

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ	7
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΥΛΙΚΑ.....	15
2.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	15
2.1.1 Αντοχή.....	15
2.1.1.1 Ορισμοί.....	16
2.1.1.2 <i>En Χρόνω Μεταβολή των Ιδιοτήτων των Υλικών</i>	18
2.1.2 Σχέσεις Τάσεων - Παραμορφώσεων	18
2.1.2.1 <i>Σχηματικό Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων</i>	18
2.1.2.2 <i>Σχέσεις Τάσεων-Παραμορφώσεων για το Σχεδιασμό Διατομών</i>	19
2.1.2.3 <i>Περισφιγμένο Σκυρόδεμα</i>	22
2.1.3 Ερπυσμός & Συστολή Ξήρανσης	23
2.1.3.1 <i>Ερπυσμός</i>	23
2.1.3.2 <i>Συστολή Ξήρανσης</i>	25
2.1.4 Διαφορές EC2/ΕΚΩΣ	27
2.2 ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	28
2.2.1 Γενικά.....	28
2.2.2 Παραδοχές Σχεδιασμού	31
2.2.3 Διαφορές EC2/ΕΚΩΣ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	35
3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	35
3.2 ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΤΑ EC2.....	41
4.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	41
4.1.1 Προσομοιώματα Συμπεριφοράς.....	41
4.2 ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ.....	43
4.3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΟΡΘΗ ΕΝΤΑΣΗ	47
5.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ & ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	47
5.1.1 Παραδοχές.....	47
5.1.2 Κύριες Διαφορές στον Υπολογισμό Διατομών με EC2/ΕΚΩΣ.....	48
5.1.2.1 <i>Σκυρόδεμα</i>	48
5.1.2.2 <i>Χάλυβας</i>	49
5.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ.....	52
5.2.1 Προέχουσα Κάμψη.....	52
5.2.1.1 <i>Οικονομικότητα</i>	62
5.2.1.2 <i>Σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ</i>	64
5.2.2 Προέχουσα Θλίψη.....	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: ΔΙΑΤΜΗΣΗ, ΣΤΡΕΨΗ, ΔΙΑΤΡΗΣΗ	79
6.1 ΔΙΑΤΜΗΣΗ.....	79
6.1.1 Ορισμοί.....	79
6.1.2 Βασικές Αρχές	79
6.1.3 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα χωρίς Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης	81
6.1.4 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης.....	83
6.1.5 Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα.....	85
6.1.6 Πρόσθετος Διαμήκης Οπλισμός.....	87
6.2 ΣΤΡΕΨΗ	88
6.2.1 Βασικές Αρχές & Ορισμοί	88
6.2.2 Οπλισμός Στρέψης.....	89
6.2.3 Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα.....	90
6.2.4 Σχεδιασμός χωρίς Απαίτηση Οπλισμού Στρέψης	91
6.3 ΔΙΑΤΡΗΣΗ	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ	97
7.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ 2 ^{ας} ΤΑΞΗΣ	97
7.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ.....	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο: ΜΟΝΤΕΛΑ ΘΛΙΠΤΗΡΑ - ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ.....	101
8.1 ΘΛΙΠΤΗΡΕΣ	101
8.2 ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ.....	102
8.3 ΚΟΜΒΟΙ	103
8.3.1 Κόμβοι Δοκού - Υποστυλώματος.....	104
8.3.1.1 Κόμβοι με Αρνητικές Ροπές.....	105
8.3.1.2 Κόμβοι με Θετικές Ροπές.....	106
8.4 ΚΟΝΤΟΙ ΠΡΟΒΟΛΟΙ.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο: ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	111
9.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ	111
9.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΩΣ.....	112
9.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ.....	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10ο: ΑΝΑΛΥΣΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟΝ EC8	121
10.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	121
10.1.1 Εδαφικές Συνθήκες	121
10.1.2 Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης	123
10.1.2.1 Οριζόντιες Συνιστώσες.....	123
10.1.2.2 Κατακόρυφες Συνιστώσες	126
10.1.3 Φάσμα Σχεδιασμού για Ελαστική Ανάλυση.....	128
10.1.3.1 Οριζόντιες Συνιστώσες.....	128
10.1.3.2 Κατακόρυφες Συνιστώσες	129
10.1.4 Σεισμικοί Συνδυασμοί.....	129

10.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	130
10.2.1 Χαρακτηριστικά Αντισεισμικών Κτιρίων	130
10.2.1.1 Βασικές Αρχές Μελέτης Διαμόρφωσης	130
10.2.1.2 Κόρια & Δευτερεύοντα Σεισμικά Μέλη	130
10.2.1.3 Κριτήρια για Στατική Κανονικότητα.....	131
10.2.2 Ανάλυση.....	133
10.2.2.1 Προσομοίωση	133
10.2.2.2 Μέθοδοι Ανάλυσης.....	133
10.2.2.3 Διαφορές στις Μεθόδους Ανάλυσης EC8/ΕΑΚ.....	133
10.2.2.4 Συνδυασμός των Συνιστωσών της Σεισμικής Δράσης.....	136
10.2.2.5 Προσαρτήματα.....	136
10.3 ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	137
10.3.1 Κατηγορίες Πλαστιμότητας	137
10.3.2 Τύποι Στατικών Συστημάτων	138
10.3.2.1 Ορισμοί.....	138
10.3.2.2 Τύποι Στατικών Συστημάτων.....	139
10.3.3 Συντελεστές Συμπεριφοράς.....	140
10.3.4 Κριτήρια Σχεδιασμού.....	143
10.3.4.1 Κανόνας Ικανοτικού Σχεδιασμού	143
10.3.4.2 Συνθήκη Τοπικής Πλαστιμότητας.....	146
10.3.5 Διαστασιολόγηση Έναντι Σεισμού - Σύγκριση EC8/ΕΚΩΣ-ΕΑΚ.....	147
10.3.6 Τοιχοπληρώσεις	155
10.3.7 Σχεδιασμός Θεμελιώσεων Έναντι Σεισμού.....	157
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11ο: ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ.....	159
11.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	159
11.2 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ.....	159
11.3 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΤΥΜΠΑΝΟΥ	160
11.4 ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	161
11.4.1 Τύποι Αγκύρωσης.....	161
11.4.2 Συνθήκες Συνάφειας.....	162
11.4.3 Οριακή Τάση Συνάφειας.....	163
11.4.4 Μήκος Αγκύρωσης.....	163
11.5 ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ.....	167
11.5.1 Τύποι Αγκύρωσης.....	167
11.6 ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΡΑΒΔΩΝ.....	168
11.7 ΕΝΩΣΕΙΣ.....	168
11.7.1 Μήκος Υπερκάλυψης.....	169
11.7.2 Εγκάρσιος Οπλισμός στη Ζώνη Υπερκάλυψης	170
11.7.3 Υπερκάλυψη Συγκολλητών Πλεγμάτων με Ράβδους από Νευροχάλυβα.....	171
11.8 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΡΑΒΔΟΥΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ	171
11.9 ΔΕΣΜΕΣ ΡΑΒΔΩΝ.....	172

11.10 ΤΕΝΟΝΤΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	173
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12ο: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	175
12.1 ΓΕΝΙΚΑ	175
12.2 ΔΟΚΟΙ.....	175
12.2.1 Γεωμετρικά Στοιχεία.....	175
12.2.2 Διαμήκης Οπλισμός.....	176
12.2.2.1 Ελάχιστα & Μέγιστα Ποσοστά Οπλισμού.....	176
12.2.2.2 Άλλες Κατασκευαστικές Διατάξεις.....	178
12.2.2.3 Αγκύρωση Διαμήκους Οπλισμού.....	179
12.2.3 Εγκάρσιος Οπλισμός	182
12.2.3.1 Ελάχιστος Οπλισμός	183
12.2.3.2 Μέγιστες Αποστάσεις	183
12.2.4 Επιφανειακός (Επιδερμικός) Οπλισμός	185
12.2.5 Οπλισμός Έμμεσων Στηρίξεων	185
12.3 ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΠΛΑΚΕΣ	186
12.3.1 Οπλισμός Κάμψης	186
12.3.2 Οπλισμός Διάτμησης	188
12.4 ΜΥΚΗΤΟΕΙΔΕΙΣ ΠΛΑΚΕΣ	189
12.4.1 Διάτρηση	190
12.5 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ.....	191
12.5.1 Γεωμετρικά Στοιχεία.....	191
12.5.2 Διαμήκης Οπλισμός.....	192
12.5.3 Εγκάρσιος Οπλισμός	193
12.6 ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.....	195
12.6.1 Πλάστιμα Τοιχώματα	195
12.6.1.1 Γεωμετρικά Στοιχεία.....	195
12.6.1.2 Όπλιση Κορμού.....	196
12.6.1.3 Όπλιση Περισφιγμένων Άκρων.....	198
12.6.2 Μεγάλα Ελαφρά Ωπλισμένα Τοιχώματα.....	200
12.7 ΥΨΙΚΟΡΜΕΣ ΔΟΚΟΙ	200
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13ο: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ EC2 & EC8	203
13.1 Υπολογισμός Ανηγμένης Παραμόρφωσης λόγω Ερπυσμού & Συρρίκνωσης - Σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ	204
13.2 Υπολογισμός Ροπών Αντοχής	206
13.3 Διαστασιολόγηση Διατομών έναντι Ορθής Έντασης	211
13.4 Υπολογισμός Τεμνουσών Αντοχής - Σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ	222
13.5 Όπλιση έναντι Διάτμησης.....	226
13.6 Όπλιση έναντι Στρέψης & Διάτμησης	232
13.7 Έλεγχος και Όπλιση έναντι Διάτρησης	235
13.8 Έλεγχος Λυγισμού με εφαρμογή της Μεθόδου Ονομαστικής Καμπυλότητας.....	242
13.9 Υπολογισμός Ελάχιστου Οπλισμού Ρηγματώσεως - Σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ ..	247

13.10 Αναλυτικός Υπολογισμός Εύρους Ρωγμής.....	249
13.11 Υπολογισμός Οριζόντιας Συνιστώσας Σεισμού - Σύγκριση EC8/ΕΑΚ.....	252
13.12 Υπολογισμός Τεμνουσών Βάσης με τη Μέθοδο Ανάλυσης Οριζόντιας Φόρτισης - Σύγκριση EC8/ΕΑΚ.....	254
13.13 Α/Σ Υπολογισμός Υποστυλώματος	259
13.14 Έλεγχος και Όπλιση Κόμβου Δοκού - Υποστυλώματος.....	268
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14ο: ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ EC2/EC8 & ΕΚΩΣ/ΕΑΚ.....	275
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	283

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

Στη χώρα μας στις νέες κατασκευές χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον το ωπλισμένο σκυρόδεμα. Η ευρεία χρήση του εν λόγω υλικού οδήγησε στην ανάγκη κανονισμών τους οποίους θα πρέπει να τηρεί ο σχεδιασμός των κατασκευών. Από το 2000 ο σχεδιασμός κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα γίνεται αποκλειστικά με εφαρμογή του ΕΚΩΣ2000 (Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος) και του ΕΑΚ2000 (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός). Πριν τους ΕΚΩΣ2000 και ΕΑΚ2000 υπήρχαν αντίστοιχα ο Ν.Ε.Κ.Ω.Σ. και Ν.Ε.Α.Κ. (Νέος Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος) και (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός).

Σήμερα, στο πλαίσιο υιοθέτησης των ευρωπαϊκών κανονισμών, των ευρωκωδίκων, οι ΕΚΩΣ2000 και ΕΑΚ2000 είναι σε παράλληλη εφαρμογή με τους ευρωκώδικες (τον EC2 που αφορά το σκυρόδεμα και τον EC8 που αφορά τον αντισεισμικό σχεδιασμό) με προοπτική αποκλειστικής εφαρμογής των ευρωκωδίκων. Οι ευρωκώδικες προβλεπόταν αρχικά να τεθούν σε αποκλειστική εφαρμογή από το Μάρτιο του 2010, ωστόσο, παραμένουν ακόμα, με νέα απόφαση, σε παράλληλη εφαρμογή με τους εθνικούς κανονισμούς.

Οι Ευρωκώδικες

Οι ευρωκώδικες προέκυψαν στα πλαίσια της προσπάθειας διαμόρφωσης στο δυτικοευρωπαϊκό χώρο ενός ενιαίου πλαισίου ευρωπαϊκών κανονισμών για το σχεδιασμό και τη μελέτη έργων πολιτικού μηχανικού. Η χρήση τους έχει ως στόχο να διευκολύνει την ελευθερία παροχής υπηρεσιών στον τομέα έργων πολιτικού μηχανικού και αρχιτεκτονικής με την δημιουργία των προϋποθέσεων που απαιτούνται για ένα εναρμονισμένο σύστημα γενικών κανόνων.

Οι Ευρωκώδικες απαρτίζονται από 10 κύρια Ευρωπαϊκά πρότυπα, και υποδιαιρούνται σε 58 μέρη. Αναλυτικότερα υπάρχουν οι εξής Ευρωκώδικες:

EN 1990	Ευρωκώδικας 0	Βάσεις Σχεδιασμού	(1 Μέρος)
EN 1991	Ευρωκώδικας 1	Δράσεις στους φορείς	(10 Μέρη)
EN 1992	Ευρωκώδικας 2	Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα	(4 Μέρη)
EN 1993	Ευρωκώδικας 3	Σχεδιασμός Φορέων από Χάλυβα	(20 Μέρη)
EN 1994	Ευρωκώδικας 4	Σχεδιασμός Σύμμικτων Φορέων από Χάλυβα και Σκυρόδεμα	(3 Μέρη)

EN 1995	Ευρωκώδικας 5	Σχεδιασμός Ξύλινων Φορέων	(3 Μέρη)
EN 1996	Ευρωκώδικας 6	Σχεδιασμός Φορέων από Τοιχοποιία	(5 Μέρη)
EN 1997	Ευρωκώδικας 7	Γεωτεχνικός Σχεδιασμός	(3 Μέρη)
EN 1998	Ευρωκώδικας 8	Αντισεισμικός Σχεδιασμός	(6 Μέρη)
EN 1999	Ευρωκώδικας 9	Σχεδιασμός Φορέων από Αλουμίνιο	(3 Μέρη)

Δομή των ευρωκωδίκων

1. Κατ' αρχάς τίθενται βασικές απαιτήσεις που πρέπει να πληροί ένα δόμημα (ασφάλεια, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα).
2. Εν συνεχεία τίθενται οι αρχές με τις οποίες ικανοποιούνται οι βασικές απαιτήσεις (αυτές διακρίνονται στο κείμενο των ευρωκωδίκων από το γράμμα Ρ που ακολουθεί τον αριθμό της παραγράφου).
3. Κατόπιν δίνονται οι κανόνες εφαρμογής με τις οποίες ικανοποιούνται οι αρχές.
4. Ενσωματωμένες στο κείμενο του ευρωκώδικα υπάρχουν με μικρότερα γράμματα οι σημειώσεις.
5. Σε ορισμένες παραμέτρους ο ευρωκώδικας ενώ δίνει κάποια προτεινόμενη τιμή, εντούτοις επιτρέπει την τροποποίησή τους για κάθε χώρα. Έτσι για να είναι δυνατή η εφαρμογή του ευρωκώδικα απαιτείται η κατάρτιση ενός εθνικού προσαρτήματος για κάθε μέρος του ευρωκώδικα.

Ο Ευρωκώδικας 2

Ο EC2 αναφέρεται στο σχεδιασμό κατασκευών από σκυρόδεμα. Είναι τρόπον τινά αντίστοιχος του ΕΚΩΣ, αλλά με τη βασική διαφορά πως δεν περιλαμβάνει αντισεισμικές διατάξεις. Ο EC2 περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

Μέρος 1.1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια

Μέρος 1.2: Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

Μέρος 2: Γέφυρες από σκυρόδεμα

Μέρος 3: Υδατοδεξαμενές και κατασκευές υπό υδατοφόρτιση

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής θα ασχοληθούμε με το Μέρος 1.1 του EC2 (πρότυπο EN 1992-1-1). Το Μέρος 1.1 του EC2 περιλαμβάνει 12 Κεφάλαια και 9 Παραρτήματα.

Κεφάλαια:

1. Εισαγωγή

2. Βάσεις σχεδιασμού
3. Υλικά
4. Ανθεκτικότητα και επικάλυψη
5. Ανάλυση
6. Οριακές καταστάσεις αστοχίας
7. Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
8. Λεπτομέρειες όπλισης
9. Κανόνες διαμόρφωσης και κατασκευαστικές λεπτομέρειες
10. Προκατασκευασμένα στοιχεία
11. Κατασκευές από ελαφροσκυρόδεμα
12. Άοπλο και ελαφρώς ωπλισμένο σκυρόδεμα

Παραρτήματα:

- A. Τροποποίηση συντελεστών ασφαλείας υλικών
- B. Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης υλικών
- C. Ιδιότητες χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος
- D. Χαλάρωση τενόντων προεντάσεως
- E. Ενδεικτικές κατηγορίες αντοχής για λόγους ανθεκτικότητας
- F. Υπολογισμός εφελκόμενου οπλισμού για επίπεδη εντατική κατάσταση
- G. Αλληλεπίδραση εδάφους – ανωδομής
- H. Φαινόμενα 2ας τάξεως
- I. Ανάλυση πλακών χωρίς δοκούς και τοιχίων
- J. Παραδείγματα περιοχών με ασυνέχειες στη γεωμετρία ή στις δράσεις

* Όλα τα παραρτήματα είναι πληροφοριακά, εκτός από το Παράρτημα C που είναι κανονιστικό.

Ο Ευρωκώδικας 8

Ο EC8 αναφέρεται στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών. Είναι τρόπον τινά αντίστοιχος του ΕΑΚ, αν και στους εθνικούς κανονισμούς σημαντικό μέρος των αντισεισμικών διατάξεων περιέχεται και στον ΕΚΩΣ. Ο EC8 περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια

Μέρος 2: Γέφυρες

Μέρος 3: Αποτίμηση και ενίσχυση κτιρίων

Μέρος 4: Σιλό, δεξαμενές, αγωγοί

Μέρος 5: Θεμελιώσεις, αντιστηρίξεις, γεωτεχνικά θέματα

Μέρος 6: Πύργοι, ιστοί, καπνοδόχοι

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής θα ασχοληθούμε με το Μέρος 1 του EC8 (πρότυπο EN 1998-1). Το Μέρος 1 του EC8 περιλαμβάνει 10 Κεφάλαια και 3 Παραρτήματα.

Κεφάλαια:

1. Γενικά
2. Απαιτήσεις συμπεριφοράς και κριτήρια συμμόρφωσης
3. Εδαφικές συνθήκες και σεισμική δράση
4. Μελέτη κτιρίων
5. Ειδικοί κανόνες για κτίρια από σκυρόδεμα
6. Ειδικοί κανόνες για κτίρια από χάλυβα
7. Ειδικοί κανόνες για κτίρια από χάλυβα - σκυρόδεμα (σύμμικτες)
8. Ειδικοί κανόνες για κτίρια από ξύλο
9. Ειδικοί κανόνες για κτίρια από τοιχοποιία
10. Σεισμική μόνωση

Παραρτήματα:

- A. Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετακίνησης
- B. Προσδιορισμός της μετακίνησης - στόχου για μη - γραμμική στατική ανάλυση
- C. Σχεδιασμός της πλάκας σύμμικτων δοκών σε συνδέσεις δοκού υποστυλώματος σε πλαίσια παραλαβής ροπών

* Τα παραρτήματα A & B είναι πληροφοριακά, ενώ το Παράρτημα C είναι κανονιστικό.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη των EC2/EC8 και ΕΚΩΣ/ΕΑΚ, παρουσιάζοντας τις διαφορές σε σχέση με τους εγχώριους κανονισμούς που θα συναντήσει ο μελετητής που θα κληθεί να εφαρμόσει τους EC2/EC8. Στο πλαίσιο της συγκριτικής μελέτης καταγράφονται οι διαφορές των κανονισμών, γίνεται σχολιασμός αυτών και πραγματοποιείται εφαρμογή των EC2/EC8 μέσα από αναλυτικά παραδείγματα.

Συγκεκριμένα καταγράφονται οι διαφορές των ευρωκωδίκων και των εγχώριων κανονισμών που αφορούν βασικές αρχές και κανόνες εφαρμογής, παραδοχές, σχέσεις υπολογισμού, τιμές παραμέτρων, κρίσιμες τιμές και εν γένει κάθε διαφοροποίηση. Οι διαφορές των δύο κανονισμών διακρίνονται σε ό,τι αλλάζει, ό,τι καταργείται και ό,τι είναι νέο. Η σύγκριση των κανονισμών συνοδεύεται από συγκριτικά διαγράμματα ή συγκριτικούς πίνακες τιμών τα οποία συνήθως ακολουθούνται από σχολιασμό και παρατηρήσεις. Εμβόλιμα γίνονται και μικρές ενδεικτικές εφαρμογές για να φανεί η σύγκριση των κανονισμών και για την εξοικείωση με τις απαιτήσεις των ευρωκωδίκων. Τα παραπάνω αφορούν το κεφάλαιο 2-12 της διπλωματικής εργασίας. Στο κεφάλαιο 13, περιέχονται τα παραδείγματα αναλυτικής εφαρμογής των EC2/EC8. Με τα παραδείγματα αναδεικνύονται οι διαφορές στα αποτελέσματα και στη διαδικασία υπολογισμού μεταξύ ευρωκωδίκων και εγχώριων κανονισμών, ενώ επίσης γίνεται και εφαρμογή νέων σχέσεων που περιέχουν οι EC2/EC8. Το τελευταίο κεφάλαιο (κεφ. 14) έχει στόχο τη συνοπτική συγκεντρωτική καταγραφή των κυριότερων διαφορών και κατά κάποιον τρόπο μπορεί να χρησιμεύσει και σαν οδηγός για τον αναγνώστη, αφού για κάθε διαφορά υπάρχει παραπομπή στους κανονισμούς και στα κεφάλαια 2 - 12 της παρούσας εργασίας.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ασχολούμαστε με τα κεφάλαια του EC2 που αφορούν τα συνηθισμένα έργα από ωπλισμένο σκυρόδεμα και με το γενικό μέρος του EC8 που αφορά κατασκευές από σκυρόδεμα. Ως εκ τούτου η εργασία καταπίνεται με τη σύγκριση του Μέρους 1.1 του EC2 (EN 1992-1-1) και πιο συγκεκριμένα με τα κεφάλαια 1 έως 9 και των αντίστοιχων κεφαλαίων του ΕΚΩΣ. Επίσης με το Μέρος 1 του EC8 (EN 1998-1) και πιο συγκεκριμένα με τα κεφάλαια 1 έως 5. Δεν ασχολούμαστε δηλαδή στην παρούσα εργασία με τα κεφάλαια 10 έως 12 του Μέρους 1.1 του EC2 και με τα κεφάλαια 6 έως 10 του Μέρους 1 του EC8. Επίσης να σημειωθεί πως δεν έχουν μελετηθεί στην παρούσα εργασία επισταμένως οι διαφορές που αφορούν στην προένταση.

Να σημειωθεί επίσης πως στην παρούσα εργασία για τον EC2 χρησιμοποιήθηκε η έκδοση EN 1992-1-1 December 2004 και για τον EC8 η έκδοση EN 1998-1 December 2003.

Κύριες διαφορές EC2/ΕΚΩΣ

1. Ο EC2 δεν περιέχει αντισεισμικές διατάξεις, γι' αυτό πρέπει να εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τον EC8 για τη χώρα μας που δεν είναι περιοχή χαμηλής σεισμικότητας.
2. Δέχεται διαφορετικές παραδοχές για το σκυρόδεμα και το χάλυβα. Για το σκυρόδεμα ο συντελεστής μείωσης της αντοχής λόγω χρόνιων παραμορφώσεων μπορεί να είναι 1,00 (αντί 0,85 του ΕΚΩΣ) και για το χάλυβα μπορεί να ληφθεί υπόψη η κράτυνση, ενώ αυξάνεται το όριο της συμβατικής παραμόρφωσης αστοχίας.
3. Αναφέρεται σε τρεις κατηγορίες έργων που δεν καλύπτονται από τον ΕΚΩΣ: Προκατασκευή, Ελαφροσκυρόδεμα και Άοπλο ή ελαφρώς ωπλισμένο σκυρόδεμα.
4. Δεν περιλαμβάνει κεφάλαια για την εκλογή υλικών, εκτέλεση εργασιών, ποιοτικό έλεγχο και συντήρηση και επισκευή/ενίσχυση κατασκευών που περιέχονται στον

ΕΚΩΣ (κεφ. 19, 20, 21 και 22 αντίστοιχα του ΕΚΩΣ), αλλά καλύπτεται από άλλα πρότυπα.

5. Επιτρέπει τη χρήση πλαστικής ανάλυσης για έλεγχο σε οριακή κατάσταση αστοχίας (και σε ορισμένες περιπτώσεις και για οριακή κατάσταση λειτουργικότητας), ενώ στον ΕΚΩΣ επιτρέπεται μόνο για έλεγχο υφιστάμενων κατασκευών. Στο πλαίσιο αυτό νομιμοποιεί τη χρήση μοντέλων θλιπτήρα - ελκυστήρα.
6. Αναφέρεται διεξοδικά σε κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα και επιτρέπει τη χρήση τενόντων χωρίς συνάφεια και την εξωτερική προένταση.
7. Περιλαμβάνει διατάξεις για την όπλιση κόμβων, ενώ στον ΕΚΩΣ δεν υπάρχει καμιά οδηγία για το εν λόγω θέμα.

Κύριες διαφορές EC8/ΕΑΚ

1. Ουσιαστικά πρόκειται για σύγκριση EC8 και ΕΑΚ/ΕΚΩΣ.
2. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας: Χαμηλή, Μέση, Υψηλή (ΚΠΧ, ΚΠΜ, ΚΠΥ). Πρακτικά ο EC8 ασχολείται με φορείς ΚΠΜ και ΚΠΥ, ενώ οι ΚΠΧ μελετώνται κατά EC2. Στους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ υπάρχει η διάκριση στοιχείων με ή χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας.
3. Εν γένει στον EC8 υπάρχουν μεγαλύτεροι συντελεστές συμπεριφοράς από τον ΕΑΚ.
4. Διακρίνει περισσότερους τύπους στατικών συστημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο αναφέρεται σε πλάστιμα τοιχώματα και σε μεγάλα ελαφρώς ωπλισμένα τοιχώματα. Για τα τελευταία δε γίνεται λόγος στους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ.
5. Περιέχει αναλυτικές διατάξεις για έλεγχο και όπλιση κόμβων δοκού - υποστυλώματος που λείπουν από τους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ.

Περίληψη περιεχομένων

- Το κεφ. 2 αναφέρεται στα υλικά και γίνεται συνοπτική παρουσίαση του EC2 και επισήμανση των διαφορών (κεφ. 3 και Παράρτημα C του EC2 & κεφ. 2,3 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 3 αναφέρεται στην ανθεκτικότητα - επικάλυψη και γίνεται συνοπτική παρουσίαση του EC2 και επισήμανση των διαφορών (κεφ. 4 του EC2 & κεφ. 5 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 4 αναφέρεται στην ανάλυση κατασκευών και γίνεται συνοπτική επισήμανση των διαφορών στα προσομοιώματα συμπεριφοράς και στις παραδοχές της ανάλυσης (§5.1 και 5.3-5.7 του EC2 & κεφ. 7, 8, 9 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 5 αναφέρεται στην οριακή κατάσταση αστοχίας από μεγέθη ορθής έντασης και κατασκευάζονται πίνακες και διαγράμματα υπολογισμού καθώς και πίνακες αλληλεπίδρασης για να φανεί η σύγκριση μεταξύ EC2 με και χωρίς κράτυνση και ΕΚΩΣ (§6.1 του EC2 & κεφ. 10 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 6 αναφέρεται στην οριακή κατάσταση αστοχίας από διάτμηση, στρέψη και διάτρηση και γίνεται σύγκριση των διαδικασιών υπολογισμού (§6.2,6.3 και 6.4 του EC2 & κεφ. 11, 12, 13 του ΕΚΩΣ).

- Το κεφ. 7 αναφέρεται στην οριακή κατάσταση αστοχίας από λυγισμό και γίνεται σύγκριση των κριτηρίων μεταθετότητας, διαδικασίας υπολογισμού ατελειών και μεθόδων ανάλυσης (§5.2 και 5.8 του EC2 & κεφ. 14 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 8 αναφέρεται στο σχεδιασμό με μοντέλα θλιπτήρα - ελκυστήρα και πρόκειται ουσιαστικά για νέο κεφάλαιο με στοιχεία για την όπλιση κόμβων και βραχέων προβόλων για τους οποίους υπάρχει αναφορά και στον ΕΚΩΣ (§6.5 και Παράρτημα J του EC2 & Παράρτημα Α του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 9 αναφέρεται στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και γίνεται σύγκριση των ελέγχων έναντι ρηγματώσεως και παραμορφώσεων (κεφ. 7 του EC2 & κεφ. 15,16 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 10 αναφέρεται στην ανάλυση και το σχεδιασμό με τον EC8 και περιλαμβάνει λεπτομερή σύγκριση των EC8/ΕΚΩΣ-ΕΑΚ (κεφ. 1,2,3,4 και μέρος του 5 του EC2 & κεφ. 1, 2, 3, 4 και Παράρτημα Β του ΕΑΚ και διάφορα μέρη του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 11 αναφέρεται στις λεπτομέρειες διαμόρφωσης του οπλισμού και περιλαμβάνει και τις αντίστοιχες αντισεισμικές διατάξεις (κεφ. 8 του EC2 και κεφ. 5 του EC8 & κεφ. 17 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 12 αναφέρεται στις κατασκευαστικές απαιτήσεις και λεπτομέρειες δομικών στοιχείων και περιλαμβάνει και τις αντίστοιχες αντισεισμικές διατάξεις (κεφ. 9 του EC2 και κεφ. 5 του EC8 & κεφ. 18 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 13 περιέχει τα παραδείγματα εφαρμογής των EC2/EC8 ενώ γίνεται και σύγκριση με τα αποτελέσματα κατά ΕΚΩΣ/ΕΑΚ (κεφ. 9 του EC2 και κεφ. 5 του EC8 & κεφ. 18 του ΕΚΩΣ).
- Το κεφ. 14 περιέχει συγκεντρωτικά και συνοπτικά τις κυριότερες διαφορές EC2/EC8 και ΕΚΩΣ/ΕΑΚ με παραπομπές αυτών στα αντίστοιχα κεφάλαια των κανονισμών και της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΥΛΙΚΑ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια συνοπτική παρουσίαση του Κεφ.3 του EC2, στο οποίο δίνονται οι αρχές και τα βασικά μηχανικά χαρακτηριστικά για το σκυρόδεμα και το χάλυβα για κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα, εστιάζοντας κυρίως στις διαφορές με τον ΕΚΩΣ.

2.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

2.1.1 Αντοχή

Η θλιπτική αντοχή υποδηλώνεται με τις κατηγορίες σκυροδέματος, οι οποίες αντιστοιχίζονται στη χαρακτηριστική (5%) κυλινδρική αντοχή, f_{ck} , ή την κυβική αντοχή, $f_{ck,cube}$.

Οι κατηγορίες σκυροδέματος στον EC2 αντιστοιχίζονται στη χαρακτηριστική (5%) κυλινδρική αντοχή προσδιοριζόμενη στις 28 ημέρες. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή C_{max} , που αποτελεί την υψηλότερη ποιότητα σκυροδέματος, στον EC-2 είναι **C90/105** (αυτή είναι η συνιστώμενη τιμή). Στον ΕΚΩΣ η υψηλότερη ποιότητα είναι **C50/60**.

Ο παρακάτω πίνακας του EC2 περιέχει τα μηχανικά χαρακτηριστικά για όλες τις ποιότητες σκυροδεμάτων.

Πίνακας 2.1: Μηχανικά χαρακτηριστικά σκυροδέματος

Αντοχή														Αναλυτική Σχέση - Εξήγηση	
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	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
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	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk,0.05}$ (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	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% οριακό ποσοστό (fractile)
$f_{ctk,0.95}$ (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	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% οριακό ποσοστό (fractile)

E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} σε MPa)
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_{c1} (‰) = $0,7 f_{cm}^{0,31} < 2,8$
ϵ_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	για $f_{ck} \geq 50$ MPa ϵ_{c1} (‰) = $2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
ϵ_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	για $f_{ck} \geq 50$ MPa ϵ_{c2} (‰) = $2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$
ϵ_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	για $f_{ck} \geq 50$ MPa ϵ_{cu2} (‰) = $2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	για $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
ϵ_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	για $f_{ck} \geq 50$ MPa ϵ_{c3} (‰) = $1,75 + 0,55 [(f_{ck} - 50)/40]$
ϵ_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	για $f_{ck} \geq 50$ MPa ϵ_{cu3} (‰) = $2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

❖ **Παρατήρηση:** Αν και στον EC2 διατίθενται σκυροδέματα πολύ υψηλότερης ποιότητας από αυτά του ΕΚΩΣ, ωστόσο, αυτά τα υψηλής αντοχής σκυροδέματα έχουν περισσότερο ψαθυρή συμπεριφορά.

2.1.1.1 Ορισμοί

Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι σχέσεις απ' όπου προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος κατά τον EC2.

Πίνακας 2.2: Σχέσεις υπολογισμού μηχανικών χαρακτηριστικών σκυροδέματος

ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΟΧΗΣ & ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ	
Θλιπτική Αντοχή Σχεδιασμού f_{cd}^1	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$
Εφελκυστική Αντοχή Σχεδιασμού f_{ctd}^2	$f_{ctd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$
Μέση Τιμή Θλιπτικής Αντοχής f_{cm}	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
Μέση Τιμή Εφελκυστικής Αντοχής f_{ctm}^3	$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{2/3}$ για $f_{ck} \leq 50$ MPa $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + f_{cm}/10)$ για $f_{ck} > 50$ MPa
Χαρακτηριστικές Τιμές Εφελκυστικής Αντοχής	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ $f_{ctk,0,95} = 1,3 \cdot f_{ctm}$
Αξονική Εφελκυστική Αντοχή μέσω της Αντοχής Απόσχισης f_{ct}	$f_{ct} = 0,9 \cdot f_{ct,sp}$

Καμπτική Εφελκυστική Αντοχή $f_{ct,fl}$ ⁴	$f_{ct,fl} = \max \{ (1.6 - h/1000) \cdot f_{ctm} ; f_{ctm} \}$
Μέση Τιμή Μέτρου Ελαστικότητας E_{cm} ⁵	$E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm} / 10)^{0.3}$
Λόγος Poisson	$\nu = 0,2$ για αρηγμάτωτο σκυρόδεμα $\nu = 0,0$ για ρηγματωμένο σκυρόδεμα
Γραμμικός Συντελεστής Θερμικής Διαστολής	$10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$

Σημειώσεις:

- Οι συντελεστές που υπεισέρχονται στην εξίσωση υπολογισμού έχουν ως εξής:
 - γ_c Μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
 - α_{cc} Συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στη θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο επιβολής του φορτίου. Μπορεί να πάρει τιμές από 0,80 έως 1,00. Η συνιστώμενη τιμή είναι 1,00.
- Οι συντελεστές που υπεισέρχονται στην εξίσωση υπολογισμού έχουν ως εξής:
 - γ_c Μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
 - α_{cc} Συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στη εφελκυστική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο επιβολής του φορτίου. Η συνιστώμενη τιμή είναι 1,00.
- Η εφελκυστική αντοχή αναφέρεται στην υψηλότερη τάση η οποία αναπτύσσεται σε κεντρικό εφελκυσμό. Μια μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής προσδιορίζεται μέσω της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής.
- Η σχέση εφαρμόζεται επίσης και για τις τιμές της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής.

❖ Παρατηρήσεις & Αλλαγές σε σχέση με τον ΕΚΩΣ:

- Στον ΕΚΩΣ η τιμή του συντελεστή α_{cc} λαμβάνει την τιμή **0,85**, έτσι στον EC2, λαμβάνοντας τη συνιστώμενη τιμή, προκύπτει μια **αύξηση** της αντοχής σχεδιασμού.
- Ο EC2 προσδιορίζει την μέση καμπτική εφελκυστική αντοχή μέσω της μέσης αξονικής εφελκυστικής αντοχής και του ύψους h της διατομής. **Δεν υπάρχει** στον ΕΚΩΣ αυτή η σχέση.
- Στον ΕΚΩΣ η αντίστοιχη σχέση για τον υπολογισμό μια μέσης τιμής του Μέτρου Ελαστικότητας είναι $E_{cm} = 9,5 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3}$. Στον Πίνακα 2.3 φαίνονται οι διαφορές των δύο κανονισμών στην εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας, οι οποίες είναι πολύ μικρές, ωστόσο παρατηρούμε πως η σχέση του EC2 είναι λίγο μεγαλύτερες.

Πίνακας 2.3: Συγκριτικός πίνακας τιμών του μέτρου ελαστικότητας

f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
EC2	27	28,5	30	31,5	33	34	35	36,5	37,5	38	39	41	42	43,5
ΕΚΩΣ	26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37	-	-	-	-	-

2.1.1.2 Εν Χρόνω Μεταβολή των Ιδιοτήτων των Υλικών

- ❖ Ο EC2 παρέχει σχέσεις για την εν χρόνω μεταβολή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, της εφελκυστικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**

Πίνακας 2.4: Εν χρόνω μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών σκυροδέματος

ΕΝ ΧΡΟΝΩ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	
Θλιπτική Αντοχή $f_{cm}(t)$ ¹	$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$ $\text{με } \beta_{cc}(t) = e^{s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right]}$
Εφελκυστική Αντοχή $f_{ctm}(t)$ ²	$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^\alpha \cdot f_{ctm}$
Μέτρο Ελαστικότητας $E_{cm}(t)$	$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t) / f_{cm})^{0.3} \cdot E_{cm}$

Σημειώσεις:

1. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται σε ηλικία t εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες συντήρησης. Η παραπάνω τιμή δίνεται για θερμοκρασία 20°C.

$f_{cm}(t)$ η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε χρόνο t

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

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

t η ηλικία του σκυροδέματος σε ημέρες

s συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου, ισούται με 0,20, 0,35 και 0,38 για κατηγορίες τσιμέντου R, N και S αντίστοιχα (βλ. και §3.1.2(6) του EC2)

2. Η ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής με το χρόνο εξαρτάται σημαντικά από τις συνθήκες συντήρησης και ξήρασης, καθώς και από τις διαστάσεις των δομικών στοιχείων. Οι συντελεστές που υπεισέρχονται στην εξίσωση υπολογισμού έχουν ως εξής:

$\beta_{cc}(t)$ όπως προηγουμένως

$\alpha = 1$ για $t < 28$

$\alpha = 2/3$ για $t \geq 28$

2.1.2 Σχέσεις Τάσεων - Παραμορφώσεων

2.1.2.1 Σχηματικό Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων

Στην §3.1.5 του EC2 δίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για βραχυχρόνια μονοαξονική φόρτιση (το οποίο χρησιμοποιείται και στη μη-γραμμική ανάλυση) το οποίο προβλέπει και φθιτό κλάδο. Μια σχέση που προτείνεται, αν και

υπάρχουν και άλλες που περιγράφουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του σκυροδέματος, είναι η εξής:

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2) \cdot \eta}$$

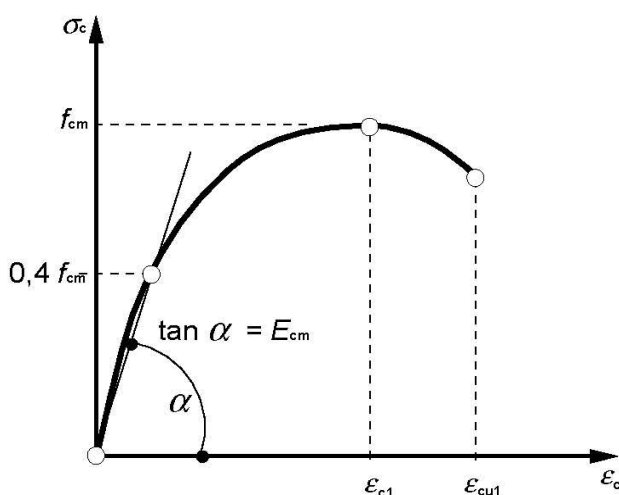
(ΕΚΩΣ: παρόμοιο το διάγραμμα, αλλά δε δίνεται η αναλυτική σχέση)

όπου:

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

ε_{c1} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση.

$$k = 1.1 E_{cm} \cdot |\varepsilon_{c1}| / f_{cm}$$



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων για την μη-γραμμική ανάλυση των κατασκευών (EC2)

2.1.2.2 Σχέσεις Τάσεων-Παραμορφώσεων για το Σχεδιασμό Διατομών

Στην §3.1.7 δίνονται τα ακόλουθα δύο διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό διατομών.

Παραβολικό-Ορθογωνικό Διάγραμμα

Ο EC2 προτείνει τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{για } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

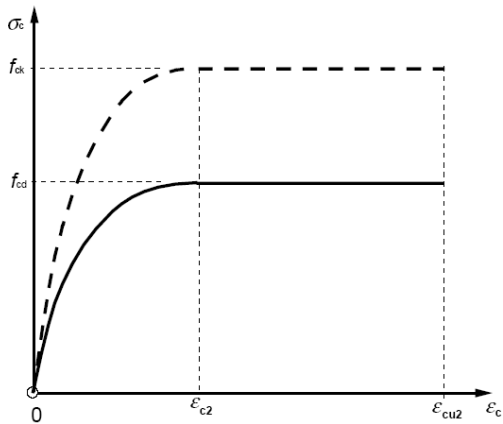
$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{για } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

όπου:

n ο εκθέτης σύμφωνα με τον πίνακα που δίνει τα χαρακτηριστικά των διαφόρων σκυροδεμάτων.

ε_{c2} η παραμόρφωση στη μέγιστη τάση

ε_{cu2} η παραμόρφωση αστοχίας

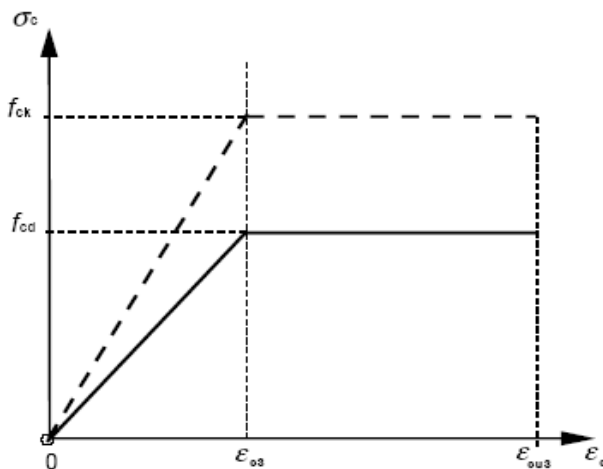


Σχήμα 2.2: Παραβολικό-Ορθογώνιο διάγραμμα για σκυρόδεμα υπό θλίψη (EC2)

❖ Σημειώνεται πως η σχέση που δίνει το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σχεδιασμού στον ΕΚΩΣ $\sigma_c = f_{cd} \cdot 1000 \cdot \varepsilon_c \cdot (250 \cdot \varepsilon_c + 1)$, καταλήγει με απλό μετασχηματισμό σε αυτήν του EC-2 για σκυροδέματα με αντοχή $f_{ck} \leq 50$ MPa.

Διγραμμικό Διάγραμμα

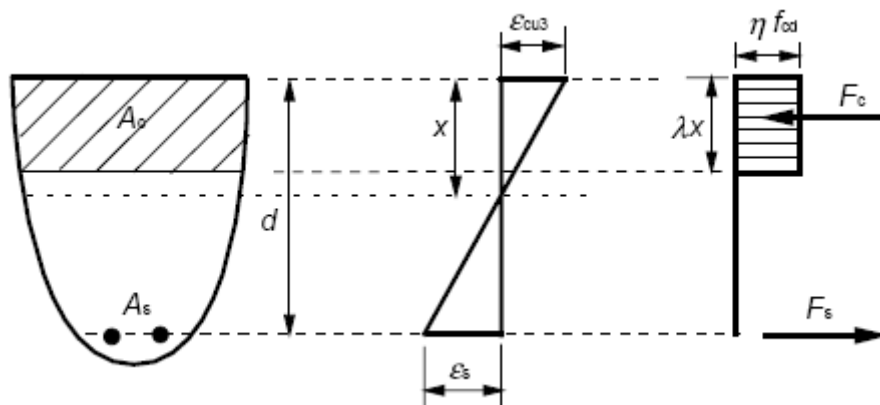
Το παρακάτω απλοποιημένο διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιείται εφόσον είναι ισοδύναμο η συντηρητικότερο του προηγούμενου.



Σχήμα 2.3: Διγραμμική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων (EC2)

Ορθογωνικό Διάγραμμα

Όταν δε βρίσκεται όλη η διατομή υπό θλίψη, μια ορθογωνική κατανομή τάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως ορίζεται παρακάτω. Ο συντελεστής λ ορίζει το ενεργό ύψος της θλιβόμενης ζώνης και ο συντελεστής η ορίζει τη δρώσα αντοχή.



Σχήμα 2.4: Ορθογωνική κατανομή τάσεων (EC2)

$$\lambda = 0,8 \quad \text{για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

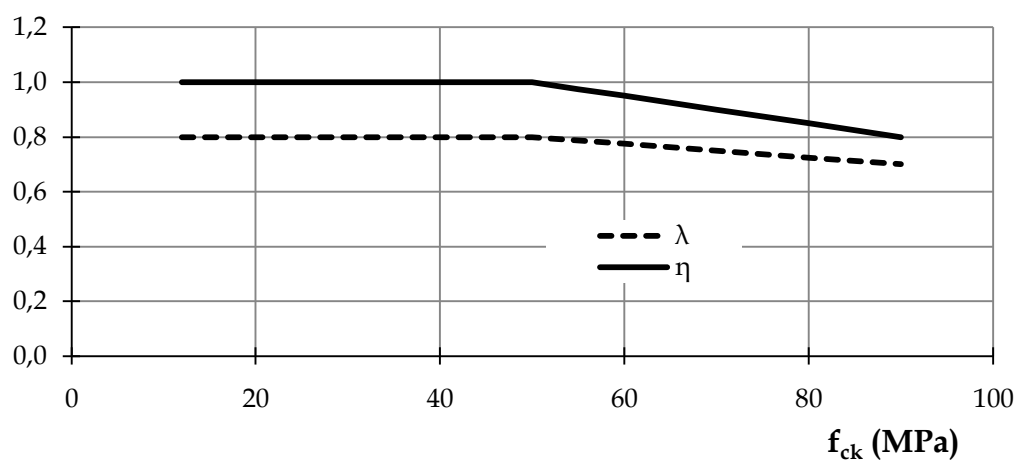
$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400 \quad \text{για } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$

και

$$\eta = 1,0 \quad \text{για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200 \quad \text{για } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$

Σημείωση: Αν το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης μειώνεται προς τη διεύθυνση της περισσότερο θλιβόμενης ίνας, τότε η τιμή της f_{cd} πρέπει να μειώνεται κατά 10%.



Σχήμα 2.5: Μεταβολή συντελεστών λ & η

❖ **Αλλαγές σε σχέση με ΕΚΩΣ:**

1. Στον ΕΚΩΣ δεν υπάρχει μείωση του λ ή του η για μεγάλες αντοχές, άλλωστε δεν υπάρχουν σκυροδέματα με αντοχή μεγαλύτερη από 50 MPa.
2. Η τιμή του η στον ΕΚΩΣ είναι **0,85** σε αντιστοιχία με το συντελεστή α_{cc} , μειώνοντας έτσι την αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη.

2.1.2.3 Περισιφισμένο Σκυρόδεμα

Ο EC2 στην §3.1.9 παρέχει σχέσεις τάσεων παραμορφώσεων για το περισιφισμένο σκυρόδεμα. Η περίσιφιξη οδηγεί σε υψηλότερη αντοχή και μεγαλύτερες κρίσιμες παραμορφώσεις, μεταβάλλοντας τη σχέση δρώσας τάσης-παραμόρφωσης. Τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά θεωρούνται αμετάβλητα. Ελλείψει ακριβέστερων σχέσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξής σχέση τάσεων-παραμορφώσεων:

$$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,000 + 5,00 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{για } \sigma_2 \leq 0,05 \cdot f_{ck}$$

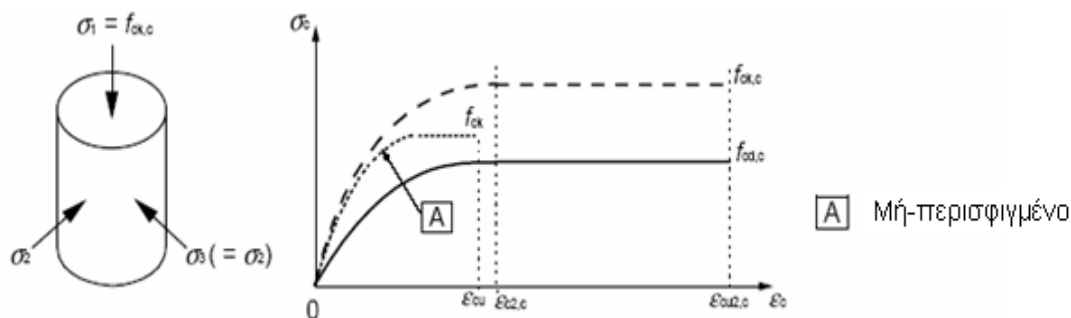
$$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,125 + 2,50 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{για } \sigma_2 > 0,05 \cdot f_{ck}$$

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2$$

$$\varepsilon_{cu2} = \varepsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck}$$

όπου σ_2 : η δρώσα ακτινική θλιπτική τάση στην οριακή κατάσταση αστοχίας εξαιτίας της περίσιφιξης

Η περίσιφιξη μπορεί να δημιουργηθεί μέσω επαρκώς κλειστών συνδετήρων ή εγκάρσιων συνδέσμων, οι οποίοι φτάνουν στην πλαστική περιοχή λόγω της πλευρικής διόγκωσης του σκυροδέματος.



Σχήμα 2.6: Σχέση τάσεων-παραμορφώσεων για το περισιφισμένο σκυρόδεμα (EC2)

- ❖ Πρόκειται για **νέα διάταξη**, αν και μερικές πληροφορίες υπήρχαν και στην §18.4.8 του ΕΚΩΣ που αφορά την περίσιφιξη υποστυλωμάτων.

2.1.3 Ερπυσμός & Συστολή Ξήρανσης

Στον EC2, στην §3.1.4 δίνονται εκτενείς λεπτομέρειες για τον ερπυσμό και τη συστολή ξήρανσης. Ο ερπυσμός και η συστολή ξήρανσης εξαρτώνται από την υγρασία, τις διαστάσεις του στοιχείου και τη σύνθεση του σκυροδέματος. Ο ερπυσμός επίσης επηρεάζεται από την ωριμότητα του σκυροδέματος κατά την πρώτη επιβολή του φορτίου και εξαρτάται από τη διάρκεια και το μέγεθος της φόρτισης.

2.1.3.1 Ερπυσμός

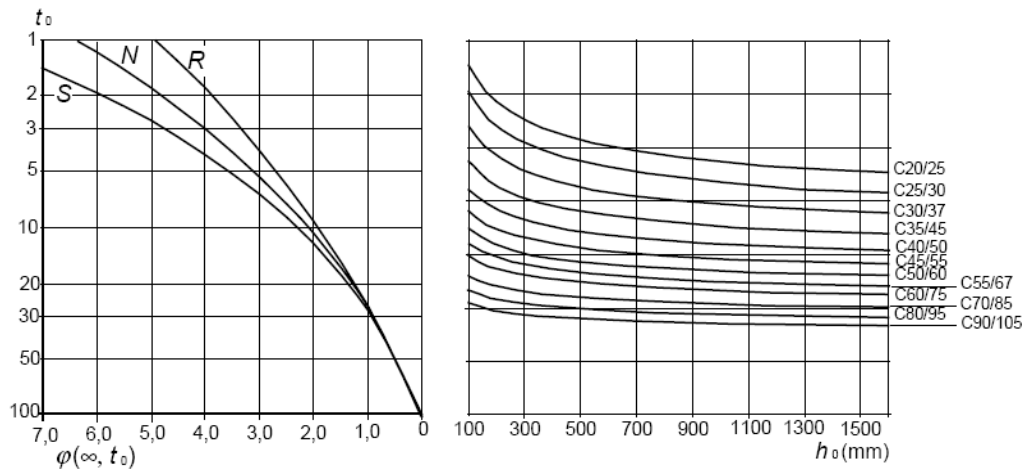
Η ερπυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$ κατά τη χρονική στιγμή $t = \infty$ για σταθερή θλιπτική τάση σ_c εφαρμοζόμενη σε σκυρόδεμα ηλικίας t_0 δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot (\sigma_c / E_c)$$

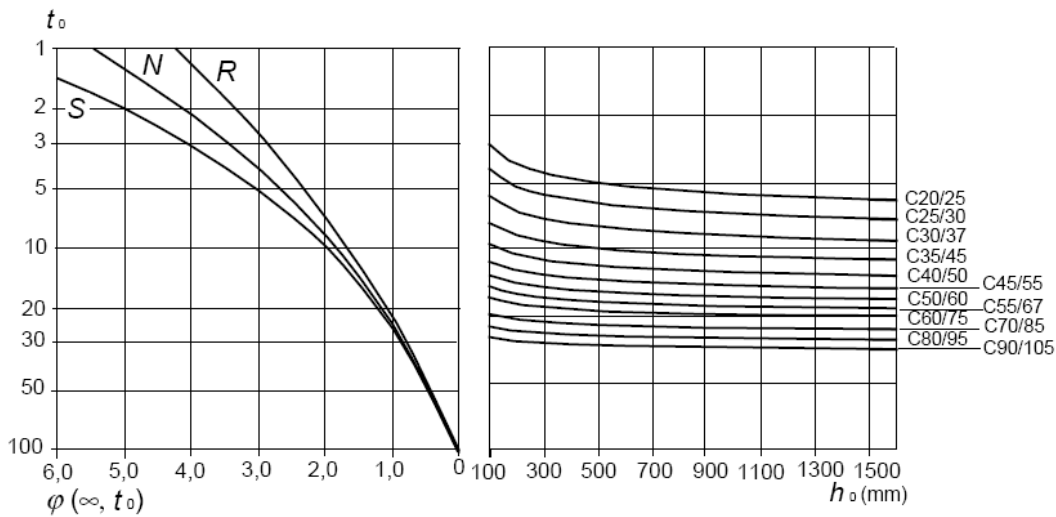
Ο συντελεστής ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0)$ σχετίζεται με το E_c , το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας, το οποίο μπορεί να λαμβάνεται ως $1,05 \cdot E_{cm}$. Μπορεί να λαμβάνεται από το διάγραμμα του Σχήματος 2.7, αν δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια, αρκεί το σκυρόδεμα να μην υποβάλλεται σε θλιπτική τάση μεγαλύτερη από $0,45 f_{ck}(t_0)$. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στο παράρτημα Β του EC2. Όταν η επιβαλλόμενη θλιπτική τάση υπερβαίνει την προηγούμενη οριακή τιμή τότε πρέπει να εκτιμάται και η μη-γραμμικότητα λόγω ερπυσμού. Για τις θεωρήσεις αυτές ο συντελεστής ερπυσμού λαμβάνεται ως εξής:

$$\Phi_k(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot \exp \{1.5 \cdot (k_\sigma - 0,45)\}$$

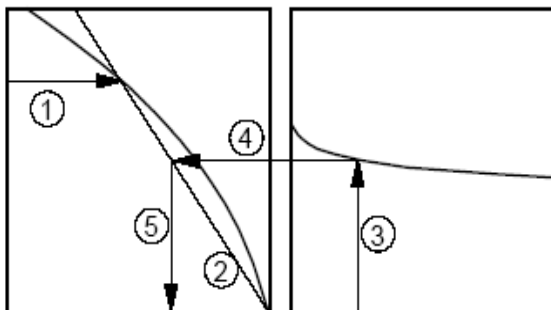
όπου k_σ : είναι η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων $\sigma_c / f_{cm}(t_0)$



(α) Συνθήκες Εσωτερικού Χώρου - RH = 50%



(β) Συνθήκες Υπαίθρου - RH = 80%



Σημείωση: Το σημείο τομής μεταξύ των γραμμών 4 & 5 μπορεί να είναι επίσης υπεράνω του σημείου 1. Για $t_0 > 100$ είναι αρκούντως ακριβές να υποτεθεί $t_0 = 100$ (και να χρησιμοποιηθεί η εφαπτομένη).

Σχήμα 2.7: Μέθοδος για τον υπολογισμό του συντελεστή ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0)$ για σκυρόδεμα υπό κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες (EC2)

Αλλαγές σε σχέση με ΕΚΩΣ:

1. Στον ΕΚΩΣ λαμβάνεται $E_c = E_{c28}$, ενώ στον EC2 $E_c = 1,05 E_{cm}$ κατά τον υπολογισμό της $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$.
2. Στον ΕΚΩΣ το όριο για τη θλιπτική τάση είναι $\sigma_c < 0.50 f_{ck}(t_0)$, ενώ στον EC2 $\sigma_c < 0.45 f_{ck}(t_0)$.
3. Στον ΕΚΩΣ **δεν υπάρχουν οι λεπτομερείς σχέσεις** του EC2 για την περίπτωση υπέρβασης του ορίου της θλιπτικής τάσης

2.1.3.2 Συστολή Ξήρανσης

Η συνολική συρρίκνωση στον EC2 συντίθεται από δύο μέρη: **την παραμόρφωση λόγω συστολής ξήρανσης και την παραμόρφωση λόγω αυτογενούς συρρίκνωσης**. Η συστολή ξήρανσης αναπτύσσεται αργά, καθώς είναι συνάρτηση της διήθησης του νερού δια μέσου του σκληρυθέντος σκυροδέματος. Η αυτογενής συρρίκνωση αναπτύσσεται κατά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, όπου το μεγαλύτερο μέρος αναπτύσσεται κατά τις πρώτες ημέρες μετά τη σκυροδέτηση. Η αυτογενής συρρίκνωση είναι μια γραμμική συνάρτηση της αντοχής του σκυροδέματος (**ΕΚΩΣ: δεν υπάρχει η θεώρηση αυτογενούς συρρίκνωσης**). Πρέπει κατά κύριο λόγο να συνεκτιμάται, όταν η νέα σκυροδέτηση γίνεται επί σκληρυθέντος σκυροδέματος. Έτσι η συνολική συρρίκνωση προκύπτει ως εξής:

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

όπου:

ε_{cs} η συνολική παραμόρφωσης συρρίκνωσης

ε_{cd} η παραμόρφωση λόγω συστολής ξήρανσης

ε_{ca} η παραμόρφωση λόγω αυτογενούς συρρίκνωσης

Η τελική τιμή της παραμόρφωσης λόγω συστολής ξήρανσης είναι:

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

Πίνακας 2.5: Τιμές ονομαστικής ανεμπόδιστης συστολής ξήρανσης $\varepsilon_{cd,0}$ (‰) για το σκυρόδεμα με τσιμέντο CEM κατηγορίας N (EC2)

$f_{ck}/f_{ck,cube}$ (MPa)	Σχετική Υγρασία (σε ποσοστό %)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0,62	0,58	0,49	0,30	0,17	0,00

40/50	0,48	0,46	0,38	0,24	0,13	0,00
60/75	0,38	0,36	0,30	0,19	0,10	0,00
80/95	0,30	0,28	0,24	0,15	0,08	0,00
90/105	0,27	0,25	0,21	0,13	0,07	0,00

Πίνακας 2.6: Τιμές k_h

h_0	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

Η ανάπτυξη παραμόρφωσης λόγω συστολής ξήρανσης με το χρόνο δίνεται από τη σχέση:

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

$$\text{με } \beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}}$$

όπου:

- t η ηλικία του σκυροδέματος τη δεδομένη στιγμή, σε ημέρες
- t_s η ηλικία του σκυροδέματος στην αρχή της συστολής ξήρανσης (κανονικά αυτό συμβαίνει στο τέλος του χρόνου συντήρησης)
- $h_0 = 2A_c/u$ το ονομαστικό μέγεθος (mm) της διατομής
- A_c το εμβαδόν της διατομής
- u η περίμετρος του τμήματος της διατομής που είναι σε επαφή με την ατμόσφαιρα

Η αυτογενής παραμόρφωση συρρίκνωσης προκύπτει ως εξής:

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

όπου:

$$\varepsilon_{ca} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \text{ και}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0,2 \cdot t^{0,5}}, \text{ με το } t \text{ σε ημέρες}$$

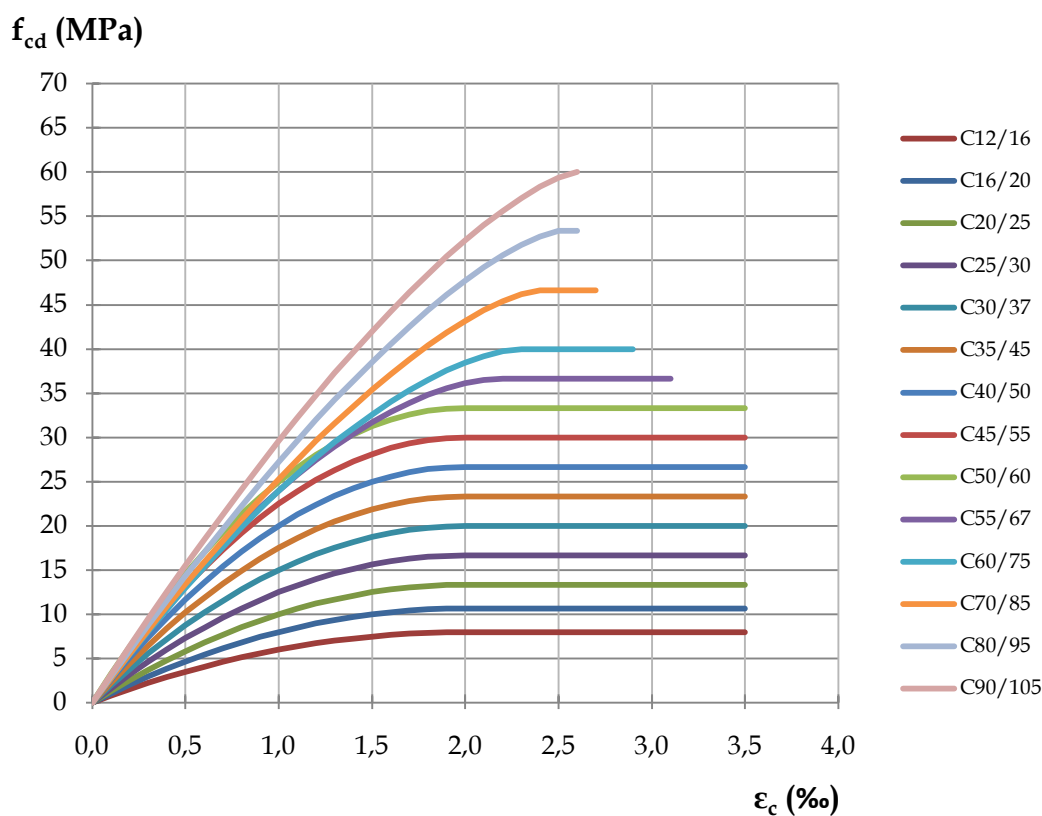
❖ Αλλαγές σε σχέση με ΕΚΩΣ:

1. Στον ΕΚΩΣ δεν υπάρχει η θεώρηση της αυτογενούς συρρίκνωσης
2. Επίσης η εκτίμηση της παραμόρφωσης λόγω συστολής ξήρανσης γίνεται μέσω πίνακα και δεν δίνεται αναλυτική σχέση

2.1.4 Διαφορές EC2/ΕΚΩΣ

Επισημαίνουμε συνοπτικά τα **νέα στοιχεία** που περιέχει ο EC2 και τις **διαφορές** με τον ΕΚΩΣ:

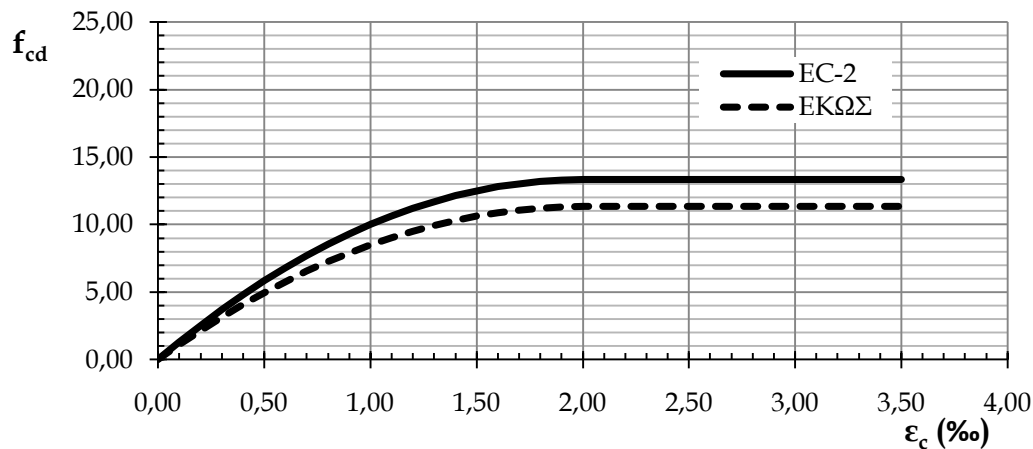
1. **Σκυροδέματα υψηλότερης αντοχής** (μέχρι C90/105). Ωστόσο όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του Σχήματος 2.9 αυτά είναι **ιδιαιτέρως ψαθυρά**, αφού έχουν τόσο μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας όσο αυξάνει η αντοχή τους, κάτι που φαίνεται από τη μείωση του οριζόντιου κλάδου.



Σχήμα 2.8: Αύξηση ψαθυρότητας σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής

2. **Αύξηση της αντοχής σχεδιασμού** του σκυροδέματος λόγω αύξησης του συντελεστή α_{cc} από 0,85 στον ΕΚΩΣ σε 1,00 στον EC2, που αποφέρει και ελαφρώς οικονομικότερη διαστασιολόγηση. Στην ίδια αλλαγή εμπίπτει και η διαφορά που υπάρχει στο απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων όπου λαμβάνεται $\eta = 1,00$ έναντι 0,85 στον ΕΚΩΣ, καθώς και διαφοροποιήσεις για τα σκυροδέματα $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa.

Παραθέτουμε τα παρακάτω διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων σχεδιασμού για σκυρόδεμα C20/25 με τον EC2 και τον ΕΚΩΣ, όπου φαίνονται οι διαφορές.



Σχήμα 2.9: Συγκριτικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων

3. Ο EC2 παρέχει σχέσεις για την **εν χρόνω μεταβολή** των ιδιοτήτων του σκυροδέματος (μέτρο ελαστικότητας, θλιπτική & εφελκυστική αντοχή, συστολή ξήρανσης), που δεν υπάρχουν στον ΕΚΩΣ.
4. Υπάρχει διαφορά στο απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων όπου οι συντελεστές λ και η **μειώνονται** για τα σκυροδέματα $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa.
5. Ο EC2 παρέχει σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων τροποποιημένες ώστε να λαμβάνεται υπόψη η **περίσφιγξη** του σκυροδέματος.
6. Για τον **ερπυσμό** δίνονται **λεπτομερείς σχέσεις υπολογισμού**, καθώς και σχέση που λαμβάνει υπόψη τις **μη γραμμικές παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού**, όταν $\sigma_c > 0,45 \cdot f_{ck}(t_0)$, που δεν υπάρχει στον ΕΚΩΣ.
7. Δίνονται επίσης **λεπτομερείς σχέσεις υπολογισμού** για τη **συστολή ξήρανσης** και **διαχωρίζεται** η συρρίκνωση σε συστολή ξήρανσης και αυτογενή συρρίκνωση.

2.2 ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

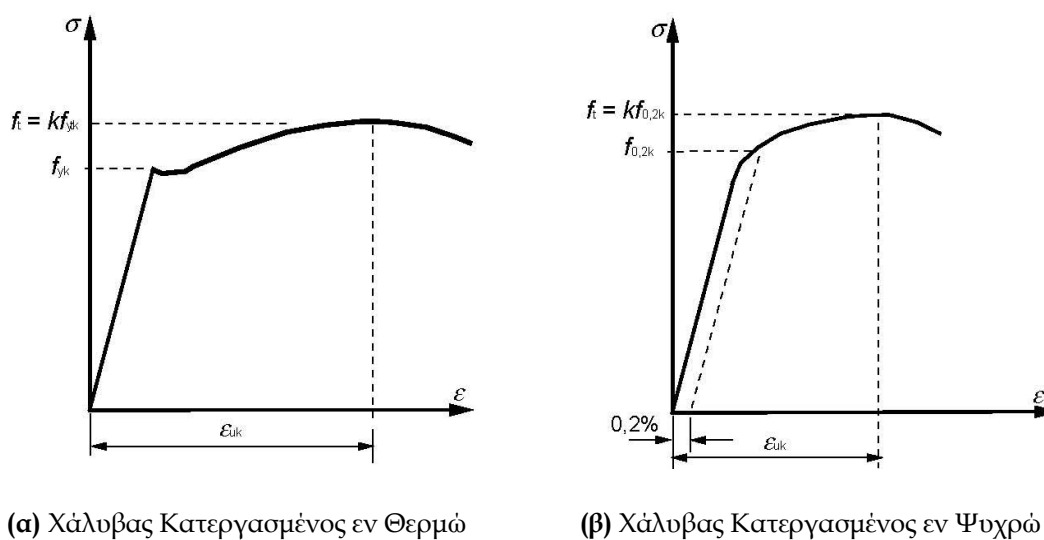
2.2.1 Γενικά

Η §3.2 του EC2 αναφέρεται στο χάλυβα οπλισμού και δίνει τα βασικά μηχανικά χαρακτηριστικά αυτού.

Η συμπεριφορά του χάλυβα οπλισμού κατά τον EC2 καθορίζεται μέσω των παρακάτω ιδιοτήτων:

- i. όριο διαρροής (f_{yk} ή $f_{0,2k}$)
- ii. μέγιστη πραγματική αντοχή διαρροής ($f_{y\max}$)
- iii. εφελκυστική αντοχή (f_t)
- iv. πλαστιμότητα (ϵ_{uk} και f_t/f_{yk})
- v. δυνατότητα κάμψης
- vi. χαρακτηριστικά συνάφειας
- vii. γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής και ανοχές
- viii. αντοχή σε κόπωση
- ix. συγκολλησιμότητα
- x. αντοχή σε διάτμηση και συγκόλληση σε δομικά πλέγματα και δικτυωτές δοκούς

Στον EC2 δίνονται σχηματικά οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για τυπικές περιπτώσεις χάλυβα επεξεργασμένου εν θερμώ και εν ψυχρώ αντιστοίχως.



Σχήμα 2.10: Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα οπλισμού (δίνονται οι απόλυτες τιμές της εφελκυστικής τάσης και της παραμόρφωσης)

Επίσης δίνονται λεπτομερείς οδηγίες για τις διαδικασίες συγκόλλησης που **δεν** υπάρχουν στον ΕΚΩΣ.

Στο **Παράρτημα C** του EC2 δίνονται σημαντικές πληροφορίες για τις ιδιότητες του χάλυβα οπλισμού. Οι κυριότερες περιέχονται στον κάτωθι πίνακα. Η κατηγορία A αναφέρεται σε χάλυβες κατεργασμένους εν ψυχρώ, η B εν θερμώ και η C σε σεισμό. Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων (Κ.Τ.Χ.) στην Ελλάδα επιτρέπεται η χρήση μόνο χαλύβων κατηγορίας C.

Πίνακας 2.7: Ιδιότητες οπλισμού (Πίνακας C.1 στον EC2)

Μορφή Προϊόντος	Ράβδοι & Ράβδοι Προερχόμενες από Κουλούρες			Πλέγματα			Απαιτηση ή Πιθανότητα Μη Συμμόρφωσης (%)
	A	B	C	A	B	C	
Κατηγορία	A	B	C	A	B	C	-
Χαρακτηριστική Αντοχή Διαρροής f_{yk} ή $f_{0,2k}$ (MPa)	400 έως 600						5,0
Ελάχιστη Τιμή του $k = (f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Χαρακτηριστική Ανηγμένη Παραμόρφωση στη Μέγιστη Δύναμη, ϵ_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Δυνατότητα Κάμψης	Δοκιμή Κάμψης/ Ανάκαμψης			---			
Διατμητική Αντοχή	---			0,3 A f_{yk} (A είναι η επιφάνεια της ράβδου)			Ελάχιστη
Μέγιστη Απόκλιση από την Ονομαστική Μάζα (μεμονωμένη ράβδος) (%)	Ονομαστική Διάμετρος Ράβδου (mm) ≤ 8 > 8			$\pm 6,0$ $\pm 4,5$			5,0

Πίνακας 2.8: Ιδιότητες οπλισμού (Πίνακας C.2N στον EC2)

Μορφή Προϊόντος	Ράβδοι & Ράβδοι Προερχόμενες από Κουλούρες			Πλέγματα			Απαιτηση ή Πιθανότητα Μη Συμμόρφωσης (%)
	A	B	C	A	B	C	
Κατηγορία	A	B	C	A	B	C	---

Εύρος Τάσεων Κόπωσης (MPa) (για $N \geq 2 \times 10^6$ κύκλους) με ανώτερο όριο βf_{yk}		≥ 150	≥ 100	10,0
Συνάφεια: Ελάχιστη Σχετική Επιφάνεια Ραβδώσεων, $f_{R,min}$	Ονομαστική Διάμετρος Ράβδου (mm) 5 - 6 6,5 - 12 > 12		0,035 0,040 0,056	5,0

Σημείωση: Οι τιμές του εύρους τάσεων κόπωσης με ανώτερο όριο βf_{yk} και της ελάχιστης σχετικής επιφάνειας ραβδώσεων για χρήση σε μια χώρα μπορούν να βρεθούν στο Εθνικό Προσάρτημά της. Οι συνιστώμενες τιμές δίνονται στον Πίνακα C.2N. Η τιμή του β για χρήση σε μια χώρα μπορεί να βρεθεί στο Εθνικό Προσάρτημά της. Η συνιστώμενη τιμή είναι 0,6.

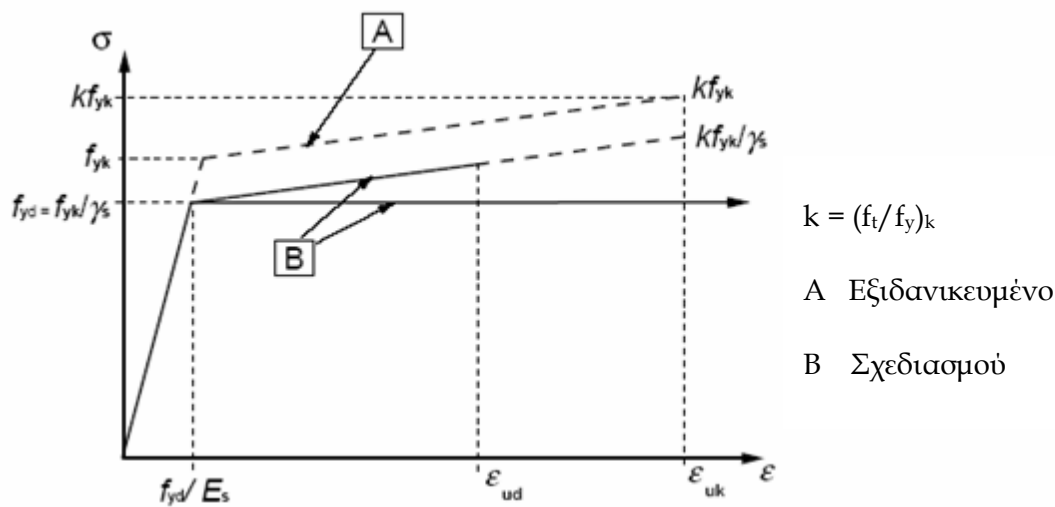
2.2.2 Παραδοχές Σχεδιασμού

Για το χάλυβα οπλισμού, ο EC2 παρέχει δύο εναλλακτικές δυνατότητες κατά το σχεδιασμό:

- είτε ένα διγραμμικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων με **κεκλιμένο** κλάδο μετά τη διαρροή που λαμβάνει υπόψη την **κράτωση** και έχει οριακή τάση kf_{yk}/γ_s για παραμόρφωση ϵ_{ud}
- είτε ένα διγραμμικό διάγραμμα με **οριζόντιο μεταλαστικό** κλάδο, **δίχως** όμως ανάγκη ορίου στην παραμόρφωση

Η συνιστώμενη τιμή για την παραμόρφωση ϵ_{ud} είναι $\epsilon_{ud}=0,9\epsilon_{uk}$, ενώ η τιμή του $k = (f_t/f_y)_k$ δίνεται στο παράρτημα C. Για την περίπτωση με σεισμό η ελάχιστη τιμή για την ϵ_{uk} είναι 75,0‰ και για την κράτωση είναι 1,15 σύμφωνα με το παράρτημα C του EC2.

Παρακάτω δίνεται το εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και τα δύο δυνατά διαγράμματα σχεδιασμού για το χάλυβα οπλισμού για εφελκυσμό και θλίψη.

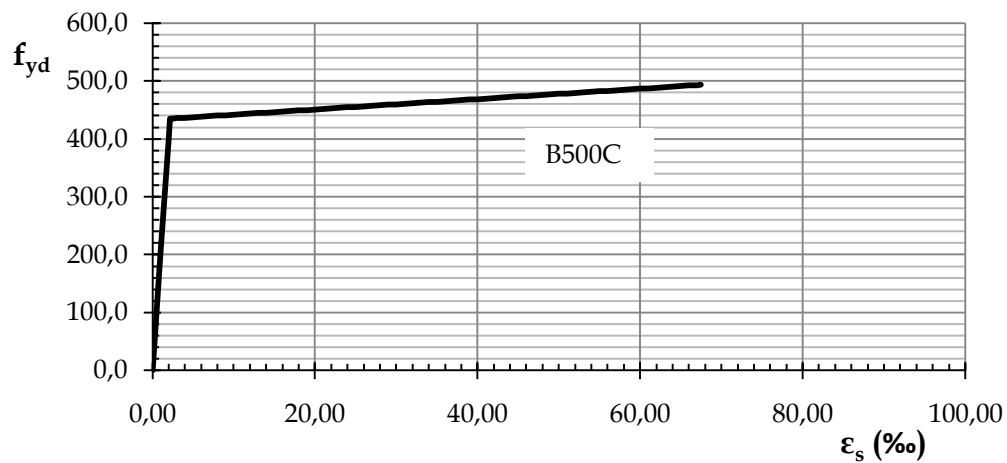


Σχήμα 2.11: Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού για εφελκυσμό & θλίψη (EC2)

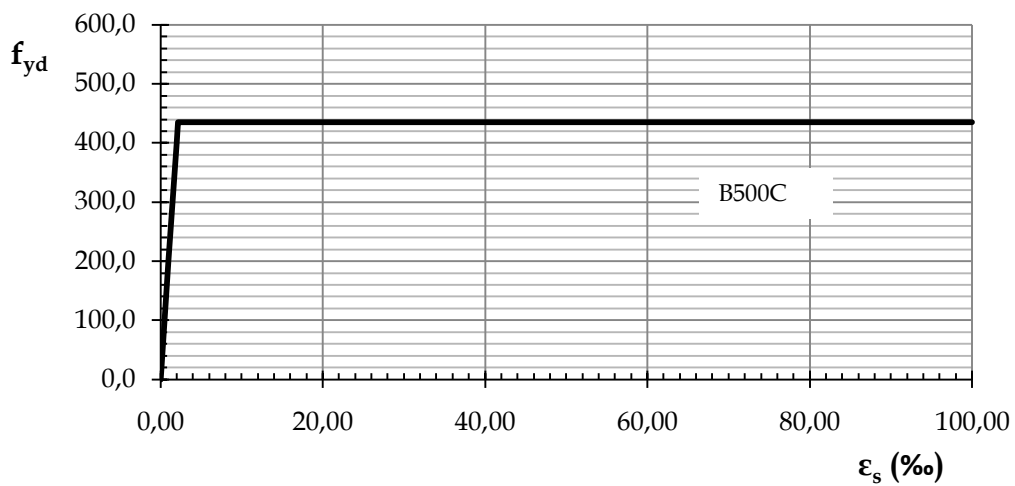
2.2.3 Διαφορές EC2/ΕΚΩΣ

Η βασική διαφορά προκύπτει από τις διαφορετικές παραδοχές που υιοθετεί ο EC-2 ως προς τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα οπλισμού, **αυξάνοντας την θεωρητική παραμόρφωση αστοχίας (από το 20% στο 75,0%), αλλά και την τάση αστοχίας δεχόμενος κράτηση του οπλισμού.** Αυτά βέβαια στην περίπτωση σχεδιασμού με την μία από τις δύο εναλλακτικές λύσεις. Με τη δεύτερη δεν προσαυξάνεται η τάση, αλλά δεν υπάρχει όμως όριο στην παραμόρφωση. Έτσι με τον EC2 **καθίσταται επιτρεπτή μια καλύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του χάλυβα οπλισμού σε σχέση με τον ΕΚΩΣ,** κάτι που αποφέρει και οικονομικότητα στο σχεδιασμό.

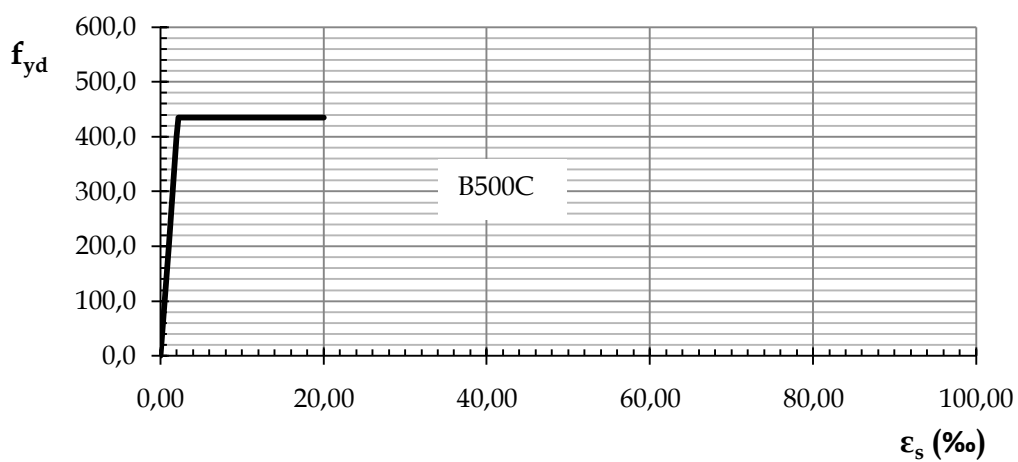
Παρακάτω παραθέτουμε τα διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων σχεδιασμού για χάλυβα ποιότητας B500C με τις δύο εναλλακτικές δυνατότητες του EC2 και με τον ΕΚΩΣ, για να φανούν και οι διαφορές.



Σχήμα 2.12: Διάγραμμα $\sigma - \epsilon$ σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού με κράτωση κατά EC2



Σχήμα 2.13: Διάγραμμα $\sigma - \epsilon$ σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού χωρίς κράτωση κατά EC2



Σχήμα 2.14: Διάγραμμα $\sigma - \epsilon$ σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού κατά ΕΚΩΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Σύμφωνα με το κεφ. 4 του EC2 μια κατασκευή ανθεκτική σε διάρκεια πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις λειτουργικότητας, αντοχής και ευστάθειας καθ' όλη τη διάρκεια του επιδιωκόμενου χρόνου ζωής σχεδιασμού, χωρίς σημαντικές απώλειες χρηστικότητας ούτε υπερβολική και απρόβλεπτη συντήρηση. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ο απαιτούμενος χρόνος ζωής της κατασκευής, πρέπει να λαμβάνονται **επαρκή μέτρα για την προστασία των δομικών στοιχείων έναντι επικινδύνων**, για την ανθεκτικότητα του έργου, **περιβαλλοντικών συνθηκών**. Μεταξύ των μέτρων αυτών, βασικό είναι η επικάλυψη των οπλισμών. Στα επόμενα θα αναφερθούμε στις διαφορές που υπάρχουν στη διαδικασία εκτίμησης της επικάλυψης μεταξύ EC2 και ΕΚΩΣ.

3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Οι συνθήκες περιβάλλοντος ταξινομούνται σε 6 βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη φύση του κινδύνου κατά τον EC2, και εν συνεχεία υποδιαιρούνται σε 18 κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος της δράσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις συνθήκες περιβάλλοντος σύμφωνα με το EN 206-1

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 ωπλισμένο 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 πιτολισματος.	Τμήματα λιμενικών έργων
5. Προσβολή ψύξης/ απόψυξης		
XF1	Μέτριας κλίμακας υδρεμοτισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF2	Μέτριας κλίμακας υδρεμοτισμός με παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος κατασκευών οδοποιίας εκτεθειμένες σε ψύξη και παράγοντες απόψυξης που μεταφέρονται με τον αέρα.
XF3	Εκτεταμένος υδρεμοτισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF4	Εκτεταμένος υδρεμοτισμός 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	Ιδιαίτερος επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα

❖ Διαφορές με ΕΚΩΣ

1. Στον ΕΚΩΣ η ταξινόμηση είναι **απλούστερη** αφού ορίζονται **μόνο 4 κατηγορίες** συνθηκών περιβάλλοντος, **εν αντιθέσει με τις 18 κατηγορίες του EC2.**

2. Στον EC2 υπάρχει μια νέα διάταξη που επιβάλλει μια ελάχιστη αντοχή σκυροδέματος ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος, λόγω της συσχέτισης της ποιότητας και της πυκνότητας της επικάλυψης με τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Ενδεικτικές κατηγορίες αντοχής δίνονται στον Πίνακα 3.2 από το Παράρτημα Ε του EC2.

Πίνακας 3.2: Ενδεικτικές κατηγορίες αντοχής

Κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος							
Διάβρωση							
	διάβρωση οφειλόμενη σε ενανθράκωση			διάβρωση οφειλόμενη σε χλωρίδια		διάβρωση οφειλόμενη σε χλωρίδια από θαλάσσιο νερό	
	XC1	XC2	XC3 /XC4	XD1 /XD2	XD3	XS1	XS2 /XS3
Ενδεικτική Κατηγορία Αντοχής	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45
Βλάβες στο Σκυρόδεμα							
	κανένας κίνδυνος	προσβολή από παγετό/επανυγροποίηση			χημική προσβολή		
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1 /XA2	XA3	
Ενδεικτική Κατηγορία Αντοχής	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37		C35/45

3.2 ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Η ονομαστική επικάλυψη πρέπει να καθορίζεται στα σχέδια. Κατά τον EC2 ορίζεται ως η ελάχιστη επικάλυψη c_{min} συν την σχεδιαστική ανοχή για την αντιμετώπιση αποκλίσεων, Δc_{dev} :

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Πρέπει να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή c_{min} που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις τόσο για τις συνθήκες συνάφειας όσο και για τις συνθήκες περιβάλλοντος:

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10 \text{ mm} \}$$

όπου:

- $c_{min,b}$ επικάλυψη βάσει απαίτησης συνάφειας σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2
- $c_{min,dur}$ ελάχιστη επικάλυψη βάσει περιβαλλοντικών συνθηκών
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ πρόσθετη ασφάλεια στοιχείου
- $\Delta c_{dur,st}$ απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση χρήσης ανοξειδωτού χάλυβα
- $\Delta c_{dur,add}$ απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση πρόσθετης προστασίας

Οι όροι $\Delta c_{dur,y}$, $\Delta c_{dur,st}$, $\Delta c_{dur,add}$ κατά κανόνα ισούνται με μηδέν.

Πίνακας 3.3: Απαιτήσεις ελάχιστης επικάλυψης $c_{min,b}$, από άποψη συνάφειας

Διάταξη ράβδων	Ελάχιστη Επικάλυψη $c_{min,b}$ *
Μεμονωμένες	Διάμετρος Ράβδου
Δεσμίδα	Ισοδύναμη Διάμετρος (\varnothing_n)
*Εάν η μέγιστη ονομαστική διάσταση των αδρανών είναι μεγαλύτερη από 32 mm, τότε η $c_{min,b}$ πρέπει να προσαυξάνεται κατά 5 mm.	

Πίνακας 3.4: Απαιτήσεις τιμών ελάχιστης επικάλυψης, $c_{min,dur}$, από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα οπλισμού (mm)

Κατηγορία Κατασκευής	Κατηγορία Έκθεσης						
	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

Η συνιστώμενη τιμή για την προσαύξηση στην ελάχιστη επικάλυψη λόγω αποκλίσεων Δc_{dev} είναι 10mm. Υπό προϋποθέσεις μπορεί να μειώνεται, λαμβάνοντας τιμές $5\text{mm} \leq \Delta c_{dev} \leq 10\text{mm}$ (για κατάλληλο σύστημα ποιότητας) ή $0 \leq \Delta c_{dev} \leq 10\text{mm}$ (για πολύ ακριβή όργανα μέτρησης).

❖ Διαφορές με ΕΚΩΣ

1. Η ελάχιστη επικάλυψη κατά τον ΕΚΩΣ λαμβάνει τιμές 20mm, 25mm, 30mm και 30-45mm (ή 15mm, 20mm, 25mm και 25-40mm για πλάκες) για κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος 1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα, που είναι εν γένει **συντηρητικότερες** από τις τιμές της ελάχιστης επικάλυψης του EC2, είτε λόγω των απαιτήσεων συνάφειας είτε λόγω των συνθηκών περιβάλλοντος (η παρατήρηση έχει ισχύ κυρίως για κατηγορίες κατασκευής S1 - S3) .

2. Για την ελάχιστη επικάλυψη c_{min} ισχύει:

$$\text{EC2: } c_{min} \geq 10\text{mm}$$

$$\text{ΕΚΩΣ: } c_{min} \geq 15\text{mm} \text{ για κατηγορίες 1,2}$$

$$c_{min} \geq \max\{\varnothing + 10\text{mm}, 20\text{mm}\} \text{ για κατηγορίες 3,4}$$

Άρα **πιο αυστηρός** ο ΕΚΩΣ από τον EC2.

3. Στον EC2 η εκτίμηση της ελάχιστης επικάλυψης βάσει περιβαλλοντικών συνθηκών γίνεται σύμφωνα με την **κατηγορία της κατασκευής**. Τέτοιου είδους ταξινόμηση των κατασκευών **δεν υπάρχει** στον ΕΚΩΣ. Στον EC2 υπάρχουν **6 κατηγορίες κατασκευών**, ενώ για την κατηγοριοποίηση των κατασκευών λαμβάνεται υπόψη ο Πίνακας 3.5. Η συνιστώμενη ελάχιστη κατηγορία κατασκευής είναι S1.

Πίνακας 3.5: Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών

Κριτήριο	Κατηγορία Έκθεσης						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Χρόνος Ζωής Σχεδιασμού 100 Έτη	αύξηση κατηγορίας κατά 2						
Κατηγορία Αντοχής	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1		≥ C35/45 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						
Διασφάλιση Ειδικού Ελέγχου Ποιότητας Παραγωγής Σκυροδέματος	μείωση κατηγορίας κατά 1						

4. Η συνιστώμενη τιμή του Δc_{dev} είναι 5-10mm στον ΕΚΩΣ, ενώ είναι 10mm στον EC2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΤΑ EC2

4.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Κατά τον EC2 στόχος της στατικής ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός της κατανομής:

- είτε των εντατικών μεγεθών (εσωτερικών δυνάμεων και ροπών κάμψης), που είναι το συνηθέστερο
- είτε των τάσεων, των παραμορφώσεων και των μετακινήσεων (π.χ. μέσω ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων)

Αναλύσεις **τοπικού** χαρακτήρα μπορεί να είναι απαραίτητες όπου η υπόθεση της γραμμικής κατανομής των παραμορφώσεων δεν ισχύει όπως:

- στις παρειές των στηρίξεων
- πλησίον συγκεντρωμένων φορτίων
- στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος
- σε ζώνες αγκύρωσης
- σε θέσεις μεταβολής των διατομών

4.1.1 Προσομοιώματα Συμπεριφοράς

Ο EC2 διακρίνει 4 τύπους ανάλυσης:

1. **γραμμική-ελαστική** συμπεριφορά (αρηγμάτωτες διατομές, $\sigma = E_{cm} \epsilon$)
2. **γραμμική-ελαστική** συμπεριφορά **με περιορισμένη ανακατανομή**
3. **πλαστική** συμπεριφορά (περιλαμβανομένων μοντέλων θλιπτήρων-ελκυστήρων)
4. **μη-γραμμική** συμπεριφορά

❖ Παρατηρήσεις και αλλαγές σε σχέση με ΕΚΩΣ:

1. Οι προϋποθέσεις εφαρμογής της γραμμικής-ελαστικής συμπεριφοράς με περιορισμένη ανακατανομή κατά τον EC2 δίνονται στον Πίνακα 4.1 και συγκρίνονται με αυτές του ΕΚΩΣ. Με δ συμβολίζεται ο λόγος της κατανεμημένης ροπής προς την ελαστική ροπή.

Πίνακας 4.1: Προϋποθέσεις εφαρμογής γραμμικής-ελαστικής συμπεριφοράς με περιορισμένη ανακατανομή

EC2	$\delta \geq 0,44 + 1,25 \cdot (0,6 + 0,0014/\varepsilon_{cu2}) \cdot x_u/d \text{ για } f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ $\delta \geq 0,54 + 1,25 \cdot (0,6 + 0,0014/\varepsilon_{cu2}) \cdot x_u/d \text{ για } f_{ck} > 50\text{MPa}$ <p style="text-align: center;">$\delta \geq 0,70$ για χάλυβες B & C</p> <p style="text-align: center;">$\delta \geq 0,80$ για χάλυβες A</p> <p style="text-align: center;">οι διατομές υπόκεινται κυρίως σε καμψη και ο λόγος των μηκών διαδοχικών ανοιγμάτων είναι 0,5-2</p>
ΕΚΩΣ	$0,44 + 1,25 \cdot x_u/d \leq \delta \leq 1,00 \text{ για } f_{ck} \leq 35\text{MPa}$ $0,56 + 1,25 \cdot x_u/d \leq \delta \leq 1,00 \text{ για } f_{ck} > 35\text{MPa}$ <p style="text-align: center;">$\delta > 0,70$ για χάλυβες Η</p> <p style="text-align: center;">$\delta > 0,85$ για χάλυβες Ν</p> <p style="text-align: center;">$x_u/d \leq 0,45$ για $f_{ck} \leq 35\text{MPa}$</p> <p style="text-align: center;">$x_u/d \leq 0,35$ για $f_{ck} > 35\text{MPa}$</p>

2. Η πλαστική ανάλυση στον ΕΚΩΣ επιτρέπεται να εφαρμόζεται **μόνο** στον έλεγχο υφιστάμενων κατασκευών, ενώ κατά τον EC2 μπορεί να εφαρμοστεί και για το σχεδιασμό. Λόγω απαιτήσεων επαρκούς πλαστιμότητας ο EC2 θέτει τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

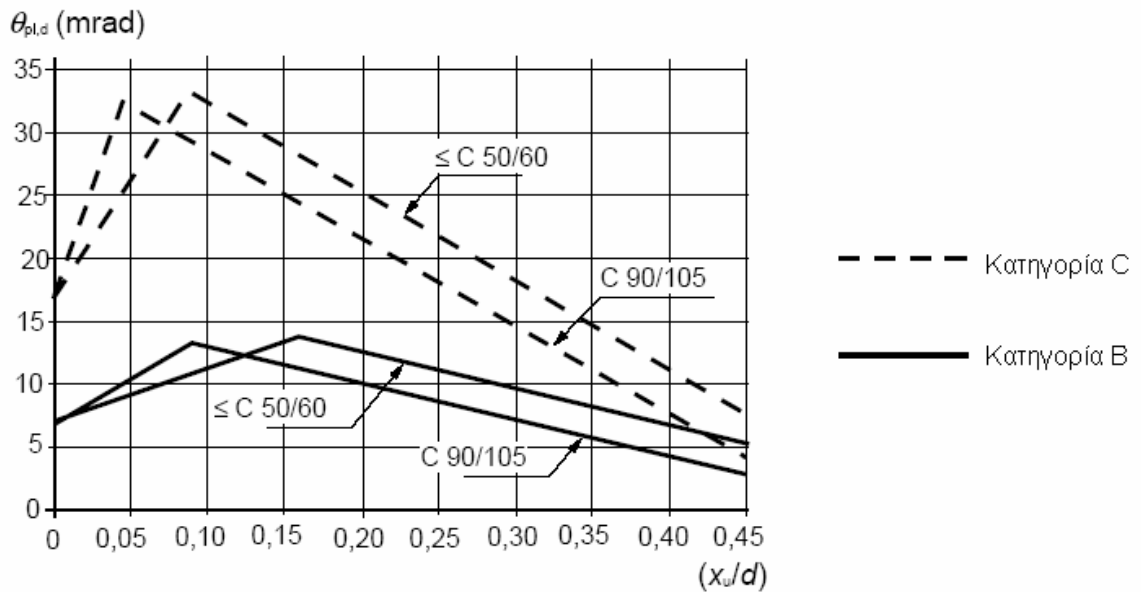
- το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού περιορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε διατομή:

$$x_u/d \leq 0,25 \text{ για σκυρόδεμα κατηγοριών αντοχής } \leq C50/60$$

$$x_u/d \leq 0,15 \text{ για σκυρόδεμα κατηγοριών αντοχής } \geq C55/67$$

- ο χάλυβας οπλισμού είναι είτε κατηγορίας B είτε C
- ο λόγος των ροπών σε ενδιάμεσες στηρίξεις προς τις ροπές ανοίγματος κυμαίνεται από 0,5 έως 2.

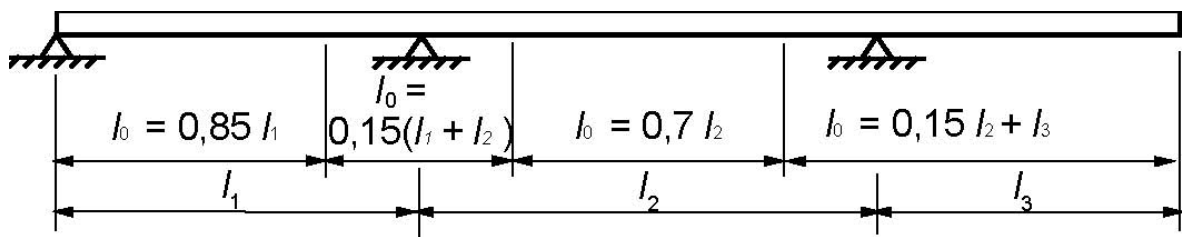
3. Επίσης στην πλαστική ανάλυση η επιτρεπόμενη πλαστική στροφή δίνεται από το διάγραμμα του Σχήματος 4.1 το οποίο είναι **λιγότερο συντηρητικό** από το αντίστοιχο του ΕΚΩΣ. Στον ΕΚΩΣ για χάλυβες Η η μέγιστη επιτρεπόμενη γωνία στροφής είναι 20 mrad ενώ στον EC2 φτάνει τα 32-33 mrad για χάλυβες C. Επίσης για χάλυβες Ν η μέγιστη επιτρεπόμενη γωνία στροφής είναι περίπου 8 mrad ενώ στον EC2 φτάνει τα 13-14 mrad για χάλυβες Β.



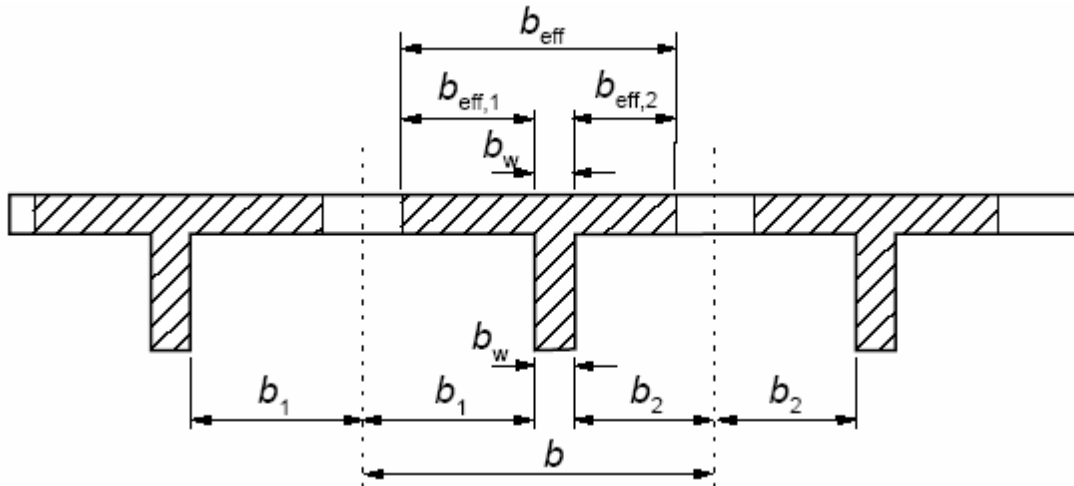
Σχήμα 4.1: Επιτρεπόμενη πλαστική στροφή, $\theta_{pl,d}$, διατομών ωπλισμένου σκυροδέματος για κατηγορίες οπλισμού Β και C (οι τιμές ισχύουν για λυγηρότητα $\lambda = 3,0$)

4.2 ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ

Η εκτίμηση του συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκών στον EC2 γίνεται με μικρές διαφορές σε σχέση με τον ΕΚΩΣ, που αφορούν στις αποστάσεις l_0 που θεωρούμε πως μηδενίζονται οι ροπές, οι οποίες συμμετέχουν στον προσδιορισμό του b_{eff} . Επίσης ο υπολογισμός του b_{eff} γίνεται μέσω σχέσης ενώ στον ΕΚΩΣ οι τιμές δίνονται μέσω πίνακα.



Σχήμα 4.2: Ορισμός του l_0 , για τον υπολογισμό του συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκού



Σχήμα 4.3: Παράμετροι συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκού

Το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} πλακοδοκού T ή ακραίας πλακοδοκού L μπορεί να λαμβάνεται ως:

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

όπου

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

και $b_{eff,i} \leq b_i$ (για συμβολισμούς βλ. Σχήματα 4.1 & 4.2)

❖ Στον ΕΚΩΣ η τιμή του b_{eff} προκύπτει από πίνακα (§8.4 του ΕΚΩΣ) συναρτήσεως των λόγων b_i/l_0 και h_f/h για παραβολικά και τριγωνικά διαγράμματα ροπών.

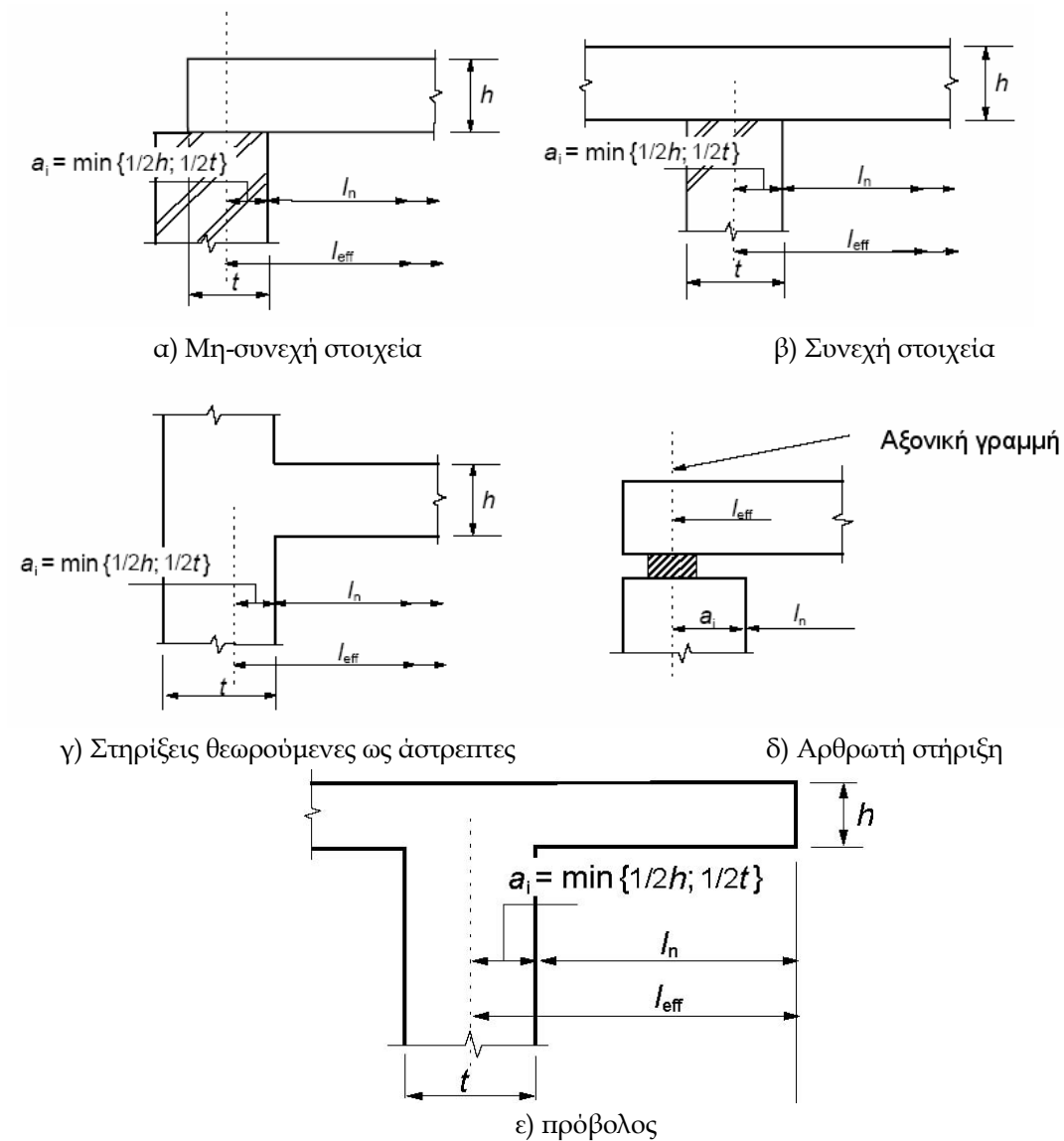
4.3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ

Το θεωρητικό άνοιγμα πλακών και δοκών κατά τον EC2 υπολογίζεται από τη σχέση:

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$$

όπου l_n είναι η καθαρή απόσταση ανάμεσα στις δύο παρειές των στηρίξεων.

❖ Οι τιμές a_1 και a_2 , κατά τον EC2, προσδιορίζονται, ανάλογα με τις συνθήκες στήριξης, με ορισμένες διαφορές σε σχέση με τον ΕΚΩΣ, σύμφωνα με το Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.4: Θεωρητικό άνοιγμα (l_{eff}) για διαφορετικές συνθήκες στήριξης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΟΡΘΗ ΕΝΤΑΣΗ

5.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ & ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

5.1.1 Παραδοχές

Στο Κεφ.6 του EC2 που αφορά στις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας (Ο.Κ.Α.), η §6.1 αναφέρεται στην κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη διατομών Ωπλισμένου Σκυροδέματος. Στον παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τη διαδικασία ελέγχου και **θα επισημάνουμε τις διαφορές που υπάρχουν με την αντίστοιχη διαδικασία στον ΕΚΩΣ** (βλ. και τα αντίστοιχα παραδείγματα του κεφ. 13).

Οι **βασικές παραδοχές** είναι οι εξής:

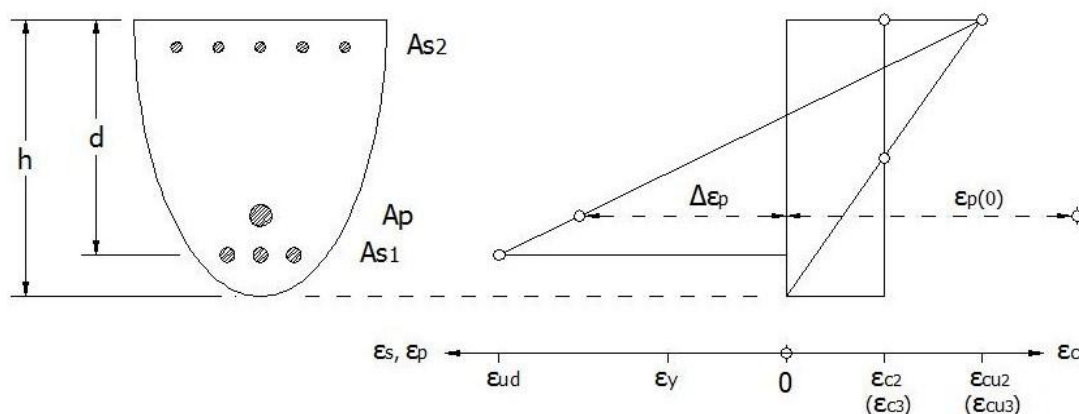
1. Οι διατομές παραμένουν επίπεδες, πριν και μετά τη φόρτιση (Bernoulli).
2. Η παραμόρφωση του οπλισμού με συνάφεια, είτε σε θλίψη είτε σε εφελκυσμό, είναι ίδια με αυτήν του περιβάλλοντος σκυροδέματος.
3. Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται.
4. Οι τάσεις του θλιβόμενου σκυροδέματος δίνονται από τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων που δίνονται στην §3.1.7 του EC2.

Όπως παρατηρούμε οι βασικές παραδοχές της κάμψης είναι ίδιες με αυτές του ΕΚΩΣ.

❖ Παρακάτω δίνονται **νέες διατάξεις και διαφορές σε σχέση με τον ΕΚΩΣ**:

1. Στην περίπτωση που η παραδοχή της επιπεδότητας των διατομών δεν είναι αποδεκτή, εφαρμόζονται μοντέλα θλιπτήρων-ελκυστήρων σύμφωνα με την §6.5 του EC2.
2. Όταν μια διατομή σκυροδέματος συμμετρικά ωπλισμένη υπόκειται σε θλίψη, τότε ο EC2 προβλέπει μια ελάχιστη ροπή σχεδιασμού $M_{ed} = N_{ed} \cdot e_0$, με εκκεντρότητα $e_0 = \max\{h / 30, 20\text{mm}\}$, όπου h το ύψος της διατομής.
3. Οι οριακές παραμορφώσεις αστοχίας είναι $\varepsilon_{cu} = -3,5\%$ για το σκυρόδεμα, όταν $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ (ακολουθώντας οποιοδήποτε από τα δύο διαγράμματα που δίνονται στην §3.1.7 του EC2 και στην §2.1.2.2 & §5.1.1.2 της παρούσας εργασίας), και $\varepsilon_{ud} = 0,9 \varepsilon_{uk}$ (τις τιμές του ε_{uk} λαμβάνουμε από τον πίνακα του παραρτήματος C του EC2 και εδώ Πίνακας 2.7).

Στο Σχήμα 5.1 δίνονται οι επιτρεπόμενες κατανομές παραμορφώσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας, κατά τον EC2:



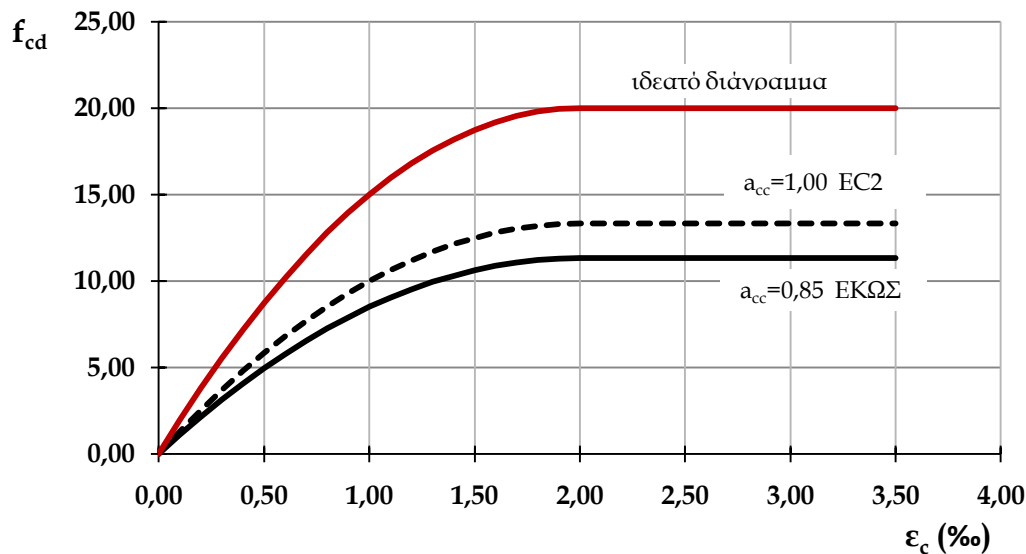
Σχήμα 5.1: Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας κατά EC2

5.1.2 Κύριες Διαφορές στον Υπολογισμό Διατομών με EC2/ΕΚΩΣ

Οι κύριες διαφορές, κατά τον υπολογισμό διατομών έναντι μεγεθών ορθής έντασης με τον EC2, αφορούν στις παραδοχές των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών, για τις οποίες έγινε λόγος και στο κεφ. 2 της παρούσας εργασίας. Τόσο για το χάλυβα όσο και για το σκυρόδεμα οι παραδοχές του EC2 είναι **λιγότερο συντηρητικές** από αυτές του ΕΚΩΣ. Με τις τροποποιήσεις αυτές του EC-2, που **διευρύνουν** τα περιθώρια αντοχής που μπορούμε να δεχτούμε κατά το σχεδιασμό, ο σχεδιασμός καθίσταται ελαφρώς οικονομικότερος, όπως θα φανεί και στα παραδείγματα του κεφ. 13.

5.1.2.1 Σκυρόδεμα

Στο σκυρόδεμα, ο EC2 επιτρέπει την αύξηση του συντελεστή α_{cc} , που λαμβάνει υπόψη τις μακροχρόνιες επιρροές στη θλιπτική αντοχή και την δυσμενή επιρροή του τρόπου φορτίσεως, κατά τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής. Ενώ στον ΕΚΩΣ η τιμή του εν λόγω συντελεστή είναι $\alpha_{cc}=0,85$, στον EC2 προτείνεται η τιμή $\alpha_{cc}=1,00$, πράγμα που οδηγεί στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Παρακάτω δίνονται τα ιδεατά διαγράμματα και τα διαγράμματα σχεδιασμού για το σκυρόδεμα σε θλίψη κατά τον EC2 και κατά τον ΕΚΩΣ. Στα παραδείγματα της παρούσας εργασίας θεωρούμε σκυρόδεμα ποιότητας C20/25, στο οποίο αντιστοιχούν και τα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 5.2: Παραβολικό-Ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για σκυρόδεμα (ιδεατό & σχεδιασμού)

Τα παραπάνω διαγράμματα είναι τα απλοποιημένα παραβολικά-ορθογωνικά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα σε θλίψη που χρησιμοποιούμε κατά το σχεδιασμό διατομών έναντι μεγεθών ορθής έντασης.

Έτσι έχουμε:

$$f_{cd}=1,00 f_{ck}/\gamma_c, \text{ στον EC-2}$$

$$f_{cd}=0,85 f_{ck}/\gamma_c, \text{ στον ΕΚΩΣ}$$

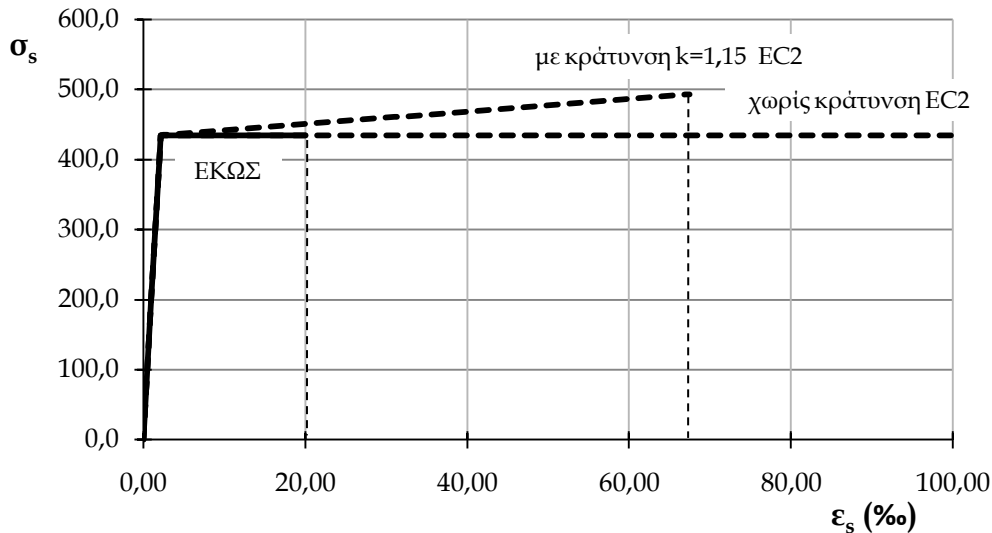
5.1.2.2 Χάλυβας

Για το χάλυβα οπλισμού, ο EC2 παρέχει (όπως αναφέραμε και στην §2.2.2 της παρούσας) **δύο εναλλακτικές δυνατότητες** κατά το σχεδιασμό:

- α) είτε ένα **διγραμμικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων με κεκλιμένο κλάδο μετά τη διαρροή** που λαμβάνει υπόψη την κράτυνση και έχει οριακή τάση kf_{yk}/γ_s για παραμόρφωση $\epsilon_{ud}=0,9\epsilon_{uk}$
- β) είτε ένα **διγραμμικό διάγραμμα με οριζόντιο μετελαστικό κλάδο**, δίχως όμως ανάγκη ορίου στην παραμόρφωση

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει υπολογισμός διατομών και με τους δύο τρόπους που προτείνει ο EC2, καθώς και με τον ΕΚΩΣ και θα γίνει σύγκριση μεταξύ τους. Για τα παραδείγματα της παρούσας εργασίας θα θεωρήσουμε ποιότητα χάλυβα B500C που είναι αυτός που κατά κανόνα χρησιμοποιείται στις συνήθεις κατασκευές. Παραθέτουμε

παρακάτω τα διαγράμματα σχεδιασμού σ - ϵ για χάλυβα B500C με και χωρίς κράτωση κατά τον EC2 καθώς και αυτό του ΕΚΩΣ. Για την κράτωση έχουμε θεωρήσει την ελάχιστη τιμή που προβλέπει το παράρτημα C του EC2, δηλαδή $k=1,15$, ενώ ως συμβατική παραμόρφωση αστοχίας έχει ληφθεί επίσης η ελάχιστη επιτρεπόμενη, δηλαδή $\epsilon_{uk}=75,0\%$, με $\epsilon_{ud}=0,9\epsilon_{uk}=67,5\%$.



Σχήμα 5.3: Απλοποιημένα διαγράμματα σχεδιασμού τάσεων-παραμορφώσεων για χάλυβα

Στην περίπτωση της παραδοχής του **κρατυνόμενου κλάδου**, όταν η παραμόρφωση του οπλισμού υπερβεί την παραμόρφωση διαρροή ϵ_{yd} , η τάση του χάλυβα συνεχίζει να αυξάνεται με μια κλίση που δίνεται από το συντελεστή:

$$k_s = \frac{kf_{yd} - f_{yd}}{\epsilon_{uk} - \epsilon_{yd}}$$

Έτσι η τάση του χάλυβα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_{sd} = f_{yd} + k_s \cdot (\epsilon_s - \epsilon_{yd})$$

Έτσι για χάλυβα ποιότητας B500C, προκύπτει:

$$k_s = \frac{kf_{yd} - f_{yd}}{\epsilon_{uk} - \epsilon_{yd}} = \frac{1,15 \cdot \frac{500}{1,15} - \frac{500}{1,15}}{75\% - \frac{500/1,15}{200}} = \frac{500 - 434,78}{75\% - 2,17\%} = 0,895$$

Με $k_s=0,895$ η μέγιστη τάση του χάλυβα, όταν αυτός έχει φτάσει στη συμβατική παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_{ud}=67,5\%$, θα είναι:

$$\sigma_{sd} = f_{yd} + k_s \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_{yd}) = \frac{500}{1,15} + 0,895 \cdot (67,5\% - 2,17\%) = 493,3 \text{ MPa}$$

Έτσι λαμβάνοντας υπόψη την κράτνωση είναι δυνατή η αύξηση της τάσης του χάλυβα σε $\sigma_{sd}=493,3 \text{ MPa}$. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούμε το ιδεατό διάγραμμα (και όχι το διάγραμμα σχεδιασμού με $\gamma_s = 1,15$) η τάση του χάλυβα στο συμβατικό όριο αστοχίας $\varepsilon_{uk}=75,0\%$ θα είναι $\sigma_{sd}=500,0 \text{ MPa}$.

Στην περίπτωση της παραδοχής **χωρίς κρατυνόμενο κλάδο**, η τάση του χάλυβα μετά τη διαρροή θα θεωρείται σταθερή και ίση με την τάση διαρροής δηλαδή $\sigma_{sd}=f_{yd}$ ή $\sigma_{sd}=434,8 \text{ MPa}$ για τον B500C, δίχως όμως κάποιο όριο στην επιτρεπόμενη παραμόρφωση.

Στον ΕΚΩΣ ο χάλυβας πέραν του ορίου διαρροής θεωρείται πως έχει σταθερή τάση f_{yd} με συμβατική παραμόρφωση αστοχίας $\varepsilon_{su}=20,0\%$.

Οι παραπάνω **διαφοροποιήσεις** που υπεισέρχονται στον υπολογισμό διατομών με τον EC2, οδηγούν σε **ελαφρώς οικονομικότερο** σχεδιασμό, όπως θα φανεί και στα παραδείγματα (κεφ.13). Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να εντοπίσουμε **τρεις κύριους λόγους** για τους οποίους συμβαίνει αυτό:

1. Η επιτρεπόμενη αύξηση της τάσης του χάλυβα αυξάνει τη δύναμη που (θεωρητικά) μπορεί να αναλάβει η ίδια ποσότητα οπλισμού, σε σχέση με τη θεώρηση του ΕΚΩΣ. Αναλυτικά, μετά τη διαρροή του χάλυβα, έχουμε:

$$F_s = \left[f_{yd} + k_s \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_{yd}) \right] \cdot A_s, \text{ στον EC2}$$

$$F_s = f_{yd} \cdot A_s, \text{ στον ΕΚΩΣ}$$

2. Η αύξηση της επιτρεπόμενης παραμόρφωσης του χάλυβα στον EC2, είτε στην περίπτωση του διαγράμματος που δεν τίθεται όριο σε αυτήν, είτε στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη η κράτνωση του χάλυβα και το συμβατικό όριο αστοχίας τίθεται στο $\varepsilon_{uk}=75,0\%$, οδηγεί σε **αύξηση (μικρή βέβαια) του μοχλοβραχίονα** των εσωτερικών δυνάμεων στη διατομή κι έτσι σε (μικρή βέβαια) **αύξηση της αναλαμβανόμενης ροπής με τον ίδιο οπλισμό** σε σχέση με τον ΕΚΩΣ. **Ωστόσο**, η εν λόγω διαφοροποίηση, όπως θα φανεί και στα παραδείγματα, δεν επιφέρει σημαντικές μεγάλες αλλαγές, εκτός ίσως από το γεγονός ότι το σκυρόδεμα είναι το υλικό που κατά κανόνα αστοχεί πλην των περιπτώσεων πάρα πολύ μικρών ροπών ως αποτέλεσμα της δυνατότητας του χάλυβα να παραμορφώνεται πολύ πέρα από το 20,0% του ΕΚΩΣ.
3. Η **αύξηση του συντελεστή α_{cc}** , που λαμβάνει υπόψη τις μακροχρόνιες επιρροές στη θλιπτική αντοχή, από το 0,85 στο 1,00 επιφέρει μια **αύξηση της θεωρούμενης δύναμης σκυροδέματος**, πράγμα που συμβάλλει επίσης στη **μείωση της απαιτούμενης θλιβόμενης ζώνης** του σκυροδέματος. Ως εκ τούτου οδηγούμαστε σε αύξηση του

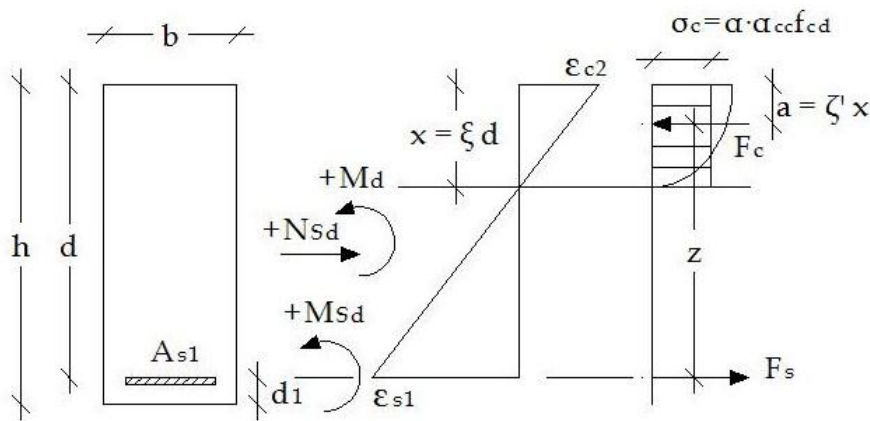
μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων και στην αύξηση της παραμόρφωσης του χάλυβα, που οδηγεί σε μείωση του απαιτούμενου οπλισμού (ιδίως όταν λαμβάνουμε υπόψη την κράτνωση και την αύξηση της τάσης του χάλυβα).

5.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

Στα επόμενα θα δείξουμε πως διαφοροποιούνται οι εξισώσεις υπολογισμού και τα αντίστοιχα διαγράμματα, καθώς και διάφορες κρίσιμες τιμές που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού διατομών. Ακόμη θα γίνει και σύγκριση τωναποτελεσμάτων με αυτά που λαμβάνουμε από την εφαρμογή του ΕΚΩΣ.

5.2.1 Προέχουσα Κάμψη

Παρακάτω διατυπώνουμε τις γνωστές εξισώσεις που διέπουν τις διατομές από ωπλισμένο σκυρόδεμα που υπόκεινται σε κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη, έτσι όπως αυτές τροποποιούνται με τις θεωρήσεις του EC2. Επιλύοντας αυτές τις εξισώσεις προκύπτουν τα διαγράμματα και οι αντίστοιχοι πίνακες για τη διαστασιολόγηση κατά τον EC2. Όπου απαιτούνται υπολογισμοί αυτοί θα γίνουν για σκυρόδεμα ποιότητας C20/25 και χάλυβα B500C. Θεωρούμε μια ορθογωνική διατομή πλάτους b και ύψους h , υποκείμενη σε ροπή κάμψεως M_d με αξονική δύναμη N_d .



Σχήμα 5.4: Διατομή υποκείμενη σε μέγεθη ορθής έντασης

- Από την επιπεδότητα:

$$x = \left(\frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{c2} + \varepsilon_{s1}} \right) \cdot d = \xi \cdot d$$

- Μέση θλιπτική τάση σκυροδέματος:

$$\sigma_m = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cd}$$

- Θέση θλίβουσας δύναμης:

$$a = \zeta' \cdot x = \zeta' \cdot \xi \cdot d$$

- Δύναμη σκυροδέματος:

$$F_{cd} = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x = \alpha \cdot 1,00 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \xi \cdot d$$

- Δύναμη χάλυβα:

$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd}$, όπου για $\epsilon_{s1} \geq \epsilon_{yd}$, και εφόσον λαμβάνεται υπόψη η **κράτωση** του χάλυβα, είναι $\sigma_{sd} = f_{yd} + k_s \cdot (\epsilon_{s1} - \epsilon_{yd})$.

- Μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων:

$$z = d - a = d - \zeta' \cdot \xi \cdot d = (1 - \zeta' \cdot \xi) \cdot d = \zeta \cdot d$$

Οι δύο εξισώσεις της κάμψης είναι:

α) η ισοδυναμία εσωτερικών & εξωτερικών δυνάμεων

$$F_{s1} - F_{cd} = N_d$$

β) η ροπή σχεδιασμού

$M_{Sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}$ που αναλαμβάνεται από τις αναπτυσσόμενες εσωτερικές δυνάμεις στη διατομή, δηλαδή :

$$M_{Sd} = F_{cd} \cdot z = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 \cdot \xi \cdot (1 - \zeta' \cdot \xi), \text{ οπότε :}$$

$$\mu_{Sd} = \frac{M_{Sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \alpha_{cc} \cdot \alpha \cdot \xi \cdot \zeta \quad (1)$$

Εκ των παραπάνω προκύπτει επίσης :

$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{sd1}} \cdot \left(\frac{M_{Sd}}{z} + N_d \right), \text{ που μας δίνει τον απαιτούμενο εφελκυσμένο οπλισμό.}$$

Η σχέση (1) για το μ_{sd} είναι συνάρτηση των παραμορφώσεων ϵ_c και ϵ_{s1} , έχουμε δηλαδή δύο αγνώστους. Προκειμένου να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού, πρέπει να επιλύσουμε την εξίσωση (1), άρα πρέπει να γνωρίζουμε τη μία από τις δύο άγνωστες παραμορφώσεις.

Χάλυβας με κράτωση

Στην περίπτωση της παραδοχής χάλυβα με κράτωση ο EC2 θεωρεί πως ο χάλυβας αστοχεί σε μια οριακή παραμόρφωση $\epsilon_{ud} = 0,9\epsilon_{yk}$ (με το ϵ_{yk} να έχει ελάχιστη τιμή 75‰ για χάλυβες κατηγορίας C). Γνωρίζουμε ότι για μικρές ροπές το υλικό που αστοχεί είναι ο χάλυβας, αφού μια μικρή δύναμη σκυροδέματος είναι ικανή να αναλάβει τη ροπή. Αντιθέτως για μεγαλύτερες ροπές αξιοποιείται πλήρως το σκυρόδεμα, αφού η δύναμη που

πρέπει να αναληφθεί είναι μεγαλύτερη, ο δε χάλυβας ούτως ή άλλως αφού διαρρέυσει, η τάση του αυξάνεται λόγω της κράτυνσης.

Πρέπει να υπολογίσουμε, λοιπόν, αυτήν την ανηγμένη ροπή για την οποία, σε μικρότερες ανηγμένες ροπές αστοχεί ο χάλυβας, ενώ για μεγαλύτερες αστοχεί το σκυρόδεμα. Αυτή η οριακή τιμή υπολογίζεται για $\epsilon_{c2} = -3,5\%$ και $\epsilon_{s1} = \epsilon_{ud}$, που στην περίπτωση του B500C είναι $\epsilon_{s1} = 67,5\%$, για τον EC-2.

$$\epsilon_{c2} = -3,50\%$$

$$\epsilon_{s1} = 67,50\%$$

$$x = \left(\frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1}} \right) \cdot d = 0,049 \cdot d$$

$$F_{cd} = 0,81 \cdot 1,00 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x = 0,0399 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned} M_{sd} &= F_{cd} \cdot z = 0,0399 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \cdot (d - 0,415 \cdot x) \\ &= 0,0399 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \cdot (d - 0,020 \cdot d) = 0,0391 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 \end{aligned}$$

Άρα, η **οριακή τιμή** της ανηγμένης ροπής που αναζητούμε είναι $\mu_{sd} = 0,0391$.

Οπότε για:

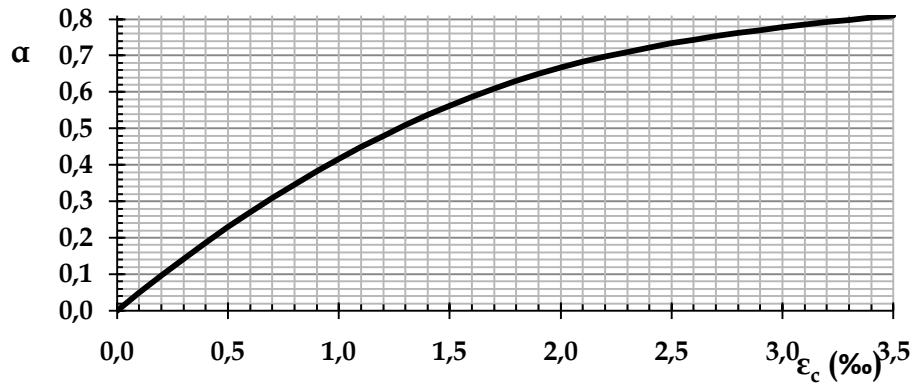
$\mu_{sd} < 0,0391$ έχουμε $\epsilon_{s1} = 67,5\%$ και $\epsilon_{c2} < -3,5\%$ (αστοχία χάλυβα)

$\mu_{sd} > 0,0391$ έχουμε $\epsilon_{c2} = -3,5\%$ και $\epsilon_{s1} < 67,5\%$ (αστοχία σκυροδέματος)

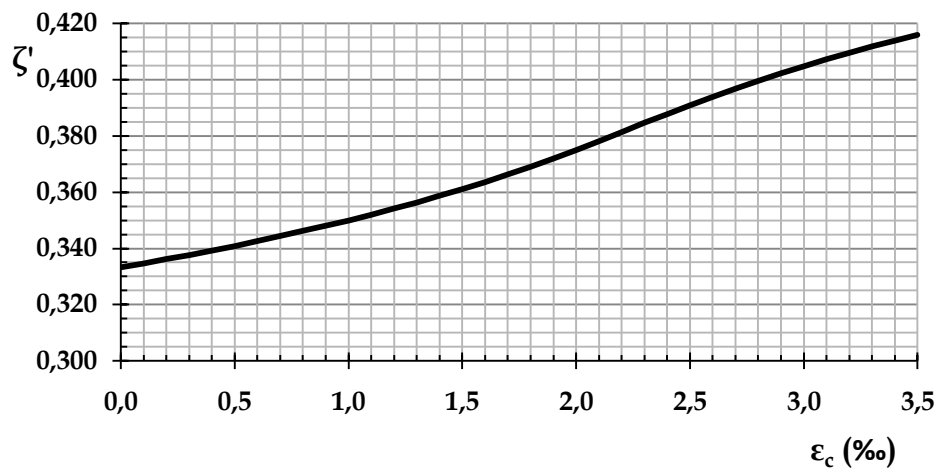
❖ Συγκριση EC2/ΕΚΩΣ:

Η αντίστοιχη τιμή για τον ΕΚΩΣ, όπου λαμβάνουμε $\alpha_{cc} = 0,85$ και $\epsilon_{s1} = 20,0\%$, είναι $\mu_{sd} = 0,0963 > 0,0391$, που είναι εμφανώς **αυξημένη**, προϊόν των μικρότερων δυνατοτήτων της διατομής στις θεωρήσεις του εν λόγω κανονισμού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα επιλύσουμε την εξίσωση (1) για δύο περιπτώσεις. Πρώτα για τιμές ανηγμένης ροπής $\mu_{sd} < 0,0391$, όπου θα έχουμε για άγνωστο το ϵ_c , αφού πρώτα εκφράσουμε το συντελεστή πληρώσεως α , το συντελεστή κ.β. του στερεού των θλιπτικών τάσεων σκυροδέματος ζ' και το ανηγμένο βάθος της θλιβόμενης ζώνης ξ συναρτήσει του ϵ_c . Παραθέτουμε τα διαγράμματα που μας δίνουν τη σχέση $\alpha - \epsilon_c$ και $\zeta' - \epsilon_c$.



Σχήμα 5.5: Συντελεστής πληρώσεως $\alpha = \sigma_m / f_{cd}$



Σχήμα 5.6: Συντελεστής κέντρου βάρους $\zeta' = a/x$

***Σημείωση:**

Τα Σχήματα 5.5 & 5.6 έχουν προκύψει από τις παρακάτω εξισώσεις:

1. Συντελεστής πλήρωσης α :

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{12} \epsilon_{c2} (6 - \epsilon_{c2}) & \text{για } \epsilon_{c2} \leq 2,0\% \\ \frac{3\epsilon_{c2} - 2}{3\epsilon_{c2}} & \text{για } \epsilon_{c2} \geq 2,0\% \end{cases}$$

2. Συντελεστής κ. β. ζ' :

$$\zeta' = \begin{cases} \frac{8 - \epsilon_{c2}}{4(6 - \epsilon_{c2})} & \text{για } \epsilon_{c2} \leq 2,0\% \\ \frac{\epsilon_{c2} (3\epsilon_{c2} - 4) + 2}{2\epsilon_{c2} (3\epsilon_{c2} - 2)} & \text{για } \epsilon_{c2} \geq 2,0\% \end{cases}$$

Θα επιλύσουμε εν συνεχεία την εξίσωση (1) για τιμές ανηγμένης ροπής $\mu_{sd} > 0,0391$, αυτή τη φορά υποθέτοντας αστοχία σκυροδέματος και έχοντας μόνο άγνωστο το ε_s .

Από την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης θα προκύψει η απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού για την ανάληψη της δρώσας ροπής, δηλαδή :

$$M_{Sd} = A_s \cdot \sigma_{sd} \cdot z \quad \text{ή}$$

$$\frac{A_s \cdot \sigma_{sd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{z}{d}\right)} \quad \text{ή}$$

$$\frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{z}{d}\right)} \cdot \left(\frac{f_{yd}}{\sigma_{sd}}\right) \quad \text{ή}$$

$$\omega = \mu_{sd} \cdot \frac{1}{\left(\frac{z}{d}\right)} \cdot \left(\frac{f_{yd}}{\sigma_{sd}}\right)$$

όπου ω είναι το μηχανικό ποσοστό οπλισμού :

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

Η συνολική απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού, όταν υπάρχει και αξονική δύναμη, δίνεται από τη σχέση :

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Sd}}{\sigma_{sd}}$$

Οι επιλύσεις της εξίσωσης (1), η οποία μας δίνει τον απαιτούμενο οπλισμό για τη διαστασιολογήση διατομών από ωπλισμένο σκυρόδεμα με τον EC2, συγκεντρώνονται στο επόμενο γενικό διάγραμμα υπολογισμού, που τρόπον τινά **αποτελεί το αντίστοιχο του γενικού διαγράμματος CEB που χρησιμοποιούσαμε στον ΕΚΩΣ**. Επίσης υπολογίζεται εκτός από το απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω , και τα άλλα μεγέθη που έχουν ενδιαφέρον, δηλαδή το ανηγμένο βάθος της θλιβόμενης ζώνης ξ , η ανηγμένη τιμή του μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων ζ , οι παραμορφώσεις χάλυβα και σκυροδέματος, καθώς και η τάση του χάλυβα. Τα μεγέθη αυτά θα τα συγκρίνουμε στη συνέχεια με τα αντίστοιχα του ΕΚΩΣ, προσπαθώντας να αναδείξουμε τις διαφορές μεταξύ EC2 και ΕΚΩΣ. Δίνονται επίσης τα αποτελέσματα και σε μορφή πίνακα.

Σημείωση: Εναλλακτικά θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε τα εξής:

$$\omega = \frac{A_s \cdot \sigma_{sd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

οπότε θα προέκυπτε

$$\omega = \mu_{sd} \cdot \frac{1}{(z/d)}$$

και

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{\sigma_{sd}} + \frac{N_{sd}}{\sigma_{sd}}$$

Παρατηρούμε πως στην τελευταία εξίσωση στο δεύτερο μέλος ο πρώτος όρος διαιρείται με σ_{sd} , ενώ παραπάνω στην αντίστοιχη περίπτωση με f_{yd} , καθώς η προσαύξηση της τάσης έχει ήδη ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό του ω . Ο λόγος που επιλέγεται η πρώτη θεώρηση είναι γιατί έτσι καθίσταται εφικτή η ευθεία σχέση του απαιτούμενου οπλισμού A_s με το ω , ούτως ώστε κατά τη σύγκριση μεταξύ EC2/ΕΚΩΣ να είναι εμφανής η θετική επιρροή της αύξησης της τάσης του χάλυβα. Αντιθέτως, αν ακολουθούσαμε τη δεύτερη θεώρηση δεν θα υπεισέρχεται η επιρροή της κράτνωσης στον υπολογισμό του ω , κι έτσι στο συγκριτικό διάγραμμα EC2/ΕΚΩΣ (βλ. παρακάτω) η διαφορά θα ήταν αποτέλεσμα **μόνο** της διαφοράς του α_{cc} (1,00 στον EC2 και 0,85 στον ΕΚΩΣ).

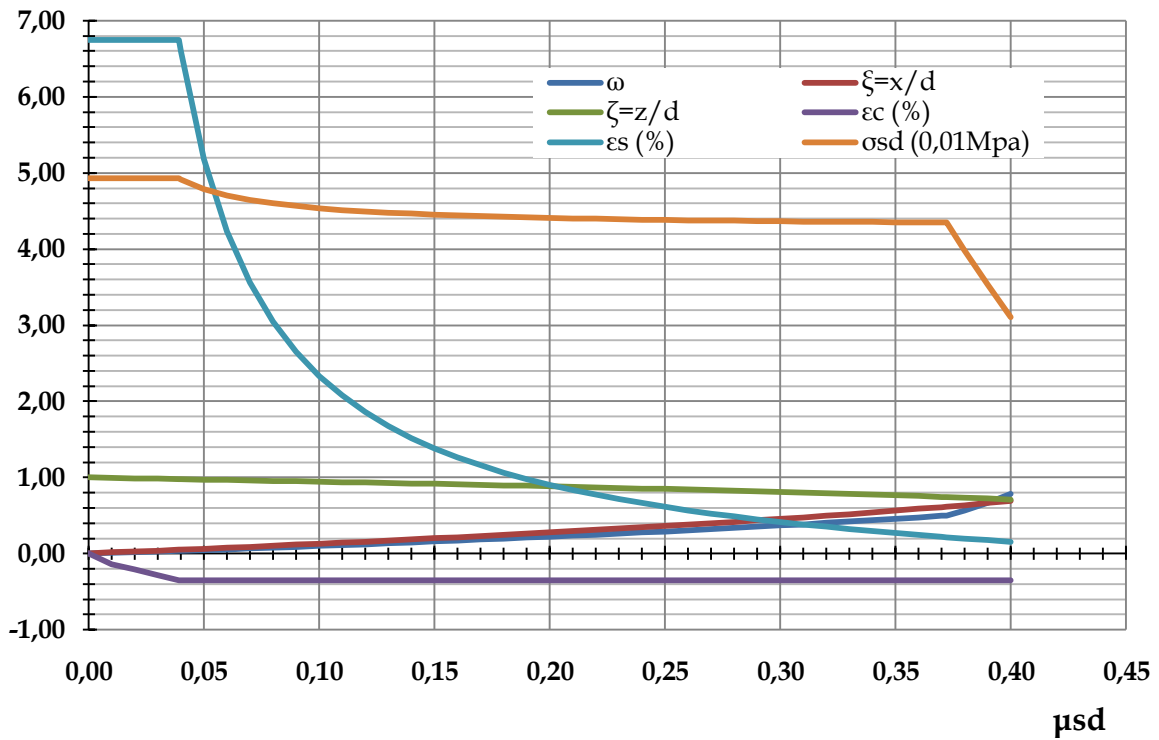
Χάλυβας χωρίς κράτνωση

Στην περίπτωση της παραδοχής χάλυβα χωρίς κράτνωση ο EC2 θεωρεί πως δεν υπάρχει όριο στην παραμόρφωση του χάλυβα. Έτσι το **ύλικο που αστοχεί για οποιαδήποτε ροπή** κατά τη θεώρηση αυτή είναι το σκυρόδεμα, πράγμα που σημαίνει πως είναι γνωστή η παραμόρφωση του σκυροδέματος. Έτσι η εξίσωση (1) (βλ. παραπάνω) επιλύεται για διάφορες τιμές ανηγμένης ροπής μ_{sd} υποθέτοντας αστοχία σκυροδέματος και αναζητώντας την παραμόρφωση του οπλισμού που είναι ο μόνος άγνωστος. Οι εξισώσεις είναι ίδιες με την περίπτωση με κράτνωση, αλλά τώρα δεν υπάρχει αύξηση της τάσης του οπλισμού, δηλαδή $\sigma_{sd} = f_{yd}$. Οπότε:

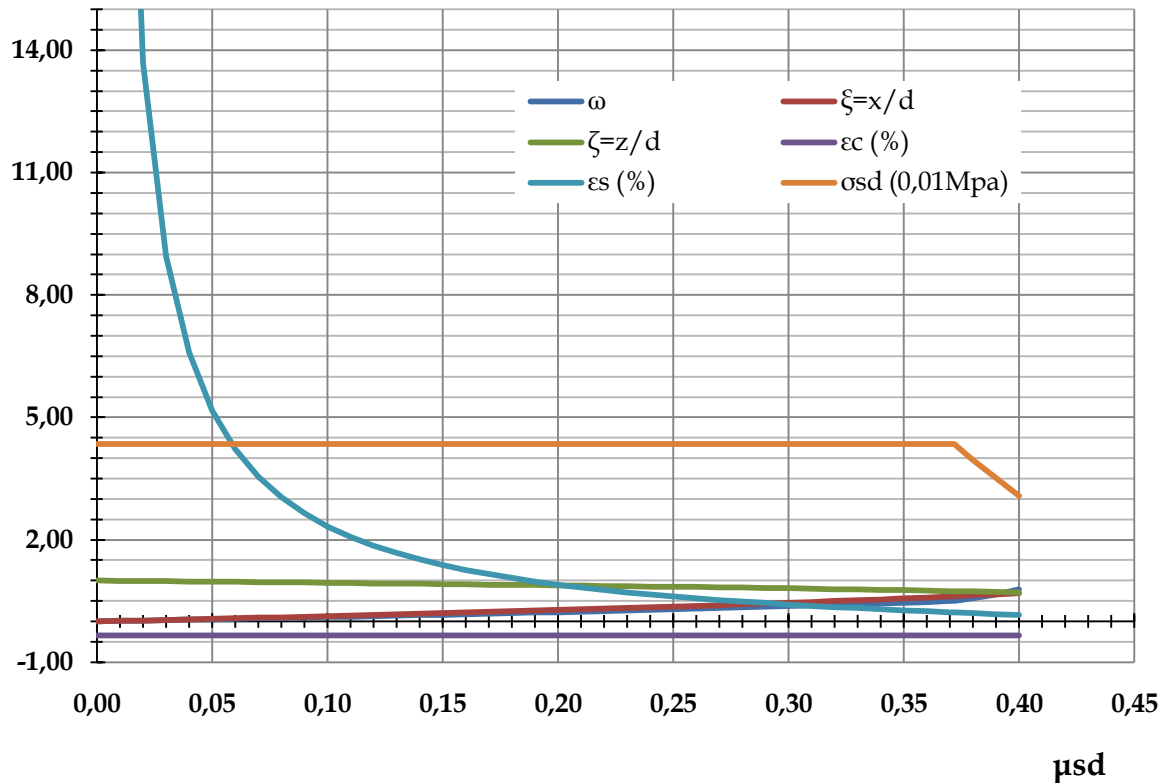
$$\omega = \mu_{sd} \cdot \frac{1}{(z/d)}$$

και

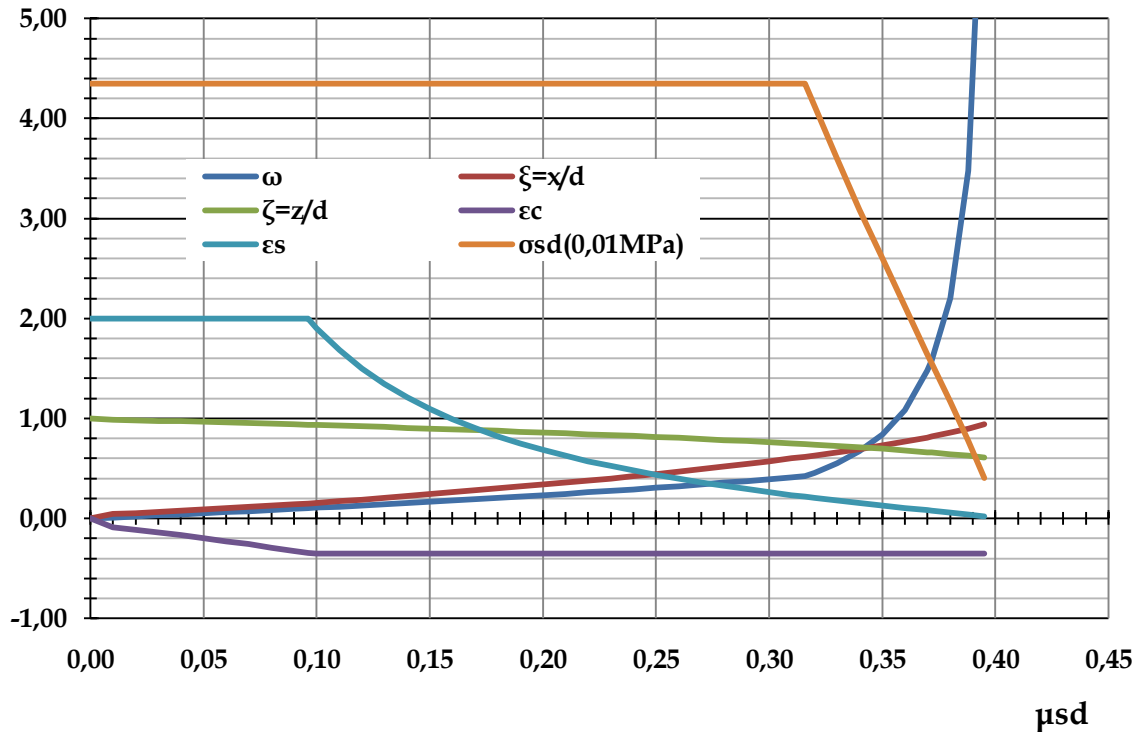
$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$



Σχήμα 5.7: Γενικό Διάγραμμα Υπολογισμού κατά EC2 για οπλισμό με Κράτωση



Σχήμα 5.8: Γενικό Διάγραμμα Υπολογισμού κατά EC2 για οπλισμό χωρίς Κράτωση



Σχήμα 5.9: Γενικό Διάγραμμα Υπολογισμού κατά ΕΚΩΣ

Πίνακας 5.1: Γενικός Πίνακας Υπολογισμού κατά EC2 για οπλισμό με Κράτυση

ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΟΝ EC2 (ΜΕ ΚΡΑΤΥΝΣΗ)						
μ_{sd}	ω	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_{sd} (MPa) B500C
0,01	0,0089	0,020	0,993	1,36	67,50	493,1
0,02	0,0178	0,030	0,989	2,07	67,50	493,1
0,03	0,0269	0,040	0,984	2,81	67,50	493,1
0,04	0,0361	0,050	0,979	3,50	66,01	491,7
0,05	0,0466	0,063	0,974	3,50	51,80	479,1
0,06	0,0573	0,076	0,968	3,50	42,33	470,6
0,07	0,0680	0,090	0,963	3,50	35,56	464,6
0,08	0,0790	0,103	0,957	3,50	30,48	460,0
0,09	0,0901	0,117	0,952	3,50	26,52	456,5
0,10	0,1013	0,130	0,946	3,50	23,36	453,7
0,11	0,1127	0,144	0,940	3,50	20,77	451,4
0,12	0,1243	0,158	0,934	3,50	18,61	449,4

0,13	0,1360	0,173	0,928	3,50	16,78	447,8
0,14	0,1479	0,187	0,922	3,50	15,20	446,4
0,15	0,1599	0,202	0,916	3,50	13,84	445,2
0,16	0,1722	0,217	0,910	3,50	12,65	444,1
0,17	0,1846	0,232	0,904	3,50	11,59	443,2
0,18	0,1972	0,247	0,897	3,50	10,65	442,3
0,19	0,2100	0,263	0,891	3,50	9,81	441,6
0,20	0,2231	0,279	0,884	3,50	9,05	440,9
0,21	0,2364	0,295	0,877	3,50	8,36	440,3
0,22	0,2499	0,312	0,870	3,50	7,73	439,7
0,23	0,2637	0,328	0,863	3,50	7,16	439,2
0,24	0,2777	0,345	0,856	3,50	6,63	438,8
0,25	0,2921	0,363	0,849	3,50	6,14	438,3
0,26	0,3067	0,381	0,842	3,50	5,69	437,9
0,27	0,3217	0,399	0,834	3,50	5,27	437,5
0,28	0,3370	0,418	0,826	3,50	4,88	437,2
0,29	0,3527	0,437	0,818	3,50	4,51	436,9
0,30	0,3688	0,457	0,810	3,50	4,17	436,6
0,31	0,3854	0,477	0,802	3,50	3,84	436,3
0,32	0,4024	0,497	0,793	3,50	3,54	436,0
0,33	0,4199	0,519	0,784	3,50	3,25	435,7
0,34	0,4380	0,541	0,775	3,50	2,97	435,5
0,35	0,4567	0,564	0,766	3,50	2,71	435,3
0,36	0,4761	0,587	0,756	3,50	2,46	435,0
0,37	0,4963	0,612	0,745	3,50	2,22	434,8
0,38	0,5653	0,638	0,735	3,50	1,99	397,8
0,39	0,6634	0,665	0,724	3,50	1,77	353,3
0,40	0,7878	0,693	0,712	3,50	1,55	310,2

Πίνακας 5.2: : Γενικός Πίνακας Υπολογισμού κατά EC2 για οπλισμό χωρίς Κράτυνση

ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΟΝ EC2 (ΧΩΡΙΣ ΚΡΑΤΥΝΣΗ)						
μ_{sd}	ω	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_{sd} (MPa) B500C
0,01	0,0101	0,012	0,995	3,50	278,54	434,8
0,02	0,0202	0,025	0,990	3,50	136,78	434,8
0,03	0,0305	0,038	0,984	3,50	89,52	434,8
0,04	0,0409	0,050	0,979	3,50	65,89	434,8
0,05	0,0514	0,063	0,974	3,50	51,70	434,8
0,06	0,0620	0,077	0,968	3,50	42,25	434,8
0,07	0,0727	0,090	0,963	3,50	35,49	434,8
0,08	0,0836	0,103	0,957	3,50	30,42	434,8
0,09	0,0946	0,117	0,951	3,50	26,47	434,8
0,10	0,1057	0,131	0,946	3,50	23,31	434,8
0,11	0,1170	0,144	0,940	3,50	20,72	434,8
0,12	0,1285	0,159	0,934	3,50	18,57	434,8
0,13	0,1401	0,173	0,928	3,50	16,74	434,8
0,14	0,1518	0,187	0,922	3,50	15,17	434,8
0,15	0,1638	0,202	0,916	3,50	13,81	434,8
0,16	0,1759	0,217	0,910	3,50	12,62	434,8
0,17	0,1882	0,232	0,903	3,50	11,56	434,8
0,18	0,2007	0,248	0,897	3,50	10,63	434,8
0,19	0,2134	0,263	0,890	3,50	9,79	434,8
0,20	0,2263	0,279	0,884	3,50	9,03	434,8
0,21	0,2394	0,296	0,877	3,50	8,34	434,8
0,22	0,2528	0,312	0,870	3,50	7,71	434,8
0,23	0,2665	0,329	0,863	3,50	7,14	434,8
0,24	0,2804	0,346	0,856	3,50	6,61	434,8
0,25	0,2946	0,364	0,849	3,50	6,12	434,8
0,26	0,3091	0,382	0,841	3,50	5,67	434,8
0,27	0,3239	0,400	0,834	3,50	5,25	434,8
0,28	0,3390	0,419	0,826	3,50	4,86	434,8
0,29	0,3546	0,438	0,818	3,50	4,50	434,8
0,30	0,3705	0,457	0,810	3,50	4,15	434,8

0,31	0,3869	0,478	0,801	3,50	3,83	434,8
0,32	0,4037	0,498	0,793	3,50	3,52	434,8
0,33	0,4210	0,520	0,784	3,50	3,23	434,8
0,34	0,4390	0,542	0,775	3,50	2,96	434,8
0,35	0,4575	0,565	0,765	3,50	2,70	434,8
0,36	0,4767	0,589	0,755	3,50	2,45	434,8
0,37	0,4967	0,613	0,745	3,50	2,21	434,8
0,38	0,5653	0,638	0,735	3,50	1,99	397,8
0,39	0,6634	0,665	0,724	3,50	1,77	353,3
0,40	0,7878	0,693	0,712	3,50	1,55	310,2

5.2.1.1 Οικονομικότητα

Όπως παρατηρούμε στον άνωθι πίνακα, όταν η ροπή σχεδιασμού υπερβαίνει μια οριακή τιμή, τότε προκειμένου η διατομή να παραλάβει τη ροπή αυτή μόνο με εφελκόμενο οπλισμό, απαιτείται μεγαλύτερη θλιβόμενη ζώνη και γι' αυτό οδηγούμαστε σε μια λύση που απαιτεί περισσότερο οπλισμό, ο οποίος όμως βρίσκεται κάτω από το όριο διαρροής. Σε αυτήν την περίπτωση καθίσταται οικονομικότερη λύση η χρήση **και θλιβόμενου** οπλισμού, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη αξιοποίηση των ιδιοτήτων των υλικών.

❖ Διαφορές με ΕΚΩΣ

Οι αλλαγές που επιφέρει ο EC2 (με & χωρίς κράτυνση του χάλυβα) στις παραδοχές των υλικών, με τις οποίες **επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση** αυτών, **αυξάνει την οριακή τιμή M_{lim}** , σε σχέση με τον ΕΚΩΣ, για την οποία μεγαλύτερες ανηγμένες ροπές απαιτούν και θλιβόμενο οπλισμό για λόγους οικονομίας της διατομής.

Όταν η ροπή σχεδιασμού $M_{Sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}$ ξεπερνά την οριακή ροπή M_{lim} ($M_{Sd} > M_{lim}$), τότε υπολογίζεται θλιβόμενος οπλισμός (A_{s2}) και πρόσθετος εφελκόμενος οπλισμός (ΔA_{s1}) που αναλαμβάνουν τη ροπή $\Delta M_{Sd} = M_{Sd} - M_{lim}$. Η οριακή τιμή της M_{lim} για ορθογωνικές διατομές δίνεται από τη σχέση:

$M_{lim} = \mu_{lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$, όπου το μ_{lim} εφόσον είμαστε σε αστοχία σκυροδέματος:

$$\mu_{lim} = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot \xi_{lim} \cdot \zeta = 0,81 \cdot 1,00 \cdot \xi_{lim} \cdot (1 - 0,416 \cdot \xi_{lim})$$

Χρήση θλιβόμενου οπλισμού κάνουμε είτε όταν η παραμόρφωση του εφελκόμενου οπλισμού βρεθεί κάτω από τη διαρροή είτε όταν η χρήση διπλού οπλισμού, ο οποίος θα έχει όλος διαρρέψει, οδηγεί σε χρήση λιγότερου οπλισμού συνολικά.

Για την πρώτη περίπτωση ισχύει:

$$\xi_{lim} = \frac{x_{lim}}{d} = \left(\frac{0,0035}{0,0035 + \varepsilon_{yd}} \right)$$

Στην περίπτωση του χάλυβα B500C προκύπτει :

$$\xi_{lim} = 0,617 \quad \text{ή} \quad x_{lim} = 0,617 \cdot d$$

και με αντικατάσταση στην ανωτέρω σχέση λαμβάνουμε $\mu_{lim} = 0,372$ για τον EC2, ενώ στον ΕΚΩΣ η αντίστοιχη τιμή είναι $\mu_{lim} = 0,316$. Εξού και η πτώση της τάσης του χάλυβα κάτω από το όριο διαρροής για $\mu_{sd} > 0,372$ στον πίνακα που παραθέσαμε παραπάνω για τον υπολογισμό του οπλισμού με τον EC-2.

Στην περίπτωση της υπέρβασης της μ_{lim} , υπολογίζουμε, αφού γνωρίζουμε τη M_{lim} τον εφελκόμενο οπλισμό και τη δύναμη του σκυροδέματος που αναλαμβάνουν μόνο αυτή τη ροπή. Η δύναμη σκυροδέματος υπολογίζεται αφού είναι γνωστό το βάθος της θλιβόμενης ζώνης x_{lim} , η οποία είναι ίση με τη δύναμη που αναλαμβάνει ο εφελκόμενος οπλισμός A_{s1} με τάση ίση με την τάση διαρροής, αφού εξ' αρχής έχει γίνει αυτή η υπόθεση. Το υπόλοιπο μέρος της ροπής αναλαμβάνεται από πρόσθετο άνω και κάτω οπλισμό, που κατά προσέγγιση θεωρούμε πως είναι στη διαρροή (δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά ακόμα και αν λάβουμε υπόψη την κράτυνση αφού η παραμόρφωση του θλιβόμενου οπλισμού είναι πολύ κοντά στο όριο διαρροής) και που δίνεται από τη σχέση :

$$\Delta M = \Delta F_s \cdot (d - d_2) = \Delta A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - d_2) \quad \text{ή}$$

$$\Delta A_s = \frac{\Delta M}{f_{yd} \cdot (d - d_2)}$$

Θα μπορούσαμε βέβαια να λάβουμε υπόψη και την αύξηση της τάσης του χάλυβα λόγω της κράτυνσης υπολογίζοντας διαφορετική ποσότητα πρόσθετου οπλισμού άνω και κάτω, ούτως ώστε αυτοί να δίνουν την ίδια δύναμη. Η παρακάτω εφαρμογή είναι ενδεικτική.

Ενδεικτική Εφαρμογή

Έστω μια ορθογωνική δοκός με $b = 0,25$ m, $h = 0,55$ m και $d_1 = 0,05$ m.

$$M_{sd} = 350,00 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,420 > 0,372 = \mu_{lim}$$

$$M_{lim} = \mu_{lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 310,00 \text{ kNm}$$

$$\text{Με } x_{lim} = 0,617 \cdot d \text{ προκύπτει } F_{cd} = 833,50 \text{ kN}$$

$$\text{Άρα, } A_{s1} = \frac{833,50 \text{ kN}}{434,8 \text{ MPa}} = 19,17 \text{ cm}^2.$$

Από την επιπεδότητα της διατομής προκύπτει:

$$\varepsilon_{s2} = -2,93\text{‰} \text{ και οπότε } \sigma_{sd} = 434,8 + 0,895 \cdot (2,93 - 2,17) = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\Delta M = M_{sd} - M_{lim} = 350,0 - 310,0 = 40,0 \text{ kNm}$$

Έτσι έχουμε **άνω θλιβόμενο** οπλισμό :

$$A_{s2} = \frac{40,0 \text{ kNm}}{435,5 \text{ MPa} \cdot (0,50 \text{ m} - 0,05 \text{ m})} = 2,04 \text{ cm}^2$$

Και **κάτω εφελκόμενο** οπλισμό :

$$\Delta A_{s1} = \frac{40,0 \text{ kNm}}{434,8 \text{ MPa} \cdot (0,50 \text{ m} - 0,05 \text{ m})} = 2,05 \text{ cm}^2$$

Όντως είναι **αμελητέα η διαφορά**. Πρακτικά, λοιπόν, μπορούμε να θεωρούμε και για τους δύο οπλισμούς πως βρίσκονται στη διαρροή, και να **αγνοούμε την κράτνυση**, για να γλυτώσουμε τους πολλούς υπολογισμούς.

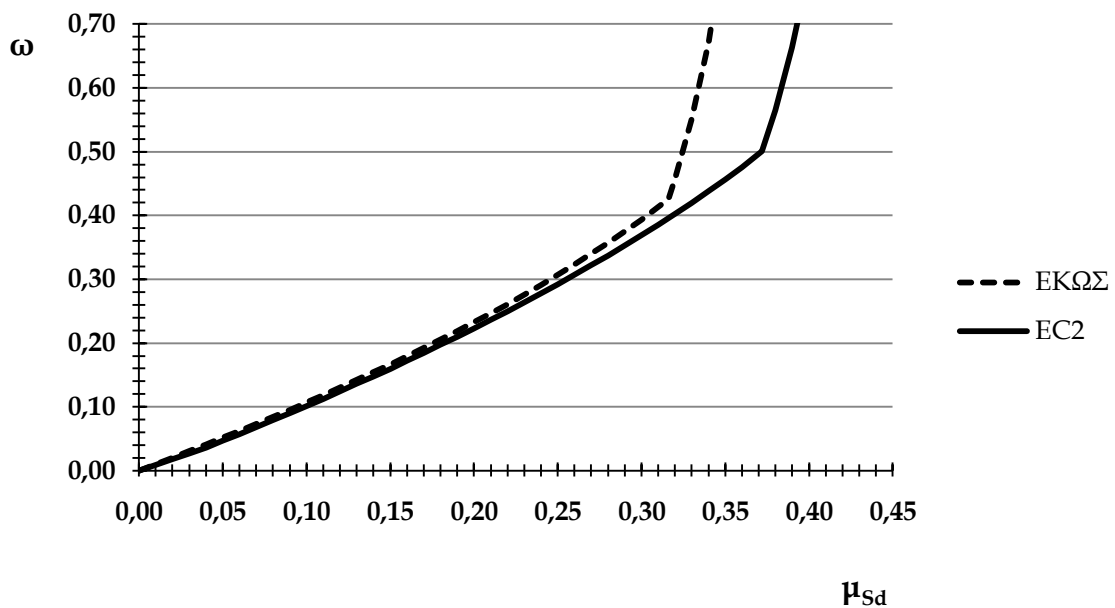
5.2.1.2 Σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ

Στα προηγούμενα διαγράμματα δείξαμε συγκεντρωτικά πως μεταβάλλονται όλα τα μεγέθη που αφορούν τις καμπτόμενες διατομές από ωπλισμένο σκυρόδεμα σε συνάρτηση με την ανηγμένη ροπή μ_{sd} . Παρακάτω θα τα παρουσιάσουμε σε ξεχωριστά διαγράμματα μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα του ΕΚΩΣ, για να φανούν οι διαφορές με τον EC2.

Σύγκριση ΕΚΩΣ/EC2 με κράτνυση

1. Στο Σχήμα 5.10 φαίνεται η **μικρότερη απαίτηση σε οπλισμό για τη διαστασιολόγηση με τον EC2, ιδίως για μεγάλες ροπές**, κάτι που οδηγεί σε οικονομικότερες διατομές. Το αποτέλεσμα αυτό, όπως σημειώθηκε επανειλημμένα, είναι προϊόν των **μεγαλύτερων επιτρεπόμενων τάσεων που παρέχει ο EC2 και για το σκυρόδεμα και**

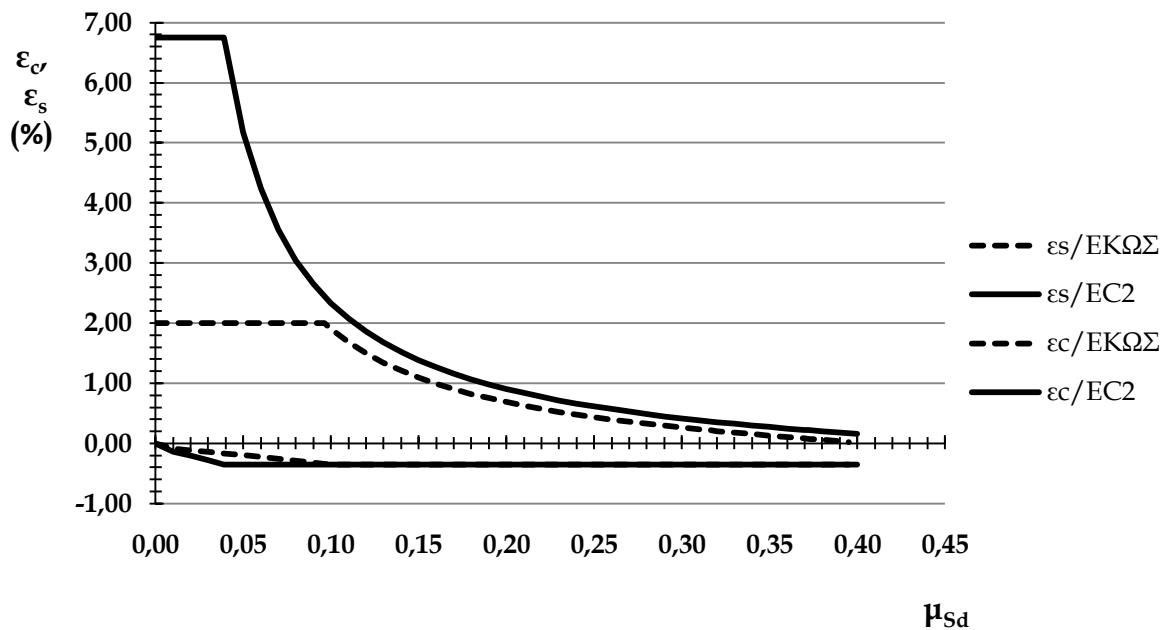
για το χάλυβα. Παρατηρούμε, ωστόσο, πως δεν υπάρχει ιδιαίτερη διαφοροποίηση στις μικρές ροπές, παρόλο που εκεί έχουμε και τη μεγαλύτερη αξιοποίηση του χάλυβα λόγω των μεγάλων παραμορφώσεων του κάτω πέλματος. Βέβαια (όπως φαίνεται και στα παραδείγματα του κεφ. 13) σε απόλυτους αριθμούς είναι μεγαλύτερη η διαφορά στις μεγάλες ροπές γιατί ως ποσοστό είναι παρόμοια. Στις μεγάλες ροπές τα αποτελέσματα **οφείλονται** στην αλλαγή του συντελεστή α_{cc} , μιας και στις μεγάλες ροπές υπάρχει ανάγκη μεγαλύτερης θλιπτικής δύναμης. Η απότομη αύξηση μετά την τιμή μ_{lim} οφείλεται στην θεώρηση που ακολουθούμε εδώ λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση της τάσης κατά τον υπολογισμό του ω (βλ. παραπάνω).



Σχήμα 5.10: Απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω

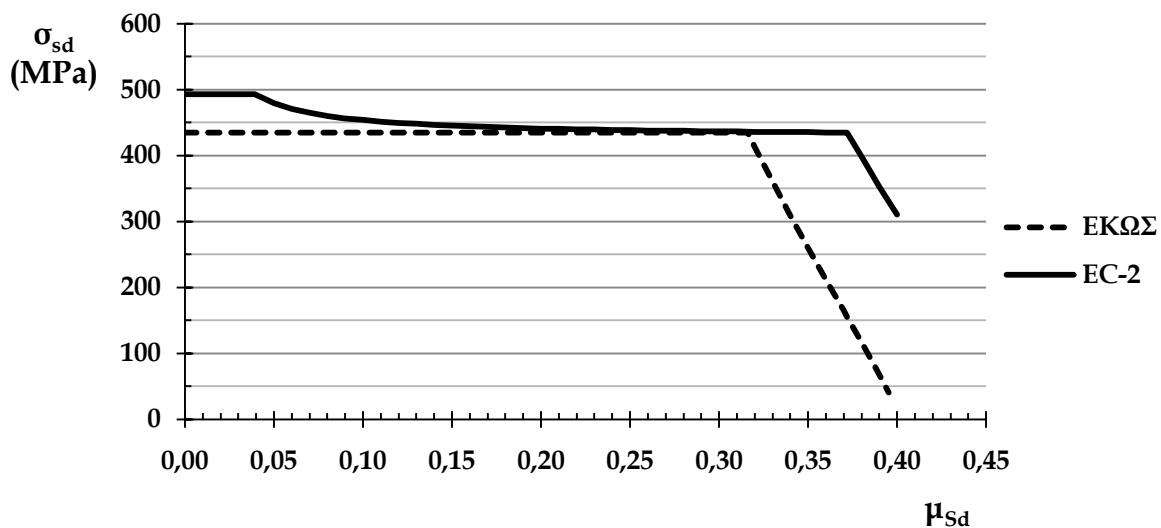
Σχόλιο: Η αξιοποίηση της κράτωσης του χάλυβα γίνεται για περιπτώσεις μεγάλων παραμορφώσεων του εφελκόμενου οπλισμού, κάτι όμως που μπορεί να συμβαίνει μόνο στις γενικά μικρές ροπές, όπου δεν απαιτείται μεγάλη θλιβόμενη ζώνη. Όπως φάνηκε δηλαδή και από τη σύγκριση των αντίστοιχων διαγραμμάτων τάσεων του χάλυβα με τους δύο κανονισμούς, η κράτωση αποφέρει οικονομικότερη διαστασιολόγηση κυρίως για μικρές δράσεις που όμως de facto οι απαιτούμενοι οπλισμοί είναι μικροί.

2. Στο Σχήμα 5.11 παρατηρούμε πως μόνο για πολύ μικρές ροπές κάτω από $\mu_{sd} = 0,04$, έχουμε αστοχία του χάλυβα, εν αντιθέσει με τον ΕΚΩΣ που η τιμή αυτή είναι περίπου $\mu_{sd} = 0,10$. Βέβαια μετά τη $\mu_{sd} = 0,10$ παρατηρούμε πως δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές, αν και σταθερά στον EC2 οι παραμορφώσεις είναι μεγαλύτερες, για τους λόγους που έχουμε αναφέρει ως τώρα. Σημειώνουμε επίσης **το πολύ μεγαλύτερο περιθώριο παραμορφώσεων που προσφέρει στο χάλυβα ο EC2**. Σε αντιστοιχία με τα παραπάνω είναι και το διάγραμμα της ϵ_c στο Σχήμα που φτάνει στην τιμή αστοχίας 3,5‰ σε μικρότερη ροπή από τον ΕΚΩΣ.



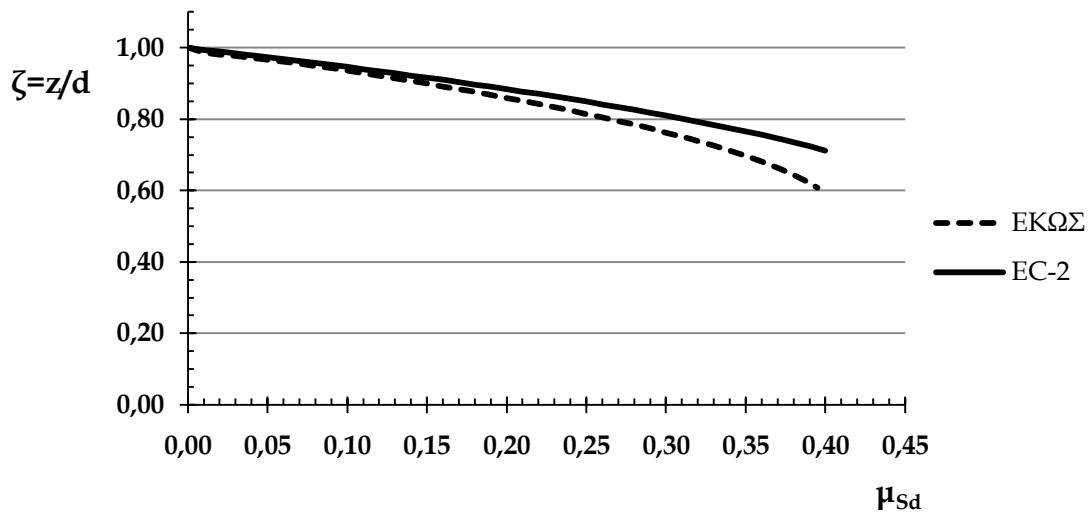
Σχήμα 5.11: Παραμορφώσεις σκυροδέματος ϵ_c & χάλυβα ϵ_s

3. Στο Σχήμα 5.12 φαίνονται οι εν γένει μεγαλύτερες τάσεις του χάλυβα με τον EC2 για το μεγαλύτερο φάσμα ροπών, καθώς επίσης και την αύξηση της μ_{lim} κατά EC2, από όπου αρχίζει η τάση του οπλισμού να πέφτει κάτω από τη διαρροή.

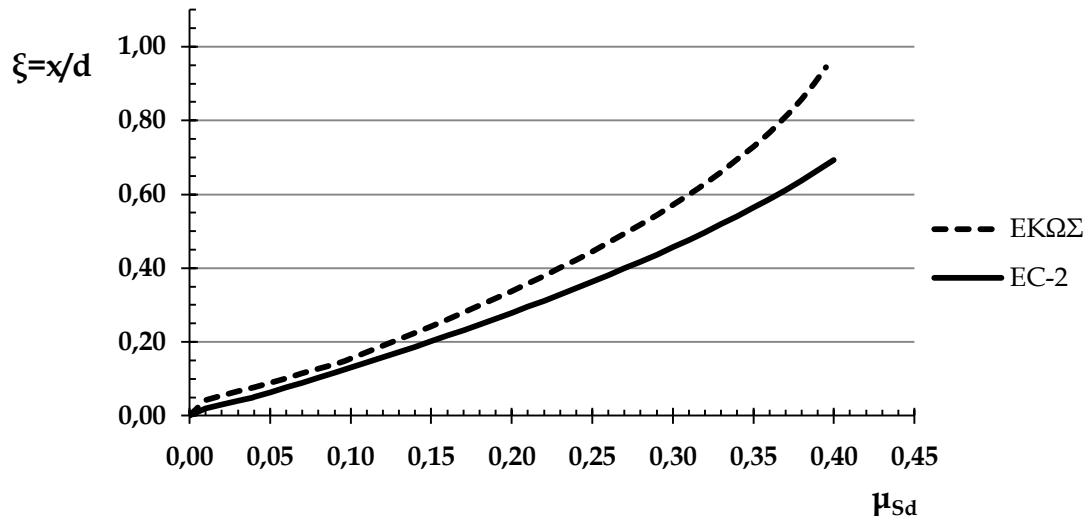


Σχήμα 5.12: Τάση Χάλυβα Οπλισμού

4. Στα τελευταία δύο διαγράμματα των Σχημάτων 5.13 & 5.14, παρατηρούμε την **αύξηση του μοχλοβραχίονα** των εσωτερικών δυνάμεων στην οποία οδηγεί ο EC2, μεταξύ άλλων γιατί επιτρέπει και μεγαλύτερες παραμορφώσεις του χάλυβα. Παρατηρούμε ακόμη τη **μείωση του απαιτούμενου ύψους θλιβόμενης ζώνης** αποτέλεσμα (και) της αυξημένης θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με τις θεωρήσεις του EC2.



Σχήμα 5.13: Μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων

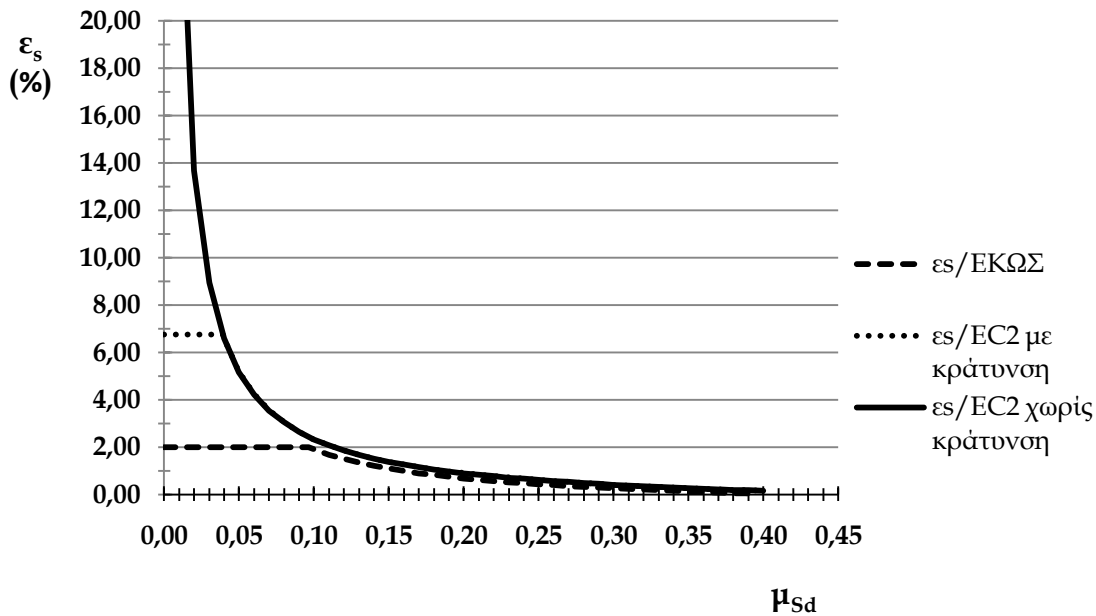


Σχήμα 5.14: Ύψος θλιβόμενης ζώνης

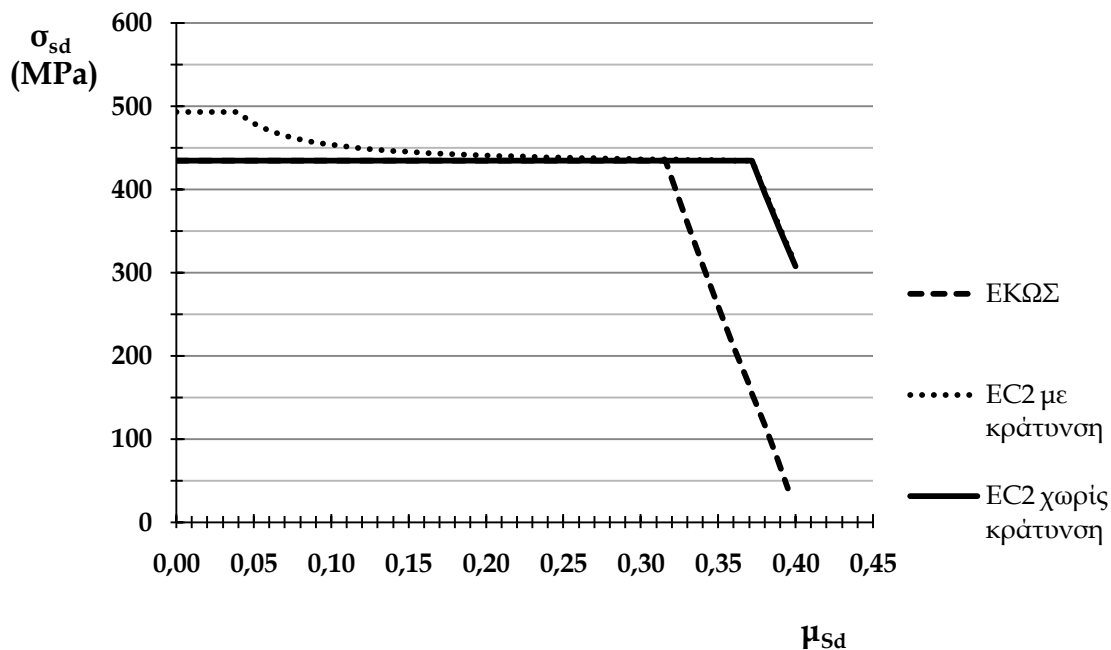
Σύγκριση ΕΚΩΣ/EC2 χωρίς κράτυνση

Η περίπτωση της παραδοχής του EC2 χωρίς κράτυνση του χάλυβα οδηγεί σε απαίτηση μεγαλύτερης ποσότητας οπλισμού σε σχέση με την περίπτωση με κράτυνση και άρα σε μεγαλύτερη τιμή του ω . Οι διαφορές είναι, ωστόσο, μικρές για να φανούν υπό μορφή διαγράμματος, αλλά είναι εμφανέστερες στους πίνακες τιμών που δόθηκαν παραπάνω (βλ. Πίνακες 5.1 & 5.2). Τα ίδια ισχύουν και για τη σύγκριση του ύψους θλιβόμενης ζώνης και το μοχλοβραχίονα. Έτσι επιλέγουμε να επισημάνουμε τις διαφορές στις παραμορφώσεις και στην τάση του χάλυβα, που φαίνονται στα Σχήματα 5.15, 5.16 & 5.17. Στο Σχήμα 5.15 παρατηρούμε πως για τη θεώρηση χωρίς κράτυνση που δεν τίθεται όριο στην παραμόρφωση του χάλυβα για πολύ μικρές ροπές ο χάλυβας φτάνει σε πολύ μεγάλες παραμορφώσεις πέραν του 200‰. Η τάση του χάλυβα είναι ίση με το όριο

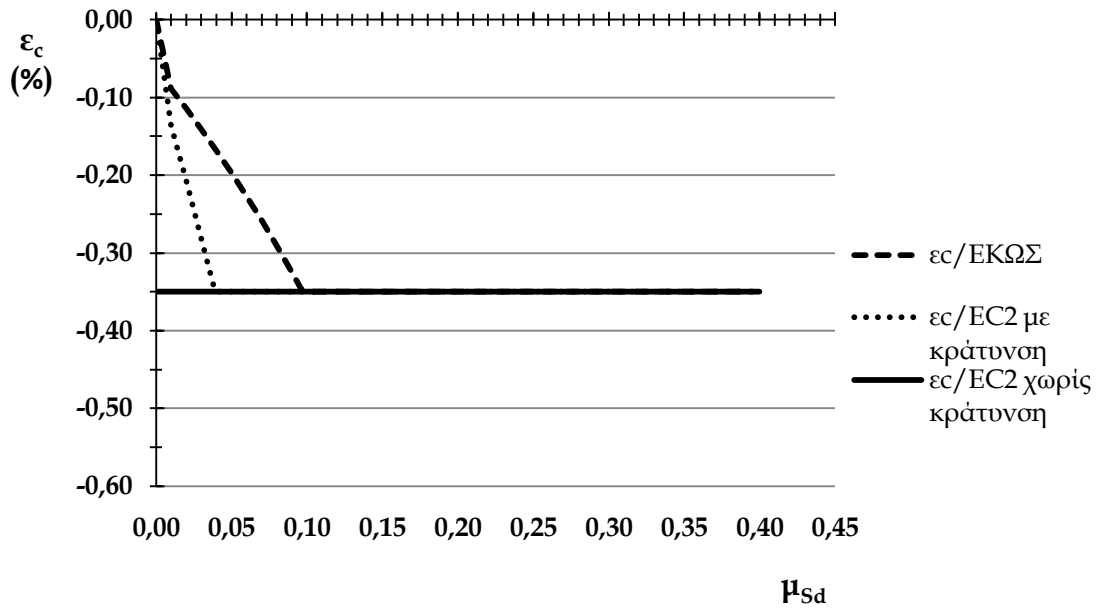
διαρροής όπως και στον ΕΚΩΣ. Παρατηρούμε όμως πως η τάση αρχίζει να πέφτει κάτω από τη διαρροή σε μεγαλύτερη τιμή ανηγμένης ροπής από τον ΕΚΩΣ, η οποία είναι προφανώς η ίδια με αυτήν της παραδοχής για χάλυβα με κράτνωση, αφού ο χάλυβας βρίσκεται ακριβώς στη διαρροή στο εν λόγω σημείο (βλ. Σχήμα 5.16). Τέλος, στο Σχήμα 5.17 παρατηρούμε πως για την περίπτωση χωρίς κράτνωση το σκυρόδεμα είναι το υλικό που αστοχεί για κάθε ροπή.



Σχήμα 5.15: Παραμορφώσεις χάλυβα ε_s



Σχήμα 5.16: Τάση Χάλυβα Οπλισμού

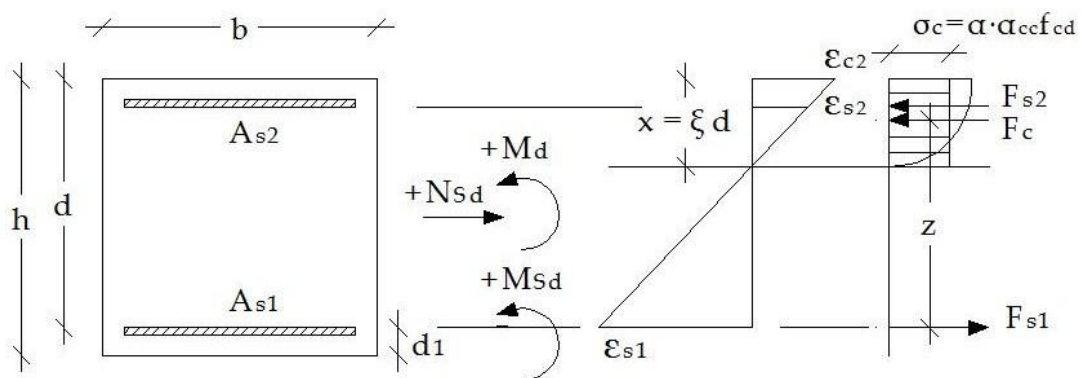


Σχήμα 5.17: Παραμορφώσεις σκυροδέματος ε_c

5.2.2 Προέχουσα Θλίψη

Κατ'αρχάς θα δώσουμε τις εξισώσεις που διέπουν την κάμψη με προέχουσα θλίψη ορθογωνικών διατομών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Επιλέγουμε να εξετάσουμε την απλούστερη περίπτωση, αλλά και τη συνηθέστερη για διατομές υποστυλωμάτων, της **συμμετρικά ωπλισμένης διατομής**, δηλαδή:

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{s,tot}}{2} = A_s$$



Σχήμα 5.18: Διατομή συμμετρικά ωπλισμένη υποκειμένη σε προέχουσα θλίψη

- Από την επιπεδότητα :

$$x = \left(\frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{c2} + \varepsilon_{s1}} \right) \cdot d = \xi \cdot d \text{ και}$$

$$\varepsilon_{s2} = \left(\frac{x - d_2}{x} \right) \cdot \varepsilon_{c2}$$

- Δύναμη σκυροδέματος :

$$F_{cd} = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x = \alpha \cdot 1,00 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \xi \cdot d$$

- Δύναμη εφελκόμενου χάλυβα :

$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd}$, όπου για $\varepsilon_{s1} \geq \varepsilon_{yd}$, και εφόσον λαμβάνεται υπόψη η κράτωση του χάλυβα, είναι $\sigma_{sd} = f_{yd} + k_s \cdot (\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{yd})$.

- Δύναμη θλιβόμενου χάλυβα :

$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{sd}$, όπου για $\varepsilon_{s2} \geq \varepsilon_{yd}$, και εφόσον λαμβάνεται υπόψη η κράτωση του χάλυβα, είναι $\sigma_{sd} = f_{yd} + \lambda \cdot (\varepsilon_{s2} - \varepsilon_{yd})$.

- Μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων :

$$z = d - a = d - \zeta' \cdot \xi \cdot d = (1 - \zeta' \cdot \xi) \cdot d = \zeta \cdot d$$

Οι δύο εξισώσεις της κάμψης είναι:

α) η ισοδυναμία εσωτερικών & εξωτερικών δυνάμεων

$$F_{s1} - F_{s2} - F_{cd} = N_d$$

β) η ροπή σχεδιασμού

$M_{Sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}$ που αναλαμβάνεται από τις αναπτυσσόμενες εσωτερικές δυνάμεις στη διατομή, δηλαδή :

$$\begin{aligned} M_{Sd} &= F_{cd} \cdot z + F_{s2} \cdot (d - d_2) \\ &= \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 \cdot \xi \cdot (1 - \zeta' \cdot \xi) + A_{s2} \cdot \sigma_{sd} \cdot (d - d_2) \end{aligned}$$

Ορίζεται επίσης η ανηγμένη ροπή και η ανηγμένη αξονική δύναμη, ως εξής:

$$\mu_{Sd} = \frac{M_{Sd}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \text{ και}$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Ορίζεται επίσης και το μηχανικό ποσοστό οπλισμού:

$$\omega_{\text{tot}} = \frac{A_{s,\text{tot}}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

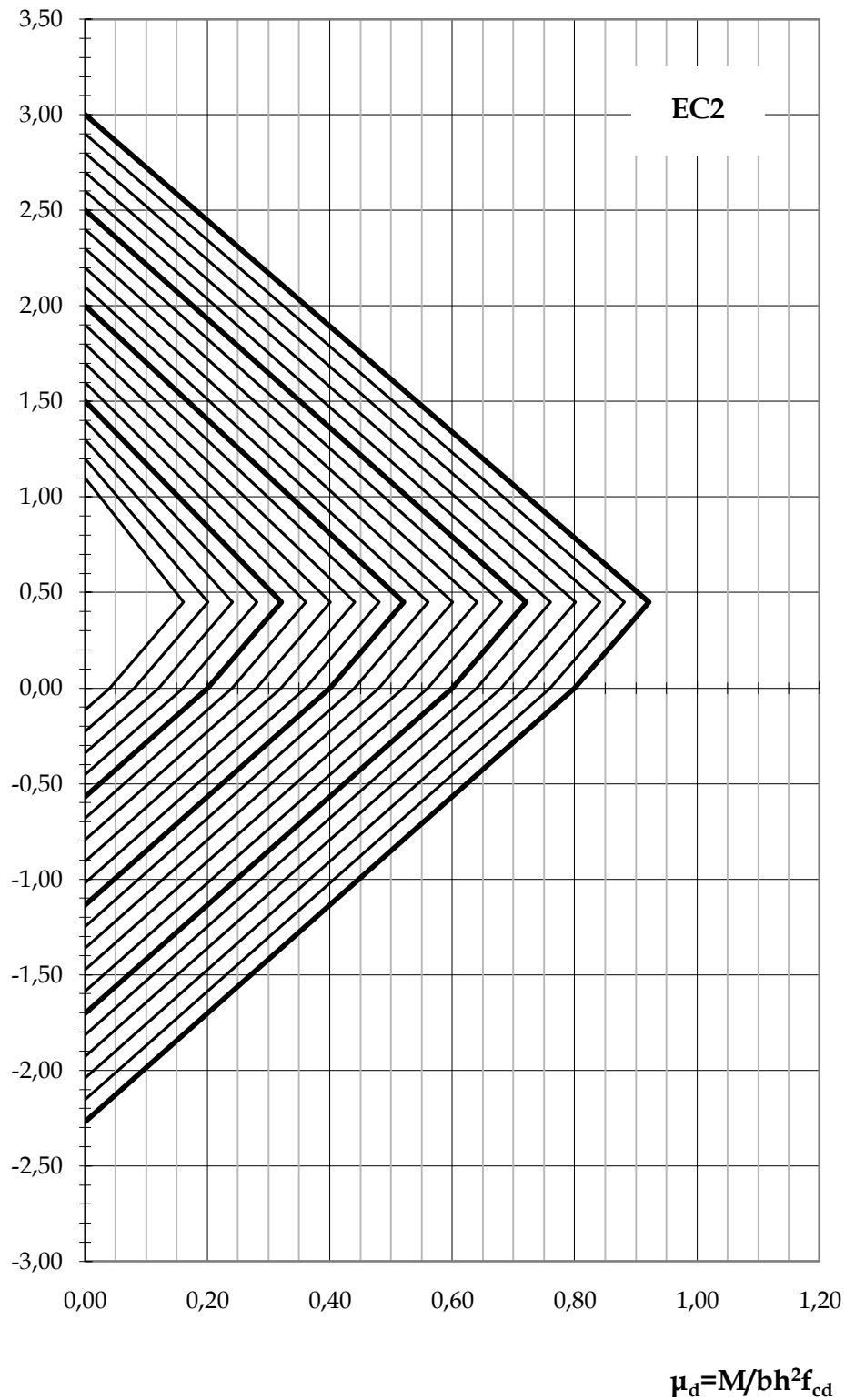
Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις κατασκευάζουμε τα διαγράμματα αλληλεπιδράσεως, των οποίων κάνουμε χρήση για τη διαστασιολόγηση διατομών υποστυλωμάτων. Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αυτών επιλύουμε αντίστροφα το πρόβλημα, δηλαδή για κάποιο ω_{tot} βρίσκουμε τα m_{sd} και n_d που αντιστοιχούν σε κάθε ζεύγος παραμορφώσεων ακραίας θλιβόμενης ίνας και εφελκόμενου χάλυβα (δηλαδή ϵ_{c2} και ϵ_{s1}). Στην περίπτωση που λαμβάνουμε υπόψη την κράτυνση του οπλισμού, υπολογίζουμε το $A_{s,\text{tot}}$ που αντιστοιχεί στο επιλεγμένο ω_{tot} ανάλογα με την υπόθεση των παραμορφώσεων που έχουμε κάνει, ώστε να ληφθεί υπόψη και η πιθανή αύξηση της τάσης του εφελκόμενου οπλισμού (οπότε το εμβδόν του οπλισμού $A_{s,\text{tot}}$ προκύπτει μικρότερο αφού αυξάνει η σ_{sd}) μέσω της σχέσης:

$$A_{s,\text{tot}} = \omega_{\text{tot}} \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} / \sigma_{sd}$$

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα κατασκευάσουμε ένα **απλοποιημένο διάγραμμα αλληλεπιδράσεως**, που θα αποτελείται από 4 σημεία και θα επισημάνουμε τις διαφορές με το αντίστοιχο διάγραμμα έτσι όπως θα προέκυπτε με τον ΕΚΩΣ. Το διάγραμμα αλληλεπιδράσεως θα γίνει για χάλυβα B500C και για $d_1/h = 0,10$.

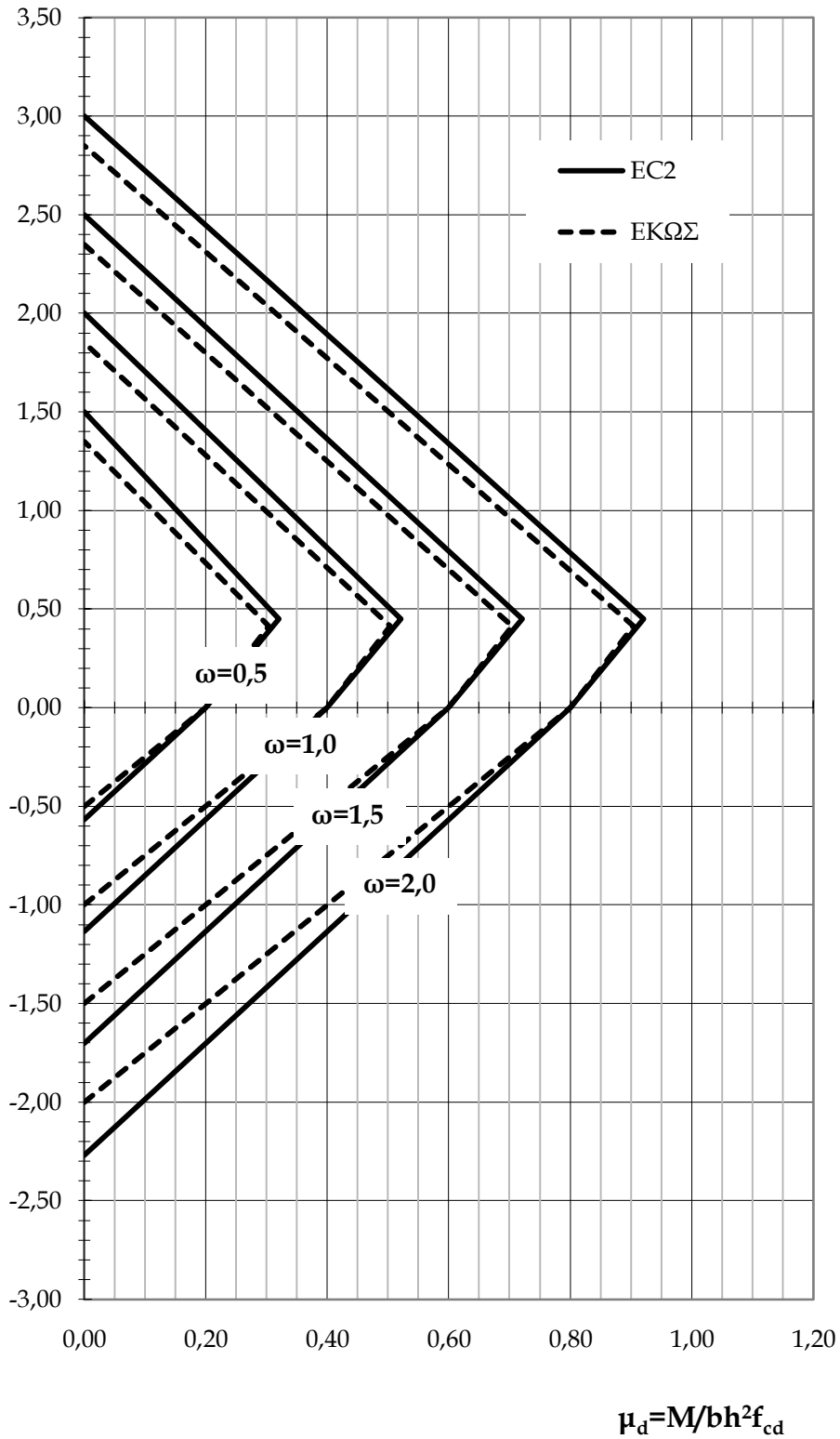
Το διάγραμμα αλληλεπιδράσεως κατά EC2 του Σχήματος 5.15 έχει γίνει για τιμές του ω από 0,10 έως 2,00, ενώ το συγκριτικό διάγραμμα αλληλεπιδράσεως του Σχήματος 5.16 έχει γίνει για τιμές του ω 0,50, 1,00, 1,50 και 2,00 κατά EC2 και κατά ΕΚΩΣ.

$$v_d = N/bhf_{cd}$$



Σχήμα 5.19: Απλοποιημένο διάγραμμα αλληλεπιδράσεως κατά EC2 (για συμμετρικά ωπλισμένη ορθογωνική διατομή με B500C και $d_1/h=0,10$)

$$v_d = N/bhf_{cd}$$



Σχήμα 5.20: Απλοποιημένο Διάγραμμα Αλληλεπιδράσεως - σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ (για συμμετρικά ωπλισμένη ορθογωνική διατομή με B500C και $d_1/h=0,10$)

Δίνουμε και τον πίνακα από τον οποίο προκύπτουν οι τιμές του παραπάνω διαγράμματος.

EC-2

Χάλυβας B500C & $d_t/h=0,10$

ν	μ	$\omega=$	0,50	ν	μ	$\omega=$	1,50
-0,57	0,00	$d_t/h=$	0,10	-1,70	0,00	$d_t/h=$	0,10
0,00	0,20			0,00	0,60		
0,45	0,32			0,45	0,72		
1,50	0,00			2,50	0,00		

ν	μ	$\omega=$	1,00	ν	μ	$\omega=$	2,00
-1,13	0,00	$d_t/h=$	0,10	-2,27	0,00	$d_t/h=$	0,10
0,00	0,40			0,00	0,80		
0,45	0,52			0,45	0,92		
2,00	0,00			3,00	0,00		

Αναλυτικός Υπολογισμός των τεσσάρων σημείων του Διαγράμματος Αλληλεπίδρασης για τον EC2

– 1ο σημείο

ΚΑΘΑΡΗ ΘΛΙΨΗ ($M_d=0$)

Συμβατική αστοχία της διατομής σε παραμόρφωση $\varepsilon_{c2} = -2,00\%$

$$N_{Rd} = \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot A_c + A_{s,tot} \cdot \sigma_{sd} = 1,00 \cdot f_{cd} \cdot A_c + \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$

$$= (1,00 + \omega_{tot}) \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$

Οπότε στον EC2 (ίδιο με & χωρίς κράτυνση):

$$\nu_d = 1,00 + \omega_{tot} \text{ (αρνητικό) και } \mu_d = 0$$

Στον ΕΚΩΣ η αντίστοιχη τιμή είναι:

$$\nu_d = 0,85 + \omega_{tot}$$

Παρατήρηση: η σχέση αυτή δεν είναι ακριβής για τον προσδιορισμό του εν λόγω σημείου, στην περίπτωση χάλυβα ποιότητας B500C. Αυτό συμβαίνει γιατί θεωρώντας συμβατική αστοχία σκυροδέματος υπό καθαρή θλίψη σε παραμόρφωση $\varepsilon_{c2} = -2,00\%$, ο

χάλυβας B500C δεν έχει διαρρέψει, αλλά έχει μια τάση μικρότερη της f_{yd} . Ωστόσο, το σημείο αυτό είναι χρήσιμο να υπολογιστεί γιατί προσδιορίζει την ευθεία στην οποία κινούνται τα υπόλοιπα σημεία (κατά το απλοποιητικό διάγραμμα αλληλεπιδράσεως που θεωρούμε εδώ), που έχουν παραμόρφωση πέραν της παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα. Επίσης σημειώνεται πως το σημείο είναι ακριβές για τους χάλυβες χαμηλότερης ποιότητας. Για χάλυβες B500C η ακριβής τιμή προκύπτει ως εξής για τον EC2:

$$v_d = 1,00 + \omega_{tot} \cdot \frac{\sigma_s}{f_{yd}} = 1,00 + \omega_{tot} \cdot \frac{200.000 \cdot 0,002}{500/1,15} = 1,00 + \omega_{tot} \cdot 0,92$$

ή αντίστοιχα για τον ΕΚΩΣ:

$$v_d = 0,85 + \omega_{tot} \cdot 0,92$$

– 2^ο σημείο

ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ & ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Οπότε έχουμε:

$$\varepsilon_{c2} = -3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{sy} = 2,17\text{‰}$$

$$x = \left(\frac{3,50}{3,50 + 2,17} \right) \cdot 0,9 \cdot h = 0,556 \cdot h$$

$$\varepsilon_{s2} = \left(\frac{0,556 \cdot h - 0,1 \cdot h}{0,556 \cdot h} \right) \cdot 3,50 = 2,87\text{‰}$$

$$F_{cd} = 1,00 \cdot 0,81 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot 0,556 \cdot h = 0,45 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$

Εδώ κάνουμε την **παραδοχή** πως οι τάσεις του εφελκόμενου και του θλιβόμενου χάλυβα είναι ίσες, αν και λόγω της κράτωσης η τάση του θλιβόμενου θα είναι ελαφρώς αυξημένη. Όμως είναι πολύ μικρή η διαφορά και η παραδοχή δεν αλλοιώνει το αποτέλεσμα.

Άρα, έχουμε κατά τον EC2 με & χωρίς κράτωση:

$$N_d = F_c + F_{s2} - F_{s1} = F_c, \text{ δηλαδή}$$

$$v_d = 0,45$$

Η αντίστοιχη τιμή στον ΕΚΩΣ προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη πως $\alpha_{cc} = 0,85$:

$$v_d = 0,38$$

Ισχύει:

$$F_{s1} = F_{s2} = \frac{A_{s,tot}}{2} \cdot f_{yd}$$

Λαμβάνουμε ροπές ως προς τον κεντροβαρικό άξονα:

$$\begin{aligned} M_d &= F_{cd} \cdot (h/2 - 0,415 \cdot x) + A_{s,tot} \cdot f_{yd} \cdot (h/2 - d_1) \\ &= F_{cd} \cdot 0,269 \cdot h + \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot h \cdot (0,50 - d_1/h) \\ &= 0,45 \cdot 0,269 \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} + \omega_{tot} \cdot (0,50 - d_1/h) \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} \\ &= [0,121 + \omega_{tot} \cdot (0,50 - d_1/h)] \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} \end{aligned}$$

ή

$$\mu_d = 0,121 + \omega_{tot} \cdot (0,50 - d_1/h), \text{ και για } d_1/h = 0,10 \text{ προκύπτει:}$$

$$\mu_d = 0,121 + 0,40 \cdot \omega_{tot}$$

Η αντίστοιχη τιμή στον ΕΚΩΣ είναι ($\alpha_{cc} = 0,85$):

$$\mu_d = 0,103 + \omega_{tot} \cdot (0,50 - d_1/h)$$

– 3^ο σημείο

ΡΟΠΗ ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ($N_d=0$)

Ο χάλυβας έχει διαρρέυσει ($\epsilon_{s1} > \epsilon_{sy} = 2,17\%$) και το σκυρόδεμα κοντά στην αστοχία ($\epsilon_{c2} \leq 3,50\%$)

Εν προκειμένω δεν γνωρίζουμε ποιες είναι οι τάσεις των οπλισμών (άνω και κάτω). Παρ' όλα αυτά δεν υπάρχει σημαντική διαφορά είτε λάβουμε υπόψη την κράτνωση είτε όχι (παραμόρφωση πολύ κοντά στη διαρροή), μάλιστα το εν λόγω σημείο είναι το ίδιο και με το αντίστοιχο του ΕΚΩΣ.

$$\begin{aligned} M_d &= (F_{s1} + F_{s2}) \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) + F_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \zeta' \cdot x \right) \\ &= A_{s,tot} \cdot f_{yd} \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} + \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}} \right) \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{s,tot} \cdot f_{yd} \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} - \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}} \right) \cdot \left(\frac{h}{2} - \zeta' \cdot x \right) \end{aligned}$$

Εδώ κάνουμε την **παραδοχή** πως $\zeta' \cdot x = d_1$, δηλαδή θεωρούμε πως η συνισταμένη δύναμη της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος ασκείται στην ίδια θέση με αυτήν της δύναμης του θλιβόμενου οπλισμού, που ισχύει χωρίς μεγάλη απόκλιση. Οπότε προκύπτει:

$$M_d = A_{s,tot} \cdot \sigma_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) = \omega_{tot} \cdot \left(\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} \right) \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} \cdot \left(0,50 - \frac{d_1}{h} \right) \quad \text{ή}$$

$$\mu_d = \omega_{\text{tot}} \cdot \left(\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} \right) \cdot (0,50 - d_1 / h) \quad \text{και} \quad v_d = 0$$

Ωστόσο, επειδή η ακριβής τιμή της τάσης δεν μπορεί να είναι γνωστή στην απλοποιημένη αυτή εφαρμογή και υποθέτοντας πως η παραμόρφωση είναι κοντά στη διαρροή, την αγνοούμε. Για μια παραμόρφωση της τάξης του 10-15‰ ο λόγος των τάσεων είναι περίπου 1,02-1,03, που είναι πράγματι ανεκτός για ένα προσεγγιστικό διάγραμμα. Έτσι με & χωρίς κράτυνση κατά τον EC2 στο συγκεκριμένο σημείο μπορούμε να θεωρούμε:

$$\mu_d = \omega_{\text{tot}} \cdot (0,50 - d_1 / h)$$

Για $d_1/h = 0,10$ έχουμε $\mu_d = 0,40 \cdot \omega_{\text{tot}}$

Στον **ΕΚΩΣ** δεν υπάρχει διαφορά στο συγκεκριμένο σημείο.

– 4^ο σημείο

ΚΑΘΑΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ($M_d=0$)

Στην περίπτωση αυτή **αγνοούμε** την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και λαμβάνουμε υπόψη μόνο το χάλυβα. Ο χάλυβας θεωρούμε πως αστοχεί σε παραμόρφωση $\epsilon_{ud} = 67.50\%$. Άρα, η μέγιστη αξονική δύναμη που αντέχει η διατομή είναι :

$$N_{Rd} = A_{s,tot} \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{\sigma_{sd,max}}{f_{yd}} \right) = \omega_{\text{tot}} \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{\sigma_{sd,max}}{f_{yd}} \right) \quad \eta$$

$$v_d = \omega_{\text{tot}} \cdot \left(\frac{\sigma_{sd,max}}{f_{yd}} \right) \quad \text{και} \quad \mu_d = 0$$

Για χάλυβα ποιότητας B500C προκύπτει:

$$v_d = \omega_{\text{tot}} \cdot 1,13$$

Στον **ΕΚΩΣ** ή στην περίπτωση του EC2 χωρίς κράτυνση έχουμε:

$$v_d = \omega_{\text{tot}}$$

Έτσι προκύπτουν τα τέσσερα σημεία του απλοποιημένου διαγράμματος αλληλεπίδρασης που έχουν συντεταγμένες:

$$A (0, 1+\omega)$$

$$B(0,121+0,40\omega, 0,45)$$

$$\Gamma(0,40\omega, 0)$$

$$\Delta(0, 1,13\omega)$$

Για τον αναλυτικό υπολογισμό για κάθε ζεύγος v_d και μ_d θα βρούμε τις εξισώσεις των τριών ευθειών του διαγράμματος αλληλεπίδρασης με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τεσσάρων γνωστών σημείων. Για κάθε ευθεία που έχει εξίσωση της μορφής $y = \lambda x + \beta$ γνωρίζουμε δύο σημεία. Έτσι προκύπτουν τα εξής:

- τμήμα AB: για τιμές $v_d < -0,45$ (θλιπτική αξονική)

$$0,4\omega^2 + (0,279 - \mu_d - 0,40v_d)\omega + (0,121 - 0,55\mu_d - 0,121v_d) = 0$$

- τμήμα ΒΓ: για τιμές $-0,45 < v_d < 0$ (θλιπτική αξονική)

$$\omega = \frac{3,72\mu_d - v_d}{1,49}$$

- τμήμα ΓΔ: για τιμές $v_d > 0$ (εφελκυστική αξονική)

$$\omega = \frac{0,35\mu_d + v_d}{1,13}$$

Σημείωση: στις παραπάνω σχέσεις για τον προσεγγιστικό υπολογισμό του ω η ανηγμένη αξονική δύναμη v_d πρέπει να μπαίνει κατ' απόλυτη τιμή (χωρίς πρόσημο). Το πρόσημο (-) για θλίψη και (+) εφελκυσμό μας ενδιαφέρει για τον προσδιορισμό της περιοχής που είμαστε κάθε φορά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: ΔΙΑΤΜΗΣΗ, ΣΤΡΕΨΗ, ΔΙΑΤΡΗΣΗ

6.1 ΔΙΑΤΜΗΣΗ

6.1.1 Ορισμοί

Στην §6.2 του EC2, αναπτύσσεται η διαδικασία ελέγχου έναντι διάτμησης, για δομικά στοιχεία από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Στον παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα βασικά βήματα της διαδικασίας αυτής και θα επισημάνουμε τις διαφορές που υπάρχουν με την αντιστοιχη διαδικασία στον ΕΚΩΣ, μέσα και από αναλυτικά παραδείγματα.

Για τον έλεγχο της διατμητικής αντοχής ορίζονται τα ακόλουθα σύμβολα:

$V_{Rd,c}$: είναι η διατμητική αντοχή του στοιχείου χωρίς οπλισμό διάτμησης.

$V_{Rd,s}$: είναι η τιμή της διατμητικής δύναμης που μπορεί να αναλάβει ο οπλισμός διάτμησης, όταν διαρρέυσει.

$V_{Rd,max}$: είναι η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης διατμητικής δύναμης που μπορεί να αναλάβει το στοιχείο, χωρίς να επέλθει θραύση του κορμού από αστοχία των λοξών θλιπτήρων.

Στη συνέχεια φαίνονται τα μεγέθη του ΕΚΩΣ στα οποία αντιστοιχούν οι παραπάνω συμβολισμοί.

EC2	ΕΚΩΣ
$V_{Rd,c}$	V_{Rd1}
$V_{Rd,s}$	V_{wd}
$V_{Rd,max}$	V_{Rd2}

Ωστόσο, στον EC2 υπάρχουν ορισμένες διαφορές στον υπολογισμό των παραπάνω αντοχών, καθώς και στη λογική του σχεδιασμού τις οποίες θα αναφέρουμε στη συνέχεια.

6.1.2 Βασικές Αρχές

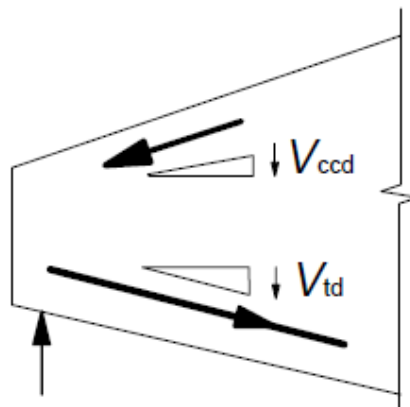
Στην §6.2.1. του EC2 δίνονται οι βασικές αρχές για το σχεδιασμό έναντι τέμνουσας:

1. Όταν η τέμνουσα σχεδιασμού $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$, τότε **δεν απαιτείται** οπλισμός διάτμησης. Τοποθετείται ωστόσο ο ελάχιστος απαιτούμενος. Δεν απαιτείται ο ελάχιστος οπλισμός στην περίπτωση π.χ. πλακών που υπάρχει ανακατανομή των φορτίων ή σε στοιχεία με μικρή σημασία για τη συνολική αντίσταση της κατασκευής.
2. Αν για την τέμνουσα σχεδιασμού ισχύει $V_{Ed} \geq V_{Rd,c}$, τότε **όλη η τέμνουσα αναλαμβάνεται από οπλισμό διάτμησης**. Δηλαδή στον EC2 δε λαμβάνεται υπόψη η συνεισφορά των μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας του σκυροδέματος, όταν η τέμνουσα σχεδιασμού υπερβαίνει την αντοχή $V_{Rd,c}$ (τη V_{Rd1} του ΕΚΩΣ). Άρα, στον EC2 όταν απαιτείται οπλισμός διάτμησης θα πρέπει να ισχύει $V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$ (**και όχι** $V_{Rd3} = V_{wd} + V_{cd} (=V_{Rd1}) \geq V_{sd}$, με V_{sd} την τέμνουσα σε απόσταση d από την παρειά, που ίσχυε στον ΕΚΩΣ). **Καταργείται δηλαδή η συνεισφορά του σκυροδέματος στην αντοχή**.
3. Για τον υπολογισμό του οπλισμού χρησιμοποιείται το **μοντέλο δικτυώματος** (που περιγράφεται στην §6.2.3 στην πρόταση 1) με μεταβλητή γωνία των κεκλιμένων θλιπτήρων $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ (§6.2.3 πρόταση 2).
4. Ο εφελκόμενος οπλισμός πρέπει να μπορεί να αναλάβει την **πρόσθετη εφελκυστική δύναμη** λόγω διάτμησης.
5. Τέλος, ο EC2 λαμβάνει υπόψη την **επίδραση** στην τέμνουσα αντοχής των **κεκλιμένων πελμάτων** των στοιχείων. (**ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ**)

Έτσι σε στοιχεία με οπλισμό διάτμησης η τέμνουσα αντοχής είναι ίση προς :

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{ccd} + V_{td}$$

Επίσης η **επίδραση των πελμάτων** πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη δρώσα τέμνουσα με την οποία ελέγχουμε την αντοχή έναντι λοξής θλίψης. Δηλαδή η $V_{Rd,max}$ ελέγχεται με την $V_{Ed} - V_{ccd} - V_{td}$, την οποία πρέπει να υπερβαίνει.



Σχήμα 6.1: Διατμητική συνιστώσα σε στοιχεία με κεκλιμένες χορδές (EC2)

Η V_{ccd} είναι η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής συνιστώσας της δύναμης στη θλιβόμενη ζώνη σκυροδέματος, στην περίπτωση κεκλιμένου θλιβόμενου πέλματος και η V_{td} είναι η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής συνιστώσας της δύναμης του εφελκόμενου οπλισμού, στην περίπτωση κεκλιμένου εφελκόμενου πέλματος.

6.1.3 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα χωρίς Απαιτήση Οπλισμού Διάτμησης

Στον επόμενο πίνακα δίνεται η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα, χωρίς οπλισμό διάτμησης, $V_{Rd,c}$, καθώς και η αντίστοιχη σχέση για τη V_{Rd1} του ΕΚΩΣ.

Πίνακας 6.1: Αντοχή χωρίς οπλισμό διάτμησης

Αντοχή σε Τέμνουσα ΧΩΡΙΣ Οπλισμό Διάτμησης	
EC2	$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$ <p>με ελάχιστη τιμή $V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ [1]</p>
ΕΚΩΣ	$V_{Rd1} = \left[\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,20 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$ [2]

Σημειώσεις:

1. Όπου:

f_{ck}	Σε MPa.
$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$	Ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα κλίμακας με d σε mm.
$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$	Το μηχανικό ποσοστό του διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού.
A_{sl}	Το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού, ο οποίος εκτείνεται σε μήκος $\geq (l_{bd} + d)$ πέραν της υπό μελέτη διατομής.
b_w	Το μικρότερο πάχος της διατομής στην εφελκόμενη ζώνη.
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c \leq 0,2 \cdot f_{cd}$	Σε MPa.
N_{Ed}	Η αξονική δύναμη στη διατομή λόγω φόρτισης ή προέντασης [σε N] με $N_{Ed} > 0$ για θλίψη (Η επιρροή των επιβαλλόμενων μετακινήσεων στην N_{Ed} μπορούν να αγνοούνται).
A_c	Το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος [mm ²].
$V_{Rd,c}$	Σε N.

Οι συνιστώμενες τιμές για τα $C_{Rd,c}$, v_{min} , και k_1 είναι:

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$k_1 = 0,15$$

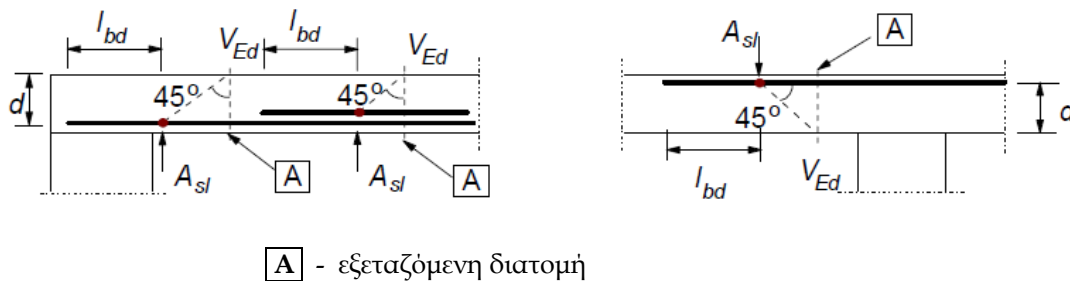
Έτσι σύμφωνα με τις προτεινόμενες τιμές η σχέση για την αντοχή $V_{Rd,c}$ γίνεται:

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

2. Όπου:

$$k = 1,60 - d \geq 1,00 \quad \text{με } d \text{ σε m}$$

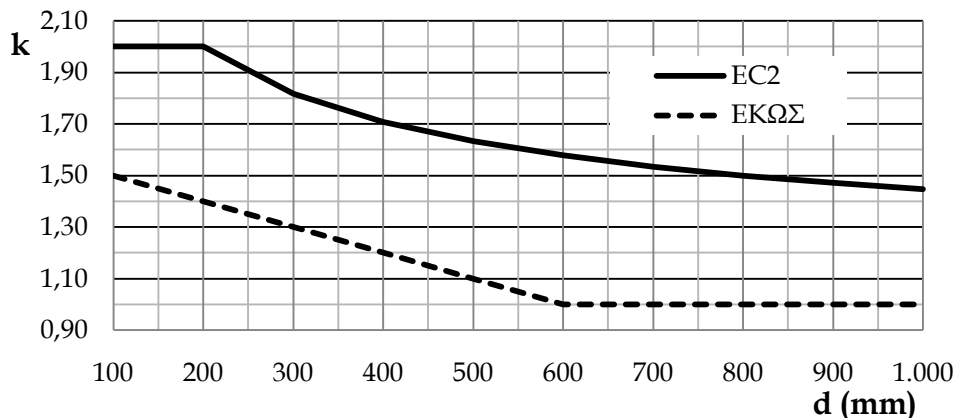
$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} = 0,25 \cdot f_{ctk,0.05} / \gamma_c$$



Σχήμα 6.2: Ορισμός του A_{sl} στη σχέση (EC2)

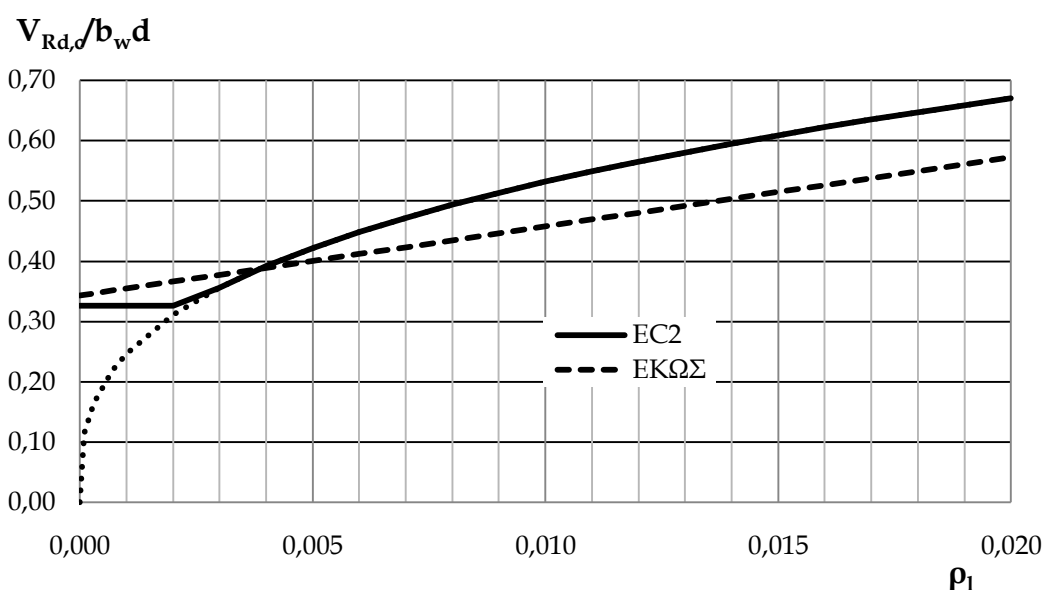
❖ Παρατηρήσεις και Διαφορές με ΕΚΩΣ:

1. Διαφορετική εκτίμηση του συντελεστή k , της συνεισφοράς του εφελκούμενου οπλισμού (ρ_1), καθώς επίσης και της συμμετοχής της αντοχής του σκυροδέματος (f_{ck}) (βλ. και παραπάνω τις αντίστοιχες σχέσεις).
2. Ο συντελεστής k που λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα κλίμακας είναι προκύπτει μεγαλύτερος με τον EC2 από τον ΕΚΩΣ όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.3: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών του συντελεστή k

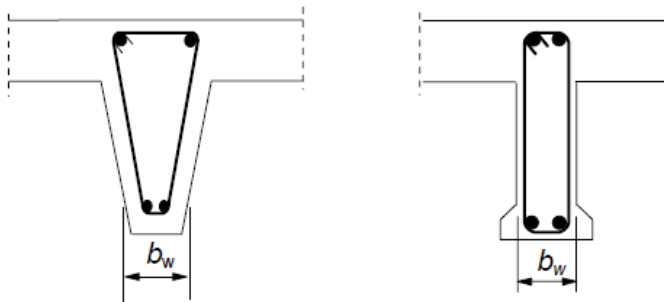
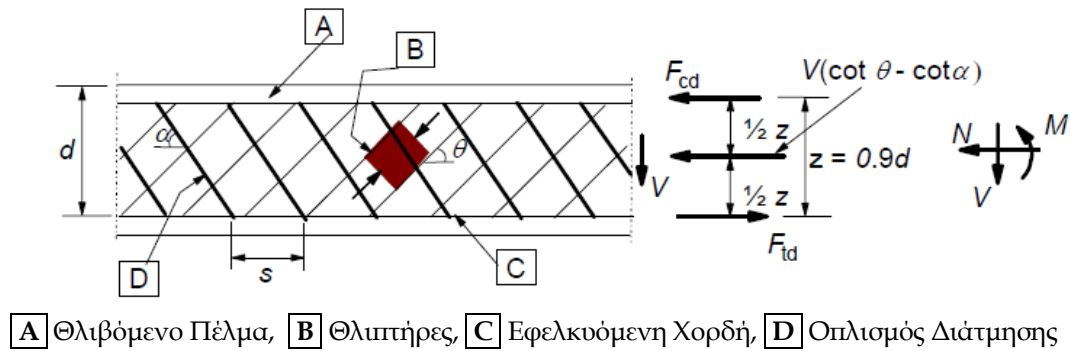
3. Στον EC2 η συνεισφορά του εφελκόμενου οπλισμού δε λαμβάνεται υπόψη με τον ίδιο τρόπο με τον ΕΚΩΣ. Αυτό που είναι αξιοσημείωτο είναι πως η **αντοχή $V_{Rd,c}$ μηδενίζεται όταν δεν υπάρχει η δράση βλήτρου στον EC2**, κάτι που δε λάμβανε υπόψη ο ΕΚΩΣ. Ουσιαστικά η σχέση του EC2 λαμβάνει υπόψη πως η έλλειψη καλά αγκυρωμένου εφελκόμενου οπλισμού οδηγεί σε πλήρη αποδιοργάνωση και των υπόλοιπων μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας από το σκυρόδεμα. Γι' αυτό θέτει μια ελάχιστη τιμή του όρου που σχετίζεται με τον εφελκόμενο οπλισμό (v_{min}). Ενδεικτικό είναι το ακόλουθο συγκριτικό διάγραμμα για σκυρόδεμα ποιότητας C20/25 και $d=0,50m$.



Σχήμα 6.4: Συγκριτικό διάγραμμα - εξάρτηση της $V_{Rd,c}$ από το ρ_1

6.1.4 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαιτήση Οπλισμού Διάτμησης

Όπως περιγράφεται στην §6.2.3 του EC2, κατά το σχεδιασμό στοιχείων με οπλισμό διάτμησης υιοθετείται το **μοντέλο δικτύωματος με μεταβλητή γωνία λοξών θλιπτήρων**, $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ ή $1 \leq \cot\theta \leq 2,5$. Ενδεικτικό για την περιγραφή του μοντέλου είναι το παρακάτω σχήμα που περιέχεται στον EC2.



Σχήμα 6.5: Μοντέλο Δικτύωματος & Συμβολισμοί για στοιχεία με Οπλισμό Διάτμησης

Σε ένα στοιχείο με οπλισμό διάτμησης, η δύναμη που μπορεί να αναλάβει ο οπλισμός δίνεται από τη σχέση:

Πίνακας 6.2: Δύναμη που αναλαμβάνει ο οπλισμός

Δύναμη που αναλαμβάνει ο Οπλισμός	
EC2	$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$ [1], θ μεταβλητή
ΕΚΩΣ	$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$ [2], $\theta = 45^\circ$

Σημειώσεις:

- α είναι η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτμησης με τον άξονα της δοκού που είναι κάθετος στη διεύθυνση της τέμνουσας. Στην περίπτωση που ο οπλισμός είναι **κατακόρυφος** ($\alpha=90^\circ$) τότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

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

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.
 z Ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων, για ένα στοιχείο με σταθερό ύψος και αντιστοιχεί στη μέγιστη καμπτική ροπή που δρα σε αυτό. Για το σχεδιασμό έναντι διάτμησης χωρίς αξονική δύναμη, μπορεί εν γένει να λαμβάνεται κατά προσέγγιση $z = 0,9 \cdot d$.

2. Για κατακόρυφο οπλισμό:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd}$$

- ❖ Παρατηρούμε στην προηγούμενη σχέση την **εξάρτηση της αντοχής από τη θεωρούμενη γωνία θ των λοξών θλιπτήρων**. Αν θεωρήσουμε πως οι λοξοί θλιπτήρες έχουν σταθερή γωνία $\theta = 45^\circ$, τότε $\cot\theta = 1$, κι έτσι η σχέση γίνεται αυτή του ΕΚΩΣ. Ωστόσο και στον ΕΚΩΣ υπάρχει σχετική διάταξη που επιτρέπει τη θεώρηση μεταβλητής γωνίας των λοξών θλιπτήρων, όπως ακριβώς και στον EC2.

6.1.5 Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα

Η αντοχή του λοξού θλιπτήρα $V_{Rd,max}$ στον EC2 δίνεται από τη σχέση:

Πίνακας 6.3: Αντοχή λοξού θλιπτήρα

Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα	
EC2	$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta)$, θ μεταβλητή
ΕΚΩΣ	$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot (1 + \cot\alpha)$, $\theta = 45^\circ$

Σημειώσεις:

1. Στην περίπτωση που ο οπλισμός είναι **κατακόρυφος** η σχέση παίρνει τη μορφή:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) \quad (\text{EC2})$$

Για τις γωνίες θ και α ισχύουν όσα αναφέρθηκαν και προηγουμένως.

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \quad (\text{ΕΚΩΣ})$$

όπου πρόκειται για την ίδια σχέση με αυτή του EC2, για την περίπτωση που $\theta = 45^\circ$.

2. Ο συντελεστής v λαμβάνει υπόψη τη μείωση της αντοχής σε θλίψη του ρηγματωμένου σκυροδέματος λόγω διάτμησης (το σκυρόδεμα βρίσκεται υπό ετερόσημη διαξονική ένταση) και δίνεται από τη σχέση:

$$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right], \text{ με } f_{ck} \text{ σε MPa (EC2)}$$

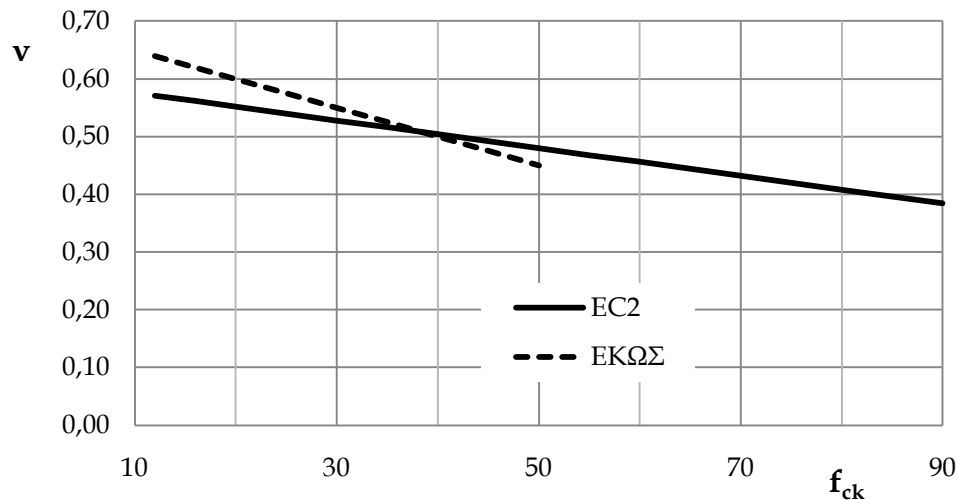
Στην περίπτωση στοιχείων είτε σιδηροπαγούς είτε προεντεταμένου σκυροδέματος, αν η τάση σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης είναι κάτω από το 80% της χαρακτηριστικής τάσης διαρροής f_{yk} , τότε η τιμή του v μπορεί να λαμβάνεται ως εξής:

$$v = 0,6 \quad \text{για } f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$$

$$v = 0,9 - f_{ck}/200 > 0,5 \quad \text{για } f_{ck} \geq 60 \text{ MPa}$$

Υπάρχει διαφορά στην εκτίμηση του συντελεστή v , ο οποίος στον ΕΚΩΣ δίνεται από τη σχέση:

$$v = 0,70 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0,50, \text{ με } f_{ck} \text{ σε MPa}$$



Σχήμα 6.6: Συγκριτικό διάγραμμα συντελεστή v

3. Ο συντελεστής α_{cw} λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέλμα, αυξάνοντας την αντοχή των λοξών θλιπτηρών σε περίπτωση αξονικής θλίψης του στοιχείου, και δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha_{cw} = 1 \quad \text{για μη προεντεταμένες κατασκευές}$$

$$\alpha_{cw} = (1 + \sigma_{cp}/f_{cd}) \quad \text{για } 0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 1,25 \quad \text{για } 0,25 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 2,5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd}) \quad \text{για } 0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 1,0 f_{cd}$$

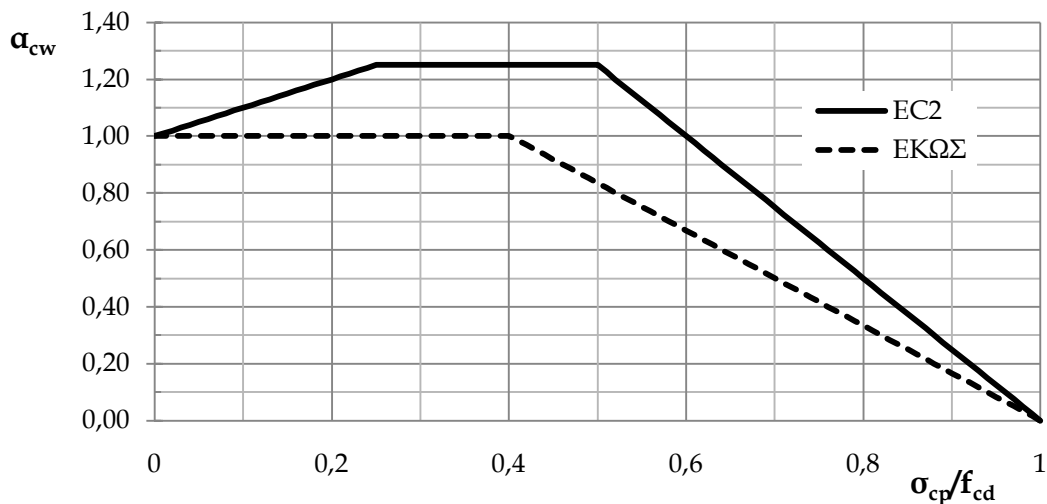
Η τάση σ_{cp} είναι η μέση θλιπτική τάση, λαμβανόμενη με θετικό πρόσημο, λόγω του αξονικού φορτίου σχεδιασμού, ανηγμένο σε όλη τη διατομή του σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένου του οπλισμού. Η σ_{cp} δε χρειάζεται αν υπολογίζεται σε μια απόσταση μικρότερη από $0,5d \cot \theta$, από την παρειά μιας στήριξης.

Ενώ στον ΕΚΩΣ, η περίπτωση στοιχείου υποκείμενου σε θλιπτική ορθή δύναμη λαμβάνεται υπόψη μέσω της μείωσης της V_{Rd2} , ως εξής:

$$V_{Rd2,red} = 1,67 \cdot V_{Rd2} \cdot (1,00 - \sigma_{cp,eff} / f_{cd}) < V_{Rd2}$$

Όπου $\sigma_{cp,eff} = (N_{sd} - f_{yk} \cdot A_{s2} / \gamma_s) / A_c$ με A_{s2} τη διατομή του οπλισμού στη θλιβόμενη ζώνη.

Άρα, ο αντίστοιχος συντελεστής α_{cw} ισούται με $\alpha_{cw} = 1,67 \cdot (1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$.



Σχήμα 6.7: Συγκριτικό διάγραμμα συντελεστή α_{cw}

❖ Διαφορές με ΕΚΩΣ

1. Στην εκτίμηση των επιρροών της αξονικής θλιπτικής δύναμης
2. Στην εκτίμηση του συντελεστή ν για τη μείωση της αντοχής ρηγματωμένου σκυροδέματος

6.1.6 Πρόσθετος Διαμήκης Οπλισμός

Ο EC2 προβλέπει πρόσθετο διαμήκη οπλισμό, για την ανάληψη της πρόσθετης εφελκυστικής δύναμης ΔF_{td} που οφείλεται στη διάτμηση. Ο εν λόγω οπλισμός μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\Delta F_{td} = 0,5 \cdot V_{Ed} \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)$$

αλλά η τιμή $(M_{Ed}/z) + \Delta F_{td}$ δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή $(M_{Ed,max}/z)$.

Σημείωση: Η μέγιστη ενεργός διατομή του οπλισμού διάτμησης $A_{sw,max}$ για $\cot \theta = 1$ είναι (NEA ΑΠΑΙΤΗΣΗ):

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot \sin \alpha$$

6.2 ΣΤΡΕΨΗ

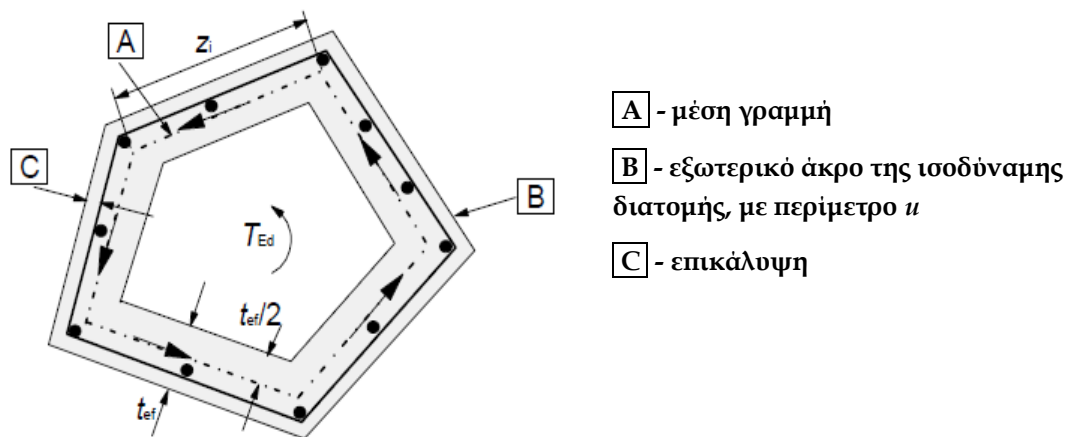
6.2.1 Βασικές Αρχές & Ορισμοί

Στην §6.3 του EC2 αναπτύσσεται η διαδικασία ελέγχου έναντι στρέψης για στοιχεία από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Οι βασικές αρχές είναι κατά κανόνα ίδιες με τον ΕΚΩΣ, γι' αυτό θα τις περιγράψουμε συνοπτικά και θα εστιάσουμε κυρίως στις διαφορές που υπάρχουν και στα βήματα σχεδιασμού.

Συνοπτικά οι βασικές αρχές σχεδιασμού οι εξής, όπως δίνονται στην §6.3.1 του κανονισμού:

1. Διάκριση άμεσης και έμμεσης στρέψης
2. Θεώρηση ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής (μη συμπαγείς διατομές: $t_{ef} \leq t_{πραγμ}$)
3. Κάθε σύνθετη διατομή επιτρέπεται να διασπάται σε επιμέρους ($T_{Rd} = \sum T_{Rd,i}$), που μπορούν να σχεδιάζονται ανεξάρτητα
4. Κατανομή βάσει αρηγμάτων δυστρεψιών.
5. Επιτρέπεται να επαλληλίζονται τα εντατικά μεγέθη λόγω στρέψης και διάτμησης θεωρώντας όμως ίδια τιμή για την κλίση θ του λοξού θλιπτήρα

Ορισμοί



Σχήμα 6.8: Ισοδύναμη κοίλη διατομή (EC2)

- A_k Το εμβαδόν που περικλείεται από τη μέση γραμμή των επιμέρους τοιχωμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών
- $\tau_{t,i}$ Η διατμητική τάση λόγω στρέψης στο τοίχωμα i
- $t_{eff,i}$ Το πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής. Μπορεί να λαμβάνεται ίσο προς A/u , αλλά δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το διπλάσιο της απόστασης μεταξύ του άκρου της διατομής και του κέντρου του διαμήκους οπλισμού. Στις κοίλες διατομές το άνω όριο είναι το πραγματικό πάχος τους
- A Το συνολικό εμβαδόν της διατομής που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο, συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών

- 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

Η διατμητική τάση στο τοίχωμα μιας διατομής που υπόκειται σε καθαρή ροπή στρέψης μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tau_{t,i} \cdot t_{\text{eff},i} = \frac{T_{\text{Ed}}}{2 \cdot A_k}, \text{ όπου } T_{\text{Ed}} \text{ είναι η δρώσα στρεπτική ροπή σχεδιασμού.}$$

Η τέμνουσα δύναμη λόγω στρέψης δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\text{Ed},i} = \tau_{t,i} \cdot t_{\text{eff},i} \cdot z_i$$

6.2.2 Οπλισμός Στρέψης

Οι απαιτούμενοι διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί ΣA_{sl} και ΣA_{sw} , για δρώσα ροπή στρέψης T_{Ed} , μπορούν να υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις, οι οποίες είναι **ιδίως με αυτές του ΕΚΩΣ** (εκεί υπολογίζουμε τις αντίστοιχες αντοχές T_{Rd3} και T_{Rd2}):

Πίνακας 6.4: Οπλισμός στρέψης

Οπλισμός Στρέψης	
Διαμήκης Οπλισμός	$\frac{\Sigma A_{sl} \cdot f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{\text{Ed}}}{2 \cdot A_k} \cdot \cot \theta$
Εγκάρσιος Οπλισμός	$\frac{\Sigma A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} = \frac{T_{\text{Ed}}}{2 \cdot A_k} \cdot \tan \theta$

Σημειώσεις:

1. όπου:

- u_k η περίμετρος της περιοχής με εμβαδόν A_k
- f_{yd} η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής του οπλισμού
- θ η γωνία των λοξών θλιπτήρων (για τη γωνία θ ισχύουν όσα αναφέρθηκαν και στη διάτμηση)

Σε θλιβόμενα πέλατα ο EC-2 επιτρέπει τη μείωση του απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού, ανάλογα με τη διαθέσιμη θλιπτική δύναμη. Στις εφελκόμενες χορδές, ο απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός πρέπει να προστίθεται σε αυτόν που απαιτείται για άλλους λόγους (π.χ. κάμψη). Ο διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης διανέμεται, εν γένει, κατά μήκος της πλευράς z_i , αλλά για μικρότερες διατομές μπορεί να συγκεντρώνεται στα άκρα αυτής της πλευράς. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**

2. όπου:

- s η απόσταση των συνδετήρων

- ❖ **Παρατήρηση:** Στον EC2 δεν δίνεται η αντίστοιχη σχέση για τον υπολογισμό του απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού, ωστόσο, με βάση την σχέση για το διαμήκη, μπορούμε να υπολογίσουμε τον οπλισμό αυτό από την παραπάνω σχέση.

6.2.3 Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα

Η αντοχή σε λοξή θλίψη του σκυροδέματος των τοιχωμάτων της ισοδύναμης διατομής προσδιορίζεται από τη σχέση:

Πίνακας 6.5: Αντοχή λοξού θλιπτήρα

Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα	
EC2	$T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$
ΕΚΩΣ	$T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$

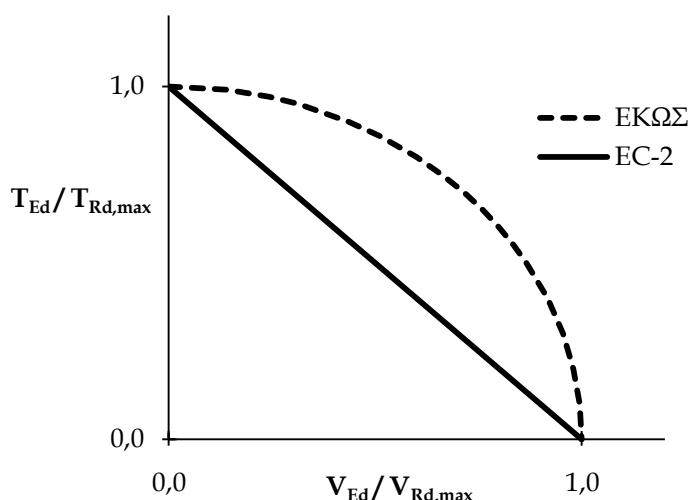
Σημειώσεις: Τα v & α_{cw} υπολογίζονται όπως και στην περίπτωση της $V_{Rd,max}$. Οι δύο σχέσεις είναι ίδιες μόνο που το v υπολογίζεται διαφορετικά, ενώ στον EC2 υπάρχει και ο συντελεστής α_{cw} .

Για στοιχεία υποκείμενα **ταυτόχρονα σε στρέψη και διάτμηση** η μέγιστη αντίσταση περιορίζεται από την αστοχία των λοξών θλιπτήρων, κάτι που εξασφαλίζεται μέσω της παρακάτω συνθήκης:

Πίνακας 6.6: Έλεγχος υπό στρέψη και διάτμηση

EC2	$T_{Ed}/T_{Rd1} + V_{Ed}/V_{Rd2} \leq 1,0$
ΕΚΩΣ	$(T_{Ed}/T_{Rd1})^2 + (V_{Ed}/V_{Rd2})^2 \leq 1,0$ (για κοίλες διατομές: $T_{Ed}/T_{Rd1} + V_{Ed}/V_{Rd2} \leq 1,0$)

- ❖ Όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα που απεικονίζει τις σχέσεις ελέγχου με τον EC2 και με τον ΕΚΩΣ, ο EC2 είναι περισσότερο συντηρητικός και δίνει μικρότερα περιθώρια.



Σχήμα 6.9: Συγκριτικό διάγραμμα αλληλεπίδρασης στρέψης - διάτμησης (για συμπαγείς διατομές)

6.2.4 Σχεδιασμός χωρίς Απαιτήση Οπλισμού Στρέψης

Για περίπου ορθογωνικές συμπαγείς διατομές **απαιτείται μόνο ο ελάχιστος οπλισμός**, αν ισχύει η παρακάτω συνθήκη (νέα διάταξη):

$$T_{Ed}/T_{Rd,c} + V_{Ed}/V_{Rd,c} \leq 1,0$$

Η $T_{Rd,c}$ είναι η ροπή στρέψης κατά τη ρηγματώση και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} \cdot t_{ef,i} \cdot 2 \cdot A_k$$

ενώ η $V_{Rd,c}$ ορίστηκε παραπάνω στα περι διάτμησης.

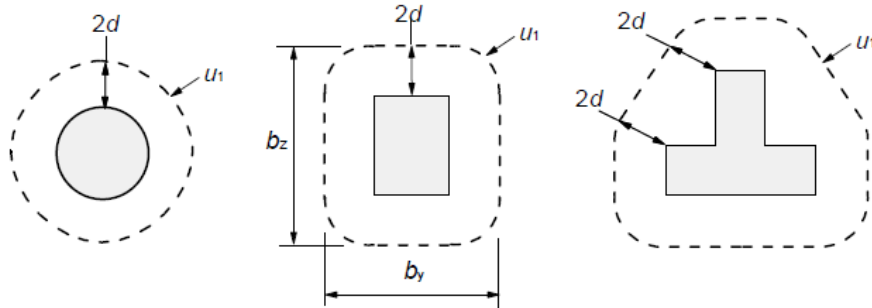
- ❖ Στον EC2 **δεν αναφέρεται** κάτι για την περίπτωση **περιορισμού της κύριας θλιπτικής τάσης** του σκυροδέματος όταν η διατομή υπόκειται σε συνδυασμό υψηλής καμπτικής ροπής και στρέψης. Ο ΕΚΩΣ επιβάλλει η θλιπτική τάση του σκυροδέματος να μην υπερβαίνει την τιμή $0,85f_{cd}$.

6.3 ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Στην §6.4 του EC2, αναπτύσσεται η διαδικασία ελέγχου έναντι διάτμησης, για δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στα επόμενα θα επισημάνουμε τις **διαφορές** που υπάρχουν με την αντίστοιχη διαδικασία ελέγχου στον ΕΚΩΣ.

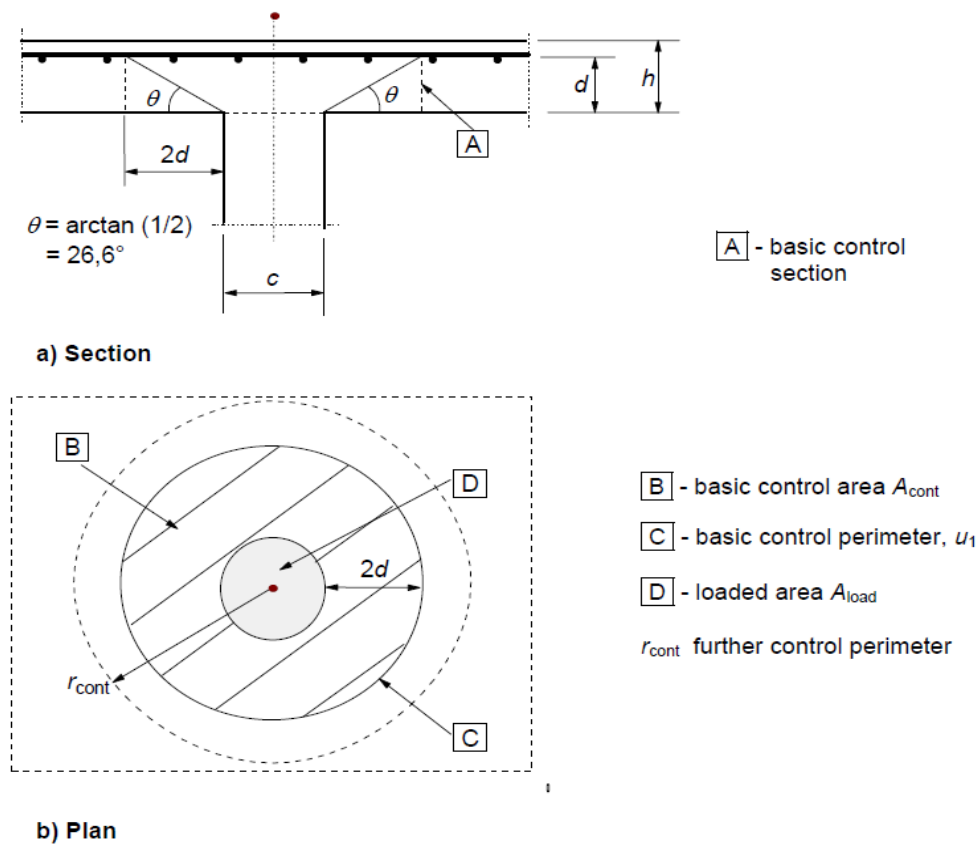
❖ Διαφορές με ΕΚΩΣ

1. Η βασική περιμετρος ελέγχου (κρίσιμη περιμετρος) στον EC2 αυξάνεται σε $2,0d$ από $1,5d$ που είναι στον ΕΚΩΣ. (λιγότερο συντηρητικός ο EC2). Αυτή η αλλαγή ισχύει για όλες τις περιπτώσεις είτε πεδίου είτε πλάκας (σε υποστώμα ενδιάμεσο, ακραίο ή γωνιακό).



Σχήμα 6.10: Τυπικές βασικές περιμετροι ελέγχου γύρω από φορτιζόμενες επιφάνειες (EC2)

2. Η αντοχή σε τέμνουσα ελέγχεται στην εξωτερική παρειά του υποστυλώματος και στη βασική περιμετρο ελέγχου u_1 . Αν απαιτείται οπλισμός διάτμησης **πρέπει να προσδιορίζεται και μια επιπλέον περιμετρος u_{out}** , όπου δεν απαιτείται πλέον ο οπλισμός αυτός.



Σχήμα 6.11: Μοντέλο υπολογισμού για τον έλεγχο της Ο.Κ.Α. από διάτμηση (EC2)

3. Η μέγιστη διατμητική τάση με την οποία γίνεται ο έλεγχος όταν η αντίδραση σε μια στήριξη δρα έκκεντρα, δίνεται από τη σχέση:

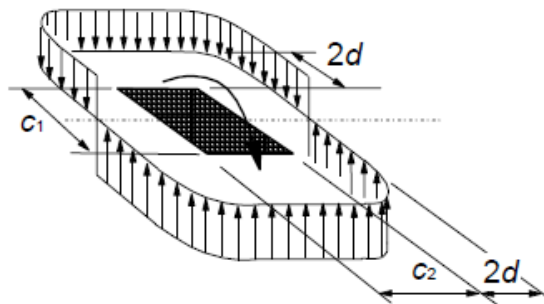
$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

$$\text{όπου: } \beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1},$$

$$\text{με } W_1 = \int_0^{u_1} |e| \cdot dl \text{ (για τους συμβολισμούς βλ. §6.4.3(3) του EC2)}$$

Πίνακας 6.7: Τιμές του k για ορθογωνικές φορτιζόμενες επιφάνειες

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80



Σχήμα 6.12: Κατανομή της τέμνουσας από ροπή λόγω εκκεντρότητας σε έναν κόμβο πλάκας εσωτερικού υποστυλώματος (EC2)

Στον ΕΚΩΣ δεν δίνεται αυτή η σχέση, παρά μόνο τιμές του συντελεστή β για συγκεκριμένες περιπτώσεις, οι οποίες υπό προϋποθέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν απλούστερος τρόπος υπολογισμού και στον EC2.

4. Όταν $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$, δηλαδή η αντοχή σε διάτρηση χωρίς οπλισμό διάτμησης είναι μεγαλύτερη από τη δρώσα τέμνουσα, δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης. Η $V_{Rd,c}$ που πρέπει να εκτιμάται στη βασική περίμετρο ελέγχου δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις ανάλογα με την περίπτωση:

Πίνακας 6.8: Αντοχή χωρίς οπλισμό διάτμησης

EC2	
πλάκες	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp})$
βάση υποστυλώματος (πέδιλα)	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \geq v_{min} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}$
ΕΚΩΣ	
εν γένει	$v_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,20 + 40 \cdot \rho_1) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot d$

Σημειώσεις:

- i. Για τους συμβολισμούς ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην §6.1.3 της παρούσας (βλ. και §6.4.4 του EC2).
- ii. $\rho_1 = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,020$, EC2
 $\rho_1 = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,015$, ΕΚΩΣ
- iii. Στον EC2 στη **βάση υποστυλωμάτων** από τη δρώσα δύναμη αφαιρείται η εδαφική πίεση:
 $V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$.
- iv. Στον EC2 για **κεντρική** φόρτιση: $v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d}$
- v. Στον EC2 για **έκκεντρη** φόρτιση: $v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \cdot [1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u}{W}]$
- vi. a είναι η απόσταση από την περίμετρο του υποστυλώματος ως τη θεωρούμενη περίμετρο ελέγχου.

5. Στην παρειά του υποστυλώματος πρέπει να ισχύει:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} \leq V_{Rd,max}$$

(για εσωτερικά υποστυλώματα u_0 είναι η περιμετρος αυτού, για άλλες περιπτώσεις βλ. 6.4.5(3) του EC2)

Η αντοχή $V_{Rd,max}$ δίνεται ως εξής:

$$\text{EC2: } v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\text{ΕΚΩΣ: } v_{Rd,max} = 1,6 \cdot v_{Rd1}$$

- ❖ Όμως στον ΕΚΩΣ ο έλεγχος γίνεται για τη βασική περίμετρο ελέγχου όπου η δρώσα τέμνουσα είναι μικρότερη (ουσιαστικά είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει η αντοχή διάτρησης), γι' αυτό και με τη σχέση του ΕΚΩΣ προκύπτουν **πολύ μικρότερες τιμές**.

Πίνακας 6.9: Πίνακας τιμών της $v_{Rd,max}$ (v_{Rd2} κατά ΕΚΩΣ, με $d=0,50m$ και $\rho_1=0,010$)

f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
EC2	2,28	3,00	3,68	4,50	5,28	6,02	6,72	7,38	8,00	8,58	9,12	10,08	10,88	11,52
ΕΚΩΣ	0,52	0,61	0,70	0,84	0,94	1,03	1,17	1,27	1,36	-	-	-	-	-

6. Η αντοχή σε διάτρηση με οπλισμό διάτμησης δίνεται ως εξής:

Πίνακας 6.10: Αντοχή σε διάτρηση με οπλισμό

Αντοχή σε Διάτρηση με Οπλισμό Διάτμησης	
EC2	$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d / s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot (1 / (u_1 d)) \cdot \sin \alpha$
ΕΚΩΣ	$v_{Rd,cs} = v_{Rd,c} + \sum A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha / (u \cdot d)$

Σημειώσεις:

όπου:

A_{sw} η συνολική επιφάνεια του οπλισμού σε μια περίμετρο (βλ. και Σχήμα 6.12)

s_r η αξονική απόσταση των περιμέτρων του οπλισμού διάτμησης [mm]

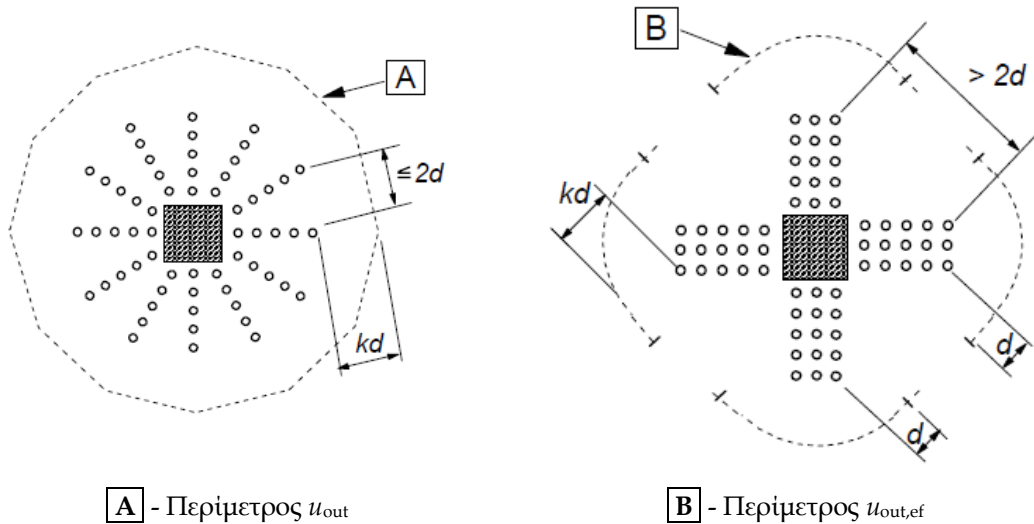
$f_{ywd,ef}$ η δρώσα τιμή σχεδιασμού της αντοχής του οπλισμού διάτρησης, σύμφωνα με τη σχέση $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_{ywd}$ [MPa]

- ❖ Με τον EC2 μείωση της συνεισφοράς του σκυροδέματος στη συνολική αντοχή
- ❖ Η σχέση υπολογισμού των συνδετήρων είναι διαφορετική λόγω της κυκλικής διάταξης αυτών.

7. Η εξωτερική περιμετρος ελέγχου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης, u_{out} (ή $u_{out,ef}$) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$u_{out,ef} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d}$$

Η εξώτατη περιμετρος οπλισμού διάτμησης πρέπει να τοποθετείται σε μια απόσταση όχι μεγαλύτερη από kd ($k=1,5$) εντός της u_{out} (ή $u_{out,ef}$).



Σχήμα 6.13: Περιμετροι ελέγχου σε εσωτερικά υποστυλώματα (EC2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος έναντι αστοχίας από φαινόμενα 2^{ας} τάξεως πραγματοποιείται στον EC2 με κάποιες αλλαγές σχέση με τον ΕΚΩΣ στις μεθόδους ανάλυση και στις σχέσεις υπολογισμού τις οποίες θα παρουσιάσουμε συνοπτικά στον επόμενο Πίνακα 7.1. Σημειώνουμε πως ο έλεγχος γίνεται **είτε για πλαίσια είτε για μεμονωμένα υποστυλώματα**. Για λόγους αντισεισμικής συμπεριφοράς συνιστάται να αποφεύγεται ο σχεδιασμός μεταθετών πλαισίων.

7.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ 2^{ΑΣ} ΤΑΞΗΣ

Για τα φαινόμενα 2^{ας} τάξης εφαρμόζονται τα κριτήρια και οι μέθοδοι ανάλυσης του Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1: Σύγκριση διαδικασίας ελέγχου σε λυγισμό EC2/ΕΚΩΣ

	EC2/EC8	ΕΚΩΣ/ΕΑΚ
Αμετάθετα Πλαίσια		
Κριτήρια Αμεταθετότητας (αρκεί να ισχύει ένα από τα δύο)	<p>α) αν ισχύει η επόμενη σχέση αγνοούνται τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως</p> $F_{V,Ed} \leq 0,31 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \cdot \frac{\sum E_{cd} I_c}{L^2} \quad [1]$ <p>β) υπολογίζεται ο δείκτης σχετικής μετακίνησης $\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h}$</p> <p>i. αν $\theta \leq 0,10$, αγνοούνται τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως</p> <p>ii. αν $0,10 \leq \theta \leq 0,20$, τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως λαμβάνονται υπόψη με πολλαπλασιασμό των αποτελεσμάτων της σεισμικής δράσης με το συντελεστή $\frac{1}{1-\theta}$</p> <p>iii. δεν πρέπει $\theta > 0,30$ για κατασκευές με αντισεισμικές απαιτήσεις</p>	<p>α) αν ισχύει η επόμενη σχέση αγνοούνται τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως</p> $L \cdot \sqrt{F_{V,Ed} / \sum E_{cm} \cdot I_c} \leq 0,20 + 0,10 \cdot n_s \quad [2]$ <p>β) υπολογίζεται ο δείκτης σχετικής μετακίνησης $\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h}$</p> <p>i. αν $\theta \leq 0,10$, αγνοούνται τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως</p> <p>ii. αν $0,10 \leq \theta \leq 0,20$, τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως λαμβάνονται υπόψη με πολλαπλασιασμό των αποτελεσμάτων της σεισμικής δράσης με το συντελεστή $\frac{1}{1-\theta}$</p> <p>iii. δεν πρέπει $\theta > 0,20$ για κατασκευές με αντισεισμικές απαιτήσεις</p>

Μεμονωμένα Θλιβόμενα Στοιχεία		
Κριτήριο Λυγηρότητας ^[3]	$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C^{[4]}}{\sqrt{v_d}}$	$\lambda_{lim} = \max \left\{ 25, \frac{15}{\sqrt{v_d}} \right\}$
Μήκος Λυγισμού	είτε με αναλυτικές σχέσεις είτε απλοποιητικά ανάλογα με τις συνθήκες πακτώσεως ^[5]	μέσω νομογραφήματος ^[6]
Μέθοδοι Ανάλυσης		
Ακριβείς Μέθοδοι	Γενική Μέθοδος Μη-Γραμμικής Ανάλυσης 2 ^{ας} Τάξεως (για πλαίσια και για μεμονωμένα στοιχεία)	
Απλοποιημένες Μέθοδοι	<p>i. Μέθοδος Ανάλυσης βάσει Ονομαστικών Καμπυλοτήτων (κυρίως για τον έλεγχο μεμονωμένων στοιχείων)</p> $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$ <p>όπου:</p> $M_{0Ed} = M_0 + N_{Ed} \cdot (e_0 + e_i) \quad \text{και}$ $M_2 = N_{Ed} \cdot e_2^{[7]}$ <p>ii. Μέθοδος Ανάλυσης βάσει Ονομαστικών Δυσκαμψιών (για έλεγχο πλαισίων και μεμονωμένων στοιχείων)</p> <p>Λαμβάνει υπόψη μη-γραμμικότητα υλικού, ρηγμάτωση και ερπυσμό με</p> $EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$ <p>και η ροπή προσαυξάνεται ως εξής:</p> $M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left[1 + \frac{\beta}{(N_B/N_{Ed}) - 1} \right]^{[8]}$	<p>Μέθοδος Πρότυπου Υποστολώματος^[9] (αντίστοιχη της μεθόδου καμπυλοτήτων του ΕΚΩΣ, για τον έλεγχο μεμονωμένων στοιχείων)</p> <p>προϋποθέσεις εφαρμογής:</p> $\lambda \leq 140 \quad \text{και} \quad e_0 \geq 0,10 \cdot h$

Σημειώσεις:

1. Η σχέση με απλό μετασχηματισμό καταλήγει στην ίδια μορφή με αυτήν του ΕΚΩΣ, αλλά με διαφορετικά όρια:

$$L \cdot \sqrt{F_{V,Ed} / \sum E_{cd} I_c} \leq \sqrt{0,31 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6}}$$

Ωστόσο, στον EC2 χρησιμοποιείται η τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας $E_{cd} = E_{cm}/1,2$.

Οι οριακές τιμές, αν και δίνονται από λίγο διαφορετικές σχέσεις έχουν αμελητέες διαφορές.

2. Στην περίπτωση που $n_s \geq 4$ η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι 0,60.
3. Η λυγηρότητα ορίζεται ως εξής: $\lambda = I_0/i$, με I_0 το ισοδύναμο μήκος λυγισμού και i η ακτίνα αδράνειας.

4. Όπου:

$$A = 1/(1+0,2\varphi_{ef}) \text{ (εάν το } \varphi_{ef} \text{ είναι άγνωστο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή } A=0,7)$$

$$B = 1+2\omega \text{ (εάν το } \omega \text{ είναι άγνωστο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή } B=1,1)$$

$$C = 1,7-r_m \text{ (εάν το } r_m \text{ είναι άγνωστο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή } C=0,7)$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) M_{0E_{qp}} / M_{0E_{d}}, \text{ ο ενεργός συντελεστής ερπυσμού}$$

$$\varphi(\infty, t_0) \text{ ο τελικός συντελεστής ερπυσμού}$$

$$\omega = A_s f_{yd} / (A_c f_{cd}) \text{ μηχανικό ποσοστό οπλισμού}$$

$$r_m = M_{01} / M_{02}, \text{ ο λόγος ροπών}$$

$M_{0E_{qp}}, M_{0E_{d}}$ είναι οι ροπές 1ης τάξης σε κατάσταση ΟΚΛ και ΟΚΑ αντίστοιχα

M_{01}, M_{02} είναι οι ροπές στήριξης 1ης τάξης, $|M_{02}| \geq |M_{01}|$

Με την παρούσα σχέση υπολογισμού της λ_{lim} προκύπτουν μικρότερες τιμές, άρα ο EC2 είναι **συντηρητικότερος**. Για παράδειγμα αν εφαρμόσουμε τη σχέση για τις προτεινόμενες τιμές των συντελεστών A, B, C , οι οποίες είναι σημειωτέον αρκετά συντηρητικές, προκύπτει:

$$\lambda_{lim} = \frac{10,8}{\sqrt{v_d}} < \frac{15}{\sqrt{v_d}} \text{ (ΕΚΩΣ)}.$$

5. Βλ. §5.8.3.2 του EC2.

6. Βλ. §14.4.2 του ΕΚΩΣ.

7. $e_2 = \left(\frac{1}{r} \right) \cdot \frac{l_0^2}{c}$

$$\text{με: } \frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0}, \quad \frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} \text{ και } c = 8 - 10$$

(οι συντελεστές της εξίσωσης ορίζονται πλήρως στην §5.8.8.2(4) και §5.8.8.3 του EC2)

8. $\beta = \pi^2/c_0$, για το c_0 βλ. §5.8.7.3(2) του EC2.

9. Αναλυτικά βλ. §14.4.7.1 του ΕΚΩΣ.

➤ Για την παράλειψη των επιρροών δευτέρας τάξεως στο συνολικό φορέα δίνονται αναλυτικά κριτήρια και στο Παράρτημα Η του EC2.

7.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ

Οι δυσμενείς επιρροές πιθανών αποκλίσεων στη γεωμετρία της κατασκευής και στη θέση των φορτίων λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση σύμφωνα με τον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2: Εκτίμηση γεωμετρικών ατελειών

Εκτίμηση Γεωμετρικών Ατελειών		
	EC2/EC8	ΕΚΩΣ/ΕΑΚ
Πρόσθετα Εντατικά Μεγέθη	<p>Λαμβάνεται υπόψη με έναν από τους παρακάτω τρόπους με:</p> $\theta_i = \frac{1}{200} \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m^{[1]}$ <p>Μεμονωμένα στοιχεία^[2]</p> <p>i. εκκεντρότητα αξονικής δύναμης</p> $e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2}$ <p>ii. εγκάρσια δύναμη</p> $H_i = \theta_i \cdot N$ (μη πλευρικός παγιωμένα δομικά στοιχεία) $H_i = 2 \cdot \theta_i \cdot N$ (πλευρικός παγιωμένα δομικά στοιχεία)	<p>Εκκεντρότητα αξονικής δύναμης</p> $e_i = \alpha \cdot \frac{l_0}{2}$ <p>όπου:</p> $\alpha = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{I}}$

Σημειώσεις:

1. Όπου:

$\alpha_h = \sqrt{I}$ με $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$ & $\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot (1 + 1/m)}$ (l είναι το μήκος του στοιχείου ή το ύψος του κτιρίου, βλ. και §5.2(6) του EC2).

2. Για **Δομικά συστήματα** εφαρμόζονται οι εξής δυνάμεις:

i. $H_i = \theta_i \cdot (N_b - N_a)$

(στο σύστημα πλευρικής παγίωσης)

ii. $H_i = \theta_i \cdot (N_b + N_a)/2$

(στο διάφραγμα ορόφου)

iii. $H_i = \theta_i \cdot N_a$

(στο διάφραγμα στέγης)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο: ΜΟΝΤΕΛΑ ΘΛΙΠΤΗΡΑ - ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Οι πληροφορίες του παρόντος κεφαλαίου αντλούνται από τις §5.6.4, §6.5 και το Παράρτημα J του EC2. Στον ΕΚΩΣ δεν περιέχονται αναλυτικές οδηγίες για σχεδιασμό με μοντέλα θλιπτήρα-ελκυστήρα (Μ.Θ.Ε.), εκτός ορισμένων οδηγιών που αφορούν στους κοντούς προβόλους και τις υψίκορμες δοκούς (Παράρτημα Α του ΕΚΩΣ). Πρόκειται, δηλαδή για νέο κεφάλαιο.

Τα Μ.Θ.Ε. μπορούν να χρησιμοποιούνται για:

- το **σχεδιασμό έναντι ΟΚΑ** περιοχών με **συνέχεια** (ρηγματωμένη κατάσταση δοκών και πλακών) καθώς και για τους κανόνες όπλισης περιοχών με **ασυνέχεια** (στηρίξεις, θέσεις συγκεντρωμένων φορτίων). Γενικά, αυτές εκτείνονται **μέχρι μια απόσταση h** (ύψος διατομής του στοιχείου) από την ασυνέχεια.
- περιπτώσεις **επίπεδων παραμορφώσεων**.
- τον **έλεγχο έναντι ΟΚΛ** (έλεγχος τάσεων χάλυβα και εύρους ρηγμάτωσης) εφόσον διασφαλίζεται η προσεγγιστική συμβατότητα παραμορφώσεων

Τα Μ.Θ.Ε. συνίστανται από:

- **θλιπτήρες** που παριστούν πεδία θλιπτικών τάσεων
- **ελκυστήρες** που αντιπροσωπεύουν τον οπλισμό, οι οποίοι ταυτίζονται ως προς τη θέση και τη διεύθυνση με τον αντίστοιχο οπλισμό
- **κόμβους σύνδεσης**

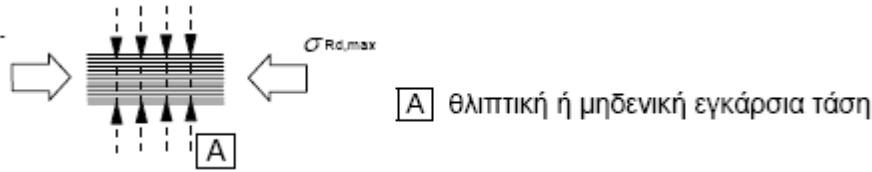
Τα Μ.Θ.Ε. πρέπει να καθορίζονται **διατηρώντας την ισορροπία** με τα επιβαλλόμενα φορτία, ενώ η ανάπτυξη καταλλήλων μοντέλων μπορεί να περιλαμβάνει την **υιοθέτηση τροχιών τάσεων και κατανομών από τη γραμμική ελαστική θεωρία ή τη μέθοδο της διαδρομής φορτίων**. Όλα δε τα μοντέλα θλιπτήρων-ελκυστήρων δύνανται να βελτιστοποιούνται με ενεργειακά κριτήρια.

8.1 ΘΛΙΠΤΗΡΕΣ

Η αντοχή σχεδιασμού των θλιπτήρων σκυροδέματος προσδιορίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

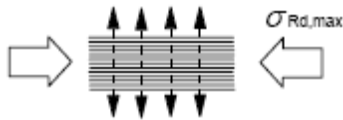
Πίνακας 8.1: Αντοχή θλιπτήρων

Θλιπτική ή Μηδενική Εγκάρσια Τάση	$\sigma_{Rd,max} = f_{cd}$
Ρηγματωμένες Θλιβόμενες Ζώνες (εγκάρσιος εφελκυσμός)	$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$



A θλιπτική ή μηδενική εγκάρσια τάση

Σχήμα 8.1: Αντοχή σχεδιασμού θλιπτήρων σκυροδέματος χωρίς εγκάρσιο εφελκυσμό



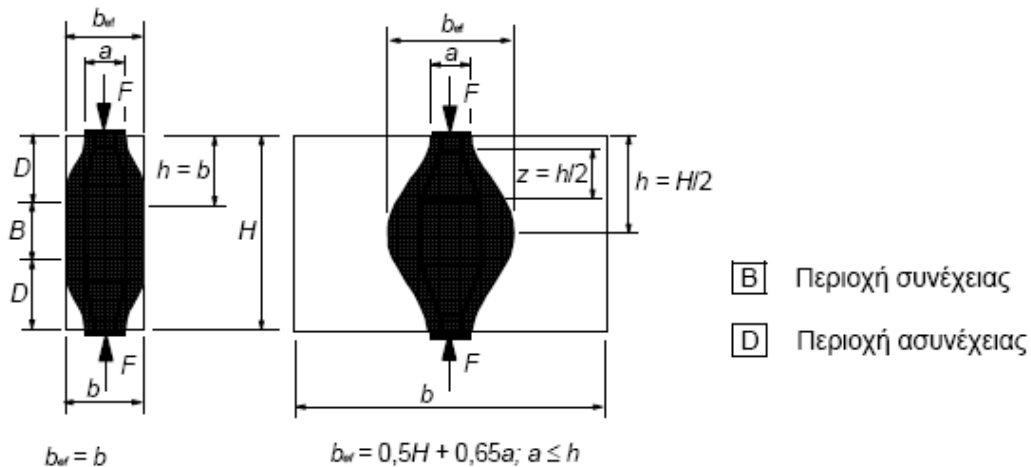
Σχήμα 8.2: Αντοχή σχεδιασμού θλιπτήρων σκυροδέματος με εγκάρσιο εφελκυσμό

8.2 ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ

Η τιμή σχεδιασμού της αντοχής των ελκυστήρων είναι αυτή του χάλυβα. Η εφελκυστική δύναμη T μπορεί να υπολογίζεται ως εξής:

Πίνακας 8.2: Αντοχή ελκυστήρων

Περιοχές Μερικής Ασυνέχειας ($b \leq \frac{H}{2}$)	$T = \frac{1}{4} \cdot \frac{b-a}{b} \cdot F$
Περιοχές Πλήρους Ασυνέχειας ($b > \frac{H}{2}$)	$T = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \frac{a}{h}\right) \cdot F$



α) μερική ασυνέχεια

β) πλήρης ασυνέχεια

Σχήμα 8.3: Παράμετροι για τον προσδιορισμό των εγκάρσιων εφελκυστικών τάσεων

8.3 ΚΟΜΒΟΙ

Τα παρακάτω αφορούν περιοχές στις οποίες **συγκεντρωμένες** δυνάμεις μεταβιβάζονται σε ένα στοιχείο και οι οποίες **δεν** σχεδιάζονται με βάση Μ.Θ.Ε.

Σημειακοί κόμβοι μπορεί να δημιουργούνται σε:

- θέσεις συγκεντρωμένων φορτίων
- στηρίξεις
- περιοχές αγκυρώσεων με συγκέντρωση οπλισμού ή τενόντων προέντασης
- σημείο κάμψης ράβδων οπλισμού
- συνδέσεις ή γωνίες δομικών στοιχείων

Οι τιμές σχεδιασμού των θλιπτικών τάσεων στους κόμβους προκύπτουν ανάλογα με την περίπτωση από τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 8.3: Θλιπτικές τάσεις σχεδιασμού κόμβων

Θλιβόμενος Κόμβος Χωρίς Ελκυστήρες ^[1] (Σχήμα 8.4)	$\sigma_{Rd,max} = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$
Κόμβοι υπό Ταυτόχρονη Θλίψη και Εφελκυσμό με Αγκυρωμένους Ελκυστήρες σε Μία Μόνο Διεύθυνση (Σχήμα 8.5)	$\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$
Κόμβοι υπό Ταυτόχρονη Θλίψη και Εφελκυσμό με Αγκυρωμένους Ελκυστήρες σε Δύο ή Περισσότερες Διευθύνσεις (Σχήμα 8.6)	$\sigma_{Rd,max} = 0,75 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$

Σημειώσεις:

1. Κατά κανόνα, αν έχουμε τρεις θλιπτικές τάσεις, μπορεί να γίνεται η παραδοχή:

$$F_{cd,1}/a_1 = F_{cd,2}/a_2 = F_{cd,3}/a_3, \text{ δηλαδή}$$

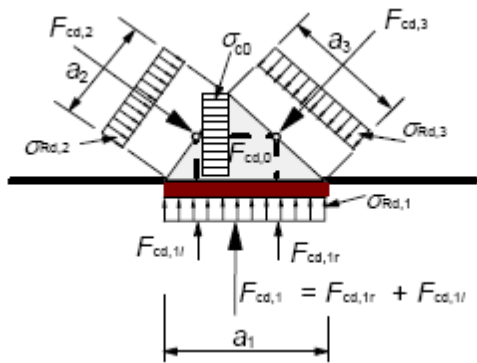
$$\sigma_{cd,1} = \sigma_{cd,2} = \sigma_{cd,3} = \sigma_{cd,0}$$

2. Κάτω από τις προϋποθέσεις που δίνονται στη συνέχεια, οι τιμές σχεδιασμού των θλιπτικών τάσεων που δίνονται παραπάνω **μπορεί να αυξηθούν μέχρι 10% όταν ισχύει μία τουλάχιστον** από τις παρακάτω προϋποθέσεις:

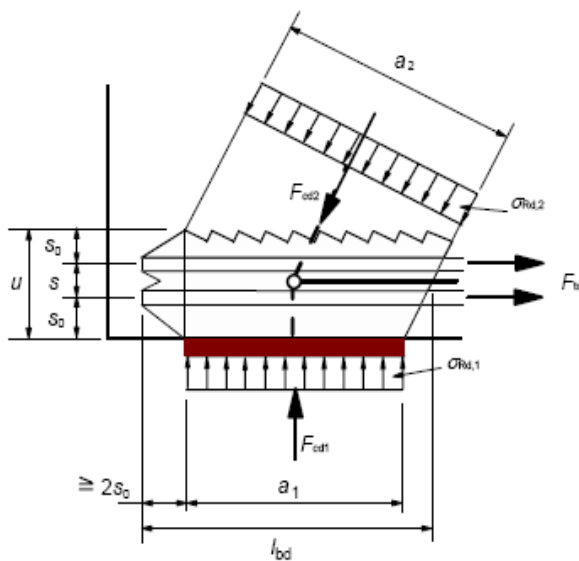
- υπάρχει εξασφαλισμένη τριαξονική θλίψη
- όλες οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ θλιπτήρων και ελκυστήρων είναι $\geq 55^\circ$
- οι τάσεις που ασκούνται σε περιοχές στηρίξεων ή μοναχικών φορτίων είναι ομοιόμορφες και ο κόμβος είναι περιοφισμένος με συνδετήρες
- ο οπλισμός είναι τοποθετημένος σε πολλαπλές στρώσεις
- ο κόμβος είναι αξιόπιστα περιοφισμένος μέσω του τρόπου έδρασής του ή μέσω τριβής

3. Κόμβοι υπό τριαξονική θλίψη μπορεί να ελέγχονται σύμφωνα με τις σχέσεις για το περισφιγμένο σκυρόδεμα και με:

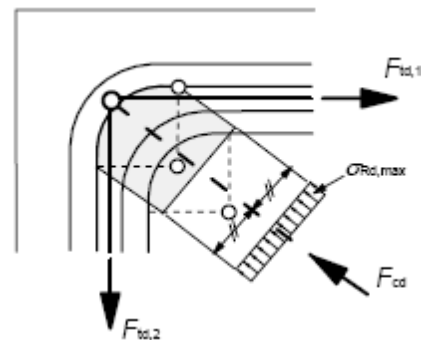
$$\sigma_{Rd,max} = 3,0 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$$



Σχήμα 8.4: Θλιβόμενος κόμβος χωρίς ελκυστήρες



Σχήμα 8.5: Κόμβος υπό ταυτόχρονη θλίψη και εφελκυσμό με οπλισμό σε μία διεύθυνση



Σχήμα 8.6: Κόμβος υπό ταυτόχρονη θλίψη και εφελκυσμό με οπλισμό σε δύο διευθύνσεις

8.3.1 Κόμβοι Δοκού - Υποστυλώματος

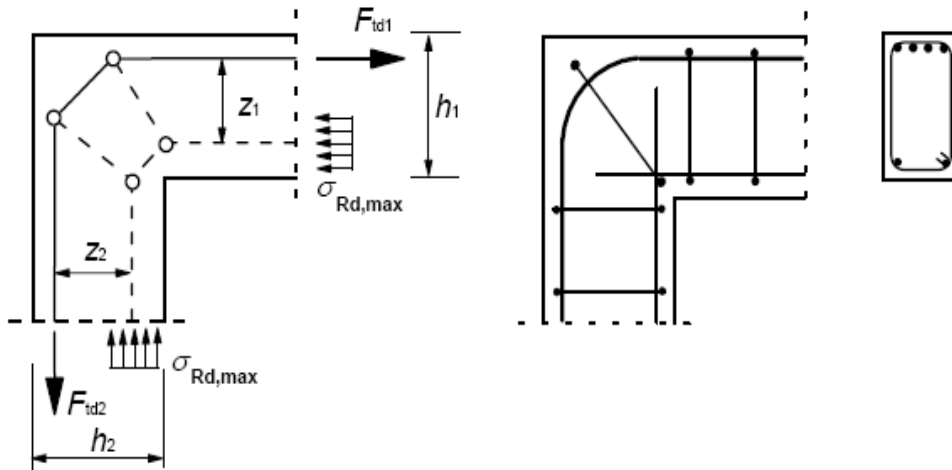
Στο Παράρτημα J.2 του EC2 δίνονται οδηγίες για την όπλιση γωνιών πλαισίων (κόμβων δοκού-υποστυλώματος) που βασίζονται σε Μ.Θ.Ε. Στον ΕΚΩΣ δεν υπάρχουν καθόλου οδηγίες για την όπλιση κόμβων, έτσι πρόκειται ουσιαστικά για νέες (και απαραίτητες) διατάξεις.

8.3.1.1 Κόμβοι με Αρνητικές Ροές

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

α) αν το υποστύλωμα και η δοκός έχουν παρόμοιο ύψος ($2/3 < h_2/h_1 < 3/2$), κι εφόσον **ολόκληρος** ο οπλισμός της δοκού κάμπτεται περιβάλλοντας τη γωνία, τότε:

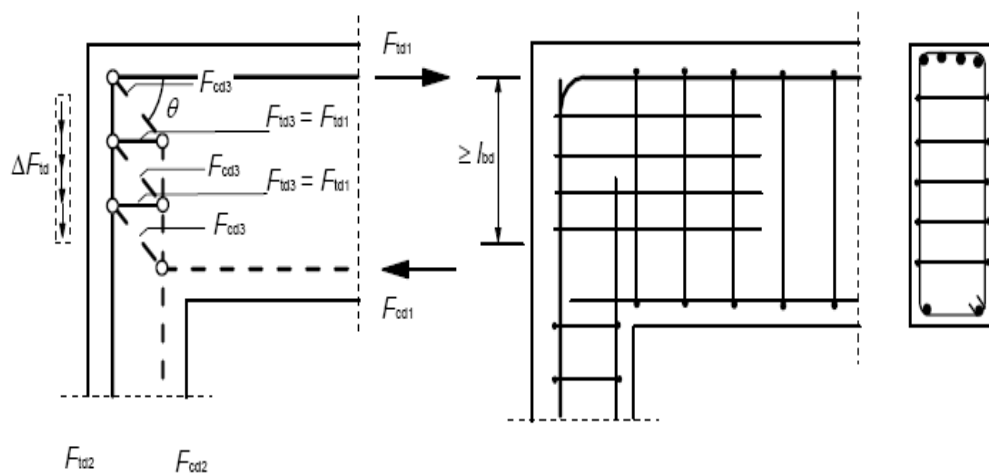
- προσομοίωμα και όπλιση σύμφωνα με το Σχήμα 8.7 και
- **δεν απαιτείται έλεγχος οπλισμού συνδετήρων ή μηκών αγκύρωσης**



Σχήμα 8.7: Δοκός και υποστύλωμα με περίπου ίδιο ύψος

β) αν ισχύει $h_2/h_1 < 2/3$ και $0,4 < \tan \theta < 1,0$ τότε:

- προσομοίωμα και όπλιση σύμφωνα με το Σχήμα 8.8
- **οπλισμός συνδετήρων** για ανάληψη εγκάρσιων εφελκυστικών δυνάμεων (κάθετα στο επίπεδο του κόμβου)
- **έλεγχος του μήκους αγκύρωσης** l_{bd} για δύναμη $\Delta F_{td} = F_{td2} - F_{td1}$

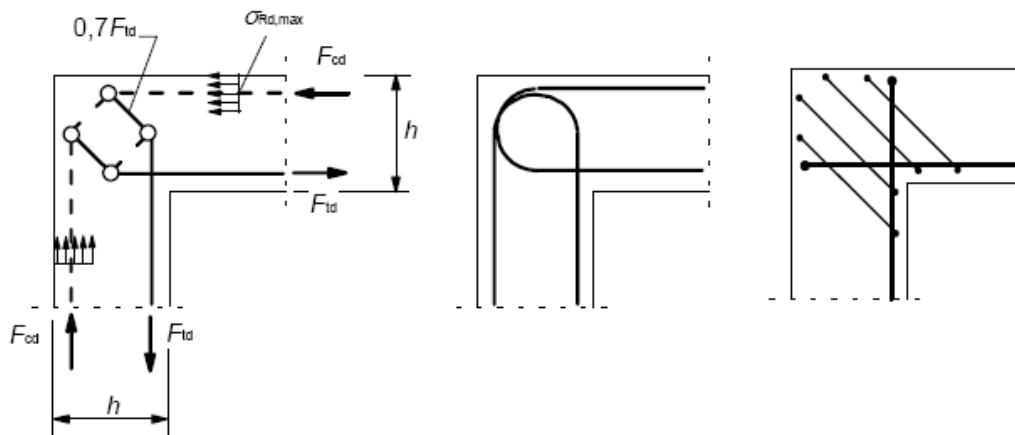


Σχήμα 8.8: Δοκός και υποστύλωμα με σημαντική διαφορά ύψους

8.3.1.2 Κόμβοι με Θετικές Ροπές

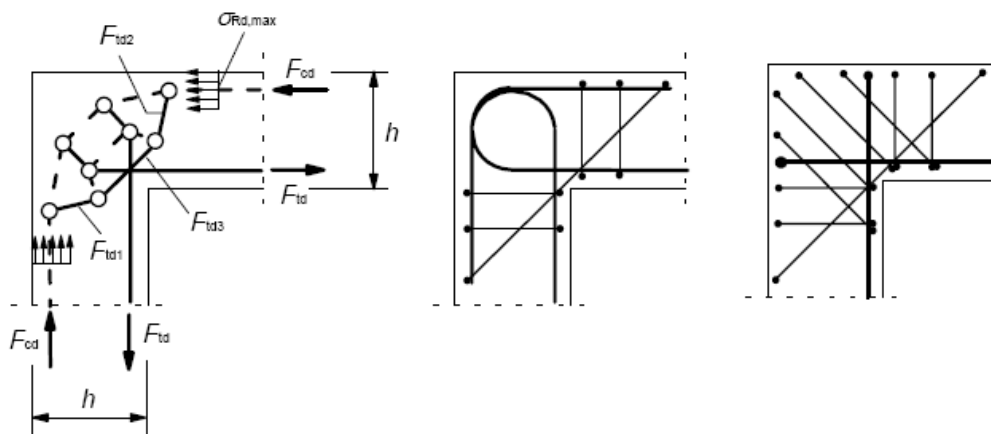
Αν το υποστυλώμα και η δοκός έχουν παρόμοιο ύψος, τότε:

- προσομοίωμα θλιπτήρων-ελκυστήρων όπως στα Σχήματα 8.9 & 8.10
- προβλέπεται όπλιση στην περιοχή της γωνίας είτε με μορφή **βρόχου** είτε με μορφή **δύο επικαλυπτόμενων ράβδων U** σε συνδυασμό με **κεκλιμένους συνδετήρες**, όπως στα Σχήματα 8.9 & 8.10
- ειδικά για μεγάλες θετικές ροπές ($A_s/bh > 2\%$) πρέπει να προβλέπεται η χρήση **διαγώνιας ράβδου** και συνδετήρων για την αποφυγή διάσπασης, όπως στο Σχήμα 8.10



α) προσομοίωμα θλιπτήρων-ελκυστήρων β) και γ) διαμόρφωση λεπτομερειών οπλισμού

Σχήμα 8.9: Γωνία πλαισίου με μέτρια θετική ροπή ($A_s/bh \leq 2\%$)



α) προσομοίωμα θλιπτήρων-ελκυστήρων β) και γ) διαμόρφωση λεπτομερειών οπλισμού

Σχήμα 8.10: Γωνία πλαισίου με μεγάλη θετική ροπή ($A_s/bh > 2\%$)

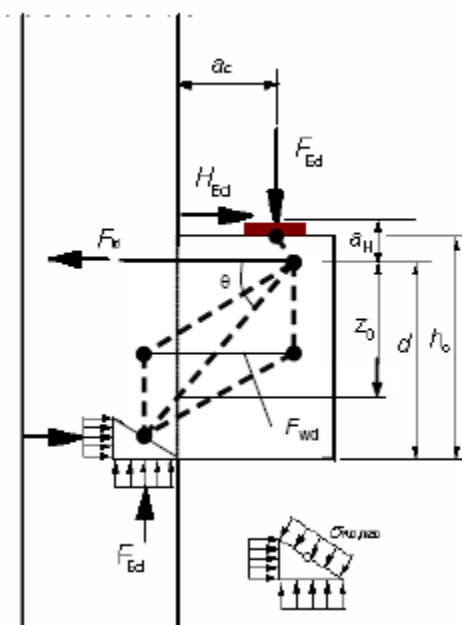
❖ **Σχόλιο:** Ο EC2 περιέχει επαρκείς οδηγίες για το σχεδιασμό και την όπλιση των κόμβων δοκού-υποστυλώματος, σε αντίθεση με τον ΕΚΩΣ, όπου υπάρχει απουσία αντιστοιχων διατάξεων, για ένα πολύ κρίσιμο θέμα για τη συνολική αντοχή του φορέα. Επίσης παρέχονται επιπρόσθετες οδηγίες (πέραν των παραπάνω) και στον EC8 για τον έλεγχο και την όπλιση κόμβων δοκού-υποστυλώματος σε κατασκευές που σχεδιάζονται αντισεισμικά.

Πιο συγκεκριμένα περιέχονται νέες διατάξεις για:

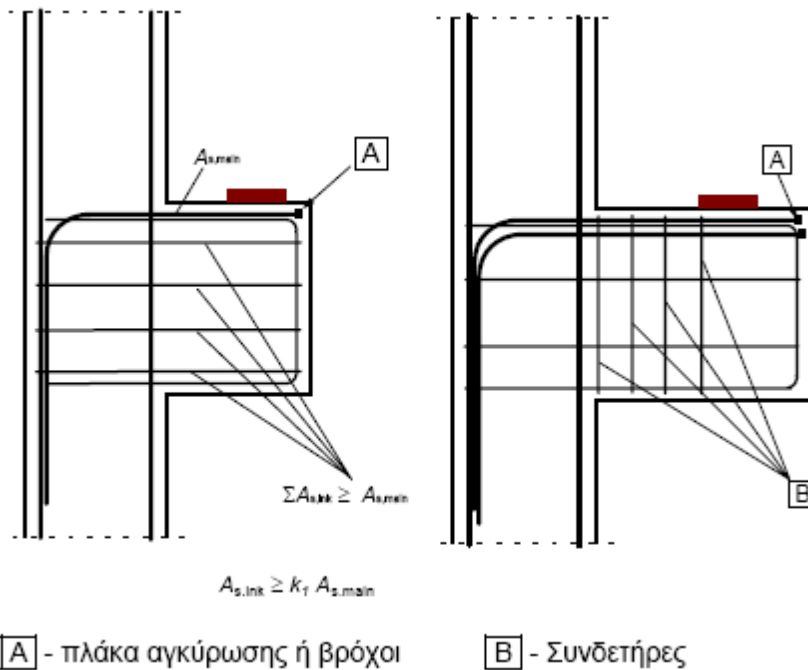
- το σχεδιασμό με Μ.Θ.Ε. (§6.5.2 του EC2)
- τον τρόπο όπλισης (Παράρτημα J.2 του EC2)
- απλοποιημένες εκφράσεις για τον υπολογισμό της δρώσας τέμνουσας κόμβων σε Α/Σ κατασκευές (§5.5.2.3 του EC8)
- έλεγχο έναντι διαγώνιας θλίψης, υπολογισμό οριζόντιου οπλισμού περισφιγξης και κατακόρυφου διαμήκους οπλισμού σε Α/Σ κατασκευές (§5.5.3.3 του EC8)
- περιορισμό της διαμέτρου των διαμήκων ράβδων δοκού που διέρχονται από κόμβο και πρόσθετα μέτρα για την εξασφάλιση του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης σε ακραίους κόμβους σε Α/Σ κατασκευές (§5.6.2.2 του EC8)

8.4 ΚΟΝΤΟΙ ΠΡΟΒΟΛΟΙ

Για το σχεδιασμό κοντών προβόλων, ο EC2 ακολουθεί ένα μοντέλο θλιπτήρων-ελκυστήρων, όπως και ο ΕΚΩΣ, με ορισμένες διαφορές τις οποίες θα αναφέρουμε στον Πίνακα 8.4.



Σχήμα 8.11: Προσομοίωμα θλιπτήρων-ελκυστήρων για κοντό πρόβολο


 α) οπλισμός για $\alpha_c \leq 0,5 \cdot h_c$

 β) οπλισμός για $\alpha_c > 0,5 \cdot h_c$

Σχήμα 8.12: Διαμόρφωση λεπτομερειών κοντού προβόλου

Πίνακας 8.4: Σύγκριση Μ.Θ.Ε. για κοντούς προβόλους EC2/ΕΚΩΣ

	EC2	ΕΚΩΣ
Γωνία Κλίσης Θλιπτήρα	$1,0 \leq \tan \theta \leq 2,5$	$1,0 \leq \tan \theta \leq 2,5$
Ορισμός Κοντού Προβόλου	$\alpha_c < z_0$	$\alpha_c \leq h_c$
Απαιτούμενος Οπλισμός Συνδετήρων	i. αν $\alpha_c \leq 0,5 \cdot h_c$ τότε απαιτείται: $A_{s,link} \geq 0,25 \cdot A_{s,main}$ (οριζόντιοι συνδετήρες) ii. αν $\alpha_c > 0,5 \cdot h_c$ & $F_{Ed} > V_{Rd,c}$ τότε απαιτείται: $A_{s,link} \geq 0,50 \cdot F_{Ed} / f_{yd}$ (κατακόρυφοι συνδετήρες)	αν $h_c \geq 300\text{mm}$ & $A_{s,main} \geq 0,40 \cdot A_c f_{cd} / f_{yd}$ τότε απαιτείται: $A_{s,link} \geq 0,40 \cdot A_{s,main}$ (είτε οριζόντιοι & κατακόρυφοι είτε κεκλιμένοι συνδετήρες)
Μέγεθος Οριζόντιας Δύναμης	δεν καθορίζεται	$H_{Ed} \geq 0,2 \cdot F_{Ed}$

Σημειώσεις:

1. Κατά τον EC2, εάν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για περιορισμό της ρηγμάτωσης, είναι αποτελεσματικοί κεκλιμένοι συνδετήρες στην εφελκυσμένη γωνία.
2. Στο στηρίζον στοιχείο το μήκος αγκύρωσης πρέπει να μετράται από την θέση του κατακόρυφου οπλισμού της πλησιέστερης πλευράς, ενώ στο άλλο άκρο πρέπει να μετράται από την εσωτερική ακμή της πλάκας έδρασης.
3. Σημειώνουμε πως **δεν καθορίζεται το πλάτος** του θλιπτήρα του προσομοιώματος.
4. Εναλλακτικά ο σχεδιασμός κοντών προβόλων μπορεί να γίνεται και με τη μέθοδο των §6.2.2(6) και §6.2.3(8) του EC2 με υπολογισμό οπλισμού διάτμησης, οπότε ισχύουν τα εξής:

Όταν $0,5d \leq a_v \leq 2d$ τότε

αν $\beta \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

αν $\beta \cdot V_{Ed} > V_{Rd,c}$ απαιτείται οπλισμός διάτμησης έτσι ώστε $\beta \cdot V_{Ed} \leq A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha$

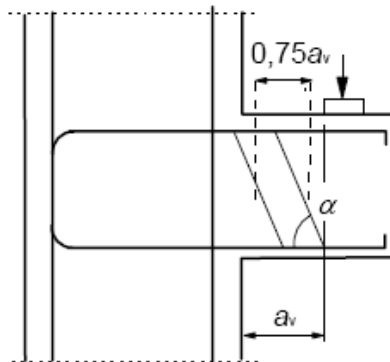
πάντα πρέπει να ισχύει $\beta \cdot V_{Ed} \leq 0,3 \cdot [1 - f_{ck}/250] \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$

όπου $\beta = a_v/2d$

στην αντοχή του οπλισμού λαμβάνεται υπόψη μόνο ο οπλισμός διάτμησης που βρίσκεται στο κεντρικό $0,75 a_v$ της περιοχής

όταν $a_v \leq 0,5d$ πρέπει να λαμβάνεται η τιμή $a_v = 0,5d$

η μείωση κατά β επιτρέπεται να γίνεται μόνο για τον υπολογισμό του οπλισμού διάτμησης και ισχύει μόνο όταν ο διαμήκης οπλισμός αγκυρώνεται πλήρως στη στηρίξη.



Σχήμα 8.13: Οπλισμός διάτμησης σε βραχεία ανοίγματα διάτμησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο: ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις διαφορές μεταξύ EC2 και ΕΚΩΣ κατά τον έλεγχο στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας. Το σκεπτικό και η διαδικασία είναι παρόμοια στους δύο κανονισμούς, υπάρχουν, ωστόσο, διαφορές που αφορούν σε κάποιες τιμές και σε κάποιες σχέσεις υπολογισμού.

Στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας εντάσσονται:

- 1. Περιορισμός Τάσεων:** περιορισμός των θλιπτικών τάσεων του σκυροδέματος και των εφελκυστικών τάσεων του χάλυβα. (§7.2 EC2/§15.4 ΕΚΩΣ).
- 2. Περιορισμός Ρηγματώσεως:** α) καθορισμός του μέγιστου εύρους ρωγμής ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος β) καθορισμός του ελάχιστου ποσοστού εφελκόμενου οπλισμού γ) απαλλακτικοί κανόνες για τον έλεγχο της ρηγματώσης χωρίς άμεσο υπολογισμό του εύρους ρωγμής δ) αναλυτικός υπολογισμός του εύρους ρωγμής. (§7.3 EC2/§15.3/15.5 και Παράρτημα Γ ΕΚΩΣ).
- 3. Περιορισμός Παραμορφώσεων:** α) κανόνες για την απαλλαγή του υπολογιστικού ελέγχου των παραμορφώσεων β) αναλυτικός υπολογισμός των παραμορφώσεων. (§7.4 EC2/κεφ.16 και Παράρτημα Δ ΕΚΩΣ).

9.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ

Στον Πίνακα 9.1 δίνονται οι απαιτούμενοι έλεγχοι τάσεων κατά τον EC2 και κατά τον ΕΚΩΣ:

Πίνακας 9.1: Περιορισμός τάσεων

	EC2	ΕΚΩΣ
Θλιπτική Τάση Σκυροδέματος (υπό το βραχυχρόνιο συνδυασμό)	$\sigma_c \leq 0,60 \cdot f_{ck}$ για κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος: XD, XF, XS	$\sigma_c \leq 0,60 \cdot f_{ck}$ για κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος: 3, 4
Θλιπτική Τάση Σκυροδέματος υπό την Επίδραση Ερπυσμού (υπό οιονει-μόνιμες δράσεις)	$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}$	$\sigma_c \leq 0,50 \cdot f_{ck}$
Εφελκυστική Τάση Χάλυβα (υπό το βραχυχρόνιο συνδυασμό)	$\sigma_s \leq 0,80 \cdot f_{yk}$	$\sigma_s \leq 0,80 \cdot f_{yk}$
Εφελκυστική Τάση Χάλυβα από Επιβαλλόμενες Παραμορφώσεις	$\sigma_s \leq 1,00 \cdot f_{yk}$	$\sigma_s \leq 1,00 \cdot f_{yk}$
Εφελκυστική Τάση Χάλυβα σε Τένοντες Προέντασης	$\sigma_p \leq 0,75 \cdot f_{ptk}$	$\sigma_p \leq 0,65 \cdot f_{ptk}$

9.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΩΣ

Το ανεκτό εύρος ρωγμής, w_{max} , κατά τον EC2 λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα ανάλογα με τη φύση της κατασκευής.

Πίνακας 9.2: Συνιστώμενες τιμές του w_{max} (mm)

Κατηγορία Συνθηκών Περιβάλλοντος	Ωπλισμένα και προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες χωρίς συνάφεια	Προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες με συνάφεια
	Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός δράσεων	Συχνός συνδυασμός δράσεων
X0, XC1	0,4 ^[1]	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ^[2]
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Απόθλιψη
<p>Σημείωση 1: Για τις κατηγορίες περιβαλλοντικών συνθηκών X0, XC1, το εύρος της ρωγμής δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα σε διάρκεια, και το σχετικό όριο τίθεται για την εξασφάλιση αποδεκτής αισθητικής εμφάνισης. Εφόσον δεν τίθενται απαιτήσεις αισθητικής, το όριο αυτό μπορεί να αυξηθεί.</p>		
<p>Σημείωση 2: Για αυτές τις κατηγορίες περιβαλλοντικών συνθηκών, πρέπει, επιπλέον, να ελέγχεται η απόθλιψη υπό τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων.</p>		

❖ Στον ΕΚΩΣ υπάρχει παρόμοιος πίνακας, ωστόσο, τα αποτελέσματα είναι **συντηρητικότερα**. Επί παραδείγματι για περιπτώσεις κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα σε συνθήκες έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος ο EC2 επιβάλλει $w_{max}=0,3\text{mm}$, ενώ ο ΕΚΩΣ $w_{max}=0,1\text{mm}$.

α) Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός

Η σχέση υπολογισμού για τον ελάχιστο οπλισμό στις εφελκόμενες περιοχές έχει διαφορές σε σχέση με αυτήν του ΕΚΩΣ στους συντελεστές που λαμβάνουν υπόψη τη φύση της έντασης, ενώ εισάγεται ένας συντελεστής k που εξαρτάται από τις διαστάσεις του στοιχείου. Οι συντελεστές των παρακάτω εξισώσεων δίνονται αναλυτικά στις §7.3.2 του EC2 και §15.5 του ΕΚΩΣ.

Πίνακας 9.3: Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός

EC2	$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot \frac{f_{ctm}}{\sigma_s}$ <p>όπου:</p> $k = \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \text{ για κορμούς ή πέλματα } \leq 300\text{mm} \\ 0,65 \text{ για κορμούς ή πέλματα } \geq 800\text{mm} \\ \text{για ενδιάμεσες τιμές γραμμική παρεμβολή} \end{array} \right\}$ <p>και</p> $k_c = \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \text{ για καθαρό εφελκυσμό} \\ 0,40 \text{ για καθαρή κάμψη} \end{array} \right\}$
ΕΚΩΣ	$A_{s,min} = k_c \cdot A_{ct} \cdot \frac{f_{ctm}}{\sigma_s}$ <p>όπου:</p> $k_c = \left\{ \begin{array}{l} 0,50 \text{ έως } 0,85 \text{ για καθαρό εφελκυσμό} \\ 0,50 \text{ για καθαρή κάμψη} \end{array} \right\}$

Σημειώσεις:

όπου:

- A_{ct} η εφελκυσμένη ζώνη του σκυροδέματος ακριβώς πριν τη ρηγμάτωση (στάδιο I)
- σ_s η τάση του χάλυβα μετά τη ρηγμάτωση. Μπορεί να λάβει την τιμή f_{yk} , αλλά μπορεί να λάβει και χαμηλότερη τιμή για τον περιορισμό του εύρους ρωγμής σύμφωνα με τους Πίνακες 9.4 & 9.5 της παρούσας.

β) Έλεγχος ρηγματώσεως χωρίς υπολογισμούς

Ο απλοποιημένος έλεγχος έναντι ρηγμάτωσης πραγματοποιείται με περιορισμό των διαμέτρων των χρησιμοποιούμενων ράβδων και των μεταξύ τους αποστάσεων. Για δεδομένες διαμέτρους ή αποστάσεις ράβδων, μπορεί να επιτυγχάνεται περιορισμός της τάσης του χάλυβα. Οι επιτρεπόμενες τιμές δίνονται στους ακόλουθους πίνακες του EC2. Με παρόμοιους πίνακες γίνεται ο έλεγχος και στον ΕΚΩΣ, τα αποτελέσματα, ωστόσο, είναι ελαφρώς διαφορετικά όπως θα δείξουμε με την απλή εφαρμογή που ακολουθεί, αλλά και όπως φαίνεται στα συγκριτικά διαγράμματα των Σχημάτων 9.1 & 9.2.

Πίνακας 9.4: Μέγιστες διαμέτροι ράβδων φ_s^* για περιορισμό της ρηγμάτωσης^[1]

Τάση Χάλυβα ^[2] [MPa]	Μέγιστη Διάμετρος Ράβδων [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Πίνακας 9.5: Μέγιστη απόσταση ράβδων για περιορισμό της ρηγμάτωσης^[1]

Τάση Χάλυβα ^[2] [MPa]	Μέγιστη Απόσταση Ράβδων [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Σημειώσεις:

1. Οι τιμές του πίνακα βασίζονται στις εξής παραδοχές: $c = 25$ mm, $f_{ct,eff} = 2,9$ MPa, $h_{cr} = 0,5$, $(h-d) = 0,1h$, $k_1 = 0,8$, $k_2 = 0,5$, $k_c = 0,4$, $k = 1,0$, $k_t = 0,4$ και $k' = 1,0$
2. Υπό τους κατάλληλους συνδυασμούς δράσεων
3. Στην §7.3.3(2) του EC2 δίνονται σχέσεις για την τροποποίηση της μέγιστης διαμέτρου ανάλογα με τη φύση της έντασης

Εφαρμογή

Για κατηγορία συνθηκών περιβάλλοντος ΧC του EC2 και 1 του ΕΚΩΣ:

για $\sigma_s = 200$ MPa λαμβάνουμε

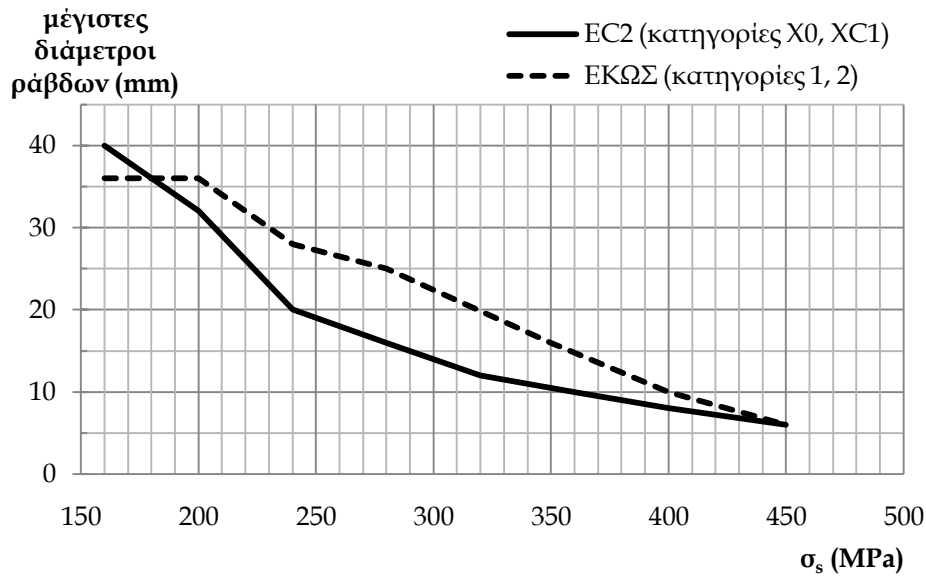
EC2: $\max \varphi_s^* = 32$ mm και \max απόσταση = 300 mm

ΕΚΩΣ: $\max \varphi_s^* = 36$ mm και \max απόσταση = 250 mm

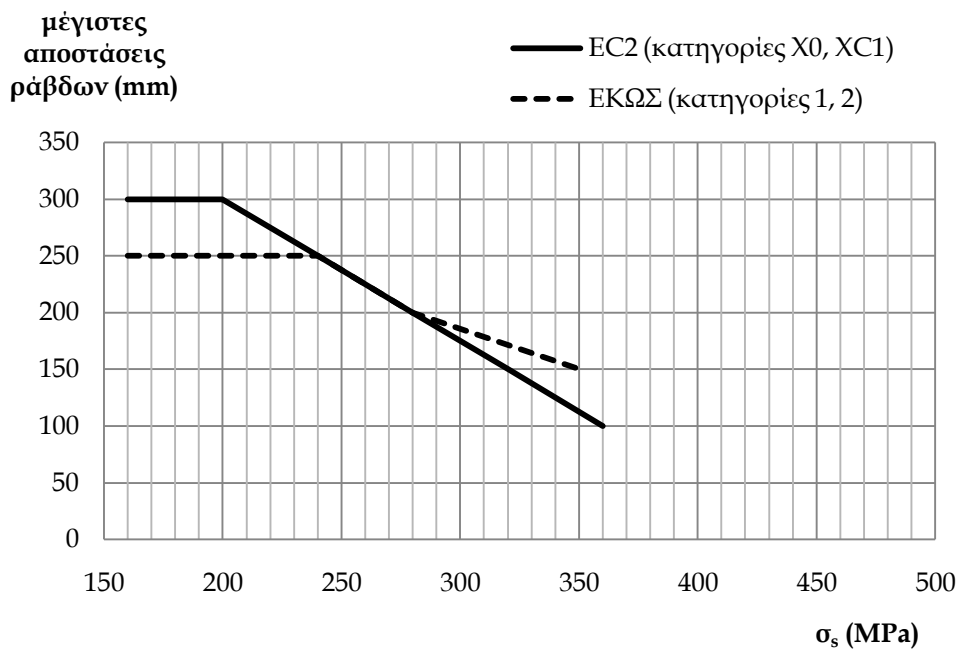
αντίστροφα, για $\varphi_s^* = 16$ mm

EC2: $\sigma_s = 280$ MPa

ΕΚΩΣ: $\sigma_s = 350$ MPa



Σχήμα 9.1: Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων επιτρεπόμενων διαμέτρων ράβδων για περιορισμό της ρηγμάτωσης



Σχήμα 9.2: Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστων επιτρεπόμενων αποστάσεων ράβδων για περιορισμό της ρηγμάτωσης

- για πλάκες χωρίς σημαντική εφελκυστική δύναμη δεν απαιτούνται ειδικά μέτρα για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης, όταν $h_f \leq 200\text{mm}$. (ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)
- Σε δοκούς με $h_b \geq 1000\text{mm}$, στις οποίες ο κύριος οπλισμός συγκεντρώνεται σε μικρό μόνο ποσοστό του ύψους της διατομής, πρέπει να τοποθετείται πρόσθετος επιδερμικός

(επιφανειακός) οπλισμός για τον περιορισμό της ρηγματώσης (και για τον περιορισμό της αποφλοιώσης, βλ. και §9.2.4(1) του EC2) στις πλευρικές παρειές της δοκού, ομοιόμορφα κατανομημένος και στο εσωτερικό των συνδετήρων. Ο επιδερμικός οπλισμός υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A_{s,\min} = k_c \cdot 0,50 \cdot A_{ct} \cdot f_{ctm} / f_{yk}$$

με k_c όπως παραπάνω και διαμέτρους και αποστάσεις ράβδων με βάση τους άνωθι πίνακες για καθαρό εφελκυσμό και τάση χάλυβα 50% του κύριου οπλισμού.

γ) Αναλυτικός υπολογισμός ρηγματώσεως

Η υπολογιστική μέθοδος εκτίμησης του εύρους ρωγμής του EC2 στηρίζεται σε παρόμοιες σχέσεις με αυτήν του ΕΚΩΣ. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζουμε συνοπτικά τις δύο μεθόδους:

Πίνακας 9.6: Αναλυτικός υπολογισμός ρηγματώσεως

EC2	$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ <p>όπου:</p> $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$ <p>και $s_{r,\max}$ η μέγιστη απόσταση των ρωγμών η οποία εκτιμάται με διάφορους τρόπους ανάλογα με την περίπτωση, οι οποίοι δίνονται στην §7.3.4.(3, 4, 5) του EC2, όπως και οι επεξηγήσεις των συντελεστών της ανωτέρω σχέσης.</p>
ΕΚΩΣ	$w_k \cong 1,75 \cdot s_{r,m} \cdot \varepsilon_{sm}$ <p>όπου:</p> $\varepsilon_{sm} \cong \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \zeta \quad \text{με} \quad \zeta = 1 - \beta \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$ <p>και $s_{r,m}$ η μέση απόσταση των ρωγμών η οποία εκτιμάται με διάφορους τρόπους ανάλογα με την περίπτωση, οι οποίοι δίνονται στο Παράρτημα Γ του ΕΚΩΣ, όπως και οι επεξηγήσεις των συντελεστών της ανωτέρω σχέσης.</p>

9.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

α) Έλεγχος παραμορφώσεων χωρίς υπολογισμούς

Ο έλεγχος των παραμορφώσεων μπορεί να παραληφθεί για δοκούς και πλάκες, αν πληρούνται τα απαιτούμενα όρια του λόγου άνοιγμα/ύψος. Κατά τον EC2 ο υπολογισμός γίνεται είτε αναλυτικά με τις σχέσεις που δίνονται παρακάτω είτε μέσω του πίνακα που ακολουθεί ο οποίος έχει προκύψει από **συντηρητικές** επιλύσεις των αναλυτικών σχέσεων.

Αναλυτικές σχέσεις:

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad \text{αν } \rho \leq \rho_0$$

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{αν } \rho > \rho_0$$

όπου:

l/d είναι ο επιτρεπόμενος λόγος άνοιγμα/ύψος

K είναι συντελεστής που εξαρτάται από το δομικό σύστημα

ρ_0 είναι το ποσοστό οπλισμού αναφοράς $= \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$

ρ είναι το απαιτούμενο ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού για την παραλαβή της ροπής λόγω φορτίων σχεδιασμού στο κέντρο του ανοίγματος (για προβόλους, στη στήριξη)

ρ' είναι το απαιτούμενο ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού για την παραλαβή της ροπής λόγω φορτίων σχεδιασμού στο κέντρο του ανοίγματος (για προβόλους, στη στήριξη)

f_{ck} σε MPa

Συντηρητικές τιμές μπορούν να λαμβάνονται από τον Πίνακα 9.7, όπου δίνονται και οι τιμές του συντελεστή K .

Πίνακας 9.7: Βασικοί λόγοι ανοίγματος προς στατικό ύψος για στοιχεία από ωπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς αξονική σύνθλιψη

Δομικό σύστημα	K	Σκυρόδεμα υπό υψηλή τάση $\rho = 1,5\%$	Σκυρόδεμα υπό χαμηλή τάση $\rho = 0,5\%$
Αμφιέριστη δοκός ή πλάκα κατά μία ή δύο διευθύνσεις	1,0	14	20
Ακραίο άνοιγμα συνεχούς δοκού ή πλάκας κατά μία διεύθυνση, ή πλάκας κατά δύο διευθύνσεις συνεχούς κατά μήκος μιας επιμήκους πλευράς	1,3	18	26
Μεσαίο άνοιγμα δοκού ή πλάκας κατά μία ή δύο διευθύνσεις	1,5	20	30
Πλάκα επί υποστυλωμάτων χωρίς δοκούς (μυκητοειδής) (έλεγχος βάσει του μεγαλύτερου ανοίγματος)	1,2	17	24
Πρόβολος	0,4	6	8
<p>Σημείωση 1: Οι τιμές που δίνονται έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να είναι εν γένει συντηρητικές, και ο υπολογισμός μπορεί συχνά να δείχνει ότι είναι δυνατή η χρήση μικρότερου πάχους στοιχείου.</p> <p>Σημείωση 2: Σε πλάκες κατά δύο διευθύνσεις ο έλεγχος γίνεται βάσει του μικρότερου ανοίγματος. Σε μυκητοειδείς πλάκες, βάσει του μεγαλύτερου ανοίγματος.</p> <p>Σημείωση 3: Τα όρια που δίνονται για μυκητοειδείς πλάκες αντιστοιχούν σε περιορισμό λιγότερο αυστηρό από εκείνον της βύθισης κατά 1/250 του ανοίγματος σε σχέση με τα υποστυλώματα. Η εμπειρία δείχνει ότι αυτό είναι ικανοποιητικό.</p>			

- ❖ Στον ΕΚΩΣ ο αντίστοιχος έλεγχος γίνεται με βάση την §16.2, όπου δίνονται όρια του λόγου α/d με το συντελεστή α να εξαρτάται από το δομικό σύστημα, αντίστοιχα με τον K του EC2.

Ενδεικτική Εφαρμογή

Στον Πίνακα 9.8 δίνονται οι επιτρεπόμενες τιμές του λόγου l/d κατά τον EC2 (με βάση τον Πίνακα 9.7) και κατά τον ΕΚΩΣ (με βάση την §16.2 του ΕΚΩΣ)

Πίνακας 9.8: Συγκριτικός πίνακας τιμών λόγου l/d

	EC2		ΕΚΩΣ
	Υψηλή Τάση	Χαμηλή Τάση	
Αμφιέριστη Πλάκα (διέριστη ή τετραέριστη)	≤ 14	≤ 20	≤ 30
Ακραίο Άνοιγμα Συνεχούς Πλάκας (διέριστης ή τετραέριστης)	≤ 18	≤ 26	$\leq 37,5$
Μεσαίο Άνοιγμα Συνεχούς Πλάκας (διέριστης ή τετραέριστης)	≤ 20	≤ 30	≤ 50
Πλάκα Πρόβολος	≤ 6	≤ 8	$\leq 12,5$
Αμφιέριστη Δοκός	≤ 14	≤ 20	≤ 20
Ακραίο Άνοιγμα Συνεχούς Δοκού	≤ 18	≤ 26	≤ 25
Μεσαίο Άνοιγμα Συνεχούς Δοκού	≤ 20	≤ 30	$\leq 33,3$
Δοκός Πρόβολος	≤ 6	≤ 8	≤ 8

β) Αναλυτικός υπολογισμός παραμορφώσεων

Ίδια μέθοδος στον EC2 και στον ΕΚΩΣ με μικρές διαφορές σε κάποιους συντελεστές των σχέσεων υπολογισμού. Ο υπολογιστικός έλεγχος γίνεται και στους δύο κανονισμούς με τη σχέση:

$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I$$

$$\text{με } \zeta = 1 - \beta \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \quad (\text{βλ. και §7.4.3 του EC2, καθώς και Παράρτημα Δ του ΕΚΩΣ})$$

α_I , α_{II} είναι οι παραμορφώσεις σταδίου I (αρηγμάτωση διατομή) και σταδίου II (πλήρως ρηγματωμένη διατομή) αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10ο: ΑΝΑΛΥΣΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟΝ EC8

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις διαφορές του EC8 με τους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ στην ανάλυση και το σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Θα δώσουμε έμφαση στις αλλαγές και στις νέες διατάξεις που υιοθετεί ο EC8.

10.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η εφαρμογή του EC8 επιφέρει αλλαγές στον καθορισμό των εδαφικών συνθηκών και στην εκτίμηση των φασματικών επιταχύνσεων, όπου εκτός των άλλων προτείνεται η χρήση δύο φασμάτων σχεδιασμού ούτως ώστε να είναι περισσότερο ασφαλής ο σχεδιασμός. Οι αλλαγές αφορούν επίσης και την εκτίμηση των κατακόρυφων συνιστωσών της σεισμικής δράσης και την εκτίμηση των άλλων παραγόντων που συμβάλλουν στον υπολογισμό της φασματικής επιτάχυνσης (κατηγορία σπουδαιότητας, ιξώδης απόσβεση, κατηγορία εδάφους, συντελεστής συμπεριφοράς).

10.1.1 Εδαφικές Συνθήκες

❖ Ο EC8 διακρίνει περισσότερες κατηγορίες εδαφών από τον ΕΑΚ, διευκολύνοντας την κατάταξη ενός εδαφικού σχηματισμού. Επιπλέον για κάθε κατηγορία εδάφους δίνονται και ορισμένες τιμές **βασικών γεωτεχνικών παραμέτρων** που χαρακτηρίζουν τον εν λόγω εδαφικό σχηματισμό, κάτι που καθιστά πιο **ορθολογική** την κατάταξη των εδαφών. Οι γεωτεχνικές παράμετροι είναι η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $v_{s,30}$ που συναντώνται στα πρώτα 30m, ο αριθμός κρούσεων N_{SPT} και η αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u . Στην κατηγορία Χ του ΕΑΚ που η δόμηση επιτρέπεται μόνο κατόπιν ειδικών μελετών, αντιστοιχούν οι κατηγορίες S_1 και S_2 του EC8. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας με τις κατηγορίες εδάφους του EC8.

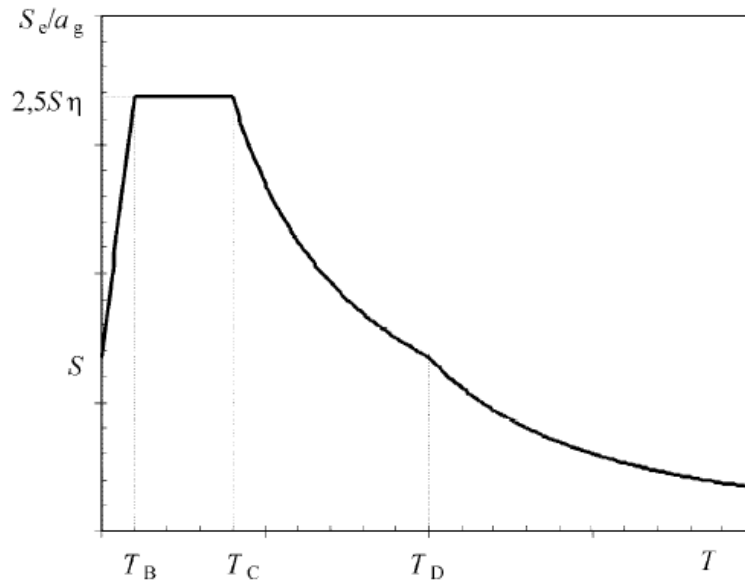
Πίνακας 10.1: Κατηγορία εδάφους

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή Στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (κρούσεις/ 30 cm)	c_u (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	> 800	–	–
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικών, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360 – 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλικών ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s.			
S1	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	< 100 (ενδεικτικό)	–	10 - 20
S2	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S1			

10.1.2 Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης

10.1.2.1 Οριζόντιες Συνιστώσες

Παρακάτω δίνεται η μορφή του ελαστικού φάσματος απόκρισης του EC8 και οι εξισώσεις υπολογισμού των φασματικών επιταχύνσεων για τους διάφορους κλάδους του φάσματος. Κατόπιν καταγράφουμε τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ EC8 και ΕΑΚ.



Σχήμα 10.1: Μορφή του ελαστικού φάσματος απόκρισης (EC8)

Πίνακας 10.2: Οριζόντιες συνιστώσες ελαστικού φάσματος απόκρισης

Περιοχή Περιόδων	Εξίσωση Φάσματος Απόκρισης $S_e(T)$ με τον EC8
$0 \leq T \leq T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$
$T_B \leq T \leq T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$
$T_C \leq T \leq T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$
$T_D \leq T \leq 4\text{sec}$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$

❖ Παρατηρήσεις & Αλλαγές σε σχέση με τον ΕΑΚ:

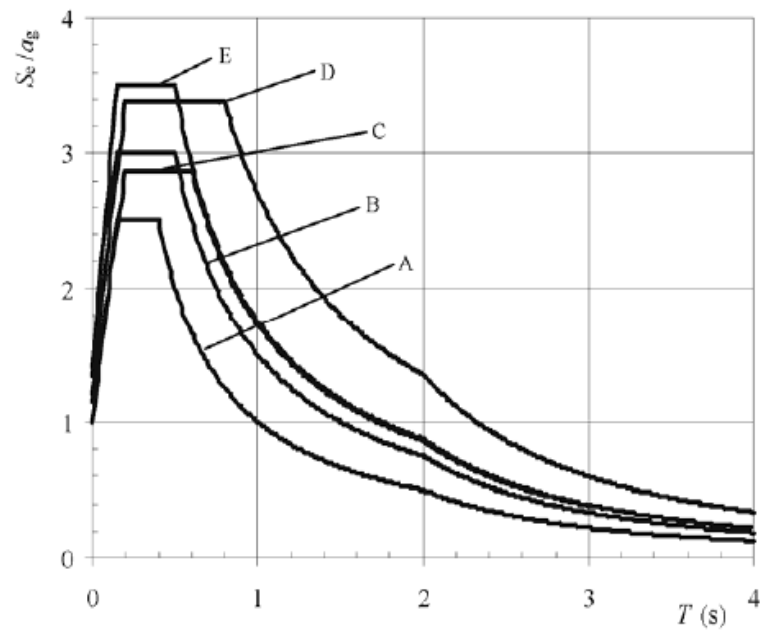
1. Στον EC8 το φάσμα διαθέτει **και κλάδο σταθερής μετακίνησης**, δηλαδή έχει 4 κλάδους, και όχι 3 που έχει το φάσμα του ΕΑΚ. Η αρχή του 4^{ου} κλάδου ορίζεται **από την περίοδο T_D και φτάνει μέχρι τα 4 sec** (για $T > 4\text{sec}$ δίνονται, στο Παράρτημα Α του EC8, σχέσεις υπολογισμού μορφής φάσματος απόκρισης μετακίνησης). Έτσι δίνεται η εξίσωση υπολογισμού και για τον κλάδο σταθερής μετακίνησης.
2. Στις σχέσεις του EC8 η τιμή **a_g που ισούται με $\gamma_I \cdot a_{gR}$** που είναι το αντίστοιχο με την τιμή $\gamma_I \cdot A = \gamma_I \cdot a \cdot g$ του ΕΑΚ.
3. Στον EC8 λαμβάνεται υπόψη **η επιρροή του εδάφους μέσω του συντελεστή S** ο οποίος για κάθε κατηγορία εδάφους έχει αντίστοιχες τιμές που δίνονται σε πίνακα παρακάτω. Ο συντελεστής $S \geq 1,0$ **αυξάνει** τη φασματική επιτάχυνση (**εκτός** της περίπτωσης έδρασης σε βράχο). Στον ΕΑΚ δεν υπάρχει ο αντίστοιχος συντελεστής.
4. Στον EC8 ο σχεδιασμός πραγματοποιείται μέσω **δύο φασμάτων** της παραπάνω μορφής. Ένα περισσότερο «οξύ» που έχει μικρό πλατό και λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του σε μικρές περιόδους, κάτι που το καθιστά δυσμενέστερο για τις πιο δύσκαμπτες κατασκευές (φάσμα τύπου 2), κι ένα με μεγαλύτερο πλατό και λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του σε μεγαλύτερες περιόδους και που το καθιστά δυσμενέστερο για πιο εύκαμπτες κατασκευές (φάσμα τύπου 1). Επίσης ο συντελεστής εδάφους είναι αυξημένος για όλους τους τύπους εδάφους για το φάσμα τύπου 2, οπότε η προσαύξηση των επιταχύνσεων του φάσματος 2 είναι μεγαλύτερη από αυτή του φάσματος 1. Σύμφωνα με τον EC8 **το φάσμα τύπου 1 συνιστάται για περιοχές που οι σεισμοί που συμβάλλουν περισσότερο** στη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής **έχουν μέγεθος κύματος επιφάνειας $M_s > 5,5$** .

Πίνακας 10.3: Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο Φάσμα Απόκρισης Τύπου 1

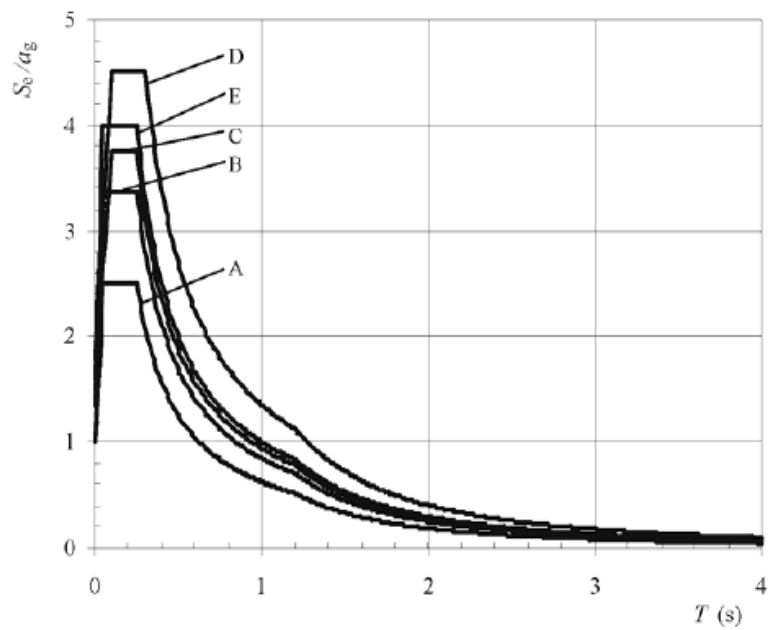
Εδαφικός Τύπος	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Πίνακας 10.4: Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο Φάσμα Απόκρισης Τύπου 2

Εδαφικός Τύπος	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2



Σχήμα 10.2: Συνιστώμενα Φάσματα Ελαστικής Απόκρισης (5% απόσβεση) Τύπου 1 (EC8)



Σχήμα 10.3: Συνιστώμενα Φάσματα Ελαστικής Απόκρισης (5% απόσβεση) Τύπου 2 (EC8)

5. Ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης η έχει και στον EC8 την τιμή 1 για 5% ιξώδη απόσβεση, αλλά για λόγους απόσβεσης $\xi \neq 5\%$ δίνεται από διαφορετική σχέση από αυτήν του ΕΑΚ, ως εξής:

Πίνακας 10.5: Διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης

EC8	$\eta = \sqrt{\frac{10}{(5+\xi)}} \geq 0,55$
ΕΑΚ	$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2+\xi)}} \geq 0,70$

6. Οι κατηγορίες σπουδαιότητας είναι ίδιες με τον EC8, ωστόσο, υπάρχουν διαφορές στους συντελεστές σπουδαιότητας, οι οποίοι είναι **συντηρητικότεροι με τον EC8**, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 10.6: Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτίρια

Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ _i	
		EC8	ΕΑΚ
Σ1	Μικρής σπουδαιότητας	0,80	0,85
Σ2	Συνήθη	1,00	1,00
Σ3	Με μεγάλες συνέπειες κατάρρευσης	1,20	1,15
Σ4	Ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών	1,40	1,30

10.1.2.2 Κατακόρυφες Συνιστώσες

Όσον αφορά στις κατακόρυφες συνιστώσες του σεισμού ο EC8 δίνει αναλυτικές σχέσεις υπολογισμού των φασματικών επιταχύνσεων, τις οποίες παραθέτουμε παρακάτω. Αντίθετα στον ΕΑΚ οι κατακόρυφες συνιστώσες υπολογίζονται ως ποσοστό των αντιστοιχων οριζόντιων.

Πίνακας 10.7: Κατακόρυφες συνιστώσες ελαστικού φάσματος απόκρισης

Περιοχή Περιοδών	Εξίσωση Φάσματος Απόκρισης $S_e(T)$	
	EC8	ΕΑΚ
$0 \leq T \leq T_B$	$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$	Προκύπτει με πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων οριζόντιων συνιστωσών επί 0,7
$T_B \leq T \leq T_C$	$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0$	
$T_C \leq T \leq T_D$	$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$	
$T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$	$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$	Δεν έχει κλάδο σταθερής μετακίνησης

Σημείωση: Οι τιμές των κατακόρυφων σεισμικών επιταχύνσεων a_{vg} στον EC8 προκύπτουν από την αντίστοιχη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση, ανάλογα με τον τύπο φάσματος, και δίνονται στον Πίνακα 10.8 μαζί με τις αντίστοιχες τιμές των περιόδων T_B , T_C , T_D (ισχύουν για όλες τις κατηγορίες εδαφών εκτός από S_1 , S_2).

Πίνακας 10.8: Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο Φάσμα Κατακόρυφης Ελαστικής Απόκρισης

Φάσμα	a_{vg}/a_g	$T_B(\text{s})$	$T_C(\text{s})$	$T_D(\text{s})$
Τύπου 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Τύπου 2	0,45	0,05	0,15	1,0

❖ Ενδεικτική Εφαρμογή

Μέγιστη κατακόρυφη συνιστώσα σεισμού
(στο πλατώ σταθερής επιτάχυνσης για $T_B \leq T \leq T_C$)

EC8: τύπος φάσματος 1 $S_{ve} = 0,90 \cdot a_g \cdot 3,0 = 2,70 \cdot a_g$

τύπος φάσματος 2 $S_{ve} = 0,45 \cdot a_g \cdot 3,0 = 1,35 \cdot a_g$

ΕΑΚ: $S_{ve} = 0,70 \cdot a_g \cdot 2,5 = 1,75 \cdot a_g$

10.1.3 Φάσμα Σχεδιασμού για Ελαστική Ανάλυση

10.1.3.1 Οριζόντιες Συνιστώσες

Το Φάσμα Σχεδιασμού του EC8 που χρησιμοποιείται στις γραμμικές ελαστικές αναλύσεις και λαμβάνει υπόψη την ανελαστική συμπεριφορά των φορέων δίνεται παρακάτω μαζί με το αντίστοιχο του ΕΑΚ. Πέραν των διαφορών που αναφέραμε και παραπάνω στα ελαστικά φάσματα υπάρχουν και άλλες διαφορές στις σχέσεις υπολογισμού που φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 10.9: Οριζόντιες συνιστώσες φάσματος σχεδιασμού

Περιοχή Περιοδών	Εξίσωση Φάσματος Σχεδιασμού $S_d(T)$	
	EC8	ΕΑΚ
$0 \leq T \leq T_B$	$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$	$S_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{\theta \cdot 2,5}{q} - 1 \right) \right]$
$T_B \leq T \leq T_C$	$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$	$S_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\theta \cdot 2,5}{q}$
$T_C \leq T \leq T_D$	$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g$	$S_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\theta \cdot 2,5}{q} \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)^{2/3}$
$T_D \leq T$	$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g$	Δεν έχει κλάδο σταθερής μετακίνησης

Σημείωση:

1. β είναι ο συντελεστής κατώτατου ορίου για το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού και η συνιστώμενη τιμή του είναι 0,2.
2. Στις παραπάνω σχέσεις του EC8 και του ΕΑΚ θεωρείται $\xi = 5\%$ κι έτσι $\eta = 1$, γι' αυτό ο διορθωτικός συντελεστής έχει παραληφθεί.
3. Στον ΕΑΚ υπάρχει ο συντελεστής θεμελίωσης θ , που λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη ισχυρής θεμελίωσης απομειώνοντας τη σεισμική δράση σχεδιασμούς εδάφη κατηγορίας Γ ή Δ κατά ΕΑΚ. **Δεν υπάρχει** ο ανάλογος συντελεστής στον EC8.

- ❖ **Σχόλιο:** Με την αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς με τον EC8 (βλ. §10.3.3 της παρούσας) οι σεισμικές δράσεις σχεδιασμού προκύπτουν **μικρότερες με τον EC8**, αν και αυτή η μείωση **αντισταθμίζεται σε ένα βαθμό** από τον προσαυξητικό συντελεστή S και το συντελεστή σπουδαιότητας που είναι συντηρητικότερος από αυτόν κατά ΕΑΚ.

10.1.3.2 Κατακόρυφες Συνιστώσες

Στην περίπτωση των κατακόρυφων συνιστώσων **ισχύουν οι ίδιες εξισώσεις με τις οριζόντιες συνιστώσες με τη μόνη διαφορά πως η a_{vg} αντικαθιστά την a_g** . Η a_{vg} είναι είτε 0,45 (φάσμα τύπου 2) είτε 0,90 (φάσμα τύπου 1) της a_g , ενώ στον ΕΑΚ είναι 0,70 της a_g . Επίσης ο συντελεστής εδάφους S είναι **πάντοτε 1,0** όπως αντίστοιχα ο συντελεστής θεμελίωσης θ στον ΕΑΚ.

- **Εναλλακτικά**, ο EC8 επιτρέπει την προσομοίωση χρονοϊστορίας για την εκτίμηση της σεισμικής δράσης μέσω τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων ή καταγραφές επιταχυνσιογραφημάτων ή προσομοιώσεις επιταχυνσιο-γραφημάτων.

10.1.4 Σεισμικοί Συνδυασμοί

Στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού η σεισμική δράση A_{Ed} συνδυάζεται με τα ακόλουθα φορτία βαρότητας (μόνιμα και κινητά):

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{k,i} ,$$

όπου ο συντελεστής συνδυασμού ψ_{Ei} ισούται με $\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i}$ με το φ να λαμβάνει τιμές από τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 10.10: Τιμές του φ για τον υπολογισμό του ψ_{Ei}

Τύπος Μεταβλητής Δράσης	Όροφος	φ
Κατηγορίες A-C	Δώμα	1,0
	Όροφοι με συσχετισμένες χρήσεις	0,8
	Όροφοι με μη-συσχετισμένες χρήσεις	0,5
Κατηγορίες D-F		1,0

* για τις τιμές του ψ_{2i} βλ. το Παράρτημα Α του EN 1990

10.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στα επόμενα θα αναφέρουμε συνοπτικά τις οδηγίες του EC8 για το σχεδιασμό κτιρίων σε θέματα που αφορούν τα χαρακτηριστικά και τη μελέτη διαμόρφωσης αυτών, καθώς επίσης και τις μεθόδους ανάλυσης και τους ελέγχους ασφάλειας, εστιάζοντας στα νέα στοιχεία και στις διαφορές σε σχέση με τον ΕΑΚ.

10.2.1 Χαρακτηριστικά Αντισεισμικών Κτιρίων

10.2.1.1 Βασικές Αρχές Μελέτης Διαμόρφωσης

Οι κατευθυντήριες αρχές που διέπουν τη μελέτη διαμόρφωσης του φορέα είναι:

- i. στατική απλότητα
- ii. ομοιομορφία, συμμετρία και υπερστατικότητα
- iii. διαξονική αντοχή και δυσκαμψία
- iv. στρεπτική αντοχή και δυσκαμψία
- v. διαφραγματική δράση στα επίπεδα των ορόφων
- vi. επαρκής θεμελίωση

❖ Οι παραπάνω αρχές αναλύονται λεπτομερώς στον EC8 και δίνονται οδηγίες για την εφαρμογή τους. Ένα γενικό σχόλιο είναι πως οι εν λόγω οδηγίες εισάγουν **περισσότερες** απαιτήσεις από τον ΕΑΚ και διευκρινίζονται **πληρέστερα**.

10.2.1.2 Κύρια & Δευτερεύοντα Σεισμικά Μέλη

Κύρια ή Πρωτεύοντα:

- μέλη που είναι κρίσιμα για την αντίσταση σε σεισμό

Δευτερεύοντα:

- συνεισφέρουν στην ανάληψη των φορτίων βαρύτητας
- ασημαντη συνεισφορά έναντι σεισμικών δράσεων
- η δυσκαμψία και η αντοχή τους αγνοείται στην ανάλυση για σεισμικές δράσεις
- η συνολική τους δυσκαμψία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15% της συνολικής δυσκαμψίας των κύριων σεισμικών μελών
- ελέγχονται για τις παραμορφώσεις που προκαλεί ο σεισμός σχεδιασμού με βάση τη ρηγματωμένη δυσκαμψία τους, έτσι ώστε να διατηρούν την ικανότητά τους να αναλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία

❖ **Σχόλιο:** Η διάκριση των στατικών μελών σε κύρια και δευτερεύοντα είναι μια **νέα θεώρηση** που υιοθετεί ο EC8 και που **δεν** υπάρχει στον ΕΑΚ.

10.2.1.3 Κριτήρια για Στατική Κανονικότητα

Για την αντισεισμική μελέτη οι φορείς των κτιρίων ταξινομούνται σε **κανονικούς** ή **μη-κανονικούς**. Αυτή η διάκριση του EC8 που καθορίζεται από κριτήρια κανονικότητας σε κάτοψη και σε όψη έχει **επιπτώσεις στη σεισμική μελέτη** σε θέματα που αφορούν το στατικό προσομοίωμα, τη μέθοδο ανάλυσης και την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς. Τα αποτελέσματα της εν λόγω διάκρισης φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 10.11: Επιπτώσεις Στατικής Κανονικότητας στη Σεισμική Ανάλυση & Μελέτη

Κανονικότητα σε		Επιτρεπόμενη Απλοποίηση		Συντελεστής Συμπεριφοράς
Κάτοψη	Όψη	Προσομοίωμα	Γραμμική-Ελαστική Ανάλυση	(για γραμμική ανάλυση)
Ναι	Ναι	Επίπεδο	Οριζόντια Φόρτιση ^[1]	Τιμή Αναφοράς
Ναι	Όχι	Επίπεδο	Ιδιομορφική Ανάλυση	Μειωμένη Τιμή
Όχι	Ναι	Χωρικό	Οριζόντια Φόρτιση ^[1]	Τιμή Αναφοράς
Όχι	Όχι	Χωρικό	Ιδιομορφική Ανάλυση	Μειωμένη Τιμή

Σημειώσεις:

- Εφόσον ικανοποιούνται και οι συνθήκες της §9.2.2.3 του παρόντος (ή §4.3.3.2.1(2)a) του EC8).
- Υπό τις ειδικές συνθήκες που δίνονται παρακάτω (§4.3.3.1(8) του EC8) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξεχωριστό χωρικό προσομοίωμα σε κάθε οριζόντια διεύθυνση:
 - η περιμετρική επένδυση και οι διαχωριστικοί τοίχοι ομοιόμορφα καταναμημένοι και σχετικά δύσκαμπτοι
 - ύψος κτιρίου μέχρι 10 m
 - πλήρης διαφραγματική λειτουργία πλακών

Κριτήρια Κανονικότητας σε Κάτοψη

- **συμμετρική** κατανομή μάζας και αντοχής σε δύο ορθογώνιους άξονες
- διαφράγματα με **μεγάλη δυσκαμψία**
- **απλό** σχήμα κάτοψης
- σε κάθε εσοχή το εμβαδόν μεταξύ περιγράμματος της πλάκας και της πολυγωνικής γραμμής που την περιβάλλει πρέπει να είναι **< 5%** της επιφάνειας του ορόφου
- περιορισμός λυγηρότητας σε κάτοψη: $\lambda = L_{\max} / L_{\min} < 4$
- σε κάθε επίπεδο και σε κάθε διεύθυνση πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

$$e_{ox} \leq 0,30 \cdot r_x$$

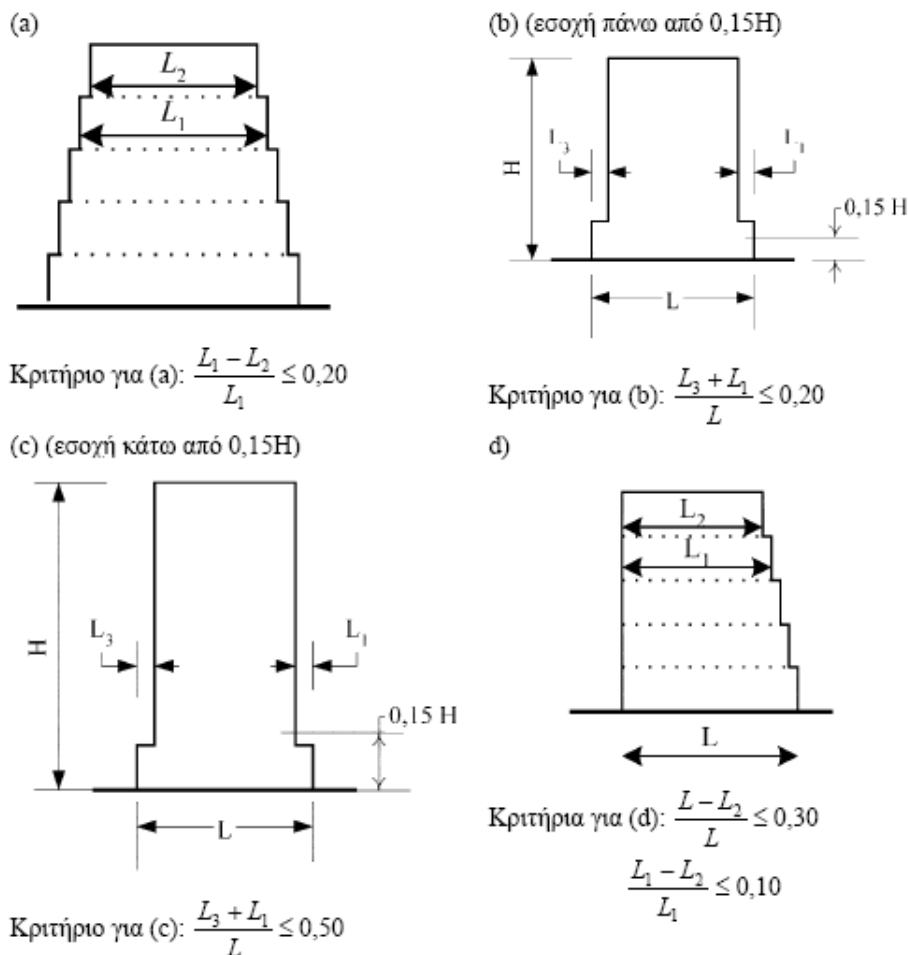
$$r_x \geq l_s$$

$$r_y \geq l_s$$

- ❖ **Σχόλιο:** Σε ένα κτίριο κανονικό σε κάτοψη **επιτρέπεται** να γίνει **χωριστή επίπεδη ανάλυση ανά διεύθυνση**. Πλεονέκτημα είναι ότι τα παραπάνω κριτήρια είναι **απλά** και μπορούν να ελεγχθούν και **πριν την ανάλυση** του φορέα.

Κριτήρια Κανονικότητας σε Όψη

- όλα τα συστήματα ανάληψης οριζόντιων φορτίων θα είναι **συνεχή χωρίς διακοπή** ως την άνω επιφάνεια των ορόφων.
- η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των ορόφων **είτε θα παραμένουν σταθερές είτε θα μειώνονται βαθμιαία**
- η κατανομή της υπεραντοχής των ορόφων πρέπει να είναι **ομαλή** καθ' ύψος
- για τις εσοχές υπάρχουν οι συγκεκριμένες απαιτήσεις που περιέχονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 10.4: Κριτήρια Κανονικότητας σε Όψη (EC8)

- ❖ **Σχόλιο:** Σε ένα κτίριο κανονικό σε όψη **επιτρέπεται** να εφαρμοστεί η **μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης** (ελαστική στατική ανάλυση), καθώς και η **μη-μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς σε 0,8q**. Πλεονέκτημα είναι ότι τα παραπάνω κριτήρια είναι **απλά** και μπορούν να ελεγχθούν και **πριν την ανάλυση** του φορέα.

10.2.2 Ανάλυση

10.2.2.1 Προσομοίωση

Αν δεν γίνεται ακριβέστερη ανάλυση των ρηγματωμένων στοιχείων, η τέμνουσα δυσκαμψία των στοιχείων μπορεί να λαμβάνεται για στοιχεία από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία ίση με το **50% της** (γεωμετρικής) **δυσκαμψίας του αρηγμάτωτου μέλους**. Στον ΕΑΚ γίνεται η ίδια απλοποίηση, αλλά με λίγο διαφορετικές εκτιμήσεις της δυσκαμψίας από τον EC8, ο οποίος είναι **λίγο πιο συντηρητικός**.

10.2.2.2 Μέθοδοι Ανάλυσης

Κατά τον EC8 μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέσσερις μέθοδοι ανάλυσης, δύο γραμμικές-ελαστικές και δύο μη-γραμμικές:

1. η **μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης**, που είναι ελαστική στατική μέθοδος (η απλοποιημένη φασματική μέθοδος του ΕΑΚ)
2. η **ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης**, που είναι ελαστική δυναμική μέθοδος (η δυναμική φασματική μέθοδος του ΕΑΚ)
3. η **μη-γραμμική στατική ανάλυση** (pushover), που δεν αναφέρει ο ΕΑΚ
4. η **μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας** (δυναμική), την οποία αναφέρει και ο ΕΑΚ

10.2.2.3 Διαφορές στις Μεθόδους Ανάλυσης EC8/ΕΑΚ

1. Μέθοδος Ανάλυσης Οριζόντιας Φόρτισης

α. Υπάρχουν διαφορές στον καθορισμό των απαιτήσεων των κτιρίων που μπορεί να εφαρμοστεί η εν λόγω μέθοδος οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 10.12.

Πίνακας 10.12: Προϋποθέσεις εφαρμογής μεθόδου Ανάλυσης Οριζόντιας Φόρτισης

Προϋποθέσεις Εφαρμογής	
EC8	ΕΑΚ
1) κτίρια κανονικά σε όψη και	1) Κανονικά* κτίρια μέχρι 10 ορόφους
2) έχουν θεμελιώδεις περιόδους ταλάντωσης T_1 στις δύο κύριες διευθύνσεις για τις οποίες ισχύει: $T_1 \leq \min\{4 \cdot T_c, 2.0\text{sec}\}$	2) Μη-κανονικά κτίρια μέχρι 5 ορόφους εκτός αυτών σπουδαιότητας Σ4 και Σ3 (για τα τελευταία μόνο για περιοχές σεισμικής επικινδυνότητας II ή III)

*για τον ΕΑΚ η κανονικότητα αφορά **μόνο κανονικότητα σε όψη**

β. Η τέμνουσα βάσης στον EC8 έχει τις εξής αλλαγές:

- i. **πολλαπλασιάζεται με ένα μειωτικό συντελεστή $\lambda=0,85$** , αν το κτίριο έχει περισσότερους από δύο ορόφους και ισχύει $T_1 \leq 2 \cdot T_C$, αλλιώς $\lambda=1,0$. Ο συντελεστής λ εκφράζει το γεγονός ότι η δρώσα ιδιομορφική μάζα είναι κατά μέσο όρο 15% μικρότερη από τη συνολική για $N > 2$.
- ii. **Καταργείται** η θεώρηση του ΕΑΚ για την πρόσθετη δύναμη V_H στην κορυφή του κτιρίου που αφαιρείται από τη συνολική τέμνουσα βάσης για κτίρια με $T \geq 1,0\text{sec}$

γ. Υπάρχει διαφορά στην εκτίμηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου ταλάντωσης:

Πίνακας 10.13: Προσδιορισμός θεμελιώδους ιδιοπεριόδου

EC8	ΕΑΚ
<p>1) για κτίρια με ύψος μέχρι 40m:</p> $T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$ <p>με $C_t = 0,075$ για πλαίσια από σκυρόδεμα (για την τιμή του C_t σε φορείς με τοιχώματα βλ. και §4.3.3.2.2(4) του EC8)</p> <p>2) εναλλακτικά:</p> $T_1 = 2 \cdot \sqrt{d}$ <p>(d είναι η ελαστική μετακίνηση του τελευταίου ορόφου υπό τα φορτία βαρύτητας)</p> <p>3) με άλλη σχέση βασισμένη στη Δυναμική</p>	$T_1 = 0,09 \cdot \frac{H}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{\frac{H}{H + \rho \cdot L}}$

δ. Εναλλακτικά προς την κλασική μέθοδο της τυχηματικής εκκεντρότητας ή την ακριβέστερη μέθοδο της εφαρμογής στρεπτικών ροπών, οι **στρεπτικές επιδράσεις** μπορούν να ληφθούν υπόψη μέσω πολλαπλασιασμού των εντατικών μεγεθών και των μετακινήσεων με ένα συντελεστή δ που δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = 1 + 0,6 \cdot \frac{x}{L_e} \quad (\text{για τους ορισμούς βλ. §4.3.3.2.4(1) του EC8})$$

2. Ιδιομορφική Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης

α. Στην εν λόγω μέθοδο ο EC8 έχει μια νέα διάταξη για τον υπολογισμό του ελάχιστου αριθμού ιδιομορφών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Κατά τον EC8 λαμβάνονται

υπόψη οι ιδιομορφές που συμβάλλουν σημαντικά στην συνολική απόκριση, κάτι που ικανοποιείται αν ισχύει **ένα** από τα ακόλουθα:

- για το άθροισμα των δρωσών ιδιομορφικών μαζών που λαμβάνονται υπόψη ισχύει $\Sigma M_i \geq 90\% M_{ολ.}$
- λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με $M_i \geq 5\%$ (στον ΕΑΚ **δεν** υπάρχει αυτή η δεύτερη εναλλακτική προϋπόθεση)

Σε περίπτωση που δεν ικανοποιείται **καμιά** από τις προηγούμενες δύο απαιτήσεις τότε ο ελάχιστος αριθμός των ιδιομορφών που λαμβάνονται υπόψη πρέπει να ικανοποιεί τις εξής δύο σχέσεις:

$$k \geq 3 \cdot \sqrt{n} \quad \text{και} \quad T_k \leq 0,20 \text{sec}$$

όπου k το πλήθος των ιδιομορφών που λαμβάνονται υπόψη και n το πλήθος των ορόφων. Η θεώρηση αυτή είναι **διαφορετική** από τον ΕΑΚ, όπου ακολουθούνταν άλλη διαδικασία.

β. Όσον αφορά το συνδυασμό των ιδιομορφικών αποκρίσεων εφαρμόζεται η μέθοδος του Πλήρη Τετραγωνικού Συνδυασμού (CQC), όπως και στον ΕΑΚ. Για αμοιβαία ανεξάρτητες ιδιομορφές μπορεί να εφαρμοστεί και η μέθοδος της Τετραγωνικής Ρίζας του Αθροίσματος των Τετραγώνων (SRSS), όπως και στον ΕΑΚ. Ωστόσο στον EC8 υπάρχουν **διαφορές** στο κριτήριο ελέγχου για τις ασυσχέτιστες ιδιομορφές που το καθιστούν **λιγότερο συντηρητικό** από το αντίστοιχο του ΕΑΚ, όπως φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 10.14: Έλεγχος ασυσχέτιστων ιδιομορφών

EC8	ΕΑΚ
$\frac{T_i}{T_j} \geq 1,1$	$\frac{T_i}{T_j} \geq 1 + 0,1 \cdot \zeta(\%) = 1,5$ (για $\zeta=5\%$)

3. Μη-Γραμμικές Μέθοδοι

Στον EC8 δίνονται αναλυτικές διατάξεις για τις μη-γραμμικές αναλύσεις και ιδιαίτερες για τη μη-γραμμική στατική ανάλυση (pushover), που **δεν** υπάρχουν στον ΕΑΚ. Αν γίνεται ανάλυση pushover η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού μπορεί να αγνοείται. Συνοπτικές πληροφορίες δίνονται και για τη μη-γραμμική ανάλυση ιστορίας.

10.2.2.4 Συνδυασμός των Συνιστώσων της Σεισμικής Δράσης

Ο συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων σεισμικών δράσεων κατά τον EC8 γίνεται όπως και στον ΕΑΚ, σύμφωνα με την §4.3.3.5 του EC8 (βλ. αντίστοιχα τις §3.4.4 & 3.5.3, καθώς και 3.6 του ΕΑΚ).

❖ Ωστόσο, στον EC8 υπάρχει μια **νέα διάταξη** για τις περιπτώσεις που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η κατακόρυφη συνιστώσα. Η διάταξη αφορά **μεμονωμένα στοιχεία** του φορέα (μαζί με τα στοιχεία άμεσης στήριξής τους) με $a_{vg} > 0,25g$ τα οποία πρέπει να ελέγχονται **και** για τις κατακόρυφες συνιστώσες. Η ανάλυση μπορεί να βασίζεται και σε μερικό προσομοίωμα. Οι περιπτώσεις αυτές είναι:

- οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια στατικά μέλη με άνοιγμα $\geq 20m$
- οριζόντιοι ή σχεδόν οριζόντιοι πρόβολοι με άνοιγμα $> 5m$
- οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια προεντεταμένα μέλη
- δοκοί που φέρουν φυτευτά υποστυλώματα
- φορείς με σεισμική μόνωση

10.2.2.5 Προσαρτήματα

Για τα προσαρτήματα κτιρίων (π.χ. στηθαία) ο έλεγχος γίνεται όπως και στον ΕΑΚ, μέσω της παρακάτω σχέσης (βλ. και §4.3.5 του EC8, καθώς και §3.7 & 4.2.3 του ΕΑΚ):

$$F_a = S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a / q_a$$

Υπάρχει μια μικρή διαφορά στους δύο κανονισμούς στην εκτίμηση του σεισμικού συντελεστή S_a :

$$\text{EC8: } S_a = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot (1+z/H)}{1+(1-T_a/T_1)^2} - 0,5 \right], \text{ με } \frac{3 \cdot (1+z/H)}{1+(1-T_a/T_1)^2} - 0,5 \geq 1$$

$$\text{ΕΑΚ: } S_a = \frac{a_g}{g} \cdot \left[\frac{2 \cdot (1+z/H)}{1+(1-T_a/T_1)^2} \right], \text{ με } \frac{2}{1+(1-T_a/T_1)^2} \geq 1$$

όπου:

- S είναι ο συντελεστής εδάφους
- T_a είναι η θεμελιώδης περίοδος ταλάντωσης του προσαρτήματος
- T_1 είναι η θεμελιώδης περίοδος ταλάντωσης του κτιρίου στην σχετική διεύθυνση
- z είναι το ύψος στο οποίο βρίσκεται το προσάρτημα επάνω από το επίπεδο εφαρμογής της σεισμικής δράσης
- H είναι το ύψος του κτιρίου

10.3 ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

10.3.1 Κατηγορίες Πλαστιμότητας

Κατά τον EC8 τα αντισεισμικά κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα θα σχεδιάζονται ώστε να διαθέτουν ικανότητα κατανάλωσης ενέργειας και γενικώς πλάσιμη συμπεριφορά. Γι' αυτό πρέπει να μπορούν να αναπτύσσουν ευσταθείς πλαστικούς μηχανισμούς με μεγάλη ικανότητα υστερητικής απόσβεσης υπό ανακυκλική φόρτιση, δίχως ψαθυρές αστοχίες. **Ανάλογα** με την ικανότητα κατανάλωσης ενέργειας ο EC8 κατατάσσει τα κτίρια σε **δύο κατηγορίες πλαστιμότητας ΚΠΜ** (μέση πλαστιμότητα) και **ΚΠΥ** (υψηλή πλαστιμότητα). Για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας πρέπει να ικανοποιούνται ειδικές διατάξεις. Σε περιοχές **χαμηλής σεισμικότητας** κτίρια μπορούν να σχεδιάζονται με μικρή ικανότητα κατανάλωσης ενέργειας και για **χαμηλή πλαστιμότητα**. Αυτή η τρίτη κατηγορία πλαστιμότητας αποκαλείται **ΚΠΧ** (χαμηλή πλαστιμότητα) και απαιτεί την ικανοποίηση μόνο των διατάξεων του EC2. Στον **ΕΚΩΣ** μόνο η διάκριση μεταξύ στοιχείων με και χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας υπάρχει και όχι διάκριση και ως προς το επίπεδο πλαστιμότητας όπως στον EC8.

Ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας τίθενται απαιτήσεις για τα υλικά των **κύριων σεισμικών στοιχείων** τις οποίες παρουσιάζουμε στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 10.15: Απαιτήσεις υλικών

Κατηγορία Πλαστιμότητας	ΚΠΧ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Ποιότητα Σκυροδέματος	---	$\geq C16/20$	$\geq C20/25$
Κατηγορία Χάλυβα (με βάση το παράρτημα C του EC2)	B ή C	B ή C	Μόνο C
Διαμήκεις Ράβδοι	---	Με νευρώσεις	Με νευρώσεις
Υπεραντοχή Χάλυβα	---	---	$f_{yk,0.95} \leq 1,25 \cdot f_{yk}$

Σημείωση: οι απαιτήσεις για το χάλυβα ισχύουν μόνο για τις κρίσιμες περιοχές των κύριων σεισμικών στοιχείων.

10.3.2 Τύποι Στατικών Συστημάτων

10.3.2.1 Ορισμοί

Δίνουμε πρώτα μερικούς ορισμούς από τον EC8 που είτε είναι νέοι είτε είναι διαφορετικοί από αυτούς του ΕΑΚ.

Δοκός: φέρον στοιχείο με $v_d < 0,1$

Υποστώλωμα: φέρον στοιχείο με $v_d > 0,1$

Τοίχωμα: φέρον στοιχείο με $l_w/b_w > 4$

Πλάστιμο Τοίχωμα: πακτωμένο στη βάση με ικανότητα κατανάλωσης ενέργειας

Μεγάλο Ελαφρά Ωπλισμένο Τοίχωμα: μεγάλων διαστάσεων ($l_w \geq \min\{2/3 h_w, 4m\}$) με περιορισμένη ρηγμάτωση και μετελαστική συμπεριφορά κατά το σεισμό σχεδιασμού (εξαιτίας της αναξιοπιστίας τους στην κατανάλωση ενέργειας πρέπει να μελετώνται πάντα σαν ΚΠΜ)

Συζευγμένα τοιχώματα: τοιχώματα που συνδέονται με δοκούς επαρκούς πλαστιμότητας ώστε να μειώνεται η ροπή στη βάση τουλάχιστον κατά 25%

❖ **Σχόλιο:** Η διάκριση των τοιχωμάτων σε πλάστιμα και μεγάλα ελαφρά ωπλισμένα τοιχώματα είναι νέα και δεν υπάρχει στον ΕΑΚ, όπου επίσης δεν αναπτύσσεται η έννοια των συζευγμένων τοιχωμάτων. Η δυνατότητα αυτή για σχεδιασμό διαφορετικών τύπων τοιχωμάτων προσφέρει ευχέρεια στο σχεδιασμό.

Κατόπιν θα δώσουμε τους ορισμούς των στατικών συστημάτων κατά EC8:

Σύστημα Τοιχωμάτων: φέροντα τοιχώματα αναλαμβάνουν κυρίως τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία με τη διατμητική αντοχή τους στη βάση του κτιρίου > 65% της συνολικής

Σύστημα Πλαισίων: χωρικά πλαίσια αναλαμβάνουν κυρίως τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία με τη διατμητική αντοχή τους στη βάση του κτιρίου > 65% της συνολικής

Διπλό Σύστημα: χωρικά πλαίσια αναλαμβάνουν κυρίως τα κατακόρυφα φορτία, ενώ τα οριζόντια αναλαμβάνονται εν μέρει από χωρικά πλαίσια και εν μέρει από φέροντα τοιχώματα, καθορίζοντας τον τύπο του διπλού συστήματος ως εξής:

Διπλό Σύστημα Ισοδύναμο προς Σύστημα Πλαισίων: αν τα πλαίσια αναλαμβάνουν 50-65% της τέμνουσας βάσης

Διπλό Σύστημα Ισοδύναμο προς Σύστημα Τοιχωμάτων: αν τα τοιχώματα αναλαμβάνουν 50-65% της τέμνουσας βάσης

Επίσης ορίζονται και άλλοι δύο τύποι στατικών συστημάτων:

Στρεπτικά Εύκαμπτο Σύστημα (διπλό σύστημα ή σύστημα τοιχωμάτων): δεν ικανοποιεί την απαίτηση $r_x \geq 1_s$ ή $r_y \geq 1_s$

Σύστημα Ανεστραμμένου Εκκρεμούς: σύστημα στο οποίο > 50% της μάζας στο ανώτερο 1/3 του ύψους ή η κατανάλωση ενέργειας γίνεται στη βάση ενός μεμονωμένου κτιριακού στοιχείου

10.3.2.2 Τύποι Στατικών Συστημάτων

Με βάση τους ανωτέρω ορισμούς ο EC8 διακρίνει τους ακόλουθους τύπους στατικών συστημάτων **με κριτήριο τη συμπεριφορά τους υπό οριζόντιες σεισμικές δράσεις:**

1. σύστημα πλαισίων
2. διπλό σύστημα (ισοδύναμο με πλαισιωτό ή με σύστημα τοιχωμάτων)
3. σύστημα πλαστικών τοιχωμάτων (συζευγμένων ή όχι)
4. σύστημα μεγάλων ελαφρά ωπλισμένων τοιχωμάτων
5. στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα
6. σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς

Παρατηρήσεις:

1. Ένα κτίριο **δεν είναι απαραίτητο** να ανήκει σε ίδιου τύπου στατικό σύστημα και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις (εκτός βέβαια από τα στρεπτικώς εύκαμπτα)
2. Ένα σύστημα τοιχωμάτων **για να θεωρηθεί σύστημα μεγάλων ελαφρά ωπλισμένων τοιχωμάτων πρέπει** να ικανοποιεί τις εξής απαιτήσεις:
 - i. τουλάχιστον δύο τοιχώματα στην υπό εξέταση διεύθυνση που αναλαμβάνουν τουλάχιστον το 20% των κατακόρυφων φορτίων
 - ii. $l_w \geq \min \left\{ \frac{2}{3} h_w, 4m \right\}$
 - iii. $T_1 \geq 0,5 \text{sec}$
 - iv. ένα μόνο τοίχωμα είναι επαρκές αν $q' = q/1,5$ και στην ορθογώνια διεύθυνση υπάρχουν δύο τοιχώματα

Διαφορετικά πρέπει να θεωρείται πλαστικό τοίχωμα.

❖ **Σχόλιο:** Με τα παραπάνω στατικά συστήματα που διακρίνει ο EC8 δίνει τη δυνατότητα **μεγαλύτερης ευχέρειας στο σχεδιασμό**, ενώ καθορίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια ο τρόπος ανάληψης των οριζόντιων φορτίων από το κτίριο κάτι που επιτρέπει μια ακριβέστερη εκτίμηση του συντελεστή συμπεριφοράς. Επιπλέον με τη λογική που υιοθετεί ο EC8 και τις αντίστοιχες διατάξεις είναι εφικτή μια **καλύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των τοιχωμάτων**.

10.3.3 Συντελεστές Συμπεριφοράς

Όσον αφορά τους συντελεστές συμπεριφοράς ο EC8 έχει **πολλές διαφορές και νέες διατάξεις** σε σχέση με τον ΕΑΚ. Κατ' αρχάς ο συντελεστής συμπεριφοράς ορίζεται από την εξής σχέση:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

όπου q_0 είναι ο **βασικός συντελεστής συμπεριφοράς** και που καθορίζεται από το στατικό σύστημα από τον πίνακα που παραθέτουμε παρακάτω, ενώ **εισάγεται ένας συντελεστής k_w** που εκφράζει την **επικρατούσα μορφή αστοχίας** σε συστήματα τοιχωμάτων **απομειώνοντας** το διαθέσιμο συντελεστή συμπεριφοράς.

Ο συντελεστής k_w λαμβάνει τις εξής τιμές:

- **1,0** για συστήματα πλαισίων ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα
- **$0,5 \leq (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1,0$** για συστήματα τοιχωμάτων ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα και στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα, όπου $\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$

Για κτίρια **μη-κανονικά σε όψη μείωση 20%** του συντελεστή συμπεριφοράς:

$$q = 0,8 \cdot q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

Για κτίρια με **Ειδικό Σύστημα Ποιότητας επιτρέπεται αύξηση έως 20%** του συντελεστή συμπεριφοράς:

$$q = 1,2 \cdot q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

Για την εκτίμηση του βασικού συντελεστή συμπεριφοράς q_0 χρησιμοποιείται και ο λόγος $\alpha_u / \alpha_1 \leq 1,5$ (η τιμή α_u αντιστοιχεί στην μέγιστη τέμνουσα βάσης και η τιμή α_1 αντιστοιχεί στην τέμνουσα για την οποία έχουμε την 1^η διαρροή στο φορέα) για τον οποίο ο κανονισμός δίνει προσεγγιστικές εκτιμήσεις ανάλογα με το στατικό σύστημα, αν δε γίνεται ειδικός υπολογισμός.

Πίνακας 10.16: Τιμές του βασικού συντελεστή συμπεριφοράς q_0

Τύπος Στατικού Συστήματος	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Πλαισιωτό σύστημα, διπλό σύστημα, σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	$3,0\alpha_u/\alpha_1$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$
Σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$
Στρεπτικά εδάκαμπτο σύστημα	2,0	3,0
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1,5	2,0

Για την εκτίμηση του λόγου α_u/α_1 δίνονται οι ακόλουθες προσεγγιστικές τιμές:

1. Συστήματα πλαισίων ή διπλά συστήματα ισοδύναμα προς συστήματα πλαισίων
 - Μονώροφα κτίρια: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
 - Πολυώροφα δίστυλα πλαισιωτά κτίρια: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$
 - Πολυώροφα πολύστυλα πλαισιωτά κτίρια ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$
2. Συστήματα τοιχωμάτων ή διπλά συστήματα ισοδύναμα προς συστήματα τοιχωμάτων
 - Συστήματα τοιχωμάτων με μόνο δύο ασύζευκτα τοιχώματα σε κάθε οριζόντια διεύθυνση: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$
 - Άλλα συστήματα ασύζευκτων τοιχωμάτων: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
 - Ισοδύναμα προς τοιχώματα διπλά συστήματα ή συστήματα συζευγμένων τοιχωμάτων: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 10.17) υπολογίζουμε τους συντελεστές για τους διάφορους τύπους κτιρίων και γίνεται σύγκριση με τους αντίστοιχους κατά ΕΑΚ.

Πίνακας 10.17: Τιμές του βασικού συντελεστή συμπεριφοράς q_0 για διάφορα στατικά συστήματα

Τύπος Στατικού Συστήματος	EC8		ΕΑΚ
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Πλαισιωτό Σύστημα ή Διπλό Σύστημα Ισοδύναμο προς Πλαισιωτό			
Μονώροφα Κτίρια	3,30	4,95	3,50
Πολυώροφα Δίστυλα Πλαισιωτά Κτίρια	3,60	5,40	(αναφέρεται σε πλαίσια ή μικτά συστήματα)
Πολυώροφα Πολύστυλα Πλαισιωτά Κτίρια ή Ισοδύναμα προς αυτά Διπλά Συστήματα	3,90	5,85	
Συστήματα Τοιχωμάτων ή Ισοδύναμα προς αυτά Διπλά Συστήματα			
Συστήματα τοιχωμάτων με μόνο δύο ασύζευκτα τοιχώματα σε κάθε οριζόντια διεύθυνση	3,00	4,50	3,00 ή 3,50 (αναφέρεται σε μικτά συστήματα ή συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι)
Άλλα συστήματα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3,00	4,40	
Ισοδύναμα προς τοιχώματα διπλά συστήματα ή συστήματα συζευγμένων τοιχωμάτων	3,60	5,40	
Άλλα Συστήματα			
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	2,00	3,00	---
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1,50	2,00	2,00

❖ **Σχόλιο:** Με την κατάρτιση του παραπάνω πίνακα τιμών του συντελεστή συμπεριφοράς με τον EC8 και με τον ΕΑΚ, αν και η αντιστοιχία δεν είναι απόλυτη ως προς τα στατικά συστήματα (μιας και στον ΕΑΚ γίνεται πιο αδρή προσέγγιση του στατικού συστήματος), παρατηρούμε πως ο EC8 υιοθετεί εν γένει **μεγαλύτερους συντελεστές συμπεριφοράς** από τον ΕΑΚ (π.χ. για πολυώροφα πολύστυλα κτίρια με σύστημα πλαισίων, τα οποία έχουν μεγάλο βαθμό υπερστατικότητας, το q μπορεί να λάβει την τιμή 5,85, ενώ στον ΕΑΚ θα είναι 3,50), υποθέτοντας **μεγαλύτερα περιθώρια ανελαστικής συμπεριφοράς** του φορέα. Η σημαντική αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς οδηγεί επίσης σε **σημαντική μείωση της τέμνουσας σχεδιασμού** (για τις ελαστικές αναλύσεις) και κατά συνέπεια σε **οικονομικότερη διαστασιολόγηση**. **Ωστόσο**, η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς **οδηγεί ταυτόχρονα και σε αύξηση των απαιτήσεων πλαστιμότητας** και κατά συνέπεια του απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας μ_{ϕ} .

10.3.4 Κριτήρια Σχεδιασμού

Τα ακόλουθα κριτήρια πρέπει να ικανοποιούνται κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων με τον EC8:

- Συνθήκη τοπικής αντοχής: $E_d \leq R_d$
- Κανόνας ικανοτικού σχεδιασμού
- Συνθήκη τοπικής πλαστιμότητας
- Υψηλού βαθμού υπερστατικότητα: δυνατότητα ανακατανομής και κατανάλωσης ενέργειας
- Ομοιόμορφη κατανομή δευτερευόντων στοιχείων: συμβολή στην κατανάλωση ενέργειας
- Ειδικά πρόσθετα μέτρα για την ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων ως προς τη στατική διαμόρφωση, την ανάλυση και την πλαστιμότητα.

10.3.4.1 Κανόνας Ικανοτικού Σχεδιασμού

Οι διατάξεις του ικανοτικού σχεδιασμού έχουν σκοπό να επιτευχθεί η απαραίτητη ιεράρχηση αντοχών των διαφόρων φερόντων στοιχείων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η **επιθυμητή κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων** (πλαστικές αρθρώσεις στις δοκούς και όχι στα υποστυλώματα) και να **αποφεύγονται οι ψαθυρές μορφές αστοχίας** (η πλαστική αστοχία σε κάμψη να προηγείται της ψαθυρής σε διάτμηση). Η ψαθυρή αστοχία ή άλλοι ανεπιθύμητοι μηχανισμοί αστοχίας θα αποτρέπονται, με τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών σχεδιασμού επιλεγμένων περιοχών από συνθήκες ισορροπίας, **υποθέτοντας ότι έχουν σχηματιστεί πλαστικές αρθρώσεις με τις πιθανές υπεραντοχές τους** στις παρακείμενες περιοχές.

Ικανοτικός Σχεδιασμός Υποστυλωμάτων σε Κάμψη

$$\Sigma M_{Rc} \geq \gamma_{Rd} \cdot \Sigma M_{Rb}$$

όπου

ΣM_{Rc} είναι το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συμβάλλουν στον κόμβο. Στην παραπάνω έκφραση πρέπει να χρησιμοποιείται η ελάχιστη τιμή της ροπής αντοχής των υποστυλωμάτων μέσα στο εύρος διακύμανσης των αξονικών δυνάμεων των υποστυλωμάτων που αντιστοιχούν στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού και

ΣM_{Rb} είναι το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών που συμβάλλουν στον κόμβο. Όταν χρησιμοποιούνται συνδέσεις μερικής αντοχής, οι ροπές αντοχής αυτών των συνδέσεων λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του ΣM_{Rb} .

γ_{Rd} ίσο με 1,3

Απαλλαγή από τον ικανοτικό σχεδιασμό:

- στον ανώτατο όροφο πολυώροφων κτιρίων
- σε επίπεδα πλαίσια με τουλάχιστον τέσσερα υποστυλώματα με περίπου ίδιες διατομές για ένα από κάθε τέσσερα υποστυλώματα
- στον κατώτατο όροφο διώροφων κτιρίων εφόσον σε κάθε υποστυλώμα $v_d < 0,3$
- αν στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση $> 50\%$ της σεισμικής τέμνουσας αναλαμβάνεται από τοιχώματα

Ο **οπλισμός πλάκας** που είναι παράλληλος προς τη δοκό και εντός του συνεργαζόμενου πλάτους του πέλματος **θα θεωρείται ότι συνεισφέρει** στον υπολογισμό του ΣM_{Rb} , εάν είναι καλά αγκυρωμένος πέρα από την παρειά της δοκού στον κόμβο.

Ικανοτικός Σχεδιασμός σε Διάτμηση Δοκών & Υποστυλωμάτων

Δοκοί: η τέμνουσα δύναμη καθορίζεται από τα κατακόρυφα φορτία που δρουν στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού ($g+\psi_2q$) και από τις **ροπές των άκρων** που αντιστοιχούν στη ροπή αντοχής των άκρων της δοκού (2 περιπτώσεις μία για θετικές και μία για αρνητικές ροπές αντοχής).

Οι ροπές άκρων υπολογίζονται ως εξής:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rb,i} \cdot \min \left(1, \frac{\sum M_{Rc}}{\sum M_{Rb}} \right)$$

όπου

$M_{Rb,i}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής στο άκρο i στην φορά της σεισμικής δράσης

γ_{Rd} είναι συντελεστής που εκφράζει την πιθανό υπεραντοχή λόγω σκλήρυνσης υπό παραμόρφωση του χάλυβα

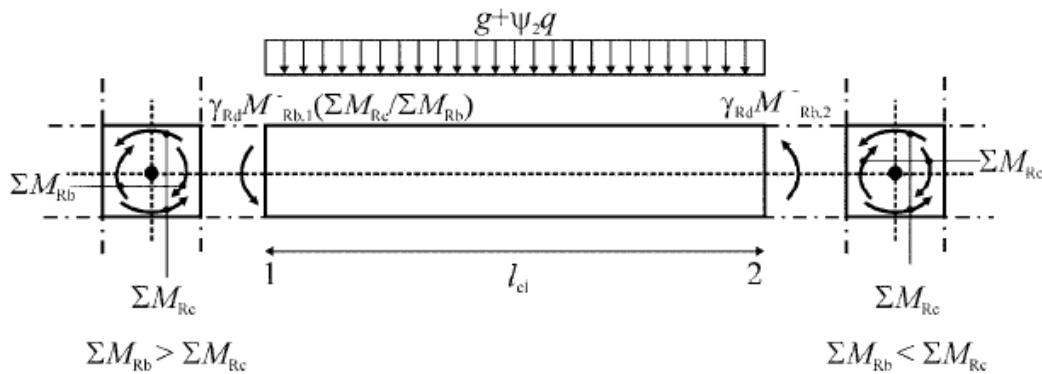
ΣM_{Rc} το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συνδέονται μονολιθικά στον κόμβο

ΣM_{Rb} το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών που συνδέονται μονολιθικά στον κόμβο

Ο συντελεστής υπεραντοχής λαμβάνει τις εξής τιμές:

$\gamma_{Rd} = 1,0$ για δοκούς ΚΠΜ

$\gamma_{Rd} = 1,2$ για δοκούς ΚΠΥ



Σχήμα 10.5: Ικανοτικός σχεδιασμός τέμνουσας δοκού (EC8)

Σε κάθε μία από τις ακραίες διατομές i και j υπολογίζονται μία μέγιστη και μια ελάχιστη τιμή δρώσας τέμνουσας, οι οποίες αντιστοιχούν στις μέγιστες θετικές και στις μέγιστες αρνητικές ακραίες ροπές που μπορούν να αναπτυχθούν, ως εξής:

$$V_{Ed,max,i} = \frac{M_{i,d}^- + M_{j,d}^+}{l_{cl}} + V_{o,g+\psi_2q}$$

$$V_{Ed,min,i} = \frac{M_{i,d}^+ + M_{j,d}^-}{l_{cl}} + V_{o,g+\psi_2q}$$

Η αντιστροφή προσήμου λαμβάνεται υπόψη μέσω του λόγου: $\zeta = \frac{V_{Ed,min,i}}{V_{Ed,max,i}}$

Υποστυλώματα: η τέμνουσα δύναμη καθορίζεται από την ισορροπία του υποστυλώματος μόνο υπό ροπές άκρων που αντιστοιχούν στο σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων (επειδή κατά κανόνα τα υποστυλώματα είναι συμμετρικώς ωπλισμένα, δεν έχει νόημα η φόρτιση με θετικές και αρνητικές ροπές αντοχής άκρων, αλλά αρκεί η μία διεύθυνση).

Οι ροπές άκρων υπολογίζονται ως εξής:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,i} \cdot \min \left(1, \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} \right)$$

όπου

$M_{Rc,i}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής στο άκρο i στην φορά της σεισμικής δράσης

γ_{Rd} είναι συντελεστής που εκφράζει την πιθανή υπεραντοχή λόγω σκλήρυνσης

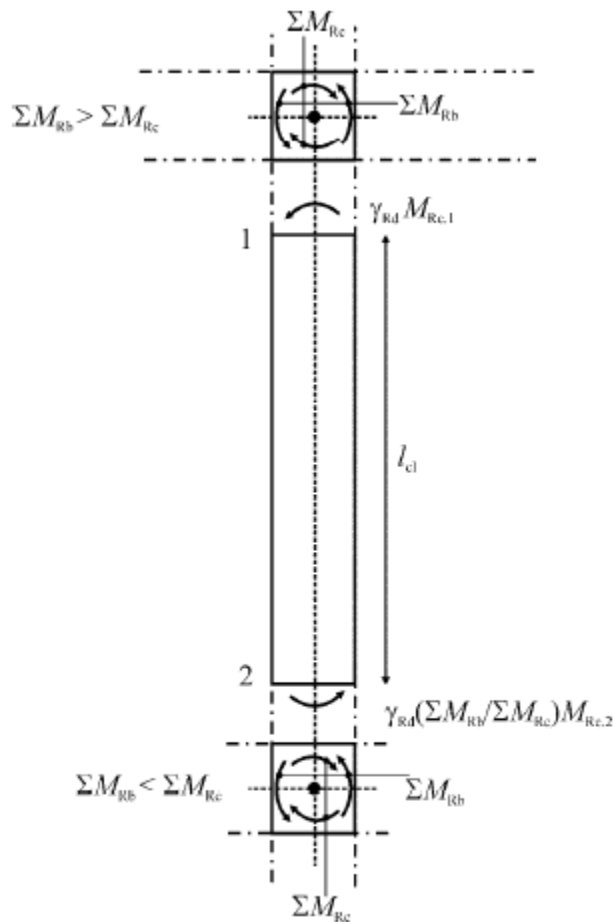
υπό παραμόρφωση του χάλυβα και λόγω περισφιγξης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος

ΣM_{Rc} και ΣM_{Rb} όπως στις δοκούς

Ο συντελεστής υπεραντοχής λαμβάνει τις εξής τιμές:

$\gamma_{Rd} = 1,1$ για υποστυλώματα ΚΠΜ

$\gamma_{Rd} = 1,3$ για υποστυλώματα ΚΠΥ



Σχήμα 10.6: Ικανοτικός σχεδιασμός τέμνουσας υποστυλώματος (EC8)

10.3.4.2 Συνθήκη Τοπικής Πλαστιμότητας

Για την επίτευξη της γενικής πλαστιμότητας απαιτείται ικανοποιητική πλαστιμότητας καμπυλότητας σε όλες τις κρίσιμες περιοχές των βασικών σεισμικών στοιχείων, εφαρμογή ειδικών κανόνων για την αποφυγή τοπικού λυγισμού και κατάλληλες ποιότητες υλικών.

Πλαστιμότητα Καμπυλοτήτων

Επαρκής πλαστιμότητα καμπυλοτήτων διατίθεται αν αυτή είναι τουλάχιστον ίση με τις ακόλουθες τιμές:

$$\mu_{\varphi} = 2q_0 - 1 \quad \text{εάν } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_{\varphi} = 1 + 2(q_0 - 1) \frac{T_C}{T_1} \quad \text{εάν } T_1 < T_C$$

Η μ_{φ} ισούται με $\mu_{\varphi} = \frac{\Phi_u}{\Phi_y}$, όπου η Φ_u αντιστοιχεί στην πτώση της αντοχής στο 85% της οριακής τιμής.

Ο υπολογισμός της μ_{φ} είναι απαραίτητος γιατί **συμμετέχει στη σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου οπλισμού περίσφιγξης** υποστυλωμάτων και πλάστιμων τοιχωμάτων και στον υπολογισμό του μέγιστου επιτρεπόμενου ποσοστού εφελκυσμένου οπλισμού δοκών, ρ_{\max} .

Οι προηγούμενες σχέσεις βασίζονται στη **συντηρητική** εκτίμηση του λόγου μ_{φ} μέσω του λόγου μ_{δ} (καμπυλότητα σε όρους καμπυλοτήτων) από τη σχέση:

$$\mu_{\varphi} = 2\mu_{\delta} - 1$$

Και από τη σχέση μ_{δ} - q (αν και χρησιμοποιείται η τιμή q_0 λόγω μεγαλύτερων απαιτήσεων σε τοπική πλαστιμότητα):

$$\mu_{\delta} = q \quad \text{εάν } T_1 \geq T_C \quad (\text{EAK: ομοίως})$$

$$\mu_{\delta} = 1 + (q - 1) \frac{T_C}{T_1} \quad \text{εάν } T_1 < T_C \quad (\text{EAK: } \mu_{\delta} = \frac{(1+q^2)}{2})$$

10.3.5 Διαστασιολόγηση Έναντι Σεισμού - Σύγκριση EC8/ΕΚΩΣ-ΕΑΚ

Στην παρούσα παράγραφο θα δώσουμε συγκεντρωτικά υπό μορφή πινάκων τις απαιτήσεις του EC8 για τη διαδικασία σχεδιασμού έναντι κάμψης και τέμνουσας για δοκούς, υποστυλώματα, τοιχώματα και κόμβους δοκού-υποστυλώματος. Παράλληλα θα γίνει σύγκριση και με τις αντίστοιχες διαδικασίες κατά τους ΕΚΩΣ-ΕΑΚ.

Διαστασιολόγηση δοκών έναντι τέμνουσας
Πίνακας 10.18: Διαστασιολόγηση δοκών έναντι τέμνουσας

	EC2/EC8		ΕΚΩΣ/ΕΑΚ
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Ικανοτική Τέμνουσα Σχεδιασμού ^[1]	$V_{Ed} = \frac{\sum M_{Rb}}{l_{cl}} \pm V_o$	$V_{Ed} = \frac{1,2 \cdot \sum M_{Rb}}{l_{cl}} \pm V_o$	$V_{Ed} = \frac{1,2 \cdot \sum M_{Rb}}{l_{cl}} \pm V_o \leq \frac{q \cdot V_{E,b}}{1,2}$
Αντοχή σε Τέμνουσα Εκτός Κρισίμων Περιοχών	όπως στον EC2: $V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$ $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ & $V_{cd}=0$		$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta + V_{cd}$ $\theta=45^\circ$ & $V_{cd}=V_{Rd1}$
Αντοχή σε Τέμνουσα Εντός Κρισίμων Περιοχών	όπως και εκτός κρισίμων περιοχών	$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}$ $\theta=45^\circ$ και $V_{cd}=0$	$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta + V_{cd}$ $\theta=45^\circ$ & $V_{cd}=0,3V_{Rd1}$
Αν $\zeta = \frac{V_{Ed, \min, i}}{V_{Ed, \max, i}} < -0,5$ σε κρίσιμες περιοχές τότε: απαίτηση λοξών ράβδων εμβαδού A_s	---	Αν $V_{E, \max} > (2 + \zeta) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$ τότε: $A_s = \frac{0,5 \cdot V_{E, \max}}{2 \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha}$ & συνδετήρες για $0,5V_{E, \max}$	(i) Αν $1,125 < \frac{V_{E, \max}}{(2 + \zeta) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d} < 2,25$ τότε: $A_s = \frac{0,5 \cdot V_{E, \max}}{2 \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha}$ & συνδετήρες για $0,5V_{E, \max}$ (ii) Αν $\frac{V_{E, \max}}{(2 + \zeta) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d} > 2,25$ τότε $A_s = \frac{V_{E, \max}}{2 \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha}$

Σημειώσεις:

1. Στον ικανοτικό σχεδιασμό με τον EC8 όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο αν ισχύει $\sum M_{Rb} > \sum M_{Rc}$ τότε αντί $\sum M_{Rb}$ θέτουμε M_{Rb} . ($\sum M_{Rb} / \sum M_{Rc}$).
2. Για στοιχεία ΚΠΧ εφαρμόζονται οι διατάξεις του EC2 και η τέμνουσα προκύπτει από ανάλυση.

❖ Παρατηρήσεις:

1. Για στοιχεία ΚΠΜ μείωση της V_{CD} σε σχέση με τον ΕΑΚ.
2. Καταργείται η συνεισφορά του σκυροδέματος στην αντοχή σε τέμνουσα, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη απαίτηση οπλισμού, ιδίως για κρίσιμες περιοχές φορέων ΚΠΥ όπου δεν επιτρέπεται $\theta < 45^\circ$.

*Διαστασιολόγηση υποστολωμάτων έναντι κάμψης και τέμνουσας***Πίνακας 10.19:** Διαστασιολόγηση υποστολωμάτων έναντι κάμψης και τέμνουσας

	EC2/EC8		ΕΚΩΣ/ΕΑΚ
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Σχεδιασμός Έναντι Κάμψης			
Ικανοτικός Σχεδιασμός σε Κάμψη ^[1]	$\Sigma M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \Sigma M_{Rb}$		$M_{CD,c} = \alpha_{CD} \cdot M_{Ec}$ όπου: $\alpha_{CD} = 1,4 \frac{\Sigma M_{Rb,d}}{ \Sigma M_{Eb} }$
Σχεδιασμός Έναντι Τέμνουσας			
Ικανοτική Τέμνουσα Σχεδιασμού ^[2]	$V_{Ed} = \frac{1,1 \cdot \Sigma M_{Rc}}{l_{cl}}$	$V_{Ed} = \frac{1,3 \cdot \Sigma M_{Rc}}{l_{cl}}$	$V_{Ed} = \frac{1,4 \cdot \Sigma M_{Rc}}{l_{cl}} \leq q \cdot V_{E,c}$
Αντοχή σε Τέμνουσα Εκτός Κρισίμων Περιοχών	όπως στον EC2: $V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$ $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ & $V_{cd}=0$		$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta + V_{cd}$ $\theta=45^\circ$ & $V_{cd}=V_{Rd1}$
Αντοχή σε Τέμνουσα Εντός Κρισίμων Περιοχών	όπως και εκτός κρίσιμων περιοχών		$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta + V_{cd}$ $\theta=45^\circ$ & α) $V_{cd}=0,30V_{Rd1}$, αν $v_d > -0,1$ β) $V_{cd}=0,90V_{Rd1}$, αν $v_d \leq -0,1$

Σημειώσεις:

1. Στον ικανοτικό σχεδιασμό με τον EC8, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, αν ισχύει $\Sigma M_{Rc} > \Sigma M_{Rb}$ τότε αντί ΣM_{Rc} θέτουμε $M_{Rc} \cdot (\Sigma M_{Rc} / \Sigma M_{Rb})$.
2. Καταργείται ο περιορισμός της ικανοτικής τέμνουσας από την τιμή $q \cdot V_{E,c}$ που είναι η μέγιστη τέμνουσα που θα μπορούσε να ασκηθεί με βάση το σχεδιασμό.

❖ Παρατηρήσεις:

1. Η σχέση για τον ικανοτικό σχεδιασμό έναντι κάμψης δεν καθορίζει με ποια ροπή θα γίνει ο σχεδιασμός, αλλά τη συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται μεταξύ των ροπών αντοχής, αφού οπλιστεί η δοκός και το υποστύλωμα. Επίσης είναι λιγότερο αυστηρή από την απαίτηση του ΕΑΚ ($\gamma_{Rd} = 1,3$ έναντι $1,4$ του ΕΑΚ).
2. Μείωση της ικανοτικής τέμνουσας και για ΚΠΜ και για ΚΠΥ σε σχέση με τον ΕΑΚ. Περισσότερο αυστηρός δηλαδή ο ΕΑΚ στον υπολογισμό της ικανοτικής τέμνουσας.
3. Στον EC8, εντός κι εκτός κρισίμων περιοχών, $V_{cd} = 0$, και άρα αύξηση των απαιτούμενων συνδετήρων (για ίδια τέμνουσα στον ΕΑΚ).

Κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων

Ο EC8 έχει νέες λεπτομερείς διατάξεις που δεν υπάρχουν στους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ για τον έλεγχο αντισεισμικών κόμβων δοκού-υποστυλώματος για φορείς ΚΠΥ.

Πίνακας 10.20: Έλεγχος κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων

Δρώσα Τέμνουσα Κόμβου ^[1]	εσωτερικοί κόμβοι	$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} - V_C$
	εξωτερικοί κόμβοι	$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot A_{s1} \cdot f_{yd} - V_C$
Έλεγχος Διαγώνιας Θλίψης ^[2]	εσωτερικοί κόμβοι	$V_{jhd} \leq 1,0 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \cdot b_j \cdot h_{jc}$
	εξωτερικοί κόμβοι	$V_{jhd} \leq 0,8 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \cdot b_j \cdot h_{jc}$
Απαίτηση Επαρκούς Περίσφιξης ^[3]		$\frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} \geq \frac{\left(\frac{V_{jhd}}{b_j \cdot h_{jc}} \right)^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd}$
Απαιτούμενος Κατακόρυφος Οπλισμός (του υποστυλώματος) που πρέπει να διέρχεται από τον κόμβο ^[4]		$A_{sv,i} \geq \frac{2}{3} \cdot A_{sh} \cdot \left(\frac{h_{jc}}{h_{jw}} \right)$

Σημειώσεις:

1. Η σχέση για τη δρώσα τέμνουσα είναι μια **απλουστευμένη** έκφραση που επιτρέπεται να χρησιμοποιείται, και εφαρμόζεται για τις **δυσμενέστερες** συνθήκες. Οι συμβολισμοί στην εν λόγω έκφραση έχουν ως εξής:

A_{s1} είναι η διατομή του άνω οπλισμού της δοκού

A_{s2} είναι η διατομή του κάτω οπλισμού της δοκού

V_C είναι η τέμνουσα δύναμη του υπερκειμένου υποστυλώματος, από την ανάλυση σε σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

γ_{Rd} είναι συντελεστής υπεραντοχής λόγω και δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 1,2

2. **Ελλείπει** ακριβέστερου προσομοιώματος η αντοχή σε διαγώνια θλίψη του κόμβου ελέγχεται με την παραπάνω σχέση στην οποία η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος **απομειώνεται** λόγω εγκάρσιας εφελκυστικής τάσης (ετερόσημη διαξονική ένταση). Οι συμβολισμοί στην εν λόγω έκφραση έχουν ως εξής:

$$\eta = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$$

h_j είναι η απόσταση μεταξύ των ακραίων στρώσεων οπλισμού του υποστυλώματος

v_d είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη του υπερκειμένου υποστυλώματος

$$b_j \quad \alpha) \text{ εάν } b_c > b_w: b_j = \min \{ b_c, (b_w + 0,5 \cdot h_c) \}$$

$$\beta) \text{ εάν } b_c < b_w: b_j = \min \{ b_w, (b_c + 0,5 \cdot h_c) \}$$

3. Ο οπλισμός περίσφιγξης απαιτείται για τον **περιορισμό** της διαγώνιας εφελκυστικής τάσης του σκυροδέματος σ_{ct} σε f_{ctd} και ελλείπει ακριβέστερου προσομοιώματος επιτυγχάνεται μέσω της **διάταξης οριζόντιων κλειστών συνδετήρων με $\emptyset > 6$ mm ομοιόμορφα καταναμημένων στο ύψος h_{jw}** που υπολογίζονται από την παραπάνω σχέση, όπου:

A_{sh} είναι η **συνολική** διατομή των οριζόντιων συνδετήρων

h_{jw} είναι η απόσταση μεταξύ του άνω και κάτω οπλισμού της δοκού

Εναλλακτικά προς την προηγούμενη σχέση οι απαιτούμενοι συνδετήρες μπορούν να υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\alpha) A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d)$$

για **εσωτερικούς** κόμβους (v_d του πάνω υποστυλώματος)

$$\beta) A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d)$$

για **εξωτερικούς** κόμβους (v_d του κάτω υποστυλώματος)

4. $A_{sv,i}$ είναι η **συνολική** διατομή των ράβδων που πρέπει να διατάσσονται **μεταξύ των γωνιακών ράβδων σε κάθε παρειά** του υποστυλώματος.

❖ Παρατηρήσεις:

1. Πρόκειται ουσιαστικά για **νέες διατάξεις** που καλύπτουν ένα σημαντικό κενό των ΕΚΩΣ/ΕΑΚ.
2. Στη σχέση υπολογισμού του οπλισμού περίσφιγξης θέτοντας $\sigma_{\text{conf}} = A_{\text{sh}} \cdot f_{\text{ywd}} / b_j \cdot h_{\text{jw}}$ την εγκάρσια τάση που ασκούν οι συνδετήρες για να παρεμποδίσουν την εγκάρσια παραμόρφωση, $\tau = V_{\text{jhd}} / b_j \cdot h_{\text{jw}}$ την τάση λόγω της δρώσας τέμνουσας στον κόμβο και $\sigma_{\text{N}} = v_{\text{d}} \cdot f_{\text{cd}} = N / b \cdot h$ την τάση λόγω της κατακόρυφης θλίψης προκύπτει:

$$\sigma_{\text{conf}} \geq \frac{\tau^2}{f_{\text{ctd}} + \sigma_{\text{N}}} - f_{\text{ctd}} \Rightarrow (\sigma_{\text{conf}} + f_{\text{ctd}}) \cdot (f_{\text{ctd}} + \sigma_{\text{N}}) \geq \tau^2 \Rightarrow \sigma_{\text{h}} \cdot \sigma_{\text{v}} \geq \tau^2$$

Η αντίσταση δηλαδή στη διαγώνια θλίψη του κόμβου προέρχεται από μια εγκάρσια τάση λόγω της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και της πίεσης των συνδετήρων και από μια κατακόρυφη τάση λόγω της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και της αξονικής θλίψης του υποστυλώματος.

Πλάστιμα τοιχώματα**Πίνακας 10.21:** Διαστασιολόγηση πλάστιμων τοιχωμάτων

	EC2/EC8		ΕΚΩΣ/ΕΑΚ
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Σχεδιασμός Έναντι Κάμψης			
Ροπή Σχεδιασμού σε Κάμψη	α) Αν $h_w/l_w \geq 2,0$: σχεδιασμός με βάση την περιβάλλουσα των ροπών M_{Ed} της ανάλυσης με μήκος μετάθεσης a_1 (μετατόπιση εφελκυστικής δύναμης) ^[1] β) Αν $h_w/l_w \leq 2,0$: σχεδιασμός με βάση τις ροπές από την ανάλυση (κοντά τοιχώματα)		$M_{\text{CD,w}} = \alpha_{\text{CD}} \cdot M_{\text{Ed,w}}$ με: $M_{\text{Rd,wo}}/3 \leq M_{\text{CD,w}} \leq M_{\text{Rd,wo}}$ όπου: $\alpha_{\text{CD}} = 1,3 \frac{M_{\text{Rd,wo}}}{M_{\text{Ed,wo}}} \leq q$
Σχεδιασμός Έναντι Τέμνουσας			
Τέμνουσα Σχεδιασμού	α) Αν $h_w/l_w \geq 2,0$: $V_{\text{Ed,w}} = \varepsilon \cdot V'_{\text{Ed,w}}$ ^[2] όπου: $\varepsilon = 1,5$, για ΚΠΜ		$V_{\text{CD,wo}} = \alpha_{\text{CD}} \cdot V_{\text{Ed,wo}}$ στους άλλους ορόφους: $V_{\text{CD,w}} = \alpha_{\text{CD}} \cdot V_{\text{Ed,w}} \geq V_{\text{CD,wo}}/3$ (α_{CD} όπως στην κάμψη)

	$\varepsilon = \eta \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{\eta} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,1 \cdot \left(\frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq \eta$ <p>αλλά $\varepsilon \geq 1,5$, για ΚΠΥ</p> <p>β) Αν $h_w/l_w \leq 2,0$ (κοντά τοιχώματα):</p> $V_{Ed,w} = \gamma_{Rd} \cdot \left(\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right) \cdot V'_{Ed,w} \leq \eta \cdot V'_{Ed,w}$	
Αντοχή σε Τέμνουσα Εκτός Κρσιίμων Περιοχών ^[3]	$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,8 \cdot l_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$ <p>α) $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ & $V_{cd}=0$ για ΚΠΜ</p> <p>β) $\theta=45^\circ$ & $V_{cd}=0$ για ΚΠΥ</p>	$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,8 \cdot l_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta + V_{cd}$ <p>$\theta=45^\circ$ & $V_{cd}=V_{Rd1}$</p>
Αντοχή σε Τέμνουσα Εντός Κρσιίμων Περιοχών	<p>ΚΠΜ: όπως και εκτός κρσιίμων περιοχών</p> <p>ΚΠΥ: i) αν $\alpha_s \geq 2,0$: Όπως και εκτός κρσιίμων περιοχών</p> <p>ii) αν $\alpha_s < 2,0$:</p> <p>α) οριζόντιος οπλισμός</p> $V_{Ed,w} \leq V_{Rd,c} + 0,75 \cdot \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_{wo} \cdot \alpha_s \cdot l_w$ <p>($V_{Rd,c}=0$ αν N_{Ed} εφελακυστική)</p> <p>β) κατακόρυφος οπλισμός</p> $\rho_h \cdot f_{yd,h} \leq \rho_v \cdot f_{yd,v} + \frac{\min N_{Ed}}{b_{wo} \cdot 0,8 \cdot l_w}$	<p>i) αν $\alpha_s \geq 2,0$:</p> $V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta + V_{cd}$ <p>$\theta=45^\circ$ &</p> <p>α) $V_{cd}=0,25V_{Rd1}$ αν $v_d > -0,1$</p> <p>β) $V_{cd}=0,70V_{Rd1}$ αν $v_d \leq -0,1$</p> <p>ii) αν $1,3 < \alpha_s < 2,0$:</p> <p>α) οριζόντιος οπλισμός όπως στο i)</p> <p>β) κατακόρυφος οπλισμός</p> $\rho_v \cdot f_{yd,v} \geq \frac{V_{Ed,w} - V_{cd} - \min N_{Ed}}{b_{wo} \cdot 0,8 \cdot l_w}$ <p>iii) αν $\alpha_s < 1,3$:</p> <p>α) οριζόντιος οπλισμός όπως στο i)</p> <p>β) κατακόρυφος οπλισμός</p> $\rho_v \cdot f_{yd,v} = \rho_h \cdot f_{yd,h}$
Αντοχή σε Διαγώνια Θλίψη	<p>ΚΠΜ: όπως στον EC2</p> <p>ΚΠΥ: i) εκτός κρσιίμων περιοχών</p> $V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot l_w$ <p>όπου:</p>	$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot l_w$ <p>όπου:</p> $v = \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right)$

	$v = \left(0,6 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$ ii) εντός κρισίμων περιοχών το 40% της τιμής εκτός κρισίμων περιοχών	
Αντοχή σε Διατμητική Ολίσθηση	$V_{Ed,w} \leq V_{Rd,s}$ και $V_{Rd,s} = V_{dd} + V_{id} + V_{fd}^{[5]}$	---
Κατακόρυφος Οπλισμός σε Αρμούς Διακοπής Εργασίας	$\rho_{v,min} \geq \left\{ \frac{1,3 \cdot f_{ctd} - \frac{N_{Ed}}{A_w}}{f_{yd} + 1,5 \sqrt{f_{cd} \cdot f_{yd}}} \right\}$	$\rho_{v,min} \geq \left\{ \frac{1,9 \cdot f_{ctd} - 0,7 \cdot \frac{N_{Ed}}{A_w}}{f_{yd}} \right\}$

Σημειώσεις:

1. Για πιο αναλυτικά βλ. και 5.4.2.4 του EC8
2. V_{Ed} είναι η τέμνουσα σχεδιασμού όπως προκύπτει από την ανάλυση (βλ. και 5.4.2.4(8)).
3. Ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων για τοιχώματα θεωρείται πως έχει την τιμή $z = 0,8 \cdot l_w$
4. α_s είναι ο λόγος διατμήσεως και δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha_s = \frac{M_{Sd}}{V_{Sd} \cdot l_w}$$

5. με:

$$V_{dd} = \Sigma A_{sj} \cdot f_{yd} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 1,3 \cdot \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{yd}}} \\ 0,25 \end{array} \right\}$$

$$V_{id} = \Sigma A_{sj} \cdot f_{yd} \cdot \cos \varphi$$

$$V_{fd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \mu_f \cdot \left[\left(\Sigma A_{sj} \cdot f_{yd} + N_{Ed} \right) \cdot \xi + M_{Ed} / z \right] \\ 0,5 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \xi \cdot l_w \cdot b_{wo} \end{array} \right\}$$

όπου:

V_{dd} είναι η αντοχή δράσης βλήτρου των κατακόρυφων ράβδων

V_{id} είναι η συμβολή λοξών ράβδων*

V_{fd} είναι η αντίσταση τριβής

*οι λοξές ράβδοι λαμβάνονται υπόψη στην καμπτική αντοχή, βλ. στον EC8 5.5.3.4.4(5)

❖ Παρατήρηση:

Επισημαίνουμε τις διαφορές στον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών σχεδιασμού σε κάμψη και διάτμηση των δύο κανονισμών.

Μεγάλα ελαφρά ωπλισμένα τοιχώματα

Η περίπτωση των μεγάλων ελαφρά ωπλισμένων τοιχωμάτων **δεν** εξετάζεται στους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ, αλλά αποτελεί μια **νέα θεώρηση** του EC8.

Όπως αναφέρθηκε και σε άλλη παράγραφο, τοιχώματα αυτού του τύπου, λόγω μη-αξιοπιστίας στην κατανάλωση ενέργειας, πρέπει να μελετώνται **πάντοτε ως φορείς ΚΠΜ**, ενώ για να θεωρείται ένα σύστημα τοιχωμάτων σύστημα μεγάλων ελαφρά ωπλισμένων τοιχωμάτων πρέπει να ισχύουν οι προϋποθέσεις που δίνονται στην §9.3.2.2 της παρούσας.

Πίνακας 10.22: Διαστασιολόγηση μεγάλων ελαφρά ωπλισμένων τοιχωμάτων

Σχεδιασμός Έναντι Κάμψης με Αξονική ^[1]	Όπως και στον EC2 με βάση τα εντατικά μεγέθη της ανάλυσης
Σχεδιασμός Έναντι Τέμνουσας ^[2]	Αύξηση της τέμνουσας της ανάλυσης: $V_{Ed} = \frac{q+1}{2} \cdot V'_{Ed}$

Σημειώσεις:

1. α) Στην περίπτωση σχεδιασμού με συντελεστή συμπεριφοράς $q > 2,0$ πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και μια **δυναμική αξονική δύναμη** που μπορεί να εκτιμάται ως το **50%** της αξονικής δύναμης του τοιχώματος λόγω φορτίων βαρύτητας.
 β) **Δεν πρέπει να υπερδιαστασιολογείται** σε κάμψη ο φορέας για την αποφυγή της αλλαγής του τρόπου αστοχίας.
2. α) Λόγω αύξησης της ασφάλειας που προσφέρει η μεγέθυνση των τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού **δεν απαιτείται η πρόβλεψη ελάχιστου διατμητικού οπλισμού στον κορμό όταν $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$.**
 β) Αν $V_{Ed} \geq V_{Rd,c}$ προβλέπεται οπλισμός διάτμησης στον κορμό που υπολογίζεται όπως στον EC2.

❖ Παρατήρηση:

Πρόκειται ουσιαστικά για **νέες διατάξεις** που καλύπτουν ένα σημαντικό κενό των ΕΚΩΣ/ΕΑΚ.

10.3.6 Τοιχοπληρώσεις

Στις §4.3.6 & §5.9 του EC8 περιέχονται **νέες διατάξεις** για την επιρροή των τοιχοπληρώσεων σε κτίρια που μελετώνται αντισεισμικά.

1. Οι διατάξεις περί τοιχοπληρώσεων μπορούν να αγνοούνται σε συστήματα τοιχωμάτων ή διπλά συστήματα ισοδύναμα προς τοιχώματα, αλλά εφαρμόζονται σε συστήματα πλαισίων υπό τις εξής **προϋποθέσεις**:

- α) κατασκευάζονται **μετά** από τη σκλήρυνση του πλαισίου
- β) βρίσκονται σε επαφή με το πλαίσιο, αλλά **χωρίς** στατική σύνδεση προς αυτό
- γ) θεωρούνται **μη-φέροντα** στοιχεία
2. Για τον **περιορισμό των βλαβών των τοιχοπληρώσεων** προβλέπονται μέτρα για τη βελτίωση της συμπεριφοράς τους όπως ελαφρά πλέγματα καλά αγκυρωμένα, ειδικούς τοιχοσυνδέσμους στους οριζόντιους αρμούς κονιάματος και σενάζ.
3. Κατά τον EC8 λαμβάνονται υπόψη **συνέπειες** λόγω:
- **μη-κανονικότητας σε κάτοψη** (ανάλυση ευαισθησίας, διπλασιασμός των αποτελεσμάτων λόγω τυχηματικής εκκεντρότητας)
 - **μη-κανονικότητας σε όψη** (αύξηση εντατικών μεγεθών λόγω σεισμικής δράσης μέσω συντελεστή μεγέθυνσης $\eta = (1 + \Delta V_{Rw} / \Sigma V_{Ed}) \leq \eta$, αλλά αν $\eta < 1,1$ δεν απαιτείται μείωση (βλ. και §4.3.6.3.2(2) του EC8))
 - υψηλών **αβεβαιοτήτων** της συμπεριφοράς των τοιχοπληρώσεων
 - **δυσμενών** τοπικών επιδράσεων λόγω αλληλεπίδρασης πλαισίου και τοιχοπλήρωσης (επίδραση στον καθορισμό του κρίσιμου ύψους υποστυλωμάτων (βλ. §5.9 του EC8 και §12.5.1 της παρούσας), ειδικές απαιτήσεις για κοντά υποστυλώματα (βλ. παρακάτω) και έλεγχος όλου του ύψους του υποστυλώματος για τη διαγώνια θλιπτική δύναμη που ασκείται από την τοιχοπλήρωση (βλ. §5.9(4) του EC8))

Κοντά υποστυλώματα

Αν το ύψος των τοιχοπληρώσεων είναι μικρότερο από το καθαρό ύψος των υποστυλωμάτων ο EC8 επιβάλλει τα εξής:

- ικανοτικό σχεδιασμό τέμνουσας θεωρώντας πως σχηματίζεται πλαστική άρθρωση στη διατομή του υποστυλώματος που τερματίζεται η τοιχοπλήρωση με ροπή:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Re,i}$$

$$\gamma_{Rd} = 1,1 \text{ για ΚΠΜ}$$

$$\gamma_{Rd} = 1,3 \text{ για ΚΠΥ}$$

- το ύψος για τον υπολογισμό της ικανοτικής τέμνουσας θα λαμβάνεται ίσο προς το ύψος του υποστυλώματος που δε βρίσκεται σε επαφή με τις τοιχοπληρώσεις, l_{cl} (αν $l_{cl} < 1,5h_c$ τότε απαιτείται διοδιαγώνιος οπλισμός)
- ο ισχυρός εγκάρσιος οπλισμός που προκύπτει από τον ικανοτικό έλεγχο θα εκτείνεται σε **ύψος $l_{cl} + h_c$**
- **όλο το ύψος** του υποστυλώματος θεωρείται κρίσιμο

- ❖ Κατά τον **ΕΚΩΣ** εφαρμόζονται παρόμοιες διατάξεις για τα κοντά υποστυλώματα, ωστόσο, υπάρχουν διαφορές στους ελέγχους και στις απαιτήσεις, ενώ δίνονται και πρόσθετες **πιο αναλυτικές διατάξεις** για το εν λόγω θέμα (βλ. §18.4.9 του ΕΚΩΣ) που δεν περιλαμβάνει ο EC8 (μείωση των τεμνουσών αντοχής, δισδιαγώνιο οπλισμό, μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς q).

10.3.7 Σχεδιασμός Θεμελιώσεων Έναντι Σεισμού

Η λογική του σχεδιασμού των θεμελιώσεων έναντι σεισμού είναι ίδια στον EC8 με αυτήν του ΕΑΚ. Στις θεμελιώσεις και στο έδαφος πρέπει να μεταφέρονται με ασφάλεια τα φορτία της ανωδομής **δίχως** την ανάπτυξη μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων, πράγμα που σημαίνει πως στις θεμελιώσεις **δεν αναμένεται σημαντική κατανάλωση ενέργειας**. Η κατανάλωση ενέργειας μέσω έντονων πλαστικών παραμορφώσεων πρέπει να περιορίζεται σε επιλεγμένες θέσεις της **ανωδομής**. Έτσι η θεμελίωση πρέπει να παραμένει στην ελαστική περιοχή, όταν η ανωδομή αναπτύσσει ανελαστική συμπεριφορά. Γι' αυτό και τα στοιχεία θεμελιώσεως **υπερδιαστασιολογούνται σε σχέση με την ανωδομή**, τόσο με τον EC8 όσο και με τον ΕΑΚ, **μέσω ικανοτικού σχεδιασμού** που λαμβάνει υπόψη την πιθανή υπεραντοχή των πλαστικών στοιχείων. Ο σχεδιασμός γίνεται με το σεισμικό συνδυασμό (που εφαρμόζεται και για την ανωδομή), πολλαπλασιάζοντας όμως τη σεισμική δράση με κατάλληλο ικανοτικό συντελεστή μεγέθυνσης, έτσι όπως δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 10.23: Διαστασιολόγηση θεμελίωσης

EC8	$E_{Fd} = E_{F,G} + \gamma_{Rd} \cdot \Omega \cdot E_{F,E}$ <p>όπου:</p> $\gamma_{Rd} = 1,20 \text{ (εκτός αν } q \leq 3,0 \text{ οπότε } \gamma_{Rd} = 1,00)$ $\Omega = R_{di}/E_{di} \leq q$ <p>(για θεμελιώσεις περισσότερων του ενός κατακόρυφων στοιχείων πρέπει: $\gamma_{Rd} \cdot \Omega = 1,40$)</p>
ΕΑΚ	$E_{Fd} = E_{F,G} + \alpha_{CD} \cdot E_{F,E}$ <p>όπου:</p> $\alpha_{CD} = 1,20 \cdot M_{Rdi}/M_{Edi} - M_{Vdi}/M_{Edi} \leq q$ <p>(για θεμελιώσεις περισσότερων του ενός κατακόρυφων στοιχείων πρέπει: $\alpha_{CD} = 1,35$)</p>

Σημειώσεις:

1. Τα $E_{F,G}$ και $E_{F,E}$ αναφέρονται στις μη-σεισμικές δράσεις και στη σεισμική δράση αντίστοιχα του σεισμικού συνδυασμού.
2. Ο λόγος R_{di}/E_{di} είναι ο λόγος της αντοχής του κρίσιμου πλαστικού στοιχείου της ανωδομής προς την ένταση του ίδιου στοιχείου στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού. Ο λόγος R_{di}/E_{di} ισούται με M_{Rdi}/M_{Edi} ή με το λόγο αξονικών ή τεμνουσών σύμφωνα με όσα περιγράφονται στην §4.4.2.6 του EC8. Αντίθετα στο λόγο M_{Rdi}/M_{Edi} του ΕΑΚ ο όρος M_{Edi} αντιστοιχεί στην ένταση από τη σεισμική δράση και **όχι** από το σεισμικό συνδυασμό, όπως στον EC8. Εξού και η αφαίρεση του λόγου M_{Vdi}/M_{Edi} που είναι ο λόγος της ροπής από τα μη σεισμικά φορτία του σεισμικού συνδυασμού προς τη ροπή από τη σεισμική δράση του σεισμικού συνδυασμού.
3. Τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού που προκύπτουν από τον ως άνω ικανοτικό σχεδιασμό δεν χρειάζεται να υπερβαίνουν αυτά που αντιστοιχούν στην απόκριση του φορέα σε ελαστική ανάλυση, δηλαδή για $q = 1,00$ (πρόκειται για την αντίστοιχη απαίτηση του ΕΑΚ για $\alpha_{CD} \leq q$)

Όπως αναφέρθηκε, σε στοιχεία θεμελίωσης που υπολογίζονται με τον παραπάνω συνδυασμό δεν αναμένουμε μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι τα στοιχεία αυτά **δεν χρειάζεται να ικανοποιούν τους αντίστοιχους κανόνες των στοιχείων της ανωδομής για την επιλεγμένη κατηγορία πλαστιμότητας.**

Απαλλαγή από τον ικανοτικό σχεδιασμό:

Κατά τον EC8, στην περίπτωση που στην ανάλυση για τα στοιχεία θεμελίωσης έχει χρησιμοποιηθεί συντελεστής συμπεριφοράς $q \leq 1,50$ που είναι το ανώτερο όριο για φορείς χωρίς απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας, τότε **δεν απαιτείται ικανοτικός σχεδιασμός.**

Εναλλακτική επιλογή:

Κατά τον EC8, εάν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού για τα στοιχεία θεμελίωσης πλαστικών φορέων προέρχονται από την ανάλυση για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού **χωρίς τις θεωρήσεις ικανοτικού σχεδιασμού**, τότε η μελέτη και η διαμόρφωση των στοιχείων αυτών θα ακολουθεί τους αντίστοιχους κανόνες για τα στοιχεία του **ανωδομής** για την επιλεγμένη κατηγορία πλαστιμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11ο: ΛΕΙΠΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ

11.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το παρόν κεφάλαιο ασχολείται με τις διαφορές στην κατασκευαστική διαμόρφωση των οπλισμών μεταξύ EC2/EC8 και ΕΚΩΣ. Με βάση τα Κεφ.8 του EC2 και 5 του EC8 και το αντίστοιχο Κεφ.17 του ΕΚΩΣ θα παρουσιάσουμε τις αλλαγές, τα νέα στοιχεία, καθώς και τις διατάξεις που καταργούνται.

Το Κεφ. 8 του EC2 δεν είναι επαρκές για:

- δομικά στοιχεία υπό δυναμική φόρτιση που προκαλείται από σεισμικές δράσεις, μηχανικές δονήσεις, κρουστικά φορτία και
- δομικά στοιχεία που περιλαμβάνουν οπλισμούς επικαλυπτόμενους με ειδικές βαφές, εποξικά υλικά ή ψευδάργυρο.

Για στοιχεία με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας για την κατασκευαστική διαμόρφωση των οπλισμών εφαρμόζονται και οι αντίστοιχες διατάξεις του Κεφ.5 του EC8.

Όπως αναφέρθηκε, παρακάτω θα εστιάσουμε στις διαφορές που προκύπτουν με την εφαρμογή των EC2/EC8 σε σχέση με τον ΕΚΩΣ.

11.2 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες:

Πίνακας 11.1: Αποστάσεις οπλισμών

	EC2	ΕΚΩΣ
Καθαρή Απόσταση μεταξύ Παράλληλων Ράβδων	$s_{\min} = \max\{k_1\varnothing, d_g+k_2, 20\text{mm}\}$ $k_1 = 1,0 \ \& \ k_2 = 5\text{mm}$	$s_{\min} = \max\{\varnothing_{\max}, d_g+5\text{mm}, 20\text{mm}\}$
Ελεύθερη Απόσταση μεταξύ Στρώσεων Ράβδων	αρκετή για την επιτυχία της συμπόκνωσης	$s \geq \max\{2/3d_g, 25\text{mm}\}$

Σημείωση:

d_g είναι η μέγιστη διάμετρος κόκκου αδρανών

\varnothing είναι η διάμετρος των ράβδων

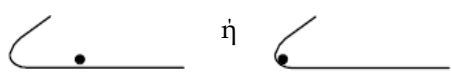
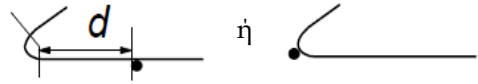
11.3 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΤΥΜΠΑΝΟΥ

Οι διαφορές αφορούν ορισμένες τιμές και φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 11.2: Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου για ράβδους και σύρματα

Διάμετρος Ράβδου		Ελάχιστη Διάμετρος Τυμπάνου για Καμπλώσεις, Αγκιστρα & Βρόχους
EC2	ΕΚΩΣ	
$\varnothing \leq 16 \text{ mm}$	$\varnothing \leq 20 \text{ mm}$	4 \varnothing
$\varnothing > 16 \text{ mm}$	$\varnothing > 20 \text{ mm}$	7 \varnothing

Πίνακας 11.3: Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου για συγκολλητούς οπλισμούς

Ελάχιστη Διάμετρος Τυμπάνου				
				
EC2	5 \varnothing	5 \varnothing	$d \geq 3\varnothing : 5\varnothing$ $d < 3\varnothing : 20\varnothing$	20 \varnothing
ΕΚΩΣ	$d \geq 4\varnothing : \text{βλ. τιμές προηγούμενου πίνακα}$ $d < 4\varnothing : 20\varnothing$	20 \varnothing	$d \geq 4\varnothing : \text{βλ. τιμές προηγούμενου πίνακα}$ $d < 4\varnothing : 20\varnothing$	20 \varnothing

Σημείωση:

Το μέγεθος τυμπάνου για συγκόλληση εντός καμπύλου μήκους μπορεί να μειωθεί στο 5 \varnothing όταν η συγκόλληση εκτελείται σύμφωνα με το prEN ISO 17660 Παράρτημα Β.

❖ Η διάμετρος τυμπάνου δεν χρειάζεται να ελεγχθεί έναντι αστοχίας του σκυροδέματος αν ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- η αγκύρωση της ράβδου δεν απαιτεί μεγαλύτερο μήκος από 5 \varnothing πέραν του άκρου της καμπύλωσης
- η ράβδος δεν είναι τοποθετημένη επιφανειακά (το επίπεδο της καμπύλωσης κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος) και υπάρχει μια εγκάρσια ράβδος με διάμετρο $\geq \varnothing$ εντός του καμπύλου μήκους
- η διάμετρος τυμπάνου είναι τουλάχιστον ίση με τις συνιστώμενες τιμές που δίνονται στους παραπάνω πίνακες. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**

Διαφορετικά, η διάμετρος τυμπάνου $\varnothing_{m,min}$ πρέπει να αυξηθεί σύμφωνα με την εξίσωση του επόμενου πίνακα. **Στον ΕΚΩΣ δεν υπάρχουν τα παραπάνω κριτήρια**, ωστόσο υπάρχει μια σχέση, που επίσης δίνεται παρακάτω, για την ελάχιστη διάμετρο του τυμπάνου.

Πίνακας 11.4: Σύγκριση σχέσεων υπολογισμού ελάχιστης διαμέτρου τυμπάνου

	EC2	ΕΚΩΣ
ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου	$\varnothing_{m,min} \geq \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\varnothing}\right) \cdot \frac{F_{bt}}{f_{cd}}$	$\frac{\varnothing_{m,min}}{\varnothing_L} = \left(0,5 + \frac{\varnothing}{e}\right) \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$

Σημείωση:

1. όπου:

F_{bt} είναι η εφελκυστική δύναμη υπό τα φορτία αστοχίας σε μία ράβδο ή ομάδα ράβδων σε επαφή, στην αρχή της καμπύλωσης.

a_b για μια συγκεκριμένη ράβδο (ή ομάδα ράβδων σε επαφή) είναι το ήμισυ της απόστασης από κέντρο σε κέντρο μεταξύ των ράβδων (ή ομάδων ράβδων) κάθετα στο επίπεδο της καμπύλωσης. Για μια ράβδο ή ομάδα ράβδων κοντά στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου, το a_b πρέπει να λαμβάνεται ίσο με την επικάλυψη συν $\varnothing/2$.

Η τιμή του f_{cd} δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από αυτή της κατηγορίας σκυροδέματος C55/67.

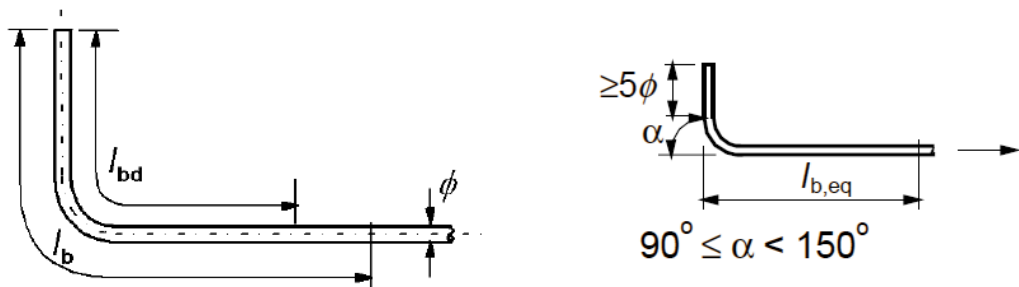
2. όπου:

e η απόσταση των διάφορων στρώσεων των αναβολέων ή η εγκάρσια επικάλυψη των εξωτερικών στρώσεων.

11.4 ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

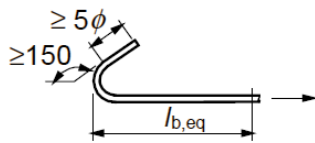
11.4.1 Τύποι Αγκύρωσης

Οι τύποι αγκύρωσης κατά τον EC2 δε διαφέρουν από αυτούς του ΕΚΩΣ. Μερικές διαφορές υπάρχουν σε κάποιες ελάχιστες τιμές.

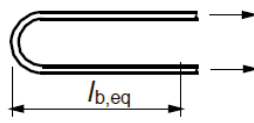


(α) Βασικό μήκος αγκύρωσης l_b , για οποιοδήποτε σχήμα μετρούμενο κατά μήκος του άξονα της ράβδου.

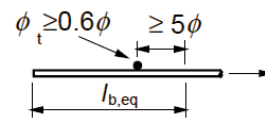
(β) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπική καμπύλωση



(γ) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό άγκιστρο



(δ) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό βρόχο



(ε) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης με συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο

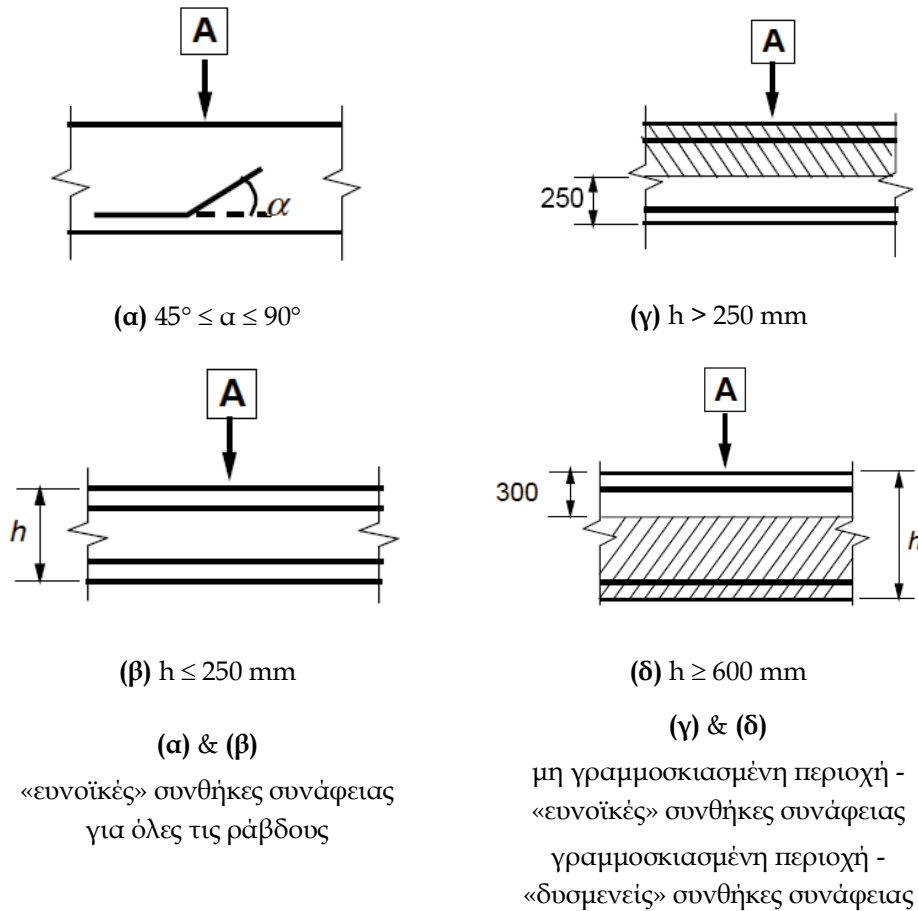
Σχήμα 11.1: Μέθοδοι αγκύρωσης μη ευθυγράμμων ράβδων (EC2)

❖ **Αλλαγές σε σχέση με ΕΚΩΣ:**

1. Στην περίπτωση (β) η μέγιστη γωνία είναι 135° στον ΕΚΩΣ αντί 150° του EC2.
2. Στην περίπτωση (γ) η ελάχιστη γωνία είναι 135° στον ΕΚΩΣ αντί 150° του EC2.
3. Στην περίπτωση (ε) δεν υπάρχουν στον ΕΚΩΣ οι απαιτήσεις για ελάχιστη απόσταση 5ϕ μεταξύ αρχής μήκους αγκύρωσης και συγκολλημένης ράβδου και για ελάχιστη διάμετρο αυτής $0,6\phi$. (βλ. Σχήμα 11.1)

11.4.2 Συνθήκες Συνάφειας

- ❖ **Αλλαγή σε σχέση με ΕΚΩΣ:** στην περίπτωση (γ) (Σχήμα 11.2) οι συνθήκες συνάφειας θεωρούνται ευνοϊκές για ύψος $h/2$ από την κάτω πλευρά του στοιχείου και όχι για 250mm που είναι στον EC2.



όπου \boxed{A} η διεύθυνση σκυροδέτησης

Σχήμα 11.2: Διάκριση συνθηκών συνάφειας (EC2)

11.4.3 Οριακή Τάση Συνάφειας

Η οριακή τάση συνάφειας δίνεται από τη σχέση $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$. Πρόκειται για την ίδια σχέση με τον ΕΚΩΣ, μόνο που στον ΕΚΩΣ οι συντελεστές η_1, η_2 δίνονται από πίνακες. Λόγω της αυξημένης ψαθυρότητας των σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής, κατά τον EC2 το $f_{ctk,0,05}$ **πρέπει να περιοριστεί στη τιμή που αντιστοιχεί στο C60/75**, εκτός αν μπορεί να τεκμηριωθεί ότι η μέση τάση συνάφειας υπερβαίνει αυτό το όριο.

11.4.4 Μήκος Αγκύρωσης

Στον EC2 υπάρχουν ορισμένες διαφορές στη θεώρηση του βασικού μήκους αγκύρωσης και του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης (μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού). Επίσης στον

EC2 στην εκτίμηση του μήκους αγκύρωσης λαμβάνονται υπόψη και κάποιοι νέοι συντελεστές που δεν υπάρχουν στον ΕΚΩΣ όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 11.5: Σύγκριση μηκών αγκύρωσης EC2/ΕΚΩΣ

	EC2	ΕΚΩΣ
Βασικό Μήκος Αγκύρωσης	$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}^{[1]}}{f_{bd}}$	$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$
Μήκος Αγκύρωσης Σχεδιασμού	$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}^{[2]}$	$l_{bd} = \alpha_1 l_{b,rqd} \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \geq l_{b,min}$
Ελάχιστο Μήκος Αγκύρωσης (Εφελκυσμός)	$l_{b,min} > \max\{0.3l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100 \text{ mm}\}$	$l_{b,min} > \max\{0.3l_{b,rqd}, 10\varnothing\}$
Ελάχιστο Μήκος Αγκύρωσης (Θλίψη)	$l_{b,min} > \max\{0.6l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100 \text{ mm}\}$	$l_{b,min} > \max\{0.6l_{b,rqd}, 10\varnothing\}$

Σημειώσεις:

$$1. \sigma_{sd} = \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot f_{yd}$$

2. α_1 : Αναφέρεται στην επιρροή της μορφής των ράβδων με την παραδοχή επαρκούς επικάλυψης.

α_2 : Αναφέρεται στην επιρροή της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος.

α_3 : Αναφέρεται στην επιρροή της περισφιξης μέσω εγκάρσιου οπλισμού.

α_4 : Αναφέρεται στην επίδραση μίας ή περισσότερων συγκολλημένων εγκάρσιων ράβδων ($\varnothing_i > 0,6\varnothing$) κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd} .

α_5 : Αναφέρεται στην επιρροή της πίεσης εγκάρσια στο επίπεδο της διάρρηξης κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού.

Απαιτείται ($\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5$) $\geq 0,7$.

Απλουστευτικά και εναλλακτικά το μήκος αγκύρωσης **υπό εφελκυσμό** μερικών από τις μορφές ράβδων που φαίνονται στο Σχήμα 8.1 μπορεί να οριστεί ως το **ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης** $l_{b,eq}$. Το $l_{b,eq}$ όπως ορίζεται στο Σχήμα 8.1, ισούται προς:

- $\alpha_1 l_{b,rqd}$ για τις μορφές ράβδων των Σχημάτων 11.1β, γ, δ
- $\alpha_4 l_{b,rqd}$ για τη μορφή ράβδου του Σχήματος 11.1ε

Οι συντελεστές $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ υπολογίζονται με βάση τον Πίνακα 11.6.

Πίνακας 11.6: Τιμές των συντελεστών $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$

Παράγοντας Επιρροής	Τύπος Αγκύρωσης	Ράβδοι Οπλισμών	
		Υπό Εφελκυσμό	Υπό Θλίψη
Μορφή Ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $c_d > 3\emptyset$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλ. Σχήμα 11.3 για τιμές του c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη Σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \emptyset) / \emptyset$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3\emptyset) / \emptyset$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (βλ. Σχήμα 11.3 για τιμές του c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Περίσφιξη με Εγκάρσιο Οπλισμό Μη Συγκολλημένο στον Κόριο Οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$\alpha_3 = 1 - \text{Κλ}$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Περίσφιξη με Συγκολλημένο Εγκάρσιο Οπλισμό*	Όλοι οι τύποι (η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 11.1 ε)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Περίσφιξη με Εγκάρσια Πίεση	Όλοι οι τύποι	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	---

Σημειώσεις:

όπου:

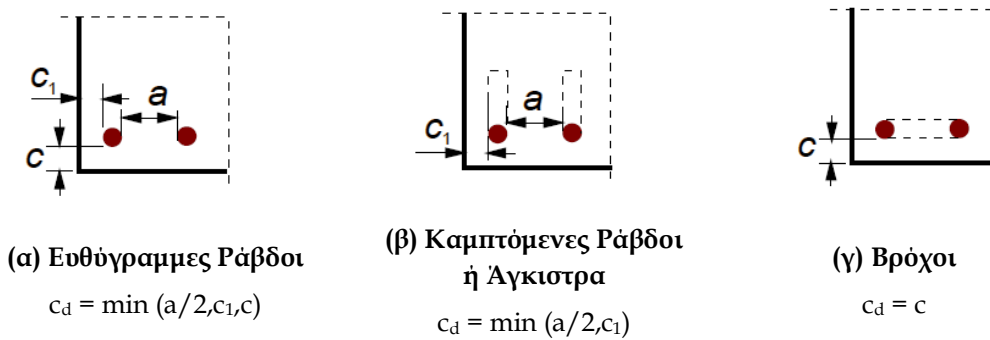
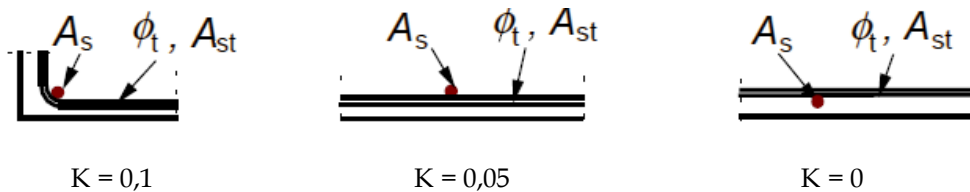
$$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$$

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 (0,25 A_s για δοκούς και μηδενικό για πλάκες)

A_s εμβαδόν διατομής της υπό αγκύρωση ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο

- K** συντελεστής με τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 11.4
- p** εγκάρσια πίεση [MPa] στη κατάσταση αστοχίας κατά μήκος του l_{bd}
- [*]** Για άμεσες στηρίξεις, το l_{bd} μπορεί να ληφθεί μικρότερο από το $l_{b,min}$ αρκεί να υπάρχει τουλάχιστον ένα εγκάρσιο σόρμα συγκολλημένο στο μήκος στήριξης και σε απόσταση τουλάχιστον 15 mm από την έναρξη του μήκους στήριξης.


 Σχήμα 11.3: Τιμές του c_d για δοκούς & πλάκες (EC2)


Σχήμα 11.4: Τιμές του K για δοκούς & πλάκες (EC2)

❖ Διαφορές σε σχέση με ΕΚΩΣ:

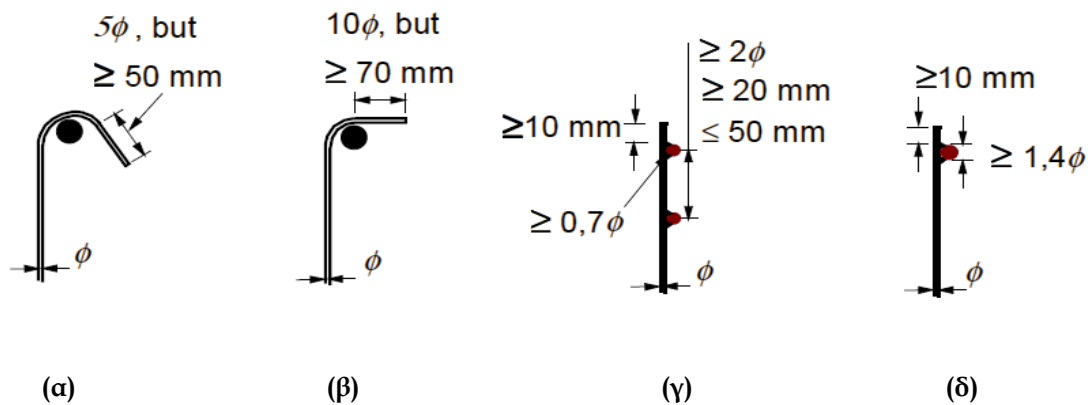
- Οι αλλαγές που επιφέρουν στον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης οι συντελεστές α_1 (μορφή ράβδων), α_4 (συγκολλημένος εγκάρσιος οπλισμός) και α_5 (εγκάρσια πίεση), υπάρχουν **και** στον ΕΚΩΣ με τις ίδιες τιμές (όχι υπό τη μορφή συντελεστών, αλλά μέσω πινάκων ή σχολίων). Εξαιρέση, η περίπτωση εφελκυσμένης μη-ευθύγραμμης ράβδου που θεωρείται $\alpha_1 = 0,7$ μόνο αν $c_d > 3\phi$, ενώ στον ΕΚΩΣ εν γένει $\alpha_1 = 0,7$. Επίσης, για το συντελεστή α_5 η μέγιστη τιμή στον ΕΚΩΣ είναι 1,4, ενώ στον EC2 είναι 1,0 και περιορίζεται επίσης και προς τα κάτω με ελάχιστη τιμή 0,7.
- Έτσι, **αλλαγές υπάρχουν από τις απομειώσεις που επιφέρουν οι συντελεστές α_2 (επικάλυψη) και α_3 (εγκάρσιος οπλισμός), που δεν υπάρχουν στον ΕΚΩΣ.** Ωστόσο, η απαίτηση $(\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5) \geq 0,7$ περιορίζει τη δυνατή μείωση του μήκους αγκύρωσης.

3. Για ράβδους υπό θλίψη δεν υπάρχουν αλλαγές, καθώς όλοι οι συντελεστές έχουν τις ίδιες τιμές με τον ΕΚΩΣ, ενώ οι νέοι συντελεστές του EC2 έχουν την τιμή 1,0.
 4. Άρα η μείωση του μήκους αγκύρωσης με τον EC2 αφορά **μόνο ράβδους υπό εφελκυσμό**. Ουσιαστικά είναι δυνατή μια μείωση του μήκους αγκύρωσης **ευθύγραμμης εφελκυσόμενης ράβδου μέχρι και 30%** ($l_{bd} = 0,7l_{b,reqd}$) σε σχέση με τον ΕΚΩΣ, με κατάλληλη αύξηση της επικάλυψης του οπλισμού και επαρκή εγκάρσιο οπλισμό στην περιοχή της αγκύρωσης.
 5. Η δυνατή μείωση του μήκους αγκύρωσης συμβάλλει στην άμβλυνση του προβλήματος που δημιουργείται σε ακραίους κόμβους λόγω **ανεπαρκούς** διαθέσιμου μήκους αγκύρωσης.
- ❖ Κατά τον EC8 εάν σε ένα υποστύλωμα υπό σεισμικές συνθήκες η αξονική δύναμη προκύπτει **εφελκυστική**, τα μήκη αγκύρωσης **θα αυξάνονται κατά 50%** σε σχέση με τα παραπάνω. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**

11.5 ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

11.5.1 Τύποι Αγκύρωσης

Οι τρόποι αγκύρωσης συνδετήρων και οπλισμών διάτμησης κατά τον EC2 δε διαφέρουν από αυτούς του ΕΚΩΣ. Μερικές διαφορές υπάρχουν σε κάποιες ελάχιστες τιμές.



Σχήμα 11.5: Αγκυρώσεις συνδετήρων (EC2)

Σημείωση:

Στις περιπτώσεις (γ) & (δ) η επικάλυψη δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 3ϕ ή 50 mm.

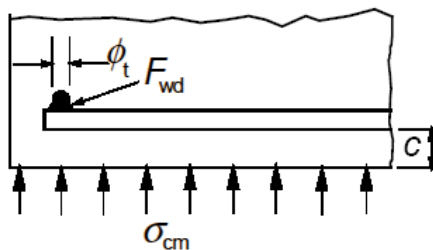
❖ Αλλαγές σε σχέση με ΕΚΩΣ:

1. Στην περίπτωση (α) το ελεύθερο μήκος μετά την κάμψη είναι $10\phi \geq 70\text{mm}$ στον ΕΚΩΣ, **αντί** $5\phi \geq 50\text{mm}$ που είναι στον EC2. Ειδικά για συνδετήρες υποστολωμάτων ή τοιχωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ο EC8 επιβάλλει η γωνία κάμψης να είναι 135° και το ελεύθερο μήκος 10ϕ , όπως και στον ΕΚΩΣ. (βλ. Σχήμα 11.5)
2. Στην περίπτωση (γ) η ελεύθερη απόσταση πάνω από την τελευταία συγκολλημένη ράβδο είναι **τουλάχιστον 15 mm** στον ΕΚΩΣ, **αντί 10 mm** στον EC2. Ομοίως και για την περίπτωση (δ). (βλ. Σχήμα 11.5)

11.6 ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΡΑΒΔΩΝ

Στις περιπτώσεις αγκύρωσης μέσω συγκολλημένων εγκάρσιων ράβδων η τάση σ_{sd} στη σχέση υπολογισμού του βασικού μήκους αγκύρωσης μπορεί να **μειωθεί** κατά την τάση που αντιστοιχεί στη φέρουσα ικανότητα της συγκολλημένης εγκάρσιας ράβδου, δηλαδή F_{btd}/A_s .

Για την εκτίμηση της F_{btd} προτείνεται στον EC2 μια αναλυτική σχέση αρκετά περίπλοκη. Η εξίσωση υπολογισμού είναι μπορεί να απλοποιηθεί για ονομαστικές διαμέτρους ράβδων έως και 12 mm σε $F_{btd} = F_{wd} \leq 16A_s f_{cd} \phi_t / \phi_l$. Στην §8.6 του EC2 όπου γίνεται διεξοδική ανάλυση και δίνονται επεξηγήσεις των συμβόλων. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**



Σχήμα 11.6: Συγκολλημένη εγκάρσια ράβδος ως σύστημα αγκύρωσης (EC2)

11.7 ΕΝΩΣΕΙΣ

Γενικά περί ενώσεων δεν υπάρχουν παρά μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ EC2 και ΕΚΩΣ, τις οποίες θα αναφέρουμε στα επόμενα.

- ❖ Σύμφωνα με τον EC8 για στοιχεία με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας **δεν επιτρέπεται** να διατάσσονται **συγκολλημένες ενώσεις** εντός των **κρίσιμων** περιοχών.

- ❖ Σύμφωνα με τον EC8 για υποστυλώματα και τοιχώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ενώσεις με μηχανικούς συνδέσμους επιτρέπονται μόνο αν οι σύνδεσμοι αυτοί καλύπτονται από κατάλληλες δοκιμές υπό συνθήκες συμβατές με την κατηγορία πλαστιμότητας που έχει επιλεγεί.

11.7.1 Μήκος Υπερκάλυψης

Στον Πίνακα 11.7 δίνονται οι σχέσεις για τον υπολογισμό του μήκους υπερκάλυψης με τον EC2 και με τον ΕΚΩΣ.

Πίνακας 11.7: Σύγκριση μήκους υπερκάλυψης EC2/ΕΚΩΣ

	EC2	ΕΚΩΣ
Μήκος Υπερκάλυψης Σχεδιασμού	$l_o = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$	$l_o = \alpha_1 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$ (εφελκυσμός)
		$l_o \geq \alpha_1 l_{b,rqd}$ (θλίψη)
Ελάχιστο Μήκος Υπερκάλυψης	$l_{0,min}$ $> \max \{ 0,3 \alpha_6 l_{b,rqd}, 15\varnothing, 200 \text{ mm} \}$	$l_{0,min}$ $> \max \{ 0,3 \alpha_1 \alpha_6 l_{b,rqd}, 15\varnothing, 200 \text{ mm} \}$

Σημειώσεις:

1. Οι τιμές των α_1 , α_2 , α_3 και α_5 μπορούν να ληφθούν από το πίνακα που δόθηκε προηγουμένως. Κατά τον υπολογισμό του α_3 , το $\Sigma A_{st,min}$ λαμβάνεται ίσο προς $1,0 A_s (\sigma_{sd} / f_{yd})$ με A_s το εμβαδόν διατομής της μίας υπό ένωση ράβδου.
2. $\alpha_6 = (\rho_1 / 25)^{0,5}$ αλλά όχι μεγαλύτερο από 1,5 ούτε μικρότερο από 1,0, όπου ρ_1 είναι το ποσοστό των υπό ένωση ράβδων σε αποστάσεις $0,65 l_0$ εκατέρωθεν του θεωρούμενου μέσου του μήκους υπερκάλυψης.

- ❖ Τιμές του α_6 για τον EC2 δίνονται στον Πίνακα 11.8. Στον EC2 οι αντίστοιχες τιμές είναι λιγότερο συντηρητικές από τον ΕΚΩΣ. Στον ΕΚΩΣ ο συντελεστής α_6 παίρνει τιμές από 1,2 έως 2,0, αλλά δίνονται με διαφορετικό τρόπο. Εξού και δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες.

Πίνακας 11.8: Τιμές του συντελεστή α_6

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.

11.7.2 Εγκάρσιος Οπλισμός στη Ζώνη Υπερκάλυψης

Στις περιοχές υπερκάλυψης **κυρίων εφελκόμενων οπλισμών** πρέπει να τοποθετείται εγκάρσιος οπλισμός που παραλαμβάνει τις εγκάρσιες εφελκυστικές δυνάμεις. Στον επόμενο πίνακα περιέχονται οι διατάξεις του EC2 και εντός παρενθέσεως αναφέρονται οι αντίστοιχες τιμές του ΕΚΩΣ, όταν αυτές είναι διαφορετικές.

Πίνακας 11.9: Απαιτούμενος εγκάρσιος οπλισμός στη ζώνη υπερκάλυψης

Θέση Υπερκαλυπτόμενων Ράβδων	Ø ράβδων (mm)	Ποσοστό Υπερκαλυπτόμενων Ράβδων	Απόσταση Γειτονικών Υπερκαλύψεων	Εγκάρσιος Οπλισμός	
				Ποσότητα	Τοποθέτηση
Ράβδοι Διατεταγμένες σε Επίπεδο <u>Κάθετο προς τον Εγκάρσιο Οπλισμό</u>	< 20 (ΕΚΩΣ: 16)	τυχόν	τυχούσα	επαρκεί ο τοποθετούμενος για άλλους λόγους εγκάρσιος οπλισμός	
		≤ 25% (ΕΚΩΣ: 20%)			
	≥ 20 (ΕΚΩΣ: 16)	> 25% (ΕΚΩΣ: 20%) ≤ 50%	τυχούσα	ΣA _{st} ≥ A _{sl} (EC8: ΣA _{st} ≥ A _{sl,max})	κάθετα στη διεύθυνση του υπό ένωση οπλισμού και μεταξύ αυτού και της επιφάνειας του σκυροδέματος
		> 50%	≤ 10Ø ≥ 10 Ø		μορφή συνδετήρων ή ράβδων σχήματος U αγκυρωμένων μέσα στο σώμα της διατομής
Ράβδοι Διατεταγμένες σε Επίπεδο <u>Παράλληλο προς τον Εγκάρσιο Οπλισμό (EC8)</u>	τυχόντα		ΣA _{st} ≥ ΣA _{sl}	-	
μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση ράβδων εγκάρσιου οπλισμού				s _{max} =min{h/4, 100mm} (ΕΚΩΣ: 150 mm)	

Σημείωση:

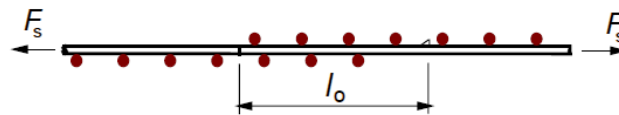
1. ΣA_{st}: άθροισμα όλων των σκελών κατά μήκος της ζώνης υπερκάλυψης
2. A_{sl}: επιφάνεια μιας υπό ένωση ράβδου
3. h: η ελάχιστη διάσταση της διατομής

Για **θλιβόμενες ράβδους** ισχύουν τα παραπάνω κι επίσης οι ακραίες ράβδοι εγκαρσίου οπλισμού πρέπει να τοποθετούνται έξω από τα άκρα του μήκους υπερκάλυψης και σε αποστάσεις έως 4ϕ από τα πέρατα του μήκους υπερκάλυψης.

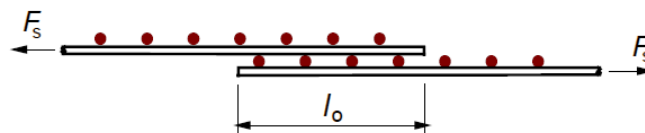
- Δεν υπάρχουν στον EC2 διατάξεις για **κοχλιωτές** ενώσεις που υπάρχουν στον ΕΚΩΣ (§17.7.3.).

11.7.3 Υπερκάλυψη Συγκολλητών Πλεγμάτων με Ράβδους από Νευροχάλυβα

- ❖ Υπάρχουν εκτεταμένες οδηγίες για υπερκάλυψη συγκολλητών πλεγμάτων με ράβδους από νευροχάλυβα, για υπερκάλυψη **κόριου** οπλισμού και οπλισμού **διανομής**, που δεν περιέχονται στον ΕΚΩΣ. Στο Σχήμα 11.7 φαίνονται οι δύο τρόποι που μπορεί να διαμορφωθεί η υπερκάλυψη (**νέα διάταξη**):



(α) Ανεστραμμένη επίθεση δομικών πλεγμάτων



(β) Απλή επίθεση δομικών πλεγμάτων

Σχήμα 11.7: Επικάλυψη συγκολλητών δομικών πλεγμάτων (EC2)

11.8 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΡΑΒΔΟΥΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

($\phi > \phi_{\text{large}}=32 \text{ mm}$)

- ❖ Ισχύουν οι κανόνες 8.4 και 8.7 του EC2 (εδώ 11.4 και 11.7) και επιπροσθέτως (**ΝΕΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ**):
 - Έλεγχος ρηγματώσεως είτε με τη χρήση επιφανειακού οπλισμού είτε με σχετικούς υπολογισμούς.
 - Πρέπει να αγκυρώνονται με μηχανικά μέσα (ισχυρές δυνάμεις απόσχισης και δράσεις βλήτρου). Εναλλακτικά μπορούν να αγκυρωθούν με **ευθύγραμμο** άκρο,

αλλά στο μήκος αγκύρωσης πρέπει να τοποθετούνται **οπλισμοί περίσφιξης** με μορφή συνδετήρων, πέραν των απαιτούμενων για διάτμηση, **ομοιόμορφα** κατανεμημένων στη ζώνη αγκύρωσης με $s_{\max} = 5\phi_L$, και εμβαδόν μεγαλύτερο από:

α) $A_{sh} = 0,25A_s n_1$ παράλληλα προς το επίπεδο της εφελκόμενης παρειάς

β) $A_{sv} = 0,25A_s n_2$ κάθετα προς το επίπεδο της εφελκόμενης παρειάς

- Δεν πρέπει να ενώνονται με υπερκάλυψη εκτός εάν:

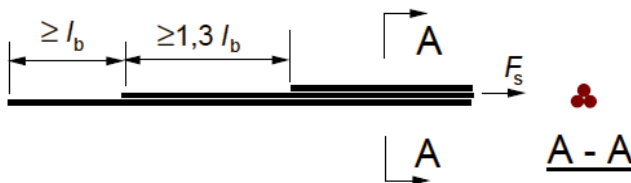
α) η ελάχιστη διάσταση της διατομής είναι 1,0m ή

β) η τάση δεν είναι μεγαλύτερη από 80% της οριακής αντοχής σχεδιασμού

11.9 ΔΕΣΜΕΣ ΡΑΒΔΩΝ

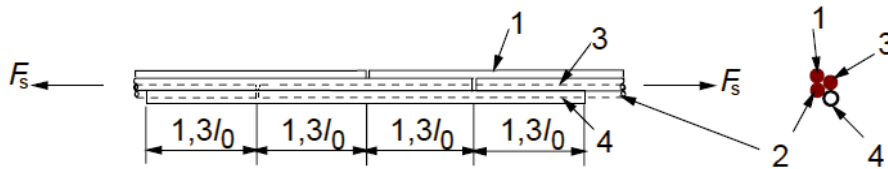
Για τις δέσμες ράβδων ο EC2 τροποποιεί κάποιες οδηγίες του ΕΚΩΣ και δίνει νέες οδηγίες πέραν αυτών που περιλαμβάνει ο ΕΚΩΣ, ως εξής:

1. Ράβδοι διαφορετικών μεγεθών μπορούν να αποτελέσουν δέσμη με τη προϋπόθεση ότι ο λόγος των διαμέτρων τους **δεν ξεπερνά το 1,7**, ενώ στον ΕΚΩΣ πρέπει να έχουν την ίδια διάμετρο.
2. Εφελκόμενες δέσμες με ισοδύναμη διάμετρο $\phi_n < 32 \text{ mm}$ δε χρειάζεται να κλιμακώνονται σταδιακά.
3. Εφελκόμενες δέσμες με ισοδύναμη διάμετρο $\phi_n \geq 32 \text{ mm}$ που αγκυρώνονται κοντά σε στήριξη πρέπει να κλιμακώνονται σταδιακά.
4. Θλιβόμενες δέσμες δε χρειάζεται να κλιμακώνονται σταδιακά.
5. Θλιβόμενες δέσμες με ισοδύναμη διάμετρο $\phi_n \geq 32 \text{ mm}$ απαιτούνται **τουλάχιστον τέσσερις** εγκάρσιοι σύνδεσμοι διαμέτρου $\geq 12 \text{ mm}$. Ένας επιπλέον σύνδεσμος απαιτείται αμέσως μετά το άκρο της δέσμης.



Σχήμα 11.8: Αγκύρωση δέσμης με απαίτηση διαδοχικής διακοπής ράβδων (EC2)

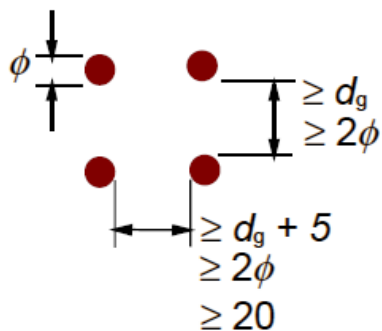
6. Η υπερκάλυψη πραγματοποιείται όπως και για μεμονωμένες ράβδους με διάμετρο όμως \varnothing_n .
7. Για δέσμες που αποτελούνται από **δύο ράβδους** με ισοδύναμη διάμετρο $\varnothing_n < 32 \text{ mm}$ οι ράβδοι μπορούν να ενωθούν χωρίς διαδοχική διακοπή της κάθε ράβδου ξεχωριστά.
8. Για δέσμες οι οποίες αποτελούνται από δύο ράβδους με ισοδύναμη διάμετρο $\varnothing_n \geq 32 \text{ mm}$ ή από **τρεις ράβδους**, οι μεμονωμένες ράβδοι θα πρέπει να διακόπτονται διαδοχικά ανά αποστάσεις **τουλάχιστον $1,3l_0$** όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.9, όπου το l_0 αντιστοιχεί στη διάμετρο της εκάστοτε μεμονωμένης ράβδου. Για την περίπτωση αυτή μια πρόσθετη τέταρτη ράβδος χρησιμοποιείται για την υπερκάλυψη. Θα πρέπει να δοθεί **προσοχή** ώστε να μην υπάρχουν περισσότερες από τέσσερις ράβδοι σε οποιαδήποτε θέση κατά μήκος της υπερκάλυψης. Δέσμες με περισσότερες από τρεις ράβδους δεν θα πρέπει να ματίζονται.



Σχήμα 11.9: Διάταξη ένωσης με υπερκάλυψη δέσμης ράβδων υπό εφελκυσμό που περιλαμβάνει τέταρτη πρόσθετη ράβδο (EC2)

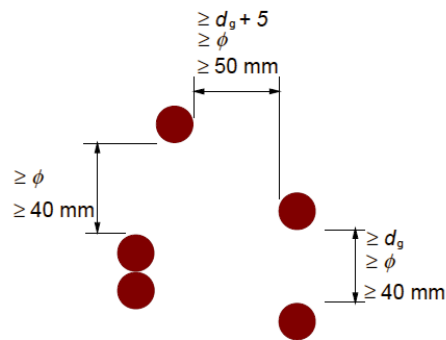
11.10 ΤΕΝΟΝΤΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Στα Σχήματα 11.10 & 11.11 δίνονται οι ελάχιστες οριζόντιες και κατακόρυφες καθαρές αποστάσεις μεταξύ τενόντων που τανύονται πριν τη διάστρωση του σκυροδέματος, και σωλήνων τενόντων που τανύονται μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος (**ΕΚΩΣ:** οι αποστάσεις αυτές έχουν ορισμένες διαφορές σε κάποιες τιμές).



Σχήμα 11.10: Ελάχιστες καθαρές αποστάσεις μεταξύ τανυόμενων πριν την έγχυση τους σκυροδέματος τενόντων (EC2)

Σημείωση: ϕ είναι η διάμετρος του τανυόμενου πριν την έγχυση τους σκυροδέματος τένοντα και d_g είναι το μέγιστο μέγεθος αδρανούς.



Σχήμα 11.11: Ελάχιστες καθαρές αποστάσεις μεταξύ σωλήνων (EC2)

Σημείωση: ϕ είναι η διάμετρος των σωλήνων και d_g είναι το μέγιστο μέγεθος αδρανούς.

Δίνονται επίσης εκτενείς οδηγίες για:

- Αγκύρωση τενόντων τανυόμενων πριν τη διάστρωση του σκυροδέματος
- Ζώνες αγκύρωσης σε στοιχεία με προένταση μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος
- Συστήματα αγκύρωσης και αρμοκλείδες τενόντων προέντασης
- Εκτροπιές τενόντων προέντασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12ο: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

12.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το παρόν κεφάλαιο ασχολείται με τις διαφορές στις κατασκευαστικές απαιτήσεις και λεπτομέρειες μεταξύ EC2/EC8 και ΕΚΩΣ. Με βάση τα Κεφ.9 του EC2 και 5 του EC8 και το αντίστοιχο Κεφ.18 του ΕΚΩΣ θα παρουσιάσουμε τις αλλαγές, τα νέα στοιχεία, καθώς και τις διατάξεις που καταργούνται.

12.2 ΔΟΚΟΙ

12.2.1 Γεωμετρικά Στοιχεία

Στον EC2 δεν υπάρχουν περιορισμοί για τη διαμόρφωση ή τις διαστάσεις διατομής των δοκών. Δίνεται μόνο μια διάταξη (§5.3.1.(3)) που διαχωρίζει τις δοκούς από τις υψικορμες δοκούς:

$l \geq 3 \cdot h_w$ δοκός

$l \leq 3 \cdot h_w$ υψικορμη δοκός

Ειδικά για στοιχεία με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ΚΠΜ και ΚΠΥ υπάρχουν στον EC8 οι παρακάτω διατάξεις.

Πίνακας 12.1: Περιορισμοί γεωμετρικών διαστάσεων δοκών

	EC8		ΕΚΩΣ
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Περιορισμός της Οριζόντιας Εκκεντρότητας των Αξόνων Δοκού-Υποστυλώματος	$e \leq b_c/4$		$e \leq b_c/3$
Μέγιστο Πλάτος Δοκού	$b_w \leq \min\{b_c + h_w, 2b_c\}$		$b_w \leq \min\{b_c + h_c / 2, 2b_c\}$
Ελάχιστο Πλάτος Δοκού	---	$b_w \geq 200\text{mm}$	$b_w \geq 200\text{mm}$ (η εν λόγω απαίτηση αφορά όλες δοκούς)
Λόγος Ύψους προς Πλάτος Κύριας Δοκού	---	$\frac{h_w}{b_w} \leq 3,5 \ \& \ \frac{1}{b_w} \leq \frac{70}{(h_w / b_w)^{1/3}}$	$\frac{1}{h_w} \geq 4$

Πίνακας 12.2: Κρίσιμες Περιοχές δοκών

EC8	ΚΠΜ	$l_{cr} = h_w$ & για φυτευτά υποστυλώματα: $l_{cr} = 2h_w$
	ΚΠΥ	$l_{cr} = 1,5h_w$ & για φυτευτά υποστυλώματα: $l_{cr} = 2h_w$
ΕΚΩΣ		Εν γένει $l_{cr} = 2h_w$

12.2.2 Διαμήκης Οπλισμός

12.2.2.1 Ελάχιστα & Μέγιστα Ποσοστά Οπλισμού

Ο ελάχιστος διαμήκης εφελκόμενος οπλισμός δίνεται από τη σχέση:

Πίνακας 12.3: Ελάχιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού δοκών

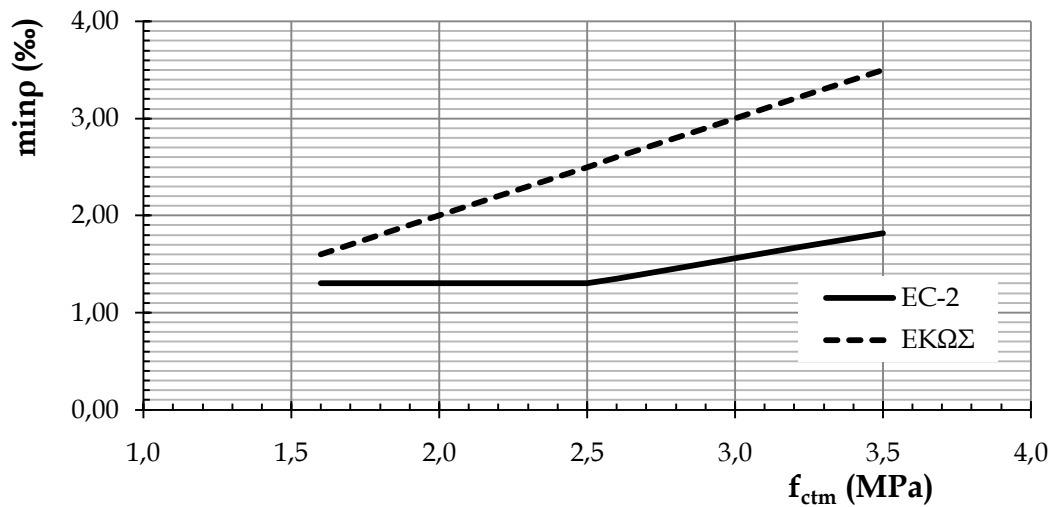
EC2	$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$
EC8 (ΚΠΜ & ΚΠΥ)	$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$ ή $A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d$
ΕΚΩΣ	$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$ ή $A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d$

Σημείωση: Επιπλέον ο ελάχιστος εφελκόμενος οπλισμός κατά τον EC2 πρέπει επαρκεί και έναντι ρηγματώσεως, δηλαδή πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με τον απαιτούμενο οπλισμό ρηγματώσεως που δίνεται από τη σχέση:

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ctm} / \sigma_s$$

Για περισσότερα βλ. § 7.3.2 του EC2 (και § 9.2 της παρούσας).

Παρατηρούμε πως ο EC2 είναι λιγότερο συντηρητικός από τον ΕΚΩΣ, κάτι που συμπεραίνουμε και από το παρακάτω διάγραμμα. Μεταξύ EC8 και ΕΚΩΣ δεν υπάρχει διαφορά.



Σχήμα 12.1: Ελάχιστο ποσοστό διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού - σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ

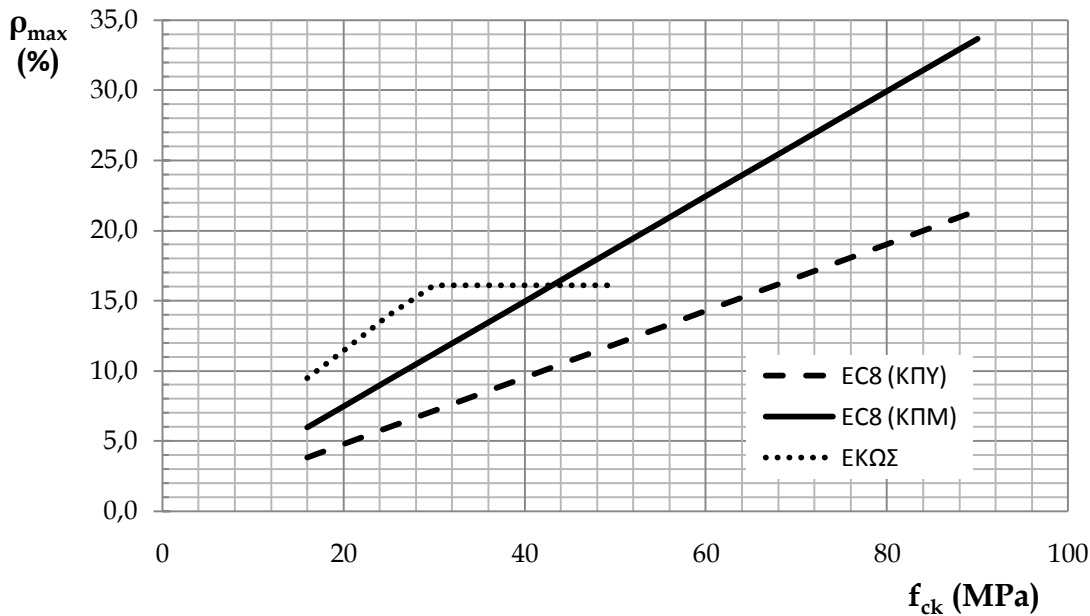
Το μέγιστο ποσοστό οπλισμού είναι $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$. (ΕΚΩΣ: ομοίως)

Ειδικά για τις κρίσιμες περιοχές δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ο EC8 θέτει τον ακόλουθο περιορισμό για τον **μέγιστο εφελκόμενο οπλισμό**:

Πίνακας 12.4: Μέγιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού

EC8 (ΚΙΜ & ΚΠΥ)	$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu\varphi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$
ΕΚΩΣ	$\rho_{max} = 0,65 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{\rho'}{\rho} + 0,0015 \leq \frac{7}{f_{yd}}$

Από το διάγραμμα του Σχήματος 12.2 παρατηρούμε πως με τον EC8 οι επιτρεπόμενες τιμές του ρ_{max} **περιορίζονται αρκετά** σε σχέση με τον ΕΚΩΣ ιδίως για φορείς ΚΠΥ. Βέβαια για την περίπτωση σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής που δεν αναφέρεται ο ΕΚΩΣ προβλέπονται μεγάλες τιμές.



Σχήμα 12.2: Μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού κρίσιμων περιοχών δοκών

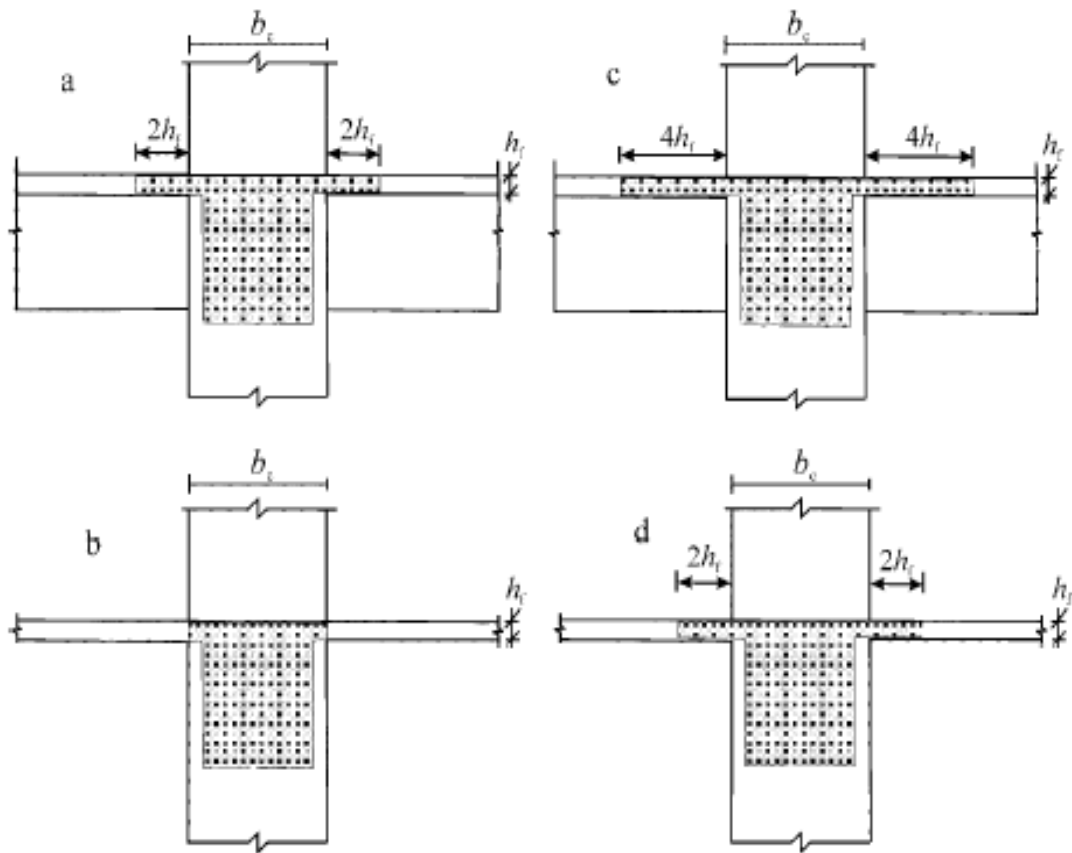
Σημείωση: Το διάγραμμα του Σχήματος 12.2 έχει προκύψει για χάλυβα B500C, θεωρώντας $\rho' = 0,50$ ρ_{max} και με $\mu_{\phi} = 6,80$ & $10,70$ για ΚΠΜ & ΚΠΥ αντίστοιχα (που προκύπτει για τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς $q_0 = 3,90$ & $5,85$ για ΚΠΜ & ΚΠΥ αντίστοιχα στην περίπτωση που $T_1 \geq T_c$)

12.2.2.2 Άλλες Κατασκευαστικές Διατάξεις

❖ Διαφορές με ΕΚΩΣ:

1. Απαιτείται, και για ΚΠΜ και για ΚΠΥ, οπλισμός στο θλιβόμενο πέλμα τουλάχιστον ίσος με το ήμισυ του απαιτούμενου στην εφελκόμενη ζώνη ($A_{s,comp} \geq A_{s,tension}/2$), **επιπλέον** του θλιβόμενου οπλισμού που τυχόν απαιτείται από τον έλεγχο ΟΚΑ της δοκού στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού. Στον **ΕΚΩΣ** η αντίστοιχη διάταξη έθετε **γενικώς ο θλιβόμενος να είναι τουλάχιστον ο μισός** του εφελκόμενου οπλισμού.
2. Στις στηρίξεις μονολιθικών κατασκευών που έχουν θεωρηθεί απλές στηρίξεις κατά το σχεδιασμό, πρέπει να τοποθετείται ένας ελάχιστος οπλισμός $A_{st,sup} \geq 0,15 \cdot A_{st,ανοιγματος}$ (και τουλάχιστον ίσος με τον ελάχιστο απαιτούμενο οπλισμό), λόγω μερικής πάκτωσης. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**
3. Τυχόν θλιβόμενος διαμήκης οπλισμός (διαμέτρου d) ο οποίος προκύπτει από υπολογισμό αντοχής **θα πρέπει να περιβάλλεται από εγκάρσιο οπλισμό** (συνδετήρες) τοποθετούμενο ανά αποστάσεις **όχι μεγαλύτερες από $15d$** . **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**
4. Σε **ενδιάμεσες στηρίξεις συνεχών δοκών**, η συνολική διατομή εφελκόμενου οπλισμού A_s μιας διατομής πλακοδοκού πρέπει να διανεμηθεί στο συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού και μόνο μέρος του θα πρέπει να τοποθετείται εντός του κορμού της δοκού. Το συνεργαζόμενο πλάτος των δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, b_{eff} , κατά τον EC8 προκύπτει ανάλογα με την περίπτωση από τα παρακάτω σχήματα

όπου υπάρχουν ορισμένες διαφορές στον προσδιορισμό του b_{eff} σε σχέση με τον ΕΚΩΣ:

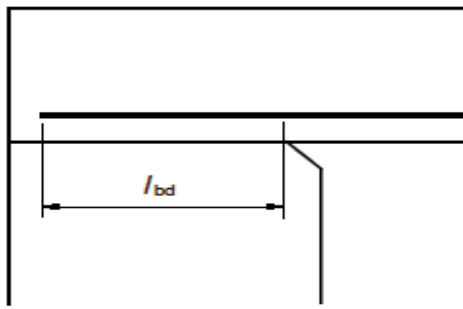


Σχήμα 12.3: Συνεργαζόμενο πλάτος δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

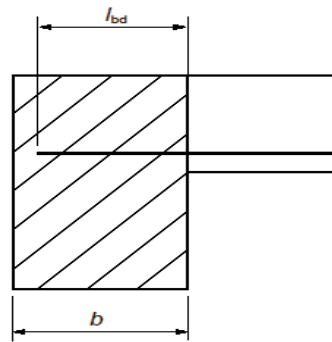
5. Ειδικά για δοκούς υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας (ΚΠΥ) ο EC8 προβλέπει καθ' όλο το μήκος της δοκού **τουλάχιστον 2Ø14** υψηλής συνάφειας στο άνω και κάτω μέρος της δοκού (ΕΚΩΣ: 2Ø12) και τουλάχιστον το 25% του μέγιστου άνω οπλισμού των εκατέρωθεν στηριξεων στο άνω μέρος της δοκού (ΕΚΩΣ: ομοίως).

12.2.2.3 Αγκύρωση Διαμήκους Οπλισμού

1. Για **ακρικές στηρίξεις** που έχουν θεωρηθεί απλές στηρίξεις τουλάχιστον το 25% του κάτω οπλισμού του ανοίγματος θα πρέπει να συνεχίζεται ως τη στήριξη και να αγκυρώνεται έναντι εφελκυστικής δύναμης $F_E = |V_{Ed}| \cdot \alpha_1 / z + N_{Ed}$ (ΕΚΩΣ: $F_E = |V_{Ed}| \cdot \alpha_1 / z$)



Σχήμα 12.4: Άμεση στήριξη (η δοκός στηρίζεται σε τοίχωμα ή υποστύλωμα)

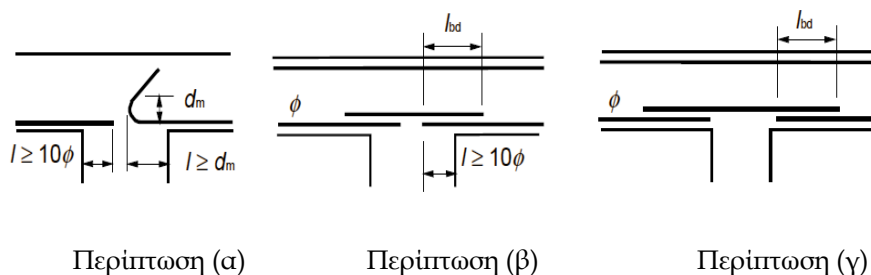


Σχήμα 12.5: Έμμεση στήριξη (η δοκός διασταυρώνεται με εγκάρσια στηρίζουσα δοκό)

❖ **Αλλαγές σε σχέση με ΕΚΩΣ:**

- α) Στο Σχήμα 11.4 στον ΕΚΩΣ απαιτείται αγκύρωση $2/3l_{bd}$, αντί l_{bd} που απαιτείται στον EC2.
- β) Στο Σχήμα 11.5 στον ΕΚΩΣ απαιτείται αγκύρωση $l_{bd} + b/3$ ($\leq 50\text{mm}$), αντί l_{bd} που απαιτείται στον EC2.

2. Σε ενδιάμεσες στηρίξεις τουλάχιστον το 25% του κάτω οπλισμού του ανοίγματος θα πρέπει να συνεχίζεται ως τη στήριξη. Το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης μετρούμενο από την παρειά της στήριξης, είναι:
- 10ϕ , για ευθύγραμμες ράβδους
 - ίσο με τη διάμετρο της καμπύλωσης, για ράβδους με $\phi \geq 16\text{mm}$ με άγκιστρα ή καμπυλώσεις στα άκρα τους
 - ίσο με το διπλάσιο της διαμέτρου καμπύλωσης, για μεγαλύτερες ράβδους
- Δεν είναι απαραίτητο, ωστόσο, οι ενδιάμεσες στηρίξεις να έχουν πλάτος 20ϕ , αφού μπορούν οι ράβδοι να αγκυρώνονται μέσω υπερκάλυψης.



Σχήμα 12.6: Αγκυρώσεις σε Ενδιάμεσες Στηρίξεις (EC2)

3. Για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ευθύγραμμοι άνω ή κάτω οπλισμοί δεν πρέπει να διακόπτονται σε απόσταση μικρότερη από l_{cr} από την απέναντι παρειά. (ΕΚΩΣ: η αντιστοιχη απόσταση είναι τουλάχιστον $l_{b,min}$)

4. Το τμήμα του διαμήκους οπλισμού δοκών που κάμπτεται για αγκύρωση μέσα σε κόμβους θα διατάσσεται πάντοτε στο **εσωτερικό** των αντιστοιχών συνδετήρων των υποστυλωμάτων. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**
5. Σε φορείς ΚΠΥ το μήκος αγκύρωσης ράβδων δοκού ή υποστυλώματος που αγκυρώνεται μέσα σε κόμβο δοκού-υποστυλώματος θα μετράται από ένα σημείο επί της ράβδου σε απόσταση $5d_{bL}$ μέσα από την παρειά του κόμβου, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η **διείσδυση διαρροής** λόγω ανακυκλικών μετελαστικών παραμορφώσεων. **(ΕΚΩΣ: η αντιστοιχη απαίτηση εφαρμόζεται εν γένει για τις δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας)**
6. Σε δοκούς με απαιτήσεις αντισεισμικότητας για την **αποφυγή αστοχίας συνάφειας**, η διάμετρος των **διαμήκων** ράβδων δοκού που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων (και όχι για διαγώνιες ράβδους που διέρχονται από κόμβους), d_{bL} , θα περιορίζεται σύμφωνα με τις ακόλουθες εκφράσεις **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**:

Πίνακας 12.5: Περιορισμός διαμέτρου διαμήκων ράβδων δοκών σε κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων

Εσωτερικοί Κόμβοι	$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot \rho' / \rho_{max}}$
Εξωτερικοί Κόμβοι	$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot v_d)$

Σημειώσεις:

όπου

h_c το πλάτος του υποστυλώματος παράλληλα προς τις ράβδους

f_{ctm} η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος

f_{yd} η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής χάλυβα

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού στο υποστυλώμα, που λαμβάνεται με την ελάχιστη τιμή της για την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού ($v_d = N_{Ed} / f_{cd} \cdot A_c$)

k_D ο συντελεστής που εκφράζει την κατηγορία πλαστιμότητας, ίσος με 1 για ΚΠΥ και με 2/3 για ΚΠΜ

ρ' το ποσοστό οπλισμού των θλιβόμενων ράβδων που διέρχονται από τον κόμβο

ρ_{max} το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού

γ_{Rd} ο συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος (ή υπεραντοχής) για την τιμή σχεδιασμού των αντοχών, που λαμβάνεται ίσος με 1,2 ή 1,0 αντίστοιχα για ΚΠΥ & ΚΠΜ

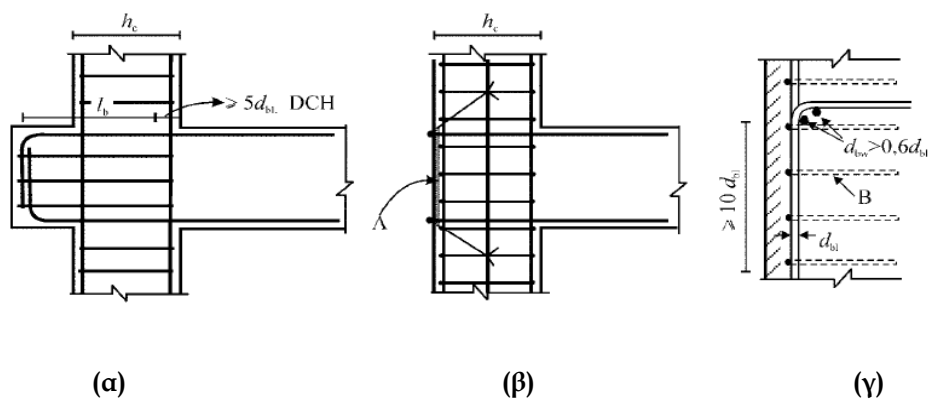
Πίνακας 12.6: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές διαμέτρων ράβδων δοκών σε κόμβους (σε mm)

	f_{ck} (MPa)	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
εσωτερικοί κόμβοι	ΚΠΜ	18	20	24	27	30	32	35	38	39	41	42	44	46
	ΚΠΥ	14	16	18	21	23	25	27	29	30	31	32	34	35
εξωτερικοί κόμβοι	ΚΠΜ	22	26	30	34	37	40	44	47	48	51	53	55	58
	ΚΠΥ	19	21	25	28	31	34	37	39	40	42	44	46	48

***Σημείωση:** Οι τιμές των διαμέτρων των ράβδων έχουν προκύψει για χάλυβα B500C θεωρώντας $h_c = 0,50$ m, $v_d = 0,40$ και $\rho' = 0,50 \rho_{max}$. Η στρογγυλοποίηση είναι προς τα πάνω.

7. Ο EC8 επιτρέπει ληφθούν τα ακόλουθα **πρόσθετα μέτρα** για την εξασφάλιση της αγκύρωσης του διαμήκους οπλισμού δοκών, **λόγω μικρού ύψους h_c** , του υποστρώματος παράλληλα προς τις ράβδους (**ΕΚΩΣ: όχι τόσο** λεπτομερείς οδηγίες):

- κατασκευή εξωτερικού κοντού προβόλου κατάλληλου μήκους (βλ. Σχήμα 12.6α).
- χρήση ράβδων με κεφαλή αγκύρωσης ή πλάκα αγκύρωσης με συγκόλληση στα άκρα της ράβδου (βλ. Σχήμα 12.6β).
- καμπύλωση με ελάχιστο κατακόρυφο μήκος $10d_{bl}$ και διάταξη εγκάρσιου οπλισμού κοντά στο εσωτερικό της καμπύλης κάμψης των ράβδων (βλ. Σχήμα 12.6γ).



Σχήμα 12.7: Πρόσθετα μέτρα για αγκύρωση σε εξωτερικούς κόμβους δοκών-υποστρωμάτων (EC2)

12.2.3 Εγκάρσιος Οπλισμός

Τουλάχιστον το 50% του απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης πρέπει να έχει τη μορφή συνδετήρων. (**ΝΕΑ ΠΡΟΤΑΣΗ**)

12.2.3.1 Ελάχιστος Οπλισμός

Κατά τον EC2 το ποσοστό του οπλισμού διάτμησης δεν πρέπει να είναι μικρότερο από:

$$\rho_{w,\min} = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

❖ Στον ΕΚΩΣ η σχέση που υιοθετείται είναι:

$$\rho_{w,\min} = \frac{1}{3} \cdot \frac{f_{ctk,0.05} / \gamma_c}{f_{yk}}$$

Ωστόσο, οι τιμές δίνονται ανά κλάσεις ποιότητας σκυροδέματος και χάλυβα λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή από την παραπάνω σχέση που αντιστοιχεί στην κάθε κλάση. Όπως φαίνεται και από τον συγκριτικό Πίνακα 12.7 για χάλυβα ποιότητας **B500C**, ο EC2 είναι κατά κανόνα **λιγότερο συντηρητικός** από τον ΕΚΩΣ.

Πίνακας 12.7: Συγκριτικός πίνακας ελάχιστου οπλισμού διάτμησης δοκών $\rho_{w,\min}$ (%)

f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
EC2	0,55	0,64	0,72	0,80	0,88	0,95	1,01	1,07	1,13	1,19	1,24	1,34	1,43	1,52
ΕΚΩΣ	0,70	0,70	0,70	1,10	1,10	1,10	1,30	1,30	1,30	-	-	-	-	-

12.2.3.2 Μέγιστες Αποστάσεις

Όσον αφορά στις μέγιστες αποστάσεις μεταξύ συνδετήρων ο EC2 προβλέπει τα εξής:

Πίνακας 12.8: Μέγιστες αποστάσεις συνδετήρων δοκών

	EC2	ΕΚΩΣ
Μέγιστη Διαμήκης Απόσταση μεταξύ των διατάξεων των Οπλισμών Διάτμησης	$s_{l,\max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$	συνάρτηση των V_{sd} και V_{Rd2} , οδηγώντας, κατά κανόνα, σε πιο συντηρητικά αποτελέσματα.
Μέγιστη Διαμήκης Απόσταση μεταξύ Καμπόμενων Ράβδων	$s_{b,\max} = 0,60 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$	---
Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ Σκελών Συνδετήρων	$s_{t,\max} = 0,75 \cdot d \leq 600\text{mm}$	$\min\{d, 500\text{mm}\}$

Εντός Κρίσιμων Περιοχών

Εντός των κρίσιμων περιοχών δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ο EC8 έχει τις εξής αλλαγές:

Πίνακας 12.9: Μέγιστες αποστάσεις & ελάχιστες διαμέτροι συνδετήρων εντός κρίσιμων περιοχών

	EC2/EC8		ΕΚΩΣ
	ΚΠΙΜ	ΚΠΥ	
Ελάχιστη Διάμετρος Συνδετήρων	6mm	6mm	8mm
Μέγιστη Απόσταση Μεταξύ Συνδετήρων	$s = \min \left\{ \begin{array}{l} h_w / 4, \\ 24 \cdot d_{bw}, \\ 225\text{mm}, \\ 8 \cdot d_{bl,\min} \end{array} \right\}$	$s = \min \left\{ \begin{array}{l} h_w / 4, \\ 24 \cdot d_{bw}, \\ 175\text{mm}, \\ 6 \cdot d_{bl,\min} \end{array} \right\}$	$s = \min \left\{ \begin{array}{l} h_w / 3, \\ 20 \cdot d_{bw}, \\ 200\text{mm}, \\ 10 \cdot d_{bl,\min} \end{array} \right\}$

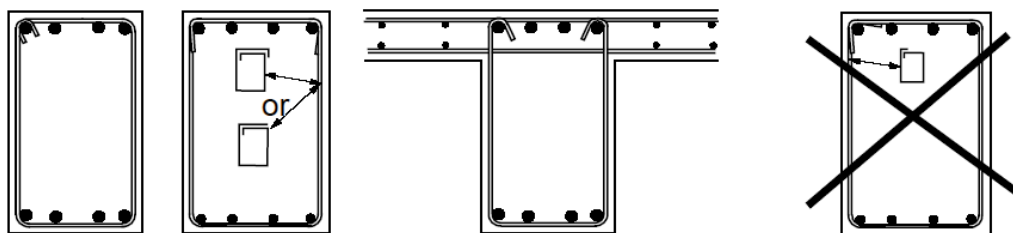
Οπλισμός Στρέψης

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων έναντι στρέψης είναι κατά τον EC2:

$$s_{l,\max} = \min \{ u/8, 0,75 \cdot d(1 + \cot \alpha), h, b \}$$

(ΕΚΩΣ: $s_{l,\max} = u/8$, ενώ ισχύουν και όσα ισχύουν και για δοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας)

Επίσης στον EC2 δίνονται και τα παρακάτω παραδείγματα διαμόρφωσης συνδετήρων στρέψης.



(α) Κατάλληλη Διαμόρφωση

(β) Ακατάλληλη Διαμόρφωση

Σχήμα 12.8: Παραδείγματα διαμόρφωσης Συνδετήρων Στρέψης (EC2)

12.2.4 Επιφανειακός (Επιδερμικός) Οπλισμός

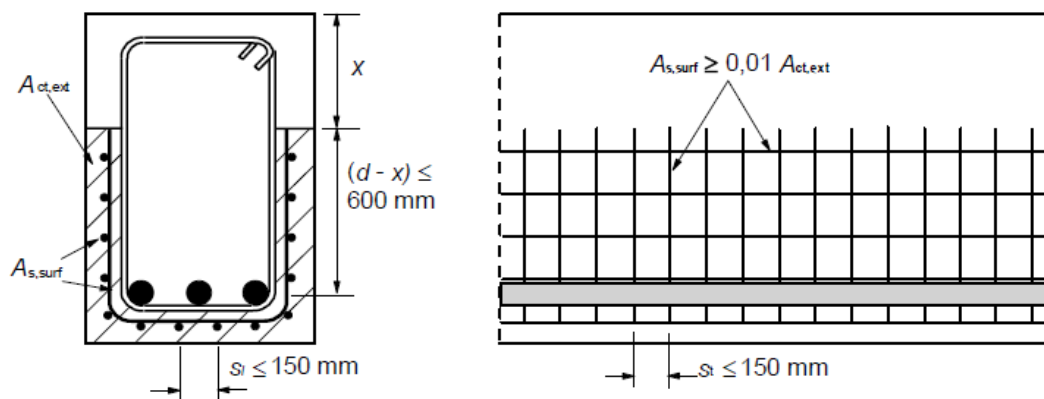
Σύμφωνα και με το Παράρτημα J του EC2 επιφανειακός οπλισμός χρησιμοποιείται:

- όταν $c \geq 70\text{mm}$, οπότε τοποθετείται $A_{s,surf,min} \geq 0,005 \cdot A_{ct,ext}$, σε κάθε κατεύθυνση
- όταν \varnothing ή $\varnothing_n \geq 32\text{mm}$, οπότε τοποθετείται $A_{s,surf,min} \geq 0,01 \cdot A_{ct,ext}$, σε κάθε κατεύθυνση

Επίσης απαιτείται για λόγους ρηγματώσης (βλ. και §7.3.2 του EC2 και §9.2 της παρούσας).

(Κατά τον ΕΚΩΣ απαιτείται επιφανειακός οπλισμός **όταν** $c \geq 50\text{mm}$, οπότε τοποθετείται $A_{s,surf,min} \geq 0,01 \cdot A_{ct,ext}$, καθώς και σε περίπτωση μεγάλων ράβδων **χωρίς** όμως λεπτομερέστερες διευκρινίσεις.)

Ο επιφανειακός οπλισμός πρέπει να αποτελείται από πλέγμα ή ράβδους μικρής διαμέτρου, και να τοποθετείται έξω από τους συνδετήρες.



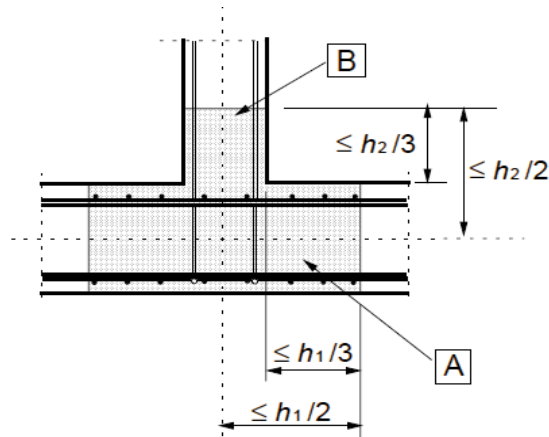
όπου x : το βάθος της ουδέτερης γραμμής στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Σχήμα 12.9: Παράδειγμα επιφανειακού οπλισμού (EC2)

Οι διαμήκεις ράβδοι του επιφανειακού οπλισμού μπορούν να ληφθούν υπόψη ως διαμήκης οπλισμός κάμψης και οι εγκάρσιες ράβδοι ως διατμητικός οπλισμός, εφόσον ικανοποιούν τις απαιτήσεις για την διάταξη και αγκύρωση των τύπων αυτών οπλισμού.

12.2.5 Οπλισμός Έμμεσων Στηριξεων

Όταν μια δοκός εδράζεται έμμεσα σε εγκάρσια δοκό, πρέπει να τοποθετείται **οπλισμός ανάρτησης, επιπρόσθετος** αυτού που απαιτείται για άλλους λόγους, ο οποίος υπολογίζεται ώστε να παραλαμβάνει την δύναμη έδρασης. Αυτός ο κανόνας αφορά επίσης πλάκες που δεν εδράζονται επί δοκών, αλλά αναρτώνται από αυτές. Αποτελείται από συνδετήρες που περιβάλλουν τον κύριο οπλισμό της στηρίζουσας δοκού, μερικοί εκ των οποίων μπορούν να διανεμηθούν εκτός του κοινού τμήματος των δύο δοκών. **(ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)**



A - Στηριζούσα δοκός ύψους h_1 **B** - Στηριζόμενη δοκός ύψους h_2 ($h_1 \geq h_2$)

Σχήμα 12.10: Τοποθέτηση (κάτοψη) του οπλισμού ανάρτησης στην ζώνη συμβολής δύο δοκών (EC2).

12.3 ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΠΛΑΚΕΣ

Σύμφωνα με την §5.3.1.(5) του EC2 πλάκα θεωρείται το στοιχείο για το οποίο ισχύει:

$$l_{\min} \geq 5 \cdot h_f$$

Κατά τον EC8 μια συμπαγής πλάκα θεωρείται πως δρα ως **διάφραγμα** αν έχει πάχος **μεγαλύτερο από 70 mm**.

12.3.1 Οπλισμός Κάμψης

Ελάχιστος Οπλισμός

Το ελάχιστο και το μέγιστο εμβαδόν του οπλισμού κάμψης κατά την κύρια διεύθυνση όπλισης είναι τα ίδια με τα αντίστοιχα του διαμήκους οπλισμού των δοκών, δηλαδή:

Πίνακας 12.10: Ελάχιστος & μέγιστος κύριος οπλισμός συμπαγών πλακών

	EC2	ΕΚΩΣ
Ελάχιστος Οπλισμός	$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$	$A_{s,\min} = \max \{ 0,6 \cdot b \cdot d / f_{yk}, 0,0015 \cdot b \cdot d \}$
Μέγιστος Οπλισμός	$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c$	$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c$

Για το **δευτερεύοντα οπλισμό** δεν υπάρχουν διαφορές (τουλάχιστον 20% του κύριου, όπως και στον ΕΚΩΣ).

Μέγιστες Αποστάσεις

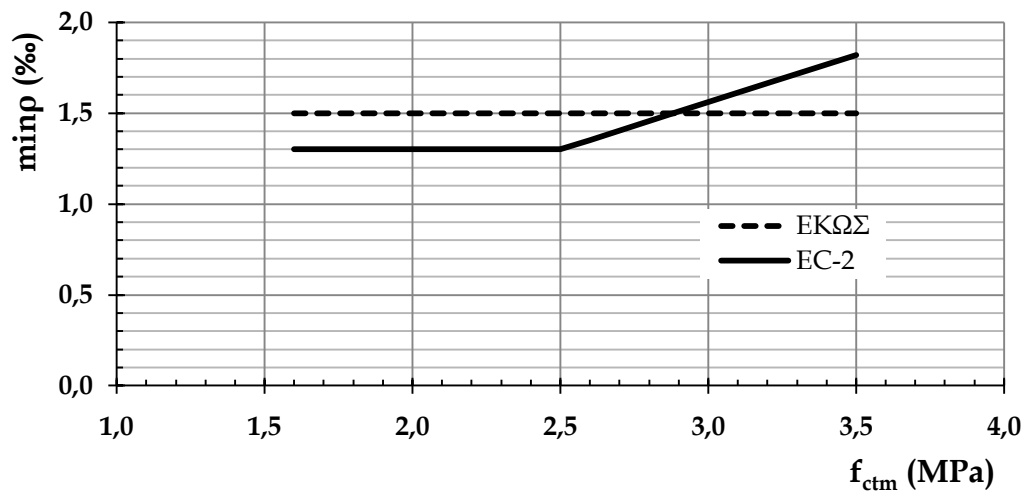
Ο EC2 προβλέπει διαφορετικές απαιτήσεις για κύριο και δευτερεύοντα οπλισμό, **αλλά και για περιοχές μεγάλης έντασης**, λιγότερο συντηρητικές από τον ΕΚΩΣ:

Πίνακας 12.11: Μέγιστες αποστάσεις ράβδων κύριου & δευτερεύοντος οπλισμού

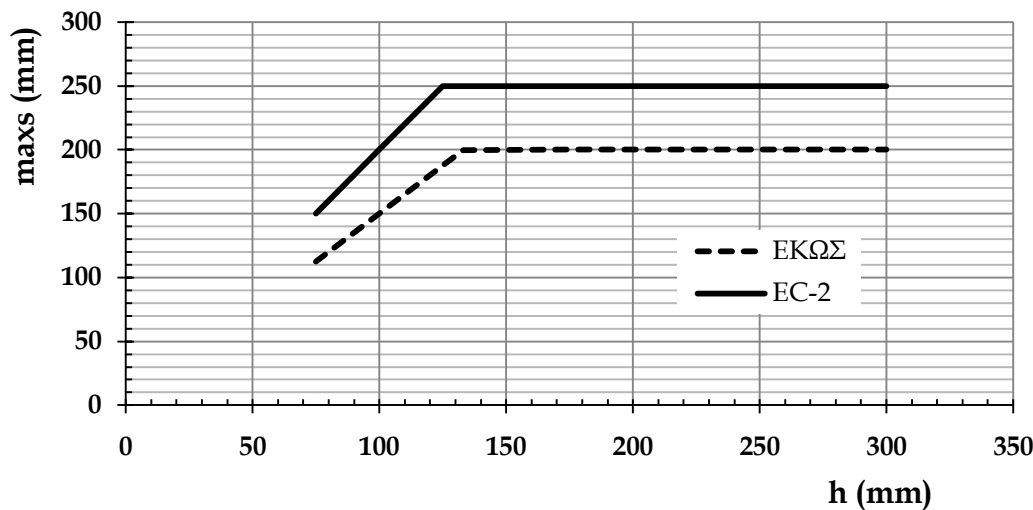
	EC2	ΕΚΩΣ
Κύριος Οπλισμός	$s_{\max,slabs} = \min\{3 \cdot h, 400\text{mm}\}$	$s_{\max,slabs} = \min\{1,5 \cdot h, 200\text{mm}\}$
Κύριος Οπλισμός σε Περιοχές με Συγκεντρωμένα Φορτία ή Μέγιστων Ροπών	$s_{\max,slabs} = \min\{2 \cdot h, 250\text{mm}\}$	
Δευτερέων Οπλισμός	$s_{\max,slabs} = \min\{3,5 \cdot h, 450\text{mm}\}$	$s_{\max,slabs} = 250\text{mm}$
Δευτερέων Οπλισμός σε Περιοχές με Συγκεντρωμένα Φορτία ή Μέγιστων Ροπών	$s_{\max,slabs} = \min\{3 \cdot h, 400\text{mm}\}$	

❖ Σύγκριση EC2/ΕΚΩΣ:

Ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός **μειώνεται** με τον EC2, ενώ επίσης η μέγιστη απόσταση, μεταξύ των ράβδων του οπλισμού σε μια πλάκα, **αυξάνει**. Αυτό οδηγεί σε **οικονομικότερη όπλιση από τη μία, αλλά λιγότερο συντηρητική από την άλλη**. Σημειώνεται επίσης πως ο τρόπος υπολογισμού του ελάχιστου οπλισμού στον EC2 είναι **περισσότερο ορθολογικός**, αφού **λαμβάνει υπόψη την αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος** απαιτώντας περισσότερο οπλισμό από τον ΕΚΩΣ για σκυροδέματα ποιότητας C30/35 και πάνω (βλ. και το διάγραμμα στο Σχήμα 12.11). Στα επόμενα δύο διαγράμματα απεικονίζουμε τις σχέσεις για τον ελάχιστο οπλισμό και τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των ράβδων, κατά EC-2 και κατά ΕΚΩΣ. Το πρώτο διάγραμμα έχει γίνει για χάλυβα ποιότητας B500C που είναι και ο συνηθέστερος στις κοινές κατασκευές.



Σχήμα 12.11: Συγκριτικό διάγραμμα ελάχιστου ποσοστού κύριου εφελκόμενου οπλισμού πλακών



Σχήμα 12.12: Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστης απόστασης ράβδων κύριου εφελκόμενου οπλισμού πλακών

- ❖ Στον EC2 δεν υπάρχουν λεπτομερείς οδηγίες για **οπλισμό γωνιών**, ενώ υπάρχουν στον ΕΚΩΣ.

12.3.2 Οπλισμός Διάτμησης

Ισχύουν για τα ελάχιστα όσα ισχύουν και για τις δοκούς **εκτός αν τροποποιούνται** από τις παρακάτω διατάξεις (ΕΚΩΣ: Αντίθετα ο ελάχιστος οπλισμός είναι το **60% του min για δοκούς**):

1. Στις πλάκες, εάν $|V_{Ed}| \leq 1/3 V_{Rd,max}$, ο οπλισμός διάτμησης μπορεί να αποτελείται αποκλειστικά από καμπτόμενες διαμήκεις ράβδους ή διατάξεις οπλισμών διάτμησης.

2. Για τις μέγιστες αποστάσεις των οπλισμών διάτμησης ισχύουν οι παρακάτω απαιτήσεις.

Πίνακας 12.12: Μέγιστες αποστάσεις οπλισμών διάτμησης πλακών

	EC2	ΕΚΩΣ
Μέγιστη Διαμήκης Απόσταση μεταξύ διαδοχικών Σειρών Συνδετήρων	$s_{\max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$	$s_{\max} = 0,60 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$
Μέγιστη Διαμήκης Απόσταση μεταξύ Καμπτόμενων Οπλισμών	$s_{\max} = d$	
Μέγιστη εγκάρσια απόσταση μεταξύ οπλισμών διάτμησης	1,5d	-

12.4 ΜΥΚΗΤΟΕΙΔΕΙΣ ΠΛΑΚΕΣ

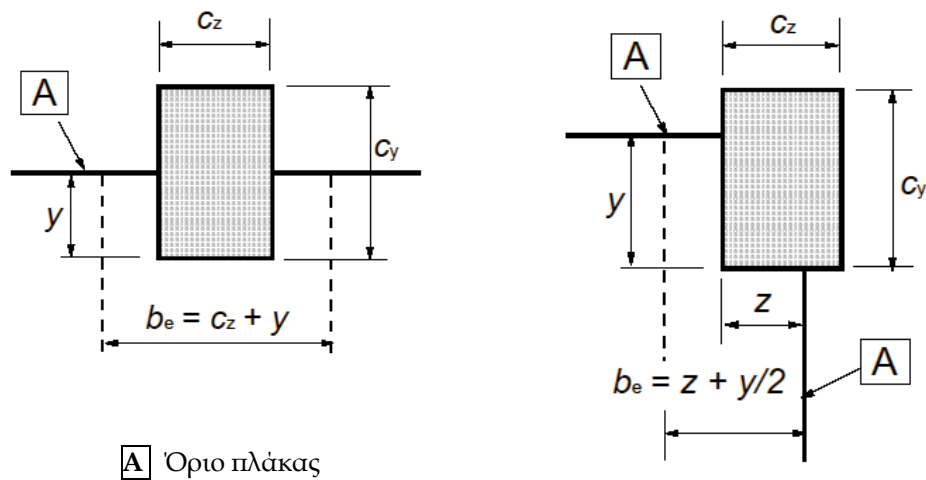
– Εσωτερικά Υποστυλώματα

Σε εσωτερικά υποστυλώματα, εκτός και αν εκτελεσθούν ακριβείς υπολογισμοί σε κατάσταση λειτουργικότητας, πρέπει να τοποθετείται **άνω οπλισμός** διατομής $0,5A_t$ σε ένα πλάτος ίσο με το άθροισμα του 0,125 του ανοίγματος των φατνωμάτων εκατέρωθεν του υποστυλώματος. Το A_t είναι η διατομή του απαιτούμενου οπλισμού για την παραλαβή του συνόλου της αρνητικής ροπής σε πλάτος ίσο προς το άθροισμα του μισού ανοίγματος των φατνωμάτων εκατέρωθεν του υποστυλώματος (**ΕΚΩΣ**: δίνονται διαφορετικές οδηγίες.).

Οπλισμοί κάτω παρειάς (≥ 2 ράβδοι ανά διεύθυνση) πρέπει να τοποθετούνται σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις πάνω από τα εσωτερικά υποστυλώματα. Οι οπλισμοί αυτοί πρέπει να περνούν μέσα από το εύρος της διατομής του υποστυλώματος.

– Περιμετρικά Υποστυλώματα

Ο οπλισμός κάθετα σε ελεύθερο όριο της πλάκας, που απαιτείται για τη μεταβίβαση καμπτικών ροπών από την πλάκα σε περιμετρικό ή γωνιακό υποστυλώμα πρέπει να τοποθετείται εντός του συνεργαζόμενου πλάτους b_e .



(α) Περιμετρικό υποστυλώμα

(β) Γωνιακό υποστυλώμα

Σημείωση: Μπορεί να είναι και $y > c_y$

Σημείωση: Μπορεί να είναι $z > c_z, y > c_y$

Σημείωση: Το y είναι η απόσταση από το άκρο της πλάκας έως την εσωτερική παρειά του υποστυλώματος.

Σχήμα 12.13: Συνεργαζόμενο πλάτος b_e μυκητοειδούς πλάκας (EC2)

12.4.1 Διάτρηση

Ισχύουν όσα έχουμε αναφέρει στην §6.3 της παρούσας περί διαφορών στην ΟΚΑ από διάτρηση.

Στον EC2 ο ελάχιστος οπλισμός διάτρησης υπολογίζεται από τη σχέση (πρόκειται για τη διατομή ενός σκέλους συνδετήρα, νέα σχέση λόγω της κυκλικής διάταξης):

$$A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

όπου:

α η γωνία μεταξύ του οπλισμού διάτρησης και του κύριου οπλισμού

s_r η απόσταση μεταξύ συνδετήρων διάτρησης στη ακτινική διεύθυνση, με $s_r \leq 0,75d$

s_t η απόσταση μεταξύ συνδετήρων διάτρησης κατά μήκος της περιμέτρου, με $s_t \leq 1,50d$ για την περίμετρο u_1 και $s_t \leq 2,00d$ αλλού.

f_{ck} σε MPa

Στην παρειά του υποστυλώματος ο οπλισμός πρέπει να τοποθετείται σε μια απόσταση $> 0,30d$ και $< 0,50d$.

- ❖ Στον EC2 δεν υπάρχουν οι διατάξεις για την όπλιση **πλακών με νευρώσεις** που περιελάμβανε ο ΕΚΩΣ. Για πλάκες με νευρώσεις υπάρχουν μόνο ορισμένες οδηγίες για την κατασκευαστική διαμόρφωση αυτών, χωρίς όμως τη λεπτομέρεια που δίνονται στον ΕΚΩΣ, στην §5.3.1.(6) του EC2. **Βασική διαφορά:** η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ νευρώσεων είναι στον EC2 1500 mm, ενώ στον ΕΚΩΣ είναι 700 mm.

12.5 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

12.5.1 Γεωμετρικά Στοιχεία

Σύμφωνα με τον EC2 §5.3.1.(7) υποστυλώμα θεωρείται το κατακόρυφο στοιχείο με λόγο διαστάσεων διατομής:

$$h_c / b_c \leq 4 \quad (\text{με } b_c \leq h_c)$$

και λόγο ύψους στοιχείου προς ύψος διατομής:

$$l_c / h_c \geq 3 \quad (\text{αλλιώς θεωρείται τοίχωμα})$$

Για στοιχεία **ΚΠΜ & ΚΠΥ** σύμφωνα με τον EC8 πρέπει για την ελάχιστη διάσταση b_c να ισχύει:

$$b_c \geq l_{\max} / 10, \text{ εκτός αν για το συντελεστή μεταθετότητας } \theta \text{ ισχύει } \theta \leq 0,10.$$

l_{\max} : είναι η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ του σημείου μηδενισμού των ροπών και των άκρων του υποστυλώματος.

Ειδικά για στοιχεία **ΚΠΥ** ισχύει επιπρόσθετα $\min b_c \geq 250 \text{ mm}$

Κρίσιμες Περιοχές

12.13: Κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων

EC8		ΕΚΩΣ
ΚΠΜ	ΚΠΥ	$l_{cr} = \max\{h_c, l_{cl}/5, 600\text{mm}\}$
$l_{cr} = \max\{h_c, l_{cl}/6, 450\text{mm}\}$	$l_{cr} = \max\{1,5h_c, l_{cl}/6, 600\text{mm}\}$	

Εξαιρέσεις: Όλο το ύψος του υποστυλώματος πρέπει να θεωρείται κρίσιμο εάν

α) $l_c / h_c \leq 3$

β) διακόπτονται καθ' ύψος οι τοιχοπληρώσεις των παρακείμενων υποστυλωμάτων

γ) αλλά και για πλήρεις τοιχοπληρώσεις στη μία μόνο πλευρά (γωνιακά υποστυλώματα)

δ) και το σύνολο του ύψους των ισογείων ελλείπει ακριβέστερων ελέγχων

Για την εξασφάλιση επαρκούς πλαστιμότητας σε υποστυλώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, απαιτείται περιορισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Μάλιστα για ΚΠΥ ο EC8 είναι πιο αυστηρός από τον ΕΚΩΣ.

Πίνακας 12.14: Επιτρεπόμενη ανηγμένη αξονική δύναμη υποστυλωμάτων

	EC8		ΕΚΩΣ
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Ανηγμένη Αξονική Δύναμη $v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$	$\leq 0,65$	$\leq 0,55$	$\leq 0,65$

12.5.2 Διαμήκης Οπλισμός

Στους επόμενους συγκριτικούς πίνακες δίνονται οι διατάξεις για το διαμήκη οπλισμό υποστυλωμάτων.

Πίνακας 12.15: Συγκριτικός πίνακας μέγιστου & ελάχιστου οπλισμού υποστυλωμάτων

	EC2	EC8	ΕΚΩΣ
Ελάχιστος Οπλισμός	$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}, 0,002 \cdot A_c \right\}$	$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c$	$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c$
Μέγιστος Οπλισμός	$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$	$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$	$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$
Ελάχιστη Επιτρεπόμενη Διάμετρος Ράβδου	8 mm	--- (άρα 8 mm)	14 mm
Ελάχιστος Αριθμός Ράβδων σε Κυκλικά Υποστυλώματα	4	--- (άρα 4)	6

❖ Διαφορές με ΕΚΩΣ:

1. Οι απαιτήσεις του EC2 για τον ελάχιστο διαμήκη οπλισμό είναι πολύ μειωμένες σε σχέση με αυτές του ΕΚΩΣ και του EC8.

2. Επίσης είναι **εξαιρετικά μικρή** η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για το διαμήκη οπλισμό υποστυλωμάτων κατά τον EC2. Επιπλέον **ούτε ο EC8 επιβάλλει κάποια μεγαλύτερη τιμή**. Προφανώς σε σεισμικά υποστυλώματα δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε τόσο μικρής διαμέτρου ράβδους.

Στον Πίνακα 12.16 δίνονται οι **επιτρεπόμενες αποστάσεις μεταξύ ράβδων διαμήκους οπλισμού που συγκρατούνται εγκάρσια** για υποστυλώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας:

Πίνακας 12.16: Συγκριτικός πίνακας μέγιστων αποστάσεων ράβδων διαμήκους οπλισμού υποστυλώματος συγκρατούμενων εγκαρσίως από συνδετήρες

EC8	ΚΠΜ	$\leq 200 \text{ mm}$
	ΚΠΥ	$\leq 150 \text{ mm}$
ΕΚΩΣ		$\leq 200 \text{ mm}$ (εκτός υποστυλωμάτων πλευράς 300 mm που επιτρέπεται να τοποθετούνται μόνο δύο ράβδοι στις γωνίες)

Σημείωση: Ο EC2 επιβάλλει, επίσης, καμιά ράβδος της θλιβόμενης παρειάς να μη βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 150 mm από συγκρατούμενη ράβδο.

12.5.3 Εγκάρσιος Οπλισμός

Αποστάσεις & Διάμετροι

Πίνακας 12.17: Συγκριτικός πίνακας διαμέτρων & αποστάσεων συνδετήρων υποστυλωμάτων

	EC2/EC8			ΕΚΩΣ
	ΚΠΧ	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Εκτός Κρισίμων Περιοχών				
Ελάχιστη Διάμετρος Συνδετήρων	$\max \left\{ 6\text{mm}, \frac{\varnothing_{L,\max}}{4} \right\}$			$\max \left\{ 6\text{mm}, \frac{\varnothing_{L,\max}}{4} \right\}$
Μέγιστη Απόσταση μεταξύ Συνδετήρων $S_{cl,tmax}$	$\min \left\{ 20\varnothing_{L,\min}, \min b_c, 400\text{mm} \right\}$			$\min \left\{ \begin{array}{l} 12\varnothing_{L,\min} \\ \min b_c \\ 300\text{mm} \end{array} \right\}$

Εντός Κρισίμων Περιοχών				
Ελάχιστη Διάμετρος Συνδετήρων	---	6mm	$0,4 \cdot \varnothing_{L,max} \cdot \sqrt{\frac{f_{ydL}}{f_{ydw}}}$	$\max \left\{ \begin{array}{l} 8mm, \\ \frac{\varnothing_{L,max}}{3} \cdot \sqrt{\frac{f_{ydL}}{f_{ydw}}} \end{array} \right\}$
Μέγιστη Απόσταση μεταξύ Συνδετήρων $s_{cl,tmax}$	---	$\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_o}{2}, \\ 175mm, \\ 8\varnothing_{L,min} \end{array} \right\}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_o}{3}, \\ 125mm, \\ 6\varnothing_{L,min} \end{array} \right\}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} b_c/2, \\ 100mm, \\ 8\varnothing_{L,min} \end{array} \right\}$

Σημειώσεις:

- b_0 είναι η ελάχιστη διάσταση του περισφιγμένου πύρηνά σκυροδέματος.
- Για συγκολλητά δομικά πλέγματα που χρησιμοποιούνται ως εγκάρσιοι οπλισμοί, η διάμετρος των συρμάτων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 5 mm.
- (α)** Η μέγιστη απόσταση πρέπει να μειωθεί στο 60%:
 - σε τμήματα του υποστυλώματος μήκους ίσου με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής πάνω ή κάτω από δοκό ή πλάκα.
 - σε περιοχές υπερκάλυψης, εφόσον η μέγιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων είναι μεγαλύτερη από 14 mm. Απαιτείται να τοποθετούνται κατ' ελάχιστο 3 συνδετήρες ανά ίσες αποστάσεις εντός του μήκους υπερκάλυψης.
- (β)** Σε περιοχές όπου αλλάζει η διεύθυνση των διαμήκων ράβδων (π.χ. σε θέσεις μεταβολής της διατομής του υποστυλώματος), η απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις εκτροπής. Οι δυνάμεις αυτές μπορούν να αγνοηθούν εάν η εκτροπή των διαμήκων ράβδων είναι ηπιότερη ή ίση του 1 προς 12.

Περίσφιγξη

Ο έλεγχος σε περίσφιγξη πραγματοποιείται στον EC8 με ορισμένες διαφορές από τον ΕΚΩΣ, και ως προς τις σχέσεις υπολογισμού και ως προς τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές του μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιγξης.

Το ογκομετρικό μηχανικό ποσοστό οπλισμού περίσφιγξης:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετήρων}}{\text{όγκος σκυροδέματος πυρήνα}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση του Πίνακα 12.18.

Πίνακας 12.18: Υπολογισμός απαιτούμενου ογκομετρικού ποσοστού οπλισμού περίσφιγξης

EC8	$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_{\phi} \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035$
ΕΚΩΣ	$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,85 \cdot v_d \cdot \left(0,35 \cdot \frac{A_c}{A_o} + 0,15 \right) - 0,035$

Οι ελάχιστες τιμές του ω_{wd} στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 12.19: Ελάχιστη τιμή ω_{wd}

EC8	ΚΠΜ	$\omega_{wd} \geq 0,08$ (μόνο στη βάση του υποστυλώματος)
	ΚΠΥ	$\omega_{wd} \geq 0,12$ (στη βάση του υποστυλώματος) $\omega_{wd} \geq 0,08$ (στις κρίσιμες περιοχές εκτός της βάσης του υποστυλώματος)
ΕΚΩΣ		$\omega_{wd} \geq 0,10$ (εν γένει)

❖ Στον EC2 και στον EC8 δεν υπάρχουν οι διατάξεις του ΕΚΩΣ για **αναμονές** υποστυλωμάτων (§18.4.7) και για υποστυλώματα με **σπειροειδή** οπλισμό (§18.4.8).

12.6 ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Κατά τον EC2 τοίχωμα θεωρείται το κατακόρυφο στοιχείο για το οποίο ισχύει $l_w / b_{w0} \geq 4$ (l_w το μήκος του στοιχείου και b_{w0} το πάχος του στοιχείου), όπως και στον ΕΚΩΣ.

12.6.1 Πλάστιμα Τοιχώματα

12.6.1.1 Γεωμετρικά Στοιχεία

Για **πλάστιμα τοιχώματα** ο EC8 θέτει τους περιορισμούς του Πίνακα 12.20 και καθορίζει τα κρίσιμα μήκη σύμφωνα με τον Πίνακα 12.21.

Πίνακας 12.20: Περιορισμοί γεωμετρικών διαστάσεων πλαστικών τοιχωμάτων

	Ελάχιστο Πάχος Τοιχώματος b_{wo}	Ύψος Κρισιμών Περιοχών h_{cr}
EC8 (ΚΠΜ & ΚΠΥ)	$b_{wo} \geq \max\{150\text{mm}, h_s/20\}$	$h_{cr} = \max\{l_w, h_w/6, h_s\}$
ΕΚΩΣ	$b_{wo} \geq \max\{250\text{mm}, h_s/20\}$ (για μη πλαστικά τοιχώματα αντί 250 mm το όριο είναι 200 mm)	$h_{cr} = \max\{l_w, h_w/6\}$ αλλά: $h_{cr} \leq \min\{2l_w, h_s\}$, για $n \leq 6$ ορόφους $h_{cr} \geq \min\{2l_w, 2 \cdot h_s\}$, για $n \geq 7$ ορόφους

Σημείωση: h_s είναι το καθαρό ύψος ορόφου σε m και h_w το συνολικό ύψος του τοίχου επίσης σε m.

Για την εξασφάλιση επαρκούς πλαστιμότητας απαιτείται περιορισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης ως εξής:

Πίνακας 12.21: Επιτρεπόμενη ανηγμένη αξονική δύναμη πλαστικών τοιχωμάτων

	EC8		ΕΚΩΣ
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
ανηγμένη αξονική δύναμη $v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$	$\leq 0,40$	$\leq 0,35$	---

12.6.1.2 Όπλιση Κορμού

Ο κορμός των τοιχωμάτων οπλίζεται με κατακόρυφο και οριζόντιο οπλισμό (μορφής εσχάρας, μία στην κάθε όψη) και εγκάρσιους συνδετήρες. Στον ΕΚΩΣ προβλέπεται διαφορετικός οπλισμός εντός κι εκτός κρίσιμων περιοχών, ενώ στους EC2/EC8 δεν δίνονται ξεχωριστές οδηγίες. Υπάρχουν διαφορές στην όπλιση, ωστόσο, ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας. Έτσι στον παρακάτω πίνακα δίνουμε τις οδηγίες των EC2/EC8 και τις οδηγίες του ΕΚΩΣ για κρίσιμες περιοχές και σε παρένθεση όπου υπάρχουν διαφορές στον ΕΚΩΣ για όπλιση εκτός κρίσιμων περιοχών ή για τοιχώματα χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (αυτά που στους EC2/EC8 χαρακτηρίζουμε στοιχεία ΚΠΧ).

Πίνακας 12.22: Ποσοστά οπλισμού & αποστάσεις οπλισμού κορμού τοιχώματος

	EC2/EC8			ΕΚΩΣ
	ΚΠΧ	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Κατακόρυφος Οπλισμός				
Ελάχιστος Οπλισμός $\rho_{v,min}$	0,2%	αν $\epsilon_c > 0,2\%$ τότε $\rho_v \geq 0,5\%$, αλλιώς 0,2%	αν $\epsilon_c > 0,2\%$ τότε $\rho_v \geq 0,5\%$, αλλιώς 0,2%	0,25% (0,15%)
Μέγιστος Οπλισμός $\rho_{v,max}$	4,0%	4,0%	4,0%	---
Επιτρεπόμενη Διάμετρος Ράβδων	---	---	$8\text{mm} \leq d_{bv} \leq \frac{b_{wo}}{10}$	$10\text{mm} \leq d_{bv} \leq \frac{b_{wo}}{10}$
Μέγιστη Απόσταση Ράβδων s_v	$\min\left\{3b_{wo}, 400\text{mm}\right\}$	$\min\left\{3b_{wo}, 400\text{mm}\right\}$	$\min\left\{25d_{bL}, 250\text{mm}\right\}$	200mm (300mm)
Οριζόντιος Οπλισμός				
Ελάχιστος Οπλισμός $\rho_{h,min}$	$\max\left\{0,25\rho_v, 0,1\%\right\}$	$\max\left\{0,25\rho_v, 0,1\%\right\}$	0,2%	0,25% (0,15%)
Επιτρεπόμενη Διάμετρος Ράβδων	---	---	$8\text{mm} \leq d_{bv} \leq \frac{b_{wo}}{10}$	$8\text{mm} \leq d_{bv} \leq \frac{b_{wo}}{10}$
Μέγιστη Απόσταση Ράβδων	400mm	400mm	$\min\left\{25d_{bL}, 250\text{mm}\right\}$	200mm (300mm)
Εγκάρσιος οπλισμός				
Απαιτούμενοι Συνδετήρες	Όταν $\rho_v > 2\%$ τοποθετείται οπλισμός με: $\min\varnothing = \max\{6\text{mm}, \varnothing_L / 4\}$ & $\max s_w = \min\{20 \varnothing_{L,min}, \min b_c, 400\text{mm}\}$ (ακολουθώντας και τις άλλες αντίστοιχες διατάξεις για υποστυλώματα)/4 ράβδοι/m² όταν τοποθετείται ο κύριος οπλισμός στις όψεις του τοιχώματος			4 \varnothing 8/m ² (πάντοτε)

Έτσι, με τους EC2/EC8 εφαρμόζουμε τις διατάξεις του Πίνακα 12.22, ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας του υπό μελέτη στοιχείου για όλο το ύψος του στοιχείου.

12.6.1.3 Όπλιση Περισφιγμένων Άκρων

Διαστάσεις Περισφιγμένων Άκρων

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι διαστάσεις των ενισχυμένων άκρων (σε ύψος, σε μήκος) που πρέπει να οπλίζονται σαν υποστυλώματα. Εκτός αυτών τα άκρα του τοιχώματος οπλίζονται όπως και ο κορμός.

Πίνακας 12.23: Διαστάσεις περισφιγμένων άκρων

	EC2/EC8			ΕΚΩΣ
	ΚΠΧ	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Κατακόρυφη Διεύθυνση (μετράται από τη βάση του τοιχώματος)	όπου $\rho_L > 2\%$	για ύψος h_{cr}	για ύψος h_{cr} συν ένα ακόμη όροφο όπου τοποθετείται τουλάχιστον ο μισός οπλισμός περίσφιγξης της κρίσιμης περιοχής	για ύψος h_{cr}
Οριζόντια Διεύθυνση (μήκος l_c από την ακραία θλιβόμενη ίνα)	όπου $\rho_L > 2\%$	$\max \left\{ \begin{array}{l} 0, 15l_w, \\ 1, 50b_w, \\ \text{μήκος} \\ \text{όπου} \\ \varepsilon_c \geq 0, 35\% \end{array} \right\}$	$\max \left\{ \begin{array}{l} 0, 15l_w, \\ 1, 50b_w, \\ \text{μήκος} \\ \text{όπου} \\ \varepsilon_c \geq 0, 35\% \end{array} \right\}$	$\max \left\{ \begin{array}{l} 0, 15l_w, \\ 1, 50b_w, \\ \text{μήκος} \\ \text{όπου} \\ \varepsilon_c \geq 0, 20\% \end{array} \right\}$
Ελάχιστο Πάχος Περισφιγμένων Άκρων b_w	---	$\max \{ 200\text{mm}, h_s/15 \}$ αν $l_c \leq \max \{ 2b_w, 0, 2l_w \}$ $\max \{ 200\text{mm}, h_s/10 \}$ αν $l_c \geq \max \{ 2b_w, 0, 2l_w \}$	$\max \{ 200\text{mm}, h_s/15 \}$ αν $l_c \leq \max \{ 2b_w, 0, 2l_w \}$ $\max \{ 200\text{mm}, h_s/10 \}$ αν $l_c \geq \max \{ 2b_w, 0, 2l_w \}$	250mm

Οπλισμός

Στον Πίνακα 12.24 δίνονται οι απαιτήσεις για το διαμήκη και τον εγκάρσιο οπλισμό των ενισχυμένων άκρων στις κρίσιμες περιοχές των τοιχωμάτων (οι οποίες καθορίστηκαν στον Πίνακα 12.23).

Πίνακας 12.24: Ποσοστά οπλισμού & αποστάσεις οπλισμού περισφιγμένων άκρων

	EC2/EC8			ΕΚΩΣ
	ΚΠΧ	ΚΠΜ	ΚΠΥ	
Διαμήκης Οπλισμός				
Ελάχιστος Οπλισμός $\rho_{v,min}$	0,2%	0,5%	0,5%	1,0%
Μέγιστος Οπλισμός $\rho_{v,max}$	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
Εγκάρσιος Οπλισμός				
Επιτρεπόμενη Διάμετρος Ράβδων	$\max \left\{ 6\text{mm}, \frac{\varnothing_L}{4} \right\}$	6mm	$0,4 \cdot \varnothing_{L,max} \cdot \sqrt{\frac{f_{ydL}}{f_{ydw}}}$	$\max \left\{ 8\text{mm}, \frac{\varnothing_L}{3} \right\}$
Μέγιστη Απόσταση Συνδετήρων s_w	$\min \left\{ \begin{array}{l} 20 \varnothing_{L,min}' \\ \min b_c' \\ 400\text{mm} \end{array} \right\}$	$\max \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_o}{2}' \\ 175\text{mm}, \\ 8\varnothing_{L,min} \end{array} \right\}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_o}{3}' \\ 125\text{mm}, \\ 6\varnothing_{L,min} \end{array} \right\}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} 8 \varnothing_{L,min}' \\ 0,5b_c' \\ 100\text{mm} \end{array} \right\}$
Απαιτήσεις για Περίσφιγξη	---	$\alpha \cdot \omega_{wd} + 0,035 \geq$ $\geq 30 \cdot \mu_\varphi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_o}$ όπου: $\omega_v = \rho_v \cdot f_{yd,v} / f_{cd}$ και $\omega_{wd} \geq 0,08 \ \& \ \omega_{wd} \geq 0,12$ Για ΚΠΜ & ΚΠΥ αντίστοιχα		ισχύει ό,τι και στα υποστολώματα

12.6.2 Μεγάλα Ελαφρά Ωπλισμένα Τοιχώματα

Για τα εν λόγω τοιχώματα πρέπει να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του Πίνακα 12.25:

Πίνακας 12.25: Κατασκευαστικές απαιτήσεις μεγάλων ελαφρά ωπλισμένων τοιχωμάτων

Διαστάσεις Λεπτομερώς Ωπλισμένων Άκρων	$l_{wo} \geq \max \left\{ b_w, 3 \cdot b_w \cdot \frac{\sigma_{cm}}{f_{cd}} \right\}$ και $b_{wo} \geq \max \{ 150 \text{mm}, h_s / 20 \}$
Κατακόρυφος Οπλισμός	i) $\varnothing \geq 12 \text{mm}$ για τον κατώτατο όροφο (ή σε όροφο που το μήκος του τοιχώματος l_w μειώνεται σε σχέση με τον υποκείμενο όροφο περισσότερο από $1/3 h_s$) ii) $\varnothing \geq 10 \text{mm}$ στους άλλους ορόφους
Ελάχιστη Διάμετρος Συνδετήρων	$\varnothing \geq \max \{ 6 \text{mm}, \varnothing_L / 3 \}$
Μέγιστη Απόσταση Συνδετήρων	$s_w \leq \min \{ 8\varnothing_L, 100 \text{mm} \}$
Οπλισμός Σύνδεσης	Υπό μορφή συνεχών ράβδων, οριζόντιων ή κατακόρυφων, πρέπει να διατάσσεται: i) κατά μήκος διασταυρούμενων τοιχωμάτων ii) σε όλα τα επίπεδα των ορόφων ii) στην περίμετρο των ανοιγμάτων

12.7 ΥΨΙΚΟΡΜΕΣ ΔΟΚΟΙ

Όπως και στον ΕΚΩΣ, έτσι και στον EC2, υψικόρμη θεωρείται μια δοκός όταν $l/h \leq 3$.

Εκτός του κύριου οπλισμού, προβλέπεται ορθογωνική εσχάρα οπλισμού, που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Πίνακα 12.26:

Πίνακας 12.26: Εσχάρα οπλισμού υψίκορμων δοκών

	EC2	ΕΚΩΣ
Κατακόρυφος Οπλισμός	$A_{s,dbmin,v} = \max\{0,001 \cdot b \cdot l, 150\text{mm}^2/\text{m}\}$	$A_{s,dbmin,v} = 0,0015 \cdot b \cdot l$
Οριζόντιος Οπλισμός	$A_{s,dbmin,h} = \max\{0,001 \cdot b \cdot l, 150\text{mm}^2/\text{m}\}$	$A_{s,dbmin,h} = 0,0015 \cdot b \cdot h$
Μέγιστη Απόσταση μεταξύ Διαδοχικών Ράβδων	$s_{\max} = \min\{2 \cdot b, 300\text{mm}\}$	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13ο: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ EC2 & EC8

Το παρόν κεφάλαιο περιέχει παραδείγματα εφαρμογής των EC2 και EC8. Γίνεται επίσης σύγκριση με τα αποτελέσματα του ΕΚΩΣ, καθώς επίσης και εφαρμογή νέων σχέσεων που περιέχονται στους EC2/EC8.

Περιλαμβάνονται παραδείγματα για:

- Υπολογισμό παραμορφώσεων ερπυσμού και συρρίκνωσης
- Υπολογισμό ροπών αντοχής με EC2/ΕΚΩΣ δοκών, πλακοδοκών και υποστυλωμάτων
- Όπλιση έναντι ορθής έντασης πλακών, δοκών, πλακοδοκών και υποστυλωμάτων
- Υπολογισμό τεμνουσών αντοχής ορθογωνικής διατομής
- Όπλιση δοκού έναντι διάτμησης και στρέψης
- Έλεγχο και όπλιση πλάκας έναντι διάτμησης
- Σχεδιασμό έναντι λυγισμού μεμονωμένου υποστυλώματος με τη μέθοδο ονομαστικών καμπυλοτήτων
- Υπολογισμό ελάχιστου οπλισμού ρηγματώσεως δοκού
- Αναλυτικό υπολογισμό εύρους ρωγμής δοκού σε ΟΚΛ
- Υπολογισμό μέγιστης οριζόντιας συνιστώσας του σεισμού
- Υπολογισμό τεμνουσών βάσης με τη μέθοδο ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης για διάφορα ύψη κτιρίων και για διαφορετική κατηγορία εδάφους
- Αντισεισμικό υπολογισμό υποστυλώματος
- Έλεγχο και όπλιση κόμβου δοκού - υποστυλώματος

13.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΛΟΓΩ ΕΡΙΠΥΣΜΟΥ & ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ EC2/ΕΚΩΣ

Δεδομένα:

C20/25

Κατηγορία τοιμέντου N

$h_0 = 150 \text{ mm}$

$t_0 = 28$ ημέρες

$\sigma_c = 8,00 \text{ MPa}$ (θεωρούμε ομοιόμορφα κατανεμημένη τάση)

RH = 50%

Ερπυσμός**EC2**

Εφόσον ισχύει $\sigma_c = 8 \text{ MPa} < 0,45 \cdot f_{ck}(t_0) = 0,45 \cdot 20 = 9 \text{ MPa}$ ($f_{ck}(t_0 = 28) = 20 \text{ MPa}$ καθώς $\beta_{cc}(t_0 = 28) = e^0 = 1,0$, βλ. και Πίνακα 2.4 της παρούσας), άρα μπορεί να εφαρμοστεί το διάγραμμα του Σχήματος 2.7 της παρούσας (ή Πίνακα 3.1 του EC2) για την εκτίμηση του συντελεστή ερπυσμού.

Από το Σχήμα 2.7 προκύπτει: $\varphi(\infty, t_0) \approx 2,8$

οπότε:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cc}(\infty, t_0) &= \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{E_c} = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{1,05 \cdot E_{cm}} = \\ &= 2,8 \cdot \frac{8 \text{ MPa}}{1,05 \cdot 30 \cdot 10^3 \text{ MPa}} = 0,711 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

ΕΚΩΣ

Ισχύει $\sigma_c = 8 \text{ MPa} < 0,50 \cdot f_{ck}(t_0) = 0,50 \cdot 20 = 10 \text{ MPa}$

Από τον Πίνακα 2.3 του ΕΚΩΣ προκύπτει: $\varphi(\infty, t_0) \approx 2,5$

οπότε:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cc}(t_\infty, t_0) &= \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{E_c} = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{E_{c28}} = \\ &= 2,5 \cdot \frac{8 \text{ MPa}}{29 \cdot 10^3 \text{ MPa}} = 0,690 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Συρρίκνωση**EC2****συστολή ξήρανσης**

Για $h_0 = 150$ mm λαμβάνουμε από τον Πίνακα 2.6 της παρούσας (ή Πίνακα 3.3 του EC2) $k_h = 0,925$ και για C20/25 & RH = 50% λαμβάνουμε από τον Πίνακα 2.5 της παρούσας (ή Πίνακα 3.2 του EC2) $\varepsilon_{cd,0} = 0,535$ και προκύπτει:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,925 \cdot 0,535 = 0,49 \cdot 10^{-3}$$

αυτογενής συρρίκνωση

Δίνεται από τη σχέση (§3.1.4(6) του EC2):

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

Αν $t \rightarrow \infty$ τότε $\beta_{as}(t) \rightarrow 1$ και

$$\varepsilon_{ca} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (20 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,025 \cdot 10^{-3}$$

και προκύπτει:

$$\varepsilon_{ca}(t_\infty) = 1,0 \cdot 0,025 \cdot 10^{-3} = 0,025 \cdot 10^{-3}$$

συνολική παραμόρφωση συρρίκνωσης

$$\varepsilon_{cs}(t_\infty) = \varepsilon_{cd}(t_\infty) + \varepsilon_{ca}(t_\infty) = 0,49 \cdot 10^{-3} + 0,025 \cdot 10^{-3} = 0,515 \cdot 10^{-3}$$

ΕΚΩΣ

Από τον Πίνακα 2.3 του ΕΚΩΣ:

$$\varepsilon_{cs}(t_\infty) = 0,6 \cdot 10^{-3}$$

Σχόλια: Με τον EC2 προκύπτει σε σχέση με τον ΕΚΩΣ

- α) **αυξημένη** η ερπυστική παραμόρφωση
- β) **μειωμένη** η παραμόρφωση λόγω συρρίκνωσης

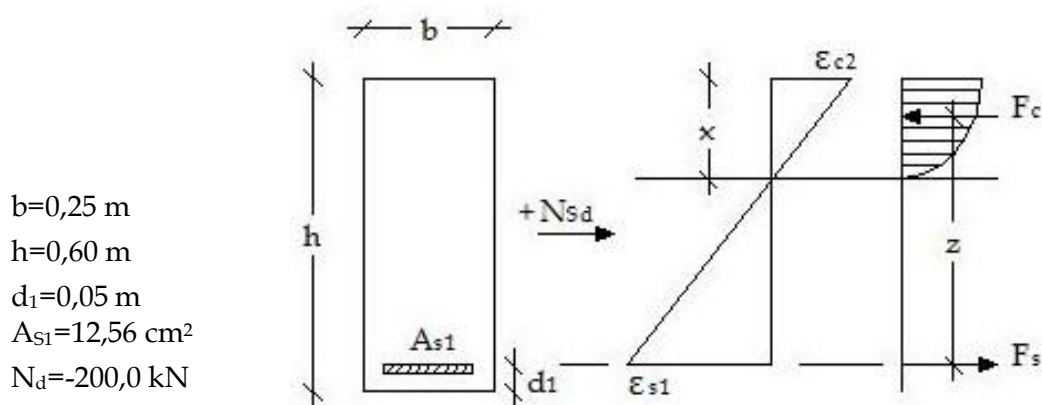
13.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ

Στα παραδείγματα που ακολουθούν θεωρούμε χάλυβα ποιότητας B500C και σκυρόδεμα C20/25. Θα υπολογίσουμε τη ροπή αντοχής διατομής δοκού (ορθογωνική), πλακοδοκού και υποστυλώματος με τον ΕΚΩΣ, με τον EC2 με κράτυνση και με τον EC2 χωρίς κράτυνση και θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η κράτυνση του χάλυβα θεωρείται πως έχει την ελάχιστη τιμή, $k=1,15$ και η συμβατική παραμόρφωση αστοχίας θεωρείται $\varepsilon_{uk}=75,0\%$. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά, σε μορφή πίνακα, τα αποτελέσματα για την παραμορφωσιακή κατάσταση στην οποία επιτυγχάνεται η ισορροπία. Τα αποτελέσματα προέκυψαν κατόπιν δοκιμών.

Υλικά

σκυρόδεμα	C20/25
χάλυβας	B500C
κράτυνση $k=(f_t/f_y)_k$	1,15
$\varepsilon_{ud}/\varepsilon_{uk}$ (‰)	67,5/75

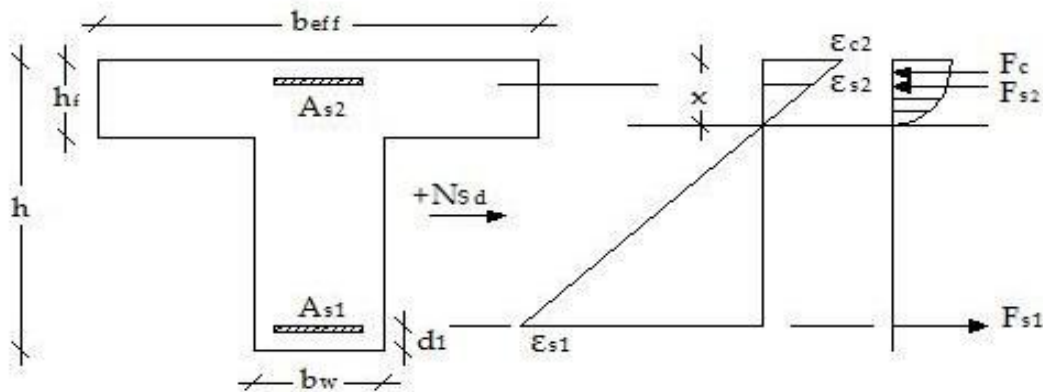
– Δοκός (ορθογωνικής διατομής) με εφελκόμενο οπλισμό μόνο



	M_{Rd} (kNm)	N (kN)	F_c (kN)	F_s (kN)	A_s (cm ²)	z (m)	x (m)	ε_c (‰)	ε_s (‰)	σ_s (MPa)
ΕΚΩΣ	259,7	-200,0	746,1	546,1	12,56	0,415	0,325	-3,50	2,42	434,8
EC2 με κράτυνση	275,0	-200,0	-747,7	547,7	12,56	0,435	0,277	-3,50	3,45	435,9
EC2 χωρίς κράτυνση	274,5	-200,0	-746,1	546,1	12,56	0,435	0,276	-3,50	3,46	434,8

Στην περίπτωση δοκού με αξονική δύναμη και οπλισμό μόνο στο εφελκόμενο πέλμα, η ροπή αντοχής είναι αυξημένη, υπολογιζόμενη με τον EC2. Λαμβάνοντας υπόψη την κράτυνση προκύπτει $M_{Rd} = 275,0$ kNm, ενώ χωρίς κράτυνση προκύπτει $M_{Rd} = 274,5$ kNm έναντι $M_{Rd} = 259,7$ kNm στον ΕΚΩΣ. Η διαφορά αυτή που είναι της τάξης του 6% οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση της δύναμης του σκυροδέματος στον EC2, λόγω αύξησης του συντελεστή α_{cc} από 0,85 σε 1,00. Έτσι η δύναμη του οπλισμού απαιτεί μικρότερο βάθος θλιβόμενης ζώνης για την ισορροπία, πράγμα που συνεπάγεται αύξηση της παραμόρφωσης του χάλυβα και κατά συνέπεια του μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων. Όστε, με τις εσωτερικές δυνάμεις περίπου ίσες στον EC2 και στον ΕΚΩΣ, η ροπή αντοχής αυξάνει λόγω αύξησης του μοχλοβραχίονα από $z=0,415$ m σε $z=0,435$ m. Στην περίπτωση του EC2 με κράτυνση του χάλυβα υπάρχει μια λίγο μεγαλύτερη αύξηση της M_{Rd} , σε σχέση με αυτήν χωρίς κράτυνση, αποτέλεσμα της αύξησης της τάσης του χάλυβα πάνω από την f_{yd} . Αυτή μάλιστα η αύξηση της δύναμης του χάλυβα απαιτεί και την αύξηση της δύναμης του σκυροδέματος. Εξού και η μικρή αύξηση της θλιβόμενης ζώνης στην περίπτωση με κράτυνση, έναντι αυτής χωρίς κράτυνση. Αν και οι περισσότερες διαφορές που προέκυψαν από το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι κατά το μάλλον ή ήττον αμελητέες από άποψη ποσοτική, είναι ωστόσο ενδεικτικές για το πώς τροποποιείται η συμπεριφορά των υλικών και των διατομών Ω.Σ. με τις νέες θεωρήσεις του EC2.

– Πλακοδοκός με θλιβόμενο οπλισμό



$$h=0,50 \text{ m}$$

$$h_f=0,16 \text{ m}$$

$$b_w=0,25 \text{ m}$$

$$b_{eff}=0,85 \text{ m}$$

$$d_1=0,05 \text{ m}$$

$$N_d=0,0 \text{ kN}$$

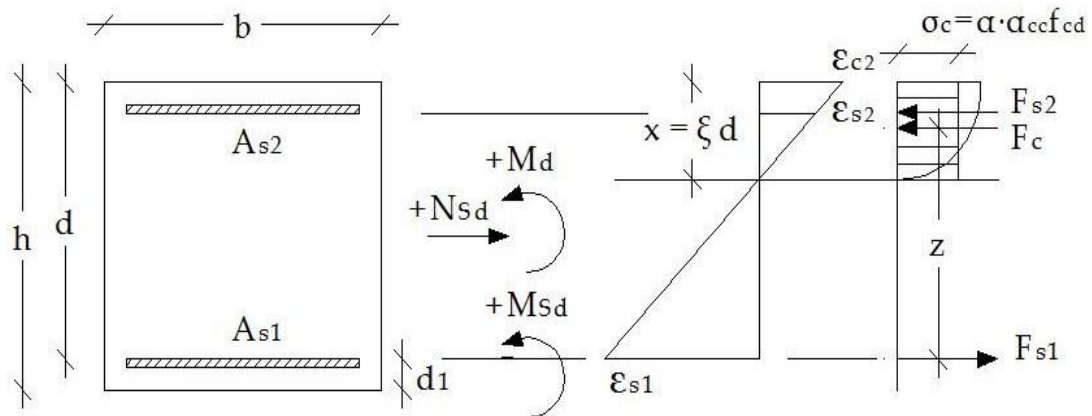
$$A_{s1}/A_{s2}=12,56 \text{ cm}^2/6,28 \text{ cm}^2$$

	M_{Rd} (kNm)	N (kN)	F_C (kN)	F_{S1} (kN)	F_{S2} (kN)	A_{S1} (cm ²)	A_{S2} (cm ²)
ΕΚΩΣ	230,5	0,0	-475,8	546,1	-70,9	12,56	6,28
EC2 με κράτνωση	242,1	0,0	-519,5	571,0	-51,5	12,56	6,28
EC2 χωρίς κράτνωση	232,1	0,0	-505,5	546,1	-40,6	12,56	6,28

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_{s1} (‰)	ϵ_{s2} (‰)	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)
0,425	0,610	-3,14	20,00	-0,56	434,8	112,8
0,427	0,057	-3,50	24,31	-0,41	454,6	82,0
0,427	0,055	-3,50	25,09	-0,32	434,8	64,0

Στην περίπτωση πλακοδοκού χωρίς αξονική δύναμη, αλλά με θλιβόμενο οπλισμό, η ροπή αντοχής προκύπτει αυξημένη με τον EC2, κυρίως όμως στη θεώρηση που λαμβάνει υπόψη την κράτνωση του χάλυβα. Και στις δύο επιλύσεις με τον EC2 (με και χωρίς κράτνωση), η ροπή αντοχής αυξάνει, γιατί ο χάλυβας επιτρέπεται να παραμορφώνεται πέραν του 20,0‰, που είναι ο περιορισμός του ΕΚΩΣ, αλλά και γιατί με τον EC2 η δύναμη του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη. Έτσι, στον EC2 που υπάρχει περιθώριο στην παραμόρφωση του οπλισμού, αξιοποιείται καλύτερα και το σκυρόδεμα, το οποίο στην ισορροπία έχει την οριακή παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_{cu} = -3,5\%$. Η αύξηση της παραμόρφωσης του χάλυβα μειώνει το ύψος της θλιβόμενης ζώνης, αυξάνοντας έτσι το μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων και κατά συνέπεια τη ροπή αντοχής. Η ισορροπία των εσωτερικών δυνάμεων διατηρείται λόγω της αύξησης που είπαμε ότι προβλέπει ο EC2, για τη δύναμη του σκυροδέματος μέσω της αγνόησης της μείωσης της θλιπτικής αντοχής υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία (κατά μια έννοια αυτό λαμβάνεται υπόψη από άλλους συντελεστές ασφαλείας, ενώ τα επιπλέον φορτία που ασκούνται κατά το σεισμό έχουν πολύ μικρή διάρκεια). Η αρκετά μεγαλύτερη αύξηση της M_{Rd} , όταν δεχόμαστε κράτνωση του χάλυβα (με κράτνωση είναι $M_{Rd} = 242,1$ kNm, έναντι $M_{Rd} = 232,1$ kNm χωρίς κράτνωση και $M_{Rd} = 230,5$ kNm στον ΕΚΩΣ) οφείλεται στην αύξηση της τάσης του χάλυβα που φτάνει τα $\sigma_{sd} = 454,6$ MPa αντί της $f_{yd} = 434,8$ MPa στις άλλες περιπτώσεις. Φαίνεται λοιπόν από το εν λόγω παράδειγμα πως η καλύτερη αξιοποίηση του χάλυβα προσφέρει στην αντοχή της διατομής, εν αντιθέσει με την παραδοχή οριζόντιου μεταλαστικού κλάδου στον οποίο υπάρχει μικρότερο όφελος, μόνο λόγω του μεγαλύτερου μοχλοβραχίονα. Σημειώνεται επίσης η λίγο μικρότερη παραμόρφωση του χάλυβα, όταν λαμβάνεται υπόψη η κράτνωση, ούτως ώστε να αυξηθεί η θλιβόμενη ζώνη όσο χρειάζεται για να επιτευχθεί η ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων με την αυξημένη, πια, δύναμη του οπλισμού.

- Υποστώλωμα (τετραγωνικής διατομής) με συμμετρικό οπλισμό



$$b=0,50 \text{ m}$$

$$h=0,50 \text{ m}$$

$$d_1=0,05 \text{ m}$$

$$N_d=-400,0 \text{ kN}$$

$$A_{s1}/A_{s2}=12,56 \text{ cm}^2/12,56 \text{ cm}^2$$

	M_{Rd} (kNm)	N (kN)	F_c (kN)	F_{s1} (kN)	F_{s2} (kN)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	A_{s1} (cm ²)	A_{s2} (cm ²)
ΕΚΩΣ	301,5	-400,0	-484,2	546,1	-462,3	25,12	12,56	12,56
EC2 με κράτωση	308,7	-400,0	-529,2	559,3	-429,8	25,12	12,56	12,56
EC2 χωρίς κράτωση	303,7	-400,0	-522,2	546,1	-424,4	25,12	12,56	12,56

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_{s1} (‰)	ϵ_{s2} (‰)	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)
0,406	0,105	-3,50	11,50	1,84	434,8	368,0
0,409	0,098	-3,50	12,60	-1,71	444,1	342,0
0,410	0,097	-3,50	12,79	-1,69	434,8	338,0

Στην συγκεκριμένη περίπτωση του συμμετρικά οπλισμένου υποστώλματος υπό θλιπτική αξονική δύναμη, οι διαφορές προκύπτουν κυρίως από τη μεγαλύτερη δύναμη σκυροδέματος που υπολογίζεται με τον EC2, ούτως ώστε να επιτρέπεται μια μικρή μείωση της θλιβόμενης ζώνης κι έτσι η ροπή αντοχής να αυξάνεται. Η ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων πραγματοποιείται λόγω της διαφοράς στην αναπτυσσόμενη δύναμη του θλιβόμενου οπλισμού, αφού στον ΕΚΩΣ είναι μεγαλύτερη μιας και το ύψος θλιβόμενης

ζώνης είναι μεγαλύτερο. Λαμβάνοντας υπόψη την κράτωση του χάλυβα η ροπή αντοχής αυξάνει λίγο περισσότερο, ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης τάσης του οπλισμού η οποία φτάνει την τιμή $\sigma_{sd}=444,1$ Μρα.

13.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΟΡΘΗΣ ΈΝΤΑΣΗΣ

Γενικά

Στα επόμενα θα υπολογίσουμε τον απαιτούμενο οπλισμό διατομών ωπλισμένου σκυροδέματος των βασικών κατασκευαστικών στοιχείων, ήτοι πλακών, δοκών, πλακοδοκών και υποστυλωμάτων με τον EC2 και με τον ΕΚΩΣ και θα συγκρίνουμε-σχολιάσουμε τα αποτελέσματα.

Με τον EC2 θα κάνουμε δύο επιλύσεις, μία που θα λαμβάνει υπόψη την κράτνωση του χάλυβα και μια χωρίς την κράτνωση. Ο υπολογισμός θα γίνει για διάφορα εντατικά μεγέθη, ούτως ώστε να φανούν οι διαφορές σε περίπτωση μεγάλων και μικρών δράσεων.

Η επίλυση πραγματοποιείται βάσει της διαδικασίας που περιγράψαμε παραπάνω (στις §5.3.1 για δοκούς και πλάκες & §5.3.2 για υποστυλώματα) και το Γενικό Πίνακα Υπολογισμού για τον EC2 με κράτνωση (Πίνακας 5.1) και χωρίς κράτνωση (Πίνακας 5.2) που κατασκευάσαμε, καθώς και το απλοποιημένο διάγραμμα αλληλεπιδράσεως κατά EC2 (Σχήμα 5.13). Υπολογίζουμε δηλαδή τα ανηγμένα εντατικά μεγέθη και βρίσκουμε το απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού.

Αρχικά θα υπολογίσουμε τον απαιτούμενο οπλισμό χωρίς κατασκευαστικές απαιτήσεις και εν συνεχεία θα διερευνηθούν οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ EC2 και ΕΚΩΣ, όταν λάβουμε υπόψη και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις που επιβάλλουν οι κανονισμοί. Στο παρόν κεφάλαιο δεν θα λάβουμε υπόψη τις αντισεισμικές διατάξεις των EC8 και ΕΑΚ/ΕΚΩΣ.

Υλικά

σκυρόδεμα	C20/25
χάλυβας	B500C
κράτνωση $k=(f_t/f_y)_k$	1,15
$\varepsilon_{ud}/\varepsilon_{uk}$ (‰)	67,5/75

Διαδικασία

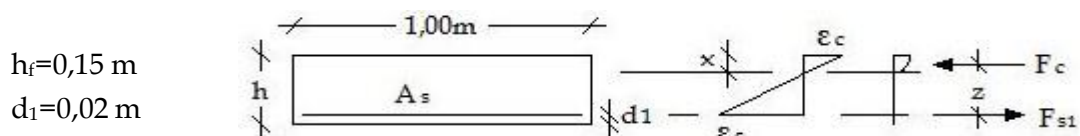
Για τη διαστασιολόγηση **πλακών, δοκών και πλακοδοκών** ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή m_d
- Ανάλογα με την περίπτωση βρίσκουμε το απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω (για EC2 με & χωρίς κράτνωση από τους Πίνακες 5.1 & 5.2 της παρούσας, ενώ για τον ΕΚΩΣ από τον Πίνακα CEB)
- Επίσης από τους ίδιους πίνακες που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκουμε και την τάση που δουλεύει ο χάλυβας σ_{sd} , όπως και τα υπόλοιπα στοιχεία που δίνονται στα παραδείγματα που ακολουθούν

- Με γνωστό το ω βρίσκουμε τον απαιτούμενο οπλισμό A_s από τη σχέση:
$$A_s = \omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} / f_{yd}$$
- Για τις πλακοδοκούς χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος πίνακας με τις ορθογωνικές διατομές αφού η θλιβόμενη ζώνη είναι πάντοτε εντός της πλάκας, θεωρώντας όμως πλάτος b_{eff} .

Παραδείγματα

- Πλάκες (πλακολωρίδα 1m)



α) χωρίς κατασκευαστικές απαιτήσεις

μικρή ροπή

	M_d (kNm)	N_d (kN)	F_c (kN)	F_s (kN)	A_s (cm ² /m)
ΕΚΩΣ	10,0	0,0	-79,4	79,4	1,83
EC2 με κράτωση	10,0	0,0	-78,8	78,8	1,62
EC2 χωρίς κράτωση	10,0	0,0	-78,8	78,8	1,81

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_s (MPa)
0,1254	0,0110	-1,84	20,00	434,80
0,1270	0,0073	-3,50	58,85	485,30
0,1270	0,0073	-3,50	58,85	434,80

Στην περίπτωση του EC2 παρατηρούμε πως αξιοποιούνται καλύτερα τα υλικά, αφού ο χάλυβας φτάνει σε πολύ υψηλή παραμόρφωση $\epsilon_s = 58,85\%$ σε σχέση με το πολύ μικρό όριο που θέτει ο ΕΚΩΣ, γεγονός που επιτρέπει και πλήρη αξιοποίηση του σκυροδέματος σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη αντοχή σκυροδέματος που υιοθετεί ο EC2. Αυτό, ωστόσο, που έχει περισσότερη σημασία είναι πως ο απαιτούμενος οπλισμός μειώνεται, μόνο αν

λάβουμε υπόψη την κράτυνση του χάλυβα και που οδηγεί σε μια αυξημένη τάση $\sigma_{sd} = 485,3$ MPa. Επίσης η αύξηση της επιτρεπόμενης παραμόρφωσης του χάλυβα αυξάνει και το μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων, απαιτώντας έτσι μικρότερο ζεύγος δυνάμεων για την ανάληψη της ροπής.

μεγάλη ροπή

	M_d (kNm)	N_d (kN)	F_c (kN)	F_s (kN)	A_s (cm ² /m)
ΕΚΩΣ	50,0	0,0	-457,7	457,7	10,53
EC2 με κράτυνση	50,0	0,0	-442,7	442,7	10,07
EC2 χωρίς κράτυνση	50,0	0,0	-442,7	442,7	10,18

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_s (MPa)
0,1093	0,0499	-3,50	5,62	434,8
0,1130	0,0410	-3,50	7,59	439,6
0,1130	0,0410	-3,50	7,59	434,8

Στην περίπτωση μιας σχετικά μεγάλης ροπής για πλάκα, παρατηρούμε πως υπάρχει μεγαλύτερη διαφορά σε απόλυτα νούμερα, αν και όχι σαν ποσοστό επί του οπλισμού που απαιτείται με τον ΕΚΩΣ. Ο EC2 υπολογίζει μικρότερο οπλισμό, όμως η μεγαλύτερη θλιβόμενη ζώνη που απαιτείται λόγω της μεγαλύτερης ροπής οδηγεί αναγκαία και σε μικρότερη παραμόρφωση του χάλυβα, κι έτσι δεν αξιοποιείται, παρά ελάχιστα, η δυνατότητα αύξησης της τάσης του οπλισμού. Εδώ δηλαδή η διαφορά οφείλεται κατά κύριο λόγο στην θεώρηση του $\alpha_{cc} = 1,00$.

β) με κατασκευαστικές απαιτήσεις

ΕΚΩΣ

$$\min A_s = \max (0.6 b d / f_{yk}, 0.0015 b d) = 1.95 \text{ cm}^2/\text{m}$$

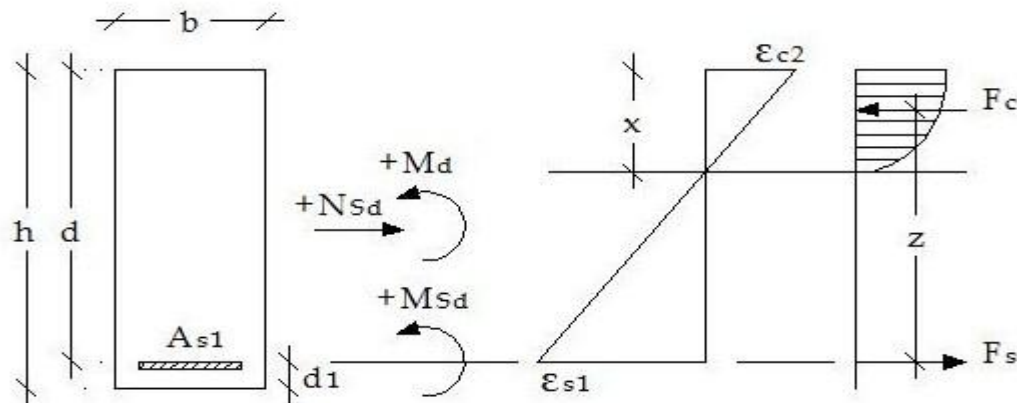
$$\max s = \min (1.5h, 200\text{mm}) = 200 \text{ mm} \text{ (ή } 5\Phi 8/\text{m ή } 2.5 \text{ cm}^2/\text{m})$$

EC2

$$\min A_s = \max (0.26 b d f_{ctm} / f_{yk}, 0.0013 b d) = 1.69 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\max s = \min (2h, 250\text{mm}) = 250 \text{ mm} \text{ (ή } 4\Phi 8/\text{m ή } 2.0 \text{ cm}^2/\text{m})$$

– Δοκοί



$$b=0,25 \text{ m}$$

$$h=0,55 \text{ m}$$

$$d_1=0,05 \text{ m}$$

α) χωρίς κατασκευαστικές απαιτήσεις

μικρή ροπή

	M_d (kNm)	N_d (kN)	F_c (kN)	F_s (kN)	A_s (cm ²)
ΕΚΩΣ	30,0	0,0	-61,7	61,7	1,42
EC2 με κράτωση	30,0	0,0	-61,2	61,2	1,24
EC2 χωρίς κράτωση	30,0	0,0	-61,1	61,1	1,41

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_s (MPa)
0,4846	0,0371	-1,60	20,00	434,8
0,4904	0,0231	-3,26	67,50	493,3
0,4906	0,0227	-3,50	73,72	434,8

Στην περίπτωση της δοκού με μικρή ροπή υπάρχει μικρότερη απαίτηση οπλισμού (της τάξης του 13-14%) για τη διαστασιολόγηση με EC2 και κράτωση, λόγω της μεγαλύτερης τάσης του χάλυβα. Ο χάλυβας εν προκειμένω αξιοποιείται πλήρως, μιας και δεν απαιτείται μεγάλη θλιβόμενη ζώνη.

μεγάλη ροπή ($\mu_{sd} < \mu_{lim}$)

	M_d (kNm)	N_d (kN)	F_C (kN)	F_S (kN)	A_s (cm ²)
ΕΚΩΣ	230,0	0,0	-583,5	583,5	13,42
EC2 με κράτνωση	230,0	0,0	-555,1	555,1	12,69
EC2 χωρίς κράτνωση	230,0	0,0	-554,8	554,8	12,76

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_s (MPa)
0,3940	0,2544	-3,50	3,38	434,8
0,4150	0,2056	-3,50	5,01	437,3
0,4150	0,2055	-3,50	5,02	434,8

Η διαφορά στη ροπή είναι της τάξης του 5-6% και οφείλεται κυρίως στη μείωση της θλιβόμενης ζώνης, και άρα στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με τον EC2. Η συνεισφορά της κράτνωσης μπορεί να φανεί από τη μικρή διαφορά των απαιτούμενων οπλισμών με και χωρίς κράτνωση κατά EC2.

μεγάλη ροπή ($\mu_{sd} > \mu_{lim}$)

	M_d (kNm)	N (kN)	F_C (kN)	F_{S1} (kN)	F_{S2} (kN)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	A_{s1} (cm ²)	A_{s2} (cm ²)
ΕΚΩΣ	350,0	0,0	-707,5	900,9	-193,4	25,18	20,73	4,45
EC2 με κράτνωση	350,0	0,0	-832,3	922,5	-90,2	23,29	21,20	2,09
EC2 χωρίς κράτνωση	350,0	0,0	-832,3	922,6	-90,3	23,30	21,22	2,08

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_{s1} (‰)	ϵ_{s2} (‰)	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	ρ_2/ρ_1
0,3720	0,309	-3,50	2,17	-2,93	434,6	434,8	0,215
0,3720	0,308	-3,50	2,17	-2,93	434,8	435,5	0,099
0,3720	0,308	-3,50	2,17	-2,93	434,8	434,8	0,098

Στην παραπάνω περίπτωση παρατηρούμε με πιο εμφανή τρόπο πως για μεγάλες ροπές η διαφορά οφείλεται στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (και της συνεπαγόμενης απαίτησης μικρότερης θλιβόμενης ζώνης) αφού η μικρή εν γένει παραμόρφωση του οπλισμού που απαιτείται για την παραλαβή της ροπής περιορίζει τη συνεισφορά της κράτυνσης αυτού.

β) με κατασκευαστικές απαιτήσεις

ΕΚΩΣ

$$\min \rho = 0,5 f_{ctm} / f_{yd}$$

$$\min A_s = \min \rho b d = 3,16 \text{ cm}^2$$

EC2

$$\min \rho = 0,26 f_{ctm} / f_{yk}$$

$$\min A_s = \max(0,26 b d f_{ctm} / f_{yk}, 0,0013 b d) = 1,63 \text{ cm}^2$$

$$\max A_s = 0,04 A_c = 55,0 \text{ cm}^2$$

Απαιτήσεις Κανονισμού για **θλιβόμενο οπλισμό** (δίχως αντισεισμικές απαιτήσεις):

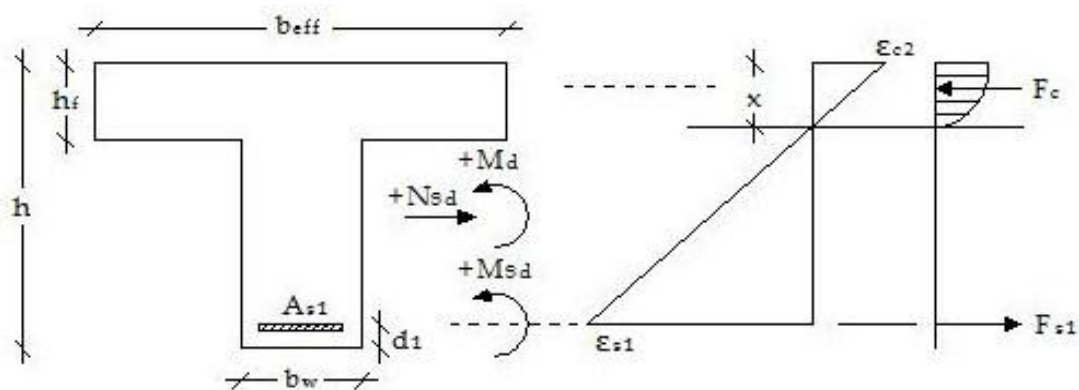
$$\min A_{s2} = 0,25 A_{s1}$$

	M_d (kNm)	N (kN)	F_c (kN)	F_{s1} (kN)	F_{s2} (kN)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	A_{s1} (cm ²)	A_{s2} (cm ²)
ΕΚΩΣ	350,0	0,0	-660,0	880,0	-220,0	25,30	20,24	5,06
EC2 με κράτυνση	350,0	0,0	-634,3	845,1	-210,8	24,21	19,37	4,84
EC2 χωρίς κράτυνση	350,0	0,0	-633,7	844,9	-211,2	24,29	19,43	4,86

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_{s1} (‰)	ϵ_{s2} (‰)	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	ρ_2/ρ_1
0,381	0,288	-3,50	2,58	-2,89	434,8	434,8	0,25
0,402	0,235	-3,50	3,95	-2,76	436,4	435,3	0,25
0,403	0,235	-3,50	3,95	-2,76	434,8	434,8	0,25

Λαμβάνοντας υπόψη και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις περιορίζεται ακόμα περισσότερο η επιρροή των ευνοϊκών για τα υλικά θεωρήσεων του EC2.

– Πλακοδοκοί



$h=0,50\text{m}$
 $h_f=0,15\text{m}$
 $b_w=0,25\text{m}$
 $b_{eff}=0,85\text{m}$
 $d_1=0,05\text{ m}$

α) χωρίς κατασκευαστικές απαιτήσεις

μικρή ροπή

	M_d (kNm)	N_d (kN)	F_c (kN)	F_s (kN)	A_s (cm ²)	z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_s (MPa)
ΕΚΩΣ	30,0	0,0	-67,7	67,7	1,56	0,4422	0,0188	-0,87	20,00	434,8
EC2 με κράτωση	30,0	0,0	-67,2	67,2	1,36	0,4458	0,0102	-1,57	67,50	493,3
EC2 χωρίς κράτωση	30,0	0,0	-67,1	67,1	1,54	0,4470	0,0073	-3,50	211,79	434,8

μεγάλη ροπή ($\mu_{sd} < \mu_{lim}$)

	M_d (kNm)	N_d (kN)	F_c (kN)	F_s (kN)	A_s (cm ²)	z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	σ_s (MPa)
ΕΚΩΣ	300,0	0,0	-729,8	729,8	16,79	0,4112	0,0936	-3,50	13,33	434,8
EC2 με κράτωση	300,0	0,0	-718,7	718,7	16,05	0,4175	0,0783	-3,50	16,61	447,7
EC2 χωρίς κράτωση	300,0	0,0	-718,7	718,7	16,53	0,4175	0,0783	-3,50	16,61	434,8

Στην πλακοδοκό οι παρατηρήσεις είναι παρόμοιες με αυτές για τις δοκούς.

β) με κατασκευαστικές απαιτήσεις

ισοδύναμο πλάτος: $b' d = b_w (d-h_f) + h_f b_{eff}$ οπότε $b'=0,45m$

ΕΚΩΣ

$$\min A_s = 0,5 f_{ctm} / f_{yd} b d = 5,12 \text{cm}^2$$

EC2

$$\min \rho = 0,26 f_{ctm} / f_{yk}$$

$$\min A_s = \max (0,26 f_{ctm} / f_{yk}, 0,0013 b d) = 2,63 \text{cm}^2$$

– Υποστυλώματα

Διαδικασία

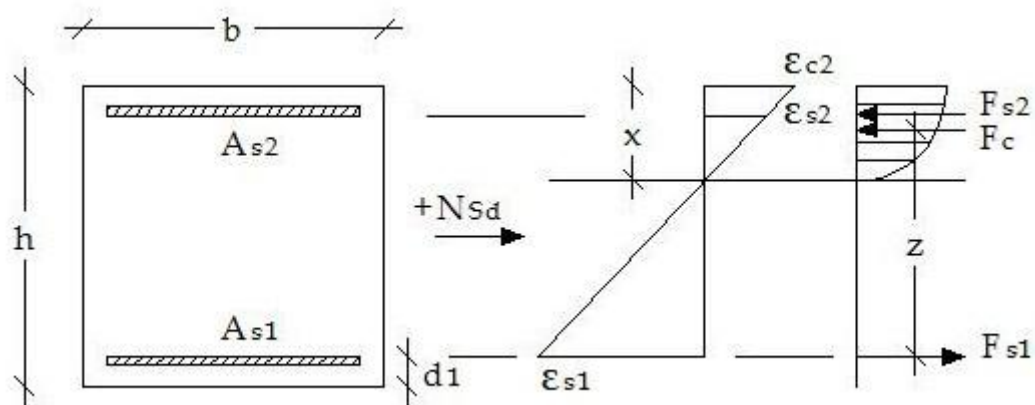
Για τη διαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Υπολογίζουμε τα ανηγμένα εντατικά μεγέθη μ_d και ν_d
- Ανάλογα με την περίπτωση βρίσκουμε το απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω_{tot} (για EC2 με & χωρίς κράτυνση από το απλοποιημένο διάγραμμα αλληλεπίδρασης του Σχήματος 5.13 της παρούσας, ενώ για τον ΕΚΩΣ από το ακριβές διάγραμμα αλληλεπίδρασης της σελ. 119 για B500C και $d_1/h=0,10$ του βιβλίου “Ωπλισμένο Σκυροδεμα”)
- Εν συνεχεία, για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου οπλισμού απαιτείται ο υπολογισμός της τάσης του χάλυβα σ_{sd}
- Για τον προσδιορισμό της τάσης σ_{sd} και του απαιτούμενου οπλισμού $A_{s,tot}$ από τη σχέση $A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} / \sigma_{sd}$ γίνονται δοκιμές για ζεύγη παραμορφώσεων ϵ_{c2} και ϵ_{s1} μέχρις επίτευξης της ισοδυναμίας των εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων.
- Στον ΕΚΩΣ και στον EC2 χωρίς κράτυνση ο εφελκόμενος οπλισμός θεωρείται πως έχει τάση f_{yd} , αλλά στον EC2 με κράτυνση η τάση είναι αυξημένη κι έτσι ο απαιτούμενος οπλισμός μειώνεται.

Ενδεικτικός υπολογισμός

Ενδεικτικά για την περίπτωση ροπής με μεγάλη αξονική (βλ. παρακάτω) προκύπτουν τα εξής κατά EC2 με κράτυνση:

Με $\mu_d=0,18$ και $\nu_d=0,12$ λαμβάνουμε (από το απλοποιημένο διάγραμμα αλληλεπίδρασης του Σχήματος 5.13) $\omega=0,32$. Με δοκιμές καταλήγουμε στις παραμορφώσεις $\epsilon_{c2}=-3,50\%$ και $\epsilon_{s1}=12,68\%$ για τις οποίες προκύπτει $\sigma_{sd}=444,2\text{MPa}$ και κατόπιν $A_{s,tot}=24,20\text{cm}^2$ ($F_{s1}=437,6\text{kN}$). Επίσης προκύπτει $\epsilon_{s2}=-1,7025\%$ και άρα $\sigma_{s2}=340,5\text{MPa}$ ($F_{s2}=-412,1\text{kN}$), ενώ επίσης για $x=0,097\text{m}$ προκύπτει $F_{cd}=-525,5\text{kN}$. Έτσι $F_{cd} + F_{s2} + F_{s1} = -400,0\text{kN} = N_d$, ικανοποιείται δηλαδή η ισοδυναμία εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων.



$$b=0,50 \text{ m}$$

$$h=0,50 \text{ m}$$

$$d_1=0,05 \text{ m}$$

α) χωρίς κατασκευαστικές απαιτήσεις

ροπή με μικρή αξονική

	M_d (kNm)	N (kN)	F_c (kN)	F_{s1} (kN)	F_{s2} (kN)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	A_{s1} (cm ²)	A_{s2} (cm ²)
ΕΚΩΣ	300,0	-100,0	-368,5	684,8	-416,3	31,50	15,75	15,75
EC2 με κράτυνση	300,0	-100,0	-412,8	681,3	-368,5	30,40	15,20	15,20
EC2 χωρίς κράτυνση	300,0	-100,0	-408,6	681,1	-372,5	31,33	15,67	15,67

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_{s1} (‰)	ϵ_{s2} (‰)	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)
0,4167	0,0803	-3,50	16,11	-1,32	434,8	264,3
0,4183	0,0765	-3,50	17,09	-1,21	448,1	242,4
0,4186	0,0757	-3,50	17,30	-1,19	434,8	237,8

ροπή με μεγάλη αξονική

	M_d (kNm)	N (kN)	F_C (kN)	F_{s1} (kN)	F_{s2} (kN)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	A_{s1} (cm ²)	A_{s2} (cm ²)
ΕΚΩΣ	300,0	-400,0	-483,5	542,6	-459,1	24,96	12,48	12,48
EC2 με κράτωση	300,0	-400,0	-525,5	537,6	-412,1	24,20	12,10	12,10
EC2 χωρίς κράτωση	300,0	-400,0	-520,6	537,2	-416,6	24,71	12,36	12,36

z (m)	x (m)	ϵ_c (‰)	ϵ_{s1} (‰)	ϵ_{s2} (‰)	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)
0,406	0,105	-3,50	11,44	-1,84	434,8	367,9
0,410	0,097	-3,50	12,68	-1,70	444,2	340,5
0,410	0,096	-3,50	12,83	-1,69	434,8	337,2

Στα υποστολώματα οι μικρές παραμορφώσεις του οπλισμού στα συγκεκριμένα παραδείγματα. Αυτό είναι αναμενόμενο και από τις μικρές διαφορές για την περίπτωση της κάμψης που προέκυψαν κατά τον αναλυτικό υπολογισμό των τεσσάρων σημείων του διαγράμματος αλληλεπιδράσεως. **Αντιθέτως** μεγαλύτερες είναι οι διαφορές μεταξύ EC2/ΕΚΩΣ στην περίπτωση καθαρής θλίψης ή καθαρού εφελκυσμού, όπως φαίνεται στα ακόλουθα παραδείγματα.

Καθαρή θλίψη

Για μια μεγάλη ομοιόμορφη αξονική θλιπτική δύναμη $N_{Ed} = 5.000$ kN προκύπτει:

$$v_d = \frac{5.000}{0,50 \cdot 0,50 \cdot 20.000 / 1,50} = 1,50$$

Οπότε:

ΕΚΩΣ: $\omega_{tot} = v_d - 0,85 = 1,50 - 0,85 = 0,65$ και άρα $A_{s,tot} = 49,83$ cm²

EC2: $\omega_{tot} = v_d - 1,00 = 1,50 - 1,00 = 0,50$ και άρα $A_{s,tot} = 38,33$ cm²

Καθαρός εφελκυσμός

Για μια μεγάλη ομοιόμορφη αξονική εφελκυστική δύναμη $N_{Ed} = 1.000$ kN προκύπτει:

$$v_d = \frac{1.000}{0,50 \cdot 0,50 \cdot 20.000/1,50} = 0,30$$

Οπότε:

ΕΚΩΣ: $\omega_{tot} = v_d = 0,30$ και άρα $A_{s,tot} = 23,00 \text{ cm}^2$

$$\text{(ή πιο απλά } A_{s,tot} = \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}} = \frac{1.000}{500 \cdot 10^3 / 1,15} = 23,00 \text{ cm}^2 \text{)}$$

EC2: $\omega_{tot} = v_d / 1,13 = 0,265$ και άρα $A_{s,tot} = 20,32 \text{ cm}^2$

$$\text{(ή πιο απλά } A_{s,tot} = \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}} = \frac{1.000}{493,3 \cdot 10^3} = 20,32 \text{ cm}^2 \text{)}$$

β) με κατασκευαστικές απαιτήσεις

ΕΚΩΣ

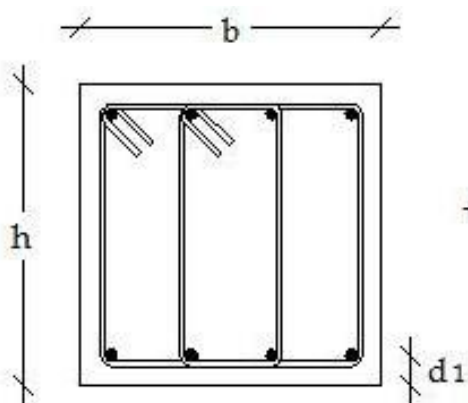
$$\min A_s = 0,01 A_c = 25,0 \text{ cm}^2$$

EC2

$$\min A_s = \max(0,10 N_{Ed} / f_{yd}, 0,002 A_c)$$

μικρή αξονική: $N_{Ed} = 50,0 \text{ kN}$ προκύπτει $\min A_s = 5,0 \text{ cm}^2$

μικρή αξονική: $N_{Ed} = 400,0 \text{ kN}$ προκύπτει $\min A_s = 5,0 \text{ cm}^2$

13.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ EC2/ΕΚΩΣ


$$b = 0,50 \text{ m}$$

$$h = 0,50 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,05 \text{ m}$$

Υλικά: C20/25

B500C

$$N_{Ed}/M_{Ed} = -400 \text{ kN}/250 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 12,56 \text{ cm}^2 (4\varnothing 20)$$

συνδετήρες: $\varnothing 8/20$ (τετράτητοι)

Υπολογισμός Τεμνουσών Αντοχής
Αντοχή Χωρίς Οπλισμό Διάτμησης
EC2

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

όπου:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67 \leq 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{12,56}{50 \cdot 45} = 0,0056 \leq 0,02$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{400}{0,50 \cdot 0,50} = 1,60 \text{ MPa}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,67^{3/2} \cdot 20^{1/2} = 0,338$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,0056 \cdot 20)^{1/3} + 0,15 \cdot 1,60] \cdot 500 \cdot 450 = 154,9 \text{ kN}$$

ενώ

$$V_{Rd,c} = 154,9 \text{ kN} \geq (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,326 + 0,15 \cdot 1,60) \cdot 500 \cdot 450 = 130,1 \text{ kN}$$

Άρα:

$$V_{Rd,c} = 154,9 \text{ kN}$$

ΕΚΩΣ

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,20 + 40 \cdot \rho_1) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

όπου:

$$k = 1,60 - d = 1,60 - 0,45 = 1,15 \geq 1,0$$

$$\rho_1 = 0,0056 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 1,60 \text{ MPa}$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$V_{Rd1} = [0,26 \cdot 1,15 \cdot (1,20 + 40 \cdot 0,0056) + 0,15 \cdot 1,60] \cdot 0,50 \cdot 0,45 \cdot 10^3 = 149,8 \text{ kN}$$

Παρατηρούμε πως με τον EC2 η αντοχή χωρίς οπλισμό διάτμησης προκύπτει ελαφρώς μεγαλύτερη. ($V_{Rd,c} = 154,9 \text{ kN} > 149,8 \text{ kN} = V_{Rd1}$)

Αντοχή Λοξών Θλιπτήρων

EC2

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

όπου:

$$\frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = \frac{1,60}{20/1,5} = 0,12 < 0,25$$

οπότε:

$$\alpha_{cw} = 1,0 + \sigma_{cp}/f_{cd} = 1,12$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,55$$

$$\alpha = 90^\circ$$

(α) για $\theta = 21,8^\circ$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,max}(21,8^\circ) &= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta) = \\
 &= 1,12 \cdot 0,50 \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot 0,55 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,5} \cdot (\cot 21,8^\circ + \cot 90^\circ) / (1 + \cot^2 21,8^\circ) = \\
 &= 573,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

(β) για $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,max}(45^\circ) &= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta) = \\
 &= 1,12 \cdot 0,50 \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot 0,55 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,5} \cdot (\cot 45^\circ + \cot 90^\circ) / (1 + \cot^2 45^\circ) = \\
 &= 831,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

(παρατηρούμε πως με αύξηση της γωνίας θ αυξάνεται και η $V_{Rd,max}$)

ΕΚΩΣ

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d$$

όπου:

$$v = 0,7 \cdot \left(1 - \frac{20}{200}\right) = 0,60$$

οπότε:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d = \frac{1}{2} \cdot 0,60 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,5} \cdot 0,50 \cdot 0,9 \cdot 0,45 = 810,0 \text{ kN}$$

Μείωση λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης

(επειδή πρέπει $f_{yk}/\gamma_s > 400 \text{ MPa}$, θεωρούμε $f_{yk}/\gamma_s = 400 \text{ MPa}$ στην παρακάτω σχέση)

$$\begin{aligned}
 V_{Rd2,red} &= 1,67 \cdot V_{Rd2} \cdot \left(1 - \sigma_{cp,eff}/f_{cd}\right) = 1,67 \cdot V_{Rd2} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed} - A_{s2} \cdot f_{yk}/\gamma_s}{A_c \cdot f_{cd}}\right) = \\
 &= 1,67 \cdot V_{Rd2} \cdot \left(1 - \frac{400 - 12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \cdot 10^3}{0,50 \cdot 0,50 \cdot 20 \cdot 10^3/1,5}\right) > V_{Rd2}
 \end{aligned}$$

Άρα, δεν απομειώνεται η αντοχή V_{Rd2} κι οπότε:

$$V_{Rd2} = 810,0 \text{ kN} < 831,6 \text{ kN} = V_{Rd,max}(45^\circ)$$

Αντοχή με Οπλισμό Διάτμησης**EC2**

Η αντοχή με οπλισμό διάτμησης ισούται με την τέμνουσα που μπορούν να αναλάβουν οι συνδετήρες μόλις διαρρεύσουν, δηλαδή:

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

που για κατακόρυφους συνδετήρες γίνεται:

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

(α) για $\theta = 21,8^\circ$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cot 21,8^\circ = 440,2 \text{ kN}$$

(β) για $\theta = 45^\circ$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cot 45^\circ = 176,1 \text{ kN}$$

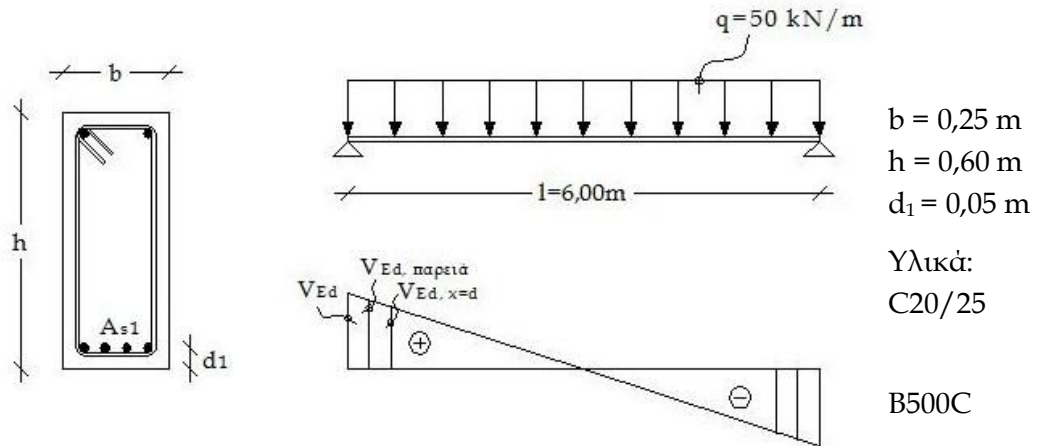
ΕΚΩΣ

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} = 176,1 \text{ kN}$$

οπότε η αντοχή σε διάτμηση με οπλισμό θα είναι (για ανάλυση χωρίς σεισμό):

$$V_{Rd3} = V_{wd} + V_{cd} = V_{wd} + V_{Rd1} = 176,1 + 149,8 = 325,9 \text{ kN} \begin{cases} < 440,2 \text{ kN} = V_{Rd,s} (45^\circ) \\ > 176,1 \text{ kN} = V_{Rd,s} (21,8^\circ) \end{cases}$$

13.5 ΟΠΛΙΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ



Όπλιση έναντι Κάμψης

$$M_{Sd} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{50 \cdot 6,0^2}{8} = 225,0 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Sd} = \frac{M_{Sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{225,0}{0,25 \cdot 0,55^2 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50} = 0,223$$

Οπότε από τον Πίνακα τιμών 5.1 της παρούσας λαμβάνουμε $\omega = 0,254$ (με τάση χάλυβα $\sigma_{sd} = 439,5 \text{ MPa}$ λόγω κράτησης) κι έτσι προκύπτει:

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,254 \cdot 0,25 \cdot 0,55 \cdot \frac{20/1,50}{500/1,15} = 10,71 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούμε στο εφελκόμενο πέλμα $A_{s1} = 12,56 \text{ cm}^2$ ($4\varnothing 20$) και στο θλιβόμενο πέλμα ο EC2 θέτει ως ελάχιστο για στηρίξεις που έχουν θεωρηθεί απλές στηρίξεις όπως εδώ $A_{s2} = 0,15A_{s1} = 1,88 \text{ cm}^2$. Τοποθετούμε $A_{s2} = 2,26 \text{ cm}^2$ ($2\varnothing 12$). Επίσης ο οπλισμός του ανοίγματος δε μειώνεται στη στήριξη, αν και δεν απαιτείται όλος.

Αρα κοντά στη στήριξη που γίνεται ο έλεγχος σε διάτμηση, η διατομή θα έχει διαμήκη οπλισμό $4\varnothing 20 + 2\varnothing 12$.

Όπλιση έναντι Διάτμησης

Βήμα 1ο

Διάγραμμα τεμνουσών, υπολογισμός τεμνουσών δυνάμεων στην παρειά & σε απόσταση d από την παρειά:

$$V_{Ed} = 150,0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^{\text{παρειά}} = 150 - 50 \cdot 0,25 = 137,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^{x=d} = 150 - 50 \cdot (0,25 + 0,55) = 110,0 \text{ kN}$$

Βήμα 2ο

Υπολογισμός αντοχής $V_{Rd,c}$ σε απόσταση d από την παρειά.

§6.2.2(1) EC2

Η $V_{Rd,c}$ δίνεται από τη σχέση:

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

όπου:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,63 \leq 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{12,56}{25 \cdot 55} = 0,0091 \leq 0,02$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,63^{3/2} \cdot 20^{1/2} = 0,326$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,63 \cdot (100 \cdot 0,0091 \cdot 20)^{1/3} + 0] \cdot 250 \cdot 550 = 70,7 \text{ kN}$$

$$\text{ενώ } V_{Rd,c} = 70,7 \text{ kN} \geq (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,326 + 0) \cdot 250 \cdot 550 = 44,8 \text{ kN}$$

Άρα:

$$V_{Rd,c} = 70,7 \text{ kN}$$

Εφόσον:

$$V_{Rd,c} = 70,7 \text{ kN} < 110,0 \text{ kN} = V_{Ed}^{x=d}$$

απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

Βήμα 3ο

Υπολογισμός αντοχής $V_{Rd,max}$.

§6.2.3(3) EC2

Η $V_{Rd,max}$ δίνεται από τη σχέση:

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

όπου:

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,55$$

$$\alpha = 90^\circ$$

(α) για $\theta = 21,8^\circ$

$$\begin{aligned} V_{Rd,max}(21,8^\circ) &= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) = \\ &= 1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot 0,55 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,5} \cdot (\cot 21,8^\circ + \cot 90^\circ) / (1 + \cot^2 21,8^\circ) = \\ &= 313,0 \text{ kN} > 137,5 \text{ kN} = V_{Ed}^{\text{παρειά}} \end{aligned}$$

Άρα, **επάρκει** η διατομή.

(β) για $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned} V_{Rd,max}(45^\circ) &= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) = \\ &= 1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot 0,55 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,5} \cdot (\cot 45^\circ + \cot 90^\circ) / (1 + \cot^2 45^\circ) = \\ &= 453,8 \text{ kN} > 137,5 \text{ kN} = V_{Ed}^{\text{παρειά}} \end{aligned}$$

Άρα, **επάρκει** η διατομή.

Βήμα 4ο

§6.2.3(3) EC2

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης.

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} = V_{Ed}^{x=d} &\Rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha = V_{Ed}^{x=d} \Rightarrow \\ \Rightarrow s &= \frac{A_{sw} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}{V_{Ed}^{x=d}} \end{aligned}$$

Επιλέγονται δίτητοι συνδετήρες Ø8.

(α) για $\theta = 21,8^\circ$

$$\begin{aligned} s &= \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cdot \cot 21,8^\circ}{110,0} = \\ &= 489,2 \text{ mm} \approx 480 \text{ mm} \end{aligned}$$

Άρα: $\text{Ø}8 / 480$.

(β) για $\theta = 45^\circ$

προκύπτει: $s = 195,7\text{mm} \approx 190\text{mm}$

Άρα: $\text{Ø}8 / 190$.

Βήμα 5ο

Υπολογισμός πρόσθετου διαμήκους οπλισμού.

§6.2.3(7) EC2

(α) για $\theta = 21,8^\circ$

$$\Delta F_{td} = 0,5 \cdot V_{Ed} \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) = 0,5 \cdot 110,0 \cdot \cot 21,8^\circ = 137,5\text{kN}$$

$$\Delta A_s = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}} = \frac{137,5}{\frac{500 \cdot 10^3}{1,15}} = 3,16\text{cm}^2 \rightarrow 3\text{Ø}12(3,39\text{cm}^2)$$

(β) για $\theta = 45^\circ$

$$\Delta F_{td} = 0,5 \cdot V_{Ed} \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) = 0,5 \cdot 110,0 \cdot \cot 45^\circ = 55,0\text{kN}$$

$$\Delta A_s = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}} = \frac{55,0}{\frac{500 \cdot 10^3}{1,15}} = 1,27\text{cm}^2 \rightarrow 1\text{Ø}14(1,54\text{cm}^2)$$

Βήμα 6ο

Ελάχιστος οπλισμός.

§9.2.2(5) EC2

$$\rho_{w,\min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{20}}{500} = 0,0072$$

$$s = \frac{A_{sw}}{\rho_w \cdot b} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{0,0072 \cdot 0,25} = 558\text{mm} \approx 550\text{mm} > 480\text{mm}$$

$$V_{\min} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{0,558} \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cdot \cot 21,8^\circ = 96,4\text{kN}$$

ή για $\theta = 45^\circ \Rightarrow V_{\min} = 38,6\text{kN}$

Σχόλια

Παρατηρούμε πως θεωρώντας γωνία διαγώνιων θλιπτήρων $21,8^\circ$ οδηγούμαστε σε σημαντική μείωση των απαιτούμενων συνδετήρων, κάτι που αντισταθμίζει την de facto αύξηση των απαιτούμενων συνδετήρων λόγω της κατάργησης της συμμετοχής των λοιπών μηχανισμών στην ανάληψη της τέμνουσας. Ωστόσο, η μείωση της γωνίας θ οδηγεί σε αύξηση του απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού. Όμως οικονομικότερη είναι η λύση της γωνίας $\theta = 21,8^\circ$, αφού ο τελικός συνολικός οπλισμός προκύπτει μικρότερος. Βέβαια μπορεί να γίνει και περαιτέρω βελτιστοποίηση για να βρεθεί η γωνία θ μεταξύ $21,8^\circ$ και 45° για την οποία προκύπτει ο ελάχιστος συνολικός οπλισμός.

Σε 1m δοκού απαιτείται:

(α) για $\theta = 21,8^\circ$

$$\text{συνδετήρες: } \frac{1000}{480} = 2,083 \cdot \varnothing 8 = 2,083 \cdot 0,50\text{cm}^2 \cdot 150\text{cm} = 156,2\text{cm}^3$$

$$\text{διαμήκης: } 3,39\text{cm}^2 \cdot 100\text{cm} = 339,0\text{cm}^3$$

$$\text{σύνολο: } 156,2\text{cm}^3 + 339,0\text{cm}^3 = 495,2\text{cm}^3$$

(β) για $\theta = 45^\circ$

$$\text{συνδετήρες: } \frac{1000}{190} = 5,263 \cdot \varnothing 8 = 5,263 \cdot 0,50\text{cm}^2 \cdot 150\text{cm} = 394,7\text{cm}^3$$

$$\text{διαμήκης: } 1,54\text{cm}^2 \cdot 100\text{cm} = 154,0\text{cm}^3$$

$$\text{σύνολο: } 394,7\text{cm}^3 + 154,0\text{cm}^3 = 548,7\text{cm}^3$$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς φαίνεται πως οικονομικότερος είναι ο σχεδιασμός με γωνία $\theta = 21,8^\circ$.

Συμπεράσματα

- i. Ο EC2 δε λαμβάνει υπόψη τη συνεισφορά του σκυροδέματος στην όπλιση έναντι διάτμησης, κάτι που οδηγεί στην απαίτηση μεγαλύτερου εμβαδού συνδετήρων, αφού όλη τη δρώσα τέμνουσα πρέπει να μπορεί να την αναλάβει ο εγκάρσιος οπλισμός.
- ii. Η αύξηση του οπλισμού, στην οποία οδηγεί η εφαρμογή της προαναφερθείσας θεώρησης, αίρεται μέσω της δυνατότητας αλλαγής της θεωρούμενης γωνιάς των λοξών θλιπτήρων, που παρέχει ο EC2.

- iii. Πιο συγκεκριμένα, **οι μικρές γωνίες θ των λοξών θλιπτήρων οδηγούν σε χαμηλή απαίτηση οπλισμού (A_{sw}), ενώ οι μεγάλες γωνίες θ σε λεπτούς κορμούς (μικρό b_w) και άρα σε μείωση της ποσότητας του σκυροδέματος και του ίδιου βάρους.**
- iv. **Ωστόσο**, στην περίπτωση που η αντοχή των λοξών θλιπτήρων είναι επαρκής και για γωνία διαγώνιων θλιπτήρων $21,8^\circ$, η θεώρηση μικρότερης γωνιάς **καθιστά δυνατή τη μείωση των απαιτούμενων συνδετήρων**, διότι αυξάνει η δύναμη που μπορούν να αναλάβουν οι συνδετήρες. Έτσι **εξισορροπείται** η αύξηση των απαιτούμενων συνδετήρων που προέρχεται από την κατάργηση της συνεισφοράς του σκυροδέματος. Όμως η μείωση των συνδετήρων λόγω της μείωσης της γωνιάς θ επιφέρει **αύξηση του πρόσθετου διαμήκη οπλισμού**, γι' αυτό απαιτείται **βελτιστοποίηση** ως προς τη γωνία θ για την οποία απαιτείται κατά μήκος η ελάχιστη επιφάνεια οπλισμού.

13.6 ΟΠΛΙΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ & ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Το παρόν παράδειγμα είναι το ίδιο με το παράδειγμα της όπλισης έναντι διάτμησης που προηγήθηκε, θεωρώντας πως στη δοκό δρα τώρα **και στρεπτικό φορτίο** με κατανομημένη στρεπτική ροπή $m_{TEd} = 6,67 \text{ kNm/m}$ και άρα στρεπτική ροπή στο άκρο:

$$T_{Ed} = m_{TEd} \cdot \frac{l}{2} = 6,67 \cdot \frac{6,0}{2} = 20,0 \text{ kNm}$$

Η γωνία των λοξών θλιπτήρων πρέπει να είναι ίδια με αυτήν που επιλέξαμε στη διάτμηση, δηλαδή $\theta = 21,8^\circ$.

Βήμα 1ο

§6.3.2(1) EC2

Μετατροπή της διατομής σε ισοδύναμη λειπτότοιχη.

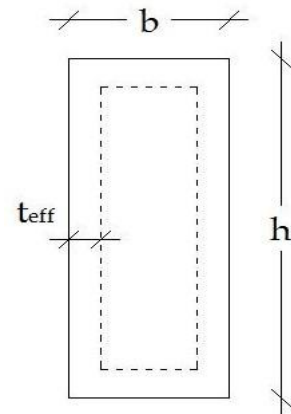
$$A = b \cdot h = 25 \cdot 60 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (25 + 60) = 170 \text{ cm}$$

$$t_{eff,i} = \max\{A/u, c\} = \max\{1500/170, 50\} = 8,8 \text{ cm}$$

$$A_k = (b - t_{eff,i}) \cdot (h - t_{eff,i}) = 51,2 \cdot 16,2 = 829,4 \text{ cm}^2$$

$$u_k = 2 \cdot [(b - t_{eff,i}) + (h - t_{eff,i})] = 2 \cdot (51,2 + 16,2) = 134,8 \text{ cm}$$



Βήμα 2ο

§6.3.2(5) EC2

Ελέγχουμε αν απαιτείται οπλισμός.

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} \cdot t_{ef,i} \cdot 2 \cdot A_k = 1,0 \frac{1,5 \cdot 10^3}{1,5} \cdot 0,088 \cdot 2 \cdot 0,0829 = 14,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}^{x=d}}{V_{Rd,c}} = \frac{20,0}{14,6} + \frac{110,0}{70,7} > 1,0$$

οπότε απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

Βήμα 3ο

Έλεγχος επάρκειας διατομής.

§6.3.2(4) EC2

$$\begin{aligned} T_{Rd,max} &= 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta = \\ &= 2 \cdot 0,55 \cdot 1,0 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,5} \cdot 0,0829 \cdot 0,088 \cdot \sin 21,8^\circ \cdot \cos 21,8^\circ = 37,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{ή για } \theta = 45^\circ \quad T_{Rd,max} = 53,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}^{\text{παρατείχ}}}{V_{Rd,max}} = \frac{20,0}{37,0} + \frac{137,5}{313,0} = 0,98 < 1,0$$

Άρα η διατομή **επαρκεί**.

Βήμα 4ο

Υπολογισμός απαιτούμενων οπλισμών.

§6.3.2(3) EC2

Διαμήκης οπλισμός (λόγω στρέψης)

$$A_{sl} = \frac{T_{Ed} \cdot u_k}{2 \cdot A_k \cdot f_{yd}} \cdot \cot\theta = \frac{20,0 \cdot 1,348}{2 \cdot 0,0829 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,5}} \cdot \cot 21,8^\circ = 9,35 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 6\varnothing 16 (12,06 \text{ cm}^2)$$

Εγκάρσιος οπλισμός

$$\left[\frac{\Sigma A_{sw}}{s} \right]_{\text{στρ.}} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k \cdot f_{ywd}} \cdot \tan\theta = \frac{20,0}{2 \cdot 0,0829 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15}} \cdot \tan 21,8^\circ = 0,111 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$\left[\frac{\Sigma A_{sw}}{s} \right]_{\text{διστρ.}} = \frac{V_{Ed}^{x=d}}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta} = \frac{110,0}{0,9 \cdot 0,55 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cdot \cot 21,8^\circ} = 0,204 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$\left[\frac{\Sigma A_{sw}}{s} \right]_{\text{tot}} = 0,111 + \frac{0,204}{2} = 0,213 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$\rightarrow s = \frac{50}{0,213} = 234,7 \text{ mm} \approx 230 \text{ mm}$$

Αρα τοποθετούμε συνδετήρες: $\varnothing 8 / 230$

Βήμα 5ο

Συνολικός οπλισμός λόγω κάμψης - διάτμησης - στρέψης (βλ. και Παράδειγμα 1.5)

Διαμήκης οπλισμός

$$\Sigma A_{s_l} = 10,71 + 3,16 + 9,35/3 = 10,71 + 3,16 + 3,12 = 16,99 \text{cm}^2 \rightarrow 4\varnothing 24 (18,09 \text{cm}^2)$$

Τοποθετείται επιπλέον θλιβόμενος λόγω κάμψης

$$A_{s,\acute{\alpha}\nu\omega} = 0,15A_{s,\alpha\nu\omicron\gamma\mu\iota} = 1,61 \text{cm}^2 \rightarrow 2\varnothing 12 (2,26 \text{cm}^2)$$

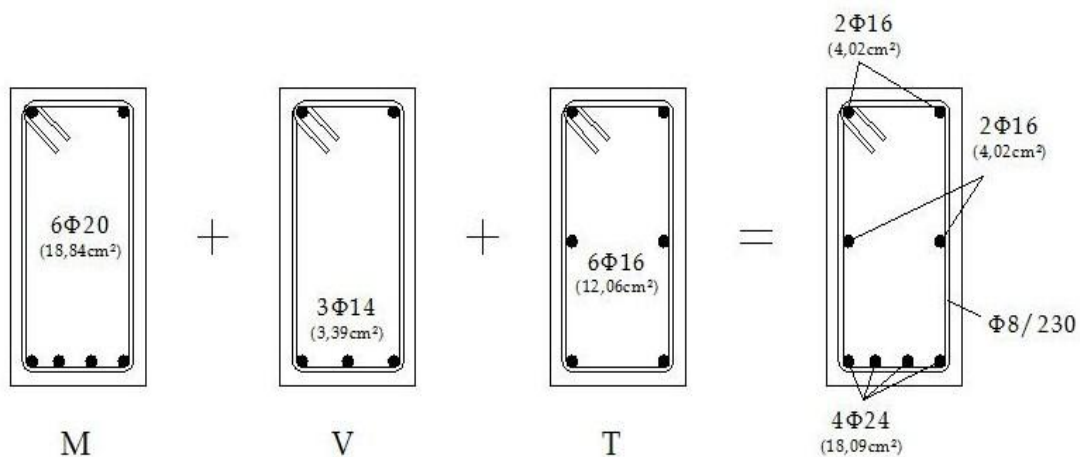
και ο υπόλοιπος απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης εκτός εφελκόμενου πέλματος

$$2/3 \cdot 9,35 = 6,23 \text{cm}^2 \rightarrow 4\varnothing 16 (8,04 \text{cm}^2)$$

Εφόσον ο θλιβόμενος λόγω της στρέψης επαρκεί, δεν τοποθετούμε επιπλέον θλιβόμενο λόγω κάμψης.

Εγκάρσιος οπλισμός

$\varnothing 8 / 230$



Σχόλια

Εδώ θεωρήσαμε γωνία διαγώνιων θλιπτήρων $21,8^\circ$, καθώς αυτό ήταν πιο οικονομικό όπως για την περίπτωση που είχαμε μόνο διάτμηση. Όσον αφορά τη στρέψη, η εν λόγω θεώρηση οδηγεί σε **μείωση των συνδετήρων και αντιστρόφως σε αύξηση του διαμήκους οπλισμού.**

13.7 ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Ο έλεγχος σε διάτρηση πραγματοποιείται σε πλάκα που φέρει συγκεντρωμένο φορτίο από υποστυλώμα και έχει οπλιστεί έναντι κάμψης κατά ΕΚΩΣ για τα μόνιμα και κινητά φορτία της πλάκας, καθώς επίσης και για το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος.

$$b_x = b_y = 30 \text{ cm}$$

$$h_f = 20 \text{ cm}$$

$$d_x = 18 \text{ cm}$$

$$d_y = 17 \text{ cm}$$

$$\theta = \arctan(1/2) = 26,5^\circ$$

Υλικά: C20/25

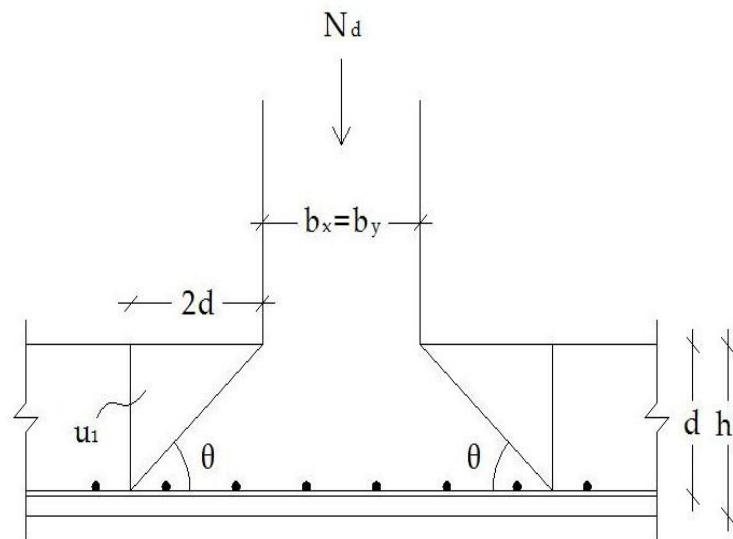
B500C

$$N_d = 300,0 \text{ kN}$$

οπλισμοί πλάκας:

$$\rho_{lx} = 0,026$$

$$\rho_{ly} = 0,011$$



Βήμα 1ο

Προσδιορισμός περιμέτρων ελέγχου.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούμε το μέσο στατικό ύψος:

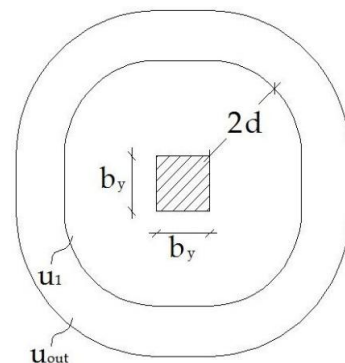
$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,17 + 0,18}{2} = 0,175 \text{ m}$$

α) Περίμετρος υποστυλώματος

$$u_0 = 2b_x + 2b_y = 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 = 0,60 + 0,60 = 1,20 \text{ m}$$

β) Βασική Περίμετρος ελέγχου (σε απόσταση 2d από την παρειά του υποστυλώματος)

$$u_1 = 2b_x + 2b_y + 4\pi d = 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 4 \cdot 3,14 \cdot 0,175 = 0,60 + 0,60 + 2,20 = 3,40 \text{ m}$$



§6.4.2(1), (2)
EC2

Βήμα 2ο

§6.4.5(3) & Έλεγχος στην παρειά του υποστυλώματος.

§6.4.3(6) EC2 Δρώσα διατμητική τάση:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_o \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{300,0}{1,20 \cdot 0,175} = 1,64 \text{MPa}$$

Μέγιστη τιμή αντοχής:

$$\begin{aligned} v_{Rd,max} &= 0,50 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,50 \cdot 0,60 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = \\ &= 0,50 \cdot 0,60 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) \cdot \frac{20}{1,50} = 3,68 \text{MPa} > 1,64 \text{MPa} = v_{Ed} \end{aligned}$$

Βήμα 3ο

§6.4.3(2) & Έλεγχος στη βασική περίμετρο ελέγχου u_1 (την κρίσιμη περίμετρο κατά ΕΚΩΣ).

§6.4.4(1) EC2 Δρώσα διατμητική τάση:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{300,0}{3,40 \cdot 0,175} = 0,58 \text{MPa}$$

Για πλάκες η αντοχή σε διάτρηση χωρίς οπλισμό δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

όπου:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{175}} = 1,069 < 2,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,026 \cdot 0,011} = 0,017 \leq 0,020$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,069^{3/2} \cdot 20^{1/2} = 0,173$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,069 \cdot (100 \cdot 0,017 \cdot 20)^{1/3} = 0,42 \text{MPa}$$

$$\text{ενώ } v_{Rd,c} = 0,42\text{MPa} \geq (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) = 0,173 + 0 = 0,173\text{MPa}$$

Εφόσον:

$$v_{Rd,c} = 0,42\text{MPa} < 0,58\text{MPa} = v_{Ed}$$

απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

Βήμα 4ο

Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης.

§6.4.5(1) EC2

Το απαιτούμενο εμβαδόν οπλισμού διάτμησης για μια περίμετρο του οπλισμού εκτιμάται από την παρακάτω σχέση:

$$v_{Ed} \geq v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} (1 / (u_1 \cdot d)) \cdot \sin \alpha$$

με:

$$\sin \alpha = 1 \text{ (κατακόρυφοι συνδετήρες)}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d = 250 + 0,25 \cdot 175 = 293,75\text{MPa}$$

Οπότε:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \left[\frac{A_{sw}}{s_r} \right] &= (v_{Ed} - 0,75 \cdot v_{Rd,c}) \cdot \frac{u_1}{1,5 \cdot f_{ywd,ef}} = \\ &= (0,58 - 0,75 \cdot 0,42) \cdot \frac{3,40}{1,5 \cdot 293,75} = 0,00204\text{m}^2/\text{m} = 20,4\text{cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Βήμα 5ο

Ελάχιστος οπλισμός.

§9.4.3(2) EC2

$$A_{sw,min} \cdot (1,5 \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} \Rightarrow$$

$$\left[\frac{A_{sw,min}}{s_r \cdot s_t} \right] \cdot (1,5 \cdot 1,0 + 0) \geq 0,08 \cdot \sqrt{20} / 500 \Rightarrow$$

$$\left[\frac{A_{sw,min}}{s_r \cdot s_t} \right] \geq 0,000477\text{m}^2/\text{m} \cdot \text{m} = 4,77\text{cm}^2/\text{m} \cdot \text{m}$$

Βήμα 6ο

§6.4.5(4) EC2

Προσδιορισμός εξωτερικής περιμέτρου που δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

$$u_{\text{out}} = \frac{\beta \cdot V_{\text{Ed}}}{v_{\text{Rd,c}} \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 300,0}{420 \cdot 0,175} = 4,69\text{m}$$

που αντιστοιχεί σε απόσταση από την περίμετρο του υποστυλώματος:

$$u_{\text{out}} = 2b_x + 2b_y + 2\pi(k' \cdot d) = 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 3,14 \cdot (k' \cdot 0,175) \Rightarrow k' = 3,18 \approx 3,20$$

Άρα η εξωτερική περίμετρος u_{out} που δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης βρίσκεται σε απόσταση $3,20d$ από την περίμετρο u_0 του υποστυλώματος.**ΒΗΜΑ 7ο**§6.4.5(5) &
§9.4.3(1), (2)
EC2

Διάταξη οπλισμού.

Κατά τον EC2 ο οπλισμός διάτμησης μπορεί να διατάσσεται σε παράλληλους κύκλους γύρω από το υποστυλώμα σύμφωνα με το Σχήμα 6.12 της παρούσας (ή το αντίστοιχο Σχήμα 6.22 του EC2). Η πρώτη σειρά οπλισμών δεν πρέπει να απέχει απόσταση μικρότερη από $0,30d$ και μεγαλύτερη από $0,50d$ από την παρειά του υποστυλώματος (βλ. και Σχήμα 9.10 του EC2). Η ακτινική απόσταση μεταξύ των παράλληλων σειρών οπλισμών, s_r , δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $0,75d$ (βλ. §9.4.3(1) του EC2).

Επιλέγουμε ακτινική απόσταση:

$$s_r = 0,60d \leq 0,75d$$

και για αυτήν την απόσταση υπολογίζουμε την απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού για μια σειρά οπλισμών (οπλισμός μια περίμετρο):

$$\left[\frac{A_{\text{sw}}}{s_r} \right] \geq 20,4 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A_{\text{sw}} \geq 20,4 \text{ cm}^2/\text{m} \cdot 0,60 \cdot 0,175\text{m} = 2,14 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούμε σε κάθε σειρά 8 συνδετήρες διαμέτρου 6 mm, δηλαδή:

$$8\emptyset 6(2,24 \text{ cm}^2)$$

Η απόσταση s_t μεταξύ των σκελών των συνδετήρων κατά μήκος μιας περιμέτρου του οπλισμού διάτμησης πρέπει να είναι (βλ. §9.4.3(1) του EC2) μικρότερη από $1,5d$

στην βασική περίμετρο ελέγχου u_1 και μικρότερη από $2d$ στις περιμέτρους πέραν της u_1 .

Τοποθετώντας 8 συνδετήρες, οι μέγιστες αποστάσεις μεταξύ αυτών (δηλαδή οι αποστάσεις των συνδετήρων στην εξώτατη σειρά συνδετήρων που τοποθετούνται στην περίμετρο u_4 που βρίσκεται σε απόσταση $2,1d$ από την παρειά του υποστυλώματος) είναι:

$$s_t = \frac{u_4}{8} = \frac{2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 3,14 \cdot 2,1 \cdot 0,175}{8} = \frac{3,50\text{m}}{8} = 0,44\text{m} > \max s_t = 2d = 0,35\text{m}$$

Άρα, δεν ικανοποιείται η απαίτηση της μέγιστης επιτρεπόμενης απόστασης δεν ισχύει.

Έτσι θα τοποθετήσουμε περισσότερους συνδετήρες σε κάθε περίμετρο. Επιλέγουμε να τοποθετήσουμε 12 συνδετήρες ανά περίμετρο δηλαδή:

$$12\varnothing 6(3,36\text{cm}^2)$$

Με 12 συνδετήρες ανά περίμετρο προκύπτει:

$$s_t = \frac{u_4}{12} = \frac{3,50\text{m}}{12} = 0,29\text{m} < \begin{cases} 2d = 0,35\text{m} \\ 1,5d = 0,26\text{m} \end{cases}$$

Οπότε πλέον ικανοποιείται το κριτήριο της μέγιστης επιτρεπόμενης απόστασης μεταξύ των σκελών των συνδετήρων σε μια περίμετρο.

Επίσης ικανοποιείται και το κριτήριο του ελάχιστης επιφάνειας ενός σκέλους του οπλισμού διάτρησης αφού:

$$\begin{aligned} \Rightarrow A_{sw,\min} &= 4,77 \frac{\text{cm}^2}{\text{m} \cdot \text{m}} \cdot s_r \cdot s_t = 4,77 \frac{\text{cm}^2}{\text{m} \cdot \text{m}} \cdot 0,60d \cdot 2d = \\ &= 4,77 \frac{\text{cm}^2}{\text{m} \cdot \text{m}} \cdot 0,60 \cdot 0,175\text{m} \cdot 2 \cdot 0,175\text{m} = 0,18\text{cm}^2 < 0,28\text{cm}^2 = \varnothing 6 \end{aligned}$$

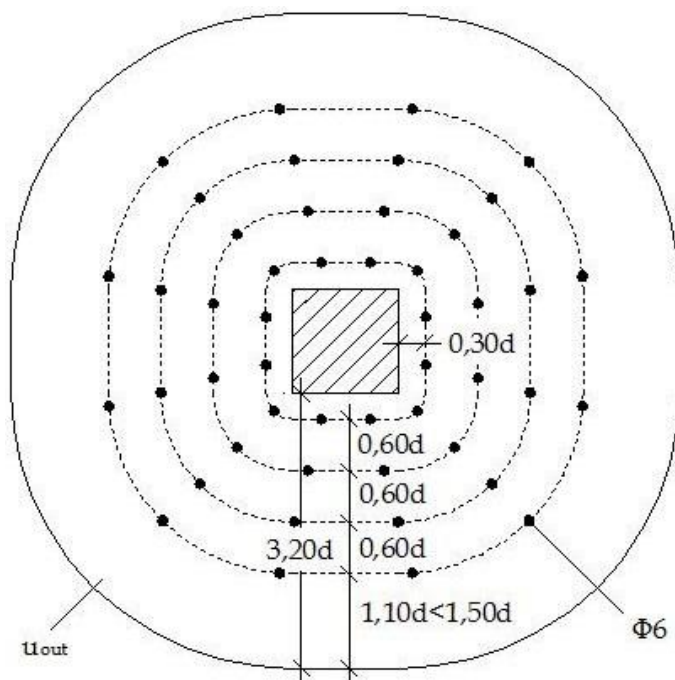
Η εξώτατη σειρά συνδετήρων πρέπει να απέχει από την εξωτερική περίμετρο u_{out} , πέραν της οποίας δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης, απόσταση όχι μεγαλύτερη από $1,5d$ (βλ. §9.4.3(1) του EC2 και Σχήμα 6.22 του EC2).

Θα τοποθετήσουμε 4 σειρές οπλισμών, με μεταξύ τους (ακτινική) απόσταση $0,60d=105\text{mm}$, εκ των οποίων η πρώτη θα απέχει απόσταση $0,30d=52,5\text{mm}$ από την παρειά του υποστυλώματος. Έτσι η τελευταία (εξώτατη) σειρά θα βρίσκεται σε απόσταση από την παρειά του υποστυλώματος:

$$a = 0,30d + 3 \cdot 0,60d = 0,30d + 1,80d = 2,10d$$

Η εξωτερική περίμετρος u_{out} απέχει απόσταση $3,20d$ από την παρειά του υποστυλώματος (βλ. παραπάνω Βήμα 6ο). Οπότε η τελευταία (εξώτατη) σειρά συνδετήρων απέχει από την εξωτερική περίμετρο u_{out} απόσταση μικρότερη από $1,5d$ που είναι η μέγιστη επιτρεπτή. Πράγματι:

$$a' = 3,20d - 2,10d = 1,10d < 1,50d$$



Σχήμα 13.1: Διάταξη οπλισμού διάτρησης (συνδετήρων) σε κάτοψη

Σημείωση: Παραπάνω υπολογίστηκε ο απαιτούμενος οπλισμός για την περίμετρο u_1 και για τη δρώσα τέμνουσα v_{Ed} στην ίδια διατομή και ο ίδιος οπλισμός τοποθετήθηκε σε όλες τις περιμέτρους. Αν είμαστε πιο ακριβείς πρέπει να υπολογίσουμε για κάθε μία από τις επλεγμένες περιμέτρους την αντίστοιχη u_i και v_{Ed} και για αυτά τα μεγέθη πλέον να υπολογισθεί ο απαιτούμενος οπλισμός για την εν λόγω περίμετρο. Κάνοντας αυτούς τους υπολογισμούς προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$\text{στα } 0,3d \rightarrow u_2 = 1,53m \rightarrow v_{Ed} = 1,27\text{MPa} \rightarrow \left[\frac{A_{sw}}{s_r} \right] = 33,2 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow A_{sw} = 3,48\text{cm}^2$$

$$\text{στα } 0,9d \rightarrow u_3=2,19\text{m} \rightarrow v_{Ed}=0,88\text{MPa} \rightarrow \left[\frac{A_{sw}}{s_r} \right] = 28,1 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow A_{sw} = 2,95\text{cm}^2$$

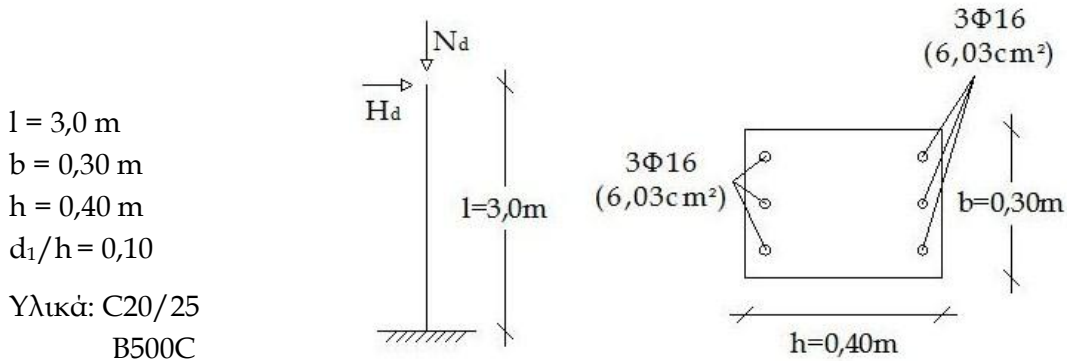
$$\text{στα } 1,5d \rightarrow u_4=2,85\text{m} \rightarrow v_{Ed}=0,68\text{MPa} \rightarrow \left[\frac{A_{sw}}{s_r} \right] = 23,6 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow A_{sw} = 2,48\text{cm}^2$$

$$\text{στα } 2,1d \rightarrow u_5=3,50\text{m} \rightarrow v_{Ed}=0,56\text{MPa} \rightarrow \left[\frac{A_{sw}}{s_r} \right] = 19,5 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow A_{sw} = 2,04\text{cm}^2$$

Άρα, ο τοποθετούμενος οπλισμός $12\emptyset 6(3,36\text{cm}^2)$ οριακά δεν επαρκεί μόνο για την περίμετρο u_2 , την κοντινότερη περίμετρο στο υποσύλωμα. Αν οπλίσουμε με το τελευταίο σκεπτικό (αν και ο EC2 δεν το διευκρινίζει) θα πρέπει τότε να τοποθετήσουμε $12\emptyset 8(6,00\text{cm}^2)$ στην περίμετρο u_2 (ή και σε όλες τις περιμέτρους για να έχουμε ίδιο οπλισμό παντού).

13.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ

Στο παρόν παράδειγμα θα υπολογίσουμε τη ροπή σχεδιασμού μεμονωμένου υποστυλώματος, λαμβάνοντας υπόψη και τα φαινόμενα 2ας τάξης, με τη μέθοδο ονομαστικής καμπυλότητας του EC2, που είναι αντίστοιχη της μεθόδου του προτύπου υποστυλώματος του ΕΚΩΣ.



Φορτία: $N_g = 185,0 \text{ kN}$, $H_g = 11,1 \text{ kN}$

$N_q = 100,0 \text{ kN}$, $H_q = 10,0 \text{ kN}$

ΟΚΑ: $N_d = 1,35N_g + 1,50N_q = 400,0 \text{ kN}$

$H_d = 1,35H_g + 1,50H_q = 30,0 \text{ kN}$

$M_d = H_d \cdot l = 30,0 \cdot 3,0 = 90,0 \text{ kNm}$

ΟΚΛ: $N_{Ser} = 1,00N_g + 1,00N_q = 285,0 \text{ kN}$

$H_{Ser} = 1,00H_g + 1,00H_q = 21,1 \text{ kN}$

$M_{Ser} = H_d \cdot l = 21,1 \cdot 3,0 = 63,3 \text{ kNm}$

Οπλισμός: $A_{s1} = A_{s2} = 6,03 \text{ cm}^2$ ή $A_{s,tot} = 12,06 \text{ cm}^2$ (6 \varnothing 16)

$$\omega = \frac{A_{s,tot} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{12,06 \cdot 500/1,15}{30 \cdot 40 \cdot 20/1,50} = 0,327$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1,5 \cdot 400,0}{0,30 \cdot 0,40 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,25$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{500/1,15}{200.000} = 2,17\text{‰}$$

Το μήκος λυγισμού είναι:

§5.8.3.1 EC2

$$l_0 = 2 \cdot l = 2 \cdot 3,0 = 6,0\text{m}$$

$$\text{Λυγηρότητα: } \lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\sqrt{I_c/A_c}} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{bh^3/12}{bh}}} = \frac{\sqrt{12} \cdot l_0}{h} = \frac{\sqrt{12} \cdot 6,0}{0,40} \approx 52,0$$

Γεωμετρικές ατέλειες

§5.2 EC2

Για μεμονωμένα δομικά στοιχεία:

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2}$$

$$\text{όπου } \theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \frac{1}{200}$$

αφού

$$a_h = \sqrt{1} = 1,73 \geq 1,00 \Rightarrow a_h = 1,0$$

$$a_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)} = 1,0 \text{ για } m=1$$

$$\text{Οπότε } e_i = \frac{1}{200} \cdot \frac{6,0}{2} = 0,015\text{m}$$

Ροπή σχεδιασμού

Η ροπή σχεδιασμού του μεμονωμένου υποστυλώματος σύμφωνα με τη μέθοδο §5.8.8.2 EC2 ονομαστικής καμπυλότητας είναι:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

Ροπή 1ης τάξης

$$M_{0Ed} = M_d + N_d \cdot e_i = 90,0 + 400,0 \cdot 0,015 = 96,0\text{kNm}$$

Ενεργός συντελεστής ερπυσμού:

§5.8.4 EC2

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed} = 2,50 \cdot 67,6 / 96,0 = 1,76$$

αφού $\varphi(\infty, t_0 = 28) \approx 2,50$ και

$$M_{0\text{Eqp}} = M_{\text{Ser}} + N_{\text{Ser}} \cdot e_i = 63,3 + 285,0 \cdot 0,015 = 67,6 \text{ kNm}$$

§5.8.3.1 EC2 Η μέγιστη επιτρεπόμενη λυγηρότητα είναι:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n_d}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n_d}} = \frac{20 \cdot 0,74 \cdot 1,29 \cdot 0,70}{\sqrt{0,25}} = 26,72 < 52,00$$

αφού

$$A = \frac{1}{1 + 0,2\varphi_{\text{ef}}} = 0,74$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = 1,29$$

$$C = 0,7 \text{ (προτεινόμενη τιμή)}$$

Άρα **απαιτείται** έλεγχος σε λυγισμό.

§5.8.8.2(4) **Ροπή 2ης τάξης**

EC2

$$M_2 = N_d \cdot e_2$$

όπου

$$e_2 = \left(\frac{1}{r} \right) \cdot \frac{l_0^2}{c}$$

§5.8.8.3 EC2 **Εκτίμηση καμπυλότητας διαρροής**

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0}$$

$$\text{με } \frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} \text{ και } d = h/2 + i_s$$

Η ροπή αδράνειας της επιφάνειας του οπλισμού ως προς το κέντρο της διατομής είναι:

$$\sum I_s = 6I_s = 6(I_{s0} + A_s \cdot y^2) = 6 \left(\frac{\pi \varnothing^4}{64} + \frac{\pi \varnothing^2}{4} \cdot 15^2 \right) = 2714,9 \text{ cm}^4$$

$$i_s = \sqrt{\frac{\sum I_s}{A_{s,tot}}} = \sqrt{\frac{2714,9}{12,06}} = 15,00\text{cm} = 0,15\text{m}$$

Άρα προκύπτει $d = 0,40/2 + 0,15 = 0,35\text{m}$

$$\text{και οπότε } \frac{1}{r_0} = \frac{2,17\text{‰}}{0,45 \cdot 0,35} = 0,0138\text{m}^{-1}$$

Ο συντελεστής K_r που εξαρτάται από το αξονικό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$K_r = \frac{n_u - n_d}{n_u - n_{bal}} \leq 1,0$$

όπου

$$n_u = 1 + \omega = 1,0 + 0,327 = 1,327$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$\text{οπότε } K_r = \frac{1,327 - 0,25}{1,327 - 0,4} = 1,16 \leq 1,0 \Rightarrow K_r = 1,0$$

Ο συντελεστής K_ϕ που λαμβάνει υπόψη τον ερπυσμό δίνεται από τη σχέση:

$$K_\phi = 1 + \beta \cdot \phi_{ef}$$

$$\text{όπου } \beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{20}{200} - \frac{52,00}{150} = 0,103$$

$$\text{οπότε } K_\phi = 1 + 0,103 \cdot 1,76 = 1,181$$

Άρα η καμπυλότητα διαρροής είναι:

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\phi \cdot \frac{1}{r_0} = 1,0 \cdot 1,181 \cdot 0,0138\text{m}^{-1} = 0,0163\text{m}^{-1}$$

Οπότε η εκκεντρότητα διαρροής είναι:

$$e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0163 \cdot \frac{6,0^2}{10} = 0,0587\text{m}$$

Και η ροπή 2ης τάξης προκύπτει:

$$M_2 = N_d \cdot e_2 = 400,0 \cdot 0,0587 = 23,5\text{kNm}$$

Έτσι η ροπή σχεδιασμού είναι:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 96,0 + 23,5 = 119,5 \text{ kNm}$$

Η ροπή σχεδιασμού πρέπει να μην υπερβαίνει την αναπτυσσόμενη εσωτερική ροπή που αντιστοιχεί στη διαρροή του οπλισμού (η οποία υπολογίζεται με δοκιμές ή με άλλο τρόπο).

13.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΩΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ EC2/ΕΚΩΣ

$$b = 0,50 \text{ m}$$

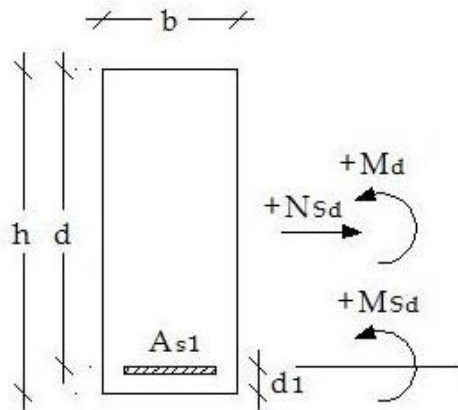
$$h = 0,50 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,05 \text{ m}$$

Υλικά: C20/25
B500C

$$f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$M_{sd} = 150 \text{ kNm}$$



Για ροπή στην ΟΚΑ $M_{sd} = 150 \text{ kNm}$ προκύπτει $\mu_{sd} = 0,18$ και από τον Πίνακα 5.1 της παρούσας λαμβάνουμε $\omega = 0,200$ οπότε προκύπτει απαιτούμενο εμβαδόν οπλισμού $A_s = 7,56 \text{ cm}^2$. Τοποθετούνται $3\varnothing 18 (7,63 \text{ cm}^2)$.

EC2

Ο ελάχιστος οπλισμός ρηγματώσεως, ικανός να αναλάβει τη ροπή που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα ακριβώς πριν τη ρηγμάτωση, δίνεται από τη σχέση:

§7.3.2.(2) EC2

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot \frac{f_{ctm}}{\sigma_s}$$

Αμέσως πριν τη ρηγμάτωση η διατομή θεωρούμε πως είναι ομογενής και οι σχέσεις τάσεων - παραμορφώσεων είναι γραμμικές (Στάδιο I) και το εφελκόμενο σκυρόδεμα είναι υπό τάση f_{ctm} . Αν αγνοήσουμε και την, ούτως ή άλλως, μικρή δύναμη του οπλισμού (λόγω της πολύ μικρής παραμόρφωσης) το διάγραμμα τάσεων είναι τριγωνικό με τάση f_{ctd} στις δύο ακραίες ίνες. Η ροπή που αντιστοιχεί στην κατάσταση ακριβώς πριν την έναρξη της ρηγμάτωσης είναι:

$$M_{cr} = \left(\frac{1}{2} \cdot b \cdot h / 2 \cdot f_{ctm} \right) \cdot 2h/3 = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_{ctm} = W_{ct} \cdot f_{ctm} = \frac{0,25 \cdot 0,50^2}{6} \cdot 2,2 \cdot 10^3 = 22,9 \text{ kNm}$$

Οπότε το εμβαδόν A_{ct} του σκυροδέματος της εφελκόμενης ζώνης αμέσως πριν τη ρηγμάτωση είναι:

$$A_{ct} = b \cdot \frac{h}{2} = 25 \cdot \frac{50}{2} = 625,0 \text{ cm}^2$$

Με γραμμική παρεμβολή για $h = 500 \text{ mm}$ προκύπτει $k = 0,86$.

Για καθαρή κάμψη ($\sigma_c = 0$) προκύπτει:

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) \cdot f_{ct,eff}} \right] = 0,40$$

Για συνθήκες περιβάλλοντος ΧC1 προκύπτει από τον Πίνακα 9.2 της παρούσας (ή τον Πίνακα 7.1N του EC2) πως το μέγιστο εύρος ρωγμής είναι $w_k = 0,40 \text{ mm}$.

Για $w_k = 0,40 \text{ mm}$ και για διάμετρο οπλισμού $\varnothing 18$ η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του χάλυβα σε κατάσταση λειτουργικότητας για περιορισμό της ρηγματώσεως σύμφωνα με τον Πίνακα 9.4 της παρούσας (ή τον Πίνακα 7.2N του EC2) είναι, με γραμμική παρεμβολή, $\sigma_s = 260 \text{ MPa}$.

Οπότε με αντικατάσταση προκύπτει:

$$A_{s,min} = 0,40 \cdot 0,86 \cdot 625,0 \cdot \frac{2,2}{260,0} = 1,82 \text{ cm}^2$$

ΕΚΩΣ

Ο ελάχιστος οπλισμός ρηγματώσεως, ικανός να αναλάβει τη ροπή που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα ακριβώς πριν τη ρηγματώση, δίνεται από τη σχέση (§15.5 του ΕΚΩΣ):

$$A_{s,min} = k_c \cdot A_{ct} \cdot \frac{f_{ctm}}{\sigma_s}$$

Ομοίως με πριν:

$$A_{ct} = b \cdot \frac{h}{2} = 25 \cdot \frac{50}{2} = 625,0 \text{ cm}^2$$

Για καθαρή κάμψη ($\sigma_c = 0$) προκύπτει $k_c = 0,50$

Για κατηγορία περιβάλλοντος 1 κατά ΕΚΩΣ και για διάμετρο οπλισμού $\varnothing 18$ προκύπτει (από τον Πίνακα 15.1 του ΕΚΩΣ) πως η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του χάλυβα σε κατάσταση λειτουργικότητας για περιορισμό της ρηγματώσεως είναι, με γραμμική παρεμβολή, $\sigma_s = 334,4 \text{ MPa}$.

Οπότε με αντικατάσταση προκύπτει: $A_{s,min} = 0,50 \cdot 625,0 \cdot \frac{2,2}{334,4} = 2,06 \text{ cm}^2$

13.10 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΡΩΓΜΗΣ

$$b = 0,50 \text{ m}$$

$$h = 0,50 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,05 \text{ m}$$

Υλικά: C20/25

B500C

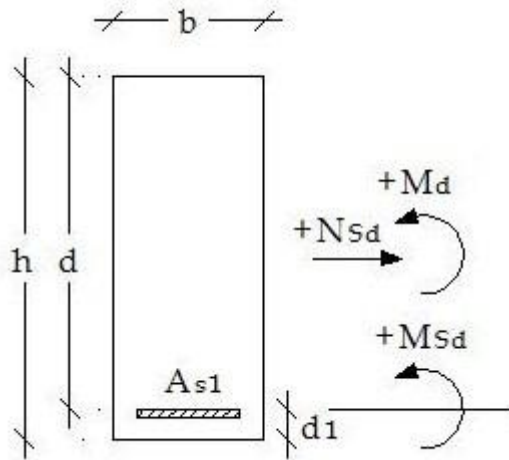
$$f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 30 \text{ GPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$M_{Sd} = 150 \text{ kNm}$$

$$M_{ser} = 100 \text{ kNm}$$



Για ροπή στην ΟΚΑ $M_{Sd} = 150 \text{ kNm}$ προκύπτει $\mu_{Sd} = 0,18$ και από τον Πίνακα 5.1 της παρούσας λαμβάνουμε $\omega = 0,200$ οπότε προκύπτει απαιτούμενο εμβαδόν οπλισμού $A_s = 7,56 \text{ cm}^2$. Τοποθετούνται $3\varnothing 18 (7,63 \text{ cm}^2)$.

Το εύρος ρωγμής υπολογίζεται από τη σχέση:

§7.3.4(1) EC2

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης που εκφράζει τη διαφορά των μέσων ανηγμένων παραμορφώσεων οπλισμού και σκυροδέματος υπολογίζεται από τη σχέση:

§7.3.4(2) EC2

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

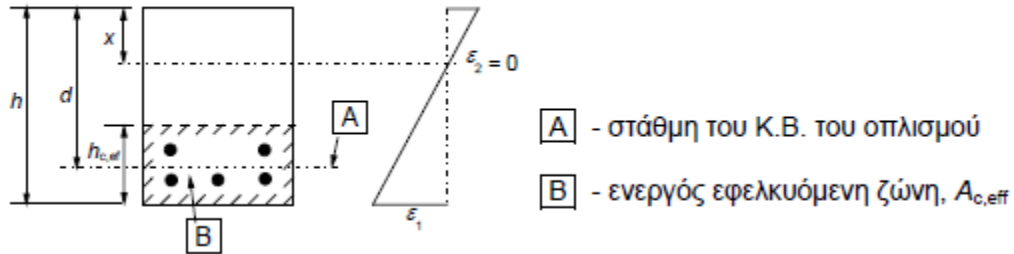
όπου:

$$\sigma_s = \sigma_{ser} = f_{yd} \cdot \frac{M_{ser}}{M_{Sd}} = \frac{500}{1,15} \cdot \frac{100}{150} = 289,86 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{30} = 6,67$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

με την ενεργό εφελκόμενη ζώνη $A_{c,eff}$ να προσδιορίζεται σύμφωνα με το επόμενο σχήμα του EC2 (Σχήμα 7.1a του EC2) για δοκούς υπό κάμψη.



Οπότε:

$$h_{c,eff} = 2 \cdot d_1 = 2 \cdot 0,05 = 0,10\text{m}$$

και άρα

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff} = 0,25 \cdot 0,10 = 0,025\text{m}^2 = 250\text{cm}^2$$

Έτσι ο λόγος $\rho_{p,eff}$ προκύπτει:

$$\rho_{p,eff} = \frac{7,63}{250} = 0,0305$$

$k_t = 0,4$ (για μακροχρόνια φόρτιση)

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{289,86 - 0,4 \cdot \frac{2,2}{0,0305} \cdot (1 + 6,67 \cdot 0,0305)}{200.000} = 1,28\text{‰} < 0,6 \frac{434,78}{200.000} = 1,30\text{‰}$$

Άρα:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 1,30\text{‰}$$

§7.3.4(3), (4),
(5) EC2

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης που εκφράζει τη μέγιστη απόσταση των ρωγμών μπορεί να υπολογίζεται με διάφορους τρόπους ανάλογα με την περίπτωση.

Στην περίπτωση του παρόντος παραδείγματος που οι αποστάσεις των ράβδων του εφελκόμενου οπλισμού ικανοποιούν τη σχέση:

$$a = (b - 2d_1 - 2\varnothing)/2 = 57\text{mm} < 5 \cdot c + \varnothing/2 = 5 \cdot 33 + 9 = 174\text{mm}$$

$$(c = d_1 - \varnothing_L/2 - \varnothing_W = 50 - 9 - 8 = 33\text{mm})$$

η μέγιστη απόσταση των ρωγμών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$s_{r,\max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \varnothing / \rho_{p,\text{eff}}$$

όπου:

$$k_1 = 0,8 \text{ (για ράβδους με νευρώσεις)}$$

$$k_2 = 0,5 \text{ (για κάμψη)}$$

$$k_3 = 3,4 \text{ \& } k_4 = 0,425$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$s_{r,\max} = 3,4 \cdot 33 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 18 / 0,0305 = 212,53\text{mm}$$

Οπότε με αντικατάσταση στην αρχική σχέση προκύπτει:

$$w_k = 212,53 \cdot 1,30\text{‰} = 0,28\text{mm} < \max w_k = 0,40\text{mm}$$

Άρα ικανοποιείται ο έλεγχος ρηγματώσεως.

13.11 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΣΕΙΣΜΟΥ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ EC8/ΕΑΚ

Ο υπολογισμός γίνεται για τη μέγιστη οριζόντια σεισμική συνιστώσα που αντιστοιχεί στο πλατώ σταθερής επιτάχυνσης για $T_b \leq T \leq T_c$

Δεδομένα:

Σεισμικότητα III: $a_{gR} = 0,36g$

Σπουδαιότητα Σ1: $\gamma_I = 1,00$

Συντελεστής θεμελίωσης: $\theta = 1,00$ (ΕΚΩΣ)

Δομικό σύστημα: πολύστλο πλαίσιο

EC8: $q = 3,90$ για ΚΠΜ

$q = 5,85$ για ΚΠΥ

ΕΑΚ: $q = 3,50$

Σεισμικές επιταχύνσεις σχεδιασμού - σύγκριση EC8/ΕΑΚ

$$\text{EC8: } S_d(T) = \gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 1,00 \cdot 0,36g \cdot S \cdot \frac{2,5}{3,90} = S \cdot 0,231g \quad \text{για ΚΠΜ}$$

$$S_d(T) = \gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 1,00 \cdot 0,36g \cdot S \cdot \frac{2,5}{5,85} = S \cdot 0,154g \quad \text{για ΚΠΥ}$$

$$\text{ΕΑΚ: } S_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\theta \cdot 2,5}{q} = 1,00 \cdot 0,36g \cdot \frac{1,00 \cdot 2,5}{3,50} = 0,257g$$

Για τον EC8 οι τιμές εξαρτώνται επίσης από την κατηγορία του εδάφους θεμελίωσης. Έτσι στους Πίνακες 10.10 & 10.11 δίνονται οι τιμές της επιτάχυνσης σχεδιασμού για κάθε κατηγορία εδάφους κατά τον EC8, για τύπο φάσματος 1 & 2 αντίστοιχα. Στον ΕΑΚ οι τιμές **δεν εξαρτώνται** από την κατηγορία εδάφους.

Πίνακας 13.1: Τιμές επιτάχυνσης για φάσμα τύπου 1

Εδαφικός Τύπος	S	EC8		ΕΑΚ
		ΚΠΜ	ΚΠΥ	
A	1,0	0,231g	0,154g	Ανεξαρτήτως τύπου εδάφους: 0,257g
B	1,2	0,277g	0,185g	
C	1,15	0,266g	0,177g	
D	1,35	0,312g	0,208g	
E	1,4	0,323g	0,216g	

Πίνακας 13.2: Τιμές επιτάχυνσης για φάσμα τύπου 2

Εδαφικός Τύπος	S	EC8		ΕΑΚ
		ΚΠΜ	ΚΠΥ	
A	1,0	0,231g	0,154g	Ανεξαρτήτως τύπου εδάφους: 0,257g
B	1,35	0,312g	0,208g	
C	1,5	0,347g	0,231g	
D	1,8	0,416g	0,277g	
E	1,6	0,370g	0,246g	

❖ Παρατηρήσεις:

1. Οι τιμές για Μέση Κατηγορία Πλαστιμότητας (ΚΠΜ) είναι **κατά μέσο όρο 50% αυξημένες** ως προς τις τιμές για Υψηλή Κατηγορία Πλαστιμότητας (ΚΠΥ), κάτι που οδηγεί και σε αντίστοιχη αναλογία των εντατικών μεγεθών λόγω της σεισμικής δράσης. **Οπότε οι φορείς ΚΠΜ θα σχεδιάζονται για αρκετά μικρότερα εντατικά μεγέθη από τους φορείς ΚΠΥ.**
2. Για φορείς ΚΠΥ κατά EC8 οι επιταχύνσεις είναι (για κάθε τύπο εδάφους) **σημαντικά μειωμένες** με την επιτάχυνση κατά ΕΑΚ. Ειδικά για βράχο έχουμε 0,154g κατά EC8 και 0,257g κατά ΕΑΚ.
3. Για φορείς ΚΠΜ κατά EC8 οι επιταχύνσεις προκρίπουν **είτε μικρότερες είτε μεγαλύτερες** από την επιτάχυνση κατά ΕΑΚ ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Ειδικά για βράχο έχουμε 0,231g κατά EC8 και 0,257g κατά ΕΑΚ.

13.12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΒΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ EC8/ΕΑΚ

Δεδομένα:

Έδαφος: Α ή Β

Σεισμικότητα ΙΙΙ: $a_{gR} = 3,6\text{m/sec}^2$

Σπουδαιότητα Σ1: $\gamma_I = 1,00$

Συντελεστής θεμελίωσης: $\theta = 1,00$ (ΕΚΩΣ)

Δομικό Σύστημα: πολυώροφο πολύστιλο πλαίσιο & κτίριο κανονικό σε όψη και κάτοψη χωρίς τοιχώματα

Συντελεστής συμπεριφοράς:

EC8: $q = 3,90$ για ΚΠΜ

$q = 5,85$ για ΚΠΥ

ΕΑΚ: $q = 3,50$

Μήκος όψης κτιρίου: $L = 8\text{m}$

Μάζα κτιρίου: $m = 100\text{Mgr/όροφο}$

Παραθέτουμε επίσης τον πίνακα από τον οποίο καθορίζονται οι χαρακτηριστικές περιόδους και οι τιμές του συντελεστή εδάφους S για φάσμα τύπου 1 & 2 και για κατηγορίες εδαφών Α & Β κατά τον EC8, καθώς επίσης και τον αντίστοιχο πίνακα του ΕΑΚ (στον ΕΑΚ δεν υπάρχει ο συντελεστής εδάφους S).

Πίνακας 13.1 Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο Φάσμα Απόκρισης Τύπου 1 του EC8

Εδαφικός Τύπος	S	$T_B(\text{s})$	$T_C(\text{s})$	$T_D(\text{s})$
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0

Πίνακας 13.2: Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο Φάσμα Απόκρισης Τύπου 2 του EC8

Εδαφικός Τύπος	S	$T_B(\text{s})$	$T_C(\text{s})$	$T_D(\text{s})$
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2

Πίνακας 13.3: Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο Φάσμα Απόκρισης του ΕΑΚ

Εδαφικός Τύπος	$T_B(s)$	$T_C(s)$
A	0,10	0,40
B	0,15	0,60

Πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τον EC8 αν το κτίριο έχει περισσότερους από δύο ορόφους και ισχύει $T_1 \leq 2 \cdot T_C$, τότε η τέμνουσα βάσης πολλαπλασιάζεται με ένα μειωτικό συντελεστή $\lambda = 0,85$. Δηλαδή η τέμνουσα βάσης κατά τον EC8 δίνεται από τη σχέση (§4.3.3.2 του EC8):

$$F_b = \lambda \cdot m \cdot S_d(T_1)$$

Στους επόμενους πίνακες δίνονται οι τιμές της τέμνουσας βάσης που υπολογίστηκαν κατά EC8 (ΚΠΜ & ΚΠΥ) και ΕΑΚ για έδαφος A & B και για κτίρια ύψους $H=7, 10$ & $15m$ (διώροφο, τριώροφο & 5-όροφο αντίστοιχα). Οι τιμές δίνονται επίσης και υπό μορφή διαγράμματος.

ΕΔΑΦΟΣ Α

H=7m (διώροφο)

		m (Mgr)	H (m)	T_1 (s)	τύπος φάσματος	περιοχή περιόδων	σχέση T_1-T_C	λ	$S_d(T_1)$ (m/s ²)	F_b (kN)
EC8	ΚΠΜ	200	7	0,323	1	$T_B < T_1 < T_C$	$T_1 < 2T_C = 0,8s$	1,00	2,31	461,54
		200	7	0,323	2	$T_C < T_1 < T_D$	$T_1 < 2T_C = 0,5s$	1,00	1,79	357,49
	ΚΠΥ	200	7	0,323	1	$T_B < T_1 < T_C$	$T_1 < 2T_C = 0,8s$	1,00	1,54	307,69
		200	7	0,323	2	$T_C < T_1 < T_D$	$T_1 < 2T_C = 0,5s$	1,00	1,19	238,33
ΕΑΚ		200	7	0,223	-	$T_B < T_1 < T_C$	-	-	2,57	514,29

H=10m (τριώροφο)

		m (Mgr)	H (m)	T ₁ (s)	τύπος φάσματος	περιοχή περιόδων	σχέση T ₁ -T _C	λ	S _d (T ₁) (m/s ²)	F _b (kN)
EC8	ΚΠΜ	300	10	0,422	1	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,8s	0,85	2,19	558,11
		300	10	0,422	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,5s	0,85	1,37	348,82
	ΚΠΥ	300	10	0,422	1	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,8s	0,85	1,46	372,07
		300	10	0,422	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,5s	0,85	0,91	232,54
ΕΑΚ		300	10	0,318	-	T _B <T ₁ <T _C	-	-	2,57	771,43

H=15m (5-όροφο)

		m (Mgr)	H (m)	T ₁ (s)	τύπος φάσματος	περιοχή περιόδων	σχέση T ₁ -T _C	λ	S _d (T ₁) (m/s ²)	F _b (kN)
EC8	ΚΠΜ	500	15	0,572	1	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,8s	0,85	1,61	686,27
		500	15	0,572	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ >2T _C =0,5s	1,00	1,01	504,61
	ΚΠΥ	500	15	0,572	1	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,8s	0,85	1,08	457,52
		500	15	0,572	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ >2T _C =0,5s	1,00	0,72	360,00
ΕΑΚ		500	15	0,477	-	T _C <T ₁	-	-	2,29	1142,86

ΕΔΑΦΟΣ Β
H=7m (διώροφο)

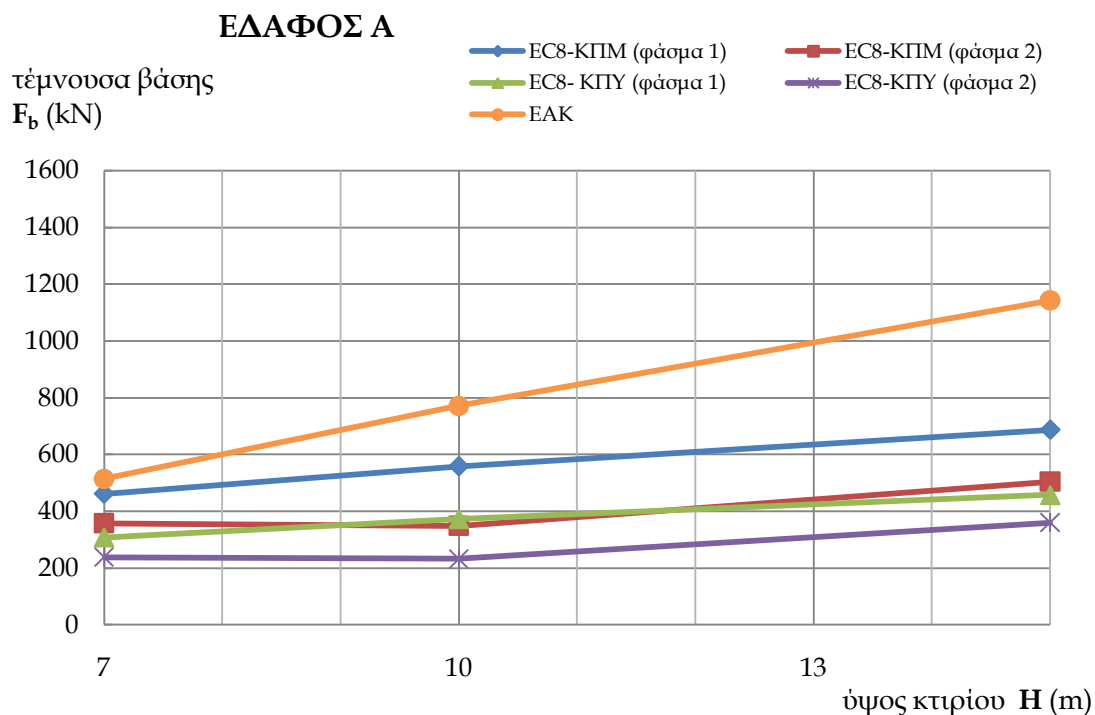
		m (Mgr)	H (m)	T ₁ (s)	τύπος φάσματος	περιοχή περιόδων	σχέση T ₁ -T _C	λ	S _d (T ₁) (m/s ²)	F _b (kN)
EC8	ΚΠΜ	200	7	0,323	1	T _B <T ₁ <T _C	T ₁ <2T _C =1,0s	1,00	2,77	553,85
		200	7	0,323	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,5s	1,00	2,41	482,61
	ΚΠΥ	200	7	0,323	1	T _B <T ₁ <T _C	T ₁ <2T _C =1,0s	1,00	1,85	369,23
		200	7	0,323	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,5s	1,00	1,61	321,74
ΕΑΚ		200	7	0,223	-	T _B <T ₁ <T _C	-	-	2,57	514,29

H=10m (τριώροφο)

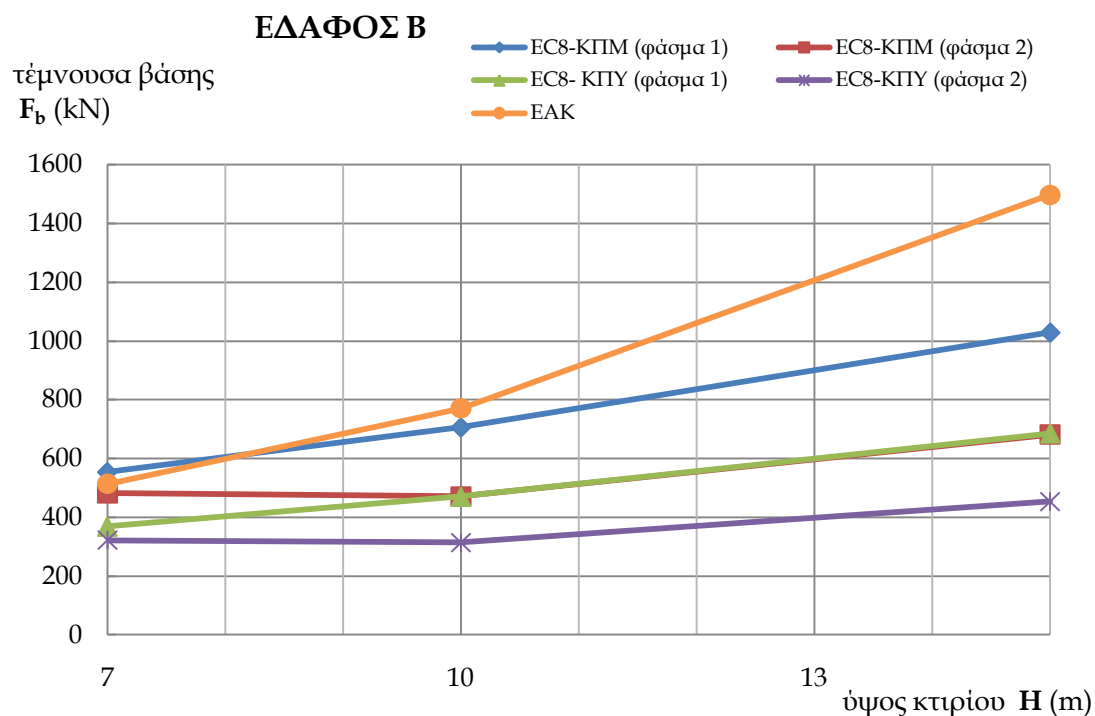
		m (Mgr)	H (m)	T ₁ (s)	τύπος φάσματος	περιοχή περιόδων	σχέση T ₁ -T _C	λ	S _d (T ₁) (m/s ²)	F _b (kN)
EC8	ΚΠΜ	300	10	0,422	1	T _B <T ₁ <T _C	T ₁ <2T _C =1,0s	0,85	2,77	706,15
		300	10	0,422	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,5s	0,85	1,85	470,90
	ΚΠΥ	300	10	0,422	1	T _B <T ₁ <T _C	T ₁ <2T _C =1,0s	0,85	1,85	470,77
		300	10	0,422	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =0,5s	0,85	1,23	313,93
ΕΑΚ		300	10	0,318	-	T _B <T ₁ <T _C	-	-	2,57	771,43

H=15m (5-όροφο)

		m (Mgr)	H (m)	T ₁ (s)	τύπος φάσματος	περιοχή περιόδων	σχέση T ₁ -T _C	λ	S _d (T ₁) (m/s ²)	F _b (kN)
EC8	ΚΠΜ	500	15	0,572	1	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =1,0s	0,85	2,42	1029,41
		500	15	0,572	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ >2T _C =0,5s	1,00	1,36	681,23
	ΚΠΥ	500	15	0,572	1	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ <2T _C =1,0s	0,85	1,61	686,27
		500	15	0,572	2	T _C <T ₁ <T _D	T ₁ >2T _C =0,5s	1,00	0,91	454,15
ΕΑΚ		500	15	0,477	-	T _C <T ₁	-	-	3,00	1497,57



Σχήμα 13.2: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών τεμνουσών βάσης ανάλογα με το ύψος του κτιρίου για έδαφος Α



Σχήμα 13.3: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών τεμνουσών βάσης ανάλογα με το ύψος του κτιρίου για έδαφος Β

13.13 Α/Σ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Υλικά:
C20/25
B500C

Ύψος υποστυλώματος: $l_c = 5,00\text{m}$

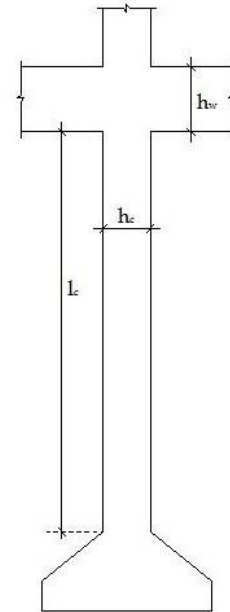
Εντατικά μεγέθη
(έχουν παρθεί από ανάλυση τριώροφου κτιρίου με
απλοποιημένη φασματική μέθοδο κατά ΕΑΚ)

Αξονική δύναμη υποστυλώματος: $N_{Ed} = 435,0\text{kN}$

Σεισμική τέμνουσα υποστυλώματος: $V_{E,c} = 43,6\text{kN}$

Σεισμική ροπή υποστυλώματος: $M_{E,c} = 109,0\text{kNm}$

Άθροισμα σεισμικών ροπών δοκών κόμβου: $\Sigma M_{E,b} = 155,5\text{kNm}$



(η αξονική δύναμη έχει προκύψει από φόρτιση $g + 0,3q$, ενώ τα υπόλοιπα τρία εντατικά μεγέθη έχουν προκύψει μόνο από την εφαρμογή της σεισμικής δράσης)

Το υποστυλώμα της παρούσας εφαρμογής είναι εσωτερικό υποστυλώμα. Η δοκός έχει ίδιες διαστάσεις και ίδιο οπλισμό εκατέρωθεν του κόμβου, οπότε και ίδιες ροπές αντοχής. Χάριν απλούστευσης θα υπολογίσουμε το υποστυλώμα μόνο με βάση τα ικανοτικά μεγέθη αφού μας ενδιαφέρει κυρίως να εφαρμόσουμε τις διατάξεις του EC8 που διαφοροποιούνται από αυτές των ΕΚΩΣ/ΕΑΚ.

1. Ροπές Αντοχής Δοκού

διατομή δοκού:

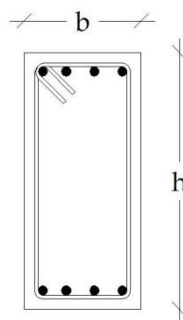
$$b_w = 0,25 \text{ m}$$

$$h_w = 0,55 \text{ m}$$

οπλισμός δοκού:

$$A_{s,\text{άνω}} = 8,04 \text{ cm}^2 (4\text{Ø}16)$$

$$A_{s,\text{κάτω}} = 4,62 \text{ cm}^2 (3\text{Ø}14)$$



ροπές αντοχής δοκού κατά EC2 με κράτυνση:

$$M_{Rd}^1 = 99,2\text{kNm} \text{ (εφελκυσμός κάτω ινών)}$$

$$M_{Rd}^2 = 165,5\text{kNm} \text{ (εφελκυσμός άνω ινών)}$$

ροπές αντοχής δοκού κατά ΕΚΩΣ:

$$M_{Rd}^1 = 93,7 \text{ kNm (εφελκυσμός κάτω ινών)}$$

$$M_{Rd}^2 = 159,9 \text{ kNm (εφελκυσμός άνω ινών)}$$

Εφόσον η όπλιση της δοκού είναι συμμετρική εκατέρωθεν του κόμβου το άθροισμα των ροπών αντοχής των δοκών που συμβάλλουν στον κόμβο είναι ίδιο για οποιαδήποτε φορά του σεισμού. Οπότε:

$$\Sigma M_{Rb} = M_{Rb}^1 + M_{Rb}^2 = 165,5 + 99,2 = 254,7 \text{ kNm}$$

2. Ικανοτικός Έλεγχος σε Κάμψη

§4.4.2.3(4)
EC8

Κατά τον EC8 πρέπει να ισχύει:

$$\Sigma M_{Rc} \geq \gamma_{Rd} \cdot \Sigma M_{Rb} = 1,3 \cdot 264,7 = 344,1 \text{ kNm}$$

Εφόσον το υποστώμα θα έχει τις ίδιες διαστάσεις και τον ίδιο οπλισμό άνω και κάτω του κόμβου, η απαιτούμενη ροπή αντοχής του υποστωλάματος πρέπει να είναι:

$$M_{Rc} = \frac{\Sigma M_{Rc}}{2} = \frac{344,1}{2} = 172,1 \text{ kNm}$$

Κατόπιν δοκιμών καταλήγουμε στην επιλογή διαστάσεων:

$$b_c = 0,40 \text{ m}$$

$$h_c = 0,40 \text{ m}$$

$$d_1/h = 0,10$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}} = \frac{435,0}{0,40 \cdot 0,40 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50} = 0,204 < \begin{cases} 0,65 \text{ για ΚΠΜ} \\ 0,55 \text{ για ΚΠΥ} \end{cases}$$

$$\mu_d = \frac{M_{Rc}}{b_c \cdot h_c^2 \cdot f_{cd}} = \frac{172,1}{0,40 \cdot 0,40^2 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50} = 0,202$$

Από τα ανηγμένα εντατικά μεγέθη προκύπτει από το απλοποιημένο διάγραμμα αλληλεπιδράσεως κατά EC2 της παραγράφου §5.2.2 της παρούσας $\omega_{tot} = 0,367$ και άρα:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b_c \cdot h_c \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,367 \cdot 0,40 \cdot 0,40 \cdot \frac{20/1,50}{500/1,15} = 18,01 \text{ cm}^2$$

Με ακρίβεια από το πρόγραμμα ri-design προκύπτει $A_{s,tot} = 15,92\text{cm}^2$

Τοποθετούμε λοιπόν 8Ø16 (16,08 cm²) ή 4Ø16/παρειά (8,04 cm²/παρειά) και 4Ø14 (2 ανά πλευρά) στις άλλες δύο πλευρές (για να ικανοποιούνται οι απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ των διαμήκων ράβδων).

Κατά ΕΚΩΣ ο ικανοτικός σχεδιασμός πραγματοποιείται διαφορετικά.

Κατ' αρχάς οι ροπές αντοχής είναι ελαφρώς μικρότερες εξαιτίας των διαφορετικών θεωρήσεων στα υλικά (χωρίς κράτυνση και με $\alpha_{cc} = 0,85$ αντί 1,00).

$$\Sigma M_{Rb} = M_{Rb}^1 + M_{Rb}^2 = 159,9 + 93,7 = 253,6\text{kNm}$$

Ο συντελεστής ικανοτικής μεγέθυνσης είναι:

$$\alpha_{CD} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\Sigma M_{Rb}}{|\Sigma M_{E,b}|} = 1,40 \cdot \frac{253,6}{155,5} = 2,28$$

$$M_{CD} = \alpha_{CD} \cdot M_{E,c} = 2,28 \cdot 109,0 = 248,9\text{kNm}$$

Για να είναι εμφανέστερη η σύγκριση στους απαιτούμενους οπλισμούς επιλέγεται ίδια διατομή με αυτήν κατά EC8.

$$\nu_d = \frac{N_d}{b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}} = \frac{435,0}{0,40 \cdot 0,40 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50} = 0,204 < 0,65 \text{ για ΕΑΚ}$$

$$\mu_d = \frac{M_{CD}}{b_c \cdot h_c^2 \cdot f_{cd}} = \frac{248,9}{0,40 \cdot 0,40^2 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50} = 0,292$$

Από τα ανηγμένα εντατικά μεγέθη προκύπτει από το ακριβές διάγραμμα αλληλεπιδράσεως κατά ΕΚΩΣ που περιέχεται στη σελ. 119 και αφορά Β500C και $d_1/h=0,10$ του βιβλίου "Ωπλισμένο Σκυροδεμα" $\omega_{tot} = 0,570$ και άρα:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b_c \cdot h_c \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,570 \cdot 0,40 \cdot 0,40 \cdot \frac{20/1,50}{500/1,15} = 28,15\text{cm}^2$$

Τοποθετούμε λοιπόν κατά ΕΚΩΣ/ΕΑΚ 6Ø25 (29,44 cm²) ή 4Ø25/παρειά (14,72 cm²/παρειά)

Έλεγχοι κατά EC2/EC8

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 40 \cdot 40 = 16,00\text{cm}^2 < 16,08\text{cm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 40 \cdot 40 = 64,00\text{cm}^2 > 16,08\text{cm}^2$$

$$h_c / b_c = 400/400 = 1 \leq 4$$

$$l_c / h_c = 5,00/0,40 = 12,50 \geq 3$$

Ικανοποιούνται επίσης οι απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ διαμήκων ράβδων:

$$a = \frac{400 - 2 \cdot 40}{3} = 106,7 \text{ mm} < \begin{cases} 200 \text{ mm για ΚΠΜ} \\ 150 \text{ mm για ΚΠΥ} \\ 200 \text{ mm για ΕΚΩΣ} \end{cases}$$

3. Ικανοτικός σε Τέμνουσα

Με βάση τον τοποθετούμενο οπλισμό $A_{s,tot} = 16,08 \text{ cm}^2$ και την ανηγμένη αξονική αντοχή $v_d = 0,204$ προκύπτει η αντοχή της διατομής του υποστυλώματος με την οποία θα γίνει ο ικανοτικός έλεγχος σε τέμνουσα, που είναι:

$$M_{Rc} = 173,1 \text{ kNm}$$

Επίσης ισχύει:

$$\Sigma M_{Rc} = 2 \cdot 173,1 = 346,2 \text{ kNm} \rightarrow \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}} = 0,765$$

Η ροπή με την οποία πραγματοποιείται ο ικανοτικός έλεγχος (αναπτυσσόμενη ροπή όταν η δημιουργηθεί η πλαστική άρθρωση) κατά τον EC8 δίνεται από τη σχέση:

§4.4.2.3(4)
EC8

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,i} \cdot \min \left(1, \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}} \right)$$

Για φορείς **ΚΠΜ**:

$$M_{i,d} = 1,1 \cdot 173,1 \cdot \min(1, 0,765) = 145,7 \text{ kNm}$$

οπότε

$$V_{Ed} = \frac{\Sigma M_{i,d}}{l_c} = \frac{2 \cdot M_{i,d}}{l_c} = \frac{2 \cdot 145,7}{5,0} = 58,3 \text{ kN}$$

Για φορείς **ΚΠΥ**:

$$M_{i,d} = 1,2 \cdot 173,1 \cdot \min(1, 0,765) = 158,9 \text{ kNm}$$

οπότε

$$V_{Ed} = \frac{\Sigma M_{i,d}}{l_c} = \frac{2 \cdot M_{i,d}}{l_c} = \frac{2 \cdot 158,9}{5,0} = 63,6 \text{ kN}$$

$$\left(\text{ΕΚΩΣ : } V_{CD} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\Sigma M_{Rd}}{l_c} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{2 \cdot M_{Rd}}{l_c} = 1,40 \cdot \frac{2 \cdot 256,4}{5,0} = 143,6 \text{ kN} < q \cdot V_{E,c} \right)$$

Έλεγχος αντοχής σε διαγώνια θλίψη

Η αντοχή σε διαγώνια θλίψη δίνεται από τη σχέση:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_c \cdot 0,9 \cdot d \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

όπου:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{435,0}{0,40 \cdot 0,40} = 2,72 \text{ MPa} < 0,25 \cdot f_{cd} = 3,33 \text{ MPa} \rightarrow$$

$$\rightarrow \alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + 0,204 = 1,204$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250} \right) = 0,552$$

$$\text{για } \theta = 21,8^\circ \Rightarrow V_{Rd,max} = \frac{1,204 \cdot 0,40 \cdot 0,9 \cdot 0,36 \cdot 0,552 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50}{\cot 21,8^\circ + \tan 21,8^\circ} =$$

$$= 394,7 \text{ kN} \begin{cases} > 58,3 \text{ για ΚΠΜ} \\ > 63,6 \text{ για ΚΠΥ} \end{cases}$$

$$\text{για } \theta = 45^\circ \Rightarrow V_{Rd,max} = \frac{1,204 \cdot 0,40 \cdot 0,9 \cdot 0,36 \cdot 0,552 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50}{\cot 45^\circ + \tan 45^\circ} =$$

$$= 572,3 \text{ kN} \begin{cases} > 58,3 \text{ για ΚΠΜ} \\ > 63,6 \text{ για ΚΠΥ} \end{cases}$$

Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης

Θεωρούμε συνδετήρες τετράτμητους $\emptyset 8$, οπότε:

$$V_{Ed} = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \Rightarrow s = \frac{A_{sw} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} =$$

$$= \begin{cases} \frac{0,50 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9 \cdot 0,36 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cdot \cot 21,8^\circ}{58,3} = 294 \text{ mm (για } \theta = 45^\circ \rightarrow s = 118 \text{ mm) για ΚΠΜ} \\ \frac{0,50 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9 \cdot 0,36 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cdot \cot 21,8^\circ}{63,6} = 270 \text{ mm (για } \theta = 45^\circ \rightarrow s = 109 \text{ mm) για ΚΠΥ} \end{cases}$$

(κατά ΕΚΩΣ με $V_{wd} = V_{CD} - 0,30V_{Rd1}$ προκύπτει $s = 64 \text{ mm}$, λόγω της πολύ μεγαλύτερης ικανοτικής τέμνουσας που προέκυψε)

§5.4.3.2.2(4) &
§5.5.3.2.2(4)
EC8

Μήκος Κρισίμων Περιοχών

$$\text{ΚΠΙΜ: } l_{cr} = \max\{h_c, l_{cl}/6, 450\text{mm}\} = \max\{400\text{mm}, 5000\text{mm}/6, 450\text{mm}\} = 833,3\text{mm}$$

$$\text{ΚΠΥ: } l_{cr} = \max\{1,5h_c, l_{cl}/6, 600\text{mm}\} \quad l_{cr} = \max\{600\text{mm}, 5000\text{mm}/6, 600\text{mm}\} = 833,3\text{mm}$$

$$\text{ΕΚΩΣ: } l_{cr} = \max\{h_c, l_{cl}/5, 600\text{mm}\} = \max\{400\text{mm}, 5000\text{mm}/5, 600\text{mm}\} = 1000\text{mm}$$

Έλεγχος μεγίστων & ελαχίστων

§9.5.3(1), (3)
EC2

Εκτός Κρισίμων Περιοχών

Για φορείς ΚΠΙΜ & ΚΠΥ:

$$\min \varnothing = \max\left\{6\text{mm}, \frac{\varnothing_{L,\max}}{4}\right\} = \max\left\{6\text{mm}, \frac{16\text{mm}}{4}\right\} = 6\text{mm} < 8\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \max s &= \min\{20\varnothing_{L,\min}, \min b_c, 400\text{mm}\} = \min\{20 \cdot 16\text{mm}, 400\text{mm}, 400\text{mm}\} = \\ &= 320\text{mm} \begin{cases} > 294\text{mm} \text{ για ΚΠΙΜ} \\ > 270\text{mm} \text{ για ΚΠΥ} \end{cases} \end{aligned}$$

(κατά ΕΚΩΣ προκύπτει $\min \varnothing = 6 \text{ mm}$ και $\max s = 192 \text{ mm}$)

§5.4.3.2.2(10),
(11) &
§5.5.3.2.2(11),
(12) EC8

Εντός Κρισίμων Περιοχών

για φορείς ΚΠΙΜ:

$$\min \varnothing = 6\text{mm} < 8\text{mm}$$

$$\max s = \min \begin{Bmatrix} b_o/2 \\ 175\text{mm} \\ 8\varnothing_{L,\min} \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 320\text{mm}/2 \\ 175\text{mm} \\ 8 \cdot 16\text{mm} \end{Bmatrix} = 120\text{mm} < 294\text{mm}$$

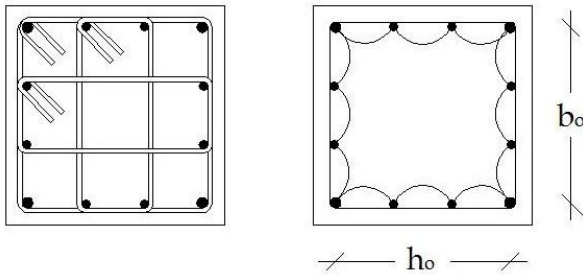
για φορείς ΚΠΥ:

$$\min \varnothing = 0,4 \cdot \varnothing_{L,\max} = 0,4 \cdot 16\text{mm} = 6,4\text{mm} < 8\text{mm}$$

$$\max s = \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/3 \\ 125\text{mm} \\ 6\varnothing_{L,\min} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 320\text{mm}/3 \\ 125\text{mm} \\ 6 \cdot 16\text{mm} \end{array} \right\} = 96\text{mm} > 270\text{mm}$$

(κατά ΕΚΩΣ προκύπτει $\min\varnothing = 8\text{ mm}$ και $\max s = 100\text{ mm}$)

Έλεγχος Περίσφιγξης



για φορείς **ΚΠΜ**:

§5.4.3.2.2(8),
(9) EC8

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_{\phi} \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035 = 30 \cdot 6,8 \cdot 0,204 \cdot \frac{500/1,15}{200.000} \cdot \frac{0,40}{0,32} - 0,035 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,110$$

αποδοτικότητα περίσφιγξης

$$\alpha_n = 1 - \frac{\sum b_i^2/6}{A_c} = 1 - \frac{12 \cdot (320/3)^2}{320 \cdot 320} = 0,778$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{b_o}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{h_o}\right) = \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{120}{320}\right)^2 = 0,660$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,778 \cdot 0,660 = 0,513$$

ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού

$$\left. \begin{array}{l} \rho_x = \frac{4 \cdot 50}{120 \cdot 400} = 0,0042 \\ \rho_y = \frac{3 \cdot 50}{120 \cdot 400} = 0,0032 \end{array} \right\} \Rightarrow \omega_{wd} = (\rho_x + \rho_y) \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = (0,0042 + 0,0032) \cdot \frac{500/1,15}{20/1,50} = 0,238 \geq 0,08$$

Οπότε με αντικατάσταση προκύπτει:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,513 \cdot 0,238 = 0,122 \geq 0,110$$

§5.5.3.2.2(9),
(10) EC8

για φορείς **ΚΠΥ**:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_{\varphi} \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035 = 30 \cdot 10,7 \cdot 0,204 \cdot \frac{500/1,15}{200.000} \cdot \frac{0,40}{0,32} - 0,035 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,174$$

αποδοτικότητα περίσφιγξης

$$\alpha_n = 1 - \frac{\sum b_i^2 / 6}{A_c} = 1 - \frac{12 \cdot (320/3)^2}{320 \cdot 320} = 0,778$$

Επειδή για την απόσταση $s = 96$ mm που προέκυψε από τους προηγούμενους ελέγχους δεν επαρκεί η περίσφιγξη και κατόπιν δοκιμών καταλήγουμε σε $s = 90$ mm, για την οποία πράγματι:

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{h_0}\right) = \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{90}{320}\right)^2 = 0,739$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,778 \cdot 0,739 = 0,575$$

ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού

$$\left. \begin{array}{l} \rho_x = \frac{4 \cdot 50}{90 \cdot 400} = 0,0056 \\ \rho_y = \frac{3 \cdot 50}{90 \cdot 400} = 0,0042 \end{array} \right\} \Rightarrow \omega_{wd} = (\rho_x + \rho_y) \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = (0,0056 + 0,0042) \cdot \frac{500/1,15}{20/1,50} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \omega_{wd} = 0,317 \geq \begin{cases} 0,12 & (\text{στη βάση}) \\ 0,08 & (\text{εκτός βάσης}) \end{cases}$$

Οπότε με αντικατάσταση προκύπτει:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,575 \cdot 0,317 = 0,182 \geq 0,174$$

(κατά ΕΚΩΣ προκύπτουν τα εξής:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,85 \cdot v_d \cdot \left(0,35 \cdot \frac{A_c}{A_o} + 0,15\right) - 0,035 = 0,117$$

και για $s = 64$ mm λαμβάνουμε

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,280 \geq 0,117$$

άρα επαρκεί η περισφιγξη)

Οπότε τοποθετούνται συνδετήρες (λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη τέμνουσα που πρέπει να αναληφθεί εκτός κρισίμων περιοχών ανά περίπτωση):

για φορείς **ΚΠΜ**

Εντός Κρισίμων περιοχών Ø8/120

Εκτός Κρισίμων περιοχών Ø8/320

για φορείς **ΚΠΥ**

Εντός Κρισίμων περιοχών Ø8/90

Εκτός Κρισίμων περιοχών Ø8/320

κατά **ΕΚΩΣ**

Εντός Κρισίμων περιοχών Ø8/65

Εκτός Κρισίμων περιοχών Ø8/192

13.14 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΔΟΚΟΥ - ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Στο παρόν παράδειγμα γίνεται έλεγχος και όπλιση **εσωτερικού** κόμβου δοκού - υποστυλώματος εφαρμόζονται τις διατάξεις του EC8. Αντίστοιχες διατάξεις δεν περιέχονται στους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ. Τα παρακάτω ισχύουν **μόνο** για φορείς που έχουν σχεδιαστεί ως **ΚΠΥ** (Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή). Ο κόμβος αυτός είναι κόμβος του κατώτατου ορόφου τριώροφου κτιρίου, που θεωρείται από άποψη στατικού συστήματος κατά EC8 πολύστυλο πολύροφο πλαίσιο.

Υλικά: C20/25

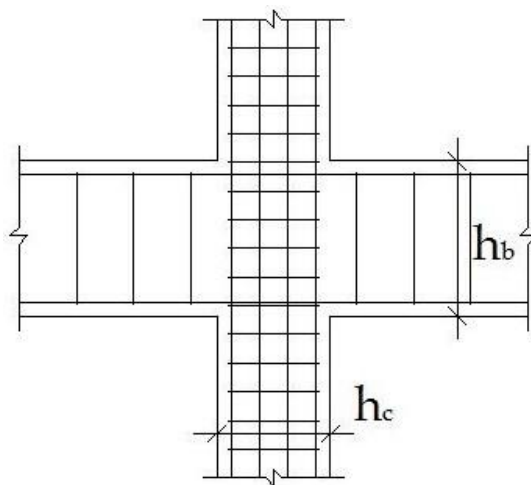
B500C

$N_d = 450,0 \text{ kN}$

$V_c = 300,0 \text{ kN}$

ΚΠΥ κατά EC8

$q = 5,85$



διατομή δοκού:

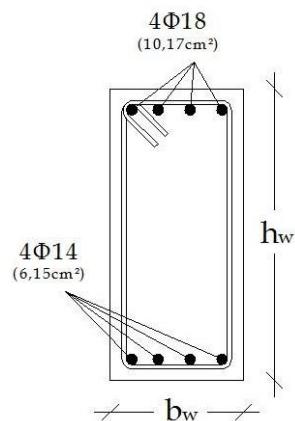
$b_w = 0,25 \text{ m}$

$h_w = 0,55 \text{ m}$

οπλισμός δοκού:

άνω: $A_{s,1} = 10,17 \text{ cm}^2$ (4Ø18)

κάτω: $A_{s,2} = 6,15 \text{ cm}^2$ (4Ø14)



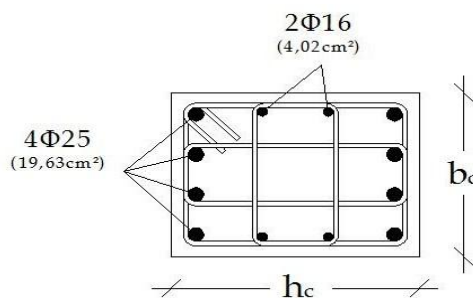
διατομή υποστυλώματος:

$b_w = 0,30 \text{ m}$

$h_w = 0,40 \text{ m}$

οπλισμός υποστυλώματος:

$A_{s,tot} = 39,25 \text{ cm}^2$ (8Ø25)



1. Δρώσα Τέμνουσα Κόμβου

§5.5.2.3.(2)

Για εσωτερικούς κόμβους:

EC8

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} - V_C = 1,20 \cdot (10,17 + 6,15) \cdot 10^{-4} \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} - 300,0 =$$

$$= 851,5 - 300,0 = 551,5 \text{ kN}$$

(στην προηγούμενη σχέση A_{s1} , A_{s2} είναι οι διαμήκεις οπλισμοί της δοκού και V_C η τέμνουσα του υπερκείμενου υποστυλώματος από το σεισμικό συνδυασμό)

2. Έλεγχος Διαγώνιας Θλίψης Κόμβου

Η αντοχή του εσωτερικού κόμβου σε διαγώνια θλίψη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

§5.5.3.3.(2)

EC8

$$V_{Rd} = 1,0 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \cdot b_j \cdot h_{jc}$$

όπου

$$\eta = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,552$$

$$v_d = \frac{N_d}{b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}} = \frac{450,0}{0,30 \cdot 0,40 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50} = 0,281$$

αφού $b_c = 0,30 \text{ m} > 0,25 \text{ m} = b_w \rightarrow$

$$b_j = \min\{b_c, (b_w + 0,5 \cdot h_c)\} = \min\{300, (250 + 0,5 \cdot 400)\} =$$

$$= \min\{300, 450\} = 300 \text{ mm} \Rightarrow b_j = 0,30 \text{ m}$$

$$h_{jc} = h_c - 2d_1 = 0,40 - 2 \cdot 0,04 = 0,32 \text{ m}$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$V_{Rd} = 1,0 \cdot 0,552 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,50} \cdot \sqrt{1 - \frac{0,281}{0,552}} \cdot 0,30 \cdot 0,32 = 495,1 \text{ kN} < 551,5 \text{ kN} = V_{jhd}$$

Άρα η διατομή δεν επαρκεί, οπότε πρέπει να αυξήσουμε τη διατομή του υποστυλώματος.

Επιλέγουμε να αυξήσουμε την πλευρά b_c από 0,30m σε 0,40m.

Με $b_c = 0,40 \text{ m}$ προκύπτουν οι εξής αλλαγές:

$$v_d = \frac{N_d}{b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}} = \frac{450,0}{0,40 \cdot 0,40 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,50} = 0,211$$

$$b_j = \min \{ b_c, (b_w + 0,5 \cdot h_c) \} = \min \{ 400, (250 + 0,5 \cdot 400) \} = \\ = \min \{ 400, 450 \} = 400 \text{ mm} \Rightarrow b_j = 0,40 \text{ m}$$

Οπότε με αντικατάσταση προκύπτει η αυξημένη αντοχή:

$$V_{Rd} = 1,0 \cdot 0,552 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,50} \cdot \sqrt{1 - \frac{0,211}{0,552}} \cdot 0,40 \cdot 0,32 = 740,4 \text{ kN} > 551,5 \text{ kN} = V_{jhd}$$

Άρα τώρα η διατομή επαρκεί.

3. Απαιτούμενος Οπλισμός Περίσφιγξης Κόμβου

Η απαιτούμενη περίσφιγξη του κόμβου επιτυγχάνεται μέσω κλειστών οριζόντιων συνδετήρων που μπορούν να υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση:

§5.5.3.3.(3)
EC8

$$\frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} \geq \frac{\left(\frac{V_{jhd}}{b_j \cdot h_{jc}} \right)^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd}$$

όπου:

$$f_{ctd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1,00 \cdot \frac{1,50}{1,50} = 1,00 \text{ MPa}$$

$$h_{jw} = h_w - 2d_1 = 0,55 - 2 \cdot 0,05 = 0,45 \text{ m}$$

$$v_d \cdot f_{cd} = \sigma_N = \frac{N_d}{b_c \cdot h_c} = 2,81$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$\frac{A_{sh} \cdot \frac{500}{1,15}}{0,40 \cdot 0,45} \geq \frac{\left(\frac{551,5 \cdot 10^{-3}}{0,40 \cdot 0,32} \right)^2}{1,00 + 2,81} - 1,00 \Rightarrow A_{sh} \geq 16,03 \text{ cm}^2$$

Εναλλακτικά η απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού περίσφιγξης σε εσωτερικό κόμβο μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

§5.5.3.3.(4)
EC8

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 \cdot v_d) \Rightarrow \\ \Rightarrow A_{sh} \geq 1,20 \cdot (10,17 + 6,15) \cdot (1 - 0,8 \cdot 0,211) \Rightarrow A_{sh} \geq 16,28 \text{ cm}^2$$

Οπότε το συνολικό εμβαδόν συνδετήρων που πρέπει να τοποθετηθεί στον κόμβο (επιλέγουμε το δυσμενέστερο από τα δύο παραπάνω) είναι:

$$A_{sh} \geq 16,28 \text{ cm}^2$$

Η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος είναι 6mm.

Επιλέγουμε, ωστόσο, τετράτητους συνδετήρες διαμέτρου 10mm.

Οι οριζόντιοι συνδετήρες κατανέμονται στο κατακόρυφο ύψος του κόμβου, δηλαδή το ύψος της δοκού $h_w = 0,55m$, αλλά θα πρέπει όμως οι καμπτόμενοι διαμήκεις οπλισμοί της δοκού να περικλείονται από τους συνδετήρες του κόμβου.

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός συνδετήρων είναι:

$$n = \frac{\sum A_{sh}}{4 \cdot A_{sw}} = \frac{16,28}{4 \cdot 0,79} = 5,2 \rightarrow n = 6$$

που θα τοποθετούνται σε απόσταση μεταξύ τους:

$$s = \frac{550mm}{6} = 91,6mm \approx 90mm$$

Επιπλέον ο EC8 επιβάλλει οι συνδετήρες που απαιτούνται για την περιόφηση του κόμβου να μην είναι λιγότεροι από αυτούς του υποστυλώματος.

Για υποστυλώματα ΚΠΥ ισχύουν τα εξής:

$$\min \varnothing = 0,4 \cdot \varnothing_{L,\min} = 0,4 \cdot 25 = 10mm$$

$$s_{\max} = \min \left\{ \frac{b_0}{3}, 125,6 \cdot \varnothing_{L,\min} \right\} = \min \left\{ \frac{0,32}{3}, 125,6 \cdot 25 \right\} = \\ = \min \{106, 125, 150\} = 106mm$$

Άρα ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις.

Οπότε τοποθετούνται στον κόμβο:

$$6\varnothing10/9$$

4. Απαιτούμενος Κατακόρυφος Οπλισμός

Ο απαιτούμενος κατακόρυφος οπλισμός των υποστυλωμάτων που πρέπει να διέρχεται από τον κόμβο ανά παρειά είναι:

§5.5.3.3.(6)
EC8

$$A_{sv,i} \geq \frac{2}{3} \cdot A_{sh} \cdot \left(\frac{h_{jc}}{h_{jw}} \right) = \frac{2}{3} \cdot 19,63 \cdot \left(\frac{0,32}{0,45} \right) = 9,31cm^2$$

Άρα πρέπει να συνεχίζονται και στον κόμβο τουλάχιστον:

$$2\varnothing25(9,81cm^2) \text{ ανά παρειά}$$

5. Έλεγχος Διαμέτρου Διαμήκων Ράβδων Δοκού

Σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην §12.2.2.3(6) της παρούσας η διάμετρος των διαμήκων ράβδων της δοκού που διέρχονται από εσωτερικό κόμβο δεν πρέπει να υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

§5.6.6.2(2)
EC8

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot \rho' / \rho_{max}}$$

όπου

$$f_{ctm} = 2,2 \text{MPa}$$

$$v_d = \frac{N_d}{b_c \cdot h_c \cdot f_{cd}} = 0,211$$

$$\gamma_{Rd} = 1,2 \text{ για ΚΠΥ}$$

$$k_D = 1 \text{ για ΚΠΥ}$$

$$\rho' = \frac{A_{s2}}{A_c} = \frac{6,15}{25 \cdot 55} = 0,00447 = 4,47\%$$

§5.5.3.1.3.(4)
EC8

ενώ σύμφωνα με την §12.2.2.1 της παρούσας:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018 \cdot f_{cd}}{\mu_\varphi \cdot \varepsilon_{syd} \cdot f_{yd}} = 4,47 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0018 \cdot 20/1,50}{10,7 \cdot 0,00217 \cdot 500/1,15} = (4,47 + 2,37) \cdot 10^{-3} = 6,84\%$$

αφού για πλαίσια ΚΠΥ

$$\mu_\varphi = 2q_0 - 1 = 2 \cdot 5,85 - 1 = 10,7$$

Έτσι προκύπτει:

$$\rho' / \rho_{max} = 4,47 / 6,84 = 0,564$$

Και με αντικατάσταση στην αρχική σχέση:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot 2,2}{1,2 \cdot 500/1,15} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot 0,211}{1 + 0,75 \cdot 1,0 \cdot 0,564} = 0,025 \Rightarrow d_{bL} \leq 0,025 \cdot 400 = 10 \text{mm!!!}$$

Παρατηρούμε πως η μέγιστη χρησιμοποιούμενη διάμετρος ράβδων για το διαμήκη οπλισμό της δοκού υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Παρατηρώντας τις παραπάνω σχέσεις, συμπεραίνουμε πως δεν είναι δυνατή η αύξηση της επιτρεπόμενης διαμέτρου μόνο με μείωση του θλιβόμενου οπλισμού (ρ') αφού θα μειωνόταν τότε και η ρ_{max} . Απαιτείται ανασχεδιασμός του κόμβου και πιθανόν όλου του φορέα με υψηλότερη ποιότητα σκυροδέματος και μεγαλύτερες διαστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14ο: ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ EC2/EC8 & ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

Αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η συγκεντρωτική καταγραφή των κυριότερων διαφορών των EC2/EC8 από τους εγχώριους κανονισμούς ΕΚΩΣ/ΕΑΚ. Παρακάτω θα καταγράψουμε συνοπτικά τις βασικές αλλαγές, τα νέα στοιχεία και στοιχεία που καταργούν οι EC2/EC8, ενώ επίσης θα αναφέρουμε και βασικές ελλείψεις των εν λόγω κανονισμών, έτσι όπως προέκυψαν από τη συγκριτική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Για την πλήρη ανάλυση και περαιτέρω σχολιασμό των όσων αναφέρονται στα επόμενα μπορεί κανείς να ανατρέξει στα αντίστοιχα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς επίσης και σε αυτά των EC2/EC8 και ΕΚΩΣ/ΕΑΚ. Γι' αυτό και αναφέρουμε παρακάτω, δίπλα από κάθε διαφορά, τις αντίστοιχες παραγράφους τόσο της παρούσας εργασίας όσο και των κανονισμών.

Πίνακας 14.1: Κύριες αλλαγές EC2/EC8 – ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

Α/Α	ΚΥΡΙΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ EC2 - ΕΚΩΣ	EC2	ΕΚΩΣ	ΔΙΠΛΩΜ. ΕΡΓΑΣΙΑ
1.	Σκυροδέματα υψηλότερης αντοχής (μέχρι C90/105), αλλά ιδιαιτέρως ψαθυρά.	§3.1.2(2)	§2.3.2	§2.1.1
2.	Αύξηση της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού του σκυροδέματος, λόγω αύξησης του συντελεστή α_{cc} από 0,85 σε 1,00.	§3.1.6	§10.4.3.1	§2.1.1.1
3.	Διαφορετικές παραδοχές για το διάγραμμα σχεδιασμού του χάλυβα $\sigma - \epsilon$: είτε με κράτυνση και αύξηση της συμβατικής παραμόρφωσης αστοχίας ($\epsilon_{sud}=67,5\%$) είτε χωρίς κράτυνση και χωρίς όριο στην παραμόρφωση αστοχίας.	§3.2.7(2)	§10.4.4	§2.2.2
4.	18 κατηγορίες για τις περιβαλλοντικές συνθήκες (έναντι 4 στον ΕΚΩΣ).	§4.2	§5.1	§3.1
5.	Μείωση της ελάχιστης επιτρεπόμενης επικάλυψης c_{min} .	§4.4.1.2	§5.1	§3.2
6.	Αύξηση της επιτρεπόμενης γωνίας στροφής για πλαστικές αναλύσεις.	§5.6.3	§8.3	§4.1.1
7.	Αλλαγές στην εκτίμηση του συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκών και του θεωρητικού ανοίγματος.	§5.3.2	§7.2.2 & 8.4	§4.2 & 4.3

8.	<p>Στην ΟΚΑ από κάμψη (με ή χωρίς αξονική δύναμη) οι αλλαγές στις παραδοχές των υλικών (α_{cc}, ϵ_{sud}, κράτυση) επιφέρουν:</p> <p>i. Αύξηση της δύναμης που μπορούν να αναλάβουν (θεωρητικά) ο χάλυβας και το σκυρόδεμα.</p> <p>ii. Μικρή μείωση του απαιτούμενου οπλισμού και μικρή αύξηση της ροπής αντοχής.</p> <p>iii. Αλλαγές στις εξισώσεις της κάμψης στοιχείων από Ω.Σ.</p> <p>iv. Αύξηση της μ_{lim} πέραν της οποίας απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός.</p> <p>v. Αύξηση (θεωρητικά) της παραμόρφωσης του χάλυβα για μικρές ροπές και αστοχία του σκυροδέματος για το μεγαλύτερο φάσμα ροπών (σε σύγκριση με τις θεωρήσεις του ΕΚΩΣ).</p> <p>vi. Αλλαγές στα διαγράμματα αλληλεπιδράσεως.</p>	§6.1	κεφ. 10	κεφ.5 §5.1.2 §5.2.1 §5.2.1 §5.2.1.1 §5.2.1 §5.3
9.	<p>Στην ΟΚΑ από διάτμηση, εκτός από αλλαγές στους συμβολισμούς των τεμνουσών αντοχής:</p> <p>i. Αλλάζει η σχέση υπολογισμού της $V_{Rd,c}$ (V_{Rd1}) οδηγώντας εν γένει σε μεγαλύτερη συνεισφορά του εφελκόμενου οπλισμού (ρ) και των φαινομένων κλίμακας (k).</p> <p>ii. Καταργείται η συνεισφορά του σκυροδέματος στον υπολογισμό της αντοχής σε διάτμηση ($V_{cd}=0$).</p> <p>iii. Αύξηση της επιρροής της θλιπτικής αξονικής δύναμης (α_{cw}) στον υπολογισμό της $V_{Rd,max}$ (V_{Rd2}).</p> <p>iv. Επιτρέπεται για το σχεδιασμό η γωνία των λοξών θλιπτήρων να λαμβάνει τιμές $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ (και στον ΕΚΩΣ υπάρχει αυτή η εναλλακτική, αλλά σχεδιάζουμε κατά κανόνα με $\theta=45^\circ$).</p>	§6.2.2 §6.2.3(3) §6.2.3(3) §6.2.3(2)	§11.1.2.1 §11.2.2 §11.2.3.1 §11.2.3.1	§6.1.3 §6.1.2 §6.1.5 §6.1.2

10.	Στην ΟΚΑ από στρέψη, εκτός από τις αλλαγές στους συμβολισμούς των στρεπτικών αντοχών, γίνεται συντηρητικότερο το κριτήριο για τον έλεγχο στοιχείων που υπόκεινται ταυτόχρονα σε διάτμηση και στρέψη.	§6.3.2(4)	§12.2.1	§6.2.3
11.	Στην ΟΚΑ από διάτρηση εκτός από τις αλλαγές στους συμβολισμούς των αντοχών:			§6.3
	i. Η βασική περίμετρος ελέγχου βρίσκεται σε απόσταση $2d$ από τη φορτιζόμενη περιοχή και όχι $1,5d$ που ήταν στον ΕΚΩΣ.	§6.4.1(3)	§13.2	
	ii. Δίνονται διαφορετικές σχέσεις για τον υπολογισμό της $V_{Rd,c}$ (V_{Rd1}) για πλάκες και για θεμέλια.	§6.4.4	§13.4.1	
	iii. Μείωση της συνεισφοράς του σκυροδέματος στην αντοχή σε διάτρηση.	§6.4.5(1)	§13.4.2.2	
	iv. Αρκετά διαφορετική είναι η σχέση υπολογισμού της $V_{Rd,max}$ (V_{Rd2}).	§6.4.5(3)	§13.4.2.1	
	v. Διαφορετικές οδηγίες για την διάταξη του οπλισμού διάτρησης.	§6.4.5(4), (5) & 9.4.3	§18.1.5.3	
12.	Στον έλεγχο έναντι λυγισμού μειώνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη λυγηρότητα λ_{lim} , διαφορές στην εκτίμηση των γεωμετρικών ατελειών όπως επίσης και στην εφαρμογή της μεθόδου ονομαστικών καμπυλοτήτων για τον προσδιορισμό της ροπής σχεδιασμού.	§5.8.3.1	§14.4.6	§7.1 & 7.2
13.	Στον έλεγχο έναντι ΟΚΑ:			
	i. Εν γένει αύξηση των επιτρεπόμενων εφρών ρωγμής, αλλά μείωση των επιτρεπόμενων τάσεων του χάλυβα.	§7.3.1	§15.3.1.1 & Παρ. Γ	§9.2
	ii. Διαφορές στον υπολογισμό του ελάχιστου οπλισμού ρηγματώσεως και διαφορετική σχέση υπολογισμού για τον αναλυτικό υπολογισμό εφρους ρωγμών.	§7.3.2 & 7.3.4	§15.5 & Παρ. Γ	§9.2
	iii. Αύξηση ελάχιστου στατικού ύψους στοιχείων για περιορισμό των παραμορφώσεων.	§7.4.2	§16.2	§9.3

14.	Αλλαγές στον τρόπο υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης. Δυνατότητα μείωσης έως και 30% σε σχέση με τον ΕΚΩΣ του μήκους αγκύρωσης εφελκόμενης ράβδου, αίροντας σε ένα βαθμό το πρόβλημα ανεπαρκούς διαθέσιμου μήκους αγκύρωσης σε ακραίους κόμβους.	§8.4.4	§17.6.3	§11.4.4
Α/Α	ΚΥΡΙΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ EC8 - ΕΑΚ	EC8	ΕΑΚ	ΔΙΠΛΩΜ. ΕΡΓΑΣΙΑ
1.	Πιο ορθολογική επιλογή της κατηγορίας εδαφών μέσω των τιμών κατάλληλων γεωτεχνικών παραμέτρων.	§3.1.2	§2.3.6	§10.1.1
2.	Διακρίνονται δύο είδη φασμάτων τα οποία διαθέτουν και κλάδο σταθερής μετακίνησης (δεν είχε το φάσμα του ΕΑΚ). Επίσης στους υπολογισμούς των φασματικών επιταχύνσεων υπεισέρχεται και ένας νέος όρος ο συντελεστής εδάφους S.	§3.2.2.2(2)	§2.3	§10.1.2
3.	Η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης εφαρμόζεται με ορισμένες διαφορές που οδηγούν σε αρκετά μικρότερες τέμνουσες βάσης.	§4.3.3.2	§3.5	§10.2.2.3
4.	Οι συντελεστές συμπεριφοράς προσδιορίζονται διαφορετικά. Εν γένει οι συντελεστές συμπεριφοράς είναι αρκετά υψηλότεροι, ιδίως για κτίρια ΚΠΥ, με αποτέλεσμα να προκύπτουν σημαντικά μικρότερες σεισμικές δράσεις. Βέβαια προκύπτουν έτσι μεγαλύτερες απαιτήσεις τοπικής πλαστιμότητας.	§5.2.2.2	§2.3.5	§10.3.3
5.	Υπάρχουν αλλαγές στον υπολογισμό των ικανοτικών μεγεθών δοκών και υποστυλωμάτων, που εν γένει οδηγούν σε μικρότερα ικανοτικά μεγέθη σχεδιασμού.	§4.4.2.3(4), §5.4.2.2 & §5.4.2.3	§4.1.4.1 & Παρ. Β	§10.3.4.1
Α/Α	ΚΥΡΙΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ EC2/EC8 - ΕΚΩΣ/ΕΑΚ	EC2/EC8	ΕΚΩΣ/ ΕΑΚ	ΔΙΠΛΩΜ. ΕΡΓΑΣΙΑ
1.	Αρκετές διαφορές κατά τη διαστασιολόγηση στοιχείων Ω.Σ. έναντι σεισμού.	κεφ. 5 EC8 (& κεφ.6 EC2)	Διάφορα μέρη ΕΑΚ & ΕΚΩΣ	§10.3.5
2.	Αρκετές διαφορές υπάρχουν στις διατάξεις για την κατασκευαστική διαμόρφωση πλακών, δοκών, υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων και υψίκορμων στοιχείων. Σημειώνουμε μερικές από αυτές που μελετώνται αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας:	κεφ. 9 του EC2 και κεφ. 5 του EC8	κεφ.18 ΕΚΩΣ	κεφ.12

	<p>i. Συσχέτιση του ελάχιστου οπλισμού πλακών με την αντοχή του σκυροδέματος και εν γένει μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου οπλισμού.</p>	<p>§9.3.1.1 EC2</p>	<p>§18.1.4.1</p>	<p>§12.3.1</p>
	<p>ii. Μείωση του ελάχιστου διαμήκους οπλισμού μη σεισμικών δοκών και του μέγιστου επιτρεπόμενου εφελκυσμένου οπλισμού στις κρίσιμες περιοχές σεισμικών δοκών (με συσχέτιση αυτού με την επιθυμητή πλαστιμότητα)</p>	<p>§9.2.1.1 EC2 & 5.4.3.1.2(4) EC8</p>	<p>§18.3.2</p>	<p>§12.2.2</p>
	<p>iii. Μείωση του ελάχιστου διαμήκους οπλισμού μη σεισμικών υποστυλωμάτων. Ο εγκάρσιος οπλισμός σεισμικών υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων προκύπτει κατά περίπτωση και ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας μικρότερος ή μεγαλύτερος σε σχέση με τον ΕΚΩΣ.</p>	<p>§9.5.2 EC2 & 5.4.3.2.2, 5.5.3.2.2 EC8</p>	<p>§18.4.3 &18.4.4</p>	<p>§12.5.2 & 12.5.3, 12.6.1.3</p>

Πίνακας 14.2: Κύρια νέα στοιχεία EC2/EC8

Α/Α	ΚΥΡΙΑ ΝΕΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ EC2	EC2	ΕΚΩΣ	ΔΙΠΛΩΜ. ΕΡΓΑΣΙΑ
1.	<p>Αναλυτικές σχέσεις για το περισφιγμένο σκυρόδεμα, για τον ερπυσμό & τη συστολή ξήρανσης και για την εν χρόνω μεταβολή των βασικών μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος.</p>	<p>§3.1.2(6), (9) & 3.1.3 (3)</p>	<p>---</p>	<p>§2.1.1.2, 2.1.2.3 & 2.1.3</p>
2.	<p>Εξάρτηση από τις συνθήκες περιβάλλοντος της ελάχιστης επιτρεπόμενης αντοχής του σκυροδέματος και της κατηγορίας της κατασκευής. Η κατάταξη των κατασκευών σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού τους είναι επίσης κάτι νέο και σχετίζεται με την επιλογή της επικάλυψης.</p>	<p>§4.1.1.2(5) & Παρ. Ε</p>	<p>---</p>	<p>§3.1 & 3.2</p>
3.	<p>Επιτρέπεται η χρήση πλαστικών αναλύσεων για έλεγχο σε ΟΚΑ και όχι μόνο για έλεγχο υφιστάμενων κατασκευών.</p>	<p>§5.6</p>	<p>---</p>	<p>§4.1.1</p>
4.	<p>Λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της κλίσης των πελμάτων στον υπολογισμό της δρώσας τέμνουσας και της τέμνουσας αντοχής.</p>	<p>§6.2.1(1), (2)</p>	<p>---</p>	<p>§6.1.2</p>

5.	Παρέχεται κριτήριο ελέγχου για μη απαίτηση οπλισμού έναντι ταυτόχρονης στρέψης και διάτμησης.	§6.3.2(5)	---	§6.2.3
6.	Παρέχονται για τον έλεγχο έναντι διάτμησης αναλυτικές σχέσεις υπολογισμού για το συντελεστή προσαύξησης της δρώσας τέμνουσας στην περίπτωση έκκεντρης φόρτισης.	§6.4.3(3), (4), (5)	---	§6.3
7.	Στον έλεγχο έναντι ΟΚΛ προτείνεται και η μέθοδος ανάλυσης βάσει ονομαστικών δυσκαμψιών.	§5.8.7	---	§7.1
8.	Διατάξεις για το σχεδιασμό με μοντέλα θλιπτήρα - ελκυστήρα. Για τις γωνίες πλαισίων δίνονται ειδικές οδηγίες για το σχεδιασμό με Μ.Θ.Ε. και την όπλισή τους.	§6.5 & Παρ. J.2	---	κεφ.8
9	Σχέσεις για την ΟΚΑ έναντι κόπωσης.	§6.8	---	-
10.	Νέα κεφάλαια για προκατασκευασμένα στοιχεία, ελαφροσκυροδέματα και στοιχεία από άοπλο ή ελαφρώς ωπλισμένο σκυρόδεμα.	κεφ. 10, 11 & 12	---	-
A/A	ΚΥΡΙΑ ΝΕΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ EC8	EC8	ΕΑΚ	ΔΙΠΛΩΜ. ΕΡΓΑΣΙΑ
1.	Διακρίνονται δύο ειδών σεισμικά μέλη, τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα. Τα δευτερεύοντα δε συνεισφέρουν στην ανάληψη των σεισμικών δράσεων.	§4.2.2 & 5.7	---	§10.2.1.2
2.	Δίνονται αναλυτικά κριτήρια για κανονικότητα σε κάτοψη και σε όψη, τα οποία είναι απλά και μπορούν να ελέγχονται πριν την ανάλυση.	§4.2.3	---	§10.2.1.3
3.	Διακρίνονται τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας: υψηλή, μέση και χαμηλή. Οι φορείς των κτιρίων που βρίσκονται σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας πρέπει να μελετώνται είτε ως ΚΠΙΜ είτε ως ΚΠΥ.	§5.2.1(2), (3), (4)	---	§10.3.1
4.	Διακρίνονται περισσότεροι τύποι στατικών συστημάτων προσφέροντας ευχέρεια στο σχεδιασμό. Σε αυτό το πλαίσιο τα τοιχώματα μπορούν να μελετώνται είτε ως πλάστιμα είτε ως μεγάλα ελαφρά ωπλισμένα τοιχώματα.	§5.2.2.1	---	§10.3.2
5.	Παρέχονται σχέσεις για τον έλεγχο και την όπλιση κόμβων δοκού - υποστυλώματος σε φορείς ΚΠΥ.	§5.5.2.3 & 5.5.3.3	---	§10.3.5
6.	Παρέχονται διατάξεις για τη διαστασιολόγηση μεγάλων ελαφρά ωπλισμένων τοιχωμάτων.	§5.4.3.5	---	§10.3.5

7.	Δίνονται αναλυτικές διατάξεις για την επιρροή των τοιχοπληρώσεων σε αντισεισμικά κτίρια.	§4.3.6.3.1 & 5.9	---	§10.3.6
8.	Δίνονται αναλυτικές σχέσεις για τον περιορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου των διαμήκων ράβδων της δοκού που διέρχονται από κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων.	§5.6.2.2(2)	---	§12.2.2.3
9.	Νέα πρόσθετα κατασκευαστικά μέτρα για την αύξηση του διαθέσιμου μήκους αγκύρωσης δοκών με μικρό ύψος σε ακραίους κόμβους.	§5.6.2.2(3)	---	§12.2.2.3

Πίνακας 14.3: Κύριες ελλείψεις του EC2/EC8

A/A	ΚΥΡΙΕΣ ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ EC2
1.	Δεν περιέχει σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού λόγω στρέψης. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας υιοθετήθηκε αυτή του ΕΚΩΣ.
2.	Δεν αναφέρεται σε έλεγχο της θλιπτική τάσης του σκυροδέματος στην περίπτωση που ο φορέας καταπονείται ταυτόχρονα σε στρέψη και υψηλή καμπτική ροπή.
3.	Αν και αναφέρεται εκτενώς στο Παράρτημα J στο σχεδιασμό κοντών προβόλων με Μ.Θ.Ε. και στην όπλιση αυτών, δεν καθορίζει το πάχος του θλιπτήρα για την ανάλυση σε ΟΚΑ.
4.	Δεν περιέχει οδηγίες για οπλισμό γωνιών πλακών.
5.	Δεν αναφέρεται αναλυτικά στον τρόπο όπλισης πλακών με νευρώσεις.
6.	Δεν περιέχει διατάξεις για το απαιτούμενο μήκος των αναμονών των υποστυλωμάτων.
A/A	ΚΥΡΙΕΣ ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ EC8
1.	Δεν καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρο των διαμήκων ράβδων σεισμικού υποστυλώματος, πράγμα που σημαίνει ότι δεχόμαστε την τιμή του EC2, που είναι 8mm και είναι εξαιρετικά μικρή.
2.	Δεν καθορίζει στις διατάξεις περί ικανοτικού σχεδιασμού τη ροπή με την οποία θα γίνεται ο σχεδιασμός του υποστυλώματος, παρά μόνο θέτει πως η συνολική αντοχή των υποστυλωμάτων του κόμβου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτήν των δοκών πολλαπλασιασμένη με γ_{Rd} .
3.	Αν και δίνει οδηγίες για τον ικανοτικό σχεδιασμό κοντών υποστυλωμάτων (αναφέρεται σε υποστυλώματα τα οποία δεν καλύπτονται σε όλο το ύψος τους από τοιχοπληρώσεις), δεν δίνει αναλυτικές οδηγίες για το σχεδιασμό αυτών τις οποίες ο ΕΚΩΣ περιλαμβάνει.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Eurocode 2 (prEN 1992-1-1): “Design of concrete structures, Part 1, General rules and rules for buildings”, edition December 2004.
- Eurocode 8 (prEN 1998-1): “Design of structures for earthquake resistance, Part 1, General rules, seismic actions and rules for buildings”, edition December 2003.
- Eurocode (EN 1990): “Basis of structural design”, edition April 2002.
- Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000), Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα, 2000.
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ. 2000), Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα, 2000.
- Θ.Π. Τάσιος, Π.Ι. Γιαννόπουλος, Κ.Γ. Τρέζος, Σ.Γ. Τσουκαντάς, “Ωπλισμένο Σκυρόδεμα”, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005.
- A.W. Beeby & R.S. Narayanan, “Designers’ Guide to Eurocode 2: Design of concrete structures”, Thomas Telford, London, 2005.
- Κ.Γ. Τρέζος, “Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από σκυρόδεμα”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε., τμήμα Τ.Ε.Ε. Κέρκυρας, Ιούνιος 2009.
- Μ.Π. Χρονόπουλος, “Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε., τμήμα Τ.Ε.Ε. Κέρκυρας, Ιούνιος 2009.
- Γ. Πενέλης, Α. Κάππος, Χ. Ιγνατάκης, Α. Σέξτος, “Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια”, Σεμινάριο Ευρωκωδικών Τ.Ε.Ε., Αθήνα, Νοέμβριος 2009.
- Ε. Κανιτάκη, “Λεπτομέρειες οπλίσεως και κατασκευαστικές λεπτομέρειες δομικών στοιχείων σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε., τμήμα Τ.Ε.Ε. Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη/Καστοριά, Μάρτιος 2010.
- Μ. Καττής, “Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα με βάση τον Ευρωκώδικα 2: Οριακή κατάσταση αστοχίας έναντι διάτμησης - στρέψης - διάτρησης”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε., τμήμα Τ.Ε.Ε. Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη/Καστοριά, Μάρτιος 2010.