

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

**«Σχεδιασμός Γραμμικών Φορέων Ο/Σ Έναντι Τέμνουσας και Στρέψης Σύμφωνα
με EC2/EC8 και ΕΚΩΣ 2000/ΕΑΚ:
Θεωρητική Βάση και Σύγκριση Κανονισμών»**

της

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ ΜΑΥΡΑΚΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2015

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Φίλιππος Περδικάρης, Καθηγητής Π.Θ. (Επιβλέπων)
Μαρίνα Μωρέττη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ
Χρήστος Παπακωνσταντίνου, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 14055/1
Ημερ. Εισ.: 07-09-2017
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2015
MAY

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : EC , ΕΚΩΣ, ΕΑΚ - Διαφορές και γενικά σχόλια	6
1.1 Αναφορά σε EC/ΕΚΩΣ/ΕΑΚ - Γενικά σχόλια και διαφορές	6
1.2 Οι Ευρωκώδικες : Περιγραφή και ιστορικό	10
1.3 Οι Ελληνικοί Κανονισμοί: Περιγραφή και Ιστορικό	11
1.4 Θεωρητικό υπόβαθρο διάτμησης-μηχανισμοί παραλαβής δυνάμεων (δικτύωμα MOERSCH)	12
1.5 Θεωρητικό υπόβαθρο στρέψης	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΕΚΩΣ 2000	20
2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ	20
2.1.1 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα χωρίς Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης	20
2.1.2 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης	21
2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΕΚ2/ ΕΚ8	28
3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ	28
3.1.1 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα χωρίς Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης	28
3.1.2 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης	29
3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ	34
4.1 Απαιτήσεις πλαστιμότητας στις κατασκευαστικές απαιτήσεις και λεπτομέρειες. Ομοιότητες και Διαφορές των κανονισμών ΕΚΩΣ/EC2-EC8 , [ΕΚΩΣ: Κεφ. 18 - EC2: Κεφ. 9 - EC8: Κεφ.5]	34
4.2 Διαστασιολόγηση δοκών και υποστρωμάτων έναντι σεισμού σε τέμνουσα -	41
Σύγκριση EC8 / ΕΚΩΣ - ΕΑΚ	41
4.3 Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή διατμητικού οπλισμού έναντι τέμνουσας με βάση τις εξισώσεις EC2	45
4.4 Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή διατμητικού οπλισμού έναντι τέμνουσας με βάση τις εξισώσεις ΕΚΩΣ	52
4.5 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης	57
4.5 Αντοχή σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης	66
4.6 Σύγκριση των εξισώσεων της αντοχής σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης	68
4.7 Σύγκριση των εξισώσεων αντοχής του λοξού θλιπτήρα	72
4.8 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1	74
4.9 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2	76
4.10 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3: " ΣΤΡΕΨΗ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ"	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Κύριες τάσεις απειροστού στοιχείου (Thomas Ahnberg, 2011).	15
Σχήμα 2: Ισοροπούσες δυνάμεις ασκούμενες σε πρίσμα σκυροδέματος σε ρηγματωμένη περιοχή (Thomas Ahnberg, 2011).	16
Σχήμα 3: Μεγέθυνση μιας ρωγμής σκυροδέματος (Thomas Ahnberg, 2011).	17
Σχήμα 4: α) Μάκρο- εμπλοκή : εμπλοκή λόγω σχήματος της ρωγμής.	17
Σχήμα 5 : Αλγόριθμος ελέγχου έναντι τέμνουσας και υπολογισμός του απαραίτητου οπλισμού διάτμησης στον ΕΚΩΣ2000.	24
Σχήμα 6: Μοντέλο δικτύωματος και απεικόνιση στοιχείων με οπλισμό διάτμησης {EC2 1-1}	29
Σχήμα 7: Αλγόριθμος ελέγχου έναντι τέμνουσας και υπολογισμός του απαραίτητου οπλισμού διάτμησης στον EC2.	31
Σχήμα 8: Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή του διατμητικού οπλισμού.	46
Σχήμα 9: Εύρος τιμών δρώσας διατμητικής τάσης που αντιστοιχεί στην αντοχή θλιπτήρα για αντοχή σκυροδέματος C20 και C40.	47
Σχήμα 10: Επιλογή αντοχής σκυροδέματος.	48
Σχήμα 11: Επιλογή ελάχιστου διατμητικού οπλισμού.	49
Σχήμα 12: Απεικόνιση τιμών ελάχιστου διατμητικού οπλισμού.	51
Σχήμα 13: Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή διατμητικού οπλισμού.	53
Σχήμα 14: Απεικόνιση τιμών ελάχιστου διατμητικού οπλισμού.	55
Σχήμα 15: Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή οπλισμού διάτμησης ($2.5 < \cot\theta < 0.4$).	56
Σχήμα 16: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck}=20$ MPa , $b=25, 30, 35, 40$ cm.	56
Σχήμα 17: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck}=40$ MPa , $b=25, 30, 35, 40$ cm.	57
Σχήμα 18: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck}=20$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yw} = 500$ MPa) – ΕΚΩΣ.	58
Σχήμα 19: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck}=40$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yw} = 500$ MPa) – ΕΚΩΣ.	58
Σχήμα 20: Χαμηλότερη και υψηλότερη τιμή V_{Rd2}/d για την αντοχή θλιπτήρα και αντίστοιχος απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης.	60
Σχήμα 21: Παράδειγμα διαστασιολόγησης για δύο τιμές της τέμνουσας δράσης.	61
Σχήμα 22: Τιμές διατμητικού οπλισμού που αντιστοιχούν στην δρώσα τέμνουσα 576 N/mm για διάφορες τιμές $\cot\theta$.	63
Σχήμα 23: Διάγραμμα σχεδιασμού $f_{ck}=20$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yw} = 500$ MPa) - EC2.	64
Σχήμα 24: Διάγραμμα σχεδιασμού $f_{ck}=40$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yw} = 500$ MPa) - EC2.	64
Σχήμα 25: Καμπύλη V_{Rd1} ($f_{ck}=20$ MPa) για ΕΚΩΣ.	66
Σχήμα 26: Καμπύλη V_{Rd1} ($f_{ck}=40$ MPa) για ΕΚΩΣ.	67
Σχήμα 27: Καμπύλη V_{Rdc} ($f_{ck}=20$ MPa) για EC2.	67
Σχήμα 28: Καμπύλη V_{Rdc} ($f_{ck}=40$ MPa) για EC2 .	68
Σχήμα 29: Συντελεστής κλίμακας, k.	69
Σχήμα 30: Σύγκριση $V_{Rdc}/b_w d$ και $V_{Rd1}/b_w d$ για C20 και $d=0.5$ m.	70
Σχήμα 31: Λόγος V_{Rdc}/V_{Rd1} ($d=40$ cm).	72
Σχήμα 32: Λόγος V_{Rdc}/V_{Rd1} ($d=70$ cm).	72
Σχήμα 33: Σύγκριση συντελεστή, v. ΒΑΛΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΙΜΗ f_{ck}	73
Σχήμα 34: Λόγος $V_{Rd,max}/V_{Rd2}$.	74
Σχήμα 35: Αμφιέριστη δοκός με συγκεντρωμένα φορτία.	78
Σχήμα 36: Αμφιέριστη δοκός με καταναμημένο φορτίο 45 kN/m .	80
Σχήμα 37: Συνολικός οπλισμός λόγω συνδυασμού κάμψης, διάτμησης και στρέψης.	84

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Περδικάρη Φίλιππο, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την καθοδήγηση και τις υποδείξεις που μου παρείχε σε κάθε φάση της. Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω την κ. Μαρίνα Μωρέττη για την βοήθεια που μου παρείχε και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για να μου παρέχει στοιχεία και υποδείξεις για την ολοκλήρωση της εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την ηθική στήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίν. 2 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck}=20$ MPa)- ΕΚΩΣ.	61
Πίν. 3 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck}=40$ MPa) - ΕΚΩΣ.	63
Πίν. 4 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck}=20$ MPa) - EC2.	65
Πίν. 5 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck}=40$ MPa) - EC2.	65
Πίν. 6 Συντελεστής k, ΕΚΩΣ/EC2. Πίν. 7 Συντελεστής k, ΕΚΩΣ/EC2 (με όρια).	69
Πίν. 8 Λόγοι τεμνουσών $V_{Rdc}/b_w d$ και $V_{Rd1}/b_w d$.	70
Πίν. 9 Λόγοι τεμνουσών $V_{Rdc}/b_w d$ και $V_{Rd1}/b_w d$ (με περιορισμό v_{min}).	71
Πίν. 10 Συντελεστής, ν .	73
Πίν. 11 Λόγος $V_{Rd,max}/V_{Rd2}$.	73

**«Σχεδιασμός Γραμμικών Φορέων Ο/Σ Έναντι Τέμνουσας και Στρέψης Σύμφωνα
με EC2/EC8 και ΕΚΩΣ 2000/ΕΑΚ:
Θεωρητική Βάση και Σύγκριση Κανονισμών»**

Παναγιώτα Μαυράκη
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

2015

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΣ , ΕΚΩΣ, ΕΑΚ - Διαφορές και γενικά σχόλια

1.1 Αναφορά σε ΕΣ/ΕΚΩΣ/ΕΑΚ - Γενικά σχόλια και διαφορές

Στην Ελλάδα ο σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, από το 2000 γίνεται αποκλειστικά με εφαρμογή του ΕΚΩΣ2000 (Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος) και του ΕΑΚ2000 (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός). Ωστόσο, στο πλαίσιο υιοθέτησης των ευρωπαϊκών κανονισμών οι ΕΚΩΣ 2000 και ΕΑΚ 2000 είναι σε παράλληλη εφαρμογή με τους Ευρωκώδικες EC2 που αφορά το σκυρόδεμα και EC8 που αφορά τον αντισεισμικό σχεδιασμό με προοπτική αποκλειστικής εφαρμογής των Ευρωκωδίκων.

Τις τελευταίες δεκαετίες η γνώση στην επιστήμη του δομικού μηχανικού (όπως και σε άλλους κλάδους) έχει αυξηθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα την ορθότερη και περισσότερο αξιόπιστη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής των έργων. Παρότι πολλά από τα νέα στοιχεία είχαν ήδη συμπεριληφθεί στους Ελληνικούς κανονισμούς, οι Ευρωκώδικες όσων αφορά το σχεδιασμό των κτηρίων καλύπτουν ήδη όλη τη διαδικασία για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός έργου, από την παραγωγή και τον ποιοτικό έλεγχο των χρησιμοποιούμενων υλικών, μέχρι την αξιοπιστία του σχεδιασμού και της κατασκευής του αλλά και την συντήρησή του, μέσα από επαρκή επίβλεψη και συνολικό έλεγχο διασφάλισης ποιότητας.

Οι Ευρωκώδικες (EuroNormes- EN) αποτελούν σύγχρονο πλήρες κανονιστικό κείμενο που προέκυψε στα πλαίσια της προσπάθειας διαμόρφωσης στο δυτικοευρωπαϊκό χώρο ενός ενιαίου πλαισίου ευρωπαϊκών κανονισμών για την μελέτη έργων πολιτικού μηχανικού. Οι Ευρωκώδικες αποτελούνται από 10 κύρια Ευρωπαϊκά πρότυπα, και υποδιαιρούνται σε 58 μέρη.

- EN 1990 Ευρωκώδικας 0: Βάσεις Σχεδιασμού των φερουσών κατασκευών (1 Μέρος)
- EN 1991 Ευρωκώδικας 1: Δράσεις (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 Συμμείκτων 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)

Ο Ευρωκώδικας 2 (EC2) αφορά τον σχεδιασμό κατασκευών από σκυρόδεμα και είναι αντίστοιχος του ΕΚΩΣ 2000, αλλά με την βασική διαφορά ότι δεν περιλαμβάνει αντισεισμικές διατάξεις. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το μέρος 1.1 του EC2.

EC2 :

Μέρος 1.1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια

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 οπλισμένο σκυρόδεμα

Μέρος 1.2: Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

Μέρος 2: Γέφυρες από σκυρόδεμα

Μέρος 3: Υδατοδεξαμενές και κατασκευές υπό υδατοφόρτιση

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 τοιχιών
- J. Παραδείγματα περιοχών με ασυνέχειες στη γεωμετρία ή στις δράσεις

Ο Ευρωκώδικας (EC8) αναφέρεται στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών και είναι αντίστοιχος του ΕΑΚ2000, αν και στους εθνικούς κανονισμούς σημαντικό μέρος των αντισεισμικών διατάξεων περιέχεται και στον ΕΚΩΣ2000. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το Μέρος 1 του EC8 .

EC8 :

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

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

Μέρος 2: Γέφυρες

Μέρος 3: Αποτίμηση και ενίσχυση κτηρίων

Μέρος 4: Σιλό, δεξαμενές, αγωγοί

Μέρος 5: Θεμελιώσεις, αντιστηρίξεις, γεωτεχνικά θέματα

Μέρος 6: Πύργοι, ιστοί, καπνοδόχοι

Μέρος 1 , Κεφάλαια :

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

Οι δύο κανονισμοί έχουν μεγάλες ομοιότητες σε ότι αφορά τον σχεδιασμό στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και αστοχίας. Οι κυριότερες (γενικές) διαφορές των δύο κανονισμών είναι οι εξής:

Κύριες διαφορές μεταξύ EC2 και ΕΚΩΣ2000

1. Ο EC2 δεν περιέχει αντισεισμικές διατάξεις.
2. Ο EC2 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 ανάλογα με την αντοχή του σκυροδέματος και την ποιότητα του χάλυβα.
3. Ο EC2 αναφέρεται σε τρεις κατηγορίες έργων που δεν καλύπτονται από τον ΕΚΩΣ: Προκατασκευή, Ελαφροσκυρόδεμα και Άοπλο ή ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα.
4. Ο EC2 δεν περιλαμβάνει κεφάλαια για την επιλογή υλικών, εκτέλεση εργασιών, ποιοτικό έλεγχο και συντήρηση και επισκευή/ενίσχυση κατασκευών που περιέχονται στον ΕΚΩΣ2000 (κεφ. 19, 20, 21 και 22), αλλά καλύπτεται από άλλα πρότυπα.
5. Ο EC2 επιτρέπει τη χρήση πλαστικής ανάλυσης για έλεγχο σε οριακή κατάσταση αστοχίας για νέες κατασκευές (και σε ορισμένες περιπτώσεις και για οριακή κατάσταση λειτουργικότητας), ενώ στον ΕΚΩΣ2000 επιτρέπεται μόνο για έλεγχο υφιστάμενων κατασκευών. Στο πλαίσιο αυτό, ο EC2 νομιμοποιεί τη χρήση μοντέλων θλιπτήρα – ελκυστήρα.
6. Ο EC2 αναφέρεται διεξοδικά σε κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα και επιτρέπει τη χρήση τενόντων χωρίς συνάφεια όπως επίσης και την εξωτερική προένταση.
7. Στο πλαίσιο χρήσης μοντέλου θλιπτήρα-ελκυστήρα ο EC2 περιλαμβάνει επίσης διατάξεις για έλεγχο – όπλιση κόμβων [παρ. 6.5.4 και παράρτημα J2], ενώ στον ΕΚΩΣ αναφέρονται μόνο κάποιες κατασκευαστικές διατάξεις για την όπλιση κόμβων [παράρτημα Α].

Κύριες διαφορές EC8 και ΕΑΚ 2000

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 φορείς ΚΠΧ μελετώνται με βάση τον 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. Ο EC8 διακρίνει περισσότερους τύπους στατικών συστημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, αναφέρεται σε πλάστιμα τοιχώματα και σε μεγάλα ελαφρώς οπλισμένα τοιχώματα. Για τα τελευταία δε γίνεται λόγος στους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ2000.

5. Ο EC8 περιέχει αναλυτικές διατάξεις για έλεγχο και όπλιση κόμβων δοκού – υποστυλώματος που δεν υπάρχουν στους ΕΚΩΣ/ΕΑΚ 2000

Οι Ευρωκώδικες καλύπτουν τον σχεδιασμό του φέροντος οργανισμού για ένα σημαντικό εύρος κατασκευών και δράσεων όπως κτήρια, γέφυρες, δεξαμενές, πύργοι και καμινάδες, κ.λπ. για τα φορτία χρήσεως, τις φάσεις κατασκευής, πυρκαγιά, προσωρινές κατασκευές, στοιχεία τα οποία οι ελληνικοί κανονισμοί δεν κάλυπταν ή κάλυπταν αποσπασματικά.

Οι Ευρωκώδικες, βασίζονται στις θεμελιώδεις (για τον σχεδιασμό) αρχές για την ασφάλεια, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα των κατασκευών και θεωρούν ως βασικές προϋποθέσεις επιτυχούς σχεδιασμού ότι μία κατασκευή στον χρόνο ζωής της θα πρέπει:

- 1) να αντιμετωπίζει όλες τις δράσεις και να παραμένει κατάλληλη προς χρήση,
- 2) να διαθέτει επαρκή αντίσταση, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα,
- 3) να διαθέτει επαρκή αντίσταση σε πυρκαγιά, και
- 4) να μην υφίσταται δυσανάλογες βλάβες από «ατυχή» συμβάντα (ανθρώπινα λάθη, έκρηξη, πρόσκρουση, κ.α.)

Σύμφωνα με τα νέα επιπλέον στοιχεία που παρουσιάζονται στους Ευρωκώδικες ο μηχανικός έχει την δυνατότητα ,ανάλογα με το πρόβλημα, να επιλέξει τις λύσεις που θα του εξασφαλίσουν τον βέλτιστο σχεδιασμό.

1.2 Οι Ευρωκώδικες : Περιγραφή και ιστορικό

Το 1975 η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων αποφάσισε την έναρξη ενός προγράμματος δράσης στον τομέα των κατασκευών, με βάση το άρθρο 95 της Συνθήκης. Στόχος του προγράμματος ήταν η άρση των τεχνικών εμποδίων στο εμπόριο και η εναρμόνιση των τεχνικών προδιαγραφών.

Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος, η Επιτροπή πήρε την πρωτοβουλία να θεσπίσει ένα σύνολο εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων για τον σχεδιασμό των κατασκευών, οι οποίοι, σε πρώτη φάση, θα χρησιμοποιούνταν εναλλακτικά προς τους εθνικούς κανονισμούς που ίσχυαν στα Κράτη- Μέλη και, τελικώς, θα τους αντικαθιστούσαν.

Για 15 χρόνια η Επιτροπή με την αρωγή μιας Συντονιστικής Επιτροπής από Αντιπροσώπους των Κρατών- Μελών, προχώρησε στην επίτευξη του προγράμματος ανάπτυξης των Ευρωκωδίκων, το οποίο οδήγησε στην πρώτη γενιά Ευρωπαϊκών κανονισμών στη δεκαετία του '80.

1.3 Οι Ελληνικοί Κανονισμοί: Περιγραφή και Ιστορικό

Το 1954 συντάχθηκε ο πρώτος Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος, στη χώρα μας (ΦΕΚ160/26.07.1954) .Το 1991 θεσπίστηκε ο Νέος Ελληνικός Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα (Ν.Ε.Κ.Ω.Σ.), η αποκλειστική εφαρμογή του οποίου ξεκίνησε το 1995.

Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός του 1959 (ΦΕΚ 36/Α/19.2.1959) στηρίζεται στη στατική μέθοδο, όπως όλοι οι κανονισμοί της εποχής εκείνης. Το 1985 έγινε περιορισμένη τροποποίηση του Κανονισμού και το 1995 έγινε γενική ανασύνταξη και εκσυγχρονισμός με την εισαγωγή της φασματικής μεθόδου ως κύριας μεθόδου ανάλυσης χωρίς περιορισμούς και της στατικής μεθόδου υπό ορισμένους περιορισμούς. Ο Κανονισμός αυτός βελτιώθηκε με τον ΕΑΚ 2000 που ισχύει μέχρι σήμερα.

Το Νοέμβριο του 2000 παραδόθηκε στον Ο.Α.Σ.Π. ο αναθεωρημένος Κανονισμός με τίτλο: Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος - 2000 (Ε.Κ.Ω.Σ. - 2000), ο οποίος τέθηκε σε αποκλειστική εφαρμογή από τις 1-7-2001.

Αντικείμενο του κανονισμού είναι η ικανοποίηση των απαιτήσεων αντοχής και λειτουργικότητας των κατασκευών με επαρκή ασφάλεια. Ισχύει για κατασκευές από οπλισμένο και/ή προεντεταμένο σκυρόδεμα με συνήθη αδρανή, όπως αυτά ορίζονται στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Ο Κανονισμός καλύπτει την περίπτωση σχεδιασμού για συνήθεις δράσεις (μόνιμα φορτία, μεταβλητά φορτία , θερμοκρασιακές δράσεις περιβάλλοντος, χρόνια συμπεριφορά σκυροδέματος και οπλισμών, κλπ.)

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται να συγκριθούν οι βασικές αρχές και κανόνες που διέπουν τον σχεδιασμό δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος έναντι **τέμνουσας** και **στρέψης** σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς ΕΚΩΣ/ΕΑΚ 2000 και τους EC2/EC8. Η σύγκριση θα γίνει με θεωρητικά και αριθμητικά δεδομένα με έμφαση στις διαφορές και στις ομοιότητες των δύο κανονισμών.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των βασικών αρχών και κανόνων που διέπουν τον σχεδιασμό δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος έναντι τέμνουσας και στρέψης κατά τον ΕΚΩΣ. Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι κανόνες και σχέσεις του Ευρωκώδικα που διέπουν τον σχεδιασμό έναντι τέμνουσας και στρέψης. Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια αριθμητικά παραδείγματα ενώ στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των κανονισμών ,και παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν.

1.4 Θεωρητικό υπόβαθρο διάτμησης-μηχανισμοί παραλαβής δυνάμεων (δικτύωμα MOERSCH)

Διάτμηση υπάρχει σε όλους σχεδόν τους φορείς. Στους γραμμικούς φορείς και συγκεκριμένα στις δοκούς το πρόβλημα της τέμνουσας είναι έντονο ωστόσο διατμητική αστοχία ενδέχεται να συμβεί και στα υποστυλώματα και σε τοιχωματικούς φορείς λόγω σεισμικής δράσης. Οι κόμβοι των πλαισίων καταπονούνται επίσης από διάτμηση.

Ο μηχανισμός της διατμητικής αστοχίας στις δοκούς διαφέρει ανάλογα με το άνοιγμα της δοκού, την διατομή, το είδος φόρτισης, την ύπαρξη ή όχι προέντασης ή/και αξονικής δύναμης, επηρεάζοντας το είδος της διατμητικής αστοχίας. Στα υποστυλώματα και στα τοιχώματα αντίστοιχα, το ύψος του φορέα και το μέγεθος της αξονικής δύναμης επηρεάζουν την διατμητική αστοχία.

Εντατική κατάσταση του ρηγματωμένου οπλισμένου σκυροδέματος σε όλα τα στάδια της φόρτισής του μέχρι τη θραύση.

Η ανάλυση και η διαστασιολόγηση γραμμικών αλλά και επιφανειακών φορέων που υποβάλλονται σε καταπονήσεις που τους προκαλούν λοξά ρήγματα, όπως η στρέψη και η διάτμηση απαιτούν την κατανόηση του μηχανισμού ισορροπίας κατά την διαμόρφωση της εντατικής κατάστασης στο

ρηγματωμένο οπλισμένο σκυρόδεμα, στο οποίο μηχανισμό η διεύθυνση των ράβδων οπλισμού δεν συμπίπτει με εκείνη των κυρίων εφελκυστικών τάσεων του σκυροδέματος.

Με τον όρο ρηγμάτωση (στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος) εννοούμε την διακοπή της συνέχειας του σκυροδέματος που περιβάλλει τους οπλισμούς (δημιουργία ρωγμών). Στην θέση κάθε ρωγμής, ο χάλυβας και το σκυρόδεμα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους οδηγώντας στην μεταβολή της εντατικής κατάστασης του σκυροδέματος αλλά και στην παραμόρφωση των ράβδων οπλισμού. Η ρηγμάτωση γίνεται κάθετα στη διεύθυνση των κύριων εφελκυστικών τάσεων του σκυροδέματος η διεύθυνση των οποίων επηρεάζεται σημαντικά από τους οπλισμούς.

Στην θέση σχηματισμού μιας εμφανούς ρωγμής προηγείται η ανάπτυξη μιας ζώνης μικρορωγμών. Όταν οι ρωγμές αυτές φτάσουν μια συγκεκριμένη τιμή, τότε σχηματίζουν μια ορατή διακεκριμένη ρωγμή. Μέσα στη ζώνη των μικρορωγμών λαμβάνει χώρα μια εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος κάθετα στην διεύθυνση της ζώνης. Η εφελκυστική αυτή παραμόρφωση συνοδεύεται με μείωση της τάσης και κατά την διάρκεια αυτού του φαινομένου γίνεται σταδιακή μεταβίβαση των τάσεων από το σκυρόδεμα στους οπλισμούς.

Τα “πρίσματα” σκυροδέματος έξω από την ζώνη των μικρορωγμών υφίσταται σχεδόν ελαστικές παραμορφώσεις γι' αυτό και το σκυρόδεμα παραμένει αδιατάρακτο και διατηρεί όλα του τα μηχανικά χαρακτηριστικά. Στο τελικό στάδιο της παραμόρφωσης της ζώνης των μικρορωγμών οι τάσεις σκυροδέματος καθίστανται αμελητέες, ενώ συγχρόνως αναπτύσσονται εκεί δυνάμεις στους οπλισμούς για να ισορροπήσουν την εξωτερική φόρτιση.

Διαστασιολόγηση δοκού

Για την διαστασιολόγηση της δοκού ακολουθείται η εξής διαδικασία :

- 1) εξετάζεται η κάμψη ,καθορίζεται το μέγεθος της διατομής και ο απαιτούμενος οπλισμός για την παραλαβή των καμπτικών ροπών.
- 2) η δοκός εν συνεχεία διαστασιολογείται για διάτμηση.

Πρέπει να εξασφαλίζεται οτι η διατμητική αντοχή ισούται ή υπερβαίνει την καμπτική αντοχή σε κάθε σημείο της δοκού διότι η διατμητική αστοχία συμβαίνει απότομα και ψαθυρά.

Η τέμνουσα δύναμη V προκαλεί διατμητικές τάσεις, ωστόσο τα στοιχεία μέσα στον φορέα επιπονούνται και σε ορθές τάσεις λόγω κάμψης. Ο συνδυασμός αυτών των τάσεων δίνει τις κύριες τάσεις (σ_1, σ_2). Όταν η κύρια εφελκυστική τάση υπερβεί την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος εμφανίζονται λοξές ρωγμές. Οι ρωγμές αυτές που οφείλονται στη συνδυασμένη δράση διάτμησης και κάμψης ονομάζονται ρωγμές διαγώνιου εφελκυσμού πρέπει να διαπερνώνται από διατμητικό οπλισμό.

Προσομοίωμα δικτύωματος

Για την επίλυση του προβλήματος της τέμνουσας δεν επαρκεί η γνώση της διατμητικής τάσης, αλλά απαιτείται να βρεθούν οι δυνάμεις που δρουν μέσα στον φορέα καθώς και οι μηχανισμοί αστοχίας. Το μοντέλο δικτύωματος (**truss model**) είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο προσομοίωμα διατμητικής λειτουργίας δοκών που φέρουν διατμητικό οπλισμό.

Ο επιπονούμενος φορέας μπορεί να θεωρηθεί ως σύνθεση των θλιβόμενων και εφελκυσμένων περιοχών του, ως ένα δικτυωτό προσομοίωμα θλιπτήρων και ελκυστήρων. Σε μια δοκό με κεκλιμένα ρήγματα αναπτύσσονται θλιπτικές δυνάμεις F_c στην επάνω ζώνη και εφελκυστικές δυνάμεις F_s στον κάτω οπλισμό. Επίσης δημιουργούνται κατακόρυφες δυνάμεις στους συνδετήρες και λοξές δυνάμεις στα διαγώνια τμήματα του σκυροδέματος μεταξύ των κεκλιμένων ρωγμών. Αυτό το σύστημα δυνάμεων προσομοιάζεται με ένα **δικτυωτό ανάλογο**.

Το μοντέλο του δικτύωματος συνίσταται από ένα θλιβόμενο πέλμα και θλιβόμενες διαγωνίους που σχηματίζονται λόγω της φέρουσας ικανότητας του σκυροδέματος σε θλίψη, από ένα εφελκυσμένο πέλμα (εφελκυσμένες διαμήκειες ράβδοι) και τέλος από εφελκυσμένους ορθοστάτες (οπλισμός διάτμησης). Στο προσομοίωμα αυτό υπάρχουν δύο είδη αστοχίας :

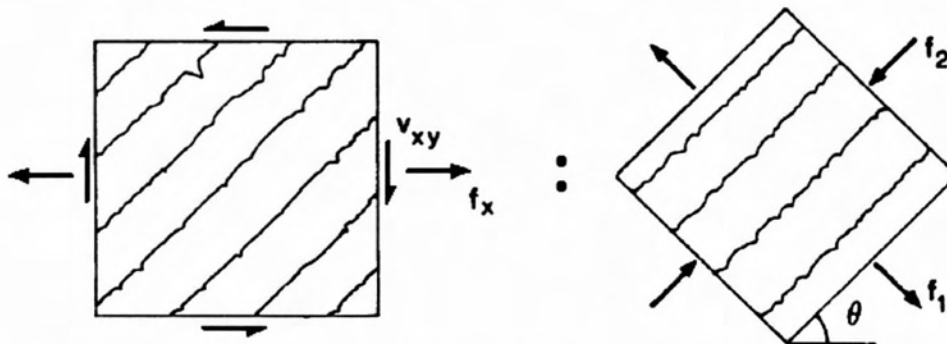
- 1) Αστοχία λόγω διαρροής του οπλισμού διάτμησης (συνδετήρες ή λοξές ράβδοι).
- 2) Αστοχία από θραύση θλιβόμενων διαγωνίων σκυροδέματος μεταξύ των ρηγμάτων.

Διατμητικές ρωγμές

Η έναρξη της ρηγμάτωσης στο σκυρόδεμα λαμβάνει χώρα όταν οι κύριες εφελκυστικές τάσεις σε κάποιο σημείο φθάσουν την εφελκυστική αντοχή του υλικού. Στην περίπτωση δοκών που υπόκεινται σε συνδυασμό τέμνουσας και ροπής αυτό τυπικά προκύπτει είτε στον ουδέτερο άξονα της όπου και οι

μεγαλύτερες διατμητικές τάσεις, είτε στην κάτω ή άνω ίνα της όπου οι εφελκυστικές τάσεις λόγω ροπής είναι κυρίαρχες. (Collins & Mitchell, 1991).

Οι «καμπτοδιατμητικές» ρωγμές που σχηματίζονται αρχικά κατακόρυφα και εν συνεχεία με κλίση προς την οριζόντια λόγω της επιρροής της τέμνουσας που έχει σαν αποτέλεσμα την κλίση των κυρίων εφελκυστικών τάσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Κύριες τάσεις απειροστού στοιχείου (Thomas Ahnberg, 2011).

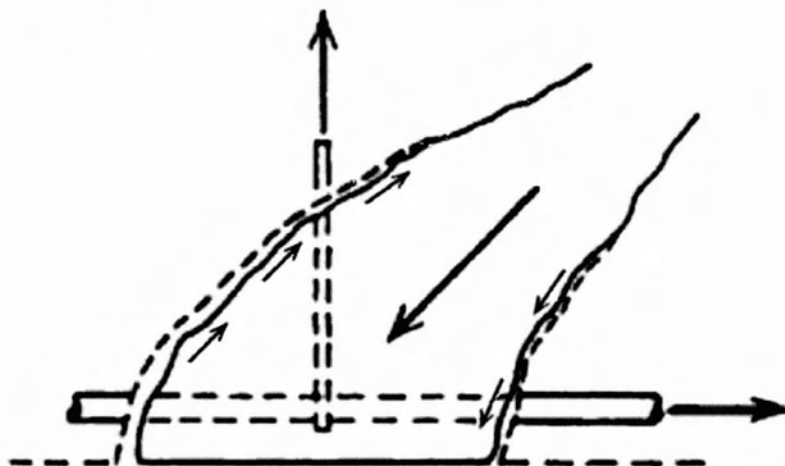
Οι ρωγμές σκυροδέματος θα σχηματισθούν κάθετα στις κύριες εφελκυστικές τάσεις και εάν αρχίσουν ως καμπτικές ρωγμές στον πυθμένα ή την κορυφή της δοκού, θα είναι σχεδόν κάθετες. Μετά, αν βρίσκονται σε περιοχή διάτμησης, θα έχουν κλίση προς την οριζόντια καθώς επεκτείνονται προς τα μέσα. Το σε ποιο ύψος φορτίου θα σχηματισθούν διατμητικές ρωγμές εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, όπως επίσης και από το πλάτος του κορμού της διατομής και τον μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων. Η επιρροή του μη προεντεταμένου (χαλαρού) οπλισμού είναι αμελητέας σπουδαιότητας.

Συμπεριφορά μετά τη ρηγμάτωση

Ο σχηματισμός ρωγμών θα μειώσει δραστικά την ικανότητα του σκυροδέματος να παραλάβει τέμνουσα διαμέσου κυρίων εφελκυστικών τάσεων.

Συνεπώς θα υπάρχει εκεί μια καταρχήν αιφνίδια αλλά μετά επίσης συνεχής μεταβολή στις συνθήκες ισορροπίας στην ρηγματωμένη περιοχή, με την προϋπόθεση ότι εκεί, όπως φαίνεται σε κάποια φάση στο Σχήμα 2, υπάρχει επαρκής οπλισμός για να αποτρέψει άμεση αστοχία.

Θα γίνεται επίσης ολοένα και πιο δύσκολο να προβλεφθεί η ακριβής συμπεριφορά της διατομής σκυροδέματος λόγω μιας σειράς αβεβαιοτήτων που καθορίζουν τους απομένοντες μηχανισμούς μεταφοράς της τέμνουσας.

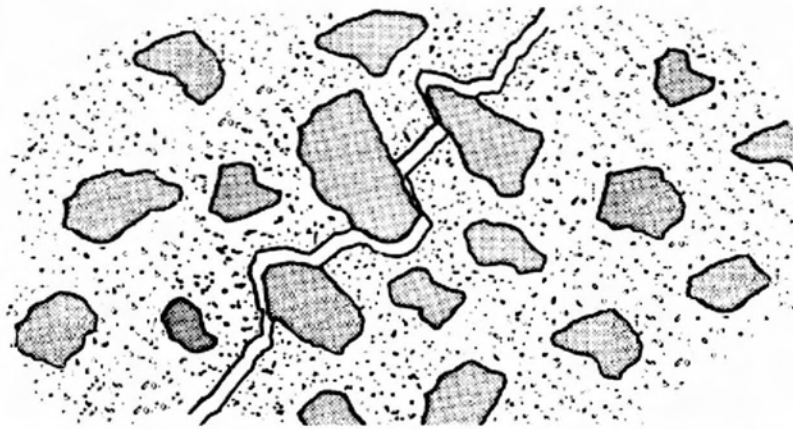


Σχήμα 2: Ισορροπούσες δυνάμεις ασκούμενες σε πρίσμα σκυροδέματος σε ρηγματωμένη περιοχή (Thomas Ahnberg, 2011).

Ένας τρόπος να διαχειριστούμε μερικές από τις αβεβαιότητες είναι να δεχθούμε ότι η τέμνουσα θα μεταβιβασθεί διαμέσου της αρηγμάτωτης θλιβόμενης ζώνης και διαμέσου του διατμητικού οπλισμού, αν προβλέπεται τέτοιος.

Αφού η θλιβόμενη ζώνη σε σχετικά χαμηλού ύψους δοκούς είναι πολύ μικρή σε ύψος και η αντίστοιχη μεταφορά τέμνουσας έχει λίγη σημασία, αυτή η προσέγγιση μπορεί να απλοποιηθεί περαιτέρω σε μοντέλα δικτύματος που συνίστανται αποκλειστικά από θλιβόμενα μέλη σκυροδέματος και ελκυστήρες οπλισμού. **“strut & tie model”**. Τα δικτυωτά μοντέλα που πραγματεύεται ο Model Code 1990 (π.χ. παρ. 6.8 υψίκορμες δοκοί και περιοχές ασυνέχειας, παρ. 6.9 έλεγχος κόμβων και αγκυρώσεων) παράλληλα με την πραγμάτευση γραμμικών μελών σε διάτμηση [παρ. 6.3.3/6.3.3.2 (οπλισμένες δοκοί), 6.3.3.3. (προεντεταμένες δοκοί), 6.3.3.4 (υποστυλώματα σε ένταση N, M, V), 6.3.4 (πλακοδοκοί), και 6.3.5 (στρέψη)], αποτέλεσαν την βάση σχεδιασμού σε διάτμηση που περιέχονται στον EC2.

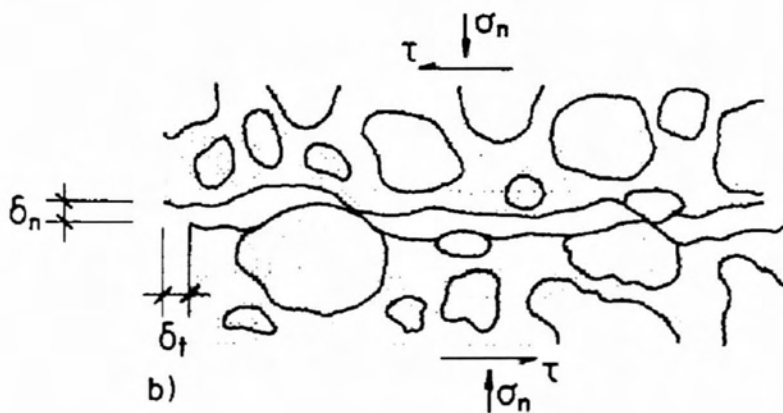
Το πρόβλημα με την ανωτέρω προσέγγιση είναι εν τούτοις ότι οι διαγώνιες ρωγμές στο σκυρόδεμα θεωρούνται συνήθως ως αποτελούμενα από λείες δίχως τριβή επιφάνειες χωρίς καμία αλληλεπίδραση, πράγμα που όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 δεν είναι ρεαλιστικό.



Σχήμα 3: Μεγέθυνση μιας ρωγμής σκυροδέματος (Thomas Ahnberg, 2011).



a)



b)

Σχήμα 4: a) Μάκρο- εμπλοκή : εμπλοκή λόγω σχήματος της ρωγμής.

b) Μίκρο- εμπλοκή : εμπλοκή αδρανών.

Αντ' αυτού, όπως π.χ. εξηγήθηκε από τον Muttoni et al. 1997 , και το ιστορικό φόρτισης και η αναδιανομή των εσωτερικών δυνάμεων, οδηγούν σε κάποιες περιπτώσεις σε μεταφορά δυνάμεων μέσω της ανοικτής ρωγμής. Αν το « πεδίο θλίψης» του σκυροδέματος τρέχει λοξά ως προς το «επίπεδο ρωγμής» τότε αυτή η μεταφορά δύναμης προκύπτει από την αποκαλούμενη δράση «εμπλοκής αδρανών».

Για μικρό εύρος ρωγμής δ_n και αρκετά μεγάλες μετατοπίσεις κατά μήκος της ρωγμής δ_t , η μικροεμπλοκή ενεργεί σε όλη την επιφάνεια της ρωγμής (Σχήμα 4b), ενώ για μεγάλα ανοίγματα ρωγμής η δύναμη μπορεί να μεταφερθεί μόνο μέσω μακροεμπλοκής σε τοπικές ζώνες (Σχήμα 4a). Σχετικά με τους πρακτικούς υπολογισμούς, σημειώνεται ότι γενικά η μεταφορά εσωτερικών δυνάμεων σε κατάσταση αστοχίας είναι εγγυημένη μόνο όταν το εύρος των ρωγμών διατηρείται μικρό μέσω κατάλληλης όπλισης.

1.5 Θεωρητικό υπόβαθρο στρέψης

Η στρέψη είναι επιπόνηση που προκαλεί διατμητικές τάσεις οι οποίες έχουν φορά κατά την περίμετρο της διατομής «μοντέλο χωρικού δικτύματος» σε αντίθεση με τις διατμητικές τάσεις από τέμνουσα οι οποίες έχοντας την ίδια διεύθυνση σε όλο το πλάτος της διατομής, μπορούν να αντιμετωπιστούν με «μοντέλο επίπεδου δικτύματος». Το στατικό «μόρφωμα» δεν διαφέρει ουσιαστικά σε περίπτωση καταπόνησης από τέμνουσα δύναμη και από στρέψη. Και στις δύο περιπτώσεις σχηματίζονται θλιβόμενες διαγώνιοι- πρίσματα σκυροδέματος που στην περίπτωση καθαρής στρέψης, ακολουθούν τη διεύθυνση μιας περιμετρικής «σπείρας». Επομένως, οι λοξές αυτές κύριες τάσεις (εφελκυστικές και θλιπτικές) διατάσσονται ελικοειδώς γύρω από την διατομή. Ελικοειδή μορφή αποκτά και η ρηγμάτωση η οποία σε κάθε παρειά έχει σταθερή κεκλιμένη διεύθυνση, αυτή των κυρίων τάσεων. Τα ρήγματα αυτά σχηματίζονται όταν η κύρια εφελκυστική τάση υπερβεί την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος. Οι δυνάμεις των ράβδων όπλισμού που θα ενεργοποιηθούν όταν διαπερνώνται από λοξές ρωγμές αναπληρώνουν με το παραπάνω τις εφελκυστικές δυνάμεις στο σκυρόδεμα.

Ο όπλισμός στρέψης επειδή είναι κατασκευαστικά αδύνατο να έχει σταθερό σπειροειδές σχήμα, αποτελείται από κλειστούς συνδετήρες κάθετους στην διεύθυνση του άξονα του φορέα και από διαμήκεις ράβδους όπλισμού ομοιόμορφα κατανεμημένες στην περίμετρο της διατομής.

Σύνθετες Καταπονήσεις

Η καταπόνηση αποκλειστικά και μόνο από στρέψη είναι εξαιρετικά σπάνια στις κατασκευές. Στην περίπτωση που στην σύνθετη καταπόνηση εμπεριέχεται άμεση στρέψη, συνήθως αυτή είναι και η επικρατέστερη επί μέρους καταπόνηση και άρα οι διαστάσεις διατομής και οι βασικοί οπλισμοί πρέπει να καθοριστούν από τον υπολογισμό σε στρέψη. Κατά κανόνα, η καταπόνηση σε στρέψη συνδυάζεται με ταυτόχρονη καταπόνηση σε τέμνουσα δύναμη και κάμψη και η στατική λειτουργία για μια σύνθετη καταπόνηση είναι δύσκολο να εκφραστεί υπολογιστικά, οπότε δίδονται για το σκοπό αυτό απλοποιημένοι κανόνες που στηρίζονται σε χωριστό υπολογισμό για το κάθε είδος καταπόνησης.

- **Περίπτωση Στρέψης με Κάμψη και/ή Αξονική δύναμη :**

Στην εφελκόμενη από κάμψη ζώνη προστίθενται οι απαιτούμενοι οπλισμοί από στρέψη στους αντίστοιχους από κάμψη, ενώ αντίστοιχα στην θλιβόμενη από κάμψη περιοχή δεν απαιτείται και πρόσθετος οπλισμός στρέψης, εφόσον οι θλιπτικές τάσεις από κάμψη υπερिशύουν των εφελκυστικών τάσεων από στρέψη.

- **Περίπτωση Στρέψης με Διάτμηση :**

Η διαστασιολόγηση των απαιτούμενων συνδετήρων γίνεται χωριστά για την τέμνουσα δύναμη και για τη στρέψη: οι συνδετήρες που προκύπτουν λόγω τέμνουσας δύναμης και ροπής στρέψης πρέπει να προστίθενται. Και για τα δύο είδη καταπόνησης πρέπει να λαμβάνεται η ίδια γωνία κλίσης των θλιβόμενων διαγωνίων σκυροδέματος – δηλαδή το ίδιο μοντέλο δικτυώματος Moersch.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΕΚΩΣ 2000

2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

2.1.1 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα χωρίς Απαιτήση Οπλισμού Διάτμησης

Ο σχεδιασμός χωρίς οπλισμό διάτμησης περιορίζεται μόνον σε στοιχεία που έχουν μικρή σημασία ή σε στοιχεία με ικανότητα κατανομής του φορτίου σε διεύθυνση κάθετη τόσο προς τα φορτία όσο και προς το άνοιγμα και στα οποία δεν εμφανίζονται σημαντικές ορθές εφελκυστικές δυνάμεις (π.χ. συνήθεις πλάκες)

Αν η επιβαλλόμενη τέμνουσα σχεδιασμού ικανοποιεί τη συνθήκη :

$$V_{sd} \leq V_{Rd1} , \text{ δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

Για διατομές που βρίσκονται μεταξύ της παρειάς μίας άμεσης στήριξης και μέχρι απόστασης d από αυτήν, ο έλεγχος αυτός δεν είναι απαραίτητος. Είναι όμως απαραίτητος αν στο διάστημα αυτό υπάρχουν συγκεντρωμένα φορτία.

Αντοχή σε Τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης

$$V_{Rd1} = (\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp}) b_w d$$

όπου,

b_w = το μικρότερο πλάτος της διατομής στην εφελκυσόμενη ζώνη,

τ_{Rd} = τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής σύμφωνα με τον Πίν. 1,

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

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 ,$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} ,$$

N_{Ed} = αξονική δύναμη στη διατομή λόγω φόρτισης ή προέντασης [σε N] με $N_{Ed} > 0$ για θλίψη (η επιρροή των επιβαλλόμενων μετακινήσεων στην N_{Ed} μπορεί να αγνοηθεί),

A_{sl} = εμβαδόν του εφελκυσμένου οπλισμού , και

d = στατικό ύψος διατομής

Πίν.1 Διατμητική αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος, τ_{Rd} (σε MPa).

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
τ_{Rd}	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48

2.1.2 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης

Για τον υπολογισμό της αντοχής σε τέμνουσα, η οριακή κατάσταση αστοχίας μπορεί να θεωρηθεί ότι χαρακτηρίζεται,

- είτε από διαγώνια θλίψη του σκυροδέματος, η οποία προκαλεί θραύση του κορμού
- είτε από διαρροή του οπλισμού διάτμησης

Δύναμη που αναλαμβάνει ο οπλισμός ($\theta=45^\circ$)

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha$$

όπου

α = γωνία κλίσης οπλισμού διάτμησης ως προς τον διαμήκη άξονα του φορέα

A_{sw} = εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης

s = απόσταση των συνδετήρων

f_{ywd} = τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης

z = μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων, ίσος με **0,90d**

Για κατακόρυφο οπλισμό :

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

Η Τέμνουσα Αντοχής σχεδιασμού για διαρροή οπλισμού διάτμησης

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

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

Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα ($\theta=45^\circ$)

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} v f_{cd} b_w z (1 + \cot\alpha) \sin\alpha$$

Για κατακόρυφους συνδετήρες :

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

Ο μειωτικός συντελεστής, v , λαμβάνει υπόψη τη μείωση της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος παρουσία εγκάρσιου εφελκυσμού.

$$v = 0,70 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0,5 \quad \text{με } f_{ck} \text{ σε MPa}$$

Εάν υπάρχουν ορθές θλιπτικές δυνάμεις η τιμή της V_{Rd2} μειώνεται σε $V_{Rd2,red}$,

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

όπου

$$\sigma_{cp,eff} = (N_{sd} - f_{yk} * A_{s2} / \gamma_s) / A_c$$

με A_{s2} τη διατομή του οπλισμού στη θλιβόμενη ζώνη.

Λεπτομέρειες Κανονισμού σχετικά με τον Σχεδιασμό για Σεισμικά φορτία

V_{wd} = τέμνουσα που παραλαμβάνεται από τους οπλισμούς στην λειτουργία του δικτύωματος

V_{cd} = τέμνουσα που παραλαμβάνεται από το θλιβόμενο πέλμα και από άλλους μηχανισμούς ανάληψης τέμνουσας

Συνδυασμοί δράσεων που δεν περιλαμβάνουν σεισμό

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

Συνδυασμοί δράσεων που περιλαμβάνουν σεισμό

Για $v_d > -0.10$ (στοιχεία κυρίως καμπτόμενα)

Ο όρος V_{cd} λαμβάνεται μειωμένος για γραμμικά στοιχεία στις κρίσιμες περιοχές :

$$V_{cd} = 0,3 V_{Rd1}$$

(εκτός κρίσιμων περιοχών και σε στοιχεία χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας $V_{cd} = V_{Rd1}$)

Για τον όρο V_{wd} ισχύουν τα ακόλουθα :

Στην περίπτωση γραμμικών στοιχείων η συμβολή του οπλισμού κορμού στην αντοχή σε τέμνουσα εξαρτάται από την τιμή του ζ .

ζ = ο λόγος της ελάχιστης προς την μέγιστη τέμνουσα σε μία διατομή ($+1 \geq \zeta \geq -1$)

$$\zeta = \frac{V_{Emin}}{V_{Emax}} , v_d > -0.10 \text{ (στοιχεία κυρίως καμπτόμενα με } v_d > -0.10)$$

Εάν

1. $\zeta < -0,5$ και $V_{sd} \leq 1,125 (2 + \zeta) b_w d$

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

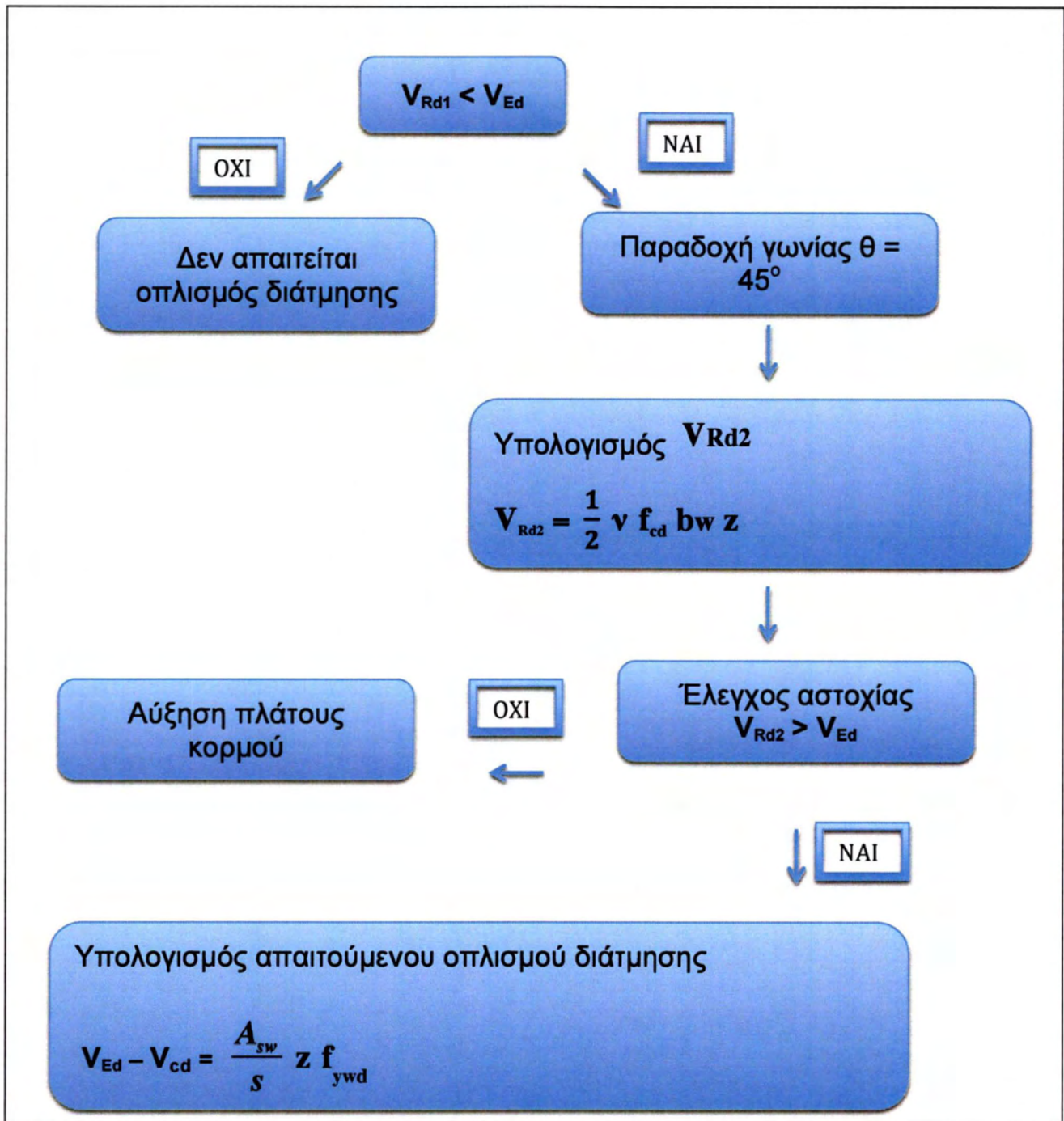
2. $\zeta < -0,5$ και $V_{sd} \geq 2,25 f_{cd} (2 + \zeta) b_w d$

η συνολική τέμνουσα πρέπει να αναληφθεί από δισδιαγώνιο οπλισμό κατά μήκος του κορμού, δηλαδή από ράβδους κεκλιμένες κατά δύο διευθύνσεις, οι οποίες εξισορροπούν με τις θλιπτικές και εφελκυστικές συνιστώσες τους τις τέμνουσες με αντίθετο πρόσημο.

3. $\zeta < -0,5$ και $2,25 f_{cd} (2 + \zeta) b_w d \leq V_{sd} \leq 1,125 (2 + \zeta) b_w d$

η μισή τέμνουσα πρέπει να παραλαμβάνεται από συνδετήρες και η άλλη μισή από δισδιαγώνιες ράβδους.

Η διαδικασία του ελέγχου έναντι διάτμησης καθώς και ο υπολογισμός των απαραίτητων οπλισμών διάτμησης παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5 : Αλγόριθμος ελέγχου έναντι τέμνουσας και υπολογισμός του απαραίτητου οπλισμού διάτμησης στον ΕΚΩΣ2000.

2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ

Εξετάζεται η συνδυασμένη δράση στρέψης και τέμνουσας δεδομένου ότι καταπόνηση αποκλειστικά και μόνον από στρέψη δεν υπάρχει συνήθως σε έργα Πολιτικού Μηχανικού.

Ορισμοί *Ελληνικού Κανονισμού* :

ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ :

- **Άμεση στρέψη** : στρέψη στην περίπτωση ισοστατικών φορέων. Στην περίπτωση αυτή η ικανότητα ανάληψης στρεπτικής ροπής είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας. Ο φορέας όντας ισοστατικός αστοχεί όταν υπερβληθεί η αντοχή του σε στρέψη. Παραδείγματα άμεσης στρέψης είναι η έκκεντρη φόρτιση δοκού από πλάκα-πρόβολο, η έκκεντρη φόρτιση διατομής γέφυρας , καθώς και η φόρτιση επί μιας καμπύλης σε κάτωψη δοκού.
- **Έμμεση στρέψη** : η στρεπτική ροπή οφείλεται αποκλειστικά στην παρεμπόδιση της στροφής που εισάγεται από παρακείμενα στοιχεία (στρέψη συμβιβαστού) . Οι στρεπτικές ροπές δεν είναι απαραίτητες για την ισορροπία και μπορούν να αγνοηθούν στους υπολογισμούς οριακών καταστάσεων αστοχίας. Παράδειγμα έμμεσης στρέψης είναι η περίπτωση ακραίας, μονόπλευρης δοκού (πλακοδοκός) που συνδέεται μονολιτικά με την καμπτόμενη πλάκα που στηρίζει και που καταπονείται σε στρέψη λόγω κάμψης της πλάκας.

ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ :

- **Στρέψη Saint Venant** : η ισορροπία εξασφαλίζεται από μια κλειστή ροή διατμητικών τάσεων λόγω στρέψης σε συμπαγείς ολόσωμες διατομές.
- **Στρέψη με στρέβλωση** : λόγω της παρεμπόδισης της διαμήκου παραμορφώσεως ,ο φορέας ανθίσταται στις επιβαλλόμενες στρεπτικές ροπές με την ανάπτυξη ορθών και πρόσθετων διατμητικών τάσεων στα επί μέρους λεπτότοιχα τμήματα της διατομής.

Ο υπολογισμός των συμπαγών διατομών σε στρέψη γίνεται θεωρώντας μία «ισοδύναμη κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή» ,της οποίας:

- I. Η εξωτερική περίμετρος συμπίπτει με αυτήν της πραγματικής διατομής
- II. Έχει ένα ισοδύναμο πάχος τοιχωμάτων $t_i = \max[A/u, 2c]$,

όπου

c = η επικάλυψη των διαμήκων ράβδων,

u = η περίμετρος της διατομής, και

A = η επιφάνεια που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο της διατομής συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλων διατομών

Στην περίπτωση κοίλων διατομών, το πάχος t δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό πάχος των τοιχωμάτων του.

Οπλισμός Στρέψης

Ο οπλισμός στρέψης αποτελείται από κλειστούς συνδετήρες κάθετους στον άξονα της δοκού και από διαμήκεις ράβδους καταναμημένες ομοιόμορφα κατά μήκος της περιμέτρου της διατομής, οι οποίες πρέπει να υπάρχουν και σε όλες τις γωνίες της διατομής.

Οι απαιτούμενοι διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί ΣA_{sl} και ΣA_{sw} υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις.

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

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

όπου

s = απόσταση των συνδετήρων,

θ = γωνία των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος με τον διαμήκη άξονα του στοιχείου ($0,4 \leq \cot\theta \leq 2,5$),

u_k = περίμετρος της περιοχής με εμβαδόν A_k ,

A_k = το εμβαδόν που περικλείεται από τη μέση γραμμή των τοιχωμάτων της λεπτότοιχης διατομής, συμπεριλαμβανομένων και των πιθανών εσωτερικών κενών,

A_{sw} = εμβαδόν διατομής ράβδων που χρησιμοποιούνται ως συνδετήρες στρέψεως (το εμβαδόν ενός σκέλους στην περίπτωση δίτητου συνδετήρα), και

A_{sl} = άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων σε όλη την περίμετρο της διατομής για την ανάληψη της στρέψεως

Οι υπολογισμοί των συνδετήρων μπορούν να γίνουν με την ίδια γωνία θ , χωριστά για *στρέψη* και για *τέμνουσα*. Οι αντίστοιχες διατομές συνδετήρων προστίθενται.

Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα

Η αντοχή σχεδιασμού ροπής στρέψης με κριτήριο την αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος είναι :

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

όπου

t = πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής

A_k = επιφάνεια που περικλείεται από την πολυγωνική γραμμή που διέρχεται από το μέσον των τοιχωμάτων της ισοδύναμης λεπτότοιχης, και

$v = 0,7 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) \geq 0,35$, εάν οι συνδετήρες βρίσκονται μόνον στην εξωτερική περίμετρο της ισοδύναμης διατομής

$v = 0,7 - f_{ck}/200 \geq 0,5$, εάν προβλέπονται κλειστοί συνδετήρες και στις δύο παρειές κάθε τοιχώματος της ισοδύναμης διατομής.

Η μέγιστη αντοχή στοιχείων υποκειμένων ταυτόχρονα σε στρέψη και διάτμηση περιορίζεται από την αντοχή των λοξών θλιπτήρων .

Η δρώσα ροπή στρέψεως T_{sd} και η αντίστοιχη δρώσα τέμνουσα δύναμη V_{sd} πρέπει να ικανοποιούν ταυτοχρόνως τις παρακάτω συνθήκες αλληλεπίδρασης:

Κοίλες διατομές: $(T_{sd} / T_{Rd1}) + (V_{sd} / V_{Rd2}) \leq 1,0$

Άλλες διατομές: $(T_{sd} / T_{Rd1})^2 + (V_{sd} / V_{Rd2})^2 \leq 1,0$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΕΚ2/ ΕΚ8

3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

3.1.1 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα χωρίς Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης

Αν η επιβαλλόμενη τέμνουσα σχεδιασμού ικανοποιεί τη συνθήκη :

$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$, δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης. Τοποθετείται ωστόσο ο ελάχιστος απαιτούμενος.

Δεν απαιτείται ο ελάχιστος οπλισμός σε στοιχεία με μικρή σημασία για την συνολική αντίσταση της κατασκευής.

Αντοχή σε Τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης

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

με ελάχιστη τιμή $V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$

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

- $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$
- $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$
- $k_1 = 0,15$

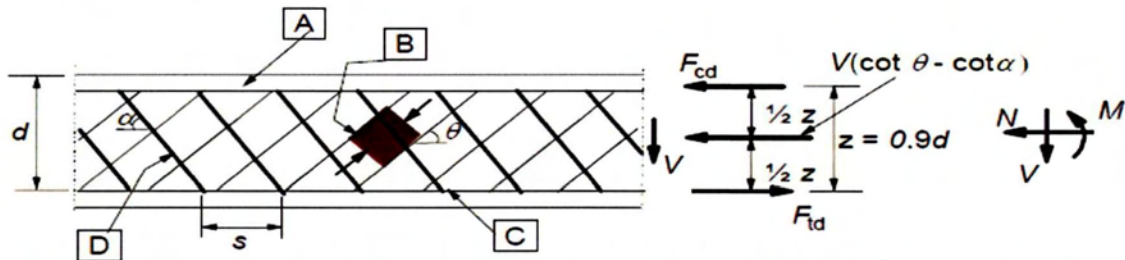
Επίσης, $k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right) < 2$ (d σε mm)

Διαφορές με ΕΚΩΣ2000

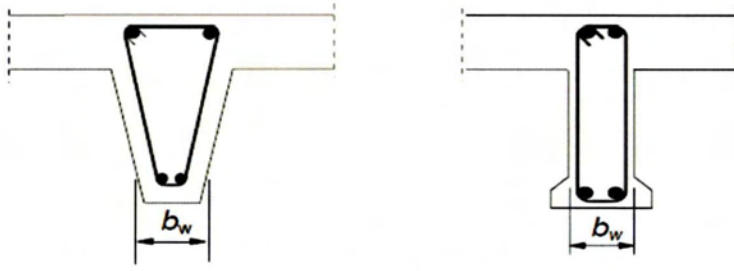
- Διαφορετική εκτίμηση του συντελεστή k , της συνεισφοράς του εφελκόμενου οπλισμού ρ_1 , καθώς επίσης και της συμμετοχής της αντοχής του σκυροδέματος, f_{ck}
- Ο συντελεστής k που λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα κλίμακας είναι μεγαλύτερος στον EC2 από τον ΕΚΩΣ
- Η συνεισφορά του εφελκόμενου οπλισμού λαμβάνεται διαφορετικά στον EC2 και στον ΕΚΩΣ2000. Η αντοχή $V_{Rd,c}$ μηδενίζεται όταν δεν υπάρχει η δράση βλήτρου στον EC2 (κάτι που δεν λαμβάνει υπόψη ο ΕΚΩΣ). Η σχέση του EC2 λαμβάνει υπόψη πως η έλλειψη καλά αγκυρωμένου εφελκόμενου οπλισμού οδηγεί σε πλήρη αποδιοργάνωση και των υπόλοιπων μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας από σκυρόδεμα.

3.1.2 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαιτήση Οπλισμού Διάτμησης

Κατά το σχεδιασμό στοιχείων με οπλισμό διάτμησης υιοθετείται το μοντέλο δικτυώματος με μεταβλητή γωνία λοξών θλιπτήρων : $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ η $1 \leq \cot\theta \leq 2,5$.



[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement



Σχήμα 6: Μοντέλο δικτυώματος και απεικόνιση στοιχείων με οπλισμό διάτμησης {EC2 1-1}

Δύναμη που αναλαμβάνει ο οπλισμός διάτμησης

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha, 21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

Σε περίπτωση που ο οπλισμός διάτμησης είναι κατακόρυφος,

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

Διαφορές με ΕΚΩΣ

Η αντοχή εξαρτάται από την θεωρούμενη γωνία θ των λοξών θλιπτήρων. Αν θεωρήσουμε πως έχουν σταθερή γωνία $\theta=45^\circ$ τότε $\cot \theta = 1$ (ίδια σχέση με τον ΕΚΩΣ)

Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα

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

Στην περίπτωση που οι συνδετήρες είναι κατακόρυφοι, η σχέση παίρνει τη μορφή

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

όπου $v = 0,6 * [1 - f_{ck} / 250]$, με f_{ck} σε MPa

Ο συντελεστής α_{cw} λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέγμα, αυξάνοντας την αντοχή των λοξών θλιπτήρων σε περίπτωση αξονικής θλίψης του στοιχείου :

- $\alpha_{cw} = 1$, για μη προεντεταμένες κατασκευές
- $\alpha_{cw} = 1 + (\sigma_{cp} / f_{cd})$, για $0 < \sigma_{cp} \leq 0,25f_{cd}$
- $\alpha_{cw} = 1,25$, για $0,25f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5f_{cd}$
- $\alpha_{cw} = 2,5 * (1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$, για $0,5f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 1,0f_{cd}$

σ_{cp} = μέση θλιπτική τάση λόγω του αξονικού θλιπτικού φορτίου σχεδιασμού , λαμβανόμενη με θετικό πρόσημο και ανηγμένη σε όλη τη διατομή του σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένου του οπλισμού. Η σ_{cp} δε χρειάζεται αν υπολογίζεται σε απόσταση μικρότερη από $0,5 d \cot \theta$.

Διαφορές με ΕΚΩΣ

- Διαφορά στην εκτίμηση των επιρροών της αξονικής θλιπτικής δύναμης , ο συντελεστής α_{cw} που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στο θλιβόμενο πέγμα στον EC2 δόθηκε παραπάνω. Στον ΕΚΩΣ η περίπτωση στοιχείου υποκειμένου σε θλιπτική ορθή δύναμη λαμβάνεται υπόψη μέσω της μείωσης της V_{Rd2} :

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

$$\sigma_{cp,eff} = (N_{sd} - f_{yk} A_{s2} / \gamma_s) / A_c (A_{s2} \text{ η διατομή του οπλισμού στη θλιβόμενη ζώνη })$$

Άρα ο αντίστοιχος συντελεστής α_{cw} ισούται με $\alpha_{cw} = 1,67 (1,00 - \sigma_{cp,eff} / f_{cd})$

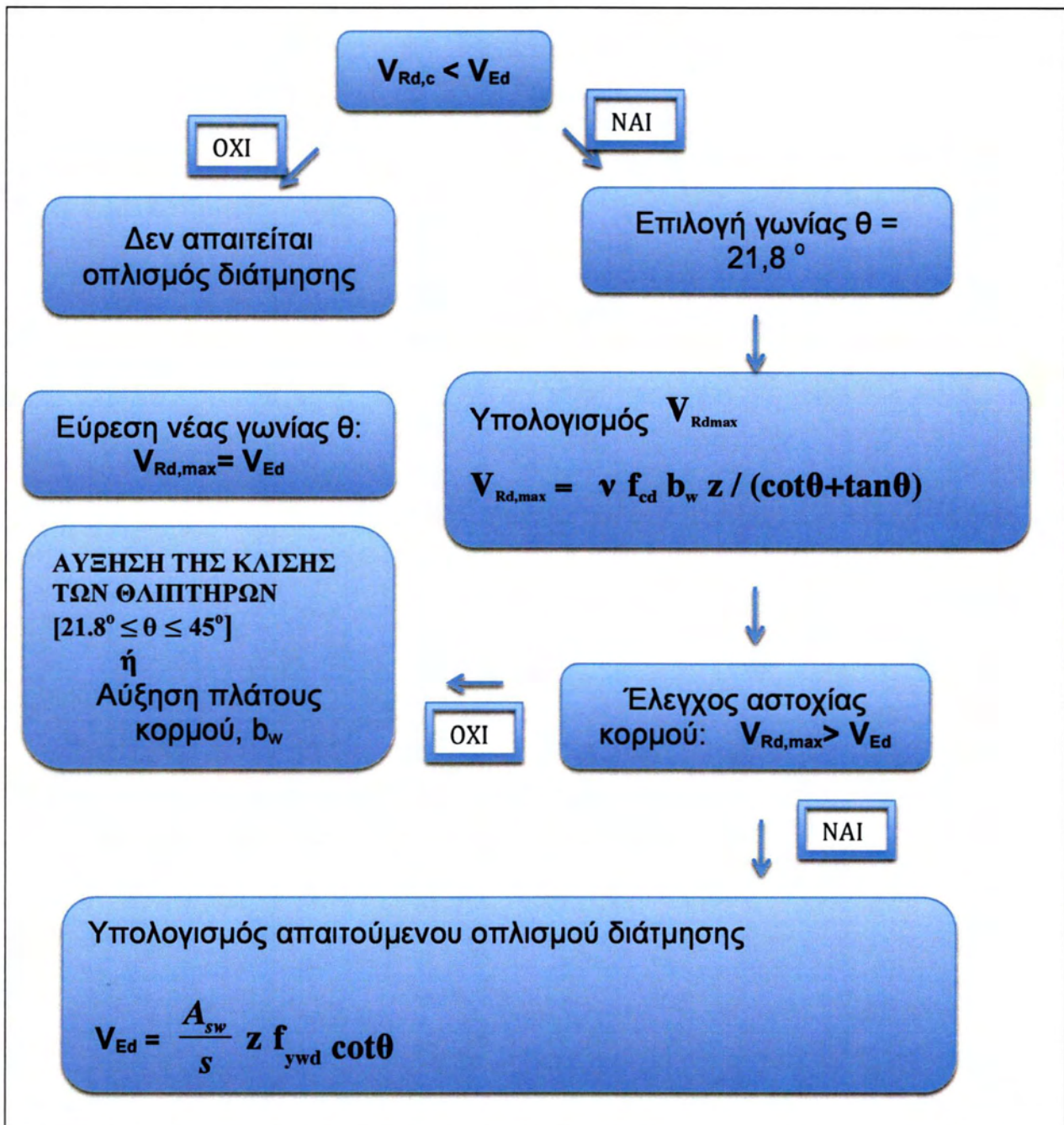
- Διαφορά επίσης υπάρχει και στην εκτίμηση του συντελεστή v για την μείωση της αντοχής ρηγματωμένου σκυροδέματος . Στον EC2 στην περίπτωση στοιχείων είτε σιδηροπαγούς είτε προεντεταμένου σκυροδέματος αν η τάση σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης είναι κάτω από το 80 % της χαρακτηριστικής τάσης διαρροής f_{yk} , τότε η τιμή του v μπορεί να λαμβάνεται ως εξής :

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

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

Ο EC2 προβλέπει 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 $\Delta F_{td} = 0,5 V_{Ed} (\cot \theta - \cot \alpha)$, αλλά η τιμή $(M_{Ed} / z) + \Delta F_{td}$ δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή $(M_{Ed,max} / z)$.

Η διαδικασία του ελέγχου έναντι διάτμησης καθώς και ο υπολογισμός των απαραίτητων οπλισμών διάτμησης παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Αλγόριθμος ελέγχου έναντι τέμνουσας και υπολογισμός του απαραίτητου οπλισμού διάτμησης στον EC2.

3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ

Οι βασικές αρχές είναι κατά κανόνα ίδιες με τον ΕΚΩΣ

Βασικές αρχές σχεδιασμού :

- Διάκριση άμεσης και έμμεσης στρέψης
- Θεώρηση ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής (μη συμπαγείς διατομές $t_{ef} \leq t_{πραγμ}$)
- Κάθε σύνθετη διατομή επιτρέπεται να διασπάται σε επιμέρους που μπορούν να σχεδιάζονται ανεξάρτητα
- Λαμβάνονται υπόψη οι δυστρεψίες των αρηγγμάτων διατομών
- Επιτρέπεται να προστίθενται οι συνδετήρες στρέψης και διάτμησης θεωρώντας όμως ίδια τιμή για την κλίση θ του λοξού θλιπτήρα

Οπλισμός Στρέψης

Οι απαιτούμενοι διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί ΣA_{sl} και ΣA_{sw} για δρώσα ροπή στρέψης T_{Ed} υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις .

Διαμήκης Οπλισμός: $T_{Ed} = 2 A_k (f_{yld} \Sigma A_{sl} / u_k) \tan\theta$

Εγκάρσιος Οπλισμός: $T_{Ed} = 2 A_k (f_{ywd} \Sigma A_{sw} / s) \cot\theta$

Στον EC2 δεν δίνεται η αντίστοιχη σχέση για τον υπολογισμό του εγκάρσιου οπλισμού, όμως με βάση την σχέση για τον διαμήκη μπορεί να υπολογιστεί ο οπλισμός από αυτήν τη σχέση.

Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα

Στον EC2 η αντοχή σε λοξή θλίψη του σκυροδέματος των τοιχωμάτων της ισοδύναμης διατομής προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$T_{Rd,max} = 2 v \alpha_{cw} f_{cd} t A_k \sin\theta \cos\theta$$

Διαφορές με ΕΚΩΣ

Οι σχέσεις είναι ίδιες (με την αντίστοιχη του ΕΚΩΣ) μόνο που ο μειωτικός συντελεστής v υπολογίζεται διαφορετικά,

EC2: $v = 0,6 [1 - f_{ck} / 250]$, με f_{ck} σε MPa

και ο συντελεστής α_{cw} υπολογίζεται όπως στην $V_{Rd,max}$

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 :

$$(T_{sd} / T_{Rd,max}) + (V_{sd} / V_{Rd,max}) \leq 1,00$$

EC2: Σχεδιασμός χωρίς απαίτηση οπλισμού στρέψης (κεφ. 6.3.2)

Για διατομές που μπορούν να αναχθούν κατά προσέγγιση σε ορθογωνικές συμπαγείς διατομές απαιτείται μόνο ο ελάχιστος οπλισμός, εάν ισχύει η συνθήκη:

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

όπου $T_{Rd,c}$ = ροπή ρηγμάτωσης σε στρέψη και δίνεται από τη σχέση:

$$T_{Rd,c} = 2 f_{cd} t_{ef, i} A_k$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

4.1 Απαιτήσεις πλαστιμότητας στις κατασκευαστικές απαιτήσεις και λεπτομέρειες. Ομοιότητες και Διαφορές των κανονισμών ΕΚΩΣ/EC2-EC8 , [ΕΚΩΣ: Κεφ. 18 - EC2: Κεφ. 9 - EC8: Κεφ.5]

- ΕΚΩΣ

Σχετικά με τις δοκούς ο ΕΚΩΣ αναφέρει τα εξής :

Διαμήκεις οπλισμοί (ελάχιστα και μέγιστα ποσοστά οπλισμού) :

Μέγιστο ποσοστό οπλισμού

Το μέγιστο ποσοστό οπλισμού είναι $A_{s,max} = 0.04 A_c$

Για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και σε πιθανές θέσεις σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων το μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού λαμβάνεται ίσο με :

$$\rho_{max} = 0.65 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015 \leq \frac{7}{f_{yd}}$$

Ο περιορισμός του μέγιστου ποσοστού οπλισμού εξασφαλίζει την καλή σκυροδέτηση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, καθώς και ικανοποιητική πλαστιμότητα.

Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού

$$\rho_{min} = 0.5 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad \text{ή} \quad A_{s,min} = 0.5 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d$$

Κρίσιμες περιοχές δοκού με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας :

Αυτά είναι τα ακραία τμήματα της δοκού με μήκος l_{cr} από τις παρειές στήριξης σε υποστύλωμα ή τοίχωμα ίσο με 2 φορές το ύψος δοκού ($l_{cr} = 2 h_w$), επιπλέον κρίσιμη στις δοκούς θεωρείται η περιοχή έδρασης μεγάλου συγκεντρωμένου φορτίου στο άνοιγμα, με μήκος εκατέρωθεν 2 φορές το ύψος της δοκού.

Οπλισμοί διατμήσεως :

Ελάχιστος οπλισμός

$$\rho_{w,min} = \frac{1}{3} \frac{f_{ctk,0.05}/\gamma_c}{f_{yk}}$$

Για να εξασφαλιστεί ικανή απομένουσα αντοχή μετά την ρηγμάτωση και πριν από την θραύση, απαιτείται ένα ελάχιστο ποσοστό διατμητικού οπλισμού. Κάθε δοκός θα πρέπει να έχει σε όλο το μήκος της έναν ελάχιστο αριθμό ανοικτών ή κλειστών συνδετήρων.

Μέγιστη εγκάρσια απόσταση μεταξύ σκελών συνδετήρων (εκτός κρίσιμων περιοχών):
 $s = \min \{d, 500 \text{ mm} \}$

Μέγιστη εγκάρσια απόσταση μεταξύ σκελών συνδετήρων (εντός κρίσιμων περιοχών):

$$s = \min \{h_w / 3, 20 d_{bw}, 200 \text{ mm}, 10d_{bl, \min} \}$$

Οι συνδετήρες συνίσταται να μην έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 12mm. Ενώ στις **κρίσιμες περιοχές** δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, οι συνδετήρες πρέπει να έχουν διάμετρο τουλάχιστον 8mm

Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων (κρίσιμες περιοχές): 8 mm

Οπλισμός στρέψης:

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων έναντι στρέψης είναι κατά τον ΕΚΩΣ :

$s_{l, \max} = u/8$, ενώ ισχύουν και όσα ισχύουν και για δοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

Η **πρόβλεψη επαρκούς εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές πιθανών πλαστικών αρθρώσεων** είναι απαραίτητη για την καλύτερη συμπεριφορά του στοιχείου σε έναν πιθανό σεισμό και επιπλέον συμβάλλει :

- ✓ στον εγκιβωτισμό του σκυροδέματος , με αποτέλεσμα την αύξηση της οριακής του παραμόρφωσης και της αντοχής του σε συνάφεια
- ✓ στην προστασία των διαμήκων ράβδων από λυγισμό
- ✓ στην εξασφάλιση της διατμητικής αντοχής της περιοχής

Ενώσεις του διαμήκους οπλισμού με υπερκάλυψη των άκρων επιτρέπεται μόνο **εκτός των κρίσιμων περιοχών** της δοκού. Οι αποστάσεις συνδετήρων στην περιοχή μιας τέτοιας ένωσης δεν μπορούν να υπερβαίνουν τα 150mm , το τέταρτο του ύψους της δοκού και το οκταπλάσιο της μικρότερης διαμέτρου των ράβδων που ενώνονται.

Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού σε δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

Διατάξεις αγκύρωσης :

- ✓ Οι ράβδοι του πάνω πέλματος που φθάνουν έως μια ενδιάμεση στήριξη σε υποστύλωμα πρέπει να συνεχίζονται, εφόσον είναι κατασκευαστικά δυνατόν, πέρα από τη στήριξη στο επόμενο άνοιγμα και για μήκος τουλάχιστον ίσο με $l_{b, \min}$

$$l_{b, \min} = 0.3 l_b (\geq 10\emptyset) \text{ για ράβδους υπό εφελκυσμό} \\ = 0.6 l_b (\geq 10\emptyset) \text{ για ράβδους υπό θλίψη} \\ \text{(παρ. 17.6.3 ΕΚΩΣ)}$$

$$l_b = \frac{\emptyset}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

- ✓ Όταν δεν είναι κατασκευαστικά δυνατή η ευθύγραμμη συνέχιση των οπλισμών πελμάτων μιας δοκού πέρα από τον κόμβο στήριξης, (π.χ. σε ενδιάμεσα υποστυλώματα που καταλήγουν ανισοϋνείς δοκοί, ή σε ακραία υποστυλώματα), τότε οι ράβδοι των πελμάτων της δοκού μπορούν να αγκυρώνονται μέσα στον κόμβο δοκού – υποστυλώματος (ή δοκού – τοιχώματος), ως εξής :
- Οι ράβδοι πρέπει να επεκτείνονται όσο γίνεται πιο κοντά στην απέναντι πλευρά του κόμβου, όπου και θα κάμπτονται κατά 90° προς το εσωτερικό του κόμβου (δηλ. Οι πάνω ράβδοι προς τα κάτω και οι κάτω προς τα πάνω)
- Το μήκος αγκύρωσης μετράται από απόσταση 5ϕ πέρα από το σημείο εισόδου της ράβδου στον κόμβο. Σχετικώς μπορεί να ληφθεί υπόψη η ευνοϊκή επιρροή της εγκάρσιας θλίψης κατά την παρ. 17.5

Σχετικά με τα υποστυλώματα στον ΕΚΩΣ, για να εξασφαλίζεται επαρκής πλαστιμότητα σε υποστυλώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει η διατομή τους να είναι τέτοια, ώστε να πληρούται η συνθήκη :

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c f_{cd}} \leq 0.65, \text{ για τους συνδυασμούς δράσεων με σεισμό}$$

Κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων : $l_{cr} = \max \{ h_c, l_{cl} / 5, 600 \text{ mm} \}$

Διαμήκεις Οπλισμοί :

Ποσοστό του περιμετρικώς διατεταγμένου διαμήκους οπλισμού:

Ελάχιστο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού : $A_{s,min} = 0.01 A_c$

Μέγιστο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού : $A_{s,max} = 0.04 A_c$

Ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδου : **14 mm**

Ελάχιστος αριθμός ράβδων σε κυκλικά υποστυλώματα : **6**

Σε υποστυλώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, οι διαμήκεις οπλισμοί πρέπει να συγκρατούνται από συνδετήρες ή και εγκάρσιους συνδέσμους και διατάσσονται κατά μήκος της περιμέτρου της διατομής έτσι ώστε η απόστασή τους (η απόσταση των σημείων συγκράτησης από διαδοχικά σκέλη συνδετήρων) να μην ξεπερνά τα 200 mm. Εξαιρέση της απαίτησης αυτής επιτρέπεται σε υποστυλώματα με πλευρά 300 mm, όπου επιτρέπεται να τοποθετούνται ράβδοι μόνο στις γωνίες αυτής της πλευράς.

Οπλισμοί διατμήσεως :

Εκτός κρίσιμων περιοχών

Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων : $\max \left\{ 6 \text{ mm}, \frac{\phi_{L,max}}{4} \right\}$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων : $\{ 12\phi_{L,min}, \min b_c, 300 \text{ mm} \}$

Εντός κρίσιμων περιοχών

Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων : $\max \left\{ 8 \text{ mm}, \frac{\phi_{L,max}}{3} \sqrt{\frac{f_{ydL}}{f_{ydw}}} \right\}$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων : $\left\{ \frac{b_c}{2}, 100 \text{ mm}, 8\phi_{L,min} \right\}$

Περίσφιγξη

Απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού περίσφιγξης :

$$\alpha \omega_{wd} \geq 0.85 \nu_d \left[0.35 \frac{A_c}{A_o} + 0.15 \right] - 0.035$$

Ελάχιστη τιμή, $\omega_{wd} : \omega_{wd} \geq 0.10$

Στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (ΕΚΩΣ παρ. 18.4.5.) θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικός οπλισμός περίσφιγξης. Η διάταξη αυτή αφορά μόνο υποστυλώματα αμιγών πλαισιακών φορέων.

• EC2/EC8

Σχετικά με τις δοκούς οι EC2/EC8 :

Κρίσιμες περιοχές δοκού με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας :

EC8 – ΚΠΜ : $l_{cr} = h_w$

EC8 – ΚΠΥ : $l_{cr} = 1.5 h_w$

όπου h_w = συνολικό ύψος δοκού

Διαμήκεις οπλισμοί (ελάχιστα και μέγιστα ποσοστά οπλισμού) :

Μέγιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού, στις κρίσιμες περιοχές δοκών (ΚΠΜ & ΚΠΥ) – EC8

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

όπου μ_ϕ = δείκτης πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων

Στον EC8 οι επιτρεπόμενες τιμές του ρ_{max} περιορίζονται αρκετά σε σχέση με τον ΕΚΩΣ ιδίως για φορείς ΚΠΥ. Όμως για την περίπτωση σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής που δεν αναφέρεται ο ΕΚΩΣ προβλέπονται μεγάλες τιμές.

Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού

$$EC2 : A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0.0013 b_t d$$

$$EC8 (ΚΠΜ \& ΚΠΥ): \rho_{min} = 0.5 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \text{ ή } A_{s,min} = 0.5 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d$$

Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού σε δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

Για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ευθύγραμμοι άνω και κάτω οπλισμοί δεν πρέπει να διακόπτονται σε απόσταση μικρότερη από l_{cr} από την απέναντι παρειά (στον ΕΚΩΣ η αντίστοιχη απόσταση είναι τουλάχιστον l_{cr})

Οπλισμοί διατμήσεως :

Ελάχιστος οπλισμός:

$$EC2 : \rho_{w,min} = 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

Μέγιστη εγκάρσια απόσταση μεταξύ σκελών συνδετήρων (εκτός κρίσιμων περιοχών):

$$s_{t,max} = 0.75d \leq 600 \text{ mm}$$

Μέγιστες αποστάσεις & ελάχιστες διαμέτροι συνδετήρων (εντός κρίσιμων περιοχών)

EC2/EC8 :

ΚΠΜ - ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων : **6 mm**

- μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων : $s = \min \{ h_w/4 , 24d_{bw} , 225 \text{ mm} , 8d_{bl,min} \}$

ΚΠΥ - ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων : **6 mm**

- μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων : $s = \min \{ h_w/4 , 24d_{bw} , 175 \text{ mm} , 6d_{bl,min} \}$

Οπλισμός στρέψης :

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων έναντι στρέψης είναι κατά τον EC2 :

$$s_{l,max} = \min \{ u/8 , 0.75 d (1 + \cot\alpha) , h , b \}$$

Σχετικά με τα υποστυλώματα οι EC2/EC8 :

Σχετικά με τα υποστυλώματα οι EC2/EC8 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.

EC8 – ΚΠΥ : $v_d \leq 0.55$

EC8 – ΚΠΜ : $v_d \leq 0.65$

Κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων :

ΚΠΜ : $l_{cr} = \max \{ h_c, l_{cl} / 6, 450 \text{ mm} \}$

ΚΠΥ : $l_{cr} = \max \{ 1.5h_c, l_{cl} / 6, 600 \text{ mm} \}$

Διαμήκεις Οπλισμοί:

EC2

Ελάχιστο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού: $A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0.10 N_{Ed}}{f_{yd}}, 0.002A_c \right\}$

Μέγιστο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού: $A_{s,max} = 0.04 A_c$

Ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδου: **8 mm**

Ελάχιστος αριθμός ράβδων σε κυκλικά υποστυλώματα : **4**

EC8

Ελάχιστο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού: $A_{s,min} = 0.01 A_c$

Μέγιστο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού: $A_{s,max} = 0.04 A_c$

Ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδου: **8 mm**

Ελάχιστος αριθμός ράβδων σε κυκλικά υποστυλώματα: **4**

Επιτρεπόμενες αποστάσεις μεταξύ ράβδων διαμήκους οπλισμού που συγκρατούνται εγκάρσια για υπ/τα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας.

EC8 – ΚΠΜ: $\leq 200 \text{ mm}$

EC8 – ΚΠΥ: $\leq 150 \text{ mm}$

➤ 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) Κατά τον EC2 είναι εξαιρετικά μικρή η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος, και ο EC8 επίσης δεν επιβάλλει κάποια μεγαλύτερη τιμή.

Οπλισμοί διάτμησης:

ΚΠΜ,ΚΠΥ:

Εκτός κρίσιμων περιοχών

Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων : $\max \left\{ 6 \text{ mm}, \frac{\phi_{L,max}}{4} \right\}$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων : $\{ 20\phi_{L,min}, \min b_c, 400 \text{ mm} \}$

Εντός κρίσιμων περιοχών

ΚΠΜ :

Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων : **6 mm**

Μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων : $\left\{ \frac{b_0}{2}, 175 \text{ mm}, 8\phi_{L,min} \right\}$

ΚΠΥ:

Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων : $0.4 \phi_{L,max} \sqrt{\frac{f_{ydL}}{f_{ydw}}}$

Μέγιστη απόσταση μεταξύ συνδετήρων : $\left\{ \frac{b_0}{3}, 125 \text{ mm}, 6\phi_{L,min} \right\}$

Περίσφιξη :

Απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού περίσφιξης :

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_{\phi} \nu_d \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_0} - 0.035$$

Ελάχιστη τιμή ω_{wd} :

ΚΠΜ: $\omega_{wd} \geq 0.08$ (μόνο στη βάση του υποστυλώματος)

ΚΠΥ: $\omega_{wd} \geq 0.12$ (μόνο στη βάση του υποστυλώματος)

$\omega_{wd} \geq 0.08$ (στις κρίσιμες περιοχές εκτός της βάσης του υποστυλώματος)

Επιπλέον ο έλεγχος σε περίσφιξη πραγματοποιείται στον EC8 με ορισμένες διαφορές από τον ΕΚΩΣ, ως προς τα εξής:

- ✓ τις σχέσεις υπολογισμού
- ✓ τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές του μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιξης

4.2 Διαστασιολόγηση δοκών και υποστυλωμάτων έναντι σεισμού σε τέμνουσα -

Σύγκριση EC8 / ΕΚΩΣ – ΕΑΚ

Κατηγορίες πλαστιμότητας

Τα αντισεισμικά κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να μπορούν να αναπτύξουν πλαστικούς μηχανισμούς με μεγάλη ικανότητα υστερητικής απόσβεσης υπό ανακυκλική φόρτιση χωρίς να αστοχούν ψαθυρά. Σχεδιάζονται λοιπόν κατά τον EC8 ώστε να έχουν δυνατότητα κατανάλωσης ενέργειας και γενικώς πλάστιμη συμπεριφορά.

Ο EC8 κατατάσσει τα κτήρια ανάλογα με την ικανότητα κατανάλωσης ενέργειας, σε δύο κατηγορίες πλαστιμότητας, **ΚΠΜ** (μέση πλαστιμότητα) και **ΚΠΥ** (υψηλή πλαστιμότητα).

Η τρίτη κατηγορία πλαστιμότητας **ΚΠΧ** (χαμηλή πλαστιμότητα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές χαμηλής σεισμικότητας όπου τα κτήρια σχεδιάζονται με μικρή ικανότητα κατανάλωσης ενέργειας. Η ΚΠΧ απαιτεί την ικανοποίηση μόνο των διατάξεων του EC2.

Ο ΕΚΩΣ κάνει μόνο διάκριση μεταξύ στοιχείων με/χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και όχι ως προς το επίπεδο πλαστιμότητας.

Ικανοτικός σχεδιασμός EC8

Ο ικανοτικός σχεδιασμός έχει στόχο την ιεράρχηση των αντοχών των διαφόρων φερόντων στοιχείων, έτσι ώστε να εξασφαλίζονται οι πλαστικές αρθρώσεις στις δοκούς και όχι στα υποστυλώματα και να αποφεύγονται οι ψαθυρές μορφές αστοχίας, δηλαδή η πλάστιμη αστοχία σε κάμψη να προηγείται της ψαθυρής σε διάτμηση.

Ικανοτικός σχεδιασμός σε διάτμηση δοκών & υποστυλωμάτων

Δοκοί

Η ικανοτική τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού καθορίζεται από τα κατακόρυφα φορτία που δρουν στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού ($g + \psi_2 q$) και από τις ροπές των άκρων που αντιστοιχούν στη ροπή αντοχής των άκρων της δοκού (μία περίπτωση για θετικές και μία περίπτωση για αρνητικές ροπές αντοχής)

Διαστασιολόγηση δοκών έναντι τέμνουσας

Ικανοτική Τέμνουσα Σχεδιασμού

EC2/EC8

$$\text{ΚΠΜ: } V_{Ed} = \frac{1.0 [M_{Rb1} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rc}}{\Sigma M_{Rb}}\right)_1 + M_{Rb2} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rc}}{\Sigma M_{Rb}}\right)_2]}{l_{cl}} \pm V_0$$

$$\text{ΚΠΥ: } V_{Ed} = \frac{1.2 [M_{Rb1} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rc}}{\Sigma M_{Rb}}\right)_1 + M_{Rb2} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rc}}{\Sigma M_{Rb}}\right)_2]}{l_{cl}} \pm V_0$$

ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

$$V_{Ed} = \frac{1.2 \Sigma M_{Rb}}{l_{cl}} \pm V_0 \leq \frac{q V_{E,d}}{1.2}$$

Αντοχή σε Τέμνουσα εκτός κρίσιμων περιοχών

EC2/EC8

Όπως στον EC2

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot \theta, 21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \text{ και } V_{cd} = 0$$

ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot \theta + V_{cd}, \theta = 45^\circ \text{ και } V_{cd} = V_{Rd1}$$

Αντοχή σε Τέμνουσα εντός κρίσιμων περιοχών

EC2/EC8

ΚΠΥ: $V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot \theta, \theta = 45^\circ \text{ και } V_{cd} = 0$

ΚΠΜ: ομοίως για εκτός κρίσιμων περιοχών

ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot \theta + V_{cd}, \theta = 45^\circ \text{ και } V_{cd} = 0.3V_{Rd1}$$

Εάν $\zeta = \frac{V_{Ed, \min, i}}{V_{Ed, \max, i}} < -0.5$ σε κρίσιμες περιοχές, απαιτούνται λοξές ράβδοι εμβαδού A_s

όπου ζ = λόγος μέγιστης προς ελάχιστη τέμνουσα δύναμη στη διατομή

EC2/EC8

ΚΠΥ: Εάν $V_{E, \max} > (2 + \zeta) f_{ctd} b_w d$, τότε: $A_s = 0.5 \frac{V_{E, \max}}{2 f_{yd} \sin \alpha}$
και συνδετήρες για $0.5V_{E, \max}$

ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

Εάν $1.125 < \frac{V_{E, \max}}{(2 + \zeta) f_{ctd} b_w d} < 2.25$

τότε : $A_s = 0.5 \frac{V_{E,max}}{2 f_{yd} \sin \alpha}$ και συνδετήρες για $0.5 V_{E,max}$

Εάν $\frac{V_{E,max}}{(2+\zeta) f_{ctd} b_w d} > 2.25$, τότε $A_s = \frac{V_{E,max}}{2 f_{yd} \sin \alpha}$

Σχόλια :

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 $\theta < 45^\circ$

Υποστυλώματα

Η ικανοτική τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού καθορίζεται από την ισορροπία του υποστυλώματος μόνο υπό ροπές άκρων που αντιστοιχούν στο σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων. Δεν έχει νόημα η φόρτιση με θετικές και αρνητικές ροπές αντοχής άκρων, αντίθετα αρκεί η μια διεύθυνση αφού κατά κανόνα τα υποστυλώματα είναι συμμετρικώς οπλισμένα

Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων έναντι τέμνουσας

Ικανοτική Τέμνουσα Σχεδιασμού

EC2/EC8

$$\text{ΚΠΥ: } V_{Ed} = \frac{1.3 [M_{Rc1} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}}\right)_1 + M_{Rc2} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}}\right)_2]}{l_{cl}}$$

$$\text{ΚΠΜ: } V_{Ed} = \frac{1.1 [M_{Rc1} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}}\right)_1 + M_{Rc2} \min\left(1; \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}}\right)_2]}{l_{cl}}$$

Στην περίπτωση που προηγηθεί ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα, με ($\Sigma M_{Rdc} < \Sigma M_{Rdb}$) , οι τιμές των ροπών αντοχής M_{Rb} στα άκρα μιας δοκού λαμβάνονται μειωμένες κατά τον λόγο ($\Sigma M_{Rdc} < \Sigma M_{Rdb}$)

ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

$$V_{Ed} = \frac{1.4 \Sigma M_{Rc}}{l_{cl}} \leq q V_{E,c}$$

Αντοχή σε Τέμνουσα εκτός κρίσιμων περιοχών

EC2/EC8

Όπως στον EC2

ΚΠΜ/ΚΠΥ :

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot\theta, 21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \text{ και } V_{cd} = 0$$

ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot\theta + V_{cd}, \theta = 45^\circ \text{ και } V_{cd} = V_{Rd1}$$

Αντοχή σε Τέμνουσα εντός κρίσιμων περιοχών

EC2/EC8

Όπως στον EC2

ΚΠΜ/ΚΠΥ :

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot\theta, 21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \text{ και } V_{cd} = 0$$

ΕΚΩΣ/ΕΑΚ

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d f_{ywd} \cot\theta + V_{cd}, \theta = 45^\circ \text{ \&}$$

- a) $V_{cd} = 0.3 V_{Rd1}$ αν $v_d > -0.1$
- b) $V_{cd} = 0.9 V_{Rd1}$ αν $v_d \leq -0.1$

Σχόλια:

- ✓ Υπάρχει μείωση της ικανοτικής τέμνουσας για ΚΠΥ και για ΚΠΜ σε σχέση με τον ΕΑΚ. Περισσότερο αυστηρός είναι ο ΕΑΚ στον υπολογισμό της ικανοτικής τέμνουσας
- ✓ Στον EC8 $V_{cd} = 0$, εντός και εκτός κρίσιμων περιοχών, άρα έχουμε μεγαλύτερη απαίτηση συνδετήρων (για ίδια τέμνουσα στον ΕΑΚ)

4.3 Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή διατμητικού οπλισμού έναντι τέμνουσας με βάση τις εξισώσεις EC2

Συντελεστές :

$\alpha = 90^\circ$ (κατακόρυφοι συνδετήρες)

$\gamma_s = 1.15$ (συντελεστής ασφαλείας χάλυβα)

$\gamma_c = 1.5$ (συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος)

$z = 0.9d$

Επεξήγηση αξόνων X και Y για Σχ. 7, 8 και Σχ. a, b, c

Άξονας Y:

$$V_{Rd,max} = b_w z \nu f_{cd} \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (\alpha_{cw}=1) \quad (\text{Αντοχή λοξού θλιπτήρα})$$

$$\Rightarrow \left[\frac{V_{Rd,max}}{b_w \cdot d} \right] = 0.9 \cdot \nu \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} \cdot \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} = 0.9 \cdot 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} \cdot \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$= \frac{0.9 \cdot 0.6}{1.5} \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot f_{ck} \cdot \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$= 0.36 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot f_{ck} \cdot \frac{\sin 2\theta}{2}$$

$$= 0.18 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta$$

εξ. (1)

$$[V_{Rd,max} = V_{Ed}]$$

Άξονας X:

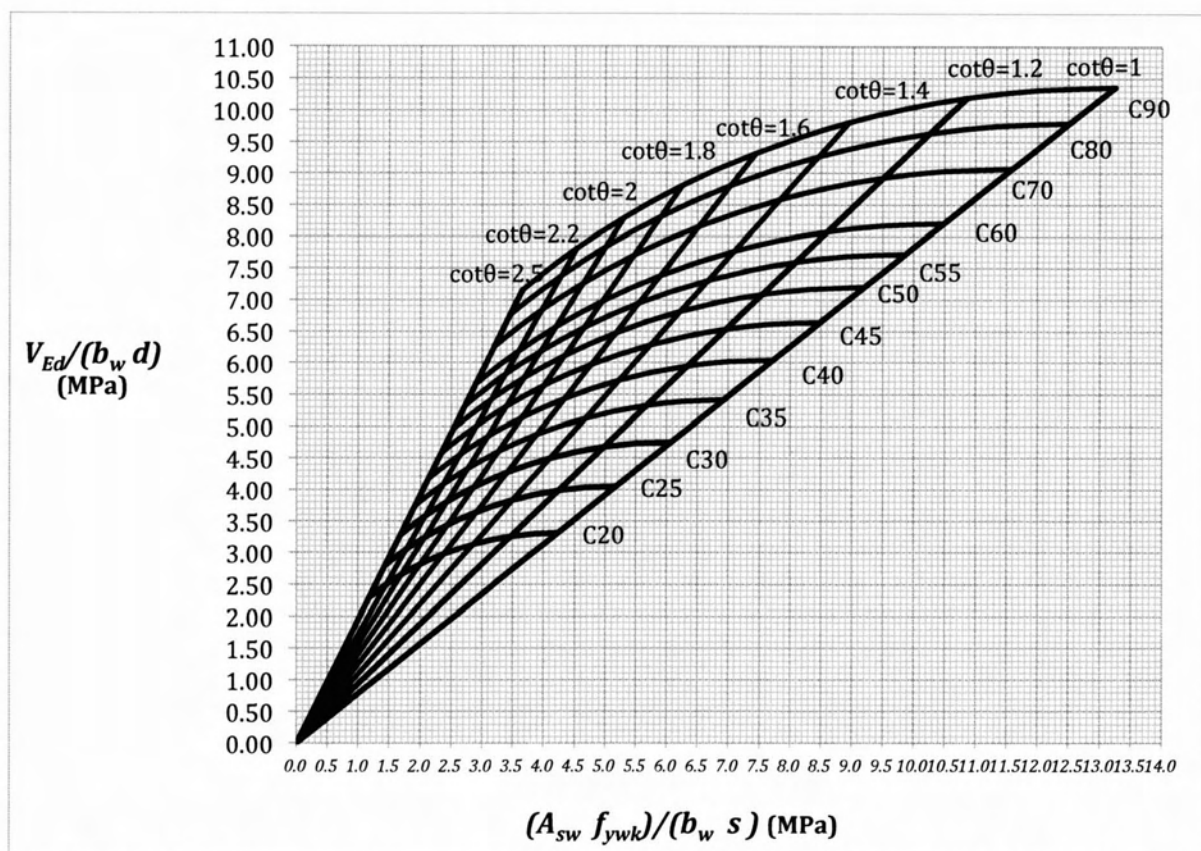
$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d \frac{f_{yw}}{1.15} \cot \theta$$

$$\Rightarrow \left[\frac{V_{Rd,s}}{b_w d} \right] = \frac{A_{sw} \cdot f_{yw}}{s \cdot b_w} \cot \theta \frac{0.9}{1.15}$$

$$\Rightarrow \left[\frac{A_{sw} \cdot f_{yw}}{b_w \cdot s} \right] = \frac{V_{Ed}}{b_w d} \cdot \frac{1.15}{0.9} \cdot \frac{1}{\cot \theta},$$

εξ. (2)





Σχήμα 8: Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή του διατμητικού οπλισμού.

Οι **καμπύλες** στο Σχήμα 8 απεικονίζουν τις τιμές που αντιστοιχούν στην αντοχή του διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις επιτρεπόμενες (από τον κανονισμό) γωνίες, και για ένα εύρος αντοχών σκυροδέματος (C20 ÷ C90).

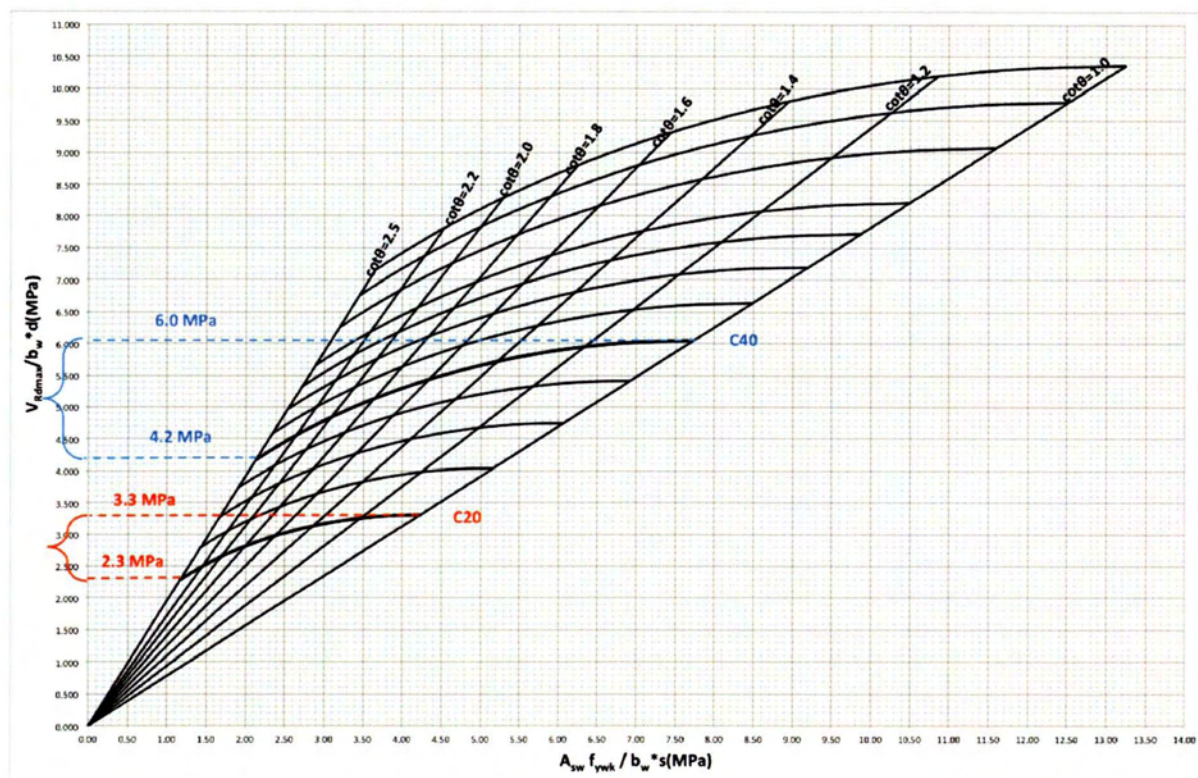
Δείχνουν δηλαδή το εύρος μέσα στο οποίο είναι επιτρεπτό να κυμαίνονται οι τιμές της δρώσας τέμνουσας (διατμητική τάση), για μια προκαθορισμένη αντοχή σκυροδέματος.

Η **καμπύλες** δημιουργούνται με τιμές Y τις τιμές του λόγου V_{Rd2}/d (μονάδες: N/mm) για διάφορες επιτρεπόμενες τιμές της γωνίας θ (cot θ =2.5, 2.2, 2, 1.8, 1.6, 1.4, 1.2, 1) και τιμές X τις τιμές του λόγου A_{sw}/s θέτοντας ως τέμνουσα δράσης τις τιμές του θλιπτήρα V_{Rd2} , που έχουν προκύψει για τις εκάστοτε τιμές της γωνίας θ . Δηλαδή, το κάθε σημείο της καμπύλης αντιστοιχεί σε $(Y, X) = (V_{Rd2}, V_{wd})$.

Οι ευθείες προκύπτουν εάν ενώσουμε την αρχή του άξονα με τα σημεία εκείνα των καμπυλών που αντιστοιχούν στις γωνίες: cot θ = 2.5, 2.2, 2, 1.8, 1.6, 1.4, 1.2, 1. Δηλαδή, με τις τιμές της αντοχής του θλιπτήρα που αντιστοιχούν σε αυτές τις γωνίες.

Παράδειγμα :

(Η τέμνουσα δράσης στον κατακόρυφο άξονα δίνεται σε μονάδες τάσης [MPa])



Σχήμα 9: Εύρος τιμών δρώσας διατμητικής τάσης που αντιστοιχεί στην αντοχή θλιπτήρα για αντοχή σκυροδέματος C20 και C40.

Το Σχήμα 9 απεικονίζει το εύρος των τιμών αντοχής θλιπτήρα για τις επιτρεπόμενες γωνίες θλιπτήρα και για δύο αντοχές σκυροδέματος C20 και C40. Αυτό σημαίνει ότι, η δρώσα διατμητική τάση δεν επιτρέπεται να υπερβεί το άνω όριο του εύρους τιμών για την εκάστοτε αντοχή σκυροδέματος (Σχήμα 9).

Για αντοχή σκυροδέματος C40 :

Το άνω επιτρεπόμενο όριο τιμών της δρώσας διατμητικής τάσης : 6 MPa (βλέπε Σχήμα 9).

Για αντοχή σκυροδέματος C20 :

Το άνω επιτρεπόμενο όριο τιμών της δρώσας διατμητικής τάσης : 3.3 MPa (βλέπε Σχήμα 9).

Ωστόσο, επιτρέπεται (για την εκάστοτε αντοχή σκυροδέματος) οι τιμές της τέμνουσας να βρίσκονται κάτω από το κάτω όριο του εύρους αντοχής θλιπτήρα. Για κατηγορία σκυροδέματος C40 το κάτω όριο (η χαμηλότερη τιμή της αντοχής του θλιπτήρα που αντιστοιχεί και στην μικρότερη γωνία) είναι 4.2 MPa, ενώ για κατηγορία σκυροδέματος C20 το κάτω όριο είναι 2.3 MPa. Π.χ. για C20 επιτρέπεται οι τιμές της τάσης τέμνουσας να βρίσκονται κάτω από 2.3 MPa. Όμως δεν επιτρέπεται να υπερβαίνουν την τιμή 3.3 MPa.

Αυτό θα σημαίνει ότι υπάρχει ασφάλεια από άποψη αστοχίας θλιπτήρα, αφού η τιμή θα βρίσκεται κάτω από την καμπύλη (άρα κάτω από τις τιμές του διαγώνιου θλιπτήρα).

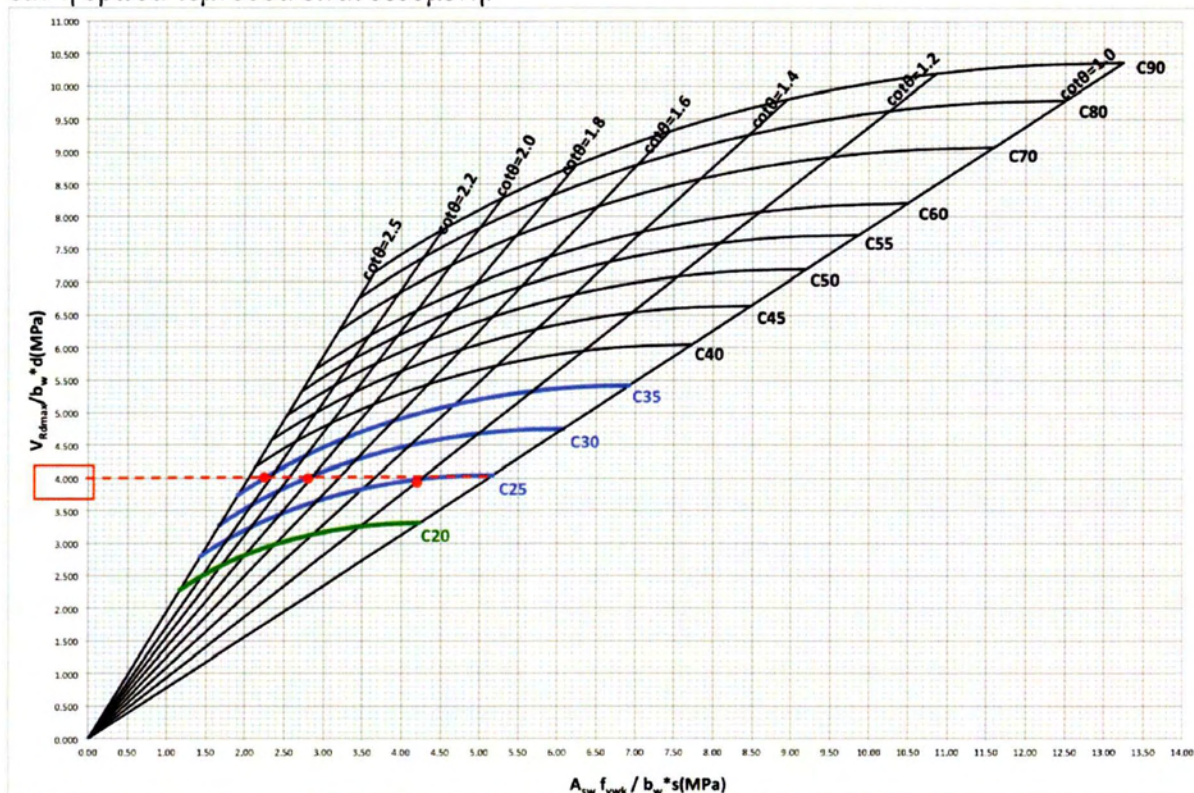
Οι τιμές των διατμητικών τάσεων $4.2 \text{ MPa} \div 6 \text{ MPa}$ για **C40** και $2.3 \text{ MPa} \div 3.3 \text{ MPa}$ για **C20** (Σχήμα 9) είναι οι τιμές που ορίζονται από την καμπύλη και είναι οι τιμές που αντιστοιχούν στην αντοχή του διαγώνιου θλιπτήρα με τη μέγιστη τιμή να αντιστοιχεί σε γωνία $\theta = 45^\circ$ ($\cot\theta = 1$).

Επομένως, εάν η δρώσα τέμνουσα κυμαίνεται μέσα σε αυτό το εύρος των τιμών για τη δεδομένη αντοχή σκυροδέματος σημαίνει ότι η δρώσα τέμνουσα ισούται με μια τιμή αντοχής θλιπτήρα που αντιστοιχεί στην δεδομένη αντοχή σκυροδέματος και στην εκάστοτε γωνία θλιπτήρα (κάθε σημείο της καμπύλης του θλιπτήρα, αντιστοιχεί σε μια γωνία θλιπτήρα).

Αυτό σημαίνει ότι για την εκάστοτε αντοχή σκυροδέματος (**C20** , **C40**, κλπ.) δεν επιτρέπεται η δρώσα τέμνουσα να υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή του παραπάνω εύρους τιμών γιατί τότε αστοχεί ο θλιπτήρας.

Επιλογή Αντοχής Σκυροδέματος :

Το διάγραμμα μπορεί να χρησιμεύσει και για την επιλογή της αντοχής του σκυροδέματος, εάν η δρώσα τέμνουσα είναι δεδομένη.

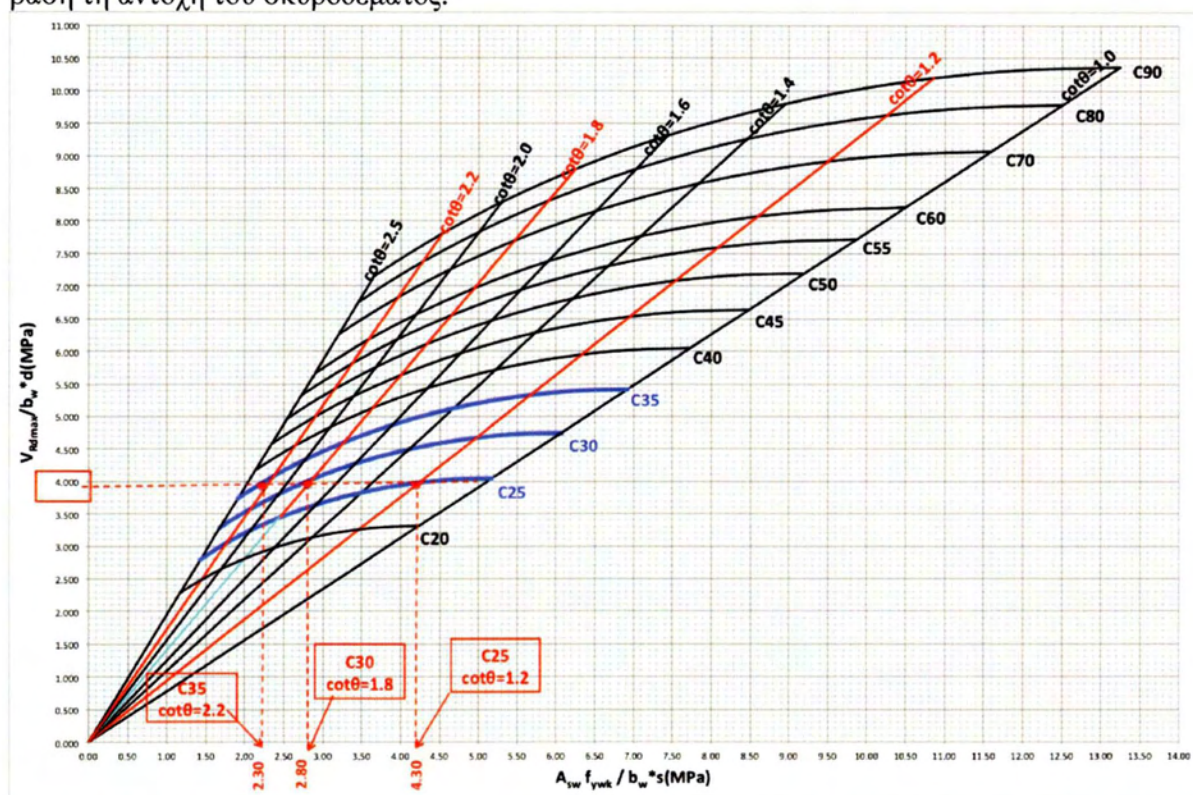


Σχήμα 10: Επιλογή αντοχής σκυροδέματος.

Παράδειγμα : Από το Σχήμα 10 είναι προφανές ότι για δρώσα διατμητική τάση **4 MPa**, δεν επιτρέπεται η επιλογή σκυροδέματος **C20**, διότι η τιμή 4 MPa βρίσκεται πάνω από την καμπύλη C20, άρα βρίσκεται και πάνω από τις τιμές αντοχής του διαγώνιου θλιπτήρα για αντοχή σκυροδέματος C20.

Επιλογή Ελάχιστου Διατμητικού Οπλισμού (ανάλογα με την αντοχή του σκυροδέματος) :

Η ελάχιστη δυνατή τιμή του διατμητικού οπλισμού δίνεται στο Σχήμα 11 από τα σημεία στον άξονα X στα οποία αντιστοιχούν τα σημεία τομής της οριζόντιας γραμμής που αναφέρεται στη δρώσα διατμητική τάση με τη δεδομένη καμπύλη αστοχίας του θλιπτήρα με βάση τη αντοχή του σκυροδέματος.



Σχήμα 11: Επιλογή ελάχιστου διατμητικού οπλισμού.

Παράδειγμα (Σχήμα 11): Η ευθεία που αντιστοιχεί σε δρώσα διατμητική τάση **4 MPa** τέμνει 3 καμπύλες:

1. Την καμπύλη αντοχής διαγώνιου θλιπτήρα για **C35** στο σημείο τομής της με την ευθεία $\cot\theta=2.2$ (άρα την τέμνει στην τιμή της αντοχής του θλιπτήρα για αντοχή **C35** και γωνία θλιπτήρα $\cot\theta=2.2$). Το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε τιμή $A_{sw} f_{yw}k / b_w \cdot s = 2.3$ MPa .
2. Την καμπύλη αντοχής διαγώνιου θλιπτήρα **C30** στο σημείο τομής της με την ευθεία $\cot\theta=1.8$. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε τιμή $A_{sw} f_{yw}k / b_w \cdot s = 2.8$ MPa.

3. Την καμπύλη αντοχής διαγώνιου θλιπτήρα **C25** στο σημείο τομής της με την ευθεία $\cot\theta=1.2$. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε τιμή $A_{sw} f_{yk} / b_w s = 4.3 \text{ MPa}$.

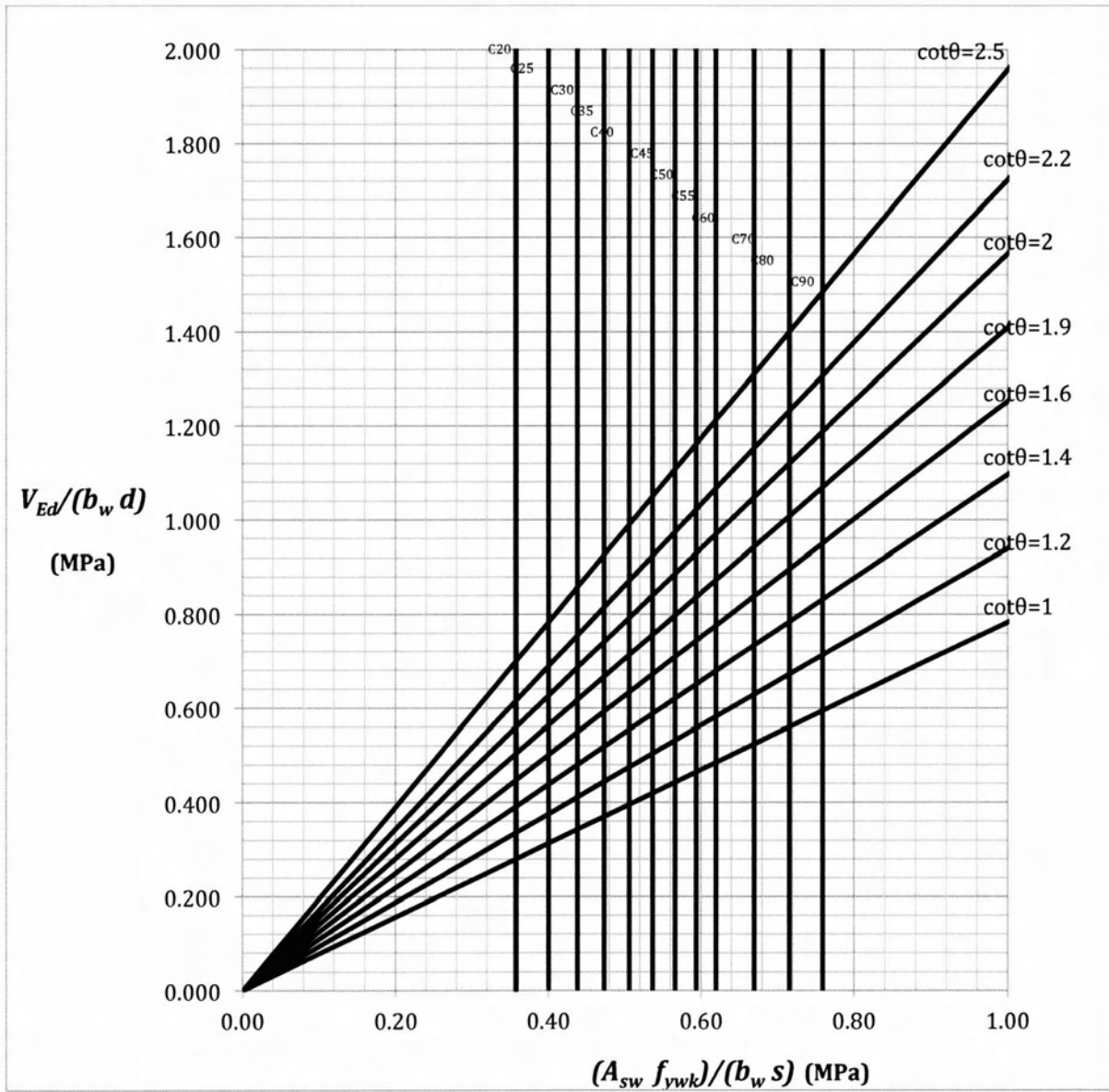
(C35) \rightarrow 2.3MPa < (C30) \rightarrow 2.8MPa < (C25) \rightarrow 4.3MPa

Συμπέρασμα : Για αντοχή σκυροδέματος **C35** (την μεγαλύτερη από τις δεδομένες τρεις) και για την μικρότερη γωνία διαγώνιου θλιπτήρα $\theta= 24.4^\circ$ ($\cot\theta= 2.2$), προκύπτει η βέλτιστη λύση, δηλαδή ο ελάχιστος οπλισμός διάτμησης.

Ο EC2 δίνει ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού, $\rho_{w,min} = 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$, και έτσι προκύπτουν στο διάγραμμα οι ευθείες που δείχνουν τους ελάχιστους οπλισμούς για κάθε αντοχή σκυροδέματος.

$$\left[\frac{A_{sw} \cdot f_{yk}}{b_w \cdot s} \right]_{min} = 0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad ,$$

Στο Σχήμα 12 οι ευθείες δίνουν τις τιμές στον άξονα **X** που αντιστοιχούν στον ελάχιστο οπλισμό για την εκάστοτε αντοχή σκυροδέματος (C20 ÷ C90)



Σχήμα 12: Απεικόνιση τιμών ελάχιστου διατμητικού σπλισμού.

4.4 Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή διατμητικού οπλισμού έναντι τέμνουσας με βάση τις εξισώσεις ΕΚΩΣ

Συντελεστές :

$$\alpha = 90^\circ \text{ (κατακόρυφοι συνδετήρες)}$$

$$\gamma_s = 1.15 \text{ (συντελεστής ασφαλείας χάλυβα)}$$

$$\gamma_c = 1.5 \text{ (συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος)}$$

$$z = 0.9d$$

Στον ΕΚΩΣ η υψηλότερη ποιότητα σκυροδέματος είναι **C50/60**. Επίσης, στον ΕΚΩΣ ισχύει ότι ο συντελεστής ν είναι ο δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης και δίνεται από την σχέση:

$$\nu = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.5 \text{ (} f_{ck} \text{ σε } MPa \text{)}$$

από την οποία προκύπτει ότι $f_{ck} \leq 40 MPa$

Επεξήγηση αξόνων X και Y για Σχ. 9, 10, 11:

Άξονας Y :

$$V_{Rd2} = b_w z \nu f_{cd} \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (\alpha_{cw}=1) \quad \text{Αντοχή λοξού θλιπτήρα}$$

$$\Rightarrow \left[\frac{V_{Rd2}}{b_w \cdot d} \right] = 0.9 \nu \frac{f_{ck}}{1.5} \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} = 0.9 \left[0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \right] \frac{f_{ck}}{1.5} \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$= 0.9 \cdot \left[0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \right] \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} \cdot \frac{\sin 2\theta}{2}$$

$$= 0.3 \cdot \left[0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta,$$

εξ. (1)

$$[V_{Rd2} = V_{Ed}]$$

Άξονας X:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta = \frac{A_{sw}}{s} 0.9 d \frac{f_{ywk}}{1.15} \cot \theta$$

$$\Rightarrow \left[\frac{V_{wd}}{b_w \cdot d} \right] = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywk}}{s \cdot b_w} \cot \theta \frac{0.9}{1.15}$$

$$\Rightarrow \left[\frac{A_{sw} \cdot f_{ywk}}{b_w \cdot s} \right] = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{1.15}{0.9} \cdot \frac{1}{\cot \theta},$$

εξ. (2)

Ο ΕΚΩΣ στην παρ. 11.2.3 (“Υπολογισμός αντοχών – τυπική μέθοδος”) αναφέρει για την τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω λοξής θλίψης κορμού, ότι η τυπική μέθοδος βασίζεται

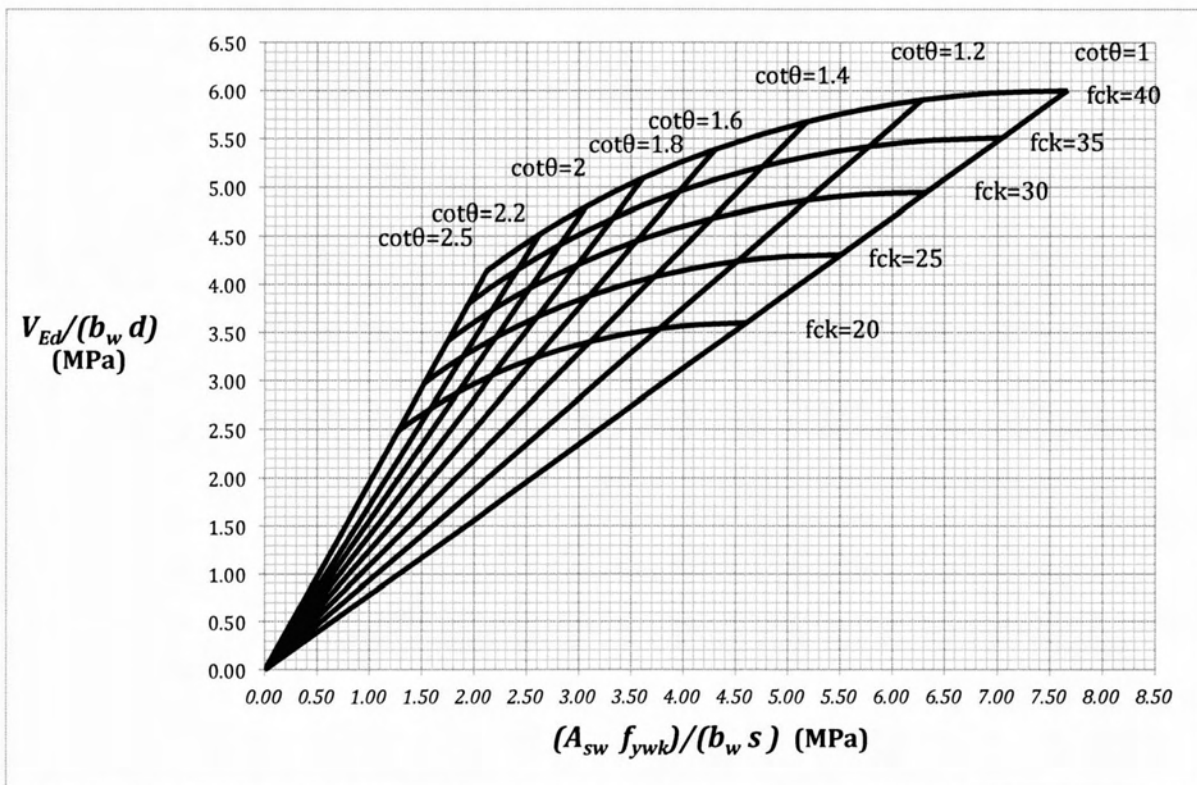
στην παραδοχή ότι η γωνία κλίσης των θλιβόμενων διαγωνίων του σκυροδέματος είναι $\theta=45^\circ$.

Ενώ στην παρ. 11.2.5 ("Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού αντοχών δοκών έναντι τέμνουσας – γενική μέθοδος") αναφέρει ότι η γενική μέθοδος παρέχει την δυνατότητα πιο ορθολογικής εκτίμησης της σχέσης μεταξύ της κλίσης θ των θλιβόμενων διαγωνίων του σκυροδέματος και του διαμήκους οπλισμού, και ορίζει για την γωνία τους παρακάτω περιορισμούς

- a) Δοκοί με σταθερό διαμήκη οπλισμό $0.4 < \cot\theta < 2.5$
- b) Δοκοί με κλιμακούμενο διαμήκη οπλισμό $0.5 < \cot\theta < 2.0$

Στο Σχήμα 15, οι καμπύλες αντοχής θλιπτήρα δημιουργήθηκαν για το εύρος που επιτρέπει ο ΕΚΩΣ $0.4 < \cot\theta < 2.5$, ώστε να φανεί και εποπτικά ότι η αντοχή του θλιπτήρα μειώνεται για γωνίες θλιπτήρα μεγαλύτερες από $\theta=45^\circ$. Για τη σύγκριση των δύο κανονισμών οι καμπύλες αντοχής θλιπτήρα δημιουργήθηκαν στο Σχήμα 13 για το εύρος γωνιών με $1 < \cot\theta < 2.5$ που χρησιμοποιείται και στον EC2.

Ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκε το όριο $0.4 < \cot\theta < 2.5$ των γωνιών θλιπτήρα είναι ότι το διάγραμμα σχεδιασμού στοχεύει στην εξεύρεση του ελάχιστου διατμητικού οπλισμού. Καθώς η αντοχή του θλιπτήρα μειώνεται για γωνίες θλιπτήρα μεγαλύτερες από $\theta=45^\circ$, για δεδομένη τέμνουσα δράσης στον κατακόρυφο άξονα το διάγραμμα θα δώσει τιμή διατμητικού οπλισμού και για γωνίες μικρότερες της $\theta=45^\circ$ αλλά και για γωνίες μεγαλύτερες αυτής. Οι τιμές του διατμητικού οπλισμού που θα αντιστοιχούν σε γωνίες μεγαλύτερες της $\theta=45^\circ$, θα δώσουν μεγαλύτερο απαιτούμενο διατμητικό οπλισμό. Εξάγεται επομένως το συμπέρασμα ότι για την διαστασιολόγηση είναι χρήσιμο μόνο το εύρος της γωνίας του θλιπτήρα που αντιστοιχεί σε $1 < \cot\theta < 2.5$.



Σχήμα 13: Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή διατμητικού οπλισμού.

Ο ελάχιστος εγκάρσιος οπλισμός για την εκάστοτε αντοχή σκυροδέματος δίνεται από την εξίσωση του ΕΚΩΣ :

$$\rho_{w,min} = \frac{1}{3} \frac{\frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}}{f_{yk}}$$

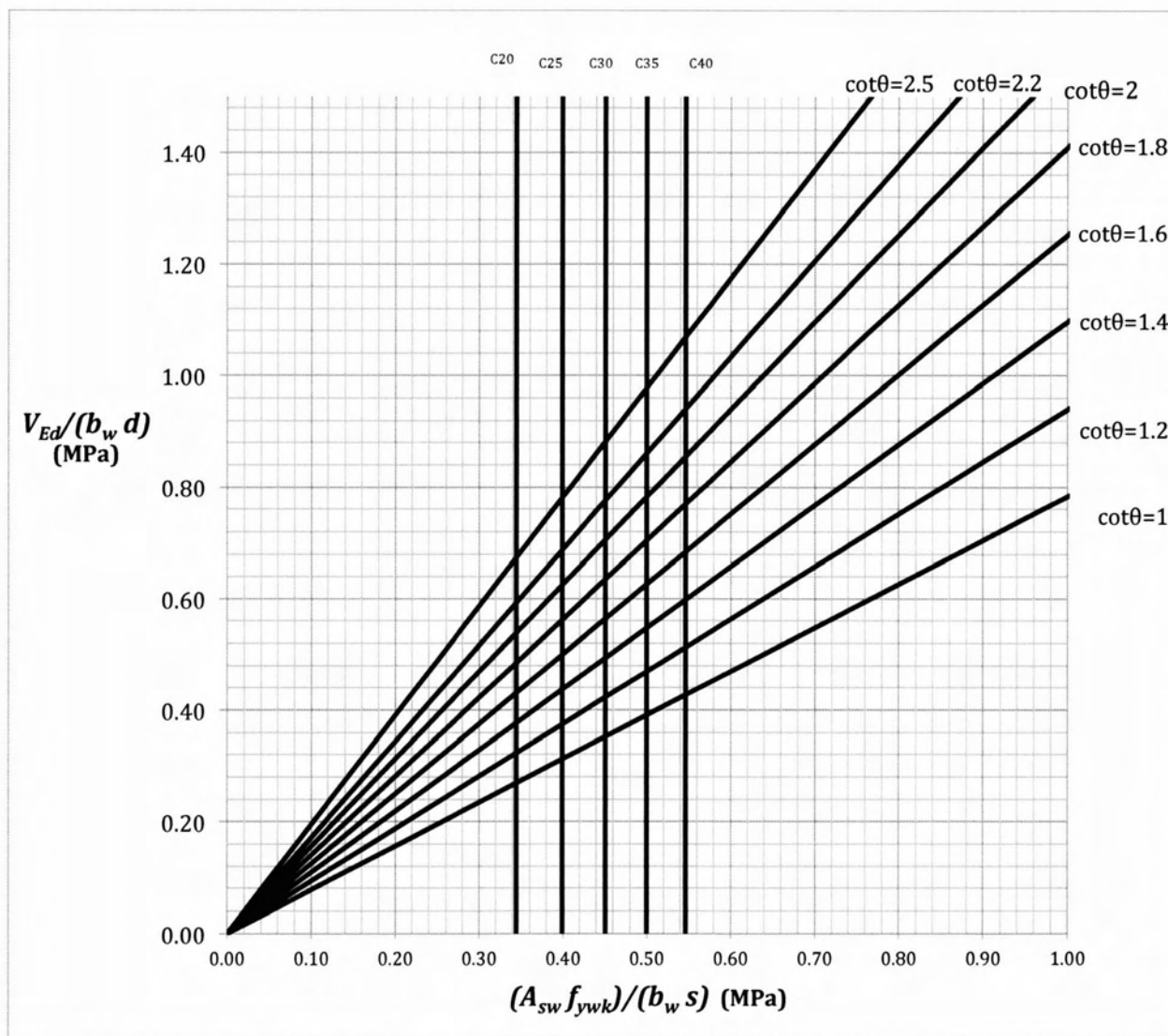
Έτσι, προκύπτουν στο διάγραμμα οι ευθείες που δείχνουν τους ελάχιστους οπλισμούς για κάθε θλιπτική αντοχή σκυροδέματος.

$$\left[\frac{A_{sw} \cdot f_{yw}}{b_w \cdot s} \right]_{min} = \frac{f_{ctk,0.05}}{3 \gamma_c}$$

$$f_{ctk,0.05} = 0.7 f_{ctm} = 0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{\frac{2}{3}}, f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

Επομένως,

$$\left[\frac{A_{sw} \cdot f_{yw}}{b_w \cdot s} \right]_{min} = \frac{0.07 f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{1.5}, \text{ με την μορφή ευθείας γραμμής στο Σχήμα 14}$$

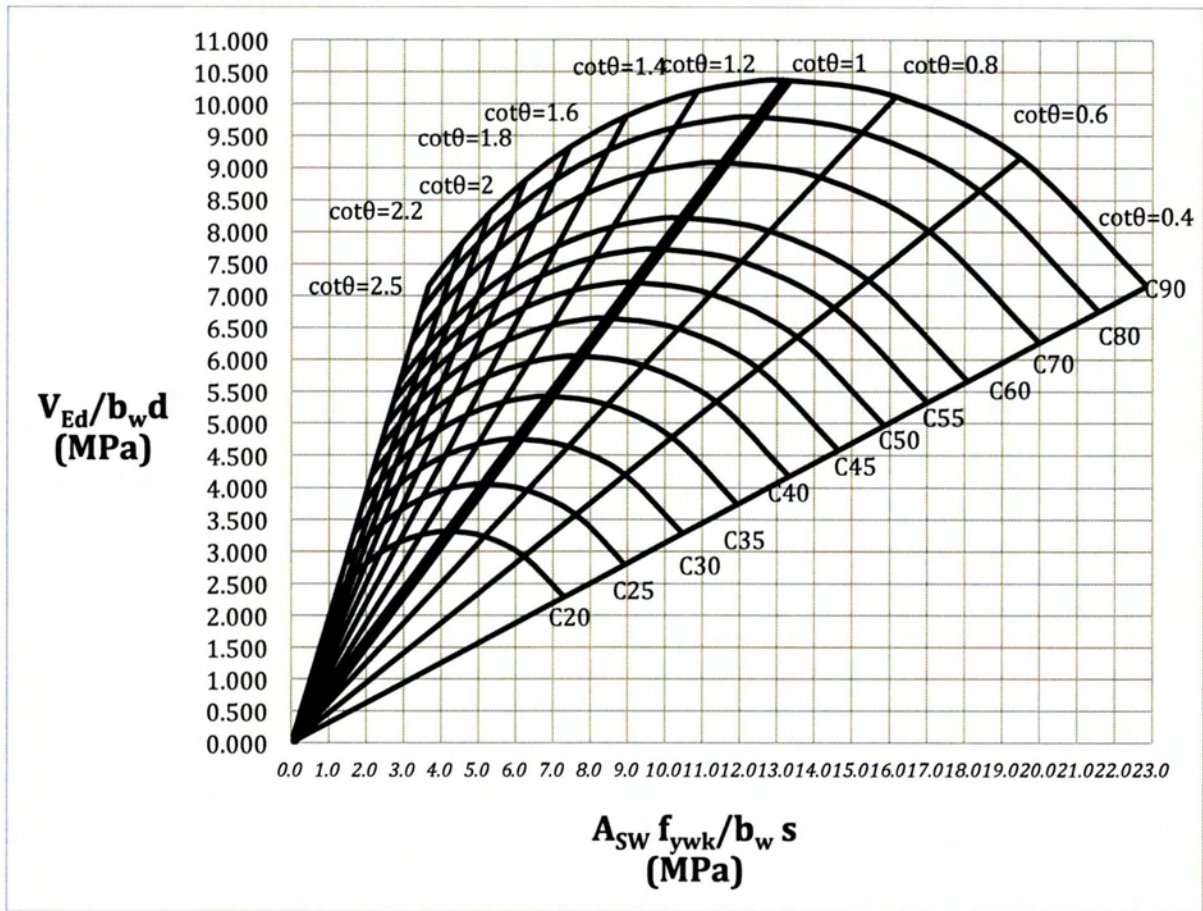


Σχήμα 14: Απεικόνιση τιμών ελάχιστου διατμητικού οπλισμού.

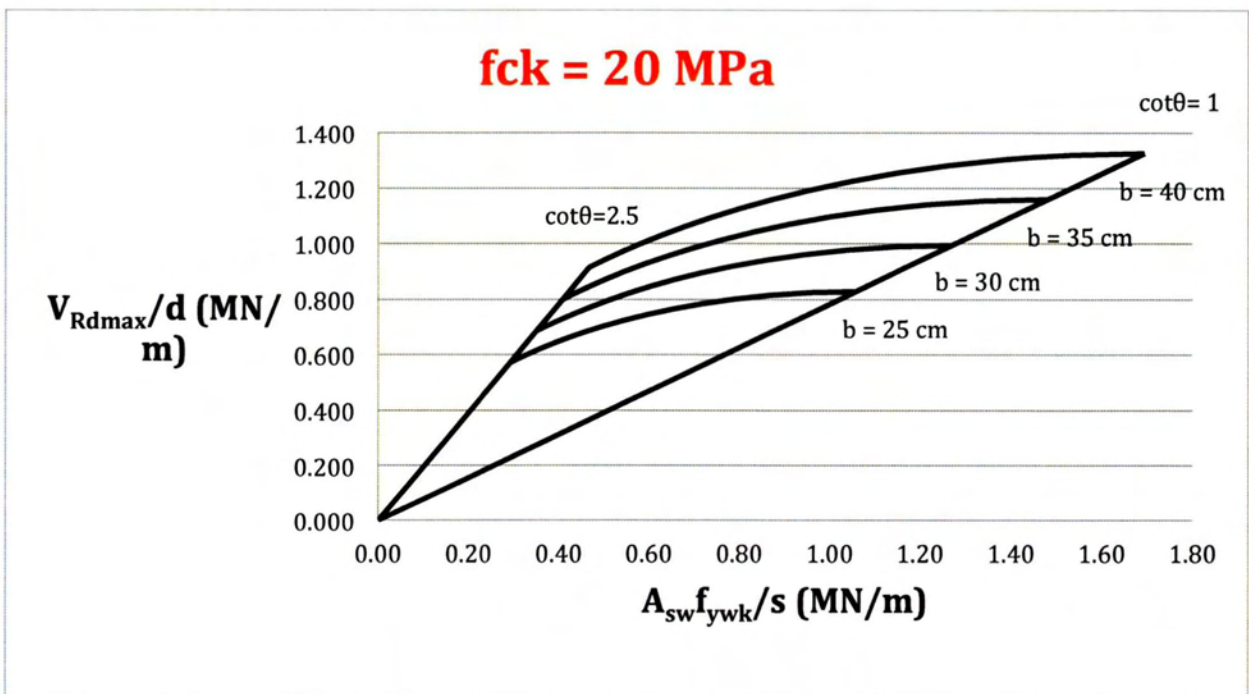
Στο Σχήμα 15 φαίνεται ότι οι καμπύλες των διαγραμμάτων αποκτούν την μέγιστη τιμή τους για γωνία θλιπτήρα $\theta=45^\circ$, δηλαδή για $\cot\theta=1$.

Αυτό συμβαίνει διότι η εξίσωση :

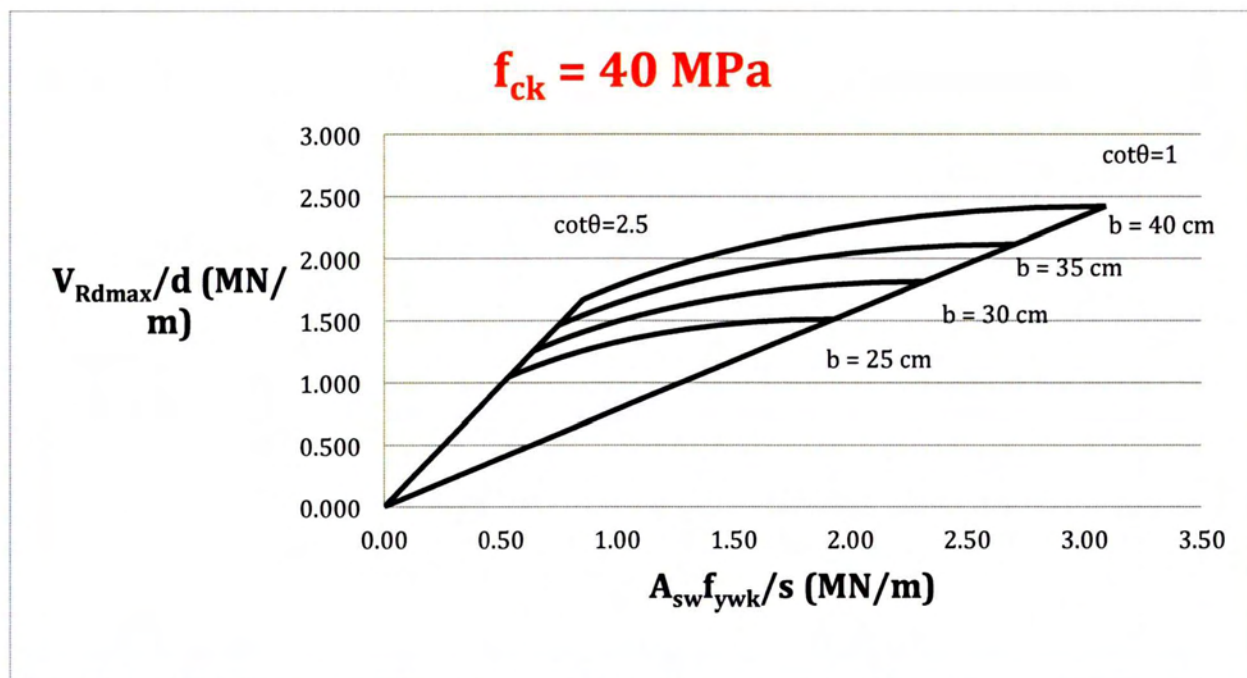
$$\left[\frac{V_{Rd,max}}{b_w \cdot d} \right] = 0.18 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot f_{ck} \cdot \sin 2\theta, \text{ αποκτά την μέγιστη τιμή της για } \sin 90^\circ = 1$$



Σχήμα 15: Διάγραμμα σχεδιασμού για την επιλογή οπλισμού διάτμησης ($2.5 < \cot\theta < 0.4$).



Σχήμα 16: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$, $b = 25, 30, 35, 40 \text{ cm}$.



Σχήμα 17: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$, $b = 25, 30, 35, 40 \text{ cm}$.

Στο Σχήμα 16 και στο Σχήμα 17 φαίνεται πως για δεδομένες αντοχές σκυροδέματος, π.χ. C20 και C40, οι καμπύλες της αντοχής του θλιπτήρα μεταβάλλονται για διάφορες τιμές του πλάτους της διατομής b . Όσο αυξάνουμε το πλάτος b , τόσο οι καμπύλες ανεβαίνουν στο διάγραμμα άρα η αντοχή του διαγώνιου θλιπτήρα αυξάνεται όσο αυξάνουμε το πλάτος b .

4.5 Σχεδιασμός σε Τέμνουσα με Απαίτηση Οπλισμού Διάτμησης

Στα επόμενα παραδείγματα εξηγείται η χρήση του διαγράμματος ‘‘αντοχής θλιπτήρα – οπλισμού διάτμησης’’ και γίνεται η σύγκριση των δύο κανονισμών ΕΚΩΣ και EC2 όσον αφορά τις τιμές που δίνουν τα Διαγράμματα 18,19,23,24.

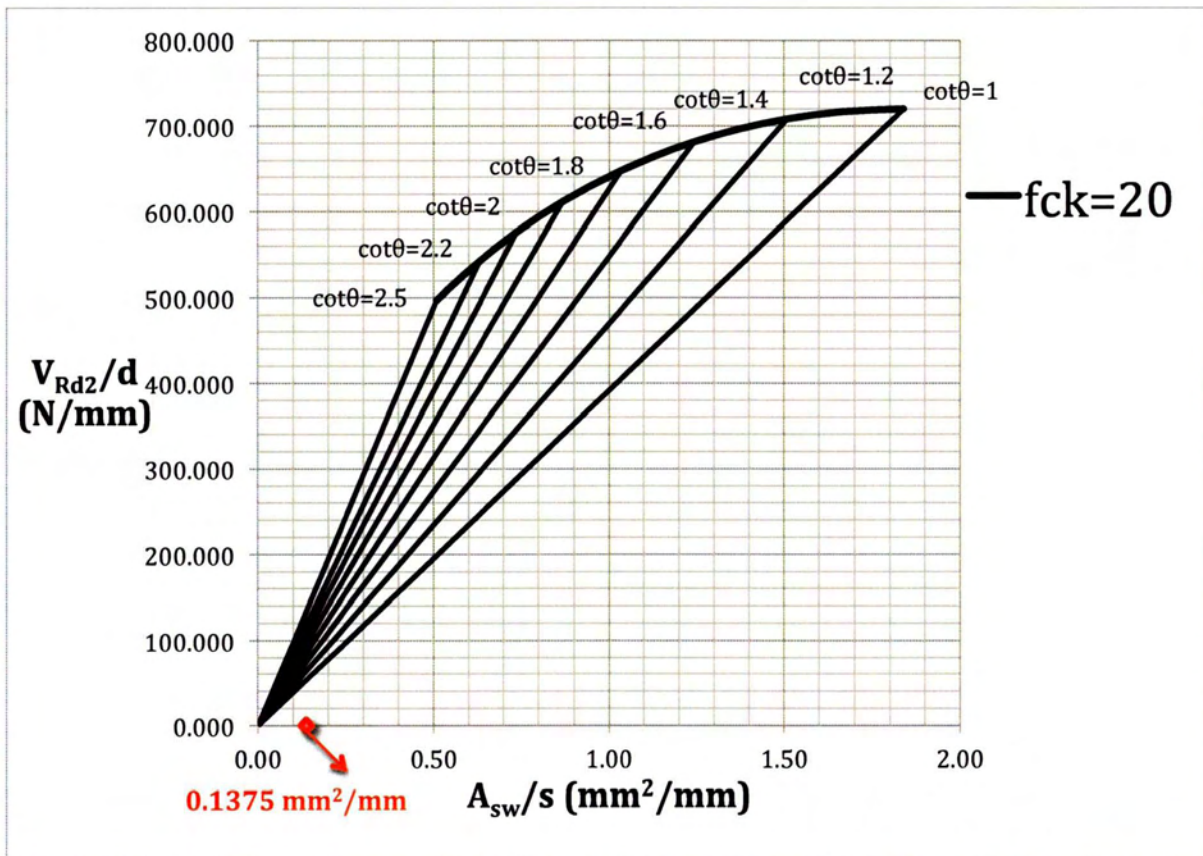
Το παράδειγμα που παρουσιάζεται είναι για τα εξής δεδομένα:

πλάτος διατομής $b_w = 20 \text{ cm}$

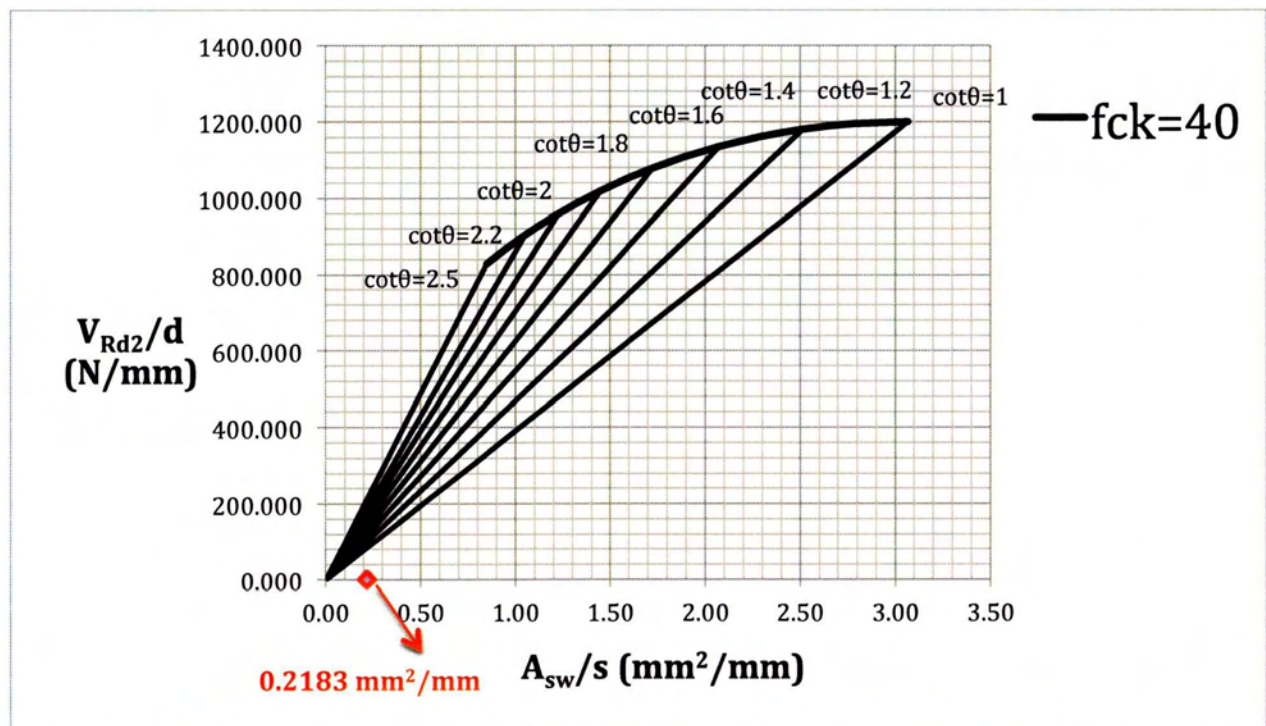
αντοχή γάλυβα $f_{ywk} = 500 \text{ MPa}$

Η σύγκριση γίνεται για δύο αντοχές σκυροδέματος: $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$, και $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

όπως επίσης και για τους δύο κανονισμούς σκυροδέματος ΕΚΩΣ και EC2.



Σχήμα 18: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck}=20$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yk} = 500$ MPa) – ΕΚΩΣ.



Σχήμα 19: Διάγραμμα σχεδιασμού για $f_{ck}=40$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yk} = 500$ MPa) – ΕΚΩΣ.

Το κόκκινο σημείο στον οριζόντιο άξονα δίνει την τιμή του ελάχιστου διατμητικού οπλισμού για

$b_w = 20\text{cm}$ και $f_{yk} = 500\text{ MPa}$,

Από την τιμή του ΕΚΩΣ : $\rho_{w,min} = \frac{1}{3} \frac{\frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}}{f_{yk}}$,

Για $f_{ck} = 20\text{ MPa}$ -> $(\frac{A_{sw}}{s})_{min} = 0.1375\text{ mm}^2/\text{mm}$

και για $f_{ck} = 40\text{ MPa}$ -> $(\frac{A_{sw}}{s})_{min} = 0.2183\text{ mm}^2/\text{mm}$

Σε αντίθεση με το γενικό διάγραμμα σχεδιασμού (Σχήμα 8, Σχήμα 13) οι καμπύλες των Σχήμα 18, Σχήμα 19 αναφέρονται σε μια δεδομένη θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (**C20** και **C40**. αντίστοιχα).

Η καμπύλη απεικονίζει την αντοχή του διαγώνιου θλιπτήρα και αντιπροσωπεύει το όριο της τέμνουσας δύναμης, πάνω από το οποίο ο διαγώνιος θλιπτήρας της διατομής αστοχεί, άρα η διατομή δεν επαρκεί.

Αντοχή Διαγώνιου Θλιπτήρα:

Οι

Πίν. 1, Πίν. 2 περιγράφουν αριθμητικά τα Σχήμα 18 και Σχήμα 19.

Με **κίτρινο** δίνονται οι **τιμές της αντοχής του θλιπτήρα V_{Rd2}/d** για τις επιτρεπόμενες τιμές της $\cot\theta$ που φαίνονται ακριβώς πάνω από τις κίτρινες τιμές ($2.5 < \cot\theta < 1$).

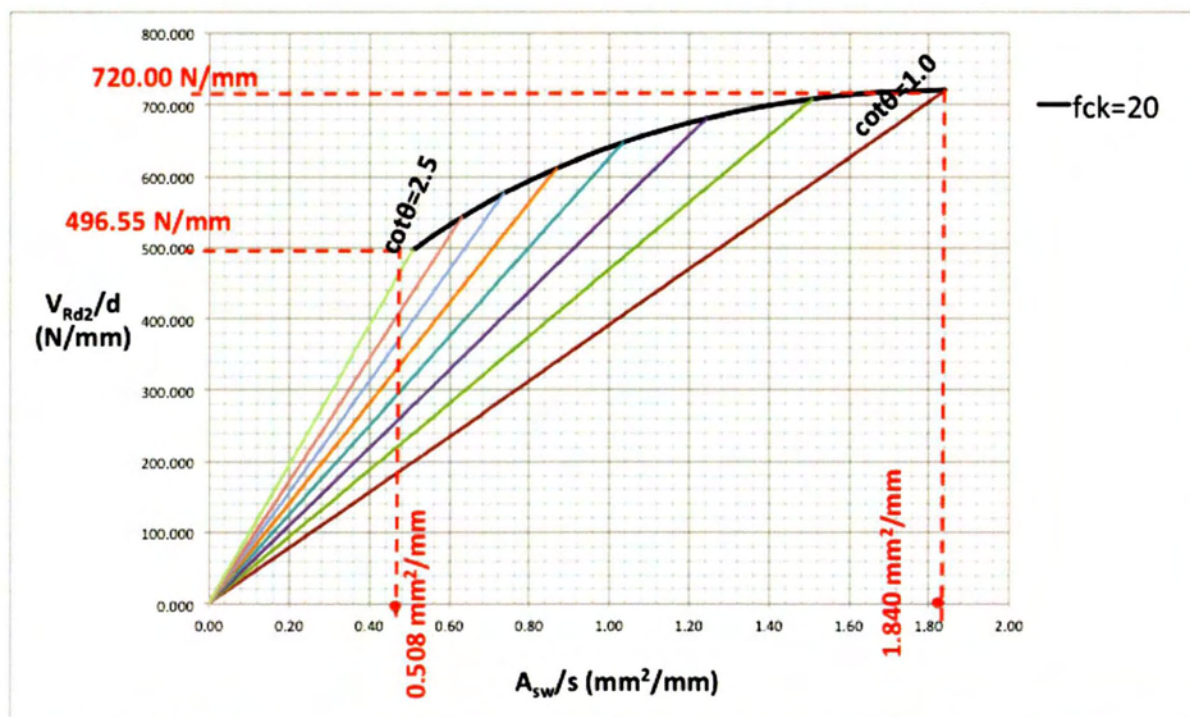
Με **πράσινο** τονίζονται οι τιμές της **αντίστοιχης ελάχιστης διατομής συνδετήρων** που προκύπτουν από την προβολή των τιμών της αντοχής θλιπτήρα (δηλαδή των κίτρινων τιμών) στον οριζόντιο άξονα.

Δηλαδή για την κάθε γωνία θ : $V_{Rd2} = V_{wd}$. Συγκεκριμένα, η προβολή της V_{Rd2} κατά την διεύθυνση της τέμνουσας ισούται με την V_{wd} .

Διευκρίνιση τιμών Πίνακα 2.:

Οι κίτρινες και οι πράσινες τιμές του **Πίν. 2** αντιστοιχούν στις τιμές $\cot\theta$ που βρίσκονται στον πίνακα πάνω από τις κίτρινες (οριζοντίως στον πίνακα). Οι τιμές που βρίσκονται κάτω από τις πράσινες τιμές είναι οι τιμές διατμητικού οπλισμού που αντιστοιχούν σε δρώσα τέμνουσα ίση με τις κίτρινες τιμές (της αντοχής του θλιπτήρα) αλλά για γωνίες (τιμές $\cot\theta$) που δίνονται από τις κατακόρυφες τιμές $\cot\theta$ (αριστερά στον πίνακα).

Από το Σχήμα 20 εξάγονται τα εξής συμπεράσματα σχετικά με την αντοχή του διαγώνιου θλιπτήρα:



Σχήμα 20: Χαμηλότερη και υψηλότερη τιμή V_{Rd2}/d για την αντοχή θλιπτήρα και αντίστοιχος απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης.

Η αντοχή του λοξού θλιπτήρα λαμβάνει την χαμηλότερη τιμή της για την μικρότερη επιτρεπόμενη γωνία : $\theta=21.8^\circ$ ($\cot\theta= 2.5$). Η τιμή αυτή είναι **496.55 N/mm**. Ταυτόχρονα σε αυτήν την γωνία θλιπτήρα $\theta=21.8^\circ$ ($\cot\theta= 2.5$) αντιστοιχεί και ο χαμηλότερος απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης.

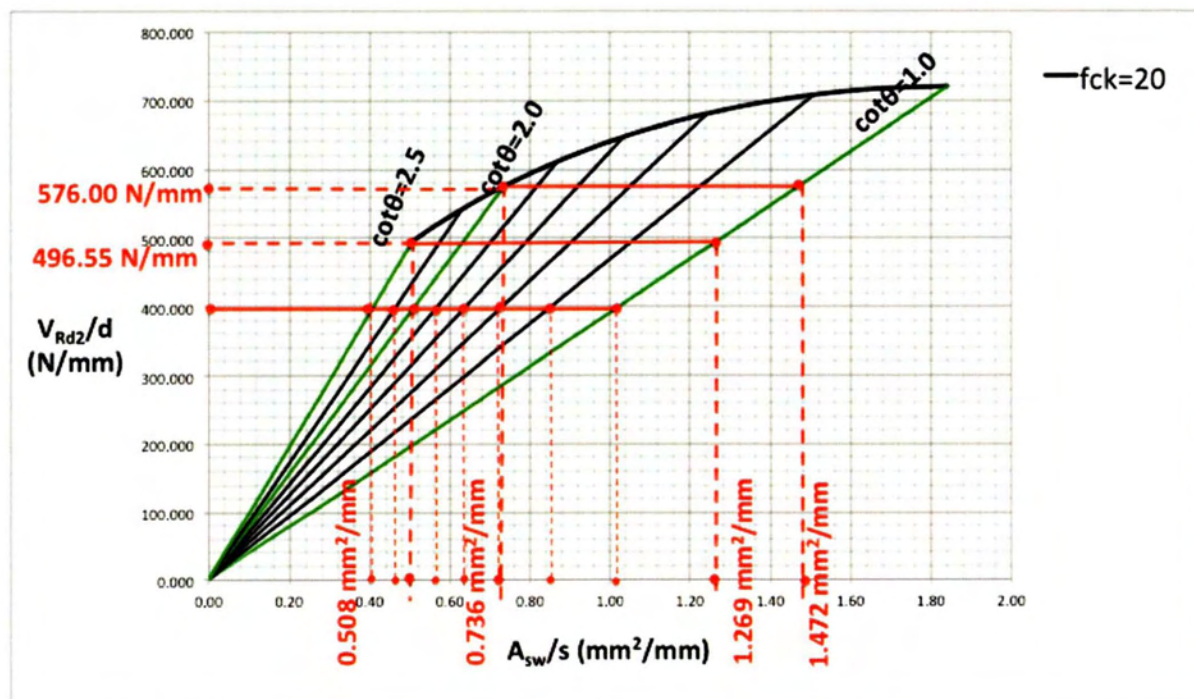
Μικρή γωνία θλιπτήρων σημαίνει ότι περισσότεροι συνδετήρες διαπερνούν την ρωγμή άρα απαιτείται **μικρότερο** εμβαδόν οπλισμού διάτμησης για να παραλάβει την ίδια δύναμη. **Μεγάλη γωνία** θλιπτήρων σημαίνει ότι λιγότεροι συνδετήρες διαπερνούν την ρωγμή άρα απαιτείται **μεγαλύτερο** εμβαδόν οπλισμού διάτμησης για να παραλάβει την ίδια δύναμη. Επιπλέον, μικρή γωνία λοξού θλιπτήρα σημαίνει οτι η συνιστώσα της αντοχής του θλιπτήρα που παραλαμβάνει την δράσα τέμνουσα γίνεται μικρότερη.

Οι τιμές του Σχήμα 20 περιγράφονται και στον **Πιν. 2**.

Πίν. 1 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck}=20$ MPa)- ΕΚΩΣ.

$f_{ck} =$	20																
$\gamma_c =$	1.5																
$f_{yw} =$	500																
$\gamma_s =$	1.15																
	V_{Rd2}/d (N/mm)																
	2.50	2.40	2.30	2.20	2.10	2.00	1.90	1.80	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00	
$\cot\theta$	V_{Rd2}/d (N/mm)	496.55	511.24	526.55	542.47	558.96	576.00	593.49	611.32	629.31	647.19	664.62	681.08	695.91	708.20	716.74	720.00
2.50	A_{sw}/s (mm ² /mm)	0.508															
2.40		0.529	0.544														
2.30		0.552	0.568	0.585													
2.20		0.577	0.594	0.612	0.630												
2.10		0.604	0.622	0.641	0.660	0.680											
2.00		0.634	0.653	0.673	0.693	0.714	0.736										
1.90		0.668	0.688	0.708	0.730	0.752	0.775	0.798									
1.80		0.705	0.726	0.748	0.770	0.794	0.818	0.843	0.868								
1.70		0.746	0.769	0.792	0.815	0.840	0.866	0.892	0.919	0.946							
1.60		0.793	0.817	0.841	0.866	0.893	0.920	0.948	0.976	1.005	1.034						
1.50		0.846	0.871	0.897	0.924	0.952	0.981	1.011	1.042	1.072	1.103	1.132					
1.40		0.906	0.933	0.961	0.990	1.020	1.051	1.083	1.116	1.149	1.181	1.213	1.243				
1.30		0.976	1.005	1.035	1.066	1.099	1.132	1.167	1.202	1.237	1.272	1.307	1.339	1.368			
1.20		1.057	1.089	1.121	1.155	1.190	1.227	1.264	1.302	1.340	1.378	1.415	1.450	1.482	1.508		
1.10		1.154	1.188	1.223	1.260	1.299	1.338	1.379	1.420	1.462	1.504	1.544	1.582	1.617	1.645	1.665	
1.00		1.269	1.307	1.346	1.386	1.428	1.472	1.517	1.562	1.608	1.654	1.698	1.741	1.778	1.810	1.832	1.840

Παράδειγμα 1^ο διαστασιολόγησης :



Σχήμα 21: Παράδειγμα διαστασιολόγησης για δύο τιμές της τέμνουσας δράσης.

Για δεδομένη τέμνουσα δράσης στον κατακόρυφο άξονα και επιλέγοντας γωνία διαγώνιου θλιπτήρα προκύπτει (από την προβολή πάνω στον οριζόντιο άξονα των σημείων της καμπύλης) η αντίστοιχη απαιτούμενη διατομή του οπλισμού διάτμησης από τον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος.

Επιπλέον, συγκρίνεται εποπτικά η τιμή της τέμνουσας δράσης σε σχέση με την αντοχή του θλιπτήρα. Διακρίνονται οι εξής 3 περιπτώσεις:

- a) Η τέμνουσα δράσης βρίσκεται κάτω από την καμπύλη :
Δηλαδή βρίσκεται κάτω από την αντοχή του λοξού θλιπτήρα, επομένως όλες οι τιμές της γωνίας του θλιπτήρα είναι επιτρεπτές. Π.χ. για τέμνουσα δράσης **400 N/mm** (Σχήμα 21) όλα τα σημεία τομής της τέμνουσας με τις ευθείες των τιμών $\cot\theta$ προβάλλονται στον οριζόντιο άξονα δίνοντας τις αντίστοιχες τιμές διατμητικού οπλισμού. Η μικρότερη γωνία δίνει τον χαμηλότερο απαιτούμενο οπλισμό.
- b) Η τέμνουσα δράσης βρίσκεται μεταξύ των τιμών της καμπύλης :
Δηλαδή η τέμνουσα δράσης ισούται με κάποια τιμή της αντοχής του θλιπτήρα , που δίνεται για την αντίστοιχη γωνία θλιπτήρα.
- c) Η τέμνουσα δράσης βρίσκεται πάνω από την καμπύλη :
Δηλαδή βρίσκεται πάνω από την αντοχή του θλιπτήρα για όλες τις επιτρεπόμενες γωνίες θ , άρα υπάρχει αστοχία λοξού θλιπτήρα και η διατομή δεν επαρκεί .

Παράδειγμα 1ο :

Η τέμνουσα δράσης **496.55 N/mm** φαίνεται από το Σχήμα 21. ότι αντιστοιχεί στην αντοχή του θλιπτήρα που δίνεται για γωνία $\theta=21.8^\circ$ ($\cot\theta=2.5$). Ο οπλισμός που αντιστοιχεί σε αυτή τη γωνία είναι ο ελάχιστος οπλισμός που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί : **$A_{sw}/s = 0.508 \text{ mm}^2/\text{mm}$** . Σε μεγαλύτερη γωνία θλιπτήρα, π.χ. $\theta=45^\circ$ ($\cot\theta=1$), αντιστοιχεί περισσότερος οπλισμός διάτμησης : **$A_{sw}/s = 1.269 \text{ mm}^2/\text{mm}$** αλλά αυξάνεται περισσότερο η ασφάλεια απέναντι στην αστοχία του θλιπτήρα, καθώς μεγαλώνοντας την γωνία θλιπτήρα αυξάνεται και η αντοχή του.

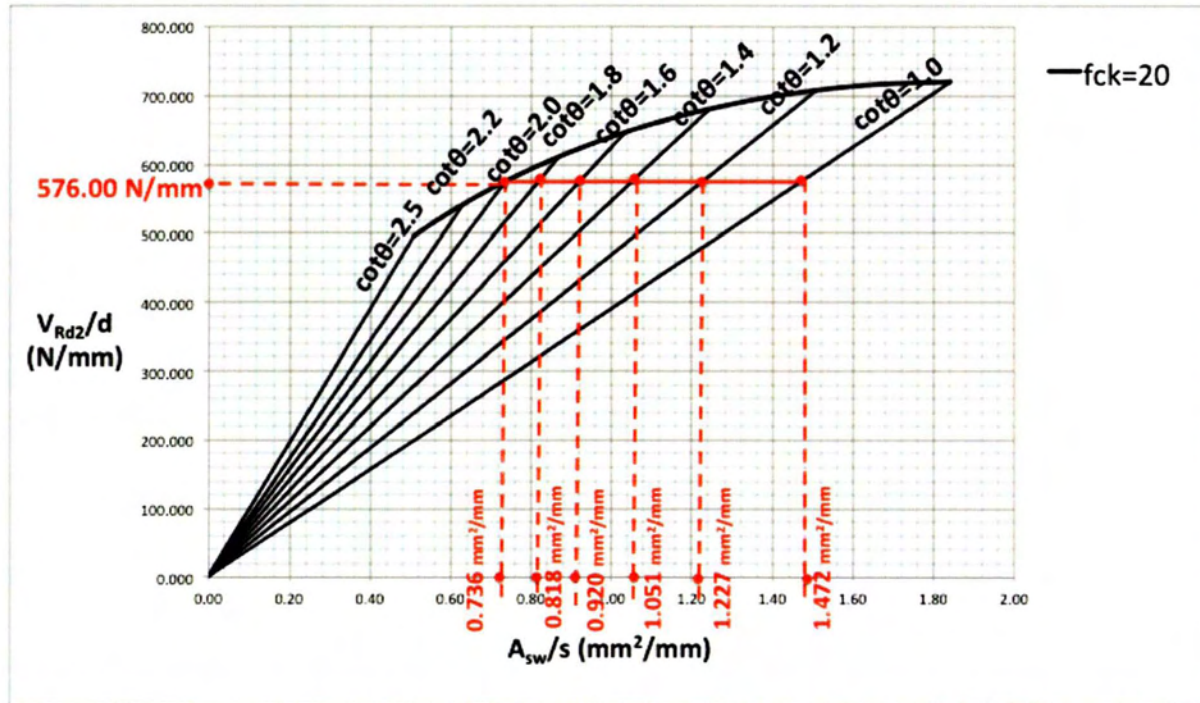
Παράδειγμα 2ο :

Η τέμνουσα δράσης **576.00 N/mm** φαίνεται από το Σχήμα 21 ότι αντιστοιχεί στην αντοχή του θλιπτήρα που δίνεται για γωνία $\theta=26.57^\circ$ ($\cot\theta=2$), ο οπλισμός που αντιστοιχεί σε αυτή τη γωνία είναι ο ελάχιστος οπλισμός που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί : **$A_{sw}/s = 0.736 \text{ mm}^2/\text{mm}$** . Σε μεγαλύτερη γωνία θλιπτήρα π.χ. $\theta=45^\circ$ ($\cot\theta=1$), αντιστοιχεί περισσότερος οπλισμός διάτμησης : **$A_{sw}/s = 1.472 \text{ mm}^2/\text{mm}$** .

Μικρότερη γωνία από $\theta=26.57^\circ$ ($\cot\theta=2$) ,δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί ,διότι μικρότερη γωνία θλιπτήρα θα δώσει μικρότερη αντοχή θλιπτήρα. Η μικρότερη αντοχή θλιπτήρα είναι μικρότερη από την δρώσα τέμνουσα **576.00 N/mm**, άρα θα υπάρξει αστοχία θλιπτήρα.

Στην περίπτωση αυτή γίνεται εμφανές ότι το εύρος των επιτρεπόμενων γωνιών είναι : **26.57° ($\cot\theta=2$) $< \theta < 45^\circ$ ($\cot\theta=1$).**

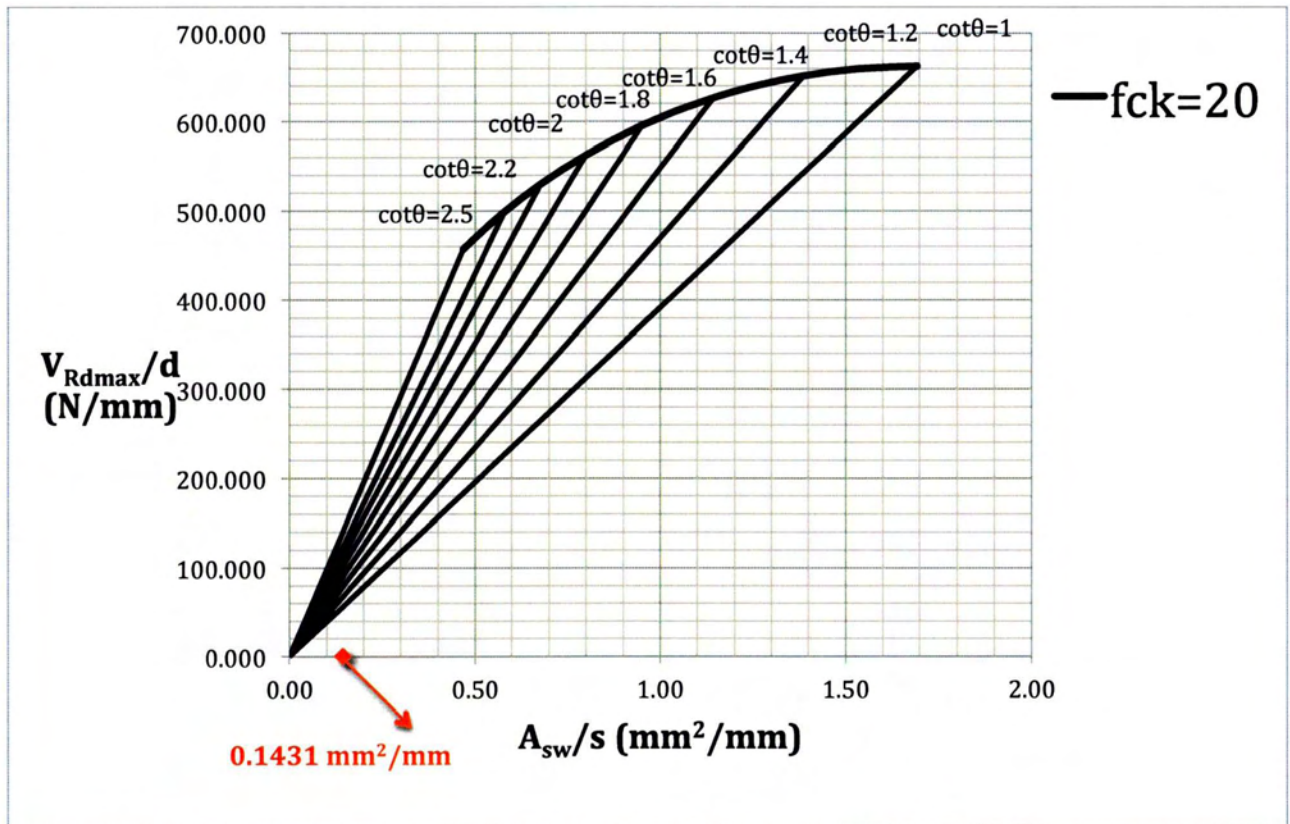
Από τα 2 αυτά παραδείγματα γίνεται σαφής και η χρησιμότητα των τιμών διατμητικού οπλισμού (βλέπε Πίνακα 2) που βρίσκονται κάτω από τις ελάχιστες τιμές (πράσινες τιμές) που αντιστοιχούν στην δρόσα τέμνουσα (κίτρινο) και στις τιμές $\cot\theta$ που βρίσκονται κατακόρυφα αριστερά στον πίνακα. Αυτό διακρίνεται εποπτικά στο Σχήμα 22.



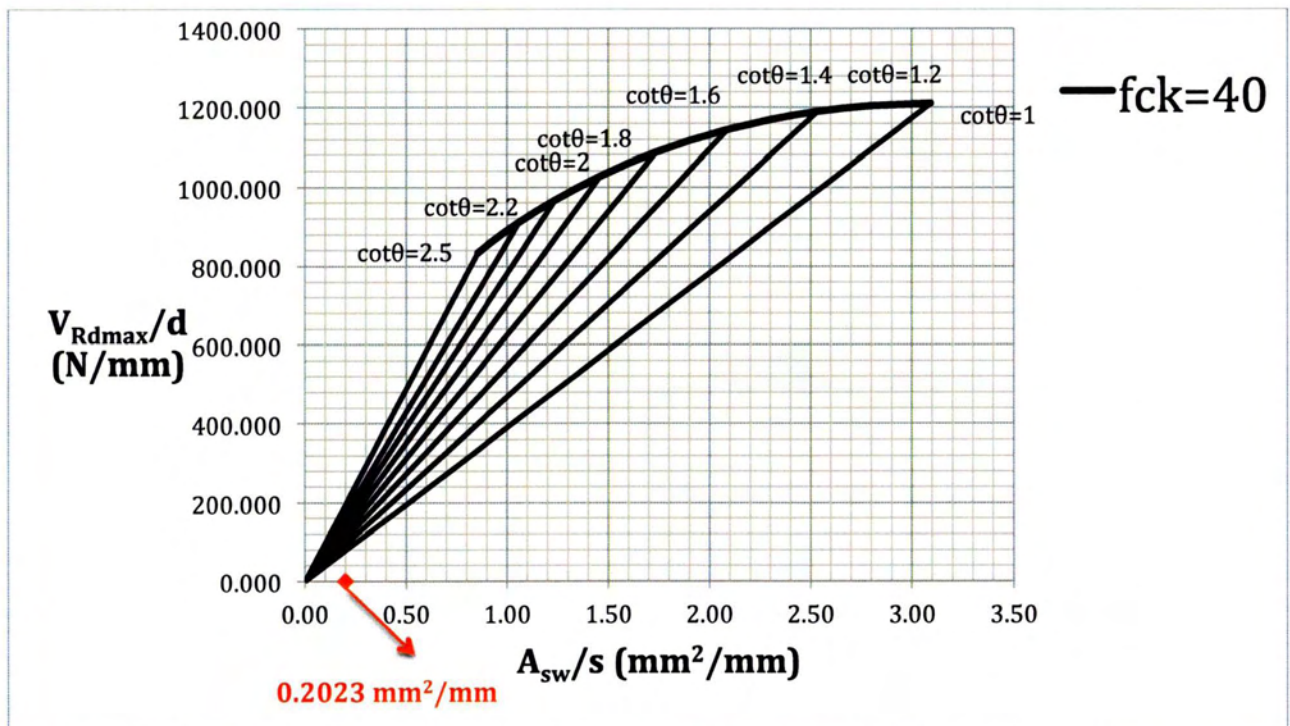
Σχήμα 22: Τιμές διατμητικού οπλισμού που αντιστοιχούν στην δρόσα τέμνουσα 576 N/mm για διάφορες τιμές $\cot\theta$.

Πίν. 2 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck} = 40$ MPa) - ΕΚΩΣ.

		V_{Rd2}/d (N/mm)															
		2.50	2.40	2.30	2.20	2.10	2.00	1.90	1.80	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00
$f_{ck} =$	40																
$\gamma_c =$	1.5																
$f_{yk} =$	500																
$\gamma_s =$	1.15																
$\cot\theta$	V_{Rd2}/d (N/mm)	827.59	852.07	877.58	904.11	931.61	960.00	989.15	1018.87	1048.84	1078.65	1107.69	1135.14	1159.85	1180.33	1194.57	1200.00
2.50	A_{sw}/s (mm²/mm)	0.846															
2.40		0.881	0.907														
2.30		0.920	0.947	0.975													
2.20		0.961	0.990	1.019	1.050												
2.10		1.007	1.037	1.068	1.100	1.134											
2.00		1.057	1.089	1.121	1.155	1.190	1.227										
1.90		1.113	1.146	1.180	1.216	1.253	1.291	1.330									
1.80		1.175	1.210	1.246	1.284	1.323	1.363	1.404	1.447								
1.70		1.244	1.281	1.319	1.359	1.400	1.443	1.487	1.532	1.577							
1.60		1.322	1.361	1.402	1.444	1.488	1.533	1.580	1.627	1.675	1.723						
1.50		1.410	1.452	1.495	1.540	1.587	1.636	1.685	1.736	1.787	1.838	1.887					
1.40		1.511	1.555	1.602	1.650	1.701	1.752	1.806	1.860	1.915	1.969	2.022	2.072				
1.30		1.627	1.675	1.725	1.777	1.831	1.887	1.944	2.003	2.062	2.120	2.178	2.231	2.280			
1.20		1.762	1.815	1.869	1.925	1.984	2.044	2.107	2.170	2.234	2.297	2.359	2.417	2.470	2.514		
1.10		1.923	1.980	2.039	2.100	2.164	2.230	2.298	2.367	2.437	2.506	2.573	2.637	2.695	2.742	2.775	
1.00		2.115	2.178	2.243	2.311	2.381	2.453	2.528	2.604	2.680	2.757	2.831	2.901	2.964	3.016	3.053	3.067



Σχήμα 23: Διάγραμμα σχεδιασμού $f_{ck}=20$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yw} = 500$ MPa) - EC2.



Σχήμα 24: Διάγραμμα σχεδιασμού $f_{ck}=40$ MPa ($b_w = 20$ cm, $f_{yw} = 500$ MPa) - EC2.

Από την τιμή του EC2 : $\rho_{w,min} = 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$,

Για $f_{ck} = 20 \text{ MPa} \rightarrow (\frac{A_{sw}}{s})_{min} = 0.1431 \text{ mm}^2/\text{mm}$

και για $f_{ck} = 40 \text{ MPa} \rightarrow (\frac{A_{sw}}{s})_{min} = 0.2023 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Πίν. 3 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck}=20 \text{ MPa}$) - EC2.

		$V_{Rd,max}/d \text{ (N/mm)}$															
		2.50	2.40	2.30	2.20	2.10	2.00	1.90	1.80	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00
$f_{ck} =$	20																
$\gamma_c =$	1.5																
$f_{yk} =$	500																
$\gamma_s =$	1.15																
$\cot\theta$	$V_{Rd,max}/d \text{ (N/mm)}$	456.83	470.34	484.43	499.07	514.25	529.92	546.01	562.42	578.96	595.42	611.45	626.59	640.24	651.54	659.40	662.40
2.50	$A_{sw}/s \text{ (mm}^2/\text{mm)}$	0.467															
2.40		0.486	0.501														
2.30		0.508	0.523	0.538													
2.20		0.531	0.546	0.563	0.580												
2.10		0.556	0.572	0.590	0.607	0.626											
2.00		0.584	0.601	0.619	0.638	0.657	0.677										
1.90		0.614	0.633	0.652	0.671	0.692	0.713	0.734									
1.80		0.649	0.668	0.688	0.709	0.730	0.752	0.775	0.798								
1.70		0.687	0.707	0.728	0.750	0.773	0.797	0.821	0.845	0.870							
1.60		0.730	0.751	0.774	0.797	0.821	0.846	0.872	0.898	0.925	0.951						
1.50		0.778	0.801	0.825	0.850	0.876	0.903	0.930	0.958	0.986	1.014	1.042					
1.40		0.834	0.859	0.884	0.911	0.939	0.967	0.997	1.027	1.057	1.087	1.116	1.144				
1.30		0.898	0.925	0.952	0.981	1.011	1.042	1.073	1.106	1.138	1.170	1.202	1.232	1.259			
1.20		0.973	1.002	1.032	1.063	1.095	1.129	1.163	1.198	1.233	1.268	1.302	1.334	1.363	1.388		
1.10		1.061	1.093	1.125	1.159	1.195	1.231	1.269	1.307	1.345	1.383	1.421	1.456	1.487	1.514	1.532	
1.00		1.167	1.202	1.238	1.275	1.314	1.354	1.395	1.437	1.480	1.522	1.563	1.601	1.636	1.665	1.685	1.693

Πίν. 4 Τιμές διατμητικού οπλισμού διαγράμματος σχεδιασμού ($f_{ck}=40 \text{ MPa}$) - EC2.

		$V_{Rd,max}/d \text{ (N/mm)}$															
		2.50	2.40	2.30	2.20	2.10	2.00	1.90	1.80	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00
$f_{ck} =$	40																
$\gamma_c =$	1.5																
$f_{yk} =$	500																
$\gamma_s =$	1.15																
$\cot\theta$	$V_{Rd,max}/d \text{ (N/mm)}$	834.21	858.89	884.60	911.34	939.06	967.68	997.07	1027.02	1057.23	1087.28	1116.55	1144.22	1169.13	1189.77	1204.13	1209.60
2.50	$A_{sw}/s \text{ (mm}^2/\text{mm)}$	0.853															
2.40		0.888	0.915														
2.30		0.927	0.954	0.983													
2.20		0.969	0.998	1.028	1.059												
2.10		1.015	1.045	1.077	1.109	1.143											
2.00		1.066	1.097	1.130	1.164	1.200	1.236										
1.90		1.122	1.155	1.190	1.226	1.263	1.302	1.341									
1.80		1.184	1.219	1.256	1.294	1.333	1.374	1.416	1.458								
1.70		1.254	1.291	1.330	1.370	1.412	1.455	1.499	1.544	1.589							
1.60		1.332	1.372	1.413	1.456	1.500	1.546	1.593	1.640	1.689	1.737						
1.50		1.421	1.463	1.507	1.553	1.600	1.649	1.699	1.750	1.801	1.852	1.902					
1.40		1.523	1.568	1.615	1.664	1.714	1.766	1.820	1.875	1.930	1.985	2.038	2.089				
1.30		1.640	1.688	1.739	1.792	1.846	1.902	1.960	2.019	2.078	2.137	2.195	2.249	2.298			
1.20		1.777	1.829	1.884	1.941	2.000	2.061	2.123	2.187	2.252	2.316	2.378	2.437	2.490	2.534		
1.10		1.938	1.995	2.055	2.117	2.182	2.248	2.316	2.386	2.456	2.526	2.594	2.658	2.716	2.764	2.797	
1.00		2.132	2.195	2.261	2.329	2.400	2.473	2.548	2.625	2.702	2.779	2.853	2.924	2.988	3.041	3.077	3.091

Σύγκριση ΕΚΩΣ – EC2

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 18,19,23,24 (και από τους αναλυτικούς Πίνακες 2,3,4,5) οι δύο κανονισμοί δίνουν παρόμοια αποτελέσματα και στις καμπύλες που δίνουν τις τιμές του διαγώνιου θλιπτήρα αλλά και στις τιμές του διατμητικού σπλισμού που προκύπτουν.

4.5 Αντοχή σε τέμνουσα χωρίς σπλισμό διάτμησης

Τα Σχ. 25 - 28 δίνουν την τιμή της τέμνουσας V_{Rd1} (ΕΚΩΣ) και την τιμή της τέμνουσας $V_{Rd,c}$ (EC2) για τις δύο τιμές αντοχής σκυροδέματος και για τρεις τιμές διαμήκους σπλισμού $\rho=0.005$, $\rho=0.01$, $\rho=0.02$.

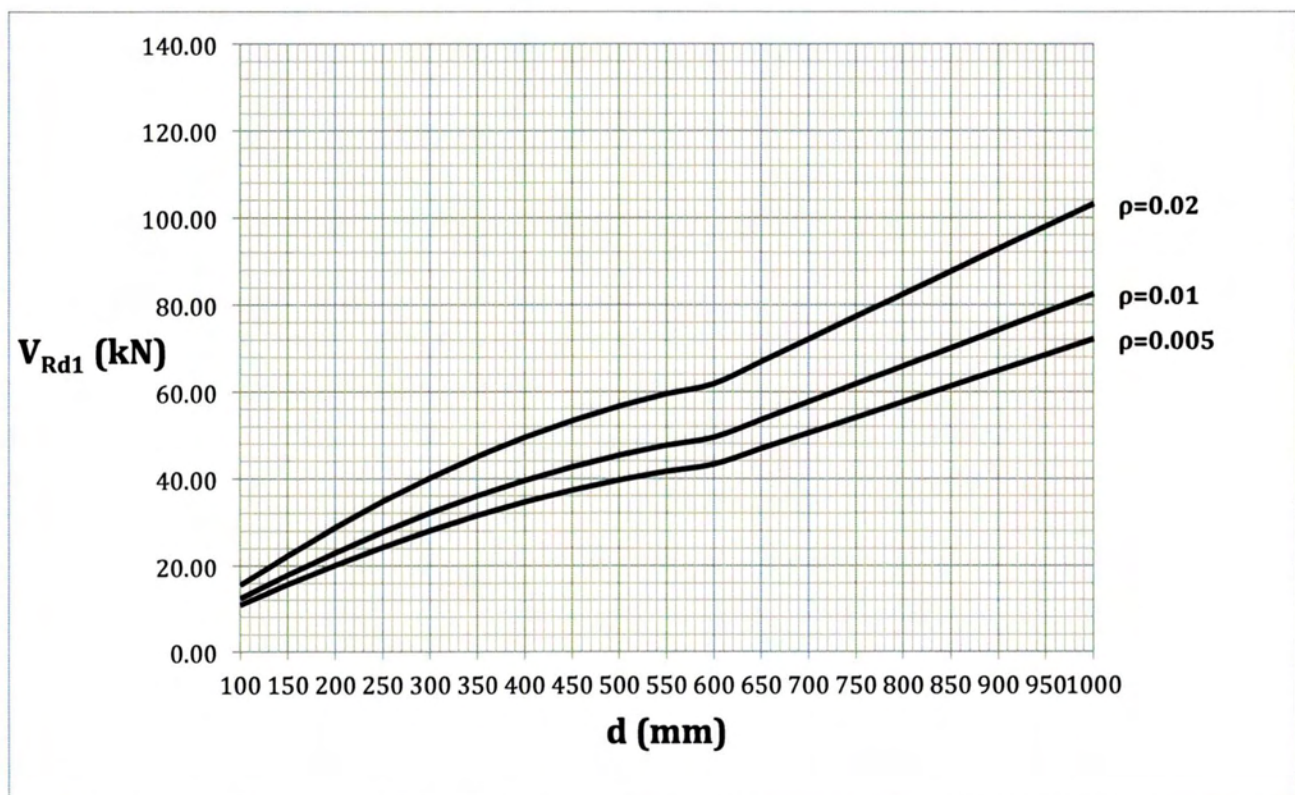
Χρησιμότητα διαγράμματος: Για τέμνουσα δράσης μεγαλύτερη της V_{Rd1} , $V_{Rd,c}$ απαιτείται σπλισμός διάτμησης.

Σύγκριση ΕΚΩΣ – EC2

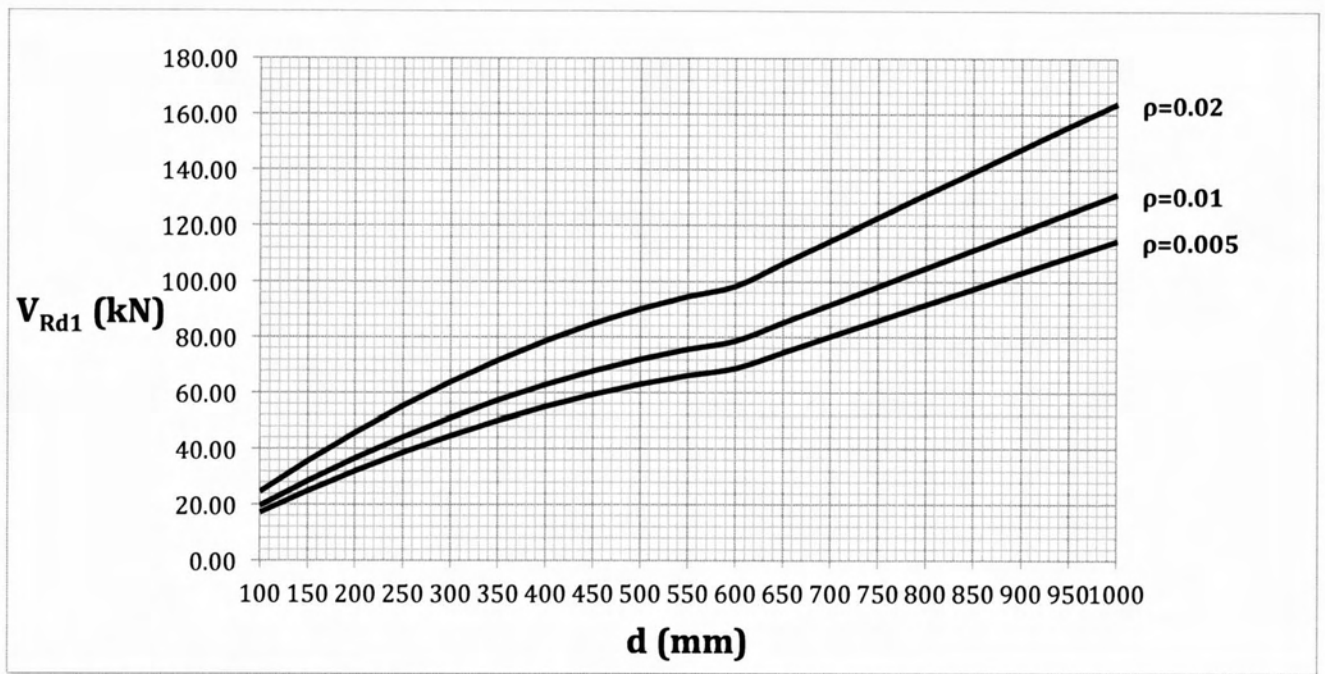
Οι τιμές που δίνουν οι δύο τέμνουσες είναι παρόμοιες στους δύο κανονισμούς. Οι διαφορές στην μορφή των καμπυλών V_{Rd1} , $V_{Rd,c}$, οφείλονται στα όρια του συντελεστή k .

Στον ΕΚΩΣ: $k = 1.6 - d \geq 1$, όσο το d αυξάνει το k μειώνεται.

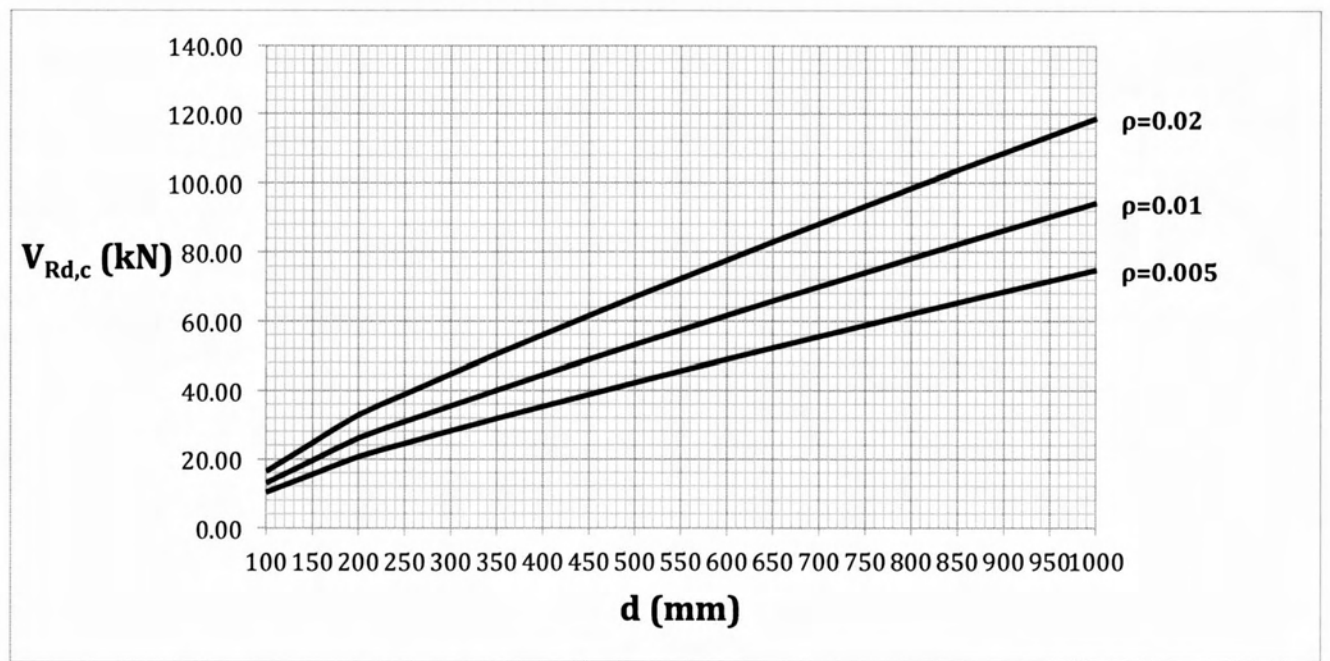
Στον EC2: $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$, όσο το d μειώνεται το k αυξάνει.



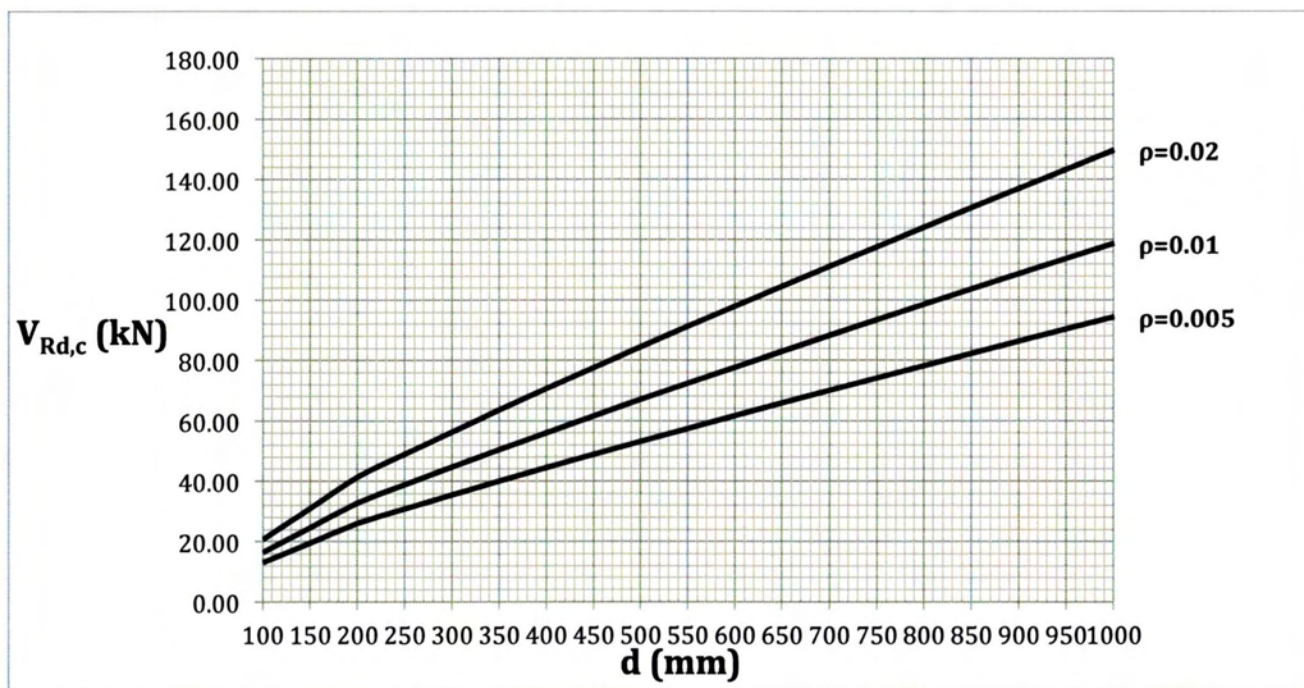
Σχήμα 25: Καμπύλη V_{Rd1} ($f_{ck}=20$ MPa) για ΕΚΩΣ.



Σχήμα 26: Καμπύλη V_{Rd1} ($f_{ck}=40$ MPa) για EΚΩΣ.



Σχήμα 27: Καμπύλη $V_{Rd,c}$ ($f_{ck}=20$ MPa) για EC2.



Σχήμα 28: Καμπύλη $V_{Rd,c}$ ($f_{ck}=40$ MPa) για EC2 .

4.6 Σύγκριση των εξισώσεων της αντοχής σε τέμνουσα χωρίς σπλισμό διάτμησης

ΕΚΩΣ	$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} k (1.20 + 40\rho_l) + 0,15\sigma_{cp}] b_w d$
EC2	$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$ με ελάχιστη τιμή $V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$

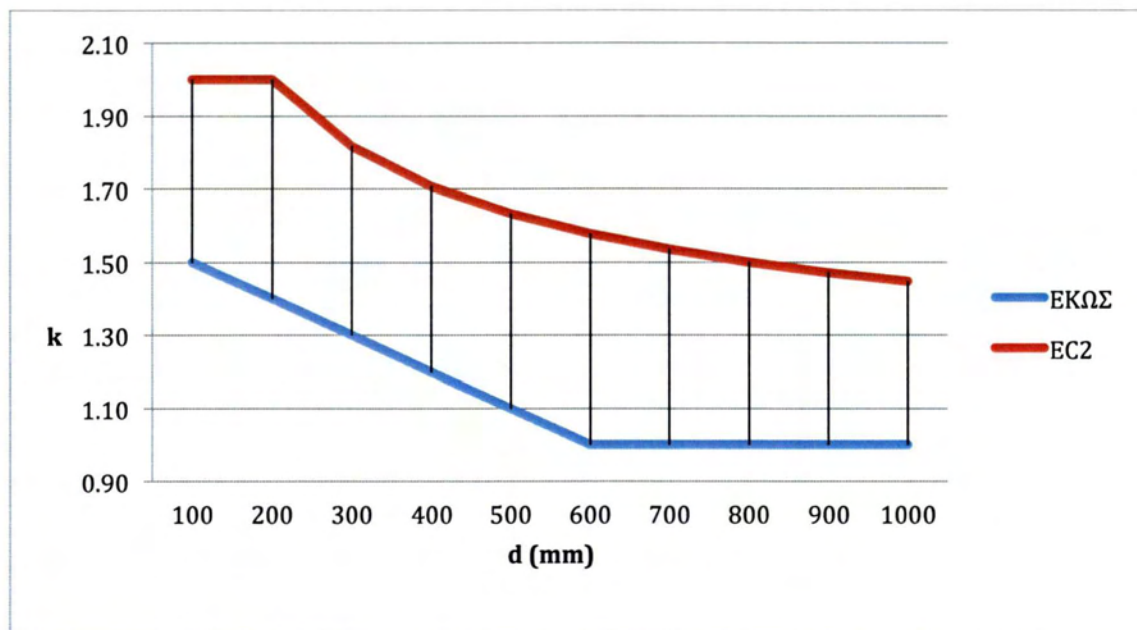
Διαφορές μεταξύ των δύο τεμνουσών

1. Συντελεστής k ,

ΕΚΩΣ : $k = 1.6 - d > 1$ (d σε m)

EC2 : $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} < 2$ (d σε mm)

Ο συντελεστής k που λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα κλίμακας προκύπτει μεγαλύτερος με βάση τον **EC2** από ότι με βάση τον **ΕΚΩΣ**.



Σχήμα 29: Συντελεστής κλίμακας, k.

Πίν. 5 Συντελεστής k, ΕΚΩΣ/EC2.

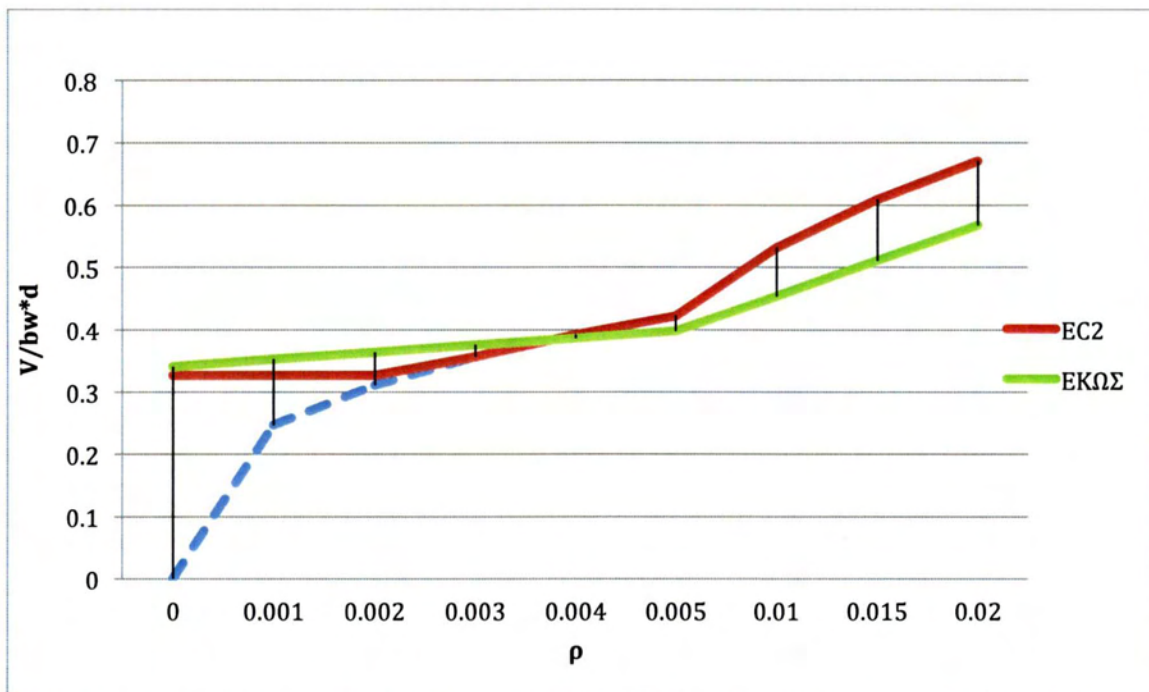
d (mm)	k (ΕΚΩΣ)	k (EC2)
100	1.5	2.414
200	1.4	2
300	1.3	1.816
400	1.2	1.707
500	1.1	1.632
600	1	1.577
700	0.9	1.534
800	0.8	1.5
900	0.7	1.471
1000	0.6	1.447

Πίν. 6 Συντελεστής k, ΕΚΩΣ/EC2 (με όρια).

d (mm)	k (ΕΚΩΣ)	k (EC2)
100	1.5	2
200	1.4	2
300	1.3	1.816
400	1.2	1.707
500	1.1	1.632
600	1	1.577
700	1	1.534
800	1	1.5
900	1	1.471
1000	1	1.447

2. Οι δύο τέμνουσες κάνουν διαφορετική εκτίμηση του συντελεστή k , της συνεισφοράς του εφελκυσμένου οπλισμού ρ_l , και της συμμετοχής της αντοχής σκυροδέματος f_{ck} .

3. Η $V_{Rd,c}$ (στον EC2) μηδενίζεται όταν δεν υπάρχει η δράση βλήτρου, κάτι που δεν λαμβάνει υπόψη ο ΕΚΩΣ. Ο EC2 θεωρεί πως η έλλειψη καλά αγκυρωμένου εφελκυσμένου οπλισμού οδηγεί σε πλήρη αποδιοργάνωση και των υπόλοιπων μηχανισμών τέμνουσας από το σκυροδέμα, γι' αυτό και θέτει μια ελάχιστη τιμή v_{min} .



Σχήμα 30: Σύγκριση $V_{Rdc}/b_w d$ και $V_{Rd1}/b_w d$ για C20 και $d=0.5$ m.

Στο Σχήμα 30 συγκρίνεται η εξάρτηση των δύο τεμνουσών από το ρ_1 (για C20/25 και $d=0.5$ m).

Πίν. 7 Λόγοι τεμνουσών $V_{Rdc}/b_w d$ και $V_{Rd1}/b_w d$.

ρ	EC2	ΕΚΩΣ
	$V_{Rdc}/b_w d$	$V_{Rd1}/b_w d$
0	0	0.34044
0.001	0.247	0.352
0.002	0.311	0.363
0.003	0.356	0.374
0.004	0.392	0.386
0.005	0.422	0.397
0.01	0.532	0.454
0.015	0.609	0.511
0.02	0.670	0.567

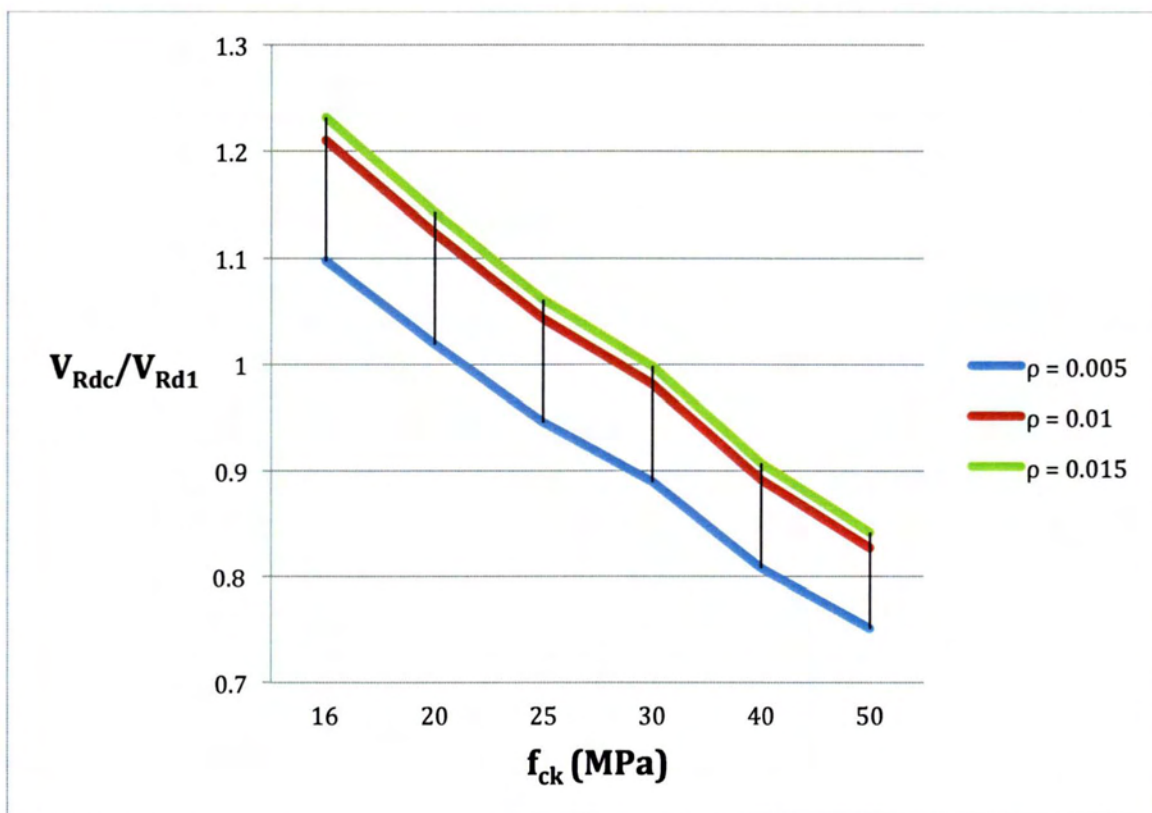
Πίν. 8 Λόγοι τεμνουσών $V_{Rdc}/b_w d$ και $V_{Rd1}/b_w d$ (με περιορισμό v_{min}).

EC2		
$v_{min}/b_w d =$	0.326	($f_{ck}=20$ MPa, $d=0.5$ m)

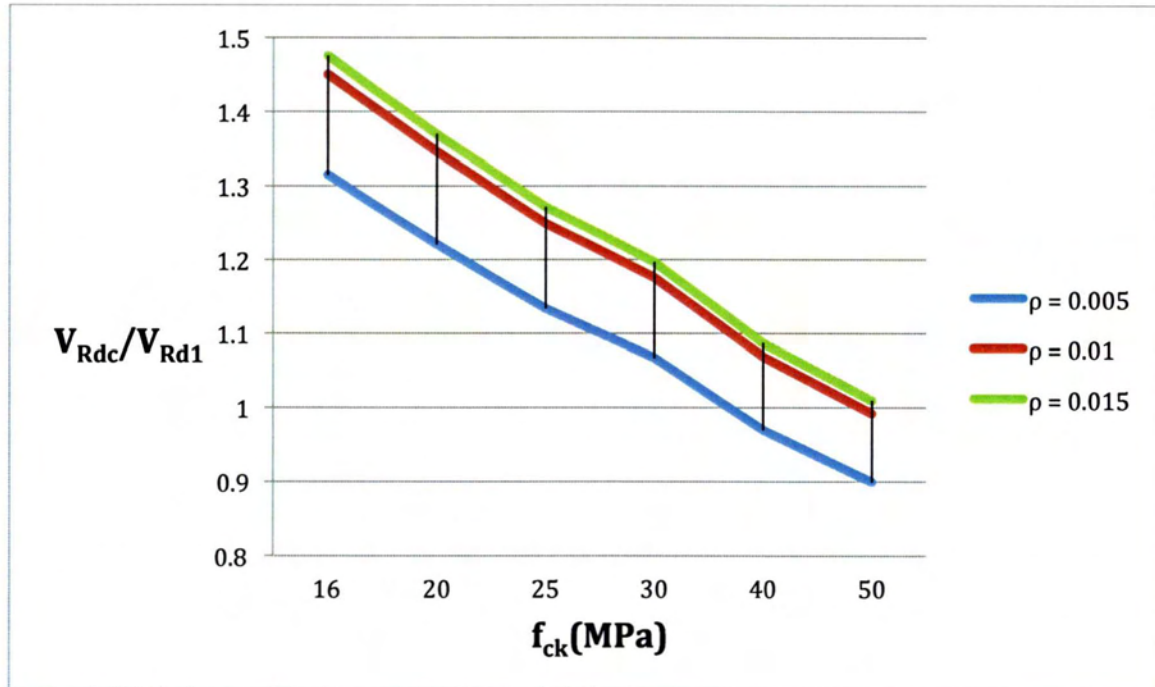
ρ	$V_{Rdc}/b_w d$	$V_{Rd1}/b_w d$
0	0.326	0.340
0.001	0.326	0.352
0.002	0.326	0.363
0.003	0.356	0.374
0.004	0.392	0.386
0.005	0.422	0.397
0.01	0.532	0.454
0.015	0.609	0.511
0.02	0.670	0.567

Τα Σχήμα 31, Σχήμα 32 απεικονίζουν το λόγο των τεμνουσών V_{Rdc} , V_{Rd1} για τρεις τιμές εφελκόμενου σπλισμού ($\rho = 0.005$, $\rho = 0.01$, $\rho = 0.015$)

Παρατηρείται ότι καθώς το ποσοστό εφελκυσμού αυξάνεται, ο λόγος V_{Rdc}/V_{Rd1} αυξάνεται. Επιπλέον όσο αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος ο λόγος V_{Rdc}/V_{Rd1} μειώνεται.



Σχήμα 31: Λόγος V_{Rdc}/V_{Rd1} ($d=40$ cm).



Σχήμα 32: Λόγος V_{Rdc}/V_{Rd1} ($d=70$ cm).

4.7 Σύγκριση των εξισώσεων αντοχής του λοξού θλιπτήρα

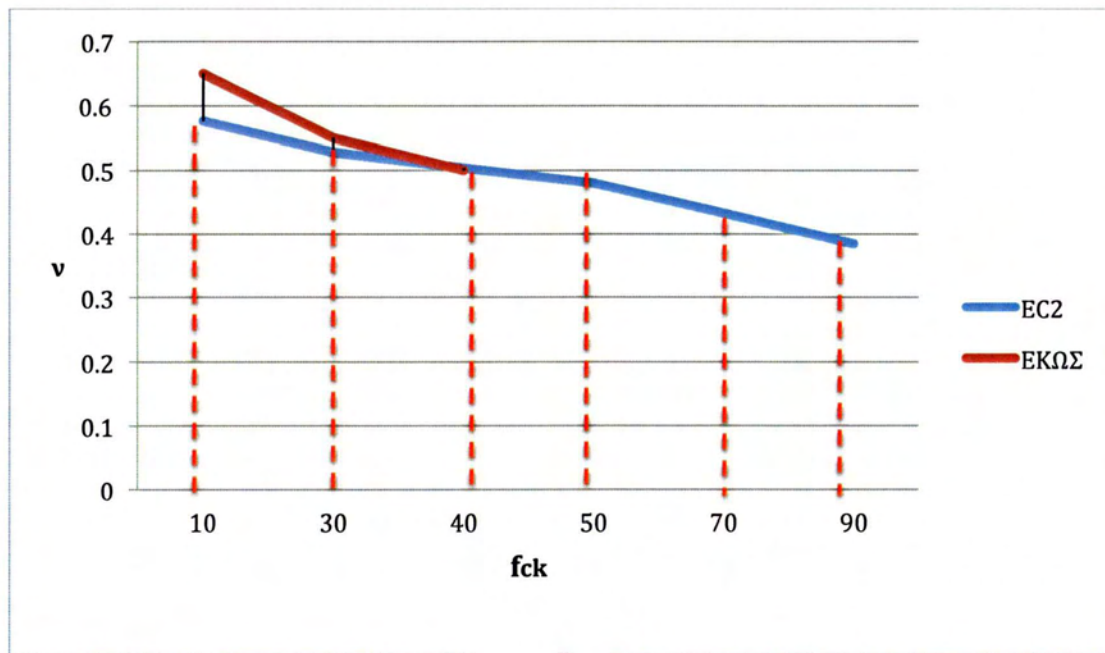
<u>EC2</u>	$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v f_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta),$ <p>με θ μεταβλητή</p> <p>Στην περίπτωση που οι συνδετήρες είναι κατακόρυφοι, η σχέση παίρνει τη μορφή</p> $V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$
<u>ΕΚΩΣ</u>	$V_{Rd2} = \frac{1}{2} v f_{cd} b_w z, \text{ για } \theta = 45^\circ$

Οι δύο τέμνουσες για $\theta = 45^\circ$ διαφέρουν μόνο στη τιμή του συντελεστή v , όπου

$$\text{ΕΚΩΣ : } v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.5, \text{ } f_{ck} \text{ σε MPa}$$

EC2 : $v = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$, f_{ck} σε MPa

Στον ΕΚΩΣ η υψηλότερη ποιότητα είναι C50/60.



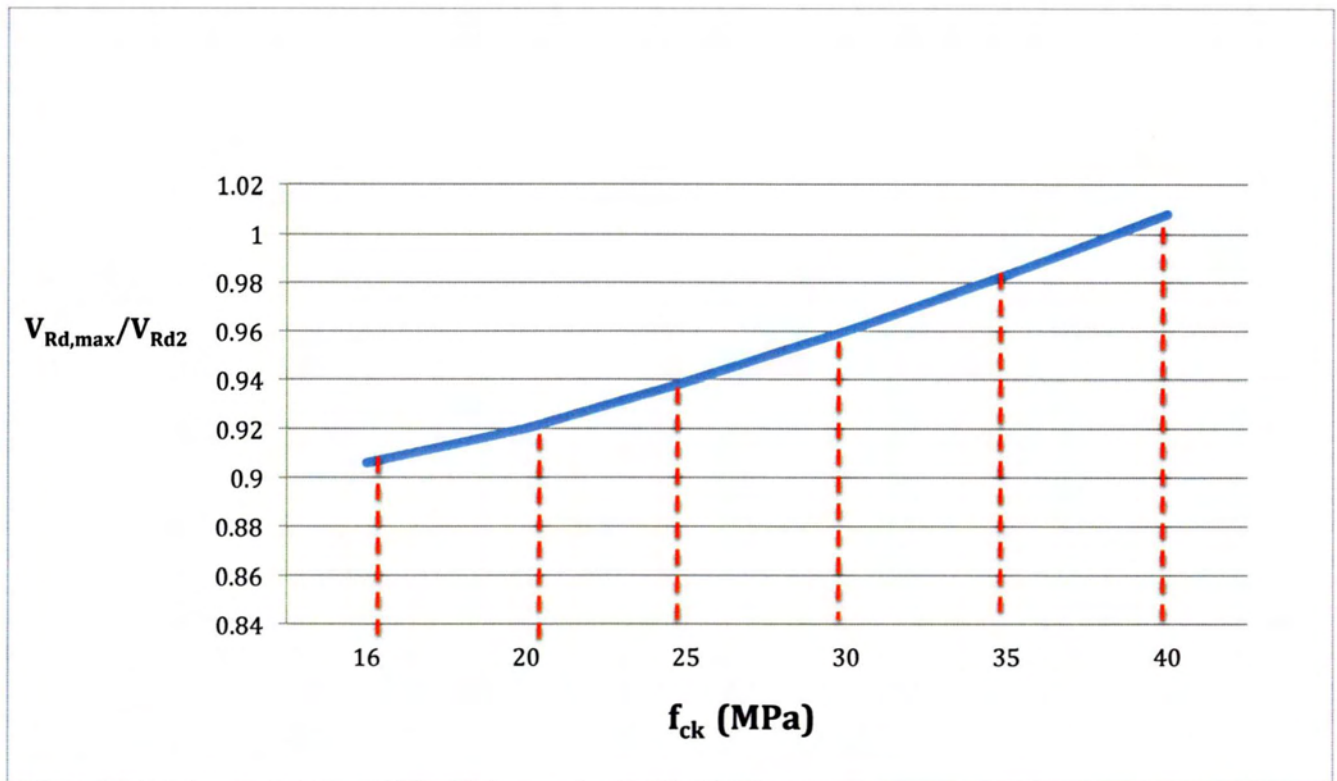
Σχήμα 33: Σύγκριση συντελεστή, v.

Πίν. 9 Συντελεστής, v.

fck	v (ΕΚΩΣ)	v (EC2)
10	0.65	0.57
30	0.55	0.52
40	0.5	0.50
50	0.45	0.48
70	0.35	0.43

Πίν. 10 Λόγος $V_{Rd,max}/V_{Rd2}$.

	fck (MPa)					
	16	20	25	30	35	40
$V_{Rd,max}/V_{Rd2}$	0.905	0.92	0.939	0.96	0.982	1.008



Σχήμα 34: Λόγος $V_{Rd,max}/V_{Rd2}$.

4.8 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Σύγκριση των ΕΚΩΣ και EC2 στον υπολογισμό της σχέσης για την Αντοχή του θλιπτήρα σκυροδέματος .

EC2	$V_{Rd,max} = a_{cw} b_w z v f_{cd} \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{(1 + \cot^2 \theta)}$ <p>και στην περίπτωση που ο οπλισμός είναι <u>κατακόρυφος</u>:</p> $V_{Rd,max} = \frac{a_{cw} b_w z v f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$
ΕΚΩΣ	$V_{Rd2} = \frac{b_w z v f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}, \quad \text{για κατακόρυφο οπλισμό}$ $V_{Rd2} = \frac{(b_w z v f_{cd})}{2}, \quad \text{για } \theta = 45^\circ$

Υλικά : C25 , B500C

Διατομή : $b_w = 0.25 \text{ m}$

$d = 0.45 \text{ m}$

Για τον EC2 ισχύει η μεταβλητή γωνία των θλιπτήρων : $1.0 < \cot \theta < 2.5$

Για τον ΕΚΩΣ χρησιμοποιώ την εναλλακτική μέθοδο υπολογισμού αντοχών των δοκών έναντι τέμνουσας (γενική μέθοδος) { ΕΚΩΣ παρ. 11.2.5 }, η οποία επιτρέπει :

$$0.4 < \cot \theta < 2.5$$

Έστω ότι η γωνία κλίσης θλιβόμενων διαγωνίων είναι: $\theta = 25^\circ$

ΕΚΩΣ

$$V_{Rd2} = \frac{b_w z v f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$

$$v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.575 > 0.5$$

$$\cot 25^\circ = 2.14$$

$$\tan 25^\circ = 0.47$$

$$V_{Rd2} = \frac{0.25 \cdot 0.9 \cdot 0.45 \cdot 0.575 \cdot \frac{25000}{1.5}}{2.14 + 0.47} = 371.77 \text{ kN}$$

Εάν στη διατομή υπάρχει και αξονική θλιπτική δύναμη: $N_{Ed} = 400 \text{ kN}$,

σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ η V_{Rd2} θα υποστεί μείωση λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης:

$$V_{Rd2,red} = 1.67 \cdot V_{Rd2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{cp,eff}}{f_{cd}} \right)$$

$$\text{όπου } f_{yk} = 500 \text{ MPa}, \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434,78 \text{ MPa} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) > 400 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\text{άρα υπολογίζεται με : } \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\begin{aligned} &= 1.67 \cdot V_{Rd2} \cdot \left(1 - \frac{400 - 2.26 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \cdot 10^3}{0.25 \cdot 0.5 \cdot \frac{25000}{1.5}} \right) = 1.67 \cdot V_{Rd2} \cdot (0.9628) = \\ &= 1.608 \cdot V_{Rd2} = 597.8 \text{ kN} > V_{Rd2}, \end{aligned}$$

άρα δεν απομειώνεται η V_{Rd2}

$$V_{Rd2} = 371.77 \text{ kN}$$

EC2

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{400}{0.25 \cdot 0.5} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = \frac{3.2}{\frac{25}{1.5}} = 0.192 < 0.25$$

$$\text{Επομένως, } \alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1.192$$

$$v = 0.6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0.54$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1.192 \cdot 0.25 \cdot 0.54 \cdot 0.9 \cdot 0.45 \cdot \frac{25000}{1.5}}{2.14 + 0.47} = 416.17 \text{ kN}$$

Για την ίδια γωνία θλιπτήρων $\theta = 25^\circ$, ο EC2 δίνει $V_{Rd,max} = 416,17 \text{ kN}$, ενώ ο ΕΚΩΣ δίνει $V_{Rd2} = 371,77 \text{ kN}$ (δεν απομειώνεται)

4.9 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

ΕΚΩΣ 11.1.2.2 Συγκεντρωμένα γραμμικά φορτία στην περιοχή των στηρίξεων

Εάν σε ένα στοιχείο ασκείται συγκεντρωμένο γραμμικό φορτίο σε απόσταση $a_v < 2.5 d$ από τον άξονα της στήριξης, η τιμή του τ_{Rd} που λαμβάνεται υπόψη στην εξίσωση

$V_{Rd1} = [\tau_{Rd1} k (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp}] b_w d$, επιτρέπεται να αυξηθεί, πολλαπλασιαζόμενη με ένα συντελεστή :

$$\beta = \frac{2.5 d}{a_v} < 3$$

Για να ληφθεί ο συντελεστής β υπόψη στους υπολογισμούς θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες :

α) Το φορτίο και η αντίδραση στήριξης είναι τέτοια ώστε να προκαλούν διαγώνια θλίψη στο στοιχείο (άμεση στήριξη),

β) Σε **ακραία στήριξη** : ο απαιτούμενος εφελκυσμένος οπλισμός στην θέση του φορτίου επεκτείνεται μέχρι την στήριξη και αγκυρώνεται πέρα από την εσωτερική παρειά της (την παρειά που βρίσκεται προς την πλευρά εφαρμογής του συγκεντρωμένου φορτίου)

Σε ενδιάμεση στήριξη: ο απαιτούμενος εφελκυσμένος οπλισμός στην παρειά της στήριξης επεκτείνεται και αγκυρώνεται πέραν της παρειάς σε μήκος τουλάχιστον

$$2.5 d + l_{b,net}$$

Σημείωση: η αυξημένη V_{Rd1} πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση της V_{Rd2}

EC2 6.2.3 Στοιχεία που απαιτούν οπλισμό διάτμησης

Σε στοιχεία στα οποία ασκούνται φορτία σε απόσταση $0,5d \leq a_v \leq 2,0d$ από τον άξονα της στήριξης, τότε η συνεισφορά αυτού του φορτίου στην τέμνουσα δράσης V_{Ed} πολλαπλασιάζεται με $\beta = \frac{a_v}{2d}$ (β : συντελεστής μείωσης)

- διαμήκης οπλισμός θα πρέπει να είναι πλήρως αγκυρωμένος στην στήριξη.
- Για $a_v \leq 0,5d$ πρέπει να χρησιμοποιηθεί η τιμή $a_v = 0,5d$

Η V_{Ed} χωρίς την μείωση του β πρέπει πάντα να ικανοποιεί την:

$$V_{Ed} \leq 0.5 b_w d v f_{cd}$$

Επίσης, πρέπει να ικανοποιεί την σχέση: $V_{Ed} \leq A_{sw} f_{yw} d \sin \alpha$

Δεδομένα:

C20

$$b_w = 0.25 \text{ m}$$

$$V_{Ed} = 100 \text{ kN}$$

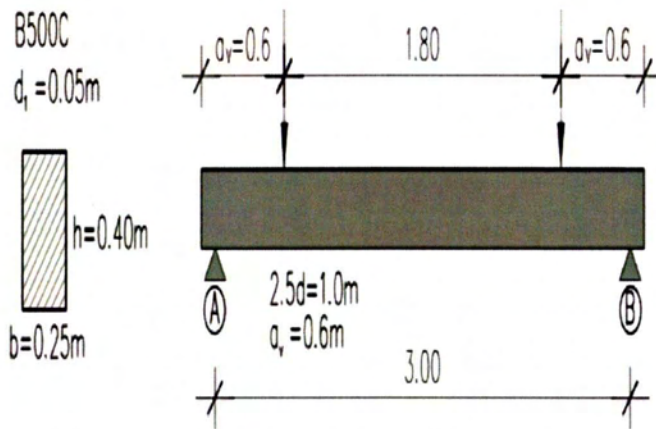
$$d = 0.40 \text{ m}$$

$$\rho_l = 0.009$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$a_v = 0.6 \text{ m}$$

$$l = 3 \text{ m}$$



Σχήμα 35: Αμφιέρειστη δοκός με συγκεντρωμένα φορτία.

ΕΚΩΣ:

$$\alpha_v = 0.6 \text{ m} < 2.5 \text{ d} = 2.5 \cdot 0.4 = 1 \text{ m}$$

Επομένως, η τ_{Rd} (η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής) θα αυξηθεί πολλαπλασιάζοντας με $\beta = \frac{2.5 \text{ d}}{\alpha_v} = \frac{2.5 \cdot 0.4}{0.6} = 1.667 < 3$

$$\tau_{Rd}' = \tau_{Rd} \cdot 1.667 = 0.433 \text{ MPa} \quad (\tau_{Rd} = 0.26 \text{ MPa})$$

$$k = 1.6 - d = 1.6 - 0.4 = 1.2 \geq 1$$

$$V_{Rd1} = (\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$V_{Rd1} = (0.26 \cdot 1.2 \cdot (1.2 + 40 \cdot 0.009)) \cdot 0.25 \cdot 0.4 = 48.67 \text{ kN}$$

με την αύξηση του τ_{Rd1} :

$$V_{Rd1} = (0.433 \cdot 1.2 \cdot (1.2 + 40 \cdot 0.009)) \cdot 0.25 \cdot 0.4 = 81.06 \text{ kN}$$

αυξήθηκε η V_{Rd1} (48.67 kN → 81.06 kN)

$$V_{Rd1} < V_{Ed} = 100 \text{ kN} \text{ -χρειάζεται οπλισμό διάτμησης}$$

EC2: διαφορετική προσέγγιση

$$0.5 \text{ d} = 0.2 \text{ m} \leq \alpha_v = 0.6 \text{ m} \leq 2 \text{ d} = 0.8 \text{ m}$$

Επομένως, πολλαπλασιάζεται η V_{Ed} με $\beta = \frac{\alpha_v}{2d} = \frac{0.6}{0.8} = 0.75$

$$V_{Rdc} = \left(c_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d$$
$$\geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w \cdot d$$

$$c_{Rdc} = 0.12$$

$$\rho_l = 0.009$$

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{400}} = 1.707 < 2$$

$$V_{Rdc} = \left(0.12 \cdot 1.707 \cdot (100 \cdot 0.009 \cdot 20)^{\frac{1}{3}} \right) 0.25 \cdot 0.40 = 53.68 \text{ kN}$$

Παρατηρείται μια μικρή αύξηση σε σχέση με την $V_{Rd1} = 48.67 \text{ kN}$ πριν την αύξηση (ΕΚΩΣ).

Η αύξηση της V_{Ed} για $\beta = 0.75$ είναι : $(V_{Ed} = 100 \text{ kN}) 0,75 = 75 \text{ kN}$

$V_{Rdc} = 53.68 \text{ kN} < V_{Ed} = 75 \text{ kN}$ - χρειάζεται οπλισμό διάτμησης

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι με βάση τον ΕΚΩΣ, αυξάνεται η τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης V_{Rd1} , ενώ με βάση τον EC2 μειώνεται η τέμνουσα δράσης V_{Ed} .

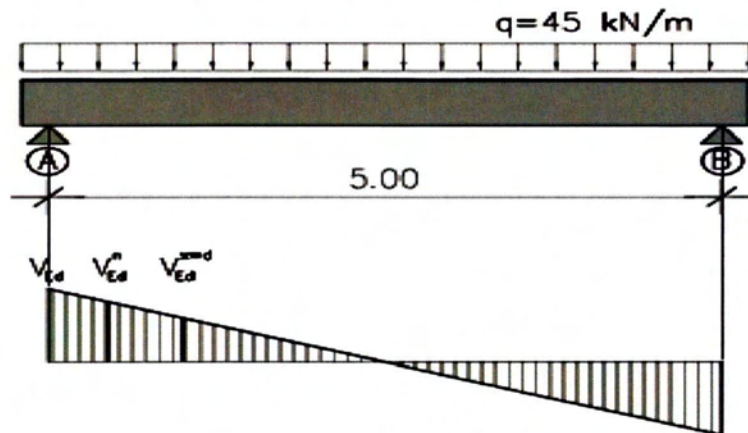
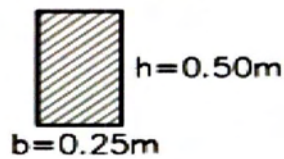
ΕΚΩΣ: $V_{Rd1} = 81.06 \text{ kN}$ (αυξημένο) $< V_{Ed} = 100 \text{ kN}$

EC2: $V_{Rdc} = 53.68 \text{ kN} < V_{Ed} = 75 \text{ kN}$ (μειωμένη)

Τα αποτελέσματα είναι σχεδόν τα ίδια.

4.10 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3: “ ΣΤΡΕΨΗ – ΔΙΑΤΜΗΣΗ”

C20/25
B500C
 $d_1 = 0.05\text{m}$



Σχήμα 36: Αμφιέρειστη δοκός με καταναμημένο φορτίο 45 kN/m .

Δεδομένα:

$b = 0.25\text{ m}$
 $h = 0.5\text{ m}$
 $d1 = 0.05\text{ m}$
C20/25
B500C

Οπλισμός Έναντι Κάμψης

$$M_{sd} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{45 \cdot 5^2}{8} = 140.625\text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{140.625}{0.20 \cdot 0.45^2 \cdot \frac{20 \cdot 1000}{1.5}} = 0.26$$

$$\omega = 0.3067$$

EC2 παρ. 6.1. – Οριακές καταστάσεις αστοχίας κάμψης με/χωρίς αξονική δύναμη

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.3067 \cdot 0.25 \cdot 0.45 \cdot \frac{20}{\frac{1.5}{500}} = 10.6\text{ cm}^2 \quad (4 \text{ } \emptyset \text{ } 20 = 12.57\text{ cm}^2)$$

Στο θλιβόμενο πέλμα ο EC2 θέτει ως ελάχιστο εμβαδόν οπλισμού για στηρίξεις (απλές εδράσεις):

$$A_{s2} = 0.15 \cdot A_{s1} = 0.15 \cdot 12.57 = 1.88 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \phi 12 \text{ (} 2.26 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$V_{Ed} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{45 \cdot 5}{2} = 112.5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\pi} = 112.5 - 45 \cdot 0.25 = 101.25 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,d} = 112.5 - 45 \cdot (0.25 + 0.45) = 81 \text{ kN}$$

Οπλισμός Έναντι Διάτμησης

Υπολογισμός αντοχής σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης $V_{Rd,c}$ σε απόσταση d από παρειά:

$$V_{Rd,c} = (c_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$c_{Rd,c} = 0.12$$

$$k_1 = 0.15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1.67 < 2$$

$$\rho_l = \frac{12.57 \text{ cm}^2}{25 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm}} = 0.011 \leq 0.02$$

$$v_{min} = 0.035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.035 \cdot 1.67^{\frac{3}{2}} \cdot 20^{\frac{1}{2}} = 0.3378$$

$$V_{Rd,c} = 0.12 \cdot 1.67 \cdot (100 \cdot 0.011 \cdot 20)^{\frac{1}{3}} \cdot 250 \cdot 450 = 63.17 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 63.17 \text{ kN} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot 250 \cdot 450 = 38 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 63.17 \text{ kN} < V_{Ed,d} = 81 \text{ kN} \quad \text{απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

Αντοχή Λοξών Θλιπτήρων

$$V_{Rd,max} = a_{cw} b_w z v f_{cd} \cdot \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{(1 + \cot^2 \theta)} = \frac{a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} \quad (\alpha = 90^\circ)$$

$$a_{cw} = 1$$

$$v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.55$$

$$V_{Rd,max} (\theta = 21.8^\circ) = \frac{1 \cdot 0.25 \cdot 0.9 \cdot 0.45 \cdot 0.55 \cdot \frac{20000}{1.5}}{(\cot 21.8^\circ + \tan 21.8^\circ)} = \frac{742.5}{2.5 + 0.4} = 256.03 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} (\theta = 21.8^\circ) = 256.03 \text{ kN} > V_{Ed,\pi} = 101.25 \text{ kN}$$

Άρα επαρκεί η διατομή.

$$V_{Rd,max} (\theta = 45^\circ) = \frac{1 \cdot 0.25 \cdot 0.9 \cdot 0.45 \cdot 0.55 \cdot \frac{20000}{1.5}}{(\cot 45^\circ + \tan 45^\circ)} = \frac{742.5}{1+1} = 371.25 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} (\theta = 45^\circ) = 371.25 \text{ kN} > V_{Ed,\pi} = 101.25 \text{ kN}$$

Άρα επαρκεί η διατομή.

Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

(για $\theta = 21.8^\circ$)

$$V_{Rd,s} = V_{Ed,d} = 81 \text{ kN} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

Για $\theta = 21.8^\circ$ και δίτητους συνδετήρες $\emptyset 8$ ($A_{sw} = 2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-4}$)

$$\Rightarrow s = \frac{A_{sw} \cdot 0.9d f_{ywd} \cot \theta}{81} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.9 \cdot 0.45 \cdot \frac{500 \cdot 1000}{1.15} \cdot 2.5}{81}$$

$$= 543 \text{ mm} \rightarrow \emptyset 8 / 54.3 \text{ cm}$$

Υπολογισμός πρόσθετου διαμήκους οπλισμού

$$\cot \theta = 2.5$$

$$\Delta F_{td} = 0.5 V_{Ed} (\cot 21.8^\circ - \cot 90^\circ) = 0.5 \cdot 81 \cdot 2.5 = 101.25 \text{ kN}$$

$$\Delta A_s = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}} = \frac{101.25}{\frac{500 \cdot 1000}{1.15}} = 2.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2.33 \text{ cm}^2 \rightarrow 3\emptyset 10 (2.36 \text{ cm}^2)$$

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Έστω ότι στη δοκό του προηγούμενου παραδείγματος δρα τώρα και κατανεμημένη στρεπτική ροπή $m_{T_{Ed}} = 6 \text{ kNm/m}$ και άρα στρεπτική ροπή στο άκρο:

$$T_{Ed} = m_{T_{Ed}} \cdot \frac{l}{2} = 6 \cdot \frac{5}{2} = 15 \text{ kNm/m}$$

Η γωνία των λοξών θλιπτήρων είναι ίδια με την γωνία που επιλέχθηκε στην διάτμηση, δηλαδή $\theta = 21.8^\circ$

- Μετατροπή της διατομής σε ισοδύναμη λεπτότοιχη.

$$A = b \cdot h = 25 \cdot 50 = 1250 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (25 + 50) = 150 \text{ cm}$$

$$t_{eff} = \max\left(\frac{A}{u}; c\right) = \max\left(\frac{1250}{150}; 0.5\text{cm}\right) = \max(8.33; 0.5) = 8.33 \text{ cm}$$

[απλοποιητικά θεωρείται η επικάλυψη οπλισμού c ίση με d_1 , $c=d_1=0.5\text{cm}$]

$$A_k = (b - t_{eff})(h - t_{eff}) = (25 - 8.33) \cdot (50 - 8.33) = 16.67 \cdot 41.67 = 694.64 \text{ cm}^2$$

$$u_k = 2 [(b - t_{eff}) + (h - t_{eff})] \\ = 2 \cdot [16.67 + 41.67] \\ = 116.68 \text{ cm}$$

- Έλεγχος αν απαιτείται οπλισμός

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} t_{eff} 2 A_k = \frac{1 \cdot 1.5 \text{ MPa}}{1.5} \cdot 0.0833 \cdot 2 \cdot 0.069464 \text{ m}^2 = 11.57 \text{ kNm}$$

$$f_{ctk0,05} = 1.5 \text{ MPa (για αντοχή C20)}$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 1.5 \text{ MPa}}{1.5}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed,d}}{V_{Rd,c}} = \frac{15}{11.57} + \frac{81}{57.67} > 1$$

Άρα, απαιτείται οπλισμός διάτμησης

- Έλεγχος επάρκειας διατομής

$$T_{Rd,max} = 2 v \alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{eff} \sin \theta \cos \theta = \\ = 2 \cdot 0.55 \cdot 1 \cdot \frac{20000}{1.5} \cdot 0.069464 \cdot 0.0833 \cdot \sin 21.8^\circ \cdot \cos 21.8^\circ = \\ = 29.27 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rdmax}} + \frac{V_{Ed,\pi}}{V_{Rdmax}(21.8^\circ)} = \frac{15}{29.27} + \frac{101.25}{256.03} < 1$$

Άρα, η διατομή επαρκεί και δεν υπάρχει κίνδυνος σύνθλιψης του σκυροδέματος.

- Υπολογισμός απαιτούμενων οπλισμών

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΛΟΓΩ ΣΤΡΕΨΗΣ

$$A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k}{2 A_k f_{yd}} \cot \theta = \frac{15 \cdot 1.1668}{2 \cdot 0.069464 \cdot \frac{500000}{1.15}} \cdot 2.5 = 7.24 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 6\phi 14 (9.24 \text{ cm}^2)$$

ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

$$\left(\frac{\Sigma A_{sw}}{s}\right)_{\sigma\tau\rho} = \frac{T_{Ed} \tan \theta}{2 A_k f_{ywd}} = \frac{15 \cdot \tan 21.8^\circ}{2 \cdot 0.069464 \cdot \frac{500000}{1.15}} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\left(\frac{\Sigma A_{sw}}{s}\right)_{\tau\epsilon\mu\nu} = \frac{V_{Ed,d}}{0.9d f_{ywd} \cot \theta} = \frac{\frac{500000}{81}}{0.9 \cdot 0.45 \cdot \frac{500000}{1.15} \cdot \cot 21.8^\circ} = 1.84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$s_{\sigma\tau\rho\epsilon} (\emptyset 8) = \frac{0.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}} = 0.5 \text{ m}$$

$$s_{\delta\iota\alpha\tau\mu} (\emptyset 8) = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{1.84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}} = 0.543 \text{ m}$$

$$\frac{1}{0.5 \text{ m}} + \frac{1}{0.543 \text{ m}} = \frac{1}{0.26 \text{ m}}$$

Άρα, τοποθετούμε τελικά δίτητους κατακόρυφους συνδετήρες $\emptyset 8/260 \text{ mm}$.

Συνολικός οπλισμός λόγω κάμψης - διάτμησης- στρέψης

Διαμήκης

$$\Sigma A_{sl} = 10.6 + 2.33 + \frac{7.24}{3} = 12.807 \text{ cm}^2 \rightarrow 4\emptyset 20 \text{ (12.57 cm}^2\text{)}$$

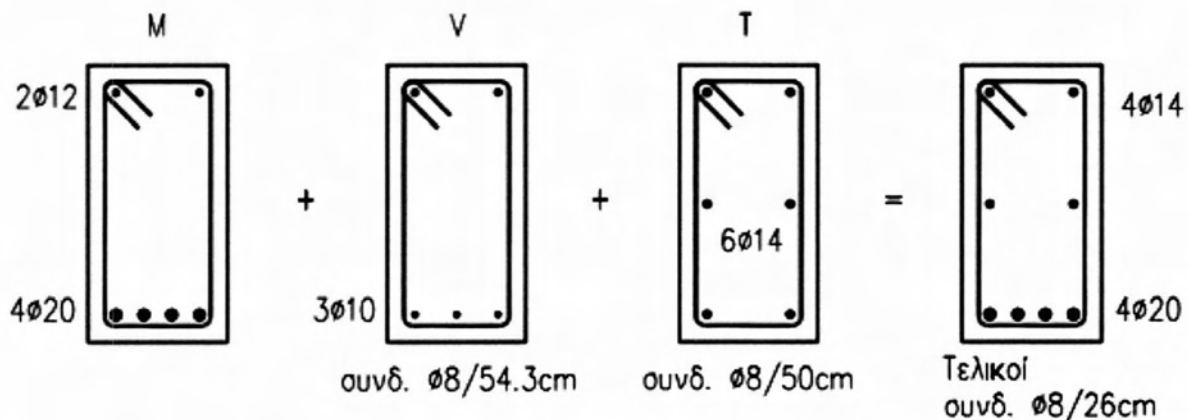
τοποθετείται επιπλέον θλιβόμενος λόγω κάμψης

$$A_{s,αν\omega} = 0.15 \cdot (12.57) = 1.88 \text{ cm}^2 \rightarrow 2\emptyset 12 \text{ (2.26 cm}^2\text{)}$$

και ο υπόλοιπος απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης

$$\frac{2}{3} \cdot 7.24 \text{ cm}^2 = 4.83 \text{ cm}^2 \rightarrow 4 \emptyset 14 \text{ (6.16 cm}^2\text{)}$$

Αφού ο θλιβόμενος λόγω στρέψης επαρκεί, δεν τοποθετούμε επιπλέον θλιβόμενο λόγω κάμψης.



Σχήμα 37: Συνολικός οπλισμός λόγω συνδυασμού κάμψης, διάτμησης και στρέψης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκεντρωτικά οι κυριότερες διαφορές των κανονισμών και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα παρουσιάζονται παρακάτω.

Στην οριακή κατάσταση αστοχίας σε ΔΙΑΤΜΗΣΗ στον EC2, εκτός από τις αλλαγές στους συμβολισμούς των τεμνουσών αντοχής:

- i. Διαφορετική σχέση υπολογισμού για την $V_{Rd,c}$ (V_{Rd1}) έχοντας σαν αποτέλεσμα εν γένει τη μεγαλύτερη συνεισφορά του εφελκυσμένου οπλισμού (ρ_l) και των φαινομένων κλίμακας (k).
 - ii. Καταργείται η συνεισφορά του σκυροδέματος στον υπολογισμό της αντοχής σε διάτμηση ($V_{cd} = 0$), εάν προκύψει ότι απαιτείται οπλισμός διάτμησης.
 - iii. Υπάρχει αύξηση της επιρροής της θλιπτικής αξονικής δύναμης (α_{cw}) στον υπολογισμό της $V_{Rd,max}$ (V_{Rd2}).
 - iv. Επιτρέπεται για τον σχεδιασμό του φορέα η γωνία των λοξών θλιπτήρων να λαμβάνει τιμές $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, ενώ και στον ΕΚΩΣ υπάρχει αυτή η εναλλακτική μέθοδος, αλλά ο σχεδιασμός γίνεται κατά κανόνα υποθέτοντας $\theta = 45^\circ$.
- Με βάση τον EC2 στην όπλιση έναντι διάτμησης, όταν η τέμνουσα σχεδιασμού υπερβαίνει την αντοχή $V_{Rd,c}$ όλη η τέμνουσα αναλαμβάνεται από τον οπλισμό διάτμησης. Με βάση τον EC2 δεν λαμβάνεται υπόψη η συνεισφορά των μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας του σκυροδέματος. Αυτό δεν μας οδηγεί απαραίτητα σε μεγαλύτερη απαίτηση οπλισμού διάτμησης, διότι υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής της θεωρούμενης γωνίας των λοξών θλιπτήρων και στους δύο κανονισμούς. Μικρότερη γωνία θ σημαίνει μειωμένος οπλισμός άρα χαμηλή απαίτηση οπλισμού A_{sw} . Επομένως, στον EC2 όταν απαιτείται οπλισμός διάτμησης θα πρέπει να ισχύει :

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \text{ (και όχι } V_{Rd3} = V_{wd} + V_{cd} (=V_{Rd1}) \geq V_{Ed} \text{)}$$

με V_{Ed} την τέμνουσα σε απόσταση d από την παρειά, που ίσχυε στον ΕΚΩΣ. Δεν υπάρχει δηλαδή η συνεισφορά του σκυροδέματος στην αντοχή σε διάτμηση.

- Στην περίπτωση σεισμού η κατάργηση της συνεισφοράς του σκυροδέματος στην αντοχή τέμνουσας στον EC8 οδηγεί σε μεγαλύτερη απαίτηση οπλισμού από τον ΕΚΩΣ/ΕΑΚ σε κρίσιμες περιοχές φορέων ΚΠΥ, όπου δεν επιτρέπεται $\theta < 45^\circ$.

Τα μεγέθη τέμνουσας του ΕΚΩΣ και τα αντίστοιχα μεγέθη του EC2 είναι τα εξής:

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

Στην παρούσα εργασία αναφέρθηκαν οι διαφορές στον υπολογισμό τους καθώς και στην λογική του σχεδιασμού.

Στην οριακή κατάσταση αστοχίας από ΣΤΡΕΨΗ στον EC2 :

- Γίνεται συντηρητικότερο το κριτήριο για τον έλεγχο φορέων που υπόκεινται ταυτόχρονα σε τέμνουσα και στρέψη.

Σχετικά με τα Νομογραφήματα (διαγράμματα σχεδιασμού για την επιλογή οπλισμού διάτμησης - Κεφ. 4^ο) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

1. Για δεδομένη αντοχή σκυροδέματος, από τα αντίστοιχα διαγράμματα (βλέπε Σχήμα 9) διακρίνεται εύκολα το εύρος τιμών το οποίο δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει η δρώσα τέμνουσα, ώστε να μην αστοχεί ο διαγώνιος θλιπτήρας.
2. Γίνεται μια πρώτη εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί. Όταν η δρώσα τέμνουσα βρίσκεται πάνω από ορισμένες καμπύλες γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι αντοχές σκυροδέματος στις οποίες αντιστοιχούν οι καμπύλες δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν διότι για αυτές τις αντοχές αστοχεί ο θλιπτήρας.
3. Επιλέγοντας την αντοχή σκυροδέματος και για δεδομένη δρώσα τέμνουσα μπορεί να υπολογιστεί ο ελάχιστος διατμητικός οπλισμός, και να βρεθεί η μικρότερη δυνατή γωνία θλιπτήρα.
4. Γίνεται άμεσα κατανοητό από τα νομογραφήματα (βλέπε Σχήμα 20) ότι η αντοχή του λοξού θλιπτήρα λαμβάνει την χαμηλότερη τιμή της για την μικρότερη επιτρεπόμενη γωνία θλιπτήρα, καθώς και ότι σε αυτήν την γωνία αντιστοιχεί ο χαμηλότερος απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης.

Σύγκριση των τιμών των νομογραφημάτων για ΕΚΩΣ και EC2

Προέκυψε το συμπέρασμα, ότι και οι δύο κανονισμοί ΕΚΩΣ και EC2 δίνουν παρόμοια αντοχή θλιπτήρων και ότι η επιλογή της βέλτιστης γωνίας θλιπτήρων θα καταλήγει σε διατμητικό οπλισμό που διαφέρει ελάχιστα. Επομένως, καθόσον αφορά την διαστασιολόγηση σε διάτμηση, η επιλογή του ενός ή του άλλου κανονισμού θα φέρει ελάχιστες διαφορές στον τελικό διατμητικό οπλισμό και δεν θα επηρεάσει την τελική διαστασιολόγηση.

Διαφορές των Κανονισμών για τις Κατασκευαστικές Απαιτήσεις

ΔΟΚΟΙ

- Οι δύο κανονισμοί ΕΚΩΣ – EC8 ειδικά για τους φορείς με **αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας** παρουσιάζουν διαφορές στους περιορισμούς των γεωμετρικών διαστάσεων.

- Το μέγιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού, ρ_{max} , με βάση τον EC8 περιορίζεται αρκετά σε σχέση με τον ΕΚΩΣ, ιδίως για φορείς ΚΠΥ. Βέβαια για σκυροδέματα υψηλής αντοχής που δεν αναφέρονται στον ΕΚΩΣ προβλέπονται μεγαλύτερες τιμές.
- Για το ελάχιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού, ο EC2 είναι λιγότερο συντηρητικός από τον ΕΚΩΣ, ενώ οι EC8 και ΕΚΩΣ δίνουν το ίδιο ελάχιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού δοκών.

$$\text{EC8 (παρ. 5.4.3.12) και ΕΚΩΣ (παρ. 18.4) : } \rho_{min} = 0.5 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

Για το ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού ο EC2 είναι λιγότερο συντηρητικός από τον ΕΚΩΣ.

- Και για τις δύο περιπτώσεις ΚΠΜ και ΚΠΥ απαιτείται οπλισμός στο θλιβόμενο πέλμα τουλάχιστον ίσος με το μισό του απαιτούμενου στην εφελκόμενη ζώνη επιπέδον του θλιβόμενου οπλισμού που τυχόν απαιτείται από τον έλεγχο ΟΚΑ της δοκού στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού. Ο ΕΚΩΣ απαιτεί γενικώς ο θλιβόμενος να είναι τουλάχιστον ο μισός του εφελκόμενου οπλισμού.
- Ορισμένες διαφορές παρουσιάζουν οι δύο κανονισμοί και στον υπολογισμό του συνεργαζόμενου πλάτους b_{eff} των δοκών με **αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας**.
- Για δοκούς υψηλής κατηγορίας πλαστιμότητας ο EC8 προβλέπει καθ' όλο το μήκος της δοκού ράβδους οπλισμού τουλάχιστον **2Ø14** υψηλής συνάφειας στο άνω και κάτω μέρος της δοκού, ενώ αντίστοιχα ο ΕΚΩΣ **2Ø12**. Επίσης ο EC8, για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας επιβάλλει σε όλο το μήκος του πάνω πέλματος να εκτείνεται τουλάχιστον το 25% του μεγαλύτερου από τους οπλισμούς πάνω πέλματος των εκατέρωθεν στηρίξεων. Παρομοίως ισχύει και για τον ΕΚΩΣ.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

- Για την εξασφάλιση επαρκούς πλαστιμότητας σε υποστυλώματα με **αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας**, απαιτείται περιορισμός της ανηγμένης αξονικής δύναμης. Για ΚΠΥ ο EC8 είναι πιο αυστηρός από τον ΕΚΩΣ.
- Σχετικά με τον διαμήκη οπλισμό, οι απαιτήσεις του EC2 για τον ελάχιστο διαμήκη οπλισμό, είναι πολύ μειωμένες σε σχέση με αυτές του ΕΚΩΣ και του EC8. Επιπλέον, ο EC2 δίνει πολύ μικρότερη ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρο για τον διαμήκη οπλισμό των υποστυλωμάτων σε σχέση με την τιμή του ΕΚΩΣ. Ο EC8 δεν επιβάλλει κάποια ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρο για τις διαμήκεις ράβδους.
- Οι δύο κανονισμοί ΕΚΩΣ, EC8 παρουσιάζουν διαφορές στον έλεγχο για περίσφιξη, ως προς τις σχέσεις υπολογισμού και ως προς τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές του μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιξης.

- Ο ΕΚΩΣ στις παραγράφους 18.4.7 και 18.4.8 αναφέρει διατάξεις για αναμονές υποστυλωμάτων και για υποστυλώματα με σπειροειδή οπλισμό που δεν υπάρχουν στους κανονισμούς EC2 και EC8.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahnberg Thomas, «Safety Evaluation of Shear Capacity of Reinforced Concrete Bridges», Master's Thesis, Chalmers University of Technology, 2011.
- Collins Michael P., Mitchell Denis, «A General Shear Design Method», ACI Structural Journal, Technical Paper, January – February, 1996.
- «Design of Concrete Structures, Part 1, General Rules and Rules for Buildings», Eurocode 2 (prEN 1992-1-1).
- R.S. Narayanan, A. Beeby, «Designers Guide to EN1992-1-1 and EN1992-1-2» 2005.
- «Design Code», CEB- FIP MODEL CODE, 1990.
- Muttoni, et al., «Design of Concrete Structures with Stress Fields», Birkhouser Basel, 1997.
- «Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος», Ε.Κ.Ω.Σ. 2000, Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα, 2000.
- Ζαράρης Πρόδρομος Δ., «Μέθοδοι Υπολογισμού Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος», 2002.
- Καλαϊτζοπούλου Γαλήνη, «Σύγκριση Ευρωκώδικα 2-1-1 με ΕΚΩΣ», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
- Πενέλης Γ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Χ., Στυλιανίδης Κ., «Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα», 1995.
- Τρέζος Κ. Γ., «Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός Φερουσών Κατασκευών από Σκυρόδεμα», Πρακτικά ενημερωτικής Ημερίδας, Λαμία, Δεκέμβριος, 2012.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000125591

