A := b \cdot h = 0.203 \text{ m}^2$
- θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα λόγω αξονικής δύναμης: $\sigma_{cp} := \frac{N_d}{A} = 0.642 \text{ MPa} < 0.2 \cdot f_{cd}$
 $0.2 \cdot f_{cd} = 2.267 \text{ MPa}$
- σύμφωνα με το **Εθνικό Προσάρτημα**: $C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$

- τέμνουσα δύναμη αντοχής :

$$V_{Rdc} := \left(C_{Rdc} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \cdot \text{MPa}^{-1} \right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \text{MPa}^{-1} \right) \cdot \text{MPa} \cdot b \cdot d = 116.203 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = 116.203 \text{ kN} \quad < V_d \text{ άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

- ελάχιστη τιμή τέμνουσας : $V_{min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(f_{ck} \cdot \text{MPa}^{-1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} \cdot \text{cm}^2 = 0.036 \text{ kN}$

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης

- Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης : $\rho_{wmin} = \frac{\left(0.08 \cdot \left(f_{ck} \cdot \text{MPa}^{-1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} \right)}{f_{yk}} = 0.00072$

- διάμετρος συνδετήρων : $d_W := 8 \text{ mm}$

- εμβαδό οπλισμού διάτμησης : $A_{sw} := 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_W^2}{4} = 1.005 \text{ cm}^2$

έστω συνδετήρες φ8, άρα αφού $\rho_w = A_{sw} / (s^*b)$

$$s_{max1} := \frac{A_{sw}}{b \cdot \rho_{wmin}} = 31.221 \text{ cm}$$

Επομένως οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι φ8/24

Εκτός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{max2} := \min(20 \cdot d_L, b, 40 \text{ cm}) = 28 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/22 και η μέγιστη απόσταση των σκελών των συνδετήρων έκος των κρίσιμων περιοχών είναι 28cm

Εντός Κρίσιμης Περιοχής

- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι :

$$s_{max3} := \min\left(8 \cdot d_L, \frac{b}{2}, 17.5 \text{ cm}\right) = 11.2 \text{ cm}$$

επομένως η δοκός οπλίζεται με φ8/14 και η μέγιστη απόσταση των σκελών των συνδετήρων στις κρίσιμες περιοχές είναι 11.2cm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.5: ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟ

Η τέταρτη εφαρμογή που αναπτύχθηκε είναι η εύρεση της καμπτικής ροπής αστοχίας μια αμφιέριστης δοκού με 2 τρόπους. Ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να τροποποιήσει τα δεδομένα της γεωμετρίας της δοκού (μήκος, διαστάσεις διατομής), την ποιότητα των υλικών και τους συντελεστές ασφαλείας.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια δοκός, διατομής με πλάτος 25 cm και ύψος 60 cm με οπλισμό 3Φ18 εφελκυσμένο οπλισμό και 2Φ12 θλιβόμενο. Τα υλικά είναι σκυρόδεμα C20/25 και χάλυβας B500.

7.5.1: ΠΡΩΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΟΚΟΥ ΕΚΟΣ 2000

- μήκος δοκού : $l := 6 \text{ m}$
- πλάτος διατομής : $b := 0.25 \text{ m}$
- στατικό ύψος : $d := 0.56 \text{ m}$
- ύψος διατομής : $h := 0.60 \text{ m}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- $d_2 := h - d = 0.04 \text{ m}$
- θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 13.333 \text{ MPa}$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα : $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα : $\gamma_s := 1.15$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα προέντασης σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000 : $E_s := 200 \text{ GPa}$
- παραμόρφωση άνω ακραίας ίνας σκυροδέματος : $\epsilon_{c_2} := 0.0035$
- άνω οπλισμός 2φ12 αρα : $n_2 := 2$ $\varphi_2 := 1.2 \text{ cm}$
- κάτω οπλισμός 3φ 18 αρα : $n_1 := 3$ $\varphi_1 := 1.8 \text{ cm}$
- όριο διαρροής κάτω οπλισμού : $\epsilon_{s_y} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.0021739$

ΛΥΣΗ

1η δοκιμή:

$$\epsilon_{c_2} := 0.0035$$

$$\epsilon_{s_1} := 0.020$$

- ύψος θλιβόμενης ζώνης : $x := \frac{\epsilon_{c_2}}{\epsilon_{s_1} + \epsilon_{c_2}} \cdot d = 0.083 \text{ m}$
- εφόσον $\epsilon_{c_2} = 3,5$,ο συντελεστής πληρώσεως a δίνεται από τον τύπο : $a := \frac{3 \cdot \epsilon_{c_2} \cdot 1000 - 2}{3 \cdot \epsilon_{c_2} \cdot 1000} = 0.81$
- δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα : $F_c := a \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 191.3 \text{ kN}$
- εμβαδόν διατομής κάτω οπλισμού : $A_{s_1} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot (\varphi_1)^2}{4} = 7.634 \text{ cm}^2$
- εμβαδόν διατομής άνω οπλισμού : $A_{s_2} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot (\varphi_2)^2}{4} = 2.262 \text{ cm}^2$

αν $\epsilon s_1 > \epsilon s_y$ τότε: $\sigma s_1 := f_{yd}$ (όπου σs_1 τάση κάτω οπλισμού)

- δύναμη που αναλαμβάνει ο κάτω οπλισμός: $F_{s_1} := A_{s_1} \cdot \sigma s_1 = 331.916 \text{ kN}$
- για να βρώ την παραμόρφωση του άνω οπλισμού: $\epsilon c_2 / x = \epsilon s_2 / (x - d_2)$

$$\text{άρα } \epsilon s_2 := \frac{\epsilon c_2 \cdot (x - d_2)}{x} = 0.002$$

$\epsilon s_2 < \epsilon s_y \rightarrow \sigma s_2 := \epsilon s_2 \cdot E_s = 364.286 \text{ MPa}$ (όπου σs_2 τάση θλιβόμενου οπλισμού)

- δύναμη που αναλαμβάνει ο άνω οπλισμός: $F_{s_2} := A_{s_2} \cdot \sigma s_2 = 82.399 \text{ kN}$

$$\text{άρα } F_{s_1} - F_c - F_{s_2} = 58.216 \text{ kN}$$

Οπότε το σκυρόδεμα είναι κρίσιμο. Άρα πρέπει να αυξηθεί η δύναμη του σκυροδέματος, συνεπώς θα μειωθεί η παραμόρφωση του χάλυβα.

2η δοκιμή:

$$\epsilon c_2 := 0.0035$$

$$\epsilon s_1 := 0.010$$

- ύψος θλιβόμενης ζώνης: $x := \frac{\epsilon c_2}{\epsilon s_1 + \epsilon c_2} \cdot d = 0.145 \text{ m}$

- δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα: $F_c := a \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 333.004 \text{ kN}$
- δύναμη που αναλαμβάνει ο κάτω οπλισμός: $F_{s_1} := A_{s_1} \cdot \sigma s_1 = 331.916 \text{ kN}$
- για να βρώ την παραμόρφωση του άνω οπλισμού: $\epsilon c_2 / x = \epsilon s_2 / (x - d_2)$

$$\text{άρα } \epsilon s_2 := \frac{\epsilon c_2 \cdot (x - d_2)}{x} = 0.003 \rightarrow \text{ποσοστό επί της χιλιάς } > \epsilon s_y = 2,17$$

άρα εδώ αφού $\epsilon s_2 > \epsilon s_y \rightarrow \sigma s_2 := f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$

- δύναμη που αναλαμβάνει ο άνω οπλισμός: $F_{s_2} := A_{s_2} \cdot f_{yd} = 98.346 \text{ kN}$

$$\text{άρα: } F_{s_1} - F_c - F_{s_2} = -99.434 \text{ kN}$$

Το αποτέλεσμα δεν μπορεί να είναι αρνητικό, αρα ξαναδοκιμάζω τρίτη φορά με ϵs_1 μεγαλύτερο του 10 και μικρότερο του 20.

3η δοκιμή:

$$\varepsilon_{c2} := 0.0035$$

$$\varepsilon_{s1} := 0.015605$$

- ύψος θλιβόμενης ζώνης: $x := \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{c2}} \cdot d = 0.103 \text{ m}$

- δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα: $F_c := a \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 235.308 \text{ kN}$

- δύναμη που αναλαμβάνει ο κάτω οπλισμός: $F_{s1} := A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 331.916 \text{ kN}$

- για να βρώ την παραμόρφωση του άνω οπλισμού: $\varepsilon_{c2} / x = \varepsilon_{s2} / (x - d_2)$

$$\text{όρα } \varepsilon_{s2} := \frac{\varepsilon_{c2} \cdot (x - d_2)}{x} = 0.0021$$

$$\text{δηλαδή } \varepsilon_{s2} := 0.0021354$$

$$\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sy} \rightarrow \sigma_{s2} := \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 427.08 \text{ MPa}$$

- δύναμη που αναλαμβάνει ο άνω οπλισμός: $F_{s2} := A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 96.603 \text{ kN}$

$$\text{όρα: } F_{s1} - F_c - F_{s2} = 0.005 \text{ kN}$$

- εφόσον $E_{c2} = 3,5$, ο συντελεστής κέντρου βάρους ζ , δίνεται από τον τύπο:

$$\zeta := \frac{\varepsilon_{c2} \cdot 1000 \cdot (3 \cdot \varepsilon_{c2} \cdot 1000 - 4) + 2}{2 \cdot \varepsilon_{c2} \cdot 1000 \cdot (3 \cdot \varepsilon_{c2} \cdot 1000 - 2)} = 0.416$$

- απόσταση της δύναμης F_c από την άνω ακραία ίνα: $a' := \zeta \cdot x = 0.043 \text{ m}$

- απόσταση της δύναμης F_c από τον κάτω οπλισμό: $z := d - a' = 0.517 \text{ m}$

Συνεπώς και η **καμπτική ροπή αστοχίας** είναι: $Md := F_c \cdot z + F_{s2} \cdot (d - d_2) = 171.964 \text{ kN} \cdot \text{m}$

7.5.2: ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΟΚΟΥ ΕΚΟΣ 2000

- μήκος δοκού : $l := 6 \text{ m}$
- πλάτος διατομής : $b := 0.25 \text{ m}$
- στατικό ύψος : $d := 0.56 \text{ m}$
- ύψος διατομής : $h := 0.60 \text{ m}$
- συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος : $\gamma_c := 1.5$
- $d_2 := h - d = 0.04 \text{ m}$
- $d_1 := d_2$
- θλιπτική αντοχή σκυροδέματος : $f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
- αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος : $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 13.333 \text{ MPa}$
- χαρακτηριστική τάση διαρροής χάλυβα : $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- συντελεστής ασφαλείας χάλυβα : $\gamma_s := 1.15$
- αντοχή σχεδιασμού χάλυβα : $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$
- μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα προέντασης σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000 : $E_s := 200 \text{ GPa}$
- παραμόρφωση άνω ακραίας ίνας σκυροδέματος : $\varepsilon_{c2} := 0.0035$
- άνω οπλισμός 2φ12 αρα : $n_2 := 2$ $\varphi_2 := 1.2 \text{ cm}$
- κάτω οπλισμός 3φ 18 αρα : $n_1 := 3$ $\varphi_1 := 1.8 \text{ cm}$
- όριο διαρροής κάτω οπλισμού : $\varepsilon_{sy} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.0021739$
- ορθή δύναμη εξωτερικής καταπόνησης : $N_{ext} := 0 \text{ kN}$

ΛΥΣΗ

$$\varepsilon_{c2} := 0.0035$$

$$\text{έστω ότι } \varepsilon_{s1} > \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_{s1} := f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

- εμβαδόν διατομής κάτω οπλισμού : $A_{s1} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot (\varphi_1)^2}{4} = 7.634 \text{ cm}^2$
- δύναμη που αναλαμβάνει ο κάτω οπλισμός : $F_{s1} := A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 331.916 \text{ kN}$

$$\text{έστω ότι } \varepsilon_{s2} > \varepsilon_{sy} \Rightarrow \sigma_{s2} := f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

- εμβαδόν διατομής άνω οπλισμού: $A_{s_2} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot (\varphi_2)^2}{4} = 2.262 \text{ cm}^2$

- δύναμη που αναλαμβάνει ο άνω οπλισμός: $F_{s_2} := A_{s_2} \cdot \sigma_{s_2} = 98.346 \text{ kN}$

- εφόσον $E_c = 3,5$, ο συντελεστής πληρώσεως a δίνεται από τον τύπο: $a := \frac{3 \cdot \epsilon_{c_2} \cdot 1000 - 2}{3 \cdot \epsilon_{c_2} \cdot 1000} = 0.81$

- δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα: $F_c := a \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \rightarrow 2.293650793650793783 \cdot m \cdot x \cdot \text{MPa}$

$$x := \frac{F_{s_1} - F_{s_2} - N_{ex}}{a \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} = 0.102 \text{ m}$$

- για να βρώ την παραμόρφωση του άνω οπλισμού: $\epsilon_{s_2} := \frac{x - d_2}{x} \cdot \epsilon_{c_2} = 0.00213$

έστω ότι $\epsilon_{s_2} < \epsilon_{sy}$:

έστω ότι: $x := 0.10 \text{ m}$

και $N_{ex} = F_{s_1} - a \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b - A_{s_2} \cdot \frac{x - d_2}{x} \cdot \epsilon_{c_2} \cdot E_s$

τότε για να βρώ το $x \Rightarrow x_2 := \text{Find}(x) = 0.103 \text{ m}$

- για να βρώ την παραμόρφωση του άνω οπλισμού: $\epsilon_{c_2} / x = \epsilon_{s_2} / (x - d_2)$

$$\epsilon_{s_2} := \frac{x_2 - d_2}{x_2} \cdot \epsilon_{c_2} = 0.00214$$

$$\sigma_{s_2} := \epsilon_{s_2} \cdot E_s = 427.078 \text{ MPa}$$

- δύναμη που αναλαμβάνει ο άνω οπλισμός: $F_{s_2} := A_{s_2} \cdot \sigma_{s_2} = 96.603 \text{ kN}$

- δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα: $F_c := a \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x_2 \cdot b = 235.313 \text{ kN}$

- εφόσον $E_c = 3,5$, ο συντελεστής κέντρου βάρους ζ , δίνεται από τον τύπο: $\zeta := \frac{\epsilon_{c_2} \cdot 1000 \cdot (3 \cdot \epsilon_{c_2} \cdot 1000 - 4) + 2}{2 \cdot \epsilon_{c_2} \cdot 1000 \cdot (3 \cdot \epsilon_{c_2} \cdot 1000 - 2)} = 0.416$

- απόσταση της δύναμης F_c από την άνω ακραία ίνα: $a' := \zeta \cdot x_2 = 0.043 \text{ m}$

- απόσταση της δύναμης F_c από τον κάτω οπλισμό: $z := d - a' = 0.517 \text{ m}$

Solver ConstraintValues

Συνεπώς και η **καμπτική ροπή αστοχίας** είναι:

$$Md := F_c \cdot \left(\frac{h}{2} - a' \right) + Fs_2 \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right) + Fs_1 \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) = 171.967 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Md := F_c \cdot z + Fs_2 \cdot (d - d_2) + N_{ex} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) = 171.967 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ΕΝΟΤΗΤΑ 8: ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας, είναι να αναπτυχθεί ένα λογισμικό, το οποίο θα είναι εύκολο και γρήγορο στον έλεγχο μελών οπλισμένου σκυροδέματος, σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς και σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, καθώς ο έλεγχος σε κάμψη, διάτμηση, θλίψη και λυγισμό είναι υψίστης σημασίας για την καλή και σωστή λειτουργία των κατασκευών σκυροδέματος.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη:

- στο θεωρητικό μέρος στο οποίο παρουσιάζονται στοιχεία για το σκυρόδεμα ως υλικό και τους ελέγχους που απαιτούνται σε μέλη και κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς **ΕΚΟΣ 2000**, **ΕΑΚ 2000** και τους Ευρωπαϊκούς **EN 1992-1-1** και **EN 1998**.
- στο αναλυτικό μέρος, στο οποίο περιγράφεται το λογισμικό που αναπτύχθηκε με το “Mathcad” και στην συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών διαστασιολόγησης μελών οπλισμένου σκυροδέματος με το λογισμικό. Τα παραδείγματα αναφέρονται σε δοκούς, πλακοδοκούς και υποστυλώματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΕΚΩΣ 2000, ΦΕΚ 1329 Β/6-11-2000, «Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος».
- ΕΑΚ 2000, ΦΕΚ 2184 Β/20-12-1999, «Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός».
- Ευρωκώδικας 2, «Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα: Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια» (2004).
- Ευρωκώδικας 8, «Σχεδιασμός δομών για σεισμό αντίσταση - μέρος 1: . Γενικούς κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια» (2005).
- Β.Δ. 1954, ΦΕΚ 160 Α/26-7-1954, «Περί Κανονισμού δια την Μελέτην και Εκτέλεσιν Οικοδομικών Έργων εξ Οπλισμένου Σκυροδέματος».
- Β.Δ. 1959, ΦΕΚ 36 Α/26-2-1959, «Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων».
- ΝΕΑΚ 1995, ΦΕΚ 613/Β/12.10.92, «Νέος Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος».
- ΝΕΚΩΣ 1995, ΦΕΚ 1068/Β`/31.12.1991, «Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός».
- Πρόσθετα Άρθρα 1984, ΦΕΚ 239 Β/6-4-1984, Τροποποίηση και Συμπλήρωση του ΒΔ της 19/26 Φεβρουαρίου 1959: «Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων».
- Ξημεράκης Π., Σιγκέρης Α., Τζανής Γ., «Σύγκριση Ευρωκώδικα 2 με ΕΚΩΣ, επιρροή του κανονισμού στο σχεδιασμό στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος», Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. Πειραιά (2012)
- Χουλιάρης Γ. «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ 2000» (2003)
- Καραγιάννης Χ., «Σχεδιασμός – Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα» (2013)
- Καλαϊτζοπούλου Γ., «Σύγκριση Ευρωκώδικα 2-1-1 με ΕΚΩΣ», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π. (2011)
- Φαρδής, Μ «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος», Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών (2005).

- Κανιτάκη Ε. «Πρότυπα και Τεχνικές Προδιαγραφές για σκυρόδεμα και χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος», Ημερίδα Αλεξανδρούπολη (21 Ιουνίου 2008)
- Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε., «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος», δημοσιευμένο υλικό Τ.Ε.Ι. Σερρών (2005)
- Μαρσέλλος Ν., «Το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο για το Σκυρόδεμα: ΕΛΟΤ EN 206-1», Ημερίδα Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τμήμα Ανατολικής Κρήτης (2011)
- Δημάκος, Κ., Σημειώσεις εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος, ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
- Τρέζος Κ., Σημειώσεις εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου από: ecourses.dbnet.ntua.gr/9461.html
- Mathcad, P. T. C. Engineering Calculations Software. Έκδοση Φεβρουάριος 2015